

都市高速道路本線への平板型 UFC 床版の適用

— 阪神高速 12 号守口線床版更新 —

藤代 勝*1・岩里 泰幸*2・越野 まやか*3・齋藤 公生*4

阪神高速道路では、2020 年の 1 号環状線南行リニューアル工事に合せて、12 号守口線の P20 - P21 間で床版取替えを実施した。本工事は、阪神高速道路で初めての本線橋での床版取替えである。既設の鉄筋コンクリート床版撤去後に設置する更新床版には、床版厚さが 140 mm の平板型 UFC 床版を適用した。本工事以前には、15 号堺線玉出入口の床版取替え¹⁾で平板型 UFC 床版の適用実績があるが、上下線一体の多主合成鈹桁橋への適用は本工事が初めてである。対象径間の下り線側にはオフランプに向けて幅員拡幅があり、主桁も扇型に配置されているため主桁間隔が変化する構造である。またさらに、17 日間の通行止め期間内に工事を完了するため、平板型 UFC 床版の架設の急速化を図った。

本稿では、上下線一体の合成鈹桁橋の更新床版として適用した平板型 UFC 床版の設計概要と床版の製作、専用架設機を用いた床版設置、床版の縦締め緊張および場所打ち UHPFRC による接合部の施工などについて報告する。

キーワード：平板型 UFC 床版、専用架設機、場所打ち UHPFRC、床版接合目地

1. はじめに

阪神高速道路では、2020 年の 1 号環状線南行リニューアル工事に合せて、12 号守口線 P20 - P21 の 1 支間（以下、守 S20）で床版を更新した（図 - 1）。1967 年に同支間の供用が開始され、1980 年には床版の下面に鋼板を接着する補強が実施された。その後の点検で床版内部のひび割れや上面の土砂化が確認され、さらに補強鋼板の腐食も見られたことから、床版取替えが決定した。本工事は、阪神高速道路で初めての本線橋での床版取替えであり、既設の鉄筋コンクリート床版を撤去したあとに設置する更新床版には、平板型の超高強度繊維補強コンクリート²⁾（Ultra-high Strength Fiber Reinforced Concrete, 以下 UFC）製の床版（以下、平板型 UFC 床版）を適用した（表 - 1）。平板型 UFC 床版は、15 号堺線玉出入口での床版取替え実績¹⁾から、1973 年頃までに建設された鉄筋コンクリート床版の取替えにおいて、優位性が確認されている。

玉出入口のランプ橋が 2 主合成鈹桁橋であるのに対し、守口線 P20 - P21 は上下線一体の 6 主合成鈹桁橋であり、平板型 UFC 床版適用にあたっての構造上の難度が高い。また、玉出入口では床版取替えのため

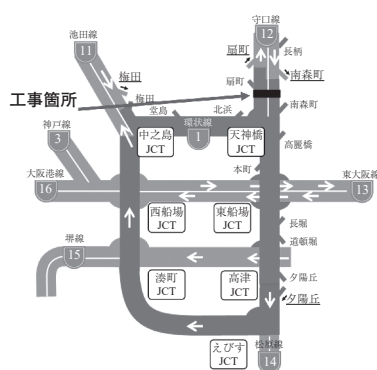


図 - 1 工事位置図

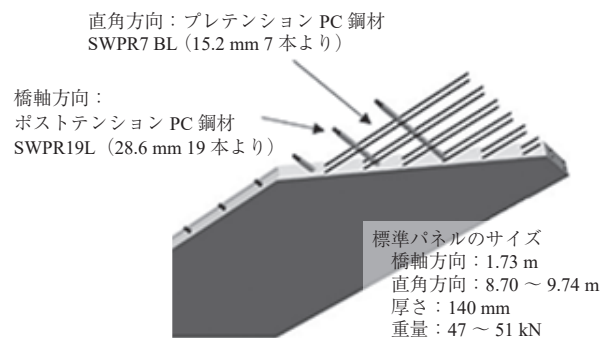


図 - 2 UFC 床版構造図

に、ランプを 4 カ月間の通行止めとしたが、都市高速道路本線となる守口線では床版取替えのための通行止め期間が 17 日間に限定された。

本稿では、上下線一体の多主合成鈹桁橋への更新床版として適用し、短期間での取替えを実現した平板型 UFC 床版の設計・施工について報告する。

2. 平板型 UFC 床版の構造概要

平板型 UFC 床版は、主に更新用の床版として阪神高速道路(株)と鹿島建設(株)が共同開発した。床版の下面にハンチ等の凹凸がないシンプルな形状で、薄肉・軽量ながら、

表 - 1 UFC の材料物性値

圧縮強度	180 N/mm ²
ひび割れ発生強度	8.0 N/mm ²
引張強度	8.8 N/mm ²
ヤング率	4.6 × 10 ⁴ N/mm ²
単位体積重量	24.5 kN/m ³

*1 Masaru FUJISHIRO：鹿島建設(株) 土木設計本部 構造設計部 橋梁・インフラ更新グループ 設計長

*2 Yasuyuki IWASATO：阪神高速道路(株) 管理本部 大阪保全部 保全事業課 課長代理

*3 Mayaka KOSHINO：阪神高速道路(株) 管理本部 管理企画部 保全技術課

*4 Kimio SAITO：鹿島建設(株) 関西支店 土木部 担当部長

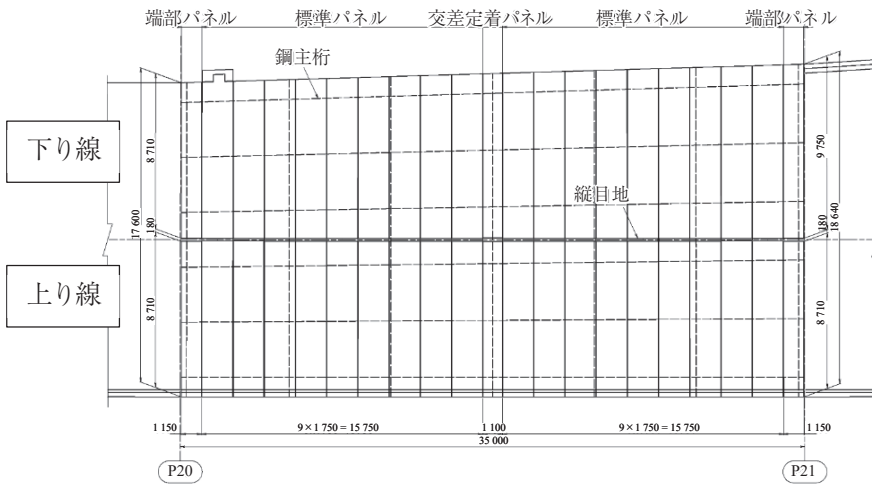


図 - 3 床版平面図と鋼主桁位置図

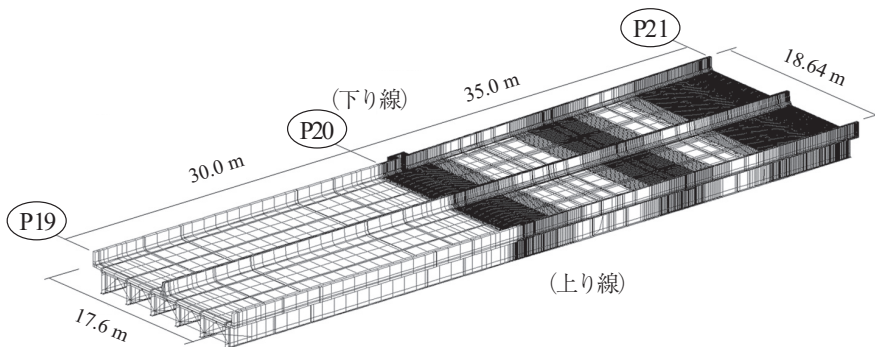


図 - 4 解析モデル

一般の PC 床版より高い耐疲労性を有することを輪荷重走行試験で確認している³⁾。

橋軸方向と橋軸直角方向の 2 方向にプレストレスを導入する構造で (図 - 2)、橋軸直角方向には一般的なプレキャスト PC 床版と同様に、製作時にプレテンション方式でプレストレスを導入する。一方、橋軸方向には、鋼桁上に平板型 UFC 床版を設置し、橋軸方向に床版を接合する目地 (以下、横目地) を施工したあと、ポストテンション方式でプレストレスを導入する。プレテンション方式によるプレストレスの導入が橋軸直角方向のみであるため、プレテンションベットのをもつ全国の工場で作製が可能である。

ポストテンション方式で橋軸方向にプレストレスを導入する一般的なプレキャスト PC 床版では、緊張作業を行う空間を確保するため、床版端を場所打ちとする場合が多い。一方、平板型 UFC 床版では、UFC の優れた材料特性を活用して PC 鋼材の定着部をコンパクト化することで、支間中央部の床版下面に緊張空間を設け、床版端を固定側とすることで床版端での場所打ちを省略し、径間端部まですべての床版をプレキャスト化した。その結果、工期が短縮されるとともに、床版の品質および耐久性が向上した。

3. 平板型 UFC 床版の設計概要

3.1 守 S20 構造概要

守 S20 は、阪神高速 12 号守口線の南森町 - 扇町間に位

置する橋長 35.0 m、上下線全幅員 17.600 m ~ 18.640 m の 6 主合成鉄桁橋である。上り線の幅員は一定だが、下り線の幅員は P20 から P21 (扇町オフランプ) に向けて約 1 m 広がる。主桁は上下線の両方が放射線状に配置され、全ての主桁同士の間隔が変化する。一方で、任意の横断面での主桁同士の間隔は、全ての主桁間で同一である。床版平面図と鋼主桁の配置図を図 - 3 に示す。

3.2 床版の設計

守 S20 では UFC 床版を橋軸直角方向に 2 分割した。接合目地を中央分離帯内に設け、幅員が一定な上り線側の床版を同一形状とした。一方で、幅員が変化する下り線側では 1 枚ごとにパネル幅を変化させた。標準パネルの橋軸方向長さを 1.73 m とし、標準パネルを 36 枚、端部パネルを 4 枚、交差定着パネルを 2 枚で構成した。

既設 RC 床版の厚さが 170 mm であったのに対して、平板型 UFC 床版の厚さを 140 mm とした。床版更新に伴う主桁上フランジの首振りへの影響を回避するため、平板型 UFC 床版の曲げ剛性を、全断面を

有効とした既設 RC 床版の曲げ剛性と同等以上としている。ここで、平板型 UFC 床版の薄肉化には、UFC と一般的なコンクリートのヤング係数の差が寄与している。

平板型 UFC 床版には補強鉄筋を配置せず、使用時にはひび割れを発生させない構造のため、荷重による応力分布を精度良く把握する必要があり、玉出入口と同様に床版全体および鋼桁を 3 次元でモデル化し、FEM 解析によって自重および活荷重等の応答値を算出して PC 鋼材配置を決定した。解析モデル全体図を図 - 4 に示す。活荷重を B 活荷重として床版の設計には T 荷重を採用した。本設計では、活荷重 + 衝撃を考慮した FEM による解析結果に対して、安全を確保するため解析係数 1.1 を乗じた。

橋軸直角方向の PC 鋼材には SWPR7BL 15.2 mm を使用し、T 荷重と同時に遮音壁に風荷重が作用したときに片持ち版となる張出し部の支点部上縁に発生する引張応力がひび割れ発生強度 (8.0 N/mm²) 以下となるように配置本数を決定した。ただし、製作時に床版にそりが発生しないよう、PC 鋼材の図心が断面の図心と一致するように配置した。すなわち、図 - 2 に示す上下 2 段を 1 組とした配置を採用している。

橋軸方向の PC 鋼材には SWPR19L 28.6 mm を使用し、T 荷重が作用したときに橋軸方向の床版の接合部 (横目地) の下面に引張応力が発生しないように配置本数を決定した。幅員変化に対応して横目地に対する主桁の角度が上り

線から下り線に向けて大きくなっていることに配慮し、横目地に対する角度の小さい上り線では横目地に直角にPC鋼材を配置し、横目地に対する角度が大きい下り線では横目地に対して斜めに配置した。断面内では床版厚さの中央に配置した。

3.3 縦目地の設計

前述のとおり、守 S20 では縦目地を設ける構造とした。上下線一体のプレキャスト床版には運搬上の制約があり、中央分離帯から路側帯に向けて排水勾配が設けられ床版が山折れ状となるため上下線一体での製作が困難なことから、上下線のパネルを分割した。縦目地には直接輪荷重が作用しないことから、プレストレスを導入せずエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いたあき重ね継手を採用した。もっとも不利な荷重組合せで、鉄筋の引張応力度が 120 N/mm^2 以下となるように配置鉄筋量を設定し、定点疲労試験によって配置鉄筋量の妥当性を確認した。設計の結果、必要な鉄筋は標準パネルで D16ctc125 程度となった。

縦目地の間詰め材料には、床版を構成する UFC とほぼ同じ配合で、鉄筋との付着強度の高い超高性能繊維補強セメント系複合材 (Ultra-High Performance Fiber Reinforced Cement Based Composit, 以下 UHPFRC) を採用し、鉄筋の定着長を短縮して目地幅を縮小した。本橋の標準パネルでは鉄筋 (D16) の突出長を 130 mm, 目地幅を 150 mm とした。UHPFRC 打込み前の状況を写真 - 1 に示す。

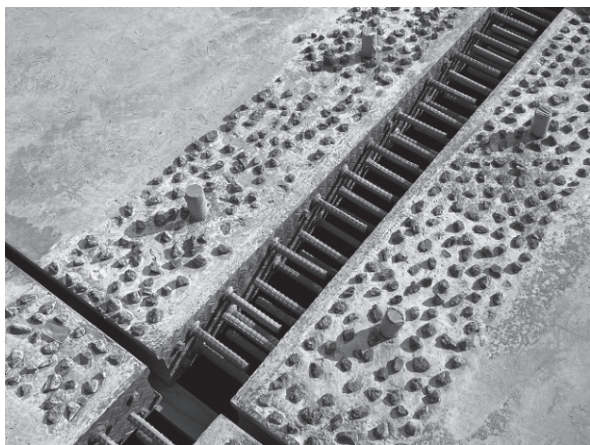


写真 - 1 UHPFRC 打込み前の縦目地

3.4 床版のずれ止め

プレキャスト PC 床版と鋼桁とを合成構造とするずれ止めとしては、鋼桁の上フランジに溶接した頭付きスタッドジベルを床版に設けた貫通孔に挿入し、鋼桁フランジ-床版間の接合部および床版の貫通孔を無収縮モルタルで充填する構造が一般的である。本橋では、工程を短縮しつつ貫通孔からの水の浸入リスクを小さくすることを目的に、図 - 5 に示す新たなずれ止め構造を採用した。すなわち、主桁接合部の高さに収まる短いスタッドと床版下面に埋設したインサートに取り付けた六角ボルトを組み合わせたずれ止めである。充填材には目地部と同様に UHPFRC を使用してずれ止めの高強度化を図り、スタッドジベルの本数を削減した⁴⁾。この結果、床版設置後に溶接するスタッドを削

減し工程を短縮した。さらに、貫通孔の数を最小化することで、貫通孔からの雨水浸入リスクを低減した。

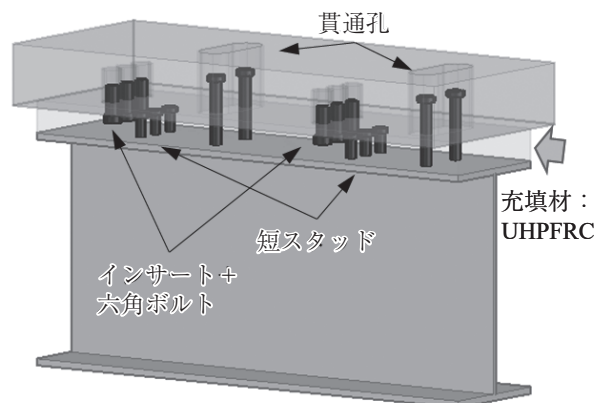


図 - 5 ずれ止め構造のイメージ

3.5 鋼桁の照査

平板型 UFC 床版の採用により床版が軽量化されるものの、場所打ちで RC 床版を施工した当初の建設時と異なり、床版設置時には専用架設機が鋼桁上を走行すること、使用時には当初の建設時に考慮していた TL-20 より大きい B 活荷重を考慮することから、鋼桁の安全性を照査した。

単純鋼桁橋として建設された守 S20 が、供用開始後に隣接する守 S19 (守 P19 - 守 P20) と連結されたことを考慮し、連結された 2 径間を格子桁として解析した。建設時の構造から、隣接支間との連結、床版の撤去、床版の設置までの構造系の変化と荷重状態を再現し、床版の撤去から更新完了までの施工ステップで鋼桁を照査した。

照査の結果、床版設置時の施工ステップで、設置済みの平板型 UFC 床版の自重と平板型 UFC 床版を把持して走行する専用架設機の荷重を組み合わせた場合に、主桁の上フランジの圧縮が対傾構の間隔に応じて低減される許容値を上回った。そこで、仮設の対傾構を設置することで圧縮応力度の許容値を見直し、主桁の安全性を確保した。

B 活荷重を考慮した場合でも、使用時に鋼桁上下縁に発生する応力が許容値を下回り、恒久的な補強は不要となった。

4. 平板型 UFC 床版の製作・施工

4.1 平板型 UFC 床版の製作

平板型 UFC 床版の製作フローを図 - 6 に示す。平板型 UFC 床版にはハンチが無いいため型枠構造がシンプルである。

型枠内には横締め PC 鋼材、ポストテンション用ポリエチレン製シース、ジベル用の貫通孔型枠とインサートなどを配置する。縦目地の継手用鉄筋を除いて鉄筋の組立て作業がなく、製作作業が簡素化されている (写真 - 2)。UFC 打込み後に 1 次蒸気養生を行い、強度確認後に横方向のプレストレスを導入し、UFC 床版を製作台から搬出した後に 2 次蒸気養生を行った。横締め PC 鋼材端部の防錆のため、床版の側端部に設けた後打ち部に繊維入り無収縮モルタルを打ち込み、鋼材端部のかぶりを確保した。現

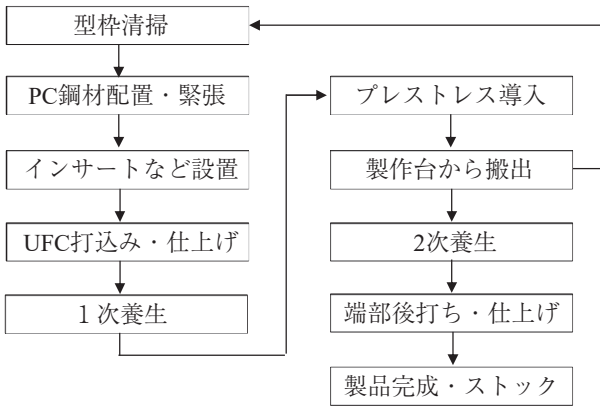


図 - 6 床版製作のフロー

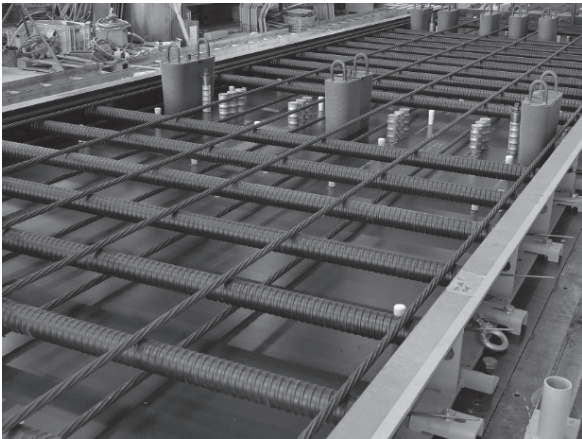


写真 - 2 床版の製作状況

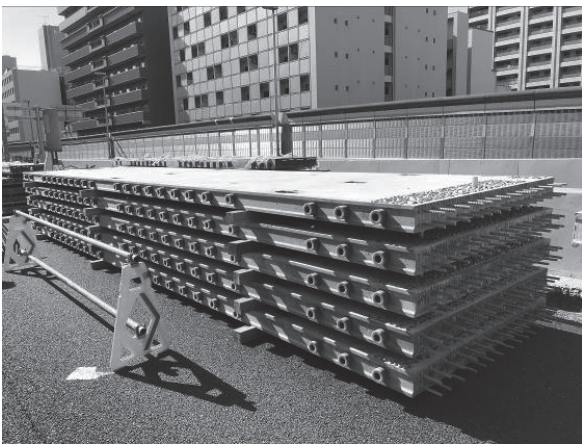


写真 - 3 現場仮置き状況

場に運搬された平板型 UFC 床版を写真 - 3 に示す。

4.2 床版の架設

本工事では床版の急速施工が求められたことからアーム式専用架設機を 2 台使用した。1 台は玉出入口で使用した機体を改造し、もう 1 台は本工事に用に製作した。2 機の総重量はともに約 10t、ホイールベース（車軸間隔）は 1.85m、トレッド（車輪間隔）は 4.0m で、メインフレームを分解することなく 10t トラックに積載可能である。左右のタイヤの回転を個別にコントロールすることで、その

場での転回が可能である。

10t トラックで隣接支間まで搬入した平板型 UFC 床版を直角方向を向いた架設機が把持して 90 度旋回（橋軸方向を向く）し、すでに設置済みのパネル上を走行して所定の位置に設置した（図 - 7）。本工事では、作業範囲内に門型標識柱があり、UFC 床版の設置にクレーンを使用する場合には、クレーンの据付け位置や床版設置可能範囲が制約される。一方、アーム式専用架設機は機械高さ約 2.7m のため、門型標識柱に関係なく設置作業を進めることができた。

床版の架設実績として、21 時間で 42 枚のプレキャスト UFC 床版の設置を完了した。設置のサイクルタイムは平均約 30 分 / 枚であり、最速で 18 分 / 枚であった。

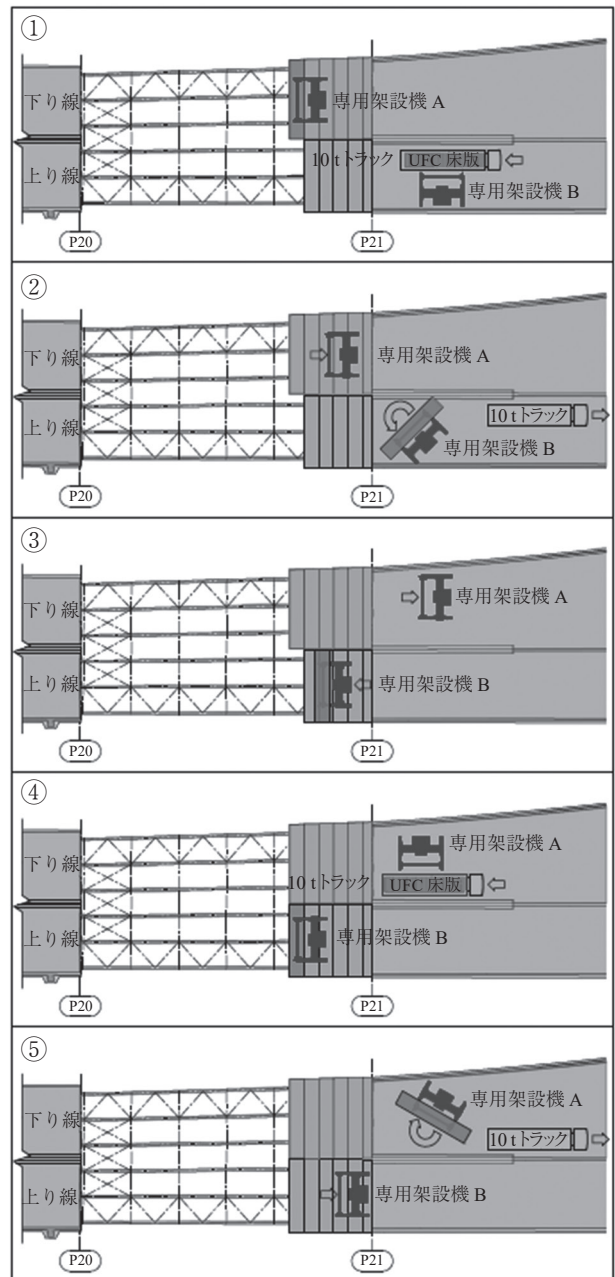


図 - 7 床版の架設ステップ



写真 - 4 専用架設機による床版架設状況



写真 - 5 交差差着部の緊張状況

4.3 床版の縦締め緊張

床版の高さ調整後に横目地に UHPFRC を打ち込み、緊張強度の発現を確認後に縦締め PC 鋼材を緊張した。

縦締め PC 鋼材を設計緊張力まで緊張すると、緊張の過程で定着体背面の隅角部にひび割れ発生強度を超える軸方向の局部応力が発生する。そこで、緊張作業の前半では設計緊張力の半分まで緊張（以下、ハーフ緊張）することで局部応力を低減し、ひび割れを防止した。縦締め PC 鋼材の 1/3 をハーフ緊張することで、床版に局部応力を打ち消す軸方向の圧縮応力を導入した後に、設計緊張力まで緊張した。以上の緊張手順については、玉出入口の施工に際して実施した模擬試験により、ひび割れ発生などの有害な事象が発生しないことを確認している。

上下線の床版が独立した状態の縦目地施工前に、下り線の縦締め PC 鋼材 50 本をすべて緊張し、続いて上り線の縦締め PC 鋼材 46 本を緊張した。

緊張作業を効率的に進めるため、片線 3 主桁に対して 8 台 4 組の緊張ジャッキを用意し、主桁を跨いだ緊張ジャッキ移動を回避した。緊張作業は 2 班で行うこととし、緊張作業中にほかの主桁間ではジャッキの盛替えを行うことで、緊張工程全体の時間短縮を図った。下り線の縦締め緊張順序を図 - 8 に示す。緊張順序はプレストレスの不均等が発生しないようできるだけ対称な順序に設定し、かつ、緊張作業と準備作業が同じ主桁間にならないように設定した。緊張状況を写真 - 5 に示す。緊張には油圧と鋼材伸びを自動計測して緊張管理が行える自動緊張システム⁵⁾を用いて、作業の効率化と品質向上を図った。

4.4 縦目地および接合部の施工

緊張作業後、上下線間の縦目地および主桁と床版の接合部にも UHPFRC を打ち込んだ。

本工事では、UFC 床版を適用した既往の 2 工事（玉出入口、信濃橋入口⁶⁾）に比べ UHPFRC の使用量が多く、昼夜連続での製造が求められたため、大容量の車載式ミキサを採用した。既往 2 工事では容量 100 L 程度の強制二軸ミキサを使用し手投入を主体として製造したが、本工事での製造サイクル確保は同様の製造方法では困難と判断し、製造方法を見直した。練混ぜ材料の供給は、現地での作業を最小限とするため、現地でフレッシュ性状を調整するための混和剤を除き、事前にプレミックスした材料をバッチ容量に合わせてパッキングしたものを用意し、クレーンにてミキサに投入することで、連続製造がスムーズに行えるよう準備した。車載式ミキサを用いた UHPFRC 現場製造状況を写真 - 6 に示す。

5. おわりに

阪神高速道路の「高速道路リニューアルプロジェクト」として初めての本線橋での床版取替えにあたり、更新床版として平板型 UFC 床版を適用した。本工事を通して、上下線一体の多主合成鈹桁橋への平板型 UFC 床版の適用性が明らかとなった。また、かざられた通行止め期間内に床版取替えを完了するため工事の急速化を図った結果、通行止め 15 日目に作業を完了した。実施工程表を表 - 2 に、床版・壁高欄の施工完了状況を写真 - 7 に示す。

本工事での主な取り組みを以下にまとめる。

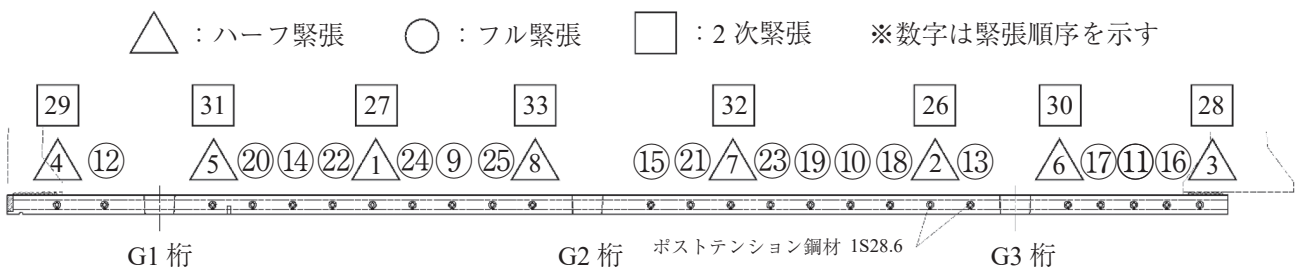


図 - 8 縦締めの緊張順序 (下り線)

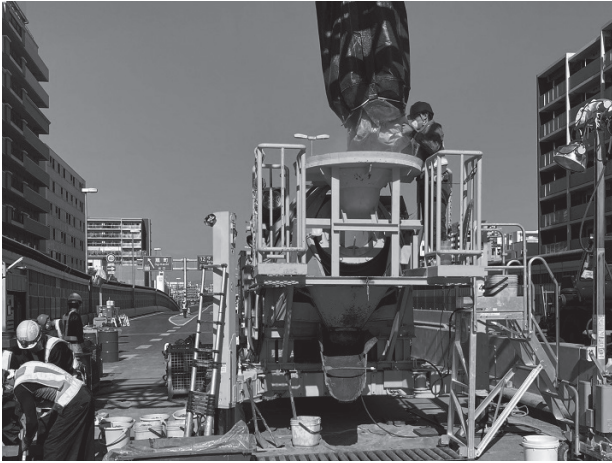


写真 - 6 車載式ミキサを用いた UHPFRC 現場製造状況

表 - 2 通行止め期間実施工程表

通行止め (日)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
昼/夜 (D/N)	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N
床版撤去	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
フランジ処理					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
床版設置																		
横目地																		
縦締め緊張																		
縦目地・合成部																		
PCグラウト																		
P20連結部																		
壁高欄・中分																		
遮音壁																		
アスファルト舗装																		



写真 - 7 床版・壁高欄の施工完了状況

- ・間詰め材料に UHPFRC を使用して幅を縮小した縦目地を設け、上下線に分割して製作した平板型 UFC 床版を架設後に接合した。
 - ・鋼桁-床版間の間詰め高さに収まる短スタッドと下面ボルトを組み合せたずれ止め構造を適用し、スタッドジベルを貫入する床版の貫通孔を削減して更なる耐久性の向上を図った。
 - ・床版の設置にアーム式専用架設機を 2 台使用し、床版設置を急速化した。
 - ・UHPFRC の製造に車載式ミキサを使用し、UHPFRC を昼夜連続で安定して供給した。
- 今後、UFC 床版を適用した玉出入口、信濃橋入口と併せて、床版のモニタリングを継続し、UFC 床版の更なる改善を重ねる予定である。

参考文献

- 1) 藤代 勝・齋藤公生・鈴木英之・佐藤彰紀：阪神高速道路玉出入口橋の床版取替工事，プレストレストコンクリート，Vol.61，No.1，pp.28-33，2019.1
- 2) 土木学会：コンクリートライブラリー 113 号，超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），2004.9
- 3) 小坂 崇，金治英貞，一宮利通，藤代 勝：床版取替えに対応した UFC 床版の疲労耐久性に関する検討，土木学会第 72 回年次学術講演会，I-155，2017.9
- 4) 小嶋進太郎，小坂 崇，長澤光弥，一宮利通：高強度繊維補強モルタルを間詰とした UFC 床版と鋼桁の接合部に関する検討，第 28 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム，pp.351-356，2019.11
- 5) 酒井大輔，小丸博司，秋山 清，熊部 淳：緊張管理図自動作成システムによる PC 緊張管理精度向上，土木学会第 71 回年次学術講演会，VI-904，pp.1807-1808，2016.9
- 6) 藤代勝・木原大樹・谷口祥喜・藤林健二：新設橋に適用するワッフル型 UFC 床版の製作と施工，プレストレストコンクリート，Vol.62，No.3，pp.18-23，2020.5

【2021 年 7 月 15 日受付】



新刊案内

コンクリート構造診断技術

2021年1月
(コンクリート構造診断技術講習テキスト CD-R版)

定 価 7,700 円 (税込) / 送料 300 円
公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会