

# セメント系材料の流動性に着目した充填補修解析

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

## 1. はじめに

既設コンクリート構造物に断面修復を施す場合、損傷箇所や塩化物イオンを含んだ部分をはつり、はつり範囲に型枠を設置してフレッシュなセメント系材料を内部に充填する工法がある。その際に重要となるのが既設コンクリート部と断面修復部の一体性であり、施工後の型枠内（特に既設コンクリートと断面修復材の界面）に空隙が残っているとその部分が弱点となり剥離やひび割れの原因となる。その対処法として図-1のように、はつり面の凹凸部を処理して滑らかにすることで型枠内の空隙を低減できる可能性が「プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き」<sup>1)</sup>に示されている。しかし、セメント系材料の密度やレオロジー定数等の流動に関する物性値の違いが充填の仕方に影響を与えることから、適切な材料選定のためにも数値解析による検討が可能となることが望まれる。そこで本研究では、桁の下面に型枠を設置してセメント系材料を注入する補修を対象とした流動解析を行い、セメント系材料の物性値や注入孔の位置および個数が充填性に与える影響をパラメトリック解析により検討した。

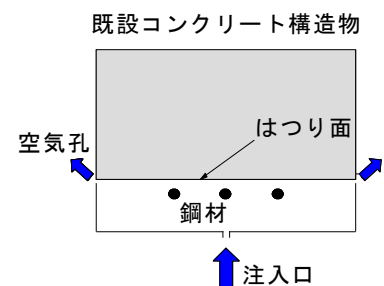


図-1 セメント系材料の注入

## 2. 解析概要

### 2.1 基本的な計算方法

本研究では、数値解析手法として固気液混層が考慮できる2次元CIP法<sup>2)</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る。CIP法では、これらの式を移流項と非移流項に分離し、時間発展計算により各物理量を求める。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、多層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。

### 2.2 物性値および解析パラメータ

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。セメント系材料として3種類の粘性を仮定した。表中の低粘性と高粘性の物性値は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、中粘性は両者の中間値を採用した。降伏値は、せん断応力とその値に達するまで変形が生じないという物理的意味があり、高粘性、中粘性、低粘性の分類は、塑性粘度の大小関係と関連する。図-2に解析モデルを示す。型枠寸法は、厚さ25mm、幅500mmであり、型枠下部中央を注入孔、上部両端を空気孔とした。なお、解析では注入孔を3つにしたモデルも作成した。セメント系材料と型枠との境界面はスリップ条件とした。

表-1 物性値および解析パラメータ

パラメータ	低粘性	中粘性	高粘性
密度(kg/m <sup>3</sup> )	1900	1910	1920
降伏値(Pa)	30	20	10
塑性粘度(Pa·s)	0.40	0.70	1.00
型枠寸法 (mm)	500×25		
要素寸法 (mm)	2×2		
要素数 (個)	297×93		
重力加速度(m/s <sup>2</sup> )	9.81		
CFL条件	0.50		
最大時間増分(s)	0.01		



図-2 解析モデル

## 3. 解析結果

図-3および図-4は、注入孔が1つのモデルに対してセメント系材料が注入される様子と、型枠内が完全に充填された状態を示したものである。ただし、型枠上部には空隙が残る結果となった。注入孔付近でセメン

ト系材料が湧き出し、その後は左右に広がっていく挙動が確認できるとともに充填完了まで解析可能なことが分かる。

### 3.1 粘性の違いが充填時間に及ぼす影響

表-2に各モデルの充填に要した時間を示す。表-1に示される降伏値が小さいほど充填時間が短くなっていることが分かる。すなわち、本研究の範囲内では、降伏値の方が塑性粘度の値に比べて充填性に与える影響が大きいことが示された。

### 3.2 型枠天井が水平なモデル

高粘性の場合、中粘性と低粘性のものとは比べて特に注入孔が1つのモデルにおいて空隙が少ない状態で充填が完了した。これは前述のような流体の降伏値が影響しているものと考えられる。高粘性のセメント系材料は降伏値が小さいため、低粘性のものよりも流動しやすく、型枠天井にも容易に接することが出来たものと予想される。注入孔が3つのモデルでは、注入孔が1つのモデルよりも充填が早く進むが、粘性を変えても流体は天井に接することなく、型枠内に空隙が残った。これは、図-5のように中央の孔からの湧出しが左右の孔からの湧出しの干渉を受け、最終的に図-6のように注入孔直上の天井に湧出しが到達せず、高さ方向に一樣に充填が進んだためと推察される。

### 3.3 型枠天井に勾配があるモデル

型枠内の空隙を完全に除去する可能性のあるモデルとして、図-7に示すような型枠天井に勾配があるもの（既設コンクリート部の形状が下に凸）についても同様に充填状況の検討を行った。型枠寸法は、厚さは中央部が25mm、左右両端は35mm、幅500mm、天井の勾配は約 $2.3^\circ$ である。型枠天井が水平なモデルでは、注入孔の数によらず、型枠上部に空隙が残る結果となったが、型枠天井に勾配があるモデルについては、型枠天井が水平なモデルと比べてどの粘性の流体でも全体的に型枠内の空隙が減少し、充填率の向上が確認できた。型枠天井が水平で注入孔が3つのモデルでは流体が天井に接しなかったが、天井に勾配があるモデルでは空気孔近傍以外の部分で流体が天井に接触した。

## 4. 結論

以下に本研究で得られた知見を示す。

- (1) 充填性は、セメント系材料の塑性粘度よりも降伏値の影響を大きく受け、材料の降伏値が小さいほど向上することが分かった。また型枠天井の形状では、水平のものより勾配のあるモデルの方が充填性が良いことが確認できた。
- (2) 注入孔を増やせば充填時間は短くなるが、充填性が低下する場合もあることが分かった。このことは、単に数を増やすだけでなく、注入孔の位置や大きさ等を適切に配置する必要があることを示している。

### 参考文献

- 1) 社団法人 プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き(案) [断面修復工法]，2008
- 2) 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
- 3) 出雲 淳一，大城 壮司，高瀬 慎介，堤 忠彦：PCグラウトの流体解析，プレストレストコンクリート JOURNAL OF PRESTRESSED CONCRETE, JAPAN, Vol.48, No.2, pp.86-91, 2006



図-3 セメント系材料の注入状況

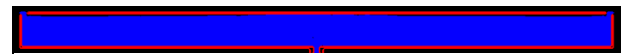


図-4 充填完了時の様子



図-5 湧出しの干渉(低粘性 注入孔数：3)



図-6 充填完了時(低粘性 注入孔数：3)



図-7 解析モデル(型枠天井が傾斜)

表-2 充填完了までの時間

セメント系 材料の性質	注入孔数	型枠天井の形状	
		天井が水平	天井が傾斜
低粘性	1	42.5s	57.0s
	3	26.0s	32.0s
中粘性	1	40.0s	55.0s
	3	24.0s	30.5s
高粘性	1	34.5s	46.5s
	3	23.0s	29.0s