

### PC グラウトの流動性に着目した充填解析

名古屋大学大学院 学生会員 ○加藤 勝秀  
名古屋大学大学院 正会員 国枝 稔, 上田 尚史, 中村 光

#### 1. はじめに

PC 構造物におけるグラウトには、PC 鋼材を腐食から保護する性能が特に求められる。そのため、シースへのグラウトの確実な充填は構造物の耐久性の観点からも極めて重要である。しかし、グラウトを注入する際に問題となるのが図-1 に示すような先流れ現象である。これはシースの下り勾配付近からグラウトが先行して流下する現象であり、シース内に充填不良箇所が生じる原因となる。この状態でグラウトが硬化すると構造物の供用期間中に空隙内に水や酸素が浸入し、PC 鋼材が腐食し破断する恐れがあり、イギリスの PC 橋では落橋に至ったという事例もある<sup>1)</sup>。この先流れは、グラウトの物性値を適切な値に設定し一定の流動性を確保することである程度抑制できることが蝦名らの研究により明らかになっている<sup>2)</sup>。また出雲らの研究では、先流れが発生すると予想される箇所に排気孔となるグラウトホースを配置することで、先流れを抑制可能であることが示された<sup>3)</sup>。そこで本研究では、実物大注入実験の約 1/10 のモデルを用いて、グラウトの注入状況を 3 次元的に解析し、先流れの再現を試みた。その際、グラウトホースの位置やグラウトの物性値等を変えて、PC シース内に確実に充填できる条件をパラメトリック解析により検討した。

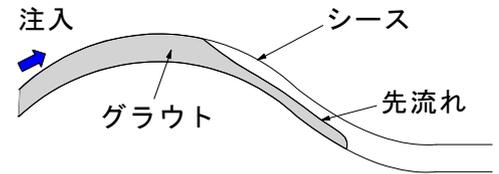


図-1 グラウトの先流れ

#### 2. 解析概要

##### 2.1 計算方法

本研究では、数値解析手法として固気液混相が考慮できる 3 次元 CIP 法<sup>4)</sup>を用いた。基礎方程式は、質量保存則、Navier-Stokes 方程式、圧力方程式、密度関数の移流方程式から構成され、これらの式を移流項と非移流項に分離し各物理量を求める。また補間関数に物理量と空間 1 階微分値を用いることにより空間的・時間的な連続性が考慮されるため、精度の良い界面捕獲ができ、多相流体場においても流体の挙動を正確に表現できる特徴がある。なお、セメント系材料の流動解析への適応性については、遠山らによって確認されている<sup>5)</sup>。

##### 2.2 物性値および解析モデル

表-1 に本研究で用いたセメント系材料の物性値および解析パラメータを示す。ここでは、セメント系材料として 4 種類の物性値を仮定した。表中の高粘性の物性値は PC グラウト基準作成委員会が各種試験から求めたグラウトの値である<sup>3)</sup>。また、仮想材料 A, B, C の物性値は高粘性の値を元に仮定したものである。ここで降伏値は、流体が動き始める時のせん断応力のことであり、塑性粘度は、粘りの度合いを示すものである。図-2 および図-3 に解析モデルを示す。図-2 の解析モデルは、グラウトホースの位置を下り勾配部より上流側に配置した場合である。ここで排出口が直角に曲がっているのは、グラウトが下り勾配部を経て、再び元のグラウトホースの高さまで上昇するという現象を簡易的に再現するためである。図-3 の解析モデルはグラウトホースが下り勾配部中央にある場合である。

表-1 セメント系材料の物性値および解析パラメータ

材料の種類	高粘性	仮想材料A	仮想材料B	仮想材料C
密度(kg/m <sup>3</sup> )	2000			
降伏値(Pa)	5.0	5.0	0.5	0.5
塑性粘度(Pa・s)	1.0	0.1	1.0	0.1
要素寸法(mm)	5×5×5			

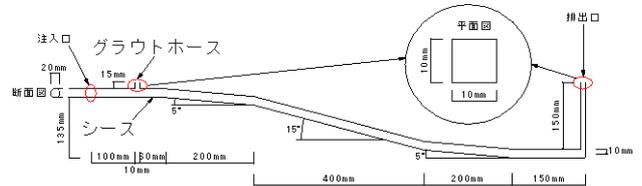


図-2 解析モデル(グラウトホース：下り勾配前)

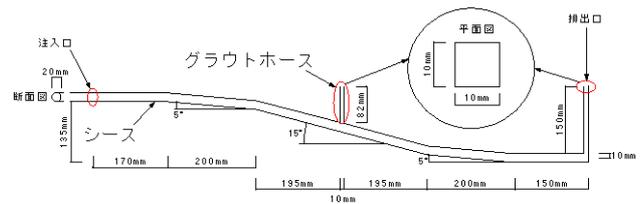


図-3 解析モデル(グラウトホース：下り勾配中央)

先流れは下り勾配の途中で発生しやすいため、その位置にグラウトホースを配置することで残留空気を追い出し、結果的に未充填を防ぐことが可能と考えられる。また解析を行う上

キーワード CIP 法, 流動性, 充填性, 降伏値, 塑性粘度, 先流れ

連絡先 〒464-0814 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 材料形態学グループ Tel 052-789-4484

で、シース注入口の平均注入圧力は 3.0(kPa)とし、セメント系材料とシースとの境界面は摩擦が無いものとした。

### 3. 解析結果

図-4～図-6 に充填完了時における解析結果の一例を示す。これらの図はシース内に生じた空隙を見やすくするため、2次元で示す。本解析では PC シースの一部を対象とした流動解析であり充填が完了したという判断ができないため、排出口からのグラウトの吐出をもって充填完了とみなす。ただし、高粘性グラウトは下り勾配で速度が急激に低下したため、下り勾配前では排出口への流入直後、下り勾配中央については流入から 10(s)経過直後を充填完了とみなした。



図-4 高粘性グラウトの解析結果(グラウトホース位置 左図：下り勾配前, 右図：下り勾配中央)



図-5 仮想材料 A の解析結果 (グラウトホース位置 左図：下り勾配前, 右図：下り勾配中央)



図-6 仮想材料 B の解析結果 (グラウトホース位置 左図：下り勾配前, 右図：下り勾配中央)

#### 3.1 物性値の違いが充填時間および充填性に与える影響

塑性粘度が比較的大きい高粘性グラウトおよび仮想材料 B のモデルは、シース内の充填性が低く、先流れによる充填不良が生じた。それに対し塑性粘度が比較的小さい仮想材料 A のモデルは、先流れが生じず、下り勾配下部を除いてはほぼ完全に充填できており、粘性が小さい材料ほどシースへの充填性が向上することが示された。なお、仮想材料 C はシースへの充填状況が仮想材料 A とほぼ同様であった。表-2 に充填に要した時間を示すが、塑性粘度が小さいモデルは比較的に早く充填されることが示され、高粘性グラウトと仮想材料 C では流下時間に 10 倍程度の差が見られた。このことから材料の物性値のうち、塑性粘度が流動性に大きい影響を与えることが分かる。一方、高粘性グラウトと仮想材料 B を比較すると、表-2 より降伏値の小さい仮想材料 B の方が早く流動していることが分かるため、降伏値による影響も現われていることが確認できた。

表-2 充填に要した時間

材料の種類	グラウトホース位置	
	下り勾配前	下り勾配中央
高粘性	38.0s	42.0s
仮想材料A	5.4s	6.0s
仮想材料B	34.2s	31.4s
仮想材料C	3.8s	4.0s

#### 3.2 グラウトホースの位置の違いが充填性に与える影響

グラウトホースの位置を先流れの生じやすい下り勾配部中央に配置したモデルでは、シース内の空隙を解消することはできなかった。しかし、図-6 の仮想材料 B のように、グラウトホースの位置を変えることで先流れの位置が異なる場合も確認されたため、グラウトホース位置と先流れには因果関係があるものと考えられる。

### 4. まとめ

以下に本研究により得られた知見を示す。

- 1)シースへの充填性は材料の塑性粘度が小さいほど向上するが、降伏値の影響はさほど大きく現れなかった。
- 2)グラウトホースの位置を変えることで先流れによる残留空気を完全に除去することはできなかったが、先流れ開始位置との関連性を示すことができた。

### 参考文献

1)睦好宏史：PC グラウトの現状と問題点, JOURNAL OF PRESTRESSED CONCRETE, Vol.48, No.2, pp.22-25, 2006  
 2)蝦名貴之, 二戸信和, 丸岡正知, 藤原浩巳：高チクソトロピー性 PC グラウトの研究開発, JOURNAL OF PRESTRESSED CONCRETE, Vol.47, No.3, pp.64-70, 2005  
 3)出雲淳一, 大城社司, 高瀬慎介, 堤忠彦：PC グラウトの流体解析, JOURNAL OF PRESTRESSED CONCRETE, Vol.48, No.2, pp.86-91, 2006  
 4)森口周二, 矢嶋厚, 沢田和秀：CIP 法による地盤材料の大変形解析, 第 55 回理論応用力学講演会講演論文集, 62 巻, pp.153-154, 2006  
 5)遠山裕一, 国枝稔, 上田尚史, 中村光：セメントモルタルの流動解析への CIP 法の適用, コンクリート工学年次論文集, 31 巻, 1 号, pp.1423-1428, 2009