

高チクソトロピー性を有するセメント系材料の流体解析

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

1. はじめに

施工現場では、簡便な測定方法の一つであるミニスランプフロー試験により、セメント系材料の流動性が評価される。Myoung¹⁾らは、レオメーターを用いて高性能コンクリートの流体解析を行い、ミニスランプフロー値とレオロジー特性は相関があると報告しているが、Zhijun²⁾らは、セメント系材料の降伏値が高い場合、ミニスランプフローから算出した降伏値とビスコメーターで測定した降伏値が乖離するため、相関がないことを指摘している。

そこで、レオメーターを用いて高チクソトロピー性を有するセメント系材料の流体解析を行い、ミニスランプフロー値とレオロジー特性の相関関係を確認し、品質管理へ応用することを検討した。本研究では、セメント粒子の凝集構造が破壊、分散した粒子同士の再凝集を示すチクソトロピー性を有する材料を用い、粘度の時間依存性の影響を調べた。

2. 実験概要

2.1 試料調製

ポルトランドセメント、ポリカルボン酸系減水剤、鉱物質超微粉末、増粘剤を乾式混合した粉体を水粉体比 34%、40%で攪拌機を使用して2分間混練し、材料を調製した。

2.2 粘度測定

共軸二重円筒型レオメーター(MCR101, Anton Paar製)を用いて、せん断速度を変化させた場合の粘度を測定した。せん断速度を 10^{-4}sec^{-1} から 1000sec^{-1} まで対数上昇後、 1000sec^{-1} から 10^{-4}sec^{-1} まで対数下降させる操作を2回繰り返して、流動曲線を得た。次に、定常せん断速度での粘度測定を行った。ミニスランプフローのせん断速度は、 $1\sim 50\text{sec}^{-1}$ の範囲であるとの Byoung³⁾ の研究結果を参考に、せん断速度 10sec^{-1} 一定における粘度の経時変化を測定し、20秒経過後、粘度に変化がなかったため、定常状態と判断した。各種測定は 20°C

$-65\%RH$ の恒温恒湿室にて行った。

2.3 流体解析

セメント系材料の流体解析には、一般的に Bingham モデルが用いられるが、本研究では、高チクソ性を有する材料のフィッティングに適した Bird-Carreau モデル[式(1)]を用いた。また、 1000sec^{-1} から 10^{-4}sec^{-1} まで対数下降させた戻りの流動曲線を用いて、Bird-Carreau モデルによるフィッティングを行った。また、解析ソフトは ANSYS 製の polyflow を使用した。

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

η_0 及び η_{∞} :せん断速度ゼロ及び無限大時のみかけ粘度、 λ :緩和時間、 n :べき指数、 $\dot{\gamma}$:せん断速度

2.4 ミニスランプフロー試験と解析モデル

ミニスランプフロー試験は、JIS A 1171 に基づき試験を行った。また、デジタルビデオカメラ(HDR-CX535, Sony 製)を用いてスランプフローの広がりや止まるまでの時間を計測した。

流体解析では、材料と壁面のスリップパラメータ $f_{\text{slip}}=1\text{E}15[\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}]$ (≡滑らない)、スランプコーンの引き上げ速度： $100\text{mm}/\text{s}$ 、材料密度： $1.92\text{g}/\text{cm}^3$ として計算した。

3. 結果と考察

図1にレオメーターで測定した流動曲線及び Bird-Carreau モデルを用いてフィッティングした流動曲線を示す。Bird-Carreau モデルは、高チクソ性を有する材料に対して、良好なフィッティングを示した。図2にせん断速度 10sec^{-1} 一定における粘度の経時変化を示す。水比 34%では、測定開始直後に約 $70\text{Pa} \cdot \text{s}$ であった粘度が20秒経過後に約 $22\text{Pa} \cdot \text{s}$ まで低下した。同様に、水比 40%においても、測定開始直後に $19\text{Pa} \cdot \text{s}$ であった粘度が20秒後に約 $8\text{Pa} \cdot \text{s}$ まで低下した。いずれの水比でも測定開始直後の粘度は高く、時間依存性を示したが、低水比の方が粘度の時間依存性は顕著であ

キーワード 高チクソ性グラウト材, 数値流体解析, Bird-Carreau モデル

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

った。ある時間における粘度の変化率を式(2)とし、Bird-Carreau モデルの η_0 が $R(t)$ により補正するように式(3)に加え、時間依存性を考慮したモデルとした。

$$R(t)=\eta_t/\eta_c \tag{2}$$

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 \times R(t) - \eta_{\infty}) \frac{n-1}{2} \tag{3}$$

η_t 及び η_c :各時間及び定常状態の時の粘度

図 3 に、ミニスランプフローの実測値、時間依存性を考慮した場合及び考慮しない場合の解析結果を示す。実測値は、水比 34%で 2 秒後に 161mm, 水比 40%で 1.6 秒後に 231mm であるのに対し、時間依存性を考慮しない場合の解析値は、水比 34%で 2 秒後に 200mm, 水比 40%で 1.6 秒後に 279mm, 時間依存性を考慮した場合の解析値は、水比 34%で 2 秒後に 182mm, 水比 40%で 1.6 秒後に 250mm であった。この結果より、粘度の時間依存性を考慮することで、ミニスランプフローの実測値と解析値の乖離は、水比 34%では 24%から 13%, 水比 40%では 21%から 8%へ低減できたが、まだ乖離がみられた。

図 4 に、水比 34%におけるミニスランプフローのせん断速度分布の変化を示す。測定開始直後のせん断速度は速いが、段々と遅くなっていることがわかる。こ

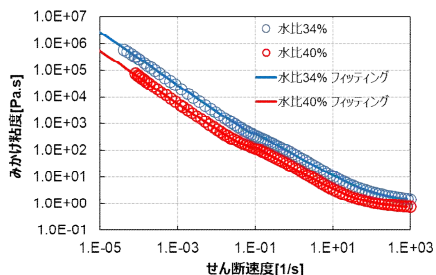


図 1 各水比におけるセメント系材料の流動曲線

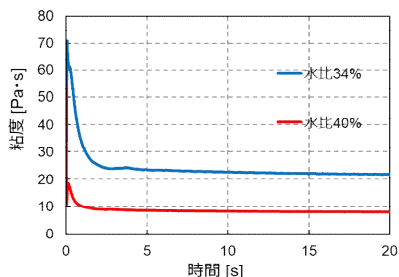


図 2 せん断速度 10sec⁻¹一定における粘度の経時変化

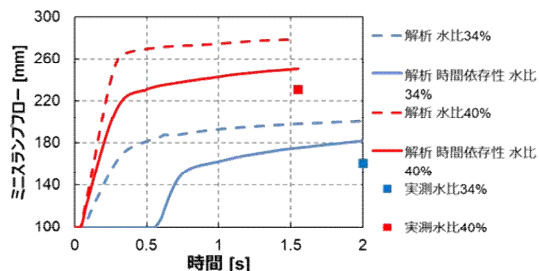


図 3 ミニスランプフローの経時変化の解析値と実測値

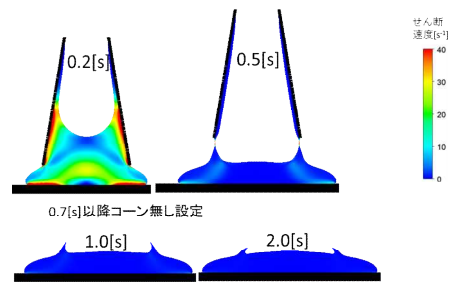


図 4 水比 34%におけるせん断速度分布の変化

のため、ミニスランプフローは、10sec⁻¹より小さいせん断速度における粘度およびその時間依存性が影響していると考えられる。通常、チクソトロピー性は、セメント粒子の分散及び再凝集を考慮するが、再凝集は数分間を要する²⁾ため、本検討で考慮しなくても影響はなかったと考える。

4. まとめ

せん断速度 10sec⁻¹一定における粘度の時間依存性を Bird-Carreau 式に加えることで、ミニスランプフローの実測値と解析値の乖離は低減できた。今後、さらに実測値と解析値の乖離を低減するためには、10sec⁻¹より小さいせん断速度における粘度の時間依存性を考慮した Bird-Carreau 式を構築するとともに、ミニスランプフローの経時変化を考慮して解析を行い、ミニスランプフロー値及び流動時間とレオロジー特性の相関関係を確認する必要がある。

参考文献

1. Myoung Sng Choi, Jung Soo Lee : Estimation of rheological properties of UHPC using mini slump test, *Construction and Building Materials*, 106, 2016, pp. 632-639.
2. Zhijun Tan, Susan A. Bernal, John L. Provis, Reproducible mini-slump test procedure for measuring the yield stress of cementitious pastes, *Materials and Structures*, 50, 2017, pp.1-12.
3. N Roussel : A thixotropy model for fresh fluid concretes : Theory, validation and applications, *Cement and Concrete Research*, 36, 2006, pp. 1797-1806.
4. Byoung Il Choi, Jae Hong Kim, Tae Yong Shin : Rheological model selection and a general model for evaluating the viscosity and microstructure of a highly-concentrated cement suspension, *Cement and Concrete Research*, 123, 2019, pp. 1-8.