

## 超低粘性型PCグラウトの施工性能について

オリエンタル白石(株) 正会員 工修 ○西須 稔  
 オリエンタル白石(株) 正会員 博士(工学) 吳 承寧

### 1. はじめに

PCグラウトはPC構造物の耐久性を確保するために不可欠であり、グラウト施工の良否がその構造物の寿命を決定するといっても過言ではない。「PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル(2006年改訂版)<sup>1)</sup>」(以下、「PCグラウトマニュアル2006」)では、高粘性型から超低粘性型グラウトについてポンプホース、注入ホース、PC鋼材とダクト径別等の圧力勾配を示しており、グラウト注入時における最大注入圧力の算出が可能となっている。

多径間にわたる連続ケーブルのような長いケーブルの高粘性型PCグラウトでは、注入圧力が過大となる可能性があることから、設計の段階でステップバイステップ注入方式が設定される場合がある。この場合は、計画に従い中間注入口を設置し、ステップバイステップ注入方式に対応する施工体制を取らなければならない。ステップバイステップ注入方式では複数のグラウト注入口が存在するため、注入ホースがすべて中間注入口に届く位置にグラウトポンプを設置することができない場合には、ミキシングプラントを容易に移動できるような構造にしておくか、もしくは別系統の注入設備を準備しておく必要がある<sup>2)</sup>。よって、高粘性型PCグラウトを用いたステップバイステップ注入方式では、PCグラウトの注入作業が煩雑となり、トラブルの原因となりやすい。

そこで本稿では、「PCグラウトマニュアル 2006」に基づき、高粘性型PCグラウトと超低粘性型PCグラウトの注入圧力を比較試算し、超低粘性型PCグラウトの注入作業の安全性と施工性能を示すものである。



写真-1 超低粘性型PCグラウト練上り状況

### 2. 超低粘性型グラウトの施工性能

#### 2.1 材料特性

超低粘性型グラウトの材料特性を以下に示す。

##### (1) 超低粘性および材料分離抵抗性

従来の高粘性型PCグラウトと比較して粘性が低いため(写真-1)、狭い間隙やロングスパン等への充填がスムーズに行える。また、フレッシュ性状が超低粘性であっても、材料分離抵抗性に優れている。

##### (2) 高強度および高耐久性

標準配合を表-1に示す。水セメント比が比較的小さいため、安定した高い強度が得ることができる。それにともない、硬化体が緻密となり外部からの腐食性物質に対する抵抗性も高めることもできる。

表-1 超低粘性型PCグラウト標準配合

使用温度範囲(℃)	JP漏斗流下時間(秒)	使用セメント種類	水セメント比(%)	区分	セメント(kg)	練混ぜ水(kg)	超低粘性型混和剤(kg)	実質練上り量(kg)
5~35	3.0~5.0	普通ポルトランド	37	単位量(m <sup>3</sup> )	1,456	539	29.1	1,011
				1袋あたり	25(1袋)	9.25	0.5(1小袋)	約17.4

#### 2.2 圧力勾配

「PCグラウトマニュアル 2006」に記載されているダクトの流量と圧力勾配の一例(PC鋼材 12Si2.7, シース内径φ65mm, 流量10ℓ/分)を表-2に示す。超低粘性型PCグラウトの圧力勾配は、図-1に示す

ような同心二重円管内の層流式をもとに、PC鋼材の表面とダクト内側リブの摩擦を考慮して算出されたもので、式(1)で表現している<sup>3)</sup>。表-2より、超低粘性型PCグラウトの圧力勾配は、高粘性型PCグラウトと比較して1/4程度と小さい値となっている。

表-2 ダクト種類別の圧力勾配の比較

ダクト種類		流量 (ℓ/分)	圧力勾配 (MPa/m)	JP流下時間 (秒)	使用湿和剤	備考
径(mm)	鋼材					
φ65	12S12.7	10	0.0021	4	超低粘性型	計算値(式(1)より)
			0.0080	12~18.1	高粘性型	実験値

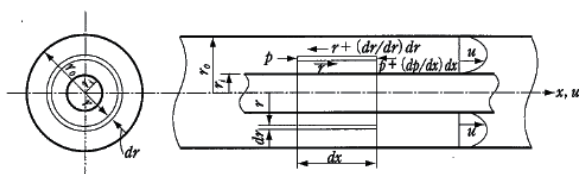


図-1 同心二重円管内の層流<sup>3)</sup>

$$\frac{\Delta P}{L} = k \frac{8\mu \cdot Q}{\pi \left( r_o^4 - r_i^4 - \frac{(r_o^2 - r_i^2)^2}{\ln(r_o/r_i)} \right)} \dots \text{式(1)}$$

ここで、 $\Delta P/L$  : 圧力勾配 (Pa/m)  
 $Q$  : 流量 (m<sup>3</sup>/s)  
 $\mu$  : グラウト粘度 (Pa·S)  
 $r_o$  : 外側円管の内半径 (m)  
 $r_i$  : 内側円管の外半径 (m)  
 $k$  : PC鋼材等の摩擦係数は2.0としている

### 2. 3 一括注入可能距離の算出

グラウトの施工計画において、一括注入方式を行うか、ステップバイステップ注入方式を行うかの判断基準は「PCグラウトの設計施工指針(平成17年12月)」に示されている。これより、注入ポンプ圧力は2.0MPa以下、グラウト注入ホースに作用する圧力は0.6MPa以下を目安としていれば、これまでの実績から通常で使用されている機器、設備の能力を満足するものである。

これをもとに、使用実績の多いPC鋼材12S12.7(シース内径φ65mm)の一括注入可能距離について、高粘性型PCグラウトと超低粘性型PCグラウトの比較(試算)を行った。試算結果を表-3に示す。これより、高粘性型PCグラウトでは一括注入可能距離は52mとなり、グラウト注入ホース圧力0.6MPaで決定されている。超低粘性型PCグラウトにおいても同様にグラウト注入ホース圧力0.6MPaで決定されているが、一括注入可能距離は271mとなり、相当の長距離を一括注入できると考えられる。

表-3 一括注入可能距離の比較(試算)

a) 超低粘性型PCグラウトの場合(PC鋼材12S12.7(シース内径φ65mm), 注入流量10ℓ/分)

ダクト・管路	内径 (mm)	長さ (m)	圧力勾配 (MPa/m)	注入圧力(MPa)		備考
				全長	累計	
排出ホース	19	1.5	0.0100	0.02	0.02	
ダクト	65	271.4	0.0021	0.57	0.58	
注入ホース	19	1.5	0.0100	0.02	0.60	<P=0.6(制限値)
ポンプホース	25.4	50	0.0030	0.15	0.75	<P <sub>max</sub> =2.0(最大値)

b) 高粘性型PCグラウトの場合(PC鋼材12S12.7(シース内径φ65mm), 注入流量10ℓ/分)

ダクト・管路	内径 (mm)	長さ (m)	圧力勾配 (MPa/m)	注入圧力(MPa)		備考
				全長	累計	
排出ホース	19	1.5	0.0590	0.09	0.09	
ダクト	65	52.87	0.0080	0.42	0.51	
注入ホース	19	1.5	0.0590	0.09	0.60	<P=0.6(制限値)
ポンプホース	25.4	50	0.0220	1.10	1.70	<P <sub>max</sub> =2.0(最大値)

### 2. 4 最大注入圧力の算出

PC鋼材 12S12.7 (シース内径φ65mm), ケーブル長 100mの場合の最大注入圧力を比較(試算)した。その結果を表-4に示す。これより, 高粘性型PCグラウトでは2.08MPa, 超低粘性型PCグラウトでは0.39MPaと試算された。また, 注入作業に用いられる電動スクイズ式グラウトポンプの圧力変動と流量変動の比較を図-2に示す。図-2から, 超低粘性型PCグラウトは, 高粘性型PCグラウトと比較して, グラウトポンプの圧力変動が小さいことが判る。このことから超低粘性型PCグラウトを用いることで, 機材の故障トラブルを軽減することになると考えられる。

以上より, 超低粘性型PCグラウトは, 従来の高粘性型PCグラウトよりも低圧力で安全に注入作業を行えると考えられる。

表-4 最大注入圧力の比較 (試算)

a) 超低粘性型PCグラウトの場合 (PC鋼材 12S12.7 (シース内径φ65mm), 注入流量 10 ㎥/分)

ダクト・管路	内径 (mm)	長さ (m)	圧力勾配 (MPa/m)	注入圧力 (MPa)		備考
				全長	累計	
排出ホース	19	1.5	0.0100	0.02	0.02	
ダクト	65	100	0.0021	0.21	0.23	
注入ホース	19	1.5	0.0100	0.02	0.24	<P=0.6(制限値)
ポンプホース	25.4	50	0.0030	0.15	0.39	<Pmax=2.0(最大値)

b) 高粘性型PCグラウトの場合 (PC鋼材 12S12.7 (シース内径φ65mm), 注入流量 10 ㎥/分)

ダクト・管路	内径 (mm)	長さ (m)	圧力勾配 (MPa/m)	注入圧力 (MPa)		備考
				全長	累計	
排出ホース	19	1.5	0.0590	0.09	0.09	
ダクト	65	100	0.0080	0.80	0.89	
注入ホース	19	1.5	0.0590	0.09	0.98	<P=0.6(制限値)
ポンプホース	25.4	50	0.0220	1.10	2.08	<Pmax=2.0(最大値)

### 3. 超低粘性型PCグラウトの注入圧力算出例

#### 3. 1 遠方からの注入圧力算出例

超低粘性型PCグラウトでは, 従来の高粘性型PCグラウトと比較して圧力勾配が小さいという特性を生かして, 遠方からのグラウト注入も可能である。ダクト長を 100m と仮定して, グラウトポンプホースをどの程度伸ばすことが可能であるか試算した結果を表-5に示す。通常は, 橋面上に

ミキシングプラントを設置するが, 超低粘性型PCグラウトであれば, 必ずしもミキシングプラントを橋面上に設置する必要はなく, 橋面上をグラウトで汚すトラブルを回避することができる。

表-5 ポンプホースの注入長さ (試算)

超低粘性型PCグラウトの場合 (PC鋼材 12S12.7 (シース内径φ65mm), 注入流量 10 ㎥/分, L=100m)

ダクト・管路	内径 (mm)	長さ (m)	圧力勾配 (MPa/m)	注入圧力 (MPa)		備考
				全長	累計	
排出ホース	19	1.5	0.0100	0.02	0.02	
ダクト	65	100	0.0021	0.21	0.23	
注入ホース	19	1.5	0.0100	0.02	0.24	<P=0.6(制限値)
ポンプホース	25.4	586.6	0.0030	1.76	2.00	<Pmax=2.0(最大値)

#### 3. 2 高所への注入圧力算出例

3. 1と同様に, 高橋脚を有するPC橋のグラウトにおいても, 超低粘性型PCグラウトの優位性が発揮できる。橋脚下にミキシングプラントを設置し, 高所への注入を行う場合の注入圧力の試算結果を表-6に, 注入概念図を図-3に示す。この結果, 80m高所へ圧送してから100mのグラウト注入が可能となる。

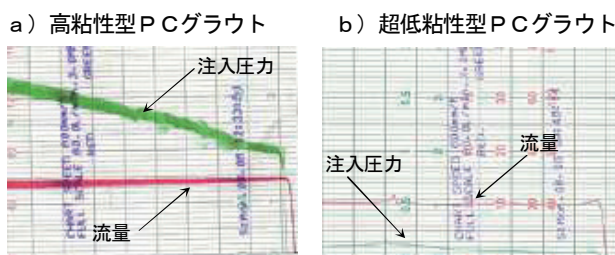


図-2 注入時の圧力変動比較

表-6 高所への注入圧力算出 (試算)  
 超低粘性型PCグラウトの場合 (PC鋼材 12S12.7 (シース内径φ65mm), 注入流量 10 ㎥/分, L=100m)

ダクト・管路	内径 (mm)	高さ/長さ (m)	圧力勾配 (MPa/m)	注入圧力 (MPa)		備考
				全長	累計	
排出ホース	19	1.5	0.0100	0.02	0.02	
ダクト	65	100	0.0021	0.21	0.23	
注入ホース	19	1.5	0.0100	0.02	0.24	<P=0.6(制限値)
高低差分		80		1.52	1.76	P=ρgH
ポンプホース	25.4	80	0.0030	0.24	2.00	<Pmax=2.0(最大値)

3. 3 単径間のPC鋼材連結注入

2. 3より一括注入可能距離が 271mであることが試算できる。そのため、超低粘性型PCグラウトを用いることで図-4に示すような連結桁において、単径間のPC鋼材のグラウトホースを連結して一括注入することも可能となる。

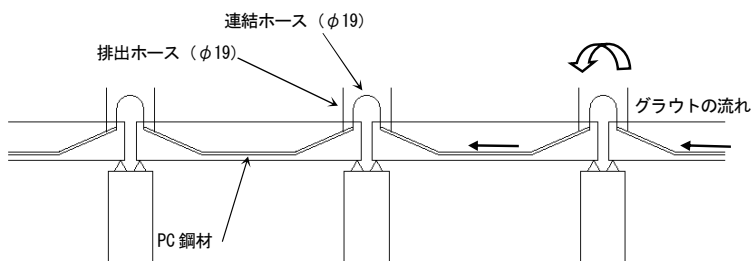


図-4 単純桁のPC鋼材連結注入

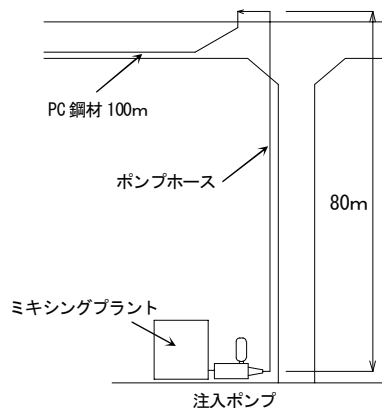


図-3 高所への注入概念図

4. 超低粘性型PCグラウト注入時の注意点

超低粘性型PCグラウトは、その粘性の低さからシース内部では先流れが発生している(図-5)。よって、シース頂点部とその近傍には排出ホースを設置して、確実に残留空気を排出することが重要である。また、従来の高粘性型PCグラウトでも同様であるが、グラウト注入後の再加圧作業も入念に行う必要がある。

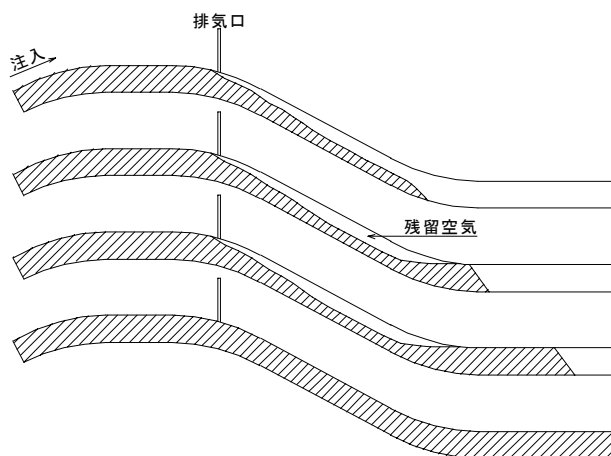


図-5 超低粘性型PCグラウトの流動性状

5. まとめ

超低粘性型PCグラウトは、その粘性の低さから注入時の圧力勾配が小さいという利点があり、その利点により注入圧力を小さくできる。そのため、作業安全性は高まるものと考えられる。また、従来の高粘性型PCグラウトでは困難であった遠方からの注入や高所への注入などを可能とし、施工性能も向上する。しかし、その流動性状を十分に理解し、確実に残留空気を排出し、注入後の再加圧を入念に行うことが重要である。本報告が超低粘性型PCグラウトにおける注入計画の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル (2006年改訂版), (社)プレストレストコンクリート建設業協会, 2006. 6.
- 2) PCグラウトの設計施工指針, (社)プレストレストコンクリート技術協会, 2005. 12.
- 3) 松岡, 青山, 児島, 應和, 山本: 流れの力学-基礎と演習-, コロナ社, pp.121~124, 2001