

実桁を用いた PC グラウトの再注入実験

(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 ○山口 光俊

(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 関 武成

日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室 正会員 野島 昭二

日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室 正会員 紫桃孝一郎

1. はじめに

PC グラウトの充填不足があった場合、PC 構造物が本来保有すべき耐久性を確保するため、グラウトの再注入を行う必要がある。グラウトの再注入は、シースを目標に躯体を削孔し、この削孔穴を用いた注入・排出作業となるが、必ずしもシースの最も高い位置やシース端部（定着部近傍）に削孔することができないため、新設構造物の注入時以上に空隙の生じる可能性がある。したがって、グラウト再注入においては、より高い充填性能を有する注入工法が必要となる。そこで、高い充填性が期待できる真空ポンプを併用した再注入工法の適用性について、実桁を用いて検証することとした。実桁はグラウトの充填不足を確認したポストテンション PC 単純T桁（以下、「撤去桁」という）を用いた。再注入したグラウトの充填度は、コア抜き、桁切断およびはつり出しにより確認した。その結果、真空ポンプを用いて適切な手順により実施した PC グラウトの再注入工法では、良好なグラウトの充填度が得られることが明らかとなり、実橋においても適用可能であることを確認した。

2. 実験概要

2.1 試験体

実験に用いた撤去桁は、グラウトの充填度および PC 鋼材の健全度の評価のため、ウォータージェット工法による削孔が完了している。削孔穴の一例を写真 1 に示す。削孔穴は $\phi 50$ 程度の径で 2 回並列にあげられており、一辺が 50~70mm、他辺が 80~100mm 程度の大きさである。

PC グラウトの充填度は図 1 に示すようで、C1 ケーブルの A1 側に 11m、A2 側に 3m 程度の充填不足箇所が確認された。紙面の都合上、本論文では A1 側の再注入実験について述べることとする。図 1 中の 1-1~1-6 の削孔箇所ではいずれの削孔穴もグラウトが充填されていない評価であり、各削孔穴間で空気の導通を確認した。1-6 より桁端側および 1-1 より A2 側においても充填不足箇所があることを考慮して再注入計画を行った。

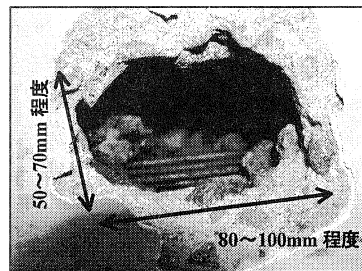


写真 1 削孔穴の一例

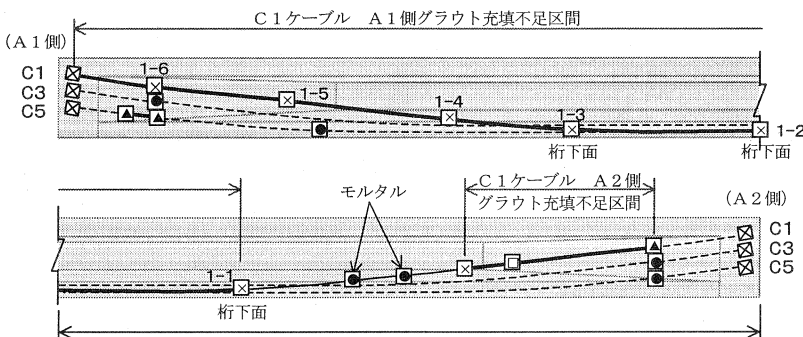


図 1 PC グラウトの充填度調査結果

<試験体（撤去桁）の緒元>

種別：ポストテンションPC単純T桁

桁長：17.8m

主ケーブル：12 $\phi 7$

<グラウト充填度の凡例>

- ：完全に充填されている
- ▲：充填度が半分程度以上で PC 鋼材の露出はない
- △：充填度が半分程度以上で PC 鋼材が露出している
- ：充填度が半分程度未満で PC 鋼材が露出している
- ×：充填されていない
- ：通気のある区間

2.2 再注入計画

グラウト再注入の配置計画図を図2に示す。グラウトの再注入が新設のグラウト注入と大きく異なるのは、グラウト注入区間の端部にグラウトホースを設置できないことである。そこで、注入口と排出口間の確実なグラウトの充填を期待するため、注入口は充填不足区間内で最も低い位置の1-2削孔穴とし、排出口は最も高い位置の1-6および1-1削孔穴とした¹⁾。その他の削孔穴は、グラウトの再注入時の気密性を確保するため閉塞することとした。

また、排出口はグラウト注入区間の端部(図2:L1およびL2)における高い充填性を期待するため、真空ポンプに接続した。これは、真空ポンプを併用した場合、併用しない場合と比較して、より端部までグラウトが充填されることを基礎実験により確認しているためである。

ここで、注入口・排出口を個々に配置できる場合を2穴注入と呼び、削孔穴を1つしか設けることができず、注入口・排出口を同じ穴で併用する場合を1穴注入と呼ぶものとする。1穴注入は排出口を持たず、注入長全部が2穴注入の端部長に相当するため、注入長が長くなるほど必然的に充填率が低下する。

再注入作業のフローを図3に示す。再注入工法は、①～③の準備工、④グラウト再注入、⑤あと処理に分類される。なお、本論文では⑤あと処理の報告は割愛する。

2.3 残留水の排出

WJ工法による削孔を行う場合、処理水がグラウト充填不足区間内に残留する。多量の残留水は、ブリーディングの発生やグラウトの品質を損なう要因となる可能性がある。したがって、エアーコンプレッサを用い、全ての削孔穴から圧搾空気を送風し、シース内部の残留水の排出を行った。

2.4 注入口・排出口の取付け

グラウト注入・排出用ホースは、内径φ19mmのテトロンブレッドホースを使用した。外径φ20mmのガイド管を製作し、これを超速硬性の無収縮モルタルを用いて削孔穴に固定することでグラウトホースの接続を可能とした。ガイド管配置断面図を図4に示す。ガイド管の埋込み長は80mm程度とし、削孔穴の奥へモルタルがまわらないようバックアップ材として金網(1.2mmのメッシュ状)を取り付けた。モルタルが硬化した後、グラウトホースをホースバンドで固定した。ガイド管設置状況を写真2に示す。

なお、桁下から上向きに削孔した穴に取り付ける場合は、隙間がでやすいので、入念な施工が必要であった。

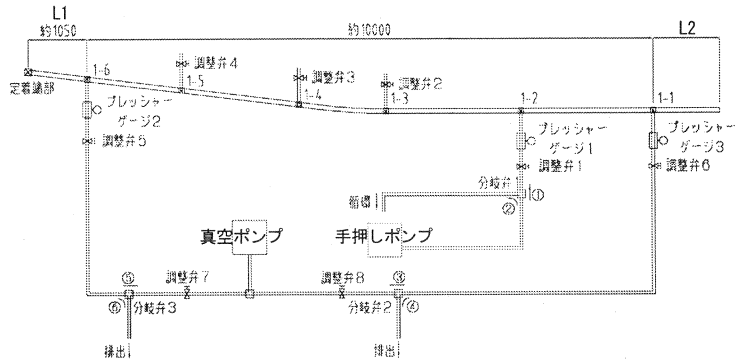


図2 グラウト再注入の配置計画図(2穴注入)

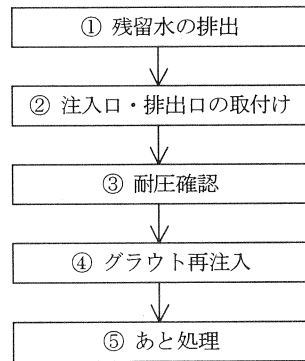


図3 再注入工法のフロー

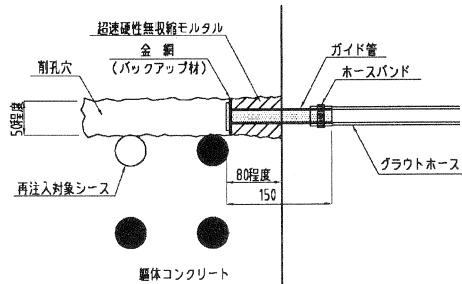


図4 ガイド管配置断面図

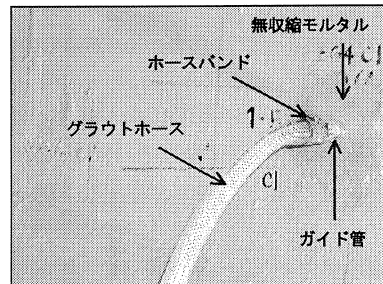


写真2 ガイド管設置状況

2.5 耐圧確認

シース内およびグラウトホース接続部は、真空ポンプ作動時の減圧およびグラウト注入時の加圧に対して気密性が必要となることから、注入口・排出口の取付けおよび養生が完了した後、小型のエアークンプレッサによる加圧にてこれを確認した。なお、確認時の目標耐圧は 0.5MPa とした。

2.6 グラウト再注入

グラウトは、ノンブリーディング・高粘性型グラウトを使用した。グラウトの練混ぜはグラウトミキサ (100L 練り用) を用いて行った。なお、既に注入されているグラウトと再注入したグラウトとの判別を明確にするために、再注入するグラウトは赤色に着色した。再注入に用いたグラウトの流下時間 (JP ロート) は 16.3 秒 (平均値) であった。

実験で実施したグラウト再注入の作業手順を以下に示す。

- ①真空ポンプを用いて、-0.09MPa を目標にシース内の減圧を開始。
- ②真空度が一定圧力 (-0.07MPa 以上) を保持していることを確認した後、真空ポンプで減圧を維持した状態でグラウトの注入を開始。
- ③排出口をグラウトが通過したことを確認した後、排出口の弁を閉塞。
- ④注入圧力が 0.5MPa に達するまで加圧し、圧力が保持されていることを確認した後、注入口を閉塞。
- ⑤各グラウトホースを結束。

-0.09MPa を目標値として減圧を行ったが、ひびわれ等の存在で良好な気密性が得られず、目標の真空度が得られない場合もあった。実験中は-0.07~-0.09MPa 程度の真空度が得られていた。なお、注入区間全域が一樣な真空度になっているか否かは、注入口・排出口近傍に設置したプレッシャーゲージおよびグラウトホースのつぶれ具合によって確認した。

真空ポンプは、グラウト注入中においても連続運転した。これにより、グラウト注入中の空隙が常に目標の真空度を保持できる。使用した真空ポンプを写真3に、真空ポンプの仕様を表1に示す。

注入区間の必要グラウト量は少量であること、注入圧力が高圧になるとグラウトホース接続箇所が破裂が懸念されることから、注入ポンプは圧力管理の容易な手押しポンプを使用することとした。

所定の真空度が得られた後、グラウトの注入を開始した。グラウト注入状況を写真4に示す。グラウトは1-2 (注入口) を通過後、1-1 (排出口)、1-3 と順に通過した。調整弁6をグラウトが通過したことを確認した後、調整弁6を閉塞した。その後、1-5、1-4、1-6 (排出口) の順でグラウトを目視確認した。1-5 と1-4 で目視確認順序が逆転しているが、この間およそ10秒程度であり、鋼材配置状況や断面における空隙状況が影響したものと思われる。調整弁5をグラウトが通過したことを確認した後、調整弁5を閉塞し、手押しポンプの圧力計で0.5MPa となるまで加圧した。注入圧の上昇にしたがい残留空隙量が減少することを基礎試験で確認しているが、グラウトホース接続部が破裂しないよう0.5MPa を加圧上限値とした。加圧完了後、グラウトホースを折り曲げて結束し、グラウトホース先端を上方に向けて固定した。再注入完了後の養生状況を写真5に示す。

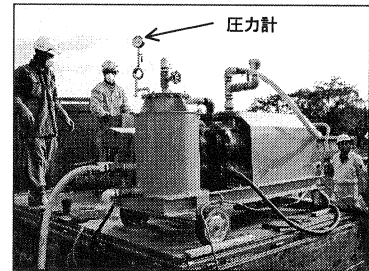


写真3 真空ポンプの一例

表1 真空ポンプの仕様

仕 様	性 能
真空圧力	700mmHg
排 気 量	3.3m ³ /mm
電 動 機	11kW
回 転 数	1450rpm

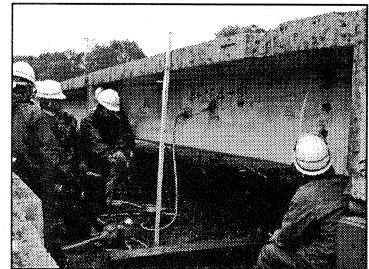


写真4 グラウト注入状況

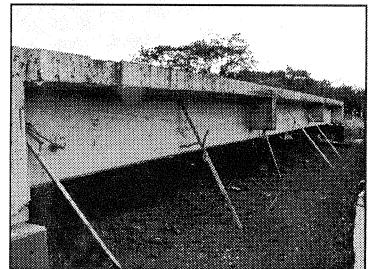


写真5 養生状況

3. 実験結果

グラウト再注入作業は、概ね実験概要に示した手順で実施することができた。注入口・排出口の取付け部は、耐圧確認により気密性を確認することができた。エアリー漏れがなければ所定の真空度が得られ、0.5MPaの注入圧力ではグラウトの漏れは見られなかった。

再注入後のグラウト充填度を、コア抜き、桁切断およびはつり出しによる解体調査で確認した。それぞれの結果を写真6～写真8に示す。当初空隙だった部分は、再注入グラウトで充填されていることが確認された。写真8に示すように、定着具端部でも良好な充填度が確認され、真空ポンプを併用した再注入方法は、排出口より先の閉塞した箇所についても高い充填度が得られることが確認できた。

再注入前後のX線透過法による非破壊検査結果を図9に示す。再注入前に空隙だった箇所が、確実に充填されていることがわかる。



写真6 コア抜きの一例

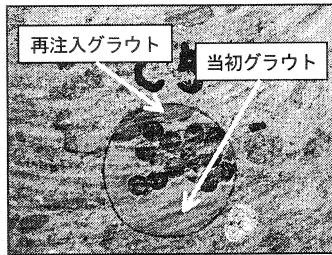


写真7 桁切断の一例

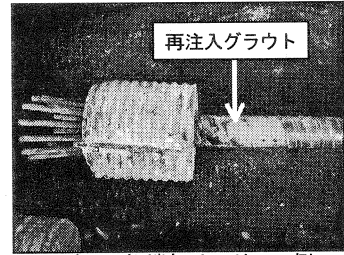
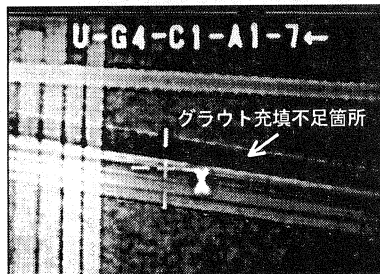
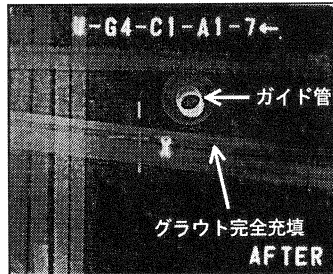


写真8 桁端部はつりの一例
(C1 ケーブル, A1 側定着部)



<再注入前>



<再注入後>

写真9 X線透過法によるグラウトの充填度比較の一例

4. まとめ

高い充填性が期待できる真空ポンプを併用したグラウトの再注入工法について実用を用いた実証実験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- ①真空ポンプを併用した再注入工法は、充填不足区間の閉塞した箇所においても高い充填度が得られ、実構造物に適用可能である。
- ②真空度の判断は、真空ポンプの圧力計とグラウトホースのつぶれにより確認できる。なお、ひび割れ等により良好な気密性を得られない場合には真空度は若干減少するが、耐圧確認で0.5MPaの圧力を保持できれば充填度の低下はない。
- ③注入口・排出口の取付けは、超速硬性無収縮モルタルを用いて固定したガイド管にグラウトホースを接続することで可能である。ただし、上向きに削孔した穴に取り付ける場合は、隙間ができ易いので入念な施工が必要である。

<参考文献>

- 1) (社)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(改訂版)2002, 2002.10