

報告

脆弱化した床版を有する鋼単純合成鋼桁橋の補修事例

樋口祐治*, 芳賀亮*, 脇阪大地*, 東洋平**, 森康晴*

*パシフィックコンサルタンツ(株), 交通基盤事業本部 インフラマネジメント部
(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22 番地)**パシフィックコンサルタンツ(株), 東北支社 交通基盤事業部
(〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町一丁目 9 番 1 号)

1972 年に竣工された鋼単純合成鋼桁橋において、RC 床版に脆弱箇所の進行が確認されたため、鋼繊維補強コンクリート上面増厚にて床版全面の補強を実施した。代替道路がないことから、施工は現況 2 車線を上下線に分けて行った。本稿では、RC 床版の点検および調査結果と、上面増厚補強、床版部分打替、付帯して必要となる主桁当て板補強、支承交換等の補修・補強設計およびその工事内容について報告する。

キーワード: 土砂化, 電磁波レーダー, 上面増厚, 主桁補強

1. はじめに

相模原市の郊外に位置する 1972 年に竣工された鋼単純合成鋼桁橋（橋長 35.00m, 全幅員 10.20m）において、床版の脆弱化が疑われる舗装の異常が確認されたことを契機として、電磁波レーダーで舗装下の床版状態の調査を行った。調査結果より、土砂化が疑われる箇所の舗装の一部を撤去して床版の脆弱箇所を直接確認できたことから、鋼繊維コンクリート（以下、SFRC と略す）による上面増厚にて床版全面の補強を行った。対象橋梁の全景を写真-1, 対象橋梁諸元を表-1 に示す。本稿では、定期点検により顕著な損傷が確認された RC 床版の点検結果、電磁波レーダーによる床版脆弱化の調査結果及びコンクリート調査結果と、RC 床版の部分打替および SFRC による上面増厚、主桁当て板補強、支承取替等の補修・補強設計および工事について報告する。補修補強一般図を図-1 に示す。

2. 定期点検・詳細調査・診断の結果および補修方針

2.1 橋梁点検による床版脆弱化の疑い

平成 28 年の橋梁定期点検において、床版下面に遊離石灰の滲出や水浸みを伴った 2 方向ひびわかれが複数箇所で確認された。また、直上の舗装ではポットホールの発生、泥水の噴出跡やひびわかれが見られたことから、床版の脆弱化が疑われていた。舗装の泥水噴出箇所においては、令和 2 年に応急対応として舗装の部分撤去とその下の床版の上面補修を実施した。床版の損傷と水浸みの状態を図-2 に示す。なお、床版の損傷は上り線の起点側と、セ



写真-1 橋梁全景 (補修前)

表-1 対象橋梁諸元

| 路線名 | 一般国道20号 |
|---------|----------------------|
| 完成年 | 1972年 |
| 上部構造形式 | 鋼単純合成鋼桁橋 |
| 下部構造形式 | 逆T式橋台2基 |
| 基礎構造形式 | 場所打ち杭、直接基礎 |
| 設計活荷重 | 既設: TL-20, 補強後: B活荷重 |
| 橋長(支間長) | 35.0m (34.400m) |
| 幅員 | 全幅員 10.2m, 有効幅員 7.5m |
| 斜角 | 90° 00' 00" |
| 縦断勾配 | 6.0% |
| 横断勾配 | 2% (拵み勾配) |

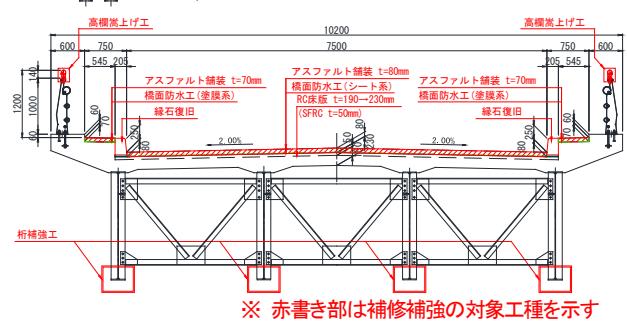
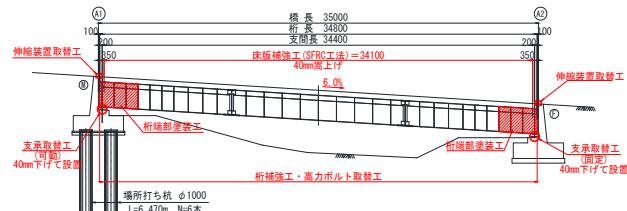


図-1 橋梁補修強一般図

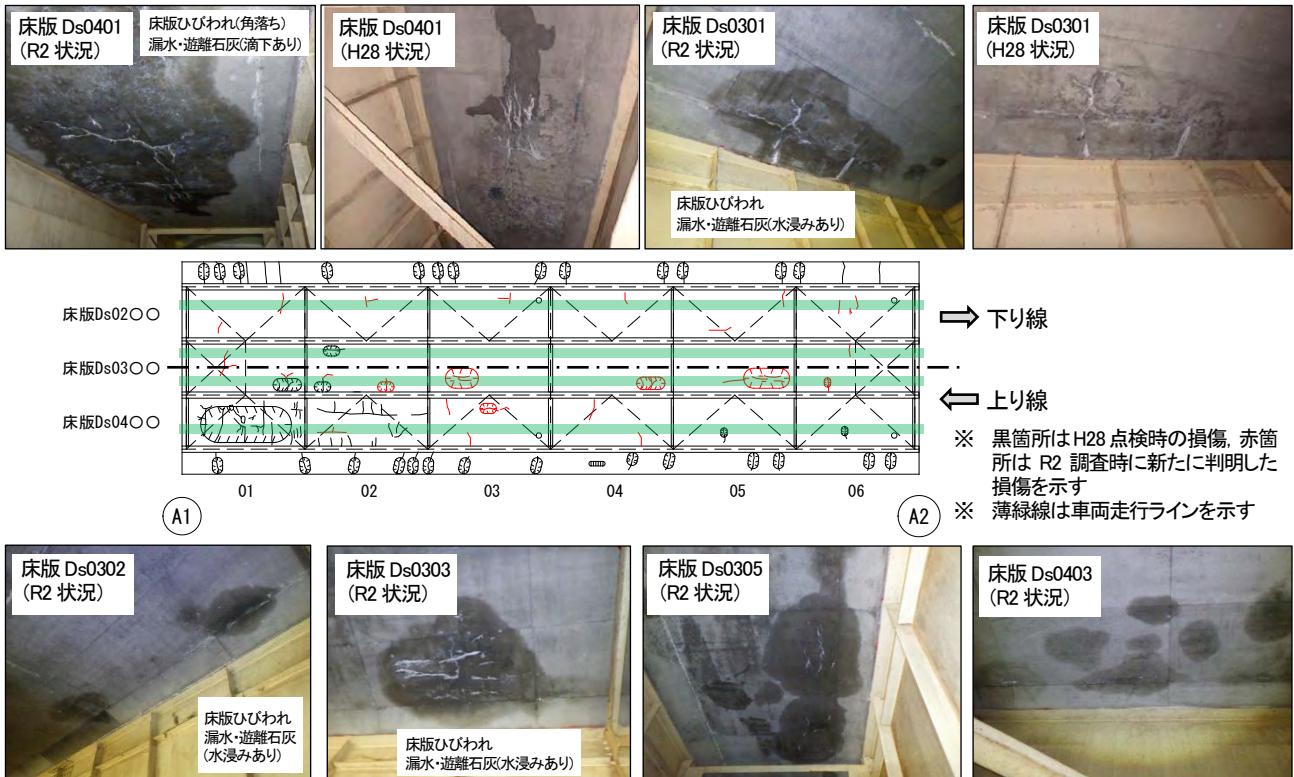


図-2 床版損傷と水浸み状態

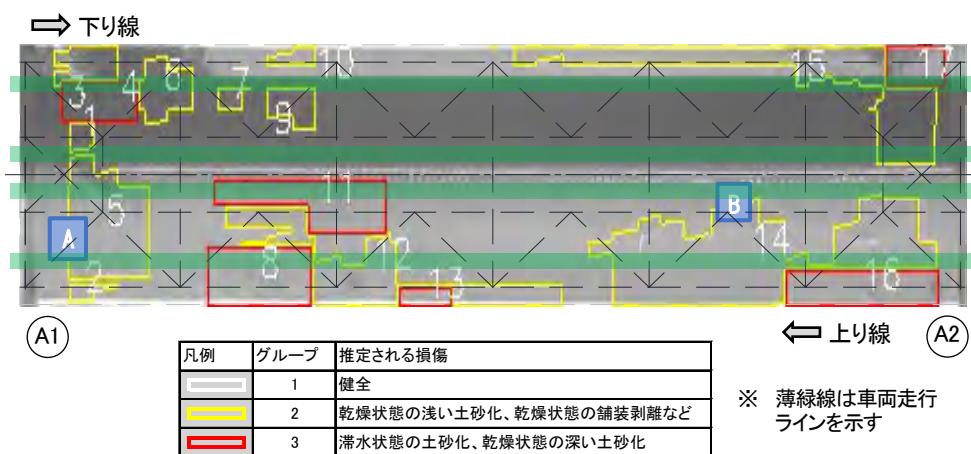


図-3 電磁波レーダー調査結果

ンターライン側の輪荷重位置において顕著に確認された。

2.2 電磁波レーダーによる床版脆弱化の調査結果

補修設計を行うに際して、床版全体の変状範囲の把握を目的として電磁波レーダーによる調査を行った。図-3に令和2年に実施した調査結果を示す。調査結果より、上り線側で脆弱化が疑われる箇所が広範囲で確認され、点検結果と同様の傾向であった。また、路面の状態から床版の脆弱化が疑われる図-3内に示すA, Bの箇所については、1m四方の舗装を撤去し、床版上面の状態の確認を行った。調査箇所の床版の状態を写真-2に示す。なお、調査箇所の選定については、電磁波レーダーでの調査結果で「滞水状態の土砂化」となっている赤枠部については令和2年の応急対応で脆弱化が確認できていた

ため、「乾燥状態の浅い土砂化、乾燥状態の舗装剥離など」となっている黄色枠部の状態把握をすることとした。さらに、桁下部の損傷状態の関係性の確認を目的として、桁下に損傷が見られた位置を選定した。これらの結果より、舗装撤去後の床版上面に脆弱化が確認され、電磁波レーダーとの調査結果と概ね一致していることを確認した。

また、電磁波レーダーの結果では下り線よりも上り線に損傷が多い傾向であることが確認された。当該橋梁の横断勾配は拝み勾配であり、排水や構造等の条件は同等であるが、上り線に損傷が多く見られた原因としては、当該道路の大型車両の通行量（推定）がやや上り線側のほうが多い傾向となっていることや、上り線側は6%の上り坂であること等が影響したためと推定される。



写真-2 舗装剥離調査
(上: A, 下: B)

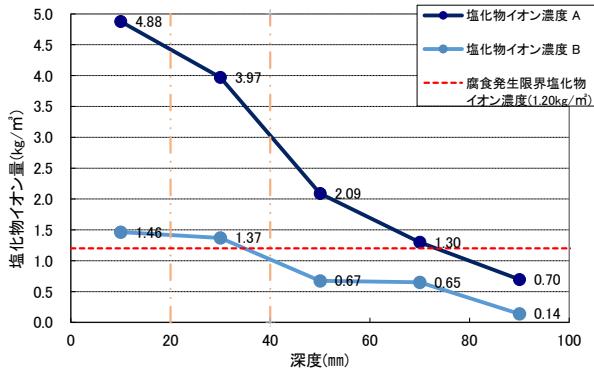


図-4 塩化物イオン濃度結果

表-2 橋梁全体の診断結果および補修方針

| 部位 | 損傷種類 | 健全度 | 損傷概要 | 損傷原因(推定) | 補修方針 |
|------|----------------|-----|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 床版 | 漏水・遊離石灰剥離・鉄筋露出 | III | 遊離石灰を伴うひびわれや剥離・鉄筋露出が見られる | 塗害(凍結抑制剤)・凍害、かぶり不足、輪荷重作用 | 上面に脆弱部が見られるところから、脆弱部を補修した後に補強等の対策を行う |
| 主桁 | 腐食・変形欠損 | III | 下フランジに著しい腐食、断面欠損が見られる | 目地からの漏水、外桁への雨掛り | 当て接縫による対策を行う |
| 支承 | 破断・機能障害 | III | 著しい腐食、セットボルトの破断が見られる | 目地から支承端部への漏水 | 腐食が著しいことから、取替を行う |
| 対傾構 | 腐食 | II | 腐食、ボルトの破断が見られる | 目地からの漏水、外桁への雨掛り | 塗替え塗装に加えてボルト交換を行う |
| 下横構 | ゆるみ・脱落 | | | | |
| 伸縮装置 | 腐食・漏水・滲水 | II | 腐食と桁下への漏水・滲水が見られる | 止水機能劣化(二次止水なし) | 主桁や支承の損傷原因となっていることから、取替を行う |
| 排水管 | その他 | II | 土砂詰まりや仮固定されている箇所が見られる | 土砂詰まりによる腐食、欠損 | 排水管の取替えを行う |

2.3 床版コンクリート試験結果(強度、中性化、塩分含有量)

舗装剥離調査に合わせて、床版コンクリートの圧縮強度、中性化、塩化物イオン濃度についての試験を実施した。

圧縮強度は、床版下面でシュミットハンマーによる強度を測定した。測定値は試験値の平均で 54.8 N/mm^2 であり、床版の設計基準強度 24 N/mm^2 を十分に満足していると判断できる結果であると考えられる。図-3のA、B箇所の床版上面から小口径コアで試料を採取し、中性化及び塩分含有量試験を実施した。中性化深さはいずれも 0 mm であり、中性化は進んでいない結果であることを確認した。塩分含有量試験結果を図-4に示す。塩化物イオン濃度については、竣工図やはつり作業の結果から、実態の鉄筋位置として想定される $20 \sim 40 \text{ mm}$ の位置で 3.97 kg/m^3 および 1.37 kg/m^3 と高い塩分濃度が検出され、いずれも「コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領

(案) 16年3月」に記載されている鉄筋腐食の発生限界値 1.2 kg/m^3 を超過していた。施工時に舗装を撤去し、床版上面はつりを行った際、鏽汁を伴った脆弱箇所や鉄筋の断面減少部分が見られたことから、塩害が生じていたと考えられる。

2.4 橋梁全体の診断結果および補修方針

表-2に診断結果および補修方針を示す。橋梁定期点検において、床版下面に遊離石灰や漏水を伴った2方向ひびわれが複数箇所で確認されており、床版上面には脆弱箇所、主桁端部の下フランジやウェブ、支承本体に腐

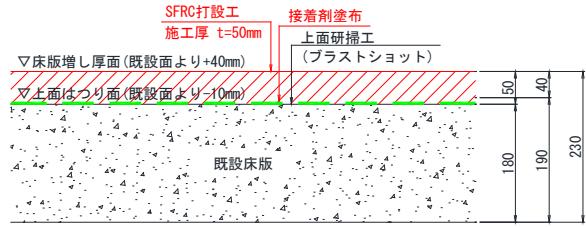


図-5 床版上面増厚断面図

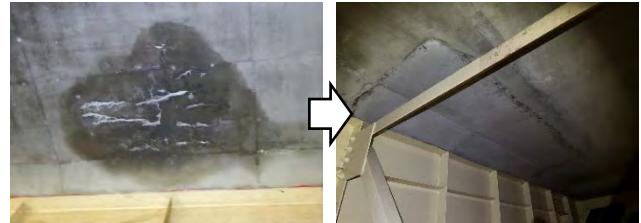


写真-3 床版下面(左:補修前、右:部分打替後)



写真-4 床版上面はつり状況

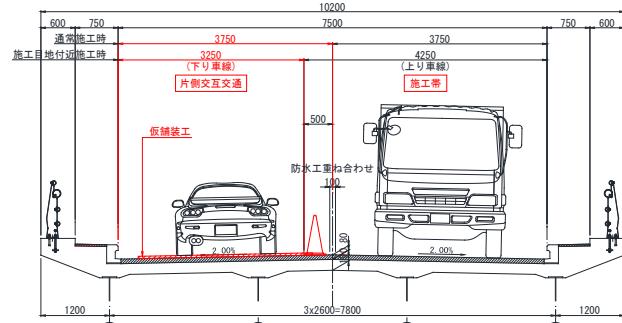


図-6 上部工断面図(半断面施工時)

食による断面欠損が生じており、構造安全性の観点から早急な措置が必要と診断された。補修方針としては、損傷の原因となっている漏水等を止めるなどを前提としたうえで、各種部材において対策を行う必要がある。具体的には、床版については、既設床版の補修補強を行い、床版防水を行う必要がある。また、断面欠損が生じている箇所は、当て板や部材の取替を行う必要がある。

3. 補修・補強設計および施工の概要

3.1 床版部分打替および上面増厚

既設床版の上面および下面の損傷状況から、本橋の床版は劣化が進行し、耐荷性能の低下が懸念される状態であった。床版上面で脆弱化が発生している箇所の床版下

面側では漏水の範囲が経年に広がっていることからも、今後も損傷が進行する可能性が高く、恒久的には床版の全面打替による抜本的な対策が望ましい。一方で、設計時点では著しい損傷が発生している箇所は上り線に集中していたこと、全面の床版取替による対策は、長期間の交通規制が必要であり、代替路線がないことから、劣化箇所の部分打替を行い、床版全体に対して SFRC による上面増厚補強を行うことで耐荷性能を向上させる方針とした。

床版の上面増厚補強量は H24 道路橋示方書¹⁾に規定される床版厚を満足するように設定した。具体には、既設床版厚 190mm に対して、必要床版厚は 230mm となった。本橋では、NEXCO の設計要領²⁾を参考に、既設床版の上面を 10mm 切削して、必要床版厚を確保するよう、SFRC にて 50mm の上面増厚を行うこととした。図-5 に床版上面増厚の断面図を示す。

床版上面増厚補強を行った場合、路面高が現況よりも 40mm 嵩上げされることから、橋梁前後で路面高の擦り付けを行う必要がある。現況道路の縦断勾配は 6.0% であり、設計速度 40km/h に対して道路構造令の基準値を満足しているものの急勾配であった。擦り付けが生じると通行車両の衝撃力が橋梁に作用する恐れがあることや、走行性が低下することが懸念される。それらを回避するため、床版補修と同時に実施する支承取替にて、支承部の構造高さを切り下げることで、路面の嵩上げをせずに床版上面増厚を行う計画とした。なお、定期点検及び詳細調査で床版下面まで漏水が生じていることが確認された箇所は、床版全厚の部分打替を行った後、上面増厚を行う計画とした。

施工の際、既設の舗装を除去し、既設床版の上面を 10mm 切削したところ、従前の調査診断結果から推察された床版上面の脆弱箇所が一部箇所で確認された。そのため、打音検査にて脆弱部の範囲を特定した後、ウォータージェットではりを行った。当該橋梁は山間部に位置する橋梁であり、周辺部への騒音も大きく問題とならないことから当該工法を採用した。はり後、マクロセル腐食の防止対策として、新旧コンクリートの界面にシリコン系等の含浸材を塗布することで絶縁層を構築し、腐食速度を遅らせる遮蔽型マクロセル腐食対策を行った。その後に、既設床版の部分打替と上面脆弱箇所の部分補修を行い、床版上面のチッピングおよび接着剤を塗布し、上面増厚補強の施工を実施した。なお、いずれの作業も片側交互規制の状態で限られたスペースの中で安全の確保を行いながら実施した（写真-3, 4、図-6 参照）。

3.2 主桁當て板補強

上面増厚に伴って死荷重が増加することから、上部工の主桁補強を実施した。主桁補強状況を写真-5 に示す。主桁補強について、本橋の上部工は S39 道示により設計されており、現行道示に示される B 活荷重に対応してい



写真-5 主桁補強状況



写真-6 支承取替（左：補修前、右：補修後）

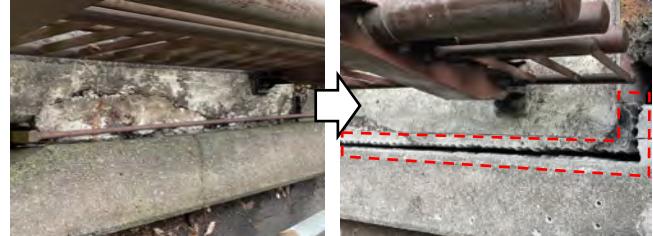


写真-7 支点下げ時支障箇所の対応（山側側壁部）



写真-8 遊間確保対策

写真-9 支点下げ状況

ないことから、B 活荷重への対応も含めて補強を実施することとした。主桁補強は、増厚前の既設状態を基本としてステップ解析により応力度を算出した。具体には、主桁の當て板補強が、活荷重に加えて床版の上面増厚やそれに伴って生じる歩道部や高欄の嵩上げによる死荷重の増加に抵抗するよう、上面増厚の施工前に補強するものとして主桁補強断面の計算を行った。なお、主桁と既設床版の合成作用は一定程度保持されているものと考え、合成桁として上記の計算を実施した。その結果、下フランジの応力超過が著しいことを確認したため、下フランジの當て板補強を基本に補強断面を決定した。

既設添接板の箇所については下フランジの當て板補強

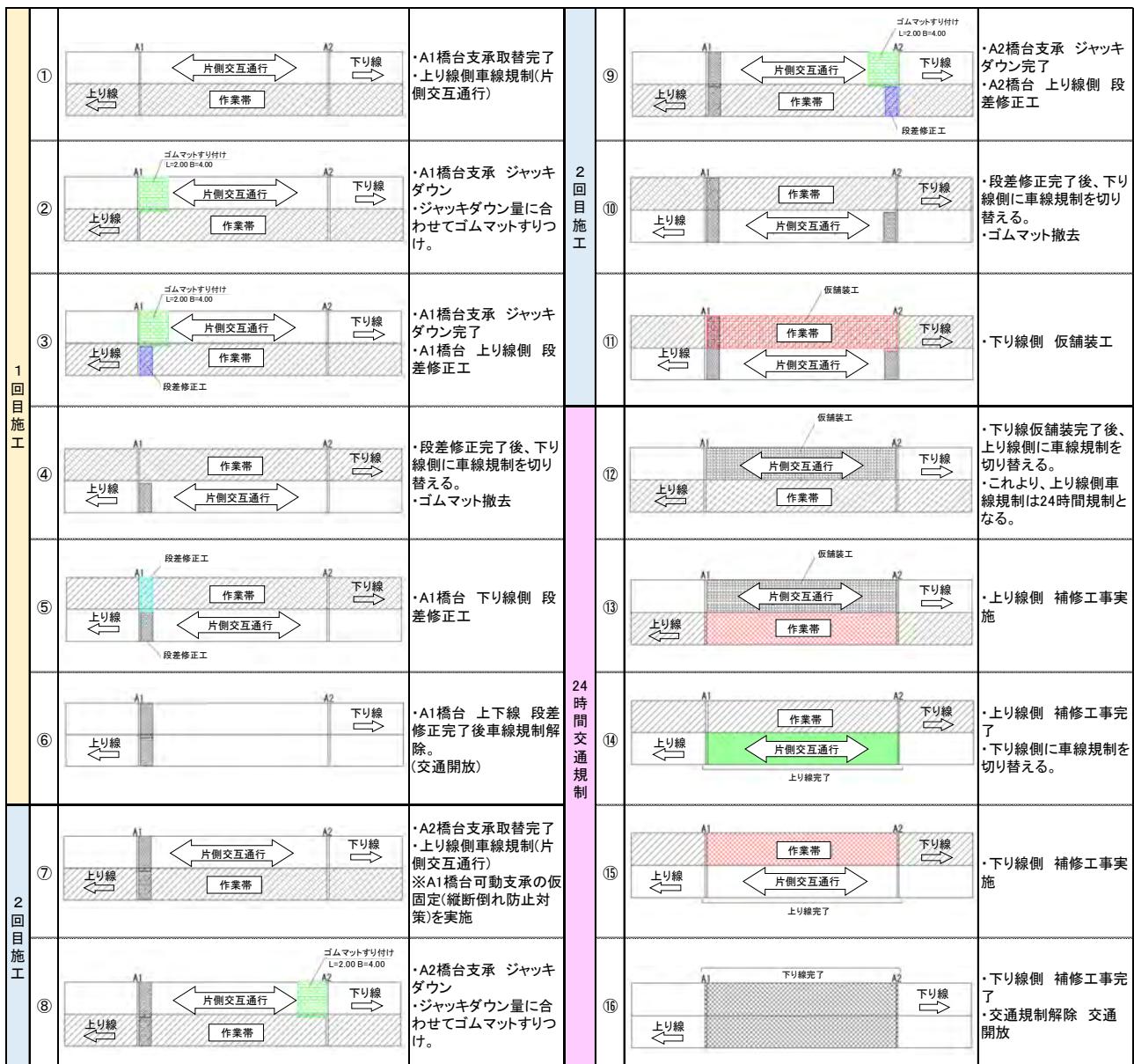


図-7 支点下げ全体施工順序

が困難であるため、リブによるバイパス補強とした（写真-5参照）。それにより、既設添接板のボルトを覆う箇所が最小限となるため、今後のボルトの目視点検も可能にした。

桁端部の支点周りは顕著に腐食・断面欠損が生じていたことから、仮受けを行って部材を補強する必要があった。本橋では支承取替が必要であったことから、支承取替の仮受けと同時に桁端部の当て板補修を実施した。

3.3 支承取替

既設の支承は桁端部からの漏水により著しい腐食が生じている状況であったことから支承の取替を行った。支承取替状況を写真-6に示す。その際、取替える支承は、先述した床版の上面増厚工および上部工補強による死荷重反力の増加を考慮したものとした。先述した床版上面増厚による路面の嵩上げを避けるため、既設構造高に対

して新設支承の高さの調整を行い、支承取替に伴う支点下げるを行う計画とした。

支点下げる施工に際して、山側の擁壁構造と近接している箇所や伸縮装置のフィンガーブレートが支点下げるの支障になる恐れがあったため、確実に施工できるよう事前に部分撤去を行った（写真-7参照）。また、施工中に主桁がずれて所定の遊間が不足することがないよう、写真-8に示すように、遊間確保対策として桁端部に鋼板を挟みこみながら上記の作業を実施した。支点下げる施工は、40mmの下げ量に対し、写真-9に示すように各桁に作業員を配置して、合図をしながら5mmずつ段階的に実施した。

支点下げるにおける全体施工順序を図-7に示す。順序の概要としては、縦断の高いA1側の支承取替を行った後にA1側のみの支点下げるを行い、路面高の擦り付け（段差修正）を行った。その後、A2側も同様に支承取替、支

点下げおよび段差修正を行い、下り線側の仮舗装を施し、車両を通行させた。以降は上り線、下り線の順に車両を片側交互通行させながら床版の部分打替、上面増厚の施工を実施し、施工完了後に交通開放を行った。

3.4 床版防水工

床版補修後の再劣化を防止するためには床版への水の浸入を防止することが重要である。床版防水工はSFRCの上面にシート系防水を設置した。また、半断面施工となることから施工継ぎ目で防水シートを100mm以上ラップさせて防水性を確保した(図-6参照)。

3.5 伸縮装置および排水施設補修

伸縮装置からの漏水が桁端の腐食の原因となっていることに加え、伸縮装置の鋼部材も腐食しており、床版補修の際に支点下げが必要となることから、伸縮装置の取替を行った。

鋼製排水管は内部に土砂が堆積し、部材に腐食や欠損が生じている箇所が見られた。欠損が生じている箇所は、漏水が生じて周辺の鋼部材の腐食の原因となっていたことから、鋼製の排水管を塩ビ製の排水管に取替を行った。

3.6 防護柵嵩上げ工

現橋は、歩道地覆部に高欄兼用の車両用防護柵が設置されており、防護柵設置基準を満足した構造となっている。一方で、床版補修の際、車道部の上面増厚による40mmの嵩上げが行われた際、同様に歩道部の嵩上げが必要となるが、それゆえに、基準に規定される歩行者の転落防止のための路面からの高欄高さ1.1mを確保できなくなる。そのため、歩行者の安全性の確保の観点から、既設防護柵天端に部材の追加を行い高欄の嵩上げを行った(図-8参照)。

4. まとめ

本稿では、RC床版が脆弱化した鋼単純合成鋼桁橋に対する点検、調査、補修設計および工事について報告した。要点を以下に示す。

- 定期点検の桁下損傷図、電磁波レーダーでの調査結果を比較すると、損傷は上り線側が広範囲で発生しており、下り線側は健全であるという傾向は一致していた。代表箇所2か所を選定して舗装を撤去して床版上面を確認したところ、2か所ともに顕著な脆弱化が確認され、電磁レーダーの調査結果が有効であることが確認された。
- 床版コンクリートの強度、塩分含有量、中性化を計測した結果、強度及び中性化に関しては問題のないこと

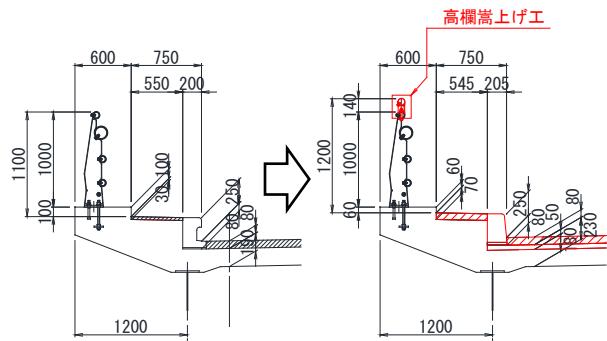


図-8 防護柵嵩上げ(左:施工前、右:施工後)



写真-10 橋梁全景(補修後)

がわかったものの、床版コンクリートには凍結防止剤の影響により、鉄筋位置においても腐食発生限界値を超過しており、施工時の床版上面の確認結果からも塩害が生じていることが確認された。

- RC床版の脆弱化や、主桁端部、支承部の顕著な腐食が生じていた当該橋梁に対し、橋全体の耐荷性及び耐久性を向上すべく、措置後の維持管理性に配慮し、種々の補修・補強設計及び施工を行った。施工中の渋滞や、工事完了後の走行性に影響しない工法選定や、縦断線形変更の回避等の創意工夫により、無事に補修・補強工事を完了した(写真-10参照)。

謝辞

本報告の作成にあたり、本橋の補修補強工事の施工者である大勝建設株式会社から資料提供にご協力頂いた。ここに御礼申し上げます。

参考文献

- 道路橋示方書・同解説 II鋼橋編、公益社団法人日本道路協会、2012.3.
- 設計要領 第二集 橋梁保全編、東・中・西日本高速道路株式会社、2020.7.

(2024年7月12日受付)