

# 既設PC橋における グラウト充填調査及び対策検討

にいみひでき ひだかまさふみ やまもとたかよし もりたゆうき かわいけんとう  
○新居見英樹<sup>1</sup>・日高雅史<sup>1</sup>・山本高由<sup>1</sup>・森田祐樹<sup>1</sup>・河合健斗<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中日本建設コンサルタント（株）（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内一丁目16番15号）

本稿は、グラウト充填不足が想定された道路橋の調査および補修設計事例について述べる。対象橋梁は1961年竣工のPC9径間単純ポストテンションT桁橋であり、令和2年の定期点検でPC鋼材に沿った位置にひび割れ及び遊離石灰が確認されており、建設年次や構造形式からグラウト充填不足に伴うPC鋼材腐食が懸念された。

構造的特徴や社会的制約のもと、合理的な調査計画を立案し、調査結果から橋梁に対してもたらす影響を分析することで、残存供用期間（約56年）の安全性を確保する対策方法を検討した。また、補修工法の選定においては、工事着手後における手戻り防止等に配慮した。

**Key Words** : PC構造, グラウト充填不足, スクリーニング, ドローン, 補修方策

## 1. はじめに

### (1) 業務背景

対象橋梁である下泉橋は、1961年に竣工された橋長271.35mのPC9径間単純ポストテンションT桁橋である。本橋は静岡県川根本町の主要幹線道路に位置し、地域住民の日常生活および物流を支える重要なインフラであるとともに、第2次緊急輸送路に指定されており、有事の際の交通・輸送確保の観点からも高い重要性を有している。

本業務は、これらの状況を踏まえ、詳細調査による当該橋梁の劣化要因の特定及び調査結果をふまえた補修設計を実施したものである。

### (2) 橋梁概要

橋梁形式：PC9径間ポストテンションT桁橋

設計活荷重：TL-14

橋長（支間長）：271.35m（27.9m×6連＋32.2m×3連）

幅員（有効）：6.700m（6.000m）

適用示方書：鋼道路橋設計示方書（昭和31年）（想定）

竣工年次：1961年（昭和36年）

供用期間：120年（残存期間：約56年）

交差物件：一級河川 大井川

路線名：一般県道 春野下泉停車場線

### (3) 実施フロー

本業務の実施フローを図-3に示す。



図-1 対象橋梁位置図

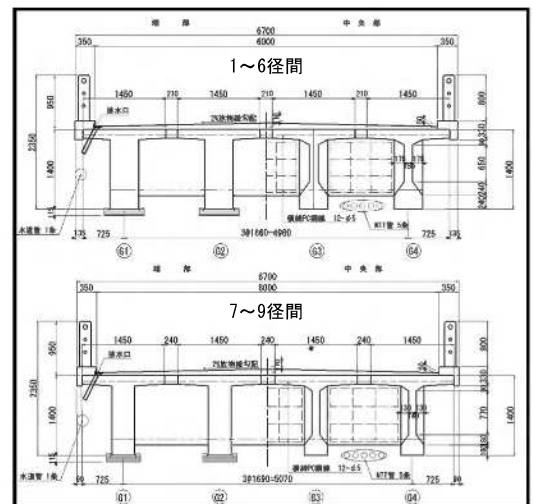


図-2 上部工断面図

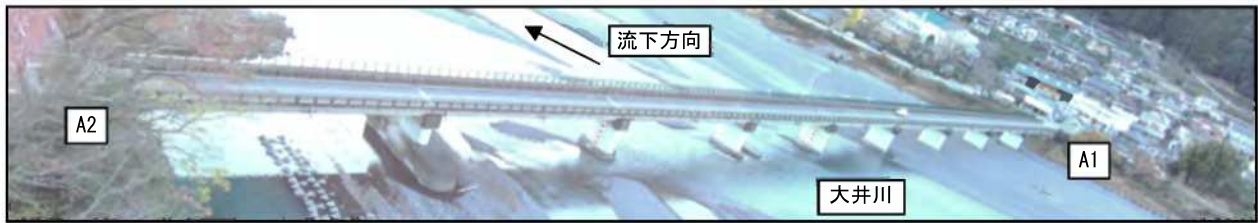


写真-1 下泉橋（全景）



図-3 実施フロー

## 2. 現地状況及び現状の問題点

### (1) 構造的特徴と建設年次に起因するグラウト充填不足およびPC鋼材腐食のリスク

本橋は1986年以前に建設されており、ノンブリーディング型のPCグラウトが使用されていなかった等、品質管理が未整備であった時代の構造である。

また、1993年以前の設計では一般的であった上縁定着方式が本橋でも採用されており（図-4）、舗装面への滞水に伴う上面定着部からの浸透リスクが存在する。これらの状況から、本橋は建設年次及び構造形式に起因したグラウト充填不足に伴うPC鋼材腐食の可能性が高い状況であった。

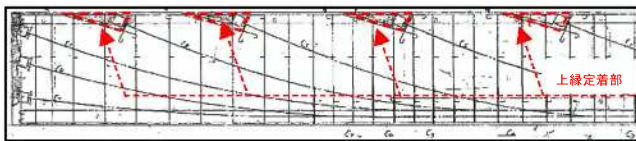


図-4 側面図（1～6径間）

### (2) PC鋼材に沿ったひび割れと遊離石灰の発生

令和2年度の定期点検にてPC鋼材（シース）に沿ったひび割れおよび遊離石灰が、主桁ウェブおよび下フランジ下面に複数確認された。（写真-2）

特に、ブリーディングの発生によるグラウト充填不足が疑われるPC鋼材の曲げ上げ部では、PC鋼材の腐食進行が懸念された。（図-5）

### (3) 急激な耐荷力低下の懸念

PC鋼材の腐食が進行している場合、プレストレス力の減少による耐荷力の急激な低下が懸念された。

本橋の設計活荷重はTL-14であり、また、PC構造物であることから、耐荷性能への影響が致命的となる可能性があり、構造安全性の低下に対する早急な確認が求められた。（図-6）



写真-2 PC鋼材に沿ったひび割れ

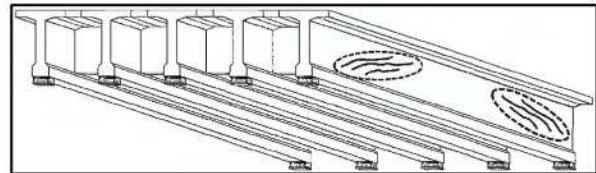


図-5 曲げ上げ配置されたPC鋼材に沿ったひびわれ<sup>1)</sup>

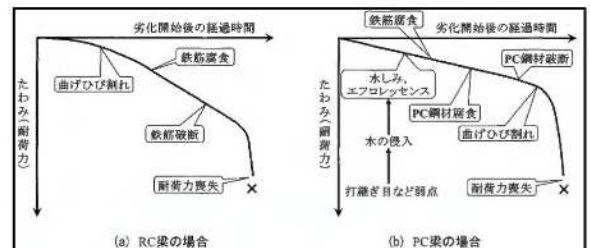


図-6 RC構造物とPC構造物で予想される劣化過程<sup>1)</sup>

### (4) 全桁調査の制約

上記の損傷状況および構造条件から、本来であれば全主桁に対し削孔調査することが望ましいものの、9径間かつ2車線の構造であることから、全主桁の調査には足場設置や長期間の片側交互通行を伴う橋梁点検車の使用が必要であり、業務としてはコストや規制に伴う交通影響の観点から困難な状況であった。

## 3. 本業務における課題の抽出

前述した内容をふまえ、本業務における課題を以下の通り抽出した。

- ・ 構造的特徴や社会的制約をふまえ、交通影響を最小限に抑えつつ、PC鋼材の腐食リスクや残存性能に関する信頼性の高い情報を取得すること
- ・ 供用120年を見据えた長期安全性を確保しつつ、工事の手戻り防止等についても配慮した合理的な対策を立案すること

#### 4. 課題解決に向けた技術的対応

##### (1) 効率的かつ効果的な調査計画の立案

補修設計に必要な調査項目を整理するため、既存資料の収集や関係者ヒアリングにより、基本条件や構造的特徴を把握し、損傷原因の推定を行った。竣工図書からPC鋼材の配置を確認し、補修・調査履歴から床版防水の対策状況等を把握した。加えて、管理者へのヒアリングにより、冬季の凍結防止剤の散布頻度が少ないことなどを確認した。また、調査の効率化を図るため、橋梁全体の損傷傾向を把握する予備調査を実施し、その結果に基づいて詳細調査を計画する二段階調査を立案した。

##### (2) 予備調査の実施

予備調査としてドローンによる上部工全体の外観調査を実施し、全径間にわたる損傷状況を把握した結果、主桁支間中央における曲げひび割れなど、耐荷力の低下が懸念される損傷は確認されなかった。

一方、PC鋼材に沿ったひび割れが外桁（G1, G4）に多い傾向であることを確認した。（図-7）

この損傷傾向について、橋面勾配等の影響によって雨水が集中し、外桁側に浸透している可能性が高いと分析した。

##### (3) 詳細調査項目及び対象の選定

グラウト注入規定やPC定着方式の変遷、床版防水機能の劣化といった構造的リスクの観点から、グラウトの充填不足に起因するシース内およびPC鋼材の腐食進行が損傷の主な原因であると推定した。これをふまえ、詳細調査の実施にあたり必要な調査項目を表-1のとおり整理した。

表-1 調査項目

調査・試験内容	調査箇所（1主桁）
鋼材探査	<ul style="list-style-type: none"> <li>ウェブ曲げ上げ部：2箇所</li> <li>下フランジ部：1箇所</li> </ul>
削孔・CCD調査	
簡易塩分試験	

詳細調査の対象主桁は、予備調査結果よりスクリーニングを行い、最も損傷している可能性が高いと考えられる外桁（G1）を選定した。また、調査結果を客観的に比較・検討するため、健全部の外桁についても調査対象とした。

本橋の各主桁は、1～6径間と7～9径間で径間長やPC鋼材の配置等に違いがあることから、各構造形式から健全部と損傷部を1径間ずつ選定した。これに

より、調査結果の妥当性確保と、調査対象数の最小化による効率性の両立を図った。（表-2）

表-2 調査対象の抽出

調査箇所	調査対象
損傷部	第3径間G1主桁、第9径間G1主桁
健全部	第4径間G1主桁、第8径間G1主桁

##### (4) 損傷要因の分析と対策方針の立案

各種調査結果について表-3に示す。

表-3 各種調査結果

調査箇所	シース状況	グラウト充填状況	PC鋼材健全度	塩分簡易ふき取り法	水の浸透跡	
3径間G1桁（損傷部）	曲げ上げ部	著しい腐食	充填不良	2	無し	無し
	下フランジ下面	健全	充填	1	150ppm	無し
4径間G1桁（健全部）	曲げ上げ部	健全	充填不良	1	200ppm以上	無し
	下フランジ下面	健全	充填	-	-	無し
9径間G1桁（損傷部）	曲げ上げ部	健全	充填	1	無し	無し
	下フランジ下面	軽微な腐食	充填不良	2	無し	無し
8径間G1桁（健全部）	曲げ上げ部	健全	充填不良	1	200ppm	無し
	下フランジ下面	健全	充填	-	-	無し

##### a) 損傷要因の分析

本調査結果より、曲げ上げ部及び下フランジ部でのPC鋼材及びシースの損傷状況と、劣化因子の影響について以下の通り分析した。

<曲げ上げ部>

3径間目ではグラウト充填不足とPC鋼材の腐食（鋼材健全度：2）が生じており、特に、シースに著しい腐食が確認されたことから、ひび割れの原因がシースの腐食によるものと分析した。なお、シース内外面ともに水の浸入が確認されなかったことから、シースの腐食は竣工後から床版防水施工（既存資料より確認できたのは平成8年度）までの期間に路面から雨水が浸透し、上縁定着部よりシース内面またはシース外面を伝ったことにより生じた可能性が高いと分析した。

一方、9径間目ではシースおよびPC鋼材に腐食は生じておらず、また、グラウトが充填されていた。このため、9径間目のひび割れの主因は内部鋼材の腐食ではなく、被り厚不足や施工時のシース内圧、プレストレス導入時の局所的な応力集中等による初期損傷の可能性が高いと分析した。

また、健全部では、シース・PC鋼材の腐食は生じていないが、グラウトの充填不足が確認された。このため、曲げ上げ部では健全部においてもグラウト充填不足が生じている可能性が高いと分析した。

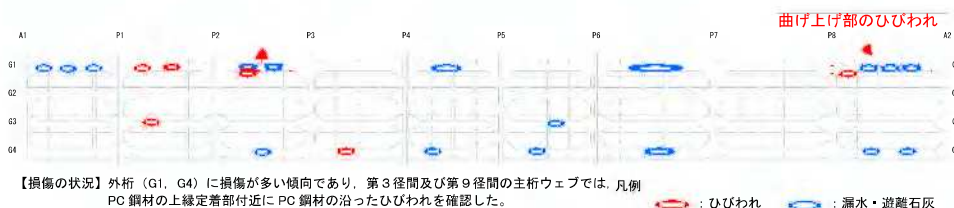


図-7 PC鋼材に沿ったひびわれ位置

<下フランジ部>

9径間G1桁は、グラウト充填不足によるシーす及びPC鋼材の軽微な腐食を確認したため、ひび割れの原因がシーす腐食によるものと分析した。一方、9径間目以外については、健全部・損傷部ともにシーす・PC鋼材の腐食やグラウト充填不足がないことを確認した。このため、下フランジ部では比較的グラウト充填不足が生じている可能性は低いと分析した。

<劣化因子の影響>

本調査においては、全対象でシーす内外への水の浸入は確認されなかった。従って、現時点では橋面からの水の影響は生じていないと分析した。また、PC鋼材への塩分付着について、健全部・損傷部を問わず確認された。このことから、当該塩分付着は、外観上の損傷部や上縁定着部といった構造的特徴に必ずしも起因せず、塩分が付着している可能性があるとして評価した。従って、対策方針の立案時は塩分付着の影響を考慮する必要があると分析した。

b) 対策方針の立案

損傷部の腐食は最大で【健全度2】であり、鋼材の断面欠損が生じていないことから、客観的な指標より耐荷性能に問題はないと評価した。(図-8)

加えて、健全部においてはシーす及びPC鋼材の腐食は確認されず、主桁支間中央の曲げひび割れ等の耐荷力の低下に起因する損傷が生じていないことを確認した。このことから、主桁の耐荷力低下が懸念されるようなPC鋼材の腐食は生じていない可能性が高いと考え、上部工の補強対策は不要と評価した。

また、シーす内外面ともに水の浸入が確認されなかったことから、路面からの雨水浸透に対する床版防水機能は保持されていると判断した。このため、耐久性に優れた高性能床版防水等の適用は不要であり、従来の舗装打換え等に併せた定期的な床版防水の施工で対応可能と評価した。

一方、グラウト充填不足やPC鋼材への塩分付着は、健全部・損傷部によらず広く確認されていた。このため、コンクリートとの一体化およびPC鋼材の腐食防止による長期的な安全性の確保する必要があると評価し、グラウト再注入工による補修対策を検討した。

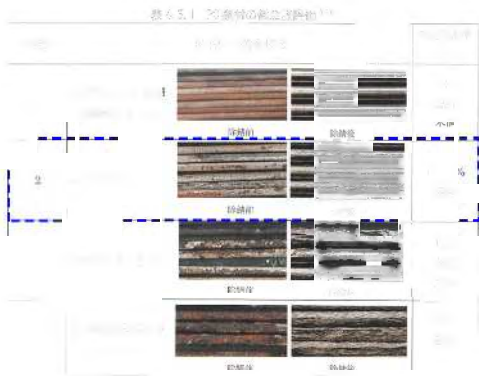


図-8 PC鋼材の健全度評価<sup>2)</sup>



写真-3 CCD調査結果(曲げ上げ部)

(5) 工事の手戻り防止等に配慮した補修工法の検討

補修工法の選定では、今後の劣化進行や施工時と調査結果との差異が生じた場合を配慮し、PC鋼材腐食の有無と塩分の有無に応じた柔軟な対応が可能となるグラウト再注入工法を選定した。



図-9 グラウト再注入工法(リパッシュ工法)<sup>1)</sup>

5. 本成果

効率的かつ的確な調査・設計により、構造安全性と長期供用性の確保かつ工事の手戻り防止等に配慮した対策を合理的に立案・実行できた。

本成果は、同様の年代・形式を有するPC橋梁に対し、汎用可能な調査・設計手法と考える。

6. 今後の課題

本業務においては、PCグラウトの充填有無を効率的に把握するため、削孔調査に加えて非破壊検査手法のインパクトエコー法を活用した調査も実施した。

なお、車両通行に伴う振動の影響等により作業性が低下したため、計画時に期待していたグラウト充填調査の効率化の効果は十分に得られなかった。

本業務で得られた知見を踏まえ、今後は非破壊検査と削孔調査を適切に組み合わせることで、調査の効率性と確実性を両立させ、補修工事における手戻りを低減できる設計の実施につなげていきたい。

参考文献

- 1) 公益社団法人プレストレストコンクリート工学会 既設PCポストテンション橋保全技術指針, 2022.
- 2) (一社)プレストレストコンクリート建設業協会 プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き(PCグラウト再注入工法), 2020.