

中央自動車道 沢底川橋の補強工事

— 外ケーブルを用いた PC 連続合成桁橋の補強 —

田尻 丈晴^{*1}・萩原 幹^{*2}・崎谷 和也^{*3}・吉川 卓^{*4}

沢底川橋は、中央自動車道 岡谷 JCT～伊北 IC 間に位置する橋長 70 m の PC 3 径間連続合成桁橋である。本橋は、1981（昭和 56）年の供用開始から 35 年近くが経過しており、建設当時からの交通量の増加や冬期の凍結防止剤（塩化ナトリウム）の散布による塩害、および凍害の影響でコンクリート床版が著しく劣化した状態となっていた。とくに、中間支点付近の 1 次床版に配置されている PC 鋼材のグラウトの充填不足のため、PC 鋼材が腐食・破断していることが確認されていた。そのため、1 次床版および 1 次床版に配置されている PC 鋼材をすべて撤去しコンクリートを打ち換え、外ケーブルにより補強する国内初の工事を実施した。なお、本橋は日交通量が約 3 万 5 千台の路線に位置していることから、渋滞などの社会的な影響を最小限に抑えるため約 2 カ月間の対面通行規制で本線上の施工を行った。

キーワード：PC 合成桁橋、1 次床版、床版連結ケーブル、外ケーブル補強、上面増厚

1. はじめに

沢底川橋は、中央自動車道 岡谷 JCT～伊北 IC 間に位置する橋長 70 m の PC 3 径間連続合成桁橋である（写真 - 1）。本橋は、1981 年（昭和 56 年）の供用開始から 35 年近くが経過しており、建設当時からの交通量の増加や冬期の凍結防止剤の散布による塩害、および凍結融解に伴う凍害などの影響でコンクリート床版が著しく劣化した状態となっていた。とくに、PC 鋼材が配置されている中間支点付近の 1 次床版の損傷が激しく、その部分の床版に抜落ちが発生し、PC 鋼材が腐食・破断していることが調査によって確認された。本橋では過去に床版の部分的な補修が何度も繰り返し行われていたことから、抜本的な対策が求められていた。

そのため、抜本的な対策として 1 次床版および 1 次床版に配置されている PC 鋼材（以下、床版連結ケーブル）をすべて撤去し、コンクリートを打ち換え、外ケーブルにより補強する国内初の工事を実施することとなった。また、既設床版は、現行の規準で照査を行うと床版厚が不足していることから床版の上面増厚も同時に行った。

本橋は、日交通量が約 3 万 5 千台の重交通路線に位置することから、工事を実施するにあたり、車線規制に伴い発生する渋滞などの社会的な影響を最小限に抑えることが求められた。そのため、高速道路本線上での工事を約 2 カ月間の対面通行規制で実施するとともに、一般車に対してのさまざまな安全対策を実施した。

本橋の橋梁諸元を表 - 1 に、橋梁一般図を図 - 1 に示す。

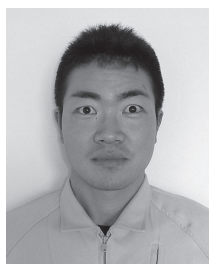


写真 - 1 沢底川橋（着工前）



^{*1} Takeharu TAJIRI

中日本高速道路（株）
八王子支社



^{*2} Motoki HAGIWARA

中日本高速道路（株）
八王子支社



^{*3} Kazuya SAKITANI

オリエンタル白石（株）
大阪支店



^{*4} Taku YOSHIKAWA

オリエンタル白石（株）
土木本部

表 - 1 橋梁諸元

路線名	中央自動車道 西宮線 (大月 JCT ~ 小牧 JCT)
橋 名	沢底川橋
橋梁位置	長野県上伊那郡辰野町
構造形式	3 径間連続ポステンション方式合成桁
設計荷重	TL-20, TT-43 (建設時) → B 活荷重 (補強時)
橋 長	70 m
支 間 長	21.0 m + 27.0 m + 21.0 m
有効幅員	8.500 m (建設時) → 8.755 m (補強時)
縦断勾配	$i = 0.4\%$
横断勾配	$i = 2.0\%$ (片勾配)
平面線形	$R = 1500$ m

2. 橋梁の損傷調査

本橋が位置する地域での気温・路面温度 (平成 27 年 12 月 ~ 平成 28 年 3 月末の観測記録) は、冬期間の最低気温が -14.1°C 、最低路温が -12.0°C であり、氷点下を記録し

た合計日数が気温で 100 日、路温で 88 日であった。このように寒冷な環境にあることから、凍結防止剤の散布量が非常に多い地域となっている。

表 - 2 は、平成 21 年 1 月の点検により確認された床版の抜落ちおよび PC 鋼材の破断について、その要因を究明するための現地調査および非破壊検査の結果を整理したものである。現地調査の結果、鉄筋位置付近におけるコンクリートの塩化物イオン量が鉄筋発錆限界値 (1.2 kg/m^3) を上回る値を示していること、また床版連結ケーブル (図 - 2) にグラウトの未充填が多数箇所 (調査 50 本中 11 本) で確認された。

床版連結ケーブルが配置されている 1 次床版コンクリート部に劣化が集中していたこと、過去に繰り返し補修を実施しており床版防水工の性能低下が生じていると推察されることから、劣化因子 (塩化物イオン) が PC 鋼材のシース内に侵入して、加速度的に劣化が進行したものと考えられる。

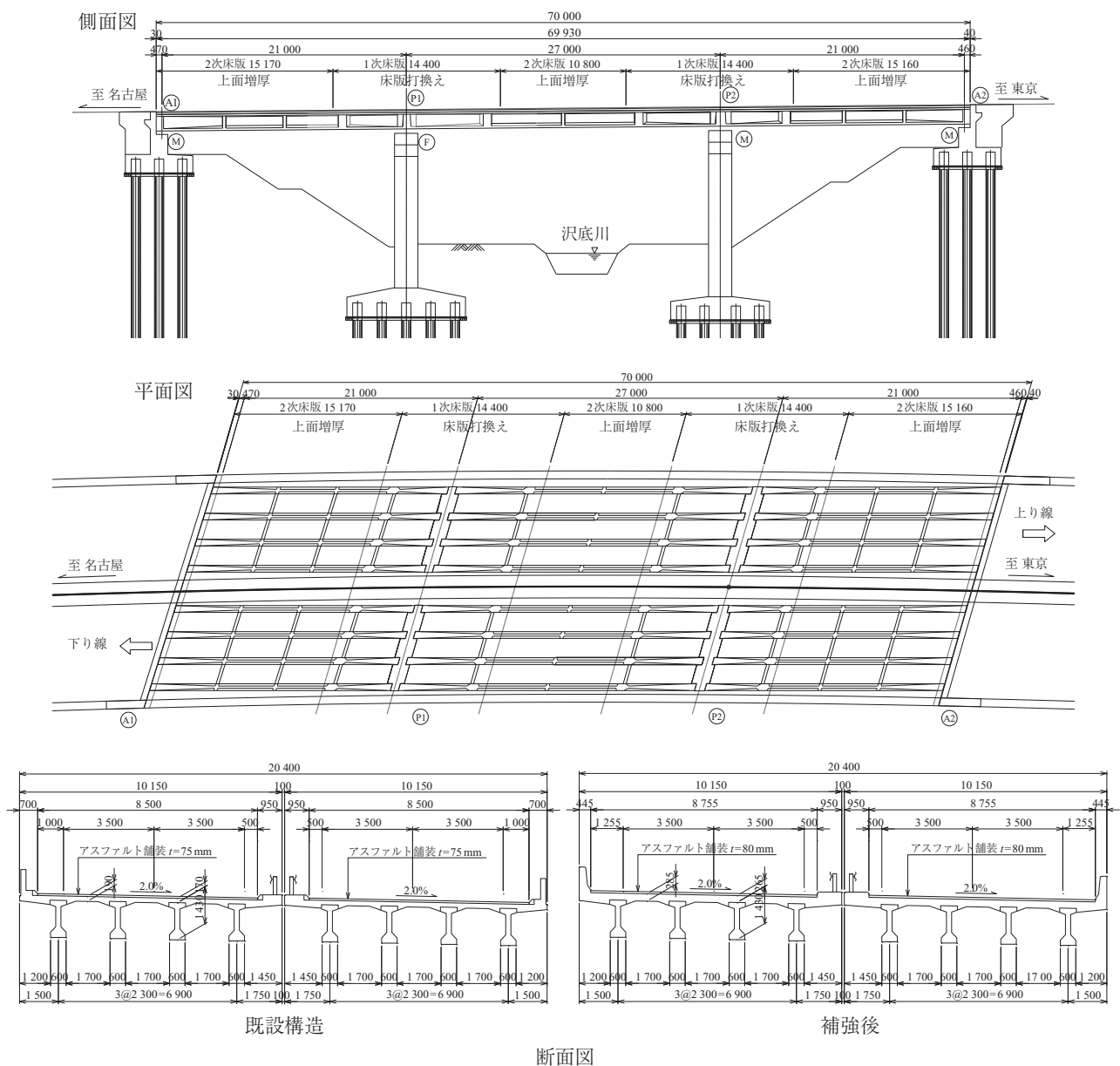


図 - 1 橋梁一般図

表 - 2 現地調査結果の概要

項目	検討結果など
外観損傷	点検などによりすでに確認できている浮きの範囲と非破壊検査である「赤外線撮影法」による浮きの検知範囲とがほぼ一致
塩分量調査	床版下面より深さ約120mmの位置にて最大 2.7 kg/m ³
中性化深さ	床版部で最大 15 mm
表面硬度	48.8 N/mm ² (設計基準強度 35 N/mm ²)
グラウト充填	床版連結ケーブルで 11 本の未充填を確認

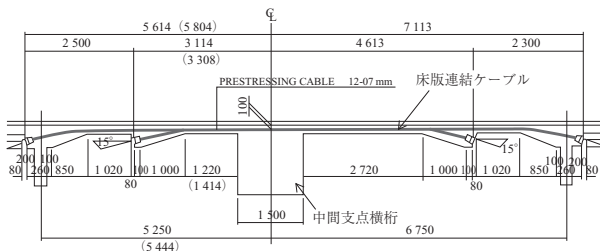


図 - 2 床版連結ケーブル

3. 補強対策の計画

詳細な現地調査による1次床版の劣化状況やグラウトの未充填状況などを加味した結果、部分的な断面修復工などによる対策工では長期安全性が確保できないと判断し、大規模な補強対策工法による比較検討を実施した。その結果、劣化の著しい1次床版および床版連結ケーブルをすべて撤去しコンクリートを打ち換え、外ケーブルにより補強する施工方法を採用した。なお、1次床版および2次床版をすべて打ち換える工法も考えられるが、その場合、工期が長期間となるため、2次床版に関しては劣化が進行している箇所限定してコンクリートを打ち換えることとした。

また、既設床版は現行の道路橋示方書¹⁾で照査を行うと床版厚が不足していることから、床版の上面増厚を同時に実施することとした。

4. 設計概要

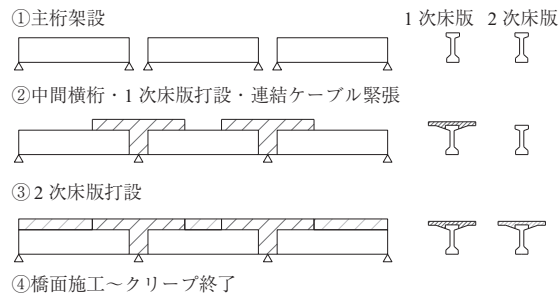
4.1 全体系の設計

1次床版および床版連結ケーブルをすべて撤去し、床版を打ち換えることによる新旧コンクリートのクリープ差などの影響を設計計算に反映させるため、構造全体系の設計は、建設時の復元設計～補強時の設計を一連のステップで実施した（図 - 3）。なお、外ケーブルの緊張を上面増厚施工後とした場合、増厚したコンクリートに引張力が生じひび割れが発生する懸念があるため、外ケーブルの緊張後に上面増厚を施工する手順とした。

4.2 床版の設計

本橋は、昭和51年に設計された橋梁であり、現行の道路橋示方書で照査を行うと床版の最小全厚を満足していないため、床版を増厚することにより対応した。また、今回の補強工事で壁高欄の形状を既設の直壁型からフロリダ型へ構造変更することにより（図 - 1）、張出し床版の補強が必要となった。そのため、床版増厚として鉄筋補強上面増厚を実施することとした。上面増厚の厚さは、増厚部の

a. 復元設計



b. 補強設計

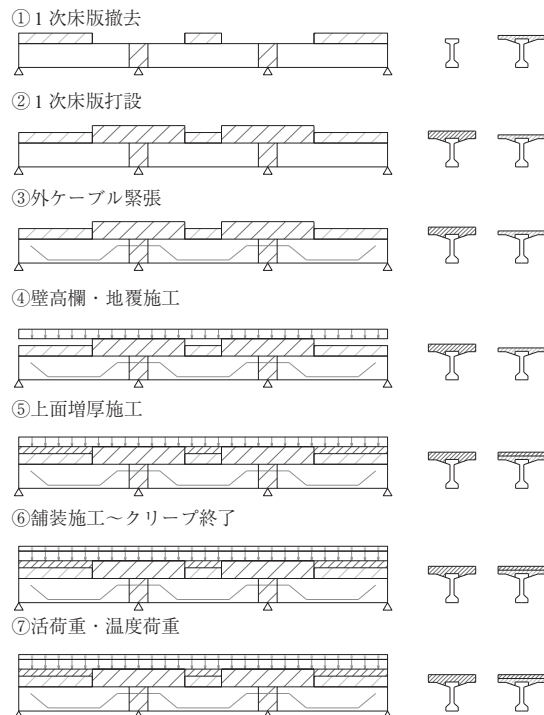


図 - 3 構造全体系の解析ステップ

補強鉄筋のかぶり、鉄筋径を考慮して105 mmとした（図 - 4）。上面増厚部のコンクリートは、上面増厚工法設計施工マニュアル²⁾に準拠し鋼繊維補強コンクリート（SFRC）とした。なお、1次床版部分に関しては、コンクリートの打換え時に上面増厚に相当する床版厚でコンクリートの打設を行うことが可能であるため、上面増厚の施工は2次床版部分のみとした。

4.3 外ケーブルの設計

外ケーブルの配置や定着装置および偏向装置の形状を決定するにあたりFEM解析を実施し、定着装置および偏向装置周辺の局部応力の確認を行った。図 - 5はFEM解析モデルを示す。図 - 6は、解析の結果として定着装置付近の橋軸方向の応力度分布を示したものである。当初設計（外ケーブル12S15.2×8本配置）とした場合、1本あたりの外ケーブル緊張力が過大となり定着装置背面部の主桁コンクリートにひび割れが懸念される程度の引張応力度が発生することが確認された。そのため、外ケーブル1本あたりの容量を落とし本数を増加させることで、総緊張力は

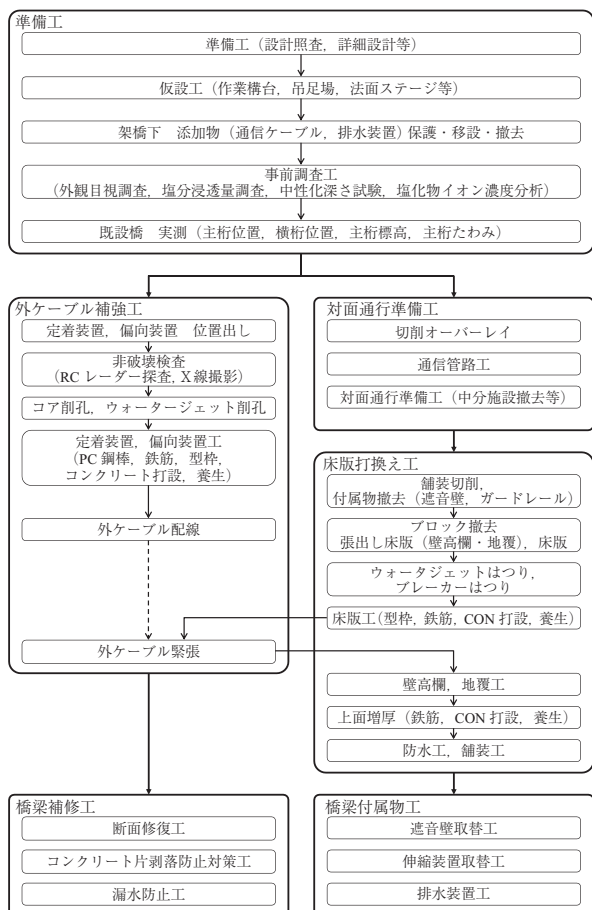


図 - 9 全体施工フロー

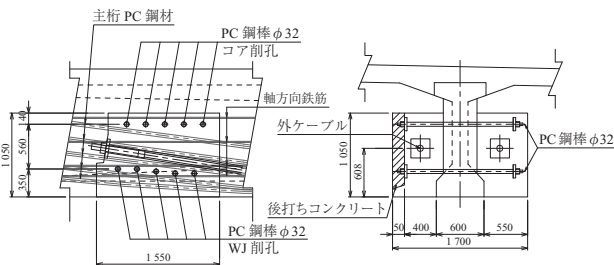


図 - 10 定着装置部の削孔

(2) コンクリートの打設

定着装置および偏向装置の鉄筋・型枠を組み立てたのち、コンクリートの打設を行った（写真 - 2）。コンクリート



写真 - 2 外ケーブル定着装置

の打設は、上下線合計 224 箇所の定着装置および偏向装置を 14 回に分けて行った。外ケーブルの容量が大きいこともあり定着装置や偏向装置の寸法が大きくなるため、鉄筋・型枠の組立てやコンクリート打設は狭小ななかでの作業となった。このような補強工事の計画を行うにあたり、施工スペースの十分な確保が必要である。

(3) 外ケーブルの配置

外ケーブルは、吊足場側面にターンテーブルを設置し、チルホールを使用し各桁間に引き出して配置を行った（写真 - 3）。なお、外ケーブルの緊張は、1 次床版のコンクリートを打設したのちに実施した。外ケーブル補強工に関しては、主桁の鉄筋探査などの調査からスタートして外ケーブルの配置が完了するまで、約 6 カ月を要した。



写真 - 3 外ケーブル配置状況

5.3 床版打換え工

(1) 床版の撤去概要

床版の撤去概要を図 - 11 に示す。主桁上は、主桁上面が打換えコンクリートとの接合面となること、およびスターラップを存置させる必要があることから WJ はつりによりコンクリートを撤去した。床版部に関しては撤去の効率を考慮し、カッター切断を行いコンクリートブロックとして撤去した。床版ハンチ部に関しては、主桁のハンチ鉄筋を存置させるため、ブレーカーによるはつりを行った。

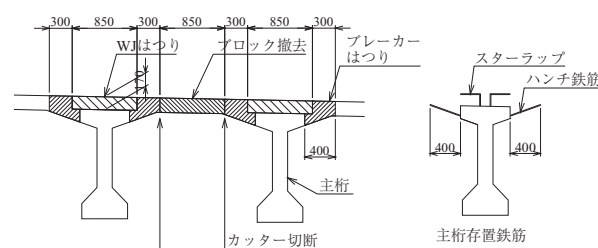


図 - 11 床版撤去概要

(2) WJ はつり

主桁の上部は、スターラップを存置させ新設床版と接合させるために、WJ はつりによってコンクリートの撤去を行った。WJ でコンクリートを撤去する際は、主桁のコンクリートの損傷を最小限に抑え、床版コンクリートのみを正確に取り除く必要があるため、はつり深さの管理が重要となる。そのため、本工事では、WJ はつりにコリジョン

ジェットノズルを使用した（写真 - 4）。これは、2つのノズルから噴出されたWJの衝突によるエネルギー消失により、衝突点以深のコンクリートをはつことが無いため、はつり深さの管理が容易になるとともに、鉄筋裏側のコンクリートの除去も可能となる。写真 - 5にWJはつりによる主桁上コンクリートの撤去状況を示す。

本工事では、4台のWJはつり機を同時に使用し、工程の短縮を図った（写真 - 6）。その際、WJはつり機および超高圧水発生装置の周囲を防音パネルで覆い、騒音の低減に努めた。また、WJで発生する濁水（最大16m³/時間）は、河川や周辺環境を汚すことの無いよう、橋面上に配置したバキューム車で回収し、桁下に設置した濁水処理機で濁度・PH処理を行ったのち、町の下水管に放流した。このような橋梁の補強工事では、周辺環境に配慮した施工を行うことも重要となる。



写真 - 4 コリジョンジェットノズル



写真 - 5 主桁上はつり状況

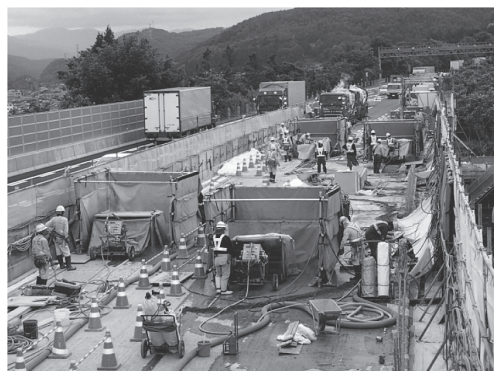


写真 - 6 WJ はつり状況

(3) ブロック撤去

桁間部の床版および地覆・壁高欄はコンクリートカッターおよびワイヤソーで切断し、コンクリートブロックの状態で撤去を行った。コンクリートブロックは、橋面上に設置した16tラフタークレーンで支持した状態で切断を行いトラックで搬出した（写真 - 7）。

(4) ブレーカーはつり

WJはつり、ブロック撤去完了後、床版のハンチ部分をブレーカーにて撤去を行った。床版の撤去が完了した状況を写真 - 8に示す。

(5) 床版の施工

1次床版部のコンクリートを撤去したのち、存置鉄筋の防錆塗装、型枠・鉄筋の組立てを行った。新設の鉄筋は、すべてエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用し、塩害に対する耐久性の向上を図った。また、既設コンクリートと新設コンクリートの塩分濃度差により形成されるマクロセル腐食を抑制するために、既設コンクリート面にシラン系の含浸系表面保護材の塗布を行った。

コンクリートの打設は、桁下に設置したポンプ車を使用して、コンクリートを橋面に圧送して行った。コンクリート打設状況を写真 - 9に示す。

(6) 上面増厚

上面増厚は、2次床版部分を対象として行った。先行して施工を行った上り線では、超速硬コンクリート+鋼繊維を使用した。これは、一般的な上面増厚工法で使用される材料であり、全体工程でクリティカルとなっていた上面増厚の工程短縮を図る目的で使用した。



写真 - 7 ブロック撤去状況



写真 - 8 床版撤去完了



写真 - 9 床版コンクリート打設状況

一方、下り線の施工では早強コンクリート+鋼繊維を使用した。これは、上り線での施工経験から全般的な工程短縮が可能となり、コンクリートの養生日数が確保できたことと、乾燥収縮による初期ひび割れの抑制を目的としたものである。鋼繊維は、生コンプラントに設けた送風機を使用してアジテータ車に投入した。コンクリートの打設は、桁下に設置したポンプ車を使用して、コンクリートを橋面に圧送し施工を行った。なお、筒先でのコンクリートの品質を確保するため、試験練りおよびポンプ車を使用した圧送試験を行い配合を決定した。

5.3 橋 面 工

床版コンクリートの施工が完了したのち、防水工および舗装の施工を行った。防水工は、NEXCOのグレードⅡの規格に適合するアスファルトウレタン系の材料を使用した。

舗装の施工は、表層の施工にフィニッシャーを2台同時に使用するホットジョイント施工とした。この施工方法によって、通常のフィニッシャー1台による施工で生じる表層の縦方向の継ぎ目をなくすことが出来るため、舗装による防水効果を向上させ、床版の耐久性向上を図った。舗装の施工状況を写真 - 10 に示す。



写真 - 10 舗装の施工状況

6. 施工時の計測

本工事では、1次床版および緊張された床版連結ケーブルを撤去し、床版を再構築するというまれな事例の施工であった。事前に橋梁の状態を十分に調査を行ったが、想定以上に劣化が進行していた場合には、床版を撤去する過程において橋梁の安全性が確保できなくなるような変状が発

生することも考えられた。施工中に変状が生じた場合には、その挙動を確認し、早期の対応を図ることを目的として主桁の変位およびひずみの連続計測を行った。

今回の施工では、主桁下面に吊足場を設置していたため、変位の計測装置に連通管式変位計(写真 - 11)を使用した。これは、不動点(下り線の中間支点部)に設けた基準水槽と計測点との間を水を満たした連通管で接続し、基準水槽の水面を基準として測点の水面の高さを測定することで測点の変位量を測定するシステムとなっている。施工時の安全対策として、設置した計測器に警報装置を接続し、計測値が事前に設定した閾値を超えるとパトライトにより異常を周知するシステムとした。

施工中に計測された主桁変位の一例(中央径間の支間中央点)を図 - 12 に示すが、計測期間中に異常な変位を示すことは無く、事前の計算値に近い挙動を示していたことを確認した。

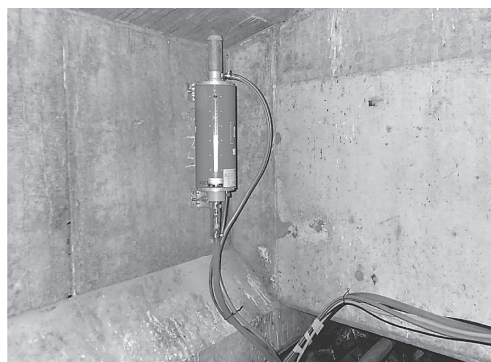


写真 - 11 連通管式変位計

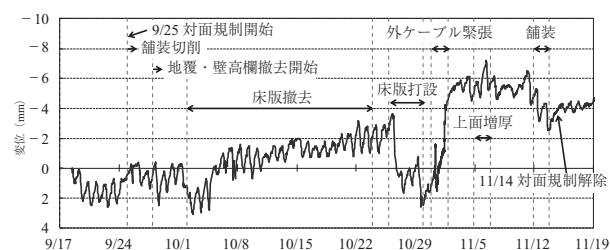


図 - 12 主桁変位の一例

7. 安全対策

7.1 概 要

本工事では、対面通行規制による社会的影響を最小限に抑えるため、各種安全対策を実施した。その一例を紹介する。

7.2 渋滞計測システムとLED標識による渋滞情報提供

対面通行規制時に交通渋滞が発生すると、一般車の交通事故発生リスクが高くなる。その対策として、Bluetoothを用いた渋滞計測システムの活用と大型LED標識による一般車への渋滞情報の提供を行った。

Bluetoothを用いた渋滞計測システムは、高速道路本線上に配置した電波受信器が一般車のスマートフォンやカーナビなどが発信するBluetooth電波の固有値を識別し、次の受信器が同じ固有値を受信するまでの時間差から、その区間の通過時間・走行速度・渋滞長を計測するシステムで

ある。

本システムより渋滞情報を取得し、本線上に設置した大型 LDE 標識の標示によって一般車に情報を提供した。大型 LED 標識は、遠隔操作により標示の切り替えが可能であり、リアルタイムで正確な情報提供を行うことで一般車の安全性の向上を図った。Bluetooth 受信機および大型 LED 標識の配置を図 - 13 に示す。受信器 (27 機)・LED 標識 (7 機) の設置は約 50 km の広範囲に及んだ。



図 - 13 渋滞計測システムの配置図

7.3 ウェブカメラによる交通監視システム

対面通行規制中は、規制帯内の車線シフト部やパーキングエリアの出入り口付近などで一般車の接触事故が想定される。従来では、このような箇所に事故時の素早い対応を行うため交通監視員を常駐させていた。また、交通事故が発生する可能性がある危険箇所であるため、交通監視員が事故に巻き込まれるリスクを伴っていた。

本工事では、交通監視員の安全性向上を目的にウェブカメラによる監視とし、工事現場内の高速道路本線上に設けた監視室で規制帯内の状況を集中的に監視した（写真 - 12）。



写真 - 12 交通監視状況

近年の高速道路の更新工事に伴い交通監視員が人手不足となっており、十分な人数の交通監視員を確保することが課題である。本システムを活用することにより交通監視員の安全性向上と省力化に貢献できるものと考えられる。

8. おわりに

本工事を実施するにあたり、設計や施工に関してのさまざまな技術的課題があり、手探り状態でのスタートであったが、関係各位の協力のもとひとつひとつの課題をクリアし、過去に経験がない工事を工程の遅れもなく無事故で完了することができた（写真 - 13, 14）。



写真 - 13 外ケーブル配置状況



写真 - 14 完成写真

紙面の都合上、すべてを紹介することはできなかったが、今回の補強工事では、現時点で考えられる限りの耐久性向上対策や交通安全対策を実施した。本工事の実施により、今後、本橋と同様の構造形式の橋梁の補修・補強工事が増加するものと考えられる。本稿が、そのような工事の参考になれば幸いである。

最後に、本工事を実施するにあたり多大なご協力とご指導、ご支援をいただいた関係各位の皆様、および地元の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編，pp.216-231，2012.
- 2) 高速道路調査会：上面増厚工法 設計施工マニュアル，1995.

【2017年1月20日受付】