

# 鋼・コンクリート合成床版の実橋調査 —枝川ランプ橋の非破壊検査と秋田大橋の健全度調査—

技術委員会 床版小委員会

## 1. はじめに

ライフサイクルコスト最小化を目指した床版の高耐久性化、高機能化に関する技術開発が進められ、少数 I 桁や開断面箱桁、細幅箱桁などに代表される合理化形式の橋梁構造の採用とともに、床版は橋の立体的機能を担う重要な部材としてその技術は大きく向上してきた。なかでも鋼・コンクリート合成床版（以下、合成床版という）は、施工時の安全性や高耐久性によるライフサイクルコスト削減およびコンクリート剥落防止等の特長を有することから、各機関で広く採用されるようになってきている。

合成床版は輪荷重走行試験による検証で、既往の床版との相対比較において同等以上の耐久性を保有することが確認されている<sup>1)</sup>。このような合成床版の優れた疲労耐久性を保証する上で重要な事項は、鋼板パネルの工場製作時および場所打ちコンクリート施工時の適切な品質管理とともに、点検や補修・補強などの一連の維持管理体系が明確なことである。合成床版は、鋼材が密に配置されているためコンクリート充填性に対する懸念、ならびに底鋼板により損傷や劣化を直接目視できないなどの課題が指摘されている。そのため、合成床版メーカーはコンクリート充填施工試験を実施して施工要領を確立し、コンクリート充填状況に問題のないことを確認するとともに、輪荷重走行試験でのひび割れ性状や一般的な鉄筋コンクリート床版の損傷メカニズムを参考にして合成床版の損傷メカニズムを推測するなど、合成床版の維持管理方法に関する検討も行ってきた。このような研究成果や施工から得た知見<sup>2)</sup>をもとに、日本橋梁建設協会（以下、橋建協という）では、合成床版の維持管理に対する考え方を「鋼・コンクリート合成床版 維持管理の計画資料」<sup>3)</sup>に取りまとめ発行した。この橋建協テキストを維持管理の計画を行っていくうえでの資料として活用していただければ幸いである。

本報告は、実橋で使用されている合成床版の健全度を把握する目的で実施した点検・調査の結果を報告するものである。はじめに、供用後 27 年経過した枝川ラ

ンプ橋の合成床版を対象として、前述の資料<sup>3)</sup>で提案した点検・調査方法や非破壊検査法を利用した調査結果を紹介する。次に、秋田大橋が平成 16 年 3 月に撤去解体された際に、23 年間供用された合成床版から切り出した供試体を用いて行った各種破壊試験の結果について紹介する。

## 2. 枝川ランプ橋の非破壊検査

### 2. 1 橋梁の概要

調査対象とした橋梁は、図-1 に示す首都高速道路 9 号深川線枝川ランプ出路（東京都江東区枝川二丁目）の単純合成鉄桁橋である。枝川ランプは単純合成箱桁 1 連、三径間連続非合成箱桁、単純合成鉄桁 3 連で構成されており、合成床版が適用されたのは直線部に位置する単純合成鉄桁 3 連である。このランプは昭和 55 年 2 月から供用され<sup>4)</sup>、首都高速道路公団の管理のもと平成元年に塗装補修工事が行われ、平成 19 年 10 月で 27 年経過している。なお、竣工時(昭和 55 年)から平成元年の塗装補修工事までの期間における損傷及び補修記録は不明である。



図-1 枝川ランプ橋位置図

合成床版を適用した橋梁の型式は鋼製型枠合成床版を用いた単純合成桁で、橋梁諸元として橋格 1 等橋 (TL-20)、橋長 28m、支間長 27.3m、総幅員 5.95m、有効幅員 4.75m、床版支間 2.1m、アスファルト舗装 8cm、床版厚 15.6cm である。一般図を図-2 に示す。準拠基準類は、道路橋示方書 (S48.2、日本道路協会)、鋼構造物設計基準 (首都高速道路公団) である。

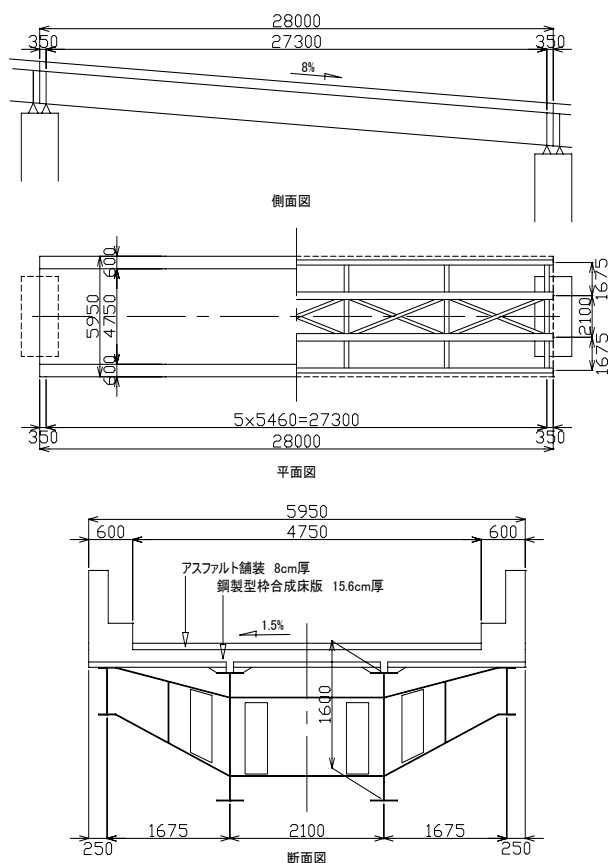


図-2 橋梁一般図 (枝川ランプ橋)

## 2.2 合成床版の概要

枝川ランプに適用された合成床版は、図-3 に示す鋼製型枠合成床版で、鋼とコンクリートを頭付きスタッド等で合成させることにより、床版死荷重の軽減、現場工期の短縮、安全性の向上、コンクリート塊の剥落防止などの利点をねらいとした構造であり、このような形式を首都高速道路公団時代の昭和 49 年度から開発研究<sup>5)~14)</sup>を始め、実構造物として昭和 55 年に枝川ランプに適用となった。

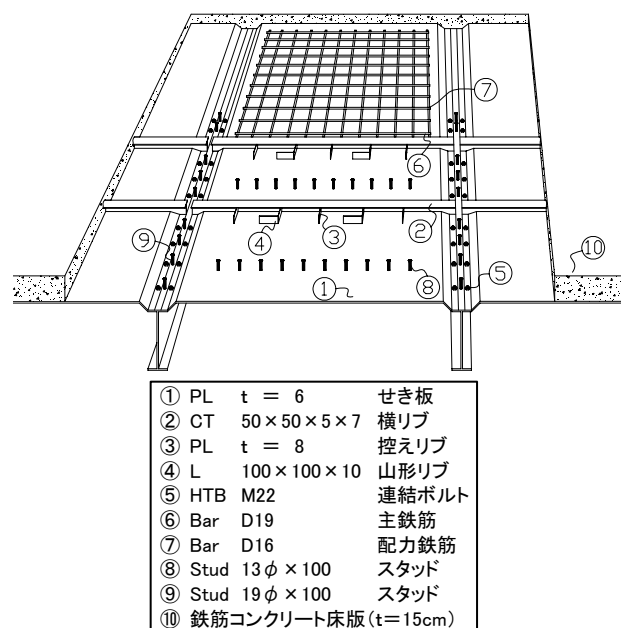


図-3 鋼製型枠合成床版

枝川ランプの当時の工事資料をもとに、現在の橋建協標準合成床版<sup>15)</sup>と材料や諸元など<sup>16)</sup>を比較したものを表-1、2 に示す。この表より、材料 (コンクリート、鉄筋、底鋼板) や床版構造 (床版厚、継手構造、防水層) などについて、枝川ランプ合成床版は現行の鋼・コンクリート合成床版と大きな相違がないことがわかる。一方、不明ではあるが枝川ランプの合成床版では、コンクリートに膨張材など添加されていないものと推察する。

表-1 標準合成床版との比較 (材料)

項目		枝川ランプ橋の合成床版	橋建協標準合成床版
コンクリート	セメント	—	普通ポルトランドセメント
	膨張材の有無	—	有
	設計基準強度	350kgf/cm <sup>2</sup>	30N/mm <sup>2</sup> 以上
	許容応力度 (合成桁)	100kgf/cm <sup>2</sup>	道示Ⅱ鋼橋編 11.3.11による
鉄筋	材質	SD30	SD345を標準
	鉄筋径	φ13~19mm	φ13~25mmを標準
	上段鉄筋かぶり	30.5mm	30mm以上
	許容応力度	1400kgf/cm <sup>2</sup>	SD345: 引張 140N/mm <sup>2</sup> 圧縮 200N/mm <sup>2</sup>
底鋼板	材質	SS41	SM400A, SS400
	板厚	6mm	6mm以上を標準

表-2 標準合成床版との比較 (床版構造)

項目	枝川ランプ橋の合成床版	橋建協標準合成床版
適用基準	道示(S48.2)	道示(H14.3)
	鋼構造物設計基準(首都高)	鋼道路橋設計便覧(S55) コンクリート標準示方書(H14) 鋼構造物設計指針PART B(H9) 複合構造物の性能照査指針(案)(H14.10)
設計荷重	TL-20	B活荷重
床版厚	156mm(底鋼板含む)	hc=25L+110 L=2.1m: 162.5mm→160mm(枝川換算)
底鋼板と主桁フランジとの連結	高力ボルト	高力ボルトまたは、スタッドボルト
底鋼板の継手	高力ボルト(但しハンチ部は現場溶接)	高力ボルトまたは、スタッドボルト
底鋼板と桁の止水工	—	有
防水・滞水対策	特殊合成ゴム溶液型防水剤の防水層あり	防水層あり、スラブドレーン等の設置
合成床版の単位面積重量	4.95 kN/m <sup>2</sup>	床版厚21cm: 5.78kN/m <sup>2</sup> 床版厚16cm: 4.4kN/m <sup>2</sup>
ハンチ勾配	1:2	1:3~1:5
床版支間:張出し長	1:0.798(但し、側縦桁あり)	1:0.4

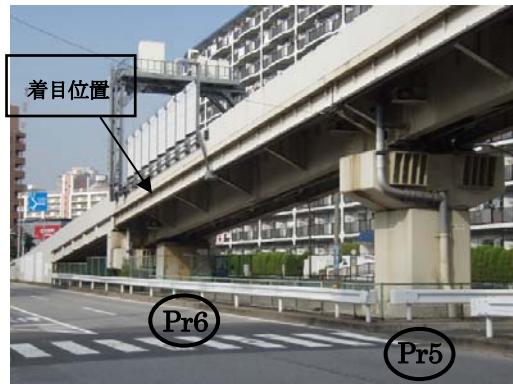


写真-1 調査対象位置

調査方法は以下に示す(1)~(5)の5種類とした。その方法を以下に列記する。

(1) 目視観察: 合成床版に変形や発錆などの変状がないか橋梁下面から目視した。そして、変状が認められる箇所をスケッチしマップを作成するとともに、変状部分の写真を撮影した。

(2) たたき検査: 空隙箇所、鋼板とコンクリートの付着切れ・剥離箇所等を定性的に把握するために実施した。合成床版の底板を、写真-2 に示す様に橋軸・橋軸直角方向 10cm 間隔程度をハンマーで打撃し、異音を確認した箇所をチョークでマーキングし、異音発生マップを作成した。

### 2.3 調査の概要

調査実施日時は2007年10月23日(9:00~16:00)で、天気は晴天で、比較的暖かい陽気の日であった。調査対象位置を図-4、写真-1 に示す。調査対象位置は、RC 床版で損傷事例が多い箇所および合成床版の内部で滞水しやすい箇所を中心に選定した。

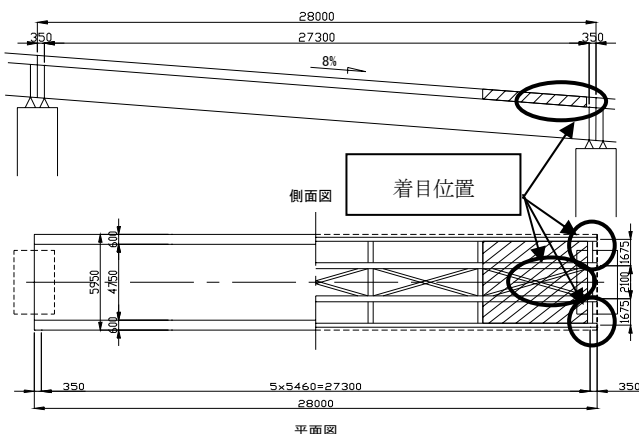


図-4 調査対象位置



写真-2 たたき検査

たたき検査により作成した異音発生マップをもとに、以下の(3)~(5)の方法を用いて点検・調査を実施した。

(3) 打音法<sup>17)~19)</sup>: インパルスハンマーで合成床版の底鋼板を叩いた時の打撃音とフード付き集音マイクで採取した打撃音による波形を現場で周波数分析し、合



成床版の内部状況进行评估した。写真-3 に調査機材、写真-4 にその状況を示す。



写真-3 打音法の調査機材



写真-4 打音法の調査状況

(4) 弾性スイープ波法<sup>20), 21)</sup> : 周波数 9~16kHz の弾性スイープ波を発生させる圧電セラミック素子を用いて合成床版の底鋼板を振動させ、その反射波を現地で周波数解析し、床版内部の状況进行评估した。写真-5 に調査機材、写真-6 にその状況を示す。



写真-5 弾性スイープ波法の調査機材



写真-6 弾性スイープ波法の調査状況

(5) 超音波法<sup>22)</sup> : 周波数 20kHz 以上の弾性波を発生させる探触子で合成床版の底鋼板を振動させ、その反射波の伝播特性から床版内部の状況进行评估した。写真-7 に調査機材、写真-8 にその状況を示す。

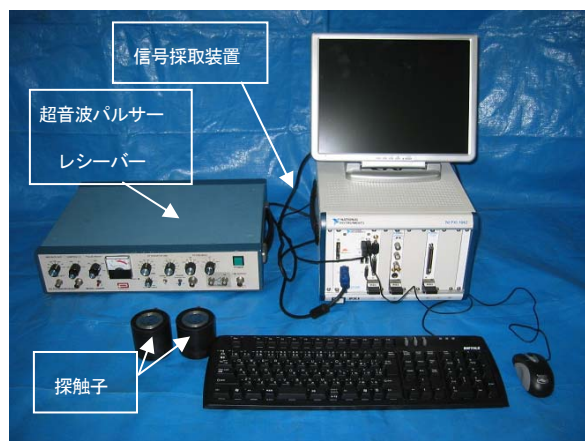


写真-7 超音波法の調査機材



写真-8 超音波法の調査状況

## 2. 4 枝川ランプ橋の調査結果

### (1) 目視観察

橋梁下面から観察した目視観察マップを図-5に示す。そして供用後27年、平成元年の塗装補修工事後19年経過した本ランプを目視観察した結果を下に列記する。

- ・ 底鋼板に有害な変形や損傷は無かった。
- ・ 底鋼板継手部の高力ボルト連結板まわり、主桁上フランジと床版の連結まわりの一部に発錆が見られた。ただし、鋼板の減厚までは確認できなかった。(写真-9)
- ・ 底鋼板継手部の高力ボルト連結板(床版下面)には水の流れた形跡を確認した。(写真-10)
- ・ 腐食発生位置は、側縦桁部よりも主桁上フランジと床版底鋼板の継ぎ目に多く見られた。

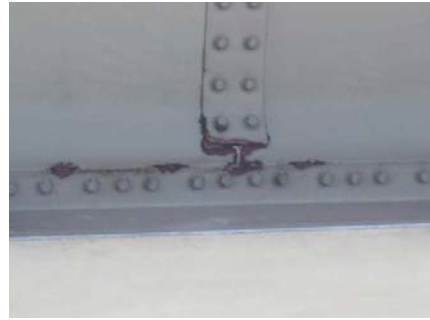


写真-9 継手部の腐食状況

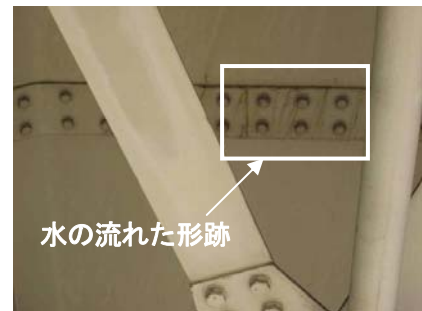


写真-10 継手部の水の流れた形跡

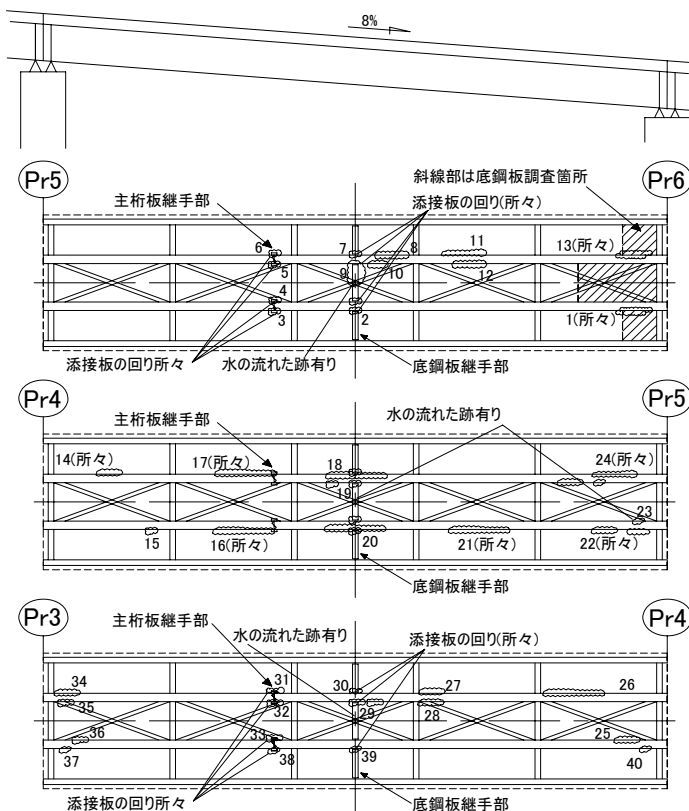


図-5 目視観察マップ

### (2) たたき検査

床版下面からテストハンマーで底鋼板をたたき、底鋼板上面とコンクリート界面に剥離や滞水の有無を異音の発生状況から確認した。この検査より得られた結

果(異音発生箇所)を整理したものを図-6に示す。

- ・ 調査箇所の大部分において、異音はほとんど発生しなかった。底鋼板とコンクリートは大部分が剥離していないと考えられる。
- ・ 床版打下しハンチ部分、主桁-床版の取合い部、床版リブ近傍の一部で異音が発生した。
- ・ 異音が発生した箇所は直径20cm程度の範囲であった。

### (3) 各種検査の結果

打音法、弾性スイープ波法、超音波法による各調査結果を表-3に示す。調査はいずれの方法も2名で行った。打音法と弾性スイープ波法では、調査に用いる機材は小型で現場の作業性は良い。超音波法は、他の方法に比べて機材が重く現場での移動にはやや労力を要する。また、3つの方法で調査したのは床版支間中央部のみで、超音波法は調査時間の関係で張出部の調査は行っていない。

各調査法の判定基準は、あらかじめ欠陥などを模擬したサンプル試験の結果に基づくものであるが、同基準によると、表に示す推定結果はおおむね同一になった。特に床版支間中央部の調査箇所(C2、C3、C4、Ca1、Ca2)全ては同様の結果が得られている。そして、左側張出部(L1、L10)では、2手法のみではあるがほぼ

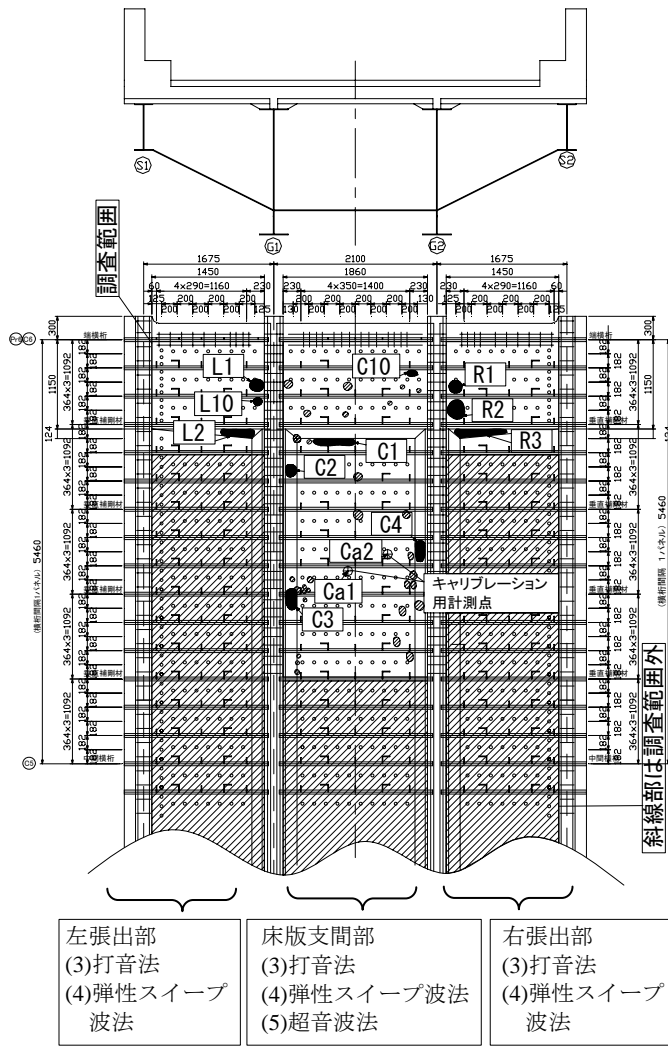
なお、調査部位によって推定結果が異なるのは、たたき検査で得た異音発生箇所が比較的大きな範囲であり、探触子等をセットした位置が若干異なったことが原因と考えられる。

## 2. 5 枝川ランプ橋の調査結果のまとめ

橋建協標準合成床版は、枝川ランプ合成床版と類似点が多いため、その耐荷力性能は今回結果で推定できると考えられる。そして、供用後 27 年、塗装補修工事後 19 年経過した枝川ランプ合成床版は、目視観察で述べたように特に大きな損傷や腐食は確認出来ず、良好な状態を維持していると推察する。

たたき検査結果からも分かるように、桁端部付近の損傷が比較的発生しやすいと想定出来る部位を調査したにも関わらず、異音発生箇所（部分的に剥離の可能性あり）がわずかであった。

一方、調査結果は 3 手法によるものであるが、結果の相関性から非常に信頼性が高いものとする。調査結果は「剥離無し」、「剥離」、「剥離で水分を含む可能性有り」と三種類に大きく分類でき、床版の状態が「剥離無し」、「剥離」の箇所は問題無いと判断することが出来るが、「剥離で水分を含む可能性有り」と判断された箇所については、水は床版の耐久性を左右する重要な要素であるので、今後の調査・点検を含め特に留意する必要がある。



※ 斜線部は調査範囲外である。この異音マップのマークで記した箇所を、3種類の検査手法を用いて確認した。

図-6 異音発生状況

表-3 各調査法による推定結果

調査部位		打音法	弾性スイープ波法	超音波法
張出部 (左側)	L1	剥離で水分を含む可能性有り	剥離で水分を含む可能性有り	—
	L2	剥離	剥離無し	—
	L10	剥離で水分を含む可能性有り	剥離で水分を含む可能性有り	—
床版支間中央部	C1	剥離	剥離無し	—
	C2	剥離	剥離	剥離
	C3	剥離	剥離	剥離
	C4	剥離	剥離	剥離
	Ca1※	剥離無し	剥離無し	剥離無し
	Ca2※	剥離無し	剥離無し	剥離無し
張出部 (右側)	C10	剥離で水分を含む可能性有り	剥離で水分を含む可能性有り	—
	R1	剥離で水分を含む可能性有り	剥離無し	—
	R2	剥離で水分を含む可能性有り	剥離無し	—
	R3	剥離	剥離無し※※	—

※ Ca1, Ca2は事前に実施したたたき検査により、剥離が確認出来なかった箇所である。

※※ 場所によっては、剥離に対する指示波形が出現する。

### 3. 秋田大橋の健全度調査

#### 3. 1 橋梁の概要

秋田大橋は、昭和9年に1級河川雄物川の河口より約2.5km入った地点で、国道10号線（現、国道7号線）に架橋された橋梁である。橋長578.4m、幅員7.5mの橋梁で、型式は単純鋼桁+単純鋼トラスである。

秋田市の発展に伴い、秋田大橋（以下、本橋と呼ぶ）における交通量増加は著しく、特に重車両交通の影響や日本海からの飛来塩分と凍結防止材の散布などにより、橋梁の老朽化は著しいものがあつた。昭和44～45年度にかけて歩道添加のためトラス部材、桁部材が補強され、床版については昭和55年～62年にかけて当時としては創生期のプレキャスト合成床版を使用して床版打換工事が行われた。その後、本橋は秋田市の主要橋梁として活躍してきたが、日本海から吹付ける風雪や通行車輛の増大などで橋梁本体の傷みが激しいことから、平成13年に新秋田大橋が建設された。新橋の完成にともない、本橋はその使命を終え、平成16年3月に撤去・解体された。秋田大橋の名前は新橋に引継がれたが、ここでは、旧橋の呼び名として使用する。

最近、合成床版が国土交通省をはじめとして、旧日本道路公団等の道路会社や各公社で採用され始めてい

るが、20年以上供用されているものは本型式の合成床版以外では数少ない<sup>23)</sup>。本橋の合成床版は、床版打換後に23年以上供用されており、供用中の環境は塩害地域・寒冷地・重交通など、非常に厳しい条件下であつた。本報告は、本橋へ採用された合成床版の施工状況と、撤去された合成床版の健全度を調査した結果について報告するものである。

#### 3. 2 床版打換え概要<sup>24),25)</sup>

本橋の一般図を図-7に示す。床版打換工事は、昭和55年度より損傷の激しい単純ワーレントラス部を行い、昭和62年度までの6年間（昭和58、59年度は除く）に1スパン/年度の割合で行われた。

本橋は、秋田市と近郊を結ぶ橋梁のため終日の全面交通止めは不可能であり、交通量は19,200台/日（昭和55年度）と多く、朝夕のラッシュ時の交通渋滞は著しかった。また、迂回路となる橋は2等橋で、幅員が4.5mと狭いため大型車は通行できず、緊急車両を考慮すると夜間のみ全面交通止めも不可能であつた。このような状況から床版打換えの施工は、夜間のみ片側車線交通止め、昼間全面交通開放により施工可能な工法の採用が必要となつた。

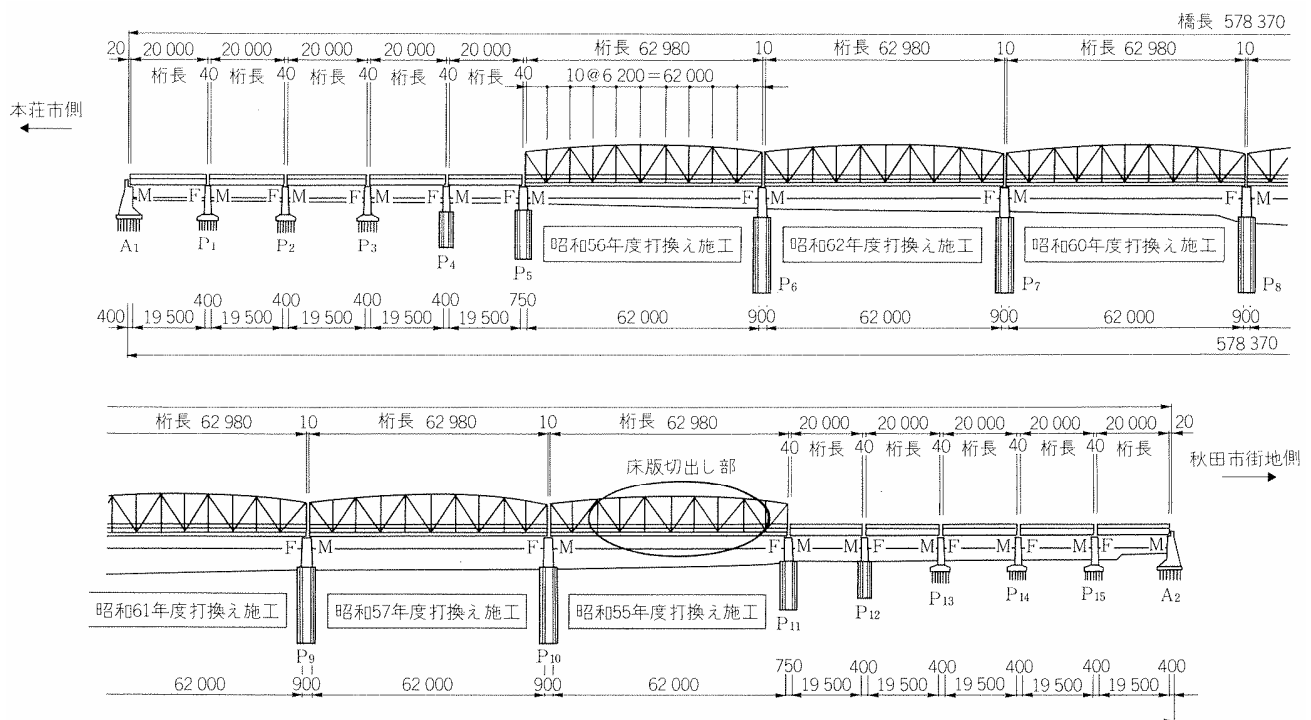


図-7 旧秋田大橋一般図



この条件を満たす工法として、覆工板形式鋼床版とプレキャスト合成床版が候補に挙げられ、施工・構造・経済性に最もすぐれ、本橋の構造に適合したプレキャスト合成床版工法が採用された。なお、当時として床版の防水層は施工されていなかった。

プレキャスト合成床版の構造を図-8、9に示す。その構造は、RC床版の下面主鉄筋の位置に板厚4.5mmの鋼板を配し、その上に溶植したパイプジベルを介してコンクリートと合成させた構造である。プレキャスト合成床版には、次のような特徴がある。

- ①夜間工事だけで床版の打換施工が可能で、昼間の交通止めは不要である。
- ②床版厚が薄く出来、死荷重の軽減が図れる。
- ③現場工期の短縮が図れる。

- ①安全施設設置（片側車線交通止め）→②旧床版取り壊し→③プレキャスト合成床版設置→④目地部のコンクリート打設→⑤養生→⑥安全施設撤去（交通開放）

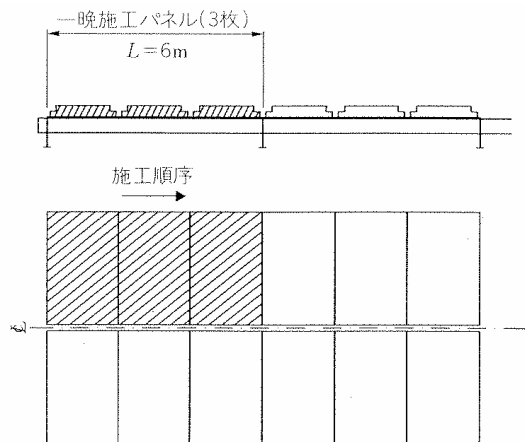


図-10 パネル割付図

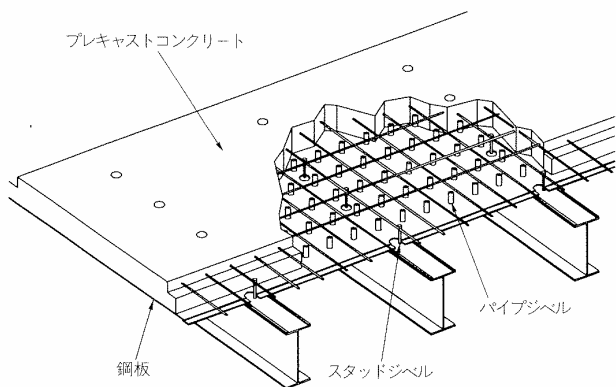


図-8 合成床版の構造

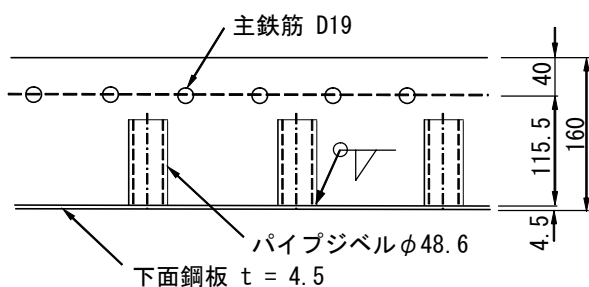


図-9 合成床版の断面図

1夜間の施工パネル数は、図-10に示すように片側車線の1横桁間3パネルとした。施工時間帯は、夕方のラッシュアワーを過ぎた夜21時に片側車線を交通止めし、朝のラッシュアワー前の午前6時に交通開放した。1夜間の主要な作業工程は、次のように分けられる。

各作業時間を表-4に示す。この中で、床版目地部に打設する超速硬コンクリートの養生は最低3時間が必要になり、全体工程に占める割合が大きい。

表-4 一夜間の施工サイクル

作業名	数量	PM21 22 23 24 1 2 3 4 5 AM6													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9H					
準備	一式														
床版撤去	24m <sup>3</sup>														
調整ゴム	一式														
床版設置	3枚														
ジベル設置	52本														
コンクリート打設															
養生															
後片付															

### 3.3 健全度調査の概要

健全度調査の対象供試体は、昭和55年度施工の中央スパン付近より切出した床版である。本橋の床版の撤去状況を写真-11に示す。

供試体の寸法は、図-11に示すように幅2.58m×厚さ0.16m×長さ5.35mである。図中の斜線部は、床版目地部および縦桁上の場所打ちコンクリート（超速硬コンクリート）として施工した部分である。供試体の4角には、吊上用に削岩機で孔明けしている。また、供試体は写真-12示すように縦桁が付いた状態で切出している。



調査の主な内容は、合成床版のため下面鋼板の腐食状況とコンクリートとの付着状況、コンクリート強度、コンクリートの中性化、およびコンクリート中に含まれる塩化物量などの調査とした。調査項目の詳細を表-5に示す。

表-5 調査項目 (秋田大橋)

No.	調査項目	調査目的	調査方法
1	コンクリート表面のクラック	供用中に発生したと思われるコンクリート表面のクラックの把握。	クラックを目視でスケッチし、クラックゲージで幅と長さを測定。
2	鋼板の剥離	コンクリートと鋼板の剥離状況の把握。	打音検査により剥離箇所を特定し、分布図を作成。
3	鋼板下面の腐食状況	鋼板下面の腐食状況および塗膜の劣化状況の把握。	試験体を反転して、目視観察。
4	鋼板の疲労き裂	パイプジベル溶接部の疲労き裂の把握。	浸透探傷試験。
5	コンクリート強度	圧縮強度を調査し、設計基準強度との比較を行う。	一般部と目地部でシュミットハンマーによる測定(1箇所/m <sup>2</sup> 、30点/箇所)。φ75mmコア抜き試験(JIS A1107:2002)(1箇所/m <sup>2</sup> )
6	コンクリートの中性化深さ	経年における中性化深さを把握する。	φ100mmコアを採取・割裂し、フェノールフタレン溶液によりコンクリート内部の中性化深さを測定(JIS A 1152:2002)。
7	コンクリート中の塩化物量	経年における飛来塩分および凍結防止剤による塩化物の浸透状況を把握する。	φ100mmコアを採取・割裂し、コンクリート内部の塩化物濃度と塩化物浸透深さを測定(JIS A 1154:2003)。
8	コンクリートと鋼板接触面の鋼材腐食状況	コンクリートと鋼板の付着、パイプジベル周囲の劣化、鋼材の腐食状況を把握する。	供試体のコンクリートをカッターとブレードにより撤去し、鋼材の状況を目視観察し、記録する。



写真-11 旧秋田大橋の床版撤去状況



写真-12 切出した合成床版の状況

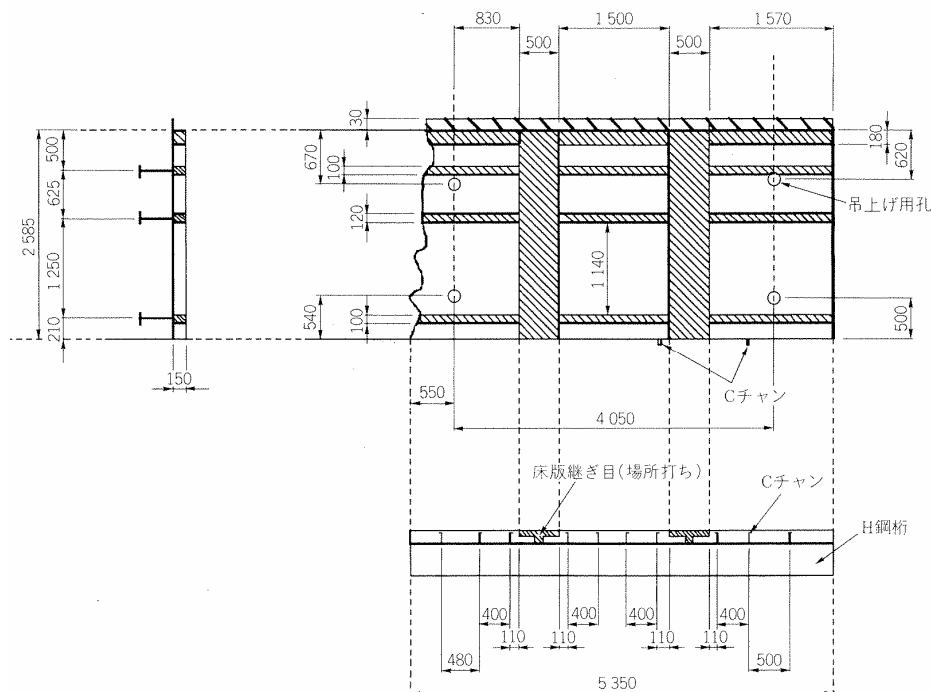


図-11 調査対象の試験体寸法図

### 3. 4 健全度調査の結果

#### (1) コンクリート表面のクラック調査

写真-13 にコンクリート表面の状況を示す。コンクリート表面の舗装を撤去し、表面状況を目視観察したが、目視で確認できるクラックは認められなかった。



写真-13 コンクリート表面の状況

#### (2) 鋼板の剥離調査

床版下面の鋼板について、コンクリートとの剥離状況を打音によって調査した。打音により金属音のする箇所はコンクリートと剥離した部分と判断した。結果を図-12 に示す。

着色部は剥離している箇所を示しており、その度合いはわずかであった。

供試体 4 角の丸孔部分は、床版を撤去する際、床版吊上用に孔明けをしたものであり、孔明け作業により孔周辺の鋼板がコンクリートより剥離している状況である。

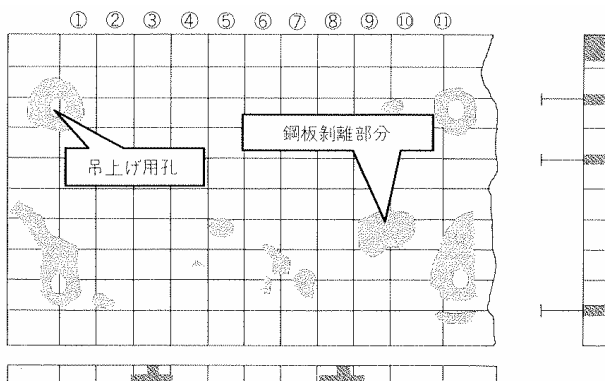


図-12 剥離分布

#### (3) 鋼板下面の腐食状況調査

床版下面における鋼板の錆の発生状況および塗膜の劣化状態を目視観察した。その結果を写真-14 に示す。塗装は、工場で鉛丹錆止め 180g/m<sup>2</sup> を 2 回塗装し、現場で上塗りをした。錆の発生は、床版下面の鋼板よりも縦桁下フランジの下面の方が多く、床版下面の鋼板は 23 年経過しているが比較的健全な状態であった。下面鋼板の錆は、鋼板の現場溶接部である裏当て金の隣接部に多く発生していた。

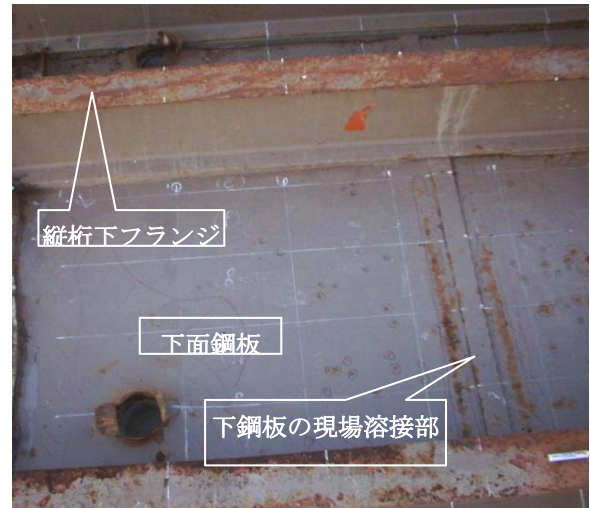


写真-14 床版下面の状況

#### (4) 鋼板の疲労き裂の調査

浸透探傷試験 (カラーチェック) によりパイプジベル溶接部の疲労き裂の調査を全数行ったが、ジベル付近での亀裂は確認されなかった。結果の 1 例を写真-15 に示す。

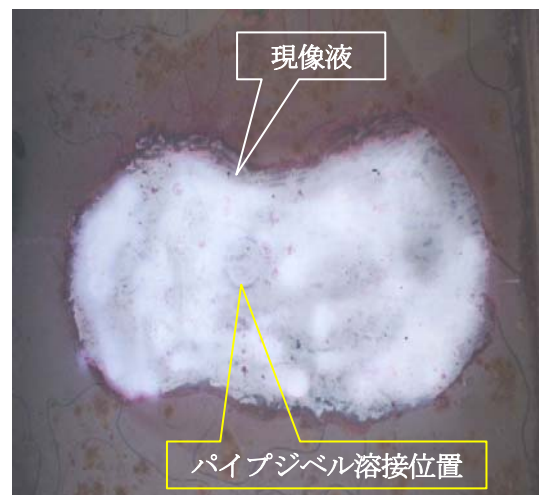


写真-15 鋼板下面の浸透探傷試験

(5) コンクリート強度の調査

供試体を図-13に示すように8区画に区分し、それぞれの区画においてシュミットハンマーによりコンクリートの圧縮強度を測定した。測定は、1箇所あたり30点行い、その平均値を各区画の圧縮強度とした。また、1区画について1本のコアを採取して圧縮強度を測定した。

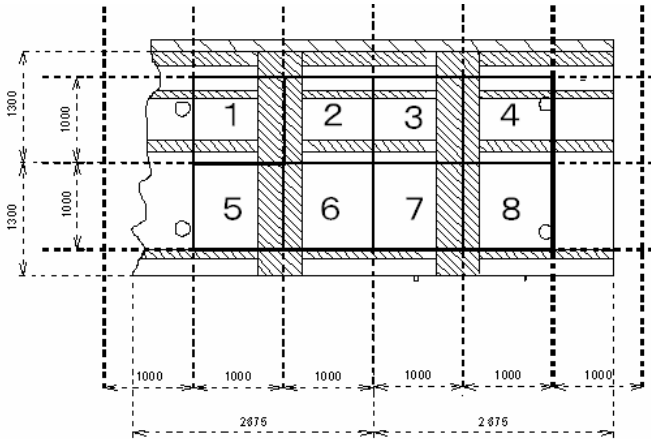


図-13 圧縮強度測定の区画

結果を表-6 および表-7 に示し、コア抜きした状況を写真-16に示す。

コンクリートの圧縮強度は、シュミットハンマーによる測定結果が平均で41.5N/mm<sup>2</sup>、コアによる測定結果が平均で36.2N/mm<sup>2</sup>となり、いずれも設計基準強度35N/mm<sup>2</sup>を満足する結果を得た。



写真-16 圧縮強度用コア

表-6 シュミットハンマーによる圧縮強度測定結果

区画No.	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
圧縮強度平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	42.8	39.7	36.3	41.8	43.2	41.2	45.3	41.7	41.5

表-7 コアによる圧縮強度測定結果

区画No.	直径 D (mm)	高さ h (mm)	重量 (g)	h/D比 (-)	補正係数	圧縮強度			単位容積質量 (t/m <sup>3</sup> )
						荷重 (kN)	強度 (N/mm <sup>2</sup> )	強度(補正) (N/mm <sup>2</sup> )	
1	67.71	130.65	1099.0	1.930	0.996	103.6	28.8	28.7	2.34
2	67.69	129.61	1097.7	1.915	0.995	140.0	38.9	38.7	2.36
3	67.71	129.00	1172.5	1.905	0.994	93.2	25.9	25.8	2.53
4	68.51	106.97	1025.1	1.561	0.963	148.6	40.3	38.8	2.60
5	68.55	129.65	1225.0	1.891	0.993	164.2	44.5	44.2	2.56
6	67.68	130.95	1178.2	1.935	0.997	96.2	26.8	26.7	2.50
7	67.67	129.76	1171.1	1.918	0.995	123.6	34.4	34.2	2.51
8	67.52	129.39	1107.0	1.916	0.995	152.6	42.6	42.4	2.39
平均								36.2	

(注記) 区画No3の供試体は、コア内に鉄筋を含むため平均値の算出では除外した

### (6) コンクリートの中性化深さ調査

供試体を図-14に示すように区画分けし、工場打設した本体部および本体と場所打ちした目地コンクリートの境界部からそれぞれφ100mmのコアを採取した。このコアを図-15に示すように割裂し、片方の試験片を用いて中性化深さを測定した。

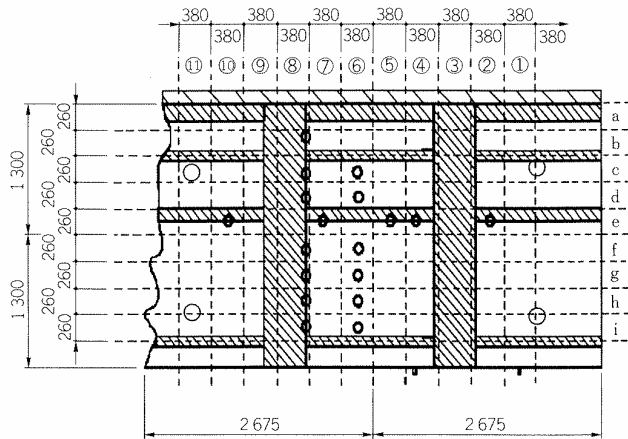


図-14 中性化深さ測定用コアの採取箇所

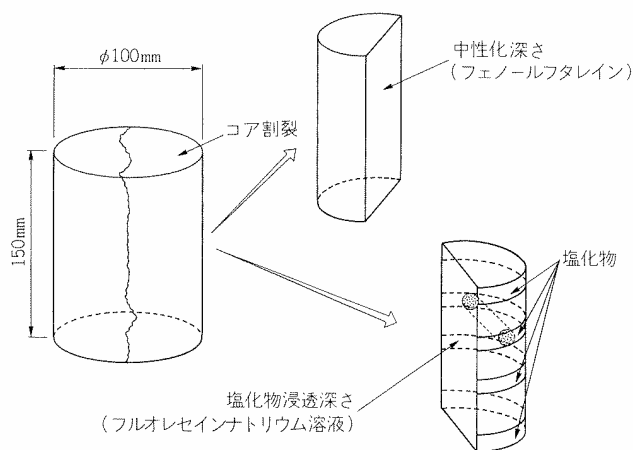


図-15 コアの中性化深さ測定方法

試験は、割裂断面にフェノールフタレインアルコール溶液 1%を噴霧して、赤紫色に着色されなかった部分の深さをノギスで6点測定し、その平均値を中性化深さとした。

結果を表-8に示す。中性化深さは、本体と目地コンクリートの境界部で0~7mm、本体部では一部を除いてほぼ 0mmで中性化が進行していないことが確認された。本体と目地コンクリートの境界部で中性化が進んだ理由としては、この部分に目視では確認できない微小ひび割れが生じていたためと思われる。

表-8 中性化深さ測定結果

種別	区画 No.	中性化深さ(mm)						平均
		1	2	3	4	5	6	
本体と目地部の境界部	b-8	5.0	7.7	3.9	4.5	3.8	11.1	6
	c-8	5.0	4.9	1.5	2.7	4.6	2.9	4
	d-8	7.9	6.6	2.7	2.1	5.3	4.4	5
	f-8	1.0	4.1	3.3	5.8	3.2	1.9	3
	g-8	4.9	4.1	2.4	3.0	7.2	4.4	4
	h-8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	i-8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	e-2	4.2	3.0	2.8	3.3	2.9	5.5	4
	e-4	8.4	9.6	5.8	4.6	6.2	5.8	7
	e-5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
本体部	e-7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	e-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	c-6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	d-6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	f-6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	g-6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	h-6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
i-6	2.9	7.8	3.8	1.4	3.4	7.2	4	

### (7) コンクリート中の塩化物量の調査

図-14に示すコアの中から工場打設した本体部 (f-6)、本体と目地の境界部 (e-5、h-8) の3本について、コンクリート中における塩化物量の調査を行った。フルオレセインナトリウム噴霧による塩分浸透深さ試験では、写真-17に示すように全てのコアが一樣に発色 (塩分の存在する個所が赤く発色する) して浸透深さの計測は困難であった。

そこで、採取したコアを上面から 20mm、30~50mm、90~110mm、145~155mm の部分でそれぞれカッターにより切断後、ジョークラッシャーと振動ミルで微粉砕して試料とし、それぞれの深さにおいてコンクリート中に含有する塩化物イオン濃度を電位差滴定法で計測した。

塩分濃度測定結果は図-16に示すように、コンクリート表面から 20mmまでが 0.7kg/m<sup>3</sup>程度と鋼材腐食発生限界濃度 1.2kg/m<sup>3</sup><sup>26)</sup>を下回る結果であった。それ以上の深さでは、0.2kg/m<sup>3</sup>以下とフレッシュコンクリートの規定値である 0.3kg/m<sup>3</sup>をも下回る結果であった。コンクリート表面の塩分濃度がそれ以外の部分より高い値を示したのは、橋面防水工が施工されていないことに加え、冬季に散布された凍結防止材の影響のためと考えられる。ただし、塩分濃度の高い部分は鉄筋のかぶり内である表面の 20mm程度で、その値も鋼材





(a)本体と目地の境界部(e-5)

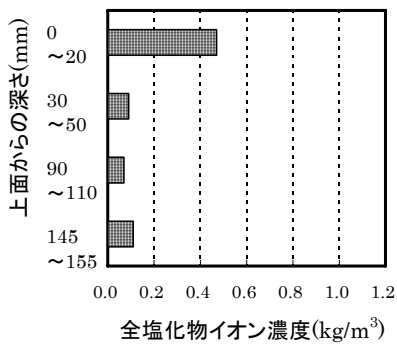


(b)本体部(f-6)

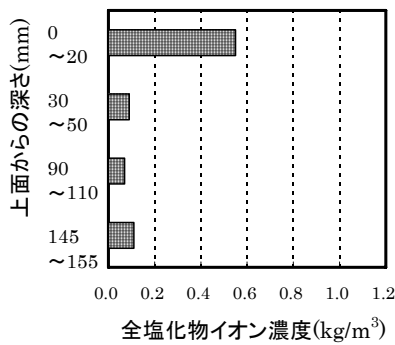


(c)本体と目地の境界部(h-8)

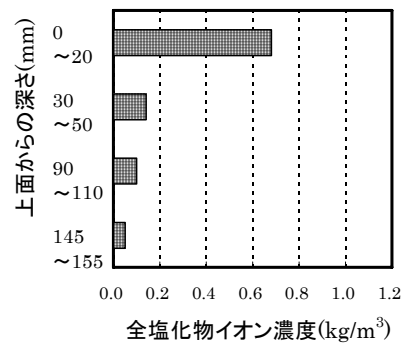
写真-17 フルオレセインナトリウムを噴霧した供試体



(a)本体と目地の境界部(e-5)



(b)本体部(f-6)



(c)本体と目地の境界部(h-8)

図-16 塩分濃度分布の測定結果

腐食発生限界濃度  $1.2\text{kg/m}^3$  を下回っていることから、塩害の懸念はないものと判断される。

#### (8) コンクリート接触面の鋼材腐食状況の調査

図-17 に示すように、床版のコンクリート部分 ABB' C ラインをカッターで切断し、コンクリート A~C 間をブレイカーで撤去した後、鋼板内面の状況、パイプジベルの状況および縦桁上フランジの発錆状況を調査した。なお、ブレイカーによるコンクリートの撤去

作業はコンクリートが健全で強度も高く、下面鋼板とコンクリートの付着があることから労力を費やした。

調査の結果、縦桁上フランジでは錆の発生が確認されたが、下面鋼板は溶接部分で若干の錆が確認されたものの、ほとんどが黒皮（不動態皮膜）の残った健全な状態であった。パイプジベルおよびスタットジベルも鋼板と同様に錆の発生は確認されず、健全な状態であった。写真-18~20 に状況を示す。

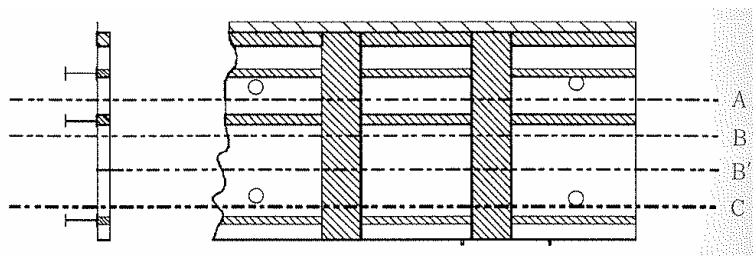


図-17 床版コンクリート撤去

また、鉄筋にも目視観察では錆の発生は確認されず、これは鉄筋位置でのコンクリート中の塩化物量が鋼材腐食発生限界濃度  $1.2\text{kg}/\text{m}^3$  を下回っていたことと一致する結果であった。

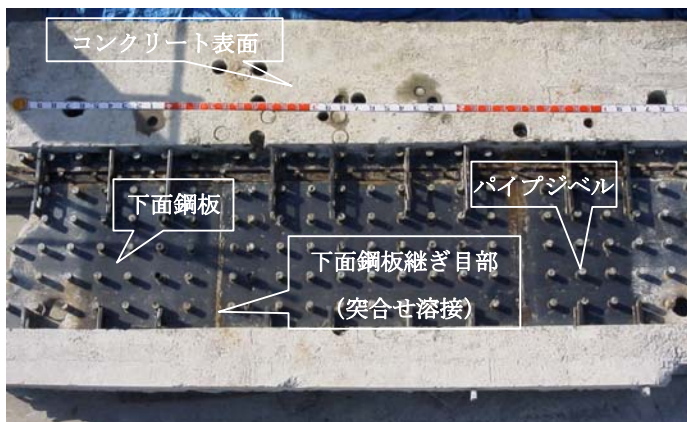


写真-18 コンクリート撤去後の下面鋼板の状況



写真-19 パイプジベルの状況

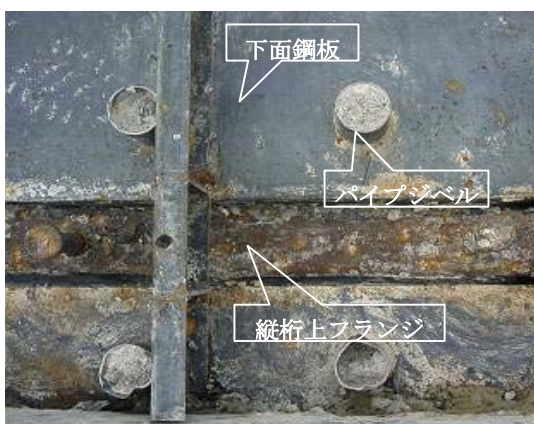


写真-20 下面鋼板とパイプジベルの状況

### 3. 5 秋田大橋の調査結果

23年間供用されたプレキャスト合成床版を撤去し、その健全度を調査した結果、次のことが判明した。

- ① 床版のコンクリート表面には、目視できるクラックは認められなかった。
- ② コンクリートと下面鋼板との剥離箇所はわずかに認められるが、コンクリートと下面鋼板との一体性が確保されていた。
- ③ 下面鋼板の錆は、パネル同士の現場溶接部にやや見られる程度であり、健全な状況であった。
- ④ ジベル付近の鋼板の疲労き裂調査をカラーチェックで実施したが、き裂は確認されなかった。
- ⑤ コンクリートの圧縮強度は、シュミットハンマーによる測定結果が平均で  $41.5\text{N}/\text{mm}^2$ 、コアによる測定結果が平均で  $36.2\text{N}/\text{mm}^2$  となり、いずれも設計基準強度  $35\text{N}/\text{mm}^2$  を満足する結果を得た。
- ⑥ 中性化深さ調査では、工場打設した本体と現場打設した目地の境界部で  $0\sim 7\text{mm}$ 、本体部では一部を除いてほぼ  $0\text{mm}$  であった。
- ⑦ 塩分濃度測定では、コンクリート表面から  $20\text{mm}$  までが  $0.7\text{kg}/\text{m}^3$  程度、それ以上の深さでは  $0.2\text{kg}/\text{m}^3$  以下であり、塩分の浸透は鉄筋のかぶり内で、その値は鋼材腐食発生限界濃度である  $1.2\text{kg}/\text{m}^3$  以下であった。
- ⑧ 鋼板内面の発錆状況は、縦桁上とその付近の鋼板の一部にやや錆が確認されたが、下面鋼板は黒皮の残った健全な状態であった。

### 3. 6 秋田大橋の健全度調査のまとめ

本橋のプレキャスト合成床版は、23年間環境の厳しい塩害地域・寒冷地・重交通の中で使用され、さらに橋面防水工が施されない状況下にある中で、十分に健全性が確保されていることが判明した。

今回、健全であった理由としては施工方法と維持管理の有り方が考えられる。

施工では、床版が品質管理の行き届いた工場内で高品質かつ高強度のコンクリートを使用して工場製作された<sup>24)</sup>ため、コンクリートと下面鋼板との一体化が十分になされていたことが一つの要因として挙げられる。これは、今回の一連の調査結果と一致するところである。

また維持管理では、当時としては試験的な床版防水工としてパイプジベル（φ48.6）を利用した水抜き孔（現在のスラブドレーンに相当）が8箇所設置されており、降雨時にはかなりの量の水滴が確認されている<sup>25)</sup>。これを踏まえると、本橋には通常の維持管理以上に気配りされたことと思われる。

今後、道路橋の床版は橋面防水工が施工される<sup>27)</sup>ことを考慮すると、合成床版の健全性は長期的に確保されることを期待したい。本報告は数少ない1例であるが、合成床版の維持管理において、特に水対策に対する健全度評価に役立てば幸いである。

（追記）

昭和9年の完成以来、秋田市の経済の発展を支えるとともに、人や文化の交流の架け橋として地域に愛されてきた秋田大橋は68年間の長きにわたりその役割を全うしてきた。このように、それぞれの地域で重要な役割を果たす「橋」は多々存在すると思われるが、本来橋の持つ機能を長期間維持するためにも、今回報告したような技術の検証や、それに基づく技術開発面で貢献していきたい。



写真-21 夕暮れの旧秋田大橋

#### 4. おわりに

鋼・コンクリート合成床版の実橋調査結果を報告した。ここで取り上げた枝川ランプ橋と秋田大橋の合成床版には、維持管理上問題となるような損傷は見つからなかった。合成床版を今後さらに長い間安全に使用していくためには、ここで報告したような実橋調査を定期的に続けてデータを蓄積すること、交通荷重に対する疲労耐久性や周辺環境の影響による経年劣化に対する耐久性を明確にすることなど、合成床版の性能を

維持するための技術的な取り組みが重要であると考え

#### 謝辞

枝川ランプ橋の調査は、首都高速道路株式会社保全・交通部、東東京管理局から多大なるご協力を得て実施した。そして、この調査に際し尽力された多くの関係者の方々に深く感謝申し上げます。

秋田大橋の健全度調査は、平成16年12月に橋梁と基礎に発表された報告<sup>28)</sup>の原稿を利用させていただいた。調査を実施された、国土交通省 東北地方整備局 秋田河川国道事務所をはじめとする関係各位に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 例えば、土木研究所：道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書（その5）、平成13年3月
- 2) 橋吉宏，横山仁規，上村明弘，高田和彦，数藤久幸，佐藤徹：鋼・コンクリート合成床版の施工と維持管理について，第五回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp. 205-210，2006
- 3) (社)日本橋梁建設協会：鋼・コンクリート合成床版維持管理の計画資料，2007. 3
- 4) 新津敬治，浅島弘光，大貫一生，落合正利：鋼製型枠合成床版を用いた合成桁の設計・施工，橋梁と基礎，Vol. 14 No. 11 pp. 42-49，1980. 11
- 5) 中島拓，甘利憲一：鋼製型枠を設計断面に換算した合成桁の開発(その1)，首都高速道路公団技報，第8号，pp. 120-121，1976
- 6) 中島拓：鋼製型枠を設計断面に換算した合成桁の開発(その2)，首都高速道路公団技報，第9号，pp. 172-175，1977
- 7) 結城正洋：鋼製型枠を設計断面に換算した合成桁の開発(その3)，首都高速道路公団技報，第10号，pp. 138-142，1978. 3
- 8) 新津敬治，富沢修次：枝川ランプ鋼製型枠を用いた合成床版の設計と製作，首都高速道路公団技報，第12号，pp. 61-65，1980. 3
- 9) 和泉公比古，大貫一生：鋼製型枠合成床版を用いた



- 合成桁の載荷試験, 首都高速道路公団技報, 第 13 号, pp. 104-106, 1981. 3
- 10) 大貫一生: 鋼製型枠合成床版を用いた合成桁に関する設計資料作成, 首都高速道路公団技報, 第 14 号, pp. 213-219, 1982. 3
- 11) 大貫一生, 結城正洋, 恩地肇: 鋼製型枠を用いた合成床版の開発, 土木学会第 34 回年次学術講演会, I-59 pp. 117-118, 昭和 54 年 10 月
- 12) 和泉公比古, 大貫一生, 落合正利: 鋼製型枠合成床版を用いた合成桁の載荷試験, 土木学会第 35 回年次学術講演会, I-86 pp. 169-170, 昭和 55 年 9 月
- 13) 大貫一生, 安藤憲一, 若下藤紀, 梶田順一: 鋼製型枠合成床版に関する実験, 土木学会第 38 回年次学術講演会, I-231 pp. 461-462, 昭和 58 年 9 月
- 14) 宇佐見健太郎, 堀米憲治, 小沢優二: 鋼製型枠合成床版を用いた合成箱桁の設計および載荷実験, 土木学会第 42 回年次学術講演会, I-172 pp. 378-379, 昭和 62 年 9 月
- 15) (社) 日本橋梁建設協会: 新しい鋼橋の「鋼・コンクリート合成床版」橋建協標準合成床版 改訂第 4 版, 2007. 1
- 16) (社) 土木学会: 鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物, H9. 9
- 17) 伊東良浩: 打音法によるコンクリート構造物の非破壊検査法に関する研究, 東京大学, 博士論文, 1997
- 18) 磯光夫, 久保田和徳, 吉家賢吾, 畠中真一, 越後滋, 橋吉宏: 打音法による合成床版の非破壊検査手法に関する研究, 川田技報, Vol. 27/JAN, 2008, pp. 30-35, 2008. 1
- 19) 末吉学, 木村真二, 山本泰幹, 伊藤剛, 佐藤徹: 連続合成桁橋における合成床版の性能確認と品質管理 - 首都高速埼玉新都心線見沼田圃地区高架橋一, 橋梁と基礎, Vol. 40 No. 11 pp. 21-29, 2006. 11
- 20) 佐々木保隆, 村上修司, 坂井孝, 金子稔: 非破壊検査手法による合成床版の剥離ならびに空隙探知実験, 土木学会第 57 回年次学術講演会, I-804 pp. 1607-1608, 平成 14 年 9 月
- 21) 末岡英二, 坂井孝, 金子稔, 荒金直樹, 佐野清: 圧電セラミック素子を用いた鋼板とコンクリート間の空隙探知に関する実験, 土木学会第 56 回年次学術講演会, V-387 pp. 774-775, 平成 13 年 10 月
- 22) Hiroaki Hatanaka, Yutaka Kawano, Nobukazu Ido, Masahiro Hato, Minoru Tagami: Ultrasonic testing with advanced signal processing for concrete structures. Nondestructive Testing and Evaluation, Volume 20, Issue 2, pp. 115-124, June 2005
- 23) (社) 土木学会: 道路橋床版の新技术と性能照査型設計, 2000. 10
- 24) 畑沢: 秋田大橋床版打換工事報告, 建設月報とうほく, 1980
- 25) 桑原: 秋田大橋床版打換工事について, 建設月報とうほく, 1987
- 26) (社) 土木学会: コンクリート標準示方書[施工編], 2002
- 27) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 平成 14 年 3 月
- 28) 武藤徹, 石井孝男, 小川潤一郎, 小野辺良一, 吉村和真: 秋田大橋において 23 年間供用した合成床版の健全度調査, 橋梁と基礎, Vol. 38 No. 12 pp. 19-25, 2004. 12