

各種モルタルのレオロジー特性と流動解析

名古屋大学大学院 学生会員 ○遠山 裕一
 名古屋大学大学院 正会員 国枝 稔, 上田 尚史, 中村 光
 東京工業大学大学院 正会員 森口 周二

1. はじめに

補修材としての適用を目的に開発された, 超高強度ひずみ硬化型セメント系複合材料(UHP-SHCC)¹⁾は, 低水セメント比のモルタルに短繊維を混入した材料である. 自己充填を基本とし, 様々な形状, 寸法の型枠等への確実な充填が不可欠である. 本研究では, 障害物を配置したミニ L 型フロー試験を通して, 低水セメント比のモルタルおよび普通コンクリート用モルタルの流動性を検証した. さらに, ビンガム流体を対象とした数値解析により, 両者の流動挙動の再現を試みた.

2. 実験概要

実験に用いた低水セメント比モルタル(以下, 高粘性モルタル)と普通コンクリート用モルタル(以下, 普通モルタル)の配合を表 1 に示す. 高粘性モルタルでは低熱ポルトランドセメント(密度 3.14g/cm³)を用い, セメント質量の 20%をシリカフューム(密度 2.2g/cm³)で置換した. 細骨材は 7 号硅砂(密度 2.68g/cm³), 混和剤には高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系)と消泡剤を使用した.

表 1 示方配合

普通モルタルでは, 普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm³), 山砂(密度 2.38g/cm³), AE 減水剤(リグニンスルホン酸系)を使用した. モルタルのレオロジー

シリーズ	W/B	単位量 [kg/m ³]					
		水	セメント	シリカフューム	細骨材	混和剤	消泡剤
高粘性モルタル	0.18	265.1	1345.8	336.4	168.2	33.6	7.4
普通モルタル	0.60	310.0	516.7	0	1229.7	4.8	0

定数である降伏値および塑性粘度は, 渡辺ら²⁾の簡易推定手法を用いて測定した. 本研究では, 谷川ら³⁾の用いた改良フロー試験装置を参考にした, ミニ L 型フロー試験装置(コンクリート用の 1/2 サイズ)の寸法を図 1 に示す. 実験は, 無配筋のものを基準に鉄筋を模擬した 10×10mm の断面の亚克力棒(以下, 模擬鉄筋)を間隔が均等になるよう 1~4 本配置したものについて実験を行い, 側面からビデオによる撮影を行った.

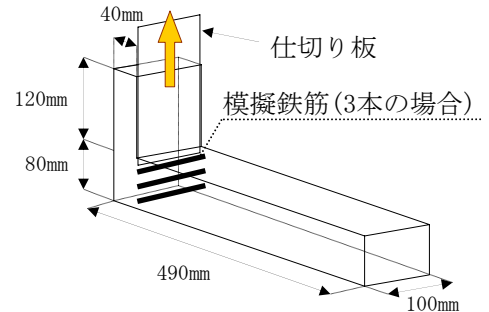


図 1 ミニ L 型フロー試験機

3. 解析概要

土砂の流動挙動を表現するモデルとしてこれまで森口ら³⁾によって開発された 2 次元 CIP 法のモデルに, コンクリート材料を考慮したビンガム流体モデルを導入して流動挙動解析を実施した. ビンガム流体モデルは以下の式で表現される.

$$\tau = \eta_0 \dot{\gamma} + \tau_0 \quad (1)$$

ここで τ はせん断応力, η_0 は塑性粘度, $\dot{\gamma}$ はせん断ひずみ速度, τ_0 は降伏値である. 計算の中では, 上式から得られる等価粘性係数(見かけの粘性係数) η' を用いることで, ビンガムモデルを表現する. 等価粘性係数 η' は, 次式で表現される.

$$\eta' = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \eta_0 + \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} \quad (2)$$

η' は, 図 2 中の点線の傾きとして表現されるものであり, その値はせん断ひずみ速度に依存して変化する.

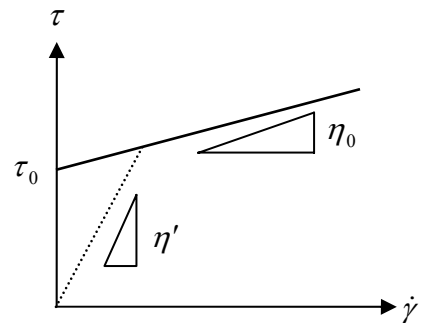


図 2 応力ひずみ速度関係

キーワード フレッシュモルタル, 流動解析, レオロジー, CIP 法

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 工学部 9 号館 526 号室 TEL 052-789-4484

4. 結果および考察

4.1 実験結果

実験により得られた高粘性モルタル及び普通モルタルのレオロジー定数(降伏値, 塑性粘度)の平均値を表-2に示す. レオロジー定数は渡辺ら²⁾の方法により, 通常モルタルフロー試験における15回の落下を行わない0打モルタルフロー試験およびJ14ロート流下試験

表-2 流動性試験結果と推定されたレオロジー定数

シリーズ	0打モルタル フロー値(mm)	J14ロート 流下時間(秒)	降伏値 τ_0 (Pa)	塑性粘度 η_0 (Pa·s)
普通モルタル	189	8.3	112	0.7
高粘性モルタル	288	67.0	52	11.0

で測定した. 高粘性モルタルの塑性粘度は普通モルタルの15倍程度と大きな値であり, 降伏値に関しては普通モルタルの半分程度であることから, 高粘性モルタルは普通モルタルに比べてよりニュートン流体に近い挙動を呈すると推察される.

ミニL型フロー試験によって得られた試験結果の一例を図-3に示す. いずれのケースにおいても, ミニLフローイング曲線の傾きは流動開始直後が最も大きく, その後緩やかに小さくなる. 普通モルタルにおいては模擬鉄筋本数が増えるにつれ, 骨材の噛み合わせによると思われるつまりが発生した. 一方高粘性モルタルにおいては模擬鉄筋を4本入れた場合以外には大きな違いは見られず, 4本の場合でもミニLフロー値45cmまで到達した.

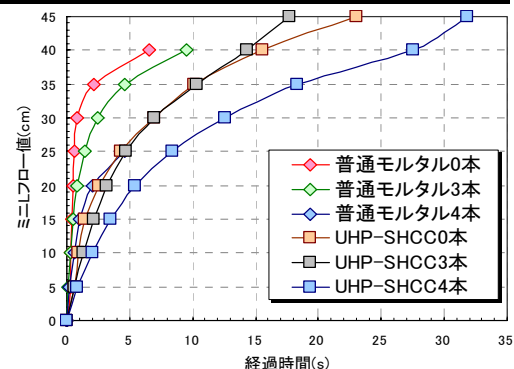


図-3 ミニスランピング曲線

4.2 解析結果

図-4に上記の試験を模擬した解析結果(普通モルタル, 高粘性モルタル)の一例を示す. いずれのモルタルにおいても, 模擬鉄筋がある場合にはモルタルが模擬鉄筋に当たり試料が分岐したのち, 再び合流する様子がよく再現されている. 模擬鉄筋3本の場合, 普通モルタルではつまりが見られるが, 高粘性モルタルではみられない. しかし, 模擬鉄筋が4本の場合は高粘性モルタルにおいてもやや閉塞する傾向にあった.

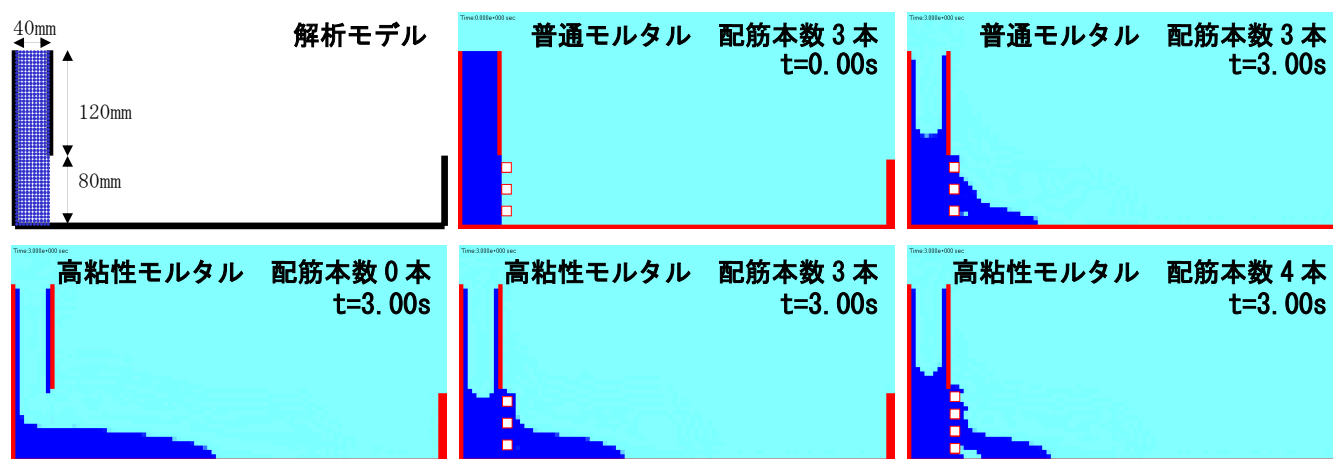


図-4 解析例

5. 結論

モルタルの流動性について, レオロジー的なパラメータを実験的に同定し, CIP法による数値解析により各モルタルの流動挙動の定性的な違いが表現できた. 今後, 3次元での計算, 骨材や繊維混入のモデル化を行う予定である.

参考文献

- 1) 国枝稔ら: 超高強度ひずみ硬化型セメント系材料の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No1, pp.315-320, 2007
- 2) 渡辺健治ら: 骨材の混合率がモルタルの流動挙動に及ぼす影響, コンクリート工学論文集, Vol.26, No.1, pp.1137-1142, 2004
- 3) 谷川恭雄ら: フレッシュコンクリートとマトリックスモルタルのレオロジー性質の関係, コンクリート工学年次論文集, Vol.13, No1, pp.119-124, 1991
- 4) 森口周二ら: 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, pp.153-154, 2006