

# 実務者のための PC グラウト再注入工法の手引き

毛利 忠弘<sup>\*1</sup>・堀越 直樹<sup>\*2</sup>・北野 勇一<sup>\*3</sup>・木下 拓三<sup>\*4</sup>

本稿では、2020年4月に一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会より発刊された「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]<sup>1)</sup>」の概要について述べる。最初に、本手引きの発刊経緯について述べたあと、PC グラウトの充填調査・対策のフローに沿って、PC グラウト充填不足が疑われる変状の確認、調査対象橋梁の特定、PC グラウト充填調査および対策要否の判定、および、PC グラウト再注入の施工を中心に重要となるポイントについて解説する。

キーワード：PC 橋、ポストテンション方式、PC グラウト充填調査、PC グラウト再注入

## 1. はじめに

PC 橋は、高強度コンクリートを使用し、PC 鋼材の緊張力によってプレストレスを導入してひび割れを抑制するため、耐久性に優れた構造物であり、わが国に初めてポストテンション方式 PC 橋が建設されてから 67 年が経過した今日でも重要な社会インフラとして広く使用されている。一方、一部の既設 PC 橋では、PC グラウトの充填不足などの不具合も報告されており、とくに道路橋において凍結防止剤の散布による塩害など建設当初に想定しなかった使用環境によって加速度的な劣化促進が懸念されている。そのような環境下において、PC グラウトの充填不足が要因となり上縁定着部などから塩化物や水分が浸入することで起きる PC 鋼材の腐食や破断が問題となっている。こうした課題への対応として、公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会から 2016 年に「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<sup>2)</sup>」（以下、指針という）が発刊され、PC 橋の調査から補修・補強にいたる方針が示された。

PC グラウトの充填不足による劣化損傷は、橋梁ごとに状況が異なり、その補修・補強は損傷状況に応じた柔軟な現場対応が求められる。PC グラウト再注入に関して、指針では述べられていなかった実務者が参考とする手引き書が必要と考えた。そこで、プレストレスト・コンクリート建設業協会保全補修部会では、「PC グラウト充填不足による PC 鋼材腐食の防止技術の検討ワーキング」を立ち上げ、「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]」（以下、本手引きという）を作成することにした。

本手引きは、PC グラウト充填不足の調査計画立案や PC グラウト再注入の施工計画を作成する際に手元において活

用できるように必要な情報を一冊にまとめた。また、発注者、コンサルタント、施工者など、さまざまな人が利用することを想定し、わかりやく記述するとともに明瞭かつ簡潔に記述するように努めた。

以下に、本手引きを作成した際の方針について列記する。

- ・ PC グラウト充填不足の調査・対策の手順を示し、実施すべきことを明確にする。
- ・ PC グラウト充填不足の調査と充填不足区間の特定に対して基本となる考え方を示す。
- ・ PC 鋼材の健全度評価や耐力評価に対して基本となる考え方を示す。
- ・ PC グラウト再注入の計画と施工に関する必要かつ有益な情報を記載する。
- ・ 最新の知見や有益な資料を巻末にまとめる。

## 2. PC グラウトの充填調査・対策の手順

本手引きは、ポストテンション方式 PC 橋において、PC グラウト充填調査および PC グラウト再注入の計画・施工に利用することを目的とする。PC グラウトの充填調査・対策の手順は、図 - 1 に示すように、大きく 4 つの判定および作業に分かれている。

まず、「PC グラウト充填不足が疑われる変状の確認」により、「シース沿い変状の確認」を行い、PC グラウト充填不足が疑われるか否かを判定する。

次に、「調査対象橋梁の特定」により、「外観調査」と「書類調査」の結果を基に「PC グラウト充填調査の優先度の判定」を行う。

そして、「PC グラウト充填調査および対策要否の判定」により、「PC グラウト充填調査」を実施し、「PC グラウト充填調査の結果整理」により、充填不足の有無を確定する。充填不足の箇所に対して、「PC 鋼材の腐食・破断の調査」

<sup>\*1</sup> Tadahiro MOHRI : (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 (ドーピー建設工業 (株))

<sup>\*2</sup> Naoki HORIKOSHI : (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 (オリエンタル白石 (株))

<sup>\*3</sup> Yuichi KITANO : (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 (川田建設 (株))

<sup>\*4</sup> Takuzou KINOSHITA : (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 (コアツ工業 (株))

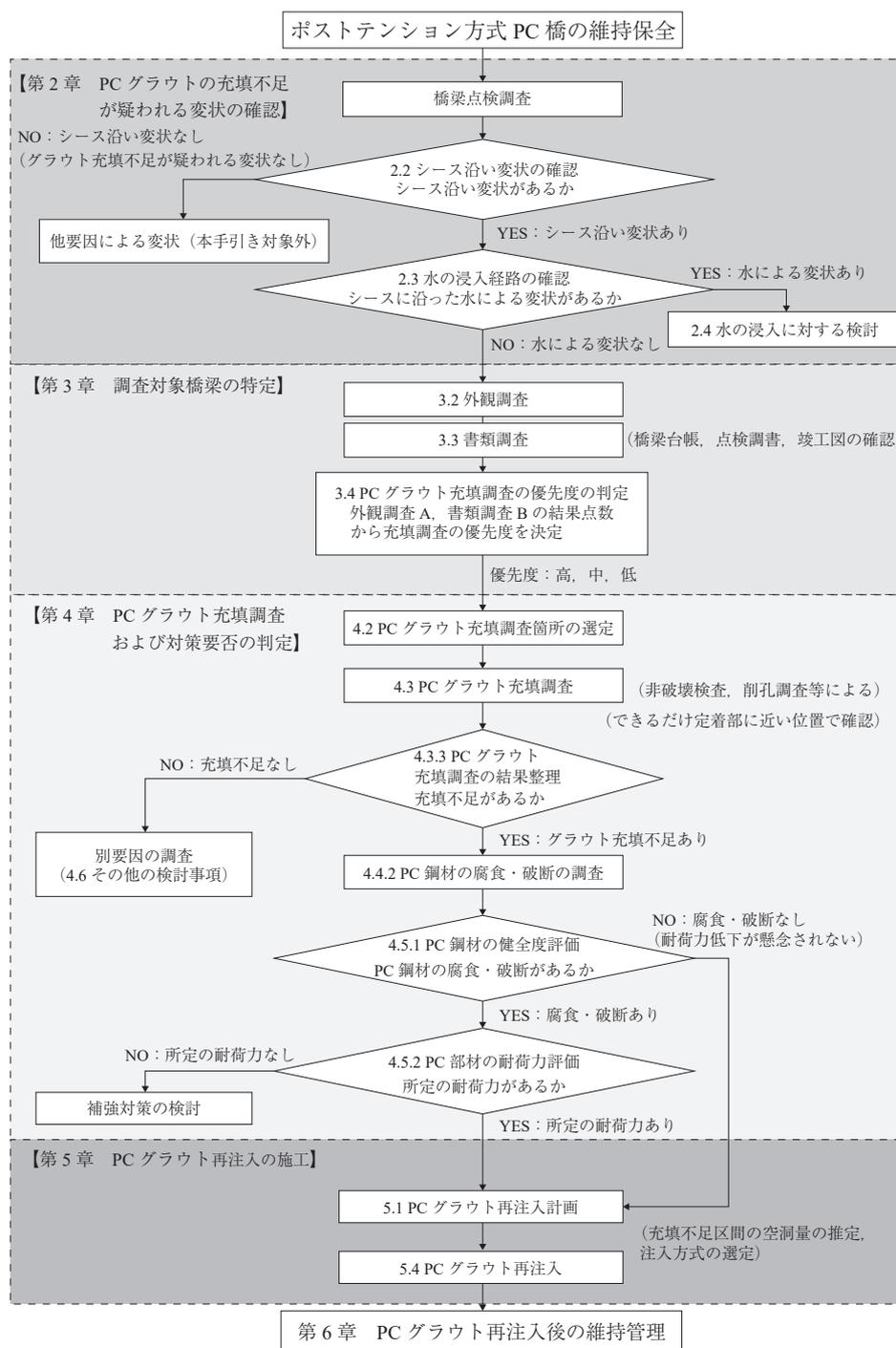


図 - 1 PC グラウトの充填調査・対策のフロー

を行い、腐食・破断の有無および程度から、必要に応じて「PC 部材の耐力評価」を行い、所定の耐力があるか否かを判定する。

再注入計画は、「PC グラウト再注入計画」により、充填不足区間の空洞量を推定し、注入方式を選定する。再注入作業は、「PC グラウト再注入」により、前処理、削孔、注入口・排出口の取付け、PC グラウト再注入作業、あと処理における留意点に注意して施工を行う。管理は、「品質管理および施工管理」により、施工プロセスに沿った管理項目について確認方法、頻度、判定基準を定めて記録し、

計画書どおり施工が実施されたことを確認する。また、チェックリストにより、エラーの未然防止を行う。充填状況は、「PC グラウト充填状況の確認」により、注入作業中から注入作業後において充填確認を行い、確実に PC グラウト充填が実施されたことを証明する。

注意点として、フローは、効率的に PC グラウト充填不足を見つけることを目的に、シース沿い変状の確認を出発点にしている。そのため、シース沿い変状が発生する前の PC グラウト充填調査・点検などについては、管理者の維持管理方針により、別の決められた手順を参照されたい。

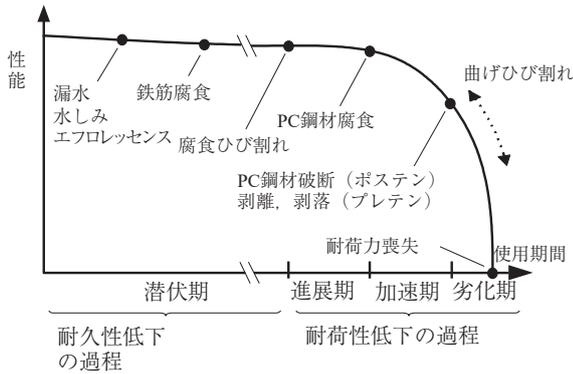


図 - 2 PC 構造物の劣化シナリオの例

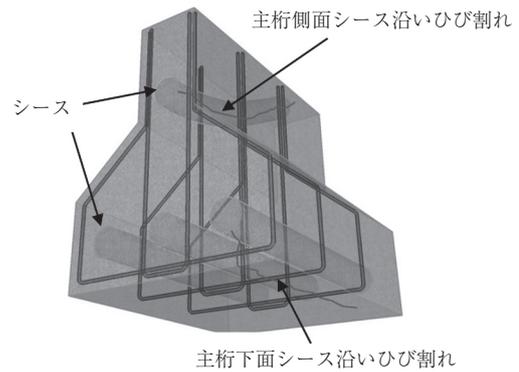


図 - 3 シース沿いひび割れの説明

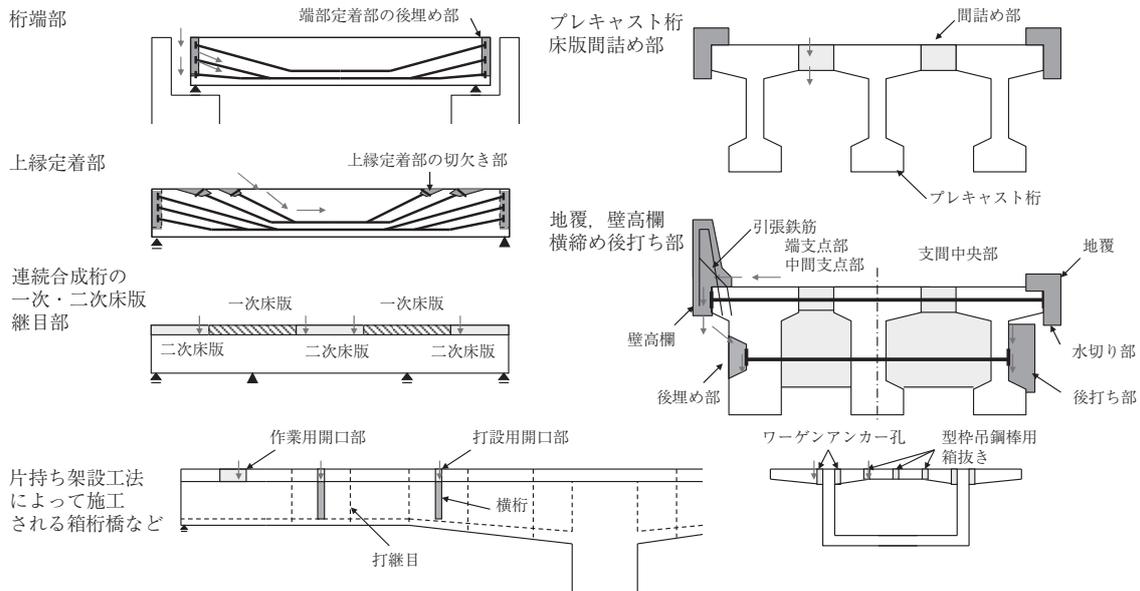


図 - 4 水の浸入経路に着目した点検例

なお、本手引きの記述は、構造的にもっとも重要な主ケーブルを対象とし、主ケーブル以外の PC 鋼材への適用に関しては、記述の主旨を理解して本手引きを適切に参照していただきたい。本手引きに記載されていない事項は、「PC グラウトの設計施工指針<sup>3)</sup>」や「PC グラウト & プレグラウト PC 鋼材 施工マニュアル 2013 改訂版<sup>4)</sup>」に準じるものとする。

### 3. PC グラウト充填不足が疑われる変状の確認

本手引きにおいて、PC 構造物の維持保全は、予防保全を目的とし、PC 鋼材の劣化が顕在化する前に対策を講じる方針とする。図 - 2 に PC 構造物の劣化シナリオの例を示す。PC 構造物は、RC 構造物に比べ、構造的に性能が低下してからひび割れが発生することが多く、曲げひび割れが発生した段階では、すでに耐荷性能が低下しているおそれがある。とりわけ、PC グラウト充填不足を抱えた PC 構造物では、PC 鋼材の耐久性が不足することに加え、コンクリートと PC 鋼材の付着一体性が不足し、供用荷重に対しては、問題とならなくても終局耐力が不足することも想

定される。以上により、PC 橋の維持保全にあたっては、PC 鋼材の劣化が顕在化する前に PC グラウト充填不足が疑われる変状を発見できるように点検および診断を行うことが重要である。

PC グラウト充填不足が疑われる変状を目視点検により把握するには、① シース沿い変状、② 水の浸入経路に着目する方法がある。シース沿い変状とは、PC シースに沿ったひび割れ、エフロレッセンス、水しみなどの変状のことをいう。シースに沿ったひび割れは、発生部位により、「主桁下面シース沿いひび割れ」「主桁側面シース沿いひび割れ」と呼ぶことにした(図 - 3)。

シース沿い変状が認められた場合は、水の浸入経路を推定する。図 - 4 に水の浸入経路に着目した点検例を示す。水の浸入経路としては次のような例が想定される。

- ・桁端部の漏水が主ケーブル定着部の後埋め部に浸入する。
- ・橋面上の滞水が上縁定着部の切欠き部に浸入する。
- ・連続合成桁の一次・二次床版の継目あるいはプレキャスト桁床版間詰め部から水が浸入する。
- ・床版上面を伝わって地覆との境界部に水が浸入する。

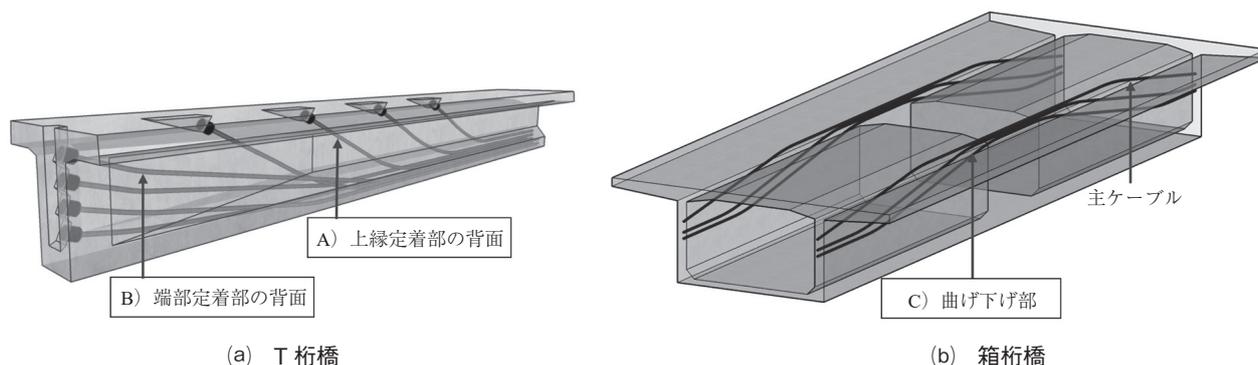


図 - 5 PC グラウト充填不足が疑われる箇所

表 - 1 チェックシートの記入例

橋梁名	表2.3.4 シース (PC鋼材) に沿った水の浸入による変状事例 (その4) 参照		調査日	2019年12月6日	
所在地	〇〇県〇〇市		竣工年	1991年3月	
橋梁形式	PC3径間連続箱桁橋		積雪凍結地域	<input checked="" type="checkbox"/>	凍結抑制剤散布
1. 主ケーブル					チェック欄
外観調査	シース沿いひび割れの状態	エフロレンスが見られるか?	<input checked="" type="checkbox"/>		
		漏水が見られるか?	<input checked="" type="checkbox"/>		
		錆汁が見られるか?	<input type="checkbox"/>		
		チェックの数	A ( 2 )		
書類調査	定着方法	上縁定着があるか	<input checked="" type="checkbox"/>		
	PCグラウトのタイプ	1996年より前の施工で、旧タイプのPCグラウト (プリーディング率規定) を使用したか?	<input checked="" type="checkbox"/>		
			チェックの数	B ( 2 )	
A ≥ 1 and B ≥ 1 の場合「高」、A ≥ 1 and B = 0 の場合「中」、A = 0 の場合「低」			高	中	低

・作業用開口部や打設用開口部、ワーゲンアンカー孔、その他の箱抜きに水が浸入する。

とくに、注意すべきは、水の浸入経路に PC 鋼材が配置され、かつ、PC グラウト充填不足により生じた空洞部に水と塩化物イオンが多く供給される場合であり、PC 鋼材の劣化進行を防止するためにも、できるだけ早い段階で「水」に関する変状を発見し、予防保全対策につなげることが重要である。

#### 4. 調査対象橋梁の特定

本手引きにおいて調査対象橋梁の特定の手順は、外観調査と書類調査により PC グラウト充填不足が疑われる橋梁および箇所を特定したうえで、PC グラウトの充填調査の優先度を判定することを基本とする。

たとえば、PC グラウト充填不足が疑われる橋梁は、①上縁定着のあるポストテンション方式単純 T 桁橋および箱桁橋、② PC 鋼棒を使用した片持ち張出し架設による箱桁橋、③ 1996 年より前の施工で古い基準の PC グラウトを使用した橋梁である。これらの橋梁において PC グラウト充填不足が疑われる箇所は、A) ウェブ PC 鋼材の上縁

表 - 2 チェックシート点数の組合せパターン

	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4
外観調査点数 A	≥ 1	≥ 1	0	0
書類調査点数 B	≥ 1	0	≥ 1	0
PC グラウト充填調査の優先度	高	中	低	低

定着部の背面、B) ウェブ PC 鋼材の端部定着部の背面、C) ウェブ PC 鋼材の中間支点部の曲げ下げ部などである (図 - 5)。

PC グラウト充填調査の優先度の判定は、表 - 1 に示す「PC グラウト充填調査の優先度判定チェックシート (チェックシート)」により行うものとする。このチェックシートの使い方は、外観調査と書類調査のそれぞれのチェック項目に対して該当する場合にチェックマークを入れ、外観調査で該当する数 A と書類調査で該当する数 B を集計する。そして、点数 A と点数 B の組合せパターンにより PC グラウト充填調査の優先度を「高」、「中」、「低」に分類する (表 - 2)。

## 5. PC グラウト充填調査および対策要否の判定

PC グラウトの充填調査は、PC グラウト充填不足の有無や程度を把握すること、および詳細調査により対策要否の判定を行うことを目的とする。

### 5.1 PC グラウトの充填調査

PC グラウト充填調査は、主桁下面や主桁側面にシース沿い変状（写真 - 1）が確認されたPC 鋼材について実施する。調査箇所は、前出図 - 5 に示したように、単純桁においてPC 鋼材の両端部の定着部付近、連続桁において両端部および中間支点上のPC 鋼材曲げ下げ部について行うことを基本とする。

PC グラウト充填調査手法には、非破壊調査と微破壊調査によるものがある。現在、主ケーブルのPC グラウトの充填状態を確認できる非破壊検査方法としては、放射線透過法、広帯域超音波法、インパクトエコー法があげられる。各方法とも対応できる部材厚、シースのかぶり深さ、シース径や配置間隔など適用条件がそれぞれ異なることから（表 - 3）、適用に際しては各方法の特性に留意し調査方法を選定する必要がある。一方、微破壊試験には、古くより削孔調査法や通気法が採用されてきた。ただし、シース内部に水が滞留していた場合は、水を排出したことによりPC 鋼材の腐食を進行させる可能性があるため、PC グラウト充填不足が認められた場合にPC グラウト再注入を速やかに実施することを前提として調査を行う。

PC グラウト充填調査の結果は、表 - 4 に示すようにPC グラウト充填度を分類したうえで、図面などに記録する。調査対象ケーブル内に「充填不足」、「未充填」の箇所がある場合は、充填不足区間などを図面に明記する（図 - 6）。

なお、調査の結果、PC グラウト充填不足が確認された場合は、シース沿い変状が生じていないほかのPC 鋼材についても追加調査を行う。

### 5.2 詳細調査および対策要否の判定

詳細調査は、PC グラウト充填不足が認められた箇所について行うものとする。調査項目は、PC 鋼材の腐食・破断状況および必要に応じてシース内に供給される塩化物イオン量とする。現時点では、PC 鋼材の腐食状況や破断本数を非破壊検査で検知することは困難なため、削孔目視調査により確認する。なお、調査箇所数の絞込みには、非破壊検査を用いることが有効である。

PC 部材の補強対策の必要性は、詳細調査に基づき、PC 部材の耐荷力評価を行った結果から判断する。本手引きでは、PC 鋼材の孔食を生じさせない（表 - 5 の健全度 2 に留める）ように維持管理することが望ましいとした。なお、耐荷力評価の具体については本手引きを参照されたい。

## 6. PC グラウト再注入の施工

### 6.1 PC グラウト再注入計画

PC グラウトの再注入は、新設PC グラウトとの違いなどに留意のうえ、PC グラウト充填調査の結果に基づき、適切な注入方法、材料および機材を選定する。



写真 - 1 主桁側面シース沿い変状例

表 - 3 PC グラウト充填調査方法の適用条件

調査方法	適用条件
放射線透過法	・部材厚さ 400 mm 程度未満 ・調査面の両側に機器を設置するスペースおよび作業空間が必要
広帯域超音波法	・シース径 38 mm 以上 ・シースかぶり 250 mm 以下 ・シース配置間隔 110 mm 以上 ・鉄筋配置間隔 125 mm 以上
インパクトエコー法	・空隙の大きさ／空隙の深さが 0.25 程度以上（シース径の 4 倍程度まで）

表 - 4 PC グラウト充填度の分類

分類	説明	例
充填	PC 鋼材がすべて PC グラウトで覆われている。	
充填不足	シース内の PC グラウトの充填が不十分であり、PC 鋼材が露出している。	
未充填	PC グラウトが充填されておらず、PC 鋼材が完全に露出している。	

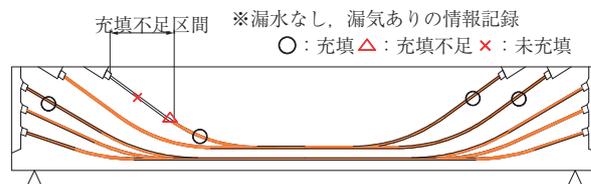


図 - 6 PC グラウト充填調査結果の整理（参考）

表 - 5 PC 鋼材の健全度評価

健全度	PC 鋼材の腐食状況	質量減少率の目安
1	錆があるが、薄錆（表面錆）である	1% 程度未満
2	点状の錆が目立つ	1 ~ 2.5% 程度
3	断面欠損が目立つ	10% 程度未満
4	PC 鋼材の径が小さくなっている	10% 程度以上

とくに、PCグラウト再注入計画にあたっては、下記の事項に十分留意する必要がある。

- 1) 空洞状態が不明確な場合がある。
- 2) 充填不足部の空隙が十分確保されていない場合がある。
- 3) 定着端部にグラウトホースを設置することができない。
- 4) 既設シース内に塩化物イオンが存在する場合がある。
- 5) 現場条件により資機材の大きさ・重さに制約が発生する場合がある。
- 6) ひび割れや欠損などによる漏気および注入漏れが発生する場合がある。

1) については、PCグラウトの充填不足区間における空洞量を適切な方法によって推定する必要がある。空洞量の推定方法としては、空洞区間の長さおよび空洞断面の情報から推定する方法（削孔法、検測尺法）と、シース内の空洞量を直接測定する方法（真空法、空圧法）がある。参考までに、真空法の調査概要を図-7に示す。

2) と3) については、PCグラウト再注入方法を注入する空洞部の状況や通気の有無、PCグラウト材料の充填性や施工性などを考慮し（図-8）、①真空ポンプ併用方式、②圧入方式、③自然流下方式より選定する。

4) については、既設PCグラウト部に塩化物イオンが含まれていると、再注入PCグラウトとの塩化物イオン含有量などの差異が生じ、その境界部において比較的早期にマクロセル腐食が生じることが懸念されている。再注入後の再劣化対策として、本手引きの発刊時点において提案されている各工法の概要を本手引き付録-3～5に収録しているので参照されたい。

5) に関し、真空グラウト専用の機材は一般に大型で、箱桁内部などへ搬入できない場合があるので、選定にあたっては注意する必要がある。

6) については、PCグラウト漏出の原因となるひび割れなどの変状がある場合、これを事前に適切な方法（ひび割れ注入や断面修復）により処理する必要がある。

## 6.2 PCグラウト再注入

PCグラウトの再注入は、「PCグラウト再注入計画」に基づき適切に施工する。PCグラウトの再注入は、前処理、削孔、削孔穴の清掃およびシース内残留水の除去、注入・排出口の設置、PCグラウト注入およびあと処理を基本作業とし、適切な材料、機材および施工方法により実施する（写真-2）。また、PCグラウト再注入の施工にあたっては、品質管理および施工管理を実施する。なお、PCグラウト充填調査および再注入事例として、PC単純T桁橋とPC連続箱桁橋の例を付録-1～2に収録しているため、詳細については本手引きを参照されたい。

## 7. おわりに

本手引きは、点検・調査・診断・対策実施というメンテナンスサイクルに沿って、PCグラウト充填不足が疑われる変状・損傷の確認に始まり、調査橋梁の特定、PCグラ

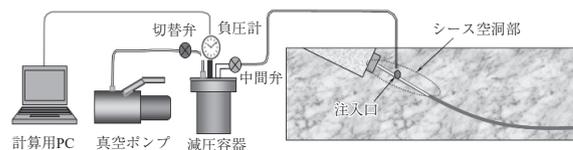


図-7 真空法による調査概要

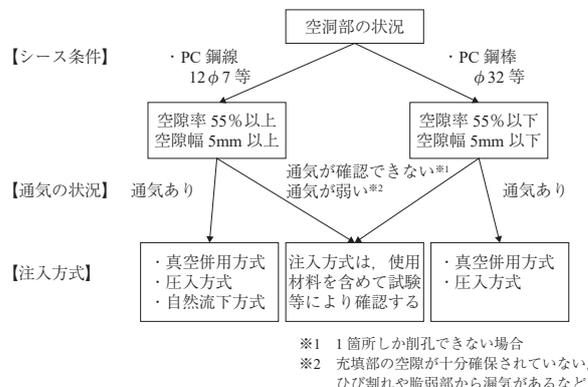


図-8 PCグラウト再注入方法の選定フローの参考例



写真-2 PCグラウト再注入作業（2穴方式）

ウト充填調査、PCグラウト再注入の計画・施工、維持管理について記述したものである。本手引きによって、PC技術者がPC橋に適切な対策を施し、末永く使い続けることで、健全な社会資本の維持管理に貢献できれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 一般社団法人プレストレスト・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]、2020.4
- 2) 公益社団法人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
- 3) 公益社団法人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
- 4) 一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会：「PCグラウト & プレグラウト PC鋼材 施工マニュアル 2013 改訂版、2013

【2021年2月22日受付】