

CONCRETE ENGINEERING SERIES 123

土木学会

「コンクリート技術シリーズ」は、主に、コンクリート委員会の第3種委員会の成果報告書であり、コンクリート委員会が承認した指針、規準ではありません。掲載内容を参照、引用される際には、ご留意下さい。

2016 年 12 月にコンクリートライブラリー148「コンクリート構造物における品質を確保した生産性向上に関する提案」が発刊された.ここでは、発注者の仕様等に対する提案、コンクリート標準示方書類に対する提案、研究開発に関する提案がなされている.その成果の多くは、目的の通りに発注者の仕様やコンクリート標準示方書に盛り込まれている.例えば、平成29年3月に「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」が国土交通省から出され、施工条件に応じて適切な流動性(スランプ)を有するコンクリートを選定することの重要性が、あらためて謳われている.ただし、いくつかの提案については、これらの基準類に反映できるまでの技術的整理がなされておらず、引き続き検討が必要であった.その1つの課題が、「振動締固めを必要とする高流動コンクリートの選択が可能な規定を検討、整備する」ことであった.

「締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工技術研究小委員会」は、この様な背景のもと、コンクリート委員会の前委員長(2015年度~2018年度)である前川宏一先生のご判断で、コンクリート委員会の第3種委員会として2018年4月に発足した。通常の第3種委員会とは異なる発足の仕方であった。

コンクリート標準示方書は性能規定が原則であり、施工編の本編に従えば、構造物が設計図書どおりに構築されていることを確認できれば、あらゆるコンクリートを使用することが可能である。この意味では、本小委員会で対象としたコンクリートも適用可能となる。ただし、「設計図書どおりに構築されていることを確認する」行為は、必ずしも容易ではない。一般に用いられているコンクリートと、自己充填性を有する高流動コンクリートの中間にあたる本小委員会で対象とするコンクリートは、特に材料分離抵抗性の担保がキーポイントとなる。さらに、この様なコンクリートの適用例として、普通コンクリートでは対応が難しいやや過密な配筋が想定されるが、そのような場合は、自己充填性を有する高流動コンクリート同様に間隙通過性についても考慮する必要がある。「自己充填性を有する」という特殊な性状を付与することで、材料分離抵抗性や間隙通過性の問題を解決してきた従来の高流動コンクリートに対して、締固めを必要とする高流動コンクリートでは、「締固め」の影響を考慮した上で、必要とする「材料分離抵抗性」と「間隙通過性」を付与する必要がある。これは、非常に難しい課題ではあるが、知的欲求を刺激される検討課題でもある。経験工学の最たる例であるフレッシュコンクリートに関して、締固めを必要とする高流動コンクリートの技術情報を理論的かつ定量的に整理することは、フレッシュコンクリートの性状理解においてブレイクスルーをもたらすものだと期待している。

最後に、本小委員会の運営や報告書の取り纏めにご尽力頂いた、幹事長の橋本紳一郎氏(千葉工業大学)、幹事団の浦野真次氏(清水建設)、坂井吾郎氏(鹿島建設)、桜井邦昭氏(大林組)、根本浩史氏(清水建設)、南浩輔氏(前田建設工業)、梁俊氏(大成建設)をはじめとする委員各位に感謝の意を表します。

2020年3月

コンクリート委員会

締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工技術研究小委員会 委員長 加藤 佳孝

土木学会コンクリート委員会 締固めを必要とする高流動コンクリートの 配合設計・施工技術研究小委員会(358 委員会) 委員構成

 委員長
 加藤
 佳孝
 東京理科大学

 幹事長
 橋本
 紳一郎
 千葉工業大学

 幹事
 浦野
 真次
 清水建設(株)

 坂井
 吾郎
 鹿島建設(株)

 桜井
 邦昭
 (株)大林組

根本 浩史 清水建設(株) 南 浩輔 前田建設工業(株)

梁 俊 大成建設(株)

委員 石井 祐輔 太平洋セメント(株)

一宮 一夫 大分工業高等専門学校

 井手
 一雄
 (株)フジタ

 伊代田
 岳史
 芝浦工業大学

太田 健司 前田建設工業(株) (~2019.3)

大塚 拓 (一財)電力中央研究所

大橋 英紀 戸田建設(株) 片平 博 (国研)土木研究所

鎌田 知久 東京大学

蔵重 勲 (一財)電力中央研究所 黒澤 隆 (株) I H I 建材工業

小林 竜平 竹本油脂(株) 小山 広光 BASF ジャパン(株) 佐々木 博隆 花王(株) (~2019.3)

椎名 貴快 西松建設(株)

正中 雅文 花王(株) (~2018.10) 杉江 匡紀 (株)富士ピー・エス

高橋直希(株)フジタ竹中寛東洋建設(株)伊達重之東海大学

田中 徹 戸田建設(株) (~2019.5)

 谷口 修
 五洋建設(株)

 玉石 竜介
 花王(株)

徳光 卓 (株)富士ピー・エス

中水 高博 関東宇部コンクリート工業(株)

中村 敏之 オリエンタル白石(株)

西脇 敬一 鉄建建設(株) 橋本 親典 徳島大学 土師 康一 戸田建設(株) 濱田 洋志 東亜建設工業(株)

早川 健司 東急建設(株)

林 俊斉 (株)安藤・間

檜垣 誠 (株)フローリック

平間 昭信 飛島建設(株)

廣中 哲也 (株)奥村組

前田 佳克 (株)高速道路総合技術研究所(~2019.6)

松倉 隼人 BASF ジャパン(株)

松信 岳彦 花王(株)

松本 修治 鹿島建設(株)

豆田 憲章 佐藤工業(株) (~2019.6)

三本 巌 (株)内山アドバンス

宮下 太一 佐藤工業(株) (~2018.10)

森濱 哲志 佐藤工業(株)

山内 匡 日本国土開発(株)

山田 悠二 福岡大学

吉田 克弥 日本シーカ(株)

渡邉 真史 (株)内山アドバンス

50 音順(敬称略)

土木学会コンクリート委員会 締固めを必要とする高流動コンクリートの 配合設計・施工技術研究小委員会 (358 委員会) WG 委員構成

WG1 (普通コンクリートとの相違点検討WG)

主 査 桜井 邦昭

副主査 南 浩輔

委員 井手 一雄 伊代田 岳史 浦野 真次 大橋 英紀

片平 博 加藤 佳孝 鎌田 知久 黒澤 隆

小林 竜平 坂井 吾郎 椎名 貴快 杉江 匡紀

高橋 直希 谷口 修 徳光 卓 中水 高博

中村 敏之 西脇 敬一 根本 浩史 橋本 紳一郎

橋本 親典 土師 康一 林 俊斉 檜垣 誠

平間 昭信 松倉 隼人 松信 岳彦 松本 修治

三本 巌 森濱 哲志 吉田 克弥 梁 俊

渡邉 真史

太田 健司 (~2019.3) 正中 雅文 (~2018.10)

田中 徹 (~2019.5) 前田 佳克 (~2019.6)

豆田 憲章 (~2019.6) 宮下 太一 (~2018.10)

WG2 (配合設計・製造・施工における特徴検討WG)

主 査 坂井 吾郎

副主査 浦野 真次

委員 石井 祐輔 一宮 一夫 大塚 拓 加藤 佳孝

小山 広光 桜井 邦昭 竹中 寛 伊達 重之

玉石 竜介 根本 浩史 橋本 紳一郎 橋本 親典

濱田 洋志 早川 健司 檜垣 誠 廣中 哲也

松本 修治 南 浩輔 三本 巌 山内 匡

吉田 克弥 梁 俊 渡邉 真史

佐々木 博隆 (~2019.3)

WG3(品質評価WG)

主 査 橋本 紳一郎

副主査 根本 浩史 梁 俊

委員 石井 祐輔 一宮 一夫 浦野 真次 大塚 拓

片平 博 加藤 佳孝 蔵重 勲 小林 竜平

小山 広光 坂井 吾郎 桜井 邦昭 竹中 寛

 伊達 重之
 中水 高博
 中村 敏之
 西脇 敬一

 橋本 親典
 濱田 洋志
 檜垣 誠
 廣中 哲也

 橋本 親典
 濱田 洋志
 檜垣 誠
 廣中 哲也

 松倉 隼人
 松本 修治
 南 浩輔
 三本 巖

山田 悠二 吉田 克弥 渡邉 真史

太田 健司 (~2019.3) 前田 佳克 (~2019.6)

(敬称略)

締固めを必要とする高流動コンクリートの 配合設計・施工技術研究小委員会(358 委員会) 委員会報告書構成

第 I編 はじめに

第Ⅱ編 委員会報告1

「普通コンクリートとの相違点」

(普通コンクリートとの相違点検討WG)

第Ⅲ編 委員会報告2

「配合設計・製造・施工における特徴」

(配合設計・製造・施工における特徴検討 WG)

第IV編 委員会報告3

「締固めを必要とする高流動コンクリートにおけるフレッシュ性状の品質評価

―材料分離抵抗性の評価方法に関する検討―」

(品質評価 WG)

第V編 基調講演・シンポジウム論文集

第 I 編 はじめに

第 I 編 目 次

I	. はし	こめに	
	1. 1	はじめに	I -1
	1.1	本小委員会の対象と WG の構成について	I -1
	1.2	名称について	I -4
	1.3	用語について	I -5

1. はじめに

1.1 本小委員会の対象と WG の構成について

コンクリート標準示方書 [施工編:本編]では、完成した構造物のコンクリートが設計で設定された特性値を満足しており、構造物の断面および構造諸元が設計図どおりである構造物が構築されるならば、その具体な製造仕様および施工方法は規定しないことが原則であることが記されている。すなわち、設計図書に示される要求性能を満足するコンクリート構造物を造ることができれば、あらゆる種類のコンクリートは使用可能である。

これに対して、[施工編:施工標準] は、標準的な構造物を構築するうえでの材料および施工方法の仕様を規定することで、出来上がった構造物の性能を担保するものであり、いわゆるみなし規定を定めたものである。ここで対象とする一般的な工事とは、コンクリートの設計基準強度が 50N/mm² 未満、打込みの最小スランプは 16cm 以下、場外運搬はトラックアジテータ、場内運搬は水平換算圧送距離が 300m 未満のコンクリートポンプによる圧送、棒状バイブレータによる締固め等を想定している (表 1 参照).

作業区分	項		標準
等極	現場までの運搬方法	トラックアジテータ	
運搬	現場内での運搬方法	コンクリートポンプ	
	自由落下高さ(吐出口から打込み	面までの高さ)	1.5m 以内
	一層当りの打込み高さ	40~50cm	
+T`I 7.	練混ぜから打終わりまでの時間	外気温 25℃以下の場合	2 時間以内
打込み	旅化セから打除わりまでの時间	外気温 25℃を超える場合	1.5 時間以内
	許容打重ね時間間隔	外気温 25℃以下の場合	2.5 時間
	計分打里44時间间欄	外気温 25℃を超える場合	2.0 時間
	締固め方法		棒状バイブレータ
締固め	挿入間隔		50cm 程度
种回の	挿入深さ		下層のコンクリートに 10cm 程度
	一箇所当りの振動時間		5~15 秒

表 1 [施工編:施工標準]で対象とする標準的な施工方法

[施工編:施工標準] の6章レディーミクストコンクリートでは,表2に示したJISA5308:2014の太枠に示された組合わせを対象としており,スランプ21cmのコンクリートは対象外になっている.

2019 年に JIS A 5308 が改正された. その主な目的は、生産性向上に寄与すること、高強度コンクリートの利用を推進すること、環境負荷低減を実現することである. 普通コンクリートの改正に着目すると、スランプフローで管理するコンクリートが追加されている (表3参照). 示方書では、スランプフローで管理する普通コンクリートとして、[施工編:特殊コンクリート] に高流動コンクリートが示されている. なお、示方書の高流動コンクリートには強度の規定は無いため、普通強度コンクリートかつ高流動コンクリート。高強度コンクリートかつ高流動コンクリートの可能性はあるが、改正された JIS との対応を簡易に議論するため、ここでは、設計基準強度が 50N/mm²未満の高流動コンクリートを主な対象とする.

表 2 JIS A 5308:2014 に示されているレディーミクストコンクリートの種類 (普通コンクリート・軽量コンクリート・高強度コンクリート)

種類	Gmax	SL/SF(注)						呼(び強度	度					
生织	(mm)	(cm)	18	21	24	27	30	33	36	40	42	45	50	55	60
	20, 25	8, 10, 12 15, 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			—
普通		21	_	0	0	0	0	0	0	0	0	0	_	_	
	40	5, 8, 10, 12, 15	0	0	0	0	0	_		_	_	_	_	_	_
軽量	15	8, 10, 12, 15 18, 21	0	0	0	0	0	0	0	0					
高強度	20 25	10, 15, 18		_	_	_	_		_	_	_		0		
	20, 25	50, 60					_		_				0	0	0

⁽注) 荷卸し地点の値であり、50cm、60cm がスランプフローの目標値である.

表 3 JIS A 5308:2019 に示されているレディーミクストコンクリートの種類 (普通コンクリート)

種類	Gmax	SL/SF(注)						呼(び強度	度					
个里头只	(mm)	(cm)	18	21	24	27	30	33	36	40	42	45	50	55	60
		8, 10, 12 15, 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			_
	20, 25	21	_	0	0	0	0	0	0	0	0	0		_	_
		45	_		_	0	0	0	0	0	0	0		_	_
普通		50	_		_	_	_	0	0	0	0	0		_	_
		55	_	_	_		_	_	0	0	0	0	_	_	
		60	_	_	_	_	_	_	_	0	0	0		_	
	40	5, 8, 10, 12, 15	0	0	0	0	0	—	_	—	—				_

⁽注) 荷卸し地点の値であり、45cm、50cm、55cm、60cm がスランプフローの目標値である.

[施工編:特殊コンクリート]では、高流動コンクリートは、「フレッシュコンクリートの材料分離抵抗性を損なうことなく流動性を高めたコンクリートで、流動性がスランプフローで管理されるコンクリートである」と解説されている。高流動コンクリートは、自己充塡性(締固めを行わなくても自重のみで型枠内の隅々まで均質に充塡する性能)を有する高流動コンクリートと、構造物の施工条件に応じて軽微な締固めを必要とする高流動コンクリートに分類される(図 1 参照)。このうち、自己充塡性を有する高流動コンクリートの技術情報が整理されている。

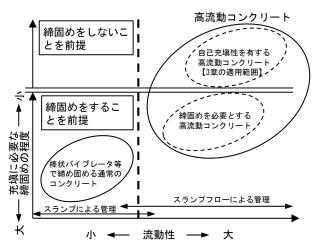


図1 流動性と充塡に必要な締固めの程度の関係

自己充塡性を有する高流動コンクリートの自己充塡性には、ランク 1、ランク 2、ランク 3 が定められており、その性状をスランプフローのみで規定することはできないが、JIS 規定と比較する上で、簡易的にスランプフローのみに着目する。ランク 1 では 65~75cm、ランク 2 では 60~70cm、ランク 3 では 55~65cm が、過去の実績に基づく一般的な範囲として例示されている。これらの範囲の中央値に着目すると、改定された JIS のスランプフロー 60cm が自己充塡性を有する高流動コンクリートのランク 3 に相当すると考えられる。表 4 に、[施工編:施工標準] および自己充塡性を有する高流動コンクリートの範囲を太枠で示し、現在の示方書では技術情報の整理がなされていない範囲を点線枠で示す。

表 4 JIS A 5308:2019 に示されているレディーミクストコンクリートの種類 (普通コンクリート)

1年* 2	Gmax	SL/SF(注)						呼	び強度	度					
種類	(mm)	(cm)	18	21	24	27	30	33	36	40	42	45	50	55	60
20,		8, 10, 12 15, 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—		
		21	_	0	0	0	0	0	0	0	0	0	 	_	
	20, 25	45	_	_	_	0	0	0	0	0	0	0	_		
普通		50	_	_	_	_	_	0	0	0	0	0	_		
		55	1	_	_	_	_		0	0	0	0	1		
		60	_	_	_	_	_	_	_	\circ	0	0	_		
	40	5, 8, 10, 12, 15	0	0	0	0	0			—	—	—			

(注) 荷卸し地点の値であり, 45cm, 50cm, 55cm, 60cm がスランプフローの目標値である.

本小委員会では、表 4 の点線枠で示した範囲のコンクリートを対象として、その技術の現状等をとりまとめることを目的とした。なお、対象とするコンクリートは、スランプ 21cm からスランプフロー55cm までと非常に範囲が広く、そもそも使用する目的が異なることが想定される。また、[施工編:特殊コンクリート] 高流動コンクリートの定義に従うと、スランプフローで管理するコンクリートは全て高流動コンクリートに属することになるが、その範囲も広い。特に、スランプフローが小さいコンクリートを、自己充塡性を有する高流動コンクリートと比較して議論することは難しいことが想定され、両者の決定的な違いは「締固め」にあると考えられる。締固めが必要なコンクリートであれば、その施工については、自己充塡性を有する高流動コンクリートよりも、[施工編:施工標準] に示される普通コンクリートとの比較の方が適切であると考えられる。

そこで、本小委員会では、「施工編:施工標準」に示される普通コンクリートとの比較から、本小委員会で対象としたコンクリートの特徴や、施工上の課題等を整理する WG(普通コンクリートとの相違点検討 WG)で、情報を網羅的に整理した。その中で、対象とするコンクリートを実構造物に適用するにあたり、特に検討が必要と考えられる項目をピックアップして技術的な課題を整理する WG(配合設計・製造・施工における特徴検討 WG)と、主に材料分離抵抗性に着目した品質の評価方法を検討する WG(品質評価 WG)を設置して検討した。

1.2 名称について

締固めを必要とする高流動コンクリートに関しては、コンクリートライブラリー136 高流動コンクリートの配合設計・施工指針 [2012 年版] の資料編に、施工事例が記載されている。この資料では、トンネル覆工、沈埋函、ケーソン、建築構造物等の事例が既往の文献をもとに紹介されている。それぞれの資料を見ると、各団体で次の様な技術情報が整理されている。

トンネル覆工 2008 年に東・中・西日本高速道路株式会社からトンネル施工管理要領「中流動覆工コンクリート編」

沈埋函 2004 年に(財)沿岸開発技術研究センターから鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を 対象とした加振併用型充てんコンクリートマニュアル

港湾用プレキャ 2000年にコンクリート工学年次論文集でスランプフローが 500mm 程度のコンクリート(流 ストケーソン 動コンクリートと称している)の開発が報告

桟橋の SRC はり 2002 年にコンクリート工学でスランプフロー425mm のコンクリート (中流動コンクリート と称している) の開発が報告

建築構物 (SC 造) 2005 年にコンクリート工学年次論文集で流動化剤を用いてスランプフローが 450mm 程度 としたコンクリート (中流動コンクリートと称している) の開発が報告

以上から、中流動コンクリート、流動コンクリート、加振併用型充てんコンクリート等、類似のコンクリートに対して、名称が異なっていることがわかる。また、2019年12月18日に開催された、日本建設業連合会の「建築分野における高流動性コンクリートの普及に関する研究WG成果報告」では、高流動性コンクリートを、高流動コンクリートの目標スランプフローに含まれない45cm および50cm も対象としているために、便宜上の名称として使用している。

この小委員会でも、名称について議論した. 主な議論を次に示す.

中流動コンクリート 現在、最も多く用いられている用語. ただし、覆エコンクリートの印象が強い.

高流動性コンクリート 自己充塡性を有する高流動コンクリートが、一般的に高流動コンクリートとして

認識されているため、「性」をつけることで広い範囲の意味とする. ただし、定義

が曖昧になる.

フロー管理コンクリート 従来のスランプ管理のコンクリートと区別するための用語であるが、高流動コン

クリートの定義に従うと、自己充塡性を有する高流動コンクリートも含まれるた

め, 差別化できていない.

以上の様にそれぞれの名称には一長一短があり、統一した意見をまとめることが難しいと判断し、現状としては、示方書で定義されている「締固めを必要とする高流動コンクリート」を用いることとした.

1.3 用語について

フレッシュコンクリートの特徴を表現する物理量には、一般に使用されるスランプ/スランプフロー、空気量、凝結の始発および終結時間、ブリーディング量/率や、高流動コンクリートの充塡試験方法(案)に基づく充塡高さおよび充塡時間、高流動コンクリートの漏斗を用いた流下試験方法(案)に基づく流下時間等があり、いずれも試験規格が定められている。一方で、フレッシュコンクリートの特徴を表現する用語には、流動性、材料分離抵抗性、間隙通過性、充塡性、圧送性等がある。試験規格に基づいた物理量については、誤解無く技術コミュニケーションが可能であるが、明確な物理量の定義の無い用語については、ミスコミュニケーションが生じる可能性がある。そこで、改めて示方書施工編と「高流動コンクリートの配合設計・施工指針(2012 年版)」(以下、高流動指針)の記述を引用し、締固めを必要とする高流動コンクリートの「充塡性」の定義について整理する。

示方書施工編の本編および施工標準を参照すると、「施工に求められるコンクリートの性能」の1つの要素としてワーカビリティーがあり、そのワーカビリティーとして充填性、圧送性、凝結特性を取り上げて記述していることがわかる。充填性は、「打ち込んだコンクリートが、振動締固めを通じて材料分離することなく鉄筋間を円滑に通過し、かぶり部や隅角部等に密実に充填できる品質である。」と解説されている。また、充填性については、「コンクリートの流動性と材料分離抵抗性に基づいて定める」との記述がある。さらに、流動性はスランプ、材料分離抵抗性は単位セメント量あるいは単位粉体量と読み替えてよいと考えられている。

高流動指針を参照すると、示方書施工編では定義されていない「間隙通過性」について定義している。本編の用語の定義には、「フレッシュコンクリートが鉄筋間等の狭窄部を材料分離を生じることなく通過する性能」とあり、その解説には「型枠内に打込んだフレッシュコンクリートが、バイブレータによる振動締固め作業を行わなくとも、自重のみで、鉄筋間などの狭窄部を材料分離を生じることなく通過する性能」とある。これは、自己充填性を有する高流動コンクリートを対象にした説明であり、普通コンクリートとは異なり、高密度配筋の部材へ適用することを念頭に、間隙通過性を定義していると考えられる。

以上から、締固めを必要とする高流動コンクリートの充塡性については、施工標準で記述されている「流動性」、

「材料分離抵抗性」に加えて、高流動指針で定義されている「間隙通過性」も考慮する必要があると考えられる. これは、高流動指針の配合設計標準に、粉体系、併用系、増粘系の配合設計について、具体的な記述については若干異なる表現が確認されるものの、基本的には、充塡性を流動性、材料分離抵抗性、間隙通過性の3つの指標で把握することが記述されていることからもわかる. さらに、流動性についてはスランプフローから、材料分離抵抗性および間隙通過性については、単独で評価ができる試験方法はないので、漏斗流下試験の流下時間およびスランプフロー試験の500mmフロー到達時間で評価することが多いと記述されている(併用系の配合設計では、間隙通過性は漏斗流下時間で評価できるとの記述もある). これらを表形式で整理したものを表5に示す.

表 5 充塡性を構成する要素と物理指標の整理

		施工標準	高流動指針
	流動性	スランプ	スランプフロー
充塡性	材料分離抵抗性	単位セメント量 単位粉体量	漏斗流下試験の流下時間 スランプフロー試験の 500mm フロー到達時間
	間隙通過性	_	

なお、間隙通過性について誤解しやすいのは、「ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法(案)(JSCE-F701-2016)」の存在である.試験方法の名称から間隙通過性を把握するための試験方法であると思えるし、試験規格の適用範囲にも「間隙通過性を試験する方法について規定する」との記述はある.しかし、この試験を用いることを提案しているのは、「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針(2016 年版)」であり、その指針の2.2 充填性の解説に「加振条件下でのコンクリートの充填性の評価を目的としたものである.」との記述や、5.7 試し練りの解説に「なお、高密度な配筋部材を施工対象とした場合等において、試し練りの段階で充填性の確認が必要な場合には、これを確認する試験方法として「ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法(案)」(JSCE-F 511)がある.」とあるように、この試験で把握するのは、間隙通過性ではなく充填性であると考えられる.

(執筆者:加藤 佳孝)

第Ⅱ編 委員会報告1

「普通コンクリートとの相違点」 (普通コンクリートとの相違点検討 WG)

第 Ⅱ 編 目 次

${\rm I\hspace{1em}I}$.	普通	コンクリー	-トとの	相違点	
	1.	はじめに.			. <u>I</u> I −1
	2.	締固めを必	必要とす	る高流動コンクリートの位置づけに関するアンケート	
		調査			. Ⅱ −3
	2.	1 位置づ	けに関す	- る議論	. II −3
	2.	2 アンケ	ートの想	无要	. Ⅱ-6
	2.	3 アンケ	ートの編	告果	Ⅱ -17
		2.3.1	アンケー	- ト結果の概要	Ⅱ -17
		2.3.2	材料分离	惟抵抗性の確保に必要な単位粉体量(単位セメント量)	I I −19
		2.3.3	はり部を	†(厚みがある部材)を対象とした適用範囲に関する調査.	II -21
		2.3.4	壁部材	(厚みがない部材)を対象とした適用範囲に関する調査	II -27
		2. 3. 5	標準的な	よ施工方法に関する調査	Ⅱ -34
	3.	締固めを必	必要とす	る高流動コンクリートにおいて特に留意が必要な事項	
		の整理			II -38
	3.	1 整理の	目的		II -38
	3.	2 留意が	必要な事	耳項の整理	II -38
		3. 2. 1	1章	総則	II -38
		3.2.2	2 章	コンクリートの品質	II -39
		3. 2. 3	3 章	材料	Ⅱ -40
		3. 2. 4	4 章	配合設計	Ⅱ -41
		3. 2. 5	5 章	製造	Ⅱ -43
		3. 2. 6	6 章	レディーミクストコンクリート	Ⅱ -44
		3. 2. 7	7章	運搬・打込み・締固めおよび仕上げ	II -45
		3.2.8	8章	養生	Ⅱ -46
		3.2.9	9章	継目	Ⅱ -47
		3. 2. 10	10 章	鉄筋工	Ⅱ -48
		3. 2. 11	11章	型枠および支保工	Ⅱ -48
		3. 2. 12	12 章	寒中コンクリート	Ⅱ -51
		3. 2. 13	13 章	暑中コンクリート	Ⅱ -52
		3. 2. 14	14 章	マスコンクリート	Ⅱ -52
		3. 2. 15	15 章	品質管理	Ⅱ -54
		3. 2. 16	16 章	施工記録	Ⅱ -55
		3. 2. 17	17章	その他の施工上の留意事項	II -56
	9	9 ましめ			п гс

Ⅱ. 普通コンクリートとの相違点

1. はじめに

普通コンクリートとの相違点検討 WG (以下,本 WG と記す)は、締固めを必要とする高流動コンクリートが、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準]に示される普通コンクリートの延長線上に位置するものと捉え、流動性が大きくなることに伴う技術的な課題を抽出・整理することを目的として活動を行った.

締固めを必要とする高流動コンクリートは、山岳トンネルの覆工コンクリートではすでに広く適用されているが、一般的なコンクリート部材への適用例はいまだ少なく、配合設計、フレッシュコンクリートの良否の判定および施工の具体的な方法は統一的には確立されておらず、その工事に携わる技術者の経験的な判断によって行われているのが実情である.

そこで、本WGでは、大学、ゼネコン、専門業者、混和剤およびセメントメーカに属する技術者が委員として参画し、はじめに、各委員がイメージする締固めを必要とする高流動コンクリートの姿・在り方について議論した。その結果、締固めを必要とする高流動コンクリートの流動性の範囲は概ね一致するものの、材料分離を確保するための具体的な方法や、施工方法に関しては委員により意見が異なる部分が多いことが明らかとなった。この要因としては、締固めを必要とする高流動コンクリートが、普通コンクリートと自己充填性を有する高流動コンクリートとの中間に位置するとした場合でも、その上限側と下限側では流動性のレベルは大きく異なり、配合設計や施工の方法が大きく異なることや、締固めを必要とする高流動コンクリートの使用目的が、生産性を向上するために用いる場合と普通コンクリートでは施工が困難なために用いる場合とでは、求められるワーカビリティーも相違することなどが挙げられた。

そのため、2 章において、本委員会に参加する委員を対象に、締固めを必要とする高流動コンクリートの位置づけに関するアンケート調査を実施した. 具体的には、流動性のレベルを便宜上3つに分類し、それぞれの流動性のレベルの締固めを必要とする高流動コンクリートが適当な材料分離抵抗性を確保するために必要となる単位セメント量(単位粉体量)の範囲を調査するとともに、コンクリート標準示方書[施工編:施工標準]に示されるはり部材および柱部材における打込みの最小スランプの表を対象に、分類したコンクリートの適用の可否とその理由、使用目的について調査した.

一方,コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準]では、打込みの最小スランプが16cm以下の普通コンクリートを対象に、これまでの長年の経験や知見を踏まえて、標準的な施工方法が示されているとともに、配合設計、製造、運搬、打込みおよび締固め、養生、型枠および支保工といった一連の作業に関する原則や留意点が詳細に記述されている。このため、普通コンクリートに比べ流動性の大きい締固めを必要とする高流動コンクリートを用いた場合の一連の作業の標準的な在り方を検討する上では、同書に記述される個々の原則や留意点が、締固めを必要とする高流動コンクリートにも準用できるか否かを検討することが有効と考えられた。

3 章では、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準] の記述内容について、対象とするコンクリートを普通コンクリートから締固めを必要とする高流動コンクリートに置き換えた場合に、そのまま準用できる

事項,特別な配慮や新たな考え方を必要とする事項などの抽出を行った. さらに,後者の場合には具体的な 対応策や今後の検討内容についての提案を行った.

(執筆者:桜井 邦昭)

2. 締固めを必要とする高流動コンクリートの位置づけに関するアンケート調査

2.1 位置づけに関する議論

コンクリート標準示方書 [施工編:特殊コンクリート] 3 章高流動コンクリートでは、流動性と充塡に必要な締固めの程度の関係の概念図を図2.1.1のように示している。この図において、締固めを必要とする高流動コンクリートは、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準]で対象とする普通コンクリートとコンクリート標準示方書 [施工編:特殊コンクリート] 3 章高流動コンクリートで対象とする自己充塡性を有する高流動コンクリートとの中間の流動性を有するコンクリートであるとともに、「締固めをすることを前提」とするものの、充塡に必要な締固めの程度が普通コンクリートよりも小さいコンクリートであると解釈することができる。

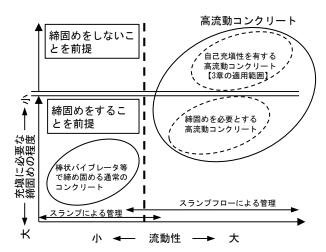


図 2.1.1 コンクリート標準示方書 [施工編:特殊コンクリート] 3 章高流動コンクリートにおける流動性と 充塡に必要な締固めの程度の関係

図2.1.1 のように、流動性を「軸」として表現した場合、締固めを必要とする高流動コンクリートの立ち位置・姿は、一見理解しやすいように思われるが、実際には普通コンクリートと重複する領域から自己充填性を有する高流動コンクリートと重複する領域までと広範囲であり、フレッシュコンクリートの状態も大きく異なる。このため、締固めを必要とする高流動コンクリートの配合選定、施工および評価試験などの具体的な方法を一括りで表現することは難しく、当然、普通コンクリートに近い領域と自己充填性を有する高流動コンクリートに近い領域とでは異なる項目・要因もあると想定される。締固めを必要とする高流動コンクリートを実際の工事に広く活用していく上では、締固めを必要とする高流動コンクリートの位置づけ(定義づけ)を行い、それに基づいて配合設計、材料選定、製造、施工に係る各種の具体的な方法を整理していく必要があると考えられる。

そこで、本WGでは、はじめに締固めを必要とする高流動コンクリートの位置づけ(流動性の範囲、締固めの程度、材料分離に対する考え方、使用目的など)に関して多くの議論を行った。以下にその概要を示す。 (1) 流動性の範囲

大半の委員が、締固めを必要とする高流動コンクリートの流動性の範囲は「スランプ 21cm 以上で、スランプフロー50 ないし 55cm 以下」とのイメージを持っていた。これは、①コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準]で対象とする普通コンクリートの範囲は、打込みの最小スランプが 16cm 以下(許容差や運搬および圧送に伴う流動性の低下を見込むと荷卸し時の目標スランプは 18cm 程度になる)であり、コンクリート標準示方書 [施工編:特殊コンクリート]3 章高流動コンクリートで対象とする自己充塡性を有する高流動コ

ンクリートのうち、最も流動性の小さいランク 3 のスランプフローの目安が 550~650mm であること、②山 岳トンネルの覆エコンクリートで広く活用されている中流動覆エコンクリート (施工管理要領では、流動性 はスランプ 21±2.5cm とスランプフロー35~50cm が併記されている) の流動性の範囲とおおむね同じであることから、委員のイメージする流動性の範囲に大きな違いがなかったものと考えられる.

また、締固めを必要とする高流動コンクリートの範囲は、現状のコンクリート標準示方書【施工編】に示される各種コンクリートの範囲でカバーできていない部分と捉えることもできるのではないかとの意見も出された. 図ー2.1.2 に、横軸を流動性、縦軸を設計基準強度としたときの各種コンクリートの範囲を示す. [施工編:施工標準]で対象とする普通コンクリートは設計基準強度が 50N/mm²以下であり、流動性の範囲は上述の通りである. [施工編:特殊コンクリート]3章 高流動コンクリートで対象とする範囲は、自己充填性のランクに応じて、流動性(スランプフロー)の目標値を、ランク 1 は 700mm(650~750mm)、ランク 2 は 650mm(660~700mm)、ランク 3 は 600mm(550~650mm)としている. [施工編:特殊コンクリート]2章 流動化コンクリートでは、流動化後のスランプは 18cm 以下を原則としている. なお、増粘剤成分を含有した流動化剤を適切に用いることでスランプ 18cm よりも流動性を高めた流動化コンクリートが製造できることも示されている. [施工編:特殊コンクリート]4章 高強度コンクリートは、設計基準強度 50~100N/mm²のコンクリートを対象としている. 流動性の目安は、設計基準強度が 50N/mm²程度では荷卸し時の目標スランプを 18~21cm 程度、設計基準強度が 50N/mm²以上の高強度領域では荷卸し時の目標スランプフローを 50~65cm 程度と示している. また、流動性の評価指標として、スランプとスランプフローのいずれを用いるかについては、スランプ 21cm を超えて、スランプフロー50cm 以上となる場合にスランプフローが用いられることが多いと示している.

図-2.1.2 より、現状のコンクリート標準示方書【施工編】でカバーされていない範囲は、設計基準強度が 50N/mm²以下で、流動性がスランプ 21cm 以上からスランプフロー55cm 程度以下となり、上述の多くの委員がイメージする締固めを必要とする高流動コンクリートの範囲とおおむね一致している. なお、[施工編:施工標準]では、打込み時の流動性の最小値(打込みの最小スランプ)を定めているが、[施工編:特殊コンクリート]の各章のコンクリートの流動性は、どの時点における目標値であるかは明確には記述されていない. これは、「施工標準」もしくは「特殊コンクリート」のいずれとして取り扱うかによって相違していると考えられ、締固めを必要とする高流動コンクリートをいずれとして取り扱うかについての検討も必要であるとの意見も出された.

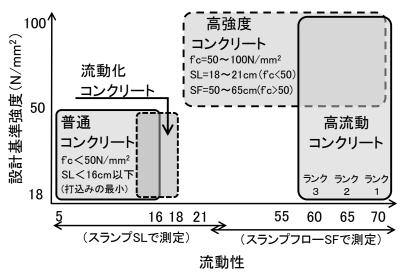


図-2.1.2 コンクリート標準示方書【施工編】に示される各種コンクリートの範囲

(2) 締固めの程度

普通コンクリートの場合,1箇所当りの締固め時間は5~15秒が標準とされているのに対し,自己充填性を有する高流動コンクリートは締固めを行わないことを前提としていることから,締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めの時間の標準は,その中間ないしは5秒程度になるのではないかとの意見が多かった.一方で,普通コンクリートは流動性が小さいため未充填の発生を防止するために,しっかりと締め固めることが必要であるが,締固めを必要とする高流動コンクリートは流動性が高く材料分離が生じやすいため,普通コンクリートと同じような目的で締固めを行うと材料分離を誘発し,かえって品質を損なうおそれがあり,「締固め」に対する考え方が異なるのではないかとの意見も出された。さらに,普通コンクリートのように流動性が小さい場合と締固めを必要とする高流動コンクリートのように流動性が大きい場合とでは,棒状バイブレータによる振動エネルギーの伝搬範囲が異なると考えられることから,締固め間隔や締固めの方法(棒状バイブレータではなく,型枠バイブレータを用いることも含む)についての検討も必要であるとの意見もあった。

普通コンクリートは、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準] 4.5.2 スランプにおいて、部材の種類ごとに、鋼材量・鋼材のあきと締固め作業高さに応じて、打込みの最小スランプが定められている。つまり、普通コンクリートでは締固めは5~15秒間/箇所行うことを前提として、配筋および施工条件に応じて流動性を変化させていると考えることができる。自己充填性を有する高流動コンクリートも配筋条件に応じて自己充填性ランクを区分しており、それに応じてスランプフローの目安も変化させている。これらを踏まえると、締固めを必要とする高流動コンクリートについても、補助的に締め固めることを前提として、配筋条件や施工条件に応じて流動性のレベルを変化させるという区分の方法もあるのではないかとの意見も出された。

(3) 材料分離に対する考え方

締固めを必要とする高流動コンクリートは、比較的セメント量が少ない状態のまま、流動性を高めたコンクリートであることから、普通コンクリートに比べて材料分離抵抗性は低下するため、材料分離抵抗性を担保する定量的な指標や評価方法が不可欠であるという意見が多く出された.

具体的には、普通コンクリートは、コンクリート標準示方書[施工編:施工標準]4.6.2 単位粉体量において、「単位粉体量はスランプの大きさに応じて適切な材料分離抵抗性が得られるように設定する」と記述されており、材料分離抵抗性は単位粉体量で担保する考え方が示されているが、締固めを必要とする高流動コンクリートにおいても、単位粉体量で材料分離抵抗性を担保することができるのではないかという意見があった。また、材料分離の試験方法としては、JIS A 1123「コンクリートのブリーディング試験方法」や JSCE-F701「ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法(案)」などがあるが、締固めを必要とする高流動コンクリートに活用できるのではないかという意見もあった。

(4) 使用目的

締固めを必要とする高流動コンクリートの使用目的としては、①配筋条件や施工条件が厳しく普通コンクリートでは施工が困難であるので用いる場合(品質の確保)と、②普通コンクリートでも施工はできるが、昨今の労働者不足などを勘案して、より少人数で容易に施工するために用いる場合(生産性の向上)の2通りがあるとの意見が多く出された。また、前者の目的のためには、現状、自己充塡性を有する高流動コンクリートが使用されているが、そこまでの高い流動性や自己充塡性までは不要である場合もあることから、そのような場合に締固めを必要とする高流動コンクリートを適用すべきであるという意見や、使用目的の違い

により、締固めを必要とする高流動コンクリートに求められるワーカビリティーや施工の方法も相違するのではないかとの意見もあった.

上記の議論の結果,流動性の範囲や材料分離抵抗性の指標・評価手法の必要性は,大半の委員が共通して イメージ・認識していることが明らかとなった.一方で,具体的に材料分離抵抗性を担保するのに必要とな る単位粉体量の具体的な値や,実際にどのような配筋条件や施工条件の場合に締固めを必要とする高流動コ ンクリートを適用するのか,またその目的や使用に際しての留意事項は何かを抽出し整理するには,統一し たフォーマットで調査することが有効と考えられた.

そこで、締固めを必要とする高流動コンクリートの位置づけを整理する目的で、①流動性の範囲と材料分離抵抗性を確保するために必要な単位粉体量の関係、②具体的な部材を対象とした場合における適用の可否とその使用目的、③具体的な施工の方法に関するアンケート調査を本委員会に参加する委員を対象に行うこととした。アンケートの詳細は次節以降に示す。

(執筆者:桜井 邦昭)

2.2 アンケートの概要

土木学会「締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工技術研究小委員会」の委員を対象に、 以下のアンケートを実施した。

アンケートは、締固めを必要とする高流動コンクリートを流動性に基づき 3 つに区分し(A. スランプ:18~21cm [スランプフロー:30cm 前後(30 弱~35cm 程度)], B. スランプ:21cm 超 [スランプフロー:40cm 前後(35~45cm 程度)], C. スランプフロー:50cm 前後(45~55cm 程度)), それぞれ使用する混和剤(高性能 AE 減水剤、増粘剤含有タイプの高性能 AE 減水剤)ごとに、材料分離を生じることなく施工に供することができる必要な単位粉体量(単位セメント量)を調査した.

次に、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準] に示される「鋼材の最小あき、締固め作業高さに応じた打込みの最小スランプの目安」を用いて、厚みのある部材としてはり部材を、厚みの薄い部材として壁部材を対象とし、締固めを必要とする高流動コンクリートの適用範囲のイメージならびに適用あるいは不適用とした理由について調査した.

また、締固めを必要とする高流動コンクリートを用いた場合、「コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準]で対象とする標準的な施工方法」の項目として、「条件が緩和できる」あるいは「厳しくする」項目とその理由についても調査を行った.

次にアンケートの内容を, 2.3節にアンケートの結果を示す.

なお,本WGでは,委員を対象としたアンケートを2回実施しており,次節では2回目のアンケートについて示している.

1回目のアンケートでは、締固めを必要とする高流動コンクリートの流動性のレベルを「スランプ 18~21cm (スランプフロー45cm 未満)」と「スランプフロー45~60cm」の 2 つに区分した.そして,区分した締固めを必要とする高流動コンクリートごとに、適当と考えられる単位粉体量(セメント量)、適用可能な鉄筋のあき、主に使用する締固め方法(棒状バイブレータもしくは型枠バイブレータ)および締固め時間について調査した.

調査の結果、以下のような意見が出された。

- (1) スランプフロー45cm 程度と 60cm 程度では、流動性が大きく異なるため、用いる材料や配合により材料分離抵抗性を確保するための単位粉体量、締固めの方法や締固め時間は相違すると考えられる
- (2) 同じ流動性のコンクリートを用いる場合でも、締固め方法や締固め時間は対象とする部材の種類(形状)や締固め作業高さによって変化すると考えられる
- (3) このコンクリートの使用目的には、[示方書:施工標準]に示される普通コンクリートでは施工できないときの代替として用いる場合と生産性向上のために用いる場合とがある。この使用目的は、部材の種類、鉄筋のあき、締固め作業高さによって異なると考えられることから、アンケートでは使用目的についても調査する必要がある
- (4) このコンクリートを用いることにより、[示方書:施工標準]に示される「標準的な施工方法」をその まま準用すると問題や不具合が生じる要因についても調査するのが望ましい

このため、2回目のアンケートでは、上述のように、流動性の区分を3区分にするとともに、[施工編:施工標準]に示される特徴的な2つの部材(スラブおよび壁)を取り上げて、締固めを必要とする高流動コンクリートを適用する目的および「標準的な施工方法」に示される項目について「条件が緩和できる」あるいは「厳しくする」項目とその理由について調査を実施することとした。

JSCE358委WG1:締固めを必要とする高流動コンクリートの適用範囲に関するアンケート

(所属)	土木学会	(氏名)	358委WG1	【凡例】	選択	入力
------	------	------	---------	------	----	----

はじめに

WGでの議論を受け、締固めを必要とする高流動コンクリート(以下、本コンクリートと記す)の配合 区分を設定した上で、その使用目的について調査を行い、本コンクリートのイメージの共有化を図る。

以下、本コンクリート:Aについてご回答ください。

	流動性の区分	呼び名
A.	スランプ:18〜21cm スランプフロー:30cm前後(30弱〜35cm程度)	SL21
В.	スランプ:21cm超 スランプフロー:40cm前後(35~45cm程度)	SLF40
C.	スランプフロー:50cm前後(45~55cm程度)	SLF50

- A-1. 流動性の区分: SL21の本コンクリートにおいて、高性能性AE減水剤(高機能タイプも可)を使用する場合、必要と思われる単位粉体量(単位セメント量)を選択して下さい。 ※施工対象は、鉄筋のあきが100~200mm程度の一般的な構造物を想定して下さい。
 - 1. 300kg/m³未満
 - 2. 300kg/m³以上~350kg/m³未満
 - 3. 350kg/m³以上~400kg/m³未満
 - 4. 400kg/m³以上~450kg/m³未満
 - 5. 450kg/m³以上~500kg/m³未満
 - 6. 500kg/m³以上

|--|

- A-2. 流動性の区分: SL21の本コンクリートにおいて、増粘剤含有タイプの高性能性AE減水剤を使用する場合、必要と思われる単位粉体量(単位セメント量)を選択して下さい。
 *注:施工対象は、鉄筋のあきが100~200mm程度の一般的な構造物を想定して下さい。
 - 1. 300kg/m³未満
 - 2. 300kg/m³以上~350kg/m³未満
 - 3. 350kg/m³以上~400kg/m³未満
 - 4. 400kg/m³以上~450kg/m³未満
 - 5. 450kg/m³以上~500kg/m³未満
 - 6. 500kg/m³以上

<i>&</i> &	
回答	

A-3-1. 以下の構造条件①~⑨に対して、流動性の区分: SL21の本コンクリートの適用性のイメージ を、以下の4つの中からそれぞれ選択してください。

*注:コンクリートは材料分離が生じない良好な状態を想定して下さい。

はり部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)

	鋼材の最小あき締固め作業高さ				•	
	到所付でプログラングプで 		0.5m未満	0.5m以上1.5m未満	1.5m以上	-
条件①		150mm以上	5	6	8	
*II		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件②	100mm以上	150mm未満	6	8	10	~
*IT						← 1~4をそれぞれ選択
条件③	80mm以上	100mm未満	8	10	12	_
*II®		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件④	60mm以上	80mm未満	10	12	14	~
*II U		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件⑤		60mm未満	12	14	16	_
*II		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択

壁部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)

	 鋼材量	鋼材の最小	調材の最小 締固め作業高さ			-
	婀 // 重	あき	3m未満	3m ≦ X<5m	5m以上	
条件⑥		100mm以上	8	10	15	_
	200kg/m³未満	(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
	200kg/m ⁻ 未海	100mm未満	10	12	15	_
		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件⑦	200kg/m ³ 以上	100mm以上	10	12	15	_
		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
	350kg/m ³ 未満	100mm未満	12	12	15	_
		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件⑧	350kg/m ³ lV F	_	_	15		
	350kg/m ³ 以上	(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択

<選択理由>

- 1. 普通コンクリートでは施工困難のため、本コンクリート (SL21) を使いたい
- 2. 普通コンクリートでも施工可能だが●●(生産性向上,不具合低減,etc)のため、本コンクリート(SL21)を使いたい
- 3. 普通コンクリートで容易に施工できるため、本コンクリート(SL21)は使わない
- 4. 本コンクリート(SL21)で施工すると●●(型枠の剛性Upが必要,etc)という問題が生じるので使わない

<u>A-3-2.</u> <u>A-3-1の回答で選択肢2および選択肢4の理由●●をそれぞれ記載して下さい。</u>

条件①	2の理由:	
*HU	4の理由:	_
条件②	2の理由:	-
	4の理由:	-
条件③	2の理由:	-
*II@	4の理由:	-
条件④	2の理由:	_
*HT	4の理由:	-
条件⑤	2の理由:	_
	4の理由:	-
条件⑥	2の理由:	-
100mm以上	4の理由:	-
条件⑥	2の理由:	-
100mm未満	4の理由:	-
条件⑦	2の理由:	-
100mm以上	4の理由:	-
条件⑦	2の理由:	-
100mm未満	4の理由:	-
条件⑧	2の理由:	_
X110	4の理由:	-

A-4. SL21の本コンクリートを用いた場合、「「施工編:施工標準」で対象とする標準的な施工方法」の項目として、「条件が緩和できる」あるいは「厳しくする」項目は何ですか。その場合、緩和/厳格化が必要な理由を記述して下さい。

作業区分	項目		標準
	自由落下高さ(吐出口から打込み面ま	1.5m以内	
	一層当りの打込み高さ		40~50cm
打込み	練混ぜから打終わりまでの時間	外気温25°C以下の場合	2時間以内
打込み	探庇で かり打 終わりま での 時间	外気温25℃を超える場合	1.5時間以內
	外気温25°C以下の場合 許容打重ね時間間隔 外気温25°Cを超える場合		2.5時間
			2.0時間
	締固め方法	·	棒状バイブレータ
締固め	挿入間隔	50cm程度	
神山の	挿入深さ	下層のコンクリートに10cm程度	
	一箇所当りの振動時間	5~15秒	

緩和/厳格化	項目	必要な理由(裏付けデータがあるとより好ましい)
緩和	(dummy)	(dummy)

以下、本コンクリート:Bについてご回答ください。

	流動性の区分	呼び名
A.	スランプ:18~21cm スランプフロー:30cm前後(30弱~35cm程度)	SL21
В.	スランプ:21cm超 スランプフロー:40cm前後(35〜45cm程度)	SLF40

B-1. 流動性の区分: SLF40の本コンクリートにおいて、高性能性AE減水剤(高機能タイプも可)を使用する場合、必要と思われる単位粉体量(単位セメント量)を選択して下さい。

※施工対象は、鉄筋のあきが100~200mm程度の一般的な構造物を想定して下さい。

- 1. 300kg/m³未満
- 2. 300kg/m³以上~350kg/m³未満
- 3. 350kg/m³以上~400kg/m³未満
- 4. 400kg/m³以上~450kg/m³未満
- 5. 450kg/m³以上~500kg/m³未満
- 6. 500kg/m³以上



B-2. 流動性の区分: SLF40の本コンクリートにおいて、増粘剤含有タイプの高性能性AE減水剤を使用する場合、必要と思われる単位粉体量(単位セメント量)を選択して下さい。

*注:施工対象は、鉄筋のあきが100~200mm程度の一般的な構造物を想定して下さい。

- 1. 300kg/m³未満
- 2. 300kg/m³以上~350kg/m³未満
- 3. 350kg/m³以上~400kg/m³未満
- 4. 400kg/m³以上~450kg/m³未満
- 5. 450kg/m³以上~500kg/m³未満
- 6. 500kg/m³以上

同炫		
叫合		

B-3-1. 以下の構造条件① \sim 9に対して、流動性の区分:SLF40の本コンクリートの適用性のイメージを、以下の4つの中からそれぞれ選択してください。

*注:コンクリートは材料分離が生じない良好な状態を想定して下さい。

はり部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)

	鋼材の最小あき			•		
			0.5m未満	0.5m以上1.5m未満	1.5m以上	-
条件①	150mm以上		5	6	8	
		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件②	100mm以上	150mm未満	6	8	10	~
						← 1~4をそれぞれ選択
条件③	80mm以上	100mm未満	8	10	12	_
		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件④	60mm以上	80mm未満	10	12	14	~
		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件⑤		60mm未満	12	14	16	_
		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択

壁部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)

	鋼材量	鋼材の最小	締固め作業高さ			-
		あき	3m未満	3m ≦ X<5m	5m以上	-
条件⑥		100mm以上	8	10	15	_
	200kg/m ³ 未満	(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
		100mm未満	10	12	15	_
		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件⑦	200kg/m³以上	100mm以上	10	12	15	_
		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
	350kg/m³未満	100mm未満	12	12	15	_
	JJUKg/III 木/峒	(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件⑧	350kg/m³以上	_		15		_
		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択 -

<選択理由>

- 1. 普通コンクリートでは施工困難のため、本コンクリート(SL21)を使いたい
- 2. 普通コンクリートでも施工可能だが●●(生産性向上,不具合低減,etc)のため、本コンクリート(SL21)を使いたい
- 3. 普通コンクリートで容易に施工できるため、本コンクリート(SL21)は使わない
- 4. 本コンクリート(SL21)で施工すると●●(型枠の剛性Upが必要,etc)という問題が生じるので使わない

B-3-2. B-3-1の回答で選択肢2の理由●●をそれぞれ記載して下さい。

F		
条件①	2の理由:	-
*II &	4の理由:	-
条件②	2の理由:	-
	4の理由:	_
条件③	2の理由:	-
*110	4の理由:	_
条件④	2の理由:	_
	4の理由:	_
条件⑤	2の理由:	-
*1	4の理由:	
条件⑥	2の理由:	-
100mm以上	4の理由:	_
条件⑥	2の理由:	-
100mm未満	4の理由:	
条件⑦	2の理由:	-
100mm以上	4の理由:	_
条件⑦	2の理由:	-
100mm未満	4の理由:	_
条件⑧	2の理由:	_
木110	4の理由:	_
-		

B-4. SLF40の本コンクリートを用いた場合、「[施工編:施工標準]で対象とする標準的な施工方法」の項目として、「条件が緩和できる」あるいは「厳しくする」項目は何ですか。その場合、緩和/厳格化が必要な理由を記述して下さい。

作業区分	項目		標準		
	自由落下高さ(吐出口から打込み面ま	きでの高さ)	1.5m以内		
	一層当りの打込み高さ	40~50cm			
打込み	練混ぜから打終わりまでの時間	外気温25°C以下の場合	2時間以内		
打込み	探庇で かり打 終わりま での 時间	外気温25℃を超える場合	1.5時間以內		
	許容打重ね時間間隔	外気温25°C以下の場合	2.5時間		
	計合打里は时间间隔	外気温25℃を超える場合	2.0時間		
	締固め方法	·	棒状バイブレータ		
締固め	挿入間隔	50cm程度			
神山の	挿入深さ	下層のコンクリートに10cm程度			
	一箇所当りの振動時間	一箇所当りの振動時間			

緩和/厳格化	項目	必要な理由(裏付けデータがあるとより好ましい)
緩和	(dummy)	(dummy)

以下、本コンクリート:Cについてご回答ください。

	流動性の区分	呼び名
A.	スランプ:18~21cm スランプフロー:30cm前後(30弱~35cm程度)	SL21
В.	スランプ:21cm超 スランプフロー:40cm前後(35~45cm程度)	SLF40
C.	スランプフロー:50cm前後(45~55cm程度)	SLF50

- C-1. 流動性の区分: SLF50の本コンクリートにおいて、高性能性AE減水剤(高機能タイプも可)を使用する場合、必要と思われる単位粉体量(単位セメント量)を選択して下さい。
 - ※施工対象は、鉄筋のあきが100~200mm程度の一般的な構造物を想定して下さい。
 - 1. 300kg/m³未満
 - 2. 300kg/m³以上~350kg/m³未満
 - 3. 350kg/m³以上~400kg/m³未満
 - 4. 400kg/m³以上~450kg/m³未満
 - 5. 450kg/m³以上~500kg/m³未満
 - 6. 500kg/m³以上



- <u>C-2.</u> 流動性の区分: SLF50の本コンクリートにおいて、増粘剤含有タイプの高性能性AE減水剤を使用する場合、必要と思われる単位粉体量(単位セメント量)を選択して下さい。
 - *注:施工対象は、鉄筋のあきが100~200mm程度の一般的な構造物を想定して下さい。
 - 1. 300kg/m³未満
 - 2. 300kg/m³以上~350kg/m³未満
 - 3. 350kg/m³以上~400kg/m³未満
 - 4. 400kg/m³以上~450kg/m³未満
 - 5. 450kg/m³以上~500kg/m³未満
 - 6. 500kg/m³以上

回答		

<u>C-3-1.</u> 以下の構造条件①~⑨に対して、流動性の区分: SLF50の本コンクリートの適用性のイメージを、以下の4つの中からそれぞれ選択してください。

*注:コンクリートは材料分離が生じない良好な状態を想定して下さい。

はり部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)

	鋼材の最	型小 な き		_		
	到明171 Vノ耳	z/1\0) C	0.5m未満	0.5m以上1.5m未満	1.5m以上	_
条件①		150mm以上	5	6	8	
*ITU		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件②	100mm以上	150mm未満	6	8	10	
余什么						← 1~4をそれぞれ選択
条件③	80mm以上	100mm未満	8	10	12	_
*II®		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件④	60mm以上	80mm未満	10	12	14	
*II &		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件⑤		60mm未満	12	14	16	_
*II		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択

壁部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)

	鋼材量	鋼材の最小	7	締固め作業高さ		=
	興化 里	あき	3m未満	3m ≦ X<5m	5m以上	-
		100mm以上	8	10	15	_
条件⑥	200kg/m ³ 未満	(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
来什么	200kg/III 未间	100mm未満	10	12	15	_
		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
	- 200kg/m³以上	100mm以上	10	12	15	
条件(7)	200kg/III 以上	(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
*!	350kg/m ³ 未満	100mm未満	12	12	15	
	550kg/III 未间	(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択
条件⑧		_	_	15		_
		(選択理由)				← 1~4をそれぞれ選択 -

<選択理由>

- 1. 普通コンクリートでは施工困難のため、本コンクリート(SL21)を使いたい
- 2. 普通コンクリートでも施工可能だが●●(生産性向上,不具合低減,etc)のため、本コンクリート(SL21)を使いたい
- 3. 普通コンクリートで容易に施工できるため、本コンクリート(SL21)は使わない
- 4. 本コンクリート(SL21)で施工すると●●(型枠の剛性Upが必要,etc)という問題が生じるので使わない

<u>C-3-2.</u> <u>C-3-1の回答で選択肢2の理由●●をそれぞれ記載して下さい。</u>

A 14 (1)	2の理由:	-
条件①	4の理由:	_
条件②	2の理由:	_
*1	4の理由:	_
条件③	2の理由:	-
*119	4の理由:	-
条件④	2の理由:	_
	4の理由:	-
条件⑤	2の理由:	_
	4の理由:	-
条件⑥	2の理由:	-
100mm以上	4の理由:	-
条件⑥	2の理由:	_
100mm未満	4の理由:	-
条件⑦	2の理由:	_
100mm以上	4の理由:	-
条件⑦	2の理由:	_
100mm未満	4の理由:	_
条件⑧	2の理由:	_
×110	4の理由:	-

C-4. SLF50の本コンクリートを用いた場合、「[施工編:施工標準]で対象とする標準的な施工方法」の項目として、「条件が緩和できる」あるいは「厳しくする」項目は何ですか。その場合、緩和/厳格化が必要な理由を記述して下さい。

作業区分	項目		標準		
	自由落下高さ(吐出口から打込み面ま	きでの高さ)	1.5m以内		
	一層当りの打込み高さ	40~50cm			
打込み	練混ぜから打終わりまでの時間	外気温25°C以下の場合	2時間以内		
打込み	探庇で かり打 終わりま での 時间	外気温25℃を超える場合	1.5時間以內		
	許容打重ね時間間隔	外気温25°C以下の場合	2.5時間		
	計合打里は时间间隔	外気温25℃を超える場合	2.0時間		
	締固め方法	·	棒状バイブレータ		
締固め	挿入間隔	50cm程度			
神山の	挿入深さ	下層のコンクリートに10cm程度			
	一箇所当りの振動時間	一箇所当りの振動時間			

緩和/厳格化	項目	必要な理由(裏付けデータがあるとより好ましい)
緩和	(dummy)	(dummy)

2.3 アンケートの結果

2.3.1 アンケート結果の概要

本委員会の委員を対象にアンケートを実施した結果,20件の回答を得た.

回答者の属性は,施工者(建設会社):11件,製造者(コンクリート製造,混和剤メーカー):8件,大学:1件となった.

アンケート集計は、各設問に対し有効と判断された回答群に基づき実施した。未回答ならびに読み取り不可能な項目については、原則、空欄として取扱いその数を計上しているが、設問によって母数が異なることがある.

アンケート集計に際しては、円グラフおよび棒グラフで表記した(グラフ内の数値は、回答数、回答が占める割合を意味する)。回答結果の概要を \mathbf{Z} 2.3.1 に示す。

						1							
項目		スランプ:18~21cm (SL21)			スランプ:21cm 超(SLF40)			スランプ:- (SLF50)					
X.I.		スランプフロー:30cm 前後				スランプフロー:40cm 前後			スランプフロー:50cm 前後				
単位粉体量	高性能 AE	・450~500kg/m³の回答:0%				・450~500kg/m³の回答:5%			・450~500kg/m³の回答:25%				
	減水剤	∙ 400~450k	g/m³ ø	回答:0%		• 400∼450kg	$g/m^3 \sigma$)回答:30%	\sum	· 400∼450k	g/m³ ග	回答:45%	
※必要な単位		∙ 350~400k	g/m³ Ø	回答:45%	\sum	· 350~400kg	$g/m^3 \sigma$)回答:35% ~		· 350~400kg	g/m³の	回答:20%	
粉 体 量 は		・300~350kg/m³の回答:50%				·300∼350kg	g/m³の	回答:25%		·300~350kg	g/m³の	回答:0%	
300kg/m³ 以		• 300kg/m³ =	ト満の 回]答 : 0%		・300kg/m³ オ	満の回	回答 : 0%		· 300kg/m³ ₹	ト満の 回]答:0%	
上		→Min: 300k	g/m³以	人上確保 で過半	数超	→Min: 350k	g/m³以	以上確保 で過半	数超	→Min: 400k	g/m³以	人上確保 で過半	é数超
	増粘剤含	∙ 450∼500k	g/m³ Ø	回答:0%		· 450∼500kg	g/m³ σ.)回答:0%		· 450∼500k	g/m³ ø	回答:0%	
	有高性能	∙ 400~450k	g/m³ Ø	回答:0%		· 400~450kg	$g/m^3 \sigma$)回答:5%		· 400∼450k	g/m³ σ	回答:30%	
	AE 減水剤	∙ 350~400k	g/m³ Ø	回答:20%		· 350∼400kg	$g/m^3 \sigma$)回答:35%	\sum	· 350∼400k	g/m³ σ	回答:45%	
		· 300∼350k	g/m³ Ø	回答:65%	\Rightarrow	· 300~350kg	g/m³ σ.)回答:55% ⁽		·300~350kg	g/m³の	回答:15%	
		· 300kg/m³ =	ト満の 回]答 :15%	•	・300kg/m³ オ	満の回	回答 : 0%		· 300kg/m³ ₹	ト満の 回	答:0%	
		→Min: 300k	g/m³以	人上確保 で過半	数超	→Min: 300k	يا g/m³	以上確保 で過半	数超	→Min: 350k	g/m³以	人上確保で過半	é数超
適用範囲	はり部材	はり部材に	らける打込みの	最小スランプの目安 (cm)		はり部材にお	ける打込みの)最小スランプの目安 (cm)		はり部材にお	6ける打込みの	最小スランプの目安(cm)	1
		鋼材の最小あき	0.5m未満	締固め作業高さ 0.5m以上1.5m未満	1.5ml/ ⊦	鋼材の最小あき	0.5m未満	締固め作業高さ 0.5m以上1.5m未満	1.5ml	鋼材の最小あき	0.5m未満	締固め作業高さ 0.5m以上1.5m未満	1.5m以上
	※鋼材の	150mm以上	. 5	6	8	150mm以上	5	6	8	150mm以上	5	6	8
施工困難	最小あき	(選択理由 100mm以上 150mm未満	普通コン6	普通コン 8	普通コン 10	(選択理由) 100mm以上 150mm未満	普通コン	普通コン	普通コン 10	(選択理由) 100mm以上 150mm未満	普通コン	普通コン 8	普通コン 10
C///////	の影響が		普通コン	普通コン	普通コン		普通コン	普通コン	普通コン		普通コン	普通コン	普通コン
		80mm以上 100mm未測 (選択理由	8 普通コン	10 普通コン	12 普通/SL21	80mm以上 100mm未満 (選択理由)	8 普通コン	10 普通コン	12 普通/SLF40	80mm以上 100mm未満 (選択理由)	8 普通コン	10 普通コン	12 普通/SLF50
	強く表れ	60mm以上 80mm未測 (選択理由	10 SL21	12 SL21	14 SL21	60mm以上 80mm未満 (選択理由)	10 SLF40	12 SLF40	14 SLF40	60mm以上 80mm未満 (選択理由)	10 普通コン	12 SLF50	14 SLF50
	た結果	60mm未測	12	14	16	60mm未満	12	14	16	60mm未満	12	14	16
		(選択理由	SL21	SL21	SL21	(選択理由)	SLF40	SLF40	SLF40	(選択環由)	SLF50	SLF50	SLF50
		※鋼材の最小	あきがん	小さい場合, 紹	帝固め不	※鋼材の最小。	あきがん	小さい場合, 糸	間め不				
		足を懸念				足を懸念							
	壁部材	壁部材にお	ける打込みの	最小スランプの目安 (cm)		壁部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)			壁部材にお	ける打込みの	最小スランプの目安 (cm)		
		鋼材量	鋼材の最小 あき	締固め作業高 3m未満 3m≤X<5m	ਰ 5ml以 ⊦	鋼材量	鋼材の最小 あき	締固め作業高 3m未満 3m≤X<5m	ē 5m以⊦	鋼材量	鋼材の最小 あき	締固め作業系 3m未満 3m≤X<5n	
	※締固め	-	100mm以上	8 10	15	-	100mm以上	Sin来画 Sin i A < Sin 8 10	15		100mm以上	8 10	15
		200kg/m³未満	(選択理由) 100mm未満	普通コン 普通コン 10 12	SL21 15	200kg/m ³ 未満	(選択理由) 100mm未満	普通コン 普通コン 10 12	SLF40 15	200kg/m ³ 未満	(選択理由) 100mm未満	普通コン 普通コン 10 12	SLF50 15
	作業高さ		(選択理由)	普通コン 普通コン	SL21		(選択理由)	普通コン 普通コン	SLF40		(選択理由)	普通コン 普通コン	SLF50
	の影響が	200kg/m³以上	100mm以上 (選択理由)	10 12 普通コン SL21	15 SL21	200kg/m³以上	100mm以上 (選択理由)	10 12 普通コン SLF40	15 SLF40	200kg/m³以上	100mm以上 (資択理由)	10 12 普通コン SLF50	15 SLF50
	強く表れ	350kg/m ³ 未満	100mm未満	12 12	15 SL21	350kg/m³未満	100mm未満	12 12	15 SLF40	350kg/m ³ 未満	100mm未満	12 12	15 SLF50
	た結果	350kg/m ³ 以上	(選択理由)	普通/SL21 SL21 15	SL21	350kg/m ³ 以上	(選択理由)	普通/SLF40 SLF40 15	SLF40	350kg/m ³ 以上	(選択理由)	普通/SLF50 SLF50 15	- Vilidididididididi
		350Kg/III IALE	(選択理由)	SL21		350Kg/III SALE	(選択理由)	SLF40		350Kg/III 灰土	(選択理由)	SLF50	
						※SLF が大き	い範囲	は型枠補強を懸	懸念	※SLF が大き	く,型	枠補強+オー	バース
										ペックを懸念			
施工方法	打込み												
20-2372		日田滑下間で・「城市 柳回のかめ姿な同点動コンテン 下る内容が確認が正かるしている」と述えるケースが混在 料分離抵抗性が低下している」と捉えるケースが混在											
V#T##													
※施工条件の		・一層当りの打込み高さ:必要な締固めエネルギーが小さく締固め易い=若干緩和											
相互影響を考		→ 振動時間が短く設定された場合は必ずしも緩和とはならない											
慮する必要が	締固め	・挿入間隔:	間隔を	広くできる「糸	爰和」の	意見が多い							
ある		・一層当りの	振動時間	間:振動締固な	か時間を	短くすることを	・「緩和	和=締固めが必	要な高	流動コンクリー	-トを適	i用することて	作業量
		が減じられ	る」と	足えるケースと	ヒ,「厳村	各化=材料分離	の防止	」と捉えるケ・	ースが涯	昆在			
1	1												

図 2.3.1 アンケート結果の概要

(1) 材料分離抵抗性の確保に必要な単位粉体量(単位セメント量) ⇒詳細は, 2.3.2を参照

材料分離抵抗性を確保するのに必要と思われる単位粉体量(単位セメント量)は、混和剤に高性能 AE 減水剤を用いる場合は、目標スランプフローが $30 \, \text{cm}$ 前後で $300 \, \text{kg/m}^3$ 以上、 $40 \, \text{cm}$ 前後で $350 \, \text{kg/m}^3$ 以上、 $50 \, \text{cm}$ 前後で $400 \, \text{kg/m}^3$ 以上との回答が過半数を超えていた。目標とするスランプフローが $10 \, \text{cm}$ 大きくなるごとに、粉体量は $50 \, \text{kg/m}^3$ 程度増加させる必要があるとのイメージであった。

一方, 混和剤に増粘剤含有高性能 AE 減水剤を用いる場合, 目標スランプフロー40cm および 50cm のときは, 高性能 AE 減水剤を用いた場合に比べて, 単位粉体量を 50kg/m³ 程度減じることができると捉えられていた.

(2) はり部材への適用 ⇒詳細は, 2.3.3を参照

はり部材(厚みのある部材)では、鋼材の最小あきが小さくなると充填不良が生じやすいと考えている傾向が認められた. 具体的には、鋼材の最小あきが 60 mm未満(締固め作業高さが 0.5m 未満および 0.5m 以上 1.5m 未満の場合)もしくは 60 mm以上 80 mm未満(締固め作業高さが 1.5m 以上の場合)よりも厳しい条件となると、[示方書:施工標準]の表に示される打込みの最小スランプでは締固め不足が懸念されるため、締固めを必要とする高流動コンクリートを使用したいとの回答が過半数を超えていた。また、それらよりも鋼材の最小あきがやや緩くなった条件では、施工標準に示される打込みの最小スランプの普通コンクリートでも施工は可能であるが、生産性の向上などの観点から締固めを必要とする高流動コンクリートを適用したいとの回答が多くなる結果であった。

どの程度の流動性を有する締固めを必要とする高流動コンクリートを適用するかという問いに対しては、スランプ: $18\sim21$ cm(SL21)が 0 件、スランプフロー: 40cm 前後(SLF40)が 9 件、スランプフロー: 50cm 前後(SLF50)が 8 件、未回答: 3 件で、40cm 前後と 50 cm 前後がほぼ半数ずつであった。

(3) 壁部材への適用 ⇒詳細は, 2.3.4 を参照

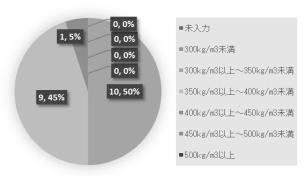
壁部材(厚さの薄い部材)では、鋼材量に加え、締固め作業高さがコンクリートの充塡性に大きく影響すると捉えられている傾向が認められた. 具体的には、締固め作業高さが 5m を超える場合には鋼材の最小あきや鋼材量によらず、すべての条件で締固めを必要とする高流動コンクリートを適用したいとの回答であった. 一方で、締固め作業高さが $3\sim 5m$ では鋼材量 $200~kg/m^3$ 以上の条件で、締固め作業高さが 3m 未満では鋼材量 $350kgm^3$ 程度となる条件で適用したいとの回答であった.

どの程度の流動性を有する締固めを必要とする高流動コンクリートを適用するかという問いに対しては、スランプ: $18\sim21$ cm(SL21)が 0 件,スランプフロー: 40cm 前後(SLF40)が 14 件,スランプフロー: 50cm 前後(SLF50)が 3 件,未回答: 3 件という回答であり,はり部材と比べるとスランプフロー40cm 前後を選択する回答が多くなった。また,スランプフロー: 50cm 前後(SLF50)のように型枠により大きな力が生じる場合は,型枠補強の実施など別途配慮する事項が生じるため,使用については都度判断が必要との意見があった。

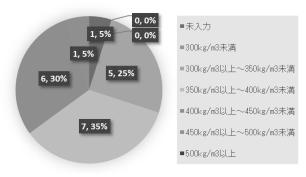
2.3.2 材料分離抵抗性の確保に必要な単位粉体量(単位セメント量)

使用する混和剤(高性能 AE 減水剤,増粘剤含有タイプの高性能 AE 減水剤)および流動性の異なる締固めを必要とする高流動コンクリート(SL21, SLF40, SLF50)に対し、材料分離抵抗性の観点から必要と思われる単位粉体量(単位セメント量)について調査した。回答結果を図 2.3.2~図 2.3.3 に示す。

想定単位粉体量 (SL21,高性能AE減水剤)



想定単位粉体量 (SLF40,高性能AE減水剤)



想定単位粉体量 (SLF50,高性能AE減水剤)

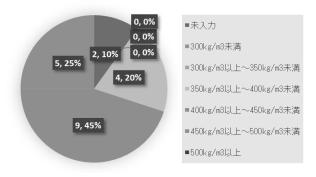
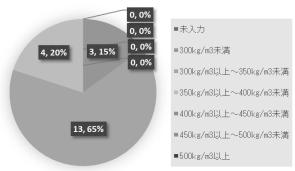
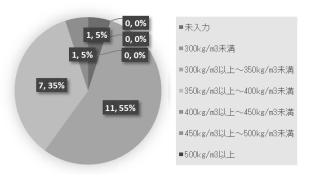


図 2.3.2 高性能 AE 減水剤

想定単位粉体量 (SL21, 増粘剤含有タイプ)



想定単位粉体量 (SLF40, 増粘剤含有タイプ)



想定単位粉体量 (SLF50, 増粘剤含有タイプ)



図 2.3.3 増粘剤含有タイプ

高性能 AE 減水剤を用いるケースでは(図 2.3.2)、スランプ: $18\sim21$ cm(以下、SL21)においては、「300~350kg/m³」が最も多く 50%、次いで「350~400kg/m³」が 45%を占めていた。また、スランプフロー: 40cm 前後(SLF40)では、「 $350\sim400$ kg/m³」が最も多く 35%、次いで「 $400\sim450$ kg/m³」が 30%、スランプフロー: 50cm 前後(SLF50)では、「 $400\sim450$ kg/m³」が最も多く 45%、次いで「 $450\sim500$ kg/m³」が 25%という結果となった。 増粘剤含有高性能 AE 減水剤を用いるケースでは(図 2.3.3)、スランプ: $18\sim21$ cm(SL21)においては、

「 $300\sim350 \mathrm{kg/m^3}$ 」が最も多く 65%,次いで「 $350\sim400 \mathrm{kg/m^3}$ 」が 20%を占めていた。また,スランプフロー: $40\mathrm{cm}$ 前後($\mathrm{SLF40}$)では,「 $300\sim350 \mathrm{kg/m^3}$ 」が最も多く 55%,次いで「 $350\sim400 \mathrm{kg/m^3}$ 」が 35%,スランプフロー: $50\mathrm{cm}$ 前後($\mathrm{SLF50}$)では,「 $350\sim400 \mathrm{kg/m^3}$ 」が最も多く 45%,次いで「 $400\sim450 \mathrm{kg/m^3}$ 」が 30%という結果 となった.

2.3.3 はり部材(厚みがある部材)を対象とした適用範囲に関する調査

コンクリート標準示方書「施工編」に示される「はり部材における打込みの最小スランプの目安」を参考 に、締固めを必要とする高流動コンクリートの適用が望まれる条件範囲に関する調査を実施した.

調査は図 2.3.4に示すように,鋼材の最小あきおよび締固め作業高さを条件とし,普通コンクリートある いは締固めを必要とする高流動コンクリートの適用が望ましい条件をそれぞれ選択する形式とした。また、 選択肢2および選択肢4については、その理由も調査した.集計グラフの説明を図2.3.5に、集計結果を図 2.3.6~図2.3.11 に、調査結果のまとめを図2.3.12 に示す。また、選択理由を表2.3.1~表2.3.2 に示す。

以下の構造条件①~⑤に対して、流動性の区分: SL21.SLF40.SLF50の本コンクリートの適用 性のイメージを、以下の4つの中からそれぞれ選択してください。

*注:コンクリートは材料分離が生じない良好な状熊を想定して下さい。

締固め作業高さ 鋼材の最小あき 0.5m未満 0.5m以上1.5m未満 1.5m以上 150mm以上 条件① (選択理由) ← 1~4をそれぞれ選択 100mm以上 150mm未満 6 8 10 条件② ← 1~4をそれぞれ選択 80mm以上 100mm未満 8 10 12 条件③ (選択理由) ← 1~4をそれぞれ選択 60mm以上 80mm未満 10 12 14 条件④ (選択理由) ← 1~4をそれぞれ選択 14 60mm未満 12 16 条件(5) (選択理由) ← 1~4をそれぞれ選択

はり部材における打込みの最小スランプの目安(cm)

<選択理由>

- 1. 普通コンクリートでは施工困難のため、本コンクリート(SL21)を使いたい
- 2. 普通コンクリートでも施工可能だが●●(生産性向上,不具合低減,etc)のため、本コンクリート(SL21)を使いたい
- 3. 普通コンクリートで容易に施工できるため、本コンクリート(SL21)は使わない
- 4. 本コンクリート(SL21)で施工すると●●(型枠の剛性Upが必要,etc)という問題が生じるので使わない

図 2.3.4 はり部材を対象とした適用範囲に関する調査



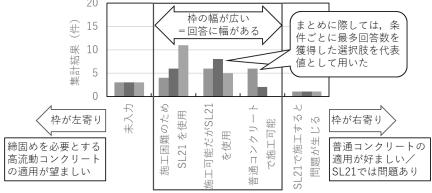
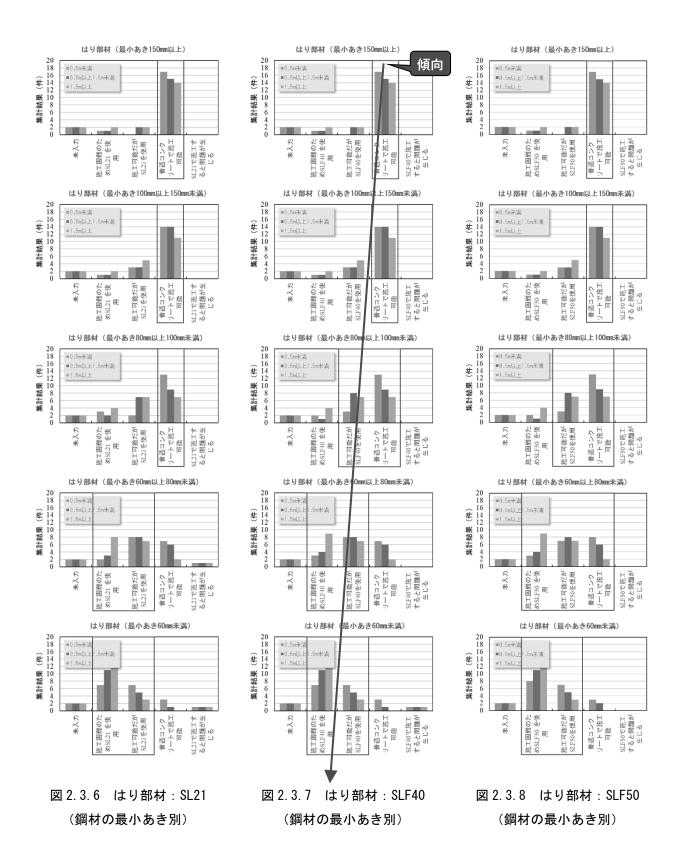
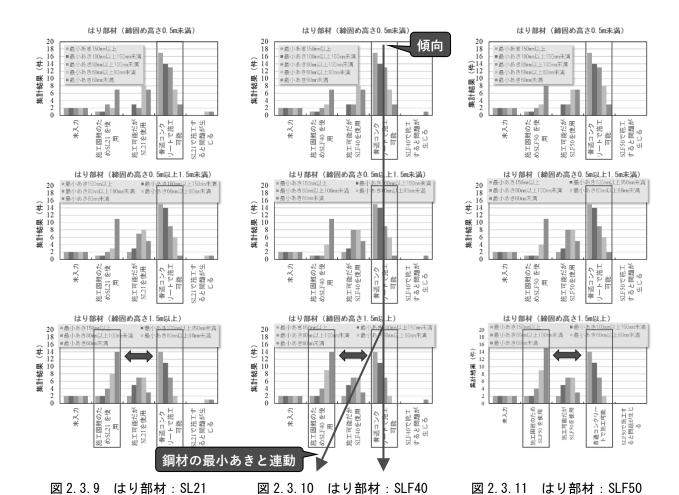


図 2.3.5 集計グラフの説明



II-22



(締固め作業高さ別)

(締固め作業高さ別)

(締固め作業高さ別)

はり部材における打込みの最小スランプの目安(cm)

締固めを必要 とする高流動 コンクリート の適用

普通コンク リートでは 施工が困難

			締固め作業高さ	
鋼材の最	小あき	0.5m未満	0.5m以上1.5m未満	1.5m以上
	150mm以上	5	6	8
	(選択理由)	普通コン	普通コン	普通コン
100mm以上	150mm未満	6	8	10
		普通コン	普通コン	普通コン
80mm以上	100mm未満	8	10	12
	(選択理由)	普通コン	普通コン	普通/SL21
60mm以上	80mm未満	10	12	14
	(選択理由)	SL21	SL21	SL21
	60mm未満	12	14	16
	(選択理由)	SL21	SL21	SL21
			公田は作業言と	
鋼材の最	小あき	0.5m未満	締固め作業高さ 0.5m以上1.5m未満	1 5 1 1 1
	150mm以上	0.5m未 _個 5	6	1.5m以上 8
		_	_	
100mm N L	(選択理由) 150mm未満	普通コン	普通コン 8	普通コン
100mm以上	15UMM未冲	6 普通コン	 普通コン	10 普通コン
80mm以上		8 8	10	12
00川川以上	(選択理由)	。 普通コン	 普通コン	#通/SLF40
60mm以上	80m未満	10	12	宣通/ SLF40
001111110	(選択理由)	SLF40	SLF40	SLF40
	(選択達田) 60mm未満	12	14	16
	(選択理由)	SLF40	SLF40	SLF40
	(選)(廷田)	3LI 40	3L) 40	3LI 40
御 井の目	しんもも		締固め作業高さ	
鋼材の最	があさ	0.5m未満	0.5m以上1.5m未満	1.5m以上
	150mm以上	5	6	8
	(選択理由)	普通コン	普通コン	普通コン
100mm以上	150mm未満	6	8	10
		普通コン	普通コン	普通コン
80mm以上	100mm未満	8	10	12
	(選択理由)	普通コン	普通コン	普通/SLF50
60mm以上	80mm未満	10	12	14
	(選択理由)	普通コン	SLF50	SLF50
	60mm未満	12	14	16
	(選択理由)	SLF50	SLF50	SLF50

図 2.3.12 はり部材を対象とした適用範囲に関する調査のまとめ(上から SL21, SLF40, SLF50 の順)

表 2.3.1 はり部材において締固めを必要とする高流動コンクリートを選択した理由(2の理由)

SL21 の場合	SLF40 の場合	SLF50 の場合
条件①:2の理由 ・生産性向上(2件)	条件①:2の理由 ・生産性向上(2件)	条件①:2の理由 ・生産性向上(2件)
条件②:2 の理由	条件②:2の理由	条件②:2 の理由
・バイブレータを十分かけることが困	・バイブレータを十分かけることが困	・バイブレータを十分かけることが困
難	難	難
・不具合低減	・不具合低減	・不具合低減
・生産性向上(4件)	・生産性向上(4件)	・生産性向上(4件)
条件③:2の理由	条件③:2の理由	条件③:2の理由
・鋼材のあきが自己充填性ランク2の	・鋼材のあきが自己充填性ランク2の	・鋼材のあきが自己充填性ランク2の
下限側のため、締固め作業高さを考慮	下限側のため、締固め作業高さを考慮	下限側のため、締固め作業高さを考慮
すると本コンクリートの検討が必要	すると本コンクリートの検討が必要	すると本コンクリートの検討が必要
・バイブレータを十分かけることが困	・バイブレータを十分かけることが困 ***	・バイブレータを十分かけることが困
難 ・締固め作業の労力を減らし、初期欠	│ 難 │ ・締固め作業の労力を減らし、初期欠	│ 難 │ ・締固め作業の労力を減らし、初期欠
陥リスクも低減させたい	陥リスクも低減させたい	陥リスクも低減させたい
・締固め作業高さ 0.5m 以上 1.5m 未満	・締固め作業高さ 0.5m 以上 1.5m 未満	・締固め作業高さ 0.5m 以上 1.5m 未満
の場合は生産性向上、1.5m以上の場合	の場合は生産性向上、1.5m以上の場合	の場合は生産性向上、1.5m以上の場合
は締固め不足、充填不良の回避	は締固め不足、充填不良の回避	は締固め不足、充填不良の回避
・不具合低減と生産性向上	・不具合低減と生産性向上	・不具合低減と生産性向上
・鋼材のあきが狭く、締固め作業高さ が高く、締固め作業を行いにくいため	・鋼材のあきが狭く、締固め作業高さ が高く、締固め作業を行いにくいため	・鋼材のあきが狭く、締固め作業高さが高く、締固め作業を行いにくいた
・生産性向上	・生産性向上(2件)	が同く、神画の作業を打いたくいた
・充塡不良リスクの低減	・充塡不良リスクの低減	- **。 - ・生産性向上(2 件)
	Just Let 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	・充塡不良リスクの低減
条件④:2の理由	条件④:2の理由	条件④:2の理由
・鋼材のあきが自己充填性ランク2の	・鋼材のあきが自己充填性ランク2の	・鋼材のあきが自己充填性ランク2の
下限側のため、締固め作業高さが 0.5m	下限側のため、締固め作業高さが 0.5m	下限側のため、締固め作業高さが 0.5m
未満での施工においても本コンクリー	未満での施工においても本コンクリー	未満での施工においても本コンクリー
トの検討が必要	トの検討が必要	トの検討が必要
・締固め不良発生防止のため	・バイブレータを十分かけることが困	・バイブレータを十分かけることが困 難
・締固め作業の労力を減らし、初期欠 陥リスクも低減させた	│ ^無 │ ・締固め不良発生防止のため	^舞 ・締固め不良発生防止のため
・施工上、作業がしにくく、品質確保	・締固め作業の労力を減らし、初期欠	・締固め作業の労力を減らし、初期欠
に苦しむ条件のため	陥リスクも低減させたい	陥リスクも低減させたい
・締固め作業高さ 0.5m 未満の場合は	・施工上、作業がしにくく、品質確保	・施工上、作業がしにくく、品質確保
生産性向上、0.5m 以上 1.5m 未満は締	に苦しむ条件のため	に苦しむ条件のため
固め不足、充填不良の回避	・締固め作業高さ 0.5m 未満の場合は	・締固め作業高さ 0.5m 未満の場合は
・鋼材のあきが小さく、締固め作業が	生産性向上、0.5m 以上 1.5m 未満は締	生産性向上、0.5m 以上 1.5m 未満は締
行いにくいため。	固め不足、充填不良の回避	固め不足、充填不良の回避
・不具合低減(自己充塡ランク2に相	・鋼材のあきが小さく、締固め作業が	・鋼材のあきが小さく、締固め作業が
当)、充塡不良リスクの低減	行いにくいため	一行いにくいため
• 生産性向上	・不具合低減(自己充塡ランク2に相	・不具合低減(自己充塡ランク2に相
	当)、充塡不良リスクの低減 ・生産性向上	当)、充塡不良リスクの低減 ・生産性向上
条件⑤:2の理由	条件(5):2の理由	・ 主産 民间工 条件(5): 2 の理由
・締固め不良発生防止のため	米円の・2の建田 ・締固め不良発生防止のため	・締固め不良発生防止のため
φ50mm の内部振動機の挿入が難し	 φ 50mm の内部振動機の挿入が難し 	φ 50mm の内部振動機の挿入が難し
く、適切な振動締固めが困難なため	く、適切な振動締固めが困難なため	く、適切な振動締固めが困難なため
・締固め作業の労力を減らし、初期欠	・締固め作業の労力を減らし、初期欠	・締固め作業の労力を減らし、初期欠
陥リスクも低減させたい	陥リスクも低減させたい	陥リスクも低減させたい

- ・施工効率を考えると、締固め作業高 さが 0.5m 以上 1.5m 未満で普通コンの 限界で、本コンクリートの選択肢も考 えるレベルと思われる
- ・締固め作業高さ 0.5m 未満の場合は 生産性向上、0.5m 以上 1.5m 未満は締 固め不足、充填不良の回避
- ・生産性向上のため(増粘剤系であれば それほど単位粉体量を変更せずに使用 できそう)
- ・鋼材のあきが著しく小さく、締固め 作業に時間を要し生産性が著しく低下 するため

- ・施工効率を考えると、締固め作業高 さが 0.5m 以上 1.5m 未満で普通コンの 限界で、本コンクリートの選択肢も考 えるレベルと思われる
- ・締固め作業高さ 0.5m 未満の場合は 生産性向上、0.5m 以上 1.5m 未満は締 固め不足、充填不良の回避
- ・生産性向上のため(但し、粉体とし て FA などの混和材が使用できる場
- ・鋼材のあきが著しく小さく、締固め 作業に時間を要し生産性が著しく低下 するため

- ・施工効率を考えると、締固め作業高 さが 0.5m 以上 1.5m 未満で普通コンの 限界で、本コンクリートの選択肢も考 えるレベルと思われる
- ・締固め作業高さ 0.5m 未満の場合は 生産性向上、0.5m 以上 1.5m 未満は締 固め不足、充填不良の回避
- ・鋼材のあきが著しく小さく、締固め 作業に時間を要し生産性が著しく低下 するため
- ・不具合低減、充塡不良リスクの低減 ・生産性向上

表 2.3.2 はり部材において締固めを必要とする高流動コンクリートを選択した理由(4の理由)

SL21 の場合	SLF40 の場合	SLF50 の場合
条件①:4の理由	条件①:4の理由	条件①:4の理由
記載なし	・記載なし	・記載なし
条件②:4の理由	条件②:4の理由	条件②:4の理由
・記載なし	・記載なし	・記載なし
条件③:4の理由	条件③:4の理由	条件③:4の理由
・記載なし	・記載なし	記載なし
条件④:4の理由	条件④:4の理由	条件④:4の理由
・バイブレータによる加振が不十分に	・記載なし	・記載なし
なる可能性がある		
条件⑤:4の理由	条件⑤:4の理由	条件⑤:4の理由
・バイブレータによる加振が不十分に	・バイブレータによる加振が不十分に	記載なし
なる可能性がある	なる可能性がある	

はり部材など比較的部材の厚いものは、鋼材の最小あき(図 2.3.6~図 2.3.8)がコンクリートの充塡性に大きく影響すると捉えられている.特に、鋼材の最小あき 60mm を境として、普通コンクリートによる施工が困難なケースが生じ易いと感じている(図 2.3.12).また、鋼材の最小あきが小さくなるにつれ、回答にバラつきが生じる傾向が見られた.一方、締固め作業高さ(図 2.3.9~図 2.3.11)の影響は小さく、回答のバラつきも小さいものとなった.

耐震規準の見直しとともに、単位容積あたりの鋼材量が増加し、以前にも増して構造物の高密度配筋の状態が生じる事態となっている。材料面からも、良質な河床砂礫の枯渇により細・粗骨材の砕砂・砕石への変更が進み、同一のスランプでもフレッシュ性状が異なる状況に陥っており、普通コンクリートでは不具合が生じ易い現実が見える結果となった。

生産性向上を目的とした場合,締固めを必要とする高流動コンクリートの適用範囲をより広範囲とすることも考えられるが,本調査では現行のコンクリート標準示方書[施工編:施工標準]では不具合が生じ易い施工条件に対する改善策として,締固めを必要とする高流動コンクリートの適用が強く望まれる結果となった(表 2.3.1,表 2.3.2).

2.3.4 壁部材(厚みがない部材)を対象とした適用範囲に関する調査

コンクリート標準示方書 [施工編] に示される 「壁部材における打込みの最小スランプの目安」を参考に、 締固めを必要とする高流動コンクリートの適用が望まれる条件範囲に関する調査を実施した.

調査は図2.3.13 に示すように、鋼材量、鋼材の最小あきおよび締固め作業高さを条件とし、普通コンクリートあるいは締固めを必要とする高流動コンクリートの適用が望ましい条件をそれぞれ選択する形式とした。また、選択肢2 および選択肢4 については、その理由も合わせて調査した。集計グラフの説明を図2.3.14に、集計結果を図2.3.15~図2.3.20に、調査結果のまとめを図2.3.21に示す。また、選択理由を表2.3.3~表2.3.4に示す。

以下の構造条件⑥~⑧に対して、流動性の区分: SL21,SLF40,SLF50の本コンクリートの適用性のイメージを、以下の4つの中からそれぞれ選択してください。

*注:コンクリートは材料分離が生じない良好な状態を想定して下さい。

締固め作業高さ 鋼材の最小 鋼材量 あき $3m \le X < 5m$ 5m以上 3m未満 100mm以上 8 10 15 (選択理由) - 1~4をそれぞれ選択 条件⑥ 200kg/m³未満 100mm未満 10 12 15 (選択理由) - 1~4をそれぞれ選択 100mm以上 10 12 15 200kg/m³以上 (選択理由) 1~4をそれぞれ選択 条件⑦ 100mm未満 12 12 15 350kg/m³未満 (選択理由) ← 1~4をそれぞれ選択 15 条件® 350kg/m³以上 (選択理由) ← 1~4をそれぞれ選択

壁部材における打込みの最小スランプの目安(cm)

<選択理由>

- 1. 普通コンクリートでは施工困難のため、本コンクリート(SL21)を使いたい
- 2. 普通コンクリートでも施工可能だが●●(生産性向上,不具合低減,etc)のため、本コンクリート(SL21)を使いたい
- 3. 普通コンクリートで容易に施工できるため、本コンクリート(SL21)は使わない
- 4. 本コンクリート(SL21)で施工すると●●(型枠の剛性Upが必要,etc)という問題が生じるので使わない

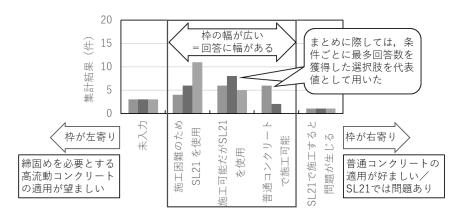
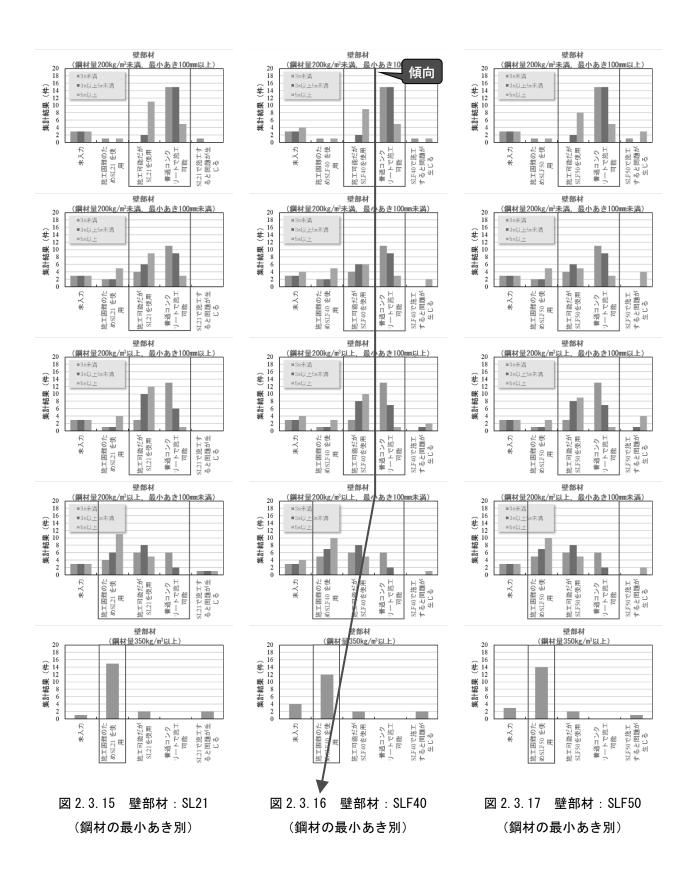
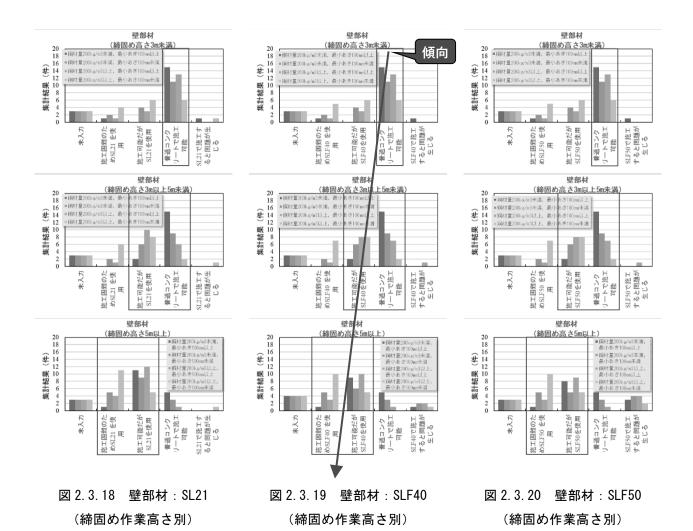


図 2.3.13 壁部材を対象とした適用範囲に関する調査

図 2.3.14 集計グラフの説明





壁部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)

締固めを必要 とする高流動 コンクリート の適用

普通コンク リートでは 施工が困難

Am 1.1 E	鋼材の最小	Ä	締固め作業高さ	
鋼材量	あき	3m未満	3m ≦ X<5m	5m以上
	100mm以上	8	10	15
0001 / 3-1-1+	(選択理由)	普通コン	普通コン	SL21
200kg/m ³ 未満	100mm未満	10	12	15
	(選択理由)	普通コン	普通コン	SL21
0001 / 3011	100mm以上	10	12	15
200kg/m ³ 以上	(選択理由)	普通コン	SL21	SL21
2501 / 3+>#	100mm未満	12	12	15
350kg/m ³ 未満	(選択理由)	普通/SL21	SL21	SL21
0501 / 3111	_		15	
350kg/m ³ 以上	(選択理由)		SL21	
	1	I		
鋼材量	鋼材の最小		締固め作業高さ -	
	あき	3m未満	3m ≦ X<5m	5m以上
	100mm以上	8	10	15
200kg/m ³ 未満	(選択理由)	普通コン	普通コン	SLF40
ZOONG/ III ZIZINII	100mm未満	10	12	15
	(選択理由)	普通コン	普通コン	SLF40
200kg/m³以上	100mm以上	10	12	15
200Kg/111 ——————————————————————————————————	(選択理由)	普通コン	SLF40	SLF40
350kg/m ³ 未満	100mm未満	12	12	15
	(選択理由)	普通/SLF40	SLF40	SLF40
350kg/m³以上	_	15		
	(選択理由)		SLF40	
	鋼材の最小	 締固め作業高さ		<u> </u>
鋼材量	あき	3m未満	3m ≦ X<5m	5m以上
	100mm以上	8	10	15
(2	(選択理由)	普通コン	普通コン	SLF50
200kg/m ³ 未満	100mm未満	10	12	15
	(選択理由)	普通コン	普通コン	SLF50
0001 / 3511	100mm以上	10	12	15
200kg/m ³ 以上	(選択理由)	普通コン	SLF50	SLF50
3FOL / 3+\#	100mm未満	12	12	15
350kg/m ³ 未満	(選択理由)	普通/SLF50	SLF50	SLF50
2501 . / 351. 1	_		15	
350kg/m ³ 以上	(選択理由)	SLF50		

図 2.3.21 壁部材を対象とした適用範囲に関する調査のまとめ(上から SL21, SLF40, SLF50 の順)

表 2.3.3 壁部材において締固めを必要とする高流動コンクリートを選択した理由 (2の理由)

SL21 の場合	SLF40 の場合	SLF50 の場合
条件⑥(100mm以上):2の理由 ・基本的に普通コンクリートでの施工 が可能だが締固め作業高さによっては 締固め作業低減のため本コンクリート の検討が必要 ・締固め作業の労力を減らし、初期欠 陥リスクも低減させたい ・締固め作業高さ5m以上ではスランプアップが望ましい ・不具合低減 ・締固め不足、充填不良の回避 ・生産性向上のため(増粘剤系であればそれほど単位粉体量を変更せずに使用できそう) ・締固め作業高さが高く、締固め作業に時間を要し生産性が著しく低下する ・充填不良リスクの低減(5m以上)	条件⑥(100mm以上):2の理由 ・基本的に普通コンクリートでの施工 が可能だが締固め作業高さによっては 締固め作業低減のため本コンクリート の検討が必要 ・締固め作業の労力を減らし、初期欠 陥リスクも低減させたい ・締固め作業高さ5m以上ではスランプアップが望ましい ・不具合低減 ・生産性向上のため(但し、粉体としてFAなどの混和材が使用できる場合) ・締固め作業高さが高く、締固め作業 に時間を要し生産性が著しく低下する	条件⑥(100mm以上):2の理由 ・基本的に普通コンクリートでの施工 が可能だが締固め作業高さによっては 締固め作業低減のため本コンクリート の検討が必要 ・締固め作業の労力を減らし、初期欠 陥リスクも低減させたい ・締固め作業高さ 5m 以上ではスラン プアップが望ましい ・不具合低減 ・生産性向上 ・締固め作業高さが高く、締固め作業 に時間を要し生産性が著しく低下する
条件⑥(100mm 未満): 2 の理由 ・作業高さから視認性の確保が困難 ・締固め作業高さ 5m 以上ではスランプアップが望ましい ・不具合低減のため、締固め作業高さを考慮 ・3m≦X<5m までの場合は生産性向上、5m以上の場合は締固め不足、充填不良の回避 ・生産性向上のため(増粘剤系であればそれほど単位粉体量を変更せずに使用できそう) ・締固め作業高さもあり、最小のあきも小さく、締固め作業が行いにくい・生産性向上(5m 未満) ・充填不良リスクの低減(5m 以上)	条件⑥(100mm 未満):2 の理由 ・作業高さから視認性の確保が困難 ・締固め作業高さ 5m 以上ではスラン プアップが望ましい ・不具合低減のため、締固め作業高さ を考慮 ・生産性向上のため(但し、粉体としてFA などの混和材が使用できる場合) ・締固め作業高さもあり、最小のあき も小さく、締固め作業が行いにくい ・生産性向上(5m 未満)	条件⑥(100mm 未満):2 の理由 ・作業高さから視認性の確保が困難 ・締固め作業高さ 5m 以上ではスラン プアップが望ましい ・不具合低減のため、締固め作業高さを考慮 ・締固め作業高さもあり、最小のあきも小さく、締固め作業が行いにくい ・生産性向上(5m 未満)[一部,型枠の検討を踏まえた上で適用を判断]
条件⑦(100mm以上):2の理由 ・ランク2程度の鋼材量のため、締固 め作業高さが高くなると本コンクリートの採用が望ましい ・バイブレータを十分かけることが困難 ・締固め不良発生防止のため ・鋼材量も多く、締固め作業コンクリートの使用により生産性が向上する可能性が高いたり、視認性の確保が困難・鋼材量も多いため、締固め作業高さから視認性の確保が困難・鋼材量も多いため、締固め作業高さる。3~5mでは普通コンでの施工は苦高さを考慮・3m未満の場合は生産性向上、石野・生産性向上(増粘剤系であればそれほど単位粉体量を変更せずに使用できそう)・鋼材量が多く、締固め作業高さもあり、締固め作業が行いにくい・不具合低減・生産性向上(5m未満)、充塡不良リスクの低減(5m以上)	条件⑦(100mm以上):2の理由 ・ランク2程度の鋼材量のため、締固 め作業高さが高くなると本コンクリートの採用が望ましい ・バイプレータを十分かけることが困 難 ・網材量も多く、締固め作業高さも 3m以上となる場合には、本コンクリートの使用により生産性が向上する可能性が高い・作業高さから視認性の確保が困難・鋼材量も多いため、締固め作業高さから表慮・生産性向上のため(但し、粉体としてFAなどの混和材が使用できる場合)・鋼材量が多く、締固め作業高さもあり、締固め作業が行いにくい・不具合低減・生産性向上(5m未満)	条件⑦(100mm以上):2の理由 ・ランク2程度の鋼材量のため、締固 め作業高さが高くなると本コンクリートの採用が望ましい ・バイブレータを十分かけることが困 難 ・締固め不良発生防止のため ・鋼材量も多く、締固め作業高さも 3m以上となる場合には、本コンクリートの使用により生産性が向上する可能性が高さから視認性の確保が困難・鋼材量も多いため、締固め作業高さかでは普通コンでの施工は苦高さか子人属 ・不具合低減のため、締固め作業高さもあり、不具合低減・不具合低減・不具合低減・不具合低減・不具合低減・生産性向上(5m未満)[一部,型枠の検討を踏まえた上で適用を判断]

<次ページに続く>

表 2.3.3 壁部材において締固めを必要とする高流動コンクリートを選択した理由(2の理由)

条件⑦(100mm 未満):2 の理由 ・バイブレータを十分かけることが困 難

- ・締固め不良発生防止のため
- ・鋼材量も多く、締固め作業高さも 3m以上となる場合には、本コンクリートの使用により生産性が向上する可能性が高い
- ・作業高さから視認性の確保が困難
- ・鋼材量も多いため、締固め作業高さ 3~5m では普通コンでの施工は苦しい
- ・締固め不足、充填不良の回避
- ・スランプ 16~18 c m程度とどの程度 差異が付くか不明だが,不具合防止に より有効(筒先がどの程度等間隔に挿 入できるかにもよる)
- ・生産性向上のため(増粘剤系であればそれほど単位粉体量を変更せずに使用できそう)
- ・鋼材量が多く、最小のあきも小さ く、締固め作業が行いにくいため
- · 不具合低減
- ・生産性向上
- ・充塡不良リスクの低減

条件⑧:2の理由

・生産性向上、不具合低減のため(増 粘剤系であればそれほど単位粉体量を 変更せずに使用できそう) 条件⑦(100mm 未満):2 の理由 ・バイブレータを十分かけることが困 難

- ・締固め不良発生防止のため
- ・鋼材量も多く、締固め作業高さも 3m以上となる場合には、本コンクリートの使用により生産性が向上する可能性が高い
- ・作業高さから視認性の確保が困難
- ・鋼材量も多いため、締固め作業高さ 3~5m では普通コンでの施工は苦しい
- ・不具合防止により有効(筒先がどの 程度等間隔に挿入できるかにもよる)
- ・生産性向上のため(但し、粉体として FA などの混和材が使用できる場合)
- ・鋼材量が多く、最小のあきも小さ く、締固め作業が行いにくいため
- · 不具合低減
- ・充塡不良リスクの低減

条件⑦(100mm 未満):2 の理由 ・バイブレータを十分かけることが困 難

- ・締固め不良発生防止のため
- ・鋼材量も多く、締固め作業高さも 3m以上となる場合には、本コンクリートの使用により生産性が向上する可能性が高い
- ・作業高さから視認性の確保が困難
- ・鋼材量も多いため、締固め作業高さ 3~5m では普通コンでの施工は苦しい
- ・不具合防止により有効(筒先がどの 程度等間隔に挿入できるかにもよる)
- ・生産性向上のため(但し、粉体としてFAなどの混和材が使用できる場合)
- ・鋼材量が多く、最小のあきも小さ く、締固め作業が行いにくいため
- · 不具合低減
- ・充塡不良リスクの低減

条件⑧:2の理由

- 生産性向上
- ・不具合低減のため(但し,粉体として FA などの混和材が使用できる場合)

条件8:2の理由

- ・生産性向上
- ・不具合低減のため(但し、粉体として FA などの混和材が使用できる場合)

表 2.3.4 壁部材において締固めを必要とする高流動コンクリートを選択した理由(4の理由)

SL21 の場合	SLF40 の場合	SLF50 の場合
条件⑥(100mm 以上):4 の理由 ・記載なし	条件⑥(100mm 以上): 4 の理由 ・5m以上の場合は、条件によって型 枠の補強が必要であり、使用が難しい 場合がある ・流動性が高い配合(上限側)では型 枠の検討を踏まえた上で適用を判断	条件⑥(100mm 以上):4 の理由 ・5m以上の場合は、型枠の補強が必 要 ・条件に対しオーバースペックなため 費用対効果が低いことが懸念されるた め ・型枠の補強が必要
条件⑥(100mm 未満):4 の理由 ・記載なし	条件⑥(100mm 未満): 4 の理由 ・不具合低減のため流動性を上げたい が、型枠の補強等別途コストがかかる 場合は選択しない可能性あり ・5m以上の場合は、条件によって型 枠の補強が必要であり、使用が難しい 場合がある ・流動性が高い配合(上限側)では型 枠の検討を踏まえた上で適用を判断	条件⑥(100mm 未満):4 の理由 ・不具合低減のため流動性を上げたい が、型枠の補強等別途コストがかかる 場合は選択しない可能性あり ・5m以上の場合は、型枠の補強が必要 ・条件に対しオーバースペックなため 費用対効果が低いことが懸念されるため ・型枠の補強が必要
条件⑦(100mm 以上):4 の理由 ・記載なし	条件⑦(100mm以上):4の理由 ・不具合低減のため流動性を上げたい が、型枠の補強等別途コストがかかる 場合は選択しない可能性あり ・5m以上の場合は、条件によって型 枠の補強が必要であり、使用が難しい 場合がある ・流動性が高い配合(上限側)では型 枠の検討を踏まえた上で適用を判断	条件⑦(100mm以上):4の理由 ・不具合低減のため流動性を上げたい が、型枠の補強等別途コストがかかる 場合は選択しない可能性あり ・5m以上の場合は、型枠の補強が必要 ・条件に対しオーバースペックなため 費用対効果が低いことが懸念されるため ・型枠の補強が必要
条件⑦(100mm 未満):4 の理由 ・バイプレータによる加振が不十分に なる可能性がある	条件⑦(100mm 未満): 4 の理由 ・5m以上の場合は、条件によって型 枠の補強が必要であり、使用が難しい 場合がある ・流動性が高い配合(上限側)では型 枠の検討を踏まえた上で適用を判断	条件⑦(100mm 未満): 4 の理由 ・5m以上の場合は、型枠の補強が必 要 ・型枠の補強が必要
条件⑧:4 の理由 ・バイブレータによる加振が不十分に なる可能性がある ・充填性に不安が残る	条件®:4の理由 ・バイブレータによる加振が不十分に なる可能性がある ・構造条件や施工条件によっては流動 性、充填性が不足する場合がある ・流動性が高い配合(上限側)では型 枠の検討を踏まえた上で適用を判断	条件®:4の理由 ・型枠の補強が必要

壁部材など比較的部材の薄いものは、締固め作業高さ(図 2.3.18~図 2.3.20)がコンクリートの充塡性に大きく影響すると捉えられている。特に、締固め作業高さ 5m 以上では、鋼材の最小あきや鋼材量に関わらず、締固めを必要とする高流動コンクリートの適用が望まれる結果となった。

一方、鋼材の最小あき(図 2.3.15~図 2.3.17)単独の影響は小さく、鋼材量との相互作用の影響が表れる結果となった。特に、鋼材量が 200kg/m^3 以上、鋼材の最小あきが 100 mm 未満を境として、充塡不良等のリスクが高まると感じており、鋼材量が 350kg/m^3 以上では、普通コンクリートによる施工が困難なケースが生じ易いと感じている。(図 2.3.21).

はり部材と同様に、生産性向上に向けた締固めを必要とする高流動コンクリートの適用に関する意識に比べ、現行のコンクリート標準示方書では不具合が生じ易い施工条件に対する改善策として、締固めを必要とする高流動コンクリートの適用が強く望まれる結果となった(表 2.3.3,表 2.3.4).

2.3.5 標準的な施工方法に関する調査

コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準] では、設計基準強度 50N/mm² 未満、打込みの最小スランプ 16cm 以下の AE コンクリートを対象としており、このコンクリートを用いたときの「標準的な施工方法」として、打込みや締固め作業に関する具体的な制限値の標準が示されている。ここでは、締固めを必要とする高流動コンクリートを用いて施工する場合に、これらの制限値の標準をそのまま準用してよいか、あるいは、この高流動コンクリートの特徴に配慮すると値を見直す必要があるかについて調査した。

調査は、図 2.3.22 に示すように、締固めを必要とする高流動コンクリートを用いて施工する場合に、「標準的な施工方法」に示される個々の項目について「締固めを必要とする高流動コンクリートの方が施工標準で対象とする普通コンクリートに対して、優れていることから制限値を緩和することが望ましい(アンケートでは緩和と表記)」あるいは「そのままの値を用いると不具合が生じるおそれがあることから、制限値を厳しくするもしくはその他の方法を用いるなどの配慮が必要である(アンケートでは厳格化と表記)」を選択するとともにその理由を記述する形式とした。調査結果を表 2.3.5 に示す。

<u>SL21、SLF40、SLF50の本コンクリートを用いた場合、「「施工編:施工標準」で対象とする標準的な施工方法」の項目として、「条件が緩和できる」あるいは「厳しくする」項目は何ですか。その場合、緩和</u>厳格化が必要な理由を記述して下さい。

作業区分	項目		標準
	自由落下高さ(吐出口から打込み面までの高さ)		1.5m以内
	一層当りの打込み高さ		40~50cm
打込み	(#\P\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\	外気温25°C以下の場合	2時間以内
打込み	練混ぜから打終わりまでの時間	外気温25℃を超える場合	1.5時間以内
~	許容打重ね時間間隔	外気温25°C以下の場合	2.5時間
		外気温25℃を超える場合	2.0時間
	締固め方法		棒状バイブレータ
谷田は	挿入間隔		50cm程度
締固め	挿入深さ		下層のコンクリートに10cm程度
	一箇所当りの振動時間		5~15秒

図 2.3.22 標準的な施工方法に関する調査

表 2.3.5 締固めを必要とする高流動コンクリートの適用に際し施工方法として緩和/厳格化する項目

項目	SL21 の場合	SLF40 の場合	SLF50 の場合
自由落下高さ	【緩和】 ・材料分離抵抗性が高まっていると考えられるため ・建築工事標準仕様書(JASS5)では、自由落下の高さについて「7.5 打込み e コンクリートの自由落下高さ及び水平移動距離は、コンクリート場分離しない範囲とする」と記されている 【厳格化】 ・記載なし	【緩和】 ・材料分離抵抗性が高まっていると考えられるため ・材料分離抵抗性が高い(ただし、その照査が必要) 【厳格化】 ・記載なし	【緩和】 ・分離抵抗性が確保されていれば上限1.5mではなくても良い・粉体量も多く、分離抵抗性が確保されていれば1.5m超でも良いのではないか・少し高くしてもよい・材料分離抵抗性が高い(ただし、その照査が必要) 【厳格化】
一層当りの打込み 高さ	【緩和】 ・振動による充填性が向上しているため ・JASS5では、「7.6 締固め c (前略)公称棒径 45mm の棒形振動機の長さは60~80cm であるので、1層の打込み厚さはそれ以下にする。」とあるため、若干緩和しても良い 【厳格化】 ・記載なし	【緩和】 ・振動による充填性が向上しているため ・普通コンクリートに比べて必要な締固めエネルギーが小さく締固まりやすい 【厳格化】 ・記載なし	【緩和】 ・振動による充填性が向上しているため ・普通コンクリートに比べて必要な締固めエネルギーが小さく締固まりやすい 【厳格化】 ・記載なし
練混ぜから打終わ りまでの時間	【緩和】 ・記載なし 【厳格化】 ・記載なし	【緩和】 ・記載なし 【厳格化】 ・記載なし	【緩和】 ・凝結が遅れる傾向があるため 【厳格化】 ・記載なし
許容打重ね時間間隔	【緩和】 ・通常のコンクリートに比べて、下層のコンクリートの流動性が大きいため 【厳格化】 ・記載なし	【緩和】 ・通常のコンクリートに比べ て、下層のコンクリートの流動 性が大きいため 【厳格化】 ・記載なし	【緩和】 ・通常のコンクリートに比べ て、下層のコンクリートの流動 性が大きいため ・凝結が遅れる傾向があるため 【厳格化】 ・記載なし
締固め方法	(緩和】・記載なし(前格化】・記載なし	【緩和】 ・記載なし 【厳格化】 ・棒状バイブレータに加え、型 枠バイブレータを使用してもよい	【緩和】 ・薄い壁部材では、型枠バイプレータのみでも締固め可能。 ・普通コンクリートに比べて必要な締固めエネルギーが小さく締固まりやすい ・充塡性が高い分,締固め作業自体を軽減できる可能性がある(ただし,配合が幅広のため(単位セメント量を SLF のみで一義的に決めるのが困難な領域)取扱いには注意が必要) 【厳格化】 ・フローが大きいため棒状バイブレータは基本的に補助的な使用に留める

<次ページに続く>

表 2.3.5 締固めを必要とする高流動コンクリートの適用に際し施工方法として緩和/厳格化する項目

挿入間隔	【緩和】 ・振動による充填性が向上している ・締固めによって流動する距離が長い ・締固めは補助的に行うというのが、本コンクリートの主となる目的であると考えている 【厳格化】 ・記載なし	【緩和】 ・少し長くしてもよい ・流動性があるため間隔を広く できると考えられる ・流動性が良い ・振動による充填性が向上して いる動性向上により,間隔を広め にるかにおりにより。できるとのではないため ・締固めははいるが、一方のが、一方のであると考えている 【厳格化】 ・記載なし	【緩和】 ・締固めは補助的に行うというのが、本コンクリートの主となる目的であると考えている・流動性があるため間隔を広できると考えられる・流動性が良い・振動による充填性が向上しているが高いため、間隔を大いるまなったのでもよいであるとが高いため、間隔を広めにより、間隔を広めにより、間隔を広めにおいたにより、間隔を広めにありにより、間隔を広めにおいたにより、間隔を広めによってもよい・流面かによって流動する距離が長いため 【厳格化】・記載なし
挿入深さ	【緩和】 ・記載なし 【厳格化】 ・記載なし	【緩和】 ・記載なし 【厳格化】 ・記載なし	【緩和】 ・記載なし 【厳格化】 ・記載なし
一箇所当りの振動時間	【緩和】 ・振動による充填性が向上しているため ・5 秒以下を OK とする ・流動性が良い 【厳格化】 ・粉体量が少ないため現行の5 ~15 秒よりも短くする必要がある ・材料分離の防止 ・締固め所止 ・締固が出たが生じる(下限に緩和)・過度なにでは5 秒以よって材料分離を生じる可能性があるため	【緩和】・標準時間5~15秒は土木配合作業のでは、15~15秒は土木をとりているが、15秒は一位を対しているが、15秒は一位を対しているが、15秒を検討を対しているが、15秒を検討を対しているが、15秒を検討を対しているが、15秒を対したが、15秒を対したが、15秒を対したが、15秒を対したが、15秒を対したが、15秒を対したが、15秒を対したが、15秒を対したが、15秒を対したが、15秒を対したが、15秒を対したが、15秒を対したが、15秒をはがあるようでは締むすど、15秒をはががでは、15秒をはがが、15秒をはがが、15秒をはがが、15秒をはがが、15秒をはがが、15秒をはがが、15秒をはがが、15秒をはがが、15秒ををはがが、15秒ををはがが、15秒ををはが、15秒ををはがが、15秒ををはいる。15秒ををはいる。15秒ををはいるが、15秒ををはいるが、15秒ををはいるが、15秒ををはいるが、15秒ををはいるが、15秒ををはいるが、15秒ををはいるが、15秒ををはいるが、15秒ををといるが、15秒ををといるが、15秒ををといるが、15秒ををといるが、15秒ををといるが、15秒をといるが、15秒をといるが、15秒をはいるが、15	【緩和】・材料分離抵抗性が高まっている・・大材料分離抵抗性が高まっている・・ではないがあれるというに比がいい側にというが、はいかでは、は、は、は、は、は、は、は、は、は、は、は、は、は、は、は、は、は、は、
その他	【緩和】 ・打込み間隔(2~4mを目安) 【厳格化】 ・特に緩和する根拠となるような配合レベルではないと考える(通常の土木コンクリート配合と同様に実施) ・容易に材料分離しない配合であることを前提とすれば、普通コンクリートの範疇である	【緩和】 ・打込み間隔(2~4mを目安) ・現状、施工方法の表への記載はないが、普通コンクリートより間隔を広くすることを可とする 【厳格化】 ・締固め不足と材料分離を考慮した振動時間の付与 (通常の土木コンクリート配合と同様に実施)	【緩和】 ・打込み間隔(2~4mを目安) ・現状、施工方法の表への記載はないが、普通コンクリートより間隔を広くすることを可とする ・高流動コンの下限に近い配合のため、必ずしも棒状バイブレータの使用が妥当か検討が必要

アンケート調査の結果,締固めを必要とする高流動コンクリートのように流動性の比較的高いコンクリートを用いる場合,施工方法に関する多くの項目で緩和が可能であるとの意見があった.

一方で、締固めの方法や締固め時間については、普通コンクリートと同様に行うのではなく、締固めを必要とする高流動コンクリートは材料分離が生じやすいことに配慮する必要があるとの回答も多くあった.

また、自由落下高さでは、「締固めを必要とする高流動コンクリートは材料分離抵抗性が増している」と捉える回答と、「材料分離抵抗性が低下している」と捉える回答が混在しており、委員の中でもこのコンクリートに対するイメージが異なる点もあることが明らかとなった。さらに、一層当りの打込み高さについては、締固めに必要な振動エネルギーが小さく締固めし易いので、打込み高さを若干大きくすることも可能と考えらえるが、同時に締固め時間を短く設定した場合には、一層当りの打込み高さは必ずしも大きくしてもよいとは言えないという意見もあった。

これらの調査結果から、締固めを必要とする高流動コンクリートの施工方法を設定する際には、このコンクリートの特徴に十分に配慮する必要があるとともに、一連の施工手順を踏まえたうえで検討する必要があると考えられる.

(執筆者:南 浩輔)

3. 締固めを必要とする高流動コンクリートにおいて特に留意が必要な事項の整理

3.1 整理の目的

締固めを必要とする高流動コンクリートは、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準] で対象とする普通コンクリートに対して流動性が高いコンクリートである.このため、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準] で対象とする範囲から外れるとともに、標準的として示される施工方法をそのまま適用できない場合もあるものと考えられる.

本章では、コンクリート標準示方書 [施工編・施工標準] での各章で記述される原則や留意点について、 その対象を普通コンクリートから締固めを必要とする高流動コンクリートに置き換えた場合に、同様の考え 方で行ってよい事項や、特別に配慮すべき事項についての抽出作業を行った.次節以降に、抽出結果の概要 を示す.

3.2 留意が必要な事項の整理

3.2.11章 総則

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートは、コンクリート標準示方書[施工編:施工標準]で対象とする コンクリートとは流動性が大きく異なるため、対象とする流動性の範囲の見直しが必要である。また、施工 方法も相違することから、運搬、打込みおよび締固めの標準的な方法についての検討も必要である。

(2) 1.1 節 一般

①条文(2)の「この[施工編:施工標準]では設計基準強度が 50N/mm²未満,打込みの最小スランプが 16cm 以下の AE コンクリートを対象とする.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートのスランプ (スランプフロー)は 16cm を大きく超える高い流動性を有するコンクリートであることから、スランプ (スランプフロー)の範囲を検討する必要があるという意見があった。また、高い流動性を確保しつつ材料分離 抵抗性を確保するために、単位セメント量(単位粉体量)を増加させる場合もあることから、設計基準強度の範囲についても検討が必要であるとの意見があった。

②解説(1 および 2 について)の「解説 表 1.1.1 [施工編:施工標準]で対象とする標準的な施工方法」で示される各項目について、見直しが必要であるとの意見があった、具体的な意見を以下に示す.

現場内での運搬方法 締固めを必要とする高流動コンクリートにおいても、コンクリートポンプによる方法が主流ではあるものの、プレキャスト部材を工場で製作する場合等ではバケットの使用が想定されるため、コンクリートポンプに限定することが適当であるかを検討する必要がある.

<u>自由落下高さ</u> 高流動コンクリートの自由落下高さは 5m 以下と示されていることから, 締固めを必要とする高流動コンクリートの場合でも, 現状の 1.5m よりも高くできるかを検討する必要がある.

<u>一層当りの打込み高さ</u> 締固めを必要とする高流動コンクリートは、高い流動性を有することから、一層当りの打込み高さを緩和できるかを検討する必要がある. なお、その際には、ブリーディングの生じやすさや型枠に作用する側圧についての検討も必要である.

<u>練混ぜから打終わりまでの時間および許容打重ね時間間隔</u> 締固めを必要とする高流動コンクリートは,高 性能 AE 減水剤を用いる場合が多く,高い流動性を長時間保持できるコンクリートである.このため,練混ぜ から打終わりまでの時間や許容打重ね時間間隔の限度についても検討する必要がある.

<u>締固め方法</u> 棒状バイブレータによる締固めが主流と考えられるが、高い流動性を有するため型枠バイブレータにより締固めを行うことも想定されるため、型枠バイブレータを追記することの検討も必要である.

挿入間隔および一箇所当りの振動時間 これまでの施工標準で対象としたコンクリートに比べ、高い流動性を有するコンクリートであることから、締固め方法に関する記述について検討が必要である.

表 3. 2. 1 コンクリート標準示方 [施工編] の「解説 表 1. 1. 1 [施工編:施工標準] で対象とする標準 的な施工方法」

作業区分	項目		標準
現場までの運搬方法		トラックアジテータ	
建 伽	現場内での運搬方法		コンクリートポンプ
	自由落下高さ (吐出口から打込み面までの高さ)		1.5m 以内
	一層当りの打込み高さ		40~50cm
+ T:7,	練混ぜから打終わりまで の時間	外気温 25℃以下の場合	2 時間以内
打込み		外気温 25℃を超える場合	1.5 時間以内
	かな打手も吐用即位	外気温 25℃以下の場合	2.5 時間
iii	許容打重ね時間間隔	外気温 25℃を超える場合	2.0 時間
	締固め方法		棒状バイブレータ
体田よ	挿入間隔		50cm 程度
締固め	挿入深さ		下層のコンクリートに 10cm 程度
一箇所当りの振動時間			5~15 秒

(3) 1.2 節 施工計画

本WGでは特に意見はなかった.

(執筆者:桜井 邦昭,南 浩輔)

3.2.2 2 章 コンクリートの品質

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートは、普通コンクリートに比べ流動性が大きく、それに伴い材料分離抵抗性が低下するおそれもあることから、流動性と材料分離抵抗性についての記述を充実させる必要がある。また、配合の特殊性や硬化特性に起因する不具合事象、耐久性への影響について注意喚起する必要がある。

(2) 全体

「2 章コンクリートの品質」に関する意見は、具体的な条文や解説に対するものはなく、章全体を見直しの対象とした指摘であった。指摘を大きく分類すると、「①流動性と材料分離抵抗性についての記述の充実」および「②配合の特殊性や硬化特性に起因する不具合事象、耐久性への影響についての注意喚起」の2つであった。

①締固めを必要とする高流動コンクリートの適用に際し、多くの委員が高い流動性と材料分離抵抗性のバランスについての重要性を指摘していた。特に、流動性と材料分離抵抗性の評価方法と評価指標についての意見が多くなされた。なお、既に実用化されているトンネル覆エコンクリートの場合は施工方法が決まって

おり,施工方法に即して,流動性と振動エネルギーの関係に着目した加振変形試験を定め,加振変形試験後 に判断する材料分離の指標を定義するとともに,スランプフローとU形充塡高さの結果を整理し,充塡高さ の基準値を定めている.

②締固めを必要とする高流動コンクリートには、一般的に粉体系のものと増粘剤系のものがある. 前者は 増粘剤を使用せず材料分離抵抗性の確保に必要な粘性を粉体量で確保するとともに、流動性を高めるために 高性能な減水剤を使用する. 後者は、現在、増粘剤と高性能 AE 減水剤があらかじめ混合された、俗に増粘剤 一液タイプと呼ばれる高流動コンクリート用の化学混和剤が実用化されている. この場合、材料分離抵抗性 の確保に必要な粘性をすべて増粘剤で確保するのではなく、一般的には、スランプコンクリートに比べて粉体を増す対策を併用している.

このような配合の特殊性に伴い、プラスティック収縮ひび割れが発生しやすいこと、施工の可使時間が一般コンクリートと異なること、粉体量の増加に伴い水和熱や自己収縮が大きくなりやすく ASR も生じやすくなりやすいこと、締固めによるエントレインドエアの逸散による耐凍害性の低下が懸念されることなどが指摘された.

(執筆者:徳光 卓,杉江 匡紀)

3.2.33章 材料

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートを製造および施工するにあたり,一部の材料については,普通コンクリートと同じ記述内容では適切でないと考えられる.また,このコンクリートでは,増粘剤含有高性能 AE 減水剤を使用することも多いことから,記述の追加が必要である.

(2) 3.1 節 一般

本WGでは特に意見はなかった.

(3) 3.2節 セメント

本 WG では特に意見はなかった.

(4) 3.3 節 練混ぜ水

条文(2)「回収水は、JIS A 5308 付属書Cに適合したものでなければならない」および解説(2)「スラッジ固形分率が 3%を超えない範囲であれば、購入者の承諾を得なくても呼び強度 36N 以下のレディーミクストコンクリートに使用できることとなった。」と記述されているが、高流動コンクリートおよび高強度コンクリートにスラッジ水を適用することはできない。 締固めを必要とする高流動コンクリートは、呼び強度 36N以下の場合も、超える場合もあると想定されるが、承諾を得ることなく使用することを認めて良いのか、また、使用自体を認めて良いのかとの意見があった。

(5) 3.4節 骨材

本 WG では特に意見はなかった.

(6) 3.4.1 節 細骨材

本WGでは特に意見はなかった.

(7) 3.4.2 節 粗骨材

条文(3)「砕石は、JIS A 5005 に適合したものを標準とする.」および解説(3)「砕石の粒形の良否を判定する粒形判定実積率の試験方法が示されており、その値は 56%以上でなければならないと規定されてい

る.」に対して、締固めを必要とする高流動コンクリートはスランプの大きいコンクリートでも見られるように、骨材品質が材料分離抵抗性や間隙通過性(流動性)に大きく影響すると考えられることから、現状の JIS で規定される下限値 56%のままで良いかについて、検討が必要であるとの意見があった.

(8) 3.4.3 節 骨材の貯蔵

本 WG では特に意見はなかった.

- (9) 3.5 節 混和材料
- 3.5.1 節 条文(1)「混和材料として用いる混和材および混和剤は、品質の確かめられたものでなければならない.」および解説「品質や性能が…~主な機能別に分類すれば次のようなものがある.」に対して、締固めを必要とする高流動コンクリートにおける材料の分類や増粘剤成分の記述(混和材、混和剤との相性など)が必要ではないかとの意見があった。また、各材料を使用した締固めを必要とする高流動コンクリートの実績調査が必要ではないかとの意見もあった。
- (10) 3.5.2 節 混和材

本WGでは特に意見はなかった.

- (11) 3.5.3 節 混和剤
- ①条文(1)「混和剤として用いる AE 剤,減水剤,AE 減水剤,高性能 AE 減水剤,高性能減水剤,流動化剤および硬化促進剤は、JIS A 6204 に適合したものを標準とする.」に対して、締固めを必要とする高流動コンクリートでは高い流動性を確保するために「高性能 AE 減水剤の使用を標準とする」や、「JIS A 6204 に適合した高性能 AE 減水剤、高機能タイプの AE 減水剤、増粘剤一液タイプの高性能 AE 減水剤および流動化剤を用いて製造されることが多い.」旨を記載するのが望ましいとの意見があった.
- ②条文(1)~(4)に対して、コンクリート標準示方書[施工編:特殊コンクリート]3章 高流動コンクリート 3.3 材料の条文(1)~(3)の内容を参考として用い、高性能 AE 減水剤、高性能減水剤以外に必要な材料を追記するのが良いとの意見があった.
- ③解説(1)「従来,増粘剤系高流動コンクリートは,…~あらかじめ増粘剤が高性能 AE 減水剤に配合されているため,通常のコンクリートと同様の設備で,比較的簡便にランク2の充填性を有する高流動コンクリートを製造することが可能である.」に対して,締固めを必要とする高流動コンクリートについても記載するのが良いとの意見があった。また,混和材は継続的な供給に対する不安や製造設備の制約を受ける場合もあることから,そのような場合には、増粘剤一液タイプの混和剤の適用が有効であることを記載するのが望ましいとの意見もあった。
- ④解説(1)「ただし、いずれの高性能 AE 減水剤も使用実績は少ないので、その特性について十分に理解しておくとともに、目的とする効果が得られるよう、適切な使用方法を十分に検討しておく必要がある.」に対して、その特性や使用方法を具体的に記載した方が良いとの意見があった.

(12)3.6節 補強材料

本 WG では特に意見はなかった.

(執筆者: 桧垣 誠, 小林 竜平)

3.2.44章 配合設計

(1) 留意が必要な事項の概要

材料分離抵抗性を確保する手法(粉体系、併用系、増粘剤系)および目標とする流動性の大きさに応じた

配合設計の方法や、材料分離抵抗性の評価手法に関する検討が必要である。また、コンクリート標準示方書 [施工標準]の打込みの最小スランプのように、締固めを必要とする高流動コンクリートを用いる場合に必要となる「流動性の目安」を示す必要性がある。

(2) 4.1 節 一般

①条文(1)「配合設計においては、所要のワーカビリティー、設計基準強度、劣化に対する抵抗性ならびに物質の透過に対する抵抗性等を満足するように、粗骨材の最大寸法、スランプ、空気量、水セメント比、細骨材率等の配合条件を明確に設定した上で、使用材料の各単位量を定める.」に対し、以下の意見があった.

- ・高流動コンクリートと同じような分類(粉体系、併用系、増粘剤系)が必要となるのではないか
- ・加振時の材料分離抵抗性、変形性、充塡性を考慮して単位量を定める必要があるのではないか
- ・単位粉体量あるいは細骨材率の考え方が今までとは変わってくるのではないか
- ・材料分離抵抗性を評価できる試験が必要となるのではないか

②解説(1)「設計基準強度が 50N/mm²未満, フレッシュコンクリートの充塡性をスランプ(打込みの最小スランプ 16cm 以下)で評価する AE コンクリートである.」に対し, 以下の意見があった.

- ・荷卸し時あるいは打込み時にスランプ 21cm 程度以上またはスランプフロー35~50cm 程度の締固めを必要とする高流動コンクリートを対象とする記述が必要ではないか
- ・配合は使用材料によって異なることが想定されるため、種類(粉体系と増粘剤系)に分けて、最低単位粉体量、標準的な単位粗骨材絶対容積を記述する必要があるのではないか
- ・事前の試し練りによるフレッシュ性状 (ブリーディング・凝結等) の確認からスランプフローの上限値を 設定できるようにすることも必要ではないか
- ・打込み時の最小スランプだけではなく、締固めを必要とする高流動コンクリートのスランプ、スランプフロー値の設定が必要ではないか

(3) 4.2 節 配合設計の手順

①条文(1)~(4)において示される普通コンクリートの配合設計の手順に対して、「細骨材率を材料分離抵抗性の調整に用いていること」、「単位粗骨材量の下限値」、「単位セメント量の範囲の目安」、「細骨材の微粒分量、粗粒率」についての記述の追記や検討が必要であるとの意見があった.

②解説(2)「この[施工編:施工標準]では、単位粉体量を材料分離抵抗性の指標としており、スランプの大きさに応じて、必要な単位粉体量を確保して適切な材料分離抵抗性を付与する必要がある.」に対して、材料分離抵抗性(単位粉体量、増粘剤一液型高性能 AE 減水剤の使用、増粘剤の使用など)とスランプもしくはスランプフロー値との関連付け、配合設計方法の体系化および後添加により製造する場合の配合設計方法が必要であるとの意見があった.

(4) 4.3 節 コンクリートの特性値の確認

本 WG では特に意見はなかった.

(5) 4.4節 コンクリートのワーカビリティー

①4.4 節 概要「打込みの最小スランプからスランプロスを考慮して、練上がりもしくは荷卸し時点のスランプを決める.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートはスランプフローで管理することが多いが、スランプで管理するコンクリートからスランプフローで管理するコンクリートに変わる境界をどう設定するかを検討する必要があるのではないかという意見があった.

②4.4.1 充塡性 解説 (3)「コンクリートの密実な充塡を確実に得るためには、打込み時に必要なスランプを確実に確保する必要がある。そのため、この [施工編:施工標準] では、充塡性を確保するための流

動性について、「打込みの最小スランプ」を基準とすることとする.」に対して、普通コンクリートの場合には、上述のように.「打込みの最小スランプ」を基準とすることで、充塡性を確保することとしている.一方、締固めを必要とする高流動コンクリートの場合には、材料分離抵抗性を確認する必要があると考えられるため、ワーカビリティーをどのように定めるか指標を提示する必要があるのではないかとの意見があった.このほかにも、圧送性の評価、施工時期に応じた可使時間、仕上げのタイミングなどについても検討が必要であるとの意見もあった.

(6) 4.5 節 配合条件の設定

4.5.2 項条文(3)「打込みの最小スランプの目安は、構造物の種類、部材の種類と大きさ、鋼材量や鋼材の最小あき等の配筋条件、締固め作業高さ等の施工条件にもとづき、表 4.5.2~4.5.5 から選定する.」に対して、締固めを必要とする高流動コンクリートの使用目的(生産性向上のため、高密度配筋部における充塡性確保)により、スランプもしくはスランプフローの目安値が必要との意見があった。

(7) 4.6 節 単位量の決定

本WGでは特に意見はなかった.

(8) 4.7節 試し練り

本 WG では特に意見はなかった.

(9) 4.8節 配合の表し方

本 WG では特に意見はなかった.

(執筆者:中村 敏之, 吉田 克弥)

3.2.55章 製造

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートのフレッシュ時の性状は、表面水率の影響を受けやすいことから、 その管理が重要である。また、練混ぜ時間については、実態調査ができていない、もしくは事例が少ないた め調査検討の必要がある。さらに、連続ミキサが適用可能か検討する必要がある。

(2) 5.1 節 一般

本WGでは、特に意見はなかった.

(3) 5.2 節 製造設備

①5.2.1 節 貯蔵設備 条文(1)「セメントおよび混和材の貯蔵設備は、防湿的な構造を有するサイロで、 セメントおよび混和材が種類別に貯蔵できるものでなければならない.」に対し、混和材を用いる場合、サイロ数に余裕のある生コンプラントは少なく、対応できないプラントが多いとの意見があった.

②5.2.3節 ミキサ 条文(2)「連続ミキサは、JSCE-1 502 による練混ぜ性能試験を行い、所要の練混ぜ性能を有することが確認されたものでなければならない.」に対し、連続ミキサは、運転開始時や中断時等に品質が不安定なケースがあり、また、高流動コンクリートには適用されていない。これらを踏まえ、締固めを必要とする高流動コンクリートに連続ミキサが適用可能か検討する必要があるとの意見があった。

(4) 5.3 節 計量

①解説(1)の「骨材の表面水率あるいは有効吸水率は変動しやすく、コンクリートのスランプや水セメント比に影響を及ぼすため、表面水率あるいは有効吸水率を適切な頻度で測定し、その結果を反映した計量を行わなければならない.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートのフレッシュ性状は、表面水率の

変動の影響を受けやすく、その管理が重要との意見があった。なお、高流動コンクリート指針では、「①高流動コンクリートのフレッシュ性状は、骨材の表面水率の変動の影響を受けやすい、②最初の数バッチは表面水率が大きい場合が多いため、表面水が安定するまでは測定回数を多くする、③自動水分計等により連続的に表面水率を測定する、④ロットの変化により表面水率の変動が予想される場合及びミキサの負荷電流値が大きく変化した場合などには、適宜試験を実施する」と記述されている。

②条文(4)の「連続ミキサを使用する場合、各材料は容積で計量してもよい.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートは、普通コンクリートと比べて計量誤差による影響が大きく、容積計量で問題ないか検討する必要があるとの意見があった.

(5) 5.4節 練混ぜ

解説(3)の「練混ぜ時間の試験を行わない場合には、その最小時間は、傾胴型ミキサを用いる場合には 1 分 30 秒、強制練りミキサを用いる場合には 1 分を標準としてよい。これらの値は、実態調査結果の最大値である。」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートの練混ぜ時間については実態調査ができていない、もしくは事例が少ないため、その限りではない旨を記載した方が良いとの意見があった。また、材料分離抵抗性の確保の方法として、粉体量を増加する場合、増粘剤一液タイプを用いる場合、両者を併用する場合に対して、それぞれで練混ぜ時間が異なるとの意見もあった。

(6) その他

増粘剤一液タイプの流動化剤を現場で添加し、締固めを必要とする高流動コンクリートを製造する場合もあるが、現状のコンクリート標準示方書[施工編:施工標準]には流動化剤の現場添加についての記述がない(「施工編:特殊コンクリート]2章 流動化コンクリートに記載されている)との意見もあった.

(執筆者:中水 高博)

3.2.66章 レディーミクストコンクリート

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートを使用する場合に、コンクリート標準示方書 [施工編:施工基準]で示すスランプ・スランプフローの適用範囲を見直す必要がある。また、表面水率の影響を受けやすく、目視感覚と試験結果の乖離が生じやすいため、材料分離抵抗性に関する評価方法を検討する必要がある。

(2) 6.1 節 一般

本 WG では特に意見はなかった.

(3) 6.2節 工場の選定

本 WG では特に意見はなかった.

(4) 6.3 節 品質についての指定

①条文の「JIS 認証品を購入する場合には、所要の品質のコンクリートが得られるように、レディーミクストコンクリートの種類と指定事項のうち必要な事項を指定しなければならない。JIS 認証品以外のレディーミクストコンクリートを購入する場合にもこれに準ずる.」に対し、材料分離抵抗性に対する評価方法の検討が必要ではないかとの意見があった。

②JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」は 2019 年に改正となり、普通コンクリートの種類が増加し、流動性の高いコンクリートも含まれている。このため、改正されたレディーミクストコンクリートの種類における締固めを必要とする高流動コンクリートの範囲についても検討を行う必要があるとの意見があっ

た.

- (5) 6.4節 配合計画書の確認本 WG では特に意見はなかった.
- (6) 6.5 節 受入れ 本 WG では特に意見はなかった.

(執筆者:三本 巌,松信 岳彦)

3.2.77章 運搬・打込み・締固めおよび仕上げ

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートは、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準]で対象とする コンクリートに比べて流動性が高いことから、打込みや締固めが容易になると考えられる。ただし、材料分 離に留意する必要があり、流動距離や締固め時間について十分に検討する必要がある。

(2) 7.2 節 練混ぜから打終わりまでの時間

①条文の「練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は、外気温が25℃以下のときで2時間以内、25℃を超えるときで1.5時間以内を標準とする.」に対し、このまま準ずるか検討が必要という意見があった.

(3) 7.3 節 運搬

①7.3.2.1 コンクリートポンプ 解説 (1) の「水平管 1m 当りの管内圧力損失は、コンクリートの種類 および品質、吐出量、輸送管の径によって定まり、スランプが小さいほど、輸送管の径が小さいほど、また 吐出量が大きいほど大きくなる. 粗骨材の最大寸法が 20~25mm のコンクリートの場合の標準的な値を解説 図 7.3.1 および解説図 7.3.2 に示す.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートの管内圧力損失は、実績が少なく明確でない. このため、実績の調査やデータの収集が必要であること、また現状では自己充塡型の高流動コンクリートと同様な考えで圧送性を確認する必要があるという意見があった.

②7.3.2.3 シュート 条文(2)の「やむを得ず斜めシュートを用いる場合は、シュートの傾きはコンクリートが円滑に流下し、かつ材料分離を起こさない程度のものとし、水平2に対して鉛直1程度の斜度を標準とする.」に対し、斜めシュートは、材料分離が懸念されるため、適用可能かを検討する必要があるという意見があった.

③7.3.2.4 その他の運搬機械 条文(1)の「ベルトコンベヤを用いる場合には、必要に応じて日光、風雨等に対して適切な対策をとるとともに、コンクリートの材料分離を防ぐため、その終端にはバッフルプレートおよび漏斗管を設けることを原則とする.」に対して、ベルトコンベヤは、材料分離やモルタル分の減少が懸念されるため、適用可能かを検討する必要があるという意見があった.

(4) 7.4.2 打込み

①条文(2)の「打ち込んだコンクリートは型枠内で横移動させてはならない」および解説(2)の「コンクリートの打込み間隔は2~4mを目安にするとよい.」に対し締固めを必要とする高流動コンクリートは、流動性が高く横方向に移動しやすいため、自己充塡型の高流動コンクリートと同様に流動距離の上限値を記述する必要があるという意見があった. 具体的には、3.0m や自己充塡型の高流動コンクリートの最大値8mを下回るような値との意見があった.

②条文(7)の「打込み面までの自由落下高さは、1.5m以下を標準とする.」に対し、締固めを必要とする 高流動コンクリートの自由落下高さを記述する必要があるという意見があった。また、材料分離を生じない 範囲で 1.5m 以上としてよいか検討する必要があるという意見や具体的に 2.0m 以下とするという意見があった.

③条文(9)の「打上がり速度は、一般の場合には 30 分あたり 1.0~1.5m 程度を標準とする.」に対し、 締固めを必要とする高流動コンクリートは、型枠に作用する側圧が大きくなることが予想されるため、打上 がり速度の検討が必要という意見があった.

(5) 7.5 節 締固め

①条文(1)の「コンクリートの締固めには、棒状バイブレータを用いることを原則とする.ただし、棒状バイブレータの使用が困難で、かつ型枠に近い場所には型枠バイブレータを使用して確実に締め固めなければならない.」に対し、覆エコンクリートや二次製品では、締固めに型枠バイブレータの使用事例が多いことを記述するという意見があった.

②解説(5)の「棒状バイブレータの挿入間隔は、平均的な流動性および粘性を有するコンクリートに対しては、一般に50cm以下にするとよい.」および「締固め時間の目安は、一般には5~15秒である.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートは、締固めが過度になると材料分離を生じるおそれがあるため、挿入間隔および締固め時間の目安を記述する必要があるという意見があった. 具体的には、締固め時間を少し短くすることが考えられるが、振動エネルギーなども考慮して文献調査や実験によって整理することが望ましいという意見があった.

③解説(5)の「1 台のバイブレータで締め固められるコンクリートの容積は、現場の状況によって相違するが、一般的な構造物に用いるものでは 1 時間に 4~8m³である.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートの場合の目安(作業効率)を記述する必要があるという意見があった.

(6) 7.6 節 仕上げ

条文(1)の「締固めが終わり、ほぼ所定の高さおよび形にならしたコンクリートの上面は、しみ出た水がなくなるかまたは上面の水を取り除くまで仕上げてはならない.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートの仕上げのタイミングを記述するのが望ましいという意見があった.

(執筆者:西脇 敬一,松本 修治)

3.2.88章 養生

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートの養生は、基本的には従来の普通コンクリートと同等と考えてよい.一方で、使用材料や配合によっては、ブリーディング水が少ない等の特徴を有するため初期の養生方法および養生期間について十分に検討する必要がある.

(2) 8.2 節 湿潤養生

①解説(1)では「コンクリートの仕上がり面は、日射や風の影響等によって水分の逸散が生じやすいので、 湛水、散水、あるいは十分に水を含んだ湿布や養生マット等により給水による養生を行うことを基本とする.」 としている。 締固めを必要とする高流動コンクリートは、使用材料や配合によっては通常のコンクリートと 比較してブリーディング水が少ないため、特に日光や風等の影響を受けやすい。 したがって、コンクリート の仕上げ後、速やかに湿潤状態に保つ養生を施す必要があるという意見があった。

②条文(2)では「湿潤養生期間は、使用するセメントの種類や養生期間中の環境温度等に応じて適切に定めなければならない」として、通常のコンクリート工事におけるコンクリートの湿潤養生期間を表3.2.2(コ

ンクリート標準示方書 表 8.2.1) に示している. 締固めを必要とする高流動コンクリートにおいて高性能 AE 減水剤や増粘剤を使用する配合の場合, 凝結が遅くなる可能性があるため, 養生期間を標準より長くする など配慮が必要な場合があるという意見があった.

表 3.2.2 コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準] における湿潤養生期間の標準表 8.2.1 湿潤養生期間の標準

日平均気温	早強ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント	混合セメントB種
15℃以上	3 日	5 FI	7 日
10℃以上	4 日	7 日	9日
5℃以上	5日	9 FI	12 日

(3) 8.3 節 温度制御養生

本 WG では特に意見はなかった.

(4) 8.4節 有害な作用に対する保護

本 WG では特に意見はなかった.

(執筆者:林 俊斉)

3.2.99章 継目

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートは、使用材料や配合によってはブリーディング水の発生が少なく、 打継ぎ面に形成されるレイタンス層が一般のコンクリートに比べて少なくなるため、自己充塡性を有する高 流動コンクリートのように、打継目が所要の性能(水密性など)を確保することが確認できれば、打継ぎ面 の処理を簡略化しても良いかについての検討が必要である.

(2) 9.1節 一般

条文(1)の「継目は、設計図書に示された構造とし、所定の位置に設けなければならない.」および条文(2)の「設計図書に示されていない継目を設ける場合には、構造物の性能を損なわないように、その位置、方向および施工方法を施工計画書で定めなければならない.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートも、同様であるとの意見があった.

(3) 9.2 節 打継目

9.2.2 節 水平打継目 条文(1)の「コンクリートを打ち継ぐ場合には、既に打ち込まれたコンクリートの表面のレイタンス、品質の悪いコンクリート、緩んだ骨材粒等を完全に取り除き、コンクリート表面を粗にした後、十分に吸水させなければならない.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートは、使用材料や配合によってはブリーディング水の発生が少なく、打継ぎ面に形成されるレイタンス層が一般のコンクリートに比べて少なくなるため、打継ぎ面の処理を簡略化してもよいのではないかという意見があった.

(4) 9.3 節 目地

本 WG では特に意見はなかった.

(執筆者: 井手 一雄)

3.2.10 10 章 鉄筋工

(1) 留意が必要な事項の概要

条文については、記述の追加や検討が必要な項目に関する意見はなかった。ただし、解説において、高密度配筋部の施工では「高流動コンクリートの使用等を検討する必要がある」との記述があることから、締固めを必要とする高流動コンクリートについての記述も必要である。

(2) 10.1 節 一般

本 WG では特に意見はなかった.

(3) 10.2 節 準備

解説において、「鉄筋が密に配置され、棒状バイブレータで締め固めることが困難な場合には、発注者および設計者と協議し、コンクリート標準示方書 [施工編:本編]もしくは [施工編:特殊コンクリート] に基づき、配筋の変更、高流動コンクリートの使用等を検討する必要がある.」との記述があることから、締固めを必要とする高流動コンクリートについても検討が必要との意見があった。また、締固めを必要とする高流動コンクリートを用いる場合の高密度配筋の目安があると、使用しやすくなるという意見があった。

(4) 10.3節 鉄筋の加工

本 WG では特に意見はなかった.

(5) 10.4節 鉄筋の組立

本 WG では特に意見はなかった.

(執筆者: 森濱 哲志)

3.2.11 11 章 型枠および支保工

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートは、普通コンクリートに比べて流動性が高く、また流動性の保持時間が長いため、コンクリート標準示方書に記述されている計算式で算出した側圧では危険側になることが懸念される.一方で、自己充塡性を有する高流動コンクリートに比べ作用する側圧は小さいと考えられるため、液圧として考慮するべきかの検討は必要である.

(2) 11.1 節 一般

本 WG では特に意見はなかった.

(3) 11.2 節 荷重 11.2.1 一般

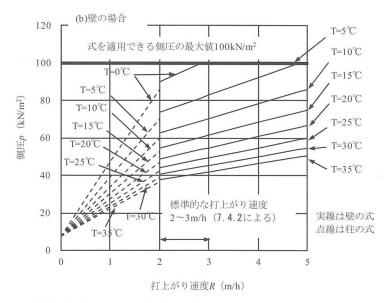
条文「型枠および支保工は、構造物の種類、規模、重要度、施工条件および環境条件を考慮して、11.2.2 から 11.2.5 に示す各荷重に対して安全性を確保できるように設計しなければならない.」に対して、後述する 11.2.4 において締固めを必要とする高流動コンクリートの側圧の計算方法、または実測値を示す必要があるとの意見があった.

(4)11.2 荷重 11.2.4 コンクリートの側圧

①条文(2)の「コンクリートの側圧は、構造物条件、コンクリート条件および施工条件によって変化するため、これらの要因の影響を考慮して側圧の値を定めなければならない.」との記述に対して、以下の意見

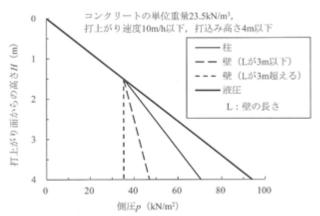
があった.

- ・普通コンクリートでも特にスランプが大きい場合,安全側に考慮するために自己充塡性を有する高流動コンクリートと同様に液圧で型枠を設計する場合もある
- ・現状のコンクリート標準示方書でも配合条件や施工条件に関する注意点が記述されているが、締固めを必要とする高流動コンクリートでは特にスランプ保持性が高いことや凝結が遅延することが挙げられ、自己 充填性を有する高流動コンクリートと異なり振動締固めにより側圧が増加するなどに留意する必要がある
- ②解説の「側圧が大きくなる要因が含まれる場合には、計算に用いる側圧の値を適切に割り増す必要がある.スランプの保持時間が長い場合、凝結が遅延する場合、打込み速度を大きくする場合には、想定よりも高い側圧が型枠に作用する可能性があるので注意が必要である.」との記述に対して、締固めを必要とする高流動コンクリートは、一般のコンクリートよりも流動性に優れ、凝結時間も長い傾向にあるため、計算に用いる側圧の値を適切に割り増す必要があるとの意見があった。値に関しては、実績や文献等による調査が必要であるとの意見があった。
- ③解説「高流動コンクリートあるいは流動性の高い高強度コンクリートの側圧は、液圧に近い側圧分布を示す場合が多いので、[施工編:特殊コンクリート](3 章 高流動コンクリート,4 章 高強度コンクリート)では原則として液圧が作用するものとして設計することとしている.」との記述に対して、締固めを必要とする高流動コンクリートついても液圧として考慮するべきかの検討が必要であるとの意見があった。また、流動性の大きさによっては、液圧より相当に小さい側圧となり非常に不経済な型枠・支保工となる場合もある. 打ち上がり高さによる側圧の上限値を設けるか等の検討が必要であるとの意見があった.
- ④解説「スランプが約10cm以下のコンクリートを型枠内に打ち込み、棒状バイブレータを用いて締固めを行う場合の側圧の目安を求める実用的な計算式として古くから用いられてきたものである.解説図11.2.1 (図3.2.1) および解説図11.2.2 (図3.2.2) は、この計算式を用いて求めた側圧と打ち込み速度およびコンクリート温度との関係を示したものである.」との記述、および「式(解11.2.4)~(解11.2.6)は、打ち上がり速度が10m/h以下で最終的な打ち込み高さが4m以下の条件において、スランプが大きなコンクリート(18cm程度)を打ち込んだ場合の側圧の実用的な計算式の一例である」との記述に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートは、普通コンクリートに比べて流動性が高く、また流動性の保持時間が長い.このため、コンクリート標準示方書に記述されている計算式で算出した側圧では危険側の答えとなるおそれがあり、締固めを必要とする高流動コンクリートの打上がり速度と側圧との関係を記述することが望ましいとの意見があった.



解説 図 11.2.2 スランプが 10cm 程度以下のコンクリートの側圧 (壁の場合)

図 3.2.1 コンクリート標準示方書におけるスランプが 10cm 程度以下のコンクリートの側圧 (壁の場合)



解説 図 11.2.4 スランプが 18cm 程度のコンクリートの側圧分布

図 3.2.2 コンクリート標準示方書におけるスランプが 18cm 程度のコンクリートの側圧分布

(5) 11.3節 材料

本 WG では特に意見はなかった.

(6) 11.4節 型枠の設計

本 WG では特に意見はなかった.

(7) 11.5節 支保工の設計

本 WG では特に意見はなかった.

(8) 11.6節 型枠の施工

解説「型枠の施工では、設計図書に示された構造物の形状寸法が所定の精度内で得られるよう、「11.4型枠の設計で想定した型枠材を用い、それを精度良く加工及び組立を行うことが重要となる」との記述に対し、「土木学会コンクリートライブラリ 136 高流動コンクリートの配合設計・施工指針 2012 年版」では、型枠組立時におけるせき板の継ぎ目の隙間は 5mm 程度以下との記載があり、締固めを必要とする高流動コンクリ

- ートにおいても同様の目安を設けることについて検討が必要であるとの意見があった.
- (9) 11.7節 支保工の施工

本 WG では特に意見はなかった.

- (10) 11.8 節 型枠および支保工の取外し 本 WG では特に意見はなかった.
- (11) 11.9節 特殊な型枠および支保工 本WG では特に意見はなかった.
- (12) その他

型枠に関連する事項として、コンクリート標準示方書[施工編:特殊コンクリート]12章 工場製品 12.5.3 型枠では、締固めを必要とする高流動コンクリートなどの流動性が高いコンクリートに関する記載がないが、シールド工事等で使用するセグメント等のプレキャスト製品は、硬練りコンクリートをテーブルバイブレータによる強制振動で締め固めるため、剛性の高い型枠が要求されている。締固めを必要とする高流動コンクリートを使用することで型枠バイブレータの締固め時間が短時間となり、型枠剛性を下げることが可能になるメリットがあることから、これについての記述の追加が必要であるとの意見があった。

(執筆者:谷口 修,高橋 直希)

3.2.12 12 章 寒中コンクリート

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートは流動性が高く、流動性の保持時間も長いことから、寒中コンク リートではブリーディングが増大するおそれがあるので、ブリーディング水量が少なくなるような配合を検 討する必要ある.また、施工実績が少ないことから、養生や型枠および支保工についても留意が必要である.

(2) 12.1 節 一般

本 WG では特に意見はなかった.

(3) 12.2 節 材料

本 WG では特に意見はなかった.

(4) 12.3節 配合

締固めを必要とする高流動コンクリートは流動性が高いため、普通コンクリートに比べてブリーディング水が増大するおそれもあることから、ブリーディング水の発生を低減する方法について検討が必要であることを記述する必要があるとの意見があった. 具体的には、「単位水量を減じる(凍結水量を減じる)」、「混和剤の添加率を下げる(高性能 AE 減水剤によるノロの増加を抑制)」、「単位セメント量を上げる」などの意見があった. また、ブリーディング水の低減策について、実績調査を踏まえた検証も必要であるとの意見もあった.

(5) 12.4節 練混ぜ

本 WG では特に意見はなかった.

(6) 12.5 節 運搬および打込み

本WGでは特に意見はなかった.

(7) 12.6 節 養生

「8章 養生」において締固めを必要とする高流動コンクリートの場合に考慮すべき事項を検討し、本節に

おける記述内容の追加を検討する必要があるとの意見があった。また、実績調査を踏まえた追記が必要との意見もあった。

(8) 12.7節 型枠および支保工

「11 章 型枠および支保工」において締固めを必要とする高流動コンクリートの場合に考慮すべき事項を検討し、本節における記述内容の追加を検討する必要があるとの意見があった。また、実績調査を踏まえた追記が必要との意見があった。

(執筆者:椎名 貴快)

3.2.13 13章 暑中コンクリート

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートとして、暑中環境下における流動性の経時変化に留意し、適切な 材料を選定する必要がある。また、普通コンクリートと同様に暑中期の温度ひび割れに留意した材料選定、 配合設計を行う必要がある。

(2) 13.1 節 一般

特別なことがない限り、普通コンクリートの取り扱いと同じでよいのではないかとの意見があった.

(3) 13.2 節 材料

概ねそのままの内容でよいが, 使用する化学混和剤についての注釈が必要との意見があった.

(4) 13.3 節 配合

水和熱による温度ひび割れを考慮し、セメントの種類や配合の一例を示すべきとの意見があった。

(5) 13.4節 練混ぜ

本 WG では特に意見はなかった.

(6) 13.5 節 運搬

本 WG では特に意見はなかった.

(7) 13.6節 打込み

①解説(2)の「暑中コンクリートでは、スランプは時間の経過に伴って低下しやすいため、練り混ぜてから長時間経過したコンクリートは打込みが困難となる場合がある.」との記述に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートは、流動性が最も重要な特性のひとつであることから、流動性の経時変化について留意する必要があることを記述するのが望ましいという意見があった.

②このほかにも、流動性が低下した場合の措置について考えるべきとの意見、締固めを必要とする高流動 コンクリートは普通コンクリートに比べて流動性の保持時間が長くなることから、打重ね時間間隔を延長で きるかについての検討が必要であるとの意見があった.

(8) 13.7節 養生

本 WG では特に意見はなかった.

(執筆者:松倉 隼人)

3.2.14 14 章 マスコンクリート

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートは、コンクリート標準示方書[施工編:施工標準]で対象とするコンクリートに比べ単位セメント量が多くなる場合も想定されることから、セメントの水和熱に起因する温度応力に留意する必要がある.

(2) 14.1 節 一般

①条文(1)の「セメントの水和熱に起因した温度応力が問題となる場合は、マスコンクリートとして取り扱い、その対策を十分に検討しなければならない.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートは、普通コンクリートより単位セメント量が増える場合が多いことから、これに対する留意点を記述すべきとの意見があった.

②解説(2)の「富配合のコンクリートが用いられる場合には、より薄い部材であっても拘束条件によってはマスコンクリートに準じた扱いが必要になる.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートは単位セメント量が大きくなる場合もあることから、特に留意する必要があるという意見があった.

(3) 14.2 節 材料

①条文の「セメントおよび混和材料は、実際の施工条件に基づく温度ひび割れの照査に想定したものを用いなければならない.」および解説の「一般的には、中庸熱ポルトランドセメント、低熱ポルトランドセメント,高炉セメント、フライアッシュセメント等の低発熱型のセメントを使用することが望ましい.」に対して、締固めを必要とする高流動コンクリートは、普通コンクリートよりも単位セメント量が大きくなることより、水和熱による温度ひび割れが課題となると考えられる. そのため、水和熱による温度ひび割れの対策が必要となる. 対策の一例として、使用するセメントの種類や配合を記述することが考えられるという意見があった.

②解説の「一方、AE 剤、減水剤、AE 減水剤または高性能減水剤を適切に用いれば、コンクリートのワーカビリティーが改善されるので、単位水量を減らすことができ、それに伴って単位セメント量も減らすことができる.」に対して、締固めを必要とする高流動コンクリートは、使用材料や配合によっては、一般のコンクリートよりもこれらの減水剤(AE 剤、減水剤、AE 減水剤または高性能 AE 減水剤)の使用量が多くなる傾向があるため、凝結遅延などの影響についての検討が必要であるとの意見があった.

(4) 14.3 節 配合

①条文の「コンクリートの単位セメント量は、実際の施工条件に基づく温度ひび割れの照査時に想定したものとしなければならない.」に対して、締固めを必要とする高流動コンクリートは、普通コンクリートよりも単位セメント量が大きくなることより、水和熱による温度ひび割れが課題となると考えられる.そのため、水和熱による温度ひび割れの対策が必要となる.対策の一例として、使用するセメントの種類や配合を記述することが考えられるという意見があった.

②解説の「コンクリートの発熱量は単位セメント量にほぼ比例し、一般的にはコンクリートの温度上昇量は単位セメント量 $10 \log/m^3$ に対してほぼ 1 % の割合で増減する。したがって、温度ひび割れの防止あるいはひび割れ幅の抑制のためには、所要のワーカビリティーやひび割れ抵抗性を確保したうえで、単位セメント量をできるだけ小さくするのがよい。」に対して、締固めを必要とする高流動コンクリートは、一般のコンクリートよりも単位結合材量(単位粉体量)が大きくなる傾向があるため、水和熱や自己収縮に起因するひび割れに注意しなければならないという意見があった。

(5) 14.4節 製造

本 WG では特に意見はなかった.

(6) 14.5 節 打込み

本 WG では特に意見はなかった.

(7) 14.6節 養生本 WG では特に意見はなかった.

- (8) 14.7 節 ひび割れに誘発目地 本 WG では特に意見はなかった.
- (9) 14.8節 鉄筋工 本 WG では特に意見はなかった.
- (10) 14.9節 型枠本 WG では特に意見はなかった.

(執筆者:黒澤 隆)

3.2.15 15 章 品質管理

(1) 留意が必要な事項の概要

コンクリートの受入れ時の品質管理においては、ワーカビリティーの判断基準として、流動性と材料分離 抵抗性の評価方法が必要である。施工時においては、構造物、施工条件に応じた打込み・締固めの方法を管理する必要がある。

(2) 15.1節 一般本 WG では特に意見はなかった.

(3) 15.2節 コンクリート材料および補強材料の品質管理

解説に「混和剤を現場添加して製造する場合もあることから」に対して、コンクリート標準示方書 [施工編:特殊コンクリート] 2 章 流動化コンクリートに準じて混和剤の品質管理を行う必要があるとの意見があった. 具体的には、「現場添加に使用する混和剤は、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」に適合したものを標準とする」等の追記が必要であるとの意見があった. また、「現場添加に使用する混和剤の選定にあたっては、ベースコンクリートに用いる AE 剤、減水剤、AE 減水剤、高性能減水剤または高性能 AE 減水剤等との組合せに現場添加後のコンクリートの品質に与える影響を確認する必要がある」等の追記が必要であるとの意見もあった.

(4) 15.3 節 コンクリート製造における品質管理

締固めを必要とする高流動コンクリートは、表面水率の変動などによりフレッシュコンクリートの品質が変動しやすいおそれもある。そこで、解説に、「製造段階において、必要に応じて、所要の品質を有するコンクリートであることを確認することが望ましい。」との記述を追加する必要があるとの意見があった。

(5) 15.4節 レディーミクストコンクリート受入れ時の品質管理

①解説(b)コンクリートの品質管理では、「製造実績が少ないコンクリートの場合には、生産者と協議し、 出荷時点での品質を確認して、迅速にその結果を製造の管理に反映させると効果的である.」に対して、締固 めを必要とする高流動コンクリートは実績の少ないコンクリートであることから、生産者と試験項目および その頻度等を協議することを追記する必要があるとのとの意見があった.

②解説(iv)その他の項目では、「(5 章 レディーミクストコンクリートの検査)を参考とし設定するとよい」に対して、締固めを必要とする高流動コンクリートの品質で重要なワーカビリティーについての記述はない、そのため、ワーカビリティーの判断基準として、その特性値を明記するとともに、材料分離抵抗性を

評価するための試験や、ブリーディング試験等が必要であるとの意見があった。また、高流動コンクリートの配合設計・施工指針[2012 年版]に示される特性値と試験方法 (表 3.2.3) や、(株)高速道路総合技術研究所で実用化している中流動覆工コンクリートの材料分離抵抗性の評価試験方法である加振変形性試験 ¹⁾などを参考とするのもよいとの意見があった。

表 3.2.3 フレッシュコンクリートの品質管理で確認すべき特性値と試験方法 (高流動コンクリートの配合設計・施工指針 [2012 年版])

特性値	試験方法
スランプフロー	JIS A 1150 コンクリートのスランプフロー試験方法
	JSCE-F516 高流動コンクリートの 500mm フロー到達時間試験方法
漏斗流下時間	JSCE-F512 高流動コンクリートの漏斗を用いた流下試験方法
充填高さ	JSCE-F511 高流動コンクリートの充填試験方法
空気量	JSCE-F513 高流動コンクリートの空気量の圧力による試験方法(空気室圧力方法) (案)
コンクリート温度	JIS A 1156 フレッシュコンクリートの温度測定方法

(6) 15.5 節 施工における品質管理

解説(b)コンクリート工における品質管理では、「製造されたコンクリートの品質が要求事項を満足していても、運搬、打込み、締固め、仕上げおよび養生の各方法が適切でなく、十分に管理されていなければ、所要の品質を有するコンクリート構造物を実現することはできない.」に対して、打込み・締固めの方法を管理する必要があるとの意見があった.

(7) 15.6節 コンクリート構造物の管理

本WGでは特に意見はなかった.

参考文献

1) 西日本高速道路株式会社:トンネル施工管理要領中流動覆工コンクリート編, pp. 1-4, 2008.08

(執筆者:平間 昭信)

3.2.16 16 章 施工記録

(1) 留意が必要な事項の概要

締固めを必要とする高流動コンクリートは、コンクリート標準示方書[施工編:施工標準]に則り、重要度、必要性に応じて、実施した施工内容の記録を残すことが望ましいが、締固め方法等、通常のコンクリートと異なる施工方法を実施した場合は、その内容を記録することが望ましい。

(2) 16.1 節 一般

条文の「施工者は、コンクリート工事の工程、製造方法、施工方法、天候、気温および品質管理等を記録する.」に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートの場合、特に締固め方法が変わることが想定されるため、締固め方法に関する記録を残してもよいのではないか、という意見があった.

(執筆者:鎌田 知久)

3.2.17 17章 その他の施工上の留意事項

本 WG では特に意見はなかった.

(執筆者:大橋 英紀)

3.3 まとめ

締固めを必要とする高流動コンクリートは、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準]で対象とする普通コンクリートとは流動性が大きく異なることから、その適用範囲、使用する材料、配合設計における考え方、製造・施工・養生それぞれの方法においても異なる点があると想定された。そこで、締固めを必要とする高流動コンクリートを用いて施工を行う場合に、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準]の各章の記述内容に対して、特に留意する必要のある事項を WG 内で議論し抽出した。

その結果、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準] の内容に対して、特に留意すべき項目として、「1章 総則」では「適用範囲」や「標準的な施工方法」の見直し、「2章 コンクリートの品質」では流動性と材料分離抵抗性に関する記述の充実、「3章 材料」では増粘剤成分を含有した高性能 AE 減水剤に関する記述の追加、「4章 配合設計」では流動性の範囲や材料分離抵抗性を確保する方法に関する記述の追加、「5章 製造」および「6章 レディーミクストコンクリート」では製造時の表面水率の管理、「7章 運搬・打込み・締固めおよび仕上げ」では流動性が高いことに伴い施工に関する制限値を緩和できる可能性がある一方で、材料分離に対する留意が必要であること、「8章 養生」および「9章 継目」ではブリーディング水が少ないことに対する配慮、「11章 型枠および支保工」では流動性が高いことに起因した側圧の増加、「12章 寒中コンクリート」ではブリーディング水が生じやすいことに対する配慮、「13章 暑中コンクリート」では流動性の保持に関する配慮、「14章 マスコンクリート」では単位セメント量(単位粉体量)の増加に伴う温度ひび割れに対する配慮、「15章 品質管理」では受入れ時のワーカビリティーの判定基準や材料分離の確認方法の確立などが挙げられた。一方で、「10章 鉄筋工」、「16章 施工記録」、「17章 その他の施工上の留意点」では、現状の記述内容と同様でおおむね良いと考えられるとの意見であった。

本章で抽出した事項が,締固めを必要とする高流動コンクリートの配合選定,製造,施工を行う上での一助となれば幸いである.

(執筆者: 桜井 邦昭)

第Ⅲ編 委員会報告2

「配合設計・製造・施工における特徴」 (配合設計・製造・施工における特徴検討 WG)

第 Ⅲ 編 目 次

Ⅲ. 配合設計・製造・施工における特徴
1. はじめに
2. 締固めを必要とする高流動コンクリートに関するWGでの議論
2.1 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計についてⅢ-2
2.1.1 締固めを必要とする高流動コンクリートの使用目的と配合設計の
アプローチ
2.1.2 示方書および指針による締固めを必要とする高流動コンクリートの
配合設計
2.1.3 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計の手順 Ⅲ-4
2.1.4 高性能 AE 減水剤(増粘剤一液タイプ)を用いたコンクリートの
特徴と課題および対策
2.1.5 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計のまとめ Ⅲ-9
2.2 締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めについて
2.2.1 締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めの目的 Ⅲ-11
2.2.2 締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めに対する課題 Ⅲ-11
2.2.3 コンクリートの締固めについての議論
2.2.4 締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めのまとめ Ⅲ-15
2.3 締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性について Ⅲ-19
2.3.1 材料分離抵抗性の定義および評価の上での問題点
2.3.2 コンクリートの材料分離と品質との関係について
2.4 締固めを必要とする高流動コンクリートの施工事例とその議論Ⅲ-31
3. まとめ

Ⅲ. 配合設計・製造・施工における特徴

1. はじめに

普通コンクリートとの相違点検討 WG(WG1)が、締固めを必要とする高流動コンクリートを普通コンクリートの延長線上に位置するものと捉えて活動したことに対して、配合設計・製造・施工における特徴検討 WG(以下、本 WG と記す)は、自己充填性を有する高流動コンクリートとの対比により締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計、製造および施工等を明らかにすることから活動を開始した。また、流動性は高いが締固めは必ず行うというこのコンクリートの特性を考える上で根本的な課題となる、コンクリートを締め固めるとはどういうことか、材料分離とはどのような現象か、等について計6回に亘って討議を重ね、整理を試みた。

第1回の討議(WG)では、締固めを必要とする高流動コンクリートの定義や概念、使用材料、配合設計、 製造、フレッシュコンクリートの性状、品質評価方法等、全般に亘る議論を行った.

第2回の討議では、4つの締固めを必要とする高流動コンクリートの実用に向けた検討例を題材に、配合 設計の考え方やコンクリートの性状について議論を行った.

第3回の討議では、各委員の考える締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計プロセスについて 意見を持ち寄り、討議を行った.

第4回の討議では、締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性、締固め、間隙通過性およびブリーディング等、前回までの議論で課題として抽出された項目について議論を行った.

第5回の討議では、さらに議論を深めるべく、締固めを必要とする高流動コンクリートに限定せず、締固めおよび材料分離について根本的な議論を行った.

第6回の討議では、本活動の取りまとめに向けて、締固めおよび材料分離について、並びに締固めを必要とする高流動コンクリートの配合イメージについて総括的な議論を行った.

本報告では、各討議の内容を、締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計、締固めおよび材料分離の3つの観点で取りまとめた。また、参考となる文献等について調査票の形で取りまとめて掲載した。

(執筆者: 坂井 吾郎)

2. 締固めを必要とする高流動コンクリートに関するWGでの議論

2.1 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計について

本節では,第1回,第2回,第3回および第6回の討議の内容を基に,締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計について整理する.

2.1.1 締固めを必要とする高流動コンクリートの使用目的と配合設計のアプローチ

まず、全体を通じて議論されたのは、締固めを必要とする高流動コンクリートの使用目的であり、それは2つに大別できると考えられた.1つは、コンクリート標準示方書[施工編]施工標準に規定されるコンクリート(以下、普通コンクリートと称する)で打込みが可能であるが、打込みに要する人員の削減や時間の短縮といった施工の省力化、合理化を図る場合、もしくは水平換算距離が300mより長い長距離圧送(施工標準は300m未満が対象)を行う必要のある場合であり、比較的配筋量の少ない部位への適用を想定したものである。もう1つは、対象構造物が高密度の配筋を有するために、普通コンクリートでは確実な充塡が難しいと考えられる場合である。この場合の自己充塡性を有する高流動コンクリートとの棲み分けは、締固め作業が可能か否かである。締固め作業が可能であることを前提とすれば、構成材料の種類が普通コンクリートと同等であり、粉体量が少ないためにコンクリートの粘性が小さくなり、製造時間や圧送性、コストなどの点で自己充塡性を有する高流動コンクリートより優れており、これが採用理由になるとの意見もあった。

上記の使用目的の違いから、配合設計の思想も普通コンクリートからアプローチしたものと、自己充塡性 を有する高流動コンクリートからアプローチしたものに大別できると考えられる.

(執筆者:坂井 吾郎,橋本 親典,一宮 一夫)

2.1.2 示方書および指針による締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計

普通コンクリートからの配合設計のアプローチとして、2017 年版コンクリート標準示方書 [施工編] 施工標準の 4章の解説表 4.5.1 および解説表 4.5.2 を参照し、スランプ 8cm の配合から配合修正を実施して配合の算定を試みた. 図 2.1.1 に示すように、普通コンクリートの観点から考えた締固めを必要とする高流動コンクリートの配合選定においては、混和剤種類、スランプ、空気量、s/a の順で配合修正を実施したところ、単位水量は 175kg/m³を大きく上回り、現状の示方書の考え方からは締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計は難しい結果となった。

一方,自己充塡性を有する高流動コンクリートからのアプローチとして,高流動コンクリートの配合設計・施工指針6章の自己充塡ランク3の配合例を参考に,配合の各目標値で流動性が最も低くなる側の値を引用して配合選定を実施した。その結果,図2.1.2に示すように,自己充塡性を有する高流動コンクリートの観点から考えた締固めを必要とする高流動コンクリートの配合選定においては,これまで経験的に得ている締固めを必要とする高流動コンクリートの配合に近いと考えられるものになることが確認された。

普通コンクリートの観点から考えた締固めを必要とする高流動コンクリートの配合の選定 コンクリート標準示方書(施工編)・4章 配合設計,解説表 4.5.1 および表 4.5.2を参考に,<u>粗骨材最大寸法</u> 20mm・水セメント比 55%・スランプ 8cm のコンクリートから配合修正を実施

粗骨材の	単位粗骨材		AE 減水剤を用いる場合	ì
最大寸法 (mm)	かさ容積 (m³/m³)	空気量 (%)	粗骨材率 (%)	単位水量 (kg/m³)
20	0.62	6.0	45	165

AE 減水剤(減水率 10%)から高性能 AE 減水剤・増粘剤 一液タイプ(減水率 18%)に変更

単位水量:165÷(100-10)/100×(100-18)/100=150.3kg/m3

スランプ 8cm から 21cm に変更(スランプ 1cm だけ大きいごとに単位水量を 1.2%大きくする)

単位水量:150.3×(100+1.2*(21-8))/100=173.7kg/m3

空気量を 6.0%から 4.5%に変更(空気量が 1%小さいごとに単位水量を 3%大きくする)

単位水量: 173.7×(100+(6.0-4.5)*3)=181.5 kg/m³

粗骨材率を 50%に変更(s/a が 1%大きいごとに 1.5kg だけ大きくする)

単位水量: 181.5+1.5×5=189.0kg/m³

図 2.1.1 普通コンクリートの観点から考えた締固めを必要とするコンクリートの配合試算結果

高流動コンクリートの観点から考えた締固めを必要とする高流動コンクリートの配合の選定

高流動コンクリートの配合設計・施工指針・6章 増粘剤系高流動コンクリートの配合設計,表 6.3.1 単位粗骨材絶対容積の標準値, および解説 表 6.3.1 増粘剤系高流動コンクリートの配合例を参照

自己充填のランク	粗骨材絶対容積(m³/m³)
3	0.33~ <u>0.35</u>

自己充填のランク3:U 形充填 300 以上, スランプフロー550~650mm

増粘剤の種類	単位粉体量	単位水量	水粉体比	単位粗骨材絶対容積
た日イロ月リング生大貝	(kg/m³)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(m^3/m^3)
界面活性剤系	340~350 程度	165~185 程度	35~50 程度	0.29~0.32 程度

各配合値で, 流動性が最も低くなる側の値を引用して, 配合選定を実施

 $W=340 \times 0.5=170 \text{kg/m}^3$

G=1000*0.35*2.65=928kg/m3

s=1000-(170+340/3.16+350+1000*0.045)=3270, s/a=327/(327+350)=48.3%, $S=327*2.60=850 kg/m^3$

図 2.1.2 自己充塡性を有する高流動コンクリートの観点から考えた締固めを必要とする高流動コンクリートの配合試算結果

(執筆者:小山 広光)

2.1.3 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計の手順

締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計の手順に関する議論の内容を整理すると以下のとおりである.

(1) 普通コンクリートからのアプローチ (施工の省力化, 合理化を目的とする場合)

施工の省力化、合理化を目的に一般的な配筋量の鉄筋コンクリート構造物に締固めを必要とする高流動コンクリートを適用する場合、コンクリートの間隙通過性が問題になることはないと考えられるため、普通コンクリートからのアプローチで配合設計を行うには、単位水量、単位セメント量を決定し、材料分離抵抗性の確保の観点から細骨材率を調整する手順という意見が大勢を占めた。具体的には、目標スランプフローを定めた後、コンクリートを製造するレディーミクストコンクリート工場の保有する JIS 認証配合からベースとなる配合を選定し、それに対して高性能 AE 減水剤もしくは増粘剤一液型の高性能 AE 減水剤の添加率と、細骨材率を調整するという手順になる。目標スランプフローは 400~550mm とする意見が多かった。また、ベースとなる配合のスランプについては、15cm とする意見もあったが、18cm もしくは 21cm という意見が多数であり、具体的に 30-21-20N とする意見もあった。

細骨材率は、コンクリートの材料分離抵抗性を確保する目的で大きめに設定され、具体的には 50%程度に なるとの意見があった.

(2) 普通コンクリートからのアプローチ(長距離圧送を目的とする場合)

長距離圧送にて施工する場合、普通コンクリートからの観点では、圧送による材料分離や流動性低下が懸念され、自己充填性を有する高流動コンクリートからの観点では、高粉体量による圧送負荷や粘性の増大が懸念されるとの指摘があった。長距離圧送の観点から考えると、コンクリートに求められるフレッシュ性状として、適切な流動性、材料分離抵抗性、流動性保持特性、ブリーディング、加圧ブリーディング、チキソトロピー性などが挙げられる。(1)に挙げた手順に加え、圧送距離等の圧送条件に応じて求められるこれらの特性を考慮し、配合を選定する必要がある。超長距離圧送の場合には、表2.1.1の事例が参考になる。なお、チキソトロピー性とは、圧力レベルが小さいときは流動しにくいが、ある程度の圧力レベルになると流動する性質であり、この性質はセメントの水和反応には依存せず、粒子と液体から構成される懸濁液において発生する物理的現象である。

表 2.1.1 参考文献の整理票(長距離圧送)

整理番号	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年		
		2000mを超える長距離圧送に				
202	根本浩史・田之倉誠・	おけるコンクリートの配合お	コンクリート工学	2016年8月		
	橋本紳一郎・吉田匠吾	よび品質管理に関する一考察				
使用材料・配合	セメント種別:	高炉セメントB種	•	•		
	骨材種別:	山砂,石灰砕砂,石灰砕石				
	混和材種別:	なし				
	混和剤種別:	高性能AE減水剤遅延形(ポリカルボン酸系),圧送助剤				
	水セメント比:	46.70%				
	目標スランプ:	スランプ23cm以上,フロー4	75 ± 25 m m			
	目標空気量:	4.50%				
	単位水量:	180kg/m3				
対象構造物	構造物の名称:	トンネルインバート				
	形状・寸法:	インバート施工延長2009m				
施工条件	施工時期:					
	場内運搬の方法:	長距離ポンプ圧送最大2076m				
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:	i: スランプ,加圧ブリーディング試験,変形性試験(JSCE F509-201				
	力学的性質:					
概要	長距離圧送において	良好な圧送性を確保するために:	コンクリートに要求される	品質は,単に圧		
	送可能な流動性というだけでなく,適切な材料分離抵抗性,流動性保持性能,加圧ブリーディン					
	グ性状,チキソトロピ-	-性状などである。その考え方 [;]	を整理すると,以下のよう	である。		
	【普通コンクリートとの	D比較】				
	①スランプ21cm以下で	は流動性の低下が大きくなる傾	前のため,スランプを増え	大して圧送による		
	流動性の低下を抑制する	5				
	②硬化後の品質からは置	富配合となるが,粉体量を確保	して材料分離抵抗性を向上	させる		
	③経過時間に伴う流動性	生低下を抑制するため, 高性能	AE減水剤と圧送助剤を併用	目する		
	④流動性を高めた配合!	はブリーディング性状を確認す?	る必要がある			
	⑤流動性を高めた配合に	は加圧ブリーディング性状を確認	認する必要がある			
	⑥圧送中断・再開時に流	充動性低下による管内圧力の抑 縮	制・閉塞の防止ができる混	和剤を用いる		
	【高流動コンクリート。	この比較】				
	 ①高流動コンは粘性が	大きく圧送圧が過大となるため,	低粘性化が必要となる			
	 ②低粘性化のためには#	分体量の抑制,増粘剤を使用し ⁵	ないなどの変更が必要であ	る		
	②低粘性化のためには粉体量の抑制,増粘剤を使用しないなどの変更が必要である ③高流動コンでは粉体量とSP添加率が大きいため,圧送後に流動性の変化が大きくなる可能性が					
	高い					
		ディングは小さい傾向である				
	(5) 高流動コンの加圧ブリーディングが少なく圧送圧が増大するため、適度な量が必要である					
	⑤高流動コンの加圧ノリーティングが少なく圧达圧が増大するため、過度な重が必要である ⑥高流動コンは圧送再開時に「こわばり」による管内圧力の急激な上昇を伴う場合がある					
		D良好な配合選定が記載されて		, 1, 7, 5, 5		
	工业(企会) () () () () ()		4- /, 日川 C W の 0			
	<u>l</u>	·				

(3) 自己充填性を有する高流動コンクリートからのアプローチ(高密度配筋への充填を目的とする場合) 対象構造物が比較的高密度な配筋条件のケースにおいて、確実なコンクリートの充填を実現したい場合、軽微な振動締固め作業ができる条件では、締固めを必要とする高流動コンクリートが適用されると考えられる. この場合、軽微、すなわち短い振動締固め時間の中で鉄筋間を円滑に通過する特性だけでなく、鉄筋通過後も十分な流動性および材料分離抵抗性が求められる特性となる. 特に、高密度な配筋への充填が主眼となることから、間隙通過性が重要な問題であり、先述の普通コンクリートからのアプローチと大きく異なる点であるとの意見が多数を占めた. 自己充填性を有する高流動コンクリートの配合設計と同様に、まず単位粗骨材量を決定するというものである. 単位粗骨材量の指標としては、土木学会編 CL136 号「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」に従って単位粗骨材絶対容積を用いている例と、主に建築工事の大臣認定を取得しているレディーミクストコンクリート工場での採用例が多い単位粗骨材かさ容積を用いている例の紹介があった. これらの具体的な値として、単位粗骨材絶対容積では 330 ℓ/m³を基本とすることや、単位粗骨材かさ容積としては JASS5 を参考に 0.50~0.55 m³/m³ (0.53 m³/m³ 程度) とすることが挙げられた. また、単位粗骨材かさ容積を用いることの利点として、配合設計時に粗骨材の形状の良否の影響を含むと考えられ

単位粗骨材量の決定後は、水セメント比(レディーミクストコンクリート工場の強度算定式に基づく)、単位水量、単位セメント量、単位細骨材量の決定という手順で進められる。目標とするスランプフローについては、400~600mmとする意見が多く、普通コンクリートからのアプローチよりもやや大きく設定されていることが伺えた。また、普通コンクリートからのアプローチと異なるのは、材料分離抵抗性の確保の観点から、必要な単位粉体量としての単位セメント量の設定が意識されること、単位細骨材量、あるいは細骨材率は主たる配合要因としては考えられておらず、結果として得られるものであるという点である。単位セメント量については、300~500kg/m³とする意見や、350 kg/m³を基本とするという意見が示された。

(4) その他のアプローチ

る実積率を加味できることを挙げる意見もあった.

施工の省力化,合理化を目的として,JIS 認証配合の普通コンクリートに混和剤を現場添加して締固めを必要とする高流動コンクリートを製造した事例が紹介された $^{1)}$. 配合を設計時点の 24–12–20BB(単位水量 172kg/ m^3 ,単位セメント量 328kg/ m^3 ,細骨材率 46.5%)から 40–21–20BB(単位水量 175kg/ m^3 ,単位セメント量 398kg/ m^3 ,細骨材率 50.2%)に変更し,増粘剤一液型の流動化剤を現場添加することにより,スランプフロー550mm のコンクリートとしている.

参考文献

1) 高橋太郎,石川洋一,廣中哲也,井手宏樹:下水道施設耐震補強工事における現場添加型高流動化コンクリートの適用,土木学会第73回年次学術講演会,V-624,pp. 1241-1242,平成30年8月

(執筆者:坂井 吾郎,橋本 親典,一宮 一夫)

2.1.4 高性能 AE 減水剤 (増粘剤一液タイプ) を用いたコンクリートの特徴と課題および対策

高性能 AE 減水剤(増粘剤一液タイプ)(以下, VSP)は、減水成分と増粘成分を一液化した化学混和剤である。混和剤中に含有されている増粘成分の作用によりセメントペーストの粘性を適度に高めるため、コンクリートの材料分離抵抗性が向上し、比較的単位セメント量の少ない領域においても、締固めを必要とする高流動コンクリートや自己充填性を有する高流動コンクリートの製造が可能となる 1). 一方で、材料条件や配合条件によっては、混和剤使用量を増加してもスランプフローが増大しない、スランプフローの頭打ち現象が発生する等の課題がある。本項では VSP を用いたコンクリートの特徴と課題および対策について述べる。

(1) VSP を用いた場合の特徴

図 2.1.3 に混和剤使用量とスランプフローの関係を示す. なお,図中の数字は配合(単位水量-単位セメント量_細骨材種類)を表している.これによると、VSP および従来の高性能 AE 減水剤(以下、SP)のいずれにおいても混和剤使用量の増加と共にスランプフローは増大するが、スランプフローの増大に伴いコンクリートの材料分離抵抗性は低下する.170-350_S1の配合では、SPを用いたコンクリートでは、スランプフローが 560mm を超えた辺りから粗骨材の沈降等の分離現象が発生している.一方で、VSPを用いたコンクリートでは、SPと同等のスランプフローとするのに必要な混和剤使用量は2割ほど増加するが、混和剤に含有されている増粘成分の増粘作用によって、コンクリートの材料分離抵抗性が向上し、スランプフローが 620mm 程度まで良好な性状が得られている.

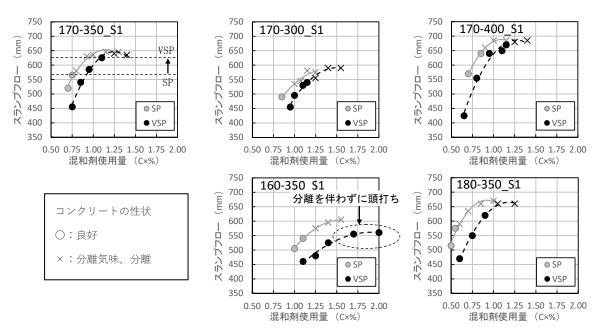


図 2.1.3 混和剤使用量とスランプフローの関係(細骨材:陸砂)2)

(2) VSP を用いた場合の課題

VSP を用いて締固めを必要とする高流動コンクリートや自己充塡性を有する高流動コンクリートの配合検討を行った場合, 混和剤使用量を増加してもスランプフローが増大しない, いわゆるスランプフローの頭打ち現象が一部で認められている. これは増粘成分が混和剤に含有されているがゆえに, スランプフローを大きくするために混和剤の使用量を増加した場合, 同時に増粘成分も増加し, スランプフローが大きくならないためと考えられる. 図 2.1.3 の陸砂を用いた配合条件の結果によると, SP を用いた場合は,全ての配合条件においてコンクリートの材料分離が生じた後にスランプフローが頭打ちの状態となった. 一方, VSP を用

いた場合では、160-350_S1の配合条件において、材料分離を伴わずにスランプフローが頭打ちの状態となった. 検討した配合の中で160-350_S1は同等のスランプフローを得るために必要な混和剤使用量が最も多い、つまり混和剤に求められる分散性が最も高く要求される配合であり、VSP中の分散性能よりも増粘成分の作用が卓越したものと考えられる.

図 2.1.4 に砕砂 S2 を用いた配合条件における混和剤使用量とスランプフローの関係を示す. これによると、VSP を用いた場合では全ての配合条件において材料分離を伴わずにスランプフローの頭打ちが発生した. 頭打ちの状態となった時点でのスランプフローの値は、いずれの配合条件においても SP を用いた場合よりも小さい値となった. なお、VSP を用いた 170-350_S2 の配合に対して単位水量を 10kg/m³増加した場合、頭打ちの状態となった時点でのスランプフローの値は 50mm 程度増加したが、単位セメント量を 50kg/m³増加した場合には、逆に頭打ちの状態となった時点でのスランプフローの値は若干小さくなった. これは、砕砂の場合、単位水量 170kg/m³では既に増粘剤の作用が分散性よりも卓越した配合条件となっているため、単位水量を 10kg/m³増加した 180-350_S2 の配合では混和剤に求められる分散性が緩和されたために良好な状態が得られる最大フローが増加したものと考えられる. 一方、単位セメント量を増加した場合は、水セメント比が低下し、さらに高い分散性が混和剤に求められるため、より小さなスランプフローで頭打ちしたと考えられる.

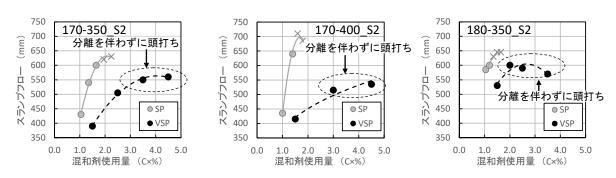


図 2.1.4 混和剤使用量とスランプフローの関係(細骨材:砕砂)2)

(3) スランプフローの頭打ち時の対策

図 2.1.3 および図 2.1.4 で示したように、高い分散性を混和剤に求める配合・材料条件の場合に VSP を用いると、材料分離を伴わないスランプフローの頭打ち現象が発生する場合がある. VSP の材料分離を伴わないスランプフローの頭打ち現象が発生した場合にスランプフローを増大させるためには、混和剤に求められる分散性を緩和させる方向への配合修正(単位水量の増加)が必要となる. また、セメント量が一定以上である場合には、増粘成分は不要となるため、混和剤を VSP から SP への変更が必要と考えられる. いずれの方法においても、材料分離抵抗性やその他の要求事項を満足することを確認したうえで、配合修正を行うとよいと考えられる.

参考文献

- 1) 尾田健太: 増粘剤一液タイプの化学混和剤, コンクリート工学, Vol. 57, No. 1, pp. 4-7, 2019. 1
- 2) 小林竜平,橋本紳一郎,根本浩史,齊藤和秀:配合・材料条件が増粘剤一液タイプ高性能 AE 減水剤を用いた中・高流動コンクリートの性状に及ぼす影響,土木学会 358 委員会シンポジウム

(執筆者:小林 竜平)

2.1.5 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計のまとめ

本節における議論の内容を整理すると、表 2.1.2 のようになると考えられる. 2.1.1 で示したように、締固めを必要とする高流動コンクリートの適用対象を普通コンクリートで打込み可能な示方書施工標準の構造物にするのか、高密度配筋等の施工条件・構造物条件が厳しい構造物にするのかによって、コンクリートに求められる特性が異なるため、今後議論を深めていくうえでは条件を整理して進めていく必要がある.

表 2.1.2 に示す個々の数値についてはあくまでも現時点でのイメージ的なものであり、知見を基にこれらを確定していくことが締固めを必要とする高流動コンクリートの普及を図るうえでの課題と考えられる. また,表 2.1.2 に示す数値は、実施工事例から経験的に並べられたものであり、締固めを必要とする高流動コンクリートの要求事項を整理したうえで導き出されたものではない. 議論の中で事例として挙げられたものの中にも、実績が少ないために、実際の部材と同規模に作った模型による実験を行って特性を確認したという報告もあった. したがって、配合設計法の確立と併せて、施工の条件、特に鋼材量等と関連付けた指標、目標値が評価できる試験方法が締固めを必要とする高流動コンクリートについても必要であると考えられる. スランプフローのようにフレッシュコンクリートの性状そのものの指標ではなく、誰もがどこででも同じ特性が得られる配合設計を行えるようにするためには、施工条件を踏まえて設定される施工性能に関する指標あるいは目標値等が必要であり、さらにその評価試験方法についても同時に必要である. 例えば、ある構造条件(鋼材間隔、鋼材量)の施工箇所に対して型枠の隅々まで充塡する際に、振動を与えた時の材料分離の有無等を判断できる指標や目標値があり、試験装置としてU形やボックス形容器を利用した評価方法があれば、締固めを必要とする高流動コンクリートの特性をランク分けでき、誰もが同じ特性を得られる配合設計が可能となる. 今後、表 2.1.3 に示すような知見を増やしていくことが望まれる.

表 2.1.2 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計のイメージ

		普通のコンクリートで打込みが可能		充填性重視 (準高流動)
適用の目的		①施工の省力化、合理化 ・締固め人員、手間の削減 ・流動による筒先移動回数の削減 (落下高さ)	②長距離圧送	③高密度配筋部への充填
構造条件・施工系	条件	示方書[施工標準]の範囲	圧送距離>水平換算 300m その他は示方書[施工標準]の範囲	示方書<鉄筋量≦高流動
配合設計の方法		示方書[施工標準]に準じる 示方書[施工標準]に準じる		高流動コンクリート指針に準じる
流動性		スランプ プロー 450~500mm (スランプ 21~23cm)	スランプフロー 400~600mm 圧送距離(ロス)に応じて	71− 500 ~ 600mm
))(30)(I		$W \leq 175 \text{ kg/m}^3$	$W \leq 175 \text{ kg/m}^3$	$W \leq 175 \text{ kg/m}^3$
	高性能 AE 減水剤(SP)の場合	$C \ge 350\sim400 \text{ kg/m}^3$	$C \ge 350 \sim 450 \text{ kg/m}^3$	C ≥ 400~500 kg/m ³
材料分離抵抗性	増粘剤 1 液型 SP の場合	C ≥ 330~380 kg/m³	C ≥ 330~430 kg/m³	C ≥ 350~400 kg/m³
	微調整	s/a = 50%前後	s/a = 50%前後	(水粉体容積比)
間隙通過性		考慮しない (Gmax, s/aの設定)	考慮しない (Gmax, s/aの設定)	単位粗骨材絶対容積 Gvol. = 300~350 l/m³
評価方法		スランプ フロー(スランプ) 試験 タンピ ング 試験,目視	スランプ フロー試験 タンピング 試験, 目視 加圧プ リーディング 試験等	スランプ・フロー試験 Jリング・フロー試験 振動木・ックス充填試験

表 2.1.3 参考文献の整理票(配合設計関連)

整理番号	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年		
419, 161	黒木賢一,橋本紳一郎, 伊達 重之,橋本 親典	各種配合条件における中流動 コンクリートのフレッシュ性 状に関する検討	コンクリート工学年次論 文報告集, Vol.34, No.1	2012		
使用材料・配合	セメント種別:	普通ポルトランドセメント		•		
	骨材種別:	陸砂, 砕砂, 砕石				
	混和材種別:	フライアッシュⅡ種				
	混和剤種別:	ポリカルボン酸エーテル系高性	能AE減水剤			
	水セメント比:	50, 32, 35, 40, 45				
	目標スランプ:	: スランプフロー45cm				
	目標空気量:	4.5%				
	単位水量:	175, 170				
対象構造物	構造物の名称:					
	形状・寸法:					
施工条件	施工時期:					
	場内運搬の方法:					
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:	スランプ・スランプフロー試験	, 回転翼粘度計,			
		ブリーディング試験				
概要	・同程度のスランプフロ	コーで配合の違いによるフレッシ	ンュ性状の違いを,振動条	件下で		
	のブリーディング試験,	変形性評価試験,加振ボックス	ス充てん試験より確認し,	単位水		
	量,細骨材率,水セメン	ノト比といった配合の条件の違い	いにより, 異なるフロー増	加量の		
	傾向を示した。					
	・スランプフローのみ~	で管理される中流動コンクリー	トにおいて確認すべきフレ	ッシュ		
	性状について検討を行っ	った。加振変形試験の結果が要素	求性能を満たすかどうかと	, ブ		
	リーディング試験および	び変形性評価試験の結果にはそれ	れぞれ相関性が見られた。	要求性		
	能に対する評価パターン	ンを加振ボックス充てん試験の 約	結果で示すことができた。			
	・中流動コンクリートに	は,平均ポンプ油圧0.15MPa程原	度,変動係数30%程度の範	囲であ		
	れば順調に圧送可能					

今回のWGでは十分な議論を行うことができなかったが、使用材料の影響も締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計法を考えるうえでの課題であろう。例えば、細目の山砂を使用している関東のレディーミクストコンクリート工場と粗目の砕砂を使用している関西の工場では、同じ特性を得るための配合も違ったものになってくるであろうし、自己充塡性を有する高流動コンクリートにおける混和材(微粉末)のような材料分離抵抗性を調整するための材料を持たない締固めを必要とする高流動コンクリートにおいては、そもそも同じ特性を得ること自体が難しい可能性もある。また、締固めを必要とする高流動コンクリートでは増粘剤一液型の高性能 AE 減水剤も多用されるものと思われるが、締固めを必要とする高流動コンクリートの材料、配合の本質的な特徴を理解しないままに、安易に混和剤に頼った配合設計を行う可能性も考えられる。このような場合には、不適切なワーカビリティーのコンクリートが製造されることになり、締固めを必要とする高流動コンクリートに対する不具合が増加することが懸念されるため、配合設計指針等の整備により、現場技術者に対して道筋を示すことが必要であるものと考えられる。

(執筆者:坂井 吾郎,橋本 親典,一宮 一夫)

2.2 締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めについて

締固めを必要とする高流動コンクリートは、スランプフローで管理される高い流動性を有する一方で、打込みに際して締固めを行うことが前提となっている。そのため、打込みに際して普通コンクリートと同じ締固めを行ってよいのか、違うとすればそれはどの程度か、締固めによって材料分離は生じないのか、締固めを必要とする高流動コンクリートにとって締め固めるという行為はどのような意味があるのか、等の多くの疑問点が挙げられる。また、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準]では、「(棒状バイブレータの)振動が有効な範囲は、棒状バイブレータの棒径、振動数等による締固め能力、コンクリートのスランプや粘性、あるいは対象構造物の部材寸法や配筋等によって異なるため、これらに注意して決定しなければならない」とされており、コンクリートのコンシステンシーや粘性によって適切な締固めの程度は異なることが示唆されている。これらを踏まえると、締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めとはどういうものか、議論の必要性があると考えられた。

本節では、主に第4回の討議の内容を基に(第1回、第2回および第3回の討議も一部含む)、締固めを 必要とする高流動コンクリートの締固めについて整理する.

(執筆者:坂井 吾郎)

2.2.1 締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めの目的

締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めの目的については、幅広い意見が出された。普通コンクリートと同様に自己充塡性を有していないことから、エントラップトエアを追い出し、型枠に密実に充塡させる必要があるとする意見がある一方で、締固めを必要とする高流動コンクリートにバイブレータを使用するのは流動の補助を目的としたものであって、普通コンクリートのように密実化を図るということを期待したものではないという意見もあった。後者の事例としては、施工性向上を目的に開発された山岳トンネル用の「中流動覆工コンクリート」が挙げられ、型枠内に水平距離で10~12m流し込むのに際して型枠バイブレータのみにより締固めが行われている。

また、普通コンクリートは、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準] において型枠内での横移動が禁じられており、打ち込む位置にコンクリートをおろしてその場で締め固めることとされている。これはすなわち「縦方向の締固め」であり、高流動コンクリートは「流動させて横方向に自己充塡」させるものであることを踏まえると、締固めを必要とする高流動コンクリートは「縦方向の締固め」に加え、「横方向への(流動を意識した) 締固め」を考える必要があるとの考え方も示された。

(執筆者:竹中 寛, 檜垣 誠, 小山 広光)

2.2.2 締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めに対する課題

一般的な土木用の普通コンクリートは、スランプが8~12cmと比較的小さく単位粗骨材量も大きい場合が多いため、バイブレータのかけ過ぎによる粗骨材の材料分離の懸念は少ないと考えられる。また、塑性粘度が大きく降伏値の小さい自己充塡性を有する高流動コンクリートは、バイブレータの振動によって液状化して降伏値が小さくなる締固めという行為はその効果がほとんどなく、粗骨材の分離に対して影響は少ないのではないかという意見があった。これに対して、流動性が高い一方で、自己充塡性を有する高流動コンクリ

ートほどの塑性粘度を有していない締固めを必要とする高流動コンクリートにおいては、締固めに伴う材料分離の観点から構造体への影響が懸念されるとする意見が多数を占めた. バイブレータのかけ過ぎによる粗骨材の分離を懸念して、コンクリートを流さないように打ち込み、流動性が低下するのを待つために締固めのタイミングを遅らせて施工した例を挙げて、締固めの程度を判断するのが難しいとする意見もあった.

トンネル覆工以外の事例においては、締固めを必要とする高流動コンクリートは最適な締固めの程度が分かっていないのが現状であり、明確な拠り所がないため適用の際の障害になる可能性もあるという点も指摘された. 現状では、表 2.2.1 に示す事例のように個別の検討が行われている段階であり、普通コンクリートと同じ条件(5~15 秒)の締固めに耐えうる締固めを必要とする高流動コンクリートとはどのようなものか、所要の充塡性を確保しつつ、締固めを必要とする高流動コンクリートを分離させない加振時間はどのように設定できるか、といった点について取りまとめられたものは存在していない.

この観点からの知見があれば、締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めの基準も検討できると考えられるが、現状では、そうした知見は少ないとの指摘もあった.

表 2.2.1 参考文献の整理票(品質管理に関する個別の検討事例)

整理番号	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年		
		増粘剤含有高性能AE減水剤を	日本建築学会学術講演会			
60, 178	坂本遼・横山徹	使用したスランプ23cmの高流		2019年		
		動コンクリートのRC造26階集	(北陸)			
使用材料・配合	セメント種別:	普通ポルトランドセメント				
	骨材種別:	A工場:細骨材(砂+砕砂)・料	徂骨材(石灰砕石)			
	· 自' 们 但 /) •	B工場:細骨材(砂+砕砂)・粗骨材(安山岩・硬質砂岩砕				
	混和剤種別:	高性能 A E 減水剤(増粘剤含有	形)			
	水セメント比:	50%~39.3%				
	目標スランプ:	プ: 23cm				
	目標空気量:	票空気量: 4.50%				
	単位水量:	170kg/m ³				
対象構造物	構造物の名称:	地上26階RC構造物(集合住宅)とS造6階店舗棟				
施工条件	施工時期:	2017年12月~2018年3月				
	場内運搬の方法:	ポンプ打設				
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:	スランプ・スランプフロー、空気量				
	力学的性質:	圧縮強度試験				
概要	・高流動コンクリートの	の流動性を高めるためにセメン	ト量(粉体)を増加させる	手法が		
	用いられる場合が多いフ	が、近年では増粘剤含有高性能 /	AE減水剤が開発され、セ	メント		
	量を必要以上に増加され	せることなく、呼び強度45以下の	の強度領域(低粉体領域) の)コンク		
	リートの材料分離抵抗性	生を損なうことなく、流動性を調	高めることが可能になって	いる。		
	・本報告は,地上26 階	のRC 構造物(最高高さ99.58m))にスランプ23cm の高流	動コン		
	クリートを適用した際の	の品質管理結果(フレッシュ試験	倹結果・打設状況・圧縮強	度)を		
	まとめた。					
	・試験結果から、スラン	ンプ23cmの高流動コンクリート	のフロー範囲は42.0±7.5c	mの範		
	囲であった。					
	・JISコン打設には棒状	バイブレータを2台使用し、打ジ	込み締固め作業を行うが、☆	今回適		
	 用した高流動コンクリ-	- トはバイブレータ1台でも打込	.み作業が可能であり、作業			
	省力化、バイブレータ位	吏用による振動や騒音の低減効り	果がある。			
	・圧縮強度は、調合強圧	度よりも大きくかつ設計標準偏差	 善も小さい結果であった。			

(執筆者:竹中 寬, 檜垣 誠, 小山 広光)

2.2.3 コンクリートの締固めについての議論

本項では、締固めを必要とする高流動コンクリートに限定せず、一般的なコンクリートの締固めについて 整理する.

締固めの目的について、吉田徳次郎は、「コンクリート中の空気と過剰な水を追い出し、コンクリートを鉄筋の間、および型枠の隅々に十分行き渡らせ、緻密で均等質なコンクリートを造る」ことにあるとしているり、このうち、水を追い出すことについては、これが記述された昭和17年当時には減水剤が発明されておらず、単位水量でスランプの調整がされていたために強調されたものと思われるが、締固めが余分な空気を追い出し、型枠の隅々までコンクリートを密実に充填するための行為であるということについては、本WGにおいても共通の理解として確認された。また、後半部分の「緻密で均等質なコンクリートを造る」については、コンクリート便覧りに「コンクリート構造物の耐久性を向上させるために、コンクリートが均質となるように締め固めることが重要である」との記述があるように、適切な締固めの実施によって構造物内部のコンクリートのばらつきを抑制することが耐久性の確保、向上につながるとの理解があるものと考えられる。コンクリートの締固めを行う方法としては、突固め、振動機による加振、加圧、遠心力等があるが、一部の工場製品を除けば、そのほとんどは振動機による加振によって行われる。コンクリートに振動を加えることの意味について議論を行ったが、「前述の締固めの目的を達成するために、振動を加えることでコンクリートを一時的に流動化させる」という理解で一致した。また、振動させて流動化を図るという行為は材料分離を生じさせる方向の行為であり、そのために振動を加える「程度」が問題になるというのが共通の認識であった。

振動を加える「程度」について、コンクリート標準示方書 [施工編:施工標準]では「締固めが十分である証拠の一つは、コンクリートとせき板との接触面にセメントペーストの線が現れることである。また、コンクリートの体積が減っていくのが認められず、表面がほぼ水平となり、表面に光沢が現れることからも確認できる。締固めの時間の目安は、一般には5~15秒程度である。」とされている。一般的な土木工事における施工管理はこの記述に従って行われるが、締固めの時間の目安は、コンクリートの単位水量や空気量、骨材の微粒分量、化学混和剤に含まれる増粘成分の量によって異なることから3、上述の示方書の記述でも一意的には定められていない。そのため、振動を加える程度は、施工管理を担当する職員や作業員の目視判断に委ねられているのが実状と思われる。

近年では、センサ技術の発展に伴い、表 2.2.2 に示すように、加速度センサを用いる方法も考えられている。この管理方法は、上述のように施工者の感覚に頼った作業を定量的なデータに基づいたものに変換することに役立つと考えられる。ただし、このセンサで測定しているものは振動が作用した回数と時間であり、締固め完了の必要条件を確認しているものと理解される。理想的には、締め固められたコンクリートの状態そのものの指標となり得るものと、それを直接的に測定できる方法が必要である。指標としては、例えば締固め後のコンクリートの密度が考えられる。締固め後のフレッシュコンクリートの密度を測定する方法としては RI があり、コンクリートダムの施工方法である RCD 工法では管理方法として採用されているが、一般的なコンクリート工事において適用された事例はほとんど報告されていない。

なお、適切な範囲を超えて振動を与え続けた場合、骨材は沈降して偏在し、上部はペーストやモルタルの多い不均一なコンクリートとなるというのが一般的な理解であると考えられるが、2.2.1で示した「縦方向の締固め」では、コンクリートの移動が拘束されて横方向に流動がないことから、多少余分に振動を加えても顕著な材料分離は生じないという報告(表 2.2.3)もあった.

表 2.2.2 参考文献の整理票(加速度センサ)

整理番号	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年
333	高橋宏治,末岡英二,	コンクリート振動締固め検知	土木学会第60回年次学術	2005
333	安田正雪,坂井孝	システムの現場適用	講演会講演概要集	2003
使用材料・配合	セメント種別:			
	骨材種別:			
	混和材種別:			
	混和剤種別:			
	水セメント比:			
	目標スランプ:			
	目標空気量:			
	単位水量:			
対象構造物	構造物の名称:			
	形状・寸法:			
施工条件	施工時期:			
	場内運搬の方法:			
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:	振動加速度の伝播等		
	力学的性質:			
概要	コンクリートの充填・技	<u></u> 振動締固め管理ツール		
	【参考】https://www.	toyo-const.co.jp/technology/29	003.html	

表 2.2.3 参考文献の整理票(縦方向の締固め)

	r		I	1
整理番号	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年
324	 梁俊,丸屋剛,坂本淳 	振動を受けたコンクリートの 品質変動	土木学会論文集E	2008
使用材料・配合	セメント種別:	普通ポルトランドセメント		
	骨材種別:	君津産山砂,青梅産砕石20mm		
	混和材種別:			
	混和剤種別:	AE減水剤		
	水セメント比:	55.00%		
	目標スランプ:	8 cm		
	目標空気量:			
	単位水量:	149 kg/m ³		
対象構造物	構造物の名称:			
	形状・寸法:			
施工条件	施工時期:			
	場内運搬の方法:			
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:	加振したコンクリート硬化後の密度、	粗骨材面積率,透気試験(トレン	/ ト)
	力学的性質:			
概要	コンクリートの加振に作	半う縦方向の分離に関する知見だ	が取り纏められており参考	にでき
	3			

参考文献

- 1) 吉田徳次郎:コンクリート及鐵筋コンクリート施工法,丸善,昭和17年.
- 2) 日本コンクリート工学協会:コンクリート便覧(第二版),技報堂出版,1996.
- 3) 三宅 淳一: コンクリートの配合設計と品質管理「性能」「品質」「経済性」を決定する配合の論理, コンクリート新聞社, pp. 154-155, 2013.

(執筆者:松本 修治,渡邉 真史,坂井 吾郎)

2.2.4 締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めのまとめ

前項までに挙げた議論の内容を整理すると、締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めに対する検 討項目は以下のとおりである.

まず、材料分離を生じることなく、型枠に充塡させることができる締固めの程度についての検討が必要である。締固めを必要とする高流動コンクリートを扱う上において定量的に締固め程度を示すことが必要なのか、締固めの程度を定義できるのか等が課題であり、「締固め」という言葉の定義を今一度考える必要がある。なお、そのためには、別途、材料分離についても議論することが必要となる。

また、普通コンクリートの縦方向の締固めに加え、横方向への締固めも考えることが挙げられる. 打ち込んだコンクリートからエントラップエアや余剰な水を取り除いて密実にするだけでなく、横方向への流動の補助としての振動エネルギーを与えることについて検討することが必要と考えられる.

振動エネルギーを与えることの意義に関連しては、エントラップトエアについても考える必要がある.エントラップトエアについて、締固めを必要とする高流動コンクリートで検討されている事例は少ない(表2.2.4 および表2.2.5) ことから、構造体への影響、巻き込まれるタイミング、コンクリートの粘性との関係(表2.2.6) 等についても検討すべきと考えられる.この際、自己充塡性を有する高流動コンクリートのように塑性粘度の高いコンクリートは空気を巻き込みやすいのか、締固めを必要とする高流動コンクリートの打込みの際にエントラップトエアは入っているのか、どのような施工で表面気泡が生じやすいのか等についても確認が必要と考える.

なお、締固めの議論において、緻密と密実や、空気、空隙、気泡などの用語が使われていたが、明確な定義がされておらず、発言者によってニュアンスが異なっていた。今後の締固めの議論に併せて、これらについても明確化される必要があるものと考えられる。

(執筆者:坂井 吾郎,竹中 寛,檜垣 誠)

表 2.2.4 参考文献の整理票(コンクリート内部の気泡)

整理番号	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年
	· 一	粉体系高流動コンクリートの	土木学会論文集No.	
289-1	一宮一夫・出光隆・山	空気量や流動性評価指標が表	711/V-56, 135-146,	2002年8月
	崎竹博	面気泡性状に及ぼす影響	2002. 8	
使用材料・配合	セメント種別:		1	
	骨材種別:			
	混和材種別:			
	混和剤種別:			
	水セメント比:			
	目標スランプ:			
	目標空気量:			
	単位水量:			
対象構造物	構造物の名称:			
	形状・寸法:			
施工条件	施工時期:			
	場内運搬の方法:			
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:			
	力学的性質:			
概要	本研究は,締固めを必	要とする高流動コンクリートの)文献ではなく,粉体系の	の高流動コンクリー
	トの空気量ならびに流動	動性を表す指標が表面気泡の発	生に及ぼす影響を検討し	た論文である。
	粗骨材ならびにコンク	フリート内部の気泡を球状の剛 [・]	体と仮定し, それらに作り	用する流体抵抗にモ 用する流体抵抗にモ
	 ルタル相のレオロジー5	定数の影響を考慮し, 各粒子に作	。 作用する浮力, 重力, 流体技	・ 抵抗の力のつり合い
		『気泡の上昇の各現象を説明します。		
	 の離脱現象が, 上記の作	用力と型枠との付着力のつり合	らいで説明できることを ⁵	ー 示した理論的考察を
	行った論文である。			
		た填が可能とされる高流動コン	クリートは、その粘性や	使用材料の相違に
		有無や表面気泡の発生の有無が		
	明する上で極めて有用で		7) 7/3 VC /d 7 C V /d V C	C 13 9, 9091 C 100

表 2.2.5 参考文献の整理票(表面気泡)

整理番号	著者名		雑誌名	掲載年	
		高流動コンクリートの表面気	「材料」 (J. Soc. Mat.	1	
289-2	一宮一夫・出光隆・山	 泡と材料分離に及ぼす微振動	Sci., Japan), Vol.48,	1999/	
	崎竹博・渡辺明	の影響	No.11, pp. 1294-1299,		
使用材料・配合	セメント種別:	普通ポルトランドセメント	140.11, pp. 1231 1233,	1	
	骨材種別:	海砂,砕石			
	混和材種別:	高炉スラグ微粉末			
	混和剤種別:	高性能減水剤			
	水セメント比:	31.60%			
	目標スランプ:	63cm			
	目標空気量:	5.00%			
	単位水量:	178kg/m3			
対象構造物	構造物の名称:	コンクリート製品			
	形状・寸法:				
施工条件	施工時期:				
	場内運搬の方法:				
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:			V漏斗10~20秒	
	力学的性質:				
概要	本研究は,締固めを必	要とする高流動コンクリートの	文献ではなく, 高流動コ	ンクリートを用い	
	たコンクリート製品の材料分離を最小に抑えながら効果的に表面気泡を除去する加振条件を見い				
	だすことを目的に行った	たもので,型枠への充填時間や	加振時間などの打設条件か	が表面気泡の状態	
	 やモルタルと粗骨材のタ	分離などに及ぼす影響について	実験的に検討した論文であ	5る。	
	 軽微な締固めのみで3	充填が可能とされる高流動コン:	クリートは,その粘性や傾	使用材料の相違に	
	 よって巻き込み空気の7	有無や表面気泡の発生の有無がF	明らかになっていないこと	こから、製品やフ	
		動コンクリートを対象としてい		·	
	ることを説明する上で		, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,		
		3713 (19 0)			

表 2.2.6 参考文献の整理票 (コンクリート中の気泡)

		。		<u> </u>
整理番号	著者名(敬称略)	論文題目	雑誌名	掲載年
	 佐久間,林,松本,	トンネル覆エコンクリートの		ľ
291	赤石,小山田	耐凍害性を確保できる配合お		2016
	·	よび施工方法に関する検討		
使用材料・配合	セメント種別:	高炉セメントB種		
	骨材種別:			
	混和材種別:			
	混和剤種別:	リグニンスルホン酸化合物とポ	リカルボン酸エーテル系	系化合物の
	水セメント比:	49.3%		
	目標スランプ:	15cm		
	目標空気量:	4.5 ± 1.5%		
	単位水量:	160~168kg/m³		
対象構造物	構造物の名称:			
	形状・寸法:			
施工条件	施工時期:	2016年		
	場内運搬の方法:			
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:			
	力学的性質:			
概要	中流動コンクリート。	とは関係なく、空気を硬化コンク	フリートに残し耐凍害性	を高める
	ための検討を実施している。			
	以下、論文のはじめに			
	 新区界トンネルは, [宮古・盛岡復興支援道路区間の中	『で最も凍害の発生リス	クが高い
	 地域に位置している.:	コンクリート構造物の凍害対策と	こしては,硬化コンクリ	ートへの
		が重要であるが,運搬や締固めな		
		こで、著者らは、コンクリートの		
		- ^ 1 G / / / / / / / / / / / / / / / / /		
		では,プラント実機で製造した		
		コンクリートの空気量変化を把握		
		ゴンクサードの主衆重変化を記録 び耐久性試験を行い,耐凍害性を	•	
			- 唯体(この肌口のよい)	ルピエノノバス
	を検討した結果につい [*] 	C 邦口 9 る.		
<u>l</u>	<u> </u>			

2.3 締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性について

コンクリート標準示方書[施工編:施工標準]では、コンクリートの配合設計において、「材料分離することなく鋼材間を円滑に通過して、型枠内のかぶり部や隅角部等に密実に充塡されるコンクリートとするためには、流動性に応じた適切な材料分離抵抗性を合わせ持つ必要がある。この[施工編:施工標準]では、単位粉体量を材料分離抵抗性の指標としており、スランプの大きさに応じて、必要な単位粉体量を確保して適切な材料分離抵抗性を付与する必要がある。」としている。また、コンクリートライブラリー136号高流動コンクリートの配合設計・施工指針[2012年版]では、用語の定義として、材料分離抵抗性は「重力や外力等による材料分離作用に対して、コンクリート構成材料の分布の均一性を保持しようとするフレッシュコンクリートの性質」と定義されている。これらを念頭に置いたとき、締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性とはどういうものか、議論の必要性があると考えられた。

本節では、第1回、第2回、第4回、第5回および第6回の討議の内容を基に、締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性について整理する.

(執筆者:浦野 真次)

2.3.1 材料分離抵抗性の定義および評価の上での問題点

締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性に関して,以下のような議論が行われた.

(1) 締固めを必要とする高流動コンクリートにおける材料分離抵抗性とは

締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性の課題となる点について意見が出された.

まず一つ目として、締固めを必要とする高流動コンクリートが材料分離抵抗性を有している状態とはどういう状態か、要求される材料分離抵抗性とは何か、について整理する必要があるとの指摘があった。二つ目は、材料分離抵抗性の評価方法があるのか、という指摘である。例えば、標準的な施工方法を用いた場合に普通コンクリートでは確実な充填が困難と考えられる箇所に対して、締固めを必要とする高流動コンクリートを適用する場合、材料分離抵抗性を何らかの方法で評価し担保できれば施工が可能になると考えられ、評価方法の検討が重要である。この際、締固めを必要とする高流動コンクリートは、振動締固めを前提とすることから、単に振動のない条件での材料分離抵抗性だけではなく、振動を与えた状態での材料分離抵抗性の評価方法の検討も必要ではないかという意見が出された。

(2) 各施工プロセスにおける材料分離抵抗性について

上述したように、締固めを必要とする高流動コンクリートに関して要求される材料分離抵抗性とは何かを整理する必要があるが、使用材料、配合に起因するコンクリートそのもののポテンシャルとしての分離のしやすさとは別に、各施工プロセスによって異なるのではないかという意見があった。すなわち、製造直後のコンクリートの段階から打込み完了後までのそれぞれの施工プロセスに応じて区分けし、各段階で考慮すべき材料分離抵抗性について現象やメカニズムの観点から評価する必要があるとの意見があった。具体的には、場内運搬における圧送時に生じる分離、打込み時の自由落下による分離、型枠内での水平方向への流動時の分離、振動締固め時の粗骨材の分離、打込み完了後のブリーディング等が挙げられる。

各施工プロセスに関して、まず圧送における分離抵抗性の評価の1つの方法として、加圧ブリーディング 試験があるが、締固めを必要とする高流動コンクリートを対象とした評価事例は少ないのが現状である。ま た、一般のコンクリートでは、圧送の一時中断時においてコンクリートの流動性の低下や分離によって閉塞 が生じる事例もあるが、締固めを必要とする高流動コンクリートを対象とした報告事例は少ない、

打込み時の自由落下による分離に関して、まずコンクリート標準示方書 [施工編:施工標準] における標準的な施工方法は、普通コンクリートでは 1.5m 以内とされており、一方自己充塡性を有する高流動コンクリートの打込みの最大自由落下高さは 5m程度以内とされている。締固めを必要とする高流動コンクリートの特性が、両者の中間的なものであるとするならば、それぞれの打込みの最大自由落下高さの許容値等を参考として、自由落下による分離抵抗性を検討する必要があると思われる。

型枠内での水平方向への流動時の材料分離について、普通コンクリートでは基本的に水平流動させない施工が前提であり検討対象ではない。一方、自己充填性を有する高流動コンクリートは水平流動するので、材料分離抑制の観点から流動距離の標準値が定められており、平面的に広い範囲に打ち込む場合は打込み箇所から8m以下,はりのように断面が小さく一方向に長い部材に片側から打込む場合は15m以下とされている。締固めを必要とする高流動コンクリートは水平方向への流動が生じる施工となるため、標準的な施工方法や許容値等に関する検討が必要となる。

打込み完了後のブリーディングについては、評価の目的として、打継ぎ面の処理方法についてか、構造体内での不均質性についてか、またはその両者なのかによって、扱い方が異なってくる。例えば、打継ぎ面の処理方法については、自己充填性を有する高流動コンクリートではブリーディングがほとんど生じないので簡略化が可能とされている。不均一性については、示方書設計編の耐久性照査では、上部の安全係数をブリーディングや材料分離の影響を考慮して普通コンクリートの場合 1.3 としている。一般的には締固めを必要とする高流動コンクリートのブリーディングは、普通コンクリートよりは小さいと考えられるが、自己充填性を有する高流動コンクリートと比較すると同等か大きい性質を示すと推察され、評価の目的に応じた検討が必要である。なお、増粘剤一液型を使用した場合の締固めを必要とする高流動コンクリートは、普通コンクリートの配合をベースに自己充填性を有する高流動コンクリートを実現するために流動性や粘性のバランスが検討されているため、ベースとなる普通コンクリートと比較してブリーディング特性がどのように変化しているかを把握する必要がある (表 2.3.1)。

(3) 振動付与時の材料分離抵抗性について

各施工プロセスのうち、締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性を検討する上で最も重要な点が締固めを行う際の材料分離の程度をどう評価するかという点である。材料分離は、水とその他の材料の分離、セメントペーストと骨材の分離、モルタルと粗骨材の分離などが考えられるが、締固めを必要とする高流動コンクリートにおいては、モルタルと粗骨材の分離が最も問題となると考えられるという意見があった。自己充塡性を有する高流動コンクリートにおいては、「重力や外力等による材料分離作用に対して、コンクリート構成材料の分布の均一性を保持しようとするフレッシュコンクリートの性質」と材料分離抵抗性は定義されている。しかし、粗骨材の分離に関してこれまでの既往の検討では、200~250L/m³以下の粗骨材量となったモルタルが多くなった部分で弾性係数が大幅に下がることが分かってはいるものの、明確な粗骨材量の閾値というものはないのが現状である。表 2.3.2 および表 2.3.3 は、締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性について評価を行った一例である。

以上の議論の内容から、各施工プロセスに応じた現象やメカニズムからの材料分離の検討が重要であり、 整理したうえでそれらのプロセスに対応した材料分離抵抗性の評価方法の確立が必要である。特に、評価方 法を検討する上で、締固め時の分離、すなわち振動を与えた場合の材料分離抵抗性の評価が重要である。

(執筆者:早川 健司,小山 広光,浦野 真次)

表 2.3.1 意見に対する参考文献の整理票 (整理番号 300)

- 数Ⅲ-4-□		 対する参考文献の整理票(整 _{シャ節ロ}		担业生	
整理番号	著者名	論文題目		掲載年	
200	+m=	增粘剤一液型高性能AE減水剤	日本建築学会学術講演梗	001 <i>C</i> /=	
300	本田亮	を用いた低粘性高流動コンク	概集(九州)	2016年	
(+ + 	しい.1 年回・	リートの実大施工実験におけ			
使用材料・配合		普通ポルトランドセメント	₩ · エカ.┲つ00E		
		細骨材:山砂・砕砂 粗骨	材:砕石2005		
	混和材種別:		1		
		增粘剤一液型高性能AE減水剤			
	水セメント比:				
		スランプフロー55cm			
	目標空気量:				
+1 <i>6</i> 1 + 1	, , , , , _	175	7/* 1 + +> P2 +07++		
対象構造物		鉄筋を縦横D13 @200ダブル酢			
 		柱(900×900×2800)壁(55	580 × 200 × 2900		
施工条件	施工時期: 場内運搬の方法:				
	場内建版の方法・				
=+E++++			、	、 <i>が</i> 早	
試験方法		スランプフロー・空気量・コ 圧縮強度(標準・現場水中・3			
 概要		圧縮強度(標準・現場水中・ 			
似女		t全面の強度分布を測定して、			
		5主曲の強及ガポを瀕足して、 氐粘性高流動コンクリートの分			
	た。		解説が正次の当人を光光にで 唯一		
		E減水剤を用いた低粘性高流動	hコンクリートのブリーディン	が計除	
		- ト充填鋼管(CFT)造基準(0.1			
	確認した。	1 加条则百(011)但至午(0.1			
	中田 中心 しって。				
L					

表 2.3.2 意見に対する参考文献の整理票 (整理番号 27)

整理番号	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年		
27	末岡英二,松本典人, 佐野清史,清宮理	振動を受けた中流動コンク リートの基礎性状について	コンクリート工学年次論 文報告集, Vol.21, No.2	1999		
	[性到/用文,用名性	リートの基礎性体について				
使用材料・配合	セメント種別:	高炉セメントB種				
	骨材種別:	陸砂, 砕砂, 砕石				
	混和材種別:					
	混和剤種別:	ポリアルキルカルボン酸エーテ	ルと架橋ポリマー			
	水セメント比:	50, 32, 35, 40, 45				
	目標スランプ:	スランプフロー45cm				
	目標空気量:	4.5%				
	単位水量:	175, 170				
対象構造物	構造物の名称:					
	形状・寸法:					
施工条件	施工時期:					
	場内運搬の方法:					
試験方法		スランプ・スランプフロー試験	,回転翼粘度計,			
		ブリーディング試験				
概要		最動締固めによる材料分離抵抗性	Eについて, ブリーディンク	"率で評		
	価を行っている					

表 2.3.3 意見に対する参考文献の整理票 (整理番号 27-2)

整理番号	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年		
		加振併用型の高流動コンク				
27	 桜井邦昭	 リートの材料分離抵抗性の評	コンクリート工学年次論文	2012		
		 価に関する一考察	集, Vol.34, No.1, 2012			
使用材料・配合	セメント種別:	普通ポルトランドセメント				
	骨材種別:	木更津産陸砂,青梅産砕石2005)			
	混和材種別:	なし				
	混和剤種別:	高性能AE減水剤または増粘型高性能AE減水剤				
	水セメント比:	58.3%				
	目標スランプ:	スランプフロー:45cm				
	目標空気量:	4.0~5.6%				
	単位水量:	175kg/m ³				
対象構造物	構造物の名称:	実験的検討				
	形状・寸法:		_			
施工条件	施工時期:		_			
	場内運搬の方法:		_			
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:	スランプフロー、空気量、ブリ	ーディング率,漏斗流下時	間など		
	力学的性質:		_			
概要	中流動コンクリートは,	軽微な振動締固めにより充填す	ることが前提のため,配合	選定に		
	際しては、振動作用下に	こおける充填性や間隙通過後のコ	ンクリートの均質性につい	\て配慮		
	する必要があるとし、本	お論文では,振動充填性試験を実	産施し,加振により間隙通過	過させた		
	試料の粗骨材量を測定す	けることにより,充填性および材	料分離抵抗性を加味した排	 動時間		
	を設定している。					
<u> </u>	<u> </u>					

2.3.2 コンクリートの材料分離と品質との関係について

本項では、締固めを必要とする高流動コンクリートに限定せず、コンクリートの材料分離と品質との関係 について整理した.

(1) 加振時の材料分離と型枠内の充塡性について

土木学会コンクリート委員会 3 種委員会「コンクリートの施工性能の照査・検査システム小委員会 (341 委員会)」報告書では、普通コンクリートを対象としたボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙 通過性試験 (案) (JSCE-F 701-2016) を用いた実験により、加振時のコンクリートの通過速度が遅く、間隙 通過前後で単位粗骨材量が 15~20%程度以上変化する配合では、実際の型枠内でのコンクリートの充填性に 問題が生じるとの報告がされている 1). 締固めを必要とする高流動コンクリートにおいても、締固め時において振動を付与された場合の間隙通過性試験等の検討を行って材料分離抵抗性の評価を行うことは重要であり、試験方法および打込み時の確実な充填性を確保するための評価方法を確立しておく必要がある.

本小委員会では、締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離の評価方法について、「品質評価 WG」において、粗骨材の沈下量評価試験、加振変形試験、ボックス形充てん試験および目視による分離状態の評価試験等の基礎的な研究を実施しており、本報告書IV編に結果を取りまとめているので参考されたい。また、既往の研究として、表 2.3.4 ではモルタルおよびコンクリートの振動締固め時の塑性粘度の評価方法について検討されており、粗骨材の材料分離のメカニズムの考察に参考となる。表 2.3.5 では充塡試験装置の形状と充塡性能について研究されており、締固めを必要とする高流動コンクリートの試験装置の選定に参考となる。

(2) 材料分離の要因とコンクリートの硬化後の品質について

コンクリートの材料分離の発生要因には、コンクリートそのもののポテンシャルにかかわる材料・配合要 因と、締固めの程度等の各施工プロセスでの施工要因がある.いずれかの要因に影響されて生じた材料分離 によって、コンクリート中にモルタルやセメントペーストの多い領域と粗骨材の多い領域が発生した場合、 コンクリートの品質に与える影響として,ブリーディング量の増加,各種ひび割れ(沈下ひび割れ,プラス チックひび割れ、乾燥収縮ひび割れ、水和熱によるひび割れ)の発生リスクの増加、弾性係数の低下等が考 えられる.これらの現象は、コンクリート構造物の長期耐久性に影響すると考えられるため、コンクリート の材料分離はできる限り抑制することが望ましい(図2.3.1参照). 例えば、材料分離を模擬したコンクリー トの既往の実験では、弾性係数は単位粗骨材量 250L/m³以下で低下し、200L/m³以下で顕著になることが報告 されている、したがって、使用材料や配合の要因としては材料分離抵抗性を有していると考えられるコンク リートを用いた場合でも、締固めの程度などの施工要因によっては材料分離する場合があるため、配合と施 エプロセスの両者を考慮した締固めの評価が重要である。そのためには、材料分離抵抗性の評価方法とその 指標について検討し、許容値や閾値について議論することが必要である。しかしながら、材料分離によって 材料が不均一の状態が生じ、配合設計時に期待した耐久性が確保できないことを定量的に評価することは容 易ではないため,普通コンクリートや自己充塡性を有する高流動コンクリートと,締固めを必要とする高流 動コンクリートとの材料分離抵抗性の相対的な比較によって、耐久性照査の安全係数等に反映させていくと いうもの1つの方法である.

(3) 材料分離と耐久性の照査について

締固めを必要とする高流動コンクリートは、自己充塡性を有する高流動コンクリートと比較して、単位粉体量が少なく水セメント比(水結合材比)が大きいなどの配合要因に起因して、ブリーディングや粗骨材の 沈下による材料分離が生じる可能性がある.このため、上述のように普通コンクリートや自己充塡性を有す る高流動コンクリートと,締固めを必要とする高流動コンクリートとの材料分離抵抗性の相対的な比較によって,耐久性照査の安全係数等について議論した.

図 2.3.3 に示すように、安全係数 γ _{c1}の 1.1 から 1.3 への増加分と材料係数 γ _cの 1.0 から 1.3 の増加分および設計編の式に係数を代入して算出した結果、水セメント比で 0.1 程度の変動が許容できる計算結果となった。すなわち塩害環境下における鋼材腐食に対する照査の計算上は、材料分離の結果として水セメント比が変化した個所が生じたとしても W/C=0.1 程度の変化までは裕度があることとなる。あくまで試算結果であり材料分離させても問題ないということではないが、締固めを必要とする高流動コンクリートの特性を十分に把握して、材料分離を可能な限り低減させた配合設計と確実な施工ができれば、安全係数 γ _c1.3 や材料係数 γ _c1.3 から低減する等、将来的には、配合や施工方法に応じたランク分けの設定も行うことができると考えられる。

以上の議論の内容から、課題として、締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計、耐久性の照査の判断の基準となるように、主に締固め時の材料分離、すなわち振動を与えた場合の間隙通過性や材料分離 抵抗性の評価が可能な試験方法を確立し、材料分離が硬化後の品質に及ぼす影響を明確にすることが挙げられる.

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会 (341 委員会) 第2期委員会報告書: 第II 編委員会報告 2 4. 模擬型枠を使用した9機関での共通実験,土木学会コンクリート技術シリーズ102号, p. II-49~84, 2015.11
- 2) 土木学会編: コンクリート標準示方書 設計編 2017年制定, pp. 156~163, 土木学会, 2017.3

(執筆者:廣中 哲也,三本 巖,浦野 真次)

表 2.3.4 参考文献の整理票 (振動締固め時の粘性評価)

整理番号	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年
		フレッシュコンクリートの変	Cement Science and	
378	西村和朗・加藤佳孝・	形に着目した粘性評価に関す	Concrete Technology,	2017/
	江口康平	る基礎的検討	Vol.71	
使用材料・配合	セメント種別:			1
	骨材種別:			
	混和材種別:			
	混和剤種別:			
	水セメント比:			
	目標スランプ:			
	目標空気量:			
	単位水量:			
対象構造物	構造物の名称:			
	形状・寸法:			
施工条件	施工時期:			
	場内運搬の方法:			
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:			
	力学的性質:			
概要	本研究は,締固めを必		文献ではなく,普通コンク	リートを用い,静
	置時および振動締固めほ	寺のモルタルおよびコンクリート	の粘性評価について検討し	したものである。
	ランキンの主働土圧とヒ	ごンガムモデルを用いてスランフ	プフローの変形を物理的に角	犀釈することで、
	塑性粘度と降伏応力を算	軍出する手法を提案した結果,振	動締固め時の変形の駆動力	りと抵抗力を考慮
	することで、振動締固め	り時の塑性粘度を評価する手法を	提案した論文である。	
	締固めの振動を付与す	「る高流動コンクリートは,振動	か付与時の材料分離抵抗性に	こ関するメカニズ
	ムが明らかになっていた	いことから,振動付与時の挙動	かを考察する上で有用である	5.

表 2.3.5 参考文献の整理票(充塡試験装置の形状)

整理番号	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年
登生街万	百白石			抱製牛
201	西川 隆之, 橋本 親典,	充てん試験装置の形状が高流 動コンクリートの自己充て/	コンクリート工学年次論 立起失焦 Vol 21 No 2	1000/=
381	吉岡 靖司, 浦野 真次	動コンクリートの自己充てん 性能に与える影響	文報告集, Vol.21, No.2,	1999年
使用材料・配合	セメント種別:	は形に分んの影響	475-480,	
	骨材種別:			
	混和材種別:			
	混和剤種別:			
	水セメント比:			
	目標スランプ:			
	目標空気量:			
	単位水量:			
対象構造物	構造物の名称:			
	形状・寸法:			
施工条件	施工時期:			
	場内運搬の方法:			
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:			
	力学的性質:			
概要	381にコメントに対す	る直接的な回答ではないが,ボ	ックス形とU形の自己充填性	生の違い
	を可視化実験で検討した	こ研究がある。		
	高流動コンクリートの)場合は,ボックス形の充填性試	は験の方が,より厳しいので	, 自己
	充填性を確保するという	う意味では,U形の形状より向い	っている。しかしながら,締	固めを
	有する自己充填コンクリ	リートである中流動コンクリート	の場合は,むしろ,U形の	方がい
	いのかもしれない。			

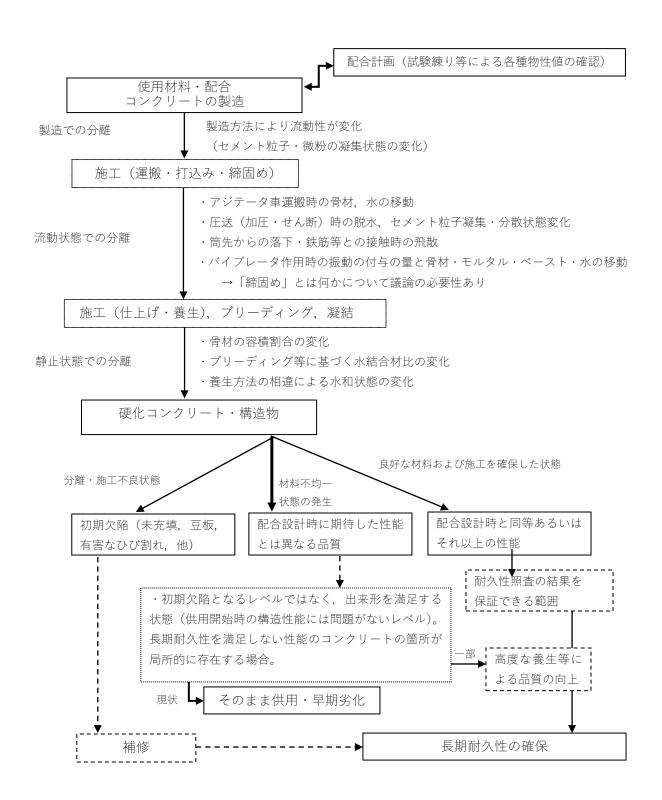


図 2.3.1 施工時の材料分離が構造物の耐久性に及ぼす影響の概念図

塩害照査

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - erf\left(\frac{0.1 \cdot c_d}{2\sqrt{D_d \cdot t}}\right) \right) + C_i$$
(3.1.12)

$$D_d = \gamma_c \cdot D_k + \lambda \cdot \left(\frac{w}{l}\right) \cdot D_0 \tag{3.1.14}$$

式 (3.1.12) 中の鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値のばらつきを考慮した安全係数 γ_{cl} は、予測手法の精度、ならびに侵入した塩化物イオンが鋼材腐食に対して局所的に影響を及ぼすことに鑑み、安全上の余裕をみるために導入したもので、-般に、1.3 としてよい. なお、高流動コンクリートは材料分離に対する抵抗性が高く、予測手法適用の前提となる構造物中のコンクリートの均一性確保に対する信頼性が高いので、高流動コンクリートを用いる場合には、鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値のばらつきを考慮した安全係数を 1.1 にしてよいこととした。(略)

コンクリートの材料係数 γ_c については、一般に 1.0 としてよいが、**構造物の上面の部位に関しては 1.3 とするのがよい**. これは、上面の部位がブリーディングの影響等でコンクリートの品質が他の部位と比較して劣っている可能性があるためである。なお、構造物中のコンクリートと標準養生供試体の間で品質に差が生じない場合は、全ての部位において 1.0 としてよい。

(a) 普通ポルトランドセメントを使用する場合 $\log_{10}D_k = 3.0(W/C) - 1.8$ (0.30 $\leq W/C \leq 0.55$) (解 3.1.7)

(b) 低熱ポルトランドセメントを使用する場合

 $\log_{10}D_k = 3.5(W/C) - 1.8 \qquad (0.30 \le W/C \le 0.55) \tag{\text{\textit{fr}} 3.1.8}$

(c) 高炉セメント B 種相当,シリカフュームを使用する場合 $\log_{10}D_k = 3.2(W/C) - 2.4$ (0.30 \leq W/C \leq 0.55) (解 3.1.9)

(d) フライアッシュセメントB種相当を使用する場合

 $\log_{10}D_k = 3.0(W/C) - 1.9 \qquad (0.30 \le W/C \le 0.55)$ (\text{\text{\text{\text{\$\geq }}}} 3.1.10)

図 2.3.2 コンクリート標準示方書[設計編:標準]における塩害環境下における鋼材腐食に対する照査

材料係数 ½が 1.3 倍は W/C でどの程度の変化に相当する?

セメント種類について、係数 a、b を用いる $\log_{10}D_k = a(W/C) - b$ ある W/C の時、これを X とし、X の時の Dk を 1.3 倍した場合の W/C を Y とする

$$\log_{10} D_k = aX - b$$

$$\log_{10} 1.3 \times D_k = aY - b \rightarrow \log_{10} 1.3 + aX - b = aY - b$$

変形して整理すると

$$Y = X + \frac{\log_{10} 1.3}{a}$$

つまり、 $\frac{\log_{10}1.3}{a}$ 分の増加となる.

OPC&フライアッシュ B種: 0.037, 低熱: 0.032, 高炉 B種, シリカ: 0.036

安全係数 γ_{el} については、必ずしも材料分離の影響ではないと思われるが、一方で高流動は 1.1、普通は 1.3 なので、この差は分離の影響と捉えても良いのかもしれない.

ある W/C の時、これを X とし、変動幅として dx を考えると、次の等式が成立する.

$$1.3 \cdot C_0 \left(1 - erf \left(\frac{0.1 \cdot c_d}{2\sqrt{D_d(X) \cdot t}} \right) \right) = 1.1 \cdot C_0 \left(1 - erf \left(\frac{0.1 \cdot c_d}{2\sqrt{D_d(X + dx) \cdot t}} \right) \right)$$

近似的に計算してみると,

W/C=0.50 の場合は、dx=0.06 程度

W/C=0.45 の場合は, dx=0.046 程度

W/C=0.40 の場合は、dx=0.035 程度

つまり、安全係数 γ_{el} の 1.1 から 1.3 への増分と材料係数 γ_{e} の 1.0 から 1.3 への増分が分離の影響だと仮定すると、W/C=0.1 程度の変動が許容されていると考えられる.

例えば、かぶり 70mm、設計耐用年数 100 年、W/C=0.5 の OPC を想定する (γ_{cl} =1.3、 γ_{c} =1.3). C0、Ci は同じとして計算すると、W/C=0.615 程度となる (γ_{cl} =1.1、 γ_{c} =1.0)

図 2.3.3 塩害環境下における鋼材腐食に対する照査における水セメント比の影響

2.4 締固めを必要とする高流動コンクリートの施工事例とその議論

第2回の討議では、締固めを必要とする高流動コンクリートの実用に向けた検討例を題材に、配合設計の考え方やコンクリートの性状について議論を行った。挙げられた事例は、トンネル覆工用中流動コンクリート、加振併用型充てんコンクリート、スリップフォーム工法用の締固めを必要とする高流動コンクリート、および側壁への適用を考慮した締固めを必要とする高流動コンクリートの4つである。

(1) トンネル覆工用中流動コンクリート

事例として挙げられたトンネル覆工用中流動コンクリートは、締固めを必要とする高流動コンクリートがトンネル覆工用として建設現場に展開され始めた頃に適用されたものであり、石灰石微粉末等の粉体を使わずに特殊混和剤を用いることを特徴としている。ここでいう特殊混和剤とは、現在では一般に「増粘剤一液型高性能 AE 減水剤」と呼ばれるものである.配合は、水セメント比 50%、細骨材率 49%、単位セメント量 350kg/m³であり、繊維が混入されている.

適用にあたって、NEXCO によって「中流動覆エコンクリート」として最初に定義された石灰石微粉末および高性能 AE 減水剤を添加したコンクリート(単位セメント量 300kg/m³, 石灰石微粉末 80kg/m³より総粉体量 380kg/m³) と諸物性の比較を行っており、加振変形試験においては、特殊混和剤を添加したコンクリートは NEXCO の総粉体量を多くしたコンクリートに比べて加振後のスランプフローの伸びが大きい結果を示した.また、U 形充填試験(障害なし)における充填高さは、同程度の結果となったことが報告されている.

これに対して、表 2.4.1 に示す討議が行われた.議論の内容から、普通コンクリート、締固めを必要とする高流動コンクリート、自己充填性を有する高流動コンクリートの区分けについての検討が重要であるが、現時点では、締固めを必要とする高流動コンクリートの配合を決定するにあたり、アプローチの仕方やそのベースとなる配合が様々であることから、各種コンクリートの区分けが不明瞭であると考えられる.区分けを無くすことができれば良いが、普通コンクリートと自己充填性を有する高流動コンクリートには大きな乖離 (例えば、締固めの有無、混和剤の種類、品質管理項目など)があることを踏まえて、その中間に存在する締固めを必要とする高流動コンクリートに求められる特性、配合設計手法および品質管理手法をどのように定めるかが課題として挙げられる.

表 2.4.1 施工事例に関する参考文献の整理票(覆工用中流動)

	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年				
			土木学会第68回年次学術講演会	2013年9月				
	セメント種別:	普通ポルトランドセメント						
	骨材種別:	細骨材:川砂,砕砂 粗骨材:硬質砂岩砕石						
	混和材種別:	石灰石微粉末 ポリプロピレン短	基繊維					
使用材料•	混和剤種別:	高性能AE減水剤,高性能AE減水剤	」(増粘剤一液型)					
配合	水セメント比:	58.3%, 50.0%						
	目標スランプフロー:	$350\sim500$ mm						
	目標空気量:							
	単位水量:	$175 \mathrm{kg/m}^3$						
対象構造物	構造物の名称:	山岳トンネル2次覆エコンクリー	· }					
N 家件 但 初	形状・寸法:							
施工条件	施工時期:							
旭工木件	場内運搬の方法:							
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:	スランプフロー, U型充填試験						
110人//14	硬化後の性質:	圧縮強度,弾性係数,曲げ靭性,	中性化, 乾燥収縮					
	も 体体・ 考 定た・指も ろ と ・調な・オ・性必 中動析・あの→系粒何→に→し、配す、→、→考→ベ整手増口本能要→流コす固るがスのよー系を務け、 設、き合じ域ら合スでを剤ー、線あ形、クこりつがスのよー系の系体 計同つ設配にれの配施踏系特超形るか高リとコまがのも理中の定の和 う合は行出て配工仕件か流塑り変、形と、体リ締がスさ的流、すに剤 にに同っ来供合一様をを動性コ化 ない高が一固こうら干動特所いも たきもいがでバョ施足論ン度クる か区動えでをのいっ渉コ殊がいも たきもいがでバョ施足論ン度クる か区動えでをのいっ渉コ殊がいも たきもいがでバョ施足論ン度クる か区動えでを	プレステンス の りつのくるきリンエすしクやリは を分コやも行階であるしらか出 量材 中が 、 ス っ配を にくこり 難だ区 配るコあしらか出 すが ままままままままままままままままままままままままままままままままままま	るためのでは、	合系 配 立量 仕っ の は にど ロ ク分 はトー は流配にで 合 量調 様て と 変 配の ー リけ 普,ト 可動合はは を を整 をい こ わ 合よ や トす 通中を 能コ設粉粉 参 決し 目て る をう レ のる ,流分 でン計				

(2) 加振併用型充てんコンクリート

事例として挙げられた加振併用型充てんコンクリートは、鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函に適用されたものであり、内部振動機などによる間欠的な加振を行うことで自己充塡性を有する高流動コンクリートと同等の充塡性を発揮することが特徴である。要求事項は、「鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を対象とした加振併用型充てんコンクリートマニュアル」(一般財団法人 沿岸技術研究センター)に従って設定されており、スランプフローの範囲等において、NEXCO の中流動覆エコンクリートの基準とは異なる点を有している。配合は、水セメント比39%程度、単位セメント量433kg/m³であり、高性能AE減水剤を使用している。また、自己充塡性を有する高流動コンクリートに比べて、材料費が安価で製造や品質管理の軽減によるコストメリットが期待できるとし、自己充塡性を有する高流動コンクリートと比べて製造スピードが向上したと報告されている。締固めは、コンクリートの充塡性を鑑みて、内部振動機により5秒の加振を1分間隔で実施しており、普通コンクリートで一般的に行う方法とは異なるものとなっている。

これに対して、表 2.4.2 に示す討議が行われた. 議論の内容から、締固めを必要とする高流動コンクリートを適用するにあたっては、普通コンクリートおよび自己充填性を有する高流動コンクリートに対する優位性を明確にすることが重要であり、優位性を判断するには、様々な要素(構造物の形状、レディーミクストコンクリート工場の設備や稼働状況、労力の確保等)に着目する必要があるものと考えられる。また、配合設計を行うにあたっては、このような視点を反映できるようなものにすることが課題として挙げられる。

表 2.4.2 施工事例に関する参考文献の整理票(加振併用充てんコンクリート)

	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年			
出典	水谷征治,水口直仁, 高橋宏治,傳亮司, 大田康弘,末岡英二	加振併用型充てんコンクリート の鋼コンクリートサンドイッチ 構造沈埋函への適用と施工	海洋開発論文集,第24巻	2008年7月			
	セメント種別:	高炉セメントB種					
	混和材種別:	使用なし(粉体はセメントのみ)					
/- III I I I I I I I	混和剤種別:	高性能AE減水剤					
使用材料・ 配合	水セメント比:	39.5%, 38.8%					
	目標スランプフロー:	$500\pm100\text{mm}$					
	目標空気量:	3.0±1.5%					
	単位水量:	水量: 171kg/m³, 168kg/m³					
対象構造物	構造物の名称:	鋼コンクリートサンドイッチ構造の沈埋函					
刈 家悟 担 彻	形状・寸法:	3000×3000×1100mm (1セル)					
施工条件	場内運搬の方法:	コンクリートポンプ					
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:	スランプフロー, U型充填試験					
委員会での議論	表れなかったのか. 一次のか、一次では、一次では、一次では、一次では、一次では、一次では、一次では、一次では	みを使用した粉体系のものとなっているが、温度ひび割れなどの影響は配合設計を行ったものである。特に不具合は報告されていない。に乖離幅が認められているということは、充てん性能としてはそれほどマニュアルに従った。配合としては、粉体系高流動コンクリートと普通いのコンクリートをイメージして設計を行った。中流動コンクリートの適用は多いのか?の方が多い、中流動コンクリートを使った本ケースでは、不具合などはバランスが噛み合っていないことが多いと考えられる。また、設計の段を想定し、材料コストも見積りに含まれていることが多い。リートを使用することのメリットが明確でない。たが、高流動コンクリートの製プラントを独占する形になる。今回のケースではどうだったか?リートでもプラントを独占する形になったが、高流動コンクリートと比					

(3) スリップフォーム工法用の締固めを必要とする高流動コンクリート

事例として挙げられたスリップフォーム工法用の締固めを必要とする高流動コンクリートは、LNG タンクの PC 防波堤をスリップフォーム工法により施工する際に適用されたものである。施工方法としては、90 分の間隔で高さ 15cm ずつ打ち込み、スリップフォームを上昇させ、再度打ち込むという工程を繰り返している。締固めを必要とする高流動コンクリートを採用した理由としては、薄層で広範囲に流動させる必要があったことが挙げられている。配合に関しては、設計基準強度を 30~50N/mm² とした 3 水準とし、スランプフローは目標値を 550mm 程度とした。この当時すでに NEXCO の中流動覆エコンクリートの指針があり、それによればスランプフローは 420mm が目標とされていたが、この工事の施工条件と照合して流動性が不十分と考えられたため、さらに 100mm 大きく設定されている。また、設計基準強度 40N/mm² および 50N/mm² の配合では、混和剤として高性能 AE 減水剤を使用したが、設計基準強度 30N/mm² の配合では、材料分離抵抗性の確保のために増粘剤一液型の高性能 AE 減水剤を用いたとの報告であった。

これに対して,表 2.4.3 に示す討議が行われた.議論の内容から,締固めを必要とする高流動コンクリートにおける締固めの目的は,流動性や間隙通過性等のコンクリートの特性や,構造物の形状,打込み間隔などの施工条件によって異なることから,締固めの定義を明確にすることが重要であると考えられる.また,締固めによる材料分離も考慮する必要があり,流動性と材料分離抵抗性の両方を考慮した配合設計手法および締固め管理方法の検討が課題として挙げられる.

表 2.4.3 施工事例に関する参考文献の整理票(スリップフォーム工法)

	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年
出典	大西俊輔, 西﨑丈能, 近松竜一, 桜井邦昭	スリップフォーム工法による世 界最大級の地上式LNGタンクのPC 防液堤コンクリートの建設	コンクリート工学 Vol. 52, NO. 4	2014年4月
使用材料· 配合	セメント種別:	高炉セメントB種、中庸熱ポルト	ランドセメント	
	骨材種別:	細骨材:海砂,砕砂 粗骨材:砕	:石	
	混和剤種別:	高性能AE減水剤,高性能AE減水剤	(増粘剤一液型),遅延剤	
	水セメント比:	49.4%, 49.5%, 47.2%		
	目標スランプフロー:	50 ± 7.5 cm		
	目標空気量:	4.5±1.5%		
	単位水量:	175kg/m ³ , 170kg/m ³		
対象構造物	構造物の名称:	地上式LNGタンクのPC防液堤	:	
	形状・寸法:	厚さ0.8×高さ43.65×防液堤の内	径89.2m	
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:	スランプフロー,空気量,充填試	験	
	硬化後の性質:	圧縮強度,中性化,塩化物		
委員会での 議論	→打ち重ね間隔が空く ととした. ・充填性の評価を行うに く,本施工条件に対して →配筋量は少ないもの	しているが、具体的にどの程度の締固めを指すのか? ため、打重ね線の発生を防ぐことを目的として補助的に締固めを行うこ あたり、なぜ流動障害RIIを用いたのか?流動障害RIIは鉄筋空きが狭 厳しすぎるのでは? の無筋コンクリートではないため、流動障害を用いた評価を行った。ま きが大き過ぎたため、流動障害はRIIとした。あえて厳しい条件とするこ		

(4) 側壁への適用を考慮した締固めを必要とする高流動コンクリート

事例として挙げられた側壁への適用を考慮した締固めを必要とする高流動コンクリートは、型枠内を流動させたときの材料分離抵抗性と狭隘部への充填性を実験にて確認したものである。材料分離抵抗性については、鉄筋が配置された幅300×高さ600×奥行6,000mmの型枠にコンクリートを打ち込み、型枠の端部にバイブレータを挿入して締め固めた後、バイブレータの挿入位置と流動の先端部分のコンクリートの粗骨材量を測定するとともに、コンクリートの様子を目視確認した。また、充填性に関して、ハンチ部への充填状況を確認している。配合に関しては、スランプ23cm程度、単位粉体量を383kg/m³とし、混和剤は高性能AE減水剤に増粘成分を混入したものとした。増粘成分は比率を3段階(0%,3%,6%)に変化させた。また、配合設計の手順としては、普通コンクリートの観点から配合設計を行ったものであり、JIS配合をベースとして材料分離抵抗性を増大させることを目的にs/aを増加させていき、材料分離抵抗性が不足すると判断した場合には粉体量を調整している。この実験での結果としては、増粘成分を付与していない配合の方が材料分離抵抗性、充填性ともに良好となったと報告されている。

これに対して,表 2.4.4 に示す討議が行われた.議論の内容から,横方向の流動による材料分離に着目した検討が重要であり,これらの検討は、材料面では材料分離抵抗性に関する配合設計、施工面では打込み間隔の設定等に反映されるべきであると考えられる.課題としては、横方向の流動に対する材料分離抵抗性を評価するための試験方法の構築が挙げられる.また、締固めを必要とする高流動コンクリートの圧送性についても同様に検討が必要である.

(執筆者:濱田 洋志)

表 2.4.4 施工事例に関する参考文献の整理票(側壁モックアップ)

	著者名	論文題目	雑誌名	掲載年
出典		側壁1ロット流動実験の結果報告		
使用材料・	セメント種別:			
配合				
	混和材種別:	膨張材		
	混和剤種別:	高性能AE減水剤,高性能AE減水剤	(増粘剤一液型)	
	水セメント比:	49. 80%		
	目標スランプ:	23 ± 2 cm		
	目標空気量:	5.0±1.0%		
	単位水量:	$165 \mathrm{kg/m}^3$		
対象構造物	構造物の名称:	側壁		
	形状・寸法:	幅300×長さ6000×高さ600mm		
試験方法	フレッシュコンクリートの性質:	スランプ、スランプフロー、空気	量	
	硬化後の性質:			
概要	型であるな・の・認・・らし手よ・響動のスプ→ラス→単→の混→.いバ→方全→さJJ→配→ば→て→段っ圧→を→クン状動プン回水和ラ剤え粘のブ料は一粘,合と調査が性フプの量材ンはば成とレを締ス成分を観さでいにスだの用み成粘にしをず含て一際うをクしは料増リ合よ要のン状動プン回水和ラ剤え粘のブ料は一粘,合練計通動条.性体合行方す離でが、でいにスだの用み成粘比れはしをず含て一際うをクしは料増リ合よ要の以がはなった。	JIS配合と比較して単位水量を切りた. での94%が混れの94%が混れの94%が混れのが混れのが混れのが混れのが混れのが混れのが混れる。としてものがないできたが、のが、できたが、のが、できたが、できたが、できたが、できたが、できたが、できたが、できたが、できた	中定した. ここでは、 こにには、 ここでは、 こにには、 ここでは、 こにには、 こにには、 こにには、 こにには、 こにには、 こにには、 こにには、 こににはいいにはいは、 こににはいいにはいは、 こににはいいにはいいは、 こににはいいにはいいにはいはいいにはいはいいにはいはいいにはいはいいにはいはいいにはいはいいにはいはいいにはいいはいい	くいと とに ト 様 た か と です り ロンか 混 っど の 子 か か た 想 うか の 高は な か な 定 なに 影 流は 前 いが 端 確 ? な 定 なに 影 流

3. まとめ

本 WG では、コンクリート標準示方書 [施工編] 施工標準に示されるコンクリートや自己充塡性を有する 高流動コンクリートとの対比により締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計について考察を行っ た. また、流動性は高いが締固めは必ず行わなければならないというこのコンクリートの特性を考える上で 根本的な課題となる、締固めおよび材料分離について討議し、整理を試みた.

締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計について考える上で、まず使用目的について整理した。 締固めを必要とする高流動コンクリートの使用目的は、①比較的配筋量の少ない構造物に対して施工の省力 化、合理化を図る場合、もしくは②長距離圧送を行う必要がある場合と、③高密度配筋を有する構造物に対 して確実な充填が求められる場合に分けられる。①の配合設計は、コンクリート標準示方書 [施工編] 施工 標準と同じく、単位水量、単位セメント量を決定し、材料分離抵抗性の確保の観点から細骨材率を調整する 手順になり、②長距離圧送においては、これらに加えてブリーディング、加圧ブリーディング、チキソトロ ピー性が考慮される。ただし、試算の結果、示方書に示される数値に基づいた締固めを必要とする高流動コ ンクリートの配合設計は難しいことが判明した。一方、③の配合設計では、自己充填性を有する高流動コン クリートと同様に、間隙通過性を考慮した粗骨材量と材料分離抵抗性の確保を考慮した単位セメント量の設 定が意識される。そのため、高流動コンクリートの配合設計・施工指針を参考に配合設計を行うと、これま で経験的に得ている締固めを必要とする高流動コンクリートの配合に近いものになることが確認された。

配合設計法の確立と併せて、施工の条件、特に鋼材量等と関連付けた指標、目標値が評価できる試験方法が必要であると考えられる。任意の構造条件(鋼材間隔、鋼材量)に対して、振動を与えた時の材料分離の有無等を判断できる指標や目標値等があれば、締固めを必要とする高流動コンクリートの特性をランク分けでき、誰もが同じ特性を得られる配合設計が可能となる。

使用材料の違いがコンクリートの性状に及ぼす影響についても締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計法を考えるうえでの課題である.特に、締固めを必要とする高流動コンクリートにおいては、増 粘剤一液型高性能 AE 減水剤が用いられることも多いが、材料、配合の本質的な特性を理解しないままに安易 に混和剤に頼った配合設計を行われると、構造物に重大な欠陥を生じる可能性が考えられる.

締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めについては、「縦方向の締固め」に加え、「横方向への(流動を意識した)締固め」を考える必要があるとの考え方が示された。打ち込んだコンクリートからエントラップトエアや余剰な水を取り除いて密実にするだけでなく、横方向への流動の補助としての振動エネルギーを与えることについて検討することが必要と考えられる。また、材料分離を生じない、必要にして十分な締固めの程度とはどのようなものか等、「締固め」という言葉の定義を今一度考える必要がある。

締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性については、各施工プロセスに応じた現象やメカニズムからの材料分離の検討が重要である。それらのプロセスに対応した材料分離抵抗性の評価方法の確立が必要であり、締固め時の分離、すなわち振動を与えた場合の材料分離抵抗性の評価が重要である。また、締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計や耐久性の照査の判断の基準となるように、主に締固め時の材料分離、すなわち振動を与えた場合の間隙通過性や材料分離抵抗性の評価が可能な試験方法を確立し、材料分離が硬化後の品質に及ぼす影響を明確にすることが必要である。

このように、本 WG では締固めと材料分離抵抗性について様々な議論がなされた. フレッシュコンクリートの照査すべき性能はワーカビリティーであり、ワーカビリティーには、充填性、圧送性、凝結特性などがある. そのうち充填性は締固めや材料分離抵抗性に関わる品質である. コンクリート標準示方書 [施工編]

の充塡性の定義は、「コンクリートが材料分離することなく、型枠中に充塡する作業のしやすさ」であり、充 塡性には配合により一意的に決まるコンクリート固有の特性(コンシステンシー)と型枠の形状、配筋など の施工条件によって変わる特性(ワーカビリティー)の二通りがある。材料分離抵抗性についても、同様に 材料・配合固有の性質か、施工条件を踏まえた性質かを整理して議論するべきである。これらの点について は、本 WG では十分な議論と整理を尽くすことができていない。今後の課題として WG3 の評価試験方法と併せ て検討していくことが必要と考えられる。

また、当然のことではあるが、締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計は、単に、材料分離が発生しない範囲でフレッシュ性状の良好なコンクリートを満足するだけでは十分条件にならない。スランプフローとブリーディングを目標の範囲内に収めるだけでは意味がなく、前提条件として構造物の耐久性を満足するものでなければならない。従来、スランプが大きくなると単位水量が増加する傾向にあり、そのために構造物の耐久性の低下を懸念する声が多くあった。しかしながら、最近の化学混和剤や混和材の高性能化によって、スランプの増大と単位水量を切り離すことが可能になっており、特に混和剤に関しては高耐久なコンクリート構造物の構築に資する材料・配合技術が提案されている。今後、締固めを必要とする高流動コンクリートとして整理されるものは、そのようなコンクリートであることが大前提でなければならず、高耐久なコンクリート構造物の構築を担保できるような配合設計手法を確立することが今後の検討課題の1つであると考えられる。

(執筆者:坂井 吾郎,吉田 克弥,石井 祐輔,橋本 親典)

第IV編 委員会報告3

「締固めを必要とする高流動コンクリートにおける フレッシュ性状の品質評価 一材料分離抵抗性の評価方法に関する検討―」 (品質評価 WG)

第 Ⅳ 編 目 次

IV.	締固めを必要とする高流動コンクリートにおけるフレッシュ	性状
	の品質評価 一材料分離抵抗性の評価方法に関する検討―	
	1. はじめに	. IV-1
	2. 試験方法の選定及び評価方法に関する検討	. IV-2
	2.1 文献調査による試験方法の選定	. IV-2
	2.2 評価方法の実験的検討	. IV-2
	2.2.1 Step 1 (実際の分離現象の把握) について	. IV-2
	2.2.2 Step 2 (分離現象と各種評価方法の相関性の把握、配合の違いに	よる
	材料分離抵抗性への影響を把握)について	. IV-4
	3. 使用材料および配合, コンクリートの製造	. IV-5
	3.1 使用材料および配合	. IV-5
	3.2 コンクリートの製造	
	4. 試験方法, 試験結果および考察	
	4.1 材料分離現象の把握に関する検討(基準試験)	. IV-7
	4.1.1 L型構造物模擬型枠の充塡により生じる材料分離現象の把握	. IV-7
	4.1.2 粗骨材の沈下量評価試験	
	4.1.3 基準試験の結果および考察	
	4.2 各試験の試験方法, 結果および考察	IV-16
	4.2.1 基本性状の評価試験	
	(スランプフロー, タンピング, J リング試験)	
	4.2.2 粗骨材の沈下量評価試験(基準試験)	
	4.2.3 加振変形試験	
	4.2.4 ボックス形充塡試験	
	4.2.5 目視・触感による評価試験	
	4.2.6 円筒貫入試験	
	4.2.7 ふるい分離試験	
	4.2.8 U形充填試験	
	5. 各試験結果から提案する試験方法及び評価方法の検討	
	5.1 材料分離現象の把握と粗骨材の沈下量評価試験,目視・触感による評価	
	5.2 各種試験方法による検討と材料分離抵抗性評価の評価について	
	5.2.1 円筒貫入試とふるい分離試験による材料分離抵抗性の評価	
	5.2.2 U形充塡試験による材料分離抵抗性の評価 5.2.3 その他の試験方法による検討	
	5.2.3 その他の試験方法による検討 6. まとめ	
	V.	1v -88

IV. 締固めを必要とする高流動コンクリートにおけるフレッシュ性状の 品質評価 ──材料分離抵抗性の評価方法に関する検討──

1. はじめに

現在,締固めを必要とする高流動コンクリートについては,普通コンクリートとの相違点検討 WG (WG1) と配合設計・製造・施工における特徴検討 WG (WG2) でも検討されたように,コンクリート標準示方書の「特殊コンクリート」で定義はされているが,具体的な技術情報などは存在しない.そのため,現状では,コンクリート標準示方書やその他の基準類で一般のコンクリート構造物を対象とした締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計手法や,フレッシュコンクリートの特性を評価する試験方法が記されたものは存在しない.

一方で、高速道路会社 (NEXCO) 3 社では、山岳トンネルの二次覆エコンクリートを対象に、その品質確保を目的として軽微な締固めを必要とする高流動コンクリートを「中流動コンクリート」と定義し、その施工管理要領を制定して適用が進んでいるが、あくまで二次覆エコンクリートに限定した配合設計や品質評価試験である.

そこで品質評価 WG(以下,本 WG と記す)は,一般のコンクリート構造物に適用することを目的とし,締固めを必要とする高流動コンクリートのフレッシュ性状の試験方法について検討を行った.最初に,締固めを必要とする高流動コンクリートのワーカビリティーに関する議論と課題抽出,文献調査から有効な試験方法の抽出を行った.締固めを必要とする高流動コンクリートに求められるフレッシュ性状は,締固めを行った際の型枠内での充塡性と材料分離抵抗性とした.また,締固めを必要とする高流動コンクリートは,粉体量が自己充塡性を有する高流動コンクリートよりも少ないフローコンクリートのため,流動性を高くすると材料分離が生じやすく,構造物の不具合発生につながることを考慮し,それらを評価できる試験方法の選定を行った.締固めを必要とする高流動コンクリートのフレッシュ性状の試験方法においては,評価方法に対する目標値が必要となってくるが,施工条件や構造条件を考慮した場合の評価方法に対する目標値の設定については,今後の課題と位置付け,本WGでは材料分離抵抗性を定量的に把握する試験方法の検討を行った.試験方法は,充塡性に加え,振動締固めを行った際の材料分離抵抗性を評価できる試験方法を既往の文献から選定するとともに,新たな試験方法の提案も行った.実験的検討では,検討した既存の試験方法や新たに提案する試験方法の他に,L型構造物の模擬型枠を用いて,配合影響要因も含めて,締固めを必要とする高流動コンクリートのフレッシュ性状の試験方法について検討した.その結果から有効な試験方法と評価方法の提案まで行った内容を報告する.

(執筆者:橋本 紳一郎)

2. 試験方法の選定及び評価方法に関する検討

本WGは、一般のコンクリート構造物に適用することを目的とし、締固めを必要とする高流動コンクリートに対するフレッシュ性状の試験方法について検討を行った。文献調査をもとに締固めを必要とする高流動コンクリートの評価方法候補を抽出し、実際の材料分離現象に対して相関性を確認することで、材料分離抵抗性の評価方法としての可能性を検討した。

締固めを必要とする高流動コンクリートのフレッシュ性状の試験方法においては、評価方法に対する目標値が必要となってくるが、施工条件や構造条件を考慮した場合の評価方法に対する目標値の設定については、 今後の課題と位置付け、本WGでは材料分離抵抗性を定量的に把握することの可能性についてまでを検討した.

2.1 文献調査による試験方法の選定

締固めを必要とする高流動コンクリートのフレッシュ性状試験方法について検討をするにあたって、締固めを必要とする高流動コンクリートのワーカビリティーに関して議論した。その結果、締固めを必要とする高流動コンクリートに求められるフレッシュ性状としては、締固めを行った際の型枠内での充塡性と材料分離抵抗性が重要であるとの WG メンバーの統一見解が得られた。

そこで、充塡性または材料分離抵抗性の評価が可能と考えられる試験方法を文献調査等により抽出した. 表 2.1 に締固めを必要とする高流動コンクリートの評価方法候補一覧を示す. 各試験方法における評価可能 と考えられる特性を示した.

2.2 評価方法の実験的検討

締固めを必要とする高流動コンクリートの評価方法を検討することを目的とした室内実験は,以下のステップで実施した.

文献調査により、締固めを必要とする高流動コンクリートの評価方法候補を抽出したが、これらの試験による定量的または定性的な結果が、実際の材料分離現象に対して相関性を有するかを確認する必要があった。そこで、まずStep1として、分離現象を再現する基準試験を実施することで実際の分離現象を把握した。また、同時に各種試験を行うことで、各種試験における材料分離抵抗性評価の可能性についても検証した。

次に Step 2 として、Step 1 の結果を踏まえ、評価方法を絞り込んだうえで、実際の分離現象と各種評価方法の相関性を確認するとともに、配合の違いによる材料分離抵抗性への影響を把握することを目的とした実験を実施した。

Step 1 および Step 2 の実験内容について、以下に詳述する.

2.2.1 Step 1 (実際の分離現象の把握) について

Step 1 の目的は、基準試験による実際の分離現象を把握することである。また、同時に各種試験を行うことで、各種試験における材料分離抵抗性評価の可能性についても検討した。

基準試験としては2種類の試験を実施した.1つ目が,「4.1.1 L型構造物模擬型枠の充填により生じる材料分離現象の把握」で,締固めをしながら鉄筋間隙内および型枠内へ充填をさせる,つまり実際のコンクリート施工を模擬した打込みをし,流動したコンクリートの先端部の材料分離を確認する試験である.試験内容の詳細は「4.1.1 L型構造物模擬型枠の充填により生じる材料分離現象の把握」に示す.

表 2.1 文献調査による締固めを必要とする高流動コンクリートの評価方法候補一覧

			評価できる可能性がある性能			
	試験名称	出展	流動性 (充塡性)	材料分離 抵抗性	その他	
1	分離状態の目視判定 (練り船にて)	欄外に記載 ※1		△ (目視)		
2	コンクリートのスランプ試験方法 コンクリートのスランプフロー試験方法	JIS A 1101 JIS A 1150	0	△(目視)		
3	中流動覆エコンクリートの加振変形および充填 性試験方法	NEXCO 試験法 733	0	△(目視)	加振の影響	
4	コンクリートの J リングフロー試験方法 増粘剤含有高性能 A E 減水剤を使用した高流動 コンクリートのワーカビリティーの評価基準	JIS A 1159 JIS A 1160	○ (充塡性)	△(目視)	_	
5	ボックス形容器を用いた加振時のコンクリート の間隙通過性試験方法(案)	JSCE-F701	○ (充塡性)	0	加振の影響	
5	コンクリートのブリーディング試験方法	JIS A 1123		0		
7	振動締固めをしたコンクリートのブリーディン グ試験	欄外に記載 ※2		0	加振の影響	
3	円筒貫入試験	欄外に記載 ※3		0	_	
)	傾斜フロー試験	欄外に記載 **4	0	0	_	
0	高流動コンクリートのL形フロー試験方法(案)	JSCE-F 514	0	0	_	
1	回転翼型粘度計による品質評価方法	欄外に記載 **4	0	_	_	
2	粗骨材沈下割合試験(円柱式装置による分離抵 抗性試験)	欄外に記載 ※1		0	_	
3	円筒貫入試験+ 中流動覆エコンクリートの加振変形および充填 性試験方法	欄外に記載 **3 + NEXCO 試験法 733		0	加振の影響	
4	コンクリートのJリングフロー試験方法+ 中流動覆エコンクリートの加振変形および充填 性試験方法	JIS A 1159+ NEXCO 試験法 733	○ (充塡性)	△ (目視)	加振の影響	
5	タンピング試験	欄外に記載 ※5	Δ	\triangle	加振の影響	
6	ふるい分離試験 (Sieve Segregation Test)	EN12350-11		0	_	
7	ふるい分離+打撃試験	欄外に記載 ※1		0	加振の影響	
8	硬化コンクリートの粗骨材面積率の測定	欄外に記載 ※1		0	_	
9	スプレッド(DIN フロー)試験	DIN (ドイツ規 格)1048	0	_	_	
1	U形容器を用いた間隙通過試験	JSCE- F511-2018	○ (充塡性)	0	_	

^{※1)} 河野政典ほか: 高流動性コンクリートの材料分離抵抗性の評価に関する研究(その1 全体概要とフェーズ1材料分離抵抗性試験のスクリーニング実験の概要),日本建築学会学術講演梗概集,pp. 767-768, 2018.9

- ※3) 松田 敏, 佐藤孝一, 石田良平: 円筒貫入計による高流動コンクリートのコンシステンシー評価に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 511-512, 1994.9
- ※4) 阿部果林,藤原浩巳,丸岡正知,笹倉博行:傾斜フロー試験によるコンクリートのフレッシュ性状評価に関する研究,コンクリート工学年次論文集,Vol. 26, No. 1, 2004.
- ※5) 土木学会: 施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針(2016 年版), コンクリートライブラリー145 号, 2016. 6

^{※2)} 末岡英二, 松本典人, 佐野清史, 清宮理:振動を受けた中流動コンクリートの基礎性状について, コンクリート工 学年次論文報告集, Vol. 21, No. 2, 1999.

2 つ目が「粗骨材の沈下量評価試験」で、円筒容器に充塡したコンクリートに棒状バイブレータにより直接振動を付与させた場合の材料分離を確認する試験である. 試験内容の詳細は「4.1.2 粗骨材の沈下量評価試験」及び「4.2.2 粗骨材の沈下量評価試験(基準試験)」に示す.

さらに、各種試験における材料分離抵抗性評価の可能性についても検討するために、表 2.1 から実施する 試験を選定した。実施する試験の選定は、試験時間、試験場所の広さ等の環境条件も踏まえて総合的に判断 した。表 2.2 に Step1 で選定した試験方法と主な選定理由について示す。選定した各種試験と基準試験の相 関性や材料分離抵抗性評価の可能性についての考察は、「4. 試験方法、試験結果および考察」「5. 各試験 結果から提案する試験方法及び評価方法の検討」に示す。

	試験名称	主な選定理由
1	分離状態の目視判定 (練り船にて)	定性的な評価方法であるが、建築分野の実験で一定の評価が得られ ている
2	スランプ、スランプフロー試験	フレッシュコンクリートの特性を把握する代表的な試験であるため
3	加振変形試験	実績がある締固めを必要とする高流動コンクリートの評価方法とし て
4	J リングフロー試験	高流動コンクリートの評価方法として JIS 化され、今後汎用的に実施される試験であるため
5	ボックス形容器を用いた加振時のコン クリートの間隙通過性試験方法(案)	加振をともなう充塡性の評価方法として
8	円筒貫入計による測定	材料分離を評価する試験方法として 建築分野の実験でも一定の評価が得られている
15	タンピング試験	加振をともなう試験として スランプ、スランプフローとともに簡易に実施が可能
16	ふるい分離試験	材料分離を評価する試験方法として 建築分野の実験でも一定の評価が得られている
21	U形容器を用いた間隙通過試験	高流動コンクリートの評価方法として、汎用的に実施される試験で あるため

表 2.2 Step 1 で選定した締固めを必要とする高流動コンクリートの評価方法

2.2.2 Step 2 (分離現象と各種評価方法の相関性の把握,配合の違いによる材料分離抵抗性への影響を把握) について

Step 2 の目的は、基準試験と各種評価方法の相関性を把握すること、また、配合の違いによる材料分離抵抗性の影響について把握することである.

基準試験は、Step 1 より 4.1.3 に詳述するように「L 型構造物模擬型枠の充塡により生じる材料分離現象の把握」と「粗骨材の沈下量評価試験」の相関性が得られたことから、試験が大掛かりとなる「L 型構造物模擬型枠の充塡により生じる材料分離現象の把握」は省略し、「粗骨材の沈下量評価試験」のみを実施した。各種評価方法としては、表 2.1 で示す Step 1 で採用した評価方法から、Step 1 で材料分離の評価が困難と評価された J リング試験、加振変形試験、ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法(案)以外の試験をすべて実施した。

試験配合については、スランプフローを変化させた場合、また、単位水量、単位セメント量、細骨材率、化学混和剤の種類を変化させた場合について確認し、配合が材料分離抵抗性に与える影響について確認した。配合についての詳細は「3. 使用材料および配合」に示す。

(執筆者:根本 浩史, 渡邉 真史, 橋本 紳一郎, 伊達 重之)

3. 使用材料および配合, コンクリートの製造

3.1 使用材料および配合

使用材料を表 3.1 に示す. 細骨材および粗骨材は、関東地方の沿岸部に位置するレディーミクストコンクリート工場において、一般的に使用されているものである. 細骨材は、粒径が 0.3mm 前後の粒子が比較的多い天然の山砂で、粗骨材の岩種は石灰岩である.

201 2/1/1/1			
材料名(記	2号)	概要	
セメント	(C)	普通ポルトランドセメント,密度 3.16g/cm³	
水	水 (W) 上水道水,千葉県浦安市		
細骨材	(S)	山砂,千葉県富津市,表乾密度 2.61g/cm³,粗粒率 2.60	
粗骨材	粗骨材 (G) 石灰岩砕石 2005, 高知県吾川郡, 表乾密度 2.70g/cm³, 実積率 61.		
(AD1) 高性能 AE 減水剤遅延形		高性能 AE 減水剤遅延形	
小学和和刘	(AD2)	増粘剤含有高性能 AE 減水剤遅延形	
化学混和剤	(AD3)	AE 減水剤標準形	
	(AE)	AE 剤	

表 3.1 使用材料

表 3.2 に本実験の各配合の概要を実験の実施日の順に示す. コンクリートの配合を表 3.3 に示す. 配合は, Step1 と Step2 で構成されており, 化学混和剤は Step2 の一部の配合を除き (No. 2-11 は AD2, No. 2-14 は AD3), 高性能 AE 減水剤 (AD1) を使用した.

Step1 では 5 つの配合(No. 1-1~No. 1-5)を使用した。目標スランプフローを 55 ± 5 cm,目標空気量を 4.5 ± 1.5 %で,配合の単位量では単位水量と単位粗骨材量を一定とし(No. 1-5 のみ単位水量と単位粗骨材量が異なる),呼び強度を単位セメント量の増減で設定した。配合 No. 1-2 は,配合 No. 1-1 の配合に対して AD1 を後添加し,目標スランプフローと目標空気量のコンクリートとしたものである.

Step2 では 14 の配合 (No. 2-1~No. 2-14) を使用した. 目標スランプフローを 45±5cm, 目標空気量を 4.5±1.5%, 呼び強度: 27 の配合 (No. 2-1, No. 2-2) を基準配合とし、基準配合に対して AD1 の添加量だけでスランプフローの大きさの影響を検討した配合 (No. 2-3, No. 2-4), 基準配合に対して呼び強度の影響を検討した配合 (単位水量を一定として単位セメント量を増減, No. 2-5, No. 2-6), 基準配合に対して細骨材率の影響を検討した配合 (No. 2-7, No. 2-8), 基準配合に対して単位水量の影響を検討した配合 (単位セメント量を一定として単位水量を増減, No. 2-9, No. 2-10), 基準配合に対して化学混和剤の種類の影響を検討した配合 (No. 2-11), 基準配合に対して著しく材料分離を生じる配合 (No. 2-12), その他の比較検討用として自己充填性を有する高流動コンクリートの配合 (No. 2-13) と普通コンクリートの配合 (No. 2-14) を使用した.

X 0.2 (KIII) 10										
	試験日	区分	検討内容							
	2019年8月21日	実機練	呼び強度が異なる 4 つの標準配合 (No. 1-1, No. 1-3, No. 1-4, No. 1-5) と,							
Step1	2019年8月22日	b b	No.1-1 に後添加を実施した配合 (No.1-2) を対象として, 材料分離の程度 を評価する試験方法を選定.							
	2019年11月19日		材料分離が著しい配合 (No. 2-12) を試作して性状を確認.							
	2019年11月20日		スランプフロー45cm を基準配合 (No. 2-1) とし, 化学混和剤の添加率によってスランプフローを変化させた配合 (No. 2-3, No. 2. 4) について確認.							
	2019年12月10日	安内舖	スランプフロー45cmを基準配合 (No. 2-2) とし,単位セメント量を変化さ							
Step2	2019年12月11日	室内練り	せた配合 (No. 2-5, No. 2-6), 細骨材率を変化させた配合 (No. 2-7, No. 2-8), 単位水量を変化させた配合 (No. 2-9, No. 2-10), 増粘剤成分を含有した化 学混和剤を使用した配合 (No. 2-11) について確認. また,自己充塡性を有する高流動コンクリートの配合 (No. 2-13) と普通コ ンクリートの配合 (No. 2-14) について確認.							

表 3.2 検討内容

表 3.3 コンクリートの配合

実験 シリ ーズ	No.	試験	呼び方	W/C (%)	s/a (%)		単位量	(kg/m	³)		和剤の添 × wt. %		AE 剤** (A)
		日				С	W	S	G	AD1	AD2	AD3	AE
	1-1	8/22	27-55-20N	54. 6	50.4	321	175	893	907	1. 2000	_	I	4.0
	1-2	8/22	27-55-20N 後添加	_	-	-	ı	-	_	+0.1000	_	1	-
Step1	1-3	8/21	33-55-20N	47.7	49.4	367	175	856	907	1. 1500	_	_	4. 5
	1-4	8/22	39-55-20N	42.3	48. 2	414	175	817	907	1. 1500	_	_	4. 0
	1-5	8/22	51-55-20N	34. 6	46.6	492	170	765	907	1. 3500	_	_	1.0
	2-1	11/20	27-45-20N(基準配合)	54. 5	45.0	312	170	806	1018	0. 6750	-	_	6. 5
	2-2	12/11	27-45-20N(基準配合)	54. 5	45.0	312	170	806	1018	0.7000	_	_	10.0
	2-3	11/20	27-55-20N	54. 5	45.0	312	170	806	1018	0.8500	_	-	9.0
	2-4	11/20	27-35-20N	54. 5	45.0	312	170	806	1018	0.5000	-	_	4. 0
	2-5	12/10	33-45-20N	48.6	45.0	350	170	792	1001	0.6750	_	-	8. 5
	2-6	12/10	21-45-20N	63. 9	45.0	266	170	823	1042	0.8125	-	_	12. 5
C4 . 0	2-7	12/10	27-45-20N s/a=50%	54. 5	50.0	312	170	895	926	1.0000	-	_	9.0
Step2	2-8	12/10	27-45-20N s/a=40%	54. 5	40.0	312	170	716	1111	0. 5250	_	-	13. 0
	2-9	12/10	W/C=57. 7%-45-20N	57. 7	45.0	312	180	794	1004	0. 4750	-	_	11.5
	2-10	12/11	W/C=51.3%-45-20N	51. 3	45. 0	312	160	817	1034	1.0250	-	-	11.5
	2-11	12/11	27-45-20N 増粘一液	54. 5	45.0	312	170	806	1018	-	0.8875	-	12.0
	2-12	11/19	21-55-20N	63. 9	41. 2	274	175	746	1100	0.7000	_	-	25. 0
	2-13	12/11	W/C=32. 1%-60-20N	32. 1	51. 4	530	170	827	810	1. 3000	_	_	10.0
	2-14	12/11	27-12-20N	53. 3	44. 5	323	172	791	1021	_	-	0.5500	5. 5

[※] Step2 (No. 2-1~No. 2-14) の室内試し練りでは, 2 バッチ合わせの平均値

3.2 コンクリートの製造

コンクリートの製造について、Step1 では実験実施機関近郊のレディーミクストコンクリート工場の製造プラントで各配合に対して 2.0m^3 を製造したものを使用した. 製造手順は、配合 No. $1-1 \sim$ No. 1-4 に関しては、全材料投入後 35 秒間の練混ぜを行った.配合 No. 1-5 に関しては、セメント、細骨材、水および化学混和剤を投入してモルタルを 60 秒間練り混ぜ、粗骨材を投入した後に 90 秒間練混ぜを行った.製造したコンクリートはトラックアジテータで実験実施機関に運搬して使用した.

Step2 では、各配合に対して室内練りで行った.練混ぜミキサは、60 リットル用の強制二軸式ミキサを使用し、練混ぜ手順は全ての配合において、細骨材半量、セメント、細骨材半量の順で材料を投入した後、10 秒間の空練りを行い、水と化学混和剤を投入して90 秒間練混ぜを行い製造した.

(執筆者:三本 巌, 渡邉 真史)

- 4. 試験方法, 試験結果および考察
- 4.1 材料分離現象の把握に関する検討(基準試験)
- 4.1.1 L型構造物模擬型枠の充塡により生じる材料分離現象の把握

4.1.1.1 概要

締固めを必要とする高流動コンクリートの型枠内での充塡性状と充塡によって生じる材料分離現象の把握を目的とし、型枠には L 型構造物模擬型枠(以降、模擬型枠と称する)を使用し、5 つの配合で検討を行った。締固めを必要とする高流動コンクリートの模擬型枠内での横方向への充塡性と充塡により横移動したコンクリートの先端部の材料分離状況を確認した。模擬型枠内には、鉄筋障害を設けることにより、横方向への充塡で間隙通過による材料分離を再現し、材料分離を生じやすくした。

4.1.1.2 試験方法および配合

配合には,「4.1.1」と「4.1.2」に共通して, Step1の配合 No. 1-1 から配合 No. 1-5 までの 5 配合を使用した.

模擬型枠はコンクリート投入部:縦 300mm×横 400mm×高さ 650mm, フロー充填部:充填部の長さ 3000mm×横 400mm×高さ 300mm (**図 4**.1.1.1) の形状のものを使用した.模擬型枠の形状を**写真 4**.1.1.1 に示す.流動障害として模擬型枠内に設置した鉄筋障害は表 4.1.1 のものを使用した.

模擬型枠を使用した試験方法は以下の手順で行った.

- 1. 模擬型枠の試料投入部から 30 リットルの試料を連続して投入し, 模擬型枠内での流動状況を確認する(写真 4.1.1.2).
- 2. 模擬型枠内での流動が停止したことを確認し、棒状バイブレータ(直径:28mm, 長さ:100mm, 250Hz)を用いて、試料投入部で締固めを行う. 締固め深さは、模擬型枠底部から 100mm の位置とし、締固めは 10 秒で行う.
- 3. 上記の作業を1サイクルとし,4サイクル繰り返して行う. 締固めの位置は,最初の締固め位置から 500mm ずつ横に移動する. 上記の締固めにより,最終的に模擬型枠内のフロー充塡部に試料が充塡し,試料の先端が 2000mm に到達していることを確認する.
- 4. 模擬型枠内に充填した試料先端が模擬型枠のコンクリート投入部からフロー充填部を流動した距離を計測する.
- 5. 模擬型枠内のフロー充塡部に充塡した先端の試料から2リットルを採取する.
- 6. 採取した試料は洗い分析試験 (JIS A 1112) を行い, 粗骨材の残存量を計測する. 計画配合に対する材料分離の度合いを算出する.

表 4.1.1.1	鉄筋障害の形状寸法
-----------	-----------

主鉄筋の配置	D25×3 本×2 段,水平方向および鉛直方向のピッチ: ctc150mm, ctc180mm							
帯鉄筋の配置	D25, 流動方向のピッチ: ctc150mm							
有効鋼材量	675kg/m ³							
かぶり	主鉄筋の型枠側面および型枠底面のかぶり:75mm, 50mm							
N301)	帯鉄筋の型枠側面および型枠底面までのかぶり:50mm, 25mm							
最小あき	125mm							

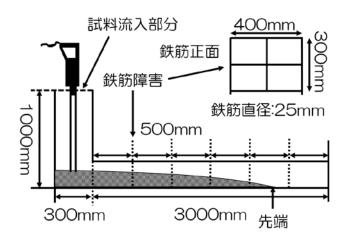


図 4.1.1.1 型枠の寸法





写真 4.1.1.1 型枠の外観





写真 4.1.1.2 型枠内への試料投入の状況

4.1.1.3 試験結果および考察

模擬型枠で充塡試験を行った結果として, 表 4.1.1.2 に各配合の模擬型枠内に充塡した試料の最終流動距離の測定結果,表 4.1.1.3 と図 4.1.1.2 に各配合の模擬型枠内に充塡した先端の試料を使用して行った洗い分析試験結果を示す.

各配合の模擬型枠内に充填した試料の最終流動距離に関して、配合条件の影響により、型枠内に充填した 試料の最終流動距離が異なる結果となった. 特に配合 No. 1-4 の流動距離が他の配合に比べて長く、次に配合 No. 1-2 の流動距離が長くなり、その他の配合は同程度であった.

各配合の型枠内に充填した先端の試料を使用して行った洗い分析試験結果は、洗い分析によって計測した

粗骨材の質量と計画配合の粗骨材の質量から材料分離の割合を算出した.各配合の材料分離の割合に関しては、混和剤を後添加した配合 No. 1-2 が材料分離の割合が最も高く、次に型枠内に充塡した試料の最終流動距離が他の配合に比べて一番長かった配合 No. 1-4 の材料分離の割合が高くなっており、型枠内に充塡した試料の最終流動距離が長くなった配合の材料分離の割合が高くなる傾向を示した.その他の材料分離の割合は20%程度であり、本検討の配合と模擬型枠を使用した試験結果ではあるが、通常の施工でもこの程度の材料分離は生じるものと考えられる.計画配合と材料分離抵抗性の関係については、呼び強度の高い配合は一般に単位粉体量が多くなるため、材料分離抵抗性が高く(材料分離の割合が少なく)なることが予測されるが、本検討ではそのような傾向が見られなかった。本検討の配合は単位水量と単位粗骨材量を一定としているため、呼び強度を単位粉体量の増減と同時に単位細骨材量も変化したことによる影響、つまり単位モルタル量の影響が結果に表れたと考えられる.配合 No. 1-2 の材料分離の割合が最も高くなったのは、混和剤を後添加したことにより、材料分離を生じやすくなったためと考えられる.

表 4.1.1.2 各配合の先端部の最終流動距離の測定結果

No.1-1		No	.1-2	No	.1-3	No	.1-4	No.1-5		
最終流動距	i離(mm)	最終流動距	離(mm)	最終流動距	i離(mm)	最終流動距離 (mm)		最終流動距離 (mm)		
左	2130	左	2240	左	2110	左	2500	た	2116	
中央	2140	中央	2280	中央	2140	中央	2520	中央	2217	
右	2190	右	2220	右	2160	右	2508	右	2208	
平均	2153	平均	2247	平均	2137	平均	2509	平均	2180	

表 4.1.1.3 各配合の洗い分析の結果

No.1-1	容器+試料	容器	粗骨材	計画配合 (2L)	計画配合-粗骨材=分離した量(g)	分離した量/計画配合*100=材料分離度合(%)	平均
一回目	1940.0	512.2	1427.8	1814	386.2	21.3	22.0
二回目	1876.2	538.2	1338.0	1814	476.0	26.2	23.8
No.1-2	容器+試料	容器	粗骨材	計画配合 (2L)	計画配合-粗骨材=分離した量(g)	分離した量/計画配合*100=材料分離度合(%)	平均
一回目	1307.1	512.2	794.9	1814	1019.1	56.2	40.1
二回目	1591.2	538.2	1053.0	1814	761.0	42.0	49.1
No.1-3	容器+試料	容器	粗骨材	計画配合 (2L)	計画配合-粗骨材=分離した量(g)	分離した量/計画配合*100=材料分離度合(%)	平均
— □ 目	4569.6	145.1	4424.5	1814	-2610.5	-143.9	26.9
二回目			1326.0	1814	488.0	26.9	26.9
No.1-4	容器+試料	容器	粗骨材	計画配合 (2L)	計画配合-粗骨材=分離した量(g)	分離した量/計画配合*100=材料分離度合(%)	平均
一回目	1589.7	512.2	1077.5	1814	736.5	40.6	41.0
二回目	1601.6	538.2	1063.4	1814	750.6	41.4	41.0
No.1-5	容器+試料	容器	粗骨材	計画配合 (2L)	計画配合-粗骨材=分離した量(g)	分離した量/計画配合*100=材料分離度合(%)	平均
一回目	2014.9	512.2	1502.7	1814	311.3	17.2	16.6
二回目	2063.7	538.2	1525.5	1814	288.5	15.9	16.5

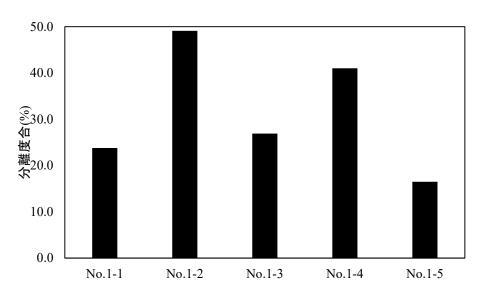


図 4.1.1.2 各配合の洗い分析試験結果

(執筆者:根本 浩史, 橋本 紳一郎, 伊達 重之)

4.1.2 粗骨材の沈下量評価試験

4.1.2.1 概要

締固めを必要とする高流動コンクリートは、現状で配合設計手法や品質評価試験方法が存在しない。これらに対して、配合設計・製造された締固めを必要とする高流動コンクリートに求められるフレッシュ性状のうち、充塡性や材料分離抵抗性を把握することは重要となる。本実験では、締固めを必要とする高流動コンクリートの性状のうち、振動締固めによる材料分離現象(骨材沈下)を検討するため、「4.1.1 L型構造物模擬型枠の充塡により生じる材料分離現象の把握」と同様に5つの配合での実験を行った。

4.1.2.2 試験方法

- ・内径が 30cm, 深さが 38cm 程度の円筒容器を複数用意する(**図 4.1.2.1(a)**). 容器に締固めを必要とする高流動 コンクリートを高さ 35cm 程度まで詰めて軽く揺する.
- ・ ϕ 28 棒状バイブレータにより締固めを行う。棒状バイブレータを容器の中心部に底部から 5cm 程度浮かせた状態まで鉛直に挿入し、振動を行う(図 4.1.2.1 (b))。各容器に詰められた締固めを必要とする高流動コンクリートの締固め時間をそれぞれ 0 秒,10 秒,20 秒,30 秒,40 秒とする。(Step2 以降の配合に対しては 0 秒,10 秒,20 秒のみ実施)
- ・容器内に打ち込まれたコンクリートのうち,上層部のコンクリート2リットル(細骨材の実積率試験容器を使用)を取り,洗い分析試験により,粗骨材を測定する(図4.1.2.1(c),(d)).



(a) 試験用道具



(b) 振動締固め



(c) 試料の採取



(d) 洗い分析試験

図 4.1.2.1 試験状況

4.1.2.3 洗い分析試験の結果および考察

(1) 試験結果

加振後の試料の洗い分析試験結果を**表 4.1.2.1** に示す. 洗い分析結果により算出した試料中の粗骨材残存量および粗骨材単位質量に対する残存率を**表 4.1.2.2** に示す. 各計画配合の粗骨材単位質量を 100%として粗骨材残存率を計算した.

(2) 評価方法としての可能性の検討

4.1.2.2 に示した試験方法によるコンクリートの分離抵抗性評価の可能性を検討するため、まず、配合 No. 1-1 \sim 1-5 の結果について検討した.

加振時間 0 秒における各配合の粗骨材率を**図 4. 1. 2. 2 に示す。図に示すように、配合の相違によって、加振時間 0 秒における各配合の粗骨材残存率が相違していることがわかる。計画配合表での単位粗骨材質量に対して、配合 No. 1-5 の粗骨材残存率がほぼ 100\%である。これに対して、他の配合は、粗骨材残存率が減って 80\sim90\%程度になっている。配合 No. 1-4 の粗骨材残存率は 60\%程度で、特に小さくなっているが、これは、配合 No. 1-4 のコンクリートが練上がり直後で、目視によっても分離気味であると判定できるくらいの状態であったことが原因であると考えられる。**

試料+容器の質量 粗骨材質量 配合 (g/2L)(g/2L)No. 0s20s 10s 20s 5s 10s 40s 0s5s 40s 1-1 1-2 1-3 1-4 1-5

表 4.1.2.1 洗い分析試験結果

表 4.1.2.2 採取した試料の料骨材残存量および料骨材単位質量に対する料骨材残存率

配合 No.	苕		中の粗骨 (kg/m³)	材残存	量	粗骨材単位質量に対する 粗骨材残存率(%)					
	0s	5s	10s	20s	40s	0s	5s	10s	20s	40s	
1-1	832	692	600	434	149	92	76	66	48	16	
1-2	804	611	321	85	31	89	67	35	9	3	
1-3	766	724	553	479	174	84	80	61	53	19	
1-4	583	495	414	137	27	64	55	46	15	3	
1-5	925	786	752	580	401	102	87	83	64	44	

加振時間の変化に伴う粗骨材残存率の変化を**図 4.1.2.2** に示す。図に示すように、配合条件の相違によって、同じ加振時間であっても粗骨材残存率が相違していることがわかる。

配合 No. 1-1, No. 1-3, No. 1-5 は振動時間に伴う粗骨材残存率の変化がほぼ同じ傾向になっていることに対して、配合 No. 1-4 の粗骨材残存率の変化はほかの配合に比べて大きくなっている.配合 No. 1-4 は、加振時間 0 秒の状態から材料分離気味の状態であったことが原因と考えられる.

図4.1.2.2 に示すように、配合 No. 1-1、No. 1-2 の加振時間 0 秒における粗骨材残存率には大きな差がないにも関わらず、振動をかけると粗骨材残存率に顕著な差が認められた(図4.1.2.3). 混和剤の添加量および後添加したことによってコンクリートの材料分離抵抗性が変わったことで、加振時間 0 秒における状態が同じであっても、加振によりコンクリートの材料分離の状態が変わる可能性があることを示唆している.

以上のことから、4.1.2 に示す試験方法は、締固めを必要とする高流動コンクリートの加振の材料分離抵抗性を 評価する方法として使用できる可能性が示された.

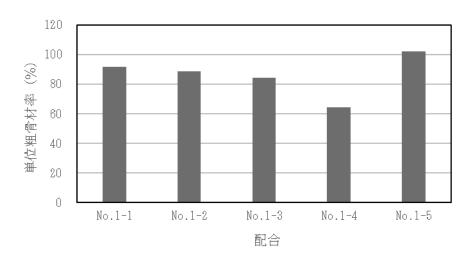


図 4.1.2.2 加振時間 0 秒における各配合の粗骨材残存率

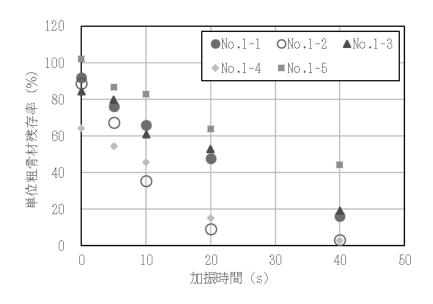


図 4.1.2.3 加振時間の変化による粗骨材残存率

(執筆者:梁俊,片平博)

4.1.3 基準試験の結果および考察

基準試験(材料分離現象の把握)の結果は、4.1.1「L型構造物模擬型枠の充填により生じる材料分離現象の把握」と4.1.2「粗骨材の沈下量評価試験」に示した。L型構造物模擬型枠(以降、模擬型枠と称する)の充填により生じる材料分離現象は、実施工における締固めを必要とする高流動コンクリートの施工を模擬したものであり、締固めを必要とする高流動コンクリートを流動と締固めで型枠内に充填させることで実施した。粗骨材の沈下量評価試験は、締固めによる粗骨材の沈降を直接的に評価した試験である。

この2つの基準試験による粗骨材残存率(粗骨材の沈降)の関係を図4.1.3.1に示す。図より,模擬型枠の充填による試験の材料分離の割合が大きくなると沈下量評価試験の材料分離の割合も大きくなる傾向を示した。模擬型枠の充填による試験の材料分離の割合に比べ,沈下量評価試験の結果の材料分離の割合が大きくなる傾向にあるが,これは容器形状や試料に対する振動条件が大きいことによるものと考えられる。しかし,両結果は,沈下量評価試験の振動時間に関わらず相関関係が得られていることが見て取れる。特に沈下量評価試験の振動時間10秒については,模擬型枠の充填による試験と沈下量評価試験での材料分離の割合が同等の値で,高い相関関係が認められる(図4.1.3.2)。これは,沈下量評価試験が,粗骨材の鉛直方向に生じる材料分離の程度を把握することで,模擬型枠の充填による試験のような水平方向へ流動する際に生じる材料分離も包含した,締固めを必要とする高流動コンクリート施工時の粗骨材分離の評価が可能であることを示唆している。

以上から沈下量評価試験を各試験の基準試験として、以降の「4.2 各種試験方法による検討」を行った.

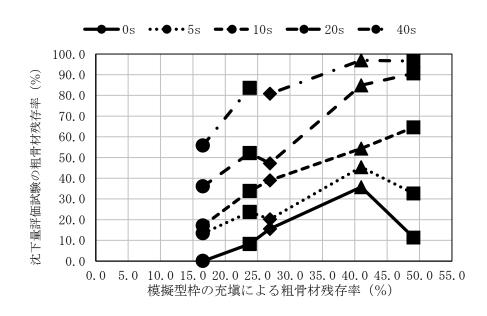


図 4.1.3.1 各試験の粗骨材残存率(材料分離)の結果の関係

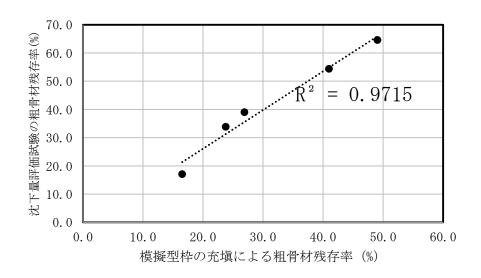


図 4.1.3.2 各試験の粗骨材残存率(材料分離)の結果の関係

(執筆者:根本 浩史, 橋本 紳一郎, 伊達 重之)

4.2 各試験の試験方法, 結果および考察

4.2.1 基本性状の評価試験 (スランプフロー、タンピング、Jリング試験)

(1) 概要

締固めを必要とする高流動コンクリートの充塡性や材料分離抵抗性を評価する試験方法を確立するための基礎データを整備することを目的として、Step1 の 5 つの配合 (No. 1-1 \sim No. 1-5) と Step2 の 14 の配合 (No. 2-1 \sim No. 2-14) を使用し、スランプやスランプフロー、空気量、J リング試験、コンクリート温度といった基本性状に関する評価試験を実施した.

(2) 試験方法

試験項目を表 4.2.1.1 に示す. 一連の試験は、全て JIS および既往の文献の試験方法に準拠して実施した.

試験項目	引用規 格・文献	備考
スランプ	JIS A 1101	フローの 50cm 到達時間および流動停止時間も測定し、試験後、木づちで
スランプフロー	JIS A 1150	平板を叩くこと(タンピング)によってフローを 70cm 程度まで拡げて、
タンピング (材料分離の目視確認)	文献 1),2)	先端部における粗骨材や水の遊離の有無,中央部における粗骨材の偏在状況などから,材料分離抵抗性を目視確認する.室内試し練りでは,経時30分においても一連の試験に供された試料を転用して測定する.
Jリングフロー	JIS A 1159	JIS A 1160「増粘剤含有高性能 AE 減水剤を使用した高流動コンクリートのワーカビリティーの評価基準」として,フロー500mm で PJ 値 60mm 以下,フロー600mm で PJ 値 40mm 以下,ブロッキング値 75mm 以下を目標とする.
空気量	JIS A 1128	-
単位容積質量	JIS A 1116	実機練りに限り測定する.
コンクリート温度	JIS A 1156	_
圧縮強度	JIS A 1132	実機練りに限り測定する.

表 4.2.1.1 試験項目

(3) 試験結果および考察

表4.2.1.2にフレッシュ性状の試験結果一覧を示す.スランプフローが50cmに到達するときの流動時間は、コンクリートの粘性や材料分離抵抗性を判断する上でひとつの目安となり、到達時間が早い場合、コンクリートの粘性が小さい、あるいは材料分離抵抗性が損なわれると判断され、到達時間が遅い場合は材料分離抵抗性が確保される、あるいは粘性が大きいと判断されるのが一般的である.単位セメント量が492kg/m³である配合 No.1-5 および、単位セメント量が530kg/m³である配合 No.2-13 におけるフロー50cm 到達時間は、それぞれ5.0 秒および3.8 秒であるのに対し、単位セメント量が274~414kg/m³の範囲にあるその他の配合では、フロー50cm 到達時間は比較的早いことが確認できる.したがって、山砂に含まれる細粒分や石灰岩砕石に付着した微粉末によって、材料分離抵抗性がある程度確保されることが想定された条件であったものの、増粘剤成分を含有しない高性能AE減水剤を使用したことによって、材料分離抵抗性が若干小さくなった可能性がある.

表 4.2.1.2 フレッシュ性状の試験結果一覧**

	スランプ (cm)	,	スランプフロ・ (cm)	_		の流動時間 (秒)	de	単位	コンクリ	h	
配合 No.		最大	直交	平均	50cm 到達	停止	空気量(%)	容積 質量 (kg/ m³)	リート温度(℃)	外気温(℃)	測定時刻
1-1	25. 0	52. 3	51. 2	52. 0	1.8	10. 5	4. 5	2303	30	26	10:30
1-2	26. 0	57. 5	53.0	55. 0	1.0	6. 6	4.8	2222	30	26	11:00
1-3	-	55. 5	55.0	55. 0	3. 1	13. 9	4.8	2301	32	29	14:55
1-4	25. 5	58. 3	57.2	58. 0	2.0	13. 4	4.8	2311	32	26	13:20
1-5	25. 0	53. 3	52.8	53. 0	5. 0	14. 2	4.8	2327	33	27	15:30
2-1	24.0(19.5)	47.8(31.9)	46.0(31.8)	47.0(32.0)	- (-)	4.4(-)	5.8	_	21	_	11:10(11:40)
2-2	24.0(22.0)	47.7(40.7)	47.6(39.2)	47.5(40.0)	- (-)	7.8(3.2)	4.6	-	20	-	11:08(11:33)
2-3	25. 5 (22. 5)	61.0(40.1)	59. 4 (38. 7)	60.0(39.5)	1.9(-)	11.0(4.2)	5. 0	-	21	_	13:25(13:55)
2-4	21.5(14.5)	38.0(26.2)	37. 4 (25. 9)	37.5(26.0)	- (-)	- (-)	5.3	-	21	-	14:30(15:00)
2-5	24.0(21.0)	46. 4 (38. 2)	44. 2 (36. 5)	45. 5 (37. 5)	- (-)	6.6(4.0)	4. 2	_	20	_	10:00(10:25)
2-6	23. 5 (22. 5)	49. 3 (38. 0)	46. 4 (37. 4)	48.0(37.5)	- (-)	5.8(3.9)	4. 2	-	20	-	10:50(11:15)
2-7	24. 0 (22. 5)	48.6(41.6)	46.9(41.6)	48.0(41.5)	- (-)	10.8(-)	4. 9	-	20	-	12:50(13:15)
2-8	24.0(22.0)	48.9(38.8)	47.6(36.0)	48.5(37.5)	- (-)	5. 2 (3. 1)	5. 5	-	20	-	13:40 (14:06)
2-9	24. 0 (22. 5)	47.0(39.8)	46. 5 (36. 8)	47.0(38.5)	- (-)	3.8(2.2)	5. 1	-	20	-	14:50(15:15)
2-10	24. 5 (22. 5)	49.8(45.3)	49.6(44.2)	49.5(45.0)	- (-)	15. 1 (15. 8)	3.8		20	-	9:35(9:57)
2-11	24.0(22.0)	49.8(38.2)	47.6(37.0)	48.5(37.5)	- (-)	7.8(5.1)	4. 6	-	20	-	10:23(10:48)
2-12	24.0(19.5)	53.0(35.3)	52. 3 (32. 3)	52. 5 (34. 0)	2.0(-)	7.9(4.7)	3.8	-	21	_	16:16(16.46)
2-13	27. 5 (27. 0)	71.0(67.0)	68.8(65.8)	70.0(66.5)	3.8(5.3)	62.7(56.0)	5. 6	_	20	_	13:52(14:20)
2-14	14.0(9.5)	26.0(21.4)	26.0(21.2)	26.0(21.5)	- (-)	- (-)	4.5	ı	20	-	14:45(15:10)

^{※ ()}内の値は、経時約30分における結果

表 4.2.1.3 に J リングフロー試験の結果を示す. 対象としたのは Step1 の 5 つの配合 (No. 1-1~No. 1-5) である. なお, スランプフローが 50cm 未満のコンクリートは流動性が小さく本試験を適用することは困難であった. 試験結果については, いずれの配合も鉄筋間隙通過後のコンクリートの性状評価の基準である PJ 値とブロッキング値の目標値を満足した. 以上から, J リングフロー試験の評価基準を満足した Step1 の 5 つの配合について, 以降の各種試験での試験結果を確認した. また, 表 4.2.1.4 に圧縮強度試験の結果を示す. 全ての配合において, 材齢 4 週の圧縮強度は呼び強度の強度値を上回った.

表 4.2.1.3 Jリングフロー試験の結果

配合				JУ	ングフロ	2 — (mm)				フロー 時間	測定	
No.	平均 SF _j	SF	В	Δh_0	$\triangle h_{x1}$	$\triangle h_{x2}$	⊿h _{y1}	⊿h _{y2}	PJ 値	50cm 到達	停止	時刻
1-1	453	518	65	65	102	103	101	104	38	1	5. 4	10:45
1-2	482	553	71	67	98	99	101	100	33	1	7. 1	11:15
1-3	547	553	6	79	101	102	102	102	23	3. 1	13.5	15:06
1-4	578	576	-2	81	104	103	103	103	22	2.8	16.8	13:30
1-5	480	530	50	73	101	100	102	102	28	_	13. 9	15:40

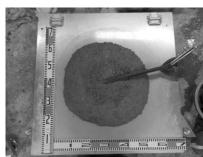
表 4.2.1.4 圧縮強度試験の結果

配合	単位多	容積質量(g	$/cm^3$)	4 週圧縮強度(N/mm²)					
No.	1	2	3	1	2	3	平均		
1-1	2.32	2.32	2.32	33. 5	33. 5	33. 2	33. 4		
1-2	1	1	1	_	1	1	-		
1-3	2.36	2.36	2.36	48. 9	48.8	47.7	48. 5		
1-4	2.31	2.30	2.30	44.8	46. 3	45.3	45. 5		
1-5	2. 36	2.38	2. 37	70.3	69. 4	69. 5	69. 7		

写真 4.2.1.1~写真 4.2.1.19 に,基本性状の評価試験一式の全景(左),タンピング前(中央)およびタンピング後(右)のスランプフローの状況,試験状況の写真を示す。タンピング後のスランプフローの広がりにおいて、中心部に粗骨材が偏在したり、外周にモルタルや水が偏在したりする場合、材料分離が生じているひとつの目安となるが、本実験では全ての配合において、粗骨材やモルタル、水の偏在は確認されなかった。

写真 4.2.1.20~写真 4.2.1.24 に、J リングフロー試験の全景(左)、フローの状況(中央)および端部の状況(右)、試験状況の写真を示す。Step1 の 5 つの配合(No. 1-1~No. 1-5)について、目視評価等で鉄筋間隙通過後のコンクリートの材料分離抵抗性を評価することは困難であった。





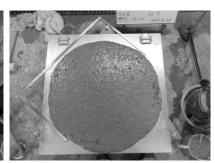
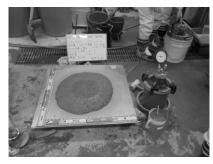


写真 4.2.1.1 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.1-1 27-55-20N)



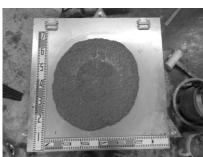
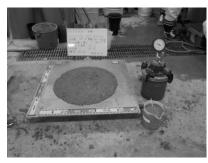
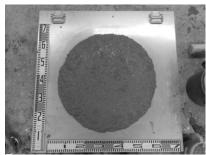




写真 4.2.1.2 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.1-2 27-55-20N 後添加)





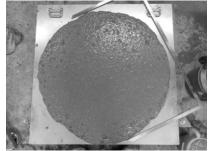
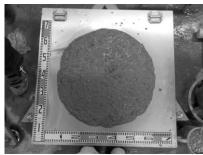


写真 4.2.1.3 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.1-3 33-55-20N)





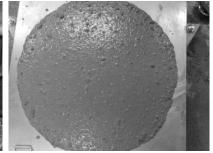
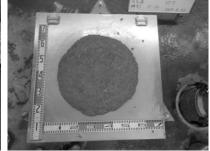


写真 4.2.1.4 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.1-4 39-55-20N)





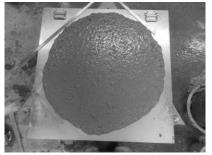


写真 4.2.1.5 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.1-5 51-55-20N)



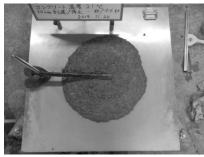
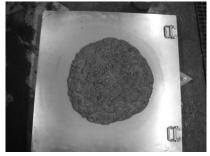




写真 4.2.1.6 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.2-1 27-45-20N)





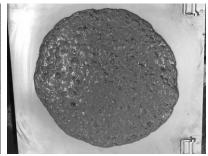
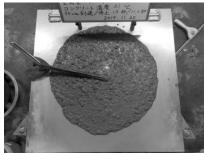


写真 4.2.1.7 基本性状の評価試験の状況 (配合 No. 2-2 27-45-20N)





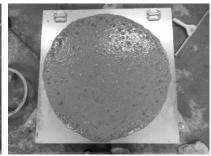


写真 4.2.1.8 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.2-3 27-55-20N)





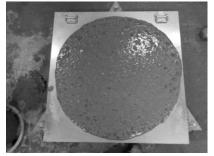


写真 4.2.1.9 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.2-4 27-35-20N)





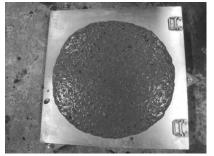


写真 4.2.1.10 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.2-5 33-45-20N)





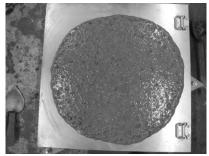


写真 4.2.1.11 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.2-6 21-45-20N)





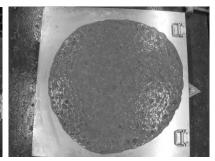
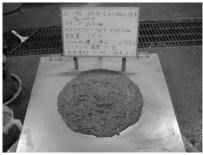


写真 4.1.12 基本性状の評価試験の状況 (配合 No. 2-7 27-45-20N s/a=50%)





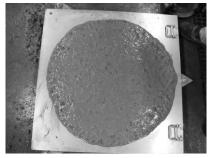
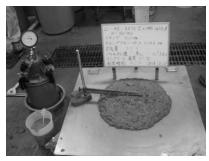


写真 4.2.1.13 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.2-8 27-45-20N s/a=40%)





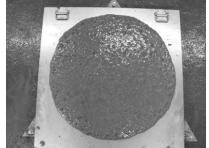


写真 4.2.1.14 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.2-9 W/C=57.7%-45-20N)







写真 4.2.1.15 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.2-10 W/C=51.3%-45-20N)





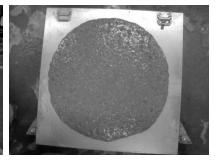
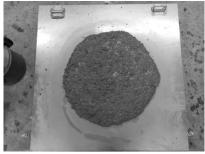


写真 4.2.1.16 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.2-11 27-45-20N 増粘一液)





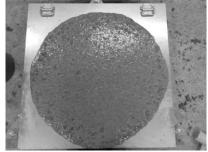


写真 4.2.1.17 基本性状の評価試験の状況(配合 No.2-12 21-55-20N)





タンピング 実施せず

写真 4.2.1.18 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.2-13 W/C=32.1%-60-20N)





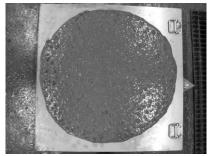
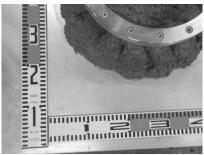


写真 4.2.1.19 基本性状の評価試験の状況 (配合 No.2-14 27-12-20N)





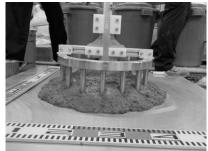


写真 4.2.1.20 Jリングフロー試験の状況 (配合 No.1-1 27-55-20N)



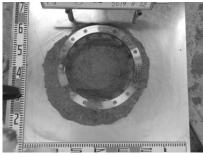
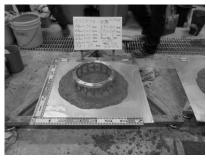
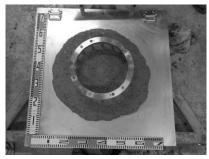




写真 4.2.1.21 Jリングフロー試験の状況(配合 No.1-2 27-55-20N 後添加)





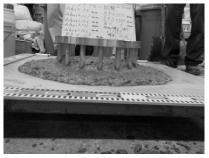


写真 4.2.1.22 Jリングフロー試験の状況(配合 No.1-3 33-55-20N)



記録なし

記録なし

写真 4.2.1.23 Jリングフロー試験の状況(配合 No.1-4 39-55-20N)



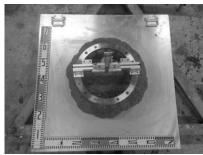




写真 4.2.1.24 Jリングフロー試験の状況(配合 No.1-5 51-55-20N)

参考文献

- 1) 土木学会:施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針 (2016 年版), コンクリートライブ ラリー145 号, 2016.6
- 2) 土木学会: コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会 (341 委員会) 第 2 期委員会報告書, コンクリート技術シリーズ 102, 2013.11

(執筆者:三本 巌, 渡邉 真史)

4.2.2 粗骨材の沈下量評価試験(基準試験)

4.2.2.1 洗い分析試験の結果および考察

(1) 試験結果

4.1.2.2 に示した試験方法により Step2 の 14 配合(No. 2-1~No. 2-14)について検討を行った。なお、データの分析においては、Step1 の 5 配合(No. 1-1~No. 1-5)も併せて分析した。加振後の試料の洗い分析試験結果を表 4.2.2.1 に示す。洗い分析結果により算出した試料中の粗骨材残存量および粗骨材単位質量に対する残存率を表 4.2.2.2 に示す。粗骨材残存率は各計画配合の粗骨材単位質量を 100%として計算した。

表 4.2.2.1 洗い分析試験結果

配合	試料+	-容器の質量(g	g/2L)	粗	備考		
日に、日	0s	10s	20s	0s	10s	20s	
2-12	5392	6268	6191	1789	682	167	
2-3	5176	6048	5951	1228	489	59	フロー55cm
2-1	5085	6036	5683	1713	512	133	フロー45cm
2-4	5374	6368	6159	2123	1032	510	フロー35cm
2-5	5375	6528.1	6462.7	1776.3	956.9	428.2	C+
2-6	5554.2	6405.9	6143.9	1920.1	886.2	192	C-
2-7	5491.2	6351.5	6309.2	1705.9	583.2	231.2	s/a=50%
2-8	5454.8	6244.4	6054.6	2107.8	828.5	191.8	s/a=40%
2-9	5426	6145.3	6070.6	1806.8	336.7	33.1	W180
2-10	5629.1	6577.9	6555.2	2006.9	1042.8	669.7	W160
2-11	5438.2	6263.9	6275.9	1825.7	665.5	295	Ad 増粘
2-2	5567.9	6298.5	6307.8	2010	635.7	294.6	基準配合
2-13	5375.1	6330.2	6530.3	1128.3	472.9	433.6	自己-高流動
2-14	5489.2	6536.9	6546.1	1938.4	1604	1232.6	AE配合

表 4.2.2.2 採取した試料の粗骨材残存量および粗骨材単位質量に対する粗骨材残存率

配合	採取試料中	中の粗骨材残存	量(kg/m³)	粗骨材単位質	備考		
HL I	0s	10s	20s	0s	10s	20s	
2-12	894	341	83	81	31	8	
2-3	614	245	29	60	24	3	フロー55cm
2-1	857	256	66	84	25	7	フロー45cm
2-4	1061	516	255	104	51	25	フロー35cm
2-5	888	478	214	87	48	21	C+
2-6	960	443	96	94	43	9	C-
2-7	853	292	116	84	31	12	s/a=50%
2-8	1054	414	96	104	37	9	s/a=40%
2-9	903	168	17	89	17	2	W180
2-10	1003	521	335	99	50	32	W160
2-11	913	333	148	90	33	14	Ad 増粘
2-2	1005	318	147	99	31	14	基準配合
2-13	564	236	217	55	29	27	自己-高流動
2-14	969	802	616	95	79	60	AE 配合

(2) 単位水量, 単位セメント量, 細骨材率および水セメント比の影響

基準配合に対し、単位水量、単位セメント量、細骨材率、水セメント比の変化が粗骨材残存率に与える影響を検討した. 図 4.2.2.1 に各パラメータが粗骨材残存率に与える影響を示す.

図 4.2.2.1 (a) に、細骨材 45%、単位セメント量 312kg/m³一定で、単位水量の変化に伴う粗骨材残存率を示す (配合 No. 2-1, No. 2-2, No. 2-9, No. 2-10) . 図 4.2.2.1 (b) は、細骨材 45%、単位水量 170kg/m³一定で、単位セメント量の変化に伴う粗骨材残存率を示す (配合 No. 2-2, No. 2-5, No. 2-6) . 図 4.2.2.1 (c) は、単位粗骨材量 340 リットル、単位水量 175kg/m³一定で、水セメント比の変化に伴う粗骨材残存率を示す (配合 No. 1-3, No. 1-4, No. 1-5, No. 2-1) . 図 4.2.2.1 の (a) (b) (c) に示すように、図 4.2.2.1 (c)の水セメント比 42%の配合 (配合 No. 1-4, 練上がりから分離気味であった配合)を除けば、粗骨材残存率と単位水量、単位セメント量、水セメント比は振動締固めを行った結果で一定の相関が確認できる。図 4.2.2.1 (a) (b) (c) は、いずれもセメントペーストの粘性の変化であるため、水セメント比の変化による粗骨材残存率として図 4.2.2.1 (d) にまとめて示す。図 4.2.2.1 (a) (b) (c) に比べてばらつきが大きくなっており、細骨材率、単位粗骨材量などの影響が示唆される.

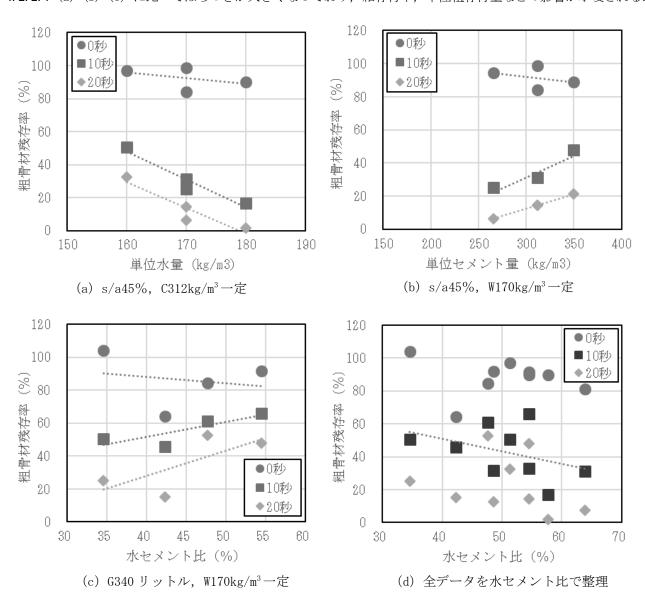


図 4.2.2.1 単位水量,単位セメント量水セメント比の変化が 粗骨材残存率に与える影響

(3) 細骨材率の変化と増粘剤有無の影響

基準配合に対し、細骨材率と増粘剤有無の影響を検討した. 図 4.2.2.2 に細骨材率変化と増粘剤有無が粗骨材残存率に与える影響を示す. 図 4.2.2.2 (a) は、単位セメント量 312kg/m³、単位水量 170kg/m³一定で、細骨材率の変化に伴う粗骨材残存率を示す(配合 No. 2-1、No. 2-2、No. 2-7、No. 2-8). 図 4.2.2.2 (b) は、配合の各単位量が一定で、増粘剤の有無に伴う粗骨材残存率を示す(配合 No. 2-1、No. 2-1). 今回の配合条件の範囲では、細骨材率の変化と増粘剤の有無が、粗骨材残存率に与える影響は小さい結果になっている.

(4) スランプフローの影響と自己充塡性を有する高流動コンクリート、普通コンクリートとの比較

基準配合に対し、高性能 AE 減水剤の増減によるスランプフローの変化の影響を検討した. 図 4.2.2.3 (a) にスランプフローの変化が粗骨材残存率に与える影響を示す(配合 No.2-1, No.2-2, No.2-3, No.2-4). スランプフローの増加によって粗骨材残存率が低下している. 実出荷中で高性能 AE 減水剤の増量でコンクリートのスランプフローを大きくさせる場合には、コンクリートの分離抵抗性を考慮する必要があることを示している.

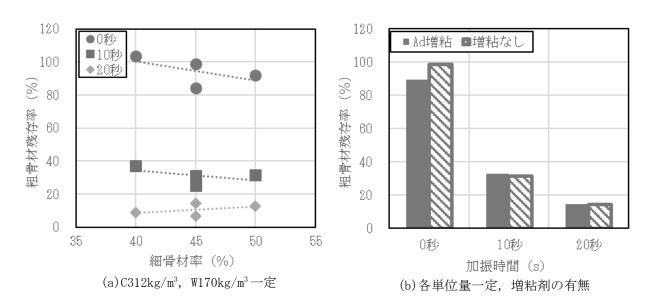


図 4.2.2.2 細骨材率変化と増粘剤有無が粗骨材残存率に与える影響

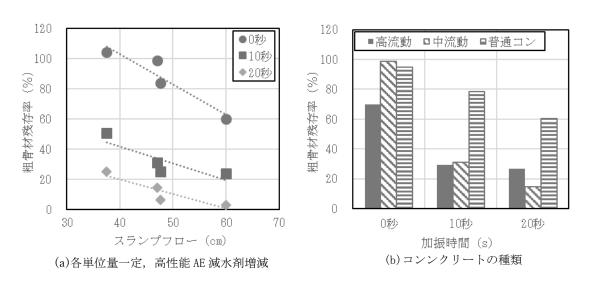


図 4.2.2.3 スランプフローの影響とコンクリートの種類が粗骨材残存率に与える影響

図 4. 2. 2. 1~図 4. 2. 2. 3 に示すように、粗骨材残存率に大きく影響するパラメータとして挙げられるのは、単位セメント量、単位水量とスランプフロー(混和剤の添加量)である。また、加振時間 10 秒,20 秒時の各パラメータの変化により粗骨材残存率が変化する傾向はほぼ同じである。これは、加振時間 10 秒で粗骨材残存率を評価してもよいことを示す。

図4.2.2.3 (b)に自己充填性を有する高流動コンクリート (凡例:高流動),普通コンクリート (凡例:普通コン),締固めを必要とする高流動コンクリート (凡例:中流動)の加振時間による粗骨材残存率を示す(配合 No. 2-2, No. 2-13, No. 2-14). 図4.2.2.3 (b)に示すように、加振時間20秒時の普通コンクリートの粗骨材残存率60%程度で、加振時間10秒時の普通コンクリートの粗骨材残存率80%程度である。また、分離状況ではないと目視により判断された自己充填性を有する高流動コンクリートの0秒時の粗骨材残存率が70%程度であることが図4.2.2.3 (b)に示されている。したがって、締固めを必要とする高流動コンクリートの加振後の粗骨材残存率の許容値を70%程度とする案が考えられる。なお、この許容値に関しては、データを蓄積して検討を続ける必要がある。

(5) 適切な振動時間の検討

図 4.2.2.4 に、各配合条件における締固めを必要とする高流動コンクリートの粗骨材残存率 70%を確保できる加振時間を示す。図中の破線が粗骨材残存率 70%を示す線である、横軸の下にある矢印は、粗骨材残存率 70%を

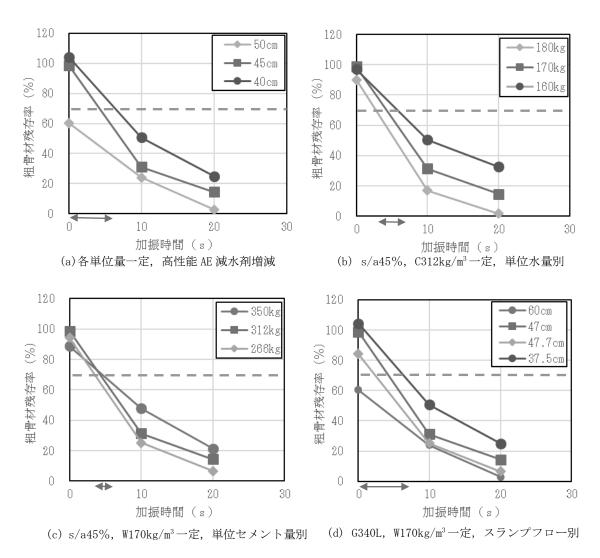


図4.2.2.4 スランプフローの影響とコンクリートの種類が粗骨材残存率に与える影響

確保できる加振時間の範囲を示す。図に示すように、粗骨材残存率 70%を確保できる加振時間はいずれも 3~7 秒 の範囲に入っていることがわかる。普通コンクリートの粗骨材残存率が 70%になる加振時間が 15 秒程度とすると 締固めを必要とする高流動コンクリートの適切な締固め時間は、その 1/4~1/2 程度と考えられる.

(執筆者: 石井 祐輔, 片平 博, 吉田 克弥, 梁 俊, 渡邉 真史)

4.2.3 加振変形試験

4.2.3.1 概要

加振変形試験は,硬化後の中流動覆エコンクリートの性状が最も良好となる最適振動エネルギー(3.7J/L)により,コンクリートの流動性や材料分離抵抗性を評価する NEXCO 試験方法 733「中流動覆エコンクリートの加振変形および充填性試験方法」に制定された一部の試験であり,この試験方法により,Step1 の 5 配合(No. $1-1 \sim$ No. 1-5)に対して検討した.

4.2.3.2 試験方法

試験方法は、株式会社高速道路総合技術研究所から平成23年12月に発行された「NEXCO 中流動覆エコンクリート技術のまとめ」に示されるNEXCO 試験方法733「中流動覆エコンクリートの加振変形および充填性試験方法」に準拠し、以下の手順で行った.写真4.2.3.1に試験状況を示す.

- ①加振変形試験器上で JIS A 1101 に従ってスランプ試験を実施.
- ②スランプを測定後, JIS A 1150 に従って, コンクリートのフローを測定.
- ③棒状バイブレータの電源を入れて10秒後に停止させる.
- ④振動後のコンクリートのフローを②と同様に測定する.



写真 4.2.3.1 加振変形試験状況

4.2.3.3 試験結果および考察

表 4. 2. 3. 1 に加振変形試験の結果一覧を示す.加振前のスランプフローは、コンクリートの受入れ後から $5\sim20$ 分程度経過してから実施しているため,No. 1-4(呼び強度 39 N/mm²)を除いて, $47\sim50$ cm 程度とスランプフローの目標値である 55cm を下回っていた(参考:図 4. 2. 3. 1 参照).また,同じ呼び強度 No. 1-1 と No. 1-2(呼び強度 27 N/mm²と呼び強度 27 N/mm²後添)では,加振前のスランプフローが大きい方が変形量は小さい.これは,材料分離抵抗性の指標となる単位セメント量が同一であれば,スランプフローが大きい方が,材料分離抵抗性が低い状態となっていることが起因しているものと考えられる.一方,No. 1-3 と No. 1-4(呼び強度 33 N/mm²と呼び強度 39 N/mm²)を比較すると,後者の方がスランプフローは大きいが,変形量も大きい.この場合,No. 1-4(呼び強度 39 N/mm²)は十分な単位セメント量のため,材料分離抵抗性が確保されており,スランプフローが大きくても変形量が大きくなったものと推察される.

図 4.2.3.2 に加振前後のスランプフローの比較を示す。 スランプフローが $47\sim60$ cm 程度においては,加振後のスランプフローの変化量は, $4.3\sim5.7$ cm の範囲であった.

図 4.2.3.3 に加振前のスランプフローと 10 秒加振後のフローの変形量の関係を示す. 加振前のスランプフローが 47cm の同程度となっていた No.1-2 (呼び強度 27 N/mm²後添加) と No.1-5(呼び強度 51 N/mm²)の変形量を比較すると, 呼び強度が大きい方は小さく, 呼び強度が小さいものは大きくなった. これは, 単位セメント量が多いことに起因して粘性が高いことによるものと推察される.

写真 4.2.3.2~4.2.3.6 に試験時のスランプフローの写真を示す. スランプコーンの頂点部分にフェノールフタレイン溶液を塗布し、試験時のコンクリートの挙動を観察できるようにした.

No.	配合	加振前の スランプ ±2.5 (cm)	加 スラン 55±5			平均 (cm) スランコ		10 秒加振後 スランプフロー (cm) 平均		10 秒加 振の差 10±3(cm)	空気量 4.5±1.5 (%)	C.T (°C)	
1-1	呼び強度 27	25.0	50.3	×	49.2	49.8	55.1	×	54.6	54.9	5.1	4.5	30.0
1-2	呼び強度 27*	26.0	48.2	×	46.0	47.1	53.4	×	52.1	52.8	5.7	4.8	30.0
1-3	呼び強度 33	_	49.8	×	49.3	49.6	54.9	×	54.6	54.8	5.2	4.8	32.0
1-4	呼び強度 39	25.5	60.2	×	60.0	60.1	66.6	×	64.5	65.6	5.5	4.8	32.0
1-5	呼び強度 51	25.0	47.2	×	46.8	47.0	51.5	×	51.0	51.3	4.3	4.8	33.0

表 4.2.3.1 加振変形試験結果

※C×0.1%分混和剤の後添加を実施

参考情報として、図 4.2.3.1 にスランプフローの経時変化を示す.

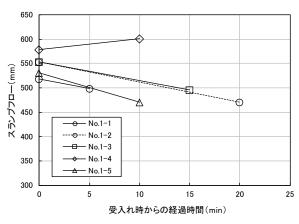


図 4.2.3.1 スランプフローの経時的な変化

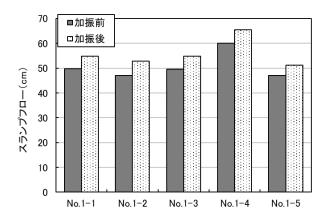


図 4.2.3.2 加振前後のスランプフローの比較

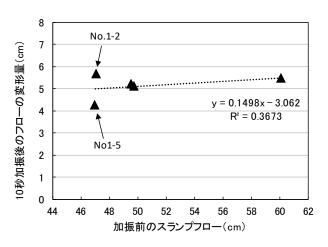
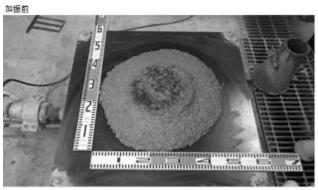


図 4.2.3.3 加振前のフローと変形量の関係



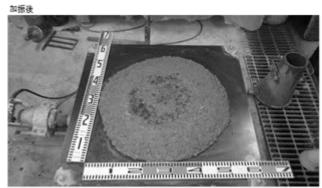
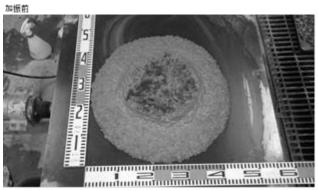


写真 4.2.3.2 No.1-1 (呼び強度 27 N/mm²)



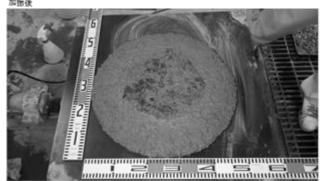


写真 4.2.3.3 No.1-2 (呼び強度 27 N/mm²後添加)

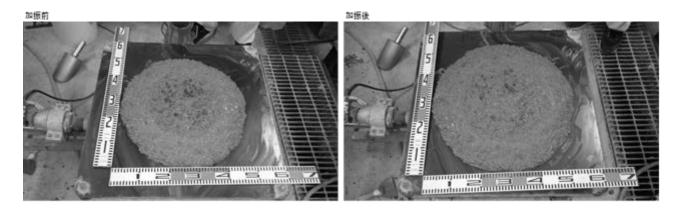


写真 4.2.3.4 No.1-3 (呼び強度 33 N/mm²)

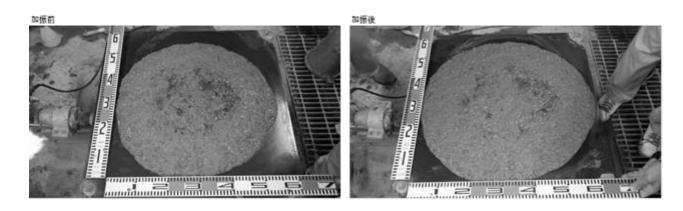


写真 4.2.3.5 No.1-4 (呼び強度 39 N/mm²)

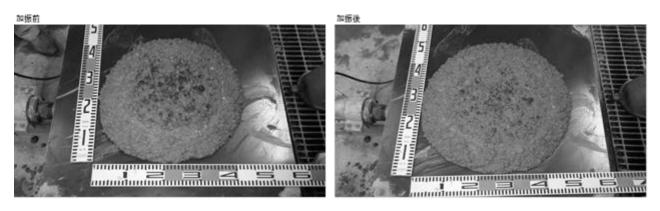


写真 4.2.3.6 No.1-5 (呼び強度 51 N/mm²)

加振変形試験の10秒加振後のスランプフローの変形量は、以下の特徴が考えられる.

- ・コンクリートの粘性(材料分離抵抗性)が高いものほど、フロー板とコンクリートとの摩擦や振動が伝わりづらいことなどが理由で、変形量が小さくなることが考えられる.
- ・スランプ・スランプフローが小さいものほど、振動によって粗骨材が崩れる際に自重の影響によって広がりやすくなり、変形量が大きくなることが考えられる.

以上のことから、例えば、同一呼び強度で、加振前のスランプフローが 35~50cm 程度以下の場合、スランプフローが小さいほど変形量が大きくなり、加振前のスランプフローが 50cm 程度以上の場合、呼び強度が大きく粘性が高いものほど、変形量が小さくなるといった傾向がある可能性が推察された.

しかし、材料分離抵抗性と流動性のどちらの影響も生じることとなるため、一概に整理できない可能性も考えられ、そもそも加振変形試験は中流動覆エコンクリートを対象とした試験方法であり、呼び強度や単位セメント量等の配合は限定されるため、Step1で用いた呼び強度を広げた範囲では、汎用的に評価することが難しいと考えられ、Step1以降の検討では実施しないこととした。

(執筆者:松本 修治)

4.2.4 ボックス形充塡試験

4.2.4.1 概要

コンクリートの充塡性を評価する既存の試験方法として、土木学会規準では JSCE-F 701-2018「ボックス型容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法 (案)」(以下、ボックス形充塡試験) ¹⁾が制定されている.この規準はスランプによってコンシステンシーを評価するコンクリートを対象に、ボックス形容器を使用し、試料を棒状バイブレータで加振して流動させることで、間隙通過性と材料分離抵抗性などの充塡性を評価するものである.本報告書で対象とする「締固めを必要とする高流動コンクリート」はバイブレータによる加振が必要なことから、ボックス形充塡試験が締固めを必要とする高流動コンクリートに対して適切に間隙通過性や材料分離抵抗性を評価することができるか否かを確認した.なお、ボックス形充塡試験は Stepl のみで実施した.

4.2.4.2 試験方法

図 4.2.4.1 に試験装置を示す. 試験容器はボックス形容器を用い、障害 R2 (D13×3 本、あき 35mm) を用いた. バイブレータは振動体の呼び径 28mm,振動数 240Hz の手持型振動機を使用した. ボックス形容器は防振性のあるゴムマットに静置し、試料を容器の A 室に 3 層に分けて詰めた. 試料を詰める際には各層を詰める度に仕切り板の面板方向へ容器を 3 回揺らして、試料の上面が水平になるようにした. 試料を上面まで詰めた後、上面を軽く均し、A 室中央にバイブレータの先端と容器底面との間隔が 100mm となる位置までバイブレータを挿入した. バイブレータが動かないように位置を保持しながら、仕切りゲートを引き上げて試料の B 室への流動が停止した到達高さ(充塡高さ)を測定した. その後、バイブレータを始動し、試料が A 室から障害 R2 を通過し、B 室正面における高さ 190mm および 300mm に到達した時間をストップウォッチで 0.01 秒単位まで測定し、300mm まで到達した時点でバイブレータを停止した. なお、仕切りゲートを引き上げた後に 190mm あるいは 300mm まで到達した場合は、それぞれの通過時間を測定した. 加振終了後は A 室下部および B 室の上部から 2L の試料を採取し、JIS A 1112 に準じて洗い分析により単位粗骨材量を求めた.

間隙通過性の評価指標を式(4.2.4.1)に、材料分離抵抗性の評価指標を式(4.2.4.2)に示す。間隙通過性の指標は、B室の高さで 190mm~300mmの一定距離(=110mm)を、試料が障害 R2 の通過に要した時間(s)で除した間隙通過速度(mm/s)とした。材料分離抵抗性の指標は、300mm 到達後の B室上面の試料、つまり、障害 R2 を通過して最も先端に到達した試料の単位粗骨材量(kg/m³)を配合における単位粗骨材量(kg/m³)で除した粗骨材量比率(%)(本報告書における粗骨材残存率に相当)とした。

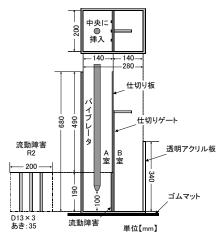


図 4.2.4.1 試験装置

$$V_{pass} = \frac{110}{t_{300} - t_{190}} \tag{4.2.4.1}$$

ここに, V_{pass}: 間隙通過速度 (mm/s)

t300:300mm 到達時間 (s)

t₁₉₀: 190mm 到達時間(s)

$$\delta_B = \frac{G_B}{G_0} \times 100 \tag{4.2.4.2}$$

ここに、 δ_B : 粗骨材量変化率(%)

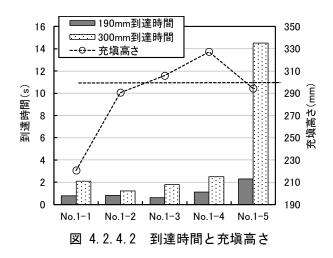
G_B: B室の単位粗骨材量(kg/m³)

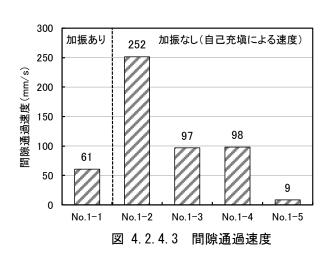
Go:配合における単位粗骨材量(kg/m³)

4.2.4.3 試験結果

(1) 間隙通過速度

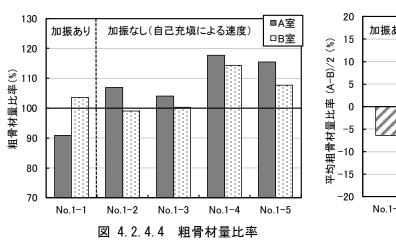
図 4.2.4.2 に各配合の到達時間と充填高さ(仕切りゲートを引き上げた後のB室における試料の到達高さ)の測定結果を示す.いずれの配合もバイブレータで加振する前の充填高さは190mm以上に到達し、No. 1-1 以外の充填高さは290mm以上に到達した.そのため、No. 1-1 のみで300mmに到達するまでバイブレータにより加振し、それ以外の配合では加振しなかった.図 4.2.4.3 に各配合の間隙通過速度の算出結果を示す.土木学会「コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会(341 委員会)第2期委員会報告書(以下、341 委員会報告書)」²⁾に記載される、スランプ8cmのコンクリートを対象にしたボックス形充填試験の9機関による共通実験における間隙通過速度は2~26mm/sの範囲であったことに対し、No. 1-5 以外は61~252mm/sと試験結果が大きく乖離している。さらに到達時間が2.5 秒以下とストップウォッチによる目視および手動による正確な測定が困難であり、僅かな測定誤差が間隙通過速度の算出に影響しているため、その結果の信頼性に課題があると考えられる。また、前述のようにNo. 1-1 以外は加振をしていないため、言わば自己充填における間隙通過性を評価しているものであり、締固めを必要とする高流動コンクリートにおいては、スランプで管理するコンクリートで使われる「間隙通過速度」という指標値は適していない可能性があり、今後、さらに多様な配合での検証が必要と考えられる。

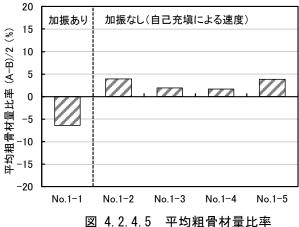




(2) 粗骨材量比率

図 4.2.4.4 に各配合の A 室下部および B 室上部の粗骨材量比率の測定結果を示す. 粗骨材量比率はいずれの配合も 90~120%の範囲であり、大きく分離した配合は認められなかった. 図 4.2.4.5 に各配合の平均粗骨材量比率 (341 委員会報告書²)で定義される A 室上部と B 室下部の差を 2 で除した値)の算出結果を示す. 341 委員会報告書において十分な材料分離抵抗性を有すると評価される B 安 15~20%以下に対し、平均粗骨材量比率が 7%以下と十分に小さく、材料分離抵抗性は良好である結果であったと評価できる. しかし、平均粗骨材量比率は加振をした配合 (No.1-1)と加振をしなかった配合 (No.1-1 以外)で A 室と B 室の大小が異なる. スランプで管理するコンクリートの場合、概ね A 室が大きく、B 室が小さい(つまり、鉄筋障害に粗骨材が捕捉される)傾向であり、加振をしなかった配合がそれと同じ傾向を示している. 一方、加振をした場合はその逆であり、推察されるひとつの事由として、流動性の高い締固めを必要とする高流動コンクリートでは加振の作用により、より鉄筋障害が通過しやすくなったことが挙げられる. したがって、今後、加振をした場合のデータの蓄積が望まれる.





4.2.4.4 考察

(1) 既往文献におけるスランプで管理するコンクリートとの比較

ボックス形充填試験は従来、スランプで管理するコンクリート (明確に定義されていないが、コンクリート標準示方書に相応すると考えれば 16cm 以下)を対象としている。そこで、図 4.2.4.6 に Step1 と同等の単位セメント量の範囲でボックス形充填試験を行った既往の文献 3 の試験結果を比較した。なお、No.1-2 と No.1-3 は同じセメント量であるが、ここでは No.1-2 を記載した。既往の文献では、スランプ 12cm のコンクリート (配合条件:水セメント比 38%、単位粗骨材量 1024kg/m³、早強ポルトランドセメントおよび高性能 AE 減水剤使用)である。間隙通過速度 (ただし、No.1-1 以外は加振なし)と単位セメント量の関係において、単位セメント量の増加にともない間隙通過速度は大きくなるが、単位セメント量が過大となると間隙通過速度が小さくなるという傾向が見られる。これはスランプで管理するコンクリートを対象とした土木学会「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針[2016 年版]」 4 に示される「打込みのスランプと単位セメント量の関係の確認図」の範囲による評価と同じように、単位セメント量が不足あるいは過多の場合に間隙通過性が劣る傾向を示している。したがって、締固めを必要とする高流動コンクリートにおいても単位セメント量によって充填性が評価される可能性あるが、前項でも述べたように、間隙通過速度の範囲が大きく異なることについて、妥当性を確認する必要があると考えられる。

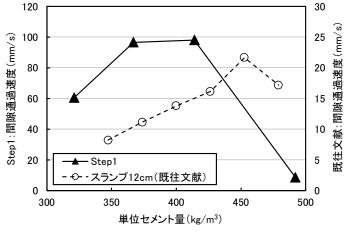
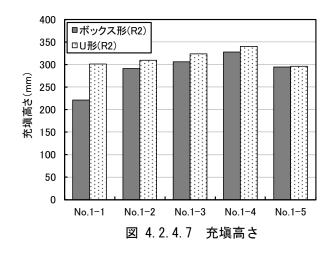
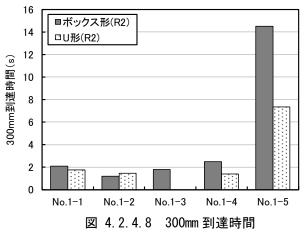


図 4.2.4.6 間隙通過速度と単位セメント量の関係

(2) U型充塡試験との比較

後節の 4.2.8 U 形充塡試験では、同様にコンクリートの充塡性を評価していることから、U 形充塡試験とボックス形充塡試験の試験結果を比較した. 図 4.2.4.7 に充塡高さの比較を、図 4.2.4.8 に 300mm 到達時間の比較を示す. なお、いずれも加振をしない自己充塡による測定値を示している. ボックス形充塡試験の充塡高さ、300mm 到達時間ともに U 形充塡試験と同様な傾向を示しており、充塡高さについてはボックス形充塡試験の方が U 型充塡高さより若干小さくことが認められる. これまで述べたように 300mm 到達時間では U 形充塡試験においても到達時間が短いことから測定精度の課題はあるものの、それらも含め、同様な傾向の結果となると推察される.





(3) ボックス形充塡試験の適用性

以上の考察から,間隙通過速度による間隙通過性の評価には現状では課題が見られること,その課題は U型充塡試験でも同様であること,また,それも含め,ボックス形充塡試験による締固めを必要とする高流動 コンクリートの充塡性の評価は U型充塡試験による評価と近しいものと考えられる.このことから, Step2 では,間隙通過性や材料分離抵抗性などの充塡性の評価やその課題に対する解決方法の検討を U型充塡試験 により評価・検討する.

参考文献

- 1) (社)土木学会:2018年制定コンクリート標準示方書[規準編]土木学会規準および関連規準,2018.10
- 2) (社) 土木学会: コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会 (341 委員会) 第 2 期委員 会報告書, コンクリート技術シリーズ 102, 2013.11
- 3) 中村敏之,橋本紳一郎,吉村徹,北野潤一:PC部材を対象としたコンクリートの施工性能評価,コンクリート工学年次論文集,Vol.39,No.1,2017
- 4) (社)土木学会:施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針[2016 年版], コンクリートライブラリー145, 2016.6

(執筆者:中村 敏之)

4.2.5 目視・触感による評価試験

(1) 概要

フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価の代表的な試験方法として、スランプ試験やスランプフロー試験がある。これらは、フレッシュコンクリートの外観的な変形を数値化し評価するものであり、試験方法の簡便さ並びに試験結果の分かりやすさから広く普及している。一方、フレッシュコンクリートの材料分離抵抗性の評価については、試験室内での適用が可能ないくつかの試験方法が提案されているが、施工現場における受入れ検査において採用され得るような簡易で信頼性の高い試験方法は確立していないのが現状である。

このような背景から, 本 WG の共通試験において, 簡便さの観点で材料分離抵抗性評価の一次スクリーニン グ指標として室内試験あるいは施工現場においてその活用の可能性が考えられる「目視評価」に着目した. 目視評価に関する検討は建築分野において先行例があり、本研究小委員会と同じく締固めを必要とする高流 動コンクリートを対象とした目視評価の検討結果がいくつか報告されている ^{1), 2)}. 文献 1)は、日本大学グル ープによる検討であり、スランプ、スランプフロー試験後のコンクリートの外観から「粗骨材の偏在」や「セ メントペーストや水の偏在」の有無を○×判定するといった方法を採用し、その判定結果を材料分離抵抗性 が不足するコンクリート配合(主に、混和剤の種類や添加率、骨材種類などの組み合わせ)の特定に用いて いる. 一方, 文献 2) は, 日本建設業連合会"建築分野における高流動性コンクリートの普及に関する研究 WG" による検討であり、施工現場への適用を想定して「一輪車で運搬され切返しを行ったコンクリートの外観」 および「スランプフロー試験後の外観」の二種類の状態に対して目視判定を行っている.その判定基準は、 「分離していない(0点)」,「分離気味(0.5点)」,「分離している(1点)」の三段階とし,複数(26~28人) の判定点数を平均した「目視判定指数」を評価指標としており、この数値を種々の材料分離抵抗性試験(粗 骨材沈下割合試験,円筒貫入試験,加振変形試験,」リング試験,タンピング試験,ふるい分離試験,硬化 コンクリート粗骨材面積測定など)の結果と対比し、関係を分析している、その結果、目視判定指数と測定 結果の相関が認められた試験方法として、骨材沈下割合試験、円筒貫入試験、硬化コンクリート粗骨材面積 測定などが挙げられている.このように近年検討が加えられている「材料分離抵抗性の目視評価」を,本共 通試験においても採用し検討した.

他方、新たな試みとして「触感評価」を取り上げた. コンクリートの材料分離抵抗性は、コンクリートの粘性によるところが大きいと考えられる. このコンクリートの粘性を、スランプフロー試験後の静的な外観情報で評価するのは難しい. また、粗骨材の沈降といった材料分離の状態についても、外観を目視することよりもコンクリートを直接触った際の感覚で得られる情報はかなり多いはずである. また、目視評価と同様に、スコップ等による触感評価は、室内試験および施工現場を問わず実施できる簡便な方法である. このような着眼から、「目視評価」に加えて「触感評価」といった評価の第二軸を追加し、本共通試験において検討を行った.

(2) 評価方法

本共通試験では、「スランプフロー試験後のコンクリートの目視評価」(略称:フロー目視)、「練り舟における切返し後のコンクリートの目視評価」(練舟目視) および「練り舟における切返し後のコンクリートの触感評価」(練舟触感) を実施した。触感評価では、ハンドスコップによってコンクリートに直接触れた時の感覚を判定した。なお、コンクリートに触れる方法や時間は判定者の任意としたが、概ね 10 秒前後の間、ハンドスコップをコンクリートに差し込んで練り返したり、表面を滑らせたりして感触を得ていた。

評価の判定基準は、表 4.2.5.1 のとおり、「-2~+2」の 5 段階であり目視評価および触感評価で同一とした. 「+2」は、コンクリートの粘性が過剰であり、圧送や締固め等の施工プロセスに支障をきたす可能性があるものが該当する.また、「-2」は、目視・触感評価の時点で既に材料分離を生じているもの、「-1」は、評価時点では材料分離の傾向は顕著でないものの振動締固めを行うことにより、粗骨材が沈降する等の可能性が高いものである.これら+2、-2 および-1 の判定基準は、締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性としては不適として分類した.一方、「0」は、そのようなコンクリートとして適切な性状を有しているもの、「+1」は、粘性はやや高いが通常の振動締固めを行うことによって適切に施工が可能なものとして分類し、これらを締固めを必要とする高流動コンクリートに適するものとした.このような判定基準に関しては、共通試験実施前に、「施工に支障が出るレベルとは?」、「通常の振動締固めの程度とは?」、「材料分離を生じる可能性の程度とは?」等々、より詳細な判定基準の明確化と認識の共有が求められる意見も出たが、それらの点を厳格に定めることは現時点では難しいとの考えから、表 4.2.5.1 の基準を軸として判定者個々の判断によることとした.

判定値判定基準+2明らかに粘性が高く,施工に支障があるもの+1粘性はやや高いが,通常の振動締固めにより適切に施工可能なもの0適切な性状のもの-1粘性が低く,通常の振動締固めにより材料分離を生じる可能性が高いもの

粗骨材の沈降等が顕著で、明らかに材料分離を生じているもの

表 4.2.5.1 目視・触感評価の判定基準

(3) 評価結果

-2

表 4.2.5.2 に,表 3.3 および表 4.2.1.2 に示された全ての配合のコンクリートについて実施した目視・触感評価の結果をまとめる. 同表には、判定者数、各判定値の人数、ならびに各判定値の占有率(判定値占有率)を示している. また、表 4.2.5.1 で示した締固めを必要とする高流動コンクリートとして適切と判断された「0」と「+1」の判定値占有率の和を『合格判定率』と称して併記した. なお、全ての判定者の判定値を平均したものも参考として示したが、これは、各判定基準の差異が、判定値の差分とは必ずしも等価ではないことから、定量的な指標となり得ないことに注意が必要である.

各試験日とも本 WG メンバーを中心に概ね 20 人前後の判定者からデータを得ることができた. 判定者はそのほとんどが本 WG のメンバーであり, 一部に共通試験に協力頂いた内山アドバンス中央研究所や委員所属機関の技術者なども含まれる.

これらの結果の分析結果は、次項にて取りまとめる.

表 4. 2. 5. 2 目視・触感評価の結果一覧 (配合呼称の括弧内はグラフ中の表記と対応

_ di	試験日	配合	配合	 判 定	判			判	定	値			判定值	直占有	率 (%)		合格
Step	2019年	No.	呼称	方法	定者	-2	-1	0	+1	+2	平均値 (参考)	-2	-1	0	+1	+2	判定率 (%)
	8月		33-55	フロー目視	数	0	0	17	1	0	0.06	0	0	94	6	0	100
	21 日	1-3	(33)	練舟目視	18	0	2	16	0	0	-0.11	0	11	89	0	0	89
				<u>練舟触感</u> フロー目視		0	6	12 17	2	0	-0. 33 0. 00	0	33	67 80	10	0	67 90
		1-1	27-55	<u> 練</u> 舟目視	$\begin{vmatrix} \\ 21 \end{vmatrix}$	0	2	19	0	0	-0.10	0	10	90	0	0	90
		1 1	(27)	練舟触感	-	0	8	12	1	0	-0. 33	0	38	57	5	0	62
			27-55	フロー目視		0	4	16	0	0	-0.20	0	20	80	0	0	80
1		1-2	後添加	練舟目視	20	1	7	12	0	0	-0.45	5	35	60	0	0	60
	8月 22日		(27+)	<u>練舟触感</u> フロー目視		0	9	9	2	0	-0. 65 -0. 05	10	45 14	45 77	9	0	45 86
		1-4	39-55	練舟目視	22	0	8	12	2	0	-0. 27	0	36	55	9	0	64
			(39)	練舟触感		0	11	7	4	0	-0.32	0	50	32	18	0	50
			51-55	フロー目視		0	0	13	5	2	0.45	0	0	65	25	10	90
		1-5	(51)		20	0	0	11 6	9	0	0. 45	0	0	55 30	45 65	5	100 95
				フロー目視	\vdash	0	7	14	0	0	-0.33	0	33	67	0	0	67
	11月	2-12	21-55	練舟目視	21	8	13	0	0	0	-1. 38	38	62	0	0	0	0
	19 日		(分離)	練舟触感		14	7	0	0	0	-1.67	67	33	0	0	0	0
		0.1	27-45	フロー目視		0	0	22	0	0	0.00	0	0	100	0	0	100
		2-1	(基①)	練舟目視 練舟触感	22	0	5 4	16 18	0	0	-0. 18 -0. 18	0	23	72 82	5	0	77 82
				フロー目視	\vdash	0	3	16	0	0	-0. 16	0	16	84	0	0	84
	11月	2-3	27-55 (SF+)	練舟目視	19	2	15	2	0	0	-1. 00	11	78	11	0	0	11
	20 日			練舟触感		6	12	1	0	0	-1. 26	32	63	5	0	0	5
		2-4	27-35 (SF-)	フロー目視	20	0	0	17	3	0	0. 15	0	0	85	15	0	100
				練舟目視 練舟触感		0	0	17 16	3	0	0. 15	0	0	85 80	15 20	0	100
		2-5	33-45 (C+)	フロー目視	22	0	0	18	4	0	0. 20	0	0	82	18	0	100
				練舟目視		0	1	16	5	0	0.18	0	5	72	23	0	95
				練舟触感		0	1	16	5	0	0.18	0	5	72	23	0	95
			21-45 (C-)	フロー目視		0	4	18	0	0	-0. 18	0	18	82	0	0	82
				練舟目視 練舟触感	22	1 4	7	7	0	0	-0. 41 -0. 86	5 18	32 50	6 32	0	0	63 32
			27-45	フロー目視		0	0	19	1	0	0.05	0	0	95	5	0	100
	12月	2-7	s/a=50%	練舟目視		0	1	18	1	0	0.00	0	5	90	5	0	95
2	10 目		(s/a+)	練舟触感	_	0	1	16	3	0	0.10	0	5	80	15	0	95
4		0.0	27-45	フロー目視		0	3	17	1	0	-0.10	0	14	81	5	0	86
		2-8	s/a=40% (s/a-)	練舟目視 練舟触感	21	0	10 15	10	1	0	-0. 43 -0. 76	5	48	48	4 5	0	52 24
			W/C57.7%	プロー目視		0	0	19	1	0	0.05	0	0	95	5	0	100
		2-9	-45	練舟目視	20	2	10	7	1	0	-0.65	10	50	35	5	0	40
			(W+)	練舟触感		3	11	5	1	0	-0.80	15	55	25	5	0	30
		0.10	W/C51.3%	フロー目視	1,	0	0	15	3	0	0.17	0	0	83	17	0	100
		2-10	-45 (W-)	練舟目視 練舟触感	18	0	2	9	7	0	0. 28	0	11	50	39 50	0	89 94
			27-45	フロー目視		0	0	18	0	0	0. 44	0	0	100	0	0	100
		2-11	増粘剤	練舟目視	18	0	0	17	1	0	0.06	0	0	94	6	0	100
			(増粘)	練舟触感		0	1	16	1	0	0.00	0	6	88	6	0	94
	12月	0.0	27-45	フロー目視		0	0	18	0	0	0.00	0	0	100	0	0	100
	11日	2-2	(基②)		18	0	8	15 10	0	0	-0.17 -0.44	0	17	83 56	0	0	83 56
			W/C32.1			0	2	12	1	1	0.06	0	13	75	6	6	81
		2-13	-60	練舟目視	16	2	3	5	5	1	0.00	13	19	31	31	6	62
			(SF60)	練舟触感		3	4	1	7	1	-0.06	19	25	6	44	6	50
		0.11	27-12	フロー目視		0	1	7	7	1	0.50	0	6	44	44	6	88
		2-14	(SL12)	練舟目視	16	0	0	9 8	6	1	0. 50	0	6	56	38	6	94
L				練舟触感		0	1	0	U	1	0.44	0		50	30	6	00

(4) 考察

i) 目視·触感評価結果の分析

各種コンクリートの目視・触感評価結果を分析するために**表 4.2.5.3** に示す比較軸を設定し、それぞれの結果対比を同表に示す対応番号の図において行った.

実機プラントから供給された呼び強度 27,33,39,51 のコンクリート(配合 No.1-1~1-5) について目視・ 触感評価を行った結果を**図 4.2.5.1** に示す.これらの配合は,単位セメント量(51-55 のみ 170kg/m³,その 他は 175kg/m³), 単位粗骨材量 (907kg/m³) を一定条件の下, 所要の強度とスランプフロー (目標値 55cm) が得られるように水セメント比,細骨材率,混和剤添加量を変化させたものである.まず,目視や触感など 判定方法の違いによる評価結果の差異に着目すると, 呼び強度 27~39 のコンクリートについては, フロー目 視に比べて練舟触感の判定値がマイナス側にシフトする傾向が認められた. これに対して, 呼び強度 51 のコ ンクリートについては、フロー目視より練舟触感の判定値がプラス側にシフトする結果となった.これらの 結果は、スランプフロー試験後の目視よりも、練舟上のコンクリートを直接触ることで、より感度高く評価 できることを示しており,スランプフロー試験によって広がったコンクリートの外観の目視では,材料分離 の状態や粘性を十分に評価できない可能性があると言える。また、練舟目視の判定値はフロー目視と練舟触 感の判定値の間にあった.これは,フロー目視がスランプフロー試験後のフローテーブルに薄く広がった状 態のコンクリートを対象としているのに対し,練舟目視ではある程度の深さのある練舟中のコンクリートを 観察することができ、粗骨材の浮き沈みの状態などを検知しやすかったものと考えられる.なお、このよう な判定方法による評価結果の差異の傾向は、その他の配合のコンクリートにおいても同様であった.ただ、 粗骨材の沈降などの材料分離が見られず,適度な粘性を持つものと想定される配合のコンクリート(例えば, 27-35-20N, 33-45-20N, 27-45-20N_s/a=50%, 27-45-20N 増粘剤一液型, 27-12-20N) については, フロー目 視,練舟目視,ならびに練舟触感の評価がほぼ同じ結果になるものも見られた.

図 4.2.5.2 は、単位水量 170kg/m^3 、水セメント比 54.5%、s/a=45.0%一定の下、混和剤添加率のみを変化させてスランプフローを 35、45、55 cm (目標値) としたコンクリート (配合 No. 2-1, 2-3, 2-4) の評価結果である。目標スランプフローが 35 cm のコンクリートは適度な粘性を有しているとの評価であったが、スランプフローが大きくなるにつれて練舟目視や練舟触感の判定値は材料分離側にシフトした。特に、目標スランプフローが 55 cm のコンクリートでは、スランプフロー試験後の目視評価では合格判定率が 84%であり、練舟目視(合格判定率 11%)や練舟触感(合格判定率 5%)による判定を行わなければ材料分離を検知できない可能性が高い。

図 4.2.5.3 は、単位水量 170kg/m³、細骨材率 45.0%、目標スランプフローを 45cm として、単位セメント量を 266、312、350kg/cm³と変化させたコンクリート(配合 No. 2-2、2-5、2-6)の評価結果である。単位セメント量が少ないほど材料分離側の判定値が多くなっていることから、従来型の高性能 AE 減水剤を用いた場合、

比較軸	対応する図番号
実機プラントで製造した呼び強度が異なるコンクリートの対比	図 4. 2. 5. 1
スランプフロー (混和剤添加率) が異なるコンクリートの対比	図 4. 2. 5. 2
単位セメント量が異なるコンクリートの対比	図 4. 2. 5. 3
細骨材率が異なるコンクリートの対比	図 4. 2. 5. 4
単位水量が異なるコンクリートの対比	図 4. 2. 5. 5
普通,中流動(従来型および増粘剤一液型混和剤),高流動コンクリートの対比	図 4. 2. 5. 6
バッチが異なる基準配合コンクリート (27-45-20N) の対比	図 4.2.5.7
強制的に材料分離させたコンクリートの結果	図 4. 2. 5. 8

表 4.2.5.3 目視・触感評価結果の分析比較軸

スランプフロー45cm 程度で十分な材料分離抵抗性を確保するには,ある程度多くの単位セメント量を確保する必要があることが示唆された.

図 4. 2. 5. 4 は、単位水量 170kg/m^3 、水セメント比 54.5%、目標スランプフローを 45 cm として、細骨材率を 40、45、50%と変化させたコンクリート(配合 No. 2-2、2-7、2-8)の評価結果である。細骨材率が低くなる ほど材料分離側の判定値が多くなっており、材料分離のリスクが高まるのではないかと推測される.

図 4. 2. 5. 5 は、単位セメント量 312kg/m^3 、細骨材率 45.0%、目標スランプフローを 45 cm として、単位水量 を 160、170、 180kg/m^3 と変化させたコンクリート(配合 No. 2-2、2-9、2-10)の評価結果である。単位水量 の増加によって練舟触感の判定値は材料分離側に大きくシフトした。

図 4.2.5.6 は、従来型および増粘剤一液型の高性能 AE 減水剤をそれぞれ使用した締固めを必要とする高流動コンクリート(目標スランプフロー45cm、混和剤添加率以外同一配合、配合 No.2-11)と、スランプ 12cm の普通コンクリート(配合 No.2-14)、ならびに目標スランプスロー60cm の従来型高性能 AE 減水剤を用いた自己充塡性を有する高流動コンクリート(配合 No.2-13)の評価結果である。増粘剤一液型の高性能 AE 減水剤を用いた場合の変化については、フロー目視では検知できなかったが、練舟目視や練舟触感の判定結果には差異が表れており、増粘剤一液型の高性能 AE 減水剤により材料分離抵抗性が大幅に改善されたものと考えられた。また、スランプ 12cm の普通コンクリートについては、いずれの評価方法においても合格判定率が 9割程度となっており、スランプフローとしては自己充塡性を有する高流動コンクリートの範疇にはないが、材料分離の観点で十分な抵抗性を有しているものと判定された。

目標スランプフロー60cmの自己充填性を有する高流動コンクリートについては、各評価方法、特に練舟触感の判定において、判定値がマイナス側とプラス側に割れた.これは、この自己充填性を有する高流動コンクリートが高い粘性を有しているにもかかわらず、粗骨材が沈降するといった材料分離の兆候が見られたことによるものと推察される.つまり、材料分離と粘性の高さのいずれを重要視して判定したかによって判定が大きく異なる結果になったのではないかと思われる.このように、単位セメント量が 500kg/cm³を超えるような粉体量の多い自己充填性を有する高流動コンクリートでは、高い粘性を有しながらも粗骨材が沈降するといった現象も起こりえることから、本検討に適用した目視・触感評価の判定基準は必ずしも適用できないことが明らかとなった.このようなコンクリートも対象とする場合は、材料分離状態の評価軸と粘性の評価軸を分離し、個別に判定を行うのが妥当かも知れず、今後の検討課題としたい.

図 4. 2. 5. 7 は、本共通試験において基準配合としたコンクリート (27-45-20N) の別バッチ (配合 No. 2-1, 2-2) の評価結果を比較したものである. ほぼ同様な評価結果となったが、配合 No. 2-2 のコンクリートを対象とした練舟触感の「-1」判定が若干多くなった. 判定者が完全に同じでないこともあり、直接的な因果関係を検証することはここでは難しいが、配合 No. 2-1 のコンクリートのスランプフロー値は 47.0cm と配合 No. 2-2 (47.5cm) と変わりない. 一方、30分後のスランプフロー値はそれぞれ 32.0cm (配合 No. 2-1)、40.0cm (配合 No. 2-2) であり差があった. この要因としては、高性能 AE 減水剤や AE 剤の添加率が配合 No. 2-2 のコンクリートで大きいことが挙げられる. また、空気量、スランプフローの流動時間にも若干の相違が認められたが、再現性の確認も含め、今後より詳細な検討が必要と考えられる.

図 4. 2. 5. 8 は、単位水量を 175kg/m³として単位セメント量を 274kg/m³まで減じ (水セメント比 63. 9%)、明らかな材料分離を生じることを意図して配合したコンクリート (配合 No. 2-12) の評価結果である。練舟触感の「-2」判定の占有率が 67%と最も高いにもかかわらず、フロー目視では判定値 0 の占有率が 67%となっており、フロー目視では材料分離の判定は難しいと考えられた。フロー目視に比べて練舟触感の判定値がマイナス側にシフトする傾向が認められ、これは図 4. 2. 5. 1 で示した傾向と同様である。

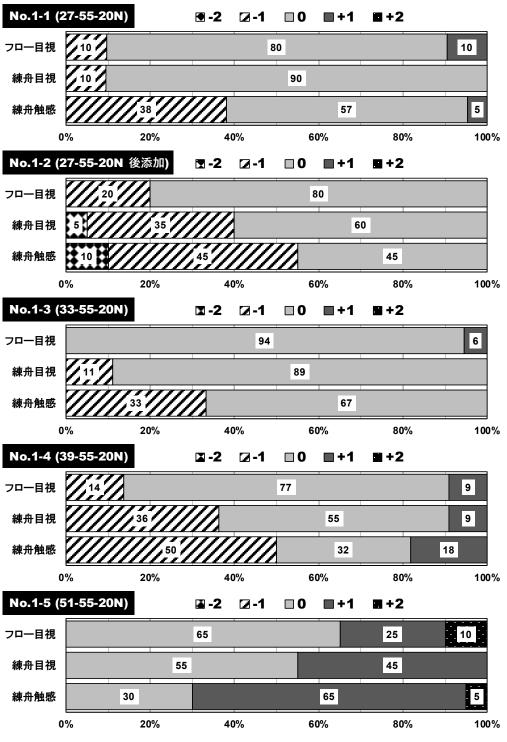


図 4.2.5.1 実機プラント製造コンクリートの目視・触感評価結果の比較

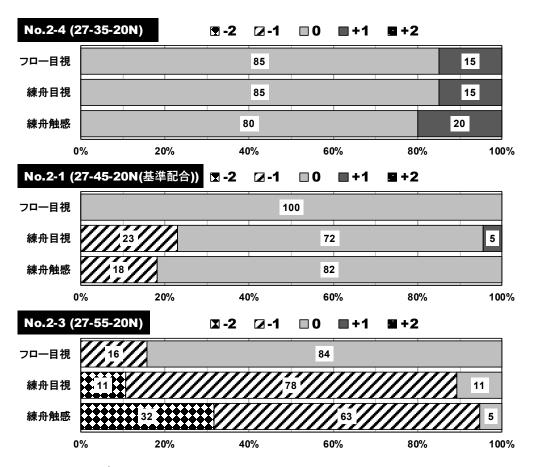


図 4.2.5.2 スランプフロー (混和剤添加率) が異なるコンクリートの目視・触感評価結果の比較

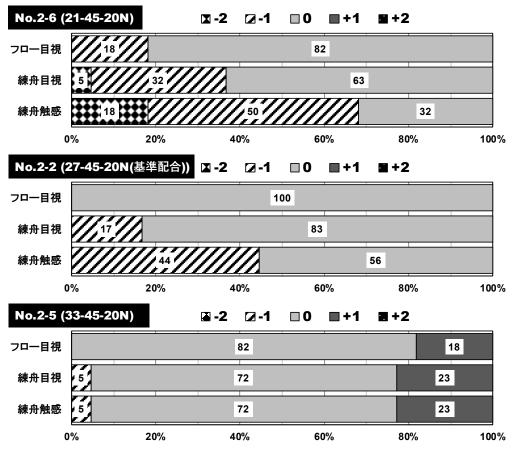
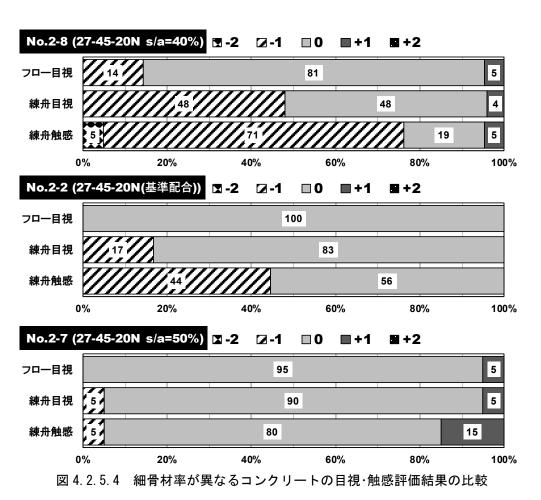


図 4.2.5.3 単位セメント量が異なるコンクリートの目視・触感評価結果の比較



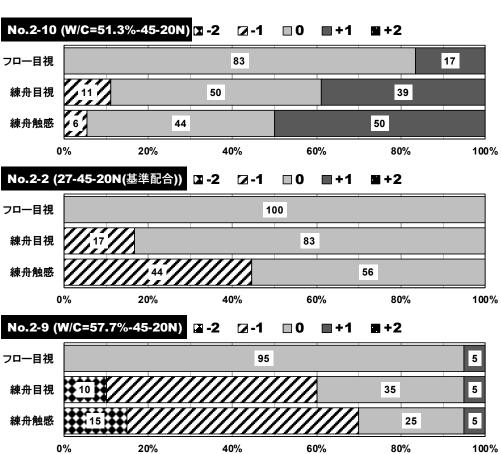


図 4.2.5.5 単位水量が異なるコンクリートの目視・触感評価結果の比較

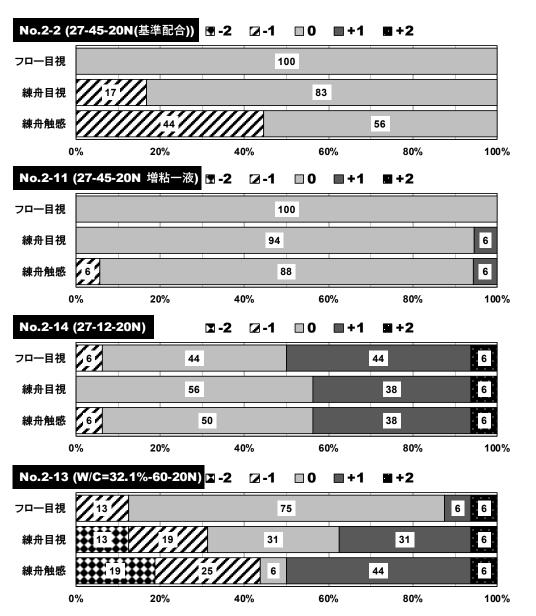


図 4. 2. 5. 6 締固めを必要とする高流動コンクリート (従来型および増粘剤一液型高性能 AE 減水剤使用), および普通コンクリート, 高流動コンクリートの目視・触感評価結果の比較

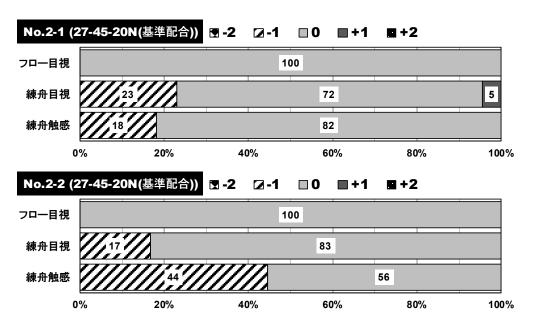


図 4.2.5.7 バッチが異なる基準配合コンクリートの目視・触感評価結果の比較

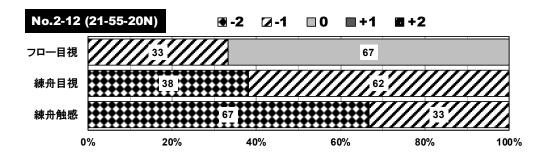


図 4.2.5.8 明らかな材料分離を生じたコンクリートの目視・触感評価結果

以上,各配合の材料分離抵抗性について,フロー目視,練舟目視,および練舟触感による評価結果を示した.「練舟中のコンクリートを対象とした触感判定」が,材料分離抵抗性を比較的感度良く判定可能であることが示されたが,ここではフロー目視と練舟目視の評価結果との対応を,判定結果「0」と「+1」の和である『合格判定率』を対比軸として分析する.

次頁の図 4.2.5.9 は、フロー目視評価と練舟触感評価の合格判定率を、それぞれの配合について対比したものである。いずれの配合のコンクリートも合格判定率がおよそ 70%以上となるスランプフローの目視による評価に対し、練舟中のコンクリートを対象とした触感による評価では、配合の特徴に応じて材料分離抵抗性に対する評価結果が大きく異なっていることが分かる。対して、図 4.2.5.10 に示すとおり、練舟中のコンクリートに対する目視評価の結果は、触感評価と比較的相関が強い結果となった。これは、前述のとおり、スランプフローテーブル上に薄く広がったコンクリートよりも、ある程度の深さのある練舟中のコンクリートの方が粗骨材の沈降程度などを把握しやすく、材料分離抵抗性を評価しやすいものと考えられた。

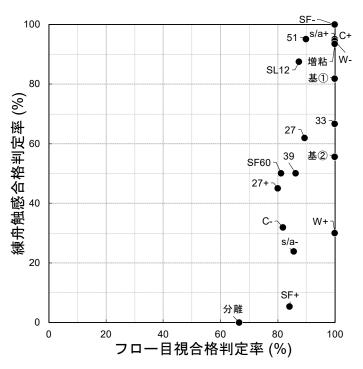


図 4.2.5.9 フロー目視評価と練舟触感評価の合格判定率の対比

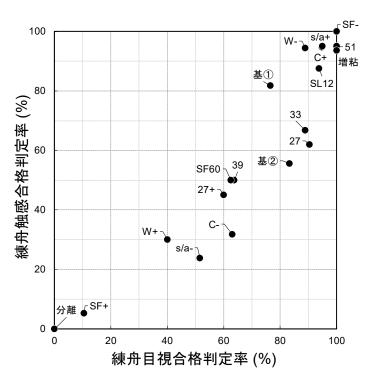


図 4.2.5.10 練舟目視評価と練舟触感評価の合格判定率の対比

ii) スランプフローと練舟触感評価の合格判定率の関係

図 4.2.5.11 では、コンクリートのスランプフロー値と触感評価における合格判定率を対比した. スランプフローが 45~55cm 程度の範囲にあった今回の実験条件においても、コンクリートの材料分離抵抗性がスランプフローの大小によって一義的に定まるものではないことが確認された. 振動締固めによって粗骨材の沈降などの材料分離現象が誘発される可能性があるコンクリートにおいては、スランプフローといった流動性の指標の他に、材料分離抵抗性の担保に有用な評価指標が必要であることが示唆される結果と捉えられる.

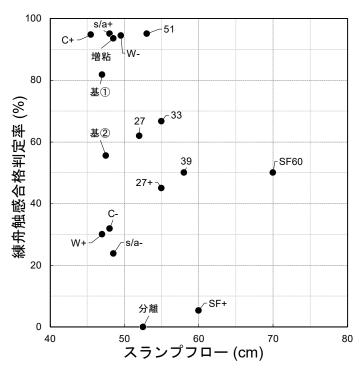


図 4.2.5.11 スランプフローと練舟触感評価合格判定率の対比

iii)触感評価の合格判定率と粗骨材沈下試験結果の関係

図 4.2.5.12 に、触感評価における合格判定率と粗骨材沈下試験の結果(加振時間 10 秒における粗骨材残存率)の関係を示す。触感評価の合格判定率が高いほど、測定された粗骨材残存率も高くなる傾向が見られたが、同程度の合格判定率においても粗骨材残存率の測定結果に大きな差異も認められた。これは、ハンドスコップを用いた触感評価によって、本検討配合の条件において、棒状バイブレータを用いた場合の材料分離の可能性までを確からしく判定することはかなり難しいことを示唆している。

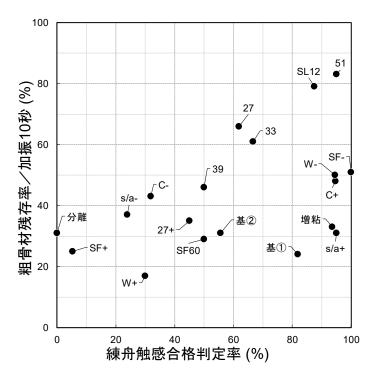


図 4.2.5.12 練舟触感評価における合格判定率と粗骨材沈降試験結果の対比

iv) 触感評価の合格判定率と模擬型枠の充塡により生じる材料分離現象の関係

Step1 のみを対象とし、触感評価における合格判定率と模擬型枠の充填により生じる材料分離現象の関係について検討した. 図 4.2.5.13 および図 4.2.5.14 に、触感評価における合格判定率と模擬型枠の充填による試験の対象となった Step1 の 5 つの配合では、触感評価の合格判定率が低いものの中で特に「配合 No. 1-4, 39-55」は最終流動距離が大きくなり、同じく合格判定率の低い「配合 No. 1-2, 27-55 後添加」もその他の配合に比べると大きな最終流動距離を示した。合格判定率がおよそ 60%以上のその他のコンクリートでは、最終流動距離が 2,100~2,200mm となった。最終流動距離が 2,500mm 程度となった「配合 No. 1-4,39-55」のコンクリートでは、流動先端部の粗骨材分離度が 40%程度と高く、モルタル分の多いコンクリートが振動締固めにより先流れした結果と見ることができた。一方、粗骨材分離度については、練舟触感評価における合格判定率が低くなるほど、模擬型枠の充填により生じる粗骨材残存率が低下する傾向が確認され、高い相関関係が認められた。模擬型枠の充填による試験は、加振によって先送りされたコンクリート先端部の粗骨材残存率を調べるものであり、コンクリートが横移動する際の粗骨材の保持性の評価を意図したものである。このような性状についても、触感評価が有用であることが分かった。

以上から、材料分離抵抗性評価の一手法として目視評価や触感評価について詳細検討した結果、触感評価の合格判定率は模擬型枠の充填による試験結果とも強い相関が認められ、締固めを必要とする高流動コンクリートの材料抵抗性を評価できる有効な試験方法であることを示した。Step2 の配合条件など、今後より広範な性状や配合のコンクリートを対象に適用性の検証を進めていく必要がある。

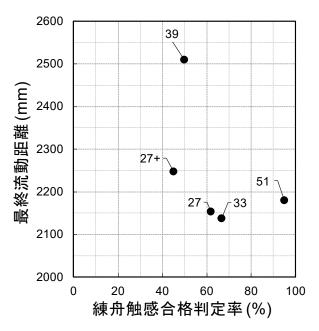


図 5.2.1.1 練舟触感評価における合格判定率と 最終流動距離の対比

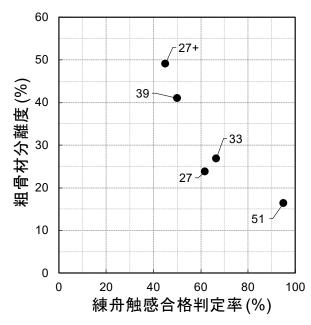


図 5.2.1.2 練舟触感評価における合格判定率と 粗骨材分離度の対比

(執筆者:蔵重 勲, 大塚 拓)

参考文献

- 1) 湯本哲也ほか:増粘剤一液型高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの流動性に関する実験的検討(その1~4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017.8
- 2) 河野政典ほか:高流動性コンクリートの材料分離抵抗性の評価に関する研究(その1~9),日本建築学会大会学術講演会梗概集,2018.9

(執筆者: 蔵重 勲, 大塚 拓)

4.2.6 円筒貫入試験

4.2.6.1 概要

現状,締固めを必要とする高流動コンクリートは,フレッシュ時の品質を評価する試験方法が定められていない. そこで,本試験では,締固めを必要とする高流動コンクリートのフレッシュ時の品質である材料分離抵抗性等を評価する試験方法の一つとして円筒貫入試験の適用性を検討した.

4.2.6.2 試験方法

円筒貫入試験は、既往の報告 1)2) を参考として以下の方法で行った. 試験状況を写真 4.2.6.1 に示す.

- ①試験容器 (5 リットルのジョッキまたは ϕ 150mm のモールド) にコンクリートの試料を詰める.
- ②試験容器を木槌で数回叩き、上面を平坦にする.
- ③円筒貫入計を挿入開始から3秒間で試料中に235mm 挿入する.
- ④挿入完了から10秒後に円筒貫入計を引き抜く.
- ⑤円筒貫入計を地面で軽微に150回叩き振動を与える.
- ⑥円筒貫入計の内壁に付着したモルタルを、スポイト等の水で落とす.
- ⑦円筒貫入計の内部に流入したモルタルの高さを測定して、流入モルタル値とする.



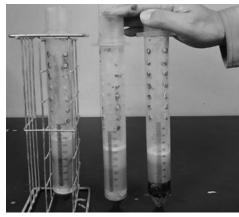


写真 4.2.6.1 円筒貫入試験の試験状況

4.2.6.3 円筒貫入試験の結果および考察

(1) Step1 と Step2 の結果

円筒貫入試験の Step1 と Step2 の結果を表 4.2.6.1 と表 4.2.6.2 に示す.

表 4.2.6.1 円筒貫入試験の結果 (Step1)

実施日	配合	呼び方		流入モルタ	標準偏差	変動係数		
天旭日	No.	FOO	1回目	2回目	3回目	平均值	宗 中 佣 左	(%)
2010 /0 /21	参考	33-55-20N	47	_	_	-	_	_
2019/8/21	1-3	33-55-20N	35	35	24	31. 3	6. 4	20. 3
	1-1	27-55-20N	24	22	21	22. 3	1.5	6. 8
	1-2	27-55-20N	90	31	0.1	90.0	1.7	E O
2019/8/22		後添加	28		31	30. 0	1. 7	5. 8
	1-4	39-55-20N	39	49	43	43. 7	5. 0	11.5
	1-5	51-55-20N	37	29	33	33. 0	4.0	12. 1

表 4.2.6.2 円筒貫入試験の結果 (Step2)

						<u> </u>		
実施日	配合	呼び方		流入モルタ	標準偏差	変動係数		
大 旭日	No.	呼い方	1回目 2回目		3回目 平均値		保华佣左	(%)
2019/11/19	2-12	21-55-20N	42	52	44	46.0	5.3	11.5
	2-1	27-45-20N	27	38	26	30.3	6. 7	22.0
2019/11/20	2-3	27-55-20N	55	59	37	50.3	11.7	23. 3
	2-4	27-35-20N	28	29	_	28.5	0.7	2. 5
	2-5	33-45-20N (C+)	32	32	30	31. 3	1.2	3. 7
	2-6	21-45-20N (C-)	29	32	23	28. 0	4.6	16. 4
2019/12/10	2-7	27-45-20N (s/a+)	20	24	20	21. 3	2. 3	10.8
	2-8	27-45-20N (s/a-)	56	58	45	53. 0	7. 0	13. 2
	2-9	27 (24) -45-20N (W+)	48	47	36	43. 7	6. 7	15. 2
	2-10	27 (30) -45-20N (W-)	23	30	23	25. 3	4.0	16. 0
	2-11	27-45-20N 増粘一液タイプ	24	30	25	26. 3	3. 2	12. 2
2019/12/11	2-2	27-45-20N 基準配合	39	42	27	36. 0	7. 9	22. 0
	2-13	65-20N 自己充塡性を有する 高流動コンクリート	43	40	37	40.0	3. 0	7. 5
	2-14	27-12-20N AE 減水剤	13	12	9	11.3	2. 1	18. 4

円筒貫入試験の試験方法は、前述のように既往の報告 $^{1/2)}$ を参考とした.ただし、同一試料において実施しなければならない試験回数に関する規定等はみられなかったため、今回は $^{1/2)}$ を参考とした. 統固めを必要とする高流動コンクリートの流入モルタル値は、 $^{1/2}$ を $^{1/2}$ を $^{1/2}$ を $^{1/2}$ を $^{1/2}$ の $^{1/2}$ の $^{1/2}$ の $^{1/2}$ の $^{1/2}$ の $^{1/2}$ で $^{1/$

(2) 配合条件と円筒貫入試験の関係

配合条件と流入モルタル値の関係を図 4. 2. 6. 1~図 4. 2. 6. 6 に示す. 混和剤の添加量のみが異なる配合 2-1,配合 2-2,配合 2-3 および配合 2-4 では,スランプフローの増大に伴って流入モルタル値が大きくなった.また,混和剤の種類のみが異なる配合 2-1,配合 2-2 および配合 2-11 では,増粘剤一液タイプを使用した配合 2-11 の流入モルタル値が小さくなった.これらより,配合が同じであれば,流入モルタル値は,流動性が大きくまた粘度が小さくなるほど増大するといえる.

一方,配合が異なる場合,細骨材率の減少や単位水量の増大など材料分離を引き起こすと考えられる要因については、流入モルタル値は、いずれも増大する傾向を示した。しかしながら、単位セメント量の減少は、流入モルタル値を増大させず、逆に流入モルタル値を減少させる結果となった。これは、図 4.2.6.7 に示すようにモルタル中の細骨材量による影響と考えられ、単位セメント量が減少しても細骨材量が増大したことで、円筒貫入計の穴をモルタルが流入しにくくなったことためと考えられる。これらより、流入モルタル値は、配合による影響を大きく受けると考えられる。

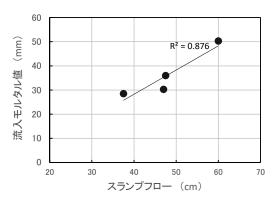
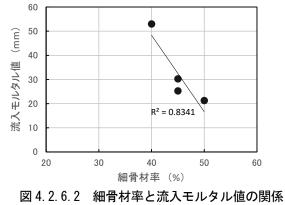


図 4.2.6.1 スランプフローと流入モルタル値の関係



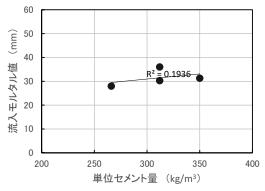


図 4.2.6.3 単位セメント量と流入モルタル値の関係

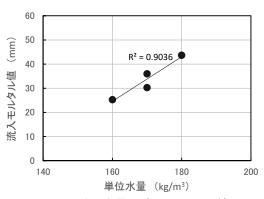


図 4.2.6.4 単位水量と流入モルタル値の関係

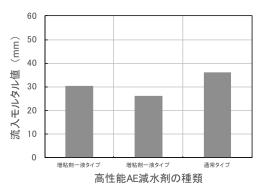


図 4. 2. 6. 5 高性能 AE 減水剤の種類と 流入モルタル値の関係

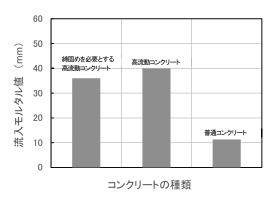


図 4.2.6.6 コンクリートの種類と 流入モルタル値の関係

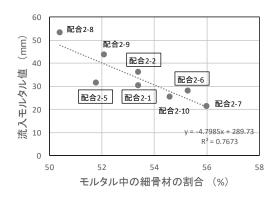


図 4.2.6.7 モルタル中の細骨材の容積割合と流入モルタル値の関係

(3) コンクリート、モルタルの流動性と円筒貫入試験の関係

スランプフローと流入モルタル値の関係を**図 4. 2. 6. 8**, モルタルフローと流入モルタル値の関係を**図 4. 2. 6. 9** に示す.

流入モルタル値は、スランプフローやモルタルフローが大きくなるほど増大したが、明確な相関関係は認められなかった。また、同じスランプフローやモルタルフローでも流入モルタル値は大きく異なることが確認された。これより、流入モルタル値は、コンクリートやモルタルの流動性だけでなくこれらの塑性粘度や配合による影響を大きく受けるものと推察される。

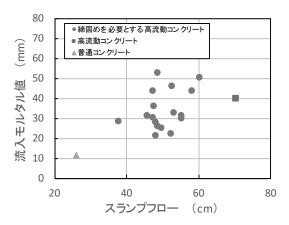


図 4.2.6.8 スランプフローと流入モルタル値の関係

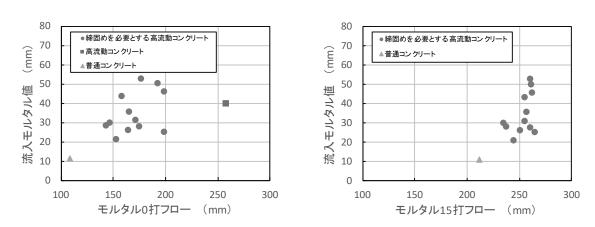
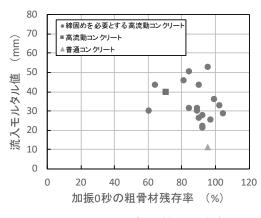


図 4.2.6.9 流入モルタル値とモルタルフローの関係

(左:0打,右:15打)

(4) 粗骨材沈下試験と円筒貫入試験の関係

粗骨材沈下試験における粗骨材残存率と流入モルタル値の関係を**図 4.2.6.10** に示す. 加振時間 0 秒では, 粗骨材残存率と流入モルタル値には明確な関係が認められなかった. 一方, 加振時間が 10 秒の場合は, 明確な相関関係は認められないが, 粗骨材残存率が減少すると流入モルタル値が増大する傾向はみられた.



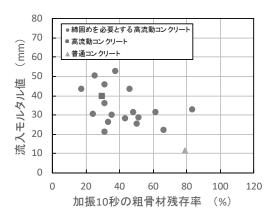


図 4. 2. 6. 10 粗骨材沈下試験における粗骨材残存率と流入モルタル値の関係 (左:加振時間 0 秒, 右:加振時間 10 秒)

(5) 加振が円筒貫入試験に及ぼす影響

締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性を評価する試験方法は、粗骨材沈下試験のように実際の加振による品質の変化を直接的に評価できることが望ましい。そこで、円筒貫入試験後の試料を試験容器ごとモルタルフローテーブルに載せて15打の加振(打撃)を与え、再度、円筒貫入試験を行った。試験結果を表4.2.6.3に、粗骨材沈下試験の加振10秒の粗骨材残存率と流入モルタル値の変化率(加振後の流入モルタル値/加振前の流入モルタル値)の関係を図4.2.6.11に示す。流入モルタル値の変化率は、加振によって変化しない、もしくは増大する傾向を示すと考えられるが、今回は減少する配合もみられた。また、加振による粗骨材残存率と流入モルタル値の変化率に明確な関係はみられなかった。これは、通常の円筒貫入試験後に15打の加振を与えたため、経時変化による影響を大きく受けたことに起因すると考えられ、今回の試験の範囲では、加振が円筒貫入試験の結果に及ぼす影響について明確とならなかった。

表 4.2.6.3 加振前後の流入モルタル値の変化率

実施日	配合 No.	呼び方	流入モルタル値 (mm)	15 打後 流入モルタル値 (mm)	流入モルタル値 の変化率
2019/11/19	2-12	21-55-20N	46. 0	_	-
	2-1	27-45-20N	30. 3	_	-
2019/11/20	2-3	27-55-20N	50. 3	54. 7	1.09
	2-4	27-35-20N	28. 5	28. 5	1.00
	2-5	33-45-20N (C+)	31. 3	29. 3	0. 94
	2-6	21-45-20N (C-)	28. 0	47. 0	1. 68
2019/12/10	2-7	27-45-20N (s/a+)	21. 3	21.0	0. 99
	2-8	27-45-20N (s/a-)	53. 0	46. 3	0. 87
	2-9	27 (24) -45-20N (W+)	43. 7	44. 0	1. 01
	2-10	27 (30) -45-20N (W-)	25. 3	36. 3	1. 43
	2-11	27-45-20N 増粘一液タイプ	26. 3	32. 3	1. 23
2019/12/11	2-2	27-45-20N 基準配合	36. 0	47.7	1. 33
	2-13	65-20N 自己充塡性を有する 高流動コンクリート	40. 0	31.0	0. 78
	2-14	27-12-20N AE 減水剤	11. 3	18.7	1. 65

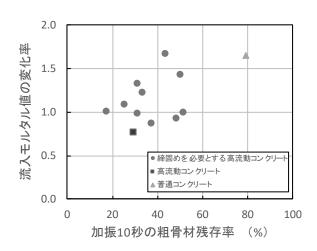


図 4.2.6.11 粗骨材沈下試験の加振 10 秒における粗骨材残存率と流入モルタル値の変化率との関係

参考文献

- 1)藤原貴央,野中英,三谷和裕:円筒貫入計を用いたコンクリートの試験方法に関する検討(その1実験概要およびばらつき,試験容器の直径の影響),日本建築学会学術講演梗概集(東北),pp.895-896,2018.9
- 2) 野中英,三谷和裕,藤原貴央:円筒貫入計を用いたコンクリートの試験方法に関する検討(その2試験方法に関する検討),日本建築学会学術講演梗概集(東北),pp.897-898,2018.9
- 3) 日本建築学会:高流動コンクリートの材料・調合・施工指針(案)・同解説, pp. 158, 1997.1
- 4) 桜井邦昭:高流動コンクリートに求められる性能とその評価試験方法, コンクリート工学, vo153, No. 8, pp. 721-727, 2015.8

(執筆者:西脇 敬一, 小林 竜平, 檜垣 誠, 根本 浩史)

4.2.7 ふるい分離試験

4.2.7.1 概要

締固めを必要とする高流動コンクリートのフレッシュ時の品質を評価する試験方法として、ヨーロッパ連合域内の統一規格 European Norm (以下、EN 規格と称す) のふるい分離試験 ^{1),2)}を改良した試験方法 ³⁾について、配合条件を変化させた試験を行い、適用性を検討した.

4.2.7.2 試験方法

本 WG で実施したふるい分離試験方法を表 4.2.7.1, 試験状況を写真 4.2.7.1 に示す. ふるい分離試験方法 は, EN 規格と(一社)日本建設業連合会「建築分野における高流動コンクリートの普及に関する WG」の試験方法を参考とした.

表 4.2.7.1 本 WG のふるい分離試験方法

項	. 目	試験方法			
		【Step1:2019/8/21-22 実施】			
		① 2 回分の試料(11~20kg 程度)をバケツに取り分け,ハンドスコップで更に 4.8kg(約 2L)			
試料の採取方法		分をジョッキに取り分ける(静置なし)			
		【Step2:2019/11/19-20, 12/10-11 実施】			
		①練舟からハンドスコップにより 4.8±0.2kg の試料をジョッキに取り分ける(静置なし)			
試料のふるい落下	方法	②高さ 50cm から 5mm ふるいに落下させ、試料の落下時間を 30 秒とする (写真 4.2.7.1 a))			
モルタル質量の測定方法		③試料の落下2分後に、ふるいを通過したモルタル質量を測定する			
		④上記手順後に,JISA1101「コンクリートのスランプ試験方法」に用いる突き棒を高さ10cm			
突き棒の打撃方法		から,ふるい枠の上面に設置した角材に 10 回の自由落下にて打撃する			
		⑤10回目の落下1分後に、ふるいを通過したモルタル質量を測定する(写真4.2.7.1 b))			
		【Step1:2019/8/21-22 実施】			
試験回数		・上記手順により試験毎に試料を採取して複数回実施した			
武峽凹级		【Step2:2019/11/19-20, 12/10-11 実施】			
		・2試料を同時に採取して実施した			
	材料分離抵抗値	(ふるい通過モルタル分の質量)/(落下前コンクリート試料の質量)×100			
通過モルタルの	SR (%)	(ふるい)			
指標	モルタル採取率	(打撃後ふるい通過モルタル分の質量)/(落下前コンクリート試料中の配合上モルタル分の			
•	X.10 (%)	質量)×100			



a) 試料のふるい落下の状況



b) 突き棒の打撃の状況 写真 4.2.7.1 試験状況

4.2.7.3 試験結果および考察

(1) 試験結果

ふるい分離試験結果を表 4.2.7.2 および表 4.2.7.3 に示す.

表 4.2.7.2 ふるい分離試験結果 (Step1)

		配合条件*1)	材料分離抵抗值 SR(%)				モルタル採取率 X _{m10} (%)			
実施日	配合 No.		1回目	2 回目	3 回目	採用値 *2)	1回目	2 回目	3 回目	採用値 *2)
2019/8/21	1-1	33-55	2. 43	1. 92	_	2. 43	5. 82	5. 50	_	5. 82
	1-2	27-55(1)	1. 13	0. 94	_	1. 13	3. 27	2. 50	_	3. 27
2019/8/22	1-3	27-55(2)	1. 27	0. 95	-	1. 27	2. 86	1. 93	-	2.86
	1-4	39-55	15. 49	8. 58	4. 20	15. 49	31. 51	17. 24	10. 32	31. 51
	1-5	51-55	1. 92	1. 02	-	1. 92	5. 36	2. 42	_	5. 36

^{*1)} 配合条件:例 33-55 は,呼び強度,スランプフロー(cm)

表 4.2.7.3 ふるい分離試験結果 (Step2)

47.1/2 .0	配合	エフ ヘ 々 <i>(</i> 山 *1)	材料分	ì離抵抗値 S	SR (%)	モルタル採取率 X _{m10} (%)		
実施日	No.	配合条件*1)	1	2	平均値	1	2	平均値
2019/11/19	2-1	21-55	7. 05	8. 04	7. 54	21. 05	19. 75	20.40
	2-2	27-45	1.62	1. 56	1. 59	5. 18	5.81	5. 49
2019/11/20	2-3	27-55	9. 29	5. 14	7. 22	20. 41	13. 19	16.80
	2-4	27-35	1. 23	1. 18	1. 21	3. 36	3.77	3. 57
	2-5	33-45	1. 77	1. 73	1. 75	7. 89	7. 33	7. 61
	2-6	21-45	1. 98	2. 14	2.06	8. 17	8. 49	8. 33
2019/12/10	2-7	27-45 (s/a50%)	1. 22	2. 54	1. 88	4. 76	6.63	5. 70
	2-8	27-45 (s/a40%)	4. 09	2. 26	3. 18	13. 92	12. 19	13. 06
	2-9	W/C57.7%-45 (W180)	2. 70	1. 72	2. 21	9. 22	7. 24	8. 23
	2-10	W/C51.3%-45 (W160)	2. 29	1. 79	2. 04	7. 38	6.86	7. 12
	2-11	27-45(増粘剤一液タイプ)	1. 60	1. 67	1. 64	5. 49	5. 72	5. 60
2019/12/11	2-12	27-45 (基準配合)	3. 40	2. 54	2. 97	10. 90	11. 12	11. 01
	2-13	W/C32%-60 (高流動配合)	18. 56	21. 28	19. 92	32. 11	36. 26	34. 18
	2-14	27-12 (AE 減水剤配合)	0.33	0.45	0.39	1. 39	1. 12	1. 26

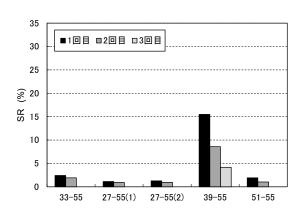
^{*1)} 配合条件: 例 21-55 は、呼び強度-スランプフロー (cm), s/a は細骨材率、W/C は水セメント比、W は単位水量

^{*2) 1}回目の試験結果を採用値とした

(2) 試験方法

Step 1 にて試験毎に試料を採取した材料分離抵抗値 SR の各値を図 4.2.7.1 に, モルタル採取率 X_{m10}の各値 を図4.2.7.2に示す.試験回数の増加にしたがって,材料分離抵抗値SRおよびモルタル採取率 X_{mio}は減少し, 1回目に対して2回目の値は0.45~0.95倍と半分以下となるケースがあった.これは,経時による性状の変 化およびバケツから一回分の試料をジョッキに取り分けた際のバラツキに起因すると考えられる。目視にお いても、時間の経過とともにバケツ中の試料の流動性が低下しているように感じられたことや、試験終了後 のバケツに残った試料に粗骨材が多く残っていたことが確認された. したがって, Step2 でのふるい分離試 験では、経時変化を抑えるため、試験器具を2組用意して、同時に試験を実施し、試料採取時のバラツキを 抑えるため、練舟から1回毎の試料を採取した.

以上より、本節の SR および X_{ml0}の採用値には、Step1 では 1 回目の試験値、Step2 では 2 回の平均値を用 いた.



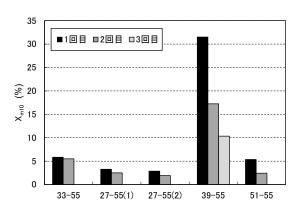


図 4.2.7.1 材料分離抵抗値 SR(試験毎に試料採取) 図 4.2.7.2 モルタル採取率 Xm10(試験毎に試料採取)

(3) 配合条件とふるい分離試験の関係

細骨材率 s/a と SR および X_{m10}の関係を**図 4.2.7.3** に,単位水量と SR および X_{m10}の関係を**図 4.2.7.4** に, 単位セメント量と SR および X_{m10}の関係を図 4.2.7.5 に示す. 細骨材率 s/a の増加に伴って, ふるい分離試験 の材料分離抵抗値 SR およびモルタル採取率 X_{m10}は低下しており、明確な相関が認められた. モルタル中の細 骨材量の増加によって粘性が高くなることで、ふるいを通過するモルタル量が小さくなったと考えられる. 一方で、単位セメント量、単位水量には明確な関係は見られなかった.

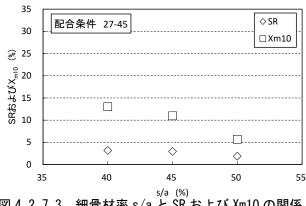
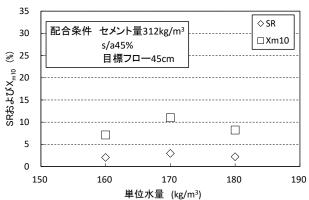


図 4.2.7.3 細骨材率 s/a と SR および Xm10 の関係



単位水量と SR および Xm10 の関係 図 4.2.7.4

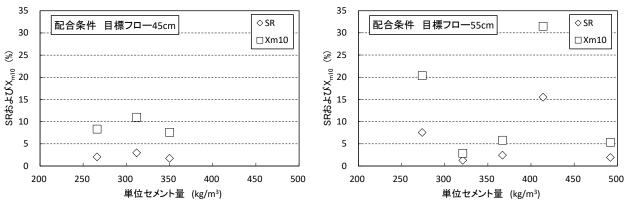
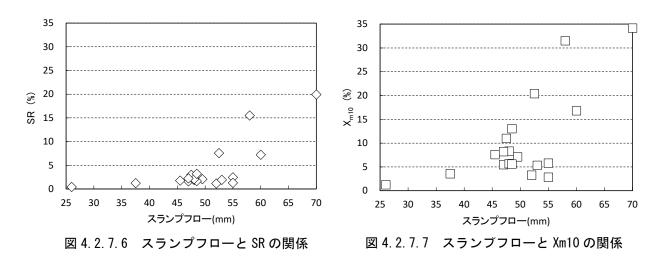


図 4.2.7.5 単位セメント量と SR および Xm10 の関係

(4) スランプフローとふるい分離試験の関係

スランプフローと SR の関係を図 4. 2. 7. 6 に、スランプフローと Xm_{10} の関係を図 4. 2. 7. 7 に示す。スランプフローが大きくなるほど、材料分離抵抗値 SR およびモルタル採取率 X_{m10} が大きくなっており、ふるい分離試験の SR および X_{m10} とスランプフローにある程度の相関が認められたが、同程度のスランプフローにおいても粗骨材残存率の測定結果に大きな差異も認められた。また、振動締固めの影響を考慮した突き棒打撃による X_{m10} は、SR に比べて絶対値は増大するが、スランプフローとの相関に顕著な差は見られなかった。



(5) 粗骨材沈下量評価試験の加振時間 10 秒の粗骨材残存率とふるい分離試験の関係

粗骨材の沈下量評価試験の加振時間 10 秒の粗骨材残存率と SR の関係を図 4. 2. 7. 8 に,加振時間 10 秒の粗骨材残存率と X_{m10} の関係を図 4. 2. 7. 9 に示す。加振時間 10 秒の粗骨材残存率が大きくなるにしたがって,材料分離抵抗値 SR およびモルタル採取率 X_{m10} は減少する傾向が見られ,SR に比べて,振動締固めを考慮した X_{m10} の方がある程度の相関が認められたが,同程度の X_{m10} においても粗骨材残存率の測定結果に大きな差異も認められた。

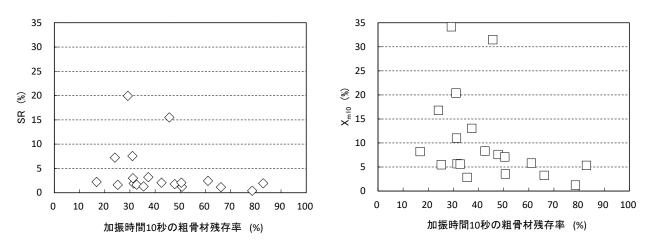


図 4.2.7.8 10 秒加振の粗骨材残存率と SR の関係 図 4.2.7.9 10 秒加振の粗骨材残存率と Xm10 の関係

参考文献

- 1) Testing fresh concrete part11 self-compacting concrete Sieve segregation test, EN 12350-11(2010)
- 2) 桜井邦昭: 高流動コンクリートに求められる性能とその評価試験方法, コンクリート工学, Vol. 53, No. 8, pp. 721-727, 2015. 8
- 3) 加藤淳司,金森誠治,唐沢智之,太田貴士,金子樹:高流動コンクリートの材料分離抵抗性評価に関する研究(その3 フェーズ1円筒貫入試験およびふるい分離試験),日本建築学会大会学術講演梗概集, 2818.9

(執筆者:廣中 哲也,中水 高博)

4.2.8 U形充填試験

4.2.8.1 概要

自己充塡性を有する高流動コンクリートの充塡性を評価するための試験方法として,土木学会基準 JSCE-F 511-2018「高流動コンクリートの充塡試験方法(案)」¹⁾ が制定されている。本検討では,この試験方法に規定されている U 形容器を用いて,締固めを必要とする高流動コンクリートの間隙通過性や材料分離抵抗性等の充塡性の評価の可否について検討した。

4.2.8.2 試験方法

U 形容器を用いた充塡性試験(以下,U 形充塡試験と称す)では,コンクリートの加振に伴う材料分離等を考慮した充塡性を評価すべく,試行的に以下の 2 通りの試験方法にて評価を行った.試験に使用した充塡装置を図 4.2.8.1 に示す.また,それぞれ試験における試験手順を図 4.2.8.2 に示す.試験には JSCE-F 511-2018 に準拠して流動障害 R2 を適用した.なお,先行して実施した Step1 では試験①のみを実施しており,比較として流動障害 R3(障害なし)についても同様の試験を実施した.

本試験の対象とするのは、「締固めを必要とする高流動コンクリート」である。したがって、バイブレータによる加振は不可欠であるが、コンクリートの性状に応じて必要な加振時間は異なるものと考えられる。そこで、試験①では、B室での充塡高さが300mmに達するのに必要な加振時間と粗骨材の沈下量評価試験より得た材料分離が生じる加振時間を比較することで、材料分離が生じない程度の加振時間で自己充塡性を有する高流動コンクリートと同等の充塡性を満足できるか否かを確認した。また、試験②では、仕切りゲートを開放する前にコンクリートに振動を加えることで、材料分離しやすいコンクリートほど充塡しにくい状態を模擬した。これより、加振による材料分離を考慮したコンクリートの充塡性から材料分離抵抗性を評価し、粗骨材の沈下量評価試験の代替として、または前記試験と併用することで評価の信頼性が向上する試験方法として、活用の可否を検討した。

(1) 試験① (仕切りゲート開放前加振なし)

- ①-1 : 仕切りゲートを閉じた状態で、U 形容器の A 室にコンクリート試料を 3 層に分けて各層 5 回突き棒で突固めを行う。
- ①-2:金ごて等を用いて余分な試料を取り除き、容器上端に合わせて均して1分間静置する.その後、 棒状のバイブレータをA室中央に静かに挿入する.その際、バイブレータの先端と容器の底面との 間隔が100mmとなるようにする.
- ①-3:バイブレータが停止している状態で仕切りゲートを開き、試料の流動を観察し、流動が停止したことを確認する. その際、図 4.6.2に示す充填高さ、仕切りゲート開放から停止までの時間(充填停止時間)を測定する.
- ①-4 : A 室に挿入したバイブレータを始動し、B 室の充塡高さが 190mm, 300mm および 350mm に到達するまでの時間 t_{190} (s), t_{300} (s) および t_{350} (s) を測定する. なお、仕切りゲート開放時の充塡高さが 190mm を越えている場合は 190mm の測定は省略する.
- ①-5: A 室および B 室の上層部のコンクリート試料を細骨材の実積率試験用容器にて 2L 採取し、洗い分析試験を行い、示方配合の単位粗骨材量から粗骨材残存率を算定する.

(2) 試験②(仕切りゲート開放前加振あり)

②-1 :試験①の Step1 と同じ.

②-2:試験①のStep2と同じ.

②-3:仕切りゲートを開放する前に、A室に挿入したバイブレータを始動する.振動時間は、3秒または

5秒とする. (1回目の共通試験では5秒,2回目の共通試験では3秒を採用した.)

②-4 :試験①の Step3 と同じ.

②-5 :試験①の Step4 と同じ.

②-6:試験①の Step5 と同じ.

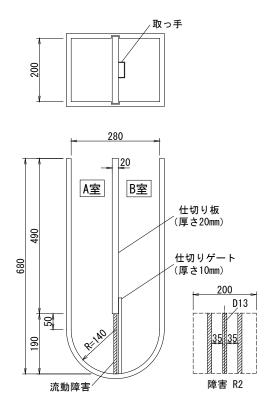


図 4.2.8.1 充塡装置 (U形容器) の形状および流動障害 (JSCE-F 511 に準拠)

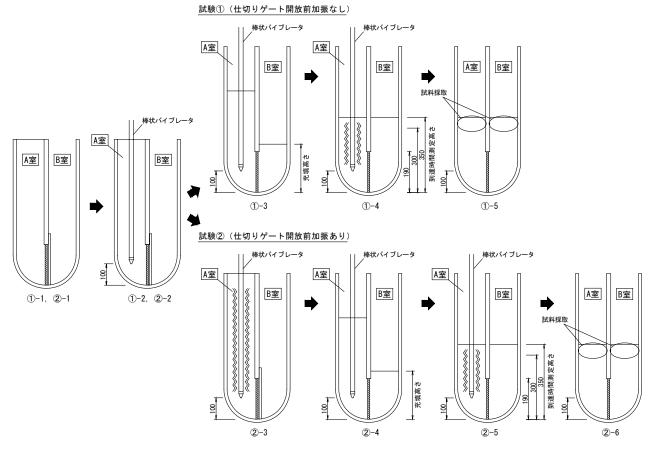


図 4.2.8.2 試験①および試験②における試験手順

4.2.8.3 試験結果および考察

Step1 および Step2 における U 形充塡試験の結果一覧をそれぞれ表 4.2.8.1,表 4.2.8.2 に示す.

配合		U形試験時	スランフ [°]		流動障害R2	流動障害なし		
No.	呼び方	経過時間	70-	充塡高さ	T _{stop}	T ₃₀₀	充塡高さ	T _{stop}
110.		min	mm	mm	S	S	mm	S
1-1	27-55-20N	5	498	301	5.2	1.8	308	3.7
1-2	27-55-20N 後添加	20	471	309	4.3	1.4	342	2.7
1-3	33-55-20N	15	496	323	8.5	-	341	6.2
1-4	39-55-20N	10	601	340	8.4	1.4	348	5.2
1-5	51-55-20N	10	470	296	15.7	-	327	10.5

表 4.2.8.1 Step1の結果一覧

試験①(仕切りゲート開放前加振なし) 試験②(仕切りゲート開放前加振あり) 加振後到達時間 間隙涌渦 粗骨材量比率 加振後到達時間 間隙涌過 粗骨材量比率 充塡 開放前 充垣 配合 呼び方 吉さ 谏度 A室 加振時間 A室 B室 No. % mm mm/s % % mm mm/s % 2-1 27-45-20N(基準配合①) 189 12 1.8 91.5 102 2 111.9 5.0 95 22 26 95.3 86.5 105.2 27-45-20N(基準配合②) 42 1 103 4 70 101.6 2-2 155 0.6 32 4 1 1028 3.0 3.8 124 21 1 128 50.0 27-55-20N 98.8 104.7 74 99.9 217 1.7 5.0 27-35-20N 2-4 103 29 4.1 67.8 107.4 108.5 5.0 0 90 13.9 33 4 83 4 101.2 2-5 33-45-20N 218 1.5 2.9 53.7 110.0 106.7 3.0 0 4.1 19.3 14.7 76.3 93.7 11.6 2-6 21-45-20N 183 1.9 3.8 62.4 102.4 97.1 3.0 5.9 13.9 21.2 13.9 81.8 92.1 0 2-7 106.0 27-45-20N(s/a=50%) 263 0.5 1.3 73.3 108.6 114.1 3.0 90 2.8 8.2 13.8 20.4 90.1 27-45-20N(s/a=40%) 115 80 74.7 35 W/C=57 7%-45-20N 117 95 23.1 84 6 89 0 3.0 18.0 329 8.8 57 1 81 4 2-10 W/C=51.3%-45-20N 1.3 4.9 7.8 30.9 106.3 100.8 3.0 35 5.0 14.6 21.9 11.4 69.9 89.8 2-11 27-45-20N 増粘一液 256 0.6 1.3 71.3 107.8 106.1 3.0 90 6.1 22.5 37.0 6.7 42.7 86.6 W/C=32.1%-60-20N 345 115.6 2-13 350 1.9 5.6 12.2 33.5 111.5 112.2 3.0 9.0 29.5 106.0 2-14 27-12-20N 32.4 96.6 101.6 11.6 104.8

表 4.2.8.2 Step2の結果一覧

(1) 充塡高さ

Step1 の各配合における充塡高さおよび充塡停止時間を図 4.2.8.3、図 4.2.8.4 に示す. 充塡高さは、い ずれの配合においても、一般財団法人沿技術研究センター発刊の加振併用型充てんコンクリートマニュアル ²⁾ の基準(200mm 以上(流動障害 R2))や NEXCO の覆エコンクリートの基準(280mm 以上(障害なし))を満 足し、高流動コンクリートの配合設計・施工指針3)(以下、高流動指針と称す)の基準と同等程度の結果で あった. また, 充填停止時間は, 流動障害 R2 の場合は 4~16 秒程度, 障害なしの場合は 3~10 秒程度であっ た. 呼び強度 51 の配合が最も時間がかかる結果となったが、コンクリートの粘性に依存しているものと推察 される.以上の結果より,充塡高さにおいて配合の違いにおける差異はほとんど見られなかった.

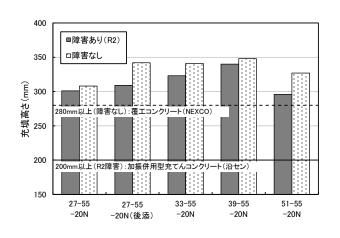


図 4.2.8.3 充塡高さ (Step1)

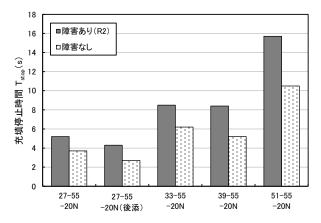


図 4.2.8.4 充填停止時間 (Step1)

Step2 の各配合における充塡高さと配合要因の関係を図 4.2.8.5~図 4.2.8.8 に示す。また、試験①において、Step1 の配合の結果を含む単位粗骨材絶対容積と充塡高さの関係を図 4.2.8.9 に、加振併用型充てんコンクリートマニュアルに掲載されている既往の結果に、スランプフローと充塡高さの関係を追記したものを図 4.2.8.10 にそれぞれ示す。なお、図中の凡例は単位粗骨材絶対容積(m^3/m^3)を示している。これより、試験①および試験②における試験結果を以下に示す。

試験①について

スランプフローが大きいほど充填高さは大きくなった。また、セメント量が多いほど充填高さが大きい結果となった。単位粗骨材絶対容積との関係について、0.35m³/m³~0.40m³/m³付近のデータにばらつきが見られるものの、単位粗骨材絶対容積が小さいほど(自己充填性を有する高流動コンに近いほど)充填高さは大きくなる傾向を示した。加振併用型充てんコンクリートマニュアルでは、前述のとおり充填高さの標準値を200mm以上(流動障害 R2)と定義している。Step2の配合のほとんどがそれを下回る結果(190mm以下)となったが、A室のコンクリートが押し上げた高さと定義できない場合もあった(鉄筋障害の上部から崩れ落ちた)ことから、充填高さで評価する場合は留意が必要と思われる。

また、単位粗骨材絶対容積の小さい Step1 の配合(▲)ではスランプフローと充填高さの関係が加振併用型充てんコンクリートマニュアルに掲載されている既往の知見の傾向に概ね合致していることが確認された。それに対し、Step2 の配合では、同程度のスランプフローで比較すると充填高さが小さい傾向を示しており、加振併用型充てんコンクリートマニュアルに示される性能範囲の外側に位置している。単位粗骨材絶対容積0.351m³/m³以上(■◆)、スランプフロー450~500mm 程度の配合に着目すると、充填高さは、同等のスランプフローであっても、増粘剤一液型混和剤を添加した配合(27-45-20N 増粘一液)や単位セメント量の比較的多い配合(33-45-20N)では大きくなり、単位水量 180kg/m³(W/C=57.7%-45-20N)、単位水量 160kg/m³(W/C=51.3%-45-20N)および細骨材率 40%(27-45-20N s/a=40%)では小さくなった。単位粗骨絶対容積に加えて、コンクリートの粘性、すなわち材料分離抵抗性の違いが起因したものと推察される。このように、単位粗骨材絶対容積や粘性もコンクリートの充填性に影響を及ぼす要因のひとつと考えられるので、今後の検討課題とする。

試験②について

スランプフロー $45 \, \mathrm{cm}$ と $55 \, \mathrm{cm}$ のケースにおいて、充填高さは同程度であった。スランプフロー $35 \, \mathrm{cm}$ のケースでは仕切りゲートを開放しても試料の通過が見られなかった。試験①の結果と大きな差異が見られたが、仕切りゲートを開放する前にA室にて加振したことにより生じた材料分離が原因と考えられる。細骨材率 50% のケースにおいては細骨材率が小さいケースと同程度の値を示しており、試験①と異なる結果となった。また、単位水量 $180 \, \mathrm{kg/m^3}$ のケースでは、単位水量 $170 \, \mathrm{kg/m^3}$ に比べて充填高さが小さい結果となったが、この傾向は試験①と同じであった。試験②では全てのケースにて充填高さが $190 \, \mathrm{mm}$ 以下と全体的に小さい傾向にあり、個々の評価を行うのは難しいと思われる。振動のかけ過ぎが今後の課題として挙げられる。

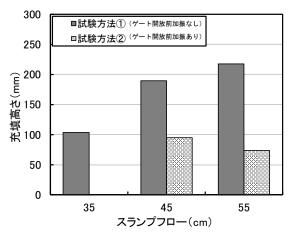
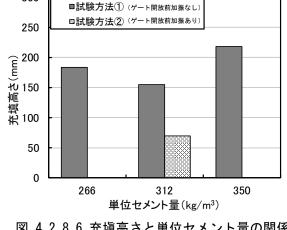


図 4.2.8.5 充塡高さとスランプフローの関係



300

図 4.2.8.6 充塡高さと単位セメント量の関係

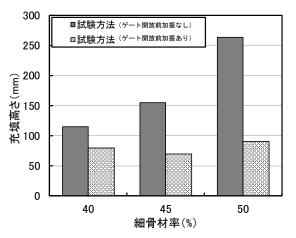


図 4.2.8.7 充塡高さと細骨材率の関係

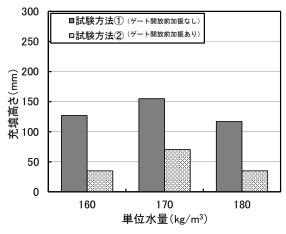


図 4.2.8.8 充塡高さと単位水量の関係

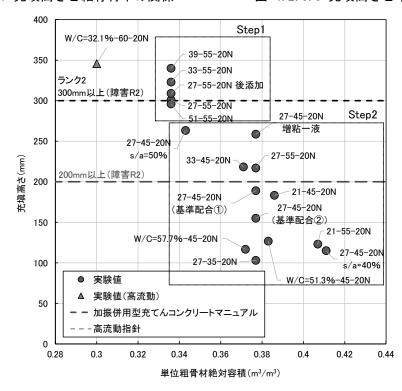


図 4.2.8.9 単位粗骨材絶対容積と充塡高さの関係

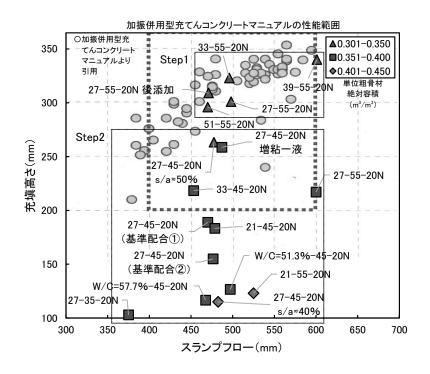


図 4.2.8.10 スランプフローと充塡高さの関係

粗骨材の沈下量評価試験における加振 10 秒での粗骨材残存率との関係を**図 4.2.8.11** に示す. いずれの試験方法においても,充填高さと粗骨材の沈下量評価試験における加振 10 秒での粗骨材残存率に明確な関係性は認められなかった.

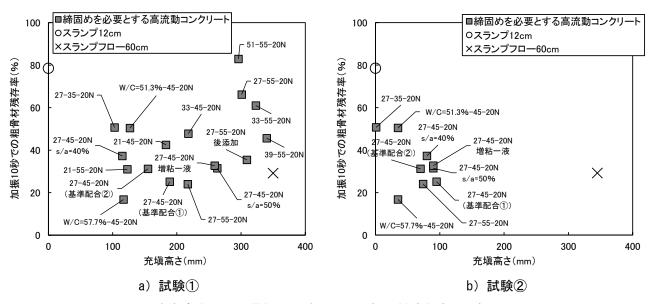


図 4.2.8.11 充塡高さと沈下量評価試験における粗骨材残存率(加振 10 秒)の関係

③充塡高さから 300mm 到達までにかかる加振時間

試験①において、Step2 の配合の充塡高さと加振時間の関係を図 4.2.8.12 に示す。なお、図中の凡例は単位粗骨材絶対容積(m^3/m^3)を示している。これより、同程度の自己充塡高さである他の配合に比べて、細骨材率 40%(27-45-20N s/a=40%),単位水量 160kg/m^3 (W/C=51.3%-45-20N)および単位水量 180kg/m^3 (W/C=57.7%-45-20N)の3配合は加振時間がやや長くなる傾向を示した。これらの3つの配合は、流動障害を通過しにくい状態であったことが推測され、材料分離が生じていたものと思われる。また、この300mm到達時間については、粗骨材の沈下量評価試験の結果と関係づけることにより、コンクリートの充塡性や材料分離抵抗性を評価できる可能性が確認された。これについては次章で詳述する。

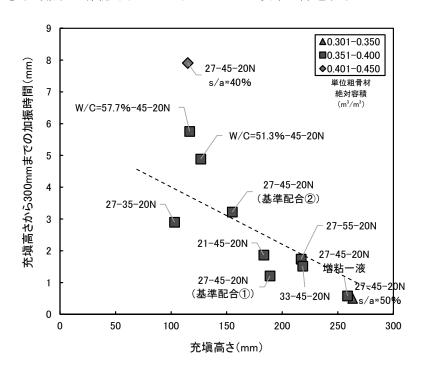
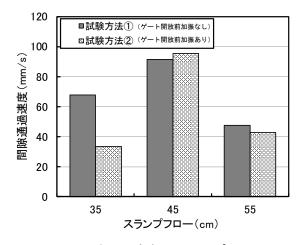


図 4.2.8.12 充塡高さ(自己充塡)と加振時間の関係

(2) 間隙通過速度

Step2 の配合の間隙通過速度と配合要因の関係を図 4.2.8.13~図 4.2.8.16 に示す. 間隙通過速度はボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験(案)と同じ定義とし,到達高さ190mmから300mmを通過する速度を算出したが,自己充填で190mmまで到達した場合はその到達高さから300mmを通過する速度を間隙通過速度とした. これより,試験①では,細骨材率40%,単位水量180kg/m³,単位水量160kg/m³の順に間隙通過速度が小さい傾向を示し,前述した充填高さの小さい配合と合致した. また,試験②では,スランプフローの配合要因の場合を除いて概ね同等の値を示した. その中で,試験①と同様に細骨材率40%,単位水量180kg/m³の順に間隙通過速度が小さい傾向を示した.

粗骨材の沈下量評価試験における加振 10 秒での粗骨材残存率との関係を**図 4.2.8.17** に示す. いずれの試験方法においても,間隙通過速度と粗骨材の沈下量評価試験における加振 10 秒での粗骨材残存率に明確な関係性は認められなかった.



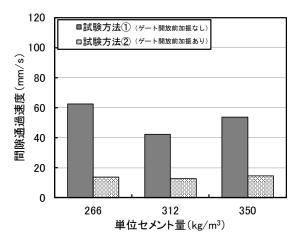


図 4.2.8.13 間隙通過速度とスランプフローの関係

図 4.2.8.14 間隙通過速度と単位セメント量の関係

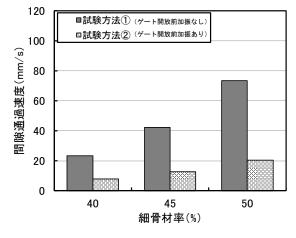


図 4.2.8.15 間隙通過速度と細骨材率の関係

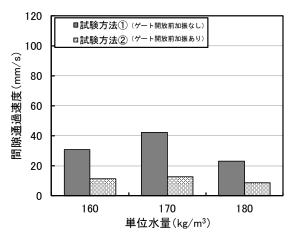
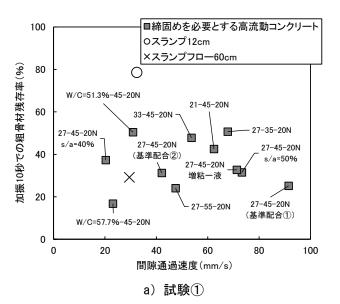


図 4.2.8.16 間隙通過速度と単位水量の関係



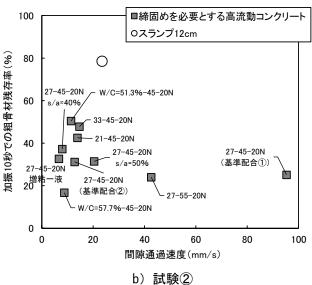


図 4.2.8.17 間隙通過速度と沈下量評価試験における粗骨材残存率(加振 10 秒)の関係

(3) 粗骨材残存率

Step2 の配合の粗骨材残存率と配合要因の関係を図 4.2.8.17~図 4.2.8.20 に示す. これより, 試験①では、細骨材率 40%, 単位水量 180 kg/m³のケースにおいて A 室の粗骨材残存率が 100%を下回る結果となった. 300mm に到達するまでの加振時間が他に比べて長いことが原因と考えられる. また, 試験②では、スランプフロー55cm, 基準 2, 単位水量 180kg/m³のケースにおいて粗骨材残存率が極端に小さくなる結果となった. その際の加振時間は,他のケースと大きな差異はなかった. なお, 試験②における粗骨材残存率は仕切りゲートを開放する前の加振に加え, 開放後 300mm に到達するまで行った加振により材料分離した結果を示している.この試験②のA室の結果と粗骨材の沈下量評価試験における加振10秒での粗骨材残存率を比べると(図 4.2.8.21 参照), 試験②の結果のほうが配合間の差が大きく, 材料分離の傾向を捉えやすくなっていたものと考えられる.

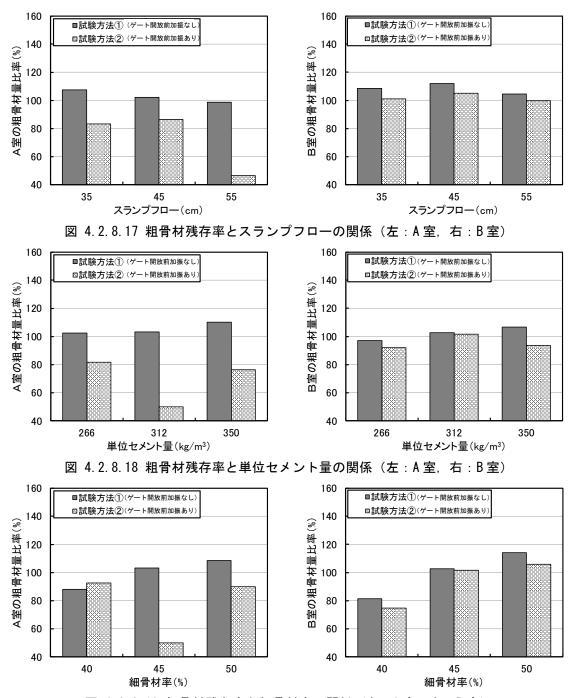


図 4.2.8.19 粗骨材残存率と細骨材率の関係(左:A室,右:B室)

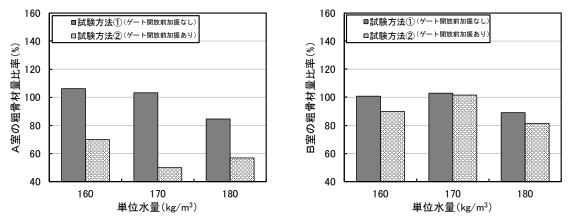


図 4.2.8.20 粗骨材残存率と単位水量の関係(左:A室,右:B室)

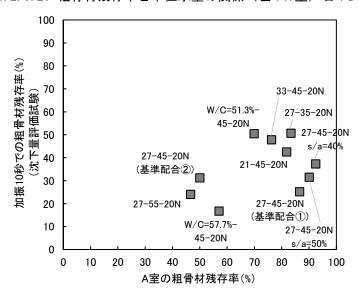


図 4.2.8.21 A室の粗骨材残存率(試験②)と沈下量評価試験における粗骨材残存率(加振10秒)の関係

参考文献

- 1) 土木学会: 2018 年制定コンクリート標準示方書【基準編】, 2018.10
- 2) 沿岸開発技術研究センター: 鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を対象とした加振併用型充てんコンクリートマニュアル, 2004.2
- 3) 土木学会:高流動コンクリートの配合設計・施工指針,コンクリートライブラリー136,2012.6

(執筆者:竹中 寬,濱田 洋志,中村 敏之)

5. 各試験結果から提案する試験方法及び評価方法の検討

締固めを必要とする高流動コンクリートの配合選定には、特に締固めという施工条件を考慮した材料抵抗性を適切に評価することが求められるため、本 WG では材料分離抵抗性の評価方法について、各実験を実施して、その結果を分析することで検討した.

5.1 材料分離現象の把握と粗骨材の沈下量評価試験,目視・触感による評価

材料分離現象の把握は、「4.1.1 L 型構造物模擬型枠の充填により生じる材料分離現象の把握」で示したように、実施工における締固めを必要とする高流動コンクリートの施工を模擬したものであり、締固めを必要とする高流動コンクリートを流動と締固めで型枠内に充填させることで材料分離現象を把握した.

この試験結果に対して、「4.1.2 粗骨材の沈下量評価試験」、「4.1.3 基準試験の結果および考察」で模擬型枠での材料分離現象と締固めによる粗骨材の沈降を直接的に評価した粗骨材の沈下量評価試験の関係について検討した。模擬型枠の充填による試験の材料分離の割合に比べ、沈下量評価試験の結果の材料分離の割合が大きくなる傾向にあるが、両結果は相関関係が得られており、特に沈下量評価試験の振動時間 10 秒の粗骨材残存率の結果で高い相関関係が認められた。沈下量評価試験が、粗骨材の鉛直方向に生じる材料分離の程度を把握することで、実施工の水平方向へ流動する際に生じる材料分離も包含した、締固めを必要とする高流動コンクリート施工時の粗骨材分離の評価が可能であることを確認した。以上から、粗骨材の沈下量評価試験は、締固めを必要とする高流動コンクリートの材料抵抗性を適切に評価できる試験方法であり、振動時間 10 秒で粗骨材残存率を評価することが有効な評価方法である。

また,「4.2.5 目視·触感による材料分離抵抗性の評価」で示したように、材料分離抵抗性評価の一手法 として目視評価や触感評価による材料分離抵抗性の評価について検討した結果、触感評価の合格判定率は模 擬型枠の充塡による試験結果とも強い相関が認められ、目視・触感による材料分離抵抗性の評価試験は締固 めを必要とする高流動コンクリートの材料抵抗性を評価できる有効な試験方法であり、触感評価の合格判定 率で評価することは有効な評価方法である.

5.2 各種試験方法による検討と材料分離抵抗性評価の評価について

「4.2 各種試験方法による検討」では、各試験方法による試験結果、各試験結果と沈下量評価試験の振動時間 10 秒の粗骨材残存率との関係について検討した。各試験結果と沈下量評価試験の振動時間 10 秒の粗骨材残存率との関係では、目視・触感による材料分離抵抗性の評価を除き、高い相関性の見られる試験方法はなかったが、各試験結果の詳細検討により、材料分離抵抗性の試験方法及び評価方法として分析した。

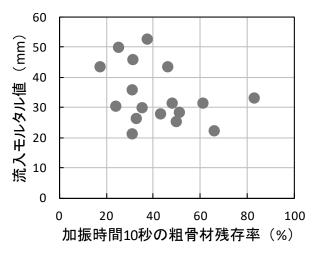
(執筆者:根本 浩史, 橋本 紳一郎, 伊達 重之)

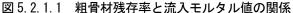
5.2.1 円筒貫入試験とふるい分離試験による材料分離抵抗性の評価

図 5. 2. 1. 1, 図 5. 2. 1. 2 に粗骨材の沈下量評価試験の加振時間 10 秒の粗骨材残存率と円筒貫入試験の流入モルタル値, ふるい分離試験のモルタル採取率 (Xm10) の関係を示す。図 5. 2. 1. 3 に細骨材率と円筒貫入試験の流入モルタル値, ふるい分離試験のモルタル採取率 (Xm10) の関係を示す。粗骨材の沈下量評価試験の加振時間 10 秒の粗骨材残存率と円筒貫入試験の流入モルタル値, ふるい分離試験のモルタル採取率では,明確な相関関係は認められない。また,流入モルタル値とモルタル採取率は,目標スランプフロー,目標空気量,単位水量,単位セメント量が同一条件でも,細骨材率によって両結果は大きく異なり,配合条件による影響を大きく受けることが確認できた。以上から,両試験方法は,単独の指標で締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性を評価することは難しいと考えられる。

そこで、流入モルタル値とモルタル採取率の両結果を組み合わせることにより、締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性の評価を検討した. 図 5. 2. 1. 4 に円筒貫入試験の流入モルタル値とふるい分離試験のモルタル採取率の関係を示す。凡例は粗骨材の沈下量評価試験の加振時間 10 秒の粗骨材残存率とし、粗骨材残存率の状態を 0~50%、50~70%、70~100%の 3 つの状態に区分して結果を記した。流入モルタル値の増大に伴い、モルタル採取率が大きくなる相関関係が確認された。また、流入モルタル値が 40mm 程度以上になると、同程度の流入モルタル値でもモルタル採取率は大きく異なった。流入モルタル値が 40mm 以上でモルタル採取率が 7. 5%以上となった配合は、すべて加振時間 10 秒における粗骨材残存率が 50%を下回り、材料分離抵抗性が小さいことが確認できた。これより、流入モルタル値とモルタル採取率の 2 つの指標を組み合わせることで、材料分離抵抗性の判定の目安を設定できる可能性があるといえる。例えば、加振時間 10 秒での粗骨材残存率を 50%以上とするには、流入モルタル値 40mm 程度以下かつモルタル採取率 7. 5%程度以下が必要となること、また、加振時間 10 秒での粗骨材残存率を 70%以上とするには、流入モルタル値 20mm 程度以下かつモルタル採取率 4%程度以下が必要となるなどが考えられる。

以上から,円筒貫入試験とふるい分離試験は,単独の指標で締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離 抵抗性を評価することは困難であるが,これらの両試験結果の流入モルタル値とモルタル採取率を組み合わせる ことにより,材料分離抵抗性を判定できる目安を設定できる可能性が示唆された.





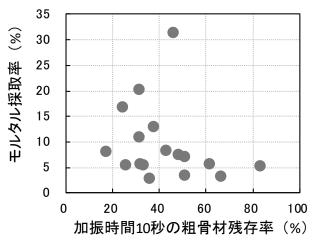


図 5.2.1.2 粗骨材残存率とモルタル採取率の関係

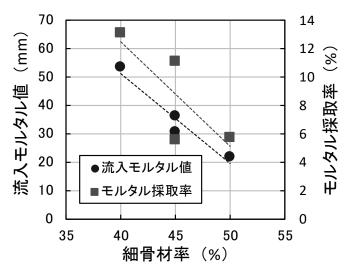


図 5.2.1.3 細骨材率と流入モルタル値, モルタル採取率の関係

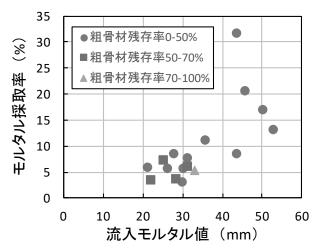


図 5.2.1.4 流入モルタル値とモルタル採取率の関係

(執筆者:西脇 敬一,廣中 哲也,小林 竜平,中水 高博,檜垣 誠,根本 浩史)

5.2.2 U形充塡試験による材料分離抵抗性の評価

(1) 充填性

高流動指針では,表 5.2.2.1 に示すように単位粗骨材容積やスランプフロー等によって自己充塡性ランクが区分されており,充塡性を評価するための障害もランクによって異なる.締固めを必要とする高流動コンクリートの前提条件を「加振を併用することで自己充塡性を有する高流動コンクリートと同等の充塡性を確保できるコンクリート」と仮定すると,充塡性の観点では,材料分離を助長しない程度の加振を加えることにより,コンクリートのU形充塡高さが300mm以上を満足すればよいと考えられる.

本検討で得られた結果を単位粗骨材絶対容積とU形充填高さの関係で整理すると図 5.2.2.1 に示すとおりであった。本検討の配合は、同図に併記した高流動指針や加振併用型充てんコンクリートマニュアルの標準範囲に比べると、単位粗骨材絶対容積がやや多かったが、U形充填高さは、STEP1(目標スランプフロー:550mm)の4配合が300mm以上を満足し、STEP1とSTEP2の9配合が加振併用型充てんコンクリートマニュアルで要求される200mm以上(障害R2)を満足した。

分類		項目	高流動					
万規		块 口	ランク1	ランク 2	ランク3			
配合	単位粗骨材絶対容積 (m³/m³)		0.28~0.30	0.30~0.33	0.33~0.35			
G: 20, 25mm	粗骨材実積率(%)		59 以上	57 以上	55 以上			
フレッシュ	流動性	SF (mm)	700	650	600			
性状			範囲:650~750	範囲:600~700	範囲:550~650			
		T ₅₀₀ (s)	5~20(増除く)	3~15	3~15			
	充填性	充塡高さ (mm)	300≦	300≦	300≦			
			(R1 障害)	(R2 障害)	(障害なし)			

表 5.2.2.1 高流動コンクリートの標準値 (JSCE 高流動指針より)

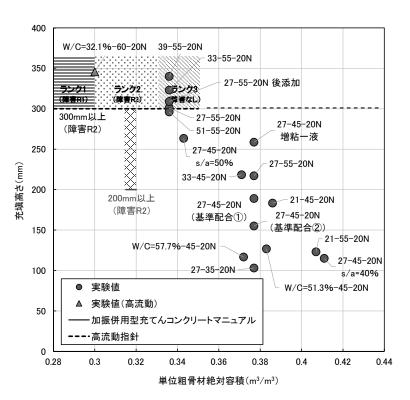


図 5.2.2.1 締固めを必要とする高流動コンクリートの充塡性のイメージ

(2) 粗骨材の沈下量評価試験の結果を応用した評価

前述の仮定によれば、材料分離を生じない加振時間(例えば、骨材沈降分離試験における「分離していない」と判断される粗骨材量比率となる加振時間)に比べて、U形充塡の加振による 300mm 到達時間(自己充塡した高さからの)が短ければよいと考えらえる.

表 5. 2. 2. 2 に充塡高さ 300mm に到達するまでの加振時間(t_{300})および A 室の粗骨材残存率の測定結果を示す。また,粗骨材の沈下量評価試験において 10 秒加振後の粗骨材残存率を基に粗骨材残存率が 70%まで低下するのにかかる加振時間を算出した結果を示す。これより,試験①において, t_{300} が粗骨材の沈下量評価試験における加振時間と同等もしくはそれ以上となるケースは,細骨材率 40%(27-45-20N s/a40%),単位水量 180kg/m³(W/C=57.7%-45-20N)およびスランプフロー55cm(27-55-20N)の 3 ケースであった。これらのケースについては,コンクリートの充塡性を確保するために必要な加振時間が材料分離を生じる加振時間の上限値を越えており,U 形容器内のコンクリートに付与した振動エネルギーが沈下量評価試験のそれと同等であったと仮定すれば,分離気味であったものと評価できる。なお,この t_{300} と粗骨材残存率が 70%まで低下するのにかかる加振時間との関係を図示すると図 5.2.2.2 のとおりである。本試験と粗骨材の沈下量評価試験ではコンクリートに付与された振動エネルギーが異なっていた可能性もあり,現時点ではまだ試行段階ではあるものの,今後データを蓄積して適切な関値を設定することにより,加振および間隙通過に伴う材料分離抵抗性を評価できる可能性が示唆された。

試験②において,基準①以外のケースでは, t_{300} が粗骨材の沈下量評価試験における加振時間を上回る結果となった.その中でも A 室の粗骨材残存率が極端に小さいケースは,スランプフロー55cm(27-55-20N),基準配合②,単位水量 180kg/m^3 (W/C=57.7%-45-20N)の 3 ケースであった.図 4.2.8.17~図 4.2.8.20 に示すように,これらのケースは試験①における粗骨材残存率との乖離が見られた.この結果は,仕切りゲートを開放する前に A 室にて加振したことにより生じた材料分離によるものと考えられる.それに対し,粗骨材の沈下量評価試験では,粗骨材残存率が 70%となる加振時間が短いケースとして,基準配合①,スランプフロー55cm(27-55-20N),基準配合②,細骨材率 50%(27-45-20N) s/a=50%),単位水量 180kg/m^3 (W/C=57.7%-45-20N)が挙げられる.両者は同様の傾向を示していることから,加振により材料分離したコンクリートの間隙通過性と粗骨材の沈下量評価試験による材料分離抵抗性は比較的相関があるものと考えられる.ただし,U 形充填試験および粗骨材の沈下量評価試験において,加振方法(周波数,加振時間など)を変更する場合は,再度粗骨材残存率を測定したうえで両試験の相関性を確認する必要がある.

表 5.2.2.2 加振時間における粗骨材沈下量評価試験との比較および A 室の粗骨材残存率

			塡試験	粗骨材沈下量評価試験	A 宏知品	A室粗骨材残存率		配合条件			
ケース	ケース配合	300mm到達時間		粗骨材残存率が	A 主租 目 例 23 计 年		FL	w	С	s/a	
	70 [試験①	試験②	70%となる加振時間	試験①	試験②			ì	0/ u	
		s	s	s	%	%	cm	kg/m ³	kg/m ³	%	
FL:35	27-35-20N	2.9	9.0	6.4	107.4	83.4	35	170	312	45	
基準①	27-45-20N	1.2	2.2	2.4	102.2	86.5	45	170	312	45	
FL:55	27-55-20N	1.7	5.3	0	98.8	46.6	55	170	312	45	
C:266	21-45-20N	1.9	13.9	4.5	102.4	81.8	45	170	266	45	
基準②	27-45-20N	3.2	12.4	4.3	103.4	50.0	45	170	312	45	
C:350	33-45-20N	1.5	11.6	4.6	110.0	76.3	45	170	350	45	
s/a:40	27-45-20N	7.9	18.1	4.3	88.1	92.5	45	170	312	40	
s/a:50	27-45-20N	0.5	8.2	3.6	108.6	90.1	45	170	312	50	
W:160	27-45-20N	4.9	14.6	5.8	106.3	69.9	45	160	312	45	
W:180	27-45-20N	5.8	18.0	2.7	84.6	57.1	45	180	312	45	

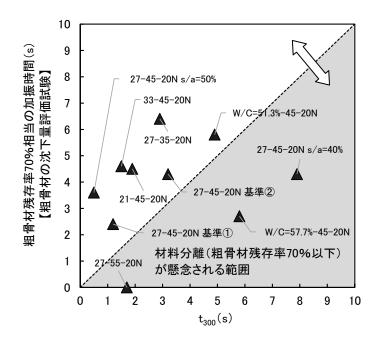


図 5.2.2.2 加振による 300mm 到達時間 (t_{300}) と粗骨材残存率が 70%まで低下するのにかかる加振時間

(3) U形充塡試験での評価方法 (案)

案1: 充填高さ300mmに到達するまでの加振時間による充填性の評価(試験①に準拠)

(2) で述べたとおり、締固めを必要とする高流動コンクリートを加振して自己充塡性を有する高流動コンクリートと同等の充塡性が得られることの確認を目的とする.手法は以下のとおり.

STEP1: JSCE-F 511 (流動障害 R2) に準拠して,充塡高さ(自己充塡),充塡時間(自己充塡)を測定

STEP2: A 室に挿入したバイブレータで加振を行い,B 室の充塡高さが,自己充塡の位置から 300mm になるまでの時間(t_{300})を測定

STEP3: t_{300} を別途実施する骨材沈降分離試験の適正加振時間 (T_c , 所要の粗骨材残存率 (例えば, 70%) になるときの加振時間) で除した値にて評価する

※現時点では検討した実績配合が少なく、粘性や単位粗骨材絶対容積等の違いによる影響も把握できていないことから、上記手法による評価の妥当性は確認できていない。今後、バックデータを蓄積し、評価方法の適正を検証していく必要がある。

案2:加振による材料分離を考慮した間隙通過性の評価(試験②に準拠)

図 5. 2. 2. 3 に、スランプフローと試験①および試験②にて測定した充塡高さの関係を示す.また、今回の結果を踏まえた試験②における判定基準線の一例を示す.試験①と試験②の異なる点は、A 室と B 室の仕切り板を開放する前に A 室にて加振を行うか否かである.したがって、試験②の充塡高さは試験①より小さくなる傾向を示す.その中でも、加振により材料分離しやすいコンクリートは、仕切りゲート付近の粗骨材量が増加し障害を通過しにくくなるため、充塡高さはより小さくなるものと考えられる.これを踏まえ、提案する評価方法(案)は、スランプフローと充塡高さの関係について判定基準線を設定し、その線よりも充塡高さが大きいものを適合、小さいものを不適合と判定するものである.今回は一例として、充塡高さが 300mmに到達するまで加振した後の A 室の粗骨材残存率が 70%以下となった、スランプフロー55cm、基準②、単位水量 $180 \log/m^3$ の 3 ケースとその他のケースの間に判定基準線を設定した.

これより、試験②の充填高さを用いて加振による材料分離を考慮した間隙通過性を評価することが可能となれば、粗骨材の洗い分析試験を行う手間は省くことができる。また、粗骨材の沈下量評価試験との相関を見出すことができれば、粗骨材の沈下量評価試験の代行としてU形充填試験を行うことができ、品質管理試験を容易に行うことが可能となる。そのためには、多様な配合(スランプフロー、単位粗骨材絶対容積、粘性の違いなど)にてデータを蓄積し、評価方法の適正を検証していくことが重要である。また、加振方法(振動機の周波数、加振時間など)について、今回の試験ではU形充填試験装置の容積に対して振動エネルギーが大きく、それに伴って充填高さが極端に小さくなったことも考えられるため、本手法により評価する場合は振動の大きさや時間等についても今後さらに検討する必要がある。

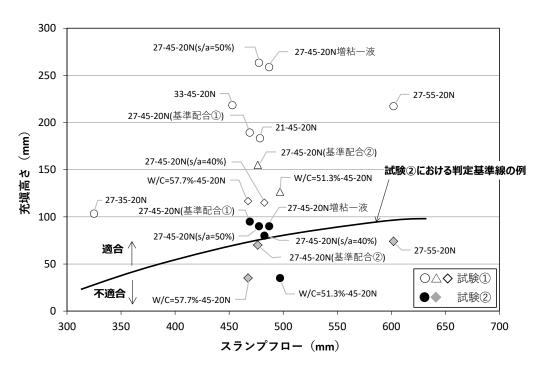


図 5.2.2.3 U形充塡試験を用いた材料分離の評価方法案 (案2)

(執筆者:竹中 寬, 濱田 洋志, 中村 敏之)

5.2.3 その他の試験方法による検討

現場へのこの試験法の適用を考えると必ずしも 4.1.2.2 に示す試験は容易ではなく,これに替わる簡易な評価指標が望まれる. そこで,締固めを必要とする高流動コンクリートの分離抵抗性を判断する指標になりうる各パラメータに関して検討を行った. 具体的には, (1) フロー速度, (2) 呼び強度, (3) モルタルの単位容積質量について検討を行った. モルタルのフロー試験は, JIS R 5201 に準拠して行った.

(1) フロー速度

加振に伴う粗骨材の沈降は、粗骨材粒子がモルタルを成分とした流体中を移動する現象と捉えることができ、その移動のし易さは、モルタルの粘性に依存すると考えられる。流体の粘性抵抗は、流体の特性に応じて速度に比例、または速度のべき乗に比例するなど、様々なケースが想定されるが、まずは、粗骨材の沈降の程度、すなわち、粗骨材残存率がコンクリートの移動速度と相関があると仮定し、試験結果の検討した。

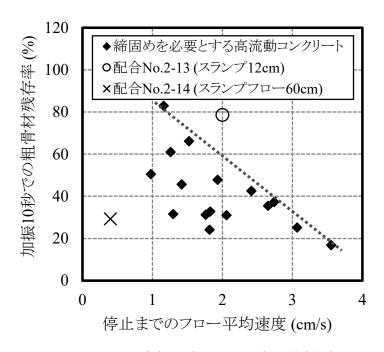


図 5.2.3.1 フロー平均速度と加振 10 秒での粗骨材残存率の関係

図5.2.3.1 にフロー平均速度と加振 10 秒での粗骨材残存率の関係を示す. ここで,フロー平均速度は,スランプコロー試験におけるスランプフローの平均値の 0.5 倍からスランプコーン下面の半径を差し引いた値を,スランプコーンを引き上げてからフローの流動が停止するまでのフロー停止時間で除した値である. なお,フロー停止時間を測定していないスランプ 12cm の配合 No. 2-14 に関しては,フロー停止時間を 1.5 秒と仮定し,フロー平均速度を暫定的に求めて図示している. 締固めを必要とする高流動コンクリートの範囲にある配合に関しては,概ね負の相関関係があり,フロー平均速度が速いほど粗骨材残存率が低くなる傾向が確認できる. ここで着目すべき点は,同程度のフロー平均速度に対して,粗骨材残存率は様々な値をとりうるということである. また,特定のフロー平均速度に応じて,粗骨材残存率の最大値は頭打ち(図中の破線)になることも予見できる. スランプフローが 60cmの配合 No. 2-13 では,締固めを必要とする高流動コンクリートと比較してフロー停止時間が極端に長くなるため,異なる傾向を示した. スランプ 12cm の配合 No. 2-14 においても,流動停止が極端に早いために締固めを必要とする高流動コンクリートとは異なる傾向を示した. スランプフロー停止までの時間は目視による判断であるため,誤差が大きいので図 5.2.3.1 のばらつきが大きくなっているものの,フロー平均速度が粗骨材分離の特徴をある程度表現できる指標となりうることが示唆された.

(2) 呼び強度

図5.2.3.2 に示すように、0 秒時の粗骨材残存率から加振時間 10 秒時の粗骨材残存率を引いて加振時間 10 秒での粗骨材減少率を求めると、呼び強度とある程度の相関が得られる. したがって、呼び強度が締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性の評価指標になりうる可能性が見えるが、0 秒時の粗骨材残存率から加振時間 10 秒時の粗骨材残存率を引くことで、粗骨材減少率を計算すると、練上がり時の分離が評価されなくなる. 例えば、練上がりの時に極端に分離した配合は、0 秒時の粗骨材残存率と加振時間 10 秒時の粗骨材残存率差は極めて小さくなる. これが、図 5.2.3.2 で、スランプフローが小さいものの方が粗骨材が分離し易いようにも見える原因であると考える. 図 5.2.3.3 に 100%から加振時間 10 秒時の粗骨材残存率を引いて、計算した粗骨材減少率と呼び強度の相関を示す。練上がり時から分離気味であった、配合 No. 2-5 と配合 No. 1-4 の 10 秒での粗骨材減少率が大きくなることがわかる。それにより、加振時間 10 秒時の粗骨材減少率と呼び強度の相関が薄くなることがわかる。また、同じ呼び強度でも配合条件の影響により、加振時間 10 秒時の粗骨材減少率が大きく異なる結果となった。今回の試験データだけでは、呼び強度で締固めを必要とする高流動コンクリートの分離抵抗性を評価することは難しい結果となった。

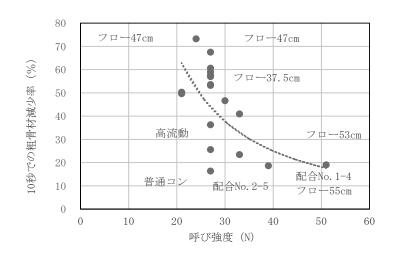


図 5.2.3.2 呼び強度による加振時間 10 秒での粗骨材減少率

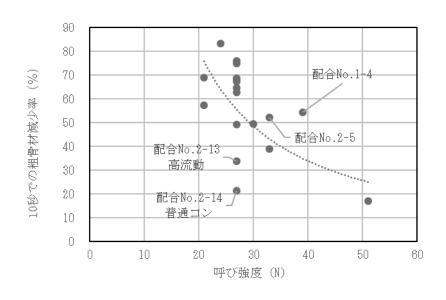


図 5.2.3.3 呼び強度による加振時間 10 秒での粗骨材減少率(100%から引く)

(3) モルタルの単位容積質量

モルタルの単位容積質量が, 締固めを必要とする高流動コンクリートの分離抵抗性を評価する指標になる可能性 に関しても検討を行った.

「モルタルに粗骨材が浮かんでいるところに振動を掛けると粗骨材が沈降していく」と考えると、粗骨材とモルタルとの単位容積質量の差が沈降速度に影響を与えると予想される。今回の実験は、全配合で同じ骨材を使用しており、粗骨材の表乾密度は 2.70g/cm³で一定のため、モルタルの単位容積質量と加振 10 秒での粗骨材残存率との関係を調べた。なお、モルタルの単位容積質量の計算では空気量を考慮しない条件と考慮する条件の双方を設定した。

図 5. 2. 3. 4 は、横軸に空気量を含めないモルタルの単位容積質量をとり、縦軸に 10 秒での粗骨材残存率をとった。また、スランプフローの値で凡例を区分した。これによると、モルタルの単位容積質量と粗骨材残存率との間にはある程度のバラツキを伴った負の相関がみられる。スランプフローが 45~55cm の範囲ではフローの違いによる明確な傾向は見られない。図 5. 2. 3. 5 は、横軸を空気量も含めたモルタルの単位容積質量とした図であるが、基本的な傾向は図 5. 2. 3. 4 と変わらない。

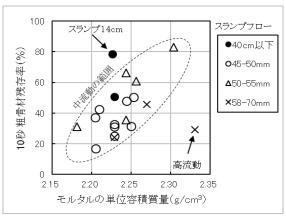


図 5.2.3.4 モルタルの単位容積質量と骨材残存率

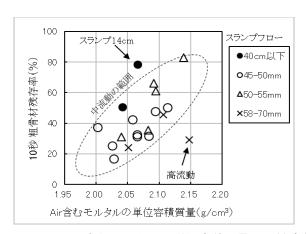


図 5.2.3.5 Air 含むモルタルの単位容積質量と骨材残存率

モルタルの粘性も関係すると思われるが、モルタルのフロー試験は全配合で実施していないので、ここでは、円筒貫入試験の結果に着目した。図5.2.3.6は図5.2.3.4と同様の図であるが、円筒貫入試験の値で凡例を区分した。これによれば、円筒貫入試験の値が大きいものはグラフの下側に位置し、モルタルの流動性も骨材残存率に影響している可能性が示唆される。図5.2.3.7は横軸を空気量も含めたモルタルの単位容積質量とした図であるが、基本

的な傾向は図5.2.3.6と変わらない.

締固めを必要とする高流動コンクリートの振動締固めによる骨材残存率に関しては、様々な要因が影響を与えていると考えられるが、上記の検討から、粗骨材とモルタルの単位容積質量(密度)の差、およびモルタルの粘性が影響を及ぼしていると考えられる.

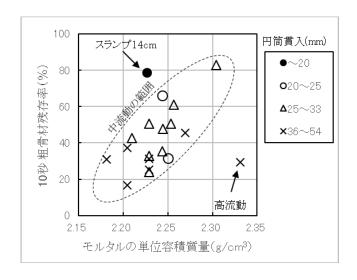


図 5.2.3.6 モルタルの単位容積質量と骨材残存率

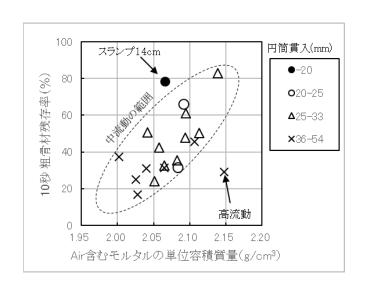


図 5.2.3.7 Air 含むモルタルの単位容積質量と骨材残存率

なお、粗骨材の表乾密度が 2.70g/cm³であるのに対して、モルタルの単位容積質量は 2.2~2.3 g/cm³程度と比較的小さく、その程度の差が支配的要因になるか否かについては議論の残るところである。また、モルタルの単位容積質量を求めるのに、空気量を考慮するべきか否かについても検討の余地がある。すなわち、20 リットルという小さな容器に 10 秒もバイブレータを掛けると、相当量の空気が抜けている可能性があることや、振動による空気の移動は粗骨材の移動とは異なることも確認しなければならず、今後の検討が重要であろう。

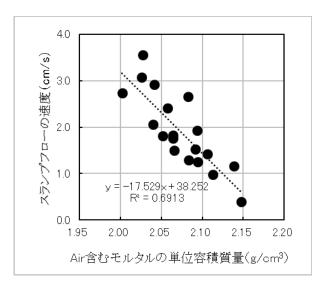


図 5.2.3.8 Air を含むモルタルの単位容積質量とスランプフローの速度

図5.2.3.8 に示すように、モルタルの単位容積質量はコンクリートの流動性(粘性)に関連しているスランプフローの速度と大きく関連している要素である可能性が高い. 粗骨材とモルタルとの密度差で界面に剪断力が発生し、これがモルタルの粘性を超えるとコンクリートの流動が起きると考えれば、双方の関連性は理解できる. また、単位容積質量が大きいモルタルほど粉体量が多く粘性が高いとも考えられる.

(執筆者:石井 祐輔, 片平 博, 吉田 克弥, 梁 俊, 渡邉 真史)

6. まとめ

本 WG は、締固めを必要とする高流動コンクリートのフレッシュ性状の試験方法について検討を行った. 試験方法は、充填性に加え、振動締固めを行った際の材料分離抵抗性を評価できる試験方法を既往の文献 から選定するとともに、新たな試験方法の提案も行った。実験的検討では、検討した既存の試験方法や新た に提案する試験方法の他に、L 型構造物の模擬型枠を用いて、配合影響要因も含めて、締固めを必要とする 高流動コンクリートのフレッシュ性状の試験方法について検討した.

その結果,本 WG で新たに提案した「粗骨材の沈下量評価試験」と「触感による評価試験」の2つの試験 方法が,締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性を評価する有効な試験方法となることを 示唆した.本 WG の提案する試験方法と評価方法を表 6.1 に示す.

試験名	試験方法の概要	評価方法		
	円筒容器に試料を詰め、棒状バイブレー	洗い分析試験の結果から,計画配合の		
	タにより,容器の中心部に 10 秒締固めを	粗骨材単位質量を 100%として粗骨材		
粗骨材の沈下量評価試験	行う. 締固めを行った上層部のコンクリ	残存率を算出する. 詳細は,「4.1.2.3」		
	ート2リットルを採取し、洗い分析試験	を参照.		
	を行う. 詳細は,「4.1.2.2」を参照.			
	練り舟における切返し後のコンクリート	練り舟の試料に対してハンドスコッ		
触感による評価試験	の触感評価を行う. 詳細は,「4.2.5 (2)」	プによってコンクリートに直接触れ		
四共党ペーム 公計1川武教	を参照.	た時の感覚を「-2~+2」の 5 段階で評		
		価する. 詳細は,「4.2.5 (2)」を参照.		

表 6.1 本 WG の提案する試験方法の概要と評価方法

その他の試験方法として,既存の試験方法の改良や評価方法の提案により「U 形充塡試験」も有効な試験 方法となる可能性を示唆した(詳細は,「5.2.2」を参照).また,「円筒貫入試験」と「ふるい分離試験」は, 単独の試験結果だけでは締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性を評価することは困難で あるが,両試験の結果を組み合わせることにより,有効な試験方法となる可能性を示唆した(詳細は,「5.2.1」 を参照).

上記の試験方法を締固めを必要とする高流動コンクリートのフレッシュ性状の試験方法として確立するためには、現状では試験結果データが不十分であるため、今後、上記に記した試験方法で様々な地域の材料(細骨材、粗骨材)を使用した結果データの蓄積が必要である。また、締固めを必要とする高流動コンクリートのフレッシュ性状試験の評価方法に対する目標値が必要となるため、施工条件や構造条件を考慮した場合の評価方法に対する目標値の設定についても、試験方法や評価方法とともに検討する必要がある。

(執筆者:根本 浩史, 梁 俊, 橋本 紳一郎)

第V編 基調講演・シンポジウム論文集

第 V 編 目 次

V. 基調講演・シンポジウム論文集

基調講演

流動性を高めたコンクリートのガイドラインと施工性能指針(コンクリートライブラー145号)の関係について	
徳島大学大学院 教授 橋本	ド 親典
シンポジウム論文	
1. 増粘剤一液タイプの化学混和剤	. V-9
尾田健太(日本シーカ),新藤健司(日本シ	シーカ)
2. 配合・材料条件が高性能 AE 減水剤(増粘剤一液タイプ)を用いた締固めの必要コンクリートの性状に及ぼす影響	- ,
小林竜平(竹本油脂),橋本紳一郎(千葉工業) 根本浩史(清水建設),齊藤和秀(竹本	
3. 締固めを必要とする高流動コンクリートの締固め性に関する基礎研究	V -17
梁俊(大成建設),坂本淳(大成 丸屋剛(大成建設),太田貴士(大成	
4. 締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離の機構および材料分離が力等性に及ぼす影響について	
鈴木将充(東急建設),古川翔太(東京理科	

間隙通過性やブリーディング特性に与える影響について	5.	凍害を考慮した護岸に適用する,締固めを必要とする高流動コンクリートの諸特性と 補修に関する検討
間隙通過性やプリーディング特性に与える影響について		鶴田浩章(関西大学)
橋本親典(徳島大学), 渡邉健(徳島大学) 7. フライアッシュを多量に用い振動付与した高流動コンクリートをコンクリート製品に使用した場合の製品肌面に及ぼす影響	6.	
使用した場合の製品肌面に及ぼす影響		
3. スランプフローで管理する普通コンクリートの圧送性	7.	
木村芳幹 (コンステック), 山崎順二 (淺沼組) 岩清水隆 (竹中工務店), 山田藍 (竹中工務店) 岸繁樹 (近畿生コンクリート圧送協同組合), 中村成春 (大阪工業大学) 橋本紳一郎 (千葉工業大学) の. 2000mを超える長距離圧送におけるコンクリートの配合に関する一考察		横山卓哉(キクノ),橋本親典(徳島大学)
岩清水隆 (竹中工務店), 山田藍 (竹中工務店) 岸繁樹 (近畿生コンクリート圧送協同組合), 中村成春 (大阪工業大学) 橋本紳一郎 (千葉工業大学) 9. 2000mを超える長距離圧送におけるコンクリートの配合に関する一考察	8.	スランプフローで管理する普通コンクリートの圧送性 V-51
根本浩史 (清水建設), 橋本紳一郎 (千葉工業大学) 伊達重之 (東海大学), 北野潤一 (清水建設) 10. 速硬性を有するコンクリートの圧送性について		岩清水隆 (竹中工務店), 山田藍 (竹中工務店) 岸繁樹 (近畿生コンクリート圧送協同組合), 中村成春 (大阪工業大学)
伊達重之 (東海大学), 北野潤一 (清水建設) 10. 速硬性を有するコンクリートの圧送性について	9. 2	2000mを超える長距離圧送におけるコンクリートの配合に関する一考察V-59
高橋直希(フジタ),橋本紳一郎(千葉工業大学) 江原季映(フジタ),宮嶋真澄(フジタ) 11. 締固めを必要とする高流動コンクリートの鋼コンクリートサンドイッチ構造への適用		
江原季映(フジタ),宮嶋真澄(フジタ) 11. 締固めを必要とする高流動コンクリートの鋼コンクリートサンドイッチ構造への適用	10.	速硬性を有するコンクリートの圧送性について V-65
	11.	

末岡英二(東洋建設),竹中寛(東洋建設) 水谷征治(東洋建設)

12.	増粘剤一液型高性能 AE 減水剤を用いた中流動覆エコンクリートの性能評価実験
	V –77
	松本修治(鹿島建設),坂井吾郎(鹿島建設)
13.	締固めを必要とする高流動コンクリートを用いた鉄道高架橋の施工 V-81
	橋本学(鹿島建設),松本修治(鹿島建設)
	坂井吾郎(鹿島建設)

流動性を高めたコンクリートのガイドラインと施工性能指針 (コンクリートライブラリー145号)の関係について

橋本 親典*1

1. はじめに

2017年7月から、国土交通省発注のコンクリート工事において、一般の土木用コンクリートのスランプの積算基準が、8cm から 12cm に変わった。筆者の研究室にある過去のコンクリート標準示方書を調べた限りにおいて、昭和31年土木学会制定コンクリート標準示方書本文の表中に「かなりマッシブなコンクリートのスランプの最大値7.5cm」との記載がある。ここから推測すると、昭和31年当時から積算基準はスランプ8cm 前後であったと思われる。したがって、60年以上続いたものが変わることになる。これは、2016年3月に国土交通省の「コンクリート生産性向上検討協議会(会長:前川宏一横浜国立大学大学院教授)」において設置された「流動性を高めたコンクリートの活用検討委員会(委員長:筆者)」で「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」(以後、「流動性を高めたコンクリートのガイドライン」と記す)が制定され、荷卸し時のスランプの参考値として12cm が示されたためである。

流動性を高めたコンクリートのガイドラインの制定にあたっては、土木学会コンクリート委員会から発刊されたコンクリートライブラリー126号「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針(案)」と145号「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針[2016年版]」の成果(以後、126号と145号を併せて「施工性能指針」と記す)が、技術的根拠として大きく貢献している。

本論文では、流動性を高めたコンクリートのガイドラインと施工性能指針の関係について解説する.

2. 単位水量とスランプの関係

図ー1は、全国の生コン工場における24-8-20Nのコンクリートの単位水量を調査した結果であるが、単位水量で最大30kg/m³の違いがある。このように同じスランプであっても、単位水量や単位セメント量が異なる。これは、全国の骨材事情の影響であ

る. 全国的に、コンクリート用骨材は、川砂や川砂利から陸砂や陸砂利、さらには、砕砂や砕石に移行しつつある。また、細砂が主な供給源であった海砂が海岸の環境保全のため採取禁止になり、現在、海砂の採取が可能な地域は非常に限られている。この影響は、東日本と比較して西日本が大きく、砕石や砕砂が通常の骨材として使用する生コン工場が大半である。そのため、近畿、中国、四国、九州地区で全国平均を上回る工場が多い。

写真-1は、スランプ8cmのコンクリートをバイブレータ によって入念に締固めた結果を示す。左の写真は適正な配合 であったため十分に締め固まっているが、右はかぶり部にコ

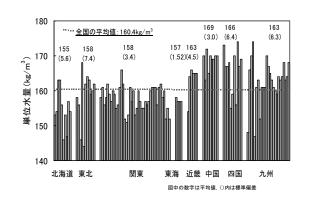


図-1 全国の生コン工場における単位水量調査結果

^{*1} 徳島大学大学院教授 社会産業理工学研究部 理工学域 社会基盤デザイン系 構造・材料分野 工博

ンクリートが行き渡らなかった. この事例はスランプ 8cm のコンクリー トで高密度配筋への締固めを試みたものであり、極端な事例ではあるが、 スランプ 8cm が同じでもコンクリートの充填状況 (間隙通過性) すなわ ち施工性能が大きく異なる事例である.

このような背景のもとに、土木学会コンクリート委員会では、2007年 にコンクリートライブラリー126 号「施工性能にもとづくコンクリート の配合設計・施工指針(案)」が発刊され、2016年にその改訂版であるコ ンクリートライブラリー145 号が発刊された.

粗骨材量少



粗骨材量多

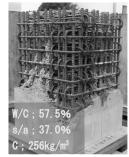


写真-1 コンクリートの打込み実験の結果

3. 施工性能を定量的に評価試験方法の提案

フレッシュコンクリートのコンシステンシーを評価する試験方法として最も代表的試験は、スランプ試験である。しかしなが ら、同一スランプを有するコンクリートであっても、実際の型枠内に配置された鉄筋の間を、内部あるいは外部振動機によって 与えられた振動エネルギーによって液状化したコンクリートが流動・充塡する性能、すなわち、間隙通過性は同一ではない、細 骨材率、単位セメント(粉体)量、水セメント(粉体)比、化学混和剤の種類、骨材の種類など、配合条件や使用材料の影響に よって、間隙通過性が大きく異なる.

前章で説明したとおり、骨材資源の枯渇により、川砂や川砂利を骨材として使用したコンクリートから砕石や砕砂を骨材とし て使用したコンクリートに変化し間隙通過性が劣る傾向にある. 一方,高性能 AE 減水剤,高機能 AE 減水剤,増粘作用を有する 一液型高性能 AE 減水剤等の技術的進歩によって、単位水量を増大することなくスランプを自由に設定することができる技術が ある. 従来の最適細骨材率という配合設計を踏襲することなく、同じ単位水量で、スランプを自由に設定したコンクリートの製 造が可能である.

従来のコンクリートでは、スランプが小さいコンクリートよりもスランプが大きいコンクリートの方が、間隙通過性が高く、 施工性能がよいと判断される場合が多かった.しかしながら,化学混和剤を用いた砕石や砕砂を骨材として使用したコンクリー トでは、必ずしもスランプが大きいコンクリートの方が施工性能がよいとは限らず、スランプが小さくても、良好な施工性能を 有するコンクリートがある.

つまり、現在のコンクリートの施工性能をスランプ試験のみで定量的に評価することには限界がある。特に、化学混和剤を用 いてスランプを任意に設定した砕石や砕砂を骨材として使用したコンクリートでは、同一スランプであっても、間隙通過性が大 きく異なる.

施工性能指針で は,施工性能を定量 的に評価できる試 験方法として、スラ ンプ試験に変わる 新たな試験方法で ある, 土木学会規準 「ボックス形容器 を用いた加振時の コンクリートの間 隙通過性試験方法

(案) (JSCE-F701-

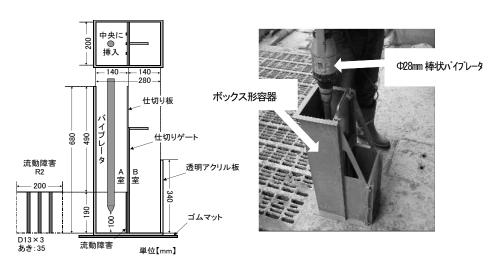


図-2 ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験装置

2016)」を提案した. 図-2に、本試験装置の寸法および外観を示す.

本試験装置内に充填されたコンクリート試料の状況を図-3に模式的に示す. 本試験の実施手順を以下に記す.

まず、仕切りゲートを閉じた状態で、ハンドスコップ等を用いてA室に試料を3層に分けて詰める。1)に示すように、A室の 上端まで試料を詰めた後、上面を軽くならし、バイブレータをA室中央に静かに挿入する. 2)に示すように、バイブレータが停

止している状態で仕切りゲートを 開き, 試料の流動を観察し, 流動が 停止したことを確認する. 試料の 流動が停止したことを確認して, バイブレータを始動する. 3) に示 すように、バイブレータ始動時か らB室正面において試料の高さが 190 mm および300 mm に達するま での時間をストップウォッチ等を 用いて 0.1 秒単位で計り, それぞ れ 190 mm 到達時間 t190 (s), 300 mm 到達時間 t300 (s)とする. 仕切 りゲートより鉛直高さである

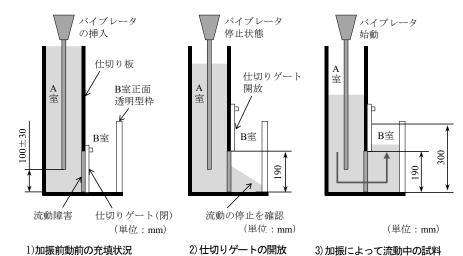


図-3 加振に伴うボックス形容器内の試料の流動状況

110mm (300mm-190mm) を 190mm から 300mm までに要する時間 (t300-t190) で除した値を間隙通過速度(mm/s)とする.

図-4は、この「ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間 隙通過性試験方法(案)」を用いて、スランプ8cmのコンクリート3配合 とスランプ 15cm のコンクリート 3 配合の間隙通過速度を示す. 実験に供 したコンクリート6配合の配合条件を、表-1に示す。単位水量や単位 セメント量が変化しているが、スランプ 8cm と 15cm の条件は一定であ る. 間隙通過速度が早いほど、間隙を通過する時間が短いことを意味す る. 図-4から、スランプ 15cm よりもスランプ 8cm の間隙通過速度が早 い配合がある。よって、スランプのみで間隙通過性を評価できない。つ

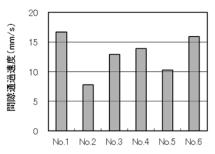


図-4 配合別の間隙通過速度

まり、施工性能とスランプは1対 1ではないということである. こ れが、現在のわが国のコンクリー トである.

4. 施工性能指針の概要

施工性能指針では、コンクリー トの製造、現場までの運搬、荷卸 し, 現場内での運搬, 打込み, 締固 めまでの一連の作業を対象とす る. これらの各作業段階を通じて

No.	目標スランプ	目標空気量	配合条件
1			W/C=55%とした基本配合
-			No.1 の単位粗骨材量を同じとして、単位セメント量を
2	$8.0 \pm 1.0 \text{ cm}$	$4.5 \pm 0.5 \%$	50 kg/m ³ 低減した配合
3			No.1 の単位粗骨材量を同じとして、単位セメント量を
3			50 kg/m³増加した配合
4	15.0±1.0 cm		W/C=50%とした基本配合
5		4.5±0.5 %	No.4 の単位粗骨材量を同じとして、単位セメント量を
			50 kg/m ³ 低減した配合
6			No.4 の単位粗骨材量を同じとして、単位セメント量を
			50 kg/m³ 増加した配合

表-1 実験に供した6配合の配合条件

想定される初期不具合の発生を防止するために,充塡性とポンパビリティーを取り上げ,この2つの施工性能を適切に得ること ができる配合設計の考え方を示した.

充填性とは製造,運搬,荷卸し,現場内での運搬,打込みおよび締固めまでの一連の作業において,初期不具合の発生を防止して高品質で密実なコンクリートの充填を達成するために求められる性能と定義した.充填性は振動締固めを加えた場合の流動性と材料分離抵抗性との相互作用によって得られる性能であり、以下の4項目を施工性能指針のポイントとしている.

- 1) 流動性の指標にスランプを用いる.
- 2) 材料分離抵抗性の指標に、セメントや混和材などの単位粉体量を用いる.
- 3) 部材寸法,鉄筋量や鉄筋間隔などの構造条件,あるいは振動締固めの負荷量の違い,内部バイブレータの挿入間隔(締固め効果範囲)などの施工条件に応じて,打込み箇所で必要とされる充塡性のレベルを設定する.この充塡性のレベルは打込み箇所

でのスランプと単位セメント量の関係で整理することによって、構造条件や施工条件別に適切なスランプと単位セメント量を選定できる。図-5にその一例を示す。

4) 打込みの最小スランプを施工条件などから選定し、それが確実に確保されるように、スランプのばらつき、ポンプ圧送によるスランプの低下のリスクを考慮して、荷卸し時のスランプを決定する. 図-6に作業の流れに伴うスランプの変化の概念を示す.

コンクリートのスランプは、練上がりから時間が経過することによって低下する。また、構造物の形状や環境などの施工条件に応じて要求されるコンクリートの流動性(スランプ)が異なるにもかかわらず、明確な定義がされないままであったが、施工性能指針で整理され定義されるようになった。

注意すべき点は、JIS A 5308のレディーミクストコンクリートでは、荷卸し時のスランプを規定しているのに対して、土木学会コンクリート標準示方書では打込み時のスランプを規定している点である。両者の違いは、バケット打ちが主流であった現場ではさほど問題とはならなかったが、ポンプ施工による今日の現場では圧送時のスランプ低下を考慮しなければならない。さらに、スランプは材料の品質変動や温度などによる変動も考慮する必要がある。

施工性能指針では、ポンプの配管の筒先のまさに打ち込むコンク リートに要求される最小スランプを規定し(図ー6)、この打込み 時の最小スランプに、スランプの許容差とポンプ圧送によるスラン プの低下を加算し、荷卸し時のスランプ、すなわち JIS の認定を受

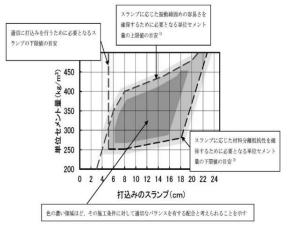


図-5 施工性能を確保するための打込みスランプと 単位セメント量の関係の確認図の一例

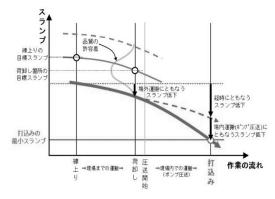


図-6 各施工段階の設定スランプとスランプの低下の関係

けたレディーミクストコンクリート工場に注文するスランプを算出する方法が示されている.要するに、打込みの最小スランプ、 荷卸し時の目標スランプ、練上りの目標スランプという3つの段階のスランプを定義して導入しているのである.

例えば、各種の構造要件から最小スランプ 8cm が求められる場合、ポンプ圧送ロスが 1cm, スランプのばらつきによる許容差 2.5cm とすれば、荷卸し時のスランプは 11.5cm となり、レディーミクストコンクリート工場に注文するスランプは 12cm とすればよい. 筒先のスランプを最低でも 8cm とすることが可能であり、上限発注などの加水行為をする必要がなくなる. いわゆるリスク管理である.

現状ではスランプ8cmのコンクリートをJISの認定を受けたレディーミクストコンクリート工場から注文すれば、荷卸し時のスランプとして、許容差±2.5cmであるので、5.5~10.5cmまでが合格となるが、ポンプ圧送が加われば筒先のスランプは小さくなる.施工現場において、荷卸し時のスランプ5.5cmで合格したコンクリートであっても、ポンプの閉塞や豆板・未充填の発

生確率は高い、このため、現場ではやむを得ず、リスク回避としてスランプの上限発注が行われるケースもある。

前述の例に示すスランプ 12cm は荷卸し時での目標スランプを意味し、打込み時の最小スランプは 8cm であり、従前からのスランプの考え方に根本的な変更はない。荷卸し時のスランプが変わっただけであり、打込み時のスランプは変わっていない。より確実かつ透明性をもって達成する具体的方法を、明記しているのである。

にもかかわらず、施工性能指針やコンクリート標準示方書に従ってスランプが選定されるケースはほとんどなく、発注された 荷卸し時のスランプ8cmが事実上の基準となってきた。その結果、発注者と協議の上に、施工承諾で荷卸し時のスランプを12cm としてきたことは前述のとおりである。このようなことを踏まえて流動性を高めたコンクリートのガイドラインが発刊され、そ の中で荷卸し時のスランプの参考値として12cmが示され、その参考値が積算基準となった。今回の流動性を高めたコンクリートのガイドラインの技術的根拠として施工性能指針が大いに貢献した。

5. 流動性を高めたコンクリートのガイドラインの概要

今回制定された流動性を高めたコンクリートのガイドラインは、本文と参考資料から構成されている.

本文

- 1章 概要
- 2章 コンクリートの流動性の選定
- 3章 施工時における品質確認上の留意点
- 4章 高流動コンクリートの選定と留意点

参考資料

- 1. 目標スランプ変更の実態調査
- 2. スランプの違いによる配合の変化
- 3. 流動性を高めたコンクリートの分離抵抗性の確認方法(案)
- 4. 第4回コンクリート生産性向上検討協議会資料(抜粋)

以下に、本文の各章の内容を紹介する.

1章は、本ガイドラインの適用の範囲を本文で示し、なぜこのようなガイドラインが必要になったのかということを解説文で 説明している。

最近のコンクリートの施工は、これまでバケット打ちからコンクリートポンプを用いたポンプ工法が主流になった。従来の荷 卸し時点においてスランプ8cmのコンクリートはスランプロスし、打込み直前の筒先でのスランプが低下し、スランプが8cmで ない場合が多い。また、骨材事情の悪化や耐震補強による高密度配筋の部位が多くなってきたことによって、打ち込み時の施工 不良や不具合の発生頻度が高くなってきた。その結果、流動性の高い現場打ちコンクリートの施工を確実に行うことができるよ うなガイドラインが要になってきた。以上の内容を説明している。

2章は、コンクリートの流動性の選定に関する基本方針を提示している. 要点は以下の4点である.

- 1)流動性の指標は、スランプおよびスランプフローとする.
- 2) 流動性の選定は、打込みの最小スランプを考慮して、施工者が適切に選定する.
- 3))流動性選定時の考慮事項は、構造物・部材の種類、鋼材量や配筋条件、作業条件などである.
- 4) 設計時に目標スランプを定める際(参考値)として、荷卸し時の目標スランプ12cmとする.

上記の1)~3)は、前述した施工性能指針の考え方に一致するものである.

4)の根拠としては、設計時に荷卸し時の目標スランプを定める時点では、コンクリート構造物の施工条件等を詳細には検討できないことも想定される。その場合、一般的な鉄筋コンクリート構造物においては、これまでの実績等を踏まえ、荷卸し時の目標

スランプの参考値を 12 cmとしてよいとしている. 図-7に国土交通省発注のコンクリート工事 102 件のスランプ変更の実態調査結果を示す. 原設計の荷卸し時の目標スランプが 8cm で、そのままの流動性では施工が困難と考えられる場合、これを 12cm に変更して施工している工事が 67%ある. 荷卸し時の目標スランプを 12cm とすると、殆どの現場で必要な施工性能を確保できることが期待される.

3 章は、施工時における品質確認上の留意点に関する基本方針を提示している。要点は以下の2点である。

- 1) 目標スランプが12 cmの場合,配合計画書により配合計画を確認する.
- 2) 目標スランプが12 cm以上の場合,1) に加え,試し練りを行い,材料分離抵抗性を確認する.

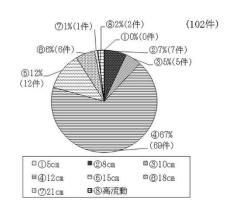


図-7 施工の際に変更したあとの目標スランプの値(原設計の荷卸し時の目標スランプ8cm)

2章において「流動性の選定は、打込みの最小スランプを考慮して、施工者が適切に選定する。」としていることから、スランプの大きなコンクリートが選定される場合もある。この場合、ブリーディング等の材料分離が懸念される。

したがって3章では、施工時における品質確認上の留意点として、荷卸し時の目標スランプが12cmの場合には、従来の荷卸し時の目標スランプが8cmの場合と同様に、JIS認定の生コン工場の配合計画書を確認すればよいとしている。表-2は、流動性を高めたコンクリートのガイドラインの3章の解説に記載している表を示す。

一方,荷卸し時の目標スランプが12cmを超える場合(JIS生コンではスランプ12cmの次に大きいスランプは15cmであるため、

表-2 荷卸し時の目標スランプが 12cm の場合の配合計画書 の確認事項

粗骨材の最大寸法	確認項目	基準値
	単位水量	175kg/m³以下 (推奨値)
20~25mm	単位セメント量	270kg/m³以上(推奨値)
	水セメント比	55%以下
	単位水量	165kg/m³以下 (推奨値)
40mm	単位セメント量	250kg/m³以上 (推奨値)
	水セメント比	55%以下

目標スランプ 15cm 以上になる) には、事前に試し練りを行い、スランプ試験後の試料の外観やブリーディング量から材料分離 抵抗性を判断して適正なコンクリート配合を選定することとしている。これは前述のとおり、目標スランプが 15cm 以上の場合、配合によっては過度のブリーディングの発生が懸念されるからである。

4章は、高流動コンクリートを選定する場合の留意点に関する基本方針を提示している。2章の条文を受け、コンクリートの流動性を定める際、鋼材量や配筋等の構造条件と打込み、締固め等の作業条件から、コンクリートに特別な流動性能が必要と判断された場合、あるいは使用することにより現場打ちコンクリート工事の生産性が著しく向上すると判断された場合には、高流動コンクリートを選定してよい。高流動コンクリートを選定する場合、試し練りを行い流動性、材料分離抵抗性、自己充填性を確認する。高流動コンクリートの配合設計、流動性、材料分離抵抗性および自己充填性の評価方法に関しては、土木学会コンリートライブラリー136号「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」を参考にすることを解説文に明記している。

6. 締固めを必要とする高流動コンクリートと流動性を高めたコンクリートのガイドラインの関係

358 委員会で検討した締固めを必要とする高流動コンクリートは、流動性を高めたコンクリートのガイドラインの3章と4章 の間に位置づけされると思われる。3章と4章には大きな障害が存在する。スランプでコンシステンシーを評価することができるコンクリートから、スランプフロー60cm 程度の締固め不要な自己充填性を有する高流動コンクリートとの不連続性を埋めるべきコンクリートが必要である。この溝を埋めるべきコンクリートが、締固めを必要とする高流動コンクリートである。図-8 は、普通コンクリートと高流動コンクリーの関係を模式的に図示したものである。

すなわち、スランプフロー40cm~60cm で、締固めを行うことによって高流動コンクリートの自己充填性を実現できるコンク リートである。流動性を高めたコンクリートのガイドラインの主査を引き受ける際に、2016 年 3 月頃、締固め不要な自己充填性 を有する高流動コンクリートのガイドラインの作成を要請された経緯がある。高流動コンクリートは、すでに、1989年に岡村甫(東大名誉教授),前川宏一(東大名誉教授),小沢一雅(東大教授)らが開発され、約四半世紀が経過されている。すでに、土木学会からコンクリートライブラリーとして高流動コンクリートの配合設計・施工指針も改訂版が発刊されている。

しかしながら、土木のコンクリートを一気に高流動コンクリートに移行するためには、全国の生コン工場での製造技術および供給体制が伴っていないと判断した。3 か月程度、悩んだ挙句、スランプ8cmをスランプ12cmに変更し、コンクリート工の生産性を向上させることにした。

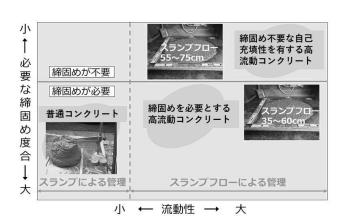


図-8 締固めを必要とする高流動コンクリートの位置

7. おわりに

流動性を高めたコンクリートのガイドラインの最終目標は2章に記述のとおり、構造条件や施工条件によってスランプを施工者が任意に選択できるようにすることである。しかしながら、荷卸し時の目標スランプ8cmの発注が土木用コンクリートのこれまでの常識であったため、一足飛びにスランプの自由度を上げることは短期的な混乱を招きかねない。荷卸し時の目標スランプ8cmのままになってしまう恐れもある。そうならないように、設計時に目標スランプを定める際の荷卸し時の目標スランプの参考値を12cmとし、この参考値を国土交通省が通常のコンクリート工事の積算基準とし適正化した。現場での打込み時のスランプを確実に8cm以上に確保できることになる。流動性を高めたコンクリートのガイドラインの普及によって、国交省の発注工事のみならず、県・市・町・村等の地方公共団体が発注する土木工事のコンクリートもスランプ12cmが定着しつつある。

日常化されたスランプ変更の協議がほとんどなくなり、発注者、施工者ともに生産性が向上するとともに、適切なスランプで施工できることから、施工の生産性向上およびコンクリート構造物の品質向上につながるものと期待される.

今回の変更が契機となり、現場施工の条件に応じたスランプが適正に選定されるようになったあとは、コンクリート工の生産性向上の究極の技術である、ガイドラインの4章の高流動コンクリートの普及に向けた方策を検討していく必要がある.

締固め不要の高流動コンクリートが普及すれば、生コンの製造を含めコンクリート工全体が完全自動化になる可能性がある。 コンクリート工が情報化施工技術の1つとなり、生産性の問題のみならず、コンクリート工が昼間から夜間の施工になり、夏場の暑中コンクリートの問題も解消できる。ビッグデータやAI等の技術革新がコンクリート工にも広がっていくと思われる。

そのためには、3章と4章の溝を埋めるために、締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工指針(案)が必要不可欠である。高流動コンクリートの「高」は単に流動性のみならず、高耐久の「高」である。締固め不要な自己充填性を有する高流動コンクリートには、セメント以外の混和材が用いられている。そのため、高流動のみならず、高耐久なコンクリートである。締固めを必要とする高流動コンクリートも同様に、高耐久なコンクリートになることを期待したい。

流動性を高めたコンクリートのガイドラインを多くに技術者に周知してもらうために、種々の雑誌に同様な原稿を掲載していただきました。本論文はそれらの原稿を取りまとめたものであり。それらの原稿を参考文献として発刊年月日順に紹介させていただきます。同様に、講演会でも要旨を配布させていただきました。講演会を発表順に紹介させていただきます。

参考文献

1) 橋本親典:流動性を高めたコンクリート -コンクリート生産性向上に資するスランプ 12cm-, ベース設計資料 土木編,

- Vol. 180, pp. 31-33, 2019年3月.
- 2) 前川宏一, 橋本親典, 坂田昇: 土木学会関連指針の観点からの「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン(国土交通省)」について、コンクリート工学、Vol. 56, No. 3, pp. 213-217, 2018 年 3 月.
- 3) 橋本親典: Specila issue 生コン×i-Con コンクリート打設の効率化検討進む, 橋本親典・徳島大学大学院教授に聞く , コンクリートテクノ, Vol. 37, No. 1, pp. 12-14, 2018 年 1 月.
- 4) 橋本親典: 荷卸し時のスランプ 8cm が変わる, 国土交通省「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」の運用開始 , 土木学会誌, Vol. 103, No. 1, pp. 58-61, 2018 年 1 月.
- 5) 坂田昇, 橋本親典, 前川宏一: コンクリートの生産性向上 土木学会施工性能指針の観点からの流動性を高めたコンクリートのガイドラインについて, --- ~変わったことと変わらないこと~ ---, コンクリートテクノ, Vol. 36, No. 11, pp. 9-14, 2017 年 11 月.
- 6) 橋本親典,前川宏一,坂田昇:土木学会「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針」から見た「流動性を 高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」について、セメント・コンクリート, Vol. 847, No. 9, pp. 12-16, 2017年9月.
- 7) 浦野真次,橋本紳一郎,橋本親典,綾野克紀:土木学会「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針[2016年版]」の概要,コンクリート工学,Vol. 54, No. 10, pp. 987-992, 2016年10月.
- 8) 橋本親典:施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針改訂小委員会, 土木学会コンクリート委員会特集 , セメント新聞, 2016 年 3 月.
- 9) 橋本親典: 示方書[施工編]に通常のコンクリートのスランプ標準値という記載がなくなったことをご存じですか?, 電力 土木, Vol. 374, pp. 3-9, 2014 年 11 月.

講演会

- 1) 橋本親典:流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン, 制定の経緯とその後の効果および課題 , JCI2019 札幌大会 第26回生コンセミナー 講演要旨, pp. 1-14, 2019 年7月, 札幌
- 2) 橋本親典:「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」の制定の経緯および考え方について、平成30年度高知県コンクリート診断士会通常総会・研修会、2018年6月、高知
- 3) 橋本親典:「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」の制定の経緯および考え方について、 SEC コンクリート機械協会平成30年度第39回総会特別講演会,2018年5月,東京
- 4) 橋本親典:「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」の制定の経緯および考え方について,平成29年度オーナー研修会,2017年11月,香川県
- 5) 橋本親典:「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」の制定の経緯および考えかたについて、 技術講習会(第11回)、2017年9月、山口県

増粘剤一液タイプの化学混和剤

尾田 健太*1・新藤 健司*2

1. はじめに

近年のコンクリート構造物では、複雑化する部材形状、小さな部材断面、鉄筋量の増加による高密度配筋部位など、作業スペースが限られている、あるいは障害物などにより締固めが困難な状況も頻発している。更に、建設技能者の減少や騒音問題などでも締固め作業の低減が求められる場面が増加しており、施工の効率化が強く望まれている。

そのような背景の中、流動性・分離抵抗性・充填性に優れる高流動コンクリートが開発され実用化されてきた $^{1)}$. 現在、土木学会では高流動コンクリートの種類は使用材料の選定や配合設計の方法により粉体系、増粘剤系および併用系の3種類 $^{1)}$ に分類している。2019年にJIS A 5308 「レディーミクストコンクリート」の改正が行われたことで、高流動コンクリートの使用が今後さらに増加することが予想される。

一般にコンクリートの流動性と材料分離抵抗性はトレードオフの関係にあり、流動性のみを高めてしまうと材料分離を引き起こす場合があるため、流動性を高める程度は材料分離が生じない範囲にとどめる必要がある。高流動コンクリートの技術的特性を担保するためには、適切な化学混和剤を選定することが重要である。本稿では増粘剤系高流動コンクリートの製造を容易にする増粘剤一液タイプの化学混和剤を紹介するとともに、増粘剤とその作用機構について解説する。また、増粘剤一液タイプの化学混和剤を使用したコンクリートの試験例を紹介する。

2. 中・高流動コンクリートと増粘剤一液化学混和剤の適用方法について

高流動コンクリートは優れた流動性と材料分離抵抗性を有するコンクリートの総称であり、一般に自己充填性を有するため締固め作業を行う必要が無いものとして開発された¹⁾. 作業性が大幅に改善するとともに施工性も向上するため、高密度配筋部位などへの打込みを密実に行うことができる.

一方,施工条件に応じて補助的な締固めを必要とする高流動コンクリートを中流動コンクリートと呼び²⁾,様々な検討がなされ³⁾ 実用化されている。中流動コンクリートは自己充填性を有していないが,一般のスランプ管理によるコンクリートよりも高い流動性を有するためスランプフローにより管理され,スランプ管理のコンクリートでは未充填や締固め不足が発生しやすい部位に適用されることが多い。

昨今のコンクリート業界を取り巻く背景から化学混和剤も高付加価値化が求められており、増粘剤一液タイプの化学混和剤が開発されてきた。高性能AE減水剤(増粘剤一液タイプ)(以下 VSP と記す)は JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」の高性能AE減水剤規格に適合する。 VSP を使用すると普通強度のコンクリートと比較して粉体量を大きく増加させることなく、また製造手法も変えることなく増粘剤系中・高流動コンクリートを製造することが可能である。 VSP は主に、呼び強度 27~45 程度の中・高流動コンクリートの製造時に使用され、代表的な用途はトンネルの覆丁コンクリートである。

また、コンクリートの練混ぜ時ではなく、打込み現場で普通強度のスランプコンクリートに増粘剤を含有した流動 化剤をアジテーター車に後添加することで高流動コンクリートを製造する手法も知られる.流動化剤(増粘剤一液タ

^{*1} 日本シーカ㈱ 技術研究所 コンクリートシステム 副主任研究員

^{*2} 日本シーカ㈱ 技術研究所 所長

イプ)(以下 VFA と記す)は JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」の流動化剤規格に適合し、スランプコンクリートから高流動コンクリートの製造も可能であり、施工条件や打込む部位によって流動性を適切に設定することができるため、施工の自由度を広げることができる⁴⁾。高流動コンクリートの供給が困難な地域において、 VFA の現場添加により中・高流動コンクリートが製造できる。

3. 化学混和剤に使用される増粘剤とその作用機構

製造会社 使用量(C×wt%) 区分 主成分 A社 標準形 カルボキシル基含有ポリエーテル系化合物と特殊増粘剤 1.0~3.0 標準形 ポリカルボン酸系化合物 0.5~3.0 B社 0.5~3.0 ポリカルボン酸系化合物 遅延形 標準形 ポリカルボン酸系コポリマーと特殊増粘剤 0.8~3.0 ____ ポリカルボン酸系コポリマーと特殊増粘剤 標準形 0.8~3.0 Cż+ 0.8~3.0 遅延形 ポリカルボン酸系コポリマーと特殊増粘剤 0.8~3.0 遅延形 ポリカルボン酸系コポリマーと特殊増粘剤 標準形 ポリカルボン酸系化合物と増粘成分 0.8~3.0 D社 遅延形 ポリカルボン酸系化合物と増粘成分 0.8~3.0 標準形 ポリカルボン酸エーテル系化合物と増粘性高分子化合物の複合体 0.5~3.0 Fネ+ 遅延形 ポリカルボン酸エーテル系化合物と増粘性高分子化合物の複合体 0.5~3.0 0.5~3.0 標準形 ポリカルボン酸系化合物と界面活性剤系特殊増粘剤の複合体 F計 ポリカルボン酸系化合物と界面活性剤系特殊増粘剤の複合体 0.5~3.0 遅延形 0.5~3.0 標準形 ポリカルボン酸系化合物と特殊増粘剤 G社 遅延形 ポリカルボン酸系化合物と特殊増粘剤 0.5~3.0

表-1 市販されている高性能AE減水剤(増粘剤一液タイプ)の一覧5)

現在市販されている VSP の一覧を表-1⁵⁾ に示す。各化学混和剤メーカから VSP が販売されており、主成分は減水性を付与するポリカルボン酸化合物と増粘剤との組み合わせにより構成されているものが多い。

化学混和剤中に配合されている,もしくは直接コンクリートに 適用される増粘剤の例と分類を $\mathbf{Z} = \mathbf{1}$ に示す⁶⁾. 増粘剤はその機



図-1 増粘剤の例と分類

能面から、水溶性高分子と界面活性剤に大別され、共に高次元構造を形成することにより増粘し、材料分離抵抗性の 増大を可能にする.水溶性高分子には長年に渡り利用されている天然由来のセルロース誘導体や多糖類・ガム類と合 成系水溶性高分子がある.

セルロース誘導体は、歴史的には左官モルタルのコテ作業性向上に使われ始めたのを皮切りに、押出し成形用増粘剤、水中不分離コンクリート用化学混和剤、高流動コンクリート用増粘剤として利用され、その用途を拡大してきた。セルロースに導入する置換基や分子量を調節することにより、MC(メチルセルロース)、HEC(ヒドロキシエチルセルロース)、HEMC(ヒドロキシエチルメチルセルロース)、CMC(カルボキシメチルセルロース)など多種のセルロース誘導体があり、使用条件や用途に合わせて選定されている。多糖類・ガム類は、加工技術の進歩によりその用途が拡充した。例えば、ウェランガム7)は、微生物が排出する酵素により合成されるためバイオポリマーとも呼ばれる。その他のバイオポリマーとして、キサンタンガム8)が知られている。

合成系水溶性高分子はグリコール系とアクリル系に分類される. グリコール系の代表例としてポリエチレングリコールがあり、例えば分子量 10,000 程度のポリエチレングリコールはセメントへの吸着が少ないため、凝結遅延が少なく分離抵抗性を付与することが報告されている⁹⁾.

アクリル系では、ポリアクリルアミドが知られている。ポリマー中に反応性に富む酸アミド基を含むメタクリル系カチオンポリマー¹⁰⁾が好ましいとされる。

これら水溶性高分子は共通して水素結合を形成できる官能基を多数有している(セルロース誘導体や多糖類は OH 基やエーテル基, グリコール系は OH 基, ポリアクリルアミドにはアミド基). 多数の水素結合を介し水溶性高分子同士の会合により高次元構造を形成することで増粘効果をもたらすと考えられる.

このように増粘剤として使用される水溶性高分子は多種多用な素材があり、VSP の機能性を高めることができるが、セメントの水和を遅延させるなどの技術的課題がある。そこで、分子量の低い界面活性剤を用いた増粘剤が開発され、新たな展開が図られている。例えば、陰イオン性のアルキルアリルスルホン酸塩とカチオン性のアルキルアンモニウム塩の二つの界面活性剤を主剤とした増粘剤は、水中で高次構造体のチューブ状ミセルを形成し、増粘効果をもたらすことにより水中不分離コンクリートに適用されている¹¹⁾。

4. 高性能AE減水剤(増粘剤一液タイプ)を用いたコンクリートの試験例

VSP を使用した高流動コンクリートの配合と試験値の一例を**表-2**に示す. 比較として, スランプ管理の普通コンクリートと, 増粘剤を別添加した増粘剤系高流動コンクリートの試験結果を示す¹²⁾.

高流動コンクリートの自己充填性は粗骨材の最大寸法が大きくなるほど低下する傾向にあるため、最大寸法を20mm もしくは25mm とする場合が一般的である¹⁾. また、単位粗骨材量が多いほど鉄筋間での閉塞が発生しやすくなるため、良好な間隙通過性を確保するために、粗骨材のかさ容積はスランプ管理の一般的なコンクリートよりも小さくする必要がある。それらを適切に設定することで、スランプ18cm の普通コンクリートと同じ単位水量、単位セ

表-2 VSP を使用した高流動コンクリートの試験

		W/C	s/a	単位量 (kg/m³)			かさ容積	スランプ又は	m = = (0)			
コンクリート種類	種類	(C×%)	(%)	(%)	W	С	S	G	(m^3/m^3)	スランプフ 3 ロー(cm)	空気量(%)	
普通コンクリート	SP	0. 8	50. 0	48. 7	175	350	854	906	0. 575	18. 0	4. 4	
増粘剤一液タイプ 高流動コンクリート	VSP	1. 3	50.0	50.0	F1 7	175	350	000	851	0. 545	63. 0	4. 8
増粘剤系高流動コンクリート (+増粘剤0.3kg/m³)	SP	1. 5	50.0	50. 0 51. 7	51. 7	1/5	350	900	851	0. 545	64. 0	4. 3

使用材料

- W: 上水道水 (密度1.00 g/cm³)
- C: 普通ポルトランドセメント (密度3.16 g/cm³)
- S: 陸砂 (表乾密度2.62 g/cm³, F.M. 2.72)
- G: 砕石2005 (表乾密度2.64 g/cm³)
- SP: 高性能AE減水剤
- VSP: 高性能AE滅水剤(増粘剤-液タイプ) 表一3 VSP コンクリートの圧縮強度と凝結時間

メント量であっても VSP を使用することにより 十分な自己充填性を有したスランプフロー60cm 以上の高流動コンクリートを製造することができ, 従来の増粘系高流動コンクリートと同程度の流動 性を有する.

圧縮強度と凝結時間を表-3に示す.水セメント比が同一であれば、増粘剤を加えた場合でも圧

コンクリート種類	圧縮強度	ξ (N/mm²)	凝結時間(時-分)		
コングリート性類	7日	28日	始発	終結	
普通コンクリート	35. 4	45. 7	5-05	6-45	
増粘剤ー液タイプ 高流動コンクリート	37. 5	46. 0	6–35	8–15	
増粘剤系高流動コンクリート (+増粘剤0.3kg/m³)	39. 0	46. 1	7–35	9–15	

縮強度に変化はなく、それぞれの場合で同等の数値を示した。凝結時間は普通コンクリートと増粘剤を別添加したコ

ンクリートの間に位置する. 普通コンクリートと比較して凝結時間は遅れる場合があるため, 使用の際には注意が必要である.

5. おわりに

労働人口の減少による熟練工不足や、より経済性の高い施工への期待の高まりなどから、コンクリート施工の効率化は建設業界全体の大きな課題である。中・高流動コンクリートは締固めが不要もしくは軽微なことから施工の効率化が可能になるため、今後さらに普及していくことが期待される。今回紹介した VSP や VFA を使用することにより、普通強度の中・高流動コンクリートの製造が容易になるため、施工の効率化や自由度を広げることができる。

それ以外にも産業副産物の利用や二酸化炭素排出量の低減等,建設業界の抱える課題は少なくない.それら課題に対し、化学混和剤という材料の観点から、適材適所各々のコンクリートに最適な混和剤種類を選択することで、コンクリートの耐久性や施工性、さらには環境負荷低減性の向上に寄与できることを期待する.

参考文献

- 1) 土木学会:高流動コンクリートの配合設計・施工指針[2012 年版]
- 馬場弘二,伊藤哲男:中流動覆エコンクリートの開発検討,土木学会年次学術講演会講演概要集,第5部,Vol. 59, pp723-724, (2002)
- 3) 桜井邦昭, 近松竜一:中流動コンクリートの合理的な配合設計方法に関する一提案, コンクリート工学年次論文集, Vol. 35, No. 1, pp1225-1230, (2013)
- 4) 神代泰道,並木憲司:高性能な流動化コンクリートの開発,大林組技術研究所報,No. 77, pp. 1-6, (2013)
- 5) コンクリート用化学混和剤協会 HP 資料から抜粋 https://jisa6204. com/product/pdf/high_ae_gensui_190701. pdf
- 6) シーエムシー出版:水溶性高分子の基礎と応用技術
- 7) 坂田昇, 丸山久一, 南昌義: 増粘剤ウェランガムがフレッシュコンクリートの自己充填性に及ぼす影響, 土木学 会論文集 No. 538/V-31, pp. 57-68, (1996), 5
- 8) 江原雅宜,山室穂高,泉達男:イオン増粘型混和剤を用いた高流動コンクリートの研究,コンクリート工学年次 論文報告集, Vol. 20, No. 2, pp. 373-378, (1998)
- 9) 河合徹, 熊野知司, 名倉健二, 浅野健次:タイプ別高流動コンクリートの性状比較例, 土木学会第 52 回年次学 術講演会講演概要集, V-442, pp. 884-885, (1997)
- 10) 特許 WO2013005609A1
- 11) 花王㈱機能材料グループ建材営業部: 高機能特殊増粘剤「ビスコトップ」の特徴と用途, Japan energy & technology intelligence /掲載巻 62, 掲載号 4, pp. 52-54
- 12) 日本シーカ㈱HP PDS「シーカメント®1100NT V, シーカメント®1100NTR V」より抜粋 https://jpn. sika. com/
- 13) 小河俊博, 齋藤賢, 神代泰道, 一瀬賢一:増粘型流動化剤を用いた流動化コンクリートの各種性状, コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 36, No. 1, pp. 1426-1431, (2014)

配合・材料条件が高性能 AE 減水剤(増粘剤一液タイプ)を用いた締固めの必要な高流動コンクリートの性状に及ぼす影響

小林 竜平*1・橋本 紳一郎*2・根本 浩史*3・齊藤 和秀*4

1. はじめに

高性能 AE 減水剤 (増粘剤一液タイプ) (以下, VSP という.) は、減水成分と増粘成分を一液化した化学混和剤である. 1) 混和剤中に含有されている増粘成分の作用によりセメントペーストの粘性を適度に高めるため、コンクリートに材料分離抵抗性の向上が期待できる。そのため、比較的低セメント量の領域においても、締固めを要する高流動コンクリートや高流動コンクリート (以下,中・高流動コンクリートという.) の製造が可能となる。しかしながら、VSP を用いて中・高流動コンクリートの配合検討を行った際に、材料条件や配合条件によっては、混和剤使用量を増加してもスランプフローが増大しない、いわゆるスランプフローの頭打ち現象が認められる場合がある。現状では、このような現象が生じる要因は詳細にはわかっていない。そこで本論文では、配合条件(単位セメント量、単位水量) や材料条件(細骨材種類)が VSP を用いた中・高流動コンクリートのスランプフロー及び材料分離抵抗性に与える影響を検討し、その試験結果について報告する。

2. 実験概要

各配合条件において、通常の高性能 AE 減水剤(以下、SP という.)及び VSP をそれぞれ用いて、混和剤添加量とスランプフロー及びコンクリートの材料分離抵抗性の関係を確認した.

2.1 使用材料

使用材料を表-1 に示す. セメントは普通ポルトランドセメント, 骨材は一般的な陸砂, 砕砂, 砕石を用いた. 混和剤はSP と VSP を使用した.

2.2 配合

コンクリートの配合を表-2 に示す。単位セメント量の設定は、標準値を 350kg/m³とし、50kg/m³増減した 300kg/m³と 400kg/m³の 3 点とした。単位水量の設定は、陸砂 S1 を用いた条件で、単位セメント量 350kg/m³、SP を標準的な使用量とした場合に JIS A 5308 の普通コンクリートのスランプの最大値である 21 cmが得られる単位水量を標準値とした。今回の 材料条件では標準値は単位水量 170kg/m³となり、これに加えて 10kg/m³増減した 160kg/m³と 180kg/m³の 100

2.3 試験条件

コンクリートの試験条件を表-3に示す. 試験は混和剤使用量を変化さ

表-1 使用材料

材料	記号	種類および物理的性質
水	W	上水道水
セメ	С	普通ポルトランドセメント
ント	Ü	(密度: 3.16g/cm³)
	S1	陸砂(表乾密度 2.58g/cm³, 吸水率 2.58%,
細骨材	21	F. M. 2. 79, 微粒分量 1. 20%, 実績率 66. 9%)
和目的	S2	砕砂(表乾密度 2.64g/cm³, 吸水率 0.72%,
	52	F. M. 2. 62, 微粒分量 4. 24%, 実積率 65. 0%)
粗骨材	G	砕石(表乾密度 2.66g/cm³, 吸水率 0.72%
租目的	G	F.M.:6.70, 実積率:60%)
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤
化化作用	VSP	高性能 AE 減水剤(増粘剤一液タイプ)

表-2 コンクリートの配合

記号	W/C	単位量 (kg/m³)				
旧·万	(%)	W	С	S1	S2	G
170-350_S1	48.6	170	350	926	-	838
170-300_S1	56. 7	170	300	968	_	838
170-400_S1	42.5	170	400	885	_	838
160-350_S1	45. 7	160	350	952	_	838
180-350_S1	51.4	180	350	900	_	838
170-350_S2	48.6	170	350	_	948	838
170-400_S2	42.5	170	400	_	906	838
180-350_S2	51. 4	180	350	_	921	838

- *1 竹本油脂(株) 第三事業部営業統括部営業技術グループ マネージャー
- *2 千葉工業大学 創造工学部都市環境工学科 准教授 博士 (工学)
- *3 清水建設(株) 土木技術本部基盤技術部コンクリートグループ グループ長 修士(工学)
- *4 竹本油脂(株) 第三事業部研究開発部 グループリーダー 博士(工学)

せて混和剤使用量とスランプフローの関係を確認した. 混和剤使用量は、 使用量を増加してもスランプフローの値が増加しない範囲まで確認した. VSP を用いたコンクリートでは後伸びが確認されたため、練混ぜ後 にミキサ内で5分静置を行い、排出後にフレッシュ性状の測定を行った.

2.4 試験項目

試験項目と試験方法を表-4に示す。コンクリートの状態の判定は、練上がったコンクリートを練り舟上で切返しを行った後に目視とハンドリングにより、粗骨材の沈降や混和剤の過剰添加によるノロ状物の浮き(以下ノロ浮き)の有無により判断した。判定は経験年数5年以上のコンクリート技術者5人で行い、コンクリートに粗骨材の沈降やノロ浮きがないもの(7~9点)、粗骨材の沈降もしくはノロ浮きがわずかに見られたもの(4~6点)、粗骨材の沈降やノロ浮きが顕著に見られたもの(1~3点)と9段階で評価した。集計した評価の平均値を用いて、5点以上のものを良好〇、4点以下のものを分離×と判定した。

表-3 試験条件

項目	詳細
目標	500 mm程度から混和剤使用量を増
スランプフロー	加させてフローの頭打ちまで確認
目標空気量	4.5±1.5%
コンクリート温度	20°C
使用ミキサ	強制練りパン型ミキサ (55L)
練混ぜ方法	1/2S+C+1/2S+G→ 空練り 10 秒 →W→90 秒→ (5分静置→30秒) →
INTE COTA	排出 () 内は VSP のみ
練混ぜ量	30L

表-4 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
スランプフロー	JIS A 1150
空気量	JIS A 1128
コンクリート	練り舟で、目視とハンドリングにより
の状態の判定	判定

3. 実験結果及び考察

3.1 VSP を用いた場合の特徴

陸砂を用いた配合条件の混和剤使用量とスランプフローの関係を図-1に示す. 170-350_S1 の配合を例としてSP と VSP を比較すると、SP を用いた場合では、混和剤使用量が C×1%までは使用量の増加に伴いスランプフローは増加するが、C×1%を超えた辺りから使用量を増加してもスランプフローの増加が見られないスランプフローの頭打ち現象が発生した。また、コンクリートの状態はスランプフローが 560mm を超えた辺りから粗骨材の沈降や混和剤の過剰添加によるノロ浮きが見られた。一方、VSP を用いた場合では、SP と比較して同等のスランプフローとするのに必要な混和剤使用量は2割程度多くなった。 VSP を用いた場合では、混和剤に含有されている増粘成分の増粘作用によって、コンクリートの材料分離抵抗性が向上し、スランプフローが 620mm程度まで良好な性状が得られた。 さらに混和剤使用量を増加した場合には SP と同様に粗骨材の沈降等の分離現象が発生した。

3.2 スランプフローの頭打ち発生状況

3.2.1 陸砂を用いた場合

図-1 において単位セメント量、単位水量を変化させた場合、いずれの水準においてもコンクリート中のセメントペースト容積の容積割合が高くなる配合ほど、つまり単位セメント量、単位水量が多いほど、同等のスランプフローを得るために必要な混和剤使用量は少なくなり、頭打ちしたスランプフローの値は大きくなる傾向であった。

頭打ちしたスランプフローの値は各配合条件において SP と VSP でほぼ同等の値であったが, 160-350_S1 の試験条件のみ VSP の方が小さくなる結果であった。また、スランプフローが頭打ちした時のコンクリートの状態は、160-350_S1 で VSP を用いた配合を除けば、いずれも分離を伴うが、160-350 で VSP を用いた条件のみスランプフローが頭打ちした場合においても分離を伴わず、VSP 中のポリカルボン酸系化合物の分散性能よりも増粘成分の作用が卓越して頭打ちが発生した。

3.2.2 砕砂を用いた場合

砕砂を用いた配合条件の混和剤使用量とスランプフローの関係を図-2 に示す。単位水量は陸砂の条件と揃えたため、スランプフロー600 mmを得るのに必要な混和剤使用量は、170-350_S2 の配合で SP が約 1.7%となり、陸砂の場合の約 1%に対して大幅に増加する傾向であった。VSP も SP と同様に混和剤使用量は陸砂の場合に対して大幅に増加した。スランプフローの頭打ちは、すべての配合条件において、SP は分離を伴い頭打ちしたが、VSP は分離を伴わずに頭打ちした。また、頭打ちしたスランプフローの値はいずれの配合条件においても VSP の方が SP よりも小さい値であった。

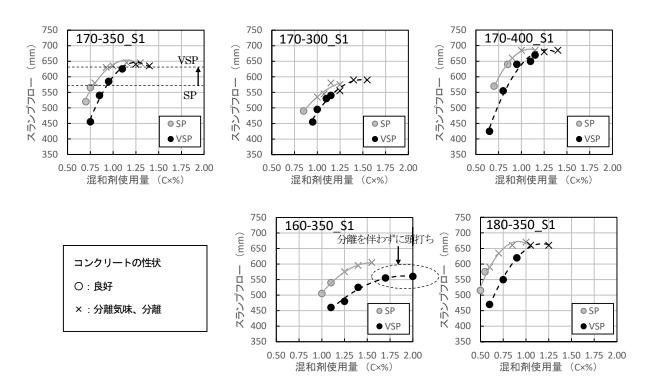


図-1 混和剤使用量とスランプフローの関係(陸砂を用いた配合)

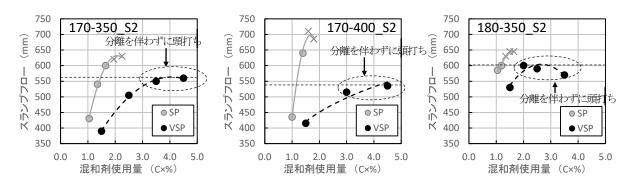


図-2 混和剤使用量とスランプフローの関係(砕砂を用いた配合)

3.3 良好な状態が得られる最大スランプフロー

各配合条件において、図-1、図-2 中に○で示される良好な状態のコンクリートのスランプフローの最大値(以下、最大スランプフロー)と単位セメント量及び単位水量との関係を図-3 に示す。

3.3.1 陸砂の場合

単位セメント量の影響は、単位セメント量が多くなるに従い最大スランプフローは大きくなる傾向であり、SP と VSP の比較では、VSP のほうが最大スランプフローは 50mm 程度大きい傾向にある。これは VSP を用いることで、セメントペーストの粘性が適度に高められて、コンクリートの材料分離抵抗性が向上したためと考えられる。単位水量の影響は、単位水量が多くなるのに従い最大スランプフローはわずかに大きくなる傾向であった。 VSP を用いた場合では、単位水量 170、180kg/m³については、SP に対して最大スランプフローは 50mm 程度大きな値が得られたが、単位水量 160kg/m³の条件では SP とほとんど変わらない結果であった。これは、単位水量 160kg/m³の条件が、陸砂を用いて検討した 5 配合の中で混和剤の分散性が最も高く要求される配合であり、 VSP 中の分散成分の分散性能よりも、増粘成分の作用が卓越したためと考えられる。

3.3.2 砕砂の場合

SP を用いた場合には、陸砂の場合と同様に単位セメント量を増加すると、最大スランプフローは大きくなる傾向であるが、単位水量の増加では最大スランプフローは変化しなかった。VSP を用いた場合には、単位水量を増加した場合では最大スランプフローは 50mm 程度増加したが、単位セメント量を増加した場合には、逆に若干低下した。これは VSP を用いた場合、170-350_S2 の配合で既に増粘剤の作用が分散性よりも卓越してスランプフローの頭打ちが発生しているので、単位水量を増加すれば VSP に求められる分散性が緩和されるため最大スランプフローが増加したものと考えられる。逆に単位セメント量を増加した場合には、170-350_S2 よりもさらに高い分散性が混和剤に求められるため、より小さなスランプフローで頭打ちしたと考えられる。

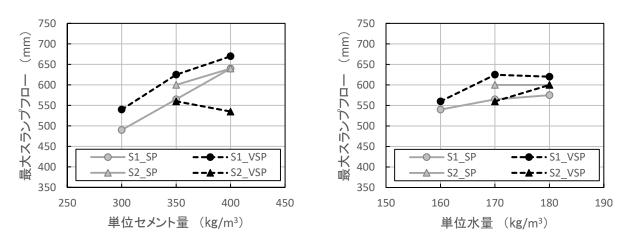


図-3 良好な状態が得られる最大スランプフローの関係

3.4 スランプフローの頭打ち時の対策

VSP の分離を伴わないスランプフローの頭打ち現象は、陸砂の場合は1ケース(160-350_S1)のみで発生したが、砕砂を用いた場合は、検討したすべての試験ケースにおいて発生した。これは、同一スランプを得るのに必要な単位水量は、陸砂に比べて砕砂の方がかなり増加すること、つまり砕砂の方が混和剤に高い分散力が必要になるのに対して、使用した VSP の分散力が不足したためと考えられる。なお、VSP の分離を伴わないスランプフローの頭打ち現象が発生した場合に、良好な状態のスランプフローを増大させるためには、混和剤に求められる分散性を緩和させる方向に配合修正(単位水量の増加)が必要となる。また、セメント量が一定以上である場合には、増粘成分は不要となるため、混和剤を VSP から SP への変更が必要と考えられる。

4. まとめ

本研究では、配合条件および材料条件が VSP を用いた中・高流動コンクリートのスランプフロー及び材料分離抵抗性に与える 影響を把握することを目的として実験を行った、本研究で得られた結果を要約すると以下の通りである。

- (1) 単位セメント量、単位水量が多くなるのに従い、良好な状態が得られる最大スランプフローは大きくなる傾向である.
- (2) 同一の配合条件では、VSPを用いることで良好な状態が得られる最大スランプフローはSPよりも大きくなる.
- (3) VSP は混和剤に分散力が高く求められる配合・材料条件において、増粘剤の作用が分散性よりも卓越し、分離を伴わずに スランプフローの頭打ちが起きるケースがある.

参考文献

尾田健太:増粘剤一液タイプの化学混和剤、コンクリート工学、Vol.57、No.1、pp.4-7、2019.1

締固めを必要とする高流動コンクリートの締固め性に関する基礎研究

梁 俊*1·坂本 淳*2·丸屋 剛*3·太田貴士*4

1. はじめに

近年,高流動コンクリートが有する自己充塡性のみで構造体コンクリートの充塡性を確保するのではなく,打込み時に補助的に振動を加え,軽微な締固めを行うことでコンクリートを密実に充塡させる「中流動覆エコンクリート」が提案されている¹⁾.「中流動覆エコンクリート」は,普通コンクリートと高流動コンクリートの中間の流動性を持つスランプフロー35~50cm 程度のコンクリートで,平成 20 年頃からトンネル覆エコンクリートを中心に適用事例が増えている.

土木学会「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」では、自己充填性を有する高流動コンクリートと区別し、このようなコンクリートを「締固めを必要とする高流動コンクリート」と呼称している ²⁾ . 締固めを必要とする高流動コンクリートは、自己充填性を有しておらず、構造体コンクリートとして密実な充填を確保するためには外力による軽微な振動・締固めを必要とするが、現状では軽微な締固めの程度が明確になっていないことが施工計画の策定、および施工の実施において懸念事項となっている。例えば、締固めを必要とする高流動コンクリートの施工において、締固めの程度を適切に把握しなければ、締固め過少の場合の充填不良、過振動による砂すじなどが発生しやすいのが問題である。

締固めを必要とする高流動コンクリートに関する試験方法はいくつか検討されている 3), 4)。著者らは, 締固め度を締固めの進行程度の指標として, スランプ 5cm~15cm 程度のコンクリートを対象として, コンクリートが鉄筋間隙を通過して, 配合上求まる理論密度まで締め固められるのに必要な総エネルギーを締固め完了エネルギー(以降, 本論文では Ercop.5 称する)として評価することで内部振動機の締固め完了範囲を定量的に評価できる室内試験方法を提案しているが 5), 締固めを必要とする高流動コンクリートの締固め完了エネルギーの評価までには至ってない.

締固めを必要とする高流動コンクリートの締固めは、空隙の排除と鉄筋間隔の通過のほかに、流動性の向上も締固めの目的の一つである。したがって、締固め完了エネルギー $E_{Re99.5}$ だけによって、締固めを必要とする高流動コンクリートの流動性を考慮した充填性を検討することは難しい。また、締固め完了エネルギーによる締固め性の評価試験は、コンクリートを型枠の隅々まで充填させることを検討した試験であり、充填されたコンクリートの分離状況に関する定量的な検討はなされてない。なお、本研究での締固め性は、コンクリートが鉄筋間隔を通過し、連行空気以外の空隙を排除して、密実になる性能を指す。本研究では、締固め完了エネルギー $E_{RC99.5}$ 、締固めを必要とする高流動コンクリートの充填性に関する締固め完了エネルギー E_{LL} 、締固めを必要とする高流動コンクリートの流動性に関する締固め完了エネルギー E_{LL} を用いて、締固めを必要とする高流動コンクリートの流動性に関して検討するとともに、締固め後の試料の分離状況に関しても検討を行った。

2. 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料として、セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³)、細骨材は千葉県君津産山砂(表

*1 大成建設(株)	技術センター社会基盤技術研究部材工研究室	主任研究員	博(工)	(正会員)
*2 大成建設 (株)	技術センター社会基盤技術研究部	主幹研究員	博(工)	(正会員)
*3 大成建設 (株)	技術センター	主幹研究員	工博	(正会員)
*4 大成建設(株)	技術センター都市基盤技術研究部構造研究室	研究員	工修	(正会員)

乾密度 2.62g/cm³, 吸水率 1.56%, FM 2.44), 粗骨材は青梅産石灰石砕石(最大寸法 20mm, 表乾密度 2.66g/cm³, 吸水率 2.86%, F.M.6.39, 実積率62.0%) を用いた. 混和剤は, ポリカルボン酸エーテル系化合物の高性能 AE 減水剤を使用し, 一般的に使用されるアルキルエーテル系の AE 剤により空気量を調整した.

コンクリートの配合を表-1 に示す.配合 1 は,単位セメント量を 340 kg/m³ にし,単位粗骨材量を 390 L/m³ にした一般的な締固めを必要とする高流動コンクリート,配合 2 は,配合 1 よりセメント量を削減して単位セメント量を 300kg/m³ で,単位粗骨材量を 360 L/m³ にした配合である.なお,水セメント比は 50%一定にした.

コンクリートの練混ぜおよび試験は 20℃の恒温 試験室で行い,練混ぜには水平2軸型強制練りミキ サを用いた.混和剤の添加量は各配合でスランプフ ローが 42±2cm,空気量が 4.5±1.0%となるよう調整 した.

表-1 コンクリートの配合

配合	W/C	細骨	単位粗		単位量 (kg/m³)						
No.	(%)	材率	骨材量	W	С	c	G	SP			
NO.	(70)	(%)	(L/m^3)	W	C	S	G				
1	50.0	42.4	390	170	340	752	1037	3.06			
2	50.0	49.3	360	150	300	917	958	9.90			

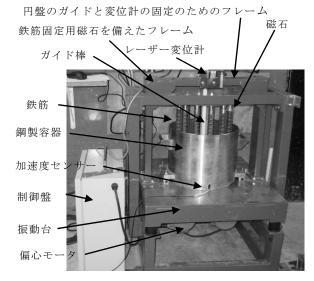


図-1 締固め完了エネルギー評価装置

3. 締固めを必要とする高流動コンクリートの締固め完了エネルギーERc99.5 に関する検討

3.1 評価装置

後記の締固め指数を用いて 5), 同じスランプフローの締固めを必要とする高流動コンクリートの締固め完了エネルギーERc99.5 を検討した. 試験に適用した締固め完了エネルギー評価装置を図-1 に示す. 本装置は, 試料容器を固定し, かつ加速度センサーを備えた振動台, 鉄筋固定用磁石を備えたフレーム, 直径が 305mm, 厚さが 10mm の軽量プラスティック円盤とその位置を計測する変位計および軽量プラスティック円盤のガイドと変位計の固定のためのフレーム, コンクリート試料容器, 鉄筋, 鉄筋を立てるための治具, 制御盤, 変位データなどをオンラインで収録するとともにデータ処理ができるプログラムを備えたコンピュータから構成される. 軽量プラスティック円盤には鉄筋が通れるように孔が開いているので, コンクリート試料上面の沈下に追随することができる. 鉄筋の本数, 鉄筋の直径, 軽量プラスティック円盤は, 検討項目ごとに変化させることができる. なお, 試験に使用した鉄筋は D41, D32, D25, D19 である.

測定された加速度等のデータがコンピュータへ転送されると、専用の締固め完了エネルギー測定プログラムにより、式(1)に示す締固めエネルギーの計算式にしたがい⁶⁾、時々刻々積分したものが完了エネルギーとして、モニタのグラフにプロットされる.

$$E_t = \frac{\rho_0 \alpha_{\text{max}}^2}{4\pi^2 f} t \tag{1}$$

ここに、 $E_t:t$ 秒間にコンクリートが受ける締固めエネルギー (J/L)、t:振動時間(s)、 $\alpha_{max}:$ 最大加速度

(sin曲線の平均振幅の半分) (m/s²), f: 振動数(s⁻¹), ρ 0: 単位容積質量 (kg/L)

3.2 鉄筋間隙を通過するコンクリートの締固め完了エネ ルギーE_{RG99 5}

コンクリートの締固めとは、締め固める前の型枠中のコンクリートが見掛けのかさ密度から、配合上の理論密度に至るまで変形させることであると考えることができる5). 試料の周りに鉄筋を任意の等間隔で配置し、容器の内径はスランプコーンの外径210mmより大きい310mmにした. 鉄筋間隙を通過するコンクリートの締固め度の定義の概要を図-2に示す.

本定義において、締固めの程度は、円筒容器中の試料が鉄筋間隙を通過して容器の中に充填され、試料の最も高い部分を高さとする円筒体積に対するコンクリート試料の真の体積の比として捉え、これを、鉄筋間隙を通過するコンクリートの締固め度 γ と定義する、締固め度 γ は式(2)により表すことができる.

$$\gamma = \frac{m/\rho_0}{h(A - N \times 3.14 \times r^2)} \times 100 = \frac{H_0}{h} \times 100$$
 (2)

ここに、 γ : 鉄筋間隙を通過するコンクリート の締固め度(%)、 H_0 : 配合に基づく理論上の単位

図-2 締固め度定義の概要

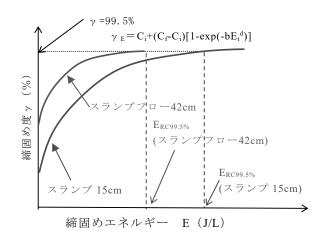


図-3 締固め度と締固めエネルギーの関係模式図

容積質量まで締め固められた時の試料の高さ(mm), h: 任意の締固め時間における試料の高さ(mm), m: 試料の質量(kg), ρ_0 : 試料の単位容積質量(kg/L), A: 円筒容器の底面積 (mm^2) , r: 鉄筋の半径, N: 鉄筋の本数

締固め完了エネルギーErcop.sは式(1)により求めることができる⁶. 締固め度と締固めエネルギーは一般に図-3に示すような曲線の関係があり、本研究ではこれを締固め曲線と称す.

締固め曲線の特性から、締固め度が100%になった時の締固め完了エネルギーを定めることができる. 実務的なことを考慮して、本研究では、締固め度が99.5%時の締固めエネルギーを締固め完了エネルギーERco9.5とした.

この締固め完了エネルギーERc99.5には、コンクリートが鉄筋間を通過するために消費するエネルギー、鉄筋間を通過してかぶり部までに充塡されるために消費したエネルギー、およびコンクリート材料自身が締め固められるのに必要なエネルギーが含まれている.

3.3 締固め指数

鉄筋間の純間隔と鉄筋の直径は両方ともに鉄筋間隙を通過するコンクリートの締固め完了エネルギー

Ercs9.5 に影響を与える.本研究では、式 (3)に示すように、鉄筋の直径と鉄筋の純間隔の影響を総合的に表す指標である締固め指数 α を定義して鉄筋間隙を通過するコンクリートの締固め性を検討した $^{5)}$.

$$\alpha = s/d$$
 (3)

α:締固め指数, s:鉄筋純

間隔 (mm), d:鉄筋の直径 (mm)

3.4 締固め完了エネルギー E_{RC99.5} による締固め性の比較

表-2に鉄筋径および鉄筋純間隔をパラメータとした締固め指数と表-1の各配合のコンクリートの締固め完了エネルギーの測定結果を表-3に、締固め指数と締固め完了エネルギー $E_{RC99.5}$ の関係図を図-4に示す.スランプフローの低下が締固め完了エネルギー $E_{RC99.5}$ に与える影響を検討するために、配合1のコンクリートのスランプフローが目標スランプフローの42cmから35cmに低下した試料に対しても締固め完了エネルギー $E_{RC99.5}$ を測定した.

図-4に示すように、いずれの配合も締固め指数が大きくなるほど締固め完了エネルギーERC 99.5は小さくなる傾向となっている.また、各ケースで締固め完了エネルギ

表-2 締固め指数および 各配合の締固め完了エネルギーE_{RC99.5}の測定結果

鉄筋	直径(mm)	32	25	32	19	25	19	32	25	19
鉄筋	本数(本)	12	12	9	12	9	9	4	4	4
鉄筋	間隔(mm)	29	34	49	38	54	57	150	152	153
締固	め指数	0.9	1.4	1.5	2.0	2.1	3.0	4.7	6.1	8.1
締固め完了	配合 1(FL42cm)	7.20	6.62	4.31	5.79	4.59	3.35	2.67	3.02	2.57
エネルギー	配合 1(FL35cm		0.75	<i>(</i> 20	7.26	5.05	<i>(</i> 10	(22	5.00	2.76
の測定値	に低下)	11.64	8./3	6.20	7.36	5.05	6.18	6.32	5.00	2.76
E _{RC99.5} (J/L)	配合 2(FL42cm)	10.42	11.75	6.55	_	8.60	7.07	5.07	6.25	6.47

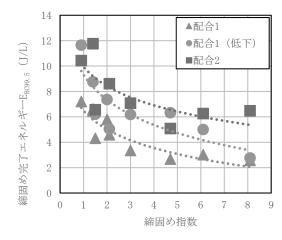


図-4 締固め指数と 締固め完了エネルギーE_{RC99.5} の関係

ー E_{RC} 99.5 を比較すると,同値が小さい方から配合 No.1(FL42cm),配合 No.1(FL35cm に低下),配合 No.2(FL42cm)の順になっている.締固めを必要とする高流動コンクリートのスランプフローが同じであっても,ペースト量や単位容積粗骨材量の相違により,コンクリートの締固め性は大きく相違していることを示唆している.また,スランプフローが大きい配合の締固め完了エネルギー $E_{RC99.5}$ が必ずしも小さいと言えないことがわかる.

一般的に、普通コンクリートの締固めは、コンクリート内部の連行空気以外の空隙の排除を目的としているので、コンクリートが鉄筋間隙を通過して、配合上求まる理論密度まで締め固められるのに必要なエネルギーである締固め完了エネルギーEresp.s より評価することができる。これに対して、締固めを必要とする高流動コンクリートの場合は、空隙の排除と鉄筋間隔の通過のほかに、流動性の向上も締固めの目的の一つである。したがって、締固め完了エネルギーEresp.s によって締固めを必要とする高流動コンクリートの締固め性の相対評価は可能であるが、充填性に対する十分な評価は難しい。流動性を考慮した締固めを必要とする高流動コンクリートの充填性に関する検討が必要となる。

4. 締固めを必要とする高流動コンクリートの充塡性に関する検討

本研究では、締固めを必要とする高流動コンクリートが振動を受けて、分離することなく高流動コンクリ

ートと同等の状態となれば、十分な充填性を発揮できるとして、図-5 に示すように、流動障害 R2 の U 形充填試験の充填高さ 350mm に達するために要する振動エネルギーを、締固めを必要とする高流動コンクリートの充填性に関する締固め完了エネルギー(以下、Eu)と定義した。同様に、高流動コンクリートと同等のスランプフロー60cm(ランク 2 のスランプフローの最小限)に達するために要する振動エネルギーを、締固めを必要とする高流動コンクリートの流動性に関する締固め完了エネルギー(以下、Er)と定義した。

図-6 に示す振動台の上でスランプフロー試験を行った試料に振動を与え、非接触型変位計の測定データからスランプフローが $60 \, \mathrm{cm}$ に到達するまでの時間を読み取り、各配合の $-E_f$ を式(1)により求めた 6 . なお、測定時には、スランプフローが $60 \, \mathrm{cm}$ に到達するまで、試料中央部に粗骨材が露出した状態を呈することなく、かつ周囲部に $2 \, \mathrm{cm}$ 以上のペーストや遊離した水の帯がないことを確認した。また、JSCE-E 511 に準じた U形充塡試験器を振動台に固定して U形充塡試験を行った後、振動を与えて充塡高さが $350 \, \mathrm{mm}$ に到達するまでの時間を測定し、式($2 \, \mathrm{ck}$ り E_u を求めた。 E_f と E_u の測定結果を表- $3 \, \mathrm{ck}$ に示す。

配合の相違による E_f と E_u の大きさとその相関を確認するため, E_f を横軸に, E_u を縦軸にして, E_f と E_u の測定結果を図-7 にプロットした.参考のため単位水量や単位容積粗骨材量が相違する既往のデータも図-7 にプロットした.図-7 に示す斜めの分割線は, E_f と E_u が等しい場合を示している.したがって,分割線より上方にプロットされる配合は,コンクリートの流動性を確保する締固めエネルギー(E_f)ではコンクリートの充填性を確保できない配合である。施工中,コンクリートの流動は目視により確認できるが,流動中のコ

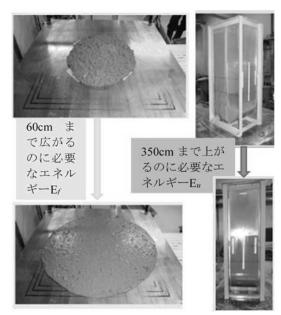


図-5 E_f および E_u の概要

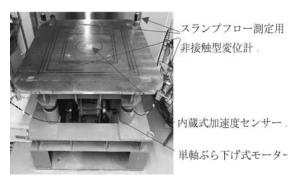


図-6 振動試験装置

表-3 各配合の E_fと E_u 測定値

#I A	単位粗	W	E_u	\mathbf{E}_f
配合	骨材量	(kg/m ³)	(J/L)	(J/L)
No.	(L/m^3)			
No.1(FL42cm)	200	170	7.62	5.96
No.1(FL35cm に低下)	390	170	8.44	11.22
No.2(FL42cm)	360	150	14.38	10.04

ンクリートが確実に鉄筋間隙を通過しながら流動しているかを目視により確認することは困難である。コンクリートが閉塞または未充填部を生じることなく確実に流動するために、所定の流動性を確保すれば、必要な間隙通過性も確保できる配合を選定するのが合理的である。したがって、図-7の分割線以下にプロットされる配合を選定した方がよいと考えられる.

図に示すように、単位水量 170 kg/m³の配合 1 が単位水量 150 kg/m³の配合 2 より左下の方にプロットされている。これは、締固めを必要とする高流動コンクリートの合理的な配合を選定するためには、単位水量を適切に多くしてペーストの量を増やす必要があることを示している。単位粗骨材量 360 L/m³ の配合 2 が単位

粗骨材量 390 L/m³の配合 1 に比べて右上側にプロットされている. これは、単位粗骨材量が少ない方が必ず施工性がよくなることではなく、単位粗骨材量を適切に選定し配合のバランスを取ることが重要であることを示唆している. また、締固め完了エネルギー ERC 99.5 が最小になった配合 No.1(FL42cm)が分割線の上方にプロットされたことに対して、スランプが低下して締固め完了エネルギー ERC99.5 が増えた配合 No.1(FL35cm)が分割線以下にプロットされている. 流動性を確保すれば、間隙通過性を確保できるとの施工の便益を考慮した場合、締固め完了エネルギーを最小にすることが必ずしも最適ではないことを示唆している.

4. 締固めを必要とする高流動コンクリートの分離抵抗性に関する検討

締固め完了エネルギーによる締固め性の評価試験は、コンクリートを型枠の隅々まで充填させることを検討した試験で、充填されたコンクリートの分離状況に関しては検討がなされてない。締固め完了エネルギーE_{RC 99.5}、E_fおよび E_u によるコンクリートの充填性評価では、加振後の試料中央部に粗骨材が露出した状態を呈することなく周囲部に 2cm以上のペーストや遊離した水の帯がないことを確認することでコンクリート の分離抵抗性を確保しているが、これはあくまでも目視による判断で、より定量的な評価方法が必要となる。

コンクリートの分離抵抗性評価方法の一つとして図-8 に示す試験装置による評価を試した.

試験装置は、7個の内径 250mm、高さ 50mm の塩化ビニル筒体を上下に連設したものである。容器にフレッシュコンクリートを 2層に分けて充填し、φ 28 の内部振動機を容器の中心部へ挿入して底部から 5cm 程度浮かせ

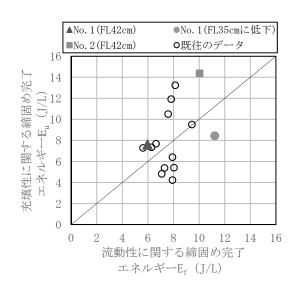


図-7 E_fと E_uの関係性

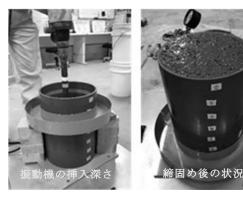


図-8 分離抵抗性の評価装置

					-						
配合		単位量 (kg/m³)									
No.	W	C	S	G	SP						
3	165	300	923	899	C×1.15%						
4	170	340	863	912	C×1.45%						
5	180	360	822	912	C×0.90%						

表-4 コンクリートの配合

た状態で締固めを行う. なお、コンクリート充填時には、層別に突き棒で 25 回突いて未充填部が生じないようにした。

内部振動機により所定時間加振した後、最上部の筒体を撤去すると、振動を受けた試料の上から 50mm 高さのコンクリートが筒体の外面に設置された上下に移動できる受け皿に溢れて落ちる.この作業を上から 7層目まで順次行う.なお、受け皿の容積は一つの筒体の内空の容積より大きくなっている.

各筒体から採取したコンクリート中の粗骨材の質量から筒体内コンクリートの単位容積粗骨材量を計算 し、設計配合の単位容積粗骨材量との比を粗骨材残存率としてコンクリートの材料分離抵抗性を評価した. 各筒体内試料中の粗骨材残存率から粗骨材の沈み具合を確認することができる.

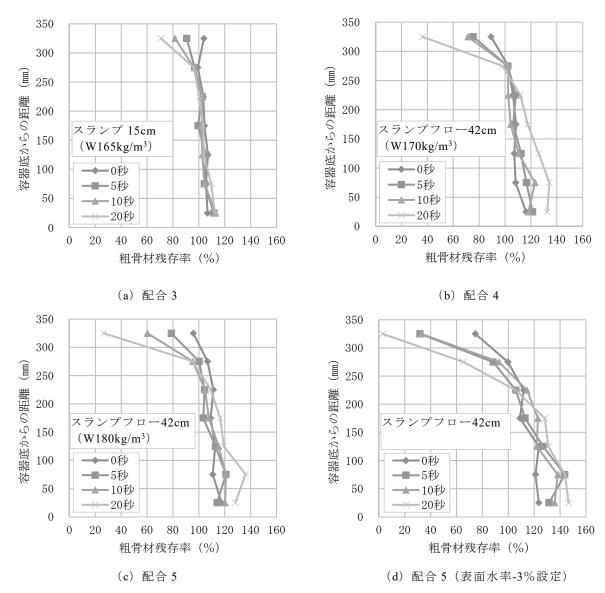


図-9 各配合の分離状況

実験に使用したコンクリートの配合を表-4 に示す.配合 3 はスランプ 15cm の普通コンクリート,配合 4,配合 5 は単位容積粗骨材量一定で、それぞれ単位水量が 170, 180kg/m³ の締固めを必要とする高流動コンクリートである. その他、配合 5 の細骨材の表面水率を 3%減らして設定した配合も実験の対象とした. 材料は、2 章で使用した材料と同じ材料を使用した. 実験の結果を図-9 に示す. 図-9 の (a) にスランプ 15cm の普通コンクリート,(b),(c) にそれぞれ単位水量が 170kg/m³, 180kg/m³ の締固めを必要とする高流動コンクリートの試験結果を示す. 図の (a),(b),(c) に示すように、普通コンクリートと締固めを必要とする高流動コンクリート両方ともに、締固め時間を、本試験の最大締固め時間である 20 秒にした場合でも、容器の底から 275mm 以下では粗骨材残存率はほぼ 100%以上で、徐々に大きくなることに対して、容器の底から 325mm(上面から 50mm 範囲)でのコンクリートの粗骨材残存率は大きく減っている. また、単位水量が 180kg/m³ の配合の細骨材の表面水率を 3%減じて設定することで分離気味の極端な状況を模擬した試料(d)参照)は、締固め時間 20 秒で 225mm 以下では粗骨材残存率がほぼ 100%以上で、徐々に大きくなるのに対して、試料の底から 275mm 以上(上面から 100mm 範囲)でのコンクリートの粗骨材残存率が大きく減って

いる. 試料の上面から 50~100mm 範囲のコンクリートの粗骨材残存率により、コンクリートの分離抵抗性をある程度評価できる可能性を示唆する. なお、振動時間 5 秒, 10 秒において、粗骨材残存率の大きな変化は、容器の底から 325mm(上面から 50mm 範囲)で留まるが、振動時間が 20 秒になると、粗骨材残存率の大きな変化が試料の底から 275mm 以上(上面から 100mm 範囲)のところまで進む. 振動時間に関する検討も必要であることを示唆する.

5. まとめ

本研究では、締固め完了エネルギー $E_{RC99.5}$ 、締固めを必要とする高流動コンクリートの充填性に関する締固め完了エネルギー E_u 、締固めを必要とする高流動コンクリートの流動性に関する締固め完了エネルギー E_f を用いて、締固めエネルギーの観点から、締固めを必要とする高流動コンクリートの締固め性に関して検討した。その結果を以下のようにまとめる。

- (1) 一般的に、普通コンクリートの締固めは、コンクリート内部の連行空気以外の空隙の排除を目的としているので、コンクリートが鉄筋間隙を通過して、配合上求まる理論密度まで締め固められるのに必要なエネルギーである締固め完了エネルギー $E_{RC99.5}$ により評価することができる. これに対して、締固めを必要とする高流動コンクリートの場合は、空隙の排除と鉄筋間隔の通過のほかに、流動性の向上も締固めの目的の一つである. したがって、締固め完了エネルギー $E_{RC99.5}$ によって 締固めを必要とする高流動コンクリートの締固め性の相対的評価は可能であるが、充填性に対する十分な評価は難しい.
- (2) 締固めを必要とする高流動コンクリートの流動性を考慮した充填性に関する検討が必要となる. したがって、締固めを必要とする高流動コンクリートの配合選定において、最小の締固め完了エネルギー $E_{RC99.5}$ を求めるだけではなく、流動性を確保すれば、充填性が確保されるように $E_f > E_u$ にする必要がある.
- (3) 締固め完了エネルギーによる締固め性の評価試験は、コンクリートを鉄筋外側のかぶり部まで充填させることを検討した試験で、充填されたコンクリートの分離状況に関しては検討がなされてない。提案した分離抵抗性試験では、試料の上面から $50\sim100$ mm 範囲のコンクリートの粗骨材残存率により、コンクリートの分離抵抗性をある程度評価できる可能性を示唆した。

また、締固め時間と許容粗骨材残存率、締固め完了エネルギー $E_{RC99.5}$ 、 E_u 、 E_f および粗骨材残存率の関連性などを総合的な考察することが今後の課題として残っている.

参考文献

- 1) 東・中・西日本高速道路株式会社:トンネル施工管理要領, p.44, 2013.
- 2) 土木学会:高流動コンクリートの配合設計・施工,コンクリートライブラリー136,資料-85,2012
- 3) 桜井邦昭, その他:中流動コンクリートの合理的な配合設計方法に関する一提案, コンクリート工学年 次論文集, Vol.35, No.1, pp.1225-1230, 2013
- 4) 小山田英弘, その他:中流動コンクリートの配合法に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.463-468, 2000
- 5) 梁俊, その他: 鉄筋間隙を通過するコンクリートにおける締固めエネルギーに基づいた締固め性に関する研究, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.75, No.2, pp.142-156, 2019
- 6) 梁俊, その他: 締固めエネルギーに基づくコンクリートの締固め完了範囲の評価方法に関する研究, 土木学会論文集, Vol.69, No.4, pp.438-449, 2013

締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離の機構および 材料分離が力学的特性に及ぼす影響について

鈴木将充 *1, 古川翔太 *2, 早川健司 *3, 加藤佳孝 *4

1. はじめに

土木分野では、現場打ちコンクリートの施工の効率化を図るため、従来のスランプ 8cm のコンクリートよりも流動性を高め、良好なワーカビリティーを有するコンクリートの活用が推進され始めている ¹⁾. スランプフロー45~55cm 程度のコンクリートは、締固めを必要とする高流動コンクリートに分類される ²⁾が、自己充塡性を有する高流動コンクリートと比較して、安定供給が可能かつ材料コストが低減できるため、その利用が望まれている. 既に、トンネル覆工等、部材や部位を限定した利用が行われている ³⁾. 一方、2019年のJIS A 5308 の改正により、普通強度領域のスランプフロー区分が追加され、利用しやすい環境となったが、コンクリート標準示方書では、その技術情報も整理されていないのが現状である.

締固めを必要とする高流動コンクリートは、流動性を高めたことにより普通コンクリートと比較して材料分離抵抗性が低下することが想定される。材料分離を理解するには、打込み時に水平方向への移動距離が普通コンクリートより長くなることで発生する分離や、振動で鉛直方向に発生する分離を定量的に把握する必要があるが、材料分離抵抗性を議論した研究は少ない。数少ない研究のうち、依田らりは普通コンクリートと締固めを必要とする高流動コンクリートの水平方向の分離程度について、粗骨材の分布に着目して比較している。このように材料分離の程度を把握している既往の研究はあるが、材料分離の機構や材料分離の程度が硬化品質に及ぼす影響が明らかになっているとは言い難い状況にある。

そこで、本研究では、締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離について、2 つのシリーズに分けて検討を行った。シリーズ I では、フレッシュコンクリートをモルタルと粗骨材の 2 相と捉え、モルタルの粘性と粗骨材量が、コンクリートの水平方向または鉛直方向の材料分離に与える影響について検討した。なお、材料分離は粗骨材量の分布で把握する手法を用いた。シリーズ II では、スランプフロー45cm 程度の締固めを必要とする高流動コンクリートを対象に、振動締固めによる比較的大きな気泡の残留量と材料分離の程度を測定する実験を行った。併せて、これらが圧縮強度と静弾性係数に及ぼす影響について検討した。本論は、著者らがコンクリート工学年次論文集 Vol.42(2020 年)に投稿した論文を再構成したものである。

2. シリーズ I 材料分離の機構に関する検討

2.1 モルタルの粘性測定

2.1.1 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメント (密度 $3.15 g/cm^3$, 比表面積 $3410 cm^2/g$), 細骨材は川砂 (表乾密度 $2.63 g/cm^3$, F.M. 2.89), 粗骨材は砕石 (表乾密度 $2.72 g/cm^3$, F.M. 6.55) を用いた.

配合は W/C=50%, S/C=1.5(M-VL), 2.0(M-VM), 2.5(M-VH)の 3 水準とし, AE 剤(Ad₁)を C×0.003%, AE 減

^{*1} 東急建設 (株) 技術研究所 土木材料 G 修 (工)

^{*2} 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (現:飛島建設 (株)) 修(工)

^{*3} 東急建設 (株) 技術研究所 土木材料 G グループリーダー 博(工)

^{*4} 東京理科大学 理工学部土木工学科 教授 博(工)

水剤(Ad₂)を C×0.25%とした. また, **表**-2 中の C-T で用いるコンクリートのモルタル分として, W/C=50%, S/C=2.56, 消泡剤(Ad₃)を C×0.001%, 増粘剤含有高性能 AE 減水剤(Ad₄)を C×0.9%の配合(M-T)も測定した.

2.2 モルタルの粘性測定方法と結果

振動時のモルタルの粘性は、西村ら 51 の研究を参考に求めた. 試験では、スランプコーンを引き上げるのと同時にスランプ板の下に設置した加振機で振動を加えた. 振動時の塑性粘度(以下、塑性粘度と称する)と降伏応力は、スランプフロー値から、フロー速度(dx/dt)とスランプの容器を円柱と仮定したときの鉛直外力(F(y))を算出し、式(1)の回帰結果から算出した.

$$\frac{dx}{dt} = x(t) \times \frac{\gamma y + 2\{F(y) - F(0)\} - 4\tau_{yd}}{4n} \tag{1}$$

ここに、x(t): スランプフロー(mm)、t: 時間(sec)、 γ : 試料の単位体積質量(N/m³)、F(y): 高さ y で作用する鉛直外力(Pa)、 τ_{yd} : 降伏応力(Pa)、 η : 塑性粘度(Pa・s)である.

試験結果を表-1 に示す. 振動時のモルタルの粘性は降伏応力がゼロとなり、塑性粘度は、M-VL と M-VM が同程度で、M-T、M-VH の順に大きくなった.

表-1 モルタルの粘性試験結果

記号	塑性粘度 (Pa·s)	降伏応力 (Pa)
M-VL	452	0
M-VM	460	0
M-VH	1013	0
M-T	717	0

2.3 フレッシュコンクリートの材料分離試験

2.3.1 配合

配合とフレッシュ性状を $\mathbf{表}-\mathbf{2}$ に示す.粘性を測定したモルタルに対して,粗骨材の体積割合を 27% とした配合を設定した. \mathbf{M} -VH と \mathbf{M} -T では,粗骨材の体積割合を 30%, 32.8%とした配合も設定した.

2.3.2 鉛直方向の材料分離試験の概要および結果

図-1 に示す空気量試験の容器(7L)に試料を打ち

表-2 コンクリートの配合とフレッシュ性状

記号 W/C S	W/C	S/C	粗骨材の 体積割合	j	単位量	[SL](cm)	Air(%)						
	3/0	(%)	W	С	s	G	Adı	Ad 2	Adı	Ad₄	SF(mm)	(,	
C-VL-27	50	1.50	27.0	263	526	785	734	124	413	-	-	600	1.0
C-VM-27	50	2.00	27.0	231	463	880	734	139	463	-	-	515	1.5
C-VH-27	50	2.50	27.0	206	413	987	734	124	413	-	-	410	3.7
C-VH-30	50	2.50	30.0	198	396	945	816	119	396	-	-	[22.0]345	5.0
C-VH-32.8	50	2.50	32.8	190	380	906	891	114	380	-	-	[22.0]335	5.8
C-T-27	50	2.56	27.0	191	382	978	734	-	-	38	3440	575	4.5
C-T-30	50	2.56	30.0	183	366	937	816	-	-	37	3290	465	8.3
C-T-32.8	50	2.56	32.8	175	350	897	891	-	-	35	3150	450	4.9

込んだ後、棒状バイブレータを容器の中心に挿入した状況から振動を与えた. 試験方法を決定するため、4つの配合(C-VL-27、C-VM-27、C-VH-27、C-T-32.8)を対象として、所定の振動を与えた後に試料を鉛直方向に 5 等分にして、それぞれの試料について洗い分析した. なお、振動時間は 0, 3, 5, 10, 15 秒とした.

実験結果は、各箇所の試料中に粗骨材が占める体積割合を式(2)から算出した、それを全採取箇所の粗骨材割合の平均値もしくは計画配合の粗骨材体積割合で除した値(以降 Y_n と称する)を式(3)から算出した。

203mm 1111 217mm

図-1 鉛直方向の 材料分離試験

$$X_n = \frac{V_{G_n}}{V_n} \times 100 \tag{2}$$

$$Y_n = X_n \div X_{nave} \tag{3}$$

ここに、 X_n :採取箇所 n の粗骨材の体積割合(%)、 V_{Gn} :採取箇所 n の粗骨材体積(m^3)、 V_n :採取箇所 n のコンクリート体積(m^3)、 Y_n :採取箇所 n の粗骨材体積割合と X_{nave} の比率、 X_{nave} :5層の場合は試料中の平均粗骨材体積割合で2層の場合は計画配合の粗骨材体積割合である.

実験結果の一例を図-2 に示す、結果では、いずれの配合でも同様

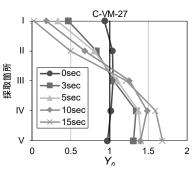


図-2 実験結果の一例

に粗骨材の沈降が確認できた。 Y_I に着目した結果を $\mathbf{20}-3$ に示す。 Y_I は振動時間に応じて小さくなった。また, Y_I の振動時間 15 秒では,いずれの配合でも同程度になった。これは,振動を与えすぎたことによりほとんどの粗骨材が沈降してしまい,配合毎の差がみられなかったことが考えられる。 Y_I は振動時間 3 秒(C-VL-27)や振動時間 5 秒(C-VM-27)で大きく変化した配合と大きな変化のない配合に区分できる。以上より,試験方法は I 層と II 層のみを採取し,振動時間は配合の分離程度を区分しやすい 0, 3, 5 秒までとした。

コンクリート中の粗骨材量が同一の配合の結果を図-4 に示す. Y_I は C-VL-27, C-VM-27, C-T-27, C-VH-27 の順に小さいことが確認された. 加えて粗骨材の体積割合 27%, 30%, 32.8%を設定した C-VH と C-T の振動時間 5 秒の Y_I (以降 Y_{I-5sec} と称する) の結果を図-5 に示す. 粗骨材の体積割合の増加に伴い Y_{I-5sec} が大きくなることがわかる. また, いずれの粗骨材の体積割合でも C-VH の配合の方が C-T の配合より Y_{I-5sec} が大きいことが確認された.

2.3.3 水平方向の材料分離試験の概要および結果

図-6に水平方向の材料分離試験の概要を示す. 試料を打込んだ後, 仕切りゲートを引き上げると同時に振動を与え, 試料を水平方向に流動させた. 振動の時間は 0, 5, 15 秒とした. その後, 流動した後の試料は鉛直方向の材料分離試験と同様の手法で粗骨材量の分布を算出した. なお, 試料は締固め位置から 100mm 間隔で採取した.

水平方向の材料分離試験では、振動時間が0秒の時点で Y_I の低下が確認されたC-VL は実施しなかった. 表-4 に採取箇所ごとのコンクリート体積の一例を示す。先端の採取箇所では、採取した試料の体積が極端に小さい結果がある。そのため、試料体積が $300 \mathrm{cm}^3$ 以下の結果は参考程度として、全体的な粗骨材量の分布 (Y_n) の傾向に基づいて議論した。

図-7に Y_n の結果の一例を示す. いずれの配合でも締固め位置 から先端に向かって Y_n が大きくなっていた.

2.4 モルタルの粘性と粗骨材量が材料分離に及ぼす影響

まず、鉛直方向の材料分離について考察する. 図-8 に振動時間 3 秒の Y_I (以降 Y_{I-3sec} と称する) または振動時間 5 秒の Y_I (以

振動 コンクリート体積(cm3) 記号 時間 F В C D F G Н 1 J 0sec 1370 1395 1014 1107 857 728 661 478 280b C-VM-1225 5sec 969 1028 939 1040 735 770 568 406 27 1004 1212 651 554 171^b 15sec 1249 872 905 826 359

表-4 各採取箇所のコンクリート体積の一例

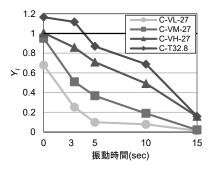


図-3 振動時間と Y/の関係

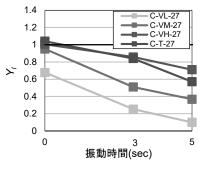


図-4 振動時間と Y₁の関係

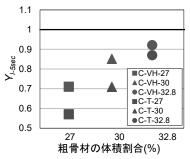
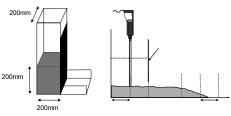


図-5 粗骨材の体積割合と Y₁の関係



(a)試験器寸法

(b)採取箇所

図-6 水平方向の材料分離試験

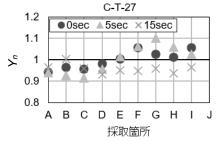
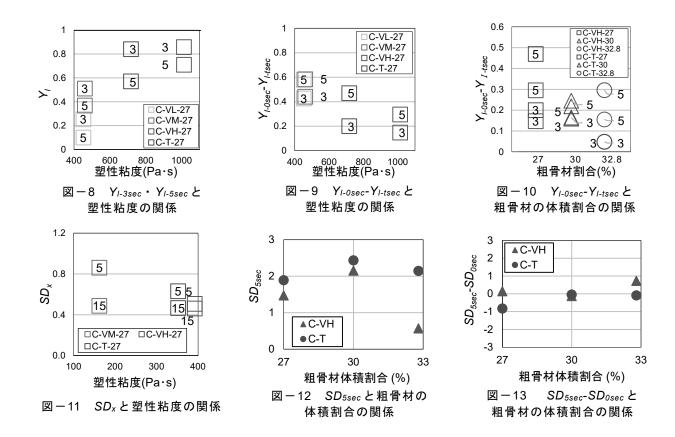


図-7 採取箇所毎の Y_nの例

b:参考記録



降 $Y_{I\text{-} Ssec}$ と称する)と塑性粘度の関係を示す。 $Y_{I\text{-} Ssec}$ および $Y_{I\text{-} Ssec}$ は塑性粘度の増加に伴い変動は小さくなることが確認された。ここで,振動締固めの影響だけに着目するために,振動時間 0 秒の Y_I と振動時間 3 秒または 5 秒の Y_I の差分(以降 $Y_{I\text{-} Osec}$ - $Y_{I\text{-} Isec}$ 称する)と塑性粘度の関係を $\mathbf{Z} - \mathbf{9}$ に示す。塑性粘度は $Y_{I\text{-} Osec} - Y_{I\text{-} Isec}$ と相関があり,塑性粘度の増加に伴い $Y_{I\text{-} Osec} - Y_{I\text{-} Isec}$ が減少する傾向がみられた。 $\mathbf{Z} - \mathbf{8}$ と $\mathbf{Z} - \mathbf{9}$ では塑性粘度の増加に伴い変動は小さくなる傾向が得られたが,振動時間 0 秒の時点で Y_I の低下が確認された C-VL-27 の変動の程度は $Y_{I\text{-} Osec} - Y_{I\text{-} Isec}$ の方が小さかった。以上より,粗骨材量が同一の場合は,振動による鉛直方向の粗骨材の分離は,振動の影響を考慮したモルタルの塑性粘度が有効な指標であると考えられる。以降の鉛直方向の材料分離の議論では振動締固めの影響だけに着目した結果のみを議論することとした。

図 -10 に Y_{I-0sec} と粗骨材の体積割合を 27%, 30%, 32.8%に設定した C-VH と C-T の結果を示す. 粗骨材の体積割合の増加に伴い Y_{I-0sec} は小さくなる傾向が確認され,粗骨材の体積割合の増加で振動による Y_n の変化が小さくなることがわかる. ここで,振動時間 3 秒と 5 秒の結果に着目する. C-VH-27 と C-T-27 を比較すると,塑性粘度が大きい C-VH-27 の方が 3 秒から 5 秒への Y_I の変化が小さい.粗骨材の体積割合の影響では,3 秒と 5 秒の差は 30%で最も小さく,32.8%の方が 3 秒と 5 秒の差は大きくなった.32.8%では 3 秒の Y_{I-0sec} は小さいことから,振動による分離の影響は小さいが,振動時間が長くなると分離の程度が 30%の配合よりも大きくなる特徴が有ることがわかる.

次に水平方向の材料分離について考察する. 水平方向の材料分離試験で Y_n の変動は、採取箇所毎に異なる傾向がみられた. Y_n を配合毎に定量的に比較するため、粗骨材体積割合の標準偏差 (以降 SD_x と称する) を、式(4)から算出した.

$$SD_{x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_{n} - X_{nave})^{2}}{n}}$$
 (4)

ここで、SDx:粗骨材体積割合の標準偏差である.

 SD_x の結果と塑性粘度の関係を**図**-11に示す.塑性粘度の増加に伴い SD_x が小さくなり,すなわち, Y_n の変動が小さくなった.振動時間 15 秒の SD_x は,いずれの配合でも相関は認められなかった.これは振動時間 が影響して採取箇所毎の試料の体積が大きく異なる配合があるためと考えられる.以上より以降の議論では,塑性粘度と相関が認められた振動時間 5 秒の SD_x (以降 SD_{5sec} と称する)を基に議論する.

図-12 に SD_{5sec} と粗骨材の体積割合を 27%, 30%, 32.8%に設定した C-VH と C-T の関係を示す。C-VH と C-T の SD_{5sec} は、粗骨材の体積割合 30%で最も大きくなり、粗骨材の体積割合 32.8%では最も小さくなることがわかる。振動の影響を把握するため SD_{5sec} と SD_{0sec} の差分(以降、 SD_{5sec} と称する)を図-13 に示す。いずれの粗骨材割合でも振動の影響による分離はほとんど発生していないことから、水平方向の分離程度は振動無しの影響が大きいことがわかる。

振動締固めがコンクリート材料分離に与える影響を、鉛直および水平方向の粗骨材量の分布で把握した結果、次のことがわかった。モルタルの塑性粘度の増加に伴い、鉛直方向および水平方向ともに Y_n の変動は小さくなった。一方で、粗骨材の体積割合の影響として、鉛直方向の材料分離試験では粗骨材の体積割合の増加に伴い Y_n の変動は小さくなったが、水平方向の材料分離試験では粗骨材の体積割合 30%で全体的な Y_n の変動(SD_x)が最も大きくなり、粗骨材の体積割合 32.8%では最も小さくなった。このように、粗骨材の体積割合が材料分離に与える影響は、鉛直と水平の方向で異なる結果となったが、その理由については今後の課題である。

3. シリーズⅡ 材料分離が力学的特性に及ぼす影響

3.1 実験概要

3.1.1 使用材料および配合

表-5 に使用材料,表-6 にコンクリートの配合およびフレッシュ性状の試験結果を示す. 締固めを必要とする高流動コンクリートは,高性能 AE 減水剤 (SP) と増粘剤含有高性能 AE 減水剤 (VSP) を用いてコンクリートの粘性を変えた目標スランプフロー $45 \, \mathrm{cm}$ の 2 配合 (SF45-SP, SF45-VSP) とし,比較用に目標スランプ $12 \, \mathrm{cm}$ の普通コンクリート (SL12) を加えた計 3 配合とした. なお, SF45-VSP はシリーズ $1 \, \mathrm{cm}$ の $1 \,$

と同配合である.目標空気量は4.5%とした.コンクリートのフレッシュ性状試験は、それぞれ JIS A1101 スランプ試験、JIS A1150 スランプフロー試験、JIS A1128 空気量試験(圧力法)に準拠して行った.なお、スランプフロー試験は3層5回突きによる方法で行い、空気量試験は突き棒と木槌により詰める方法で行った.

3.1.2 振動締固め試験

(1) 試験体の作製方法および条件

図-14に試験体概要,バイブレータの挿入位置,各試

W 上水道水 (密度 1.00g/cm3) С 普通ポルトランドセメント (密度 3.15g/cm3) 細骨材 川砂 (表乾密度 2.63g/cm3, 粗粒率 3.11) コンクリート用砕石 2005 (表乾密度 2.72g/cm3, 粗粒率 6.58) 粗骨材 G Adı AE 減水剤(リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体) Ad₂ SP: 高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸系) VSP:特殊增粘剤一液高性能 AE 減水剤 化学混和剤 (ポリカルボン酸系と界面活性剤系特殊増粘剤の複合体) AE AE剤 (アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤) AD 空気量調整剤 (ポリアルキレングリコール誘導体)

表一5 使用材料

表-6 コンクリートの種類

配合												フレッシ	ュ性状
No.	W/C	s/a	(Content (kg/m³)				Chemical Admixture (C×%)					Air
	(%)	(%)	W	С	S	G	Ad ₁	Ad ₂	Ad_3	AE	AD	(cm)	(%)
SL12	50	45	168	336	805	1018	0.30	_	_	0.003	_	13.0	4.4
SF45-SP	50	51	175	350	897	891	_	0.75	_	0.002	_	45.5	3.1
SF45-VSP	50	51	175	350	897	891	_	_	1.0	_	0.002	47.0	3.9

験実施位置,コアの観察面を示す.試験体の寸法は,幅1100mm,奥行き200mm,高さ350mmである.コンクリートは,容量100リットルの二軸強制練りミキサにより,1バッチ85リットルで練り混ぜた.打込みは,人力により1層で行い,振動締固めには 40mmのバイブレータ(周波数240Hz)を用い,試験体の上面中央に挿入した.挿入深さは,試験体の上面から300mmとした.

平面図 CL φ40振動機 ₽ φ75コア採取/ (σ28圧縮強度, 静弾性係数) φ100コア採取 (粗骨材・気泡分布) φ100コア切断 A-A断面 コア採取 CLから@100m B 5‡ Area I 0-70 250 70-140 350 140-210 00000 8 210-280 80-350 面積率の算出 [mm] 5@100=500 50 1100

図-14 試験体概要

振動締固め時間は、普通コンクリートの標準的

な施工方法の範囲で締固め完了と判断される 15 秒と設定した. SF45 は、普通コンクリートよりも振動締固め時間を短くできると想定されるが、比較のために No.1 と同じ 15 秒とした. なお、バイブレータは所定の挿入深さに 3 秒程度で達し、振動締固め時間は、それからの時間とした.

1 mm 以上の気泡および粗骨材の分布は、試験体中心の軸方向の上面から鉛直方向に採取した ϕ 100 コアを切断し、幅 500 mm、高さ 350 mm の範囲を測定した。圧縮強度および静弾性係数は、試験体の上面から高さ 250 mm (212.5 - 287.5 mm) の位置で水平方向に採取した ϕ 75 コアを用いた.

(2) コアの圧縮強度試験・静弾性係数試験

コアの圧縮強度試験は JIS A 1107, コアの静弾性係数試験は JIS A 1149 に準拠して行った. コア供試体は, 両端面を 25mm ずつ切断, 研磨し, 高さ 150mm を目標に仕上げた. 採取したコアは, 試験材齢である 28 日まで封緘養生した.

(3) 比較的大きな気泡および粗骨材分布の測定

材料分離については、主に振動締固めによる鉛直方向を対象として、シリーズ I と同様にモルタルと粗骨材の分離に着目し、粗骨材の分布を測定した. 比較的大きな気泡については、参考文献ので施工が硬化後の

気泡分布に及ぼす影響を把握するために、目視にて視認可能な 1mm 以上の気泡を観察しており、本実験でも 1mm 以上の気泡を対象に測定した。気泡と粗骨材の分布の測定は、φ100 コアを用いて行った。粗骨材は 5mm 以上の骨材を、気泡は 1mm 以上の窪みを対象にトレースし、二値化処理して面積を算出した。算出した面積は、高さ方向に 5 分割し、各範囲の面積で除して面積率を求めた。

3.2 実験結果と考察

3.2.1 硬化後の物性

図-15 にバイブレータからの距離とコンクリートコアの圧縮強度の関係を示す. 圧縮強度は、各配合ともにバイブレータから距離 0mm、すなわち挿入位置で最大であり、バイブレータから離れるとともに小さくなった. いずれも同じ水セメント比であるが、SL12 と比較して、全体的な圧縮強度は SF45-VSP が大きく、SF45-SP が小さかった. なお、SF45-SP-500mm の試験体には大きな空隙が残留していることが確認でき、圧縮強度が特に小さい原因と考えられる.

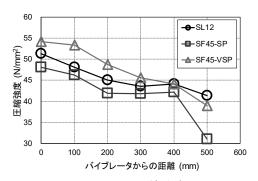


図-15 圧縮強度

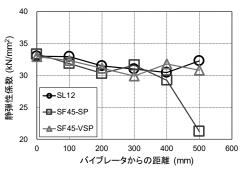


図-16 静弾性係数

-	面積率			1mm 以上(の気泡 (%)				粗骨木	才 (%)		
	距離高さ	50-150	150-250	250-350	350-450	450-550	Ave.	50-150	150-250	250-350	350-450	450-550	Ave.
	0-70	<u>1.9</u>	3.0	3.2	4.8	5.7	3.7	32.6	43.4	36.6	38.2	36.4	37.5
	70-140	0.3	1.3	2.1	3.9	6.2	2.8	40.8	<u>51.5</u>	44.6	39.7	34.8	42.3
SL12 Gv:374l/m ³	140-210	0.8	3.3	4.0	4.5	4.7	3.5	<u>41.4</u>	<u>46.7</u>	42.1	35.5	35.5	40.3
Air:4.4%	210-280	0.6	3.6	5.3	4.6	5.3	3.9	<u>47.3</u>	<u>45.9</u>	38.7	36.7	32.3	40.2
	280-350	2.6	2.0	2.9	4.5	4.8	3.3	40.3	<u>45.9</u>	43.4	38.9	33.3	40.4
	Ave.	1.2	2.7	3.5	4.4	5.3	3.4	40.5	46.7	41.1	37.8	34.5	40.1
	0-70	1.0	1.1	2.0	2.6	2.2	1.8	22.8	27.2	26.5	24.1	29.9	26.1
	70-140	2.2	1.0	1.1	2.4	2.2	1.8	34.7	37.4	37.7	38.7	41.3	38.0
SF45-SP	140-210	0.3	1.3	2.2	2.3	2.2	1.7	36.5	39.8	40.5	35.5	35.6	37.6
Gv:328l/m ³ Air:3.1%	210-280	1.1	2.0	1.7	1.9	2.2	1.8	41.0	33.7	36.1	36.8	36.8	36.9
	280-350	0.9	1.8	2.2	2.2	2.1	1.9	42.4	32.3	33.6	31.6	34.6	34.9
	Ave.	1.1	1.4	1.8	2.3	2.2	1.8	35.5	34.1	34.9	33.3	35.6	34.7
	0-70	1.6	2.3	2.8	2.5	2.9	2.4	25.0	29.5	35.0	34.2	40.7	32.9
	70-140	1.3	1.6	2.4	3.8	4.8	2.8	34.8	38.4	34.8	35.2	31.4	34.9
SF45-VSP Gv:328l/m ³	140-210	0.9	2.5	2.3	3.1	3.5	2.5	36.4	32.7	34.9	27.8	35.3	33.4
GV:328t/m° Air:3.9%	210-280	0.8	3.2	3.3	3.0	4.6	3.0	42.3	35.0	32.8	43.0	29.9	36.6
7 111101070	280-350	1.0	2.6	3.5	4.3	4.1	3.1	40.2	33.5	34.1	34.4	34.0	35.2
	Ave.	1.1	2.4	2.9	3.3	4.0	2.7	35.7	33.8	34.3	34.9	34.3	34.6

表-7 1mm 以上の気泡面積率および粗骨材面積率

図-16 にバイブレータからの距離とコンクリートコアの静弾性係数の関係を示す. 静弾性係数は, 各配合ともにバイブレータからの距離が離れてもほぼ一定であった. なお, No.2-500mm の静弾性係数が特に小さいのは, 圧縮強度と同様にコア内に大きな空隙が残留していたことが要因であると考えられる.

3.2.2 1mm 以上の気泡および粗骨材分布

表-7 に各箇所の 1mm 以上の気泡面積率および粗骨材面積率を示す. 普通コンクリートの標準的な施工方法では,バイブレータの挿入間隔が 50cm 以下であるので,所要の締固めが達成されているのは SL12-50-250mm までの範囲程度と想定される(表内赤色,下線部). まず,水平方向の 1mm 以上の気泡面積率は,SL12 でバイブレータから離れるとともに増加していた. 半径 250mm までは標準的な振動締固めが達成できていると考えると,標準的な締固めで残留する 1mm 以上の気泡面積率は,SL12-150-250mmの結果から3.0%程度以下と判断できる. SF45 で3.0%以下となる距離は,SF45-SP が550mm,SF45-VSPが350mm であり,SL12 よりも距離が長いが,3.0%以下とする

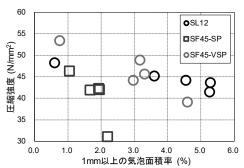


図-17 1mm 以上の気泡面積率と 圧縮強度の関係

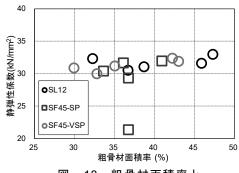


図-18 粗骨材面積率と 静弾性係数の関係

のに最大 2.0%程度の比較的大きな気泡を除去するための振動締固めが必要である.

次に、粗骨材面積率について比較する。各配合の特徴は、SL12 が水平方向の変動が大きく、SF45-SP が鉛直方向の変動が大きく、SF45-VSP が全体的な変動が小さかった。また、バイブレータ近傍の距離 50-150mm の粗骨材面積率は、各配合ともに高さ 0-70mm が最小であった。材料分離の程度はシリーズ I の手法により 把握した。水平方向の SDx は粗骨材量の影響を考慮して変動係数とした。鉛直方向はバイブレータ近傍の距離 50-150mm、高さ 0-70mm の Y_I 、水平方向は距離 100mm 毎の平均値から、距離 50-550mm までの変動係数

をそれぞれ求めた. シリーズ Π は硬化体を対象としため、 Y_I と変動係数は粗骨材体積割合を粗骨材面積率に置き換えて求めた. 鉛直方向の材料分離程度 Y_I は SL12 で 0.81, SF45-SP で 0.66, SF45-VSP で 0.72 であり、水平方向の材料分離(変動係数)は SL12 で 11.3%, SF45-SP で 2.8%, SF45-VSP で 2.1%であった. この結果より、SF45 は SL12 と比較して、水平方向の材料分離を少なくでき、振動締固めで鉛直方向に分離しやすいが、VSP の使用により材料分離抵抗性を高めることができる.

3.2.3 1mm 以上の気泡・粗骨材分布と硬化後の品質の関係

図-17 に 1mm 以上の気泡面積率とコンクリートコアの圧縮強度の関係を示す. 試験位置等は静弾性係数と同様である. コンクリートコアの圧縮強度は, 各配合ともに 1mm 以上の気泡面積率の増加に伴い小さくなった. これは, 圧縮強度が空気量の増加にほぼ反比例して低下するのことと一致する.

図 -18 に粗骨材面積率とコンクリートコアの静弾性係数の関係を示す.なお、粗骨材面積率は、圧縮強度と同じ位置の高さ 210-280mm の結果を用いた.コンクリートコアの静弾性係数は、粗骨材面積率 $29.9 \sim 47.3\%$ (SF45:29.9 $\sim 43.0\%$)、材料分離程度 $Y_{IV}0.80 \sim 1.22$ (SF45: $0.86 \sim 1.22$) の範囲でほぼ一定であった.この理由として、本実験の粗骨材の変動では、静弾性係数への影響は小さいものと考えられた.

4. まとめ

本研究で得られた知見を次に記す.

- 1) 鉛直方向の材料分離試験は、I層の振動時間 0, 3, 5 秒の結果で粗骨材量の分布の違いが把握できた.
- 2) 水平方向の材料分離試験は、締固め位置から先端に向かって粗骨材量の分布が大きくなった.
- 3) 材料分離試験では、鉛直方向では振動による分離の影響が大きく、水平方向では自重による分離の影響が大きいことが確認された.
- 4) 振動締固め試験では、普通コンクリートと比較して、水平方向の材料分離が少なく、振動締固めで鉛直 方向に分離しやすいこと、増粘剤含有高性能 AE 減水剤の使用により材料分離抵抗性を高められること が確認された.
- 5) 材料分離が力学的特性に及ぼす影響は、1 mm 以上の気泡面積率の増加に伴い圧縮強度が低下し、粗骨材面積率 $29.9 \sim 43.0\%$ (材料分離程度 $Y_{IV}0.86 \sim 1.22$)の範囲の材料分離では静弾性係数がほぼ一定であった。

参考文献

- 1) 流動性を高めたコンクリートの活用検討委員会:流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン, pp.1-4, 2017.3
- 2) 土木学会: 2017年制定コンクリート標準示方書「施工編」, 2018.3
- 3) 土木学会: コンクリートライブラリー136 高流動コンクリートの配合設計・施工指針 2012 年版, 2012.6
- 4) 依田ほか:流動化剤コンクリートを用いた柱流動コンクリートの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1249-1254, 2005.7
- 5) 西村和朗,加藤佳孝,江口康平:フレッシュコンクリートの変形に着目した粘性評価に関する基礎的検 討,セメント・コンクリート論文集, Vol.71, No.1, pp.264-271, 2018.3
- 6) 日本コンクリート工学会:コンクリート中の気泡の役割・制御に関する研究委員会報告書,pp.80-82,pp.113-121,2016.6

凍害を考慮した護岸に適用する、締固めを必要とする高流動コンクリートの 諸特性と補修に関する検討

鶴田 浩章*1

1. はじめに

近年,越波被害の対策のためにフレア型護岸(防波護岸,**写真-1**¹⁾ 参照)の整備が進んでいる。フレア型護岸は鋼・コンクリート合成構造物であり,高い越波抑制能力を有している。通常はスランプ12cmの普通コンクリート(以下,NC-12)で施工されているが,特異な円弧形状であるため,コンクリートの振動締固めを頻繁に行う必要があり,施工労力が大きく,施工効率に課題がある。この課題を解決するため,施工効率とコストを考慮した増粘剤一液型高性能 AE 減水剤(以下,SP-USV)を使用した,締固めを必要とする高流動コンクリート(以下,SSC-USV)の使用が期待されている。

フレア型護岸は西日本を中心に施工されており、今後は東日本にも整備が進むと考えられる。東日本での寒冷地では凍害が問題になる場合がある。混合セメントや混和材料を用いたコンクリートの耐凍害性に関する研究は多くなされており、例えば、SP-USV を用いた高流動コンクリートや高炉セメント(以下、BB)を用いた高流動コンクリートは耐凍害性が向上するという報告^{2),3)}がある一方で、膨張材(以下、HE)や収縮低減剤(以下、SRA)を混和したコンクリートは耐凍害性が低下するという報告^{4),5)}もある。

フレア型護岸には収縮ひび割れの対策として IE が使用されているが、IE を使用したコンクリートは寒冷地において耐久性に 懸念がある。そこで IE は使用せず、耐凍害性を向上させる効果のある収縮低減剤(以下、SRA)を用いることにした。SRA を用いた SSC-USV の既往の研究はないため、本研究では SRA を用いた SSC-USV の基本的性質を明確にするとともに、従来のコンクリートと比較し、寒冷地で SRA を用いた SSC-USV がフレア型護岸に適用できるかを評価した。適用性を評価するにあたり、本研究で要求される性質は、対象としている地域が寒冷地および沿岸域であるため、最低限要求される性質として耐凍害性、耐塩害性、耐摩耗性とした。また、フレア型護岸には、すりへりにより粗骨材が露出してきている状況も発生しており、すりへり以外にも塩害などの劣化が懸念されるため、将来的に補修を行う可能性を想定し、本研究では、護岸の補修として断面修復材がフレア型護岸に適用できるかについても検討した。



表-1 使用材料および特性値

材料	種類	記号	特性値
水	上水道	W	密度1.00(g/cm³)
セメント	普通ポルトランドセメント	OPC	密度3.15(g/cm³), 比表面積3350cm²/g
	高炉セメントB種	BB	密度3.04(g/cm³), 比表面積3950cm²/g
細骨材	川砂	S	表乾密度2.58(g/cm³), 吸水率1.10(%)
粗骨材	砕石	G	表乾密度2.68(g/cm³),吸水率0.75(%)
混和材	膨張材	HE	石灰系
	収縮低減剤	SRA	炭化水素系化合物と
	4又和8145/60万円	SICA	グリコールエーテル系誘導体
混和剤	高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物
	增粘剤一液型高性能AE減水剤	SP-USV	ポリカルボン酸エーテル系化合物
	消泡剤	AE-1	ポリアルキシレングリコール誘導体

写真-1 フレア型護岸 1)

^{*1} 関西大学教授 環境都市工学部都市システム工学科 博士 (工学)

表-2 計画配合

			単位量(kg/m³)									
	W/C(%)	W/B(%)	W	OPC	BB	HE	S	G			AE-1(%)	
									SRA	SP	SP-USV	C×%
NC-12 OPC			160	336		20	795	1005	_	1956	_	
SSC-USV OPC (HE)	45		170	358	_	20	868	881		_	9256	_
SSC-USV OPC (SRA)			1/0	378		_	000	001	2000		7556	
NC-12 BB			160		336	20	769	1022		1778	_	0.001
SSC-USV BB (HE)		45	170	_	358	20	857	881			4156	0.001
SSC-USV BB (SRA)					378	ı	637	001	2000		3778	0.002

2. 使用材料および計画配合

実際に使用した材料およびその特性値を表-1 に、計画配合を表-2 に示す。NC-12 の配合は、実施工で使用されている配合を基に、目標スランプを 12 ± 1 cm、目標空気量を 4.5 ± 1.5 %、W/C(W/B) は 45%と決定した。一方、SSC-USV は過去の研究 6 から目標スランプフローを 525 ± 25 mm、目標空気量を 4.5 ± 1.5 %、W/C(W/B) は 45%と決定した。 HE はセメント重量に対して内割で使用しており、本研究では SRA の効果を確認するための検討では HE は使用せず、SRA をコンクリートの通常練混ぜ後に標準使用量 2kg を外割添加し、練り混ぜた。

3. 実験概要

(1) フレッシュ性状試験

コンクリートのフレッシュ性状については、表-3の 試験を行った.「充填装置を用いた間げき通過性試験」, 「漏斗を用いた流下試験」では、試験中は棒型振動機 を用い、振動を与えながら試験を行った.

(2) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は JIS A 1108「コンクリートの圧縮強

表-3 フレッシュ性状試験の項目と方法

試験項目	試験方法
スランプフロー試験	JIS A 1150
スランプ試験	JIS A 1101
空気量試験	JIS A 1116
充填装置を用いた間げき通過性試験	JSCE-F 511-2011
漏斗を用いた流下試験	JSCE-F 512-2011

度試験方法」に準拠して行った.養生方法は水中20℃の水中養生で、測定した材齢は7日、28日、91日とした.

(3) 長さ変化試験

長さ変化試験は JIS A 1129-3「コンクリートの長さ変化測定方法 ダイヤルゲージ方法」に準拠して行った。打設時にダイヤルゲージ法専用の型枠にゲージプラグを差し込み、練り上がったフレッシュコンクリートを 2 層に分けて打ち込んだ。打設の翌日に脱型し、材齢 7 日まで水中養生した後、ダイヤルゲージを使用し、乾燥収縮ひずみの測定を行った。

(4) 凍結融解試験

凍結融解試験は JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠して行った。 材齢 28 日まで水中養生を行い、30 サイクル毎に供試体の質量とたわみ振動の一次共鳴振動数から相対動弾性係数を算出し、耐久性指数も算出した。 試験終了は、300 サイクル完了か相対動弾性係数 60%未満とした。

(5) 塩分浸透抵抗性試験

塩分浸透抵抗性試験は JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」、JSCE-G 572-2013「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法」に準拠して行った。供試体は浸せき面以外をエポキシ樹脂で塗布し、 20 ± 2 °C、濃度 10%の塩化ナトリウム水溶液に 3, 6, 9, 12 r 月間浸せきさせた。浸漬期間中は、2 日間気中で乾燥し、5 日間水中浸せき後、浸漬面から 1cm 間隔で 5 層分切断し、各層の塩化物イオンの量を測定した。各層の塩化物イオン量の値から

回帰分析を行い、得られた式から、表面の塩化物イオン量と拡散方程式(式(1) 7)を用いて拡散係数を求めた 8 .

$$C(x,t) - C_i = C_0 \left\{ 1 - erf\left(\frac{0.1x}{2\sqrt{D_{ap} \times t}}\right) \right\}$$
 (1)

ここに、x: 暴露面から全塩化物イオンを測定した箇所までの距離(mm)、t: 浸せき期間 (年)、C(x,t): 距離x(mm) 、浸せき期間 t(年)において測定されたコンクリートの単位質量あたりの全塩化物イオン濃度(%)、 C_i : 初期に含有される全塩化物イオン濃度(%)、 D_{ap} : 浸せき試験による見掛けの拡散係数($cm^2/$ 年)、erf: 誤差関数である.

(6) 流体エロージョン試験

流体エロージョン試験は、ASTM C1138「Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete (Underwater Method)」に準拠して行った。供試体は Φ 300×100mm の円盤供試体を1種類につき3体作製し、材齢28日まで水中養生を施した後、打設時の底面を試験面として \mathbf{Z} -1のようにして試験を行った。試験期間中は、湿潤状態を保つため水中養生を行い、供試体毎の試験結果の差を小さくするため、3体の供試体の全てが12時間の試験を終了してから、次の12時間の試験を行うというローテーションで72時間まで試験を行った。

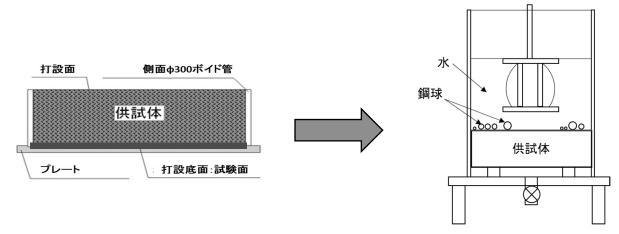


図-1 供試体の設置と流体エロージョン試験装置

(7) 護岸の補修に関する検討

フレア型護岸では、波や砂礫粒子のすりへり作用により粗骨材が露出 してきている状況が発生しており、それ以外の劣化要因として塩害など により将来的に耐久性に影響が及ぶ、土木構造物の補修工法として断面 修復工法があり、本研究では、断面修復工法の補修材として、2種類の ポリマーセメントモルタル(PCM-S, PCM-M)を採用し、基本的性質を従来

表-4 ポリマーセメントモルタルの計画配

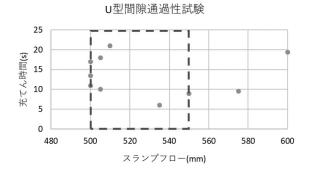
種類	単位量(kg/m³)	遅延剤
任里共	粉体	水	(g) (C×%)
PCM-S	1875	300	_
PCM-M	1820	291	0. 15

のコンクリートとの比較を通じて適用性を検討した。PCM-S、PCM-M の計画配合を表-4 に示す。いずれのポリマーセメントモルタルも高機能性特殊粉末樹脂及び特殊短繊維をプレミックスした製品であり、PCM-S は汎用型の高強度ポリマーセメントモルタルで、PCM-M は超速硬セメントをベースにした特殊無機系材料を主成分とした緊急工事用超速硬ポリマーセメントモルタルである。また、断面修復材に要求される品質は土木研究所資料⁹によると、部材コンクリートに求める品質と同等以上である。そのため、断面修復材に求める品質は、フレア型護岸で実際に使用されているNC-12 の品質と同等以上とした。すりへり試験に関しては水中環境において耐久性を考慮する必要があるため、水中環境では使用できない PCM-S は除いて試験を行った。

4. 実験結果および考察

(1) コンクリートのフレッシュ性状

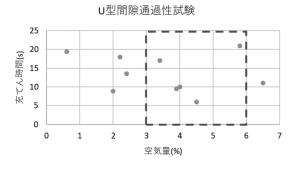
図-2, 図-3にU型間隙通過性試験(以下,U型試験)およびV型漏斗流下試験(以下,V型試験)の結果とスランプフローとの関係を示す. また、図-4, 図-5にU型間隙通過性試験(以下,U型試験)およびV型漏斗流下試験(以下,V型試験)の結果と空気量との関係を示す. 両図の赤い破線は本研究で設定したスランプフロー値525±25mm,目標空気量は4.5±1.5%の範囲である. 参考として、設定値から外れたものの結果も図中に示す. 図-2, 図-3 よりスランプフローが増加するにつれて充填および流下時間に明確な関係性は見受けられず相関性は低いと考えられる. 過去の研究2)よりSSC-USVの温度依存性はSSC-Vよりも小さく、気温変化に伴いスランプフローが増減することはないことが明らかになっているため、温度との関係は無いと判断できる. この要因としては棒型振動機を用い振動を与えたためだと考えられる. 振動を与えたことにより、スランプフローの違いによる充填性、流動性への影響が低減されるため、極端にスランプフローが小さくならない限り、粗骨材のつまり等の問題が発生しなければ試験結果に大きな差は生じないと考える. 次に、図-4,図-5 より、V型試験において空気量が増加するにつれて流下時間も短くなる傾向が見られる. 一方、U型試験は空気量が増加しても測定時間との関係性はあまりないと考えられる. 表-5 に示す測定時間とスランプフローおよび空気量の相関表を見ても、相関が高いのはV型試験の測定時間と空気量のみである.



V型漏斗流下試験 35 30 25 流下時間(s) 20 15 10 5 0 480 500 520 540 580 600 スランプフロー(mm)

図-2 スランプフローと U型試験結果の関係

図-3 スランプフローと V 型試験結果の関係



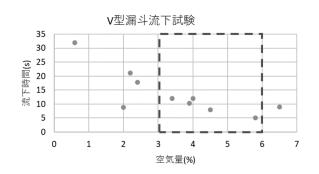


図-4 空気量と V 型試験結果の関係

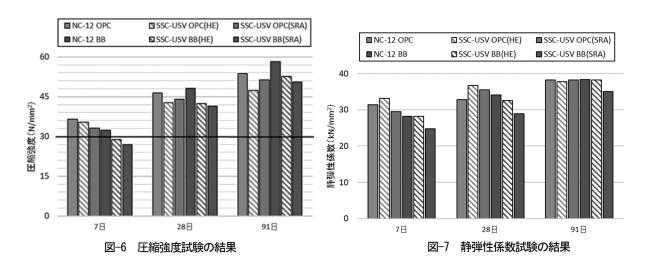
図−5 空気量と U 型試験結果の関係

表-5 U型試験とV型試験の結果のスランプロー・空気量試験の結果との関係

	決定係数	(R ²)
	スランプフロー	空気量
U型試験の測定時間	0. 423	0. 174
V 型試験の測定時間	0. 209	0.899

(2) 圧縮強度試験

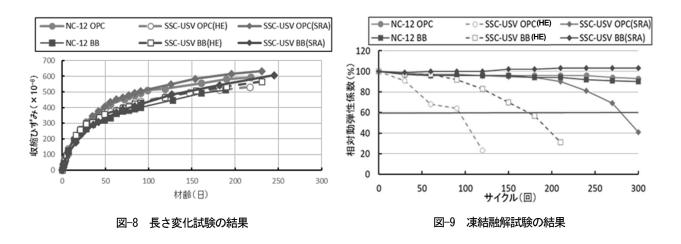
圧縮強度試験の結果を図-6に、静弾性係数試験の結果を図-7に示す. 材齢91日において、SRAを使用したSSC-USVは、HEを使用したものに比べ、OPCでは圧縮強度が8%程増加する傾向が、BBでは4%程低下する傾向が見られる. このことから、BBを使用した場合、SRAを混和することで強度が低下したことを確認した. また、OPCに関しては、ばらつきの影響によりHEより強度



が高くなったと考えられる. しかし、材齢28日の時点で圧縮強度30N/mm²以上を超えているため、いずれも強度条件を満足していることが分かった. 図-7より、材齢91日時点ではSSC-USV BB(SRA)に関しては僅かに静弾性係数が小さいが、それ以外のBBを用いたコンクリートは0PCを用いたコンクリートとほぼ同等であることが分かった。また、BBを用いたコンクリートの静弾性係数が0PCよりも増加率が高い傾向にある. この理由としては高炉セメントの持つ潜在水硬性の影響によりコンクリートが緻密になったからだと考えられる.

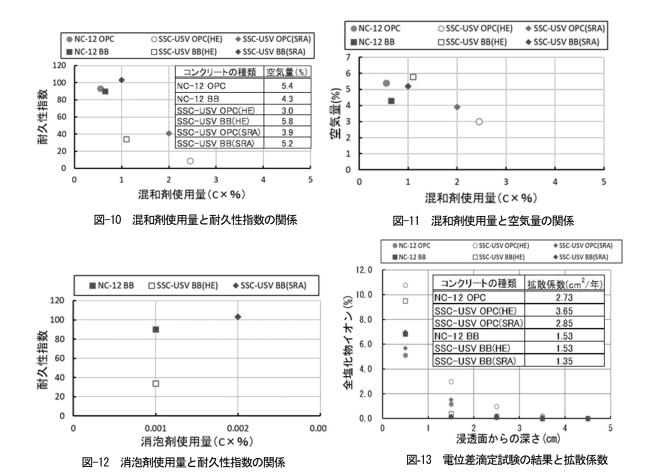
(3) 長さ変化試験

長さ変化試験結果を図-8 に示す。SRA を使用した SSC-USV は、OPC よりも BB の方が、収縮抑制効果が高いことが分かった。また、OPC を用いた SSC-USV (IE) の単位水量は NC-12 OPC の単位水量に比べ $10 \log$ 多いが、収縮ひずみは同等である。OPC を用いた SSC-USV (SRA) は SSC-USV (HE)、NC-12 と比べ、材齢 60 日ぐらいまではほぼ同等であるが、その後、材齢が長期になるにつれて、収縮ひずみの差が大きくなった。しかし、ばらつきによっては収縮ひずみの差が 100×10^6 以内であるため、ほぼ同等と言える。一方、BB を用いたコンクリートにおいては材齢の進行に伴い、収縮ひずみの差は見られなかった。



(4) 凍結融解試験

凍結融解試験結果を図-9 に、混和剤の使用量と耐久性指数の関係を図-10 に、混和剤の使用量と空気量の関係を図-11 に、消泡剤の使用量と耐久性指数の関係を図-12 に示す。図-9 を見ると、SRA を使用した SSC-USV BB が、300 サイクル後の相対動弾性係数が最も大きく、耐凍害性に優れていることが分かった。一方、HE を用いた SSC-USV は、著しく耐凍害性が低いことが分かった。300 サイクル後の相対動弾性係数 60%以上を確保していた 3 種類の供試体のばらつきはほとんどなく、標準偏差は、約0.2~



1.3 であった. 一方, 残りの3種類の供試体の標準偏差は, ばらつきがあり, 約8.4~17 であった. 次に図-10 について, NC-12 と SSC-USV の混和剤の種類は異なるが, 使用量が増加するにつれて, 耐久性指数が低下していくことが分かる. また図-11 より混和剤使用量が増えるにつれて空気量が低下する傾向が見られる. 図-12 より消泡剤の使用量が増加するにつれて耐久性指数は増加する傾向が見られた. 既往の研究 10 では 消泡剤を用いることで, 微細な気泡が減少するという報告がある. 凍害に対して有効な気泡は微細な気泡であるため, 消泡剤を混和することで耐久性指数が低下するはずだが, 今回の試験は既往の研究 10 とは反対の結果になった.

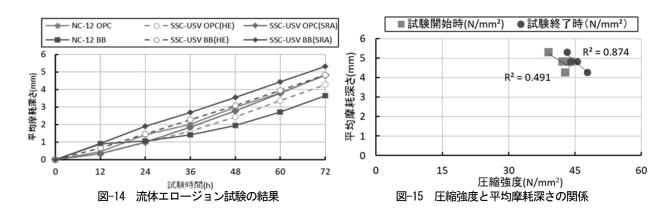
次に、HE を用いた SSC-USV (BB) の耐久性指数は**図-10、図-11** より SRA を用いた SSC-USV (BB) と比べると、混和剤の使用量や空気量がほぼ同等であるのに、耐久性指数が 67%低下している。この理由は混和剤の影響よりも、HE の影響 ¹¹⁾の方が大きいため耐凍害性が低下したと考えられる。今回の試験では SRA を混和することにより、セメントペースト中の気泡性状を把握していないため、今後は気泡間隔係数や詳細なセメントペーストの検討を行う必要がある

(5) 塩分浸透抵抗性試験

電位差滴定試験結果(浸せき期間 6 ヶ月)と拡散係数の算出結果を図-13 に示す。OPC を用いた SSC-USV (SRA) の拡散係数は 2.85cm²/年,SSC-USV (HE) は3.65cm²/年であり,SRA の使用により OPC を用いた場合は約 22%拡散係数が低下し、BB の場合では約 12%拡散係数が低下していることが分かる。このことから,SRA を用いた SSC-USV は塩害特性に優れていることが分かった。しかし,SRA を使用することで塩分浸透抵抗性がなぜ向上するのかは明確になっていないため,コンクリート内部の検討が必要であり,今後はコンクリートの塩分固定化について検討する必要がある。

(6) 流体エロージョン試験

流体エロージョン試験結果を図-14 に、試験開始時および試験終了時の圧縮強度と平均摩耗深さの関係を図-15 に示す. 図-14



より SRA を使用した SSC-USV は、OPC、BB 共に HE を使用した SSC-USV と比べ、平均摩耗深さが大きくなる傾向が見られた. しかし、供試体の高さは 100mm であり、平均摩耗深さの差は 1mm もないため、同等だと考えられる. また、表-6 より、コンクリートにおいて 2~3 サイクル目でモルタルが摩耗し、粗骨材が露出している現象が見られた. 写真-2 のフレア型護岸下部においても、竣工から約4年で粗骨材が露出してきているため、実験においての 2~3 サイクル目が実環境の約4年に相当すると考えられる. ここで、モルタル体積率が異なるため、モルタル体積率が同じ SSC-USV だけを抽出して、圧縮強度と平均摩耗深さの関係を示した図-15 より、圧縮強度が大きければ平均摩耗深さは小さくなり、逆に圧縮強度が小さければ平均摩耗深さは大きくなることが分かった. また、プロットした点から回帰直線を求め、決定係数を算出したところ、試験開始時よりも試験終了時の圧縮強度の方が平均摩耗深さとの相関関係が高いことが分かった.

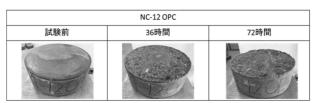




表-6 供試体の摩耗状況

圧縮強度(N/mm²)(材齢28日)

■PCM-S ■PCM-M ■NC-12 OPC ■SSC-USV OPC(HE) ■SSC-USV OPC(SRA)

75.0

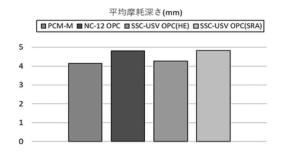
60.0

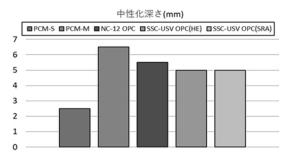
45.0

15.0

0.0

写真-2 フレア型護岸下部の摩耗状況





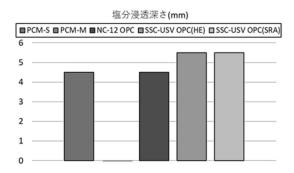


図-16 ポリマーセメントモルタルとコンクリートの性質比較

(7) 護岸の補修に関する検討

2 種類のポリマーセメントモルタル(PCM-S, PCM-M) とコンクリートの基本的性質を比較した結果を図-16 に示す. 2 種類のポリマーセメントモルタルの圧縮強度はコンクリートのものと比べて高く, すりへり抵抗性に関しても PCM-M はコンクリートと同等以上の性質があることが分かった. 一方, 促進中性化試験と塩分浸透抵抗性試験については, それぞれ PCM-S, PCM-M が最も優れていることが分かった.

このことから断面修復材の種類によって性質が違うため、中性化の激しい地域ではPCM-S、すりへりや塩害の激しい地域ではPCM-Mを適用する等、構造物の環境条件を考慮して使い分ける必要があると考えられる.

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる.

- (1)本研究で対象とした締固めを必要とする高流動コンクリートにおいては、V型漏斗流下時間試験結果と空気量の間に高い相関が確認できた。
- (2) SRA を用いた SSC-USV は、HE を用いた SSC-USV より耐凍害性に優れており、BB においては高い凍結融解抵抗性を示し、HE の SSC-USV より耐塩害性に優れており、塩化物イオンの見掛けの拡散係数を低下させることが分かった。さらに、耐摩耗性が小さくなる傾向があるが、HE を用いたコンクリートとほぼ同等であった。
- (3) PCM-S は中性化に対する抵抗性が高く、PCM-M は塩害やすりへりに対する抵抗性が高いことが分かった.

したがって、寒冷地域において SRA を用いた SSC-USV はフレア型護岸に適用できると言え、また、補修に関しても環境条件を 考慮して断面修復材を適切に使用すれば適用できることが示された.

参考文献

- 1) 神戸製鋼所 フレア護岸™ 施工事例 鉄構・砂防部 資料.
- 2) 馬場勇介, 菅俣 匠, 松倉隼人, 矢口 稔: 新規な増粘剤一液型高性能 AE 減水剤を使用した低粘性高流動コンクリートの基本 特性, 土木学会第66回年次学術講演会概要集, pp. 1143-1144, 2011
- 3) 鳴瀬浩康, 田中一也, 川上学, 轟木詳千: 各種低発熱セメントを用いた高流動コンクリートの耐久性状, セメント・コンクリート論文集, No. 52, pp. 532-539, 1998
- 4) 竹下永造, 長塩靖祐: 膨張材を混和したコンクリートの凍結融解抵抗性評価に関する実験的検討, コンクリート工学年次論 文集, Vol. 37, No. 1, pp. 817-822, 2015
- 5) 松沢友弘,鳴海玲子,西 祐宜,濱 幸雄:耐凍害性を改善した収縮低減剤の使用量および気泡組織の品質が凍結融解挙動に及ぼす影響,コンクリート工学年次論文集,Vol. 37, No. 1, pp. 823-828, 2015
- 6) 鶴田浩章, 村上 真, 上田尚史, 安藤 圭:護岸に適用する中流動コンクリートの基礎性状とすりへり抵抗性, コンクリート 工学年次論文集, Vol. 36, No. 1, pp. 1438-1443, 2014
- 7) 土木学会: コンクリート標準示方書[規準編], pp. 372-376, 2013
- 8) 野村晃平, 鶴田浩章: 凍害を考慮した護岸に適用する中流動コンクリートの諸特性, コンクリート工学年次論文集, Vol. 40, No. 1, pp. 1179-1184, 2018
- 9) 土木研究所資料: コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル (案), 第 4343 号, Ⅲ-8, 2016
- 10) 太田宏平,田畑雅幸,平野彰彦,浜幸雄:コンクリートの気泡組織変動に及ぼす各種要因と耐凍害性,日本建築学会大会学術講演概要集,pp. 1139-1140, 2005
- 11) 三宅 将,中村泰誠:膨張コンクリートの膨張が及ぼす組織構造の変化と凍結融解抵抗性,寒地土木研究所平成17年度技術研究発表会,コ-9,2006

粉体量が電気炉酸化スラグ細骨材を混入した締固めを必要する

高流動コンクリートの間隙通過性やブリーディング特性に与える影響について

田岡 尭*1横山 卓哉*2 橋本 親典*3渡邉 健*4

1. はじめに

電気炉酸化スラグは、電気炉で鉄スクラップ等を溶融して粗鋼を生産する際に副産され、酸化スラグと還元スラグを合わせて年間に合計 350 万t 程度が生産されている。1980 年代までは酸化スラグと還元スラグを分離することが困難であり、還元スラグに含まれる遊離石灰等がコンクリートを膨張破壊させるため、電気炉スラグをコンクリート用骨材として用いることはできなかった。その後、酸化工程と還元工程が明確に区分されたことで、電気炉酸化スラグの有効利用ができるようになった 1). 現在、電気炉酸化スラグは資源の有効利用を図るため、JIS A 5011-4 (コンクリート用スラグ骨材一第4部) として規格化されている。

現在の電気炉酸化スラグ細骨材(以下、EFS)は、電気炉から排出された溶融したスラグを風の力で空気中に飛ばして球状にする風砕スラグの製造が2011 年頃から可能となり、球状のEFS を混和することにより、同一スランプでの単位水量の低減が可能になった。しかし、EFS は絶乾密度が3.5g/cm³程度と高密度であるため、多量に使用した場合ブリーディング量の増加が指摘されている。一方、EFS を用いた高流動コンクリートの既往の研究2つでは、フライアッシュによるブリーディングの抑制効果があることが報告されている。

本研究では、スランプフロー45±7.5cm の締固めを必要とする高流動コンクリートを対象として、フライアッシュ混入量の違いが EFS を使用した締固めを必要とする高流動コンクリートのブリーディング量に及ぼす影響について実験的に検討した.

2. 実験概要

2. 1 使用材料および特性

使用材料の種類および物性値を**表-2.1**に示す. EFS, FA ともに、JIS に適合するものを用いた

EFS の製造状況および形状を写真-2.1 に示す. まず、専用の釜で電気炉から副産された溶融スラグを専用車両で建屋に運搬する. その後、釜に溶融したスラグを移し替える(①). 後方から風を送って、溶融したスラグを空気中の飛ばす(②) ことによって球状のスラグ骨材(③)ができる.

細骨材は徳島県産砕砂のほかに EFS を使用し、 粗骨材は徳島県産砕石を使用した.

表-2.1 使用材料の種類および物性値

		24 1011111111111111111111111111111111111										
材料名	記号	種類および物性値										
セメント	С	普通ポルトランドセメント 密度: 3.16 g/cm³, 比表面積: 3470 cm²/g										
混和材	FA	フライアッシュⅡ種,強熱減量:2.60% 密度:2.22 g/cm³,比表面積:3420 cm²/g										
«سه++	S	德島県産砕砂 密度:2.57 g/cm³,粗粒率:2.63,吸水率:1.77 %										
細骨材	EFS	電気炉酸化スラグ 5-0.3 密度:3.52 g/cm³,粗粒率:3.38,吸水率:0.36 %										
粗骨材	G1	徳島県産砕石1505 密度:2.57 g/cm³,粗粒率:6.39,吸水率:1.61 %										
租宵М	G2	徳島県産砕石2010 密度:2.57 g/cm³,粗粒率:7.08,吸水率:1.61 %										
混和剤	SP	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸エテール系										
/比个1月1	AE	AE剤 変形ロジン酸化化合物系陰イオン界面活性剤										

^{*1} 徳島大学大学院 創成科学研究科 理工学専攻 社会基盤デザインコース

^{*2 (}株)キクノ 品質・安全管理部 部長 博(工)

^{*3} 徳島大学大学院教授 社会産業理工学研究部 理工学域 社会基盤デザイン系 構造・材料分野 工博

^{*4} 徳島大学大学院准教授 社会産業理工学研究部 理工学域 社会基盤デザイン系 構造・材料分野 博(工)



写真-2.1 EFS の製造状況および形状

2. 2 コンクリートの配合

コンクリートの配合およびフレッシュ性状を表-2.2に示す.

配合は、水セメント比55%、単位水量 170kg/m³ とした。シリーズ1は、フライアッシュ混入量を 91kg/m³、粉体量を 400kg/m³ とし、単位粗骨材かさ容積を 0.530m³/m³ とした。シリーズ2は、フライアッシュ混入量を 41kg/m³、粉体量を 350kg/m³ とし、単位粗骨材かさ容積を 0.560m³/m³ とした。

コンクリートの目標スランプフローは 45 ± 7.5 cm,目標空気量は 4.5 ± 1.5 %とし,所要のフレッシュ性状を満足するように AE 剤と高性能 AE 減水剤の使用量を調整した.配合は,EFS を細骨材にそれぞれ0%,25%,50%容積置換したもの(配合名: EFS0,EFS25,EFS50)の3 水準とした.

表-2.2 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

シリーズ 1

配合名	W/C	W/P	P (=C+FA)	Gm			単位	立量(kg	g/m^3)			SP	AE	スランプフロー	空気量	C. T.
HC LI 'LI	(%)	(%)	(kg/m^3)	(m^3/m^3)	W	С	FA	S	EFS	G1	G2	(P×%)	(P×%)	(cm)	(%)	(°C)
EFS0								843	0			1. 600	0. 012	41. 0 × 40. 0	4. 7	18. 1
EFS25	55. 0	42. 5	400	0. 530	170	309	91	632	289	490	327	1. 050	0. 011	48. 0 × 45. 0	4. 0	19. 0
EFS50								421	577			0. 700	0. 011	49. 0 × 48. 0	4. 3	19. 0

シリーズ2

配合名	W/C W/P P(=C+FA) Gm					単位量(kg/m³)							AE	スランプフロー	空気量	C. T.
配合名	(%)	(%)	(kg/m^3)	(m^3/m^3)	W	С	FA	S	EFS	G1	G2	(P×%)	(P×%)	(cm)	(%)	(°C)
EFS0								856	0			1. 700	0. 003	48. 0 × 46. 5	4. 9	16. 0
EFS25	55. 0	48. 6	350	0. 560	170	309	41	642	293	518	345	1. 050	0. 003	51.5×51.5	3. 7	16. 3
EFS50								428	586			0. 700	0. 002	50. 0 × 47. 0	3.8	15. 6

2. 3 コンクリートの練混ぜ

コンクリートの練混ぜには、強制二軸ミキサを用いた。最初にセメント、フライアッシュ、細骨材を5秒間空練りした後、混和剤を溶解した水を加えて60秒間練混ぜ、さらに粗骨材を加えて60秒間練混ぜを行った。ミキサ停止後、AE剤と高性能AE減水剤の効果を引き出すために5分間の静置を行い、その後、30秒間練混ぜを行った後排出した。

2. 4 試験項目および方法

試験項目および試験方法を表-2.3に示す.

フレッシュ性状の確認は、スランプフロー、空気量、ブリーディング、 間隙通過性試験を実施した. 目標スランプフローおよび目標空気量であ

表-2.3 試験項目および試験方法

試験方法	備老			
	備考			
JIS A 1150	45±7.5cm			
JIS A 1128	4.5±1.5%			
JIS A 1123	0.3cm³/cm²以下			
JSCE-F 701-2018	_			
JIS A 1108	標準水中養生28日			
JIS A 1113	標準水中養生28日			
JIS A 1106	標準水中養生28日			
JIS A 1149	標準水中養生28日			
	JIS A 1128 JIS A 1123 JSCE-F 701-2018 JIS A 1108 JIS A 1113 JIS A 1106			

ることを確認した後、次項で説明する間隙通過性試験を実施した. 引き続き、ウエットスクリーニングしたモルタルを用いて粘度試験を実施し、レオロジー定数(降伏値と塑性粘度)を計測した. 硬化性状は、圧縮強度試験、引張強度試験、曲げ強度試験を実施し、それぞれに関連する試験方法に準拠した.

2. 4. 1 間隙通過性試験

間隙通過性試験は、JSCE-F 701-2018 に準拠して実施した。流動障害のランクは R2 (D13 鉄筋×3本) および R3 (障害なし) の2水準とした。主な相違点は、棒型内部振動機 (以下、バイブレータ) の出力を 100%ではなく、60%と 80%の 2 段階で低減させている点である。

試験方法は、まず、JSCE-F 511 に規定するボックス形容器のA室に試料を充填し、上面を軽くならした後、仕切りゲートを開ける。その後、流入高さを計測する。次に、バイブレータをA室中央に静かに挿入し、バイブレータを始動する。その際、変圧器を用いて出力を60%、80%にする。バイブレータ始動時から試料の高さが300mmに達するまでの時間を計測し、以下の式(1)を用いて間隙通過速度 Vpass を求める。図ー2.1 に間隙通過性試験の概要図を示す。

$$Vpass(mm/s) = \frac{300 - h}{t}$$
 (1)

ここに、h:流入高さ (mm), t:300mm 到達時間 (s)

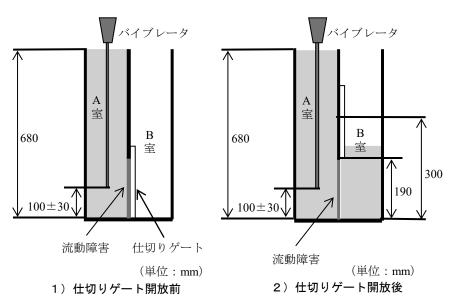


図-2.1 間隙通過性試験の概要図

2. 4. 2 レオロジー定数の計測方法

レオロジー定数の計測方法は、B型粘度計を用いてウエットスクリーニングしたモルタルの各せん断速度における絶対粘度を 計測し、以下の式(2)を用いてせん断応力を求める.

$$\tau = \frac{1}{15000} \cdot \mu \cdot n \tag{2}$$

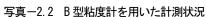
ここに, τ : せん断応力(N/m²=Pa), μ : 絶対粘度(mPa·s = 10^{-3} Pa·s),n: せん断速度($pm=1/60s^{-1}$)

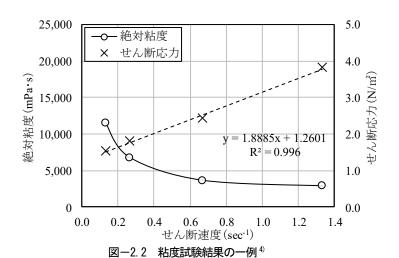
B型粘度計の測定手順を以下に示す。まず、使用するロータを取り付け、電源を入れ、ウォーミングアップとして 10 分間以上放置する。その後、測定するモルタルをサンプラーカップに IL 入れる。次に、ロータを浸液マークの箇所までモルタルが浸漬するように調整する。その際、ロータがサンプラーカップの中央に位置するように調整する。回転速度は、2rpm、4rpm、10rpm、20rpm とし、測定時間はそれぞれ 30 秒、15 秒、10 秒、10 秒とした。測定状況を**写真 - 2.2** に示す。

粘度試験結果から、せん断ひずみ速度 (s^1) とせん断応力 (N/m^2) の関係を示した近似直線の傾きを塑性粘度 η $(Pa\cdot s)$, y 切

片の値を降伏値 (N/m²) とした. 図-2.2 に粘度試験結果の一例を示す.







3. 実験結果および考察

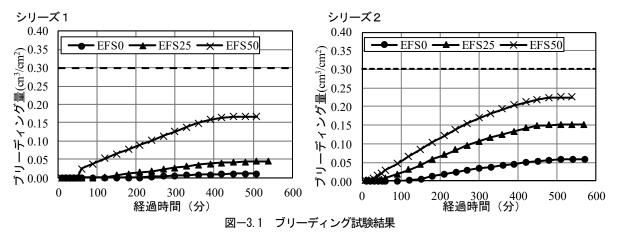
3. 1 フレッシュ性状

3. 1. 1 ブリーディング試験

ブリーディング試験結果を図-3.1 に示す。ブリーディング量の目安として,「JASS5 凍結融解作用を受けるコンクリート 3 」を参考に図中に破線で示した。シリーズ 1 、シリーズ 2 どちらにおいても,全配合が日本建築学会が定めるブリーディング量の規定値 0.30cm 3 /cm 2 を下回る結果となった。

シリーズ1,シリーズ2どちらにおいても、EFSの置換率が高くなるに伴いブリーディング量が増大する結果となった。これは、EFSの吸水率が小さいことやEFSの密度が大きいことが起因していると考えられる。

シリーズ1とシリーズ2を比較すると、EFS の容積置換率は同じにも関わらず、各配合においてシリーズ1のほうがブリーディング量は少なくなった。これは、フライアッシュの混入量がシリーズ1のほうがシリーズ2より多いことによって、ブリーディング量が低減したためと考えられる。また、シリーズ2のほうが粗骨材かさ容積を大きく設定したことによって、砕砂、砕石、EFS の単位量がシリーズ1と比較して多くなったことがブリーディング量の増大につながったものと考えられる。



3. 1. 2 間隙通過性試験

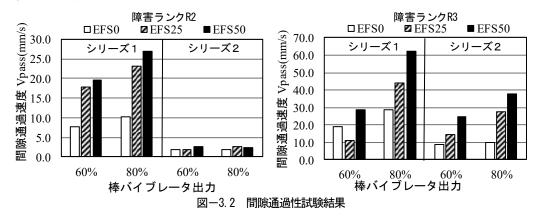
障害ランク R2 および R3 における間隙通過性試験結果を図-3.2 に示す.

シリーズ1,シリーズ2どちらにおいても、バイブレータの出力を大きくするに伴い、間隙通過速度は増大する傾向が見られ

た. また、EFS の容積置換率が大きくなるに伴って、間隙通過速度は増大する傾向となった. EFS 置換率が高くなるに伴い間隙 通過速度が増加した要因として、EFS 自体が滑らかな球状であるため、流動性が向上したと考えられる.

シリーズ1とシリーズ2を比較すると、障害の有無にかかわらず、シリーズ1のほうが間隙通過速度は大きくなった。これは、単位粗骨材かさ容積がシリーズ1のほうが小さく設定したため、コンクリート中の粗骨材量が少なくなり、噛み合わせが緩和されたことが要因であると考えられる。

シリーズ2では、障害ランクR2において、EFS50以外は充填高さが300mmに達しなかった。本研究では、ボックス形で実施しており、U形と比較して間隙通過が難しいためであると考えられる。

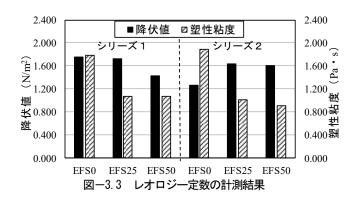


3. 1. 2 モルタルのレオロジー定数

3配合のモルタルのレオロジー定数を図-3.3に示す. 中流動コンリートのフローは同程度であるにも関わらず、EFS によってレオロジー定数は変化した.

降伏値は、シリーズ1では EFS の置換率が高くなるほど小さくなったが、シリーズ2では EFS の置換率が高くなるほど大きくなったため、EFS の置換率と降伏値の相関性は見られないものと考えられる.

障害ランク R2 と障害ランク R3 の結果を比較すると、障害ランク R2 の場合は、シリーズ2の配合では、塑性粘度が変化しているにも関わらず間隙通過速度が一定になった。しかし、障害ランク R3 の場合、塑性粘度と間隙通過速度の関係は、シリーズ1、シリーズ2とも同様な傾向(塑性粘度が大きくなると間隙通過速度が小さくなる)となった。したがって、本実験の範囲内において、施工性能は障害ランク R3 すなわち、流動障害なしで間隙通過性試験を行うほうが、締固めを必要とする高流動コンクリートの間隙通過性を精度よく評価することが可能であると思われる。



3. 2 硬化性状

圧縮強度試験結果を図-3.3 に示す。EFS を混入することによって、圧縮強度は低下する結果となった。これは、EFS 自体が滑らかな球状であるため、セメントペーストとの付着が低下したためと考えられる。

シリーズ 1 とシリーズ 2 を比較すると、フライアッシュの混入量が多いシリーズ 1 のほうが圧縮強度は大きくなった. これ

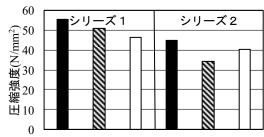
は、フライアッシュによるフィラー効果によってコンクリートの組織 が緻密になったことが要因であると考えられる.

静弾性係数試験結果を図-3.4に示す.予測値は、コンクリート標準示方書[設計編]に提案されている弾性係数の式5から求めた. 静弾性係数の実測値は、EFSの置換率が高くなるに伴い大きくなった. これは、EFSが硬質であるために大きくなったものと考えられる. また、フライアッシュ混入量の違いによる静弾性係数に大きな違いは見られなかった. 予測値よりも実測値が小さい理由としては、粗骨材の影響と思われる.

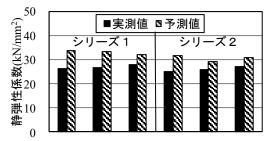
引張強度試験結果を図-3.5, 曲げ強度試験結果を図-3.6 に示す. 予測値は、圧縮強度から引張強度ならびに曲げ強度の関係を示す実験式のから求めた. 引張強度、曲げ強度ともに、シリーズ1は、EFS の混入量による引張強度に大きな違いは見られなかったが、シリーズ2では、EFS を混入することによって、直線的に低下する結果となった. これは、EFS 自体が滑らかな球状であるため、セメントペーストとの付着が低下したためと考えられる. また、フライアッシュの混入量の違いによる曲げ強度に大きな違いは見られなかった. 弾性係数と異なり、引張強度と曲げ強度の実測値と予測値はほぼ同程度であった.

4. まとめ

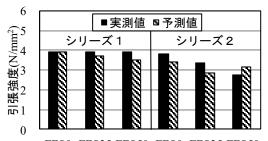
- 1) EFS を混入した粉体系中流動コンクリートは、粉体系高流動コンクリートの既往の研究と同様でフライアッシュによるブリーディングの抑制効果があることが確認できた。また、ブリーディング量は、EFS の混入量が増加することによって増大することが確認できた。
- 2) 間隙通過速度は、EFS の混入量が増加することによって増大する.また、単位粗骨材かさ容積を小さく設定した場合も増大する.
- 3) フライアッシュ混入量を増大すると、圧縮強度は増大する結果となったが、引張強度、曲げ強度は大きな違いは見られなかった.



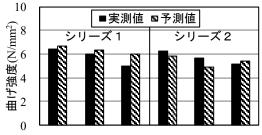
EFS0 EFS25 EFS50 EFS0 EFS25 EFS50 図-3.3 圧縮強度試験結果



EFS0 EFS25 EFS50 EFS0 EFS25 EFS50 図-3.4 静弾性係数試験結果



EFS0 EFS25 EFS50 EFS0 EFS25 EFS50 図-3.5 引張強度試験結果



EFS0 EFS25 EFS50 EFS0 EFS25 EFS50 図-3.6 曲げ強度試験結果

参考文献

- 1) 土木学会:電気炉酸化スラグを用いたコンクリートの設計・施工指針(案),コンクリートライブラリー110,2003.1
- 2) 横山卓哉,橋本親典,渡邉健,石丸啓輔:電気炉酸化スラグ細骨材とフライアッシュを用いた粉体系高流動コンクリートのフレッシュ性状,コンクリート工学年次論文集,Vol.41,No.1,pp.1157-1162,2019
- 3) 日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, 2015.7
- 4) 山中啓資, 横山卓哉, 橋本親典, 渡邉健: 混和材の種類が粉体系高流動モルタルの塑性粘度に与える影響に関する-考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.2, pp.523-528, 2019
- 5) 土木学会: 2017 年制定コンクリート標準示方書[設計編: 本編], p.43, 2018.3
- 6) 岡村甫著:鉄筋コンクリート工学[三訂版], 市ヶ谷出版社, p.13, 2000

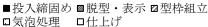
フライアッシュを多量に用い振動付与した高流動コンクリートを コンクリート製品に使用した場合の製品肌面に及ぼす影響

横山 卓哉*1・橋本 親典*2

1. はじめに

コンクリート施工の省力化や省人化, コンクリートの高品質化, 環境 負荷低減の観点から、産業副産物であるフライアッシュを多量に使用し た自己充填性を有する粉体系高流動コンクリートの開発が行われてき た. 粉体系高流動コンクリートは、フレッシュ時の材料分離抵抗性を損 なうことなく流動性を高めたコンクリートであり、高い耐久性を有す る. これまで、土木学会から「高流動コンクリート施工指針」と「高流 動コンクリートの配合設計・施工指針」が、日本建築学会からは「高流 動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説」が発刊 され、高流動コンクリートの普及が図られてきた。また、2019年には、 生産性向上の一環として、JISA5308「レディーミクストコンクリート」 における普通コンクリートの区分にスランプフロー45,50,55 および 60cm が追加された. プレキャストコンクリート (以下, PCa) 製品工場 では、製品形状の複雑化や薄肉化に伴う過密配筋化、高強度化が進み、 従来のスランプコンクリートを高流動コンクリートに変更することで, 振動締固め工程の省略や簡略化が可能となり(図-1),工場内の作業環 境改善ならびに周辺への騒音対策を図ることが可能となった(図-2). さらに、製品の寸法精度の向上、型枠の維持管理費の削減、工場機械の システム化と省人化に伴う製造コスト低減なども可能となった。一方 で、高流動コンクリートは高い粘性を有することから、振動締固め作業 を行わない場合には、コンクリート表面に大きな気泡が多数発生するこ とがある¹⁾. PCa 製品のように同一規格で大量に生産される部材では、 コンクリート表面の仕上がりが重要視され、強度・耐久性上問題がない 場合でも表面気泡を施主や施工管理者が嫌う傾向にあり、商品価値の低 下を招くことがある. そのため, 高流動コンクリートであっても振動を 与えることになる. つまり、PCa 製品の場合、振動付与を必要とする高 流動コンクリートの範疇に入るといえる.

フライアッシュの有効利用の観点からは、より多くのフライアッシュ



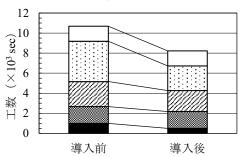


図-1 高流動コンクリート導入前後における 製造工数削減状況

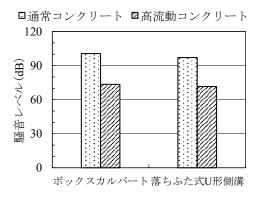


図-2 場内騒音状況

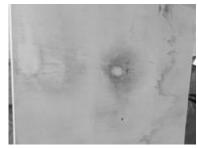


写真-1 黒ずみ状況

を使用できる配合が望ましいが、フライアッシュを多量に使用した場合、フライアッシュ中に含まれる未燃カーボンが型枠充填

^{*1 (}株)キクノ 品質管理部 部長 博(工)

^{*2} 徳島大学大学院教授 社会産業理工学研究部 理工学域 社会基盤デザイン系 構造・材料分野 工博

表-1 使用材料の物理的性質

材料	種類	記号	適用
練混ぜ水	上水道水	W	_
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度 3.16 g/cm³,比表面積 3450 cm²/g
細骨材	石灰砕砂	S	密度 2.67 g/cm³,吸水率 0.65 %,粗粒率 2.78
粗骨材	砂岩砕石 1505	G	密度 2.59 g/cm³,吸水率 0.73 %,粗粒率 6.26
	石灰石微粉末	LP	密度 2.71 g/cm³,比表面積 4960 cm²/g
混和材	フライアッシュⅡ種(調整)	CF	密度 2.29 g/cm³,比表面積 4100 cm²/g,強熱減量 0.8 %
	フライアッシュⅡ種(未調整)	FA	密度 2.29 g/cm³,比表面積 3050 cm²/g,強熱減量 4.2 %
混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系

表-2 コンクリートの配合

							-						
配合*1	W/C	W/P	Vw/Vp*2	Gv*3	P*4		単位量(kg/m³)						
記号	(%)	(%)	(%)	(L/m^3)	(kg/m³)	W	C	LP	CF	FA	S	G	SP
LP100	48.5	32.5	97.2	320	570	185	381	189			785	829	2.85
CF100FA0	48.5	32.5	91.0	320	570	185	381	-	189	_	750	829	3.14
CF75FA25	48.5	32.5	91.0	320	570	185	381	_	142	47	750	829	3.42
CF50FA50	48.5	32.5	91.0	320	570	185	381		95	94	750	829	3.71
CF25FA75	48.5	32.5	91.0	320	570	185	381		47	142	750	829	3.99
CF0FA100	48.5	32.5	91.0	320	570	185	381			189	750	829	4.28
CF100V	48.5	34.1	97.2	320	542	185	381		161		785	829	2.71

^{*1:}配合記号中の数字は、混和材としての各材料の置換率を表す. *2:水粉体容積比

時の振動によりコンクリート表面へ凝集され、黒ずみ(写真-1)として発生することがある 2 .この黒ずみ自体はコンクリートの強度特性や耐久性に悪影響を及ぼさないことが確認されているが、表面気泡同様にPCa 製品の商品価値を下げる一因となる.

本報告では、PCa製品工場で製造するフライアッシュを多量に使用し、振動付与した粉体系高流動コンクリート配合を対象に、 黒ずみの原因となるフライアッシュ中に含まれる未燃カーボン量の違いがコンクリートのフレッシュ性状、圧縮強度およびPCa 製品肌面に及ぼす影響について実験的に検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本実験で使用した材料の物理的性質を表-1 に示す. 混和材はフライアッシュ 2 種類および石灰石微粉末(以下, LP) とし、フライアッシュはいずれも JIS A 6201 の II 種に適合し、強熱減量を 1%以下に調整したフライアッシュ(以下, CF) と未調整のフライアッシュ(以下, FA) を用いた. また、石灰石微粉末は、日本コンクリート工学会より示された「コンクリート用石灰石微粉末品質規格(案)」に適合するものを比較試験用として用いた. 混和剤は非空気連行性の高性能減水剤(以下, SP) とし、空気量を調整するための AE 剤は用いなかった. PCa 製品においても寒冷地で使用する場合には、凍結融解による劣化作用を受ける恐れがあるので AE コンクリートとすることが望ましいが、本実験では対象外とした.

コンクリートの配合を表-2 に示す. 過去の実績により、総粉体量 570 kg/m³、単位水量 185 kg/m³、水セメント比 48.5%、単位 粗骨材絶対容積 320 L/m³ を標準とし、混和材として LP を 100%使用した配合を基準配合 LP100 とした. CF は LP に対して質量 置換し、CF に対する FA の混合割合は 0、25、50、75、100%の 5 水準とした. なお、CF は LP に比べ密度が小さいため、質量で 100%置換した場合、粉体容積が増加し粘性が高くなる. 基準配合 LP100 と同程度の粘性とするために、水粉体容積比を LP100 と同じ 97.2%とした CF100V についても追加で検討を行った. コンクリートの目標スランプフローは 70 cm とした.

2.2 コンクリートの練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜには、容量 60 リットルの強制二軸ミキサを用いた。最初にセメント、混和材 (LP, CF, FA)、細骨材を投入し 10 秒間空練りした後、混和剤を溶解した水を加えて 90 秒間、さらに粗骨材を加えて 60 秒間の練混ぜを行った。ミキ

^{*3:}単位粗骨材絶対容積 *4:総粉体量 (P) =単位セメント量 (C) +単位混和材量 (LP, CF, FA)

サ停止後、5分間の静置を行い、30秒間練混ぜた後排出した。5分間の静置時間を設けた理由は、高性能減水剤の十分なセメント分散効果を引き出すためである。なお、それぞれの段階での操作の開始時間誤差は、±1秒以内とした。

2.3 試験項目および試験方法

試験項目は、スランプフロー、圧縮強度、製品肌面観察用サンプル目視確認の3項目について行った。

(1) スランプフロー

スランプフロー試験は、JSCE-F 503「コンクリートのスランプフロー試験 方法」に準拠して行い、50 cm フロー到達時間およびフローの流動停止時間 の測定を行った。ここで、試料のスランプコーンへの詰め方としては、A 法 (突固めや振動を与えずに一層詰め)を採用した。

(2) 圧縮強度

圧縮強度試験用供試体は、 ϕ 10×20 cm の円柱形型枠にコンクリートを詰め、成型を行った。成型後は気中養生とし、圧縮強度試験は JISA1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠して行った。なお、試験材齢は7日(全配合)、91日(LP'100、CF100FA0、CF0FA100、CF100V)とした。

(3) 製品肌面観察用サンプル目視確認

コンクリートを予め離型剤を塗布した落ちふた式U形側溝(旧名:道路 用鉄筋コンクリート側溝)・ふたの型枠に流し込み、硬化後脱型して表面観

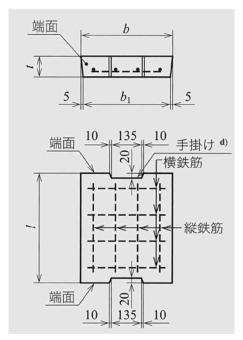


図-3 ふたの形状, 寸法および配筋

察を行った。養生は蒸気養生とし、前養生を 1.5 時間、昇温速度を 20 $^{\circ}$ C/h、最高温度 60 $^{\circ}$ C $^{\circ}$ 3 時間持続した。なお、締固めには棒状バイブレータ(ϕ 28 mm、振動数 $216 \sim 250$ Hz)を使用し、振動時間は 5 秒程度で一定とした。**図** -3 に本実験で使用した側溝ふたの形状、寸法および配筋を、表-3 に側溝ふたの寸法、配筋および寸法の許容差を示す。

	表一3 ふたのう法, 配肋のよびう法の計合差													
		寸法(mm)				配筋								
種類	呼び名		寸法(mm)			横鎖	失筋	縦鉄筋						
		b	<i>b1</i>	t	l	径又は呼び名	数量(本)	径又は呼び名	数量(本)					
2種	300	412	402	95	500	D10	4	6.00	4					
寸法の	許容差				±3									

表一3 ふたの寸法 配筋および寸法の許容差

3. 実験概要

3.1 スランプフロー

配合別の SP 添加率とスランプフローの関係を図ー4 に示す. CF を 100%置換した CF100FA0 は基準配合となる LP100 に比較して, 所要のスランプフローを得るための SP 添加率は増加した. これは, LP に対して密度の小さい CF を質量置換したため, LP100 より CF100FA0 の水粉体容積比が小さくなり, 粘性が高くなったためと考えられる. 次に CFを 100%置換した CF100FA0 に対し, FA 置換率増加に伴い SP 添加率は直線的に増加した. これは, FA の比表面積が CF に比較して小さく,流動性が低下したためと考えられる. また, 比表面積の低下に伴い材料分離抵抗性も低下し, スランプフロー自体も低下した. 配合別の 50 cmフロー到達時間,流動停止時間とスランプフローの関係を図ー5 に示

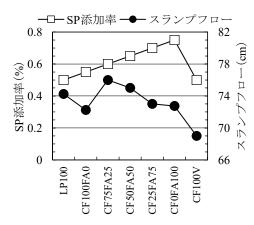


図-4 SP 添加率とスランプフロー

す. LP, CF, FA の違いによるフロー時間への影響は確認されず、50cm フロー到達時間で2.0~2.4 秒,停止時間で30 秒程度であった.

3.2 圧縮強度

配合別の圧縮強度試験結果を図-6に示す. 材齢7日における圧縮強 度は、配合の違いに関わらず同等であった。また、材齢91日における 圧縮強度は、CF を 100%置換した CF100FA0 で最も強度が大きくなっ たことから、フライアッシュのポゾラン反応による影響が長期強度の増 進に寄与したものと考えられる.

3.3 コンクリート製品肌面への影響

硬化後のコンクリート肌面を**写真-2**に示す. LP を CF で 100%置換 することにより製品肌面は黒くなり、またFA 置換率増加に伴い全体的 に黒味が増した. これは、LP と CF、FA の色味の違いによるものであ り、FA が最も多く未燃カーボンを含んでいるためであると考えられる. 一方で、フライアッシュ特有の黒ずみの発生は確認されなかった. 一般 に、黒ずみはフライアッシュ中に含まれるカーボンが充填時の振動によ りコンクリート肌面へ凝集することで発生するため、型枠振動機を用い た場合において黒ずみの影響が顕著に表れる. 本試験では内部振動機 (棒状バイブレーター) を用いたため、カーボンが内部振動機近傍に集 まり、コンクリート肌面への凝集がなされなかったものと考えられる.

4. まとめ

本実験で得られた結果は以下の通りである.

- (1) LP を CF に置換することにより、コンクリートの粘性が高くな り、所要のスランプフローを得るための SP 添加率は増加した. また、FA 置換率の増大に伴い、CF 単味に比較して、SP 添加率は 直線的に増加した.
- (2) LP, CF および FA の違いが、50cm フロー到達時間およびフロー 流動停止時間に与える影響は確認されなかった.
- (3) CF を使用することで長期材齢における圧縮強度は増大した.
- (4) LP を CF, FA に置換することでコンクリート肌面は黒味を増した が、フライアッシュ特有の黒ずみの発生は確認されなかった.
- (5) フライアッシュ中に含まれる未燃カーボンがコンクリート表面へ 凝集する現象は、内部振動機を用いた場合には発生しにくかった.

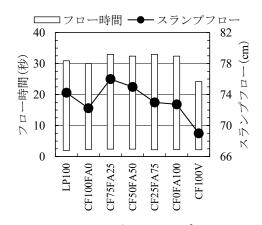
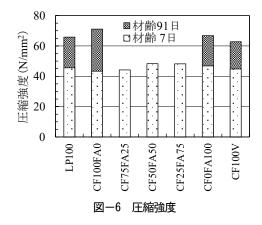
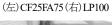


図-5 フロー時間とスランプフロー





(左)CF100FA0(右)LP100







(左)CF75FA25(右)LP100

(左)CF0FA100(右)LP100





(左)CF50FA50(右)LP100

(左)CF100V(右)LP100

写真-2 コンクリート肌面の状況

参考文献

- 1) 一宮一夫, 出光隆, 山崎竹博, 渡辺明: 高流動コンクリートの表面気泡におよぼす加振の効果, コンクリート工学年次論文 報告集, Vol.20, No.2, pp.1243-1248, 1998
- 2) 佐藤孝洋, 倭富士桜, 谷口高雄, 佐々木博隆:コンクリート肌面美白化用高性能 AE 減水剤の開発,コンクリート工学年次 論文集, Vol.26, No.1, pp.249-254, 2004

スランプフローで管理する普通コンクリートの圧送性

木村 芳幹 *1·山﨑 順二 *2·岩清水 隆 *3·山田 藍 *4·岸 繁樹 *5·中村 成春 *6·橋本 紳一郎 *7

1. まえがき

日本建築学会近畿支部材料・施工部会では、近畿生コンクリート圧送協同組合と共同で、コンクリートの 圧送に関するさまざまな問題を解決することを目的としたWGを設置している。WGでは、これまでに 14 回の実大規模の実験を行い、高強度コンクリートを始めセメントや骨材の違い、配(調)合や打込み時期、ポンプ機種などが圧送性に及ぼす影響を検討している ¹⁾。

一方で、2019 年 3 月に JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)が改定され、呼び強度 27~45 の普通コンクリートについて、スランプフローで管理するコンクリート (高流動性コンクリート)が新たに規格品として扱えるようになった。しかし、これまでに高流動性コンクリートの圧送性を検討した例はほとんどみられない。なお、スランプフローが同程度の高強度コンクリートでは、圧送後に流動性や粘性が低下すること、空気量が増加することなどが実験で明らかにされている 2)。また、管内圧力損失は、W/C に応じて推定することができる 3)ものの、使用材料によるフレッシュ性状の違いに対応することはできない。

そこで、本WGでは、高流動性コンクリートが本格的に出荷される体制になる前に、圧送前後のフレッシュコンクリートの性状を確認し、さらに圧送性や管内圧力損失を把握することを目的とした実大実験¹⁾を行うこととした。なお、本実験は、日本コンクリート工学会近畿支部に設置された高流動性委員会と共同で計画し実施したものである。

2. 実験計画

2.1 実験の目的と概要

本実験は、以下の事項を目的として計画・実施されたものである。

- ① 高流動性コンクリートの圧送前後のフレッシュ性状、および硬化コンクリートの品質を確認する。
- ② 高流動性コンクリートの圧送性と、管内圧力損失(K値)を把握する。

実験の概要を表1に、実験の要因と水準を表2に示す。

実験場所は神戸市垂水区に存在するS

生コン工場敷地内であり、実験時期は標準期(2019年10月)とした。また、実験に供したコンクリートの配(調)合数は、呼び強度、スランプ・スランプフロー、混和材料を要因とした16配(調)合とした。

表1 実験の概要

主催	日本建築学会近畿支部 材料・施工部会 ポンプ工法WG 近畿生コンクリート圧送協同組合 日本コンクリート工学会近畿支部
	高流動性コンクリートの実用化促進に関する研究委員会
実験場所	神戸市垂水区
実験時期	2019年10月
配(調)合数	高流動性コンクリート 15、普通コンクリート 1

- *1 (株)コンステック 技術開発本部 工法材料技術部
- *2 (株)淺沼組技術研究所 建築材料研究グループ 博士(工学)
- *3 (株)竹中工務店 大阪本店 技術部 修士(工学)
- *4 (株)竹中工務店 大阪本店 技術部 修士(工学)
- *5 近畿生コンクリート圧送協同組合
- *6 大阪工業大学 工学部 建築学科 准教授 博士(工学)
- *7 千葉工業大学 創造工学部 都市環境工学科 准教授 博士(工学)

表 2 実験の要因と水準

呼び強度	5 水準 27、30、33、36、40
スランプ スランプフロー	5 水準 18、45、50、55、60
△H → H → + W →	混和剤:4 水準7銘柄 混和材:2 水準(フライアッシュの有無)

2.2 使用材料および配(調)合

使用材料を表 3 に、配(調)合を表 4 に示す。 使用材料は S 工場が日常的に扱う材料とし、一部でフライアッシュを細骨材と置換して用いた。 配(調)合のうち、高流動性コンクリートの水セメント比は、呼び強度に対応した一般的な値とし、単位水量を 175kg/m³、粗骨材かさ容積を 540 L/m³として配(調)合したものとした。なお、高流動性コンクリートは流動性が高いほど分離しやすく、圧送性が低下することが予測されたため、出荷時の目標スランプフローを、JIS で定められた規格上限程度となるように混和剤量で調整した。

コンクリートの練混ぜには容量 2.5m^3 の強制練りミキサを用い、1 バッチあたりの練混ぜ量を 1.5m^3 として3 バッチ分を1 台の生コン車に積載して1 回の実験に供した。圧送開始時期は、3 バッチの練混ぜ終了から約 30 分経過後とした。

表 3 使用材料

セメント	C:普通ポルトランドセメント
水	W: 地下水および上澄水
	S1: 砕砂 福岡県北九州市産 表乾密度 2.68g/cm3
細骨材	S2: 砕砂 兵庫県赤穂市産 表乾密度 2.58g/cm3
	S1:S2=50:50(容積比)
	G1: 砕石 兵庫県赤穂市産 表乾密度 2.60g/cm3
粗骨材	G2: 砕石 大分県津久見市産 表乾密度 2.69g/cm3
	G1:G2=70:30(容積比)
混和材	f:フライアッシュ(K 社製)
混和剤	ad1:高性能 AE 減水剤増粘剤 1 液タイプ 6 銘柄
此州剤	ad2: 高性能 AE 減水剤標準形 1 銘柄

表 4 コンクリートの配(調)合

実験記号*	目標 SL**	W/C	s/a	详	位位量	赴 (kg	g/m^3		ad.
关款记与	·SF(cm)	(%)	(%)	W	С	S	G	f	(kg/m^3)
①27-45A~	52. 5	54	53. 8	175	201	055	000	٥	3.73∼
627-45F	52.5	04	55. 6	175	324	900	023	U	6.67
⑦27-45af	52.5	54	53.8	175	324	861	823	83	2.92
®30−45A	52.5	50	53.2	175	350	936	823	0	6.06
933-50A	57.5	47	52.7	175	372	918	823	0	4.84
1036-45A	52.5	44	52. 1	175	398	907	000	٥	3.98
①36-55A	62.5	44	5∠. I	175	1390	091	043	U	5.25
①40-45A	52.5	40	51.2	175	420	069	000	0	8.02
①40-60A	67.5	40	51. 4	175	438	803	043	U	6.26
1 427−45a	52.5	54	53.8	175	324	861	923	0	5.51
1540−60a	57.5	40	51.2	175	438	863	823	0	5.39
1630−18a	20.5	50	49.9	180	360	868	869	0	1.91

*実験記号:番号-呼び強度-(SL·SF)-混和剤(A~F、a)-混和材(f) SL:スランプ、SF:スランプフロー、A~F:adl、a:ad2、f:フライアッシュ**: 出荷時の目標値

2.3 配管計画および圧送計画

配管図に、管内圧力測定箇所 (P1~11)併記して図 1 に示す。コンクリートポンプにはピストン式ブーム付ポンプを用い、ポンプ車吐出口から筒先までの配管長さを 135.8m とした。また、圧送距離約 100m の位置に

125A⇒100A テーパ管を設置し、125Aベント管を2箇所、100Aベント管を1箇所設けた。ベント管の半径は500mmである。

各実験に先立ち、配管内のコンクリートを対象のコンクリートに入れ替えた。 圧送速度は低速から 3~4 段階で順に高速に切り替えることとし、1 速度あたりのストローク回数を 6~8 回とした。

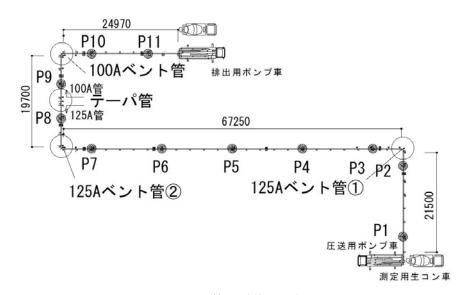


図1 配管図(単位:mm)

2.4 試験項目と試験方法

フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの試験項目と試験方法、ならびに試験時期を表 5 に示す。試験時期のうち、「出荷時」は 3 バッチの練混ぜを終えた時、また「圧送前」は出荷約 20 分経過後とし、生コン車から試料を採取した。また、「圧送後」は、実験終了後に筒先から試料を採取した。

つぎに、管内圧力の測定には、容量 5MPa の圧力変換器を用い、測定時間間隔を 0.1 秒とした。

表 5 試験項目と試験方法、試験時期

試験項目	試験方法	言	備考*3		
武 崇 坦 日	武 映 万 伝	出荷時	圧送前	圧送後	佣与
スランプフロー	JIS A 1150	•	•	•	SL、Sf
空気量	JIS A 1128	•	•	•	_
コンクリート温度	JIS A 1156	•	•	•	_
単位容積質量	質量測定*1	•	•	•	_
L形フロー試験	JSCE-F-514	_	•	•	Lf , Lv_{5-10}
Vロート試験	JSCE-F-512	_	•	•	_
圧縮強度	JIS A 1108	_	•	•	標準養生
動弾性係数	JIS A 1127	_	•	•	_
静弾性係数	JIS A 1149		O*2	O*2	_
*1 エアメータの質量		験番号(7	9 (13 (14)	で測定	

^{*1} エアメータの質量測定、*2 実験番号⑦⑨⑬⑭で測定 *3 測定項目の記号 SL:スランプ、SF:スランプフロー、LF:L フロ

また、各ストロークの管内圧力を求めるにあたり、ストローク開始から終了まで、連続する 0.5 秒間の平均値と変動係数を順に求め、変動係数が最も小さな値となる平均値をそのストロークの管内圧力とした。 さらに、同じ速度で圧送したときの 6~8 ストロークの値を平均して、その圧送速度における管内圧力とした。

3. フレッシュコンクリートの性状

3.1 スランプフローと空気量の状況

スランプフロー試験結果を図 2 に、空気量試験結果を図 3 に示す。なお、同図は、出荷時の値を Y1 軸(左) に、圧送前と圧送後のスランプフローを出荷時との差として Y2 軸(右)で示してある。高流動性コンクリート 出荷時のスランプフローは、いずれも目標値(規格上限値)に対して±7.5cm の範囲であった。また、スランプフローは圧送前に増加し、圧送後に減少する傾向がみられた。空気量は圧送前に減少し、圧送後に増加する傾向がみられた。圧送前の空気量は 4.5±1.5%の範囲であった。

3.2 圧送前後のフレッシュコンクリートの性状の比較

図 4 に、圧送前後のフレッシュ性状を比較して示す。同図 (a) によると、スランプフローは圧送前に 50cm を超える実験で、圧送後にやや小さくなる実験が多いことが分かる。減少量は全体の平均で約 3cm であった。また、空気量は 1 つの実験を除いていずれも増加した。増加量は全体の平均で 0.6% (標準偏差 0.4%)であった。高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートを対象としたこれまでの実験においても、圧送後に空気量が増加する傾向がみられた 2) が、高流動性コンクリートにおいても同様であった。

つぎに、同図(c)、(d)によると、Lフロー初速度は圧送後に平均で約1.5倍速くなり、Vロート流下時間

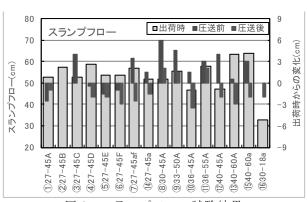


図2 スランプフロー試験結果

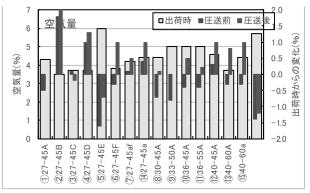


図3 空気量試験結果

Lv_{s-10}:5-10cm 間 L フロー初速度

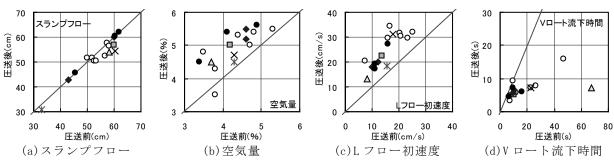


図4 圧送前後のフレッシュコンクリートの性状の比較

も全ての実験で早くなっていることが分かる。これは、圧送後にコンクリートの粘性が低下したことによる と考えられる。そこで、既往の推定式から塑性粘度を推定して検討を加える。

圧送前後のフレッシュコンクリートの塑性粘度の比較を図 5 に示す。ただし、同図に示した塑性粘度 η (Pa・s)は(1)式 4)による降伏値 τ y(Pa)とLフロー初速度 Lv_{5-10} (cm/s)から求めた値とし、(1)式中の降伏値はスランプフローSf (cm)から求めた(2)式 5)による値とした。

$$\eta = \frac{5}{\{1.27\tau_y^2 \times 10^{-8} + 1.59 \times 10^{-3}\}L_{v5-10}} \cdots (1)$$

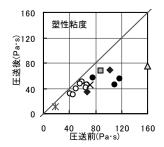
$$\tau_y = \frac{9.12}{Sf^2} \times 10^5 \cdots (2)$$

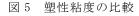
同図によると、塑性粘度はいずれも圧送前と比較して圧送後に低くなっていることが認められ、圧送前の塑性粘度が高いほど、減少量が大きいことが分かる。高強度コンクリートにおいて、圧送後に塑性粘度が低くなることはこれまでにも報告されている 2 が、同様な傾向が高流動性コンクリートでも認められた。なお、コンクリートの塑性粘度は、図 6 に示すように、相対 6 しフロー時間 6 しフロー値 6 Lf 6 Cm 6 Lf 6 Cm 6 D 6 Cm 6 Cm

 Lv_{5-10} (cm/s)) 2 で比較的容易に推定することができる。また、図 7、8 に示すように、500mm フロー到達時間 (St_{500}) も圧送後に小さくなる傾向が認められるが、塑性粘度との相関は認められない。この要因として、 St_{500} は降伏値やすべりの影響を大きく受けた値であることによると考えられる。

3.2 硬化コンクリートの性状

図9に、各実験における圧送前のコンクリートの圧縮強度を示す。圧送前のコンクリートの圧縮強度は、呼び強度の強度値と比較して 9.9~24.9N/mm²大きな値であった。また、圧送前後の圧縮強度を比較すると、図10に示すように概ね等





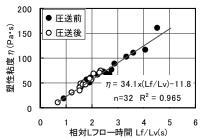


図 6 Lf/Lv₅₋₁₀と塑性粘度との関係

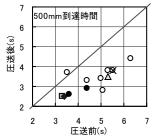


図7 St₅₀₀の比較

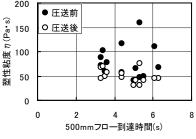
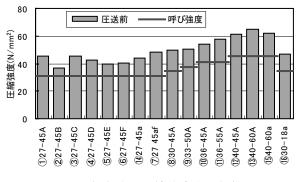
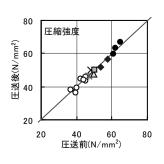
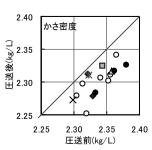


図8 St₅₀₀と塑性粘度との関係







O 27 × 27(af) △ 30 □ 33 ◆ 36 ● 40 × 30-18

図 9 各実験の圧縮強度(圧送前)

図 10 圧縮強度の比較

図11 かさ密度の比較

しい。本実験では、圧送前と比較して圧送後に空気量が増加したが、これによる圧縮強度の減少は認められなかった。一方で、図 11 に示すように、かさ密度は圧送前と比較して平均で0.04kg/L減少した。

つぎに、圧縮強度と弾性係数との関係を図 12 に示す。同図によると、圧送後の動弾性係数は圧送前と比較してやや小さな範囲に分布していることが分かる。静弾性係数も同様であり、かさ密度の減少が弾性係数に影響を及ぼしたと考えられる。

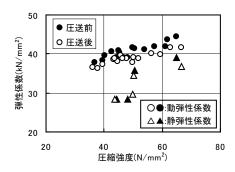


図 12 圧縮強度と弾性係数との関係

4. 高流動性コンクリートの圧送状況と管内圧力損失

4.1 高流動性コンクリートの圧送状況

実験に供した 16 配(調)合のコンクリートは、閉塞することなく圧送された。スランプフローが規格の上限程度であっても、高流動性コンクリートを圧送することは可能であると考えられる。しかし、管内圧力波形を詳細にみると、テーパ管を挟む測点間で大きく乱れていたことから、圧送が困難であった実験も存在した。

図 13 に、実験記号⑫40-45A、②45-27B、⑯30-18a の管内圧力の波形を示す。⑫40-45A は実験開始から終了まで順調に圧送がなされた例である。また、②45-27B は低速時には比較的順調に圧送が進んだものの、高速時には波形に乱れが生じ、特にテーパ管を挟む測点間の管内圧力の差が大きくなった事例である。この実験では、2 ストローク目に、低速時であるにもかかわらず、急激に管内圧力が上昇する状況も観察された。⑯30-18a は普通コンクリートの波形であり、比較として示したものである。

このように、高流動性コンクリートは、配(調)合やフレッシュコンクリートの性状によっては圧送が困難になることがあると考えられる。そこで、全ての実験について低速時と高速時の管内圧力波形の状況を得点付けし、圧送性を定量的に比較することを試みた。結果を表6に示す。同表によると、呼び強度27の高流動性コンクリートの圧送状況は全般にやや不安定であり、特に高速時に波形が乱れていることから総合評価点が低い。呼び強度27の高流動性コンクリートはスランプフローが大きくなりすぎないように管理する必要があると考えられる。なお、呼び強度33以上の高流動性コンクリートの総合評価は4.5以上であり、管内圧力の波形を見る限り、圧送性にはとくに問題はないといえる。

4.2 管内圧力損失

直管の管内圧力損失の評価は、P4-6 間および P10-11 間の測定値によった。また、ベント管およびテーパ管の管内圧力損失(K値 $_{_{7-1}}$)の評価は、前後の直管を含む測点間(ベントユニット、テーパユ

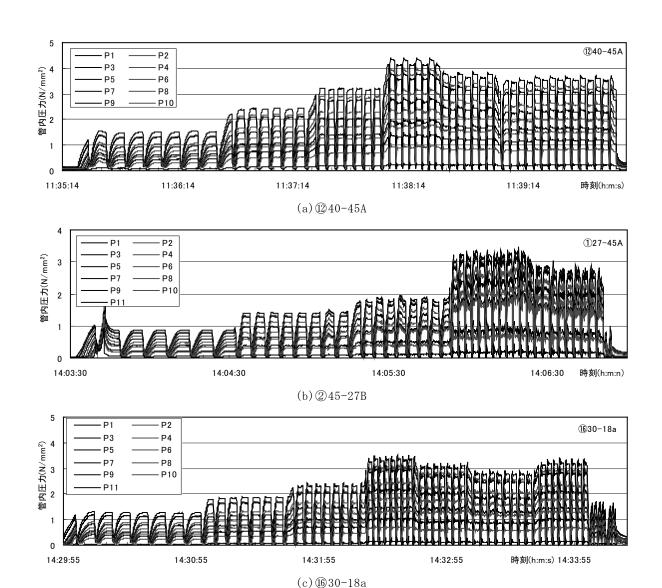


図 13 管内圧力波形の例

ニット)の測定値によった。

4.2.1 直管の管内圧力損失

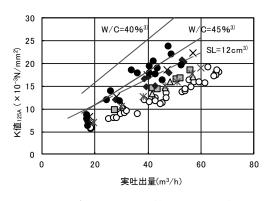
図 14 に、実吐出量と 125A 直管の管内圧力損失(K値 $_{125A}$)との関係を示す。同図によると、K値 $_{125A}$ は実吐出量とともに大きくなり、呼び強度が大きいほどK値 $_{125A}$ も大きいことが分かる。なお、図 15 に実吐出量 $_{60m^3}$ /h時のK値 $_{125A}$ について、降伏値および塑性粘度との関係を示したが、実験記号 $_{830-45A}$ を除くと、管内圧力損失は塑性粘度とともに大きくなることが分かる。一方、降伏値との関係には相関が認められないことから、高流動性コンクリートの管内圧力損失を、スランプフローによって求めることは困難であると考えられる。

つぎに、100A 直管の管内圧力損失(K値 $_{100A}$)とK値 $_{125A}$

表 6 管内圧力波形の定量評価

			圧力波	形の評	価点	
実験記号	圧送状況	開始時	低速時	高速時	高速時	総合
		の乱れ	の状況	サージ	の状況	評価
①27-45A	やや不安定	3	5	3	3	3.5
227-45B	やや不安定	3	5	3	1	3.0
327-45c	やや不安定	3	5	3	1	3.0
427-45d	やや不安定	5	5	3	3	4.0
⑤27-45e	やや不安定	3	5	3	3	3.5
627-45f	やや不安定	3	5	3	3	3.5
⑦27-45af	安定	5	5	3	5	4.5
®30-45A	安定	5	5	3	3	4.0
933-50A	安定	5	5	5	5	5.0
10 36-45A	安定	5	5	5	5	5.0
1136-ssA	安定	5	5	5	5	5.0
12 40-45A	安定	5	5	5	5	5.0
3 40-60A	安定	5	5	5	5	5.0
1 427−45a	やや不安定	5	5	3	3	4.0
€ 40-60a	安定	5	5	3	5	4.5
®30−18a	安定	5	5	3	3	4.0





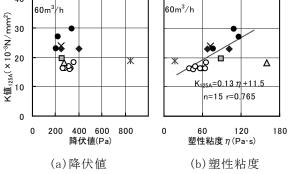


図 14 実吐出量と K値 125A との関係

図 15 レオロジー定数と K値_{125A} との関係

との関係を図 16 に示す。同図によると、K値 $_{100A}$ は、K値 $_{125A}$ の 1.5~2.0 倍の範囲に分布しており、125A 直管 と 100A 直管の断面積の比率 (1.56) にほぼ等しいことが分かる。つまり、管内圧力損失に輸送管の断面積を乗じた値(作用力損失)はほぼ等しい。

4.2.2 ベントユニットの管内圧力損失(K値 ベント)

図 17 に、直管の管内圧力損失 (K値 $_{125A}$ 、K値 $_{100A}$) と K値 $_{~\sim}$ との関係を示す。同図によると、K値 $_{~\sim}$ は、いずれのベントユニットともに直管の管内圧力損失と同等か、やや小さい値の範囲に分布していることが分かる。

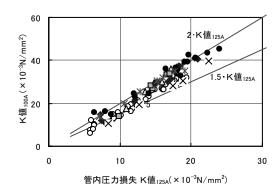


図 16 K値_{125A}とK値_{100A}との関係

特徴的な事項として、呼び強度 27 で、直管に対する管内圧力損失の比率が、いずれのベント管ともにやや低い範囲に分布していることが挙げられる。125A ベント管①で顕著である。直管では管壁面とのすべりを含むせん断流動でコンクリートが圧送されるのに加え、ベント管では断面周方向二次流れが生じる 6) ことから、複雑な状況で圧送されていることが大きな要因であると思われる。これ以外に、管内圧力、遠心力による骨材の分布状況の変化、分離抵抗性なども要因として考えられる。

4.2.3 テーパユニットの管内圧力損失(K値 _{テーパ})

図 18 に、直管の管内圧力損失(K値 $_{125A}$)とK値 $_{\it f-r,l}$ との関係を示す。同図によると、呼び強度 33~40、ならびに 27-45af のK値 $_{\it f-r,l}$ は、前後の直管を含めた評価ではあるが、K値 $_{125A}$ の 2~3 倍の範囲であることが分かる。土木学会および建築学会の指針で定められている倍率に概ね等しい倍率である。しかし、呼び

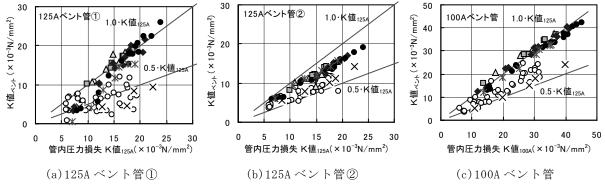


図 17 直管の管内圧力損失とベント管(ベントユニット)の管内圧力損失との関係

強度 27 および 30 の K値 $_{F-N}$ は、 K値 $_{125A}$ が 10×10^{-3} N/mm² となる時点から急に増加している。図 19 は、呼び強度 27 の実験 2 例の 125A 直管とテーパ管について、実吐出量と管内圧力損失 (K値) との関係を示したものである。同図によると、実吐出量が $30m^3/h$ 程度以下であれば、K値 $_{F-N}$ は K値 $_{125A}$ の $_{25A}$ 倍程度で推移するが、実吐出量が $30m^3/h$ 以上になれば、急激に大きくなっていることが分かる。これは、低速時にはテーパ管をスムーズに圧送することはできるが、高速になるとテーパ管やその前後で噛み合った粗骨材を解除するにあたり、大きなエネルギーを要することによると考えられる。 つまり、 閉塞する可能性が高くなると考えられる。 フレッシュコンクリートの性状からこれを予測できるようにすることが今後の課題である。

5.まとめ

本報では、実大実験により、高流動性コンクリートの圧送性について検討した。結果を以下に示す。

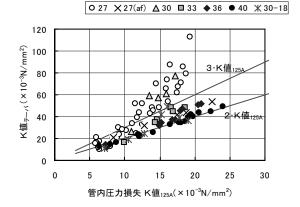


図 18 管内圧力損失 K値 1254 と K値テーパとの関係

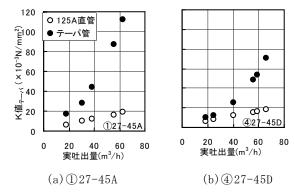


図19 実吐出量と K値デーパとの関係

- ① 実験に供した全ての高流動性コンクリートを圧送することは可能であった。
- ② 圧送後にスランプフローがやや小さくなり、空気量が増加する傾向にある。圧縮強度は圧送前後で大きな 変化はないが、弾性係数は低くなる。
- ③ 管内圧力損失はフレッシュコンクリートの塑性粘度が影響することから、スランプフローによって求める ことは困難である。
- ④ 呼び強度 27 および 30 の高流動性コンクリートは、高速圧送時にテーパ管の管内圧力損失が大きくなり、場合によっては閉塞する可能性がある。

参考文献

- 1) (一社) 日本建築学会近畿支部材料・施工部会、近畿生コンクリート圧送協同組合:第 16 回圧送技術研究会 -高流動性コンクリートの圧送性評価 - , 2020. 2
- 2) 岸ほか: フレッシュコンクリートの性能とポンプ圧送性の評価に関する研究 その 1~その 13, 日本建築学会学術講演梗概集, A-1, pp. 537~562, 2007, 7
- 3) (一社)全国コンクリート圧送事業団体連合会技術委員会:最新 コンクリートポンプ圧送マニュアル, (一社)全国コンクリート圧送事業団体連合会, pp. 135~140, 2019
- 4) 西之園一樹、谷川恭雄、森博嗣、黒川善幸: Lフロー試験時の粘塑性体の流動シミュレーション, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 465~466, 1995. 8
- 5) 小村理恵、谷川恭雄、森博嗣、黒川善幸、葵英: フレッシュコンクリートのスランピング挙動に関する研究(その1:レオロジー定数の推定手法),日本建築学会学術講演梗概集,pp. 519~520, 1994.9
- 6) 渡辺健治, 森博嗣, 谷川恭雄: フレッシュコンクリートの変形管内流動シミュレーション, コンクリート工学年次論文報告集, Vol14, No. 1, pp. 421~426, 1992. 6

2000mを超える長距離圧送におけるコンクリートの配合に関する一考察

根本浩史*1・橋本紳一郎*2・伊達重之*3・北野潤一*4

1. はじめに

コンクリートポンプを使用した圧送による場内運搬方法は一般的に採用されているが、近年、地下構造物の大型化、施工条件の制約等から都市部の工事を中心にコンクリートの長距離圧送が増加している。トンネル工事などのコンクリートの長距離圧送は、アジテータカー(坑内用レール工法式コンクリート運搬機械)を使用した運搬工法と比較して施工時間が短いため、工程短縮が図れるなどの利点があるが、配管閉塞の危険性が高いという課題がある。長距離圧送において配管が閉塞すると、配管の復旧や配管内のコンクリートの処理などに多大な労力や費用等の損失がともなうこととなる。

コンクリートの圧送において配管が閉塞してしまう場合の多くに、圧送中断後の再圧送で管内圧力が過大となりコンクリートが 閉塞するという事象がある。これは、圧送が中断している間に配管内のコンクリートの流動性が低下していることに起因する。 流動性の低下は、単に時間的なコンクリートの流動性の変化だけではなく、コンクリートが静置した状態になることでこわばった状態になること、つまりコンクリートのチキソトロピー性が流動性低下の一因となっていると考えられる。長距離圧送では再 圧送時の管内圧力が通常の圧送と比較して大きくなることから、チキソトロピー性の低い配合を選定することが重要であると考えられる。

本稿では、長距離圧送に適用するコンクリートの要求性能を整理したうえで、分散効果の保持性が高い高性能 AE 減水剤およびポンプ圧送助剤を使用した場合のチキソトロピー性の低減効果について、室内試験や実証実験により検証した結果を報告する.

2. 長距離圧送用コンクリートの要求性能

ポンプ施工指針や過去の長距離圧送実績を参考にして設定した 1,000~2,000m 程度の長距離圧送に適用するコンクリートの要求性能に対する考え方を表-1に示す。実施工では、長距離圧送用コンクリートの配合を選定する際、施工条件から①~⑥の

表-1 長距離圧送用コンクリートの要求性能に対する考え方および性能照査方法

次 · 大型品が上が、 ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・					
項目	要求性能に対する考え方	性能照査方法			
①流動性	高い流動性を必要とする。過去の実績から,圧送距離が1000mを超えるような場合は,	スランプ試験			
	スランプを23cm程度に設定している場合が多い。	スランプフロー試験			
②材料分離抵抗性	優れた材料分離抵抗性を必要とする。過去の実績から圧送距離が1000mを超える場	<u>_</u>			
	合は、粉体量を360~400kg/m³として材料分離抵抗性を確保している場合が多い。	_			
③流動性保持性能	優れた流動性保持性能を必要とする。配管内の滞留時間にトラブル時の余裕を考慮し	スランプ, スランプフロー			
②加到压体付压能	た時間経過に対して、流動性が保持できる配合とする。	の経時変化			
④ブリーディング	ブリーディングの少ない配合とする。ブリーディングが多いと、水平管の上部にブリー	ブリーディング試験			
④ フリーティンク	ディング水が溜まり再圧送時にコンクリートが分離し閉塞する恐れがある。	フリーティング武戦			
⑤加圧ブリーディング	適切な加圧ブリーディング量となる配合とする。脱水量が多すぎる場合に粗骨材のアー	加圧ブリーディング試験			
⑤加圧ノリーティング	チングが発生し、脱水量が少なすぎる場合には粘性過多となり圧送負荷が上昇する。	加圧フリーティング試験			
⑥チキソトロピー性	低チキソトロピー性を有する配合とする。圧送中断後の再圧送時に管内圧力が過大と	変形性評価試験			
● テートロレー性 	ならないように,加圧,静置状態での流動性低下を抑制する。	変形注計 試験			

^{*1} 清水建設(株) 土木技術本部基盤技術部コンクリートグループ 修士(工学)

^{*2} 千葉工業大学 創造工学部都市環境工学科 准教授 博士 (工学)

^{*3} 東海大学 工学部土木工学科 教授 博士 (工学)

^{*4} 清水建設(株) 土木東京支店 修士(工学))

要求性能を設定し、各性能が要求を満足するかを 照査する.①~⑤については従来の知見から、要求 性能を満足するような配合の調整が可能であると 想定される. コンクリートの試験条件を表-3 に 示す. 試験は混和剤使用量を変化させて混和剤使 用量とスランプフローの関係を確認した. 混和剤 使用量は、使用量を増加してもスランプフローの 値が増加しない範囲まで確認した. VSPを用いた コンクリートでは後伸びが確認されたため、練混 ぜ後にミキサ内で5分静置を行い、排出後にフレ ッシュ性状の測定を行った.

表-2 試験内容

			練り直後	30分経過	60分経過	90分経過
		スランプ	0	0	0	〇 (図-2)
	撹拌後	スランプ [°] フロー	0	0	0	〇 (図-3)
フレッシュ コンクリート		空気量		0	0	0
	静置後	スランプ	-	試料投入	-	〇 (図-2)
		スランプ [°] フロー	-	試料投入	-	〇 (図-3)
変形性 評価試験	撹拌後		-	〇 (図-4)	-	-
	静置後 (静置時間60分)		-	試料投入	-	〇(図-4~6)

3. 低チキソトロピー性を有するコンクリート配合の検討

既往の報告 1) から高性能 AE 減水剤(遅延形)および適切な 粗粒率の細骨材を用いることによりチキソトロピー性の低減 効果が示されているため、コンクリート配合には高性能 AE 減 水剤(遅延形)を用いることを前提とした.

さらに、モルタルよる予備実験において、水和時間が長く圧力環境下の厳しい条件下では、時差吸着による高い分散効果の保持性を有する高性能 AE 減水剤を使用した上で、セメント粒子の被覆作用が高い、ポンプ圧送助を併用することで、優れたレオロジー特性を示すことが推察された。その結果を踏まえ、

分散効果の保持性が高い高性能 AE 減水剤およびポンプ圧送助剤を使用 した長距離圧送用コンクリートの配 合が、要求されるチキソトロピー性 を有しているかを変形試験により照 査した.

さらには圧送による実証実験により選定した長距離圧送用コンクリートのチキソトロピー性の低減効果を確認した.

3.1 コンクリートの変形性評価試験

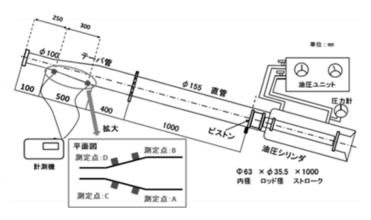


図-1 試験装置と加速度センサーの取付け位置

表-3 使用材料

	概要				
水:W	水道水				
セメント:C	高炉セメントB種 密度:3.04g/cm³				
細骨材:S1	山砂 君津市産				
一种有物。31	表乾密度:2.64g/cm³ F.M:2.50				
	石灰砕砂 飯能市産				
小山 月 17 · 52	表乾密度 : 2.65g/cm³ F.M: 3.00				
	石灰砕石 美祢市産				
粗骨材:G	表乾密度:2.70g/cm³				
	最大寸法: 20mm 実積率: 60.0%				
高性能AE減水剤:SP	高性能AE減水剤 遅延型(ポリカルボン酸系)				
ポンプ圧送助剤:CPA	ポンプ圧送助剤(オキシカルボン酸系)				

表-4 試験配合

配合	スランプ	空気量	W/C	s/a	—————————————————————————————————————						
No.	(cm)	(%)	(%)	(%)	W	С	S1	S2	G	SP	CPA
1	23程度	4 5	46.7	EE	100	205	GE O	000	700	2.98	0
2	以上	4.5	46.7	55	180	385	658	282	788	2.89	0.294

3.1.1 試験方法

試験はフレッシュコンクリートの変形性試験方法(JSCE-F509-2010)に準拠して行った。図-1に示すテーパ管を有する小型圧送試験装置を用いて、仰角 18°、ピストン速度 10cm/s で圧送し、圧送状態の目視確認、平均ポンプ油圧の測定、およびテーパ管部に加速度センサーを 4 箇所取り付けて加速度の測定を実施した。また、フレッシュコンクリートの試験として、スランプおよびスランプフローの経時変化とチキソトロピー性の簡易的な評価方法として、スランプコーンに試料を詰めたあと、そのまま静置し、一定時間後のスランプおよびスランプフローを測定する方法 2)(以降、静置スランプ試験と称す)を実施した。

3.1.2 試験内容. 使用材料および試験配合

変形性評価試験は、ポンプ圧送助剤を用いた場合と用いない場合それぞれに対し、練り混ぜから30分後と、練り混ぜから30分後に小型圧送試験装置に試料を投入してから60分間静置後に実施した。静置時間を60分とした理由は、トラブル等で配管内に静置する時間を60分と想定したためである。試験内容を表-2に示す。また、表-3に使用材料、表-4に試験配合を示す。

3.1.3 試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果として、練混ぜから90分後の攪拌後と静置後のスランプ試験の結果を**図-2**に、スランプフロー試験の結果を**図-3**に示す。ポンプ圧送助剤を使用した場合は使用しない場合と比較して、攪拌を伴った経時変化と静置によるスランプおよびスランプフローの差が小さい。この結果から、ポンプ圧送助剤を使用したほうが、静置によるコンクリートのこわばりが小さい、すなわちチキソトロピー性が低いと考えられる。

次に変形性評価試験の結果として、ポンプ圧送助剤を使用した場合と使用しない場合の静置後の計測時間と加速度の関係を 図-4に示す. コンクリートの投入から60分の静置後ではあるが、ポンプ圧送助剤を使用した場合も、図-3で示されるよう

に比較的流動性を保っているため、圧送時に閉塞等の異常は認められなかった. 図-4 からも、加速度の波形は乱れを生じることなく、順調な圧送が認められる. しかしながら、加速度はポンプ圧送助剤を使用したほうが、使用しない場合よりも5割程度小さい結果となっている. 図-5に示すFFT解析(高速フーリエ変換)により得られた周波数と加速度の関係からも、加速度のピーク値はポンプ圧送助剤を使用した方が3割程度小さい結果となっている. 加速度のピークは周波数2000~3000Hzの周辺で発生しており、既往の研究3)と同様な傾向であることから、加速度のピークは粗骨材と管壁の衝突を計測しているものと考えられる.

加速度のピークに差が生じている原因と しては、ポンプ圧送助剤を使用しない場 合、チキソトロピーの影響で流動性が低下 しているため、管壁にすべり層が形成され

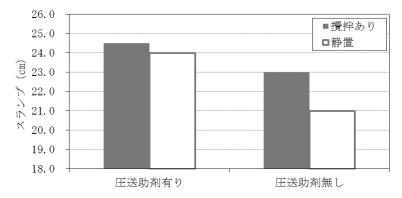


図-2 経時変化(撹拌) と静置のスランプ試験結果

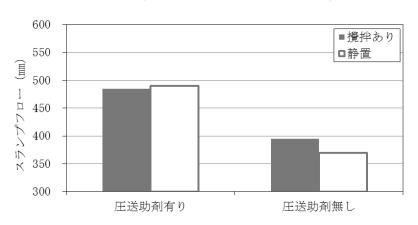


図-3 経時変化(撹拌) と静置のスランプフロー試験結果

にくくなることで、圧送抵抗が増加し、粗 骨材が管壁に衝突する力も大きくなってい ることが考えられる.

図-6に図-1に示す4測定点の加速度のピーク値の平均を示す.ポンプ圧送助剤を使用しない場合は、練り混ぜから30分後よりもトラブルを想定した60分静置後の加速度のピークが約2.3倍に増加しているのに対し、ポンプ圧送助剤を使用した場合は約1.1倍の増加となり、あまり変化していない.このことからもポンプ圧送助剤がコンクリートのチキソトロピー低減に対して効果的であると評価でき、分散効果の保持性が高い高性能AE減水剤およびポンプ圧送助剤を使用した試験配合No.2は長距離圧送に適用する配合として要求される低チキソトロピー性を有していると判断できる.

なお、変形性評価試験では、平均ポンプ油圧の測定も行ったが、4ケースとも約0.5MPaと小さい値となり、ほとんど差は見られなかった。この結果は、変形性評価試験の試験条件に対してコンクリートの流動性が高いため、圧送抵抗が小さかったことが原因であると考えられる。本試験結果より、流動性が高いコンクリートの評価に対しては平均ポンプ油圧よりも加速度センサーによる評価手法のほうが適していることが分かった。今回の実験の範囲では、流動性が高いコンクリートを対象とした変形性評価試験の平均ポンプ油圧による評価方法については今後の課題である。

3.2 圧送による実証実験

室内試験結果より、分散効果の保持性

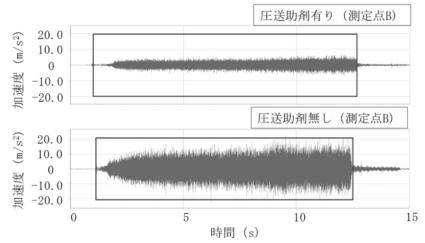


図-4 計測時間と加速度の関係(静置後)

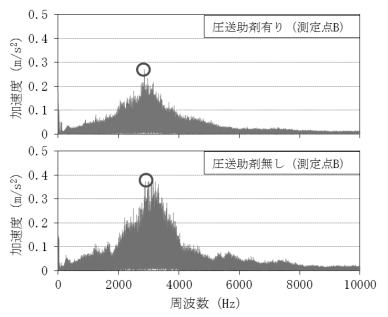


図-5 周波数と加速度の関係

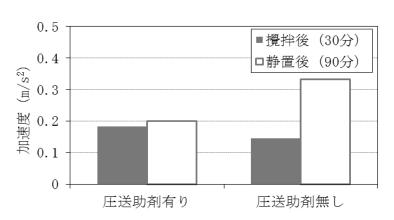


図-6 撹拌後と静置後の加速度ピーク値の比較

が高い高性能 AE 減水剤およびポンプ圧送助剤を使用した配合にチキソトロピー性の低減効果が認められたため、実際の圧送時にポンプ圧送助剤を使用した場合の影響について、加速度センサーによる手法を用いて評価した。

3.3.1 実験内容および圧送条件

この実証実験は配管距離約500mで実施した.配管状況,加速度計取付け位置を図-7に示す.加速度計は圧送時の抵抗が高く,計測結果に配合上の相違が生じやすいと想定された地上部のテーパ管部に2箇所取り付けて計測した.

コンクリートの配合は変形性評価試験で 採用した表-4 に示す配合 No.2 を選定した. 実験当日はトラックアジテータ 10 台 分のインバートコンクリート打込みをお こなったため,前半の5台分のトラックア ジテータのコンクリートにはポンプ圧送 助剤を使用し、後半5台分には使用しない こととした.加速度は配管段取り替えのタ イミングで生じる2分程度の圧送中断後の 圧送再開時に測定した.なお,圧送中断回 数はポンプ圧送助剤を使用した前半に3回, 使用しない後半は4回とした.

3.3.2 実験結果

実験結果として、図-8 に計測時間と加速 度の関係の一例を示す.加速度は一定時間間 隔で確認できるが、これはピストンの稼働時間と同様であるため、ピストンの動きに合わ せてコンクリートが移動していることを示 している.ポンプ圧送助剤を使用した場合と 使用しない場合で、加速度の大きさに大きな 相違は認められず、両方の波形に大きな乱れ 等も認められない.実際の圧送においても閉 塞等の異常は認められず、順調な圧送が行わ れた.

次にFFT解析により得られた周波数と加速度の関係の一例を図-9に示す. なお, FFT解析は圧送開始から1ストローク目の波形は加速度が小さい場合があり, 誤差を含んでいる可能性を考慮し解析対象から除外し2ストローク目の波形を対象とした. 加速度のピーク値はポンプ圧送助剤を使用した場合が使用しない場合よりも2割程度小さい結果となっ

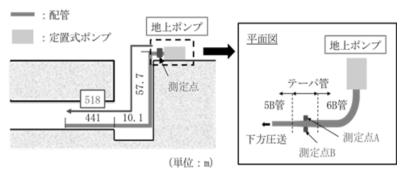


図-7 加速度計取付け位置

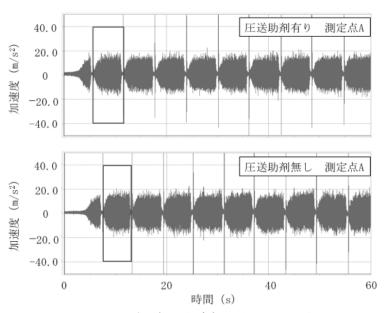


図-8 計測時間と加速度の関係(1回目の中断)

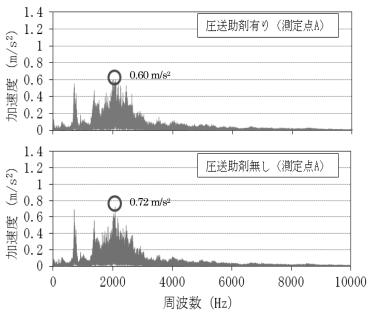


図-9 周波数と加速度の関係(1回目の中断)

た.加速度のピークは周波数が約 2000Hz で発生しており、変形性評価試験の結果と同様に粗骨材が管壁に衝突する影響を計測しているものと考えられる. 図-10 に圧送中断後再圧送時の加速度のピーク値の平均を示す.ポンプ圧送助剤を使用した前半の3回分,使用しない後半の4回分のそれぞれ平均値で、ポンプ圧送助剤を使用した場合は、使用しない場合と比較して1割程度加速度のピークが小さい結果となった.

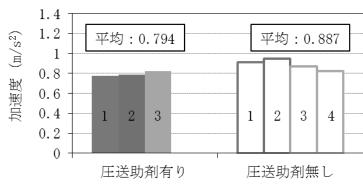


図-10 圧送助剤を使用時と未使用時の 加速度ピーク値の比較

圧送による実証実験では、約500mの配管

距離でわずか2分間の中断後の再圧送時の加速度に相違が認められた. 圧送距離がさらに長く、中断時間も長くなる条件では、 チキソトロピー性の低減効果が配管閉塞の抵抗性に与える影響度はさらに大きいと考えられる.

4. まとめ

静置スランプ試験や変形性評価試験での加速度センサーによる測定結果,圧送による実証実験から,分散効果の保持性が高い高性能 AE 減水剤およびポンプ圧送助剤を併用することで,チキソトロピー性の低減効果が認められた.それにより,長距離圧送用コンクリートの要求性能を満足する低チキソトロピー性を有する配合を選定できた.

参考文献

- 1) 根本浩史,浦野真次,竹村瑞元:逆打ち工法に適用する高流動コンクリートの配合検討,土木学会第68回年次学術講演会講演概要集,第V部門,pp.1141~1142,2013
- 2) 大川了・岡本 茂・野村朋宏・根本浩史:場所打杭に用いるコンクリートの施工性評価に関する実験的検討,土木学会,コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会(341 委員会)委員会報告書,2011
- 3) 橋本紳一郎・江本幸雄・伊達重之・橋本親典: コンクリートポンプ圧送性簡易評価手法の検討, コンクリート工学年次論文 集, Vol.34, No.1, pp.1186~1191, 2012

速硬性を有するコンクリートの圧送性について

髙橋 直希*1 橋本 紳一郎*2 江原 季映*3 宮嶋 真澄*3

1. はじめに

コンクリートの圧送および打込み作業において、コンクリートのポンプ施工は不可欠である。特に近年では、施工条件の多様 化により、特殊な配管条件や圧送条件での圧送、高流動コンクリートあるいは高強度コンクリートのような、特殊コンクリート での施工も増えている。

一般に、コンクリートの圧送は打込み開始から終了まで連続して行うことが原則であるが、アジテータ車の入れ替えや打込み 箇所の移動などによる、圧送を一時中断しなければならない際には、閉塞などのトラブルが生じやすい、特に、低スランプのコ ンクリートや貧配合のコンクリートを使用する場合、および長距離圧送となる際には、圧送を一時中断した後の再圧送時に注意 が必要となる。

また、高流動コンクリートや高強度コンクリートなどの粉体量、粘性が大きいコンクリートでは、通常のコンクリートに比べて、材料分離は生じにくいものの、コンクリートポンプの圧送負荷は大きくなるため、コンクリートポンプの機種や輸送管の種類などを適切に選定しなければならない。これらに対して、「コンクリートのポンプ施工指針(2012 年版)」では、粉体系および併用系高流動コンクリートの圧力損失は、スランプ 12cm の普通コンクリートに比べ、最大 4 倍程度大きくなる ¹⁾としている。また、圧送による品質変化に関する研究も行われている ²⁾.

現在までに、打込み最小スランプが 16cm 以下のコンクリートについてはコンクリート標準示方書[施工編:施工標準]に、自己充塡性を有する高流動コンクリートのうち、流動性の小さいランク 3 の目安であるスランプフロー550~650mm よりも大きいコンクリートについてはコンクリート標準示方書[施工編:特殊コンクリート]に記載されている。しかし、これらの中間的な流動性を有するコンクリートにおける技術的な情報は十分とは言い難い。そこで本稿では、粉体量が 500kg 程度、スランプフローが 500mm 程度となるコンクリートの圧送事例について紹介する。さらに、コンクリートの圧送中断による圧力損失の変化や圧送負荷についても述べるものである。

2. 実験概要

2.1 検討方法

本実験では、実機における圧送試験および実施工において、速硬材を用いた特殊コンクリートの圧送を行い、その際、配管に生じる圧力や振動を圧力計および加速度計により計測・評価した。圧送試験においては、圧送の途中で約6分間の圧送停止後、再圧送時における圧送性について検討を行った。圧送速度は、ポンプ車に取り付けられている圧送速度計において、圧送試験時で18㎡/h、実施工時で20㎡/hおよび30㎡/hに設定し、目視により確認を実施する。

2.2 検討方法使用材料およびコンクリートの配合

今回計測の対象とするコンクリートは、練り混ぜから3時間で圧縮強度18N/mm²以上の短期強度発現性を有する特殊コンクリートである。この要求性能を満足するために、練上がり後のコンクリート(以下、ベースコンクリートと称す)に混和して使用する、粉体の速硬性混和材を使用したコンクリート(以下、速硬性コンクリートと称す)を選定した。本実験で使用した材料を、

- *1 (株) フジタ 技術センター 土木研究部 修士(工学)
- *2 千葉工業大学 創造工学部 都市環境工学科 准教授 博士 (工学)
- *3 (株) フジタ 交通事業部 土木工事部

表-1 使用材料

	$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{MM}$						
セメント	普通ポルトランドセメント						
	密度:3.16(g/cm³)						
細骨材	富津産·仁淀川町産·南伊勢町産(混合砂)						
州月初	表乾密度:2.64(g/cm³)、粗粒率:2.60						
粗骨材	仁淀川町産 砕石2005 (Gmax: 20mm)						
祖月初	表乾密度:2.70(g/cm³)、実積率:64.0(%)						
汨 チп 汝Ⅱ	高性能AE減水剤						
混和剤	(ポリカルボン酸系)						
* 市 西 州	速硬材 (密度:2.93(g/cm³))						
速硬性 混和材	(セメント・アルミナ・セッコウ複合系)						
125 4 1 12	調整剤(クエン酸系)						

表-1に示す. なお, 速硬性混和材は, セメント・アルミナ・セッコウ複合系速硬基材(以下, 速硬材と称す), およびス

表-2 配合表

	ベー	速硬性	混和材				
W/C s/a 単位量 (kg/m³)					外割混和(kg)		
(%)	(%)	W	С	S	G	速硬材	調整剤 溶解水
42.9	53.2	150	350	996	896	150	10

表-3 フレッシュ性状試験結果

	コンクリート	スランプフロー	コンクリート温度	空気量	充填高さ
	種類	(mm)	(℃)	(%)	(mm)
圧送試験	ベース コンクリート	500	23	2.3]
	速硬性 コンクリート	475	24	2.0	302
	速硬性 コンクリート (再圧送後の簡先)	545	J]	328
実施工	速硬性 コンクリート	530	18	1.9	1

ランプフローの保持時間を調整するクエン酸系調整剤(以下、調整剤と称す)で構成されている. これらをコンクリートに適量 混和することで、短時間での強度発現が可能になるものである.

速硬材の標準混和量は、セメント質量の内割り30%であり、現場にてアジテータ車に混和する。調整剤は、コンクリート1m³に対して10kgの水に適量溶解し、速硬材投入の直前に混和する。調整剤の添加量は、スランプもしくはスランプフローの保持時間および速硬性コンクリートの練上がり温度に応じて調整する。今回は、練り混ぜから1時間経過後のスランプフローの変化が10cm以内となるよう設定した。ベースコンクリートおよび速硬性コンクリートの配合を、表-2に示す。今回の速硬性コンクリートとは、ベースコンクリートに1m³に対して、混和材150kg、および調整剤を含む水10kgを後から混和したものである。

2.3 フレッシュ性状試験

コンクリートのフレッシュ性状試験では、スランプフローを JIS A 1150, 空気量を JIS A 1128 およびコンクリート温度を JIS A 1156 に従い測定した。また、圧送でのフレッシュ性状の変化を確認するため、JSCE-F511 2010 に従い、充填高さも測定した。 圧送試験時は、ベースコンクリートおよび速硬性コンクリート、実施工時は、速硬性コンクリートに対して、各種試験を実施した。フレッシュ性状試験結果を、表-3 に、スランプフロー状況の一例を、写真-1 に示す。

2.4 配管条件および圧送方法

圧送試験および実施工における配管図を、図-1、図-2 に示す、いずれの配管条件において、輸送管の種類:5 インチ管(以下、5B と称す)を主に使用し、一部に輸送管の種類:4 インチ管(以下、4B と称す)を使用した。各配管条件における水平換算距離は、それぞれ 155.5m、153.2m の配管とした。実施工における配管状況を、写真-2 に示す。算出については、「コンクリートのポンプ施工指針(2012 年版)」を参考とした 1D。また、圧送試験時においては、アジテータ車の入れ替えなどによる圧送中断を想定し、途中に約6 分間の圧送停止後、再圧送する。なお、圧送試験および実施工時の外気温は、それぞれ 17C および 8C であった。

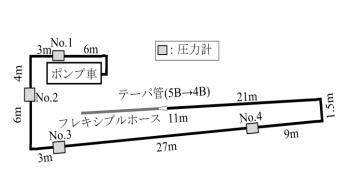


図-1 配管図(圧送試験)

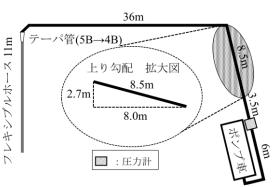


図-2 配管図(実施工)

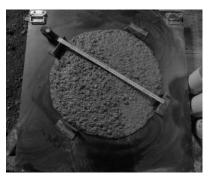


写真-1 スランプフロー状況



写真-2 配管状況(上り勾配部)



写真一3 圧力計設置状況

2.5 計測方法

圧力計の測定箇所(四角枠)を、図-1に示す。圧送試験における圧力計の設置状況を、写真-3に示す。圧送試験における配管条件では、進行方向に向かってNo.1~No.4の計4箇所に圧力計を取り付け計測した。実施工における配管条件では、施工条件により複数の設置が困難であったことから、ポンプ車に近い位置、1箇所にのみ圧力計を取り付け、計測した。

3. 結果および考察

前章までに示したスランプフロー500mm 前後の速硬性コン クリートに対し、順調に圧送されている場合の圧力および加速度計測結果について検討を行った.

3.1 圧送試験時

図-3に, 圧力計毎の測定結果を示す. 管内圧力は, 進行方 向に向かって小さくなる傾向にあり、 コンクリートの種類に よらず, 同じ傾向を示している. 本研究では, No. 1 から No. 4 までの圧力に対する最小二乗法による直線の傾きを、水平管 1m 当りの管内圧力損失とした. その結果, ベースコンクリー トおよび速硬性コンクリートの水平管 1m 当りの管内圧力損 失は、それぞれ約1.4×10⁻²N/mm²/m および約1.8×10⁻²N/mm²/m となった. 同一条件下におけるスランプ 12cm の普通コンク リートの管内圧力損失は 1.0×10⁻²N/mm²/m 程度 ¹⁾であり、普 通コンクリートに比べ, 本研究における速硬性コンクリート は2倍近い値となっている.一般に、粉体系および併用系高 流動コンクリートの圧力損失は、粉体量が多くなるほど大き くなる傾向を示す. 本研究における速硬性コンクリートは, ベースコンクリートに比べて、粉体量が 150kg 多いことで、 コンクリートの粘性が大きくなり、配管内の圧力損失が増大 したと考えられる.

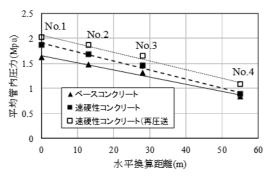
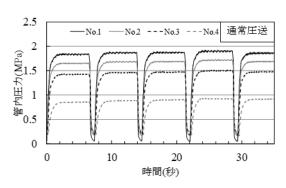
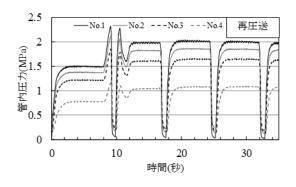


図-3 圧力計毎の計測結果と管内圧力損失



(b) 通常圧送時



(a) 再圧送時

図-4 管内圧力波形の一例(圧送試験)

また,再圧送時における速硬性コンクリートの圧力損失は,中断前と同程度の値となった.これは,フレッシュ性状試験の結果,再圧送後の速硬性コンクリートのスランプフローは545mm,充填高さは328mmであり,圧送および圧送中断による品質の変化は小さく,圧送がコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響が小さかったためであると考えられる.

図-4に、圧力計の管内圧力計測結果の一例を示す.また、表-4に、ポンプ車に一番近い位置で計測した、平均管内圧力、管内圧力の変動係数および筒先のコンクリートの吐出状況から判定した圧送状態を示す.

中断前の管内圧力については、圧力波形に乱れはなく、ストローク毎に同じ挙動を示している。一方、再圧送時の管内圧力については、圧送初期に波形の乱れが生じており、圧力が一時的に大きくなっている。また、それ以降の管内圧力も圧送中断前と比較すると、わずかに大きくなっていることが確認できる。再圧送時における圧力の乱れや増加は、圧送の停止による配管内でのコンクリートの滞留により、セメント粒子が凝集したことでコンクリートが動きにくくなったためと考えられる。特に、粉体量が多いコンクリートにおいては、セメント粒子が多く存在するため、圧力変動が大きくなることが予想される。本実験においては、圧送中断の時間は短か

表一4 管内圧力計測結果(圧送試験)

コンクリート種類	圧送速度 (m³/h)	平均管内圧力 (MPa)	変動係数 (%)	圧送状態
ベースコンクリート		1.59	1.35	順調
速硬性コンクリート	18	1.87	1.22	順調
速硬性コンクリート (再圧送)		2.00	0.79	順調

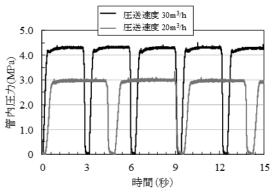


図-5 管内圧力波形の一例(実施工)

表-5 管内圧力計測結果(実施工)

圧送速度 (m³/h)	平均管 内 圧力 (MPa)	変動係数 (%)	圧送状態
20	2.98	0.30	順調
30	4.30	0.18	川真語

ったため、いずれの圧力の変動係数の値は小さく、筒先から常に一定の状態でコンクリートが連続的に吐出される順調圧送状態 (以下、順調と称す)であった.

3.2 実施工時

図-5 に、圧力計の測定結果を示す。それぞれ、圧送速度 20m³/h および 30m³/h の場合における結果である。表-5 に、圧送速度、平均管内圧力、管内圧力の変動係数および筒先からのコンクリートの吐出状態の結果を示す。

管内圧力の波形については、圧送速度が大きいほど、圧力が大きく、1ストロークの時間間隔も短くなっている。一般に、同一スランプもしくはスランプフローでは、圧送速度が大きいほど、管内圧力も大きくなる傾向にあり、本研究においても同様の傾向が確認した。また、圧送速度によらず、管内圧力の変動係数は小さいこと、筒先から常に一定かつ連続的にコンクリートが排出されていたことから、圧送は順調であることが確認できる。

4. まとめ

粉体量が多い、かつ速硬性を有する特殊コンクリートを対象とし、圧送中断を伴う施工、および圧送速度の異なる施工における、コンクリートの圧送性について検討を行った。圧力計の計測結果から、再圧送や圧送速度の大きい施工では、平均管内圧力が大きくなり、特に、再圧送時においては、コンクリートの動きが悪くなることで圧力波形に乱れが発生する。

参考文献

- 1) 土木学会編: コンクリートライブラリー135, コンクリートのポンプ施工指針 [2012 年版], 2012.6
- 2) 谷口秀明ほか:高流動コンクリートのポンプ圧送による品質変化に関する研究,コンクリート工学論文集第9巻第1号,pp.71-85,1998.1

締固めを必要とする高流動コンクリートの鋼コンクリートサンドイッチ 構造への適用

末岡 英二*1・竹中寛*2・水谷征治*3

1. はじめに

沈埋トンネルの沈埋函に用いられる鋼コンクリートサンドイッチ構造部材では、密閉された鋼殻内にコンクリートを充填して鋼殻と一体化させるため、自己充填性を有する高流動コンクリートが用いられる場合が多い¹¹. しかし、高流動コンクリートは、一般的に材料費が高く、製造や品質管理における負担増により、かなりのコストアップとなる場合が多かった。そこで、スランプフローが400~600mmで、材料費が安価で、材料、製造、品質管理の面で制約が少なく、内部振動機などにより軽度な加振を行うことによって、高流動コンクリートと同等の高い充填性を発揮できるコンクリート

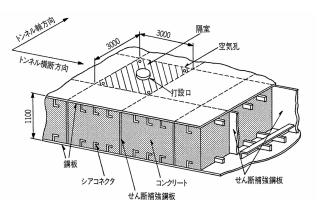


図-1 鋼コンクリートサンドイッチ構造

を適用した。鋼コンクリートサンドイッチ構造を図-1 に示す。同種コンクリートの研究は、建築分野での適用検討から始まり、 準高流動コンクリート²、あるいは中流動コンクリート³と定義されていた。鋼コンクリートサンドイッチ構造部材への適用は、 コンクリート製造に関する評価、ポンプ圧送性の検討評価、および充塡性能の検証を経て⁴、 2004 年に沿岸開発技術研究セン

ターから「鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を対象とした加振併用型充填コンクリートマニュアル」⁵が発刊され(以後、マニュアルと称す)、その後、新若戸道路沈埋トンネルや、大阪港夢咲トンネルの沈埋函に適用された。このようなコンクリートはこれまで様々な名前で呼ばれてきたが、本稿の表題では、土木学会指針⁶に則った「締固めを必要とする高流動コンクリート」と称した(以後、当該コンクリートと称す)。本稿は、2006年に当該コンクリートを適用した大阪港夢洲トンネル(現、夢咲トンネル)沈埋函製作工事の施工と、施工前に検討した加振がコンクリートの充填性に及ぼす効果について述べる。

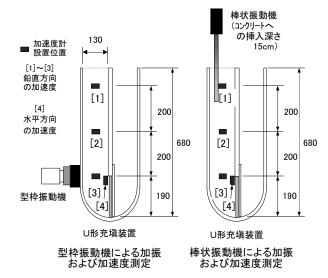


図-2 試験方法

2. 加振がコンクリートの充塡性に及ぼす効果

鋼コンクリートサンドイッチ構造部材への当該コンクリ

- ートの適用にあたり、振動機による加振が、当該コンクリートの充塡性に及ぼす効果を調べる必要があった。そのため、U形容
 - *1 東洋建設(株) 土木事業本部 総合技術研究所 美浦研究所長 博(工)
 - *2 東洋建設(株)土木事業本部 総合技術研究所 美浦研究所 材料研究室長 博(工)
 - *3 東洋建設(株) 土木事業本部 土木技術部部長

器の充填装置 (R2 障害) を用いて、振動機で加振したコンク リートの充填高さを計測することにより、加振によりコンク リートに付与される加速度の大きさが、その充填性に及ぼす 効果を検討した。

2.1 実験内容

試験方法を図-2に示す.コンクリートの自己充填後に加振を加え、加振中の充填高さ(加振充填高さと称す)の変化、および充填高さの上昇速度により、加振効果を評価した.加振は、型枠振動機(振動伝搬部75×100mm、振動周波数9,000~11,000VPM)と、棒状振動機(φ25mm×380mm、振動周波数240Hz)を用いて行った.型枠振動機は、流動障害設置位置の側面に直接接触させ、軽微な加振の効果も見るために、振動伝達部に振動緩衝材を挟み込んで、加振の強さを変化させた.棒状振動機は、直接コンクリート内に15cmほど挿入させて加振させた.加振の強さは、ひずみゲージ式加速度計により0.5msec間隔で測定し、加速度波形ピーク時の5秒間の平均値とした.コンクリートの配合は、マニュアルに示される基本配合を引用し、高性能 AE 減水剤の添加量を調整した目標ス

表-1 コンクリートの配合

	水セメント	粗骨材 容積 (ℓ/m³)	単位量 (kg/m³)					
実験ケース	比(W/C) (%)		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能AE 減水剤 SP	
目標スランプフロー 300mm							2.55~ 2.76	
目標スランプフロー 400mm	37.6	315	160	425	867	838	2.98 ~ 3.49	
目標スランプフロー 500mm							3.49 ~ 4.04	

表-2 実験ケース

実験名	目標 スランプフロー	振動機の 種類	緩衝材
300-1		棒状振動機	_
300-2		型枠振動機	発泡スチロール6cm
300-3	300mm	型枠振動機	発泡スチロール21cm
300-4		型枠振動機	発泡スチロール6cm +軟質ゴムラバー10cm
400-1		棒状振動機	_
400-2		型枠振動機	発泡スチロール6cm
400-3	400mm	型枠振動機	発泡スチロール21cm
400-4		型枠振動機	発泡スチロール6cm +軟質ゴムラバー10cm
500-1		棒状振動機	_
500-2		型枠振動機	発泡スチロール6cm
500-3	500mm	型枠振動機	発泡スチロール21cm
500-4		型枠振動機	発泡スチロール6cm +軟質ゴムラバー10cm

ランプフロー300mm, 400mm, 500mm の3種類とした. コンクリートの配合を表-1, 実験ケースを表-2に示す.

2.2 実験結果および考察

コンクリートの平均加速度の測定結果を図-3に示す。コンクリートの平均加速度は、棒状振動機で最も大きく、型枠振動機

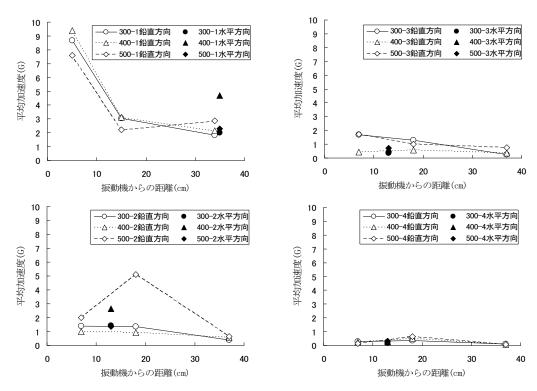


図-3 コンクリートの平均加速度の測定結果

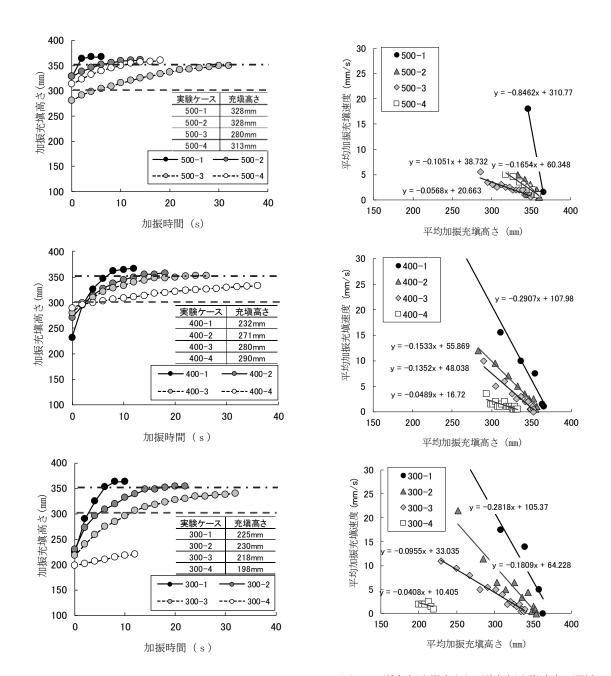


図-4 加振時間と加振充塡高さの関係

図-5 平均加振充塡高さと平均加振充塡速度の関係

においては、緩衝材の効果により加速度に違いがみられた。目標スランプフロー400mm において一部平均加速度が大きくなるケースが見られたが、スランプフローによる平均加速度の違いは、比較的少なかった。加振時間と加振充塡高さの関係を図ー4 示す。目標スランプが 500mm の場合、充塡高さは、ほとんどのケースで 300mm を超えており、自己充塡のみによって高流動コンクリートと同等な充塡性を発揮できた。目標スランプ 400mm の場合、充塡高さは 240~290mm で 300mm に達しなかったが、軽度な加振を 5~10 秒程度行うことで、充塡高さ 300mm に達することができた。目標スランプフローが 300mm の場合、充塡高さが 200mm 以下の場合は、ごく軽度な加振では、充塡高さ 300mm に達することができなかった。各加振方法における加振充塡速度を調べるために、式(1)、式(2)から求めた平均加振充塡速度と、平均加振充塡高さの関係を調べ、これらの関係を図ー5 に示すように直線近似した。平均加振充塡速度は、平均加振充塡高さが高くなるにつれて遅くなった。これらの関係から目標スランプフロー300mm、400mm において、充塡に必要な加振時間の算定を試みた。平均加振充塡高さと平均加振充塡速度の関係式を用いて、式(3)から、充塡高さ 300mm に達するために必要な加振時間を計算し、平均加振充塡高さを充塡高さを充塡高さととし

$$H_{ave} = (H_i - H_{i-1})/2$$
 (1)

$$V_{ave} = (H_i - H_{i-1}) / (T_i - T_{i-1})$$
 (2)

ここに、 H_i : i番目の加振充塡高さ (mm) H_{i-1} : i-1番目の加振充塡高さ (mm)

 T_i : i番目の加振時間 (s)
 T_{i-1} : i-1番目の加振時間 (s)

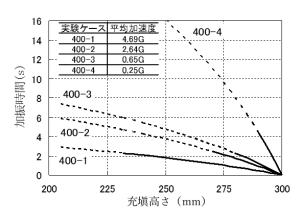
 H_{ave} : 平均加振充填高さ (mm)
 V_{ave} : 平均加振充填速度 (mm/s)

$$t = \int_{x}^{300} \frac{1}{v(x)} dx$$
 (3)

ここに、t: 充塡高さから充塡高さ300mm に到達するまでの加振時間(s)

x: 充塡高さ(平均加振充塡高さ)(mm)

v(x): 平均加振充塡速度(mm/s)



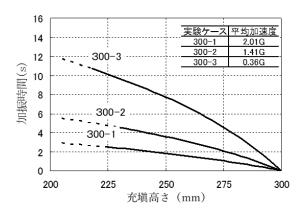


図-6 充塡高さ300mm到達に必要な加振時間

て得られた充塡高さとの関係を図-6に示す. 図中の加速度は、各ケースの開口部に近い水平方向のものである. また、充塡高さと充塡高さが300mmに到達するために必要な加速度の関係を図-7に示す. 充塡高さ300mm到達に必要な加振時間に及ぼす影響は、コンクリートに作用する加振による平均加速度の影響が大きかった. 充塡高さが250mm程度の場合、加速度0.56程度の軽度な加振でも5秒程度行うことで、所要の充塡性を確保できるが、0.56以下のごく軽度な加振では、15秒程度の加振が必要である. 充塡高さが280mm程度であれば、0.56以下のごく軽微な加振でも5秒程度行うことで所要の充塡性を確保できる. また、充塡高さが200~250mm程度の場合、5

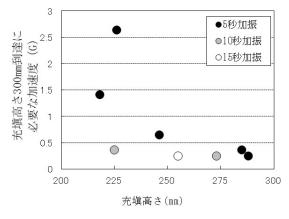


図-7 充填高さと充填高さ 300mm 到達に必要な 加速度の関係

秒程度の加振で所要の充塡性を満足するためには、加速度 1.5G 以上の加振が必要であり、0.5G 程度の軽度な加振では、10 秒程度の加振が必要と考えられた. さらに、充塡高さが 200mm 以下の場合、0.5G 以下のごく軽微な加振では所要の充塡性を満足することができなかった.

3. モデル型枠を用いた充塡性の確認

3.1 実験概要

鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の上床版 鋼殻部の詳細を図-8に示す、この構造をもとにコン クリートの流動を一次元的に模擬した全面アクリル 製の型枠を用いた充塡実験を行った. 上床版鋼殻1 区画に配置されたコンクリートの打設口, 内部振動 機を挿入する加振孔、空気孔、および鋼製のシアコ ネクタを配置し、上床版上面対角線の概ね1/2の長 さとした。モデル型枠を図-9に示す。実験は、実機 ミキサで製造した当該コンクリートを打設口から型 枠内に自然流下させ、打設口でのコンクリートの打 上がり高さが30cmに到達し、流動が静止したのちに、 加振孔から内部振動機(振動部 52×390mm,振動数 240Hz) により加振し、打設口、加振孔、および空気孔でのコン クリート打上がり高さ、および加振時におけるコンクリ ートの加速度を測定した. 実験では、コンクリートの配 合や製造後の経過時間の違いにより、スランプフローお よびU形充塡試験における充塡高さが異なる4種類のコ ンクリートで行った. コンクリートの配合を表-3 に示す.

3.2 実験結果および考察

加振時におけるコンクリートの加速度測定結果を図 -10 に示す. 内部振動機からの距離が 65cm までは, スランプフローの小さなコンクリートの方が, 平均加速度が大きく, 95cmの距離では, いずれのコンクリートの加速度も 0.4~1.16 まで 一減衰した. モデル型枠におけるコンクリートの打上がり高さを図-11 に示す. スランプフローが 470mm 程度においても, 充填高さが 280mm を超える場合は, 打設口のコンクリート打上がり 一高さを 30cm とすることで, 型枠内に自己充填可能であった. スランプフローが 400~460mm 程度で, 充填高さが 200~250mm 程度の場合, 自己充填のみでの型枠内への充填はできず, 流動静止後に, 加振孔での 20 秒の加振により型枠内に充填できた.

4. 実施工における充塡性の検討

これまでの実験結果から、実施工での鋼コンクリートサンドイッチ部材への充填性を図-12で予測した。検討対象は、スランプフロー400~450mm、充填高さ250mm程度のもの(対象1)と、と、スランプフロー450~500mm、充填高さ280mm程度のもの(対象2)を考えた。対象とするコンクリートの予想される流動状況、および加振

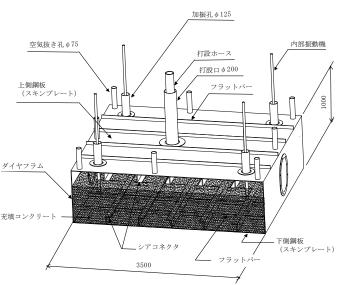


図-8 上床版鋼殻の詳細図

● 加速度センサー設置位置

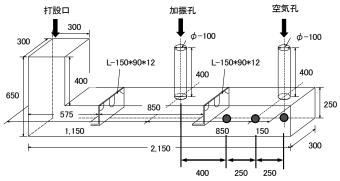


図-9 モデル型枠

表-3 コンクリートの配合

一一 18	G	W/C	空気	,	単	位量(kg/m ²	3)	CD
工場 名	(mm)	W/C (%)	量 (%)	s/a (%)	W	С	S	G	SP (C×%)
A	20	39.5	3	51.2	171	433	864	835	1.65
В	20	38.8	3	51.2	168	433	869	835	1.6

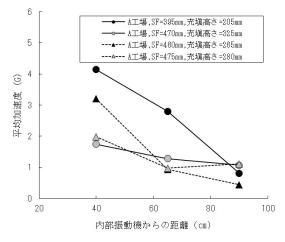


図-10 加速度測定結果

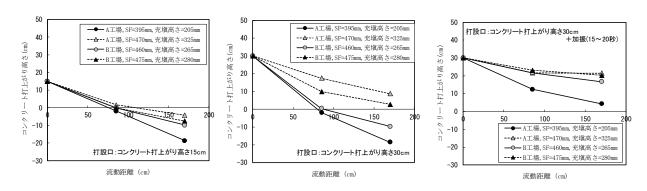


図-11 モデル型枠内コンクリートの打上がり高さ

孔からの振動機の影響範囲を平面的に示す.加振の影響範囲は、少なくとも軽度な加速度(0.5G)が伝搬する限界範囲とし、半径1mに設定した。自己充填範囲は、対象1で半径0.9m、対象2で半径1.7mと予想される。対象1のコンクリートは、自己充填範囲と加振影響範囲を合わせても鋼殻全域に渡っていないが、コンクリートの先端部の到達範囲と加振範囲を合わせたものは、鋼殻全域に渡っている。対象2のコンクリートは、ほぼ自己充填可能であり、最終的にごく軽微な加振を行うことで充填可能と判断できた。

5. 実施工への適用

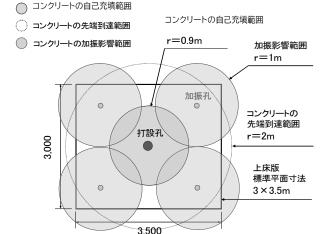
5.1 施工概要

沈埋函標準断面図を図-13 に示す. 各種壁部, 上床版, および端部鋼殻に当該コンクリートを打設した. 打設区画 は約800 区画あり, 23 回に分けて打設した. コンクリート は,表-3 の配合を基本とし,実機試験や充塡性確認実験で性能を確認した.

5.2 製造·運搬

コンクリートの練り混ぜ時間は90秒であり、アジテータ車1台(ミキサ2バッチ分)の製造時間は、平均3.85分/台で、最大製造速度は約60m3/hrとなり、これまでの高流動コンクリートの製造速度実績の20%増であった。また、今回の施工では、コンクリートの製造終了から荷下ろし終了までの平

均時間は34分であったが、昼休み や待機の時間を考えると最大90分 程度の可使時間が必要であったが、 120分の流動性維持が可能なことを 確認した.



対象1:スランプフロー400~450mm程度 充塡高さ 250mm 程度

r=1.7m
加振影響範囲
r=1m

上床版
標準平面寸法
3×3.5m

コンクリートの自己充塡範囲

対象2:スランプフロー450~500mm程度 充塡高さ 280mm 程度

図-12 実施工における充塡性の検討

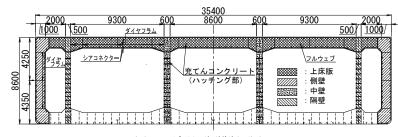


図-13 沈埋函標準断面図

表-4 品質管理試験一覧

品質管理項目	管理値	管理頻度
スランプフロー	500±100mm	#IN4-00 11 ///
空気量	3.0±1.5%	製造開始後アジテータ 車3台と1回/75m ³
単位容積質量	$2.25\sim2.40 \text{t/m}^3$	平3日 C 1回/ /3m
U形充塡試験 (充塡高さ)	200mm以上 (250mm以上を目標)	実機ミキサでの 試験練りにより確認
ブリーディング率	2.5%以下	THE TOTAL OF THE PURCHASE

5.3 コンクリートの品質

実施工での品質管理項目を表-4 に示す. コンクリートの品質 試験は、最初の3台と、75m³に1回の頻度とした. 品質管理試 験結果を図-14 に示す. スランプフローは、出荷時から荷下ろ し時までに40mm程度の増加が見られ. 荷下ろし時のスランプ フローは、概ね500±50mmの範囲であった. また、その他の品 質管理試験結果も、各品質基準をほぼ満足していた.

5.4 打込み・加振

打込みは、鋼殻上鋼板に設けられた打設口のみから行い、振 動機による加振は、鋼殼上鋼板に設けられた4箇所の加振孔の うち2箇所づつ2本の内部振動機を挿入して,5秒間の加振を 1分間隔で間欠的に実施した. 空気孔からCCDカメラで撮影 したコンクリートの流動状況を写真-1に示す. この時のスラン プフローは500mm 程度であったため、流動勾配も小さく、自己 充塡によりシアコネクタ周りにも十分充塡できた. また, 振動 機により加振を加えた時のコンクリートに作用する加速度計を 塩ビパイプの先端に取り付けて、空気孔から鋼殻内に挿入して 測定した. 内部振動機からの距離と加速度の関係を図-15に示 す. この時のスランプフローは、450~500mmであり、内部振動 機からの距離が60cmにおける加速度は2.5~5Gであり、この値 はモデル型枠で測定した値と概ね同等であった. また, 内部振 動機との距離が100cmを超えた場合は、加速度はほとんど生じ ていなかった. また、CCDカメラで加振効果を確認したところ, この時のスランプフローが500mmであったため、顕著に認めら れなかったが、加振により流動勾配の減少が観察された.

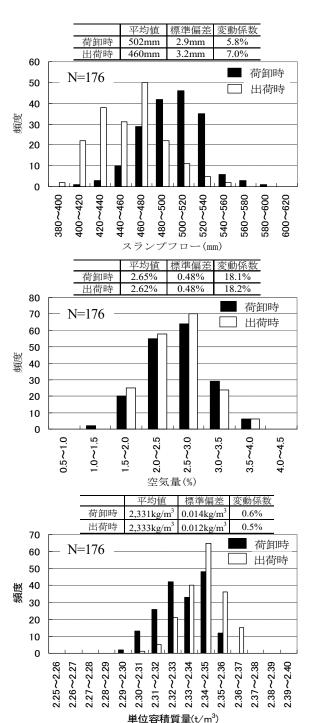


図-14 品質管理試験結果

5.5 コンクリートの出来形

コンクリートの出来形は、打設口、加振孔、および空気孔に設置されたアクリルパイプへのコンクリートが30cm 打上がることで充填完了と判断した。アクリルパイプへのコンクリートの充填状況を写真-2 に示す。また、コンクリート硬化後に鋼殻上面の打音により、充填性を確認し、異音の場合は、削孔により空隙を確認した。許容空隙深さ5mm以上の空隙は、全体の7%程度であった。

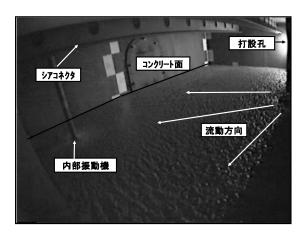


写真-1 コンクリートの流動状況

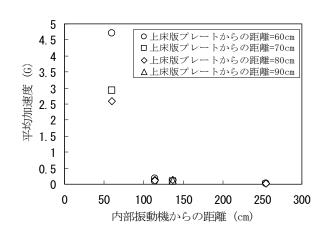


図-15 コンクリートに作用する加速度

6. まとめ

当該コンクリートへの加振効果や、鋼コンクリートサンドイッチ部材 への適用から、下記のことがわかった.

- (1) U 形充填試験における充填高さに応じて、充填性確保に必要な加振の程度や時間が異なった。充填高さが 280mm 以上であれば、加速度 0.5G 以下のごく軽度な加振を 5 秒程度、充填高さが 250mm 以上であれば、加速度 0.5G 程度の軽度な加振を 5 秒程度行うことで所要の充填性を得ることができた。
- (2) 鋼コンクリートサンドイッチ構造部材をモデル化した型枠への充塡 実験により、スランプフロー400mm以上、充塡高さ250mm以上であれ ば、鋼コンクリートサンドイッチ部に設けた打設口でのコンクリー



写真・2 アクリルパイプへの コンクリートの充塡状況

トの打込みや、振動機による加振により、十分な充塡性を得られることが確認できた。また、計測した加速度から、当該コンクリートの充塡性に効果のある加振の伝播範囲は、1m程度であることがわかった。

- (3) 当該コンクリートは安定した品質で製造でき、その製造速度は、高流動コンクリートに比較して練混ぜ時間が短縮できるため、製造速度も高流動コンクリートに比較して20%程度の増加となった.
- (4) 実施工では、打込み開始から1分間隔で5秒間の加振を間欠的に行うことにより、良好な充塡性が得られ、流動コンクリートの流動状況の観察や加速度の測定からも、鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函での良好な施工性を確認できた.
- 1) 小島朗史,城代高明,中島由貴,小澤敬二:港島トンネル鋼サンドイッチ構造沈埋函の高流動コンクリートの施工,コンクリート工学, Vol. 34, No. 8, pp. 21-28, 1996. 8
- 2) 桝田佳寛,安田正雪,荒金直樹,太田一浩:準高流動コンクリートに関する実験的研究(その1 準高流動化したコンクリートの諸性質),日本建築学会大会学術講演梗概集(関東),pp. 219-220, 1997.9
- 3) 松藤泰典,小山智幸,小山田英弘,鄭偉哲,赤松塁:中流動コンクリートに関する基礎的研究 その1 中流動コンクリートの概念,日本建築学会大会学術講演梗概集(九州),pp. 971-972,1998.9
- 4) 大和竹史, 東俊夫, 渡邊和重, 白石悟: 合成構造用充てんコンクリートの開発, コンクリート工学, Vol.41, No.7, pp.15-22, 2003.7
- 5) (財)沿岸開発技術センター:沿岸開発技術ライブラリーNo. 20, 鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を対象とした加振 併用型充てんコンクリートマニュアル, 2004. 2
- 6) 土木学会:高流動コンクリートの配合設計・施工指針[2012年版],コンクリートライブラリー136,2012.6

増粘剤一液型高性能 AE 減水剤を用いた 中流動覆エコンクリートの性能評価実験

松本 修治*1·坂井 吾郎*2

1. はじめに

近年、建設現場の労働人口の減少等から、建設施工の合理化、省人化とそれらによる生産性の向上が求められている。この課題に対して、国交省では、抜本的に生産性を向上させる重要な施策として「i-Construction¹⁾」に取り組んでおり、その一対象であるコンクリート工では、流動性の高いコンクリートの積極的な活用が挙げられている。山岳トンネル分野の覆工コンクリートの施工では、移動式型枠(セントル)に予め設置された型枠バイブレータで締固めを行う、スランプフロー 35~50 cm の中流動覆 エコンクリート ²⁾が開発され、適用されている。この技術により、従来からのスランプ 15 cm 程度の覆工コンクリートを厚さ 30 cm 程度の狭隘な移動式型枠内に打ち込み、窮屈な姿勢での内部振動機による締固めを行うといった苦渋作業を大幅に減少させることができている。さらに、締固め作業が人力ではないことから作業員の技量に依存しにくくなり、覆エコンクリートの品質確保および向上が図られているものと考えられる。この中流動覆エコンクリートには、石灰石微粉末やフライアッシュを用いるもの(以下、粉体系中流動コンクリート)と増粘剤一液型高性能 AE 減水剤を用いるもの(以下、増粘剤系中流動コンクリート)に大きく区分される。 増粘剤系中流動コンクリートは、先に開発された粉体系中流動コンクリートの仕様 ³⁾に準拠するように、市中のレディーミクストコンクリート工場での製造をより簡便にすることを目的に開発された。本稿では、室内試験において所定の規格 ³⁾を満足することが確認された増粘剤系中流動コンクリートを用い、実規模レベルでの性能評価を行った施工実験の結果について述べる。

2. 山岳トンネルにおける覆エコンクリートの打込み方法および各種実験の内容

山岳トンネルの覆エコンクリートは、 $10\sim12~m$ 程度の長さを 1~スパンとし、コンクリートの打込みが行われる。その際、トンネル側壁部から肩部にかけては、移動式型枠に $2\sim3~m$ の間隔で設けられた打込み用の窓からコンクリートを打ち込む。一方、

天端部(アーチの天頂部)については、移動式型枠の既設スパン側端部に設けられた1箇所の投入口からコンクリートを吹上げにより打ち込む方法が採用される.これは、1箇所からの片押しによる打込みとすることで空隙の発生を防止するためである.しかし、図-1に示すように、結果としてコンクリートを型枠内で10m程度に亘って流動させて打ち込むことになる.以上のコンクリートの打込み状況を踏まえ、表-1、表-2に示す使用材料およびコンクリートの配合で、トンネル覆工の側壁部および天端部を模擬した実規模の施工実験を実施した.

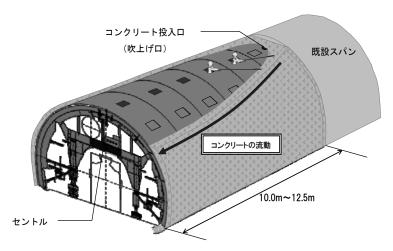


図-1 一般的な覆エコンクリートの打込み方法

^{*1} 鹿島建設 (株) 技術研究所 土木材料グループ 主任研究員

^{*2} 鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員 博士 (工学)

表-1 使用材料

項目	記号	トンネル覆工の側壁部を模擬した実規模実験	トンネル覆工の天端部を模擬した実規模実験
水	W	上水道水	上水道水
セメント	С	普通ポルトランドセメント,密度; 3.16 g/cm³	高炉セメントB種, 密度; 3.04 g/cm ³
混和材	LS	石灰石微粉末 密度 2.71 g/cm³	_
細骨材	S1	行方市産山砂,密度;2.59 g/cm³,粗粒率;2.60	多治見産山砂,密度;2.56 g/cm³,粗粒率;2.75
和田村初	S2	土浦市産砕砂,密度; 2.63g/cm³,粗粒率; 2.80	_
粗骨材	G	土浦市小高産砕石,密度; 2.68 g/cm³,	多治見産山砂利,密度; 2.61 g/cm³,
4E F177	U	実積率; 60.0%, Gmax20mm, 粒径 5~20	実積率; 62.0%, Gmax25mm, 粒径 5~25
	AE	AE 減水剤(リグニンスルホン酸化合物)	
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸エーテル系化合物)	_
	VSP	ポリカルボン酸エーテル系化合物と増粘性高分子化合物の	複合体
繊維	FB	_	ポリプロピレン繊維,密度 0.91 g/cm³

表-2 コンクリートの配合

項目	配合名	Gmax	スランプ	スランプ フロー	W/C	s/a			単位量	₫(kg/m	3)		混和	和剤(P×	%)	繊維 (Vol%)
		(mm)	(cm)	(cm)	(%)	(%)	W	С	LS	S1	S2	G	ΑE	SP	VSP	FB
/月川日本立77	普通	20	15±2.5	_	57.0	45.9	167	293	-	580	249	1008	1.00	-	-	-
側壁部 流動実験	粉体系中流動	20	21±2.5	35~50	56.8	47.0	175	308	72	578	223	932	-	1.55	-	-
川圳天歌	增粘剤系中流動	20	21±2.5	35~50	53.0	50.7	175	330	-	621	270	894	-	-	1.80	-
工-5-4-4-7	普通	25	15±2.5	_	55.0	42.7	167	304	-	753	_	1028	1.00	-	-	-
天端部 模擬実験	増粘剤系中流動	25	21±2.5	35~50	50.0	50.9	165	330	-	888	_	872	-	-	1.30	-
	繊維混入中流動	25	21±2.5	35~50	47.0	50.5	165	351	-	871	-	872	-	-	1.40	0.30

3. トンネル覆工の側壁部を模擬した流動実験

3. 1 実験ケース

3. 2 実験方法

本実験では、コンクリートの配合の違いを要因とし、トンネル覆工の1スパン分の延長を有する側壁部を模擬した型枠にコンクリートを流し込んで、コンクリートの流動性および材料分離抵抗性を評価した. 対象とした配合は、表-2に示すように、覆工用のコンクリートとして一般的なスランプ 15cm のコンクリート(以下、普通コンクリート)、粉体系中流動コンクリートおよび増粘剤系中流動コンクリートの3種類である.

図-2 実験の型枠および型枠バイブレータの配置

実験に使用した型枠および型枠バイブレータの配置図を**図**-2に示す。型枠は、一般的な覆工厚および1 スパンの長さを考慮して、幅を0.35mに、長さを10.5mとした。また、型枠バイブレータは3m間隔で4台配置した。

実験では、コンクリートのフレッシュ性状を確認した後、型枠端部に配置したアジテータ車のシュートよりコンクリートを直接打ち込み、コンクリートが90cmの高さに達した時間、もしくは10.5m 先の型枠先端に達した時点で打込みを停止して流動勾配を測定した。普通コンクリートについては、棒状バイブレータを用い、50cm 間隔で各5秒間の締固めを2往復行った後、再度、流動勾配を測定した。中流動覆エコンクリートについては、型枠バイブレータを用いて15秒間の締固めを行った後、再度、流動勾配を測定した。流動勾配の測定後、コンクリートの材料分離抵抗性を評価するため、荷下し前のコンクリートと、打込み箇所から2m間隔の計5箇所のコンクリートをそれぞれ採取し、洗い試験(JIS A 1112:2012)を実施した。洗い試験では、エアメータ容器の試料を5mmのふるいでふるい、粗骨材量を測定した。

3.3 実験結果

流動実験のフレッシュ性状は、普通コンクリートのスランプが15.0cm, 粉体系中流動コンクリートのスランプフローは39.0cm, 増粘剤系中流動コンクリートは36.5cm であった.

コンクリートの締固め前後の流動勾配を、それぞれ図-3および図-4に示す。普通コンクリートは流し込みによる流動だけでは型枠先端まで到達せず、締固め前の流動勾配は 1/6 であった。一方、粉体系中流動コンクリート、増粘剤系中流動コンクリートは、ともにスランプフローが規格値(35~50cm)の下限側であったが、型枠先端に到達し、その勾配はともに 1/15 であった。また、締固め後の流動勾配は、普通コンクリートが 1/12 であったのに対し、粉体系中流動コンクリートは 1/131、増粘剤系中流動コンクリートは 1/58 とほぼ水平になった。2 つの中流動覆エコンクリートの流動勾配を比較すると、粉体系中流動コンクリートの流動勾配を比較すると、粉体系中流動コンクリートの締固め後の流動勾配が若干小さくなっているが、これはスランプフローが小さかったことによるものと考えられる。

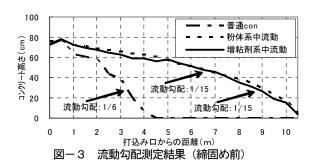
流動勾配測定後に採取した試料の洗い試験結果を図-5に示す.打込み前のコンクリートを基準とした時の流動後の粗骨材の維持率は、普通コンクリートの場合、流動先端では10%以下であったのに対し、粉体系中流動コンクリートおよび増粘剤系中流動コンクリートの場合には、いずれも70%以上であり、流動による粗骨材の著しい分離が生じていないことが確認できた.

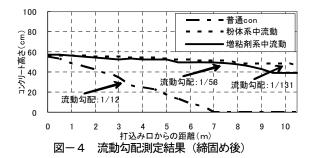
以上のことより、増粘系中流動コンクリートは、粉体系中流動コンクリートと同等の流動性、充塡性および材料分離抵抗性を有していることが確認された.

4. トンネル覆工の天端部を模擬した施工実験

4. 1 実験ケース

本実験では、トンネル覆工の1スパン分の延長を有する天端部 を模擬した型枠にコンクリートを吹上げで打込み、脱型後のコン クリートの外観、表層品質などを評価した。コンクリートは、表





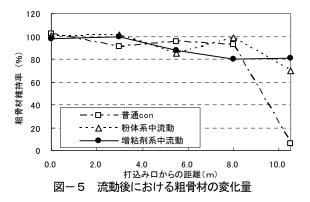




写真-1 実規模施工実験に用いた型枠

-2に示す配合で、普通コンクリート、増粘剤系中流動コンクリート、および有機系短繊維を混入した増粘剤系中流動コンクリート(以下、繊維混入中流動コンクリート)の3種類を対象とした。

4. 2 実験方法

施工実験に使用した実規模の型枠を**写真-1**に示す。この型枠は、トンネル覆工の天端部を実寸で模擬したものであり、一般的なトンネル覆工の厚さおよび1スパンの長さで製作したものである。コンクリートの打込みは、一般的な施工と同様に吹上げ口より行った。締固めについては、普通コンクリートは天端部に設けられた作業窓から内部振動機により行い、増粘剤系中流動コンクリートおよび繊維混入中流動コンクリートは移動式型枠に配置した型枠バイブレータによって行った。コンクリート打込

み時には、フレッシュ性状の確認を行うとともに、目視による流動・充塡状況の確認を行った。また、硬化後の確認として、Torrent 法によるコンクリートの表層透気試験およびコア供試体を割裂して繊維量の測定を行った。

4. 3 実験結果

天端模擬型枠による実規模の施工実験では、吹上げ口から約20m³のコンクリートを打ち込んだ。普通コンクリートのスランプは14.0~16.5cmの範囲にあった。また、増粘剤系中流動コンクリートのスランプフローは42.5~47.5cm、繊維混入中流動コンクリートは40.0~44.0cmの範囲で、すべて規格値を満足した。

脱型後の仕上がり状況を**写真**-2および**写真**-3に示す.普通 コンクリートの場合,コンクリートの流動の層境が明確に認めら れたが、中流動覆エコンクリートについては、増粘剤系、繊維混 入ともに極めて平滑かつ均質な仕上がりであった.

Torrent 法によるコンクリートの表層透気試験の結果を図-6に示す. 普通コンクリートの表面透気係数は, 値, ばらつきともに大きいのに対して, 増粘剤系中流動コンクリートの場合には, 値が小さく, ばらつきもほとんどない結果となった.

繊維混入中流動コンクリートのコア供試体に混入していた繊維量を測定した結果を**図ー7**に示す. 褄側においても繊維量の顕著な減少は認められず,吹上げ口側との差は5%程度で,繊維が均質に分散していることが確認できた.

5. まとめ

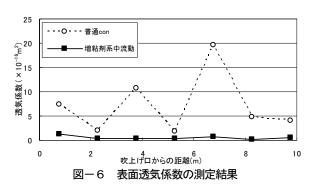
増粘剤系中流動コンクリートの性能を評価するため、トンネル覆工の側壁部および天端部を模擬した実規模実験を行った結果,以下の知見が得られた.



写真-2 普通コンクリートの仕上がり状況



写真-3 増粘剤系中流動コンクリートの仕上がり状況



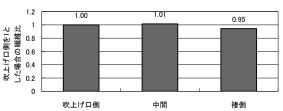


図-7 コア供試体による繊維混入量の測定結果

- (1) 中流動覆エコンクリートは、トンネル覆工の施工で要求される流動性、充塡性および材料分離抵抗性を有しており、普通コンクリートと比べ、品質のばらつきが少なく、かつ品質の良いコンクリートを構築することができる.
- (2) トンネル覆工のセントルにスランプ 15cm の一般的な覆工コンクリートを打ち込み、内部振動機で締固めを行う場合、表面 透気係数によって評価されるコンクリート表面の品質にばらつきが生じることがある。それに対し、増粘剤系中流動コンク リートを型枠バイブレータで施工する場合、これらの表面の品質のばらつきが小さい緻密なコンクリートを構築できる。
- (3) 増粘剤系中流動コンクリートに有機系短繊維を 0.3Vol%用いてトンネル覆工を構築する場合, 天端部の吹上げ口側から褄側 までのコンクリート中の繊維量のばらつきは小さく均質である.

参考文献

- 1) 堂山修治, 竹下正一, 堤 英彰, 城澤道正: i-Construction(建設現場の生産性革命)の推進と建設現場の安全性の向上に向けて, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol.73, No.2, pp.I 1-I 6, 2017.
- 2) 株式会社高速道路総合研究所: NEXCO 中流動覆エコンクリート技術のまとめ、株式会社高速道路総合研究所, 2011.12.
- 3) 東・中・西日本高速道路株式会社:トンネル施工管理要領「中流動覆工コンクリート編」,2010.7.

締固めを必要とする高流動コンクリートを用いた鉄道高架橋の施工

橋本 学*1·松本修治*2·坂井吾郎*3

1. はじめに

鉄道 RC ラーメン高架橋は、1995 年に発生した阪神淡路大震災を経て耐震基準や設計基準が見直され、配置される鉄筋は高密度になった。特に、柱・梁接合部では写真一1 に示すような配筋状態となるため、通常のコンクリートでは、未充填や締固め不良などの初期欠陥の発生リスクが非常に高いという課題がある。そのため、柱と柱・梁接合部については、自己充填性を有する高流動コンクリートで施工できるように仕様で定められている場合がある。一方で、自己充填性を有する高流動コンクリートは、増粘剤や石灰石微粉末等の特殊な材料を使用するため、コストが大幅に高くなるのが実情である。そこで、軽微な締固めによって良好な流動性と充填性が得られ、自己充填性を有する高流動コンクリートよりも低コストとなる締固めを必要とする高流動コンクリートを用いることが有効であると考えられる。さらに、締固めを必要とする高流動コンクリートでは締固め作業が軽微となることから、作業の効率化を図ることができ、生産性向上にも寄与する。本報では、締固めを必要とする高流動コンクリートを新潟駅高架化工事の笹口工区エリアの高架橋へ適用するために検討した内容りと、適用した施工実績について述べる。

2. 締固めを必要とする高流動コンクリートの適用に向けた検討

2. 1 締固めを必要とする高流動コンクリートの適用への経緯

図-1 に高架橋におけるコンクリートの配合区分を示す. 仕様では高架橋の柱部と柱・梁接合部のみが自己充塡性を有する高流動コンクリートで, 梁部分についてはスランプ 12cm の普通コンクリートで施工することとなっていた. 梁下部については鉄筋が高密度の配置となるため, 普通コンクリートでは未充塡や締固め不足による初期欠陥の発生リスクが非常に高い部位であった. 一方で, 自己充塡性を有する高流動コンクリートで施工した場合, 単位セメント量が多くなるためコストが高くなること, さらに, 本高架橋では ASR の発生リスクについても高くなることが懸念された. そこで, 梁下部の高密度な配筋箇所へ確実にコンクリートを充塡させることができ, 柱部では充塡性を確保しつつ, ASR 抑制対策として締固めを必要とする高流動コンクリートを用いることが有効であると考え, 鉄道高架橋への適用に向け検討を行った.

2. 2 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合選定

(1) 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料を表-1 に、コンクリートの配合を表-2 に示す。使用する骨材が ASR で「区分 B(無害でない)」に該当することから、

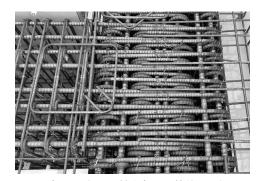


写真-1 柱・梁接合部の配筋状況の例

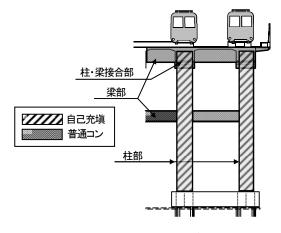


図-1 コンクリートの配合区分

(正会員)

- *1 鹿島建設(株)技術研究所 土木材料グループ 上席研究員 博士 (工学)
- *2 鹿島建設(株)技術研究所 土木材料グループ 主任研究員 (正会員)
- *3 鹿島建設(株)技術研究所 主席研究員 博士(工学) (正会員)

表-5 加振ボックス充塡試験結果

一							
配合名	自己充塡	平均値	300mm 到達時	平均値			
111日11	高さ(mm)	(mm)	間(秒)	(秒)			
締固め	272		1.0				
が要	226	242	2.5	2.0			
业安	229		2.4				
自己	307		_				
日口 充塡	300	307	_	_			
儿块	314		_				

抑制対策として混和材にフライアッシュが用いられている. フライアッシュの置換率はこれまでの検討 ²⁾から,単位結合材中の割合で 20w.t.%とした.配合選定時には,当初, 柱部に使用する予定としていた自己充填性を有する高流動コンクリートを比較対象として検討を行った.

(2) 実験項目

実験項目を表-3 に示す. フレッシュコンクリートの性 状はスランプフローおよび空気量に加え, 充填性の評価と して JSCE-F 701-2018「ボックス形容器を用いた加振時のコ ンクリートの間隙通過性試験」を行った. さらに, ブリー ディング特性についても確認した. なお, 空気量について は運搬時のロスを考慮して,練上がり時に 5.0%となるよう に調整した. 圧縮強度は材齢 28 日にて試験を行い, 設計基 準強度 27N/mm² 以上を満たすことを確認した.

(3) 実験結果

実験結果を表-4 に示す. 空気量については、練上がり時の空気量5.0%を満足するようにAE剤量を適宜調整した. スランプフローの状態の比較を写真-2 に示す. 写真に示すようにフレッシュコンクリートの状態は良好で、材料分離することなく、フローの先端まで粗骨材が流動している状況が確認された. また、ブリーディング量については、自己充塡性を有する高流動コンクリートの 0.02cm³/cm² に対し、締固めを必要とする高流動コンクリートでは0.06cm³/cm² と締固めを必要とする高流動コンクリートの方が多い結果となり、この理由として、単位粉体量の違いが考えられた. ただし、ブリーディング量としては少ない値であることから、施工上の問題はないものと判断した.

次に、加振ボックス充填試験の結果を表-5 に示す。自己充填性を有する高流動コンクリートは3回の結果全てにおいて、充填高さ300mm以上を満足した。一方で、締固めを必要とする高流動コンクリートの自己充填高さはいずれの結果も300mm以下となった。締固めを必要とする高流動コンクリートについては、自重による流動・充填が停

表-1 使用材料

材料名	記号	摘 要
練混ぜ水	W	水道水
セメント	С	普通ポルトランドセメント, 密度:3.15g/cm³, 比表面積:3,250g/cm²
フライアッシュ	FA	七尾産フライアッシュ II 種 密度: 2.38g/cm³, 比表面積: 4.650cm²/g
細骨材	S	阿賀野市分田地内 陸砂, 表乾密度:2.56g/cm³,粗粒率:2.75
粗骨材	G	阿賀野市分田地内 25mm, 表乾密度:2.62g/cm³, 実積率:66.0
混和剤	Ad	高性能 AE 減水剤,主成分:ポリカルボン 酸化合物
1967 HAU	AE	AE 剤, 主成分:特殊アニオン系/ノニオン 系界面活性剤

表-2 コンクリートの配合

	水結	細骨		空気		<u>]</u>	単位量	(kg/m³)	
配合名	小船 合比 (%)	和 材率 (%)	S.F. (cm)	至X 量 (%)	W	С	FA	S	G ^{**1}	(C+F) *2
締固め 必要	43.5	50.0	50 ±7.5	4.5 ±1.5	165	304	76	848	865 (330)	3.80
自己充塡	36.7	50.0	60 ±5.0	4.5 ±1.5	165	360	90	819	833 (318)	5.18

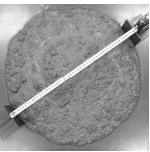
※1()は粗骨材の容積、※2AE 剤は所定空気量を満足するよう適宜添加

表一3 実験項目

実験項目	試験方法	摘 要
スランプフロー	ЛS A 1150	$50\pm7.5,60\pm5.0$ cm
空気量	JIS A 1128	5.0±1.5%(練上がり時)
練上がり温度	ЛS A 1156	
ブリーディング	JIS A 1123	0.30cm³/cm²以下
充填性	JSCE-F 701-2018	充塡高さ:300mm 以上
圧縮強度	JIS A 1108	材齢 28 日, 27N/mm²以上

表-4 実験結果

実験項目	単位	実験結果				
天映項目	半江	締固め必要	自己充塡			
スランプフロー	cm	53.0 (53.5×52.5)	60.0 (60.5×59.0)			
空気量	%	5.9	5.4			
練上がり温度	$^{\circ}\!\mathbb{C}$	20	21			
ブリーディング	cm ³ /cm ²	0.06	0.02			
圧縮強度(28 日)	N/mm ²	38.7	52.6			



(i)締固め必要 (53.5×52.5cm)



(ii) 自己充塡 (60.5×59.0cm)

写真-2 スランプフローの状態

止したのちに棒状バイブレータ (φ28mm, 振動数 200Hz 程度) により締固めを行い、300mm まで到達する時間を測 定した. その結果, 3回の平均が2.0秒で300mmに到達し たことから、締固めを必要とする高流動コンクリートは軽 微な締固めによって確実に充塡性を確保できることが確認 された. 以上の検討結果により、締固めを必要とする高流 動コンクリートを実工事に適用することとした.

3. 締固めを必要とする高流動コンクリートの鉄道高架橋 へ適用した際の実績

3. 1 品質管理について

2015年6月~2016年11月の期間で施工した実績(デー タ数 104) について述べる. 図-4 に外気温とコンクリート 温度を示す. コンクリート温度は冬期で 5℃以上, 夏期で 35℃以下を満足しており、適切に管理することができた. とくに、冬期は 0℃まで気温が下がるため、練混ぜ水に温 水を用いるなどの寒中コンクリート対策を確実に講じるこ とで、コンクリート温度5℃以上を確保した.

図-5 に受入れ時のスランプフローの結果を示す. 全て の結果で50±7.5cmの範囲を満足し、スランプフローを適 切に管理することができた. 標準偏差は3.59cm であった. 併せて、現場受入れ時の単位水量の測定結果を図-6 に示 す. 単位水量の測定は静電容量方式で、コンクリートをウ エットスクリーニングにより粗骨材とモルタルに分離し, モルタルの水分量からコンクリートの単位水量を換算して 算出した. 単位水量についても, 測定結果全量が規格値の 165±15kg/m³の範囲を満足し, 平均で162.2kg/m³であった. また、上限値は+10kg/m³を超えることがなく、適切に管理 を行うことができており、品質の良いコンクリートを打込 むことができたものと考える. 図-7 の圧縮強度試験の結 果は、設計基準強度 27N/mm² に対し、平均で 40.0N/mm²、 標準偏差.1.47N/mm²であった. 締固めを必要とする高流動 コンクリートの硬化物性について、確実に強度を満足し、 品質のばらつきを小さく抑えることができた.

3. 2 施工状況

柱の打込みの状況の全景を写真-3に、柱の打込みの状 況を**写真-4**に示す. 打込みでは8t級のポンプ車を使用し て打ち込んだ. 柱の打込みでは写真-4 に示すように、ス パイラル筋 (写真-5) の内側と外側に分け、 ϕ 40mm の高 周波バイブレータ2本で締め固めた. 中流動コンクリート

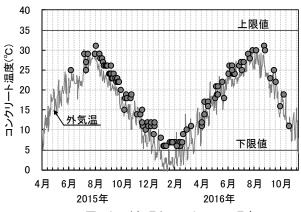


図-4 外気温とコンクリート温度

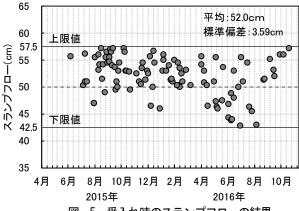
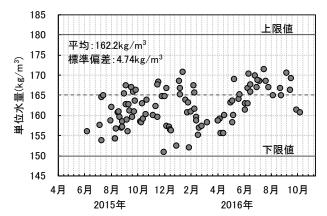


図-5 受入れ時のスランプフローの結果



受入れ時の単位水量の結果

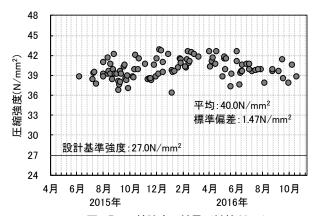


図-7 圧縮強度の結果(材齢28日)



写真-3 柱の打込み状況(全景)

を用いたため、5 秒程度の軽微な締固めでもコンクリートが型枠の隅々まで充填される状況が確認された。打込みに要した人員はバイブレータ 2 名、その交代要員を含め 3 名で行った。打込み量は柱の大きさによって異なるが、柱1本当たり 15m³程度で、おおよそ 2 時間程度の作業時間を要した。

3. 3 打込み後の出来栄え

柱の打込みの後の出来栄えを**写真-6**に示す。柱部、梁部および柱・梁交差部において豆板等の未充填箇所は認められず、良好な出来栄えであった。特に、柱・梁交差部では、普通コンクリートから締固めを必要とする高流動コンクリートへ変更したことで、確実にコンクリートが充填している状況が確認できる。このように、締固めを必要とする高流動コンクリートを用いることで高品質なコンクリート構造物を構築できたものと考えられる。今後、表層透気試験やテストハンマーによる反発硬度等の定量評価を行っていく予定である。

4. おわりに

本報では、締固めを必要とする高流動コンクリートを鉄道高架橋に適用した実績について述べた。これまでに2,200m³の締固めを必要とする高流動コンクリートの打込みを終えている。



写真-4 柱の打込み状況(全景)

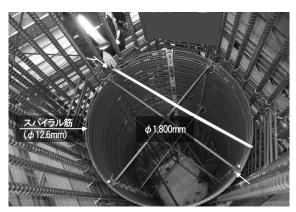


写真-5 柱の配筋状況



写真-6 柱の打込み後の出来栄え

2020年4月現在も施工を行っている最中であり、合計で4,700m³程度の打込みを予定している。引き続き、製造から打込みまでの品質管理を適切に行っていく所存である。締固めを必要とする高流動コンクリートは、軽微な締固めで充塡性を確実なものとし、品質の良いコンクリートを打ち込むことができることから、逼迫する建設業の担い手不足を解消できる、生産性向上技術の一つとなり得る可能性がある。本報が締固めを必要とする高流動コンクリートの普及のための一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 塩田彩夏ほか: 中流動コンクリートの鉄道高架橋への適用に関する実験的検討, 土木学会第 70 回年次学術講演会, VI-285 pp.569-570, 2015.8
- 2) 坂本真紀ほか: フライアッシュを用いた新潟地区の ASR 抑制対策について, 土木学会第 66 回年次学術講演会, V-537 pp.1073-1078, 2011.8

コンクリート技術シリーズ一覧

No.:標題/発行年月/判型·ページ数/本体価格

	【 1】:連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用に関するシンポジウム講演論文報告集	/亚//	∕B5•314p	
	【2】:コンクリートの力学特性に関するワークショップ		/B5•108p	
	【3】:STATE-OF-THE-ART REPORT ON CONTINUOUS FIBER REINFORCING MATERIALS		/B5•164p	
	【 4】:「シリカフュームを用いたコンクリート」に関するシンポジウム講演論文報告集		/B5•104p	
	【 5】:プレストレストコンクリート構造の現況と設計方法の動向		/B5•176p	
×	【 6】:コンクリート標準示方書改訂小委員会 舗装部会報告		/B5·190p	/3786円
*	【7】:コンクリートの規準の動向	/ + 0.8 /平6.8		/ 3/00□
	【 8】:マスコンクリート技術の現状と動向		/B5•125p	
			•	
	【9】:コンクリート構造物の耐震設計法の動向	∕平7.1	•	
	【10】:高流動コンクリートシンポジウム論文報告集		∕B5•341p	
	【11】:コンクリート標準示方書をめぐる環境・施工技術の最近の動向・設計施工照査システム		∕B5•302p	
	【12】: 阪神淡路大震災被害分析と靭性率評価式	∕平8.7	•	
	【13】: 土木学会コンクリート委員会 コンクリート教育研究小委員会報告書		∕B5•102p	
	【14】:最新のマスコンクリート技術		∕B5•139p	
	【15】:高流動コンクリートに関する技術の現状と課題		∕B5•239p	
	【16】:コンクリート構造物の品質保証	/平9.2	•	
×	【17】:将来の示方書改訂のための検討課題	/平9.2	•	/1200円
	【18】:コンクリートの寸法効果と引張軟化曲線		∕B5•92p	
	【19】:自己充塡コンクリートセミナー論文報告集	/平9.5	∕B5•204p	
	【20】:コンクリート構造物の耐震技術 -現状と将来展望-	∕平9.7	∕B5•232p	
	【21】: 構成モデル小委員会 (301) 成果報告書	∕平9.7	∕B5•158p	
	【22】:RC・PC構造物の設計に関する現状と今後の展望 -RC・PC部会報告-	∕平9.8	∕B5•127p	
	[23]: RECOMMENDATION FOR DESIGN AND CONSTRUCTION OF CONCRETE STRUCTURES USING CONTINUOUS	∕平9 10	∕B5•325p	
	FIBER REINFORCING MATERIALS	•	•	
	【24】:コンクリートのクリープおよび乾燥収縮		∕B5•130p	
X	【25】:コンクリート教育研究小委員会報告集・論文集		∕B5•194p	/2380円
	【26】:鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向		∕B5•235p	
	【27】:フライアッシュコンクリートシンポジウム論文報告集		∕B5•229p	
			∕B5•455p	
	【29】:コンクリートと資源の有効利用		∕B5•322p	
	[30]: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WORKSHOP ON SELF-COMPACTING CONCRETE		∕B5•399p	
	[31]: RECOMMENDATION FOR SELF-COMPACTING CONCRETE	∕平11.8	•	
	【32】:コンクリート標準示方書改定に関する中長期ビジョン	∕平11.9	∕B5•358p	
	【33】: 将来の骨材試験方法改訂のための検討	∕平12.1	∕B5•41p	
	【34】:コンクリート構造物の耐震性能照査 一検討課題と将来像一	∕平12.4	∕B5•210p	
	【35】:コンクリート構造物のデザイン	∕平12.5	∕B5•164p	
	【36】:阪神淡路大震災の被害分析に基づくコンクリート構造物の耐震性能照査方法の検証 - 検討課題と将来像-	∕平12.5	∕B5•310p	
	【37】:フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現状と課題	∕平12.7	∕A4•164p	
	【38】:コンクリート構造の時間依存性変形・ひび割れ評価 一現状と今後の課題 –	∕平12.9	∕A4•137p	
	【39】:コンクリートのクリープおよび乾燥収縮Ⅱ	∕平12.11	∕A4•101p	
	【40】: 鉄筋腐食·防食および補修に関する研究の現状と今後の動向(その2)	∕平12.12	∕A4•325p	
	[41]: RECOMMENDATIONS FOR UPGRADING OF CONCRETE STRUCTURES WITH USE OF CONTINUOUS FIBER SHEET	₹/平13.3	/A4·250p	
	【42】:性能照査型システムにおけるコンクリート構造物の補強	∕平13.6	/A4•308p	
	【43】:プレキャストコンクリート部材の力学的特性 一現状と課題ー		/A4-310p	
	【44】:コンクリートの環境負荷評価		∕A4•186p	
	【45]:水辺のコンクリート構造物 ーコンクリートによる豊かな水辺環境の創造ー		∕A4•157p	
	【46】:コンクリートの耐久性データベースフォーマットに関するシンポジウム論文集	∕平14.12		
	【47】:コンクリート用化学混和剤の性能評価		∕A4•225p	
	【48】:コンクリート構造物の耐震性能照査技術 ー現状と将来展望ー		/A4·138p	
	【49】 阪神浴路大震災の被害分析に基づくコンクリート構造物の耐震性能服态方法の検証 一般析毛法の適用と比較一		/A4·303p	
	【49CD】:CD-ROM 阪神淡路大震災被害分析小委員会の報告-地盤震動解析プログラム(FDEL)付-	•		
Х	(コンクリート技術シリーズ49の内容を含む)	/平14.12	∕CD-ROM	/2857円
	【50】:コンクリート構造物の非線形解析技術研究小委員会成果報告書	∕平15.1	∕A4•522p	
	【51】: 岩盤斜面防護用吹付けコンクリートー現状と今後の課題-	∕平15.2	/A4·69p	
	【52】:PC構造物の現状の問題点とその対策		/A4·332p	
	【53】:コンクリートの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状(付録CD付き)		/A4·232p	
	【54】:フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現状と課題(Ⅱ)		∕A4•170p	
	【55]:コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と規準化が望まれる試験方法の動向		∕A4•149p	
	【56】: クリープ・収縮研究小委員会報告書	∕平15.9		
×	【57】:コンクリート標準示方書[維持管理編]に準拠した維持管理マニュアル(その1)および関連資料		/A4•258p	/3000円
∕ •\	【58】:コンクリートの表面被覆および表面改質に関する技術の現状		/A4 230p /A4 281p	, 555011
	【59】:コンクリートの表面被覆および表面改質に関するシンポジウム論文集 付録:表面被覆および表面改質に関する耐久		•	
	性能調査シートおよび試験方法調査シート/	/平16.2	∕A4•178p	
×	【60】:コンクリート教育研究小委員会報告書	∕平16.7	∕A4•172p	/3000円
	【61】: 弾性波法によるコンクリートの非破壊検査に関する委員会報告およびシンポジウム論文集		∕A4•350p	
	【62】:コンクリートの環境負荷評価(その2)		∕A4•123p	
	【63】:コンクリート構造物の耐火技術研究小委員会報告ならびにシンポジウム論文集		/A4·368p	
×	【64】:複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用		/A4·224p	/2500円
	【65】: 示方書連絡調整小委員会報告書 コンクリート標準示方書の役割と将来像	╱平17.8		
	【66】: 非線形解析によるコンクリート構造物の性能照査 一手順と検証例・照査例一		/A4•264p	
	【67】: 地震作用に対するコンクリート構造物の性能照査型設計 一設計と照査の現状と将来展望一		/A4·256p	
	and the state of t	,		

	【68】:コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告	∕平18.4 /	∕A4•301p	
	【69】:硬化コンクリートのミクロの世界を拓く新しい土木学会規準の制定 - EPMA法による面分析方法と微量成分溶出	∕平18.4	/Δ4:127n	
\.	試験方法について一		•	
×	【70】:PC構造物の現状の問題点とその対策(その2)委員会報告	∕平18.5 /	•	/3000円
\ '	【71】: 材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能	/平18.9		∕2500⊞
**	【72】:豊かな沿岸を造る生態系コンクリート - 磯焼けを防ぎ藻場を造る - 【73】:弾性波法の非破壊検査小委員会報告および第2回弾性波法によるコンクリートの非破壊検査に関するシンポジウム	/平18.11 /	/ A4•191p	/3500円
	[7] ・呼に放送の非吸吸検査が委員会報告のあび第2回呼は放送にあるコンプラーの非吸吸検査に関するシンパンプム 講演概要集	/平19.2	∕A4•236p	
	【74】: 混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会(333委員会)報告書ならびにシンポ	∕平19.3	/ A 4 2 2 6 9 p	
	ジウム講演概要集		•	
	【75】:設計認証・保証システム研究小委員会報告書コンクリート標準示方書と構造物の照査・検査システム	∕平19.3 /	•	
	【76】:コンクリート構造物のヘルスモニタリング技術	∕平19.4 /		
\"/	【77】:コンクリートー地盤境界問題研究小委員会(332) 報告書―コンクリートー地盤境界問題に関する現状と課題 ―	/平20.2		(2222 TI
×	【78】:コンクリート教育研究小委員会報告書 【79】:コンクリート構造物のインフラマネジメント検討小委員会報告書 市民にとって良いインフラとそれを支える技術・技術	/平20.3	/ A4·121p	/2000円
	【79】、コンケリー下標達物のインフラマネンテンド検討小安良去報占者 印氏にこうで長いインフラこてれを文える技術・技術 者システム	/平20.3	∕A4·64p	
	【80】: 構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会(335委員会)成果報告書およびシンポジウム	∕平20.4	/ A 4 . 202 n	
	講演概要集		·	
	【81】:地震作用に対するコンクリート構造物の性能照査設計一時空間における設計の課題と近未来像一	/平20.7	∕A4·246p	
X	[82]: Recommendations for Design and Construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with Multiple Fine Cracks (HPFRCC)	/平20.7	∕A4·191p	/1800円
	【83】:コンクリート構造物の信頼性設計法に関する研究小委員会(336委員会)成果報告書	/平20.12	/A4·334n	
	【84】: 土木学会規準として制定が望まれる試験方法の動向 ーコンクリートの性能評価を可能とする新しい規準体系とは一			
	【85】:続・材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能	/平21.6		
	【86】:コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会(338委員会)委員会報告書	/平21.10		
	【87】: 歴代構造物品質評価/品質検査制度研究小委員会(216委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集	/平21.11	∕A4·138p	
	【88】:コンクリート構造物の非破壊評価技術の信頼性向上に関する研究小委員会(339委員会)成果報告書	/平21.12	∕A4·134p	
	【89】: 混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会(333委員会)No.2	/平22.5	∕A4·462p	
	【90】:コンクリート教育研究小委員会 報告書	/平22.8	∕A4·126p	
	【91】:コンクリートー地盤境界問題研究小委員会(332)第2期 報告書ーコンクリートと地盤の境界問題の統一的評価に向	∕平22.8	∕A4·207p	
	けた課題分析-		·	
	【92】:市民のためのコンクリートをめざして一コンクリート構造物のインフラマネジメント研究小委員会報告書ー	/平22.8		
	【93】:構造物の設計におけるコンクリートの収縮の考慮 【94】:コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会(341委員会)委員会報告書	✓平22.12 / ✓平23.5 /		
	【95】:鉄筋コンクリート構造物の設計システム -Back to the Future-	/平23.5 /		
	【96】:環境調和型コンクリート材料学の創造に関する研究委員会成果報告書	/平23.8		
	【97】:構造物表層のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会(JSCE335委員会)第二期成果報告書および		·	
	シンポジウム講演概要集	/平24.7	/A4·682p	
	【98】:材料学は「たちというリート構造物の維持管理優先度研究小委員会(342委員会)委員会報告書およびシンポジウ	∕平24.7	∕A4·412p	
	ム講演概要集 【99】:コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会(338委員会)成果報告書(その2)およびシンポジウム		•	
	[35]、コンプグード中の調例の腐民圧計画と財民技術明元小安員会(300安員会/成未報日音(での2/33&07ンパンプム 論文集	/平24.10 /	∕A4·410p	
	【100】:コンクリート構造物の非破壊評価技術の信頼性向上に関する研究小委員会(339委員会)(第Ⅱ期)報告書ならびに	/平24.11	/Δ1.212n	
	シンポジウム講演概要集		·	
\•/	【101】:コンクリート構造物のせん断力に対する設計法研究小委員会報告書	/平24.12 /		(4000TI
×	【102】:コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会(341委員会)第2期委員会報告書 【102】:コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会(341委員会)第2期委員会報告書	/平25.11 /	/A4·360p	/4000円
	【103】: セメント系構築物と周辺地盤の化学的相互作用研究小委員会(345委員会)成果報告書およびシンポジウム 講演概要集	/平26.7	∕A4·502p	
×	【104】: 鉄筋コンクリート構造物の設計システム -Back to the Future Ⅱ-	/平26.7	∕A4·296p	/3500円
	【105】:コンクリート構造物の設計と維持管理の連係による性能確保システム研究小委員会成果報告書	/平26.7	∕A4·76p	/2000円
	【106】: 繊維補強コンクリートの構造利用研究小委員会成果報告書	/平27.8	∕A4·362p	
×	【107】: 示方書連絡調整小委員会報告書-次世代の「コンクリート標準示方書」に向けて-	/平27.8	∕A4·191p	/2500円
×	【108】:コンクリート構造物の安全確保のためのシステムに関する研究小委員会成果報告書	/平27.9	∕A4·154p	/2500円
	【109】:鉄筋コンクリート構造の疲労破壊ー破壊機構と性能評価の将来像を探るー	∕平27.9 /	∕A4·450p	
	【110】: 材料劣化が生じるコンクリート構造物の維持管理優先度研究小委員会(342 委員会(第2期))委員会報告書	/平27.11 /	∕A4·378p	
	【111】:塩害環境の定量評価に関する研究小委員会(348委員会)委員会報告書	/平27.11 /	∕A4·220p	
	【112】:コンクリートにおける水の挙動研究小委員会(349委員会)委員会報告書	/平29.6		/3000円
X	【113】:コンクリート構造物の設計と連成型性能評価法 -時空間性能評価技術の未来予想図-	/平29.6		/3000円
\.	【114】:コンクリート構造物の品質・耐久性確保マネジメント研究小委員会(229委員会)成果報告書	∕平29.7		/aa
	【115】: セメント系構築物と周辺地盤の化学的相互作用研究小委員会(345委員会)第2期成果報告書	∕平30.6	•	∕3000円
	【116】: 既設コンクリート構造物の構造性能評価研究小委員会報告書およびシンポジウム講演概要集	∕平30.6		∕3000円
Х	【117】: 高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートに関する研究小委員会(354委員会)成果報告書 【118】: 混和材料を使用したコンクリートの物性評価技術と性能規定型材料設計に関する研究小委員会(353委員会)	/平30.7	·	/3000円
	【110】:近村村村を使用したコングリートの初注計画技術と注形規定全村村設計に関する研究が安貞去(353安貞去) 成果報告会	/平30.7	∕A4·187p	
	【119】:繊維補強コンクリートの構造利用研究小委員会(第2期)委員会報告 繊維補強コンクリートの構造設計とその課題	∕平30.9	∕A4·279p	
X	【120】:コンクリートの性能に及ぼす高温作用の影響評価研究小委員会(352委員会)成果報告書	∕平30.10 /	∕A4·124p	/3000円
	【121USB】: 塩害環境の定量評価に関する研究小委員会(348委員会(第2期))委員会報告書およびシンポジウム講演概要集	∕平30.12 /	∕USB	
×	【122】:コンクリート構造物の養生効果の定量的評価と各種養生技術に関する研究小委員会(356委員会)成果報告書および	/令元.9.13	∕A4·244n	/3000円
/• \	シンポジウム論文集	,		1

ご注意 当該出版物の内容を複写したり他の出版物へ転載するような場合は、必ず土木学会の許可を得て下さい。

コンクリート技術シリーズ No.123 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・ 施工技術研究小委員会(358委員会)委員会報告書

定価(3,000円+税)

2020年5月18日 第1版・第1刷発行

編 集 者 〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目外濠公園内

土木学会 コンクリート委員会 締固めを必要とする高流動コンクリートの 配合設計・施工技術研究小委員会 (358委員会) 委員長 加 藤 佳 孝

発 行 者 〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目外濠公園内

公益社団法人 土木学会 塚 田 幸 広

発 行 所 公益社団法人 土 木 学 会

〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目外濠公園内

電話 03-3355-3441番 (代表) FAX. 03-5379-0125 振替 · 00140-0-763225番

ISBN 978-4-8106-1030-7 印刷:(株) 大應