

土木学会平成 22 年度全国大会  
研究討論会 研 - 20 資料

## 新形式複合構造物のその後

座 長	横田 弘	北海道大学 (複合構造委員会委員長)
話題提供者	大西 弘志	大阪大学大学院
	池田 学	(財)鉄道総合技術研究所
	寺田 典生	(株)NEXCO 総研
	三田村 浩	(独)土木研究所寒地土木研究所

日 時	平成 22 年 9 月 3 日 (金) 12 : 40 ~ 14 : 40
場 所	北海道大学 札幌キャンパス
教 室	B12

### 複合構造委員会

## 新形式複合構造物のその後

北海道大学（複合構造委員会委員長） フェロー 横田 弘

### 1. はじめに

鋼とコンクリートによる複合構造物は、最近の15年ほどの間に質・量ともに著しく発展し、新しい構造形式が多く開発され実用化されてきた。これは、土木学会複合構造委員会の前身である鋼・コンクリート合成構造連合小委員会が設置された1994年とほぼ時期を同じとしている。この背景として、公共工事におけるコスト縮減の要請、従来より厳しい条件下にある施工条件への対応、1995年兵庫県南部地震以降の大規模地震に対する耐震性能の確保、景観性のニーズの高まりなどがあげられる。同時に、設計・施工の基準化も進められ、土木学会でも昨年に複合構造標準示方書を刊行している。

このようにして生まれた新しい形式の複合構造物を、おおむね10年程度が経過したこの時期に検証してみることは、今後の複合構造物のさらなる発展のために必要である。もし複合構造物に共通した特有の変状現象が見られるのであれば、構造物の長寿命化を達成する観点からも、対応方策を確立しなければならない。また、その成果をこれから制定する設計・施工・維持管理の指針類に取り入れることが求められる。

このようなことから、本研究討論会では、「新形式複合構造物のその後」と題して、複合構造物現状を概観して現状評価を行うとともに、上記の観点から取り組むべき課題について議論をしていきたい。

### 2. 複合構造物の現状評価

新形式複合構造物も含めて複合構造（合成構造）形式が採用された既設構造物は、合成床版のコンクリート部分の疲労損傷を除いて、一部軽微な変状が生じた事例はあるものの、外力による不具合は報告されていない。一方、耐久性の観点からは、コンクリート中に埋め込まれた鋼部材に腐食が発生し、部材の破断に至ったような問題が報告されている。

両者に共通する原因の一つが「水」である。複合構造物では、防水あるいは排水に特に注意することが信頼性の向上に不可欠である。これらの問題については、構造上の配慮やシーリング材の付与等の配慮がなされ始めてきており、今後はこのような問題も徐々に減っていくことが期待される。

複合構造物の維持管理は、その方法が確立されておらず、鋼部分は鋼構造物、コンクリート部分はコンクリート構造物の維持管理方法を適用して行っている。前述のように、複合構造物では、鋼とコンクリートの結合面における鋼材の腐食が懸念されるので、耐久性向上に着目した設計・施工の手法および維持管理の手法を確立することが求められている。

### 3. おわりに

新形式に加えて従来形式の複合構造物の供用年数が増加することで、今後新たな問題が生じる可能性もないとはいえない。しかし、現時点では「水対策」を基本として、複合構造の信頼性をより向上させるための研究開発が急務である。また、最近では、FRP等の新材料を用いた複合化などの新しい複合技術の開発が活発に行われているので、このような構造物に対しても、今後の評価を踏まえた取り組みも必要である。

土木学会複合構造委員会においてもさらにその責務を果たしていきたいと考えており、今後のご支援とご協力をお願いしたい。

## 複合構造における防水・排水

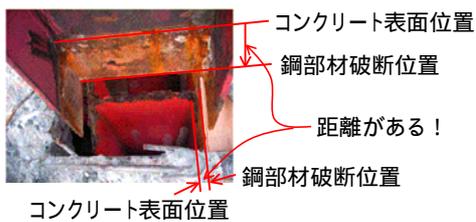
大阪大学大学院  
大西 弘志

### とある道路橋での部材破断



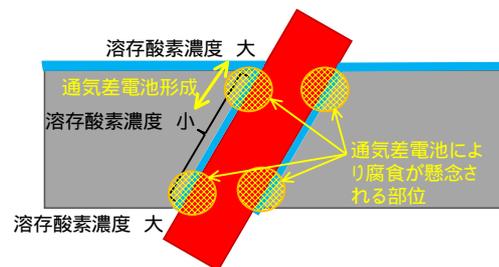
コンクリート中に埋め込まれた鋼部材に腐食が発生し、破断に至った例

### 腐食損傷の原因の推定

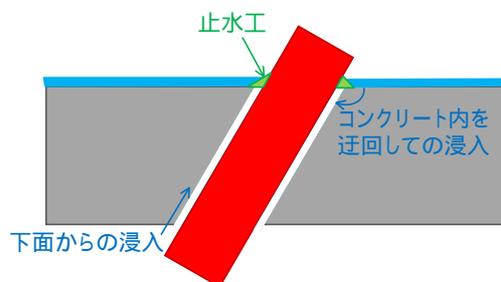


コンクリートと鋼部材の間に水が入ったことによりどのような状況が生じているのかを推定する必要がある。

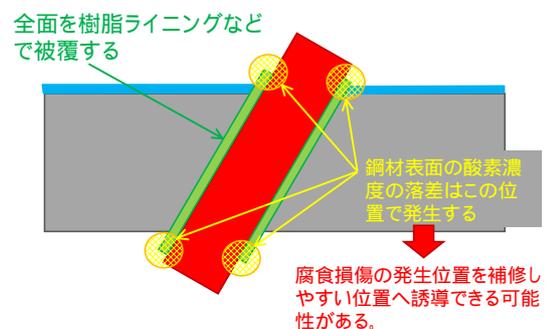
### 腐食損傷の原因の推定



### 腐食損傷に対する対策は？



### 腐食損傷に対する対策は？



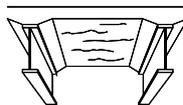
## 最近の床版損傷の事例



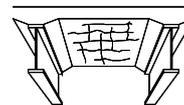
いまだに床版の陥没にまで至る事例が報告されている。



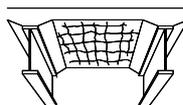
## RC床版の疲労劣化過程



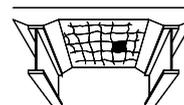
(a) 一方向ひび割れの発生



(b) 二方向ひび割れの発生

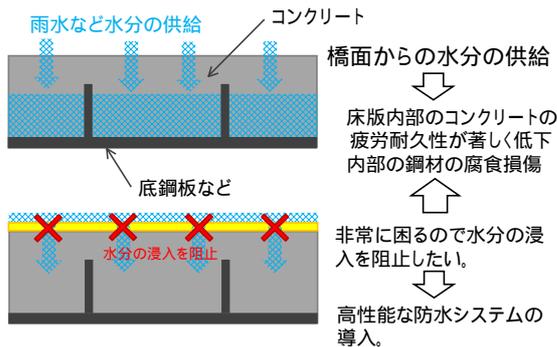


(c) ひび割れ網の発達と角落ちの発生

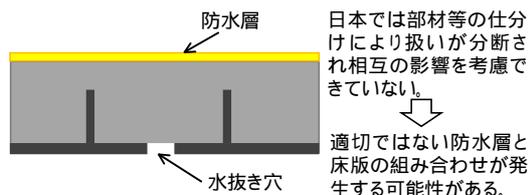


(d) 床版の陥没

## 合成床版では？



## 合成床版における水対策



合成床版では

- 1) 床版内部のコンクリートの状態が確認しづらい
- 2) 床版内部に配置された鋼材の腐食の有無を確認しづらいという問題がある。

内部の損傷メカニズムが明確でないため、性能が過剰になっている合成床版が存在する可能性がある。

## 複合構造物における水対策

Q. なぜ、複合構造物において水対策が必要なのか？

- A1 構造内部の鋼部材の腐食を防ぐため。  
A2 構造内部のコンクリートの予期しない損傷を防ぐため。  
(疲労による早期の破壊も含む)

どれも「見えない部位で損傷が発生すると困る(= 構造物の状態を適切に管理できないのは困る)」ということではないのか？

内部で損傷が発生させないように損傷要因である水を徹底的に遮断する。

「見えない場所」から「見える場所」に損傷を移す。  
水のある程度遮断し、浸入を許した分に関しては速やかな排出を行い影響を最小限に留める。(現在の方向性？)

## これからの複合構造のあり方

水が関係する腐食や疲労の問題だけでなく、今後の複合構造には「技術者が複合構造物のシナリオをコントロールできる」ことが必要ではないか？

例1) 想定されるイベントによる損傷範囲を「直しやすい部位」にコントロールする。

例2) 構造システムの劣化順序をコントロールする。  
(これは維持管理上も重要)

設計時にきちんとコントロールできるという事が担保できなければ、複合構造物内部で発生している事象を把握する為の**非破壊検査手法**を早急に確立しなければならない。

## 鉄道における複合構造物の現状と課題

(財) 鉄道総合技術研究所

池田 学

### 1. はじめに

鉄道の鋼とコンクリートの複合構造物（以下、複合構造物）は、昭和 30 年（1955 年）頃から合成桁や鉄骨鉄筋コンクリート構造（SRC 構造）が適用されているが、特に最近 15 年程度において新しい複合構造物が建設され、その変化はめざましい。この背景となっている点として、平成 10 年（1998 年）に複合構造物の設計標準の発刊、従来より厳しい条件の施工箇所が増加、兵庫県南部地震以降の大規模地震に対する耐震性能の確保、景観性のニーズの高まり等が挙げられる。

また、複合構造物のニーズは高く、設計標準の改訂作業も始まっている。このように、複合構造物は、今では特殊な構造というより、鋼構造物や鉄筋コンクリート構造物と同レベルで扱う構造として位置付けられてきている。

本稿では、まず複合構造物の最近 15 年程度の変化を概説し、複合構造物の現状を述べ、さらに、複合構造物の設計標準の改訂の動向や主に耐久性の観点からの今後の課題について記す。

### 2. 複合構造物に関する最近の変化

最近 15 年程度の複合構造物に関する主な変化を以下に記す<sup>1)</sup>。

- (1)合成桁は、昔は単純桁が多く、連続桁形式で用いる場合は、断続合成桁（負曲げモーメント区間を非合成桁として扱う）や、プレストレスを導入した完全合成桁とする事例が多かった。最近では、連続桁が多く、大半がプレストレスしない完全合成桁で、負曲げモーメント区間のひび割れを許容する設計法が採用されている。また、合成床版の適用や、孔あき鋼板ジベルの適用、支間 100m 程度までの長スパン化が図られている。
- (2)SRC 構造は、形鋼または溶接組立された鉄骨のまわりに鉄筋を配置してコンクリートを打設した構造である。従来から、駅部のラーメン構造物や桁高制限の厳しい桁に多く適用されている。最近でも、上路形式の SRC 桁（図 1(a)）は、複合構造物の構造形式として適用事例が最も多い。新しい SRC 構造として、図 1(b)のような下面のコンクリートを省いた、マルチ T 型断面 SRC 桁が適用されている<sup>2)</sup>。この構造は、主に引張側コンクリートを省略することで死荷重を低減でき、長スパン化が可能となる利点を有する。
- (3)コンクリート充填鋼管（CFT）構造は、円形あるいは角形の鋼製閉断面に材軸方向に沿って全体にわたりコンクリートを充填した構造で、鉄道では主に円形断面の CFT 部材が多く用いられている。CFT 構造は、15 年程度前に秋田新幹線のラーメン高架橋の柱に初めて採用されている<sup>3)</sup>。CFT 構造は、耐荷力や耐震性に優れ、急速施工や狭隘箇所での施工が可能であるため、主に営業線近接部や駅部の高架橋等の柱に最近多く用いられている（図 2）。
- (4)上記以外の最近の新たな複合構造物の事例としては、例えば、SRC 床版を有する複合トラス<sup>4)</sup>（図 3）、トラストローゼ橋<sup>5)</sup>、複合ランガー橋<sup>6)</sup>、PC ランガー橋<sup>7)</sup>、波形鋼板ウェブ PC 橋<sup>8)</sup>、上下部一体構造（合成桁と RC 橋脚）<sup>9)</sup>などがある。

### 3. 複合構造物の現状

複合構造物は、現状はやや特殊な条件下で適用されることが多く、以下のような傾向がある。設計標準に合成桁、SRC 構造および CFT 構造について定めているため、当然ながら、これらを適用するケースが多い。



(a) 上路形式の SRC 桁<sup>1)</sup>

(b) マルチ T 型断面 SRC 桁<sup>2)</sup>

図 2 CFT 柱のラーメン高架橋

図 1 SRC 桁



(a) 全景

(b) 構造の概要

図 3 SRC 床版を有する複合トラス<sup>1)</sup>

- ・比較的短スパンで桁下空頭が厳しい箇所に、SRC 桁が多く採用されている。
- ・営業線や幹線道路と交差あるいは近接区間では、現場施工性から、合成桁や SRC 桁が採用されることが多く、連続桁とする場合が多い。
- ・断面サイズの制約下で高い耐震性能が求められる場合、あるいは狭隘な施工スペースや工期短縮が求められる場合に、CFT 構造を柱に採用する構造が多い。
- ・比較的長スパンで桁高制限や現場施工条件が厳しい場合、あるいは景観性がさらに求められる場合に、複合トラスやアーチなどが採用される。

また、複合構造物の事例が増え、経年 30 年を超える構造物も増えている。複合構造物の維持管理の方法は、現状では確立していないが、鋼部分は鋼構造物、コンクリート部分はコンクリート構造物の維持管理方法を適用して行っている。今までのところ、既設の複合構造物は、一部軽微な変状が生じた事例はあるものの、複合構造特有の耐久性に関する大きな問題は生じていない。

なお、複合構造物の耐久性で特に気になるのは、鋼とコンクリートの結合面における鋼材の腐食である。防水・防せいについては、例えばトラス橋のコンクリート床版と斜材の接触部については文献 10) のようなディテールを採用するなど、ディテール面でも配慮している。

#### 4. 複合構造物の設計標準の改訂

「鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼とコンクリートの複合構造物）」（以下、複合標準という）が平成 10 年に発刊された（図 4）。複合標準は、SRC 構造と CFT 構造を主として対象としており、限界状態設計法を採用している。なお、耐震照査に関しては、その後平成 11 年に発刊された「鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）」により行っている。

複合標準の発刊により、鋼構造やコンクリート構造と同様な体系の照査法が定められ、それ以前と比べて複合構造物が格段に適用しやすくなった。また、この照査法を準用することによって、新しい種々の複合構造物が適用しやすくなったと考えられる。このように、最近の複合構造物の進歩は、複合標準によるところが大きい。

しかしながら、複合標準の発刊後 10 年以上が経過し、実設計への適用の観点から見直すべき点が生じている。また、鉄道の各設計標準は性能照査体系に移行しつつある。このような背景のもと、主に、性能照査型体系への移行、SRC 構造や CFT 構造の照査法の改良、異種部材接合部の照査法の充実化等を図るため、平成 25 年度の発刊を目指して、現在改訂作業を行っているところである。



図 4 複合標準

## 5. 今後の複合構造物の課題

今後も、合成桁、SRC 構造や CFT 構造に代表される複合構造物はもちろん、それ以外の新しい複合構造物の適用も増えることが想定される。また、既設の複合構造物の経年が増加し、想定外の新たな問題が生じる可能性もないとはいえない。今後、より耐久性に優れた複合構造物を建設・維持管理していくために、主に耐久性向上の観点から今後の課題について私見を述べる。

### (1)設計法に関して

- ・特に鋼材の腐食に対する耐久性向上策（ディテール）と耐久性の評価法の確立
- ・鋼とコンクリートの一体化が前提であるため、その結合部（ずれ止め）の照査法の改良
- ・鋼構造による拘束程度が高いため、コンクリートの収縮に対する照査法の精度向上

### (2)施工に関して

- ・複合構造特有の施工管理方法の確立（鋼構造の製作やコンクリート打設の品質管理方法）
- ・さらに厳しい条件（例えば、直上高架、さらなる工期短縮）での施工性の向上

### (3)維持管理に関して

- ・複合構造物の検査・補修方法の確立（例えば、鋼とコンクリートの接触面の検査・補修方法や、鋼あるいはコンクリート内部のモニタリング技術の開発等）

### 【参考文献】

- 1) 土木学会複合構造委員会：最新複合構造の現状と分析－性能照査型設計法に向けて－，複合構造レポート 02，土木学会，2008.7
- 2) 保坂，杉本：鉄道における最近の鋼・コンクリート複合橋梁，橋梁と基礎，2000.7
- 3) 大槻，川瀬，高橋，前沢：日本初の CFT 構造を用いた鉄道高架橋の設計・施工，コンクリート工学，1998.6
- 4) 西村，下野，紀伊，矢島：奈良線鴨川橋梁の設計と施工－SRC床版の採用により低い床高と鋼重の低減を可能にした鉄道鋼トラス橋－，橋梁と基礎，2000.11
- 5) 藤原，重田，中原，谷口，池田：鉄道下路トラスドロゼ桁の床版コンクリートに関する実橋測定，鋼構造年次論文報告集，2009.11
- 6) 川村，枝松，古道，小幡，佐藤，土井：星が浦海岸通架道橋の設計と施工，橋梁と基礎，2008.9
- 7) 井上，佐藤：第一新田川橋梁－PC 複合ランガー橋－，橋梁と基礎，2002.8
- 8) 平岡，菅原，朝倉，亀田：北陸新幹線黒部川橋梁の設計と施工－鉄道橋で初の波形鋼板ウェブ橋－，橋梁と基礎，2003.7
- 9) 藤原，谷口，池田，福岡：連続合成桁における床版コンクリート施工時の桁挙動の測定，構造工学論文集，Vol.54A，2008.
- 10) 南，畑：成田新高速鉄道線 印旛捷水路橋りょう（鋼トラス）の製作・架設，橋梁と基礎，2010.7

NEXCO

## 高速道路における複合構造 建設後の状況と維持管理

2010.9.3  
NEXCO総研  
寺田 典生

### 背景: 複合構造の活用

NEXCOでは、経済性・施工性より複合構造を導入。導入時に、コンクリート、鋼、水の接点(トリプルコンタクトポイント)の防錆を重視。

NEXCO総研 2 株式会社高速道路総合技術研究所

### 背景: 鋼とコンクリート接合部の劣化 (トリプルコンタクトポイント)

構造物のトリプルコンタクトポイント劣化  
接合部の防錆強化  
接合部の劣化評価

NEXCO総研 3 株式会社高速道路総合技術研究所

### 複合構造 (建設後の状況) 波型ウェブ橋 (本谷橋)

2007年10月調査

東海北陸自動車道 本谷橋 (1998年塗装)  
外面付着塩分1mg/m<sup>2</sup>

箱桁内面 箱桁外面

シーリング全数劣化確認。劣化箇所は防錆を要す。

NEXCO総研 4 株式会社高速道路総合技術研究所

### 複合構造 (建設後の状況) 波型ウェブ橋 (本谷橋)

内面上部 一部に肌離発生

外面上部 接合状況

塗装状況は非常に良好

シーリング部一部欠損あり

内面下部良好

NEXCO総研 5 株式会社高速道路総合技術研究所

### 複合構造 (建設後の状況) 波型ウェブ橋 (下田橋)

2007年10月調査

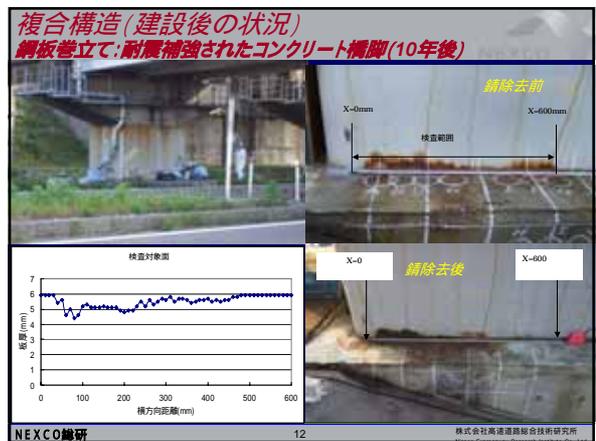
東海北陸自動車道 下田橋 (2002)  
一部に点錆あるが良好  
外面付着塩分4.4mg/m<sup>2</sup>

外面上部 (シリコン変性アクリル塗装)

下フランジの点錆 (変性エポキシ2層)

調査測定結果より、湿度(90%以上)高、結露の発生で一部に点錆

NEXCO総研 6 株式会社高速道路総合技術研究所



### 複合構造 (建設後の状況) 自然電位測定

90%以上の確立で腐食有り

90%以上の確立で腐食有り

ABCDEFK  
HIJ  
TSPQPNML  
YZXWVU

a) 検査対象面1 (b) 検査対象面2 : 自然電位測定箇所

NEXCO 総研 13 株式会社高速道路総合技術研究所

### 各種非破壊試験により推定した腐食結果

測定箇所	サビ有り	サビ有り	サビ有り	サビ有り	サビなし	サビなし
鋼板目視観察 (地上部)	サビ有り	サビ有り	サビ有り	サビ有り	サビなし	サビなし
鋼板目視観察 (コアリング)	サビ有り	サビ有り	サビ有り	サビ有り	サビなし	サビなし
超音波探傷試験	腐食有り	腐食なし	腐食なし	-	腐食なし	-
自然電位法	-	腐食有り	腐食有り	腐食有り	-	-
分極抵抗法	-	腐食なし	腐食有り	-	-	-

NEXCO 総研 14 株式会社高速道路総合技術研究所

### 接合部の耐久性と評価 (シーリングの効果)

鋼材

コンクリート

トリプルコンタクトポイント

酸素濃度高い

シーリング材

鋼板: 挿 差し込み: -5mm

シーリング: なし 付着: なし 鋼板: 挿 差し込み: -5mm

実際より劣化が進展。シーリングは効果あり、塩水噴霧複合サイクル試験720サイクル

NEXCO 総研 15 株式会社高速道路総合技術研究所

### シーリング材の塩化物イオン遮断効果

(付着あり, シーリング材なし)

(付着なし, シーリング材なし)

(付着なし, シーリング材あり)

0.10%

0.10%

0.10%

NEXCO 総研 16 株式会社高速道路総合技術研究所

### 複合構造の活用 (補修・補強) CFRPによる鋼構造物の補修補強 (浅利橋)

- 溶接による熱影響やボルト孔欠損といった観点がない
- 施工スペースが制約される使用中の補修に適する
- 軽量の炭素繊維シートのため、重量増加を生じさせない
- CFRPが腐蝕材の外的劣化要因を遮断

CFRPシート貼付

NEXCO 総研 17 株式会社高速道路総合技術研究所

### 複合構造: フランスでの補修・補強事例

#### In case of internal tendon corrosion PC桁補強

SETRA 提供

NEXCO 総研 18 株式会社高速道路総合技術研究所

# 北海道における道路複合構造の現状と課題

独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 三田村 浩

## 1. はじめに

鋼とコンクリートの合成構造を用いた複合構造は、それぞれの材料の特徴を生かした合理的な構造である。北海道の道路構造物でも、合成桁や鋼管コンクリート合成構造橋脚など、種々の複合構造が適用されている。これらの構造物は、道路構造物として使用実績も多く、適切な維持管理のもとに供用されている。

研究討論会の主題は、新たに開発された新しい複合構造の現状と課題であることから、本稿では、近年、道路事業費の節減を目的として北海道開発局で適用された複合構造函渠の設計・施工の現状を示し、今後の課題を示す。

## 2. 複合構造函渠の特徴

近年、現場作業の省力化、建設コストの縮減、工期短縮という観点から、鉄筋コンクリートに代わる新しい構造として鋼・コンクリート合成構造（サンドイッチ構造）が開発され、橋梁用床版<sup>1)</sup>、シェルター、沈埋トンネル<sup>2)</sup>等に採用されてきている。本稿に示す複合構造函渠は、RC 構造の底版・側壁と、鋼・コンクリート合成構造の頂版からなる土被りの無いボックスカルバートである。

図-2.1に従来のRCボックスカルバートと、複合構造函渠との相違点を示す。従来のRC ボックスカルバートでは、最小土被り厚 50 cm を確保する必要があるのに対して、複合構造函渠頂版のサンドイッチ頂版は、橋梁用床版でも実績があるように、軽量で剛性が高く、土被りの無い構造に適用可能であるため、部材厚をRC 構造の約半分程度にすることができる。これにより、カルバートが縦断線形のコントロールポイントとなっている場合には、本構造を採用することで、従来構造に比較して路面高を下げることができるため、路線全体の盛土量が減少し、建設コストの縮減が可能となる。

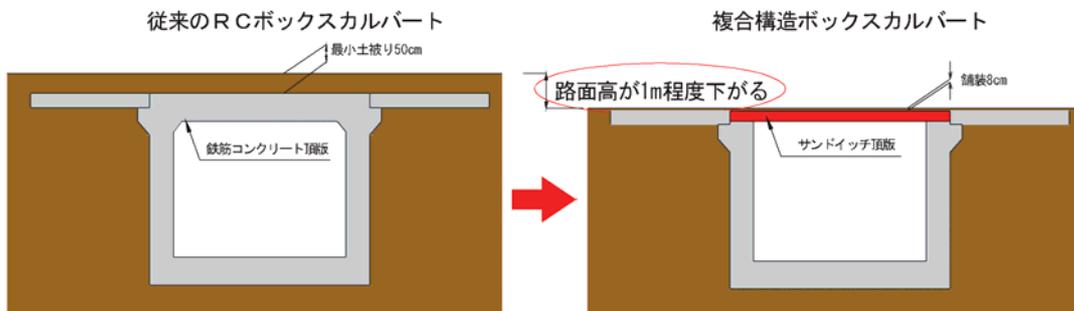


図-2.1 従来のRCボックスカルバートと複合構造函渠

## 3. 設計

### 3.1 性能照査の基本方針

複合構造函渠は、パイプジベルを使用したサンドイッチ頂版を RC 構造の側壁と一体化させ函渠構造とした構造である。本構造の設計にあたっては、サンドイッチ版と RC 構造の側壁との一体化に対して、要求性能を満たすことを確認することが課題となった。そこで著者らは、道路構造物としての要求性能を満足することを、検証方法として実験的検証と解析的検証を用いて、性能の照査を行うこととした。さらに、現地においても施工後に載荷試験を行い、施工された構造物の性能を確認した。

実験的検証としては、サンドイッチ版本体の破壊に対する性能に関しては、梁および版試験体を用いた耐荷力実験により、破壊に対する安全性の照査を実施した<sup>3)</sup>。疲労荷重に対する性能に対しては、橋梁床版と同様に移動輪荷重走行試験により、疲労に関する安全性の照査を実施した<sup>4)</sup>。また、サンドイッチ頂版と RC 構造の側壁との一体化に関しては、接合部をモデル化した試験体により、接合部の一体性に関して実験により検証を行った<sup>5)</sup>。

以下に、本構造を適用するあたり実施した実験的検証のうち、疲労に対する検討と、サンドイッチ頂版と RC 構造の側壁との一体化に関する検討、および現地試験による検証の概要を示す。

### 3.2 輪荷重走行試験（サンドイッチ頂版本体）

サンドイッチ頂版の疲労耐久性を確認するために、幅 2.6m、長さ 4.3m、厚さ 0.24m のサンドイッチ頂版を用いて、輪荷重走行試験を実施した。試験体を、走行方向の 2 辺を単純支持、直角方向の 2 辺を弾性支持の状態で行走試験機に設置し、直径 750 mm、幅 320 mm の鉄輪を用いて、ストローク 3.0 m の範囲で輪荷重を走行載荷した。本サンドイッチ頂版は、耐用年数として 100 年を想定していることから、試験においては、これに相当する載荷荷重 186 kN - 200 万回を走行載荷した。図-3.1 には、試験体中央におけるたわみと走行回数の関係を示した。図から、たわみは、走行回数 200 万回まで、緩やかな勾配で増加しているものの、輪荷重走行試験における試験体の破壊時の特徴である活荷重時たわみが急増する現象は認められず、十分な疲労耐久性を有していることが確認された。

### 3.3 輪荷重走行試験（側壁と頂版の連結部）

本構造の側壁と頂版の連結部の疲労耐久性を検討するために、連結部を再現した試験体の輪荷重走行試験を実施した。図-3.2に示すように、試験体は、走行方向に対して、一方を側壁と頂版の連結部はアンカーボルトで結合した剛結構造、もう一方の内空側はバネ支点として支持した。なお、頂版と側壁との間に目開きが起こらないように、アンカーボルトには、コンクリート硬化後に、ナットを締付けることで軸力を導入した。

試験結果として、頂版と側壁の接合目地部の目開き量と走行回数の関係を、図-3.3に示す。目開き量の変動は、走行回数の増加により変化はなく、目視による確認においても頂版と側壁の接合目地は健全な状態であった。また、アンカーボルトの応力度の変動範囲は、2~3 N/mm<sup>2</sup> 程度であり、試験終了時においても同様であった。これらのことから、本構造の側壁と頂版の連結部が、剛結構造として、十分な疲労耐久性を有していることを確認した。

### 3.4 現場載荷試験

実際に建設された複合構造函渠に対して、実車による現場載荷試験を行った。載荷試験は土砂を積載したダンプトラックを用いて行い、車輪の軸重は、後輪が各 100kN、前輪は60kNとした。試験においては、道路中心線上において荷重載荷および計測を行った。後輪中心位置を支間中央に合わせた際の支間方向変位の計測値と、本載荷試験もモデル化した 3次元FEM弾性解析結果を、図-3.4に示す。この結果から、計測値は、壁高欄の剛性を考慮した解析値と概ね一致することが確認された。また、上下鋼板のひずみについても同様のことが確認された。

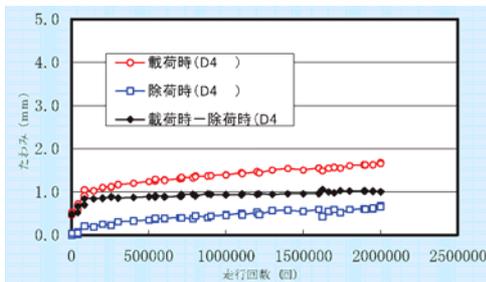


図-3.1 試験体中央のたわみと走行回数の関係

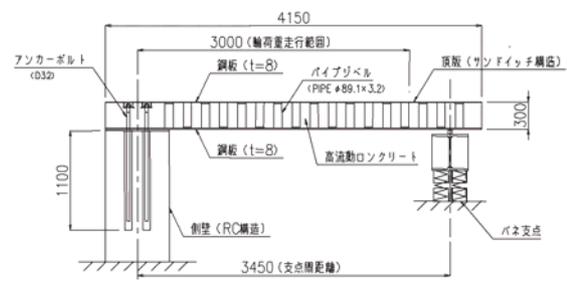


図-3.2 連結部をモデル化した輪荷重走行試験の試験体

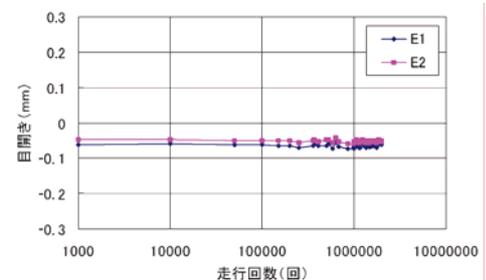


図-3.3 目開き量と走行回数の関係

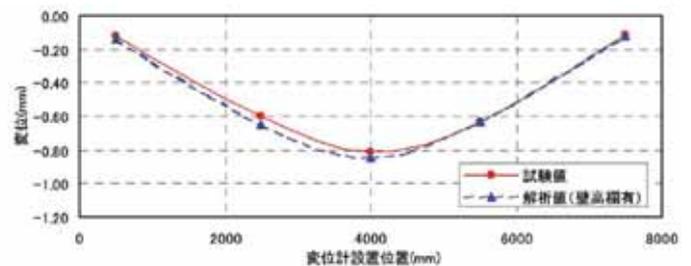


図-3.4 支間方向のたわみ分布

## 4. 施工

### 4.1 サンドイッチ頂版の製作

サンドイッチ頂版の鋼殻部は工場製作した。レーザー切断および孔開加工した上下鋼板にパイプジョイントを自動溶接し(写真-3.1)、上下鋼板を重ね合わせてボルトで固定し側板を溶接した。その後、防錆のための塗装を行った。

## 4.2 現場施工

現場における施工手順は、底版および側壁は従来のRCボックスカルバートと同様に現地打設で施工した後、サンドイッチ頂版をトラッククレーンを用いて架設した(写真-3.2)。サンドイッチ頂版は、鋼殻の状態ではコンクリート打設時の荷重を支持できないため、架設に先立ち支保工を設置し、荷重支持およびキャンバー調整を行った。サンドイッチ頂版架設後、側壁にあらかじめ設置しておいたシース管にアンカーボルトを挿入し、無収縮モルタルを充填することにより側壁と一体化した。

サンドイッチ頂版への高流動コンクリートの打設は、隔壁で仕切られた頂版のパネル毎に、頂版上面に設置した打設口よりスタンドパイプを用いて、随時、空気孔、確認窓、打音検査等で充填状況を確認しながら行った(写真-3.3)。最後に、アンカーの本締め、スタッドの溶接、表面防水、現場塗装を行い、施工完了とした。



写真-3.1 工場製作(パイプジベルの溶接)

写真-3.2 サンドイッチ頂版架設状況

写真-3.3 高流動コンクリート打設状況

## 5. 今後の検討課題

設計における性能照査の概要と、設計時に設定された性能を確保するための施工に関して示した。本構造は、すでに供用が開始されているが、その後の追跡調査によると、現時点では問題がなく供用されている。今後も、定期的な点検の実施などの、維持管理を行うこととしている。

なお、今後の課題としては、本構造は、これまで実績の無い構造であるため、設計に当たっては、実験的検証に基づく性能照査を中心に行っている。そのため、本構造を今後も適用していくためには、道路橋示方書などの基準類に準じた設計法を策定することが課題として挙げられる。また、サンドイッチ頂版の施工には、コンクリートが鋼殻内に確実に充填されるように、厳しい施工管理を実施した。これに関しては、コンクリートの充填性を確保するためのより合理的なコンクリートの配合や、簡易な施工管理方法の検討などが課題として挙げられる。

なお、これらの課題を解決すべく、現在も検討を進めていることを付記しておく。

## 6. あとがき

北海道における道路構造物の複合構造の事例として、新たに開発された複合構造函渠を例にして、設計における性能照査と施工に関して示し、より合理的な構造とすべく、今後の検討課題を示した。

本稿が、より合理的な複合構造の開発の参考となれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 土木学会 鋼構造委員会：鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物，土木学会，1997.9
- 2) 土木学会 複合構造委員会：複合構造標準示方書，土木学会，2009.12
- 3) 畑山 朗，今野久志，小野辺良一，細谷 均：パイプジベルを使用したサンドイッチ床版の静的強度特性，平成14年度土木学会北海道支部論文報告集，第59号，pp.168-169，2003.2
- 4) 今野久志，池田憲二，皆川昌樹，松井繁之，小野辺良一：パイプジベルを使用したサンドイッチ床版の輪荷重走行試験，平成15年土木学会北海道支部論文報告集，第60号，pp.210-211，2004.2
- 5) 吉村和真，三田村 浩，今野久志，小野辺良一：パイプジベルを使用したサンドイッチ構造の剛結部に着目した輪荷重走行試験，土木学会年次学術講演会概要集，Vol.60，pp.150-106，2005.9

