

NEXCO における大規模更新・修繕

緒方 辰男*1・萩原 直樹*2

東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株) (以下、NEXCO という) は、2015年3月25日に国土交通大臣より特定更新等工事の事業許可を得て、2015年度より高速道路における大規模更新・修繕工事を実施している。現在、高速道路総合技術研究所 (以下、NEXCO 総研という) では、これら事業が円滑かつ確実に執行できるよう技術基準の制定や技術開発を進めている。本稿では、鋼橋 RC 床版を半断面ごとに取り替える半断面取替工法の開発概要と PC 橋の大規模更新・修繕に関する研究状況および今後の展望について紹介する。

キーワード：床版取替え、プレキャスト PC 床版、半断面取替工法、PC グラウト再注入

1. はじめに

NEXCO が管理する高速道路は、名神高速道路の開通から 50 年が経過し、供用延長約 9 000 km に達している。そのうち供用から 30 年以上を経過した延長が約 3 700 km であり、全延長の 4 割程度を占め、老朽化の進展とともに変状が顕在化してきている。橋梁は 2011 年度末現在、約 32 000 連 (上下線別・橋梁名別) を超え、平均経過年数は約 25 年となっており、交通量増加による疲労や飛来塩分・凍結防止剤散布による塩害などにより劣化が進行している。このような背景のもと、NEXCO では、「高速道路資産の長期安全及び更新のあり方に関する技術検討委員会」(委員長：東京大学 藤野陽三特任教授 (当時) における検討結果を踏まえ、今後の大規模更新・修繕の計画を公表した¹⁾。表 - 1 に各橋種・部材ごとの対策項目一覧を示す。NEXCO は、橋梁の変状に大きな影響を与えると推測される要因は、交通量・飛来塩分量・凍結防止剤散布量などの供用環境の影響や、荷重・構造・材料などの設計・施工基準の影響によるものとし、管理する橋梁の健全度と損傷要因の相関性分析を実施し、更新等の判断の目安を示している²⁾。

表 - 1 に示す対策項目では、床版に関する内容が多い。

とくに鋼橋 RC 床版の取替えには多額の費用が投資される計画となっている。これまでに、鋼橋 RC 床版は昭和 48 年のトレーラー荷重 (TT-43) の導入や平成 5 年の車両制限令の改正に伴う上面増厚や下面増厚、鋼板接着などによる耐荷性能の向上を図る対策が行われてきた。しかし、一部橋梁において残念ながら再劣化している RC 床版も散見されることから、健全度評価が悪いものは、劣化進行状態を踏まえプレキャスト PC 床版に取り替えることとした²⁾。また、新設橋と異なり、供用路線上における更新・修繕ということから、お客様の通行の利便性をなるべく損なわないようにする必要がある。以上のように、大規模更新・修繕に求められる技術は、耐久性向上と施工時間の短縮に資する技術である必要がある。これらに関する技術基準の制定および技術開発は始まったばかりで課題が多いのも現状である。本稿では、大規模更新・修繕のため、表 - 1 の項目のうち、NEXCO 総研で取り組む主な研究、および今後の展望について紹介する。

表 - 1 大規模更新・修繕の対策項目一覧

分類	橋種	部材	対策区分	対策項目
大規模更新	鋼橋	RC 床版	更新	床版取替え、高性能床版防水
		RC 桁	更新	桁架替え
	RC 橋	中空床版	更新	床版部の全面的打替え 桁架替え
		PC 橋	RC 床版	更新
大規模修繕	鋼橋	RC 床版	予防保全	高性能床版防水 (床版補修含む)
			補強	床版上面増厚 (床版補修含む)
		PC 床版	予防保全	高性能床版防水 (床版補修含む)
		鋼床版	補強	SFRC 補強 (き裂補修含む) 高性能床版防水
	RC 橋	RC 桁	予防保全	表面被覆 (断面修復含む)
			補強	桁補強 (き裂補修含む)
		中空床版	予防保全	高性能床版防水 (部分補修含む)
			補強	表面被覆 (断面修復含む)
	PC 橋	RC 床版	予防保全	高性能床版防水
			補強	高性能床版防水 (床版補修含む)
PC 桁		予防保全	表面被覆 (断面修復含む)	
		補強	外ケーブル補強・モニタリング、 PC グラウト再注入	



*1 Tatsuo OGATA

(株) 高速道路総合技術研究所
橋梁研究担当部長



*2 Naoki HAGIWARA

(株) 高速道路総合技術研究所
橋梁研究室 主任研究員

2. プレキャスト床版の調査

研究と並行して、過去に施工されたプレキャスト床版の現況調査を実施した。その結果を以下に示す。

2.1 滑下橋

高速道路橋におけるプレキャスト床版は、1973年に完成した阪和自動車道滑下橋において、木材、労務賃金の高騰、労働力不足などを考え床版のプレハブ化を推進する必要かつ十分な要因が身近に迫っていると考えられ採用された³⁾。社内記録を調べたところ、滑下橋が高速道路において初めてプレキャスト床版が採用されたと思われる。滑下橋の完成以降、近畿自動車道の建設でもプレキャスト床版は採用された。その構造は、橋軸直角方向はRC構造とし、橋軸方向のブロック継目には鉄筋コンクリート構造も考えられたが、鉄筋量が多く施工性に問題があるとし、橋軸方向にプレストレスを加えるPC縦締め工法により施工されている。また、桁と床版の一体化を図るために桁上は現場打ちが採用されている。

完成後43年経過した滑下橋を調査したところ、連続桁の支点上付近で目地から漏水跡ならびに浮きを確認した(写真-1)。また、写真-2に示すように現場打ちで施工したハンチ部には、橋軸方向のひび割れとエフロレッセンスが発生していた。



写真-1 支点部付近の浮き



写真-2 ハンチ部の漏水・エフロレッセンス

2.2 古川渡橋

古川渡橋は中央自動車道富士吉田線の大月JCTから都留ICの下り線に位置し、1969年に供用され、供用後24年経過し1993年に床版取替えを実施した橋梁である。取替え前はRC床版で厚みが170mmであったものを取替え後は厚さ210mmのプレキャストPC床版とし、橋軸方向の縦締めめにPC鋼材を用いて連結した構造としている。取替え後23年経た劣化状況を調査した。写真-3に床版下面の状況を示す。設計図より読み取ったスタッド孔の箱抜きは矢印で示した位置であり、箱抜き部と漏水跡が一致する。スタッド孔の構造⁴⁾は図-1のとおりであり、無収縮モルタルの隙間から漏水が発生したものと考えられる。このほかにはプレキャストPC床版に大きな劣化は見られなかった。

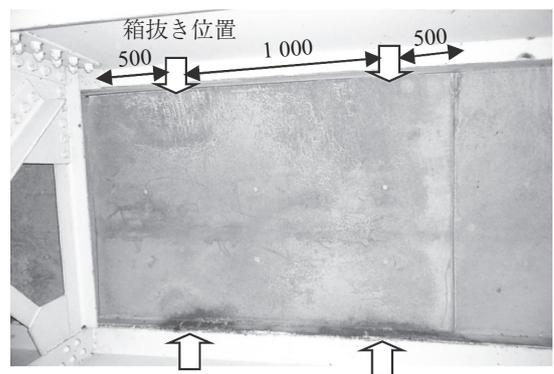


写真-3 床版下面の状況

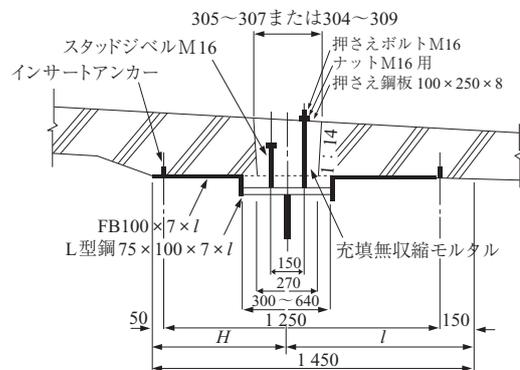


図-1 スタッド孔の構造図

2.3 東海大府高架橋

東海大府高架橋は伊勢湾岸自動車道名古屋南JCT～大府IC間に位置する上下線一体の橋梁で、1995年に供用し、22年経過した橋梁である。最小床版厚は270mmとしている。大きな劣化は見られず、写真-4に示す0.2mm程度のひび割れが1箇所で見られた。これは、図-2に示すループ継手において後打ち部とプレキャスト部の付着切れが下縁まで延長したひび割れであり、輪荷重走行試験でも同様のひび割れが確認されたことにより、ひび割れ補強鉄筋を追加して対応したものである。この箇所以外では劣化は見られなかった。

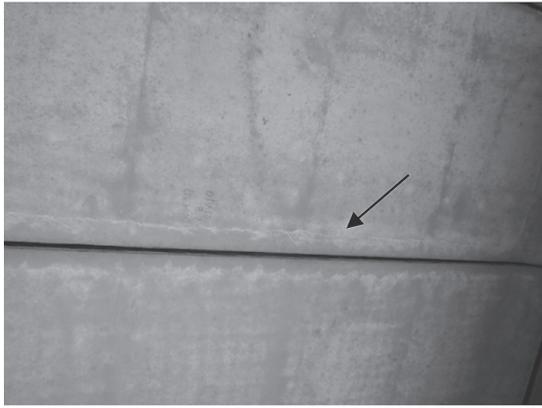


写真 - 4 プレキャストPC床版のあご部のひび割れ

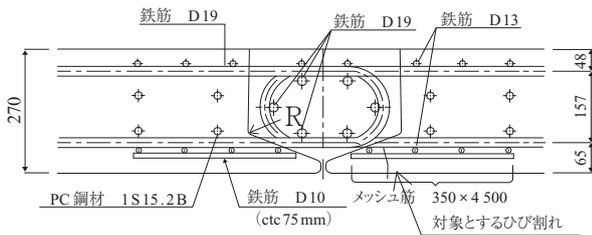


図 - 2 ループ継手とひび割れ補強鉄筋

2.4 その他の橋梁

写真 - 5 は、1996年に供用し、21年経過した橋梁である。この橋梁は建設時からプレキャストRC床版を採用した橋梁である。ループ継手のあご位置付近からひび割れや浮き、プレキャスト床版中央付近で水しみ跡が見られる。浮きの原因は、継手部からの凍結防止剤を含んだ水の浸入によりループ位置での鉄筋が腐食する塩害が原因と推察できる。

なお、床版中央付近での水しみ原因は、明らかになっていない。

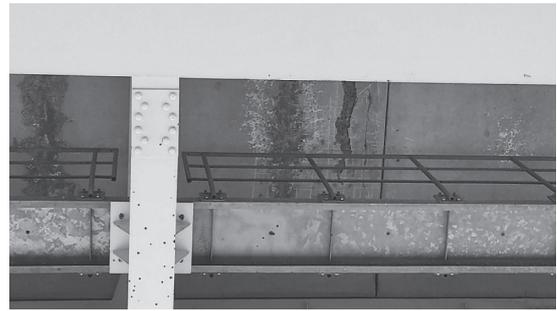


写真 - 5 ループ継手付近の浮きと床版中央の水しみ

今回、これまでに施工されたプレキャスト床版を調査したところ、いくつかの橋梁で継手部からの水しみ・漏水や浮き・剥離が確認された。これまで、多くの研究機関において床版の疲労耐久性試験が多く実施され、プレキャストPC床版およびその継手部の疲労耐久性は、確保できるものと考えられる。その一方で、今回の調査により得られた劣化事例は、継手部からの漏水などに起因するものと推察され、継手部やプレキャスト部材と現場打ちコンクリートの界面の付着耐久性を向上させることが重要であると考えられる。

3. 半断面取替工法の開発

3.1 半断面取替工法の概要

鋼橋RC床版の取替の場合、図 - 3 に示すように片ラインで対面通行させ、通行止め規制内での全幅員を一括で架設する全幅一括取替工法を標準としているが、地域や路

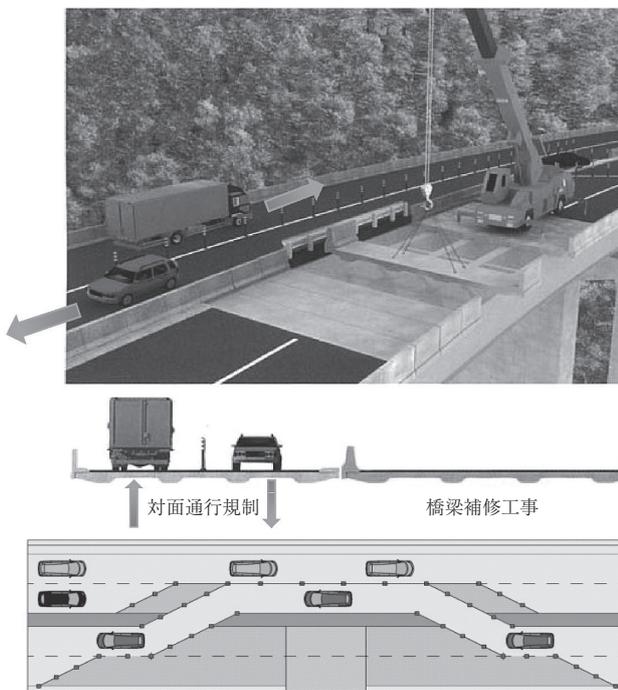


図 - 3 全幅一括取替工法の概要図

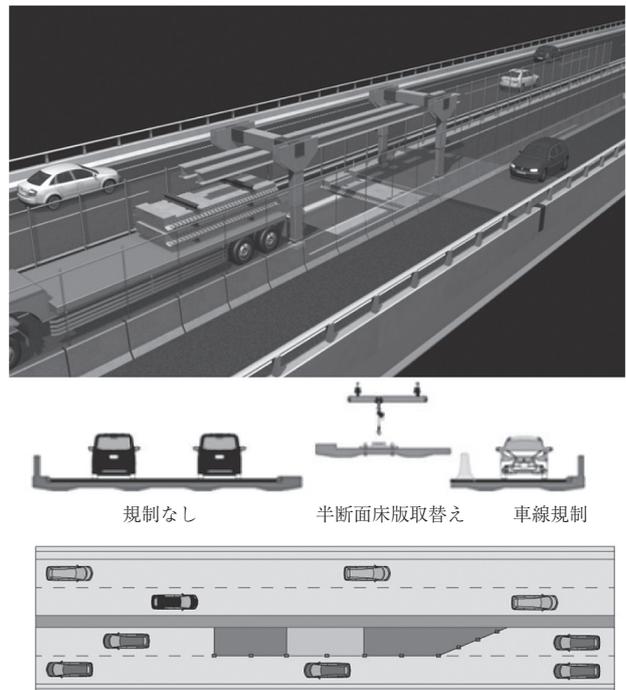


図 - 4 半断面取替工法の概要図

線特性により多大な社会的影響が懸念される場合に備えて、図-4に示す半断面ごとに取り替える工法の技術開発を行った。この工法におけるプレキャストPC床版は、橋軸方向に分割する縦目地を有する構造であり、縦目地部の耐久性も重要である。そこで、図-5に示すように突合せ構造の接合面と接合キーを有する縦目地構造とした。この構造は走行車両の振動下においても確実に接合可能であり、突合せ構造ゆえに後打ちコンクリートを要しない構造であり、早期の交通解放も可能と考えた。また、コンクリートスラブキーおよび非金属接合キーを使用し、縦目地の接合面にはエポキシ樹脂接着材を塗布し、プレストレスを導入することにより一体化する構造とした。なお、一体化させるためのプレストレス量は、プレキャストセグメント橋の接合と同様、設計荷重に対し引張応力を生じさせない量とした。

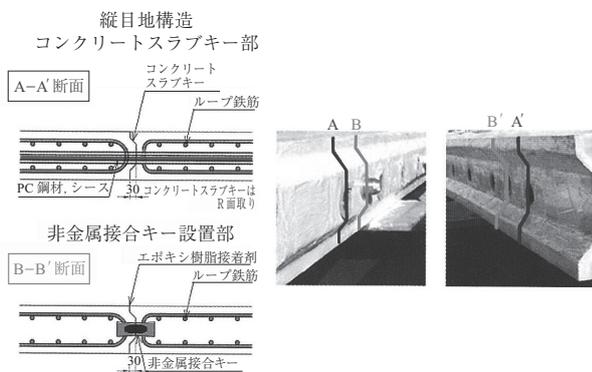


図-5 縦目地接合部

3.2 半断面取替工法における縦目地構造の疲労耐久性

半断面工法における縦目地構造は、車両荷重による疲労、目地部の目開きなどが考えられるため、図-6に示す模擬床版を作成し、NEXCO 総研所有の移動荷重疲労試験機を用いて検証した。

輪荷重荷重試験機の制御方法は、過去の事例を踏襲することとした。荷重ステップは図-7のように、過積載考慮荷重(160 kN)、輪荷重の2倍(200 kN)とし、平成9年の東名高速道路(清水IC~静岡IC間)の日本平における本線軸重計データを踏まえ、耐用年数100年相当である82万回の繰返し走行試験を実施した。その後、床版表面上に水張りし、200 kNで8万回の荷重試験を行い、その後は40 kNで4万回ずつ増加させる階段荷重を実施した。

試験結果は以下のとおりである。図-8に荷重回数ごとの床版のたわみ、図-9に荷重時のひび割れスケッチを示す。

- 1) 80万回時(200 kNの20万回時)

床版下面支間方向にひび割れが発生し、その後床版支間方向のひび割れ本数が増加した。
- 2) 82万回時(耐用年数100年相当)

床版下面支間方向のひび割れ本数が増加したものの、床版下面橋軸方向および、床版上面にひび割れは発生しなかった。その後、同荷重において水張荷重試験を行ったが、水漏れは発生しなかった。

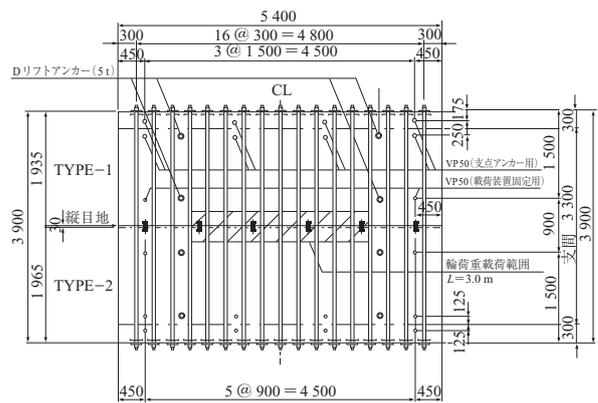


図-6 模擬床版

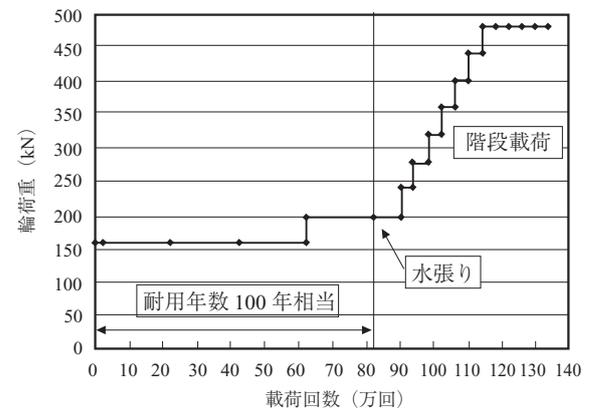


図-7 荷重ステップ

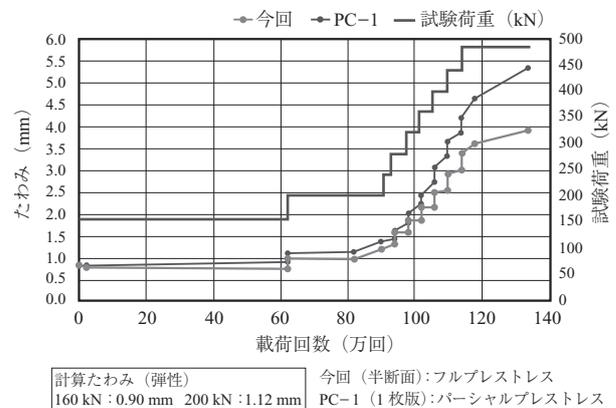


図-8 荷重回数後との床版たわみ

- 3) 90万回時(240 kN)

床版下面橋軸方向のひび割れが発生した。ひび割れ幅は0.05 mmであり、除荷されると閉じる程度であった。
- 4) 90万回以降(240~480 kN)

床版は破壊せず、その後20万回荷重試験を行った。ひび割れは増加したが、床版下面に水漏れすることはなかった。また、縦目地部付近にひび割れが集中することはなかった。

以上の結果から、平成9年度に実施された長支間床版に関する疲労試験⁵⁾における、PC床版(1枚版)の試験結果と比較し、ひび割れ発生状況、床版の変形は同程度であり、縦目地の有無における明確な違いは認められなかった。したがって、床版支間中央部に縦目地を有する半断面構造の床版は、耐用年数100年相当の輪荷重に対しての疲労耐久性は十分に有していると考えられる。今後は実橋において、施工方法も含め実証する必要がある。

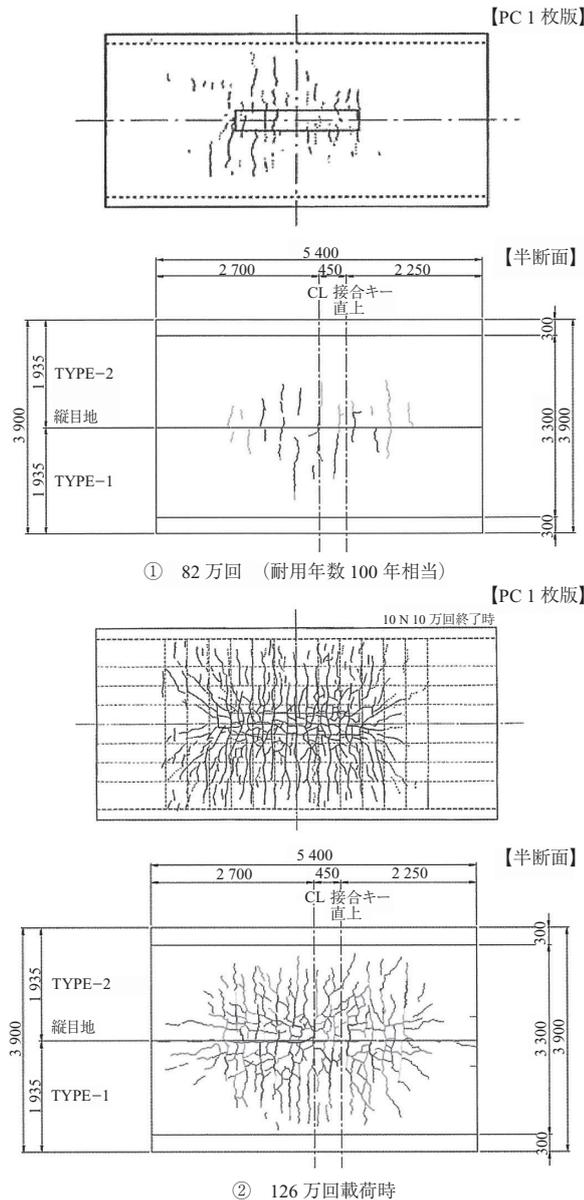


図 - 9 床版下面のひび割れ図

4. PC 橋の大規模更新・修繕

4.1 PC 橋の大規模更新・修繕の概要

PC 橋において、PC 鋼材は非常に重要な部材である。大規模更新・修繕では、PC 鋼材の状態を的確に把握し、適切な時期に予防保全を実施することで PC 橋の長寿命化、ライフサイクルコストの最小化に繋げることとしている。

NEXCO における約 300 橋の PC 橋を対象とした PC グラウト充填状況調査では、全体の約 3 割弱で PC グラウトの充填不足が確認されており、これに起因して PC 鋼材が破断した重大損傷事例もある。また、国内外での落橋事例も報告されている⁶⁾。NEXCO では、これら重大損傷を発生させないため、PC グラウトの充填不足や破断が確認された場合は、外ケーブルを設置して外ケーブルの張力変化をモニタリングすることとし、PC グラウトの再注入、必要に応じて、外ケーブル補強を実施する。

NEXCO 総研では、これまでに漏洩磁束法を用いた破断診断技術を確立し^{7,8)}、PC 橋の診断に多く利用されている。現在、PC 橋のモニタリングや健全度診断方法、PC グラウト再注入、残存プレストレスに関する研究を進めている。

4.2 PC グラウトの再注入

新設構造物の PC グラウトには、PC 鋼材と構造物の一体化および PC 鋼材の腐食からの保護が性能として求められる⁹⁾。これらに加え、PC グラウト再注入の場合、極小空間への注入性能やマクロセル腐食に対する抵抗性なども考慮する必要がある。そのため、PC グラウト材料の流動性や注入性といったレオロジー特性の把握が不可欠である。そこで、本試験では、市販されている高粘性型、低粘性型および超低粘性型の PC グラウト材料に防錆剤を添加した再注入用 PC グラウト材料の基本性状試験を実施した。表 - 2 に使用材料、表 - 3 に試験内容を示す。図 - 10 に示すグラウト注入試験は、既設グラウト材により形成された空隙箇所を模擬した細径管に、各再注入用 PC グラウト材を通過させ、その通過の状態から再注入用 PC グラウト材としての実用性を評価することと、従来のレオロジー特性を測定する際には、自然流下などで評価しているのに対して、実施工では圧力を加えながら注入することが多いことから、圧力の影響を受けた場合の材料分離などの影響を評価することを目的とした。

表 - 2 使用材料

グラウトタイプ (基材)	防錆剤種類
高粘性型 (マスターフロー 152)	亜硝酸リチウム (LN), 亜硝酸カルシウム (CN)
低粘性型 (マスターフロー 150)	亜硝酸リチウム (LN), 亜硝酸カルシウム (CN)
超低粘性型 (ハイジェクター)	亜硝酸リチウム (LN), 亜硝酸カルシウム (CN), イオン交換樹脂 (IE), 塩素吸着剤 (CF)

表 - 3 試験内容

試験項目	試験方法	判断基準
レオロジー試験 (JP漏斗流下時間)	PC グラウト設計施工指針 試験方法案 - 2	製品ごとに定められた規格値
レオロジー試験 (フロー値)	修正 JASS 法	-
グラウト注入試験 (中間閉塞管)	φ4 × 1000 mm 細径管の両端を φ13 × 1000 mm 塩ビ管でジョイントした中間閉塞管に再注入用 PC グラウトを手動式グラウトポンプで注入する	中間閉塞部を通過すること

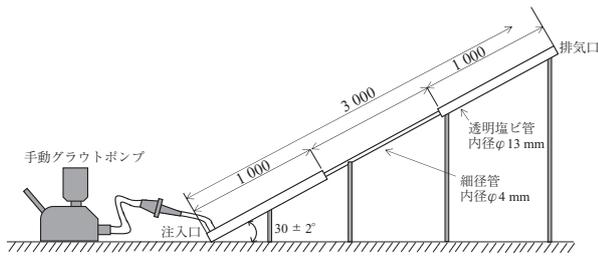


図 - 10 グラウト注入試験

それぞれの試験の結果を図 - 11, 12, 表 - 4 に示す。高粘性型の方が長時間にわたって規格値を満足しており、超低粘性型は練上り直後の流動性は良好であるが、時間経過に伴う流動性低下が著しかった。しかし、超低粘性型の流動性低下は著しいが、グラウト注入試験より細径部への通過は可能であり、低粘性なほど閉塞しないことが確認できたが、防錆剤の種類によっては、早い時間で閉塞する場合もあることに注意が必要である。

これらの結果について、JP 漏斗流下時間やフロー値は、注入工法により影響が生じると考えられる。たとえば、自然流下方式のようなゆっくり注入する場合、超低粘性型は閉塞を起こすおそれがあると推察できる。また、レオロジー特性は満足している再注入グラウトでもグラウト注入試験では、閉塞を起こすことが確認された。これは、圧力を加えた場合、従来のレオロジー特性だけでは評価しきれないことが考えられる。

今後、注入工法ごとの適正なグラウト材料の確認を行うとともに、マクロセル腐食に対する効果についても検証が必要である。

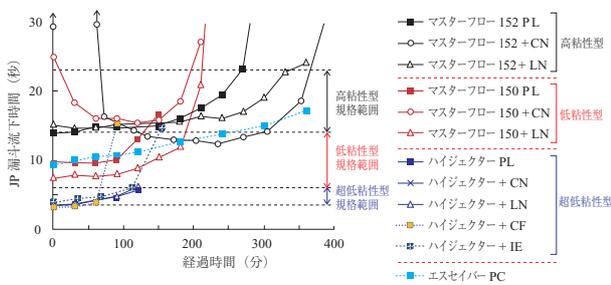


図 - 11 JP 漏斗試験の経時変化

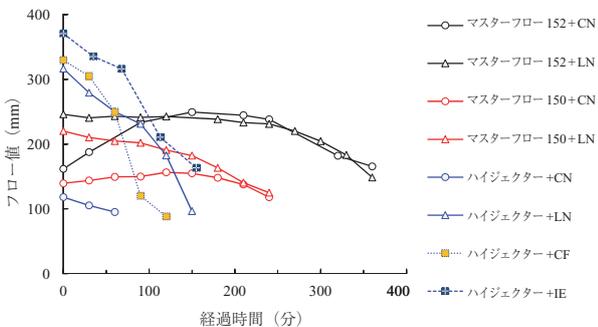


図 - 12 フロー値の経時変化

表 - 4 グラウト注入試験の経時変化

基材	防錆剤	経過時間 (分)				
		0	120	150	180	240
高粘性型	PL	×	-	-	-	-
	CN	×	-	-	-	-
	LN	×	-	-	-	-
低粘性型	PL	×	-	-	-	-
	CN	×	-	-	-	-
	LN	○	○	○	○	○
超低粘性型	PL	○	×	-	-	-
	CN	×	-	-	-	-
	LN	○	○	○	×	-
	CF	○	○	×	-	-
	IE	○	○	○	×	-

細径管を通過：○ 通過せず：×

5. おわりに

本稿では大規模更新、修繕に関する NEXCO 総研で取り組んでいる主な研究の一部を紹介した。鋼橋 RC 床版の取替えにおいては、間詰め部などの現場打ちコンクリートにおける付着耐久性の向上が求められる。また、PC 橋においては、健全性診断や残存耐力の把握方法など多くの課題がある。技術基準の作成や技術開発もまだ開始したばかりであり、事業の進捗状況や優先度を鑑みて研究開発を実施していく予定である。

参考文献

- 1) 東日本高速道路(株), 中日本高速道路(株), 西日本高速道路(株):「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方 報告書」高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会, 2014.1
- 2) プレストレストコンクリート工学会: NEXCO における大規模更新・修繕, PC 構造物の戦略的メンテナンスにむけて - 第 43 回 PC 技術講習会 -, pp.9 ~ 17, 2015.6
- 3) 栗崎敏夫, 石井久善, 中井智: PC 縦締めを用いたプレハブ床版の設計と施工, 土木技術, 29 巻, 5 号, 1974.5
- 4) 笹井幸男, 松本吉正, 佐藤雅則, 奥谷祐介: 中央自動車道古川渡橋の設計と施工, プレストレストコンクリート技術協会 第 4 回シンポジウム論文集, 1994.10
- 5) 長谷俊彦, 上東泰, 安松敏雄: 長支間 PC 床版の移動輪荷重走行試験による耐久性評価, 日本道路公団試験研究所報告, vol.36, pp25 ~ 34, 1999.1
- 6) 徳光卓, 本荘 清司, 横山和昭, 牧博則: 高速道路の PC 橋に関する点検の着目点について, プレストレストコンクリート技術協会 第 18 回シンポジウム論文集, 2009.10
- 7) 横山貴士, 青木圭一, 宮永憲一, 廣瀬誠: 漏洩磁束法による PC 鋼材破断測定実験, プレストレストコンクリート工学会第 23 回シンポジウム論文集, 2014.10
- 8) 萩原直樹, 宮永憲一, 青木圭一: 実験による MFL の適用性検証, プレストレストコンクリート工学会第 24 回シンポジウム論文集, 2015.10
- 9) プレストレストコンクリート工学会: PC グラウトの設計施工指針 - 改訂版 -, 2012.10

【2017 年 3 月 13 日受付】