

## 真空ポンプを併用したPCグラウトの施工 —前橋渋川バイパス利根川橋上部工事(下り線)—

(株)富士ピー・エス 正会員 山口 光俊  
 (株)富士ピー・エス 正会員 辻 裕治  
 (株)富士ピー・エス 正会員 野田 一路

### 1. はじめに

前橋渋川バイパス利根川橋(下り線)は、群馬県北群馬郡吉岡町に位置する橋長 550m, 幅員 11.952~19.280m のPC 9径間連続箱桁橋 (59.650+5×64.500+2×61.500+47.150m) である。両側径間部(起点側 1.5 径間, 終点側 3.5 径間)を固定支保工, 4 径間を張出し架設にて施工する工事であり, 固定支保工部の連続ケーブルは最大で約 200m となる。近年, PCグラウトの充填度および作業性の向上を目的として, 真空ポンプを併用したグラウト注入 (以下, 真空グラウト注入と称す) が行われるようになってきており, 本工事においても前述の目的から採用実施した。本稿では, 真空ポンプ併用の有無による注入圧力に着目した比較試験および連続ケーブルの施工について報告する。

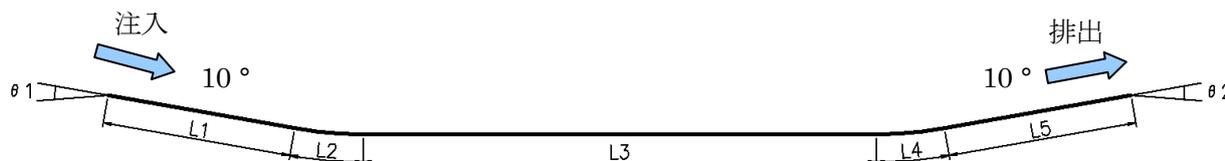
### 2. 比較試験

#### 2.1 グラウト設計

PCグラウトに要求される性能としては, PC鋼材を腐食から保護すること, PC鋼材と部材コンクリート間の一体性を確保することが求められる。そのため, グラウトの設計においては, シース内に有害となる残留空気が生じないように, 空隙率, 下り勾配角度, 流動性と流量の設定, 注入口・排気口・排出口の配置が過去の施工において良好な充填であると確認された内容と同等であることを照査しなければならない。また, ポンプの能力不足やホース接続部の分離, ホース破裂等のトラブル発生を防ぐために, 注入最大圧力は 2.0MPa 以下 (グラウトホースは 0.8MPa 以下) となるよう注入計画を行う必要がある<sup>1)</sup>。

本工事における比較試験の対象としたケーブル形状を図-1に示す。ケーブル形状は, 角度を一定とし, シース長を変化させた3種類とした。PC鋼材は 12S15.2 (シース径 80mm) で, 空隙率は 66.9%である。注入方向は桁端部より全長を充填するものとし, 最大勾配角度は下り 10°, 上り 10°である。流動性と流量の設定においては, 先流れを生じない注入方法で行うこととし, 高粘性タイプのPCグラウトを用いて注入流量を 10ℓ/min と決定した。また, これらが過去の良好な充填が確認された実績と同等であることを確認した。

ケーブル No.3 における注入圧力の照査結果を表-1に示す。計画流量に対する単位圧力損失から各部位に発生する圧力を算出した。各ホースの注入時の圧力が制限値以内となることから, ステップバイステップ方式を行う必要がないため, 一括注入にて施工することとした。なお, 試験体の本数は, 各ケーブル長で真空グラウト注入, 通常グラウトの注入 (以下, 通常グラウト注入と称す) とともに各2本とした。



ケーブル No.	L1	L2	L3	L4	L5	m	1	2	試験本数	
	m	m	m	m	m				真空グラウト注入	通常グラウト注入
1	1.447	1.745	19.176	1.745	1.447	25.560	10°	10°	2本	2本
2	2.344	1.746	29.408	1.746	2.344	37.588	10°	10°	2本	2本
3	3.249	1.745	39.626	1.745	3.249	49.614	10°	10°	2本	2本

図-1 ケーブル形状

### 2.2 PCグラウトの練混ぜ

使用したPCグラウトの配合とJP漏斗による流下時間を表-2に示す。水セメント比は42.5%とし、1バッチ当りの練混ぜ量は55.60とした。混和剤にはノンブリーディング高粘性タイプを用い、JP漏斗による流下試験の平均値は19.0~21.4秒であった。

### 2.3 真空グラウト注入

真空グラウト注入は、ダクト内部の気圧を-0.08~-0.09MPa (0.2~0.1気圧)に保持させた状態でグラウトを圧送するものである。真空グラウト注入の手順を図-2、真空グラウト注入の機材配置を図-3に示す。真空ポンプは、1気圧 $10^5\text{Pa}$ 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を使用した(写真-1)。

注入前準備において、ダクト内部を-0.08~-0.09MPaまで減圧するのに1~2分程度を要した(写真-2)。また、減圧後はグラウトホースが潰れるため、接続されているグラウトホースの導通を目視で確認することができた。所定の減圧状態に達した後、流量10ℓ/minの速度で注入を開始した。注入中は、真空ポンプの負圧計が-0.08~-0.09MPaの範囲となるよう、吸引力をバルブ3により調整した。排出口に到達したグラウトは一旦排出し、注入したグラウトと同等であることを確認した後、再加圧を行い終了とした。

表-1 注入圧力の照査結果 (ケーブル No.3)

	内径 (mm)	長さ (m)	単位当り 圧力損失 (MPa/m)	注入圧力		制限値 (MPa)	判定
				単体 (MPa)	累計 (MPa)		
排出グラウトホース	19	1.0	0.059	0.059	0.059	0.8	OK
シース	65	50.0	0.007	0.35	0.409	-	-
注入グラウトホース	19	1.0	0.059	0.059	0.468	0.8	OK
ポンプホース	25.4	25.0	0.022	0.55	1.018	2.0	OK

表-2 PCグラウトの配合とJP漏斗による流下時間

配合 (1バッチ当り)				流下時間 (s)
W/C (%)	水 (kg)	セメント (kg)	混和材 (kg)	
42.5	31.9	75.0	0.75	19.0~21.4

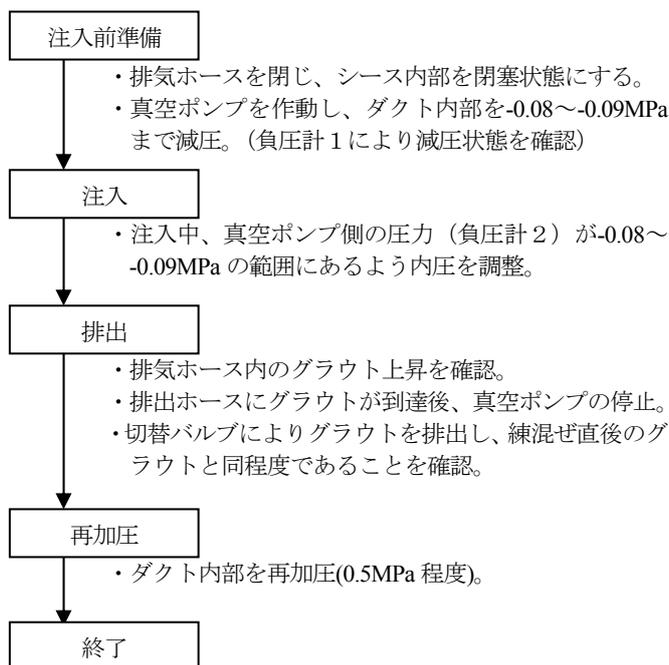


図-2 真空グラウト注入の手順

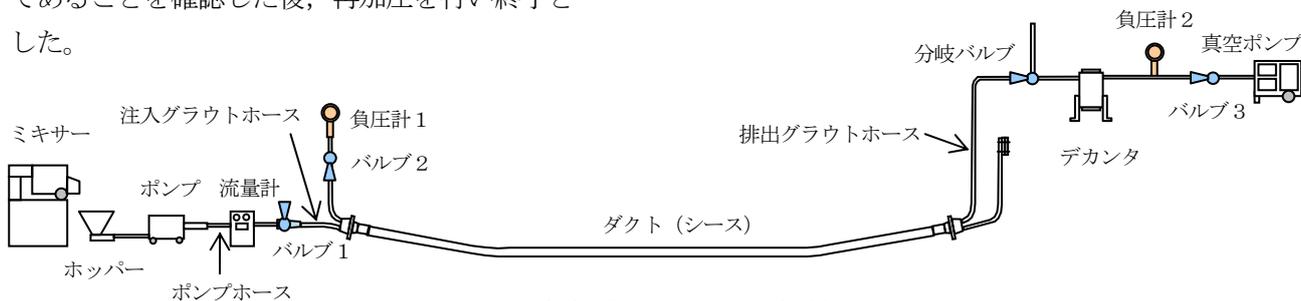


図-3 真空グラウト注入の機材配置



写真-1 真空ポンプ



写真-2 減圧状況 (負圧計1)

## 2.4 注入結果

注入長さと注入圧力の関係を図-4に示す。横軸は流量計より得られた注入量を単位長さ当りの注入量で除した推定注入長さであり、縦軸は流量計で測定された注入圧力である。また、計算値は表-1に示す単位長さ当りの圧力損失をもとに算出したものである。

通常グラウト注入の結果は、計算値の圧力勾配と比較して傾きが若干大きいのが、概ね計算値と一致するものであり、過去の実績より得られた流量と圧力勾配の妥当性が再確認できた。

真空グラウト注入は、通常のグラウト注入と比較すると、注入圧力が低減される傾向が認められ、いずれのケーブル長さでもその傾向は同様であった。また、低減される注入ポンプ圧力は平均で0.1MPa程度であり、シースの単位長さ当りの圧力損失を0.007MPa/m程度と仮定すると、一括注入の延長を約14m伸ばすことができるものと考えられる。また、注入圧力を一定で施工した場合、通常グラウト注入と比較して注入速度を早くすることが可能であり、注入時間を短縮することができる。

## 3. 連続ケーブルの注入施工

### 3.1 グラウト設計

本工事での連続ケーブルの最大延長は約200mであり、注入口が箱桁内にあることから、ポンプホースを最低でも30m程度接続する必要があった。そのため、高粘性タイプのグラウトを用いた場合、注入圧力が過大となり一括注入が困難となるため、ステップバイステップ方式を検討した。ステップバイステップの注入においては、中間排気口に届くようにポンプホースを延長するか、グラウトポンプを移動または複数個所に配置し、圧力制限値を超えないよう計画する必要がある<sup>1)</sup>。

連続ケーブルの形状およびステップバイステップの手順を図-5に示す。本工事では、施工の煩雑さを解消する目的から、ポンプホースを60mに延長し、ポンプホースの届く範囲を120mとした。中間排気口は柱頭部、支間中央、曲げ下がり部に配置し、各注入ステップにおいて次径間の上り勾配部まで注入を行うよう計画した。ステップ数は4回とし、比較試験の結果より、0.1MPa程度の減圧効果が期待できることから、簡易的手法として、それぞれの制限値を0.1MPa緩和することにより注入圧力を照査した。照査結果を表-3に示す。制限値が若干緩和されたことにより、ポンプホースを60mに延長してもシース長で約100mの注入が可能となった。

連続ケーブルの形状およびステップバイステップの手順を図-5に示す。本工事では、施工の煩雑さを解消する目的から、ポンプホースを60mに延長し、ポンプホースの届く範囲を120mとした。中間排気口は柱頭部、支間中央、曲げ下がり部に配置し、各注入ステップにおいて次径間の上り勾配部まで注入を行うよう計画した。ステップ数は4回とし、比較試験の結果より、0.1MPa程度の減圧効果が期待できることから、簡易的手法として、それぞれの制限値を0.1MPa緩和することにより注入圧力を照査した。照査結果を表-3に示す。制限値が若干緩和されたことにより、ポンプホースを60mに延長してもシース長で約100mの注入が可能となった。

### 3.2 真空グラウト注入

200mのシースを真空状態とするには5分程度を要した。所定の減圧を確認した後、10l/minの流量にて注入した。通常、真空グラウト注入では減圧状態を確保することおよび外気を取り込んでエア溜りを作らな

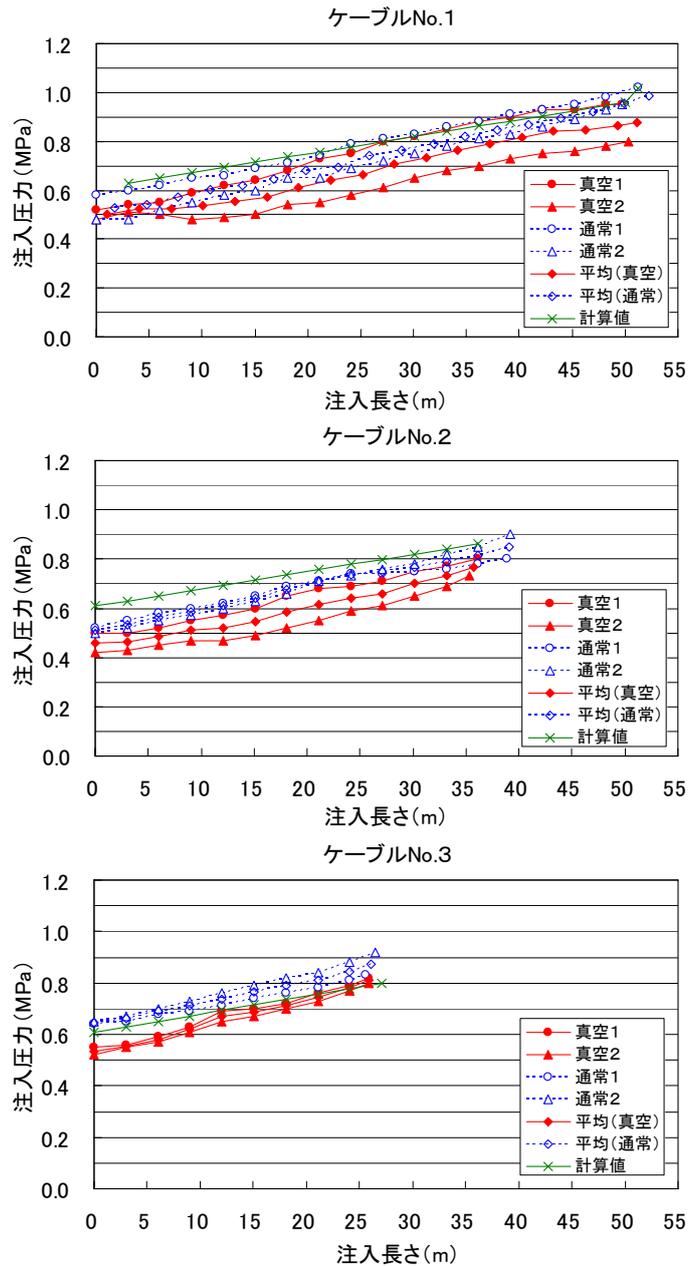


図-4 注入圧力の経時変化

いために、中間排気口をあけることはしない。そのため、ステップバイステップの作業においては、中間排気口にグラウトが上昇し、かつ潰れたホースが復元した状態を確認した後、注入口の盛り替え作業を行った。本工事では、次の中間排気口 (約 30m) にグラウトが上昇してきた段階で、盛り替え作業が可能となり、4回のステップバイステップの作業を繰り返し、圧力制限を越えることなく注入を完了することができた。

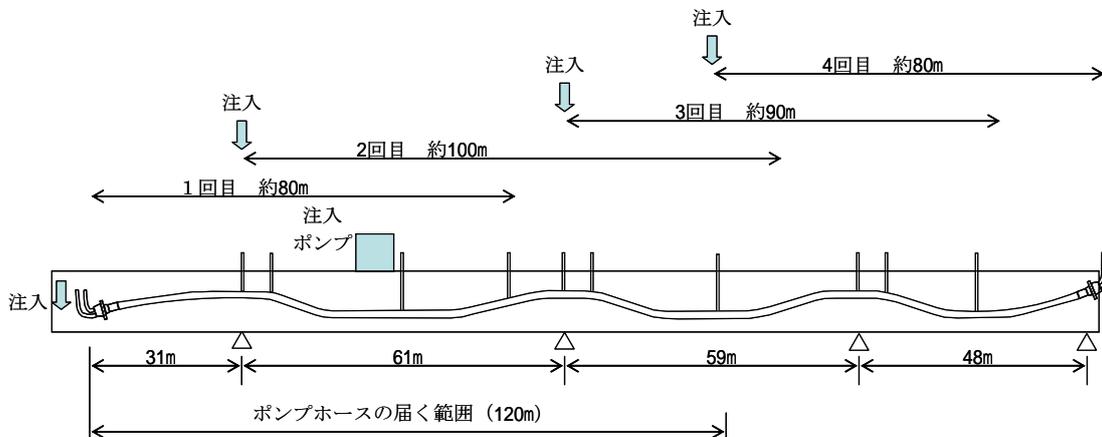


図-5 ケーブル形状とステップバイステップの手順

表-3 ステップバイステップによる圧力照査

		内径 (mm)	長さ (m)	単位当り 圧力損失 (MPa/m)	注入圧力		制限値 (MPa)	判定
					単体 (MPa)	累計 (MPa)		
1回目	シース	65	80.000	0.007	0.56	0.56	-	-
	注入グラウトホース	19	1.000	0.059	0.059	0.619	0.9	OK
	ポンプホース	25.4	60.000	0.022	1.32	1.939	2.1	OK
2回目	シース	65	100.000	0.007	0.7	0.7	-	-
	注入グラウトホース	19	1.000	0.059	0.059	0.759	0.9	OK
	ポンプホース	25.4	60.000	0.022	1.32	2.079	2.1	OK
3回目	シース	65	90.000	0.007	0.63	0.63	-	-
	注入グラウトホース	19	1.000	0.059	0.059	0.689	0.9	OK
	ポンプホース	25.4	60.000	0.022	1.32	2.009	2.1	OK
4回目	排出グラウトホース	19	1.000	0.059	0.059	0.059	0.9	OK
	シース	65	80.000	0.007	0.56	0.619	-	-
	注入グラウトホース	19	1.000	0.059	0.059	0.678	0.9	OK
	ポンプホース	25.4	60.000	0.022	1.32	1.998	2.1	OK

4. まとめ

真空ポンプ併用の有無による比較試験および真空グラウト注入による約 200m の連続ケーブルの施工を実施した結果、本工事の範囲内で以下のことが確認できた。

- (1) 流量一定 (10ℓ/min) の場合において、真空グラウト注入は、通常グラウト注入と比較して注入圧力を 0.1MPa 程度低減することができ、一括注入における延長を伸ばすことができる。また、通常グラウト注入と比較して注入速度を早くすることができ、注入時間を短縮することが期待できる。
- (2) 真空グラウト注入によるステップバイステップ方式の盛り替え作業の判断基準は、中間排気口にグラウトが上昇し、かつホースのつぶれが復元した時点がひとつの目安になる。
- (3) 通常グラウト注入の圧力勾配は計算値と概ね一致しており、過去の実績による圧力算出根拠の妥当性を再確認できた。

本報告が今後の真空グラウト注入計画および施工の一助となれば幸いである。

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 (改定版), 2006.6