

# 阪神高速道路のコンクリート構造物の維持管理 — 大規模修繕事業の実施状況 —

山名 宗之\*<sup>1</sup>・鈴木 英之\*<sup>2</sup>・藤原 理絵\*<sup>3</sup>・越野 まやか\*<sup>4</sup>

阪神高速道路は最初の供用から50年以上が経過し、構造物の老朽化対策が急務であることから、「高速道路リニューアルプロジェクト～大規模更新・修繕事業～」を進めている。このプロジェクトの2つの柱のうちの「大規模修繕事業」について、本稿ではとくにコンクリート構造物への3つの対策に関する、設計・補強方法の検討および対策実施などを状況報告する。まず、耐久性の著しい低下がみられるRC床版のUFC床版での取替え施工の実績等についてまとめている。次にケーブル腐食や主桁部の損傷を有するポステンPC桁における、アウトケーブルをはじめとした補強や予防保全対策の工事実績等を論じる。その次にASR損傷による外観劣化のあるコンクリート橋脚梁の対策工について報告するものである。

キーワード：UFC床版、上縁定着、ASR、亜硝酸リチウム

## 1. はじめに

阪神高速道路は、営業を開始した1964（昭和39）年から50年以上が経過し、2020年4月時点で阪神圏の総延長258.1kmのうち約4割にあたる111.8kmが開通から40年を超えている。10年後にはそれらが50年を超え、さらに開通から40年を経過する道路は全体の約6割となる。また、現在の交通量は1日70万台以上におよび、大型車是一般道路に比べて約6倍で、膨大な交通量を抱え、過酷な使用状況であることは否めず、構造物の老朽化対策は急務である。そのため、当社は他の高速道路会社と同様に、「高速道路リニューアルプロジェクト～大規模更新・修繕事業～」として、高速道路の健全性を永続的に確保し、高速道路のネットワーク機能を将来にわたり維持していくための、橋の架替えを含めた大規模な工事を実施していく計画を進めている。

「高速道路リニューアルプロジェクト」は大きく「大規模更新事業」と「大規模修繕事業」とに分かれており、「大規模修繕事業」（図-1）とは、損傷が顕在化した構造物に対して、繰り返し補修を行った場合でも改善が期待できないものの構造物の全体的な取替え（大規模更新）を必要としない箇所に関して、主要構造の全体的な補修を行う事で、健全性の大幅な引き上げを図るための事業である。本

稿では「大規模修繕事業」のうち、コンクリート系の3つの対策についてまとめる。2章では昭和48年より前の道示で設計され鋼板接着補強された鉄筋コンクリート床版（以下、「RC床版」という）で疲労耐久性の著しい低下がみられる箇所の取替えを、3章では昭和60年以前の当社基準で設計されたポステンション方式PC桁（以下、「ポステンPC桁」という）でPC鋼材の腐食や主桁部の損傷が見られる径間での補強・予防保全策を、4章ではアルカリシリカ反応（以下、「ASR」という）損傷による外観劣化が著しいコンクリート橋脚の補強・予防保全策を、これまで行ってきた設計・補強方法の検討および対策実施などの状況について報告する。

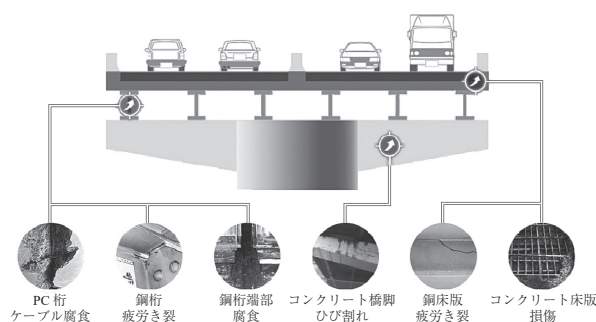


図-1 大規模修繕事業の6工種



\*1 Muneyuki YAMANA

阪神高速道路(株)  
管理本部  
管理企画部 保全技術課



\*2 Hideyuki SUZUKI

阪神高速道路(株)  
管理本部  
管理企画部 保全技術課



\*3 Rie FUJIWARA

阪神高速道路(株)  
建設事業本部  
大阪建設部 企画課



\*4 Mayaka KOSHINO

阪神高速道路(株)  
管理本部  
管理企画部 保全技術課

## 2. RC 床版取替

昭和 48 年より前の道路橋示方書で設計された RC 床版は、現行基準に比べ床版厚が小さく、鉄筋量も少なく、疲労耐久性が低いため、下面からの鋼板接着補強を実施してきた。しかしながら、一部の鋼板接着補強済 RC 床版では補強後に劣化が見られ、疲労耐久性の低下が懸念されるため、その程度に応じて床版の取替・部分補強・予防保全等の対策を行うこととしている。ここでは、床版の取替えを行った事例について紹介する。

### 2.1 対象橋梁

昭和 44 年に供用を開始した阪神高速道路 15 号堺線の玉出入路橋<sup>1)</sup>で、橋長 22.0 m、全幅員 6.25 m、床版支間 4.0 m の鋼単純合成鈎桁橋で床版取替えを実施した。本橋の断面図を図 - 2 に示す。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、RC 床版厚さは 180 mm（主桁上は 233 mm）である。

### 2.2 新設床版の構造概要

上述のとおり、疲労耐久性の向上を目的として床版取替えを実施することから、新設の床版は現行の設計活荷重を用いて設計を行うこととした。この場合、既設床版と同じ RC 構造として設計すると、床版厚を大きくする必要があり、路面の高さへの影響や床版自重が増えることによる鋼桁の補強、下部工への影響が懸念される。このような課題に対応するため、阪神高速道路(株)と鹿島建設(株)が共同で開発した超高強度繊維補強コンクリート<sup>2)</sup>（以下、「UFC ; Ultra-high strength Fiber reinforced Concrete」という）を用いた軽量かつ耐久性の高い平板型 UFC 床版を適用した。UFC は、非常に緻密なセメント硬化体であり、しかも高強度の鋼繊維で補強された材料で、一般のコンクリートの 100 倍以上の物質浸透抵抗性を示し、経年劣化がほとんど進行しない。

今回採用する平板型 UFC 床版は、床版下面に凹凸やハンチの無いフラットな形状のプレキャスト版で、内部には鉄筋を配置しないため、構成が簡素である。また、橋軸直角方向にはプレテンション方式、橋軸方向にはポストテンション方式によって、プレストレスが導入される（図 - 3）プレテンション方式によるプレストレスの導入方向が橋軸直角方向のみであるため、プレストレスコンクリート製品工場の既存の設備で製作が可能である。床版同士の接合部は橋軸方向のポストテンション方式による PC 構造である。ポストテンション PC 鋼材を支間中央で交差して定着部を設け、緊張することによって、伸縮装置部の端部床版まですべての床版を、プレキャスト床版とすることができる。

本施工での平板型 UFC 床版は床版厚さが 150 mm であり、RC 床版より薄いため、床版取替えに伴う道路縦断線形の変更が不要である。また、UFC 床版の適用により、既設の RC 床版から床版自重が約 20 % 軽減されるため、建設当時の設計基準よりも大きな現在の設計活荷重を考慮しても鋼桁の補強量が最小化されるとともに、橋脚や基礎への負担も軽減が可能となった。

### 2.3 平板型 UFC 床版の架設

床版の架設、取替え工事では、一般に移動式クレーンを

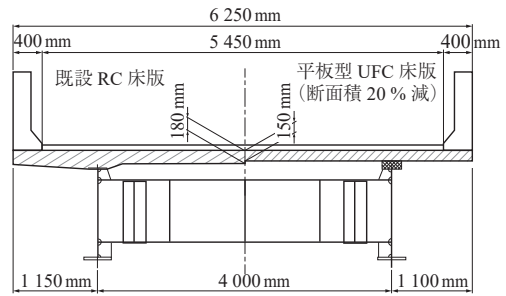


図 - 2 玉出入路橋断面図（新旧比較）

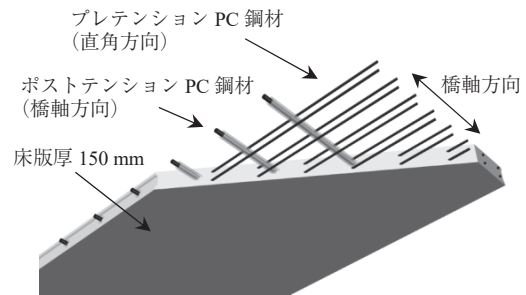


図 - 3 平板型 UFC 床版

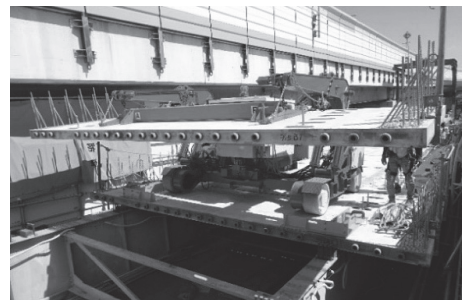


写真 - 1 専用架設機による UFC 床版の架設

使用する。玉出入路橋での縦断勾配は 7 %、有効幅員は 5.45 m であるため、移動式クレーンではアウトリガーが中間張出しの状態では急勾配な斜面上での架設作業となり、転倒や旋回時の接触事故のおそれがある。そこで、プレキャスト部材の運搬・設置に使用される機械をベースに、幅員内で架設可能な床版専用架設機を開発した（写真 - 1）。UFC 床版が軽量であるうに、床版専用架設機を軽量化したため、床版架設のための鋼桁補強量を架設時のみの補強とし、既設構造への補強を不要とすることができた。

### 2.4 平板型 UFC 床版の適用の効果

平板型 UFC 床版の設計では、鋼桁への影響を回避できるように、既設より薄肉で軽量となる床版厚さの設定が可能である。また、UFC の材料特性を活かしたオールプレキャスト化により、さらなる耐久性向上と工期短縮を実現することができる。架設では、専用架設機を使用し、狭隘な施工環境で幅員内での架設が可能となる。平板型 UFC 床版の軽さに応じて軽量に設計された専用架設機の使用により、床版架設のための鋼桁補強も軽微にとどめることができる。

### 2.5 平板型 UFC 床版の今後の展開

阪神高速道路 12 号守口線南森町付近の本線橋のコンクリート床版は、水平方向のひび割れなど深刻な損傷が局所

的に進展している。本橋の床版更新工事に平板型 UFC 床版を適用することによって、床版の長期耐久性の確保を図るとともに、軽量化およびオールプレキャスト化による工期短縮を図り、他の同様箇所へも展開していく予定である。

### 3. ポステン PC 桁修繕

PC 桁においては、写真 - 2 のような腐食等による PC 鋼材の損傷によるプレストレスの低下が構造物の耐力に及ぼす影響が大きい。PC 鋼材が腐食する主な原因として、図 - 4 に示すように PC 鋼材と桁を一体化させ PC 鋼材を保護する役割を果たすグラウトの充填不足によってシース内に水が浸入することがあげられ、構造的には桁上面側に定着されている PC 鋼材（以下、上縁定着 PC 鋼材）が腐食のリスクが高く、さらに橋面防水工が施工されていないことやシース内のグラウト充填が不十分であることが腐食のリスクを高めることになる。このため、上縁定着 PC 鋼材を有するポステン PC 桁を対象として詳細調査を実施し、その結果をもとに対策を実施するとともに、対象となった径間に対してその他の損傷の補修や予防保全対策を実施している。

#### 3.1 PC 主桁の補強

対象となる上縁定着 PC 鋼材を有する径間に対して、全面的に足場を設け、外観変状調査（目視、打音）、グラウト充填調査、PC 鋼材腐食度調査を行っている。その結果、腐食が確認された PC 鋼材に対しては、腐食度に応じて残存プレストレスを評価し、これを反映した耐力力照査を行い、補強が必要と評価された桁に対しては外ケーブル補強（写真 - 3）を実施している。

#### 3.2 予防保全対策および補修

PC 鋼材の腐食により耐力力が低下している主桁の補強を主な目的としているが、補強の対象とし足場を架設した径間に対しては予防保全対策も含め、下記の補強・補修や日常的な損傷の補修も足場内等で同時に実施している。



写真 - 2 PC 桁の損傷の例

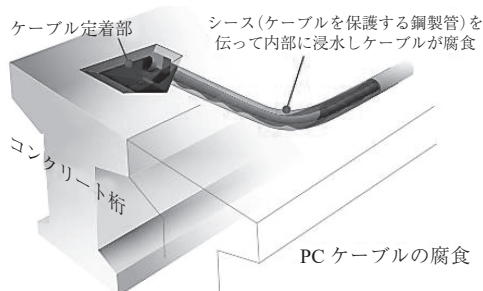


図 - 4 PC 桁内ケーブルの腐食イメージ



写真 - 3 主桁補強工（外ケーブル補強）



写真 - 4 床版部補強工（鋼板接着補強）

#### (1) 床版部補強

床版部の疲労耐久性の向上、コンクリート片の剥落防止対策として、損傷の有無に関わらず鋼板接着工法による補強（写真 - 4）を行う。

#### (2) 表面保護工

PC 桁および高欄部に対して、塩害、中性化等による劣化に対する予防保全対策として、コンクリート表面保護工を実施している。

#### (3) 橋面防水工

橋面からの漏水による桁や床版の損傷を防ぐため、高速道路本線を通行止めにして実施するリニューアル工事等の機会を利用して別途、高機能防水を施工している。

## 4. ASR により損傷したコンクリート橋脚修繕

ASR によるコンクリートのひび割れや鉄筋破断などの損傷が生じているコンクリート橋脚に対しては、健全性を調査・評価し、その結果に応じて補強、予防保全等の対策を行うこととしている。ASR に対する予防保全対策は、外部からの水の侵入を防止する表面保護工を行うことが多いが、コンクリートに内在する水の影響や、物理的に完全な施工が困難な場合など、表面保護工で解決できないことも多い。ここでは、今後特に ASR による損傷が進行する可能性が高いコンクリート橋脚に対する対策として、ASR による膨張の抑制に効果があるとされる亜硝酸リチウム内部圧入工の適用性を検討したので紹介する。この工法は、構造物に削孔した圧入孔より亜硝酸リチウムを主成分とした ASR 抑制剤（以下、「亜硝酸リチウム抑制剤」という）を圧入することで、構造物内部のコンクリートの微細ひび割れを介して抑制剤を浸透拡散させ、コンクリートの将来の膨張を低減し、以降の ASR による劣化を抑制する工法である。



写真 - 5 ASR 損傷 RC 橋脚

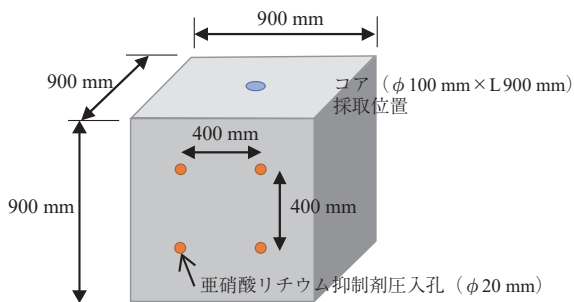


図 - 5 供試体寸法

#### 4.1 RC 梁への圧入効果の検証

供用下の高速道路構造物から撤去した、ASR 損傷のある RC 梁（写真 - 5）から切り出した供試体に対し、亜硝酸リチウム内部圧入工の効果検証を行った。

##### (1) 供試体概要

供試体は、図 - 5 に示す寸法となるよう RC 梁天端面より切り出した。400 mm 間隔で設けた φ 20 mm の圧入孔より亜硝酸リチウム抑制剤を圧入した。圧入仕様については、ASR リチウム工法協会の技術資料<sup>3)</sup>を参考に設定した。

##### (2) 膨張抑制効果の評価

抑制効果を検証するため、同じ RC 梁の天端面より採取した亜硝酸リチウム抑制剤を圧入していないコアと、圧入後 3 週間が経過した供試体から採取したコアを用い、残存膨張量を測定した。コアの梁内部側における膨張量の比較を図 - 6 に示す。亜硝酸リチウム抑制剤圧入後の残存膨張量は施工前に比べて 6 割以上低減しており、将来的な ASR 膨張の可能性を低減できると考えられる。

##### (3) 亜硝酸リチウムの浸透状況の評価

亜硝酸リチウムの浸透状況の確認のため、圧入後の供試体を切断し、切断面に亜硝酸リチウムと反応すると無色から茶褐色に呈色する試薬（トリレン 2, 4-ジイソシアナート）を噴射した。呈色後は、切断面全体が茶褐色に呈色していることから、圧入孔より部材全体に亜硝酸リチウムが浸透していることが確認できた（写真 - 6）。

#### 4.2 高強度供試体での圧入効果検証

ASR 損傷を有するコンクリート構造物は、RC 構造物だけでなく PC 構造物も存在する。そのため、PC 梁を想定した高強度コンクリート（配合強度 39.5 N/mm<sup>2</sup>、51.6 N/mm<sup>2</sup>）の供試体（500 mm × 500 mm × 500 mm）を作製し、亜硝酸リチウム抑制剤の圧入を行った。結果、通常の圧

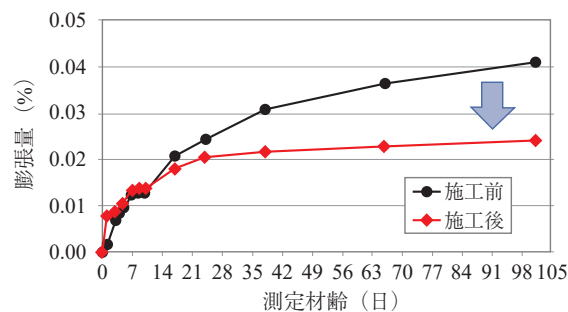


図 - 6 圧入前後の膨張量試験結果



写真 - 6 RC 梁供試体切断面



試薬噴射後（39.5 N/mm<sup>2</sup>） 試薬噴射後（51.6 N/mm<sup>2</sup>）  
写真 - 7 高強度供試体切断面（高圧力装置使用）

入装置のみならず、高圧力の圧入装置を用いても圧入孔近傍に亜硝酸リチウム抑制剤が留まり、供試体全体に浸透させることができなかった（4.1(3)記載の呈色試薬噴射後の状況を写真 - 7 に示す）。このことから、現時点では PC 構造物への適用性は低いと考えられる。

#### 4.3 今後の大規模修繕への展開

RC 構造物については、亜硝酸リチウム圧入の効果を確認することができたため、今後の ASR の損傷の進行が懸念される残存膨張量が多い RC 橋脚を対象に、亜硝酸リチウム内部圧入工を適用していく予定である。

## 5. おわりに

阪神高速道路のリニューアルプロジェクトは、100 年先も安心して利用できることを念頭に、これまで培った知見や最新の技術を駆使して大規模な工事に取り組んでいる。今後ともさらなる技術革新に取り組み、事業を進めていく予定である。

#### 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路橋の床版取替工事、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：超高強度繊維補強コンクリート（UFC）道路橋床版に関する技術評価報告書、技術推進ライブラリー No.17, 2015.7
- 3) ASR リチウム工法協会：アルカリ骨材反応抑制工法 ASR リチウム工法 技術資料 改訂版, 2015.4

【2020 年 9 月 18 日受付】