

報告 PC グラウト注入における真空ポンプと注入ポンプ併用の効果

内山 周太郎*1・野永 健二*2・山口 隆裕*3

要旨: PC グラウト注入において充填性の向上と作業能率の改善を目的として外ケーブルを対象とした真空ポンプ併用のグラウト注入試験を実施した。試験の結果から、真空ポンプの併用により注入ポンプの吐出圧力の低減及びグラウト充填率の向上、等を確認することができた。これらの結果を基に、東海環状津保川橋上部工工事に於いて同方法を採用し PC グラウト注入作業を行い安全且つ確実に実施することができた。

キーワード: PC グラウト、真空ポンプ、吐出圧力、吐出量、グラウト充填率、外ケーブル、

1. はじめに

PC グラウトの注入工において、注入ポンプによるグラウト圧送だけではなく真空ポンプによる吸引力を併用した方が、シース内部に生じる注入圧力の低減、等利点の多くなることは容易に想像できる。^{1)~3)}

著者らは外ケーブルを対象とした PC グラウト注入における真空ポンプと注入ポンプ併用効果に関する試験を行い、真空ポンプ併用の特徴を把握すると共に、東海環状津保川橋上部工工事で外ケーブルのグラウト注入工に真空ポンプ併用工法を導入した。

本報告はこれらの結果について述べるものである。

2. 試験概要

使用した真空ポンプは 1 気圧 10^5Pa (パスカル) を $10^3\sim 10^4\text{Pa}$ 程度に減圧する能力を有しているものであり、以降気圧 10^4Pa 程度をここでは便宜上、真空と記すこととする。真空ポンプの外形は約 $700\times 950\times 820(\text{mm})$ と小型であり空冷で取り扱い易いものであった。

試験における真空ポンプの配置位置は図-1

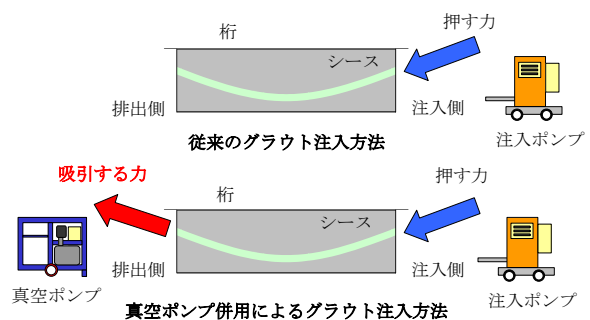


図-1 真空ポンプ併用によるグラウト注入の模式図

に示すように注入ポンプの逆側、すなわち通常の排出側とした。真空ポンプ併用の場合の注入手順としては、先ず、注入側のバルブを閉めてから真空ポンプを作動させ、シース内部を真空状態にする。この状態を維持しながら注入側のバルブを開放して注入ポンプを作動させてグラウトを圧送する。

試験は基礎試験 (B1、B2) と予備試験とに分けて行った。基礎試験 B1 は加圧状態と減圧状態における本施工で用いる予定の高密度ポリエチレン管 (以下 PE 管と記す) の形状変化と接続部の挙動と耐圧性能把握を目的とし、基礎試験 B2 は真空ポンプ併用による注入状況の把握と注入

*1 FKK 極東鋼弦コンクリート振興 (株) 技術研究所 (正会員)

*2 (株) 錢高組 土木本部 技術部 (正会員)

*3 FKK 極東鋼弦コンクリート振興 (株) 技術研究所 (正会員)

作業工程の確認を目的として行ったものである。予備試験は注入長約 60m の供試体を作製し、本施工と同様な作業工程でグラウト注入を行い真空ポンプ併用による効果を確認したものである。

3. 基礎試験 B1

3-1 概要

供試体数は 3 体とした。PE 管の長さは定着具を含めて約 5m であり、PC 鋼材は挿入されていない。3 体それぞれにおいて PE 管の端部での固定状況及び接続方法が異なっている。

測定項目は正圧及び負圧における PE 管の径と長さの変化量、各種接続部での漏水及び抜け出しとした。写真-1 に試験状況の一例を示す。



写真-1 基礎試験 B1 の試験状況の一例

3-2 試験結果と考察

真空時において接続部を含む PE 管の形状変化はほとんど生じず今回の外ケーブルシステムは十分な気密性を有していることが確認された。PE 管の両端部に定着具を配した供試体においては、加圧 0.7MPa 時に PE 管の接続部で湾曲しはじめ、PE 管の直線性が保たれなくなった。なお、この値は PE 管の拘束状態により大きく変動するものと考えられる。

4. 基礎試験 B2

4-1 概要

グラウトの充填状況と注入速度の把握を目的として透明シース及び PE 管による全長 10~18m の供試体を計 3 体作製した。全供試体とも注入側から 10m の範囲に PC 鋼材を挿入し実構造物と

同等のシース内部の空隙率を再現した。ただし鋼材は無緊張とした。注入速度は透明シース供試体における 10 秒間隔毎のグラウト到達距離から求めた。又、シース内部に生じる圧力を測定し真空ポンプ併用の有無による相違を確認した。写真-2 に供試体全景を示す。

4-2 試験結果と考察



写真-2 基礎試験 B2 供試体全景

全長 18m のシース内部が真空状態に到達するのにわずかに 30 秒程度の時間を要したにすぎなかった。今回用いた真空ポンプを実橋で適用するのに能力的に問題のないことが確認できた。試験では透明シースを用いたが、剛性が低すぎたためにシース内部が減圧されるに従い、形状保持ができずに、変形を生じた。グラウト施工においてはシースの剛性に注意する必要がある。グラウトが排出口到達時のシース内部の圧力は注入ポンプのみの場合 0.04MPa、真空ポンプ併用の場合 0.01MPa であった。注入長が短い為、値としては小さいものであったが、吐出量を一定とした場合、真空ポンプを併用することによりシース内部の圧力が小さくなる傾向が示された。

5. 予備試験

5-1 供試体と使用機器

供試体の概要を表-1 に供試体全景を写真-3 に示す。又、ケーブル形状のみを図-3 に示す。供試体は 3 種類とし、混和剤の種類と真空ポンプ併用の有無を試験要因とした。シース内部には PC 鋼材を挿入して、実構造物と同等のシース内空隙率とした。

表-1 供試体概要

供試体	長さ (m)	最大傾斜 (°)	使用シース	グラウト注入方法	使用混和剤
P1	60	12	PE管	注入ポンプ	A社
P2	60	12	PE管	注入ポンプ+真空ポンプ	A社
P3	60	12	PE管	注入ポンプ+真空ポンプ	B社



写真-3 供試体全景 (ケーブル長 60m)

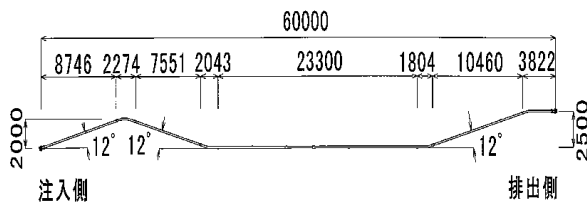


図-3 ケーブル形状

予備試験で使用した材料及びグラウト機器を表-2に示す。混和剤は同じ高粘性タイプであるが製造会社の異なる2種類のものを使用した。図-4にグラウト機器の配置状況を示す。供試体ごとに6箇所にて圧力計を設置し、真空時及びグラウト注入時において一定の時間間隔でシース内部の圧力を測定した。又、圧力計のすぐ隣に排気口を計5ヶ所設置した。ただし、中間排気口は、これまでのグラウト工法で実施しているような簡易な方法とし、ホースを折って結束線で止める方法とした。真空ポンプを併用した供試体P2,P3では真空を保持するために多重に折りこむ必要があった。

表-2 使用材料及びグラウト機器

混和剤	高粘性タイプ(A社、B社)
セメント	普通ポルトランドセメント
水	水道水
定着具	外ケーブル用定着具 19ER15
PC鋼線	19S15.2
シース	PE管
グラウト注入機器	PCグラウトユニット
真空ポンプ	能力 $10^3 \sim 10^4$ Pa、 $94\text{m}^3/\text{h}$

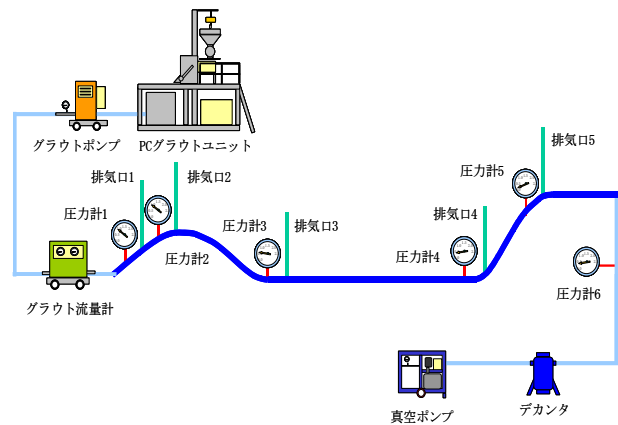


図-4 グラウト機器の配置関係

5-2 測定項目

真空ポンプ併用の有無による吐出圧力の相違を確認するため、平均吐出量は約 10~15l/minとなるようにして一定に保ちながら試験を行った。測定項目は真空状態に要する時間、グラウト注入時間、吐出圧力及びシース内部の圧力とした。写真-4に圧力計と排気口ホースの設置状況を示す。又、グラウト硬化後適当な箇所です



写真-4 圧力計及び排気用ホース

ンプリングし、グラウト充填度合を比較した。

5-3 結果と考察

5-3-1 流下時間と圧力

表-3 に流下時間の測定結果を示す。表中の値は 4~5 バッチの平均値を示す。JP 漏斗で 14 ± 1 秒値の範囲での試験となった。供試体 P1 と供試体 P2 で平均吐出量が約 12.5l/min でほぼ同じとなり、供試体 P3 は約 10.2l/min であった。

表-3 流動性試験結果

供試体	W/C (%)	混和剤	流下時間 (秒)		
			J 1 4 漏斗	J P 漏斗	バッチ数
P1	43	A社	8.2	13.4	5
P2	43	A社	9.0	14.5	4
P3	45	B社	9.3	15.0	5

60m のシース内部を真空に要した時間は 2 分以下であり極めて短時間で真空になることが確認できた。供試体 P1 と P2 の圧力計 6 におけるグラウト到達時間はそれぞれ 29 分 30 秒と 28 分 0 秒になった。平均吐出量をほぼ同じとしたため、真空ポンプ併用の有無によって注入時間に大きな差は生じなかった。

図-5 はシース内部最大圧力発生箇所である圧力計 1 の示度と注入ポンプの吐出圧力の時間履歴を示したものである。真空ポンプの併用によりシース内部の圧力が低減することが示されている。グラウトの排出口到達時において、真空ポンプを併用した供試体 P2 では、シース内部に生じた最大圧力（圧力計 1）は 0.18MPa であり、併用しなかった供試体 P1 と比べて 0.14MPa 小さくなった。

又、シース内部に発生する圧力は吐出圧力より約 0.1~0.2MPa 低い状態でグラウトが注入されていることが図-5 から確認できる。これには注入ポンプから注入口までのホースの長さや径、及び、定着体の構造が影響していると考えられる。

外ケーブルの場合、構造的に弱点となるシースの接続部がほとんどの場合コンクリートに埋

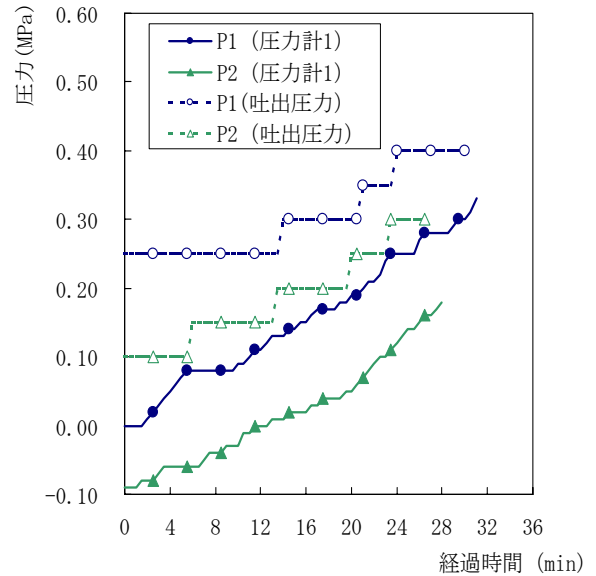


図-5 シース内部圧力（圧力計 1）と吐出圧力の履歴

没されていない、グラウト注入作業においてシース内部に生じる圧力を極力低減することが必要である。従って、吐出圧力及びシース内部の圧力を低減できる真空ポンプ併用によるグラウト注入方法は外ケーブルのグラウト注入作業において、極めて有効的な方法と言える。

5-3-2 グラウト充填状況

図-6 に充填状況を詳細に検討する為、グラウト硬化後に長さ 300mm のサンプリングを行った箇所と PE 管を取り除き充填状況を観察した区間を示す。

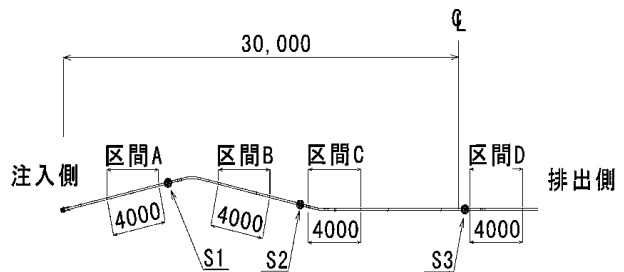


図-6 サンプリング及び PE 管除去位置

(1) サンプリングによる充填状況の詳細検討

サンプルより求めた空隙・気泡比の結果を図-7 に示す。サンプリングした箇所において大き

な未充填箇所が存在しなかった為、真空ポンプ併用の有無に関わらず未充填率はグラウトの空気量も含めて1%程度と良好な結果となった。

サンプルから求めた PC 鋼より線の芯線と素線の間におけるグラウト充填率の結果を図-8に示す。充填率は拡大鏡を使用して切断面の素線間におけるグラウト充填率の結果を図-8に示す。充填率は拡大鏡を使用して切断面の素線間の充填率を目視により計測して求めた。図-9には PC 鋼より線及びサンプル断面の模式図を示す。真空ポンプ併用によって素線空間におけるグラウト充填率が向上する傾向が示された。

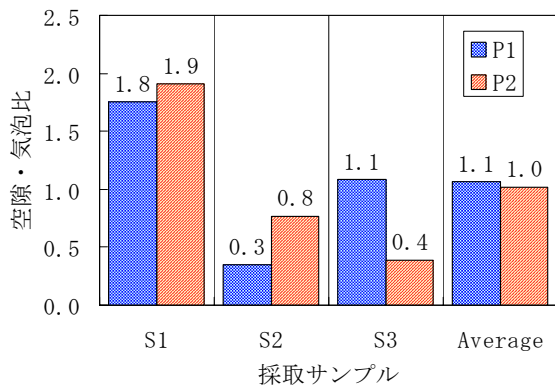


図-7 空隙・気泡比

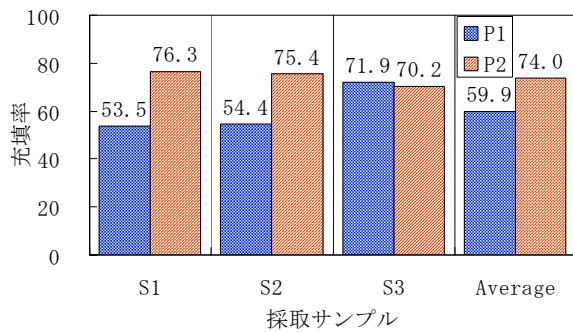


図-8 素線間のグラウト充填状況

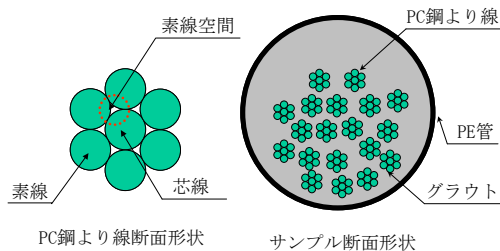


図-9 PC 鋼より線及びサンプルの模式図

(2) 目視によるグラウト充填状況

PE 管を取り除きグラウト充填状況について目視による確認を行った。各区間において、気泡等による空隙の体積を算出し、供試体ごとにまとめた結果を図-10に示す。写真-5に供試体 P1 区間 C における空隙状況の一例を示す。真空ポンプ併用の有無により下り傾斜部から下り平行部に移行する箇所(区間 B, C)での充填状況に差が見られた。真空ポンプの併用により、グラウトの充填困難な箇所の空隙の発生率を抑制できる可能性が示された。

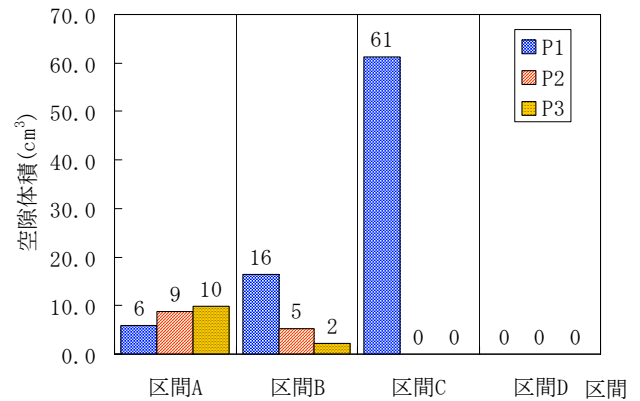


図-10 グラウト未充填体積

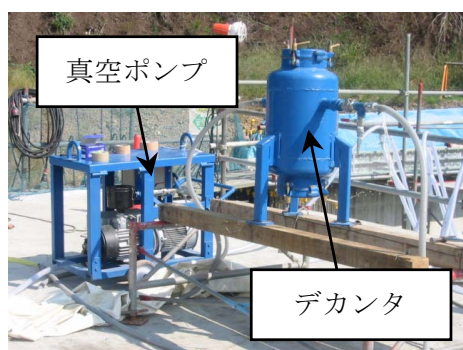


写真-5 グラウト未充填箇所

6. 東海環状津保川橋工事での外ケーブルグラウト注入

東海環状津保川橋は国土交通省中部地方整備局発注、岐阜県加茂郡富加町で施工した橋長266mの3径間連続 PC 箱桁ラーメン橋である。10本のフレッシュ工法外ケーブル(19S15.2mm)

のグラウト施工を圧力計も配置して、真空ポンプ併用で行った。最大長 266m の外ケーブルのグラウト注入はシース内部圧力 0.3MPa 以下の範囲で出来るだけ早い注入速度(15ℓ/min)を保つように調整しながら施工した。最大シース内部圧力 0.28MPa、注入時間 135 分、盛り換え 2 回での施工となった。結果的に実現した最大連続注入長は 110m となった。写真-6(a)に真空ポンプ装置、(b)に桁内部の圧力計配置状況を示す。



(a) 真空ポンプとデカンタ



(b) 桁内部

写真-6 津保川橋梁での真空ポンプ併用によるグラウト注入作業状況

7. 結論

予備試験と本試験を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) グラウト注入ケーブル長 60m、PC 鋼材無緊張、PE 管無拘束で真空ポンプを併用した予備試験の場合、平均吐出量 11~13ℓ/min でグラウト注入時、シース内部に発生した最大圧力は 0.2MPa 程度であった。本施工で

は注入速度を 15ℓ/min 程度を保つ注入であったが、最大シース内部圧力 0.28MPa での連続注入長は 110m を実現した。

- 2) 真空ポンプ併用によりグラウト注入時のシース内部圧力は注入ポンプのみ使用の場合と比べて低下することが確認できた。吐出圧力を一定とした場合、真空ポンプ併用により注入時間の短縮が計れる事を確認した。
- 3) 真空ポンプ併用の有無によるグラウト充填状況を比較した結果、充填が困難とされる下り勾配部における先流れ空隙発生率抑制の効果が示された。
- 4) 真空ポンプを併用することにより PC 鋼より線の素線空間におけるグラウト充填度は向上する傾向が示された。
- 5) 予備試験結果を基に、グラウト排気口の栓の取り付けと注入速度を上げるなどの改良を行い、最大連続注入ケーブル長約 110m の外ケーブルグラウト注入を、低吐出圧力で PE 管の変状もなく安全且つ確実に実行することが出来た。

9. 謝辞

一連の試験を実施するにあたり供試体の製作並びに試験にて(株) 錢高組東海環状津保川橋上部工工事作業所並びに鋼弦器材(株) 関係各位に多大なる御協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) FKK フレシネー工法施工基準 2002 年改訂
- 2) 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&プレグラウト施工基準 施工マニュアル(改訂版) 2002 年
- 3) Guide to good practice prepared by fib Task Group 9.8 Grouting : Grouting of tendons in prestressed concrete July 2002