

土木学会平成28年度全国大会
研究討論会 研-21 資料

困った時の複合構造物 —施工性の改善と今後の課題—

座長	奥井 義昭	埼玉大学
話題提供者	伊原 茂	首都高速道路(株)
	街道 浩	川田工業(株)
	加藤 敏明	(株)大林組
	古市 耕輔	鹿島建設(株)

日時	平成28年9月9日(金) 13:00~15:00
場所	東北大学川内北キャンパス
教室	B棟 B103 教室 (会場名 CS-3)

複合構造委員会

土木学会平成28年度全国大会
複合構造委員会・研究討論会

困った時の複合構造物 —施工性の改善と今後の課題—

趣旨説明

座 長：複合構造委員会委員長 奥井 義昭（埼玉大学）
企 画：複合構造委員会幹事 齋藤 隆（大林組）

東北地方太平洋地震から5年を経過し、東北地方では交通網や住居環境を再整備するべく復興が進められてきている。また、東京や大阪などの都市部では、高度成長期に構築された構造物の供用が50年を超え始め更新事業がスタートしている。これらの工事においては、急速施工が必要であったり狭隘空間での施工が必要であったりと、一般的な施工方法を前提とした計画では対応できず、何らかの施工上の制約をクリアすることが前提条件となることが殆どである。このような場合には、過去の研究討論会でも議論を重ねてきた通り、複合構造物が様々な施工上の問題を解決する有効な手段となることがあり、実際に採用された事例が散見される。

本討論会では、議論に先立ち、複合構造物による課題解決事例、および施工性の改善効果や適用上の課題に関する話題、さらに、2014年制定複合構造標準示方書〔施工編〕の改訂時になされた議論についてご紹介を頂く。これらを通して、コスト縮減や工期縮減など、複合構造物の施工の合理化を実現するために必要となる課題を抽出し、将来的な複合標準示方書・施工編の改訂に資する意見を得るべく議論を行う。本研究討論会における議論により、複合構造物が様々な施工上の問題解決の糸口となることを期待する。

話題提供者

伊原 茂 首都高速道路(株)
街道 浩 川田工業(株)
加藤 敏明 (株)大林組
古市 耕輔 鹿島建設(株)

狭隘なスペースにも対応できる鋼製橋脚定着構造の開発

首都高速道路(株) 東京西局プロジェクト本部
更新事業部長 伊原 茂

1. はじめに

首都高速中央環状線のうち供用後約38年が経過する板橋・熊野町ジャンクション間には、ラケット型橋脚で支持されたダブルデッキ高架橋が位置している。これまでラケット型橋脚を有するダブルデッキ高架橋の車道拡幅は側柱が支障となるため、供用下における施工は極めて困難とされてきた。サンドイッチ工法とは、**図-1**に示すとおり供用下において既設橋脚の前後に鋼製橋脚を新設し、支点を受替えた後に既設橋脚を撤去する施工法であり、そのためには新設鋼製橋脚を支持するフーチング基礎を新たに構築する必要がある。都市高速道路高架橋の場合、鋼製橋脚とフーチングの定着構造として、アンカーフレーム方式が従来使われている。しかし、既設高架橋の基礎周辺には街路、地下鉄・共同溝などの地下構造物、地下埋設物等があるため、新たに基礎の設置スペースを確保することは困難である。また、上部構造がダブルデッキで橋脚が街路中央分離帯に位置する1本柱のラケット型橋脚の場合、橋軸直角方向の断面力の方が橋軸方向に比べて大きいことが多いが、橋軸直角方向には新設橋脚を構築できるスペースが十分でない。その結果、既設橋脚の橋軸方向の前後しか余地はないと考えられる。これに加えて、供用下の施工となるため、既設高架橋の基礎の耐荷性能を保持し、有効活用することを考えなければならない。さらに、街路の最小土被りを確保する必要があるが、従来のアンカーフレーム方式では高さ制限から設置できない。そこで、既設フーチング上でアンカーフレームに替わる極力高さを低くできる定着構造が課題である。

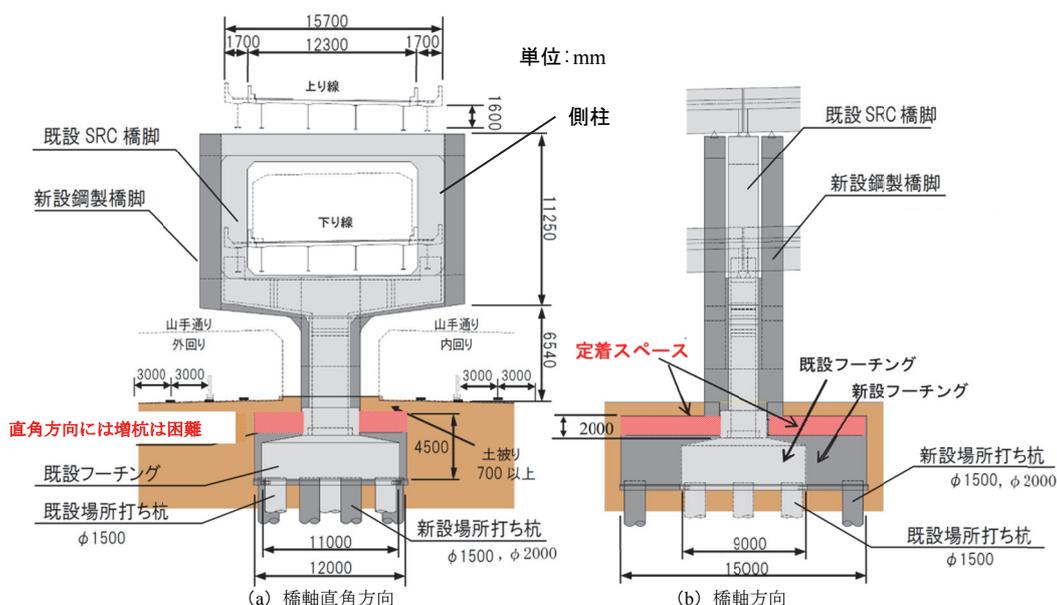


図-1 サンドイッチ工法における鋼製橋脚定着部の課題

2. 鋼製格子部材を埋設した合成構造フーチングの開発

前述の課題である狭隘なスペースにおける新設鋼製橋脚の定着構造として、新設鋼製橋脚基部と剛結した高さを低くできる鋼製格子部材を新設フーチングに埋設し、既設フーチングと一体化させた図-2～図-4に示す合成構造フーチングを開発した。都市高速道路高架橋は、幹線街路と平行した位置関係にある場合が多く、既設基礎に対して橋軸直角方向に増杭、フーチング拡幅を行うことは、街路下を掘削することとなり、街路交通に及ぼす影響が大きいため困難である。よって、橋軸方向に増杭・フーチング拡幅を行うのが実状である。その結果、合成構造フーチングは橋軸方向に長い形状となり、鋼製格子部材のフーチング端部までの定着長および新設杭の有無により、橋軸方向と橋軸直角方向で耐荷機構が異なる性状になる。合成構造フーチングの目標とする要求性能は、補修・補強が困難なことから、「レベル2地震動において構造部材としての力学的特性が弾性域を超えない限界の状態以内である。」とした。

橋脚からの曲げモーメントおよび軸力は、鋼製橋脚基部と剛結した鋼製格子部材のウェブ・上下フランジを取り囲むコンクリートの支圧によりフーチングに伝達する。一般的に、複合構造では、鋼とコンクリートの接合面におけるずれによる全体挙動への影響は大きく、近年では、スタッドや孔あき鋼板ジベル（PBL）がずれ止めに使用されている。しかし、本構造では、ずれ止め付近のコンクリート充填性を考慮して、ずれ止めを適用しないこととし、極力、支圧面積を大きく確保できるI型断面の鋼製部材を格子状に組んだものを新設フーチング部に設置し、コンクリートを打設して埋設することにより、鋼製格子部材が鉄筋コンクリート構造により拘束されるものとした。この新しく考案した合成構造フーチングの実用化に向けて、実構造物の1/5スケールの試験体を用いて、耐荷機構の異なる橋軸方向および橋軸直角方向のレベル2地震動相当荷重までの静的な正負交番載荷実験、それ以降の片側単調載荷実験および3次元非線形FEM解析を行い、その耐荷性能および破壊進展過程の検証を行った。以下に、その結果を図-5～図-10、表-1、表-2に示し要約する^{1),2)}。

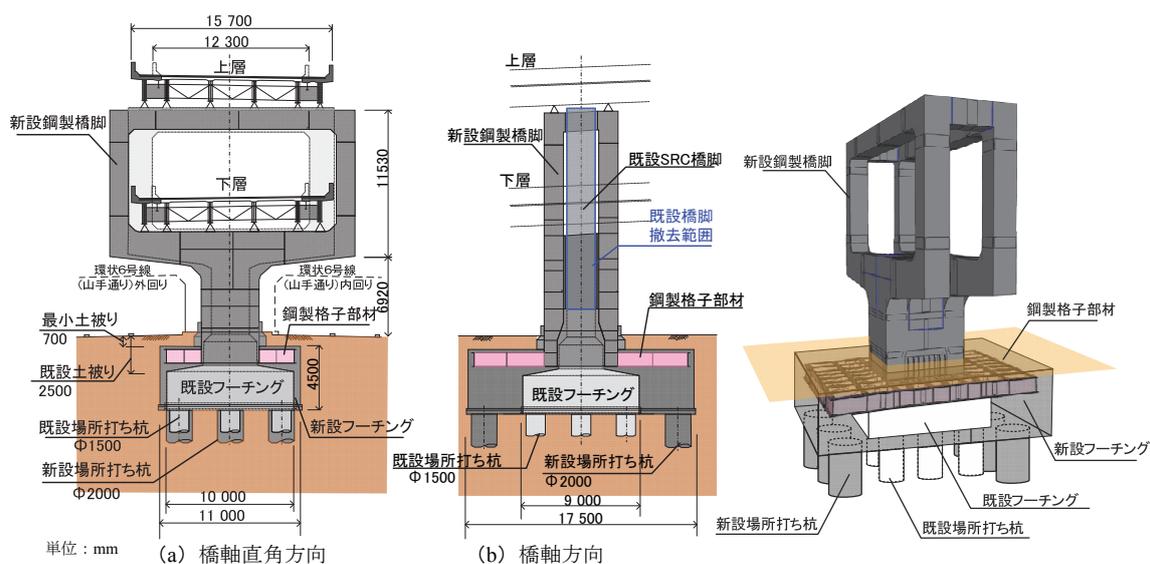


図-2 合成構造フーチング

図-3 既設橋脚撤去後の完成概要図

- 1) レベル2地震動相当荷重までの正負交番载荷実験では、橋軸方向・橋軸直角方向ともに残留変位がわずかでほぼ弾性挙動をしており、目標とした要求性能を満足させることができた。
- 2) 実験における最大荷重は、橋軸方向载荷レベル2地震動相当荷重の約3.5倍、橋軸直角方向载荷実験ではレベル2地震動相当荷重の約2.0倍であった。
- 3) 橋軸方向・橋軸直角方向载荷実験では各構成要素の初降伏が遷移的に生じた後に、すぐに構造が不安定にならず最大荷重まで到達したことから、リダンダンシーを有していた。

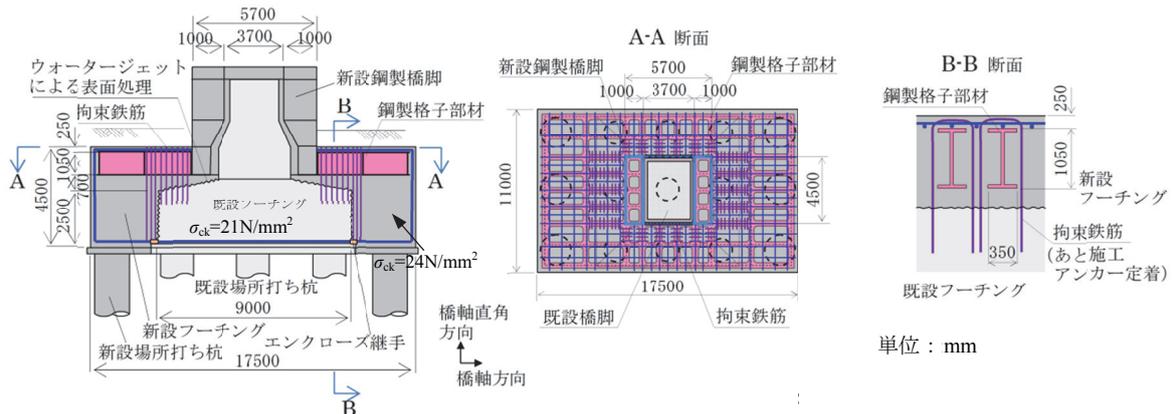


図-4 合成構造フーチング概要図

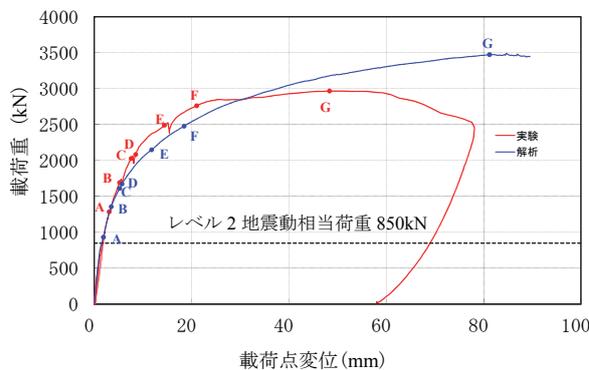


図-5 橋軸方向载荷時の荷重-変位関係

表-1 各構成要素の初降伏荷重と変位

初降伏箇所		荷重(kN)/変位(mm)	
		実験	解析
A	既設部拘束鉄筋(引抜側)	1,286/3.1	933/1.9
B	上側鉄筋(引抜側)	1,692/5.2	1,357/3.5
C	上フランジ(引抜側)	2,028/7.6	1,611/5.2
D	新設部拘束鉄筋(引抜側)	2,083/8.5	1,675/5.7
E	下フランジ(引抜側)	2,491/14.4	2,149/11.8
F	下フランジ(押込側)	2,762/21.1	2,486/18.6
G	最大荷重	2,967/48.3	3,473/81.2

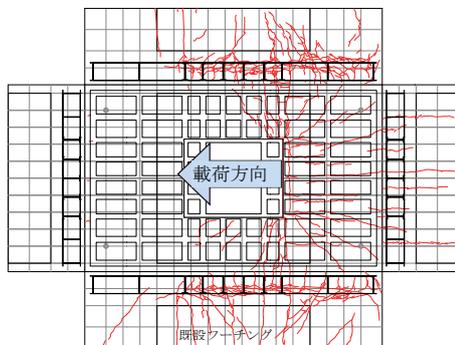


図-6 ひび割れ進展状況(実験, 最大荷重=2,967kN)

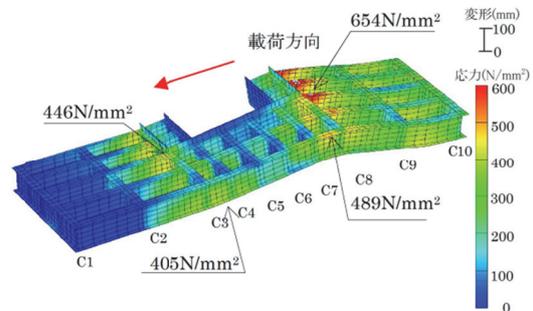


図-7 鋼製格子部材の橋軸方向応力コンター図および変形図(解析, 最大荷重=3,473kN)

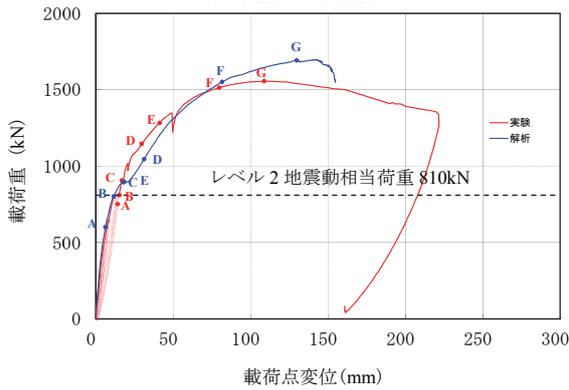


図-8 橋軸直角方向載荷時の荷重-変位関係

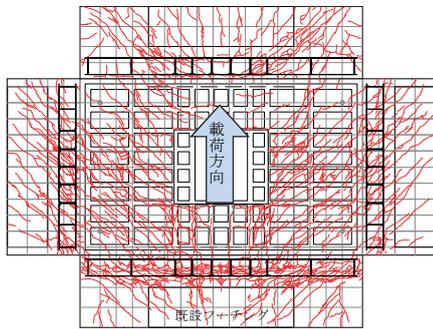


図-9 ひび割れ進展状況（実験，最大荷重=1,557kN）

表-2 各構成要素の初降伏荷重と変位

初降伏箇所		荷重(kN)/変位 (mm)	
		実験	解析
A	既設部拘束鉄筋(引抜側)	757/14.2	601/6.3
B	上側鉄筋(引抜側)	811/15.1	802/11.6
C	上フランジ(引抜側)	906/16.8	896/18.0
D	下フランジ(押込側)	1,146/29.6	1046/31.3
E	新設部拘束鉄筋(引抜側)	1,283/41.3	898/18.4
F	下フランジ(引抜側)	1,514/79.7	1552/81.7
G	最大荷重	1,557/108.8	1693/129.8

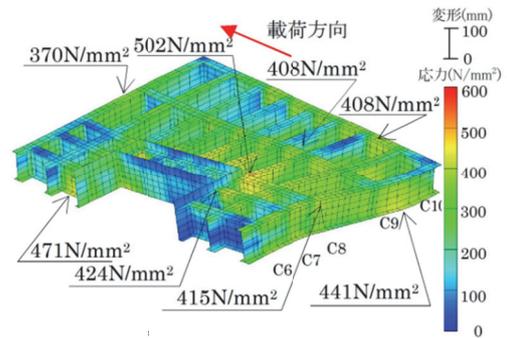


図-10 鋼製格子部材の橋軸直角方向応力コンター図および変形図（解析，最大荷重=1,693kN）

3. 新設構造物への適用

写真-1は、板橋・熊野町ジャンクション間の車道拡幅工事に適用した事例である。開発した鋼製格子部材はフーチング高さを低くできることから、図-11に示すように、土被りの確保、地下構造物との近接等の現場制約条件下においても鋼製橋脚の定着が可能となり、新設構造物に幅広く適用できると考えられる。



写真-1 鋼製格子部材の設置完了状況

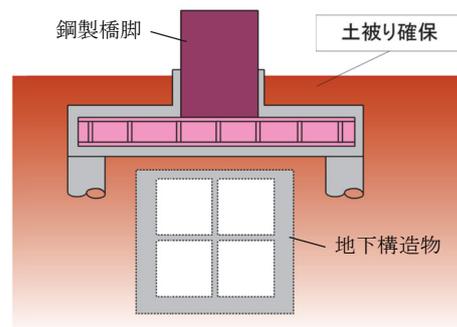


図-11 新設構造物への適用

【参考文献】

- 1) 伊原茂，中野博文，齋藤隆，天野寿信，斉藤成彦：アンカーフレーム代替機能を有する合成構造フーチングの耐荷性能に関する実験的研究，土木学会論文集，Vol. 71，No.1，pp.55-71，2015.2.
- 2) 伊原茂：既設構造物を活用した都市高速道路高架橋の耐震性向上に関する研究，筑波大学学位論文，pp.81-118，2016.3

困ったときの複合構造物 ～施工性の改善と今後の課題～

【鋼橋からのアプローチ】

2016年 9月 9日

川田工業株式会社 街道 浩

1

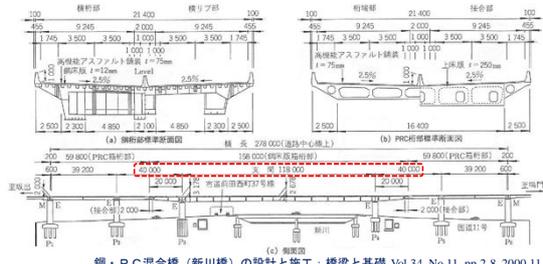
発表内容

1. 支間割に困ったとき⇒混合橋
 - ・課題：コンクリートの充填性の確認
2. 架設工法に困ったとき⇒複合ラーメン橋
 - ・課題：剛結部のコンクリート施工
3. 経済性に困ったとき⇒合成桁橋
 - ・課題：ひび割れ防止対策
4. 現場工期に困ったとき⇒合成床版
 - ・課題：鋼板内部の点検方法

2

1. 支間割に困ったとき⇒混合橋①

- ・隣接する支間長が大きく異なる
- ・橋脚、伸縮装置を減らしたい
- ・長い支間：鋼桁、短い支間：PC桁



3

1. 支間割に困ったとき⇒混合橋②

四国横断自動車道 新川橋

支間割：39.2+40.0+118.0+40.0+39.2(m)



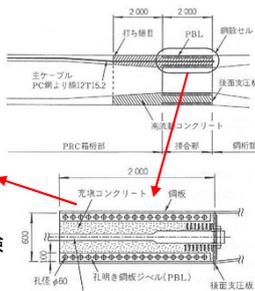
4

1. 支間割に困ったとき⇒混合橋③

接合部のコンクリートの充填性確認試験



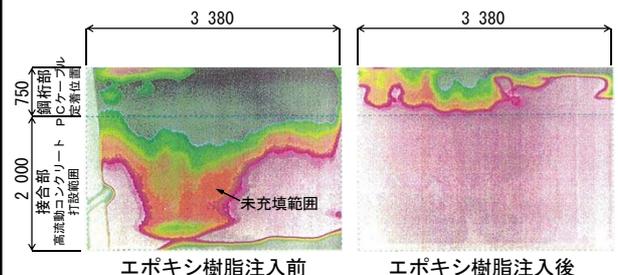
高流動コンクリート充填確認試験



鋼・PC混合橋(新川橋)の設計と施工: 橋梁と基礎, Vol.34, No.11, pp.2-8, 2000.11

1. 支間割に困ったとき⇒混合橋④

赤外線サーモグラフィによる未充填部の確認



6

1. 支間割に困ったとき⇒混合橋⑤

類似の接合部を有する橋梁形式

多々羅大橋（斜張橋）



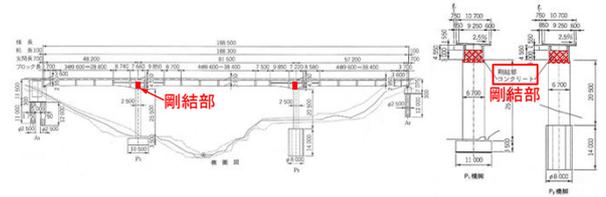
トウインクル（エクストラロード橋）



7

2. 架設工法に困ったとき⇒複合ラーメン橋①

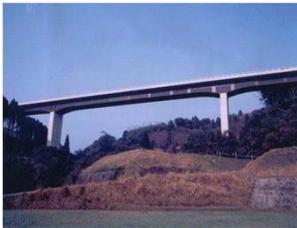
- ・山岳部や渡河部などでベントの設置が困難
- ・耐震性を向上したい
- ・支承を省略したい



今別府川橋の設計・施工：橋梁と基礎 Vol.34, No.12, pp.2-9, 2000.12 8

2. 架設工法に困ったとき⇒複合ラーメン橋②

東九州自動車道 今別府川橋
支間割：48.2+81.5+57.2(m)

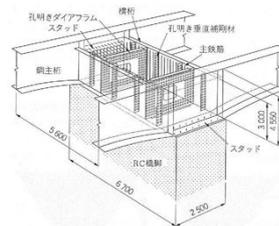


移動クレーンによる張出し架設

今別府川橋の設計・施工：橋梁と基礎 Vol.34, No.12, pp.2-9, 2000.12 9

2. 架設工法に困ったとき⇒複合ラーメン橋③

剛結部のコンクリート施工



コンクリート打設状況

剛結部の構造

今別府川橋の設計・施工：橋梁と基礎 Vol.34, No.12, pp.2-9, 2000.12 10

2. 架設工法に困ったとき⇒複合ラーメン橋④

圏央道 利根川橋
支間割：88.75+5×90.0+88.95(m)



剛結部の構造

クレーン付き台船による張出し架設

圏央道 利根川橋の製作と施工：橋梁と基礎 Vol. 47, No.9, pp.19-24, 2013.9 11

2. 架設工法に困ったとき⇒複合ラーメン橋⑤

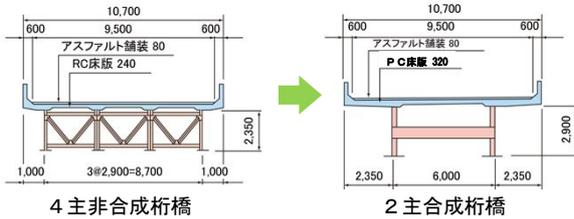
温度応力解析とひび割れ指数による照査例

施工タイプ (表中の1、2はひび割れ発生レベル)	ひび割れ発生 率(ひび割れ発生率)	ひび割れ発生 の状況
Case1 C1(1)打設 → C1(2)打設 (1/2層-1)	1/2層裏面 0.58	
	1/2層内面 1.10	
	2/2層内面 0.57	
Case2 C1(1)打設 → C1(2)打設 (1/2層-2)	1/2層裏面 0.68	
	1/2層内面 0.89	
	2/2層内面 1.30	
Case3 C1(1)打設 → C1(2)打設 (1/2層-3)	1/2層裏面 1.13	
	1/2層内面 0.72	
	2/2層内面 0.58	

12

3. 経済性に困ったとき⇒合成桁橋①

構造の合理化、省力化、耐久性の向上



4主非合成桁橋

2主合成桁橋

対傾構から横桁構造へ
材片数の削減・形鋼の使用
横構は省略

13

3. 経済性に困ったとき⇒合成桁橋②

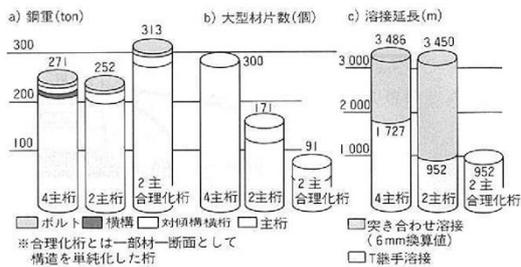
北海道縦貫自動車道 ホロナイ川橋
支間割：53.0+53.0(m)



14

3. 経済性に困ったとき⇒合成桁橋③

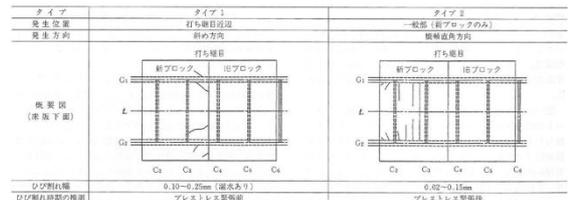
鋼重：約15%増加、突合せ溶接：約80ヶ所減



15

3. 経済性に困ったとき⇒合成桁橋④

P C床版施工時のひび割れ発生



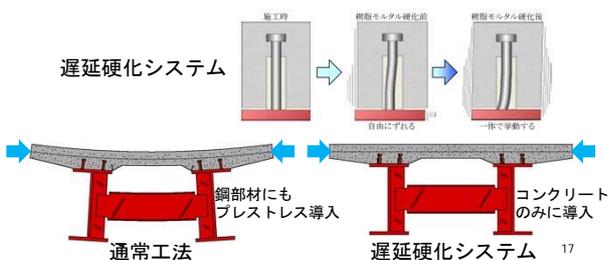
プレストレス緊張前 プレストレス緊張後

長支間P C床版における温度応力に関する考察：橋梁と基礎、Vol.36, No.9, pp.36-45, 2002.9 16

3. 経済性に困ったとき⇒合成桁橋⑤

ひび割れ防止対策

- ・ 温度応力の低減、養生方法、膨張材の使用
- ・ 遅延硬化システムの適用（横桁取付け部）



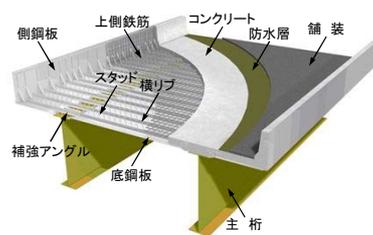
通常工法

遅延硬化システム

17

4. 現場工期に困ったとき⇒合成床版①

鋼・コンクリート合成床版の概念図



ロビンソン型合成床版

18

4. 現場工期に困ったとき⇒合成床版②

施工日数の比較（試算条件：3径間連続鉄桁橋）



19

4. 現場工期に困ったとき⇒合成床版③

底鋼板を活用した工期短縮事例



近畿自動車道 紀勢大橋
送出し架設

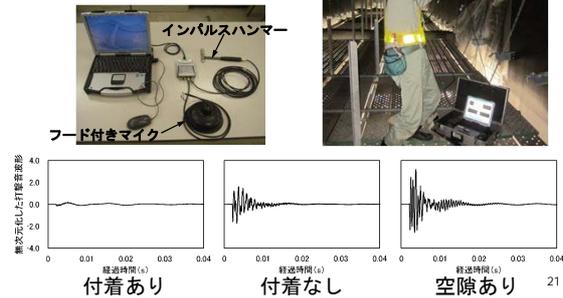
阪神高速道路 下山口工区
大ブロック架設

20

4. 現場工期に困ったとき⇒合成床版④

底鋼板内部の点検方法

・打音法による判定

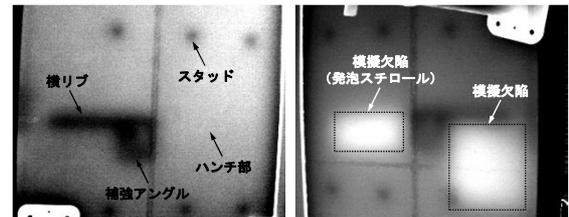


21

4. 現場工期に困ったとき⇒合成床版⑤

底鋼板内部の点検方法

・赤外線サーモグラフィによる温度分布計測



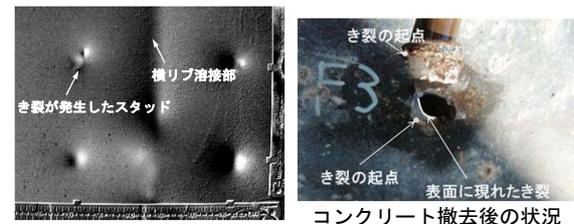
健全な試験体 模擬欠陥を配置した試験体
コンクリートの充填性の確認試験

22

4. 現場工期に困ったとき⇒合成床版⑥

底鋼板内部の点検方法

・赤外線サーモグラフィによる熱弾性応力計測



スタッドの疲労損傷の検出

スタッド・横リブの応力性状の確認

23

まとめ

<<複合構造物の今後の継続的課題>>

- ・コンクリートの充填確認
- ・ひび割れの防止対策
- ・鋼部材（コンクリート）内部の点検方法

24

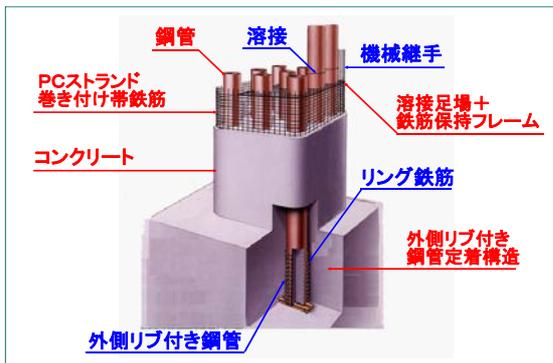
複合構造は施工性向上の切り札となりうるのか

2016年9月9日
株式会社大林組 加藤敏明

施工性向上の要点

- ① 構造と施工の融合 適材適所 → 鋼管・コンクリート複合構造橋脚を例に
- ② 接合構造の工夫 → 鋼からコンクリートへの力の伝達をよく理解する

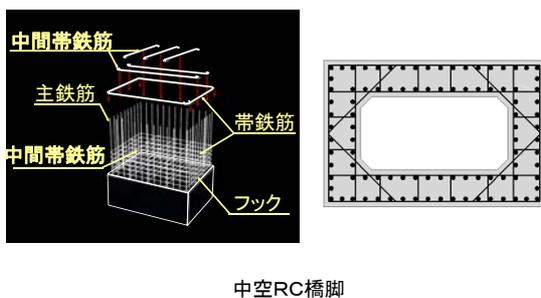
鋼管・コンクリート複合構造橋脚



施工例:新東名 芝川高架橋



中空RC橋脚の施工上課題



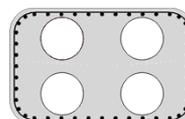
構造と施工の融合

構造の特徴

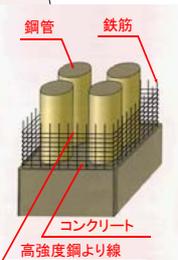
- ・鋼管・コンクリート複合構造
- ・大口径鋼管
- ・PCストランド帯鉄筋

施工の特徴

- ・コンクリート充填性良好
- ・鉄筋組立の簡素化
- ・型枠の簡素化



鋼管・コンクリート複合構造橋脚



省力化・急速施工



施工の機械化



スリップフォーム
(昇降式型枠装置)

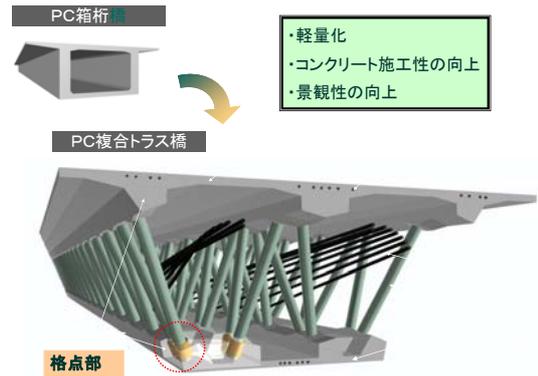
PCストランド巻き付け機

接合構造の工夫

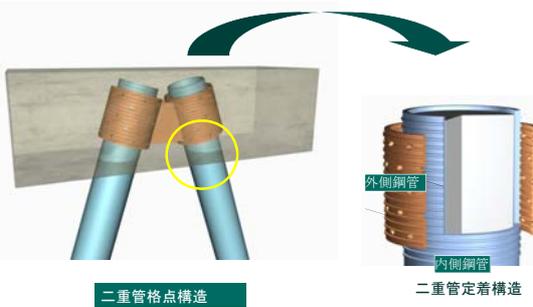
伝達応力度の大小に適合した定着、補強構造を採用する。

- 伝達応力度が小さい場合
外側リブ付鋼管+リング鉄筋補強
例) 鋼管・コンクリート複合構造橋脚定着部
- 伝達応力度が大きい場合
リブ付鋼管による二重管構造
例) 複合トラス橋格点部

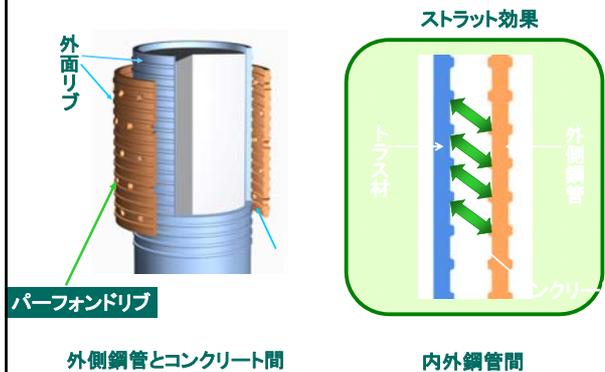
PC複合トラス橋



PC複合トラス橋の格点構造例

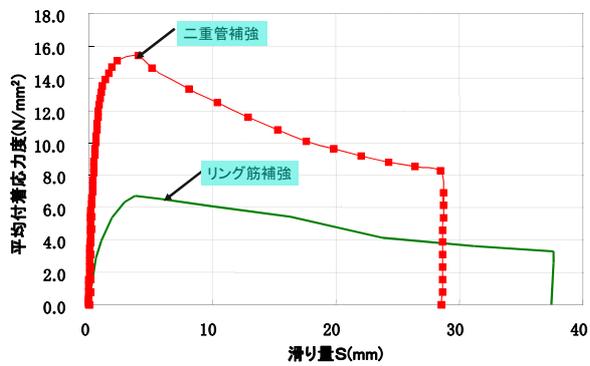


力の伝達機構

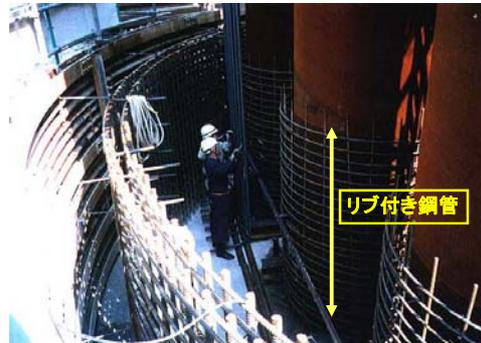


付着応力度とすべりの関係

平均付着応力度-内外鋼管相対変位

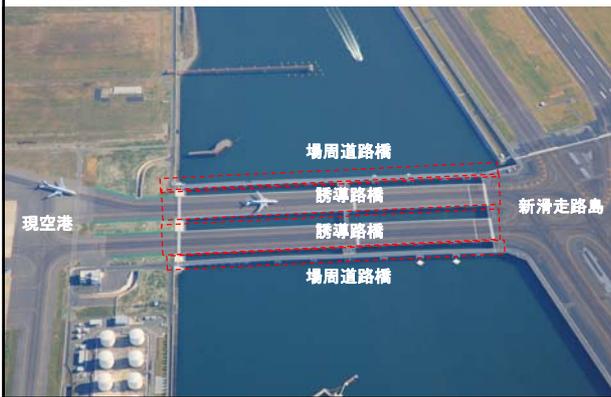


鋼管・コンクリート複合構造橋脚の定着部

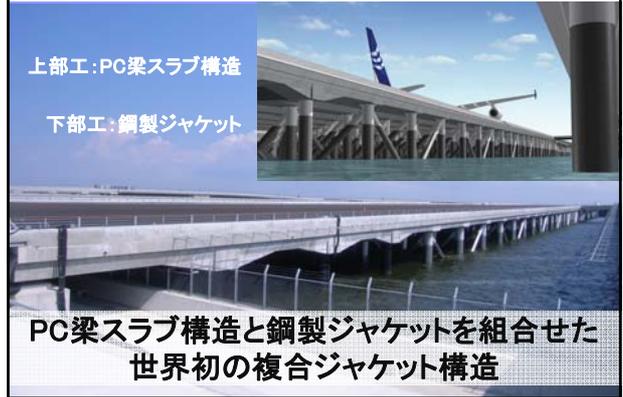


1-8

羽田空港D滑走路 連絡誘導路橋



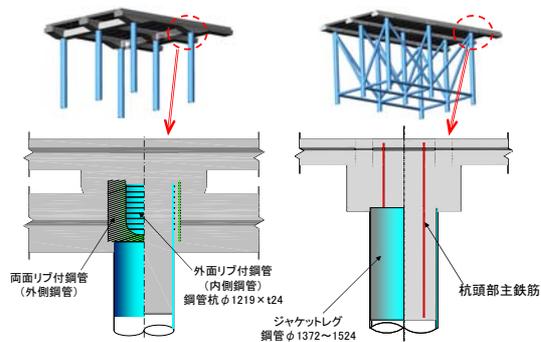
上部工: PC梁スラブ構造
下部工: 鋼製ジャケット



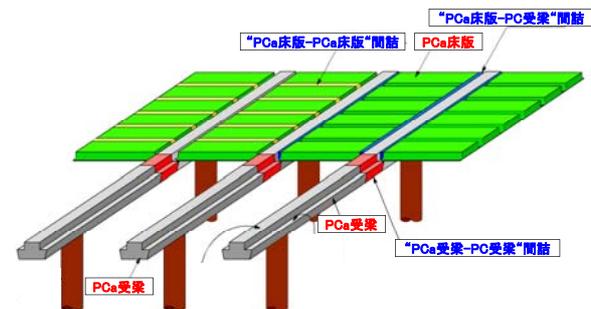
PC梁スラブ構造と鋼製ジャケットを組合せた
世界初の複合ジャケット構造

杭頭接合構造

直杭式杭構造部: リブ付き二重鋼管接合構造 ジャケット式杭構造部: 鉄筋コンクリート構造



部材のオールプレキャスト化による急速施工



大型ガーダーによるPCa部材架設



施工手順



まとめ

複合構造は、施工性向上の有力手段となりうる。実際に効果を出している事例もある。

- ① 材料の特性をよく理解し、施工性を向上させる構造計画、構造設計が必要である。
- ② 接合部の伝達力に応じた合理的な構造を適用しなければならない。そのためには、鋼材からコンクリートへの応力伝達あるいは破壊モードを試験などにより確認し、適切な補強を行うことが重要である。

複合構造標準示方書 2014 年度制定版〔施工編〕の制定にあたっての議論

鹿島建設株式会社 古市 耕輔

1. はじめに

土木学会の複合構造委員会では、複合構造標準示方書を 2009 年に制定し、その後も研究小委員会活動を通じて、複合構造に関する技術の高度化や基準化を進めてきた。そして、前回の示方書から 5 年後の改訂を目指して 2012 年 10 月に複合構造標準示方書小委員会(中島章典委員長)を発足した。前回の示方書では、設計を主体として記載がなされており、施工については合成部材編の中に、留意すべき項目についてのみ若干の記述がなされていた。今回 2014 年制定の示方書では、全体の枠組みを整理して、〔原則編〕、〔設計編〕、〔施工編〕、〔維持管理編〕の 4 編を編纂することとなった。

〔施工編〕については、前述の枠組みの中で新たに制定することとなったが、コンクリート標準示方書〔施工編〕特殊コンクリートの一項目として記載されていた「鋼コンクリート合成構造」が、2012 年版から記載されなくなったことへの対応も目的の一つとなっている。

〔施工編〕の制定にあたっては、上記の示方書小委員会内に施工編部会(島弘主査)を編成し、基本方針として、「複合構造物の設計がこの示方書〔設計編〕だけではなく、他の基準類で実施されている場合においても、施工段階においてはこの示方書が利用できる(工事共通仕様書に、施工はこの示方書によると記載されることを念頭に)ものとする」こととした。そのために、施工時に必要な事項をもれなく記載することとし、本来設計で配慮されるべき空気抜き孔や防水等についても、施工時に必要な事項については〔設計編〕と重複しても記載することとした。

また、施工管理や検査においては具体的な数値の明示が重要であり、その設定にあたっては、最新の研究成果や、他の施工指針類等の数値を調査し、比較検討する中で現在の技術レベルにおいて妥当と判断されるものを部会内で審議決定して記載している。

図-1 に〔施工編〕の目次構成を示す。

〔施工編〕は、標準編と仕様編の 2 編から構成されており、標準編では、施工にあたって配慮・実施すべき事項に関しての原則を示しており、仕様編では、各施工段階における具体の仕様について記載している。最初に部材の種類によらず共通なものについて、共通編としてまとめて記載し、その後に部材ごとに特徴的かつ留意すべき点について記載した。

今回はじめて施工編を制定するにあたり、委員会内で様々な議論があり、短期間にはすべてを解決するには至らず、課題として残されたものもある。ここではその内容を記載することで、今後、複合構造がより使われるために何をすべきかについて提示したい。

〔標準編〕

- 1 章 総 則
- 2 章 施工計画
- 3 章 材 料
- 4 章 施 工
- 5 章 検 査
- 6 章 記 録

〔仕様編〕

- I. 共通編
- II. 合成はり編
- III. 鋼板コンクリート合成版編
- IV. 鋼コンクリートサンドイッチ合成版編
- V. 鉄骨鉄筋コンクリート部材編
- VI. コンクリート充填鋼管部材編
- VII. FRP 部材編
- VIII. 異種部材接合部編

〔制定資料〕

図-1 〔施工編〕の目次構成

2. 施工にあたっての課題

一般的に、複合構造の適用にあたっては、構造の合理性によるコスト縮減や、施工性の向上、それらによる工期短縮などのメリットが存在する。このメリットを確実に発揮するためには適切な施工がなされる必要がある。このことを「標準編 1.2 施工の原則」に、適切な施工計画を立て、適切に品質を管理しながら施工し、施工の各段階と完成した構造物に対して必要な検査を行うことになっている。そして、「標準編 5章 検査」にあるように、検査ではあらかじめ定めた判定基準に基づいて合否を判断することとなるが、構造物ごとに求められる性能は異なるため、この値を一様に定める事、もしくは要求性能ごとに数値を明確に示すことが困難である。そこで、現状の仕様編では、既に多く施工されているものについてのみ、部材ごとにその標準的な値を示すにとどまっている。また、検査に用いる基準値が規定できたとしても、現実的にその値を適切な精度で取得・評価する手法が十分でないものが存在しているのが実状である。

3. 鋼部材の製作と架設

鋼部材の製作については、仕様編の共通編では、加工、接合は設計で要求される性能を有するように実施することとなっている。特に製品寸法の許容誤差(精度)については、「8章 検査 8.3.3 鋼部材の製作精度の確認」において、基本的に鋼構造の部材における寸法誤差と同様に規定しているのが現状である。鋼部材の出来形が直接構造物の最終形状に影響する、例えば合成桁や鋼コンクリート合成版などにおいてはこの値には合理性がある。また、架設の精度に関しても、施工の手順とその荷重(特にコンクリート)による変形などを考慮したうえで、鋼構造と同様に設定されている。一方、鉄骨鉄筋コンクリート部材のように、鋼材がコンクリートの中に埋設される充腹形部材の場合においては、かぶりなどが適切に確保されること、部材としての耐荷性能などに影響がない範囲であれば、鋼部材としての寸法精度や架設節度は鋼構造のそれよりも緩和できる可能性があり、より複合構造のメリットを得やすくなる可能性がある。この点については、示方書委員会でも議論されたが、現状ではどこまで緩和できるか定量的に示せないということで、「新たな知見により必要精度が明らかとなった場合は、その採用を妨げない。」という表現にとどめている。

また、異なる視点ではあるが、仮設の土留め壁の芯材(鋼材)と内部に構築する鉄筋コンクリート部材を一体化する合成土留め壁は構造的には合成はりとして位置づけられるが、仮設土留めの芯材建込みの施工精度(架設精度)には施工方法により実現可能な範囲が存在する。このような場合には、施工は可能な範囲の架設精度で管理を行い、設計においてこの施工誤差を許容するように最終部材の性能を評価することが考えられる。同様に、既設構造物を複合構造化することで、補修・補強する場合なども、鋼材の製作精度や架設精度を設計に考慮することが必要となってくる。このように、鋼材の製作および架設に関する許容精度に関しては、検討の余地が残されているのが現状である。

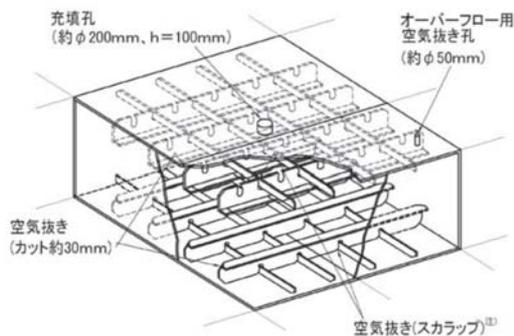
4. 鋼部材の防錆・防食

仕様編の「共通編 4章 鋼部材の製作」の中の4.3に防錆・防食が記載されている。鋼材が最終的に露出する部分については鋼構造の部材と同様に、適切な仕様の材料、施工方法により管理しながら防錆・防食を実施することとなっている。一方、最終構造系としてコンクリートとの接触面となる鋼材表面については、鋼部材の製作からコンクリート打込みまでの期間や置かれる状態に応じて防錆・防食の必要性や方法を検討することとなっている。これについては、「5.6 鋼材とコンクリートとの接触面の処理」に具体の記載がなされており、1)全ての設計で付着が考慮されているわけではないこと、2)積極的に付

着を確保する方法としては砂付け加工等があること、3)防錆のためのエッチングプライマーや無機ジンクは除去しなくても良いことが示されている。ただし、2)と3)に関する、鋼とコンクリートの接触面の付着に関しての評価が十分に行われているとはいえないのが現状である。次のコンクリート施工にも関係するが、複合構造においては、鋼とコンクリートはその界面で一体化していることが基本的な要件となっている。そのことから、複合構造の性能を正しく評価し、品質を保証するためには、今後、界面の付着について適切な評価方法(特に検査で確認できる)の提案が強く望まれている。

5. コンクリートの施工

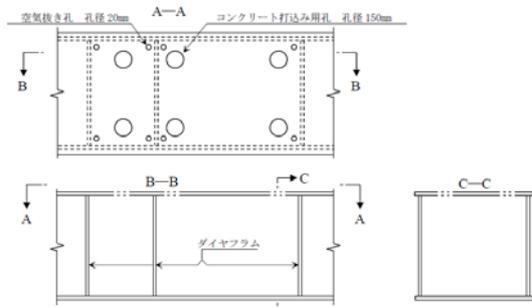
コンクリートの施工に関しては、「標準編 4.3 コンクリートの施工」において、鋼材とコンクリートの間に充填不良が生じないように入念に行うこと、という基本理念が記載されている。一方、仕様編においては、共通編の6.2に鋼板に囲まれた空間へのコンクリートの打込み、6.3に鋼材の周囲へのコンクリートの打込みについての基本が記載されている。また、図-2に示すように、各部材編の中の合成はり編では鋼フランジの下面には気泡やブリーディングの影響により未充填箇所が発生しやすいため、コンクリートの配合検討と共に、フランジに充填確認孔を設けることが、鋼コンクリートサンドイッチ合成版編においては、具体的にコンクリート打込み用の充填孔(φ200程度)、空気抜き孔(粗骨材寸法の1.5倍程度)を設けることとしている。さらに、鉄骨鉄筋コンクリート部材編では、コンクリート打込み用の充填孔やパイプレータ挿入用の孔(ex. φ150)および空気抜き孔(ex. φ20)を設けることが示され、コンクリート充填鋼管部材編でも、具体は示されていないがコンクリート充填孔と空気抜き孔を設ける事が記載されている。このことから、複合構造部材において、鋼とコンクリートの一体性、すなわち、鋼とコンクリートの界面に空隙が存在することは基本的に許容していないことになる。



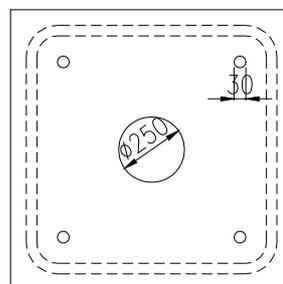
a) 鋼コンクリートサンドイッチ部材の例



b) 鋼板コンクリート合成版の例



c) 鉄骨鉄筋コンクリート部材の例

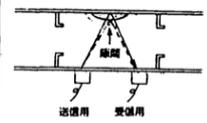
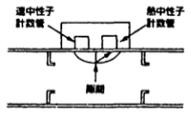
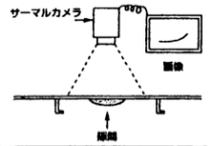
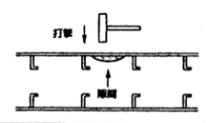


d) コンクリート充填鋼管部材(ダイヤフラム)の例

図-2 コンクリート充填孔と空気抜き孔の例

一方、実際の施工において空隙を完全になくすことは困難であり、検査に基づいて必要箇所は補修することになっている。その検査手法については、表-1 に示す赤外線法、打音法、超音波法、RI 法(ラジオアイソトープ法)の他、振動デバイス法、弾性スイープ波法等が標準示方書に示されているが、検出範囲や精度および操作性など一長一短であり、今後、精度が高く簡便な方法が開発されることが、複合構造物の品質確保の点から期待される。

表-1 充填確認試験方法の一覧

測定方法	超音波反射法	放射線法		赤外線サーモグラフィ法	打音法
測定原理	鋼板裏面(空隙存在面の反対側)に送・受信用探触子を設置し、入射させた超音波が受信用探触子に到達するまでの時間およびその量を検知して判断する。 	RI (中性子) 法 鋼板に設置した測定器の中性子あるいはγ線源から放射された中性子がコンクリートに衝突・散乱して、再び測定器に戻ってくる量(計数)を測定し、判断する。 	RI (γ線) 法	コンクリートと隙間で熱伝導度が異なることから、発生する温度差を赤外線放射量からサーマルビデオシステムにより検知し、判断する。 	人がテストハンマーにより、鋼板表面に打撃を与えて、その音の差異を耳で聞き分けることにより判断する。なお今回は、オシロスコープでも観測し、健全部と空隙部との周期の差を測定した。 
測定状況	分布状況は明瞭に判らなかった。 ×	測定間隔により差があるが、本測定では良好な結果は、得られなかった。 △	中性子法より測定間隔が狭かったため、ある程度の分布は把握できた。 △	検査時期が限定されるが、最も精度が良い。 ○	空隙の有無は判断できるため、分布状況の把握は可能である。 △
結果	空隙深さ 測定値の誤差は、-30~30mm程度となった。 ×	健全部の精度は良かったが、空隙部の測定誤差は-4mm程度であった。 △	空隙部の測定精度は、最も良く1mm程度であった。 ○	浅い、深いなどの相対的評価のみ。 △	空隙深さと測定結果の相関は不明である。 ×
解析時間	短い	短い	短い	長い	最も短い
作業性	×	△	△	×	○
経済性	△	△	△	×	○

接触面の大きさ、位置、ジベルの配置等にも影響を受けると考えられるが、もし部材としての性能が確保されるために許容される空隙の大きさやその分布、またその厚さなどに関する基準値を明確にすることができれば、構造物の品質保証や補修の要否に関する的確な判断が可能となる。さらにこれが明確になれば、それを保証するための部材形状や使用するコンクリート材料の施工性能に応じた、標準的な充填孔や空気抜き孔の大きさとその配置間隔の規定が可能となる。すでに、鋼コンクリートサンドイッチ合成版編に未充填部のある部材の性能評価に関する先駆的な事例(図-3 参照)も示されてはいるが、まだ限定的であることから、今後ますますこのような検討がなされることが望まれている。

6. おわりに

現在、複合構造標準示方書 [施工編] 2019 年度版の改定に向けて、複合構造委員会内に委員会が立ち上がり活動を始めようとしている。ここで取り上げたいいくつかの課題について、今後、事例の収集・整理とその分析、および実験的な検討がなされ、標準示方書の仕様編に具体的な数値や、それを確認する手法が示されることを期待している。

