

## PCグラウト流体解析のJP漏斗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、解析によってPCグラウトの照査のための実験を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。さらに、解析結果を確実な充てんを確保するための施工に反映することができ、PCグラウトの信頼性を向上させることになる。本研究では、試験に代わりうるPCグラウトの充てん性照査ための手段としてJP漏斗試験に関する解析を行い、流体解析の適用性を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グラウトの施工においては、流動性の照査をJP漏斗を用いた流下試験により行っている。流体解析に用いるPCグラウトの材料特性は、塑性粘度試験により得られたせん断応力とひずみ速度の関係で、降伏値とチクソトロピー性をモデル化した構成則により表される。しかし、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、実施工において流動性の指標となるJP漏斗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、塑性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JP漏斗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 図-2 解析モデル解析方法

## 2.2.1 解析ソフトおよび解析モデル

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。JP漏斗流下解析では、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ている。グラウトのレオロジーモデルは、図-1に示すモデルのうち降伏応力まで考慮できるビンガムモデルを用いた。図-2に解析対象の有限要素分割図を示す。解析モデルは二次元軸対称モデルとして、メッシュ分割は流動を考慮し7mm程度としている。

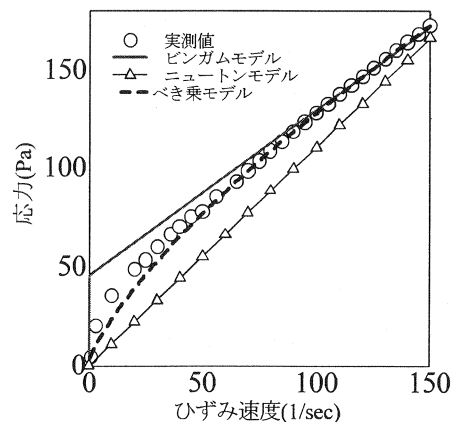


図-1 レオロジーモデル

### 2.1.1. 解析条件

解析条件として、JP漏斗内をPCグラウトで満たした状態を初期状態とし、壁面でのすべりは無いものと仮定して解析を行っている。PCグラウトの流出は、重力による自由流出として取り扱っている。

### 2.3 解析の種類

本解析では、材料の粘性が異なる7種類のグラウトを解析の対象とした。試験では、グラウトの流下時間はJP漏斗を用いて測定され、粘性については共軸二重回転粘度計を用いて測定が行われた。表-1に解析で対象とした各PCグラウトの流下時間、塑性粘度、降伏値の試験結果を示す。解析に用いた各PCグラウトの塑性粘度および降伏値は、共軸二重回転粘度計における上昇時の測定値を回帰した値とし、単位容積質量は測定値を用いた。また、各PCグラウトの水結合材比および使用混和剤の種類も合わせて示す。

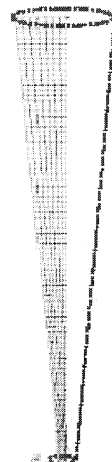


図-2 解析モデル

表-1 各PCグラウトの流下時間と材料特性

材 料	JP 漏斗試験	塑性 粘度 (Pa·s)	降伏値 (Pa)	単位容 積質量 (g/cm <sup>3</sup> )	水結合 材比 (%)	混和剤	
	実測 (s)					増粘剤	減水剤
A (低粘度)	6.5	0.438	28.793	1.901	45.0		
B (高粘度)	12.7	1.002	31.822	1.919	42.0		
C (低粘度)	6.6	0.572	10.159	1.907	40.0	セルロース系	メラミン系
D (超低粘度)	4.4	0.152	11.019	2.026	30.0	使用	ポリカルボン酸系
E (低粘度)	9.5	0.928	6.436	2.031	30.5	セルロース系	ポリカルボン酸系
F (高粘度)	18.2	1.811	4.654	2.128	25.0	セルロース系	ポリカルボン酸系
G (高粘度)	14.7	1.081	32.999	1.909	42.0	使用	メラミン系

### 3. 解析結果及び考察

表-2に実験値と解析値の比較、図-3にJP漏斗流下時間比較、図-4に解析精度と水結合材比の関係をそれぞれに示す。表-2および図-3より、若干解析値の流下時間が速いものがあるが、概ね実験値と一致している。また、超低粘度から高粘度までの粘度の違うPCグラウトでも実験値とよい一致を示していることから、材料の特性の違いによらずPCグラウトの流動性の評価指標であるJP漏斗流下試験に対して流体解析の適用が可能であることがわかる。

図-4に水結合材比と解析値/実験値の関係を示す。同図より、水結合材比が20%から30%程度のグループ(以降、分類A)と、40%から45%程度のグループ(以降、分類B)の2つに分けることができる。分類Aおよび分類Bの特徴を表-3に示す。図-4および表-3より、減水剤にポリカルボン酸系を使用している分類AのPCグラウトの方が、分類Bに比べて実験値から若干はなれている。この要因としては、本解析では混和剤がPCグラウトの材料特性に与える影響を考慮していないことが考えられるが、これは今後の検討課題である。

表-2 実験値と解析値の比較

材 料	JP 漏斗試験		解析 ／実測 (-)	水結合 材比 (%)
	解析 (s)	実測 (s)		
A(低粘度)	6.5	6.5	1.000	45.0
B(高粘度)	13.3	12.7	1.047	42.0
C(低粘度)	6.3	6.6	0.955	40.0
D(超低粘度)	3.2	4.4	0.727	30.0
E(低粘度)	8.3	9.5	0.874	30.5
F(高粘度)	14.0	18.2	0.769	25.0
G(高粘度)	14.9	14.7	1.014	42.0

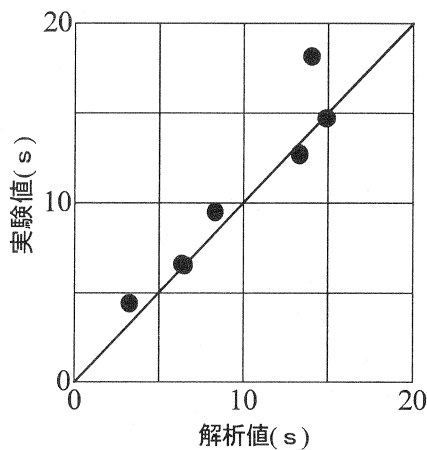


図-3 JP漏斗流下時間比較

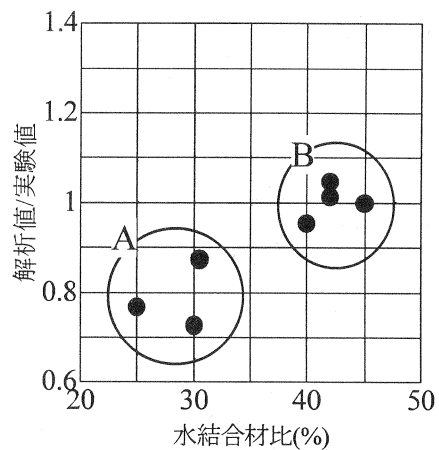


図-4 解析精度と水結合材比の関係

表-3 PCグラウトの分類比較

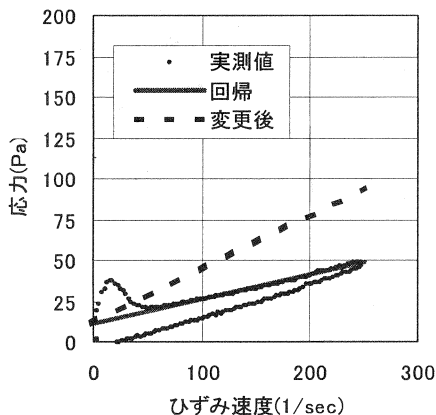
	分類A	分類B
水結合材比	25~30%程度	40~45%程度
流動性	水結合材比を小さくし、混和剤により流動性を増していると考えられる。	水結合材比を大きくし、水の流動性を利用していると考えられる。
減水剤	ポリカルボン酸系	メラミン系
レオロジー	下り勾配が下に凸	下り勾配が上に凸
降伏値	比較的小さい	比較的大きい
単位容積質量	2.0 (g/cm <sup>3</sup> ) 程度	1.9 (g/cm <sup>3</sup> ) 程度

4. 塑性粘度モデルの影響

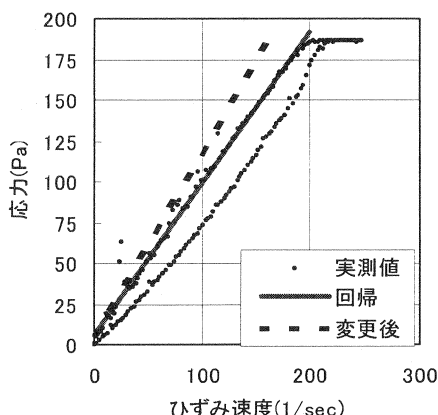
他の解析結果に比べ、実験値と解析値の差が大きいD(超低粘度)、E(低粘度)2つのPCグラウトに対して、解析結果と実験値をほぼ一致させるように塑性粘度を変更して解析を行った。数値解析結果として、表-4に塑性粘度を変更した解析結果を、図-5に最終的に用いたせん断応力度-せん断ひずみ速度の関係を示す。このことより、解析結果に与える塑性粘度の影響が大きいため、実験値より求める塑性粘度のモデル化においては十分な検討を要することがわかる。

表-4 塑性粘度を変更した解析結果

材 料		JP 漏斗試験		塑性 粘度 (Pa·s)	降伏値 (Pa)	解析 /実測 (-)	備考
		解析 (s)	実測 (s)				
D(超低粘度)	実験値	3.2	4.4	0.152	11.019	0.727	
	変更後	4.3		0.335		0.977	$\mu \times 2.2$
E(低粘度)	実験値	8.3	9.5	0.928	6.436	0.874	
	変更後	9.7		1.113		1.021	$\mu \times 1.2$



(a) D (超低粘度)



(b) E (低粘度)

図-5 せん断応力度-せん断ひずみ速度の関係

5. まとめ

本解析では、塑性粘度試験により得られたせん断応力度-せん断ひずみ速度の関係から、ビンガムモデルを仮定してJP漏斗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。この結果、数値解析結果と実験値と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グラウトでも実験値とよい一致を示していることから、材料の特性の違いによらず解析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JP漏斗試験のシミュレーションを試みた結果を報告した。現在、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グラウトの充てん解析へ拡張することを予定しており、次の機会に報告することにした。