

阪神高速道路玉出入路橋の床版取替工事

— 軽量な平板型 UFC 床版を用いた床版取替え —

藤代 勝*1・齋藤 公生*2・鈴木 英之*3・佐藤 彰紀*4

阪神高速道路 15 号堺線玉出入路橋は、昭和 44 年に供用開始した鋼単純合成鈹桁橋である。既設 RC 床版の厚さは 180 mm であり、床版下面への鋼板接着にて補強が施されていたが、床版に損傷が確認されたことから床版取替えを行うこととなった。

更新床版には使用性や疲労耐久性のほか、鋼桁および下部構造への負担低減や、地震時の安全性の確保の観点から軽さが求められる。また、床版取替え前後において舗装厚の確保や縦断線形への影響を避けるために薄さも求められる。これらのニーズに応えるため、2011 年より阪神高速道路と鹿島建設の共同研究で、超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）を用いた UFC 床版を開発しており、本橋に軽量な平板型の UFC 床版が更新床版として国内で初めて適用された。

本稿では、平板型 UFC 床版が適用された入路橋の床版取替え工事の概要、UFC 床版の特徴、設計や実適用に向けて行った実験の概要および施工の状況について報告する。

キーワード：平板型 UFC 床版、床版取替え、オールプレキャスト化、専用架設機

1. はじめに

近年、高速道路の橋梁では供用開始後 40 年以上が経過しているものも多数あり、とくに昭和 48 年以前の道路橋示方書に従って設計された鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）は、一般に以降の示方書に従って設計された床版より薄く、鉄筋量が少ないことから、劣化損傷が顕在化している事例が多い。また、車両の大型化に伴う活荷重の増加や、疲労作用が劣化を促進させていると考えられている。このような構造物を長期的に維持管理していくため、阪神高速道路では老朽化した RC 床版の大規模更新・修繕が計画されている。

一般的な RC 床版の場合には、床版の取替えにあたっては、現行の設計活荷重を用いて、更新床版が設計され、鋼桁および下部構造が照査される。その場合には、取り替えた床版が厚くなることで、路面の高さへの影響や、床版自重が増えて鋼桁に補強が必要な場合がある。また、自重の増加による下部工への影響も懸念される。

筆者らは、このような課題に対応するため、UFC を用いた軽量かつ耐久性の高い取替え用の床版を開発¹⁾し、輪荷重走行試験によって疲労耐久性を確認²⁾している。

床版取替え用に開発した平板型 UFC 床版（以下、UFC 床版）は、使用する材料の優れた特性を活かして、従来の RC 床版より薄肉化・軽量化が図れ、路面の高さを変更する必要がない。そのため、現行の設計活荷重（B 活荷重）を適用した場合でも鋼桁や下部工への影響をさわめて小さくすることが可能である。

本報告では、国内で初めて UFC 床版を適用した既設橋の床版取替え工事（写真 - 1）の概要と UFC 床版の特徴、

設計や適用に向けて行った実験の概要および施工の状況について報告する。



写真 - 1 玉出入路橋

2. 玉出入路橋の構造概要

UFC 床版の適用対象となる橋は、阪神高速道路 15 号堺線の玉出入路橋で、橋長 22.0 m、全幅員 6.25 m、床版支間 4.0 m の鋼単純合成鈹桁橋の 6 連のうち本線合流側の 3 連である。本橋の構造概要を図 - 1 に、断面図を図 - 2 に示す。

本橋は昭和 44 年に供用を開始した鋼単純合成鈹桁橋である。建設当時の設計基準は昭和 39 年の鋼道路橋設計示方書であり、RC 床版の厚さは 180 mm（主桁上は 233 mm）である。RC 床版は鋼板接着工法によって補強されているものの、床版の劣化が進行していることが現地調査の結果判明し、床版を取り替えることとなった。

*1 Masaru FUJISHIRO：鹿島建設(株) 土木設計本部 構造設計部 橋梁グループ

*2 Kimio SAITO：鹿島建設(株) 土木設計本部 構造設計部

*3 Hideyuki SUZUKI：阪神高速道路(株) 大阪管理局 保全部 保全設計課

*4 Akinori SATO：阪神高速道路(株) 建設・更新事業本部 神戸建設部 プロジェクト第一課

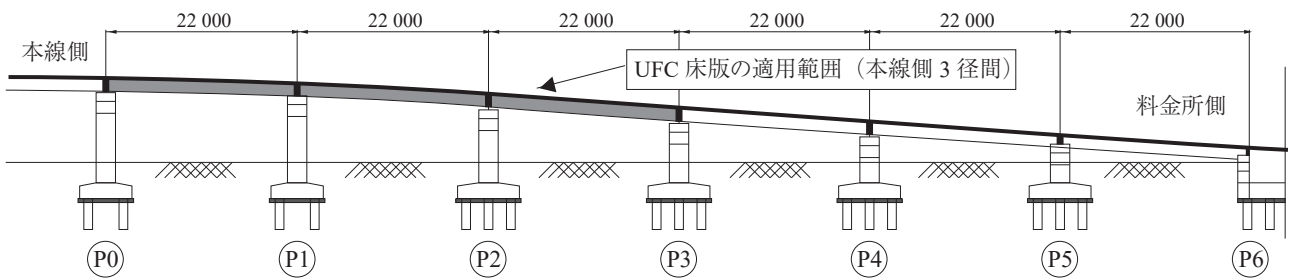


図 - 1 玉出入路橋の側面図

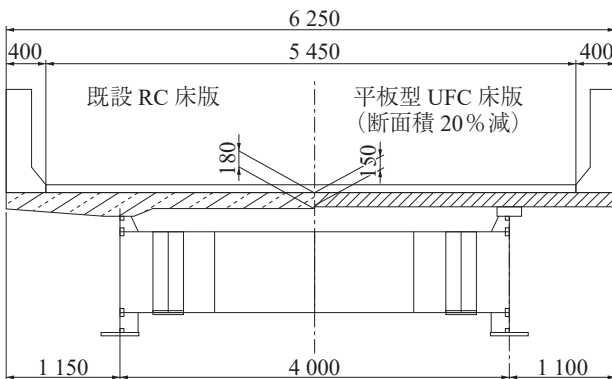


図 - 2 断面図 (新旧比較)

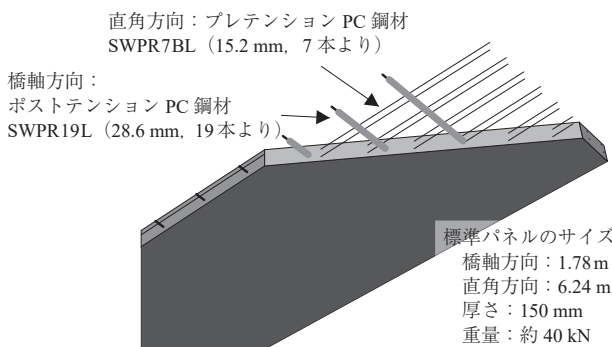


図 - 3 平板型 UFC 床版の概要

3. UFC 床版の概要

3.1 UFC の材料特性

取替えに用いる床版の材料は、土木学会の超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)³⁾に準拠した UFC で、圧縮強度の特性値が 180 N/mm²、ひび割れ発生強度が 8.0 N/mm²、弾性係数が 46 kN/mm² のエトリングait生成系の UFC である。この優れた材料特性を有効に活用することで、床版の薄肉化や PC 定着部のコンパクト化が可能となっている。

3.2 合成桁の構造

UFC 床版の構造は、図 - 3 に示す直角方向および軸方向にプレストレスを導入する床版である。直角方向には床版製作時に工場でプレテンション方式でプレストレスを導入し、軸方向には現地で床版を架設したのち、ポストテンション方式でプレストレスを導入する。本橋の UFC 床版

の構成は、図 - 4 に示すように標準パネルを 10 枚、橋軸方向の PC 鋼材定着部と伸縮装置を設置する端部パネルが 2 枚、支間中央部で交差緊張するための交差定着パネルが 1 枚の計 13 枚である。各パネルの長さは、運搬車両や架設機械の規模が特殊な形状となる端部パネルや交差定着パネルで決定されないことを考慮した。同時に、製作工場で既存の底型枠の利用も考慮に入れて検討した。その結果、標準パネルの軸方向長さは 1.78 m (間詰部を除く) で、重量は約 40 kN となり、端部パネルも交差定着パネルも同様な重量となるように軸方向長さを調整した。

間詰部を場所打ち UFC で充填して軸方向のプレストレスを導入し、1 径間分の床版を一体化した後、床版と鋼主桁との接合部に繊維入り無収縮モルタルを充填して合成桁とする構造である。

3.3 UFC 床版の特徴

(1) 床版厚さ

取替えに用いるプレキャスト床版は、道路橋示方書(平成 29 年 11 月)によって耐久性を満足する床版厚さを算出すると、一般的な PC 床版では床版支間が 4.0 m の場合には 250 mm (243 mm を切上げ) となる。床版厚さの増加は道路線形の変更を伴うだけでなく、床版自重の増加によって主桁の補強量が増加し、さらに地震時の下部工への影響が増加する。一方、UFC 床版の厚さは 150 mm と既設 RC 床版よりも薄く、床版の断面積比は、UFC 床版を 1.0 とすると、既設 RC 床版は 1.2、PC 床版は 1.6 である。取替え後の UFC 床版は、取替え前の RC 床版より薄いため、床版取替え工事に伴う道路線形の変更が不要となり、床版自重を小さくして桁補強を低減し、下部工への影響を小さくできるメリットを有する。

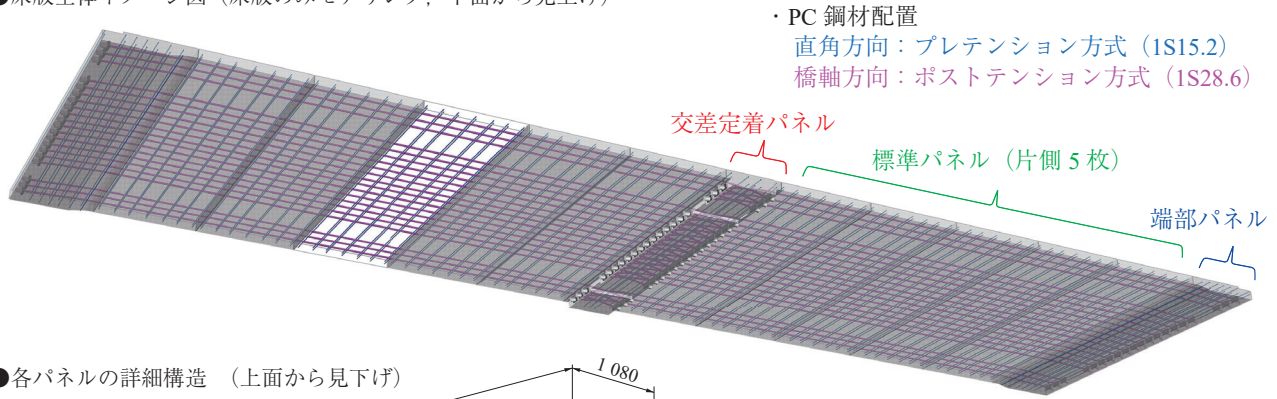
UFC 床版適用による床版の薄肉化に伴って、床版のたわみによる鋼桁上フランジの首振り作用の増大が懸念されるが、UFC は一般のコンクリートより弾性係数が高いため、UFC 床版の曲げ剛性がひび割れを考慮しない既設の RC 床版と同等となるため、床版取替えによる鋼桁上フランジの首振り作用の増大はないと考えられる。また、既設 RC 床版の非線形解析を実施した結果から、活荷重の載荷によるひび割れ発生を考慮したたわみと、同荷重条件の UFC 床版のたわみは同等であることを確認している。供用開始後の挙動についてたわみやひび割れなどのモニタリングを行い、疲労の影響などを今後確認する予定である。

(2) オールプレキャスト化

橋軸方向にプレストレスを導入する構造の場合、一般的

○ 工事報告 ○

● 床版全体イメージ図（床版のみモデリング、下面から見上げ）



● 各パネルの詳細構造（上面から見下げ）

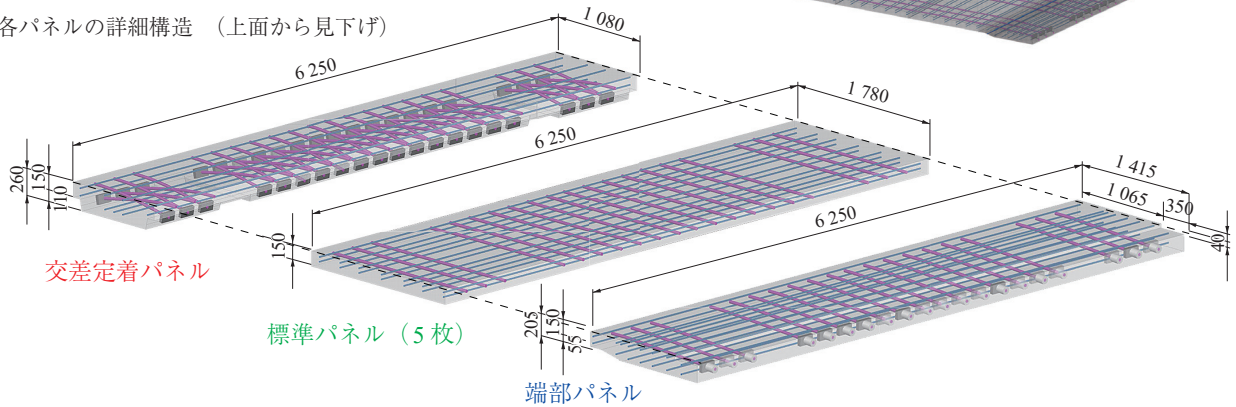
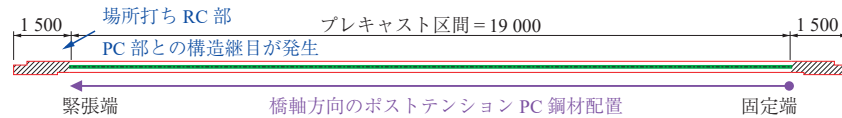


図 - 4 パネル構造パース図

● 一般的な縦締め工法



● UFC 床版を用いた工法

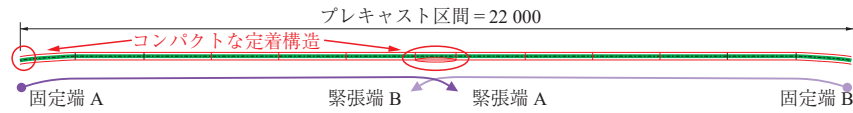


図 - 5 縦締めの緊張方法比較



写真 - 2 交差定着部の載荷実験状況

には桁端部に緊張スペースを設ける必要があることから、端部は場所打ち部となる。一方、本橋では、始点終点の桁端部両側に PC 定着部を埋設した端部定着パネルを設けて固定側とし、径間中央に交差定着パネルを設けて緊張側とすることで、床版全域にプレストレスが導入される構造とし

た（図 - 5）。これによって端部の場所打ち部を無くした。すべての床版をプレキャスト化することで、施工継目が無くなり、床版全面の耐久性向上が図られ、場所打ち部の工程を短縮することが可能となった。

(3) PC 定着構造のコンパクト化

床版の材料に用いた UFC の強度特性を活かし、ポストテンション鋼材の定着プレート面積を小さくし、薄肉の UFC 床版に適したコンパクトな PC 定着構造を採用することができた。このコンパクトな定着構造を採用するにあたり、定着性能試験や実物大の交差定着部の緊張試験（写真 - 2）を実施して、構造の安全性確認を行った。試験体は直角方向に 1.0 m とし、プレテンション鋼材を配置しない構造とした。実験の結果、FEM による事前解析のとおり、定着部付近のひび割れや間詰部の肌隙は見られないことが確認できた。

(4) 鋼桁補強の最小化

本橋において、UFC 床版に取り替えることで床版の重

量が既設 RC 床版より 20% 程度低減される。しかし、活荷重を旧基準から現行基準の B 活荷重対応としたため、設計荷重時に鋼桁の補強がわずかに必要となった。

UFC 床版を用いることで床版自重が低減される効果は大きく、下フランジの補強範囲は PC 床版での試算と比較して約 1/4 に縮小されている。

(5) 専用架設機の適用

一般的な床版取替え工事では、100 t 吊りクラスの揚重機が用いられるが、今回の入路橋では幅員が 6.25 m であるため、少なくとも 25 t 吊りクラスの揚重機の使用が想定される。本橋のようなケースでは、揚重機は橋面または路下の側道に設置される。橋面に設置する場合は、揚重機が本線に近接すること、幅員が小さいためアウトリガーの占有幅を確保するのが困難であることが課題となり、側道に設置する場合は側道の通行規制が必要になることが課題となる。また、床版撤去時には抵抗断面が鋼桁のみとなるため、揚重機の重量に対する鋼桁の補強が必要となる場合がある。そこで、新設の UFC 床版の運搬・設置には移動式クレーンを使用せず、架設した床版上を走行する専用架設機を開発した。平板型 UFC 床版は、PC 床版に比べて軽量であるため、プレキャスト製カルバート部材などの場内運搬に使用される架設機を改良した専用架設機の適用が可能となった。また、架設した床版上の走行に対し UFC が高強度材料であるため、仮置きした床版上を専用架設機が走行した場合においても、架設機と運搬する床版自重を考慮した荷重作用に対して、床版に発生する応力度は、ひび割れ発生強度以下とすることが可能となった。さらに、揚重機に比べ架設機重量が軽量であることから、床版を撤去した合成前の鋼桁への影響も小さくすることができた。

4. UFC 床版の設計概要

4.1 UFC 床版の設計

(1) 設計方針

UFC 床版の設計は、使用材料や部材厚が道路橋示方書の適用範囲を外れていること、UFC の補強は鉄筋配置のような部分補強ではなく PC 鋼材配置によるプレストレスの導入によるため、床版と PC 定着部が一体となった本橋の構造の場合においては、それぞれの部位に分けた設計が困難である。そのため、構造全体をモデル化した FEM 解析で応答を計算した。作用荷重に対する補強は、作用の組合せに対して発生応力度が UFC の制限値を満足するように、直角方向にはプレテンション PC 鋼材を、橋軸方向にポストテンション PC 鋼材を補強材として配置することとした。

(2) 解析モデル

床版および主桁接合部をソリッド要素で、鋼主桁をシェル要素でモデル化した。解析モデルを図 - 6 に示す。プレテンション PC 鋼材は線部材として床版内部に配置した。境界条件は、床版架設時、ポストテンション導入時、完成時の施工手順を考慮し、各荷重の作用による応答値を足し合わせるものとした。

(3) 荷重条件

荷重として、自重、橋面荷重、風荷重、活荷重 (T 荷重)、

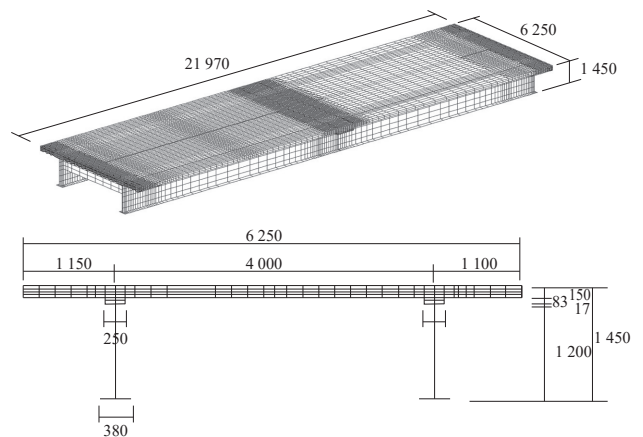


図 - 6 解析モデル図

衝突荷重およびプレストレス (直角方向・橋軸方向) を考慮した。プレストレスは、プレテンション PC 鋼材の付着領域を考慮した導入を行い、ポストテンションは、外力法によって定着部の緊張力および偏向部の腹圧力を考慮した。活荷重については、床版に発生する直角方向や橋軸方向応力をもっとも厳しくなる位置を考慮して載荷した。

(4) 設計条件

発生応力の制限値は、使用する UFC の材料特性値より、圧縮側は 108 N/mm²、引張側は活荷重時にひび割れ発生強度以下として -8.0 N/mm²、衝突時は偶発的な作用による荷重のため、常時の制限値を用いることは過剰な設計になるという考えのもと、曲げ強度に余裕をみた -12.0 N/mm² とした。橋軸方向の床版同士の間詰部は PC 橋のプレキャストセグメントの継目部と同様に引張を生じさせないこととした。

(5) 解析結果

標準パネルにおける直角方向の PC 鋼材配置の決定ケースは、主桁上の負曲げに着目した場合は、T 活荷重が張出し床版側に載荷されかつ遮音壁に作用する風荷重を組み合わせたケースであり、床版支間の正曲げに着目した場合は、T 活荷重を床版支間に載荷し遮音壁に作用する風荷重を組み合わせたケースが引張に対してもっとも厳しい応力状態と

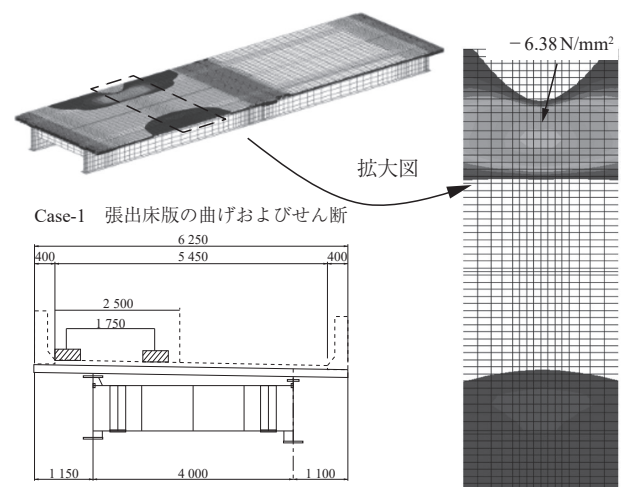


図 - 7 解析結果の例 (活荷重単ケース：標準部の直角方向上面)

なった。その結果を踏まえ PC 鋼材をパネルあたり 14 本配置することでひび割れ発生の制限値 -8.0 N/mm^2 以下となる -7.5 N/mm^2 に制御した。

端部パネルにおける直角方向の決定ケースは、桁端部への活荷重かつ衝突荷重の組合せ時であり、PC 鋼材を端部パネルに 24 本配置することで衝突時の制限値 -12.0 N/mm^2 以下となる -10.2 N/mm^2 に制御した。また、端部に定着されるポストテンション PC 鋼材の定着による局部応力に対しても制限値を満足していることを確認した。

交差定着パネルにおける直角方向の決定ケースは、ポストテンション PC 鋼材の定着による局部応力が支配的となり、PC 鋼材を交差定着パネルに 19 本配置することで制限値以内に制御した。

橋軸方向は活荷重により床版支間部で正曲げによって下縁に引張が作用する。厚さ 150 mm の標準部では、FEM 解析の結果、最大 -10.7 N/mm^2 の引張応力度となった。これに対しポストテンション PC 鋼材を軸方向に 20 本配置することで、床版同士の間詰部において、引張が生じないことを確認した。標準部の活荷重による解析結果の一例を図 - 7 に示す。また、PC 鋼材の配置イメージを図 - 4 に示す。

4.2 鋼桁の補強設計

本橋においては、既設 RC 床版を UFC 床版に取り替えることで床版の重量が 20% 低減された。一方で、設計活荷重が旧基準 (TL - 14) から B 活荷重に増加したため、鋼桁の補強が支間中央部のわずかの範囲で必要となった。鋼桁補強の検討は、施工ステップに応じた作用荷重に対して抵抗する断面の剛性変化を考慮し、合成前および合成後に分けて主桁の応力度をたし合せて実施した。詳細に照査した結果、補強が必要な範囲は支間中央部の 3.4 m となった。本橋の構造で一般的な PC 床版に取り替えた場合の補強範囲の試算は約 15 m となったが、UFC 床版の適用による軽量化によって、下フランジの補強範囲は約 1/4 に縮小が可能となった。図 - 8 に主桁曲げモーメントと作用曲げモーメント比較および補強範囲を示す。

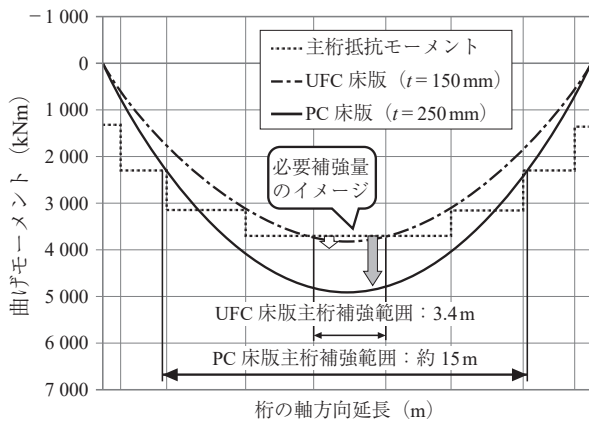


図 - 8 主桁補強量の比較

4.3 合成構造のずれ止め設計

合成桁の設計では、床版と鋼主桁間に作用する水平せん

断力に対してずれが生じないように抵抗するずれ止めを配置する必要がある。本橋では水平力に対し $\phi 22$ 頭付きスタッドで抵抗するものとした。

スタッド 1 本あたりの許容せん断力は、使用する接合材料および接合部高さを模擬した実験結果より、降伏耐力に対して 3 倍の安全率を確保した 32.1 kN/本^5 とした。パネル配置ごとに作用せん断力に対する必要な配置本数を算出し、4 本一組として配置ピッチを決定した。

5. UFC 床版の施工概要

5.1 UFC 床版の製作

写真 - 3 に打込み前の型枠の状況を示す。UFC 床版の内部には壁高欄部を除き鉄筋が配置されていないため、プレテンション PC 鋼材とポストテンション用のシースのみが配置されている。

5.2 UFC 床版の施工

本工事の施工フローを図 - 9 に示す。工場にて製作した UFC 床版は、プレテンション鋼材の端部処理を行ったのちに現場に運搬した。UFC 床版の重量は 1 枚約 40 kN であるため、10 t 平ボディ車に 2 枚積載しての運搬が可能であった。場内へ搬入後、荷下ろし設備にて床版の吊上げおよび回転を行った (写真 - 4)。

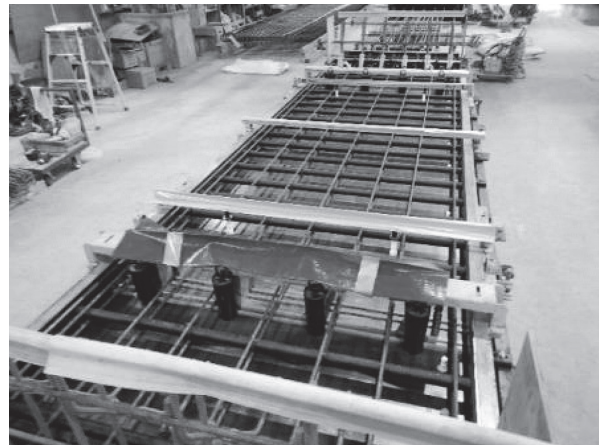


写真 - 3 UFC 打込み前の型枠状況



写真 - 4 UFC 床版の搬入状況

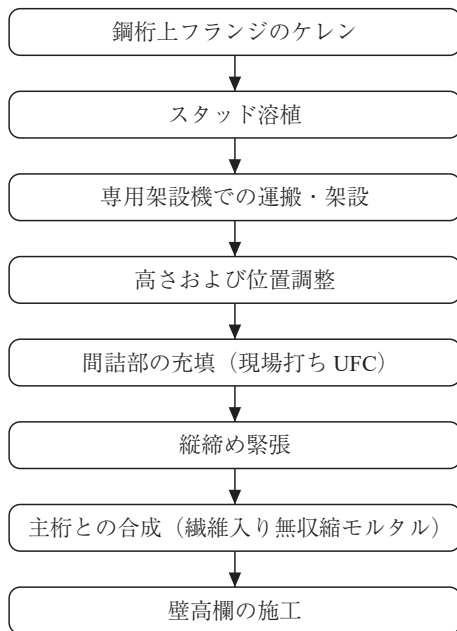


図 - 9 UFC 床版の設置フロー



写真 - 5 専用架設機を用いた UFC 床版の設置状況



写真 - 6 交差定着部の緊張状況

UFC 床版は写真 - 5 に示す専用架設機を用いて、場内の運搬および設置を行った。1 径間 13 枚のパネルを 2 日間で設置し、3 径間分を 6 日間で設置を終えた。床版架設後、床版の位置および高さを調整し、床版同士の間詰部に場所

打ち UFC を充填し、縦締め緊張を行った。緊張状況を写真 - 6 に示す。緊張ジャッキの胴体と床版下面の干渉を回避するため、ジャッキノーズを使用した。緊張の後、一体化した床版と主桁を繊維入り無収縮モルタルを用いて、構造を合成化した。壁高欄はプレキャストを用いることも検討したが、本橋は縦断勾配変化が大きいため場所打ち工法とし、本線壁高欄と干渉する区間は、型枠を設置することが困難であるため埋設型枠を用いて施工を行った。

6. おわりに

本工事は、床版取替えに国内で初めて平板型の UFC 床版を適用した。施工完了の状況を写真 - 7 に示す。現在、実車載荷によるモニタリングを始めたところである。超高強度で高い耐久性をもち、かつ床版の軽量化を実現した UFC 床版は、これからの高速道路のリニューアルに大きく寄与することを期待している。

最後に、本開発を行うにあたり「UFC を用いた道路橋床版に関する検討会」において、大阪大学松井名誉教授、長岡技術科学大学長井名誉教授、東京工業大学二羽教授、岐阜大学内田教授および神戸大学三木准教授にご指導をいただきました。また、UFC 床版の製作は富士ピー・エスに、PC 定着部の実験は住友電工スチールワイヤーに協力いただきました。ここに深く感謝の意を表します。



写真 - 7 UFC 床版施工完了

参考文献

- 1) 小坂 崇, 佐藤彰紀, 一宮利通, 藤代 勝: UFC 道路橋床版の開発と大規模更新への適用性検討, コンクリート工学, 2016.1.
- 2) 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 回年次学術講演会講演概要集, I-155, 2017.
- 3) 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.
- 4) 樽谷早智子, 一宮利通, 齋藤公生, 金治英貞, 小坂 崇: UFC 道路橋床版の接合構造に関する実験的検討, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集, I-018, 2014.
- 5) 一宮利通, 藤代 勝, 横田祐起, 金治英貞, 小坂 崇: UFC 床版と鋼桁の接合部の設計法に関する検討, 土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集, I-156, 2017.

【2018 年 11 月 20 日受付】