

PCグラウト流体解析のフロー試験への適用に関する研究

(株) 計算力学研究センター	技術開発部	正会員	○高瀬 慎介
関東学院大学	工学部	正会員 工博	出雲 淳一
(株) 富士ピー・エス	技術本部設計部	正会員 博士(工学)	堤 忠彦
(株) 計算力学研究センター			熊井 規

1. はじめに

PCグラウトの充てん性照査は、実際の構造物レベルの実験により確認を行うことが望ましいが、多大な時間と経費を要することが予想される。したがって、PCグラウトの照査のための実験を解析によってシミュレーションすることが可能になれば、解析は実験に代わるグラウトの充てん性照査のための有効な手段となり得る。また、解析結果を踏まえ、PCグラウトの充てん性を確保すべき方策を施工計画に反映することができる。本研究では、PCグラウトの充てん性照査を流体解析により行う場合の適用性を検討するために、フロー試験に関する解析を行って検討したのでここに報告する。

なお、本研究は(社)プレストレストコンクリート技術協会、「PCグラウト規準作成委員会」の活動の一環として実施したものである。

2. 解析概要

2.1 解析の目的

PCグラウトの充てん性に影響を与える要因の一つに、PCグラウトの流動性があげられる。通常PCグラウトの流動性の照査は、JP漏斗を用いて行われている。流体解析に用いるPCグラウトの材料特性は、粘度試験により得られたせん断応力とせん断ひずみ速度の関係で表される。実施工を解析的にシミュレーションして充てん性を照査する場合、実施工においてフロー試験結果を解析的に再現することが必要である。そこで本解析では、粘度試験により得られたデータを用いて作成したレオロジーモデルを用いてフロー試験を解析的にシミュレーションし、試験結果との比較を行ってその妥当性を検討することを目的とした。

2.2 解析モデル解析方法および解析内容

解析は、有限要素法による汎用熱流体解析プログラム「FIDAP8.7」を用いて行っている。フロー試験解析では、界面変形を取り扱うことができる何らかの手法が必要である。そこで本解析では、FIDAPの機能の一つである、界面変形を考慮し解析することができるVOF (Volume Of Fluid) 法を用いている。この手法により、グラウトの流下に伴う界面の移動を考慮した解析を行った。

PCグラウトの数値解析を行う場合、解析領域の要素分割幅、および対象となるグラウトのレオロジーモデルの決定について検討を行う必要がある。そこで本報告では、解像度の違う2つの有限要素分割を用いて検討を行う。また、実験で得られたせん断応力—せん断ひずみ速度関係を用いたモデル化について検討を行った。

3. 解析領域の分割数の検討

3.1 解析条件

PCグラウトの流体解析を行う場合、その流動特性を正確に表現できる十分なメッシュの解像度が必要になる。しかし、必要以上に細かいメッシュを作成することは、計算時間の観点からは非効率となる。そこで、本報告では、3種類のメッシュを使ってテスト計算を行い、適切なメッシュサイズの検討を行った。最小要素サイズは、それぞれ1mm, 2mm, 4mmの3種類である。図-1に解析領域と使用した有限要素分割のうち最小サイズ4mmの場合の要素分割図を示す。解析は、JASS コーン (φ50mm×高さ51mm) を用いたフロー試験を

モデル化して行っている。PCグラウトのレオロジーモデルはビンガムモデルを使用し、塑性粘度は 0.44 (Pa・s)、降伏値は 28.8 (Pa)、単位容積質量は 1901 (kg/m³) を用いた。また、モデル化は解析対象の半分とし、軸対称モデルにて解析を行った。

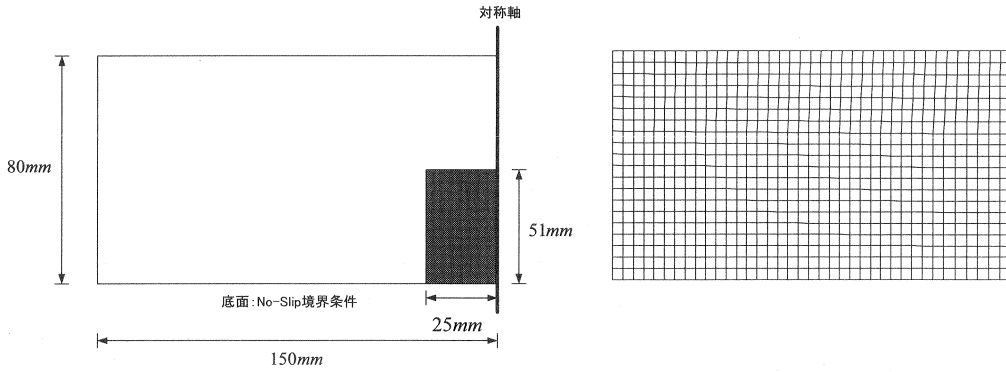


図-1 解析領域と有限要素分割図 (最小要素サイズ 4mm)

3.2 解析結果

フロー試験解析結果として、PCグラウトの解析形状を図-2 に示す。図-2 の黒い部分がPCグラウトを表している。最小要素サイズ 1mm と 2mm では、先端位置、形状とも同じであるが、最小要素サイズ 4mm では、先端位置、形状とも他の解析結果と異なる形になっている。また最小要素サイズ 4mm では、解像度不足のためPCグラウトの状態が不鮮明である。このことより、フロー試験を流体解析によりシミュレーションする場合には、要素分割の最小要素サイズは、2mm 程度以下とすることにした。

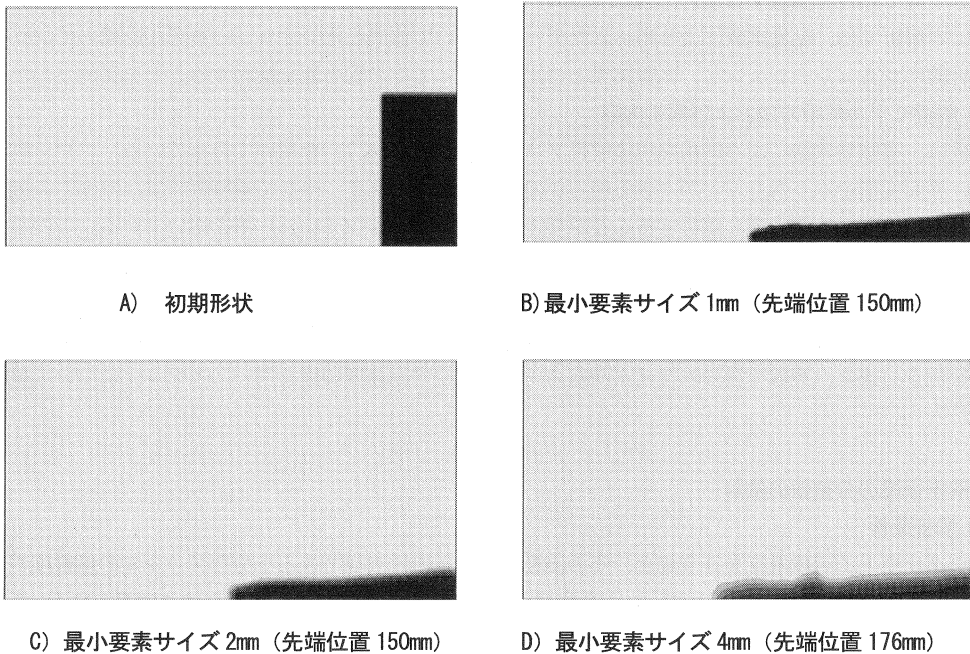


図-2 解析形状結果

4. レオロジーモデルの検討

4.1 解析条件

PCグラウトの流体解析を行う場合、材料特性（塑性粘度、降伏値）の評価が重要になる。解析に用いる塑性粘度、および降伏値を決定するためには、共軸二重回転粘度計等を用いた試験結果より得られるせん断応力—せん断ひずみ速度の関係より適切にモデル化する必要がある。しかし、図-3に示すようなグラフになるため、モデル化することは困難である。

数値解析を行う場合、レオロジーモデルは、単純化したモデルを用いることが計算効率の面でもよい。そこで、実験データをそのまま解析に用いるレオロジーモデルとした場合と、実験データをビンガムモデルでモデル化した場合の計算結果の違いについて検討を行った。モデル化は、共軸二重回転粘度計による実験データのうち上昇時の測定結果を用いて行った。

解析は、「3. 解析領域の分割数の検討」で用いたモデルと同様に、JASS コーンによるフロー試験をモデル化して行った。ビンガムモデルでモデル化した場合の塑性粘度、降伏値を表-1に示す。超低粘性から高粘性まで粘性の異なる5種類のグラウトを用いた試験結果について解析を行っている。また、解析には、最小要素サイズ2mmの有限要素分割と軸対称モデルを用いて解析を行った。

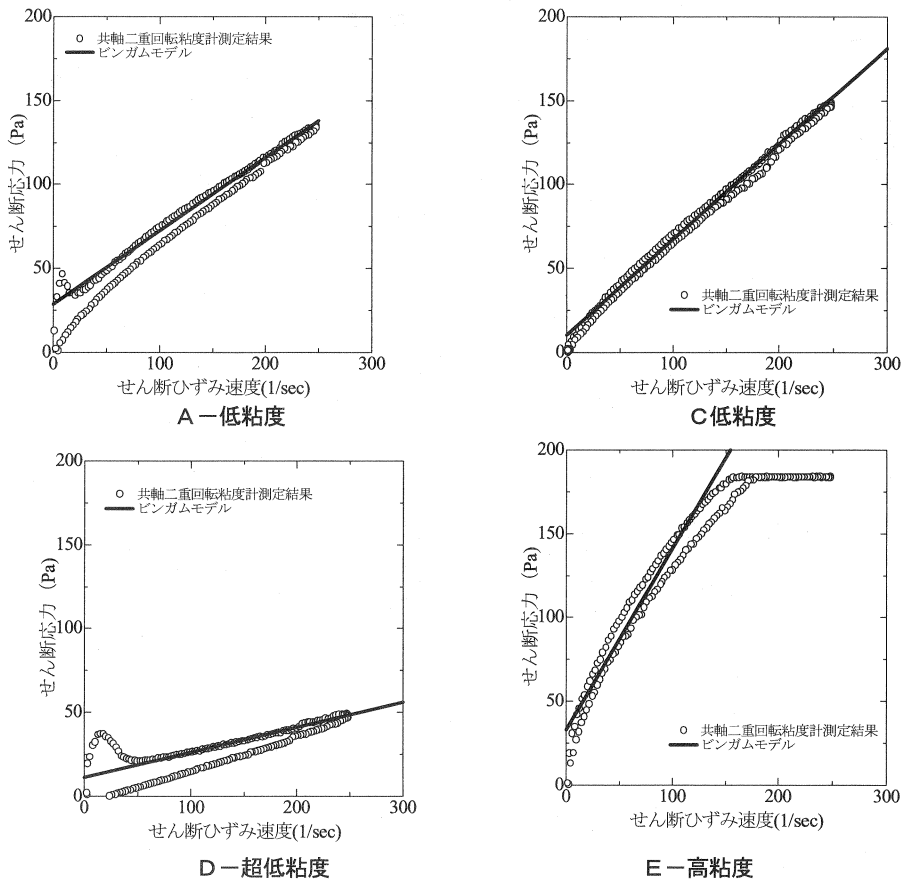


図-3 せん断応力—せん断ひずみ速度の関係

表-1 各PCグラウトの材料特性

PCグラウト	塑性粘度	降伏値	単位容積質量	水結合材比
	Pa·s	Pa	kg/m ³	%
A—低粘度	0.44	28.8	1901	45
B—高粘度	1.00	31.8	1919	42
C—低粘度	0.57	10.2	1907	40
D—超低粘度	0.15	11.0	2026	30
E—高粘度	1.08	33.0	1909	42

4.2 解析結果

フロー試験解析結果を表-2に示す。それぞれのPCグラウトにおいて、概ね実測値とよく一致を示していることがわかる。また、ほとんどの場合、ビンガムモデルでモデル化した場合と、実測データを取り込み解析したものを比較してみると、それほど大きな差はみられなかった。この結果より、PCグラウトのレオロジーモデルは、ビンガムモデルでも十分解析により実現象を予測することができることがわかる。

表-2 フロー試験解析結果

PCグラウト	解析値(mm)				実測値(mm)
	ビンガムモデル	解析値/実測値	取り込みモデル	解析値/実測値	
A—低粘度	150	1.04	149	1.04	144
B—高粘度	133	0.96	133	0.96	139
C—低粘度	154	0.70	181	0.82	220
D—超低粘度	196	1.08	196	1.08	183
E—高粘度	133	0.69	137	0.71	193

5. まとめ

本解析では、粘度試験により得られたせん断応力-せん断ひずみ速度の関係から、レオロジーモデルをビンガムモデルにモデル化してフロー試験の解析を行った。さらに、試験結果との比較を行いその妥当性について検討を行った。その結果、数値解析結果と実測値は、精度良く一致することが確認された。また、超低粘度から高粘度までの粘度の違うPCグラウトにおける数値解析値は、全ての実測値とよく一致していることから、粘性の違いによらずフロー試験を解析でシミュレーションすることが可能であると判断される。

本稿では、PCグラウトの充てん性を流体解析により照査することを想定し、その第一段階として流動性の照査指標であるフロー試験のシミュレーションを試みた結果を報告した。現在、PCグラウト注入時の空気移動に着目した解析など、個々の課題に関する検討を行っており、最終的にはこれらの成果を用いてPCグラウトの充てん性照査を流体解析により行うことを予定しており、次の機会に報告することにした。

謝辞：実験データの提供いただきました、(社)プレストレストコンクリート技術協会「PCグラウト規準作成委員会」品質試験WG様に、謝意を表します。