

供用 27 年を経た鋼・コンクリート合成床版の経年調査結果

The Result of Follow-up Survey of Steel-Concrete Composite Slab of Highway Bridge for 27 years

林 暢彦*, 野呂 直以*, 吉良 浩二**

Nobuhiko HAYASHI, Tadayuki NORO, Koji KIRA

* (社)日本橋梁建設協会 技術委員会床版小委員会床版技術部会(〒104-0061 東京都中央区銀座二丁目2番18号)

** (社)日本橋梁建設協会 技術委員会床版小委員会床版施工部会(〒104-0061 東京都中央区銀座二丁目2番18号)

Although there are many cases to adopt composite slabs for decks of steel-bridges, there are few reports about follow-up survey of composite slabs. In order to get their condition data, we conducted a field survey for Edagawa-ramp Bridges. Those are the oldest highway bridges as using composite slab decks on I-shape beams in Japan. For field survey, we applied 5 measuring ways – 1) external diagnosis, 2) auditory detection using hammering inspection, 3) impact acoustic method, 4) elastic-sweep-wave method, and 5) ultrasonic testing. On the basis of these results, no damage had been found composite slabs of Edagawa-ramp Bridges.

Key Words : Steel-concrete composite slab, Field Survey, Inspection method, Existing bridge, 27 years

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・高機能化に関する技術開発が進められ、少数 I 桁橋や開断面箱桁橋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。そのなかでも鋼・コンクリート合成床版（以下、合成床版とする。）は、施工性や高耐久性によるライフサイクルコスト低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¹⁾。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、多くの鋼材を用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²⁾をもとに、日本橋梁建設協会（以下、橋建協とする。）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」³⁾に取りまとめた。



図-1 調査対象橋梁位置図

本報告では、供用27年経過した合成床版を対象とし、前述の資料³⁾で提案した点検・調査方法や合成床版メーカーが提案している非破壊検査法を利用した点検・調査結果を報告する。同時に目視観察も実施したのでその結果も報告する。

- ① PL t = 6 せき板
- ② CT 50×50×5×7 横リブ
- ③ PL t = 8 控えリブ
- ④ L 100×100×10 山形リブ
- ⑤ HTB M22 連結ボルト
- ⑥ Bar D19 主鉄筋
- ⑦ Bar D16 配力鉄筋
- ⑧ Stud 13φ×100 スタッド
- ⑨ Stud 19φ×100 スタッド
- ⑩ 鉄筋コンクリート床版(t=15cm)

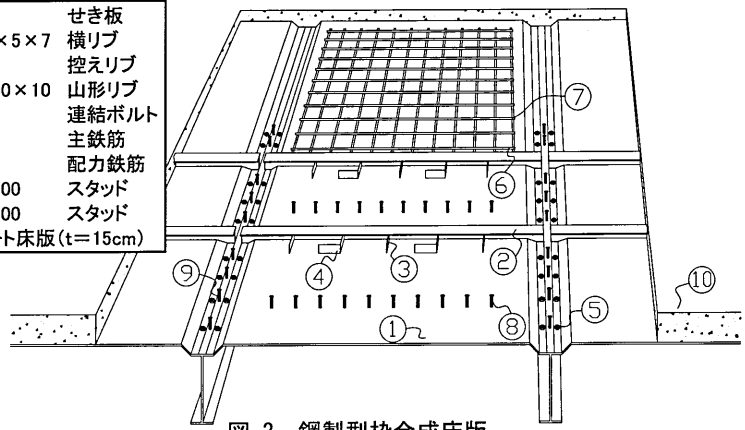


図-3 鋼製型枠合成床版

2. 調査対象橋梁

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）の単純合成鋼桁橋である。枝川ランプは単純合成箱桁1連、三径間連続鋼箱桁、単純合成鋼桁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鋼桁3連である。このランプは昭和55年2月から供用され⁴⁾、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。

2.1 橋梁形式

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鋼桁で、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。一般図概要を図-2に示す。準拠基準類は、道路橋示方書(S48.2,日本道路協

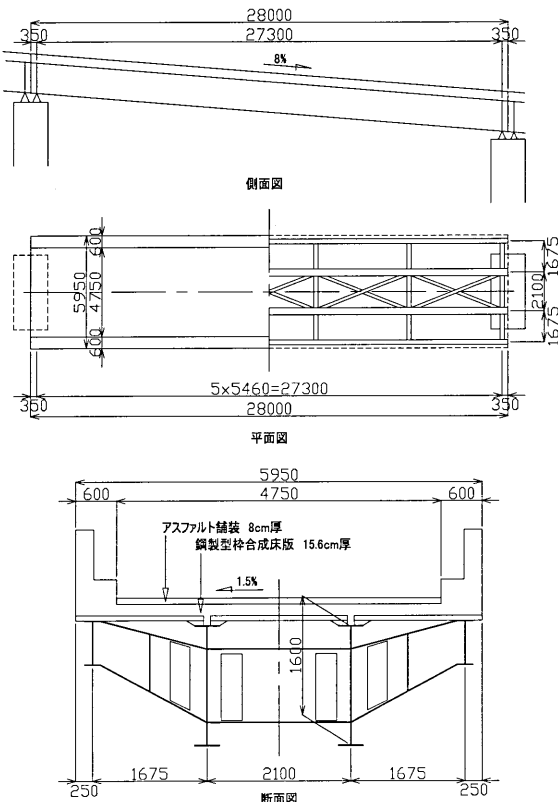


図-2 橋梁一般図概要

会)、鋼構造物設計基準(首都高速道路公団)である。

2.2 枝川ランプに適用された合成床版

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

表-1 枝川ランプと橋建協標準合成床版の比較

	枝川ランプ合成床版	橋建協標準合成床版
1. 材料		
1) コンクリート		
①セメント	—	普通ポルトランドセメント
②膨張材の有無	—	有
③設計基準強度	350 kgf/cm ²	30 N/m ² 以上
④許容応力度(合成桁)	100 kgf/cm ²	道示Ⅱ鋼橋編11.3.11による
2) 鉄筋		
①材質	SD30	SD345を標準
②鉄筋径	φ13 ~ 19mm	φ13 ~ 25mmを標準
③上側鉄筋かぶり	30.5 mm (= 40 - 19 / 2)	30 mm 以上
④許容応力度	SD30: $\sigma_{st} = 1400 \text{ kgf/cm}^2$	SD295: $\sigma_{st} = 140 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{sc} \leq 180 \text{ N/mm}^2$ SD345: $\sigma_{st} = 140 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{sc} \leq 200 \text{ N/mm}^2$
3) 底鋼板		
①材質	SS41	SM400A, SS400
②板厚	6mm	6mm以上を標準
2. 床版構造		
1) 適用基準	道路橋示方書(S48.2) 鋼構造物設計基準(首都高)	道路橋示方書・同解説書(H14.3) 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)
2) 設計荷重	TL-20	B活荷重…枝川
3) 床版厚	156mm(底板含む)	hc=25L+110 (L=2.1m) 162.5mm→160mm…枝川換算
4) 底鋼板取付金具	高力ボルトで主桁フランジと連結	スタッドボルトで主桁フランジと連結 ^{注1)}
5) 底鋼板の継手	高力ボルト継手方式 (但しハンチ部は現場溶接)	高力ボルト継手方式 ^{注2)}
6) 底板と桁の止水工	—	有
7) 防水・滞水対策	特殊合成ゴム溶液型防水剤 の防水層有り	防水層設置、ドレン等の設置
8) 合成床版の単位面積重量	4.95 kN/m ²	(床版厚21cmで5.78 kN/m ² ,) 16cm換算で4.4 kN/m ²
9) ハンチ形状	1:2	1:3 ~ 1:5
10) 床版支間:張出長	1:0.798(但し、側縦桁有り)	1:0.4

注1) 主桁付き、床版付きピースによる高力ボルト固定式が別途ある。

注2) 底鋼板にスタッドボルトを設置し、添接板で連結する方法が別途ある。

団時代の昭和49年度から開発研究^{5~14)}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。

2. 3 標準鋼・コンクリート合成床版との比較

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¹⁵⁾と材料や諸元など¹⁶⁾を比較したものを表-1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。

3. 調査

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。

3. 1 調査位置

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滲水しやすい箇所を中心に選定した。

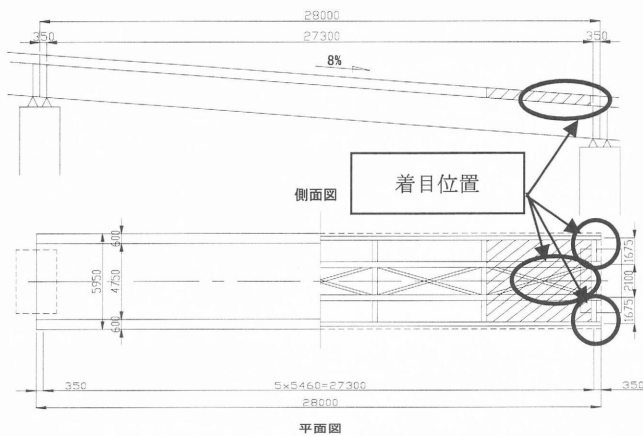


図-4 調査対象位置

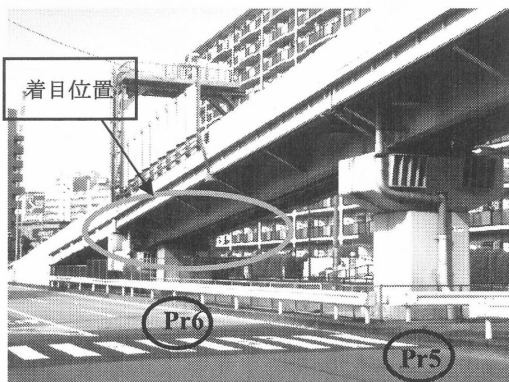


写真-1 調査対象位置

3. 2 調査方法

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・はく離箇所等を定性的に把握するために実施した。合成床版の底版を、写真-1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。

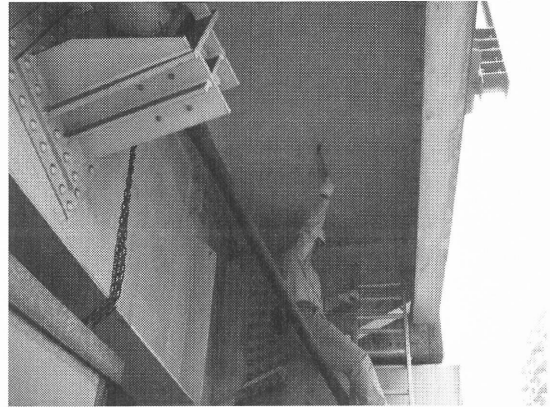


写真-2 たたき検査

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(川田工業・佐藤工業)^{17~19)}：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を評価した。写真-3に調査機材、写真-4にその状況を示す。

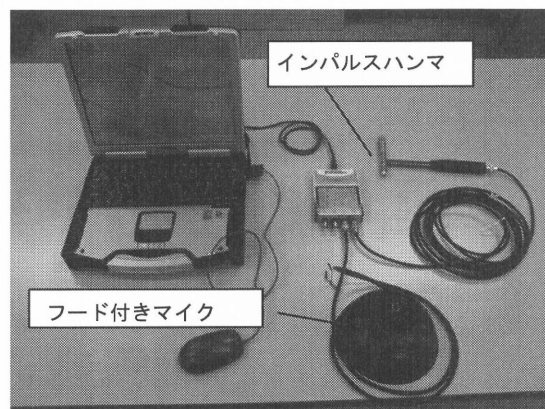


写真-3 打音法の調査機材



写真-4 打音法の調査状況

(4) 弾性スイープ波法（横河ブリッジ）^{20,21}：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、床版内部の状況を評価した。写真-5 に調査機材、写真-6 にその状況を示す。

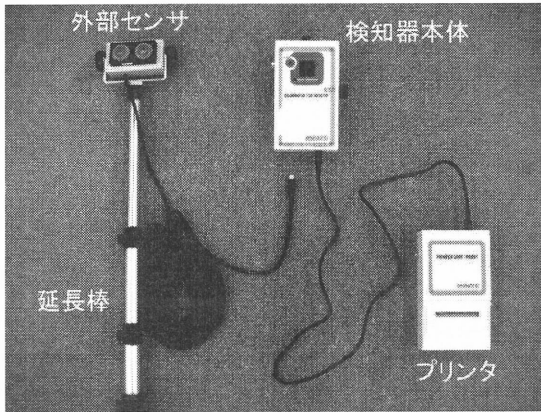


写真-5 弾性スイープ波法の調査機材

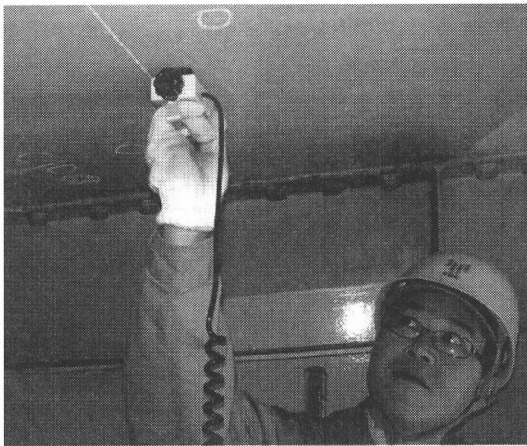


写真-6 弾性スイープ波法の調査状況

(5) 超音波法（IHI）²²：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を評価した。写真-7 に調査機材、写真-8 にその状況を示す。

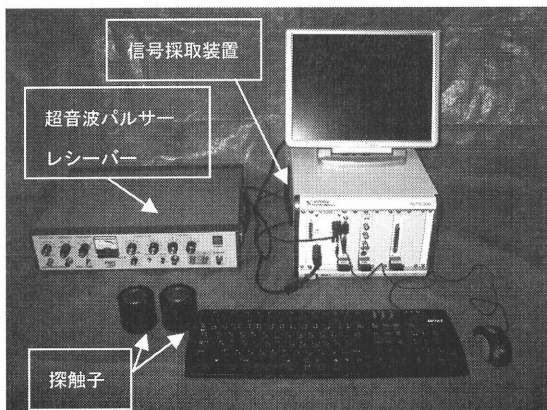


写真-7 超音波法の調査機材

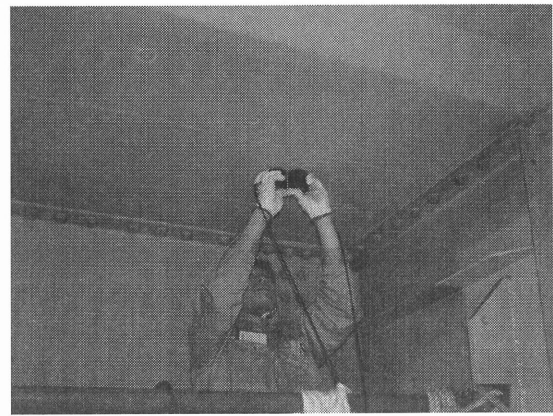


写真-8 超音波法の調査状況

4. 調査結果

4. 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。

- ・ 床版に有害な変形や損傷は無かった。
- ・ 床版継手部の高力ボルト連結板まわり、主桁継手部の主桁-床版連結まわりの一部に発錆が見られた。ただし、鋼板の減肉までは確認できなかった。（写真-9）
- ・ そして、床版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。

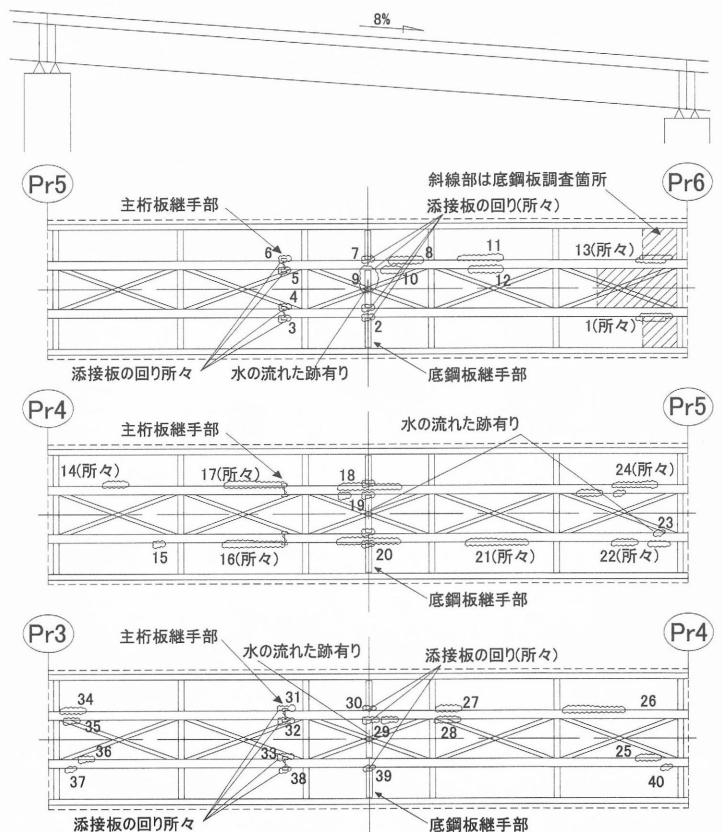


図-5 目視観察マップ

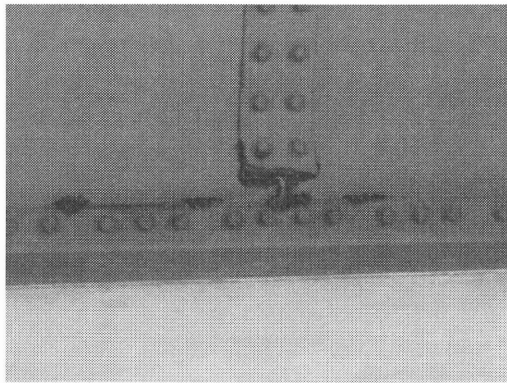


写真-9 継手部の腐食状況

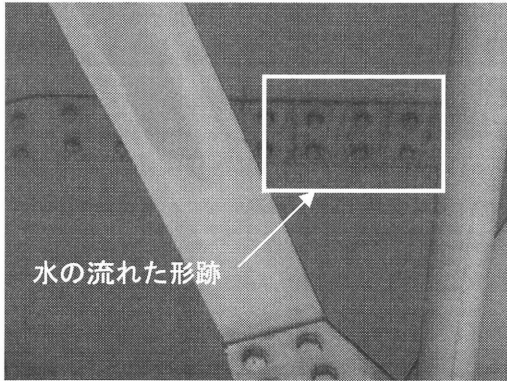
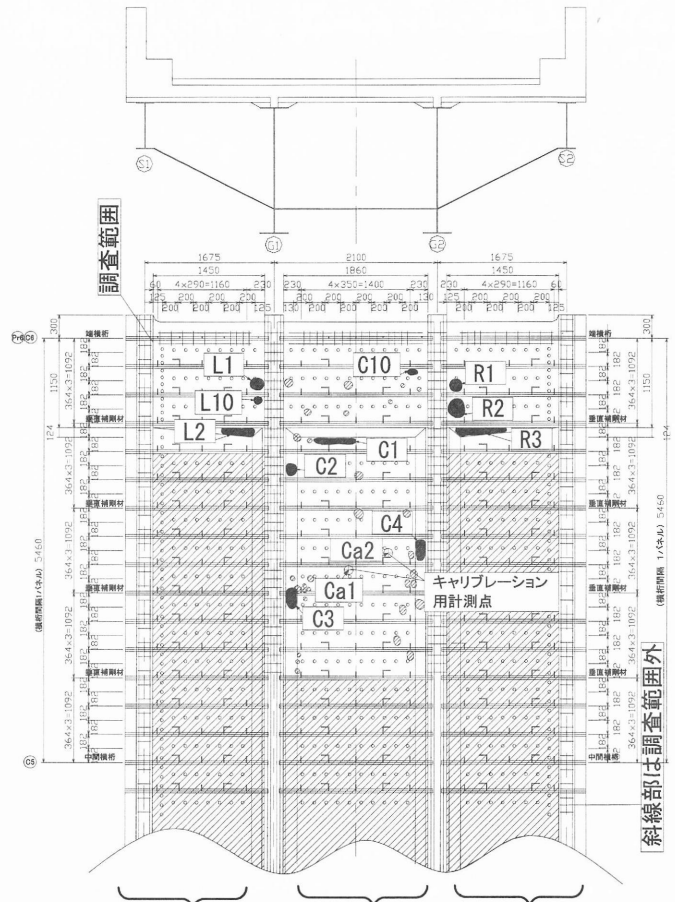


写真-10 継手部の水の流れた形跡



左張出部 (3)打音法 (4)弾性スイープ 波法	床版支間部 (3)打音法 (4)弾性スイープ波法 (5)超音波法	右張出部 (3)打音法 (4)弾性スイープ 波法
-----------------------------------	---	-----------------------------------

※ 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

4. 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がほとんど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、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。

4. 3 調査結果

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-2に示す。

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、二手法のみではあるがほぼ同様の結果を得た。

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。

表-2 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	水分を含む可能性有り	剥離&水分を含む可能性有り	—
	L2	剥離	剥離無し	—
	L10	水分を含む可能性有り	剥離&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	水分を含む可能性有り	剥離&水分を含む可能性有り	—
	R1	水分を含む可能性有り	剥離無し	—
	R2	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。

5. 合成床版の状態と今後の課題

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同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、桁端部付近の合成床版（損傷が比較的激しいであろうと想定出来る部位）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、調査結果は三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」、「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、「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。

謝辞

本調査は、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、非破壊検査において技術支援していただいた（株）IHI、川田工業（株）、（株）横河ブリッジの WG メンバーの方々や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。

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 一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