

阪神高速道路における大規模更新・修繕事業 — コンクリート構造物の更新・修繕 —

鈴木 威*1・渡辺 尚夫*2

阪神高速道路では劣化の著しい構造物や数次にわたる補修を繰り返している構造物など約 60 km の区間を対象に 3 700 億円を投じて大規模更新・大規模修繕を実施することとし、平成 27 年度より事業を開始した。

本稿ではそのなかから主にプレストレストコンクリート構造物に関する事業概要を述べるとともに、それぞれの事業における調査状況、検討状況、課題等について概説する。

キーワード：大規模更新、大規模修繕、有ヒンジ箱桁、ポステン PC 桁、RC 床版

1. はじめに

1.1 阪神高速道路の老朽化と損傷の状況

今からおよそ 60 年前、昭和 30 年代に入ると、大阪や神戸などの大都市では、自動車交通量の増大により交通渋滞と交通事故の多発が日常化し、都心部では交通マヒが極限にまで達していた。この状況を救うべく新たな都市高速道路網の早期整備が急がれ、大阪では昭和 37 年 5 月、阪神高速道路公団の発足により自動車専用道路の建設が急速に進められることとなった。

阪神高速道路は、昭和 39 年 6 月 28 日の土佐堀～湊町間約 2.3 km の開通以来、50 年以上が経った今、その総延長は 259.1 km となり、1 日に約 75 万台の車両が利用している。さらに、阪神都市圏における自動車貨物輸送量の約 50% が阪神高速道路を利用するなど、経済産業活動を支えるきわめて重要な社会基盤となっている。

一方で、構造物の約 1/3 が建設より 40 年以上を経過するなど老朽化は確実に進んでおり、橋梁などの構造物比率が 9 割を超える状況のなか、さらに大型車の交通量は一般道（大阪府内）の約 6 倍であるなど、非常に過酷な使用状況になっている（図 - 1）。当社では、単独もしくは警察と合同で重量違反車両の指導・取締を、年間を通じて延べ 2 800 回程度実施しているものの、重量違反車両数は依然

として横ばい状態で、構造物のひび割れや疲労亀裂などの損傷が顕著化してきている。

1.2 更新計画策定に至る経緯

このように増大する社会的要請と、過酷な使用条件が深刻さを増す状況のなかで、阪神高速道路の社会基盤としての機能を永続的に適切な状況に保ち、その利用機能を阻害させてはならないという使命から、従来からの維持管理手法にとられない大規模修繕や大規模更新も選択肢に入れた今後の長期的維持管理戦略を検討する場として、「阪神高速道路の長期維持管理及び更新に関する技術検討委員会」が設けられ、平成 25 年 4 月に提言がまとめられた。

これを受け、当社として最新の損傷状況などを改めて精査し、大規模更新または大規模修繕の実施を盛り込んだ「更新計画」を平成 27 年 1 月に公表し、平成 27 年度より事業に着手している。

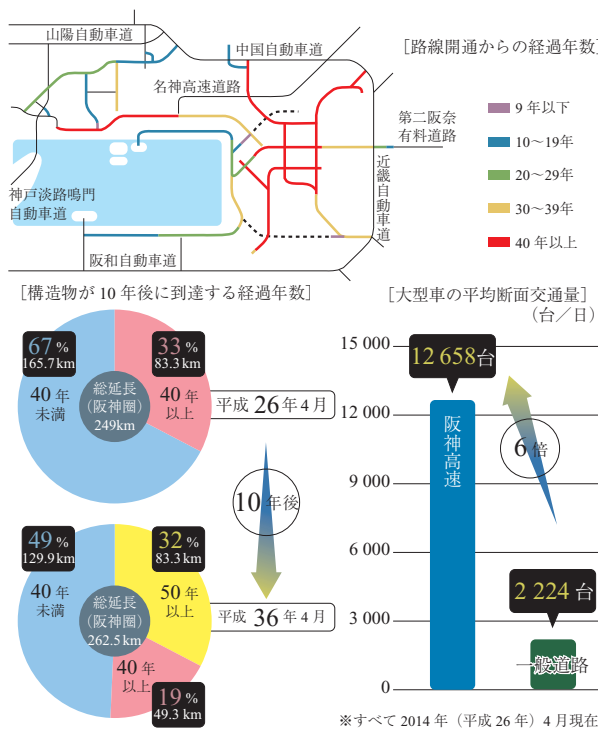


図 - 1 阪神高速道路の現状



*1 Takeshi SUZUKI

阪神高速道路 (株)
建設・更新事業本部



*2 Hisao WATANABE

阪神高速道路 (株)
保全交通部

「更新計画」の策定にあたっては、老朽化の進展に伴って重大な損傷が顕著化し、繰返し補修を実施しても構造物の健全性を必要なレベルまで引き上げることができず、最終的には致命的な損傷に進展して通行止めなどが発生するおそれのある構造物を対象にした。実施にあたっては、大都市内での大規模な工事であるため、迂回路を設置するなど長期間にわたる通行止めを回避し、広域的なネットワークと連携し、新技術導入や技術開発の推進など、従来の枠組みにとられない多様な取組みを積極的に進めていくこととしている。

2. 大規模更新事業

2.1 大規模更新事業の進め方

大規模更新事業を進めるにあたっては、以下のような方針を基に実施していくこととしている。

- 1) 現状の構造物の「健全性」を評価し、活用する部分と更新する部分を識別（判断）する。
- 2) 長期の維持管理性「永続性」を確保する。
- 3) 最新の技術的知見および技術基準の適用により長期耐久性を確保する。
- 4) この事業に併せて、可能なかぎり騒音や振動の低減および走行性向上など、道路機能の強化を図る。

2.2 14号松原線喜連瓜破付近

2.2.1 橋梁概要および選定理由

喜連瓜破高架橋は1979（昭和54）年に建設された橋長154mのPC3径間連続有ヒンジラーメン橋である。写真-1に全景を、図-2に側面図を示す。この構造形式は、架設時の死荷重曲げモーメントと構造系完成後の曲げモーメントが相似であること、水平地震力は橋脚ごとで分担されること、連続ラーメン橋とは異なり温度変化や乾燥収縮などによる不静定力が発生しないことなど、橋長が長く、橋脚高さが高くない場合などに有利とされ、1960～1980



写真-1 喜連瓜破橋

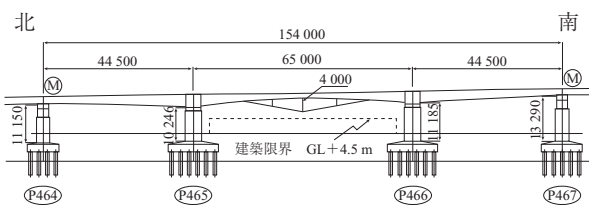


図-2 喜連瓜破橋側面図



写真-2 壁高欄の沈下状況（2003年）

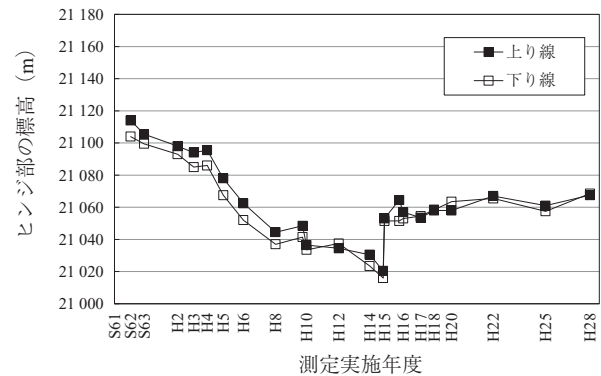


図-3 沈下の経年変化

年代にかけて多く建設されている。しかし、1980年3月に供用されてから5年後の1985年頃には、中央ヒンジ部の垂下りが問題となり、舗装のオーバーレイにより使用性の確保に努めたものの、写真-2に示すように垂下り量が大きいこと、垂下りに進行性が予測されること、また、アルカリ骨材反応（以下、「ASR」という）の劣化を窺わせる調査結果が確認されていることなどの理由から、構造性能の継続的な低下が懸念された。そのため、2003年の大阪松原線大規模補修工事の機会を利用して、以後の垂下り抑止や回復を目的としたキングポスト形式下弦ケーブルによる補強工事が行われ、沈下の抑制を図った。これにより沈下量を低減できたものの、計画高さまでの回復には至らず（図-3）、一方で桁、橋脚柱頭部付近のコンクリートで材料劣化が認められ、コンクリート強度の低下が懸念されたため、外ケーブルへのさらなる緊張は断念することとなった。

このような状況から、長期的な耐久性を維持することが難しいと判断し、更新の対象とした。

2.2.2 更新内容の検討方針

以下に事業実施に向けた検討方針を示す。

- 1) 基礎、橋脚、橋桁など、現構造物の健全性調査・評価を実施し、現構造物のうち、活用できる部位（範囲）を検討する。
- 2) 上下線分割による段階撤去、それに伴う半断面（上り側、もしくは下り側のみ）の供用により迂回路設置回避の可能性を検討する。
- 3) 急速施工を可能とする橋脚、橋桁の構造を検討する。

図 - 4, 5 に上部工コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の調査結果を示す。試験結果はそれぞれ基準値を大きく下回っており、経年的な傾向として劣化の進行がうかがわれる。

塩分量に関しては表面では 1.2 kg/m^3 を超過する箇所があるものの鉄筋位置では最大でも 0.6 kg/m^3 となっているとともに、中性化についてはほぼ調査箇所全域で中性化残りが確保されており、特別に腐食環境が厳しいといった状況ではない。PC 鋼材についても非破壊調査や部分的な破壊調査を含め調査方法を検討し、調査結果を基に健全性を評価する予定である。

また、柱部や基礎部についても今後詳細調査を実施して健全性の評価を行う予定である。

撤去工法や新たに建設される上部工の構造形式、迂回路の可能性については今後検討を進める予定であるが、柱頭部の一体構造や急速施工のための工夫、工事期間中の交通

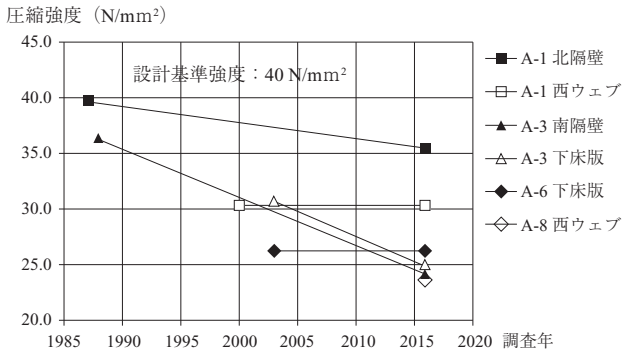


図 - 4 コンクリートの圧縮強度

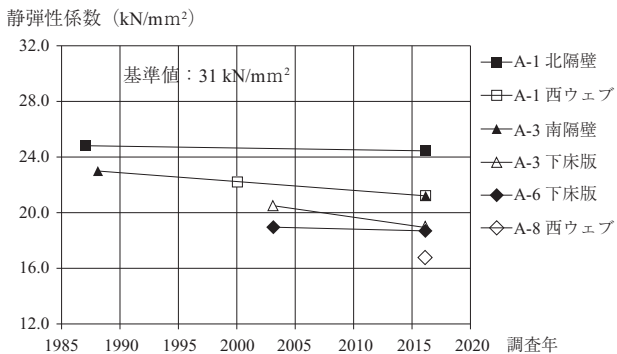


図 - 5 コンクリートの静弾性係数

影響の軽減などさまざまな観点から総合的な検討、評価が必要であると考えている。

2.3 3号神戸線京橋付近

2.3.1 橋梁概要および選定理由

昭和 41 年に竣工、供用した支間中央にヒンジを有する PC 5 径間ディビダーク橋である (写真 - 3)。喜連瓜破橋と同じく、クリープにより支間中央部が想定以上に変形し、路面の沈下が大きく (12 cm) なった。また、桁下空間が船着場である制約条件のため、昭和 63 年、箱桁内面に直線配置の外ケーブル補強を行った。これにより沈下進行のスピードは抑制されたが、完全な抑止に至っていないため、長期的な耐久性維持が困難と判断、全面的な取替を計画した。

本橋梁も前述の喜連瓜破と同様、クリープ変形による路面の沈下であり、竣工から 50 年が経過。最初の補強は竣工後の約 20 年後の昭和 63 年に実施され、補強からもすでに 30 年近く経過している。喜連瓜破との違いは、

- 1) 桁下空間が低く外ケーブル補強が箱桁の内部の直線配置でありその効果が小さいこと
- 2) 補強後も沈下進行が完全に止まっていないこと

これらの理由から、沈下量は喜連瓜破より小さいが、全面的な更新を計画した。桁の撤去は一室箱桁構造であるため、上下線分割施工が不可能と判断し、上下線の全面通行止めを想定しているが、当該箇所付近は、3号神戸線の代替路となる高規格道路が無いことから、工事期間中は上下 4 車線の迂回路を設置することも検討している。

2.3.2 更新内容の検討方針

以下に事業実施に向けた検討方針を示す。



写真 - 3 垂下りのイメージ (京橋)

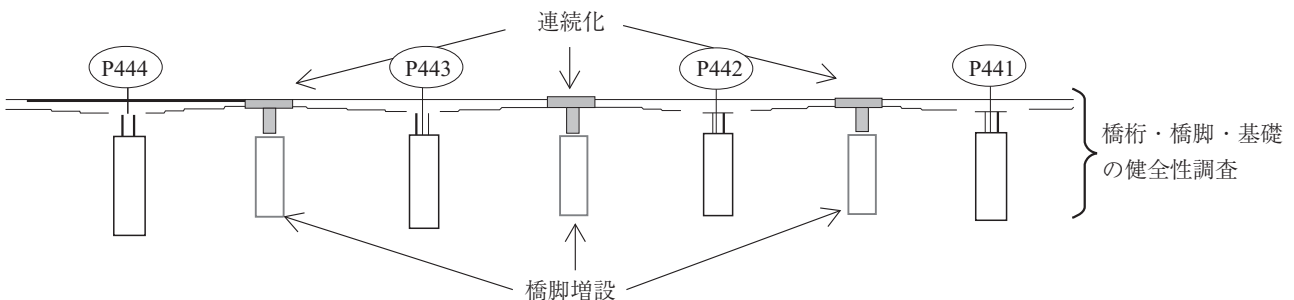


図 - 6 更新内容の検討イメージ (京橋)

- 1) 橋脚、橋桁等、現構造物の健全性調査・評価を実施し、現構造物存置の可能性を検討する。
- 2) 既設ヒンジ部を撤去し、桁連続化の可能性を検討する。
- 3) 沈下状況から連続化のみで対応が不可の場合、支間中央に橋脚増設の可能性を検討する(図-6)。

平成28年度から詳細調査を開始しており、上部工のコンクリート物性値については特筆すべき異常は認められていない。柱部や基礎部については今後詳細調査を実施して健全性の評価を行う予定である。

3. 大規模修繕事業

3.1 大規模修繕事業の概要

大規模修繕事業は、損傷が顕在化した構造物に対して、繰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更新を必要としないレベルの箇所について、主要構造の全体的な補修(大規模修繕)を行うことで健全性の大幅な引上げを図るものである。

大規模修繕の対象は、図-7に示す6工種としている。

- 1) RC床版の疲労損傷対策：大型車両の繰返し走行などの疲労により、コンクリートの砂利化や内部ひび割れなどの損傷が発生していることから、詳細調査のうえ今後取替え、補強などの対策を実施する。
- 2) 鋼床版の疲労損傷対策：大型車両の繰返し走行などの疲労により、「鋼床版(デッキプレート)」と「床面を補強している材料(ウリブ)」との接合部を起点としたき裂が発生していることから、鋼繊維補強コンクリート(SFRC)舗装による補強を順次実施中。
- 3) ポステンション式PC桁(以下、「ポステンPC桁」という)の補強：PCケーブルや鋼製シースが雨水侵入により腐食していることから、橋梁としての健全性を診断のうえ補強、予防保全対策を実施する。
- 4) 鋼桁の疲労損傷対策：大型車両の繰返し走行などの疲労により疲労強度等級の低い継手にき裂が発生しており、今後疲労照査のうえ補強対策を実施する。
- 5) 鋼桁端部の腐食対策：伸縮継手(ジョイント)におい

て雨水が侵入し鋼桁端部の腐食が発生していることから、床版連結工法等の適用によりジョイントレス化を推進し、走行性の改善、騒音や振動低減など周辺環境の改善および鋼桁端部の耐久性向上を図る。

- 6) RC橋脚のASR対策：ASRひび割れが進行している橋脚を対象に、詳細調査および耐荷力照査を行ったうえで今後補強などの対策を実施する。

本稿では、このうちポステンPC桁補強およびRC床版疲労損傷対策について状況報告する。

3.2 ポステンPC桁補強

3.2.1 概要

昭和60年設計基準適用以前に制作されたポステンPC桁は、図-8に示すようにPC鋼材の一部が桁上側に定着され、緊張後にあと埋めされている。上面定着部が舗装直下であり、建設当初は防水工が未整備であったため雨水の浸透によりシース内の滞水、PC鋼材腐食という損傷が見られており、このような機能低下が懸念されるポステンPC桁について補強などを実施するものとした。

なお、大規模修繕工事は、最新の定期点検の結果から、写真-4に示すような主桁もしくはPC鋼材の損傷が疑われる損傷(シースに沿ったひび割れ、錆汁、漏水、遊離石灰等)を対象とした。

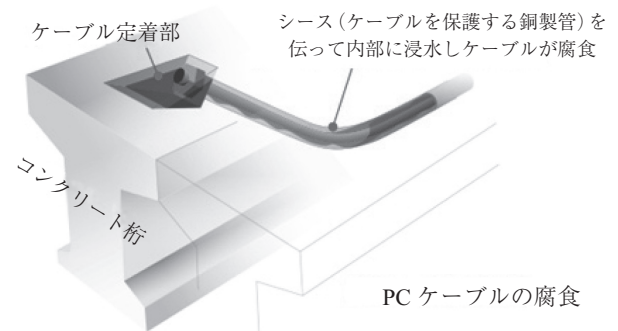


図-8 PC桁の損傷

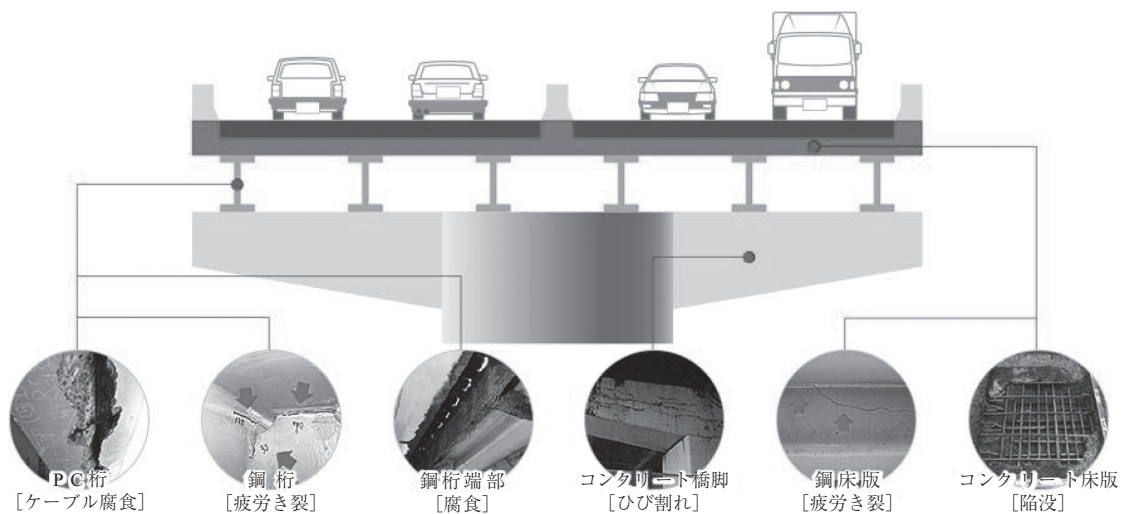


図-7 大規模修繕の対象工種等



写真 - 4 PC 桁の損傷状況

3.2.2 大規模修繕工事

PC 桁大規模修繕工事は、通常の損傷補修・補強という枠組みでなく、PC 構造物としての健全性や耐久性を詳細調査により適切に診断・評価のうえ、橋梁として長期の耐久性を確保するための最適な補修・補強あるいは予防保全を実施するものである。とくに PC 構造物という専門性の高い構造形式に対し、現在の構造物状態を適切に評価のうえ現場に適用可能な最適補修・補強などを橋梁ごとに設定し工事展開していく必要がある。そこで、詳細調査から診断・評価、そして補修・補強設計から工事まで一貫して実施すべく、詳細調査を含めた補強等工事として PC 桁大規模修繕工事の第 1 弾工事を平成 27 年度末から平成 28 年度にかけて契約した。現在、詳細調査を実施中である。以下に、詳細調査から健全性評価、補修・補強検討の内容を紹介する。

(1) 外観変状調査

足場内から、対象構造物を近接目視し、点検ハンマーを用いて、ひび割れ、遊離石灰、空洞、漏水、錆汁、浮きなどの調査を行う。全対象径間において調査を実施する。

(2) シース内グラウト・ケーブル調査

①ケーブル調査

対象構造物の全主桁において、シース内のグラウト充填状況の調査を行う。調査方法は、竣工図および電磁波レーダー探査によりケーブル配置を確認したうえで、インパクトエコー法により実施する。

②微破壊調査

ケーブル損傷の疑いがある場合、グラウト不良の疑いがある場合は、シース内部のグラウト充填状況、鋼材の腐食状況を目視および CCD カメラにより調査する。

③グラウト未充填体積調査

微破壊調査における削孔箇所を利用して、空圧法により、グラウト未充填体積の調査を行う。

(3) 主桁健全度調査

微破壊調査の結果、ケーブル損傷が確認された径間については、プレストレスの状態をコア切込み工法を用いて調査する。

(4) コンクリート物性調査

対象構造物の劣化度合と劣化機構を推定するために、コ

ンクリートの物性調査を行う必要がある。

PC 桁コンクリートの劣化機構として、ASR、塩害（内在塩分、飛来塩分）および中性化または、これらの複合劣化が考えられるため、コアを採取して物性調査を実施する。

(5) 健全性評価

健全性は、グラウト充填状況、コンクリートの物性調査および道路橋示方書に準拠した現況耐荷性能を考慮し評価することとした。

(6) 補修・補強など

健全性評価の結果により、補修・補強あるいは予防保全対策を選定する。ここでいう補強とは、耐荷性能が不足する PC 桁において耐荷力を向上させる措置とし、当初は PC 外ケーブル補強を想定して工事発注を行っている。PC 外ケーブル補強の概要図を図 - 9 に示す。一方、補修はケーブル損傷に関連しない損傷に対して行う原状回復措置とし、予防保全はコンクリート表面保護工および PC 桁床版部への鋼板設置とした。

なお、今回の発注方式においては調査から補強まで種々の技術提案があり、最新技術、知見の共有化が図られ、合理的な調査、診断、補強設計に資する効果が得られている。たとえば健全性評価においては、圧縮強度と静弾性係数との関係を補修材の選定判断に用いること、鋼材の腐食状況と鋼材減少量の関係といった知見を補強設計に反映していくことがあげられる。また、PC 桁の損傷状態に応じた補強方法の提案もあり、補強方法の選定をあらかじめ分類できるといった効果も得られた。

今後、詳細調査結果を踏まえ補修・補強方針を検証し、継続する PC 桁大規模修繕工事につなげていきたいと考えている。

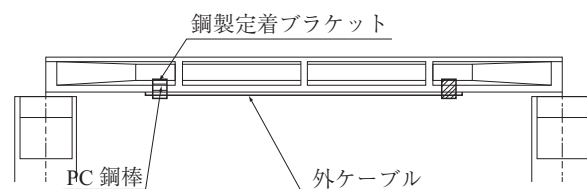


図 - 9 PC 外ケーブル補強概要図

3.3 RC 床版の疲労損傷対策

3.3.1 概要

旧基準で設計された鉄筋コンクリート床版（以下、「RC 床版」という）は、疲労耐久性の観点からみると、現行基準に比べ、床版厚、鉄筋量、床版支間などが厳しい設定となっている。阪神高速では、これまで旧基準で設計された疲労耐久性の低い RC 床版において、損傷状況を考慮し床版下面への鋼板接着補強を実施してきたが、補強の完了した床版の一部に漏水や接着剤の劣化による接着不良といった損傷が確認されている。RC 床版の劣化が進行すると、路面の陥没など大きな影響が発生する（図 - 10）。

今回の事業では、補強の完了した RC 床版のうち再劣化による疲労耐久性低下が懸念されるものについて、取替えなどを実施する計画になっている。

大型車等の影響による
床版の損傷

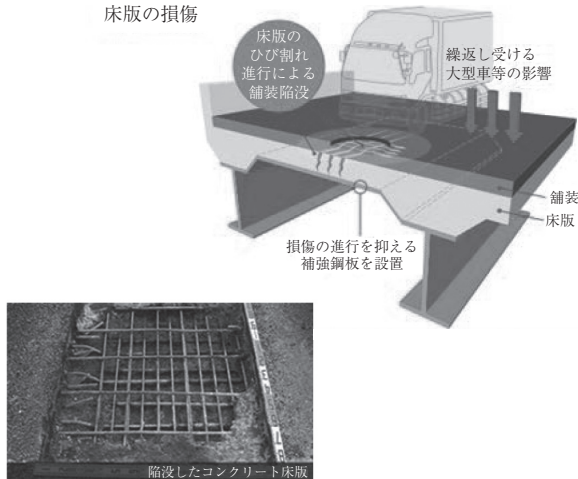


図 - 10 RC 床版損傷発生イメージ

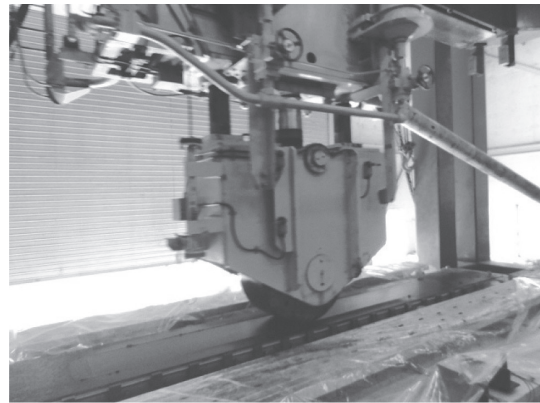


写真 - 6 輪荷重走行試験状況

試験の結果、内部が劣化した床版パネル供試体は、健全パネル供試体の1/15程度の走行回数で破壊し、疲労耐久性が著しく低下していることが明らかとなった。鋼板接着補強済RC床版の疲労耐久性の評価にあたっては、床版内部の劣化状態を指標に加える必要があることが示唆された。現在、床版内部の詳細調査を順次実施しており、今後も内部が劣化したRC床版が確認された場合には、必要に応じて同様の試験を実施し、評価の精度を高めていきたいと考えている。

3.3.3 大規模修繕工事に向けて

今後の大規模修繕工事に向けて、鋼板接着補強済RC床版の詳細調査結果と、疲労耐久性の試験結果から、各床版の疲労損傷状態に応じた対策方法を選定する。対策方法としては、取替えだけでなく、縦桁増設などによる補強や、予防保全としての高機能防水を考えているが、密集市街地での施工となることから、交通影響や周辺環境への影響を極力抑える施工が必要となる。とくに取替えとなると、撤去と新設の両方の施工について、施工期間をいかに短縮するかが大きな課題となる。新設する床版構造も交通影響を考慮して選定していくこととなるが、一般的なプレキャストPC床版以外にも今後さらなる技術開発が必要と考えている。



写真 - 5 RC 床版切出し状況 (右上は床版内部ひび割れ)

3.3.2 疲労耐久性試験

まず、鋼板接着補強済RC床版において漏水や接着不良音などの損傷が見られる床版の疲労耐久性を評価すべく、上記損傷が発生している床版パネルの切出しを平成26年の通行止工事にて実施した(写真-5)。

その結果、切断面に水平ひび割れが確認され、床版内部の劣化を確認した(写真-5)。水平ひび割れは、おおむね主鉄筋に沿って発生しており、主鉄筋は腐食していた。当該パネルにてコアを採取し、コンクリートの物性調査を実施した結果、塩化物量や中性化深さは、問題となるレベルではなかったことから、主鉄筋の腐食の原因は、補強鋼板の存在により上面から浸透した水が滞水したことではないかと推察される。

切出した床版に対し、輪荷重走行試験にて疲労耐久性を確認した(写真-6)。載荷方法は、157kNを初期荷重とし、4万回ごとに19.6kN増加させる階段載荷方式とした。比較対象として、同一径間内から切出した健全な床版パネルも併せて試験を実施した。

4. おわりに

本事業は、将来起こるであろうリスクに立ち向かい、阪神高速道路を次世代にわたり安全、安心に利用していただくことが大きな意義と考えている。事業実施にあたっては同様の事業を実施する高速道路会社間で連携して工事調整を行い、社会への影響が極力少ない工事実施計画を立案しつつ、お客さま目線での情報提供に努める所存である。本事業を円滑に遂行し、今までと同様に、これからもずっとお客さまの安全を守り、安心して快適な高速道路を提供していきたい。

【2016年12月30日受付】