

LiNO₂水溶液先行注入型補修材再注入工法のPC箱桁橋への適用実験

(株)ピーエス三菱 正会員 工博 ○鴨谷 知繁
 (株)ピーエス三菱 正会員 深川 直利
 (株)ピーエス三菱 正会員 池田 政司
 (株)ピーエス三菱 正会員 工博 石井 浩司

キーワード：グラウト再注入，PC橋，箱桁，PCグラウト，亜硝酸リチウム

1. はじめに

近年、PC鋼棒を有するPC箱桁橋でグラウト充填不足が確認されており、LiNO₂水溶液先行注入型補修材再注入工法¹⁾(以下、本工法)の適用が望まれている。PC鋼棒は表-1に示すように、PC鋼線束と比較してシース内空隙が非常に小さい上、カップラー部があるため施工難度が高い。そこで、本稿では本工法の適用性の確認を目的に、PC鋼棒を有するPC箱桁橋の下床版およびウェブに配置されたケーブルを模擬した実物大試験体を用いて施工実験を行ったので報告する。

2. 施工実験内容

2.1 シリーズ I

本シリーズは、シース内の最小間隙寸法に対する水溶液の注入性状および補修材の充填性状の把握を目的とした。試験体概要を図-1に示す。表-1に示すPC鋼棒の外径とシース内径との差が同条件となるよう、外径35mmの塩化ビニル製丸棒をPC鋼棒、内径41mmの透明塩化ビニル管をシースの代わりに使用し、前者を後者の中央部に配置した。試験体中央には4水準の貫通孔を有する厚み3mmの閉塞模擬部を設けた。

水溶液の注入方法は、図-2①および②に示すように自然流下方式と減圧注入方式の併用とした。減圧注入方式は、注入側を閉塞した状態で排出側からシース内部を減圧し、シース内外の圧力差を増大させた状態で、注入側の開放によりシース内部へ水溶液および空気を流入させ、水溶液に乱流を発生させる方法¹⁾であり、自然流下方式ではエア溜まりが生じる領域にも水溶液の注入が期待できる方法である。

補修材の充填方法を図-2③に示す。注入孔にコンプレッサー、空気圧調整弁、圧力計、密閉容器およびバルブからなる低圧ポンプシステムを接続して補修材を充填した。補修材は本工法専用材料を粘性が高めとなるLiNO₂無添加配合で練り混ぜたものとし、修正JASSフロー試験値は280mm(製品規格値：240mm～330mm)であった。

表-1 PC鋼線束とPC鋼棒の仕様抜粋

ケーブル名称	PC鋼線束 12φ7mm	PC鋼線束 12φ5mm	PC鋼棒 32mm
断面図			
シース径(mm)	45	35	38
空隙率(%)	71	76	29
空隙(mm ²)	1128	726	330

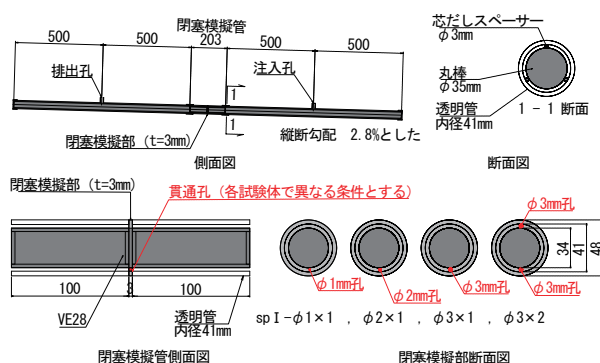


図-1 シリーズ I の試験体概要図

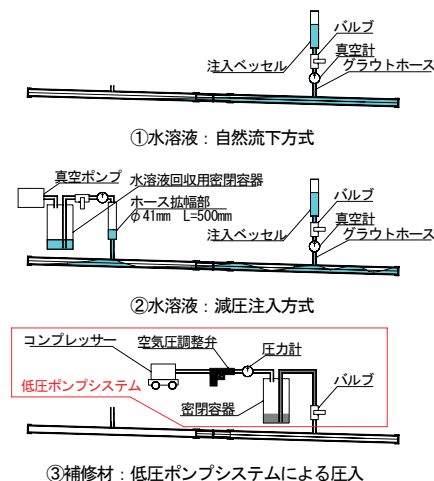


図-2 シリーズ I の試験方法

閉塞模擬部近傍の注入・充填性状を表-2に示す。水溶液は全試験体で通過し途中閉塞は生じなかった。sp I - ϕ 1 \times 1では、排出側は減圧注入方式により全域に水溶液が注入できたが、注入側は自然流下方式では断面上部にエア溜まりが生じ、減圧注入方式にでも全域への水溶液の注入はできなかった。sp I - ϕ 1 \times 1は貫通孔が小さく注入側の減圧が不十分となり、乱流発生に十分なシース内外の圧力差が得られなかったと推察される。一方、そのほかの試験体では自然流下方式では断面上部にエア溜まりが発生しても、減圧注入方式では全域に水溶液を注入できた。以上より水溶液は、 ϕ 2mm孔 \times 1箇所程度の隙間があれば、グラウト充填不足部全域に注入できると判断された。

表-2 閉塞模擬部近傍の注入・充填性状

試験体名	項目	水溶液				補修材	
		自然流下		減圧注入		低圧加圧注入	
		排出側	注入側	排出側	注入側	排出側	注入側
sp I - ϕ 1 \times 1	写真						
	注入状況	エア溜まり発生 (×)	エア溜まり発生 (×)	全域に供給 (○)	エア溜まり発生 (×)	排出側へ通過した補修材はわずかで、ほぼ閉塞とみなせる。	
	判定	×				×	
sp I - ϕ 2 \times 1	写真						
	注入状況	全域に供給 (○)	エア溜まり発生 (×)	全域に供給 (○)	全域に供給 (○)	補修材は通過するものスムーズではない。	
	判定	○				×	
sp I - ϕ 3 \times 1	写真						
	注入状況	エア溜まり発生 (×)	エア溜まり発生 (×)	全域に供給 (○)	全域に供給 (○)	補修材はスムーズに通過し、上部にわずかなエア溜まりが発生しているが良好な充填状況である。	
	判定	○				○	
sp I - ϕ 3 \times 2	写真						
	注入状況	エア溜まり発生 (×)	全域に供給 (○)	全域に供給 (○)	全域に供給 (○)	補修材はスムーズに通過し、良好な充填状況である。	
	判定	○				○	

水溶液の判定基準 排出側および注入側ともに、自然流下方式または減圧注入方式により、全域に水溶液が供給できる場合：○ できない場合：×

補修材の判定基準 補修材がスムーズに通過し、わずかなエア溜まりが発生する程度の良好な充填状況である：○ 補修材の通過がスムーズではない：×

補修材は、sp I - ϕ 1 \times 1では貫通孔を通過するものの、充填継続が不可能で閉塞と判断した。sp I - ϕ 2 \times 1は充填継続は可能であったが、閉塞模擬部の排出側上方に大きなエア溜まりが生じた。貫通孔が ϕ 3mmのsp I - ϕ 3 \times 1およびsp I - ϕ 3 \times 2は、閉塞模擬部をスムーズに通過し、閉塞模擬部のエア溜まりはsp I - ϕ 3 \times 1でわずかに発生したのみであった。以上より補修材は、 ϕ 3mm \times 1孔程度の隙間があれば可能であり、それ以下では充填性能の低下や閉塞が生じる可能性があるかと判断された。

以上より、PC鋼棒では空気や水溶液は通過するが補修材は途中で閉塞する場合が想定されるため、補修材充填工では閉塞発生を速やかに検知し閉塞位置を精度良く推定することが必要になる。そこで、図-3に示すように図-2③の密閉容器のかわりに円筒型透明容器を用い、補修材天端高さの変化量から補修材充填量を把握し、加圧後も補修材天端高さの変化がなくなった時点を開塞発生として検知する途中閉塞検知型低圧ポンプシステムを開発した。

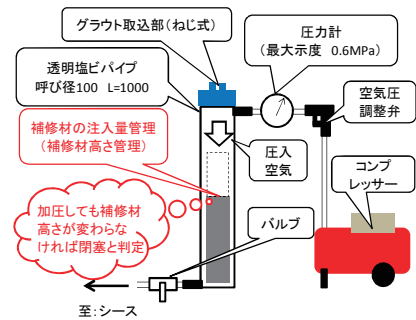


図-3 途中閉塞検知型低圧ポンプシステム

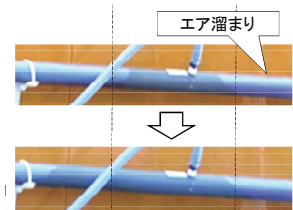


写真-1 注入孔近傍の補修材の充填状況

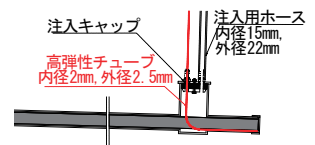


図-4 注入孔の構造

次に、注入孔近傍の補修材の充填性状を写真-1に示す。シースとPC鋼棒との隙間が小さいため、上下方向ともに補修材の先流れがほとんど生じていない。グラウト充填不足部の中間に注入孔を設置した場合、この性状は下端近傍でのエア溜まりの発生につながるため、注入および排出孔は、PC鋼棒でも挿入可能な排気用の高弾性チューブを挿入できる図-4のような構造が必要である。

2.2 シリーズII

PC箱桁橋の2BL分を1施工箇所とした場合の施工性の確認を目的とし、カップラー部における水溶液注入状況および補修材充填性状、補修材充填工における必要注入圧について確認した。シリーズIIの試験体を図-5に示す。下床版ケーブルを想定し全長11m、

縦断勾配2.8%とした。張出ブロック打継ぎ部の気密性が低いことを想定し、2箇所ボールバルブを設置し気密性の低下を模擬した。注入孔は、**図-4**に示す構造とし下端方向へ高弾性チューブを挿入した。水溶液の注入方法は**図-2**①および②と同様とし、補修材の充填方法は、**図-3**の途中閉塞検知型低圧グラウトポンプを用いた圧入方法とした。

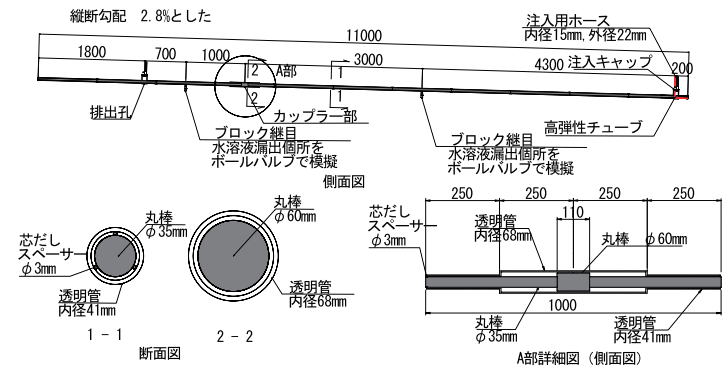


図-5 シリーズIIの試験体概要

カップラー部の試験結果について記す。水溶液は、自然流下方式では左上端部にエア溜まりが生じたが、減圧注入方式を適用することにより**写真-2**に示すように乱流が生じ、全域に水溶液を注入できた。補修材充填状況を**写真-3**に示す。左上端部に僅かなエア溜まりが生じたが、概ね良好な充填性が確保された。なお、カップラーシース内部のカップラー以外の区間は、シースの内径とPC鋼棒の外径の差が大きくなるため、**写真-1**に示した標準部と比較して補修材の先流れが顕著となっており、上り勾配での充填が必要である。

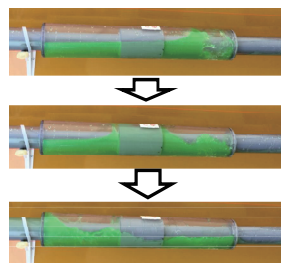


写真-2 水溶液注入状況

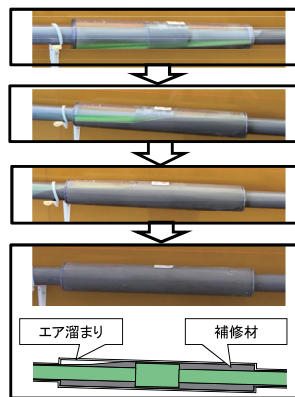


写真-3 補修材充填状況

試験体下端の補修材充填状況を**写真-4**に示す。高弾性チューブを下端まで挿入できたことで、排気が確保され良好な充填性が得られた。

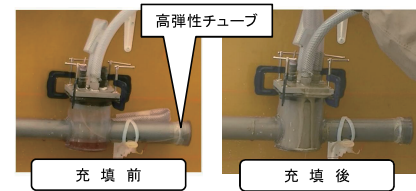


写真-4 補修材充填状況(下端部)

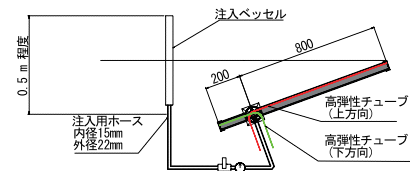
補修材の充填圧力は、試験体の塩化ビニル管接合部の耐圧性能を考慮して、上限圧力を0.25MPa以下としたが、排出孔まで問題なく充填を継続することができた。

2.3 シリーズIII

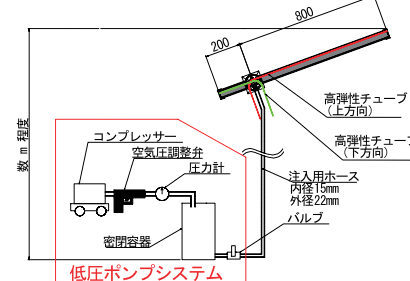
PCT 桁を対象に本工法を施工する場合には、**図-6**①に示すようにグラウト充填不足部上端より高い位置に注入ベッセルを設置した自然流下方式を採用している¹⁾。これは水溶液注入工においては容易に低圧注入が可能となり水溶液の漏出による水質汚濁のリスクを大幅に低減できること、補修材充填工については容易に低速充填が可能となり、空気と補修材との置換により小間隙の充填性向上が期待できるのに加え、高弾性チューブからの排出確認後も継続的にヘッド圧をシース内部に付与することで、定着部背面への通気性状に従い上端部の補修材充填性が向上する²⁾ためである。

一方、PC箱桁橋のウェブケーブルの内、内側ケーブルは桁内部からの施工となり、定着部より高い位置に注入ベッセルを設置することが困難である。そこで本シリーズは、**図-6**に示すようにPC箱桁橋のウェブケーブルの上端部付近を模擬した全長1mの試験体を用いて、水溶液注入工および補修材充填工において自然流下方式と同等の施工確実性を有する施工方法の確立を目的とした。

まず、**図-6**②に示すように低圧ポンプシステムを用いて自然流下方式の再現を試みた。試行錯誤の結果、



①自然流下方式 (PCT桁およびPC箱桁外側)



②低圧ポンプシステムによる自然流下方式の模擬 (PC箱桁内側)

図-6 シリーズIIIの試験概要

低速注入を行うためには圧力計の示度範囲を適切に設定することが重要であることが明確となった。図-6②に示すように、低圧ポンプシステムを箱桁下床版に設置する場合を想定すると、グラウト充填不足部上端～ポンプまでの高低差は桁高に準じ、数m～10m強程度と推定される。水溶液および補修材の比重は、1.25、最大2.1程度であることから、高低差を10mと仮定した場合の必要圧力は、水溶液で0.125MPa、補修材で0.21MPaに摩擦損失を加味した値となる。水溶液注入工で最大示度0.2MPa、補修材充填工で最大示度0.6MPaの圧力計を使用することで、空気圧調整弁の調整により容易に低速注入が可能となった。

次に、補修材の継続的なヘッド圧付与の再現方法について述べる。ここで、注入孔位置は高弾性チューブの挿入性を考慮してウェブ上端近傍とすることから、定着具と注入孔との高低差は1～2m程度の範囲と推定され、また測定が可能と考えられる。これより、①注入キャップに再加圧測定用圧力計を設置し、②定着具と注入孔との高低差からより必要再加圧力を算定し、③低圧ポンプシステムにより補修材の充填を行い、④ポンプ撤去後、ホース余長部を折り曲げることで再加圧を行い、その補修材が硬化するまで維持する方法を考案した。なお、必要再加圧力は自然流下方式の実績より最大0.05～0.1MPa程度であることから、補修材充填工1箇所ごとに再加圧測定用圧力計が必要となることから、再加圧測定用圧力計として事前に圧力-伸び関係を把握した樹脂製ジャバラ管を使用した。

同形状の試験体2体を用いて自然流下方式と低圧ポンプシステムによる方式で、水溶液注入および補修材充填を行い、両者を比較した。写真-5に低圧ポンプシステムによる施工状況を示す。空気圧調整を行うことで、①水溶液注入工および②補修材充填工において自然流下方式を再現できることを確認した。

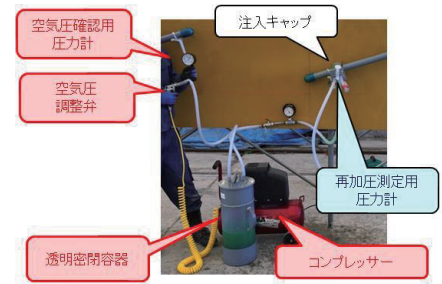
写真-6に再加圧測定用圧力計を用いた再加圧管理状況を示す。ポンプ撤去後も、ホース余長の折り曲げにより容易に必要な再加圧を実施でき、補修材の硬化まで圧力を維持できることを確認した。以上の方法により、注入ベッセルを使用した自然流下方式を低圧ポンプシステムにより再現でき、PC箱桁内部のウェブケーブルにおいてもPCT桁と同等の施工確実性があることを確認した。

3. まとめ

LiNO₂水溶液先行注入型補修材再注入工法は、PC箱桁橋のPC鋼棒への適用が可能であると判断された。ただし、施工信頼性を確保するためには数々の留意点があり、本稿で報告した知見の活用が求められる。

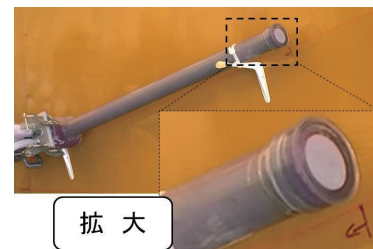
参考文献

- 1) 鴨谷, 蝦名, 青山, 森川: 亜硝酸リチウムを用いたPCグラウト充てん不足部の新しい補修方法の腐食抑制効果と実橋への適用事例, コンクリート工学, Vol.50, No.12, pp.1084-1091, 2012
- 2) 鴨谷, 青山, 石井, 森川: グラウト未充てん部の密閉度とグラウト再充てん方法に関する一報告, プレストレストコンクリート工学会 第21回シンポジウム論文集, pp.409-412, 2012



※赤字赤枠は注入ベッセルの代わりとなる機材

①低圧ポンプシステム



②水溶液注入状況



③補修材充填状況

写真-5 低圧ポンプシステムによる施工

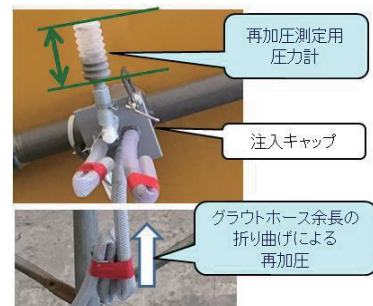


写真-6 再加圧測定用圧力計を用いた再加圧状況