

PCグラウト充填不足の状況に応じた再注工法の適用性検討

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 工修 ○村西 信哉
 (株)高速道路総合技術研究所 正会員 長谷 俊彦
 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 正会員 工博 渡邊 晋也
 (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 深川 直利

Abstract : Insufficient PC grout has been confirmed in some existing PC bridges, and it is necessary to implement PC grout reinjection as a repair method to secure durability performance and take measures. In this study, test pieces simulating some situations of insufficient PC grout were prepared and reinjection experiments were performed. This paper discusses the applicability of the PC grout reinjection method in different filling shortage situations, and summarizes the results of examining the test method for evaluating the filling performance according to the reinjection method.

Key words : PC Grout Insufficient Filling, PC Grout Reinjection

1. はじめに

一部の既設 PC 橋において PC グラウトの充填不足が確認されており, 耐久性能を確保するため PC グラウト再注入を実施する必要がある。PC グラウトの充填不足状況および原因はさまざまなケースが考えられ, PC 鋼材とシースの組合せによりシース内の間隙が小さく充填されにくい場合や, 建設時の緊張作業により意図せずカプラーがずれてシースを閉塞した状況などが考えられる。一方, PC グラウト再注工法としては圧入工法, 真空工法, 自然流下工法などが実施されているが, たとえば真空工法は真空ポンプを含め注入機材が大型化し再注入箇所付近へ搬入できないなど, 施工条件によって適用できる工法がかぎられる場合がある。

充填不足の各状況に対する再注工法の適用性を把握し, また, 再注 PC グラウトの充填性能をあらかじめ評価する方法があれば, PC グラウト再注入の施工計画立案において有用なものになると考えられる。そこで, 幾つかの充填不足の状況を模擬した供試体を作製し再注実験を行い, また, 再注 PC グラウトの充填性能を評価する試験方法について検討を行った。本論文はこれらの内容を報告するものである。

2. 実験内容

2.1 充填性能評価試験

PC グラウト再注入は, シース内の狭隘な充填不足箇所に対して注入を行うことから, 再注 PC グラウトには確実に充填できる性能が求められる。新設工事においては, PC グラウトの充填性能の確認, すなわち有害となる残留空気を発生させないための試験項目として JP 漏斗流下試験, フロー試験, 材料分離抵抗性試験などがある。再注 PC グラウトにおいてはこれらに加え, シース内の狭隘な充填不足箇所への充填性能を確認できる試験項目を検討するのが望ましいと考えられた。既往の研究¹⁾において, 従来の試験によるレオロジー特性の把握とともに, 狭隘な空隙を設けた細径管に対し圧力を加えて注入する試験方法を検討し実施している。その結果, レオロジー特性を満足する PC グラウトであっても細径管部で閉塞を起こすケースが確認されたことから, 再注 PC グラウトにおいては従来の

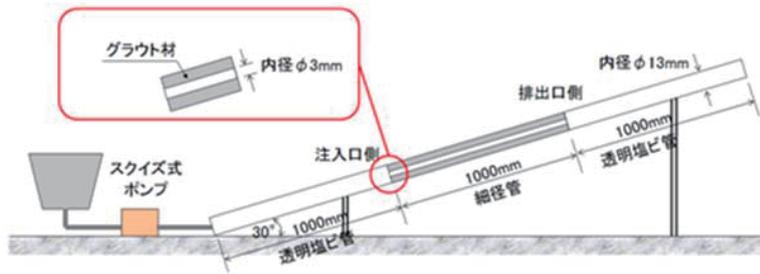


図-1 細径管試験

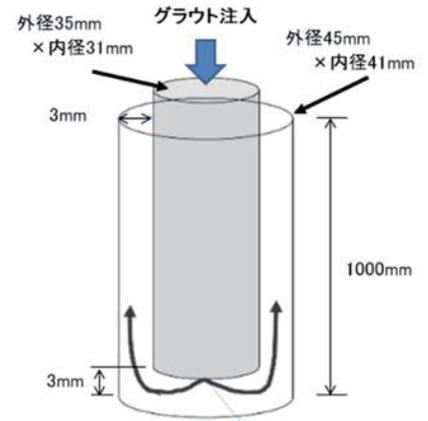


図-2 二重円筒管試験

試験のみでは充填性能を評価することは難しいものと考えられた。

このことから、グラウトポンプを用いて圧力を加える圧入工法や、真空吸引後にグラウトポンプを用いて注入する真空工法を対象に、充填性能を評価する新たな試験方法として細径管試験を実施した。また、自然流下工法による再注入を想定した試験方法として、既往の研究^{たとえば2)}を参考に二重円筒管試験を実施した。

過去の調査³⁾により PC グラウト充填不足が発生する割合は PC 鋼棒を有する PC 橋が多く、とくにシース径φ38mm と PC 鋼棒の径φ32mm の組合せにおいて充填不足が多いことが明らかとなっている。これは、シース内に占める PC 鋼材の断面積が大きく空隙が小さいことから PC グラウトの閉塞が生じ、結果として充填不足の発生に繋がったものと考えられる。このことから、片側 3mm の狭隘な間隙を想定した試験体とした。以下に試験条件の詳細、使用材料および試験結果について述べる。本試験の適用性については、再注入実験を踏まえて考察する。

(1) 細径管試験

細径管試験の概要を図-1に示す。延長 1000mm で内径φ3mm の空隙を有する細径管と、その両端に内径φ13mm の透明塩化ビニル管を配置した試験体とした。

細径管は内径φ13mm の塩ビ管にφ3mm ステンレス棒を挿入し、断面中央にステンレス棒が位置するよう固定し、そこに既製品の PC グラウトを打設して硬化前にステンレス棒を抜き取り、空隙を形成した。試験実施前には塩ビ管を乾燥し絶乾状態とし、傾斜角度 30 度とした。

細径管試験は、スクイズ式ポンプを用いて試験体下部から注入し、細径管に対する通過性を確認した。また、再注入 PC グラウト注入時におけるスクイズ式ポンプへの負荷圧力状況を参考に確認することとした。使用材料と試験結果を表-1に示す。既往の研究¹⁾と同様に、市販されている低粘性型、低粘性～高粘性型、超低粘性型、超微粒子セメントを PC グラウト基材とし、防錆材(亜硝酸リチウム、イオン交換樹脂、塩素吸着剤)を混合したものとした。比較のため 1980 年頃に使用されていた配合を再現した PC グラウト材 (No. 1) に対しても実施した。この PC グラウトは過去に使用されたものを再

表-1 細径管試験と二重円筒管試験の使用材料および試験結果

No.	グラウト	水粉体比 (%)	JP漏斗流下時間(秒)	フロー値 (mm)	混合する防錆材	(1)細径管試験	(2)二重円筒管試験※	ブリーディング
1	過去に使用されていたグラウト材	48.0	2.9	294*280	なし	◎	× (11.0)	発生
2	低粘性型	44.0	10.4	217*214	なし	○	× (26.1)	無
3	低粘性型	44.0	10.7	213*210	亜硝酸リチウム	○	× (27.9)	無
4	低粘性～高粘性	38.0	4.7	374*360	なし	○	○ (0.4)	発生
5	低粘性～高粘性	47.0	4.7	330*316	イオン交換樹脂	○	○ (2.5)	無
6	超低粘性型	36.0	3.7	328*322	なし	×	○ (1.6)	無
7	超低粘性型	36.0	3.5	354*347	亜硝酸リチウム	×	○ (3.0)	無
8	超低粘性型	42.9	3.7	323*320	イオン交換樹脂	○	○ (1.3)	無
9	超低粘性型	36.0	4.0	348*344	塩素吸着剤	○	○ (3.1)	無
10	超微粒子セメント	74.0	2.7	420*415	なし	◎	○ (0.4)	発生
11	超微粒子セメント	74.0	2.7	413*393	亜硝酸リチウム	◎	○ (0.1)	発生

■ 再注入実験に使用する材料
 ※ () は内管と外管の充填高さの差 (mm)

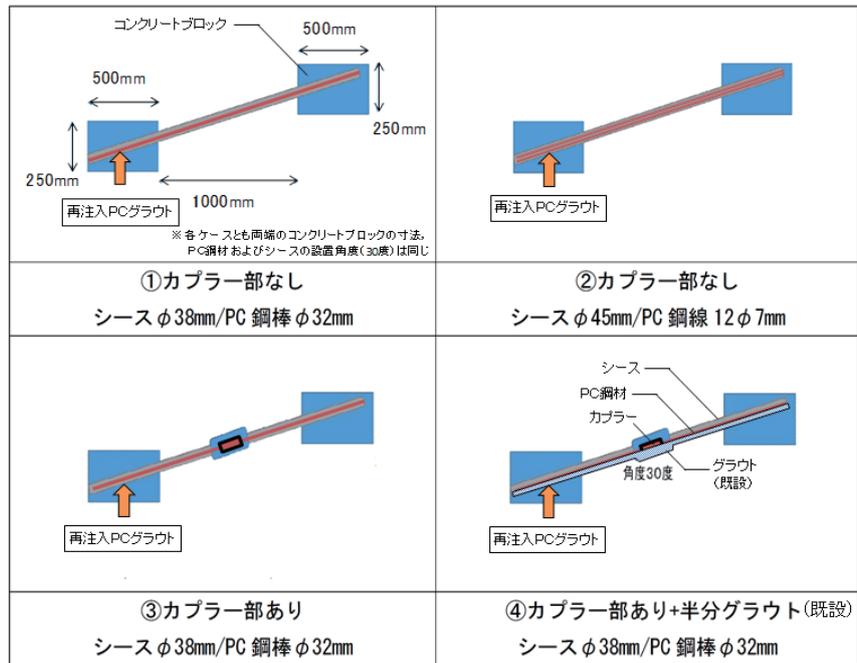
現したものであるが、膨張作用を有するアルミ粉は使用していない。

試験結果の評価は、実施工におけるPCグラウト注入時のグラウトホースに作用する圧力0.8MPaを目安とし⁴⁾、これより小さい圧力で通過したものを◎、大きい圧力で通過したものを○、通過しなかったものを×とした。試験の結果、水粉体比の大きい材料は細径管を通過しやすい傾向が確認された一方、ブリーディングも生じやすく、試験体の上部端（排出側の透明塩化ビニル管）にブリーディングが確認された。各材料のブリーディング発生の有無は、別途行ったブリーディング試験と一致している。JP漏斗流下時間またはフロー値と細径管試験結果との関係については、明確な傾向は確認できなかった。

(2) 二重円筒管試験

二重円筒管試験の概要図を図-2に示す。試験体は長さ1000mmの円筒形状で、外管と内管の二重構造となっている。試験体底面および外管と内管の間に3mmの隙間が設けられ、鉛直方向に試験体が設置されている。試験体は、試験体内管から鉛直方向に内径φ19mm、長さ1000mmのホースを設置し、上端の漏斗から再注入PCグラウトを2L注入し1.5時間静置した。なお、今回実験に使用する材料の一つが2時間程度で偽凝結し始めることを考慮し、静置時間は1.5時間と定めた。内管に注入してから1.5時間後に内管と外管の充填高さの差を測定し、その差が小さいほど自然流下工法における再注入PCグラウトとして良好な充填性を有するものとして評価した。充填高さの差が小さいものを○とし、ほかの材料と比べ充填高さの差が相対的に大きいものを×として評価した。

使用材料は細径管試験と同様である。再注入PCグラウト注入後の二重円筒管における外管と内管の充填高さの差は、JP漏斗流下時間およびフロー値と相関の高い結果となった。



2.2 再注入実験

(1) 試験体

再注入実験は、図-3に示すように異なる充填不足の状況を模擬した5ケースの試験体を製作した（以降、各実験ケースを①～⑤とする）。①はPC鋼棒の標準部（カプラーなしの区間）、②は①をPC鋼線としたもの、③はPC鋼棒のカプラー部における充填不足を模擬したものとした。④は③の条件に加えて既設PCグラウトがシース断面の半分存在している充填不足状況を模擬した。⑤は建設時の緊張作業時に意図せずカプラーがずれてシースを閉塞している状況を模擬したものとした。①～④の試験体は、PC鋼材およびシース管を配置し、両端にはコンクリートブロック（高さ250mm×長さ500mm×厚

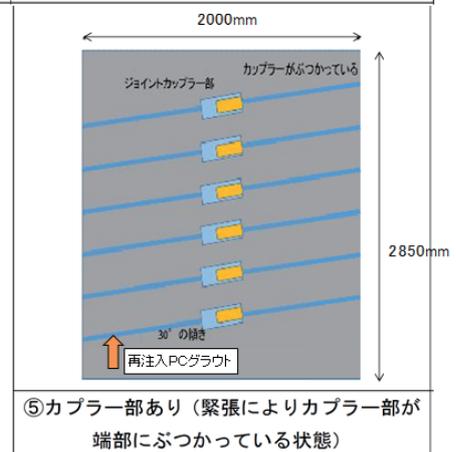


図-3 再注入実験の概要

さ 300mm) を打設しシース管は露出するものとした。シースには、熱収縮チューブによる漏水防止対策を施した (写真-1) 。④はシース断面の半分程度を事前にグラウト打設し、そののち再注入実験を行った。⑤の試験体は、PC 鋼材およびシース管を配置したのち、高さ 2850mm×長さ 2000mm×厚さ 500mm のコンクリートを一体打設したものとした (写真-2、図-4) 。⑤の試験体の作製においては、カップラー継手端部とカップラーシース端部を接触させて手締めによる緊張を行った。なお、シース内は通気があることを確認しており、空隙はカップラー閉塞部の前後で連続しているが、シース内を閉塞させていることから本実験ではもっとも再注入の条件として厳しいケースと想定される。各ケースとも試験体製作に使用した鋼製シース管は、φ38mm (鋼棒用) , φ45mm (鋼線用) , PC 鋼棒は φ32mm, PC 鋼線を 12φ7mm とし、シース管の傾斜角は 30 度とした。



写真-1 実験ケース①～④

再注入実験で使用する材料は、防錆材を混合した再注入 PC グラウトで、前項 2.1(1) 細径管試験および(2) 二重円筒管試験の結果から選定することとした。選定条件は、細径管試験を通過したものとし、かつ別途実施した試験でブリーディングが確認されなかったものから選定した (表-1 の着色した材料) 。



写真-2 実験ケース⑤

注入工法は、注入口と排出口を設けた自然流下工法および圧入工法、注入口と吸引および排出口を同一とした真空工法 1 穴タイプ、注入口と吸引および排出口を別々とした真空工法 2 穴タイプとした。本実験で行った真空工法は、再注入する空洞部をポンプで真空吸引し、その後スクイズ式グラウトポンプによる圧入により注入したものである。各試験体の側面を削孔し、再注入 PC グラウトを注入した。

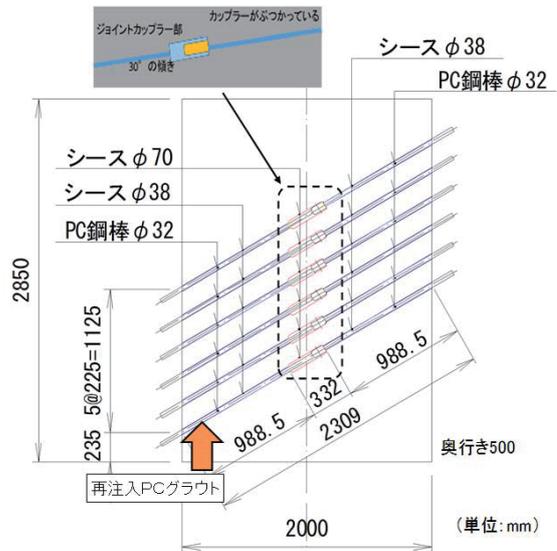


図-4 再注入実験 (実験ケース⑤)

(2) 実験結果

各実験ケースの結果を表-2 にまとめる。シース内が閉塞していない①～④と閉塞している⑤に分けて考察する。

①～④は、注入試験終了後にシース管を切断、PC グラウトの充填状況を目視検査した。充填が良好なものを○、一部充填不足があるものを△、充填されていないものを×として評価した。実験の結果、自然流下工法以外の圧入工法、真空工法 (1 穴) , 真空工法 (2 穴) では充填が良好な傾向が得られた。充填が良好と判断した試験体は、上下側の切断面とも再注入 PC グラウトがシース管と PC 鋼材の隙間に緻密に充填されており、シース管上面側も顕著な水みちの跡もなく、一体性が保たれていた。

自然流下工法では、二重円筒管試験において内管と外管の充填高さに差が大きかった材料 (No. 3) は、充填が不十分な結果となった (写真-3) 。二重円筒管試験において充填高さに差が大きい材料は粘性が高く、空隙に対して充填がされづらいことが考えられる。自然流下工法はレオロジー特性の影響を受け易く、JP 漏斗流下時間が長く、フロー値が小さく粘性が高い材料は、自然流下工法に不向きと思われた。圧入工法では、いずれの材料でも充填状況は良好であった。細径管試験により狭隘な空

表-2 再注入実験結果

注入工法	No.	グラウト	混合する防錆材	実験ケース				
				①	②	③	④	⑤
自然流下	3	低粘性型	亜硝酸リチウム	×	○	×	×	×
	5	低粘性～高粘性	イオン交換樹脂	○	○	○	○	△
	8	超低粘性型	イオン交換樹脂	○	○	○	○	×
	9	超低粘性型	塩素吸着剤	○	○	○	○	△
圧入	3	低粘性型	亜硝酸リチウム	○	○	○	○	×
	5	低粘性～高粘性	イオン交換樹脂	○	○	○	○	×
	8	超低粘性型	イオン交換樹脂	○	○	○	○	×
	9	超低粘性型	塩素吸着剤	○	○	○	○	×
真空(1穴)	3	低粘性型	亜硝酸リチウム	○	○	○	○	○
	5	低粘性～高粘性	イオン交換樹脂	○	○	○	○	○
	8	超低粘性型	イオン交換樹脂	○	○	○	○	○
	9	超低粘性型	塩素吸着剤	○	○	○	×	○
真空(2穴)	3	低粘性型	亜硝酸リチウム	○	○	○	○	○
	5	低粘性～高粘性	イオン交換樹脂	○	○	○	×	△
	8	超低粘性型	イオン交換樹脂	○	△	○	○	○
	9	超低粘性型	塩素吸着剤	△	×	○	×	×

○：充填が良好なもの、△：一部充填不足があるもの、×：充填されていないもの

隙を通過する性能を有することが確認された材料であったことから、良好な充填結果になったものと考えられる。真空工法（1穴）はNo.9の材料が④において充填が不十分な結果であった。この場合においては、熱収縮チューブによる漏水防止対策を行っていたものの、注入中にグラウト漏れが生じたため、圧力が不十分であった可能性がある。真空工法は真空吸引ののちにグラウトポンプにより圧入を行うことから、圧入工法の結果と同様、真空工法（1穴）はいずれの材料でも良好に充填されているものと評価してよいと考える。真空工法（2穴）は、明確な傾向は確認できないものの、少なくとも水粉体比が小さい材料（No.9）は充填されにくい傾向であった。この点は細径管試験の結果と同様の傾向である。No.9は同じグラウト基材であるNo.8と比較し、水粉体比に違いがあるもののレオロジー特性は大きく変わらないにもかかわらず、充填結果に差が生じる結果となった。また、真空工法の1穴と2穴タイプで充填結果に差が生じていることから、工法ごとに適する材料特性が存在する可能性があると考えられる。

⑤の結果を次に述べる。再注入PCグラウトが硬化したのち、コンクリートブレイカーにより試験体を解体し、充填状況を確認した。充填が良好な例、不十分な例をそれぞれ写真-4、写真-5に示す。⑤では、カプラー閉塞部には通気があることを事前に確認しており、充填不足はカプラー部の前後（注入側、排出側）で一つの連続した空間と考え、充填状況を評価した。カプラー閉塞部を通過し充填が良好であったものを○、カプラー閉塞部を通過したものの末端まで充填がされていなかったものを△、カプラー閉塞部を通過せず充填がされていなかったものを×と評価した。なお、いずれの材料および工法においても、再注入PCグラウトはカプラー部まで到達している状況であった。

自然流下工法および圧入工法は、いずれの材料も充填が良好ではなかった。カプラーがシースを閉塞している条件は、充填性能評価試験の条件よりも厳しかったものと考えられる。真空工法（1穴）



写真-3 充填が不十分な例×
(実験ケース③)



写真-4 充填が良好な例○
(実験ケース⑤)



写真-5 充填が不十分な例×
(実験ケース⑤)

は、すべての材料が充填されていることが確認された。一方、真空工法（2穴）は一部の材料で充填不足の状況であった。同じ材料でも真空工法の1穴と2穴タイプで異なる充填結果であったことから、工法ごとに適する材料特性が存在する可能性が考えられるが、⑤についてはカプラーによる閉塞の程度が定量化できておらず、試験体ごとにばらつきがある可能性があり、これが原因の可能性も考えられることから、実験条件の設定については今後の課題である。

以上の再注入実験の結果、すべての実験ケースが必ずしも充填が良好な結果となっていないことから、現段階では充填性能評価試験の適用性を示せる結果とはなっていない。⑤においては、今回はカプラー部の前後を一つの充填不足の空間と考えて充填結果を評価したが、いずれの材料および工法でもカプラー閉塞部までは再注入 PC グラウトが到達していたことから、別個の空間と考えそれぞれに PC グラウト再注入を実施した方が良好な充填結果が得られる可能性が考えられる。この前提で評価を見直し、また充填性能評価試験の試験条件を再検討のうえ、適用性を確認する必要があると考えられる。また、実橋を対象とした試験施工を行い、各実験の再現性を確認する必要がある。

充填性能評価試験の結果から材料を選定し、再注入実験を行った結果、カプラーによるシースの閉塞がない充填不足箇所に対しては、自然流下工法、圧入工法、真空工法（1穴）が良好な充填結果であった。また、カプラーによるシースの閉塞がある充填不足箇所に対しては、真空工法（1穴）が良好な充填結果であった。先述のとおり課題はあるものの、PC グラウト再注入の施工計画は、充填性能評価試験および再注入実験結果を参考に、PC グラウト充填不足状況に応じて材料および工法を選定することも一案と考えられる。なお、実橋における充填不足の状況を的確に把握することについても、今後取り組むべき課題である。

3. まとめ

本研究で行った充填性能評価試験の検討および再注入実験の結果について、以下にまとめる。

- (1) シース内の狭隘な充填不足箇所への充填性能を評価する試験方法として、従来のレオロジー試験のほかに、細径管試験および二重円筒管試験を実施した。圧入工法および真空工法を対象とした細径管試験ではレオロジー特性との相関は確認されなかったが、自然流下工法を対象とした二重円筒管試験では高い相関が確認された。
- (2) 充填性能評価試験の結果から材料を選定し、PC グラウト充填不足を模擬した再注入実験を行った。一部の材料および再注入工法の組合せにおいては充填性能評価試験の適用性を確認したが、すべてのケースで良好な充填結果となっていない。充填性能評価試験の条件設定の再検討、再注入実験の評価見直しにより、適用性を確認する必要がある。
- (3) PC グラウト再注入の施工計画において、充填性能評価試験を実施のうえ材料選定し、充填不足の状況に応じて PC グラウト再注入工法を選定することも一案と考えられる。

参考文献

- 1) 萩原直樹，広瀬 剛，中村浩章，渡邊晋也：PC再グラウト材料の基礎性状に関する研究，第26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.311-316，2017.10
- 2) 出口慎太郎，宇治公隆，上野 敦，大野健太郎：間隙充填モルタルの充填性と材料分離抵抗性，土木学会第67回年次学術講演会，V-571，pp.1141-1142，2012.9
- 3) 東・中・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
- 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，2013.8