

中央自動車道 弓振川橋（上り線）の設計・施工

— 夜間半断面床版取替工法 —

仲田 宇史*1・酒井 修平*2・岩城 孝之*3・西川 祐輔*4

高度経済成長期に整備された多くの高速道路の橋梁で、大型車交通量の増加や経年劣化などに起因した床版の損傷が顕在化してきており、早期に更新する必要がある。従来の床版取替工法は昼夜連続で長期間の交通規制を行う必要があり、都市部など重交通路線では、渋滞など社会に与える影響が大きい。そこで、これら重交通路線においては、長期間の交通規制を伴わない新たな床版取替工法が望まれている。本稿は、夜間の車線規制のみで半断面ずつの床版取替えが可能な新しい工法の紹介と、その新工法の実証試験と位置づけられたE20中央自動車道 諏訪IC～諏訪南IC間の弓振川橋（上り線）床版取替工事の設計および施工について紹介するものである。

キーワード：床版取替え、夜間半断面床版取替工法、移動式門型揚重機、UFC板

1. はじめに

高度経済成長期に整備された多くの高速道路の橋梁で、大型車交通量の増加や経年劣化などに起因した床版の損傷が顕在化してきており、早期に更新する必要がある。従来の床版取替工法は昼夜連続で長期間の交通規制を行う必要があり、都市部など重交通路線では、渋滞など社会に与える影響が大きい。そこで、これら重交通路線においては、長期間の交通規制を伴わない新たな床版取替工法が望まれている。本稿は、夜間の車線規制のみで半断面ずつの床版取替えが可能な新しい工法¹⁾（以下、夜間半断面床版取替工法）の紹介と、その新工法の実証試験と位置づけられたE20中央自動車道 諏訪IC～諏訪南IC間の弓振川橋（上り線）床版取替工事の設計および施工について紹介するものである。

2. 工事概要

本工事の床版更新対象である弓振川橋（上り線）は、桁長39.1mの鋼単純合成桁橋であり、その床版取替工事に、夜間半断面床版取替工法を試験的に適用した。なお、実橋へのはじめての適用となるため、規制は夜間のみの通行規制ではなく終日規制とした。工事概要を表-1に示す。工事は一期施工（2020年5月～7月）と二期施工（2020

年9月～12月）とがあり、一期施工は上り線を2車線とも終日規制し、下り線での対面通行規制下にて実施した。二期施工は、上り線片側1車線のみを終日通行規制して実施した。図-1に橋梁一般図を、図-2に更新前後の標準断面図を示す。また、図-3に一期施工と二期施工の

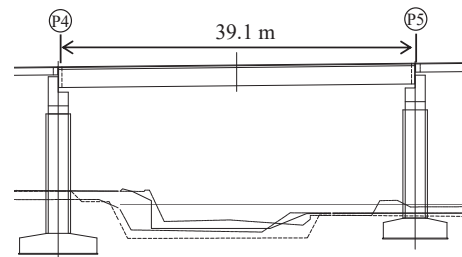


図-1 弓振川橋一般図

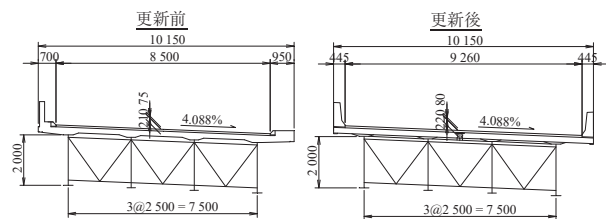


図-2 弓振川橋標準断面図

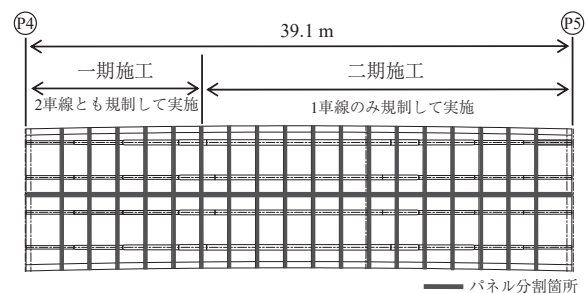


図-3 施工平面図

表-1 橋梁諸元と工事概要

工事名称	中央自動車道（特定更新等）弓振川橋床版取替工事		
発注者	中日本高速道路（株）	受注者	（株）大林組
施工箇所	長野県諏訪郡富士見町富士見～諏訪市中洲		
工期	令和2年1月31日～令和3年5月24日		
主要工種	床版取替工（プレキャストPC床版）：398 m ² 走行車線：19枚、追越車線19枚		
	床版防水工：グレードII 286 m ² 、グレードI 198 m ²		

*1 Takafumi NAKADA：（株）大林組 土木本部生産技術本部橋梁技術部

*2 Syuhei SAKAI：中日本高速道路（株） 松本保全・サービスセンター

*3 Takayuki IWAKI：（株）大林組 土木本部生産技術本部橋梁技術部

*4 Yusuke NISHIKAWA：（株）大林組 中央道弓振川橋工事事務所

区分を示す。

3. 夜間半断面床版取替工法の概要

夜間半断面床版取替工法の施工形態を図-4に示す。特徴は、交通への影響を最小限にするために、夜間の1車線規制で床版取替えを実施し、昼間は車線規制を解除して交通開放できる点にある。

作業フローの一例を図-5に示す。また、比較として、従来の床版取替えの作業フローを図-6に示す。夜間半断面床版取替工法では、準備工として、既設RC床版を主桁から切り離し仮固定状態としておくことで、夜間のみでの規制時間内で行う床版撤去作業を短縮する。同様に、壁高欄設置や床版防水も準備作業として完了しておく。

主なサイクル作業は2夜間に分割する(図-7)。1夜間目で既設RC床版の撤去からスタッドジベル溶植までを行う。2夜間目で新設プレキャストPC床版(以下、PCaPC床版)の設置から舗装までを行う。PCaPC床版どうしの接合作業には時間を要することから、床版設置当日は、接合部にプレキャストUFC板(以下、UFC板)を設置するだけとし、舗装後すみやかに交通開放する(図

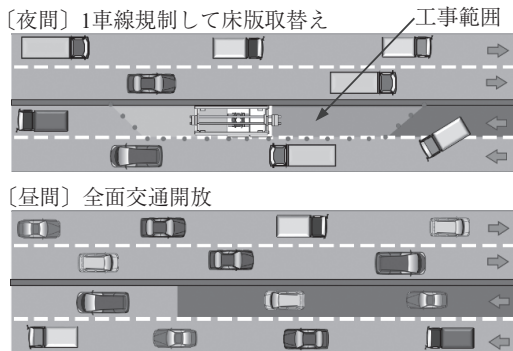


図-4 夜間半断面床版取替工法の施工形態

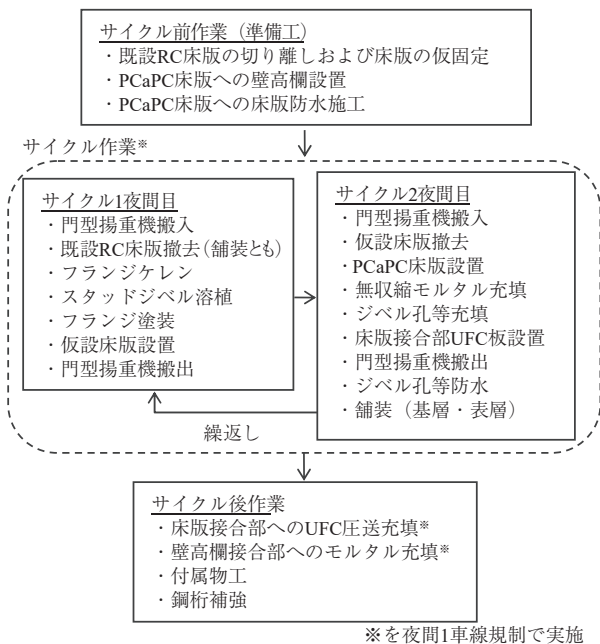


図-5 夜間半断面床版取替工法の作業フロー

-8)。UFC板下部の空隙は後日、橋面下からUFCを圧送充填することで床版接合を完了する。

サイクル1夜間目終了時には、床版取替え作業途中での交通開放となることから、鋼製で転用可能な仮設床版を設置する。施工時の揚重作業には、毎夜トレーラーにて搬出入可能な移動式門型揚重機を用いることで、揚重機の迅速

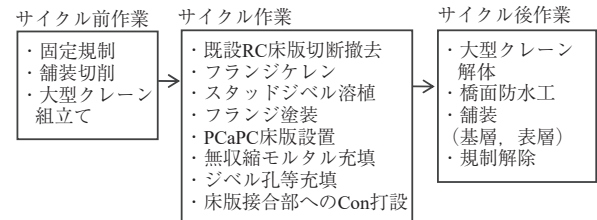
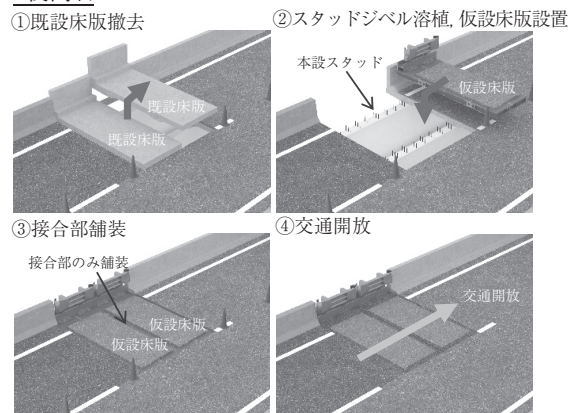


図-6 従来の床版取替え作業フロー

1夜間目



2夜間目

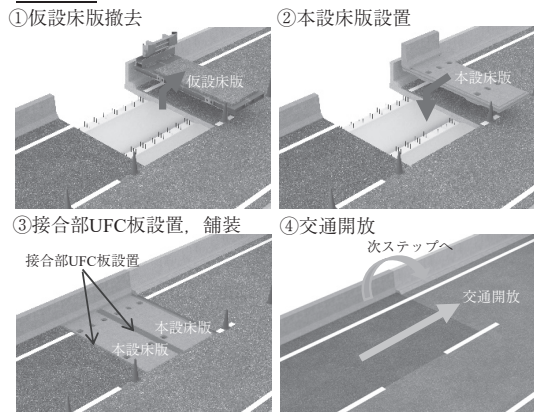


図-7 サイクル作業の概要

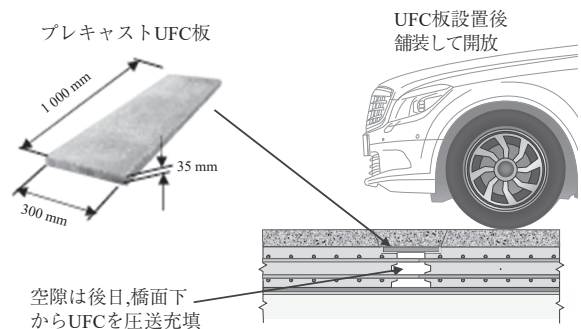


図-8 UFC板を用いた床版接合

な設置・撤去および1車線内という狭隘な空間での施工を可能とする。

4. 弓振川橋（上り線）の設計概要

4.1 設計フロー

夜間半断面床版取替工法の設計フローを図-9に示す。基本的な流れは従来の床版取替工法と大きく変わらないが、夜間半断面床版取替工法に特有と思われる項目を同図で※印にて示している。以下、フローに沿って設計概要を説明する。

4.2 PCaPC 床版の設計

(1) 床版割付け

弓振川橋（上り線）の床版割付図を図-10に示す。橋軸直角方向の目地（以下、横目地）と橋軸方向の目地（以下、縦目地）を有する。横目地は2m間隔を標準とし、縦目地はG2桁とG3桁の中間点に設け主桁と平行とした。

(2) 暫定形の照査

半断面施工においては、縦目地近傍において暫定的に床版が張出し床版状態となる。この場合、既設床版が不成立となること、および新設床版の設計が暫定形で決定され不経済となることから仮受け部材を設置する方針とした。床版仮受け構造概要を図-11に示す。既設床版や新設床版の設置高さが異なることに対応できるように、左右で独立に高さ調整、支持できる構造とした。

また、この仮受け部材を考慮した暫定形でのPCaPC床版照査時の支点条件を図-12に示す。仮受け部材を設置することで、PCaPC床版の設計は暫定形では決まらず、完成系で決定されることとなった。結果、1床版あたりのPC鋼材は1S15.2×10本となった。

なお、仮受け部材は、縦目地部のUFCが硬化して十分な強度が出るまで存置した。UFC硬化途中で左右の床版にたわみ差が生じ、UFC内で鉄筋が動くことでUFCと鉄筋との付着性能が低下することを防止するためである。

(3) 接合部の照査

横目地および縦目地の接合部の詳細を図-13に示す。UFC板が設置された直後は、板下の空間はUFCを充填せずに交通開放する。この状態でのUFC板は、スパン150mmの単純版として、設計輪荷重（140kN = 100kN × 1.4（衝撃））に耐える構造として設計した。UFC指針²⁾に準拠し、設計輪荷重作用時にひび割れ発生強度8.0N/mm²以下となるようUFC板厚を35mmに設定した。

UFC板下にUFCが充填された状態では、道路橋示方書Ⅱ編に基づく死荷重および活荷重による断面力に対して照査した。充填硬化したUFCが、これらの荷重に対してひび割れ発生強度8.0N/mm²以下であることを確認した。

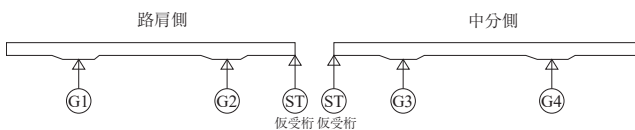


図-12 暫定形でのPCaPC床版照査時の支点条件

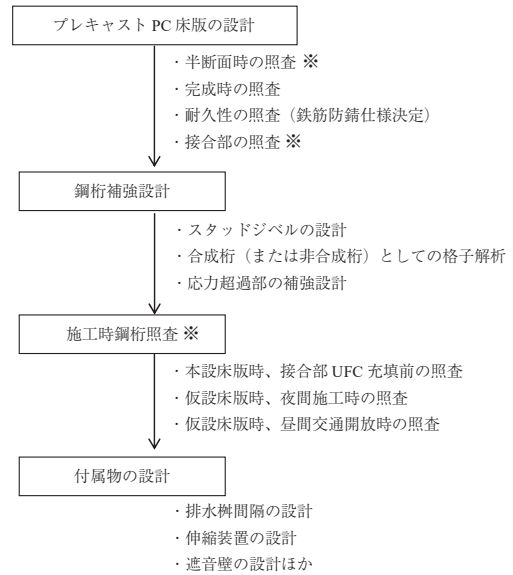


図-9 夜間半断面床版取替工法の設計フロー

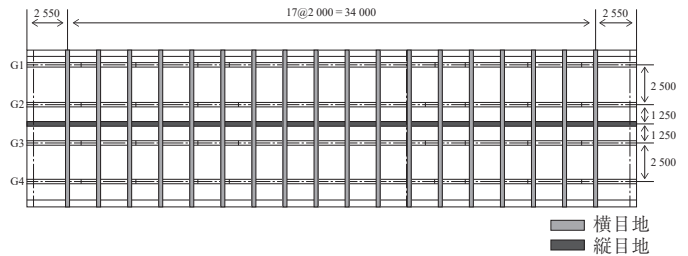


図-10 弓振川橋（上り線）の床版割付図

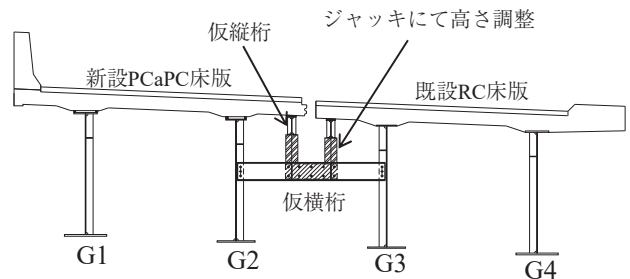


図-11 縦目地近傍部の床版仮受け構造概要

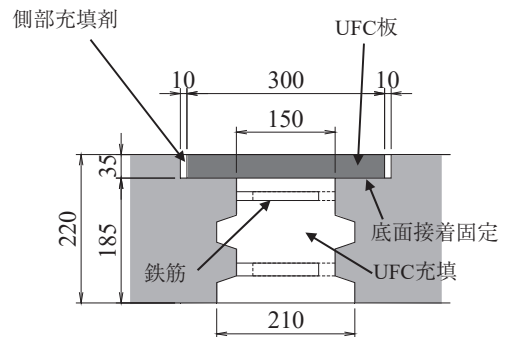


図-13 接合部詳細（横目地、縦目地）

(4) 縦目地近傍部の照査

PCaPC床版は、橋軸直角方向はPC部材として設計される。ただし、半断面施工においては、縦目地近傍部（端部

から 65 φ 範囲, φ = PC 鋼材径) がプレストレスの定着領域となり, プレストレス力が断面に十分に伝達されていない。したがって, この範囲は RC 部材として扱い, 設計荷重に対して鉄筋応力度が許容応力度以下となるようにした (図 - 14)。結果として, PC 構造では一般的に D13 鉄筋のところを, D19 にランクアップすることで構造が成立した。

4.3 鋼桁補強設計

床版取替え後の合成桁を対象に B 活荷重による鋼桁の補強設計を実施した。受発注者間の協議により, 格子解析による発生応力度が許容応力度の 120% 以下までは鋼桁を補強しない方針とした。表 - 2 にもっとも応力度が大きく生じる G4 桁の結果を示す。おおむね上記制限値以下であるが, 端部 (Sec-1, Sec-9) のウェブ下端において合成応力度が制限値を満足しないことが確認された。本橋では炭素繊維ストランドシートによる補強を採用した。鋼桁下フランジに炭素繊維ストランドシート (900 目付 × 5 層) を設置することで, 下フランジやウェブ下端の曲げ応力度を低減し, ウェブ下端での合成応力度の照査で制限値以下となることを確認した。図 - 15 に設置概要図を示す。

4.4 施工時鋼桁照査

弓振川橋は合成桁として建設されている。合成桁の床版取替えにおいては, 施工時に一時的に床版が撤去された区間は非合成桁状態となる。施工時の桁の安全性を確認するために三次元 FEM を用いた鋼桁の応力度照査を実施した。モデルは図 - 16 に示すように鋼桁にシェル要素, 床版および壁高欄にソリッド要素を用いている。各種死荷重, 施工時の移動式門型揚重機の反力および隣車線を走行する交通荷重 (B 活荷重レーン載荷) を考慮した解析を実施した。図 - 16 に示すように, 施工範囲が 4 m (PCaPC 床版 2 枚分) であれば, 施工時割増しを考慮した許容応力度を満足することを確認した (図 - 17)。結果として, 弓振川橋では 1 サイクルの床版撤去・取替範囲を 4 m とした。

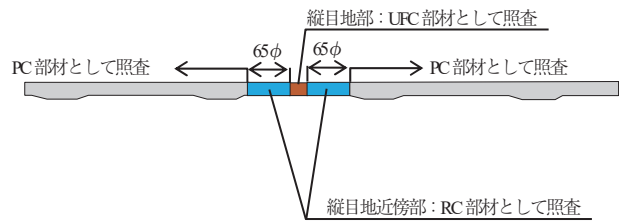


図 - 14 PCaPC 床版における構造種別

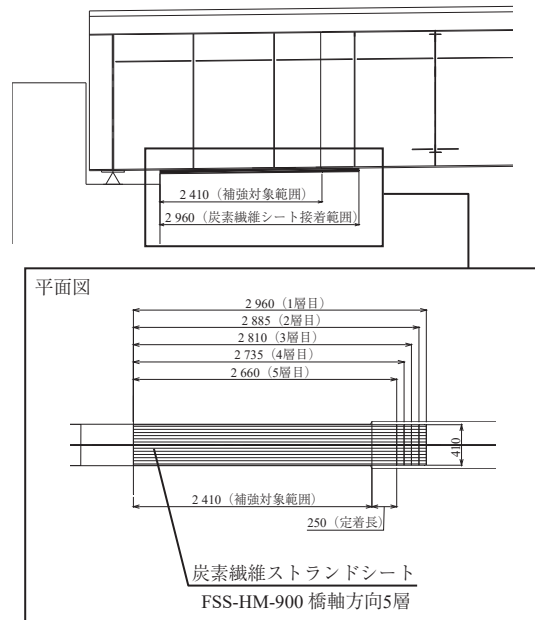


図 - 15 炭素繊維による鋼桁補強概要図

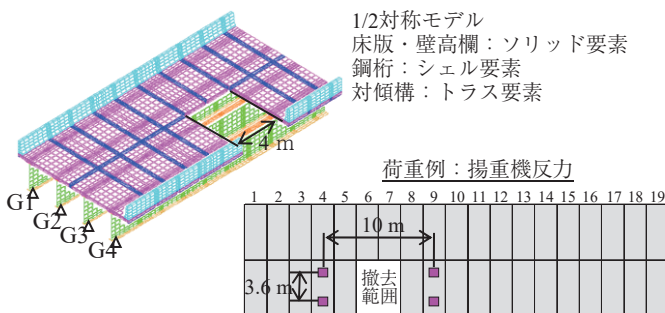


図 - 16 施工時照査用 FEM モデル

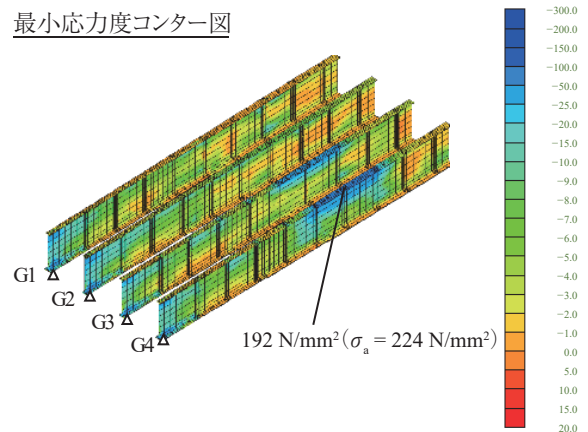


図 - 17 施工時の鋼桁の応力状態

表 - 2 合成桁の照査結果 (G4 桁)

断面名	Sec-1	Sec-2	Sec-3	Sec-4	Sec-5	Sec-6	Sec-7	Sec-8	Sec-9	制限値超過箇所 ※はSM400, 無印はSM490Y
各断面の P4 支点からの距離 (m)	0.00 ~ 3.09	3.09 ~ 6.59	6.59 ~ 10.59	10.59 ~ 12.59	12.59 ~ 25.79	25.79 ~ 27.79	27.79 ~ 31.79	31.79 ~ 35.29	35.29 ~ 38.40	
上フランジ	幅 (mm)	250	290	350	390	390	390	350	290	250
	厚 (mm)	12 ※	14	16	22	22	22	16	14	12 ※
腹板	高さ (mm)	2000								
	厚 (mm)	10 ※	10	10	10	10	10	10	10	10 ※
下フランジ	幅 (mm)	420	480	600	700	700	600	480	420	
	厚 (mm)	16 ※	19	25	28	28	28	25	19	16 ※
上フランジ	σ / σ_a	1.00	1.05	1.20	1.05	1.20	1.05	1.20	1.05	1.02
下フランジ	σ / σ_a	1.16	1.19	1.17	1.03	1.17	1.03	1.17	1.20	1.17
腹板	τ / τ_a	0.79	0.44	0.35	0.28	0.23	0.28	0.36	0.44	0.79
	合成	1.79	1.55	1.53	1.16	1.43	1.16	1.54	1.56	1.81

合成応力度は直応力度およびせん断応力度の許容値120%を考慮し以下の式にて照査する。
 $(\sigma/1.2\sigma_a)^2 + (\tau/1.2\tau_a)^2 < 1.2$
 ※ $(\sigma/\sigma_a)^2 + (\tau/\tau_a)^2 < 1.2 \times 1.2^2 = 1.728$

5. 弓振川橋（上り線）の施工概要

5.1 施工概要

本工事は、夜間半断面床版取替工法の実証試験と位置づけられ、新しい工法の実橋への適用性確認、サイクルタイム検証などを目的としている。

一期施工（2020年5月～7月）は上り線を2車線ともに終日規制し、下り線での対面通行規制下にて実施した。二期施工（2020年9月～12月）は、上り線を片側1車線のみ終日規制して実施した。施工箇所の交通開放こそ行わないが、すべてのステップにおいて、作業終了時に仮舗装や本舗装まで行うことで開放直前までの実作業を模擬した。写真-1に二期施工時の施工状況写真を示す。

実証試験では夜間の規制時間を20:00～翌6:00の10時間と想定し、そのうち規制帯設置・撤去に必要な各1時間を除く純作業時間を、8時間に設定した。施工は工期を厳守するために昼夜で実施したが、昼方・夜方ともに上記8時間の制限時間を遵守するようにした。

次節以降に、図-5に示したフローに従って、各施工の詳細を紹介する。

5.2 サイクル前作業（準備工）

夜間半断面床版取替工法では、既設床版撤去当日の作業時間短縮を目的として、既設床版の鋼桁からの切り離しを事前に行う。弓振川橋は合成桁であることから、切り離しとともに、桁と既設床版の仮固定をあわせて実施した。これらの作業は、すべて橋面下での作業であるため、道路供用下でも実施可能である。

切り離しは、既設床版下から乾式ワイヤソーを用いた超低空頭の乾式水平切断装置により行った（図-18）。切り離し後、既設鋼桁の上フランジ下面に溶接したスタッドボルトと既設床版に打設したアンカーボルトを専用の金具で締結するとともに、既設床版と鋼桁の隙間をモルタル充填することで仮固定した（図-19）。

縦目地、横目地に沿った床版の切断も、切断可能範囲を事前に夜間車線規制して行う。縦横断切断は橋面上から道路カッターにて、壁高欄部分はワイヤソーにて切断を行った。

また、PCaPC床版設置日の作業時間短縮のために、PCaPC床版と壁高欄を事前に一体化し、床版防水（グレートII防水）も事前に施した（写真-2）。これらの作業は、PCaPC床版仮置きヤードにて実施した。

5.3 サイクル作業（1夜間目）

サイクル作業の1夜間目は、既設床版撤去・鋼桁上フランジのケレン・新設スタッド溶植・仮設床版設置・仮舗装からなる。

移動式門型揚重機をトレーラーにて規制帯内へ入場させ、所定の位置に設置する（写真-3）。準備工で設置した仮固定金具を撤去後、移動式門型揚重機にて既設床版を撤去、トレーラーにて搬出する。前章で述べたように1サイクルでの床版撤去範囲はPCaPC床版2枚分にあたる4mとした。床版撤去後、鋼桁上フランジに残ったコンクリートのケレンや清掃を行ったあと、新設床版用のスタッ



写真-1 施工状況写真

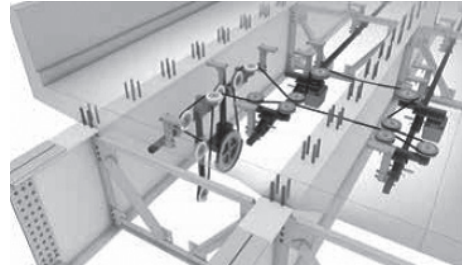


図-18 ワイヤソーによる水平切断イメージ

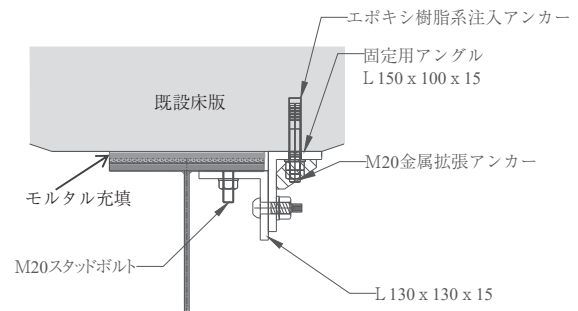


図-19 仮固定詳細図



写真-2 PCaPC床版への壁高欄の事前施工と事前防水



写真-3 移動式門型揚重機

ドジベルを所定の位置に溶植する。スタッドジベル溶植完了後、鋼桁上フランジ上面およびスタッドに速乾性の防錆材を塗布する。

これらの作業が完了したあと、仮設床版2枚を移動式門型揚重機にて主桁上に設置し、緊結金具で鋼桁と固定する(写真-4)。仮設床版には事前に舗装を施しておき、設置当日の仮舗装は床版どうしの境目だけに限定することで、作業時間の短縮を図っている。なお、コンクリート床版との境目には仮設鉄板を設置したうえで舗装する。また、仮舗装材料には、全天候型常温合材を用いた(写真-5)。すべての作業が終了したら移動式門型揚重機をトレーラーにて搬出し、1夜間目作業は終了となる。1夜間目の純作業時間は、制限時間8時間に対して平均6.5時間であった。

5.4 サイクル作業(2夜間目)

サイクル作業の2夜間目は、仮設床版撤去・PCaPC床版設置・上フランジおよびジベル孔の充填・床版接合部へのUFC板設置・ジベル孔上の防水・本舗装となる。

1夜間目と同様に移動式門型揚重機をトレーラーにて入場、所定の位置へ設置する。その後、仮舗装および仮設鉄板を撤去し、大型トラックにて搬出する。

鋼桁上フランジにソールスポンジを設置したあと、PCaPC床版2枚を移動式門型揚重機にて設置し(写真-6)、ジベル孔を利用して超速硬性の無収縮モルタルを充填することで床版と鋼桁とを一体化する。

PCaPC床版接合部の約150mmの隙間には、UFC板を設置する(写真-7)。PCaPC床版とUFC板はエポキシ系接着剤で固定した。UFC板の側部には施工余裕裕として、10mmずつの隙間を設けており、UFC板設置後は充填性・防水性が高いアクリル系樹脂により充填した。なお、UFC板は、PCaPC床版に接着固定することを基本とするが、フェールセーフとして接合部内の鉄筋にボルトと鋼材で固定している。

これらの作業が終了したあとに、移動式門型揚重機をトレーラーにて搬出する(写真-8)。その後、ジベル孔充填部にグレードI防水を施す。防水工が終了した後、基層($t=40\text{mm}$, 本設)および表層($t=40\text{mm}$, 仮設)を施工する(写真-9)。表層はすべての床版取替えが完了した段階で、切削オーバーレイにより平坦に仕上げることから、サイクル作業で施工する表層は仮設扱いとした。2夜間目の純作業時間は、制限時間8時間に対して平均7.5時間であった。



写真 - 4 仮設床版設置状況



写真 - 5 仮舗装状況

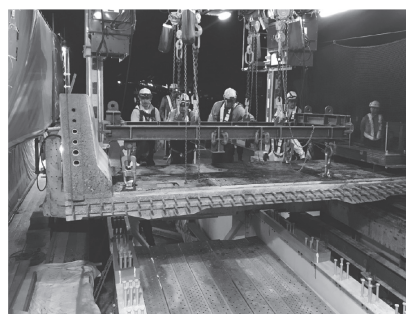


写真 - 6 PCaPC床版架設状況



写真 - 7 UFC板設置状況



写真 - 8 移動式門型揚重機格納時



写真 - 9 舗設状況

5.5 サイクル後作業

(1) 接合部へのUFC圧送充填

前節までに述べたサイクル作業を繰り返したあと、PCaPC床版の接合部にUFCを充填する。充填は橋面上に設置した圧送ポンプにより行う。圧送管を橋面上から橋面下に回り込むように配管し、接合部底面型枠に設けた充填孔より圧送充填を行った(図-20)。配管および底面型枠の各所に圧力計を配置して、橋面上に設置したモニターにより圧送圧力の一元管理を行った(写真-10)。充填は図-20の①からの片押しを基本としたが、圧力の上昇が見られた場合は①→②→③の順に圧送管を盛替えながら圧送を進めた。隣の充填孔からUFCが流出したことを目視確認したのちに盛替えを行うことで充填不良を防止した。

(2) 付属物工

弓振川橋(上り線)では、伸縮装置および遮音壁を床版取替えとともに更新した。橋長が40mと短いため、伸縮装置には製品ジョイントを採用した。また、当該路線は凍結防止剤散布量が多く塩分飛来が懸念されたことから、遮音壁の遮音板は一般的な金属製ではなく、ポリエステル繊維成形板(エスキューパネル)を採用した(写真-11)。

(3) 鋼桁補強

前章に述べたように鋼桁の補強には炭素繊維ストランドシートを用いた。素地調整、不陸整正用のパテを塗布し施工面を成形したのちに、高伸度弾性パテ材(ポリウレタン樹脂パテ材)を0.8mmの厚さで塗布する。その後、900目付の炭素繊維ストランドシート5層を順次、接着した(写真-12)。すべての炭素繊維ストランドシート層を設置した後、保護層としてアラミド繊維シートを設置した。

6. おわりに

床版取替工事を夜間のみの車線規制で実現する日本初の試みである夜間半断面床版取替工法の概要と、その実証試験として実施された弓振川橋(上り線)床版取替工事の設計と施工について述べた。

この工事において、本工法を実橋へ適用することが可能であることを確認できた。新しい工法は、都市部の重交通路線など、これまで渋滞発生が懸念され床版取替工事が難しいとされた箇所への適用が期待される。また、固定規制を必要としないことから、土・日・祝日には工事をしないなどの選択も可能であり、「働き方改革」にも貢献できると考えている。

最後に、新しい工法の開発や弓振川橋(上り線)への適用に対して、ご指導とご助言をいただきましたNEXCO中日本ならびに関係各位の皆様にご感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岩城孝之, 仲田宇史, 川西貴士, 村上隆弘, 酒井修平, 小野聖久: 夜間1車線規制下での床版取替え工法の技術開発と施工, 橋梁と基礎 Vol55 No.5, 2021年5月
- 2) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), 平成16年8月

[2021年6月14日受付]

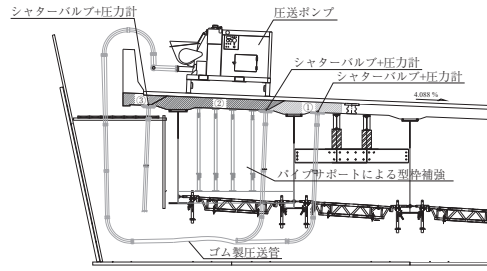


図-20 UFC圧送配管図

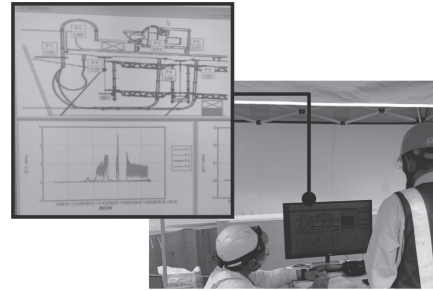


写真-10 圧送圧力の一元管理



写真-11 ポリエステル繊維成形遮音板



写真-12 炭素繊維ストランドシート設置状況



写真-13 施工完了