せん断鋼棒の下方向注入区間の先流れに着目したグラウト注入実験

(株)ニューテック康和	事業本部工事部	村上陸
(株)ニューテック康和	技術部	鴨谷知繁
技術本部	技術部	深川柊
技術本部	技術部	白水祐一

概要：現在，高速道路の特定更新工事や大規模修繕工事等において，既設ポストテンション PC 橋の PC グラウト再注入（以下，再注入）が実施されている．PC 鋼棒タイプの箱桁橋では，正曲げ主方向の鋼棒に加え，せん断鋼棒が対象となることが多い．そこで，後者を対象に，下方向注入区間長および設置角度の相違を考慮した実物大注入実験を行い，下方向注入区間における先流れによる充填不足について知見を得たので，報告する．

Key Words：せん断鋼棒，グラウト再注入，先流れ，高速道路，箱桁

１．はじめに

現在，高速道路の特定更新工事や大規模修繕工事等において，既設ポストテンション PC 橋の PC グラウト再注入（以下，再注入）が実施されている．PC 鋼棒タイプの箱桁橋は，塩化物等の劣化因子がシース内のグラウト充填不足（以下，充填不足）部に侵入しやすく，腐食が生じた際には脆性破断が生じ突出による第三者被害が懸念されるため，再注入の優先度が高い．著者らは，亜硝酸リチウム水溶液先行注入後，亜硝酸リチウム添加補修材充填による再注入工法であるリパッシブ工法（以下，本工法）を提案し，PC 鋼棒を模した実物大試験により施工方法を開発[1]後，正曲げ主鋼棒，横締め鋼棒，せん断鋼棒に対して実施工[例えば 2]を行っている．

写真-1 せん断鋼棒を有する PC 箱桁橋

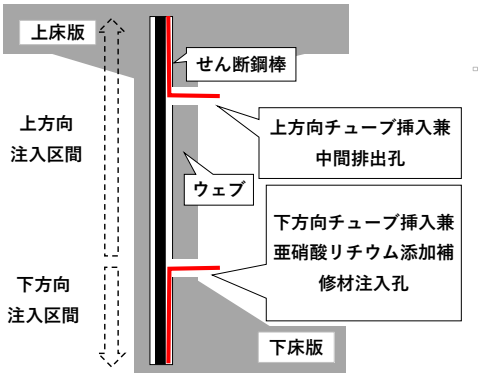

図-1 せん断鋼棒における施工方法標準

村上陸

鴨谷知繁

深川柊

白水祐一

本報告で対象とするせん断鋼棒は，**写真-1**A 橋のような 90°配置鋼棒（鉛直鋼棒）と，B 橋のような斜め 45°配置鋼棒（以下，斜鋼棒）の 2 種類があり，鋼棒の設置角度は主鋼棒や横締め鋼棒と比較して大きい．そのため下方向注入区間における先流れが原因となるエア溜まり（以下，先流れによる充填不足）が発生しやすいと考えられる．そこで本工法の実施工では，**図-1** のような施工方法を標準としている．この施工方法では下床版ハンチ近傍および上床版ハンチ近傍の 2 か所に削孔を行い，排気および補修材排出による充填確認用の内径 2mm 外径 2.5mm の高弾性チューブ（以下，チューブ）を，前者で下方向，後者で上方向へ挿入する．そして，下方向注入区間における先流れによる充填不足を極力少なくするため前者を注入孔とした方法である．ただし，再注入では充填不足端部の注入孔を設置できないことが一般的であり，この方法でも下方向注入区間を完全になくすことはできない．

そこで，本稿では下方向注入区間長および設置角度の相違を考慮したせん断鋼棒実物大試験体を作成し，注入実験を行い，先流れによる充填不足の発生に関して検討を行ったので報告する．

2．実物大試験概要

2.1　実物大試験体の概要

実物大試験の試験要因を**表-1**に，外観を**写真-2**，概要図を**図-2**に示す．試験体は全長4mとし，シース内径と鋼棒外径の差がφ32mm鋼棒の場合（シース内径38mmとφ32との差6mm）と同条件になるように，シースの代わりに内径41mm外径48mmの透明塩ビ管，鋼棒の代わりにφ35mmの塩ビ丸棒を使用した．塩ビ丸棒には，500mm～1000mm程度の間隔でφ2mm×t2mm程度のスペーサーを設置し，斜鋼棒の場合にも塩ビ丸棒がシース断面地面側に密着しないように配慮した．塩ビ丸棒と透明塩ビ管との間隙は実構造物のように0～6mmの範囲で不確定性を有した状態である．ただし，**写真-3**に示すように，シースには軸方向に連続した凹凸がある一方，透明塩ビ管にはそれが無い．よって，PC鋼棒とシース内面が接触する場合，実構造の接触部はシース凸部のみで，シース凹部には排気やグラウト注入が可能となる隙間が軸方向に断続的に生じる．一

表-1 実物大試験の試験要因

試験体	種類	設置角度	削孔数	全長（mm）	下方向注入区間長（mm）
No.1	斜鋼棒	45°	1 孔	4000	2800
No.2	鉛直鋼棒	90°	1 孔	4000	2800
No.3	斜鋼棒	45°	2 孔	4000	1200

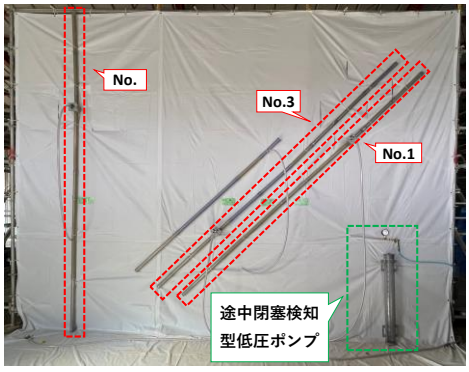

写真-2 実物大試験の外観

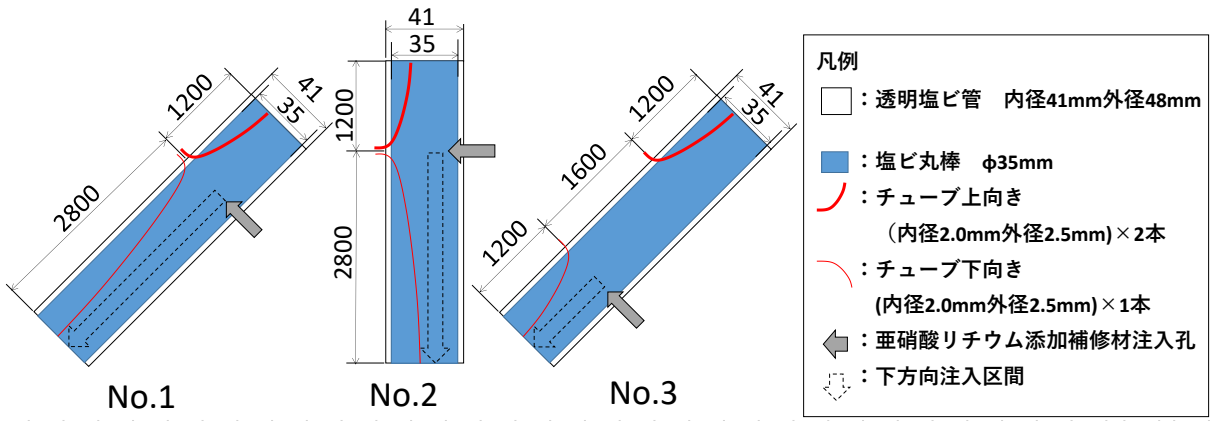

図-2 実物大試験の概要図

方，透明塩ビ管を使用する本試験では接触部は試験体方向に連続し，実構造のような隙間が生じない．以上より，本試験では実構造と比較して，PC鋼棒とシースとの隙間が非常に小さい箇所で軸方向に連続した充填不足が生じやすいことに留意する必要がある．

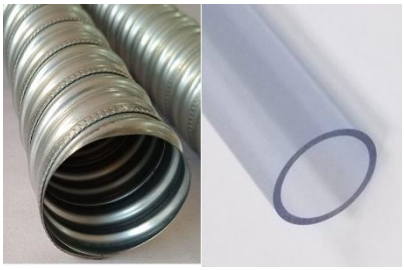

写真-3 PC シース・透明塩ビ管

2.2 実物大試験の各種試験要因

試験体設置角度は斜鋼棒の45°および鉛直鋼棒の90°とし，削孔数は1孔および2孔とした．1孔は，ブリーディング等による充填不足が生じやすく，削孔調査位置として優先される上床版ハンチ近傍の1孔から施工する場合に相当する．一方，2孔は**図-1**の施工方法標準に相当する．1孔の場合は，上床版ハンチ近傍に相当する試験体上端から1200mm位置にチューブ挿入兼注入孔を形成し，シース下端までチューブ1本，シース上端までチューブを2本挿入した．2孔の場合は，下床版ハンチ近傍に相当する試験体下端から1200mm位置にチューブ挿入兼注入孔を形成し，チューブ1本をシース下端まで挿入し当該孔を補修材の注入孔とした．また上床版ハンチ近傍に相当する試験体上端から1200mm位置にチューブ挿入孔を形成し，チューブ2本をシース上端まで挿入した．以上より，チューブ先端からの排気が確保された条件での下方向注入区間長は1孔式でL=2800mm，2孔式でL=1200mmとなる．

本工法の施工においては端部までのチューブ挿入の確実性が非常に重要であり，確実性が担保される範囲が施工方法の適用範囲となる．2孔では目標挿入長が1200mmでありチューブ挿入孔からシース端部まで確実に挿入できた．

一方，1孔では目標挿入長が2800mmと長く，チューブ挿入時の摩擦が大きいため，チューブ挿入孔からシース端部まで挿入することができなかった．そのため，1孔のNo.1およびNo.2試験体は，透明塩ビ管へのチューブ挿入後，塩ビ丸棒を設置するという実施工では不可能な手順で試験体を作成した．No.1およびNo.2のような施工方法は実施工の適用範囲外であり，シース下端部の排気がチューブ挿入以外の方法で確保された条件で，下方向注入区間長が大きい場合のデータ取得を目的とした試験としての位置づけになることに留意願いたい．

2.3 亜硝酸リチウム添加補修材の配合・性状・注入方法

亜硝酸リチウム添加補修材の配合および性状を**表-2** に示す．本工法の標準材料を標準配合にて練り混ぜを行った．冬季に実験を行ったため，練り混ぜ水を加温調整した結果，グラウト温度は 19~20℃であった．フロー試験は修正 JASS 法で行い，試験結果は 280～285mm であり規格値（250～300mm）を満足した．亜硝酸リチウム添加補修材の注入は，**図-3** に示すような実施工と同様の途中閉塞検知型低圧ポンプを使用した．本ポンプは，コンプレッサーと空気圧調整弁で調整した圧縮空気によりメモリ付き透明塩ビ管内の補修材を低速で加圧注入する構造である．目標注入速度は実施工と同程度の 0.2L/min とした．**表-3** に最終注入圧力を示す．注入孔から試験体上端までの高低差の大きな順に最終注入圧力が大きくなっている．シース内空隙

表-2 亜硝酸リチウム添加補修材の配合・性状

配合	水	7.7 kg
	亜硝酸リチウム水溶液	1.9 kg
	粉体	20 kg
温度	練り上がり	19℃
	再攪拌時	20℃
フロー（修正 JASS 法）	練り上がり	280 ㎜
	再攪拌時	285 ㎜

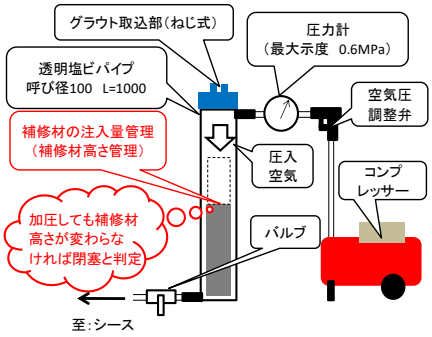

図-3 途中閉塞検知型低圧ポンプ

表-3 最終注入圧力

試験体	最終注入圧力（MPa）	参考：注入孔から試験体上端までの高低差（mm）
No.1	0.12	849
No.2	0.16	1200
No.3	0.23	1980

の小さい PC 鋼棒では，PC 鋼線束等より大きな注入圧力が必要となっており，今後，参考値として施工計画に反映させる予定である．

３．試験結果

3.1　下方向注入区間の先流れ状況

図-4 に下方向注入区間の先流れ状況を示す．斜鋼棒について，No.1 の 1-a，1-b および No.3 の 3-a は充填不足が生じるような先流れが生じていないが，No.1 の 1-c はシース内に挿入したチューブに沿った先流れ，No.3 の 3-b，3-c では断面の天側に充填不足の発生が懸念される先流れが生じた．鉛直鋼棒については，No.2 の 2-a のように一部チューブによる僅かな先流れが生じているほか，2-b および 2-c のように透明塩ビ管と塩ビ丸棒との隙間が大きい側の先流れが生じた．以上より，せん断鋼棒の下方向注入では充填不足の発生が懸念されるような補修材の先流れは回避できないと判断される．

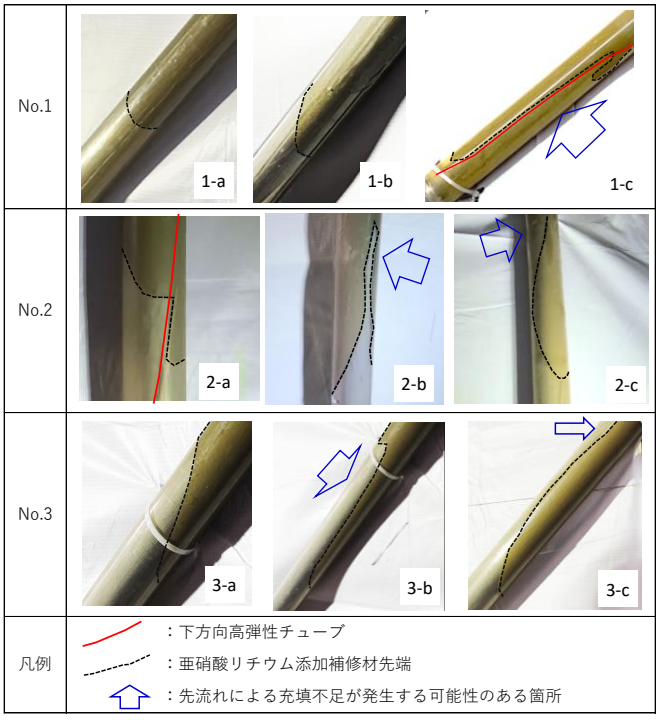

図-4 下方向注入区間の先流れ状況

3.2　硬化後の充填不足発生状況

硬化後の充填不足発生状況を図-5 に示す．まず，下方向注入区間について，斜鋼棒の No.1，鉛直鋼棒の No.2 ともに幅 10mm 程度の軸方向に連続した充填不足が生じ，No.1 では断面の天側に発生位置が集中した．このような充填不足は，上述のように実構造物ではシース内面の凹凸により不連続化され，低減されると期待される．No.3 は充填不足が確認されず，少なくとも下方向注入区間長を小さくすることが，同区間の充填不足の低減に寄与することが確認された．上方向注入区間では，No.1 および No.2 では上方向注入区間の一部に下方向注入区間と同程度の充填不足が生じた．上方向注入区間の充填不足発生要因は，先流れが生じな

いことから，塩ビ管内部と塩ビ丸棒の隙間が補修材の充填性能を上回るほど非常に小さいためと考えられる．No.1 および No.2 において下方向注入区間と上方向注入区間で発生した充填不足の形状や大きさに有意な差がないことから，下方向注入区間長が本試験の範囲では先流れによる充填不足は軽微と判断される．

シース上端部では，No.1，No.2 でチューブ先端到達位置との相対関係で排出不可能なエア溜まりによるわずかな充填不足が生じた．また No.3 については，試験体上端断面の天側近傍にチューブが到達したため，エア溜まりが発生せず，完全に充填できたものと考えられる．

なお，本工法では，上述のような本試験で確認された充填不足部が発生した場合にも，事前に亜硝酸リチウム水溶液を減圧注入法により乱流を発生させながら注入するため、腐食抑制されるため耐久性は確保される．

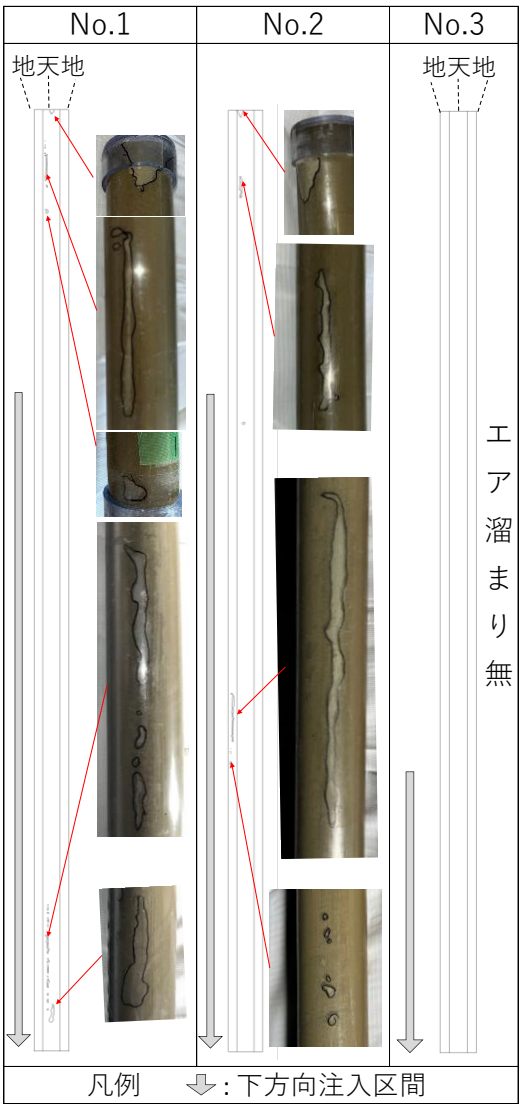

図-5 硬化後の充填不足発生状況

4．まとめ

本稿では，PC鋼棒タイプの箱桁橋のせん断鋼棒を対象に，亜硝酸リチウム水溶液先行注入後，亜硝酸リチウム添加補修材充填による再注入工法の施工を行う際，不可避となる下方向注入区間の先流れによる充填不足の把握を目的に，下方向注入区間長および設置角度の相違を考慮した実物大注入実験を行った．下記に得られた知見を記す．

1) 排気および充填確認用チューブの挿入確実性の観点から，従来の施工方法標準のように，上床版ハンチ近傍と下床版ハンチ近傍にチューブ挿入孔を設置する2孔式注入方式の適用が必要である．
2) 下方向注入区間長を小さくすることは，先流れによる充填不足の低減に寄与する．
3) 鉛直鋼棒および斜鋼棒において，下方向注入区間の先流れが生じたが，硬化後の目視確認から下方向注入区間に生じる充填不足は軽微と判断された．

参考文献

1) 鴨谷知繁，深川直利，池田政司，石井浩司：$LiNO_2$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，プレストレストコンクリート工学会第 27 回シンポジウム論文集，pp.83-86，2018.
2) 鴨谷知繁，真島敬，山本忠典，栗野広大，安里俊則：阪和自動車道土丸橋（上り線）のPCグラウト再充塡工事報告，セメント・コンクリート，No.927，pp.24-29，2020.