

## 高チクソトロピー性を有する PC グラウト材の流体解析

宇部興産建材株式会社 正会員 ○宮本 一輝、非会員 貴田 誠、非会員 戸田 靖彦

### 1. はじめに

PC 構造物において PC グラウトは、PC 鋼材の腐食を防ぎ、コンクリート部材と PC 鋼材との一体化を担うため、高い充填性が必要となる。

しかし、市販の高粘性型 PC グラウトは、管下り勾配が 15 度を超える場合、先流れ<sup>1)</sup>による充填不良が発生し、シース管内に空洞が生じるため、再度充填工程が必要となる。筆者らは、管下り勾配が 15 度でも先流れせず、圧送性に優れた PC グラウトを開発した。<sup>2)</sup>

本研究では、現場の環境条件や施工プロセス等を反映させた時の流動特性及び充填性の解明を目指し、Bird-Carreau モデルによるシミュレーションと実大実験との比較を行い、Bird-Carreau モデルの適用性を検証した。

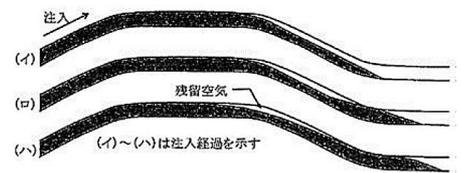


図 1 PC グラウトの先流れ<sup>1)</sup>

### 2. 実験概要

#### 2. 1 試料調製

ポルトランドセメント、ポリカルボン酸系流動化剤、鉱物質超微粉末を乾式混合した粉体(開発品)を、水粉体比 40%で攪拌機を使用して 2 分間混練し、PC グラウトを調製した。また、市販の高粘性型 PC グラウト(市販品)は、水粉体比 42.5%で同様に調製した。

#### 2. 2 測定法

共軸二重円筒型レオストレスメーター(MCR101)を用いて、せん断速度を  $10^{-4}\text{sec}^{-1}$  から  $50\text{sec}^{-1}$  まで対数上昇後、 $50\text{sec}^{-1}$  から  $10^{-4}\text{sec}^{-1}$  まで対数下降させて、流動曲線を得た。各種測定は  $20^\circ\text{C}/65\%\text{RH}$  の恒温恒湿室にて行った。

#### 2. 3 Bird-Carreau モデルのフィッティング

解析ソフトは、ANSYS(株) fluent6.3 及び VOF(Volume of Fluent)を用いた。本研究では、セメント系材料に一般的に用いられる Bingham モデルよりも、良好なフィッティングであった、式(1)Bird-Carreau モデルを用いた。

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty}) \frac{1 + \lambda^2 \dot{\gamma}^2}{2}^{\frac{n-1}{2}} \dots (1)$$

ここで、 $\eta_0$ 及び $\eta_{\infty}$ :せん断速度ゼロ及び無限大の時の粘度、 $\lambda$ :緩和時間、 $n$ :べき指数、 $\dot{\gamma}$ :せん断速度である。

図 2 に市販品と開発品のレオストレスメーターによる実測及び Bird-Carreau モデルによるフィッティングで得られた流動曲線、表 1 にフィッティング数値を示す。

#### 2. 4 注入実験

15 度の傾斜部を想定した試験体を用いて注入実験を行った。図 3 に傾斜部を想定した試験体を示す。内径 70mm、長さ 3m の半透明ポリエチレン製シースを用い、底部に PC 鋼より線 12S12.7 を配置した。PC グラウトの注入は、試験体上端に設置したグラウトホースからスクイズ式ポンプを用いて行い、実施工で想定される最小吐出量 5 L/min に設定した。また、シミュレーション実験においても、実施工と同様な試験体をモデル化し、直径 11.2 mm の PC

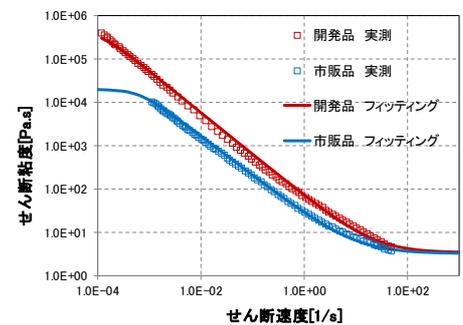


図 2 開発品と市販品の流動曲線

表 1 Bird-Carreau モデルのフィッティング数値

	$\eta_0$ [Pa·s]	$\eta_{\infty}$ [Pa·s]	$\lambda$ [s]	$n$ [-]
市販品	20000	3.3	1600	0.10
開発品	450000	3.4	9000	0.037

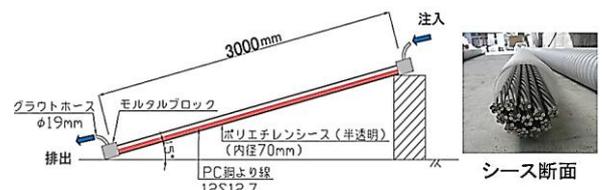


図 3 傾斜部を想定した試験体とシース断面

キーワード PC グラウト, シミュレーション, Bird-Carreau モデル, 先流れ

連絡先 755-0067 山口県宇部市大字小串字沖の山 1-6 宇部興産建材株式会社 TEL 0836-22-6151

鋼より線が 12 本の塊としてモデル化した。

### 3. 結果と考察

図 4 に Fluent による注入開始 30 秒後の充填状況を示す。シース管の上部は PC 鋼材の無い場所への充填状況を、シース管の中央部は PC 鋼材間の充填状況を、シース管の下部は PC 鋼材とシース管の間の充填状況を表す。また、図中の色は PC グラウト充填時の粘度を表し、青色、水色、黄緑色、黄色、赤色へと順に粘度が上昇する。市販品はシース管上部において未充填部があり、先流れが見られた。一方、開発品はシース管上部に未充填部は無く、先流れが生じなかった。市販品及び開発品ともに PC グラウトの先端部の粘度は低かったが、シース管上部の粘度は市販品より開発品の方が高く、先流れの抑制には、250~1000Pa・s 程度の粘度が大きく影響すると推察される。また、開発品と市販品ともに、シース管上部の充填より PC 鋼材間やシース管と PC 鋼材間のような狭隘部の充填が遅いことが確認された。これは、狭隘部に PC グラウトを注入する場合、粘度が高く、充填し難かったものと考えられる。

図 5 に VOF による注入開始 300 秒後の充填状況を示す。図中の色はセメントの体積濃度を表し、青色はセメントが無く、水色、黄緑色、黄色、赤色へとセメント濃度が高くなる。市販品は、シース管上部に空隙が残り、先流れが発生したと考えられる。一方、開発品はシース管上部に空隙が見られず、先流れが発生しなかったと考えられる。また、開発品と市販品ともに、シース管と PC 鋼材間や PC 鋼材間のような狭隘部でやや充填性が低いことが確認された。これは、PC グラウトが狭隘部に充填する時に、粘度が高く、充填し難かったものと考えている。また、今回のシミュレーションにおいて、流速が早いシース管上部の PC グラウトは、空気を巻き込みながら PC 鋼材間やシース管と PC 鋼材間へ流れたため、充填性が低下したものと推察される。

図 6 に実際に施工した際の注入開始 30 秒後の充填状況を示す。図中の実線は、PC グラウトの充填位置を表す。市販品は顕著な先流れを呈したが、開発品は先流れを生じず、シミュレーション結果と同様な結果が得られた。但し、PC グラウトの流速は、シミュレーションの結果では、市販品が 28mm/s、開発品が 25mm/s に対し、実施工では、市販品が 62mm/s、開発品が 32mm/s であり、市販品においてシミュレーション結果と実験結果に乖離が見られた。これは、シミュレーションにおけるシース管内の PC 鋼材の位置や PC 鋼材間の間隔が実構造物を正確に再現出来ていなかったこと、シース壁面とセメント材料とのスリップの影響等が考えられる。

### 4. まとめ

傾斜部を想定した試験体に開発品と市販品を注入し、実施工との比較により Bird-Carreau モデルの適用性を検証したところ、シース管内の充填状況は、実験結果とシミュレーション結果で一致しており、再現が得られた。しかし、市販品の流速は、実験とシミュレーションの数値が乖離していた。今後は、シミュレーションにおいて、実構造物のシース管内における PC 鋼材の位置や PC 鋼材間の間隔を正確に再現すること、シース壁面とセメント材料とのスリップの影響等について検討予定である。

### 参考文献

1. 公益社団法人土木学会：コンクリート標準示方書，2012 年制定，施工編，2012.
2. 宮本一輝，高橋恵輔，河金甲：高い構造粘性を有する PC グラウト材の配合設計，プレストレストコンクリート工学会，第 26 回シンポジウム論文集，pp.291-296，2017.

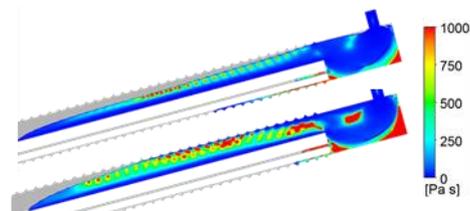


図 4 Fluent による市販品(上)と開発品(下)の 30 秒後の粘度分布解析結果

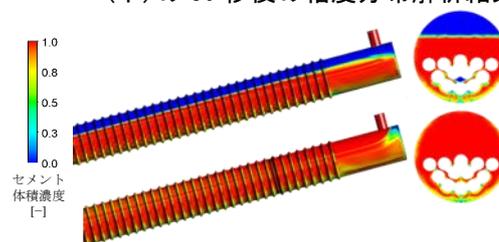


図 5 VOF による市販品(上)と開発品(下)の 300 秒後のセメント体積濃度分布解析結果



図 6 市販品(上)と開発品(下)を充填した時の実験の様子