

PC グラウト再注入の充填性能評価に関する検討

村西 信哉*¹・長谷 俊彦*²・深川 直利*³・吉田 眞純*⁴

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。充填不足状況とその原因はさまざまなケースが考えられる。また、再注入工法も圧入工法、真空工法、自然流下工法などがあり、再注入 PC グラウトと工法の組合せも多様である。

充填不足の各状況に対する再注入工法の適用性を把握し、また、再注入 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、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、いくつかの充填不足の状況を想定した再注入実験と、再注入 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。また、実験で良好な充填結果が得られた材料および再注入工法を用いて実橋に対する試験施工を行った。

キーワード：PC グラウト再注入、PC グラウト充填不足、既設 PC 橋、PC 鋼材

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(以下、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(以下、再注入)を実施する必要がある。充填不足状況とその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空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、再注入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わる場合がある。

充填不足の各状況に対する再注入工法の適用性を把握し、また、再注入 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、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、いくつかの充填不足の状況を模擬した供試体を作製し再注入実験を行い、また、これに先立って再注入 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。そして、充填性能を評価する試験を満足し、再注入実験で良好な充填結果が得られた材料および再注入工法を用いて実橋に対する試験施工を行った。本稿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

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、再注入 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。再注入 PC グラウトにおいてはこれらに加え、既往の研究¹⁾の結果から、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。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た結果、レオロジー特性を満足する材料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、再注入 PC グラウトにおいては従来の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。なお、本研究で用いた材料は、市販のグラウト材を基材とし防錆材を混合したものとした。再注入によりマクロセル腐食の発生が懸念される²⁾ことから、マクロセル腐食に対する抵抗性をもたせる必要があると考えたためである。

以上のことから、防錆材を混合した再注入 PC グラウトを使用し、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³⁾を参考に二重円筒管試験を実施した。

過去の調査⁴⁾により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 ϕ 38 mm と PC 鋼棒の径 ϕ 32 mm 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

* Nobuya MURANISHI：東日本高速道路(株) 関東支社 管理事業部

* Toshihiko NAGATANI：(株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室

* Naotoshi FUKAGAWA：一般社団法人 プレストレスト・コンクリート建設業協会

* Masazumi YOSHIDA：東日本高速道路(株) 関東支社 千葉管理事務所

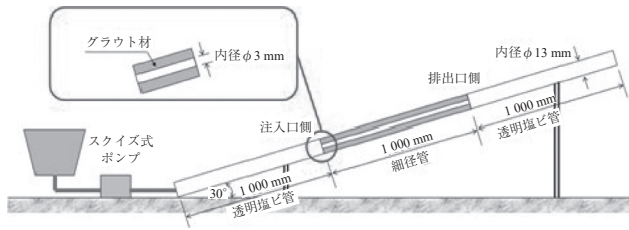


図 - 1 細径管試験

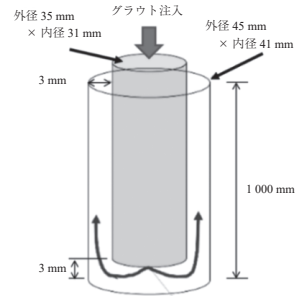


図 - 2 二重円筒管試験

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 3 mm の狭隘な間隙を想定した試験方法を検討した。

充填性能評価試験と再注入実験の詳細は既往の報告⁵⁾のとおりであるが、本稿では概要をあらためて報告するとともに、追加で実施した再注入実験の結果を報告する。

(1) 細径管試験

細径管試験の概要を図 - 1 に示す。延長 1000 mm で内径 3 mm の空隙を有する細径管と、その両端に内径 13 mm の透明塩化ビニル管を配置した試験体とした。細径管は、透明塩化ビニル管に 3 mm のステンレス棒を断面中央に配置し、そこにグラウト材を注入し形成したものである。試験実施前には 80℃ × 72 時間で乾燥し、絶乾状態とした。細径管試験は、グラウトポンプによる圧力を加える工法を対象とし、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。

使用材料と試験結果を表 - 1 に示す。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 0.8 MPa を目安とし⁶⁾、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。しかしながら、試験体の上端部(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、別途実施し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を図 - 2 に示す。試験体は長さ 1000 mm 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 3 mm の隙間を設け、鉛直方向に試験体を設置したものである。二重円筒管試験は、水頭圧を利用した工法を対象とし、内管に注入後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良好な充填性を有する材料として評価した。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。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 (実験ケース①～⑤)

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再現したものとした。実験ケース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。

実験ケース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 250 mm × 長さ 500 mm × 厚さ 300 mm) を打込みシース管は露出するものとした。④はシース断面の半分程度を事前にグラウトを注入し、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 2850 mm × 長さ 2000 mm × 厚さ 500 mm のコンクリートを一体打込みとした。⑤の試験体の作製においては、カプラー継手端部とカプラーシース端部を接触させて手締めにて

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.	基材となるグラウトの粘性タイプ	混合する防錆材	水粉体比 (%)	JP 漏斗流下時間 (秒)	フロー値 (mm)	(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	なし	48.0	2.9	294*280	◎	× (11.0)	発生
2	低粘性型	なし	44.0	10.4	217*214	○	× (26.1)	無
3	低粘性型	亜硝酸リチウム	44.0	10.7	213*210	○	× (27.9)	無
4	低粘性～高粘性	なし	38.0	4.7	374*360	○	○ (0.4)	発生
5	低粘性～高粘性	イオン交換樹脂	47.0	4.7	330*316	○	○ (2.5)	無
6	超低粘性型	なし	36.0	3.7	328*322	×	○ (1.6)	無
7	超低粘性型	亜硝酸リチウム	36.0	3.5	354*347	×	○ (3.0)	無
8	超低粘性型	イオン交換樹脂	42.9	3.7	323*320	○	○ (1.3)	無
9	超低粘性型	塩素吸着剤	36.0	4.0	348*344	○	○ (3.1)	無
10	超微粒子セメント	なし	74.0	2.7	420*415	◎	○ (0.4)	発生
11	超微粒子セメント	亜硝酸リチウム	74.0	2.7	413*393	◎	○ (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)

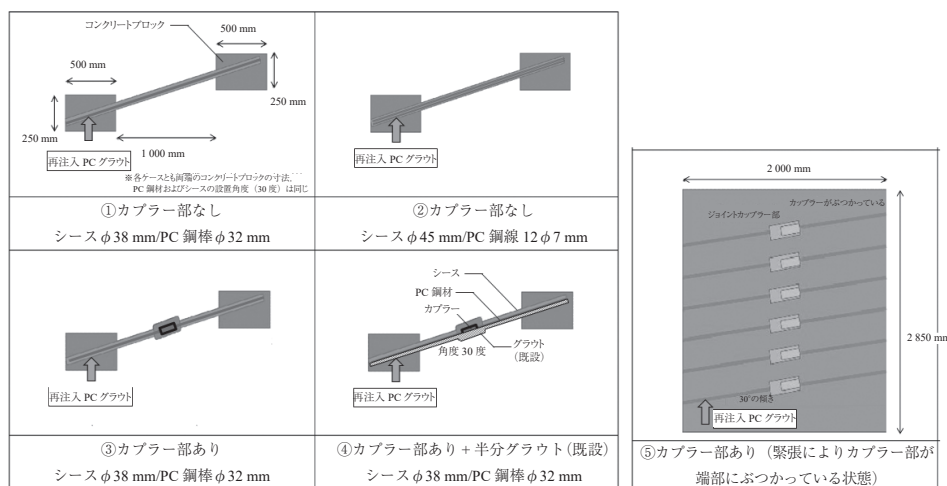


図 - 3 再注入実験の概要 (実験ケース①～⑤)

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、空隙はカプラー閉塞部の前後（注入側，排出側）で連続しているが、シース内を閉塞させていることから実験ケース①～⑤の中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を使用したシース管は、鋼製シース管φ38mm（鋼棒用）またはφ45mm（鋼線用）、PC鋼材は、PC鋼棒φ32mmまたはPC鋼線12φ7mmとし、シース管の傾斜角は30度とした。

再注入実験で使用する材料は、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、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4材料とした（表-1の着色した材料）。なお二重円筒管試験の結果、充填高さの差が大きい材料も再注入実験に用いることとし、材料のレオロジー特性と自然流下工法の関係を確認することとした。

再注入工法は、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べつとした真空工法2穴タイプの4種類とした。本実験で行った真空工法は、再注入する空洞部を真空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するものである。

再注入実験は、材料4種、再注入工法4種の全ての組合せにより、実験ケース①～⑤（各1体）の計80ケースの再注入実験を実施した。

(2) 実験結果 (実験ケース①～⑤)

実験結果の詳細は既往の報告⁵⁾のとおりであり、概要のみ紹介する。実験ケース①～④と、再注入の条件としてもっとも厳しいと想定される実験ケース⑤に分けて説明する。

実験ケース①～④は、再注入PCグラウトを注入し硬化したのち、シース管を解体し充填状況を確認した。自然流下工法と比較的粘性が高い（JP漏斗流下時間が長いまたはフロー値が小さい）低粘性型グラウトを基材とする材料との組合せ、そして真空工法（2穴）と超低粘性型グラウトを基材とする材料の組合せにおいて充填が不充分的のケー

表 - 2 再注入実験結果 (実験ケース⑤)

再注入工法	No.	基材となるグラウトの粘性タイプ	混合する防錆材	実験ケース⑤ (カプラー閉塞)
自然流下	3	低粘性型	亜硝酸リチウム	×
	5	低粘性～高粘性型	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～高粘性型	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～高粘性型	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～高粘性型	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	×

実験ケース⑤における評価
 ○：カプラー閉塞部を通過し末端まで充填されている
 △：カプラー閉塞部を通過したが末端まで充填されていない
 ×：カプラー閉塞部を通過せず末端まで充填されていない

スが確認されたが、この2ケース以外は良好に充填されていることが確認できている。

次に実験ケース⑤の結果を説明する。再注入PCグラウトを注入し、硬化したのち、コンクリートブレーカーにより試験体を解体し充填状況を確認した。実験ケース⑤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、ここでは充填不足はカプラー閉塞部の前後（注入側，排出側）で一つの連続した空間と考え、充填状況の評価した。カプラー閉塞部を通過し末端まで充填が良好であった場合を○、カプラー閉塞部を通過したが末端まで充填されていなかった場合を△、カプラー閉塞部を通過せず末端まで充填されていなかった場合を×と評価した。

実験ケース⑤の結果を表-2に示す。真空工法（1穴）がもっとも良好な充填結果が得られており、すべての材料において充填されている結果であった。次に、真空工法（2穴）は一部の材料において充填不足が残る結果であった。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。なお、自然流下工法と低粘性型グラウトを基材とする材料との組合せの1体を除き、いずれの材料および工法の組合せにおいてもカプラー閉塞部までは到達

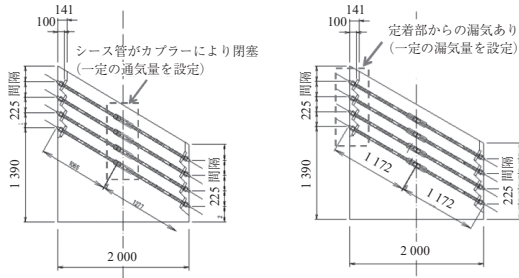


図 - 4 再注入実験の概要 (実験ケース⑥, ⑦)

している (図 - 3 実験ケース⑤のカプラー閉塞部より注入側が充填されている) 状況であった。

(3) 試験体 (実験ケース⑥, ⑦)

実験ケース⑤において、同じ材料でも真空工法の1穴と2穴で異なる充填結果であった。この理由としては、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、カプラーによる閉塞の程度を定量化しておらず、再注入条件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。そこで、これまで報告した計80ケースに加え、再注入条件にばらつきが生じないようにカプラーによる閉塞の程度を一定とした実験供試体を作製し、再注入実験を行った (実験ケース⑥)。また、実施工において定着部に漏気がある状況も考えられることから、この状況を模擬したケースについても実験を行った (実験ケース⑦)。なおこのケースではカプラーによる閉塞はないものとした。実験ケース⑥および⑦の概要を図 - 4 に示す。

実験ケース⑥は、再注入 PC グラウトの注入口からコンプレッサーにより空気を送り、レギュレータによる計測で 0.2 MPa に制御しつつ、閉塞部通過後の通気量が 1.5 ± 0.25 L/min となるようデジタル流量計で測定しながら、PC 鋼棒の締め込み程度で調整した。なお、 1.5 ± 0.25 L/min は各試験体とも閉塞条件としてもっとも厳しくかつ同一条件にできる限界値であったことから設定したものである。実験ケース⑦は、再注入 PC グラウトの排出側に定着部の漏気を想定した漏気口を設けてボールバルブをセットし、真空ポンプによる真空吸引時圧力が 0.05 MPa となるよう調整した。0.05 MPa は、真空工法が採用できる限界値から設定した。

材料および工法の組合せは実験ケース①~⑤と同様に材料4種、再注入工法4種であり、実験ケース⑥および⑦ (それぞれ2体) の計64ケースの再注入実験を実施した。

(4) 実験結果 (実験ケース⑥, ⑦)

実験ケース⑥, ⑦の結果を表 - 3 に示す。試験体を解体し、充填状況を評価した。先述の実験ケース⑤では真空工法 (1穴) においてカプラー閉塞部を通過し末端まで充填されている結果が得られていたが、追加で実施した実験ケース⑥ではいずれの材料および工法の組合せにおいてもカプラーによる閉塞部の通過が確認されなかった。そのため、実験ケース⑥の実験結果の評価においては、充填不足はカプラー閉塞部の前後 (注入側, 排出側) で別個の空間と捉えることとし、カプラー閉塞部まで到達し注入側の空間を充填された場合を○、カプラー閉塞部まで到達せず注

表 - 3 再注入実験結果 (実験ケース⑥, ⑦)

再注入工法	No.	基材となるグラウトの粘性タイプ	混合する防錆材	実験ケース⑥ (カプラー閉塞)	実験ケース⑦ (漏気あり)
自然流下	3	低粘性型	亜硝酸リチウム	××	○○
	5	低粘性~高粘性型	イオン交換樹脂	○○	○○
	8	超低粘性型	イオン交換樹脂	○×	○○
圧入	9	超低粘性型	塩素吸着材	○○	○○
	3	低粘性型	亜硝酸リチウム	○○	○○
	5	低粘性~高粘性型	イオン交換樹脂	○○	○○
真空 (1穴)	8	超低粘性型	イオン交換樹脂	○○	○○
	9	超低粘性型	塩素吸着材	○○	○○
	3	低粘性型	亜硝酸リチウム	○○	○○
真空 (2穴)	5	低粘性~高粘性型	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	塩素吸着材	○○	○○

実験ケース⑥, ⑦における評価
 ○: カプラー閉塞部まで到達し注入側の空間を充填
 ×: カプラー閉塞部まで到達せず注入側の空間が充填されていない

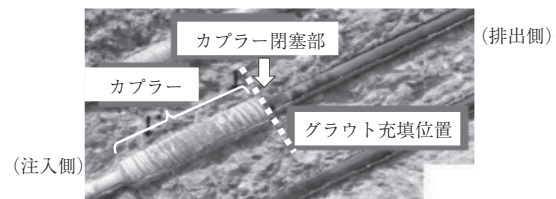


写真 - 1 充填○の例 (カプラー閉塞部まで充填) (実験ケース⑥, 真空工法 (1穴), No.3)

入側の空間が充填されていない場合を×と評価することとした。写真 - 1 に、カプラー閉塞部まで到達し注入側の空間が充填 (○) された一例を示す。

実験ケース⑥の結果、圧入工法、真空工法 (1穴)、真空工法 (2穴) が良好な充填結果が得られており、そのなかでも、真空工法 (1穴) と低粘性型グラウトを基材とする材料 No.3 の組合せにおいて、カプラー先端部に空隙を残すことなく完全に充填されていた。材料 No.3 は他材料に比べ粘性が高い材料であるがこの結果が得られたことから、粘性が低い材料が必ずしも優位ではなく、材料と工法の組合せが影響する可能性が考えられる。

自然流下工法では低粘性型グラウトを基材とした材料 No.3 (他3種の材料と比較して JP 漏斗流下時間が長く、フロー試験値が小さい) を組み合わせたものは、カプラー先端部にはまったく充填できていない結果であった。自然流下工法においては、材料のレオロジー特性が大きく影響するものと考えられた。

実験ケース⑦の結果、各ケースともカプラー部を通過し、更に上側定着部まで到達していた。しかし、自然流下工法と低粘性型グラウトを基材とした材料の組合せと、真空工法 (2穴) と超低粘性グラウトを基材とした材料の組合せにおいて、上側定着部付近にわずかに空隙が残る結果であった。前者は実験ケース⑥での考察のとおりレオロジー特性の問題と考えられる。後者は、超低粘性型グラウトを基材とした材料であるため、上側定着部付近の注入口側に設けた排出口からの真空吸引の作用が大きく、上側定着部まで到達せず充填し難くなっている可能性が考えられる。

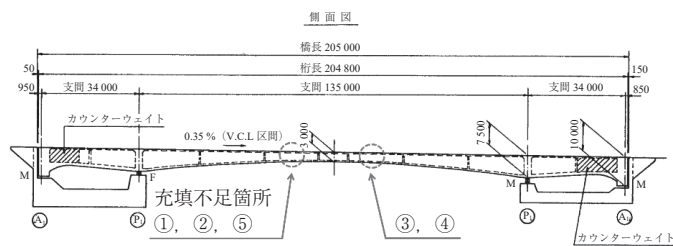


図 - 5 試験施工 (PC グラウト再注入) 橋梁一般図

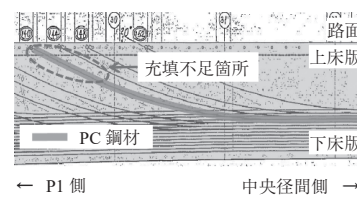


図 - 6 充填不足箇所の例

3. 試験施工

3.1 対象橋梁と PC グラウト充填不足の状況

これまでの実験結果を踏まえ、充填性能評価方法および再注入実験の妥当性を検討するため、実橋における試験施工を実施することとした。

試験施工の対象橋梁は、山間部に位置する PC 3 径間連続箱桁橋で、平成 2 年に竣工し供用中の高速道路橋である。PC 鋼材には PC 鋼棒 ϕ 32、シース管 ϕ 38 を採用しており、上縁定着しウェブ内に配置している主鋼材に充填不足が確認された橋梁である。なお、建設時から床版防水層が施工されておらず、今後工事が計画されている。当該橋梁は、定期点検時に箱桁ウェブ内面側において PC 鋼材位置に沿うように遊離石灰、浮き、剥離などが確認されたことから、充填不足とこれに起因する PC 鋼材の腐食が懸念された。PC 鋼材の状況を確認するため、目視詳細調査、広帯域超音波法および削孔調査（以下、PC 鋼材調査）を実施した結果、充填不足が確認された。試験施工対象の橋梁一般図と充填不足箇所をそれぞれ図 - 5 および図 - 6 に示す。

3.2 PC 鋼材調査の概要

PC 鋼材調査にあたり、下床版下面などは地上から近接目視および遠望目視を、箱桁内部などは手の届く範囲での打音調査を実施した。当該橋梁の 3 径間のうち、P1 ~ A2 の 2 径間で多く変状が発生しており、中央径間で顕著に見られた。主たる変状として漏水に伴う遊離石灰の滲出が確認され、床版に比べてウェブで多く発生しており、内面側が外面側に比べて多く見られた。変状の発生位置は、PC 鋼材に沿うように発生している傾向が見られた。そのほか、コンクリートの浮きや錆汁の滲出も確認された。変状事例を写真 - 2 に示す。

この結果を踏まえ、PC 鋼材の健全性およびグラウト充填状況を確認するため、広帯域超音波法による非破壊調査を行い、充填不足の可能性のある箇所に対し削孔調査を行った。その結果、充填不足が複数の箇所を確認された。広帯域超音波法による非破壊調査結果の一例を図 - 7 に示す。充填不足の場合は充填されている場合に比べ大きい周波数でピークが得られる傾向となる（図中のマーク箇所）。この結果を踏まえ、削孔調査を行い充填不足が確認された箇所の一例を写真 - 3 に示す。充填不足箇所の一部では、PC 鋼材の腐食ならびに削孔時に錆汁を伴う水がシース内に確認された。当該橋梁の PC 鋼材は上縁定着されており、今後も定着部から水が供給され続ける可能性があることから、防水工を実施するとともに、再注入を行う必要がある

と考えられた。

3.3 再注入 PC グラウトおよび再注入工法の選定

PC 鋼材調査により確認された充填不足箇所①～⑤に対し、これまで検討した充填性能評価試験および再注入実験で良好な結果が得られた再注入 PC グラウトと再注入工法から選定した。再注入箇所①、②、③、⑤は、再注入実験において狭隘部への充填状況がもっとも良好であった低粘性型グラウトを基材とした材料 (No.3) と真空工法 (1 穴) の組合せにより行うこととした。再注入箇所④においては、超低粘性型グラウトを基材とした材料 (No.9) と自然流下工法の組合せとした。再注入箇所④は、真空法による空洞量推定で漏気が大きいことが確認されている。再注入実験では漏気が大きい充填不足状況では真空工法以外でも良好な充填結果を得ていること、供用中の橋梁でありグラウトポンプによる圧力を伴う工法とした場合路面への滲出の可能性があることから、自然流下工法を選定した。

試験施工で使用する再注入用 PC グラウト材の品質管理は、PC グラウトの設計施工指針⁷⁾ 表 6.2.1 に準拠した。

試験施工に使用した主な機材は、再注入グラウトの練混ぜはハンドミキサーを、真空工法における圧入機材はスクイズ式グラウトポンプ、真空装置にはドライ真空ポンプおよび減圧容器をそれぞれ使用した。

注入時においては、重量計によりリアルタイムで注用量を把握できるようにした。また、真空ポンプを用いて充填不足箇所の空洞量推定を行い、この推定値と同程度注入できていれば再注入ができていたものとした。なお、充填不足箇所③において、今回試験施工時に事前削孔した箇所では既設グラウトが充填されており、ほぼ空洞がない推定結果となった。また、充填不足箇所④においては漏気が大きく推定が困難であった。

再注入は、充填不足が想定される区間において低い位置に設けた注入口から行うこととした。充填確認は、充填不足箇所①～④は注入後に削孔確認することとし、充填不足箇所⑤は確認孔およびホースを設置し充填状況を確認した。なお真空吸引時はホースを閉塞させ確認孔から漏気がないようにした。

3.4 試験施工の結果

各充填不足箇所における再注入の試験施工結果および推定した空洞量と注用量を表 - 4 にまとめる。

充填不足箇所①における再注入の結果、推定空洞量に対し 8 割程度注入されており、おおむね充填できているものと考えられた。

充填不足箇所②における再注入の結果、推定空洞量に対



写真 - 2 箱桁ウェブ変状
(遊離石灰)

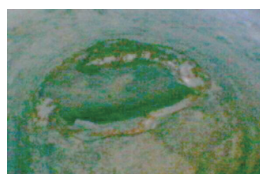


写真 - 3 削孔調査
(充填不足箇所⑤)

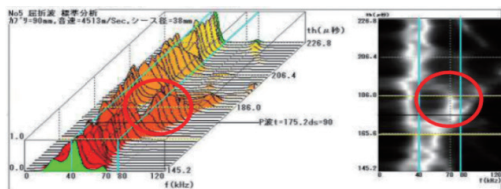


図 - 7 広帯域超音波法による非破壊調査
(充填不足箇所⑤)

表 - 4 試験施工結果

充填不足箇所	推定空洞量 (cc)	注入量 (cc)	推定空洞量と注入量の割合	試験施工結果	備考
①	261	213	82 %	○	
②	710	630	89 %	○	
③	-5 ※ 1	137	-	○	※ 1 空洞なし
④	45 ※ 2	161	-	○	※ 2 漏気あり
⑤	2425	2241	92 %	○	

し9割程度注入されており、おおむね充填できているものと考えられた。また、注入量から想定される注入区間の上端側を削孔したところ、充填されている状況が確認された。

充填不足箇所③はほぼ空洞がない推定結果であったが、少量ではあるが再注入を行うことができた。削孔確認したところ、充填されていることが確認できた。

充填不足箇所④は、真空吸引時に漏気が大きいことが確認され、空洞量推定が困難であった箇所である。再注入の結果、注入量が少量に留まったものの、充填されていることが確認できた。3.2 PC 鋼材調査で事前に行った削孔調査により充填不足と PC 鋼棒の腐食が確認されていたにもかかわらず、少量の注入量に留まった要因としては、空洞が局所的であり、かつウェブ躯体の微細なひび割れが生じていたことから PC 鋼棒の腐食が生じていた可能性が考えられた。注入箇所近傍には塩害によるコンクリートの変状箇所があり、削孔調査でもシース管自体の腐食が確認されている。

充填不足箇所⑤における再注入の結果、推定空洞量に対し9割程度注入されており、おおむね充填できているものと考えられた。注入は PC 鋼材調査時の削孔調査孔から注入し、注入削孔箇所の上方に確認孔およびホースを設置し注入時に充填できていることを確認した。

以上、いずれの充填不足箇所においても、空洞量推定の精度が確保されている前提ではあるが、推定空洞量に対してグラウト注入量は8~9割程度で注入されておりおおむね再注入ができていているものと考えられた。

4. おわりに

充填性能評価試験、再注入実験、試験施工の結果について、以下(1)~(3)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。これらは過去の PC グラウト充填不足の事例が多い PC 鋼棒φ32とシース径φ38mmの組合せを想定した条件設定としたものである。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。真空工法が優位な傾向が確認され、とくに真空工法(1穴)が優位であった。なお、実験ケース⑥では閉塞箇所を超えて充填ができておらず、基本的には注入側、排出側を別個の充填不足の空間と捉えることが必要と考えられた。
- (3) 充填性能評価試験と再注入実験の結果から、もっとも良好な充填結果が得られた真空工法(1穴)と低粘性型グラウトを基材とした材料の組合せを用いて、実橋を対象に再注入の試験施工を実施した。空洞量推定の精度が確保されている前提ではあるが、充填不足箇所に対し再注入ができていているものと考えられた。

試験施工の数量が5箇所と限定的であり、充填性能評価試験の適用性を今後も検討する必要があるが、PC グラウト再注入の施工計画立案において、本研究の内容を参考に材料および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) 宮永憲一, 青木圭一, 萩原直樹, 渡邊晋也: PC グラウト再注入が鋼材腐食に及ぼす影響に関する実験的検討, 第24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.449-454, 2015.10
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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, 2019.11
- 6) 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
- 7) 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, 2012.12

【2021年2月26日受付】