

PC グラウト再注入工法による PC 橋の延命化への取り組み

石井 智大, 渡邊 晋也

既設のポストテンション方式のプレストレストコンクリート橋（以下、PC 橋）において、わが国では PC 鋼材の腐食や破断が顕在化しつつあり、諸外国では PC 鋼材の破断によって落橋に至った事例が報告されている。PC 鋼材の損傷は、PC グラウトの充填不足によることが大半であることがわかっており、PC グラウトの充填不足が確認された PC 橋の対策として、PC グラウト再注入工法がある。施工技術総合研究所では、過年度に PC グラウト充填不足の発生原因の究明や、PC グラウト再注入工法の検証実験を実施してきた。本稿では、PC 鋼材の曲げ上げ部や定着部を再現した透明 PC シース試験体を作製し、PC グラウト再注入工法の充填性確認を実施した事例について紹介する。

キーワード：PC 橋、ポストテンション方式、PC グラウト再注入工法、上縁定着部

1. はじめに

海外からプレストレストコンクリートの技術が導入された黎明期から高度経済成長期にかけて建設された PC 橋において、PC 鋼材の腐食や破断が報告されはじめている。PC 鋼材の損傷要因としては、PC グラウトの充填不足によることが大半を占めている。すなわち、PC グラウトが適切に施工されていない場合、PC シース内に腐食因子の浸入が容易になり、乾湿の繰り返しが生じやすい環境となることから、腐食が進行し、いずれは破断に至ることが考えられる。PC 鋼材が破断することで、PC 橋が落橋に至る可能性が高くなることは明らかであり、実際に諸外国では落橋に至った事例が報告されている¹⁾。その代表例である 1985 年 12 月 4 日に発生した英国の Ynys-y-was 橋の落橋事故は、グラウト充填不足箇所への凍結防止剤に起因する塩化物イオンの浸入により PC 鋼材が腐食・破断して、突然落橋したと報告されている²⁾。これに端を発し、英国では 1992～96 年の間、グラウト充填を必要とする PC 橋の建設が禁止され、PC グラウトの重要性が世界的に大きく議論されることとなった。国内においても、PC 鋼材の腐食による破断で架け替えとなった事例が報告されている²⁾。原因としては、1990 年代前半まではブリーディングが発生するグラウト材が使用されており、これが PC グラウト充填不足を引き起こす一因であることが指摘されている。そこで当研究所では再現実験を行い、PC グラウトの先流れ現象や硬化に伴うブリーディングの発生、

PC グラウトの収縮などにより空隙が生じ、グラウトの未充填箇所が発生する可能性があることを確認している。

現在では、PC 鋼材の腐食や PC グラウトの充填不足が確認された PC 橋の延命化として、PC グラウト再注入工法が検討されており、実橋への適用がされ始めている。この検討において当研究所では、PC グラウト再注入工法の管理精度向上や確実な充填を実現するための検証実験を実施してきた³⁾。本稿では、一般的に用いられている PC グラウト再注入工法について充填性能を検証した事例について紹介する。

2. PC グラウト再注入工法の概要

現在、一般的に用いられている PC グラウト再注入工法は、図-1 に示すプロセスで工事が行われている。PC グラウトの充填状況調査は非破壊で行われることが一般的で、「衝撃弾性波法（図-2）」「インパクトエコー法（図-3）」「X 線透過法（図-4）」「広帯域

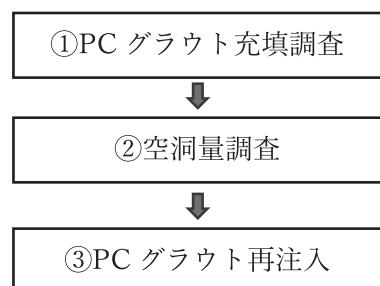


図-1 PC グラウト再注入工法のプロセス

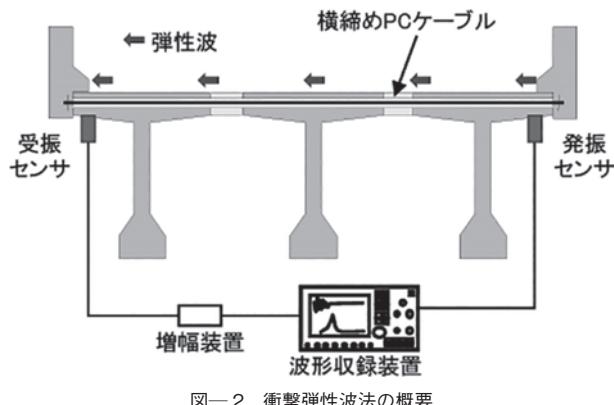


図-2 衝撃弾性波法の概要

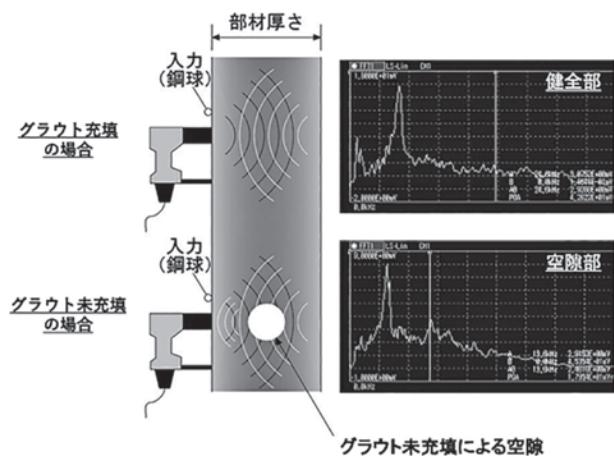


図-3 インパクトエコー法の概要

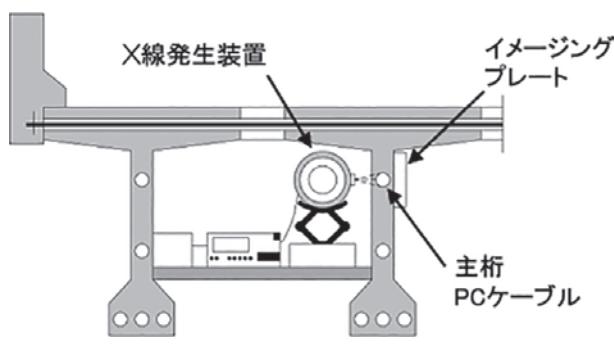


図-4 X線透過法の概要

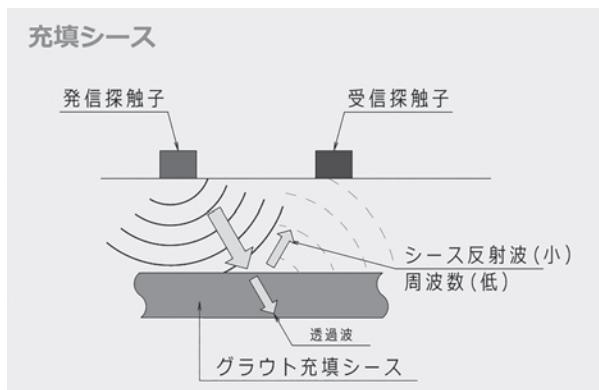


図-5 広帯域超音波法の概要

超音波法（図-5）などの検査方法があり、対象構造物の橋梁形式などによって選択されている。

PC グラウト充填状況調査により PC グラウトの充填不足が検出された箇所に対しては、PC グラウトの再注入量を把握するために空洞量の調査が行われている。空洞量調査の方法は、「空圧法（図-6）」「真空法（図-7）」の2工法が一般的に用いられており、適宜選択されている。

空洞量推定が完了した PC グラウトの充填不足箇所に対しては、表-1に示される PC グラウト再注入工法でのグラウト再注入が行われている。現行の PC グラウト再注入工法は、「圧入方式（図-8）」「真空併用方式（図-9）」「自然流下方式（図-10）」の注入方式に加え、腐食が発生した PC 鋼材の保護にも着目した「防錆剤（亜硝酸リチウムなど）」「塩分固定化剤」などの材料を添加したグラウト材が用いられている。最近では、腐食発生リスクが大きい場合には、PC グラウト充填不足箇所を PC グラウト注入前に亜硝酸リチウム水溶液の注入・排出を行い、PC 鋼材に防錆剤を付着させる工法も検討されている。これらの PC グラウト再注入工法は、PC グラウト充填不足が検出された箇所の位置、PC 鋼材の腐食や構造物の損傷の程度、環境条件などによって選択されている⁴⁾。

3. PC グラウト再注入工法の充填性能確認試験

施工技術総合研究所で実験した、各種再注入工法に対する充填性能を確かめるための PC グラウト再注入工法の注入実験の概要を紹介する。

(1) 実験概要

ポストテンション方式の PC 橋における PC 鋼材の定着には定着具を設置する位置によって上縁定着と端

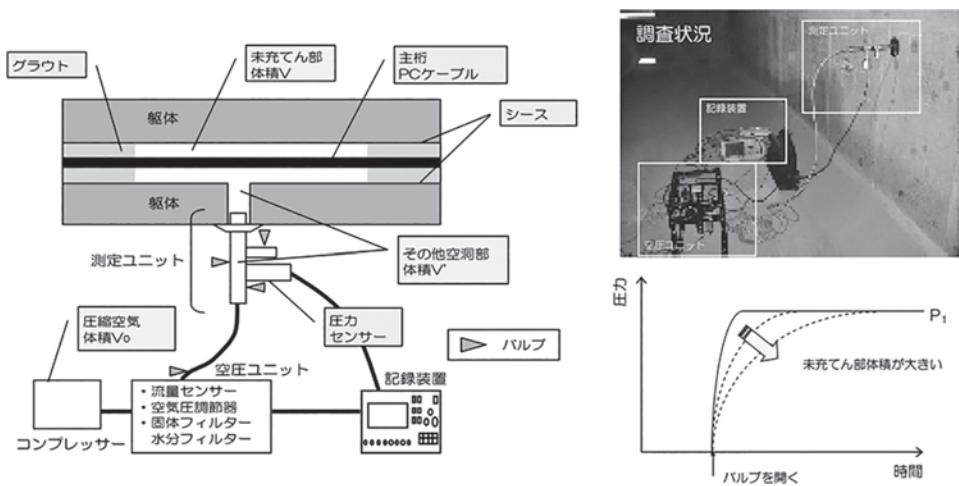


図-6 空圧法の概要

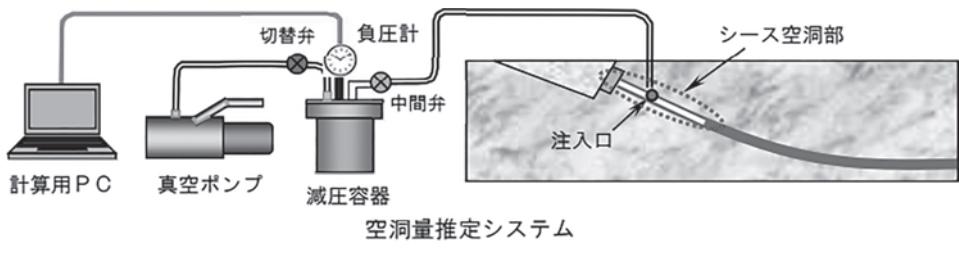


図-7 真空法の概要

表-1 PC グラウト再注入工法の圧入方式と使用材料

工法	A 工法	B 工法	C 工法
注入方式	圧入方式	真空方式	自然流加方式
PC 鋼材の保護	防錆剤添加	塩分固定化剤添加	亜硝酸リチウム添加

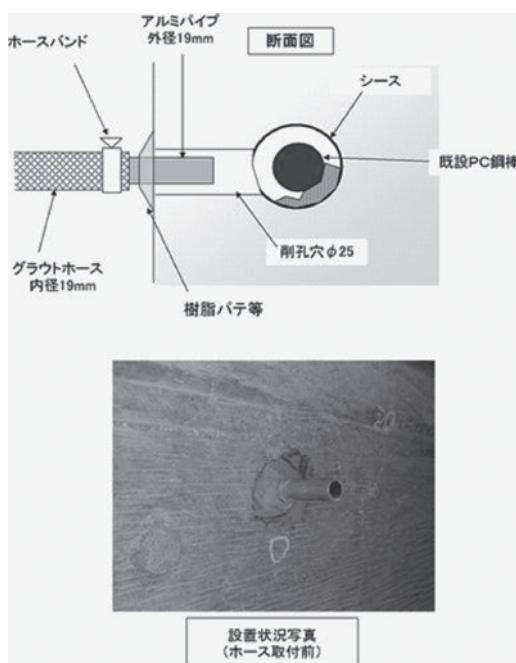


図-8 圧入方式の概要

部定着に分類される。1990年代以降は原則として端部定着を行うことになっているが、それ以前は端部定着が困難な場合に上縁定着が採用されていた。上縁定着では、凍結防止剤や雨水などが桁上面に配置された定着部からPCシース内に浸入しやすいことを考慮して、本実験では図-11に示すような、PCシースの曲げ上げ部から上縁定着部までを想定した試験体とした。また、上縁定着部は定着が床版内部にあるため、路面からの点検調査が困難であるため、実験では床版より低い位置になるウェブ部側面から施工することを想定した。上縁定着部はPCシースの最上部に位置するため、PCグラウトの材料分離により生じたブリーディング水や排気不良による空気が滞留しやすく、PCグラウト充填不足が発生しやすい箇所である。また、PCグラウト再注入を行う時も上側への排気が困難な箇所であると考えられる。

試験体は、PCシースを透明な塩ビ管、上縁定着部

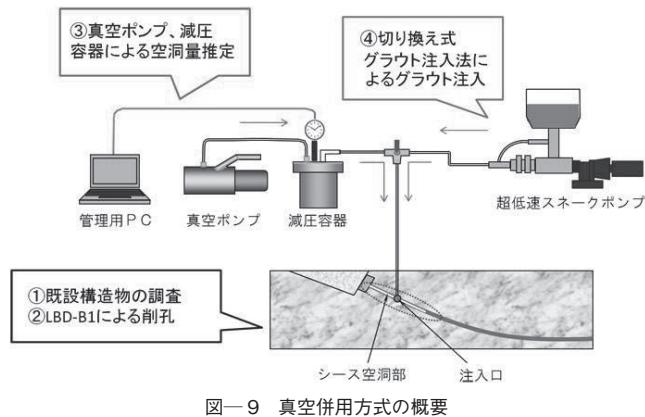


図-9 真空併用方式の概要

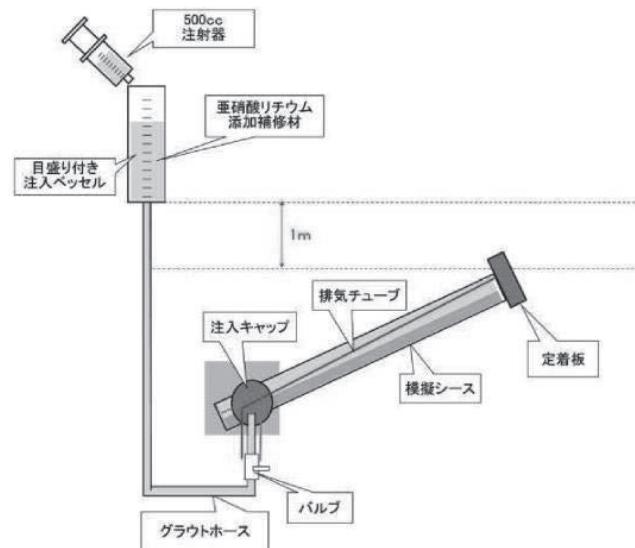


図-10 自然流下方式の概要

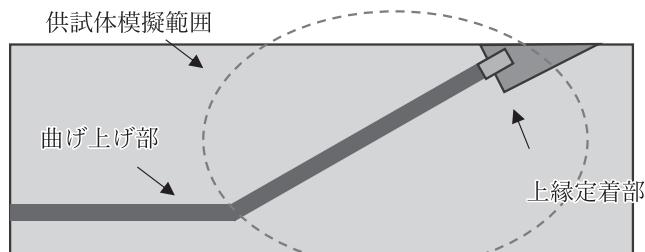


図-11 試験体概要

はポリエチレン樹脂を使用した透明な定着コーンを用いることで、PC グラウト充填の進行状況を常時目視で確認できる試験体とした。上縁定着部は図-12 に示すフレシネーコーン $12\phi 7$ としており、写真-1 に示すようにメスコーンとオスコーンに分けて作製し、グラウト材が通過できる定着部と PC 鋼材の隙間を再現した。

(2) 実験条件

検証実験は、一般的な PC グラウト再注入工法である「圧入方式」「真空併用方式」「自然流加方式」の 3

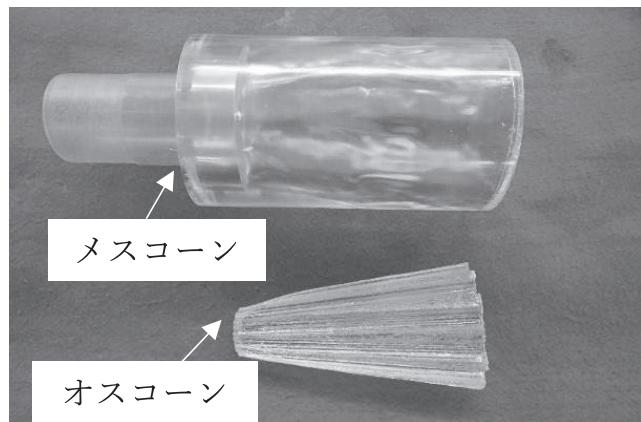
図-12 フレシネーコーン $12\phi 7$ 

写真-1 透明定着コーン



写真-2 試験体全景

工法とした。試験体は既設 PC グラウトの断面での充填率を 20%, 50%, 80% として、PC グラウト充填不足の状態を模擬した。PC グラウト再注入時の施工は、実橋での施工では PC グラウトの注入状況が目視では確認できないため、本実験においても、写真-2 に示すように、作業者から試験体が見えないように遮光シートを設置して PC グラウト再注入を実施した。

(3) 結果

既設 PC グラウトの充填率によらず、「圧入方式」「真空併用方式」の PC グラウト再注入工法では、定着部

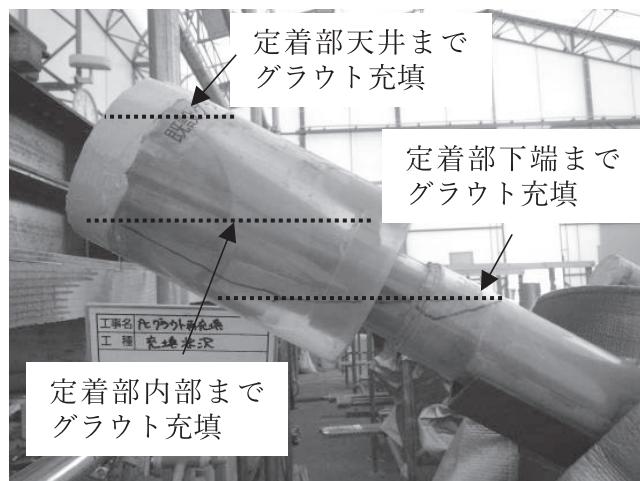


写真-3 定着コーンの充填状況例

内部や定着部の天井までグラウト材が充填される様子が確認され、ポンプを用いない「自然流加方式」のPCグラウト再注入工法では、定着部下端や定着部内部までグラウト材が充填される様子が確認された（写真-3）。このことから、現行のPCグラウト再注入工法は上縁定着部の下端まではPCグラウトが充填されるような充填性能を有していることが確認できた。

4. おわりに

今回の検証実験では、PC鋼材の上縁定着部付近の充填状況として、既設グラウトの充填条件によらず、いずれのPCグラウト再注入工法においても上縁定着部の下端までPCグラウトが再充填可能であることが確認された。

定着部の下端までグラウトが充填されていれば、定着部のPC鋼材が腐食により破断を生じても、再注入したPCグラウト材によってPC鋼材と桁本体の一体

化がある程度期待できるため、プレストレスの損失を大幅に抑制することが可能になる⁵⁾。このことから、PC橋の延命化のためには、グラウト充填不足箇所に対して、PC鋼材の腐食や破断が顕在化する前に、グラウト再注入を実施することが予防保全の観点から重要で、PCグラウト再注入工法を積極的に採用していくことが重要であると考えられる。

J C M A

《参考文献》

- 木敏彦、睦好宏史、渡辺浩良：PCグラウトの海外事情－海外における耐久性向上の取り組み－、プレストレストコンクリート Vol48, No.2, 2006
- 土木研究センター：PC鋼材の腐食損傷への対応事例－妙高大橋のグラウト未充填と鋼材腐食の調査－、土木技術資料, Vol.54, No.5, pp.50-51, 2012
- 村西信哉、長谷俊彦、渡邊晋也、深川直利：PCグラウト充填不足の状況に応じた再注入工法の適用性検討、第28回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.563-568, 2018. 11
- 海彰則、崎谷和也：道路橋既設ポストテンションPC桁のグラウト充填不良に対する補修について、平成25年度近畿地方整備局研究発表会 論文集、施工・安全管理対策部門: No.22, 平成25年7月
- 蒲和也、渡邊晋也、吉川直志、齊藤成彦：PCケーブルの破断がPC桁の耐荷性状に及ぼす影響：構造工学論文集, Vol.66A, pp.725-732, 2020

【筆者紹介】



石井 智大（いしい ともひろ）
(一社)日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 研究第二部
研究員



渡邊 晋也（わたなべ しんや）
(一社)日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 研究第二部
研究員