

既設ポストテンション橋の PC 鋼材調査および補修・補強指針について

宮川 豊章^{*1}・青木 圭一^{*2}・萩原 直樹^{*3}

(公社)プレストレストコンクリート工学会では、平成 24 年度より既設ポストテンション橋の PC グラウト問題について「既設ポストテンション橋の PC グラウト問題対応委員会（委員長：宮川豊章京都大学特任教授）」を設置し、その実態把握や PC グラウト充填調査手法、PC 鋼材の健全度調査手法、補修・補強方法等について検討を実施し、平成 28 年 9 月に「既設ポストテンション橋の PC 鋼材調査および補修・補強指針」を発刊した。本指針は、ポストテンション橋の管理者へのアンケート等による現状分析ならびに技術基準の変遷から、PC グラウト充填不足や PC 鋼材の腐食や破断が発生するリスクを整理するとともに、PC グラウトおよび PC 鋼材の腐食や破断に特化した調査方法、これらが確認された場合のその補修および補強方法に関して最新の知見をまとめたものである。本稿では、「既設ポストテンション橋の PC 鋼材調査および補修・補強指針」の概要を紹介する。

キーワード：ポストテンション橋、PC 鋼材の腐食・破断、PC グラウト、補修・補強

1. はじめに

わが国におけるポストテンション方式 PC 橋（以下、ポステン橋）は、昭和 28 年の十郷橋の建設以来、全国で数多く建設されている。その技術の進歩も目覚しく、PC グラウトに関しても、ノンブリーディング型グラウト材料やグラウト流量計の開発・導入、PE シース、グラウト充填センサの開発など、ポステン橋の建設当初とは、その品質や充填性は格段と向上している。

一方、ポステン橋の建設が始まってからすでに 60 年が経過し、道路橋においてはスパイクタイヤ禁止に伴う凍結防止剤の大量散布など、建設当時では、想定し得ない塩害環境での使用となり、劣化が促進されている現状にある。このため、すでに建設・供用されているポステン橋では、建設当時の PC グラウト技術水準の未熟さ、過酷な塩害環境などにより、橋自体の耐久性に大きな疑義が生じている。

しかし、既設ポステン橋に対する PC グラウトの課題に対しては、これまで総合的に研究や分析されたものがなく、実態すら把握されてこなかった。そこで、これまでに建設されたポステン橋の耐久性を検証し、さらには補修・補強工法を確立することは、これまで PC 橋を建設してきた PC 技術者としての責務であると考え、(公社)プレストレストコンクリート工学会（以下、PC 工学会）では、「既設ポストテンション橋の PC グラウト問題対応委員会（委員長：宮川豊章京都大学特任教授）」を設置し、その検討成果を「既設ポストテンション橋の PC 鋼材調査および補修・補強指針」¹⁾（以下、本指針）として整理した。本稿では、本指針の概要について紹介するものである。

2. 検討事項

本委員会は、学識者、ポステン橋の管理者（国、地方自治体、鉄道各社、高速道路各社）、ポステン橋の施工会社、材料会社、検査会社により構成された。また、委員会の下に指針作成 WG を構成した。委員一覧と指針作成 WG 一覧を表 - 1 および表 - 2 に示す。平成 24 年 11 月に第 1 回委員会を開催し、計 6 回の委員会、計 9 回の幹事会を開催した。委員会・幹事会での審議内容は下記のとおりである。

1) ポストテンション橋の実態把握

各管理者から健全性・損傷事例を紹介し、現状把握と健全性について整理した。また、PC グラウトに関する規準や仕様の変遷などの整理、PC グラウトに関するリスクマップを作成した。

2) PC グラウトの充填性調査手法の把握

国内外における PC グラウト調査手法の適用性やその精度を分析し、今後の適用性を整理した。

3) PC 鋼材の健全性調査手法の把握

国内外における PC 鋼材破断モニタリング・非破壊検査手法を整理した。

4) ポストテンション橋の健全性診断の方法検討

各種 PC 梁の実験結果を基にした供用限界値の議論し、供用性を判断する手法について検討し損傷発見時の対応方針を作成した。

5) PC グラウト充填不足、PC 鋼材腐食損傷の補修・補強方法の提案

PC グラウトに関連した補修・補強技術、現在開発中の補修・補強技術を整理した。

^{*1} Toyooki MIYAGAWA：京都大学学際融合教育研究推進センター
インフラシステムマネジメント研究拠点ユニット 特任教授

^{*2} Keiichi AOKI：中日本高速道路(株) 名古屋支社 名古屋工事事務所

^{*3} Naoki HAGIWARA：(株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室

表 - 1 委員会の構成

委員長	宮川 豊章	京都大学教授
委 員	大津 政康	熊本大学教授
委 員	陸好 宏史	埼玉大学大学院教授
委 員	鎌田 敏郎	大阪大学大学院教授
委 員	玉越 隆史	国土技術政策総合研究所
委員兼幹事	石田 雅博	(国研)土木研究所
委 員	塩谷 正浩	国土交通省道路局
委 員	箕作 光一	国土交通省関東地方整備局
委 員	川村 雅一	国土交通省北陸地方整備局
委 員	松田 好生	国土交通省近畿地方整備局
委員兼幹事長	青木 圭一	中日本高速道路(株)
委 員	木水 隆夫	東日本高速道路(株)
委 員	酒井 秀昭	中日本高速道路(株)
委 員	緒方 辰男	西日本高速道路(株)
委 員	石原 陽介	首都高速道路(株)
委 員	小林 寛	阪神高速道路(株)
委員兼幹事	岡本 大	(公財)鉄道総合技術研究所
委 員	松田 芳範	東日本旅客鉄道(株)
委 員	湯浅 康史	西日本旅客鉄道(株)
委 員	紅林 章央	東京都
委 員	奥山 修	青森県
委 員	蘇武 邦行	山形県
委 員	川瀬 智彦	岐阜県
委 員	池田 正樹	長崎県
委 員	入谷 琢哉	大阪市
委 員	前田 英輝	神戸市
委 員	廣瀬 誠	(株)四国総合研究所
委 員	葛目 和宏	(株)国際建設技術研究所
委員兼幹事	手塚 正道	オリエンタル白石(株)
委員兼幹事	堤 忠彦	(株)富士ビー・エス
幹 事	原 幹夫	(株)日本ビーエス
幹 事	平 喜彦	三井住友建設(株)
オブザーバー	内藤 繁	東海旅客鉄道(株)
オブザーバー	山田 真人	住友電工スチールワイヤー(株)
オブザーバー	黒輪 亮介	極東鋼弦コンクリート振興(株)
オブザーバー	古澤 孝男	BASF ジャパン(株)

旧委員：相川智彦，足立幸郎，大野真義，乙守和人，鹿角 豊，川岸弘昌，木村嘉富，小林修二，小輪瀬良司，近藤拓也，先本 勉，佐々木正昭，宗宮裕雄，谷村幸裕，築山有二，富樫健一，中 忠資，永橋俊二，西岡 勉，野中砂男，畑中達也，平賀和文，福永靖雄，船坂徳彦，増井 隆，村田一郎，八橋義昭

旧オブザーバー：長縄卓夫，渡辺孝司

表 - 2 指針作成 WG

主 査	青木 圭一	中日本高速道路(株)
副 査	萩原 直樹	(株)高速道路総合技術研究所
	石田 雅博	(国研)土木研究所
	井俣 俊也	オリエンタル白石(株)
	岡本 大	(公財)鉄道総合技術研究所
	紙永 祐紀	三井住友建設(株)
	近藤 拓也	高知工業高等専門学校
	平 喜彦	三井住友建設(株)
	堤 忠彦	(株)富士ビー・エス
	手塚 正道	オリエンタル白石(株)
	轟 俊太郎	(公財)鉄道総合技術研究所
	原 幹夫	(株)日本ビーエス
	船野 浩司	(株)日本ビーエス
	正木 守	(株)富士ビーエス
	渡瀬 博	オリエンタル白石(株)

旧副査：宮永憲一

3. 指針の構成

本指針の構成は以下のとおりである。

- 1 章 総則
- 2 章 基本原則
- 3 章 調査
- 4 章 評価及び判定
- 5 章 耐久性に関する対策
- 6 章 安全性に関する対策
- 7 章 突出防止対策
- 8 章 記録
- 付録 参考資料

本指針では，ボステン橋の PC グラウト，PC 鋼材の腐食や破断に特化し，その調査方法や対策に関して記述している。なお，ボステン橋の定期点検などの一般的な調査や点検，補修・補強などについては、『PC 構造物高耐久化ガイドライン』²⁾を参照することとした。

また，2 章 基本原則には，原則論とそれぞれの行為における基本方針など本指針の意図する考えについて記載している。3 章から 8 章は，それぞれの行為の細目について記載している。参考資料には，本委員会で行きまとめたボステン橋の実態把握の結果および重大損傷事例，グラウトに関する技術規準の変遷，突出防止対策に関する参考資料を掲載した。

4. 基本原則

4.1 調査および補修補強の原則

調査および補修・補強の原則は，PC グラウトの充填調査ならびに PC 鋼材の腐食や破断の有無の調査を早急に行うことが望ましく，その結果，これら変状が発見された場合，耐久性および安全性の評価を行い，必要に応じて補修・補強を実施することとした。これは，PC グラウト充填不足や PC 鋼材の腐食などが主な原因で重大な変状が生じたものや落橋したボステン橋も存在すること，各管理者が保有する点検要領においては，PC グラウトに着目した点検・調査やその結果を踏まえた健全性の診断に関して記されていないこと，PC 鋼材は，腐食に敏感な材料であり，これは構造物の安全性に影響を及ぼし，できるだけ早期に変状を発見し，適切な対策を実施し，予防保全的に維持管理していくことが重要であることから早急な調査を行うことが望ましいと規定した。

収集した PC 構造物の重大損傷事例でも多くの横締め PC 鋼棒およびせん断 PC 鋼棒の破断，突出事例が報告された。横締め PC 鋼棒およびせん断 PC 鋼棒は，PC グラウト調査によりその状況をすべて把握することは困難であることから迅速な対応を図るため，第三者被害が想定される箇所は，PC グラウトの充填状況に関わらず突出防止対策を実施することが望ましいとした。図 - 1 に調査，対策フローを示す。

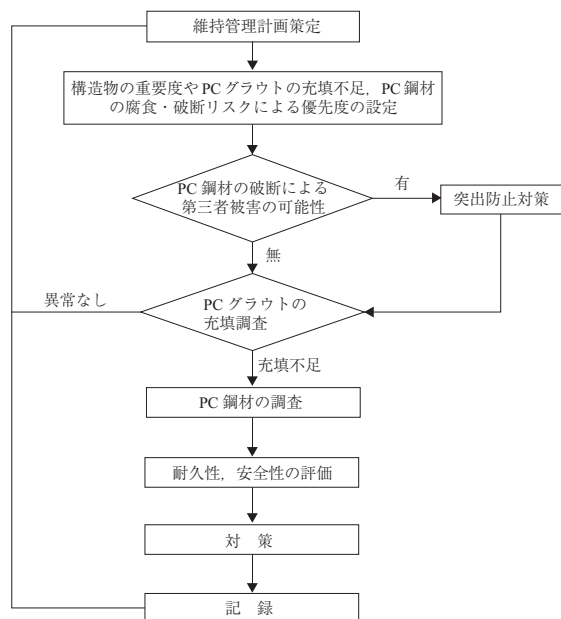


図 - 1 調査、対策フロー

4.2 調査の基本

わが国には、6万橋を超えるPC道路橋が存在し、これらをすべて調査するには膨大な時間を要する。また、近年のポステン橋の技術は、非鉄シースの採用やノンブリーディング型グラウトの採用など、その品質は格段に向上しており、近年のポステン橋において変状が顕在化している場合以外は、速やかな調査は必要ないと考え、構造物の重要度やPCグラウト充填不足やPC鋼材の腐食や破断のリスクが高いものから調査を行うこととした。

国内の11の構造物管理者によるポステン橋14451連の健全度評価結果や重大な損傷事例、ならびにポステン橋の技術規準の変遷について整理・分析した。その結果、(1)変状状況、(2)建設時期、(3)PC鋼材種別、(4)構造形式、(5)架橋環境、(6)PC鋼材の防錆等がPCグラウトの充填不足やPC鋼材の腐食や破断に至る要因として大きく影響すると思われるため、これらをリスクとして考慮し、構造物の重要度も加味したうえで調査を実施する優先順位を定めることとした。

(1) 変状状況

図 - 2 は、わが国のポステン橋14451連の目視などによる点検結果を5段階の健全度で整理し、この健全度とPCグラウト充填不足が生じている橋梁の健全度を橋梁形式別(I桁、T桁、箱桁)に示したものである。この健全度とPCグラウトの充填状況には関連性があり、PCグラウト充填不足が確認された橋梁の健全度は、それ以外を含む(PCグラウト充填不足および充填の合計)健全度と比較すると、1ランク程度劣る傾向が認められる。つまり、PCグラウト充填不足のポステン橋は、その影響が外観にも生じ、健全度が劣っていることが判明した。

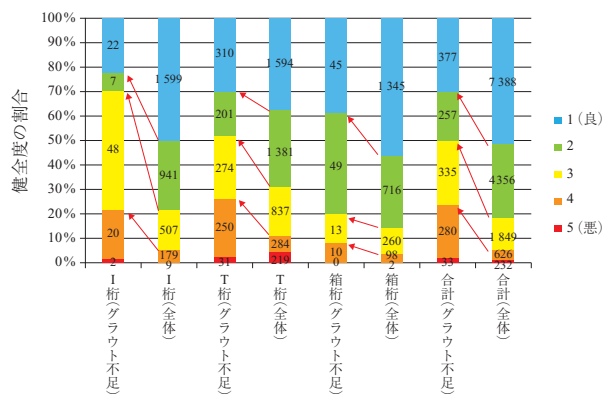


図 - 2 PCグラウト充填不足橋梁の健全度

(2) 建設時期

建設時期が古いポステン橋は、その経年による影響を受け、変状が生じる可能性が高い。図 - 3 は、建設時期が古いものほど、健全度が劣る傾向を示している。このことから、建設時期が古いものほど経年の影響を受け、劣化や損傷などによりそのリスクが高いと思われる。

また、建設時期が古いものは、PCグラウト技術が未熟であったために、完全なPCグラウト充填ができていない可能性が高い。PCグラウト材料は、ブリーディングの発生を許容していたものから、ノンブリーディング型へ変遷している。ポステン橋の建設当初は、ブリーディングが発生する材料であったため、アルミニウム粉末を用いて膨張させ、この効果によりブリーディング水を排出させることを標準としていたが、その方法は有効ではなかった。1990年代からノンブリーディング型を標準として基準化する管理者が現れるようになった。以上のことから、1990年以前の建設時期の古いポステン橋では、ブリーディングによる空隙が懸念される状況である。

PCグラウトの施工および管理の主な変遷としては、流量計による注入量の確認がある。従来は、緊張管理表へPCグラウト注入の有無のみを記載する管理方法であり、その後、流量計の設置が義務付けられ、注入忘れや注入不足といったヒューマンエラーの解消が図られている。

シース径に関する規準では、1960年代のシース径から1970年代、1980年代とシース径は拡大されてきている。建設時期の古いものは空隙率が小さいために、PCグラウトの閉塞やPCグラウト注入圧の高まりによって注入作業が困難となる状況が発生していた可能性が考えられる。

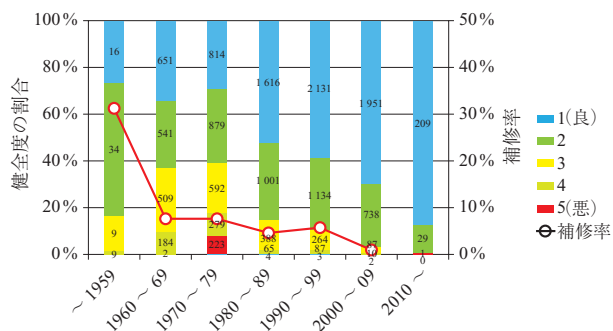


図 - 3 ポステン橋の建設年次と健全度の関係

(3) PC 鋼材種別

国内 11 の構造物管理者による PC グラウトの充填状況の調査は、削孔による微破壊検査や放射線透過法、打音振動法などにより実施されている。調査した橋梁は、1960 年代から 1980 年代の橋梁を中心に調査が行われている状況であった。その結果のうち、PC 鋼材の種別ごとの充填調査結果を図 - 4 に示す。全体結果としては約 3 割の調査箇所で PC グラウト充填不足の結果であり、PC 鋼材種別では PC 鋼棒 > PC 鋼線 > PC 鋼より線の順に充填不足の割合が高い結果であった。とくに PC 鋼棒では、約 4 割で充填不足となっていた。

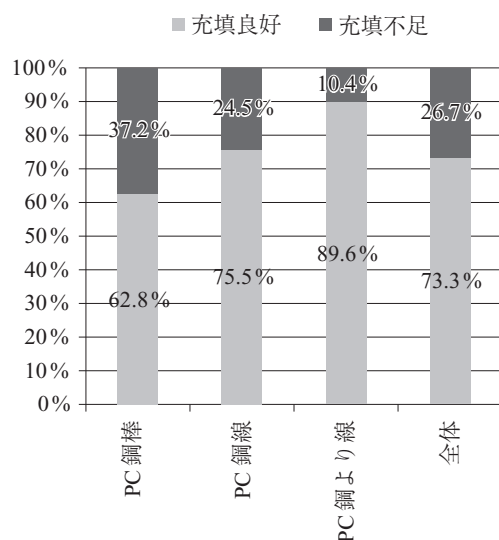


図 - 4 PC 鋼材種別ごとの充填状況

(4) 構造形式

ポステン橋の耐久性に大きく影響する技術的変遷として、PC 鋼材の定着位置が挙げられる。上縁定着は、桁端部にスペースがなく端部定着が困難な場合や PC 鋼材重量の軽減という観点から採用されており、旧建設省のポステン T 桁橋の標準設計としても採用されていた。ポステン橋では、1990 年代までは、上縁定着が一般的に採用されており、PC 鋼材への腐食因子の侵入という観点からは比較的厳しい環境にあるため、このような構造の場合は優先して調査するとよいとした。

(5) 架橋環境

構造物管理者からのヒアリングにおける 27 件の重大損傷事例のうち、図 - 5 には海岸からの距離による重大損傷の件数を示すが、1 km 以上海岸から離れていても重大損傷は多く発生しており、耐久性に影響を及ぼす要因として、飛来塩分だけでなく凍結防止剤の散布も大きく影響していることが判明した。また、床版防水の有無は凍結防止剤や雨水によって重大損傷に至る可能性が高く、海岸付近の橋梁だけでなく、凍結防止剤が散布される橋梁や床版防水が設置されていない橋梁では、リスクが高いことが判明した。

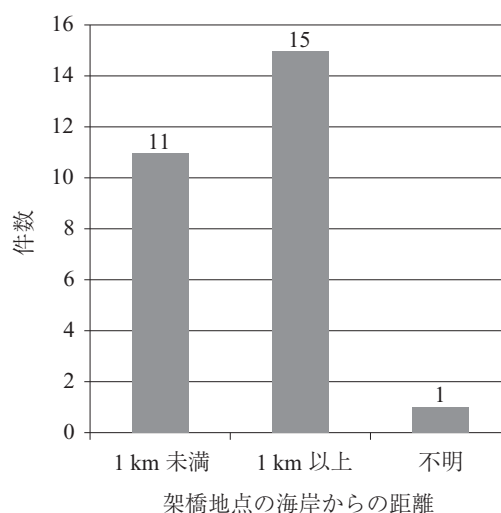


図 - 5 重大損傷橋梁の海岸からの距離

(6) PC 鋼材の防錆等

PC 鋼材の防錆としてシースの材質の変遷があげられる。わが国のポステン橋の建設は始まって以降、鋼製シースが標準的に採用されていたが、1997 年の「構造物施工管理要領」（日本道路公団）³⁾ においてポリエチレンシースが規準化され、2002 年「コンクリート標準示方書」（土木学会）⁴⁾ においては、塩害対策として推奨するに至っている。このため、鋼製シースが採用されているポステン橋では、PC 鋼材の腐食や破断に至るリスクが高いため、これを採用しているものを優先して調査することとした。

以上のような技術規準の主な変遷およびポステン橋の実態から PC グラウト充填不足、PC 鋼材の腐食や破断が発生するリスクを高、中、低で表現したリスクマップを作成した。リスクマップは、本指針を参照されたい。

5. 調 査

ポステン橋特有の PC グラウトの充填状況や PC 鋼材の腐食や破断を調査する目的は、これら変状の有無の確認および変状の程度を把握することである。調査の代表的な手法を表 - 3 に示す。これら調査手法は、適用範囲、部位・部材など考慮し、適切な方法を選定する必要がある。指針では、各手法の適用範囲やこれまでの適用部位など示した。また、調査に先立つ事前調査として、架設年次や PC 鋼材の種類、定着工法、ケーブル配置形状、完成図、使用材料、施工記録、架橋環境などに関する書類調査を実施し、PC グラウト充填性などについて適切に把握しておくことが重要である。

表 - 3 調査項目と調査方法一覧

調査項目	調 査 方 法	
外観の変 状	外観調査	水しみ、エフロレッセンス、ひび割れなどの発生状況から PC 鋼材の配置との相関、水の浸入経路を調査する。
	放射線透過法	コンクリート表面から X 線などを使って放射線透過写真を撮影する。
PC グラウトの状態	打音振動法	PC 鋼材両端の定着部近傍のコンクリート表面にセンサを取り付け、入力センサ側をハンマーなどで打撃し、弾性波伝搬速度や入力側と出力側のエネルギー減衰および周波数特性を測定する。
	広帯域超音波法	コンクリート内に高強度で広帯域の周波数を有する超音波を入力し、反射波をすべて収録する。収録した波をフィルタリングし、特定したシースからの反射波特性を分析する。
	インパクトエコー法	PC 鋼材が配置されている部分のコンクリート表面に鋼球打撃により弾性波を入力し、その反射波を振動センサで受信し周波数スペクトル解析を行う。
	削孔調査	コンクリート削孔を行い、PC グラウトの状態を目視、CCD カメラ、通気法（空圧法）などを用いて確認する。
PC 鋼材、プレストレスの状態	放射線透過法	コンクリート表面から X 線などを使って放射線透過写真を撮影する。
	漏洩磁束法	鋼材が強磁性体であることを利用して、コンクリート表面から PC 鋼材を着磁し、漏洩した磁束を測定する。
	削孔調査	コンクリート削孔を行い、PC 鋼材の状態を目視、CCD カメラなどを用いて確認する。
	残存プレストレス量調査	構造物にスリットやコアなどにより応力を解放し、解放されたひずみや変形を計測することで応力解放前の初期応力を算出する。

6. 評価および判定

PC グラウトの充填不足はポステン橋の耐久性に大きく影響を及ぼし、PC 鋼材の腐食や破断、プレストレスの減少は、構造物の安全性に大きな影響を及ぼす。これらの状況について十分に調査を行い、耐久性と安全性についてそれぞれ評価を行い、対策の要否を判定することが必要である。

本指針では、耐久性とは、一般的には安全性、供用性などの性能低下の経時変化に対する抵抗性を示し、PC 鋼材の PC グラウト充填状況や PC 鋼材の腐食状況に着目した評価方法を示す。また、安全性とは、力学的作用に対する抵抗性のことを示す。

耐久性の評価は、調査結果から劣化現象に対する劣化機構を推定し、劣化機構に基づいた劣化予測を実施したうえで耐久性の評価を実施しなければならない。

安全性の評価は、使用目的に応じて要求性能と性能水準を設定し、適切な評価指標を用いて要求性能を満足することを照査するものである。PC 構造物が現時点で保有している力学的性能の評価方法は、設計での性能評価式により

行うことが望ましいが、非線形有限要素解析による評価や実橋計測による評価する方法もある。

対策の要否判定は、PC 構造物の特性を考慮し、残存設計供用期間中の構造物が果たすべき機能を満足するかどうかをもとに判定する必要がある。また、これに加え維持管理の難易度、構造物の重要度、経済性などを考慮して判定することとした。

7. 対 策

7.1 耐久性に対する対策

PC グラウト充填不足が確認された場合は、PC グラウト再注入、防水対策を実施することを基本とした。ポステン橋の PC グラウトは、PC 鋼材の防食、PC 鋼材とコンクリート部材の一体性を確保する重要な役割を担っている。したがって、PC グラウト充填不足から PC 鋼材の腐食や破断へと劣化が進行すると、構造物の安全性が著しく損なう事例（写真 - 1）もある。



写真 - 1 PC グラウト充填不足により PC 鋼材破断事例⁵⁾

PC グラウト再注入は、新設の PC グラウトと異なり、定着端部にグラウトホースを設置できないこと、充填部の空隙が十分確保されていない場合があること、水の浸透や錆の発生ならびにひび割れ欠損など注入時の阻害要因があること、既存シース内に塩化物イオンが供給される場合があることに注意する必要がある。さらに、PC グラウト再注入後、適切な方法にて充填確認を行う必要がある。本指針では、PC グラウト再注入における材料や削孔、再注入作業に関して過去の事例を参考に記載している。

また、ポステン橋は、凍結防止剤を含む水や雨水の浸入によって著しく劣化が促進されることがあるため、ポステン橋の耐久性を維持させるためには適切な防水対策を行い水の供給を断つことが有効となることから床版上面には、床版防水層、桁端部には、桁端防水層を施さなければならないとした。

耐久性向上の対策を行ったポステン橋は、残存設計供用期間を通じて目標とする性能を維持するよう、適切に維持管理を行わなければならない。補修の効果の継続性確認は、定期点検において実施することを基本とし、適切な補修が行われたか、再劣化が生じていないかを適切な方法にて確認する必要がある。塩化物イオンがシース内に残置した状態での PC グラウト再注入を採用した場合など、維持管理

上考慮すべき特殊な事項がある場合は、対策後の耐久性が評価できるモニタリング装置を計画・設置することが望ましいとした。

7.2 安全性に対する対策

PC 鋼材の腐食や破断が確認された場合は、力学的性能を回復・向上を目的としたプレストレス導入や補強材の追加による対策を実施することを基本とした。ポステン橋の補修・補強設計にあたっては、プレストレスの移行や回復しないプレストレスを考慮して設計しなければならない、性能照査においては、補修・補強後の構造物あるいは部位・部材が確保すべき機能を満たすことを、照査することとした。

具体的な補修・補強工法は、プレストレスを導入する方法（外ケーブル工法、炭素繊維プレート工法）と補強材の追加（鋼板接着工法、連続繊維シート接着工法）を標準とし、本指針では、各工法の施工時の留意点などを記載した。

耐荷性向上の対策を行ったポステン橋は、残存設計供用期間を通じて目標とする性能を維持するよう、適切に維持管理を行わなければならない。本指針では、最新のモニタリングの事例なども掲載した。

8. おわりに

今回発刊した「既設ポストテンション橋の PC 鋼材調査および補修・補強指針」は、PC グラウト充填不足に着目し、PC グラウト基準の変遷、点検、調査、診断、補修・補強までを網羅した世界で初めてのものである。

本委員会において、27 の重大損傷事例を収集したが、

点検により損傷が見つけれられたのがわずか 8 事例に過ぎず、それ以外は補修・補強工事中など、意図しないことで発見されたものであった。今後、本指針を参考に、ポステン橋の点検・調査がさらに高度化されることを望むものである。

なお、本指針はあくまで現時点で収集可能なデータ、知見を取りまとめたものであり、まだまだ不足する情報もあるかもしれない。是非、多くの管理者および点検者が手に取り、業務の参考にして頂くとともに、不足するデータを補っていただくこととなれば幸いである。

最後に、指針制定に従事された委員、幹事各位、指針作成 WG 各位、貴重な分析データを提供くださった管理者各位には、貴重なご意見を賜るとともに、多大な努力を賜った。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート工学会：既設ポストテンション橋の PC 鋼材調査および補修・補強指針，2016.9
- 2) プレストレストコンクリート工学会：PC 構造物高耐久化ガイドライン，2015.4
- 3) 日本道路公団：構造物施工管理要領，1997.9
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書，2002.3
- 5) 宮下孝，小林憲一，大平英生，齋藤玄：妙高大橋の PC ケーブル損傷における調査結果と今後の対応について，北陸地方整備局事業研究発表会，2011.

【2016 年 12 月 9 日受付】



新刊案内

既設ポストテンション橋の PC 鋼材調査 および補修・補強指針

平成 28 年 9 月

本工学会「既設ポストテンション橋の PC グラウト問題対応委員会」において、ポストテンション方式の既設 PC 橋の実態把握（健全性・損傷事例の把握や規準等の整理）、PC グラウトの充填性調査手法の把握、PC 鋼材の健全性調査手法の把握、ポストテンション橋の健全性診断の方法検討、PC グラウト充填不足・PC 鋼材損傷の補修・補強の提案等の検討が行われ、その成果を指針としてまとめたものです。

定 価 4,800 円／送料 300 円
会員特価 4,000 円／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