

コンクリート用火山ガラス微粉末を用いたフレッシュモルタルのレオロジー特性に関する実験的研究

(株)フローリック 正会員 ○西 祐宜 (株)フローリック 正会員 熊本 光弘
 東京大学大学院 正会員 友寄 篤 鹿児島県工業技術センター 非会員 袖山 研一
 (株)フローリック 非会員 秋山 五郎 (株)フローリック 非会員 平野 修也

1. はじめに

本研究では火山ガラス微粉末（以下 VGP）を普通ポルトランドセメント（以下 OPC）の内割で使用したフレッシュモルタルを対象に、十字羽根回転粘度計によるレオロジー試験結果を基にレオロジー特性について考察した。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびモルタルの配合

使用材料は OPC と VGP (3種類) またはシラス風化物 CF を結合材とし、山砂と上水道水を用いた。配合は W/B を 45% と 30% の 2 水準、VGP と CF の内割置換率を 15% と 30% の 2 水準とした。高性能 AE 減水剤 SP によって W/B=45% はミニスランプ、W/B=30% はミニスランプフローを調整し、消泡剤 DF により空気量が 1.0% 前後になるように調整した。

2.2 レオロジー試験

レオロジー試験は、十字羽根回転粘度計¹⁾ (板厚 1mm・高さ 30×幅 15mm の十字羽根) によりモルタル試料 (φ15×10cm の容器に充填) を対象に実施した。

3. レオロジー特性の評価方法

本研究では 50rpm に到達するまで羽根の回転速度を徐々に増加する履歴（上昇曲線）と、その後 0rpm に到達するまで回転速度を徐々に減少する履歴（下降曲線）によるせん断速度とせん断応力の関係曲線（ヒステリシスループ）を測定した。ヒステリシスループで囲まれた面積 S によって、凝集構造の破壊と回復の時間的なズレの度合い、すなわちセメント組成物のチクソトロピー性を簡易評価した²⁾。また、本研究では上述した下降曲線の低速度域を対象に Bingham モデルを適用し、近似した一次関数 $y = \alpha x + \beta$ の切片 β を降伏値 τ_y 、傾き α を塑性粘度 η としてレオロジー定数を導出した。

4. 実験結果および考察

4.1 ヒステリシスループ

図-1 に W/B=30% の測定結果の代表例として、30-OPC 配合 (MSF=308mm) と 30-VR15 配合 (MSF=306mm) のヒステリシスループを示す。VGP を内割使用することで、OPC 単体に比べて履歴で囲まれた面積は減少する傾向を示した。図-2 に W/B=45% の 45-OPC 配合 (MSL=10.4cm) と 45-VR15 配合 (MSL=10.5cm) の履歴を示す。図-1 に比べて上昇曲線のせん断初期でせん断応力が顕著に増加する傾向を示した。これは W/B=30% に比べて W/B=45% の方が試料の流動性が低いことと、配合上の S/B が高く、低せん断速度時において粒子のインターロッキングが顕在化したと考えられる。

4.2 Bingham モデルによるレオロジー定数の導出

図-1 の W/B=30% の履歴において、Bingham モデルによる近似式の R^2 値は比較的高い値を示した。一方、図-2 の W/B=45%

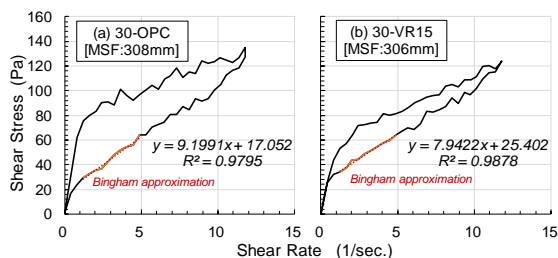


図-1 W/B=30%のヒステリシスループの代表例

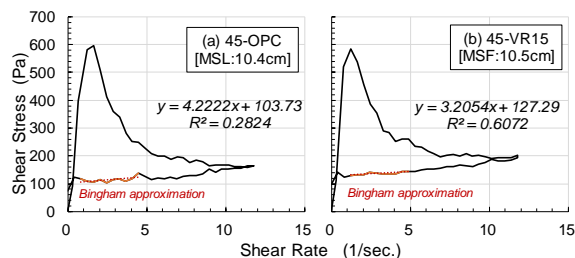


図-2 W/B=45%のヒステリシスループの代表例

キーワード 火山ガラス微粉末、フレッシュモルタル、レオロジー定数、チクソトロピー

連絡先 〒300-2622 茨城県つくば市要 33-1 (株)フローリック コンクリート研究所 TEL 029-877-1945

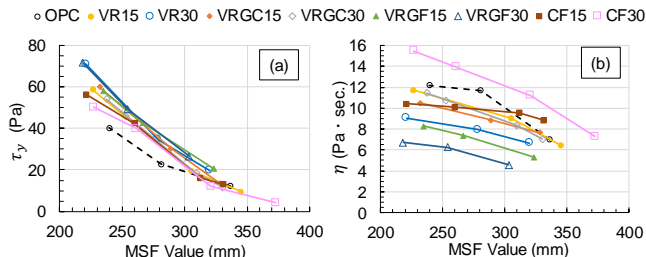


図-3 MSF 値と降伏値および塑性粘度の関係 (W/B=30%)

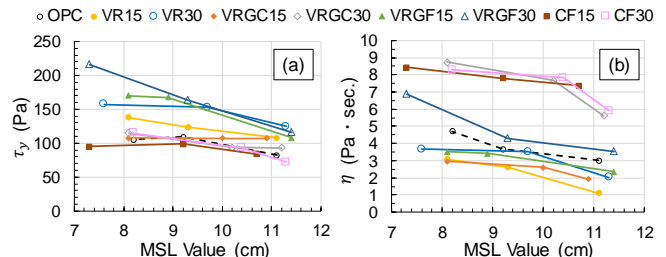


図-4 MSL 値と降伏値および塑性粘度の関係 (W/B=45%)

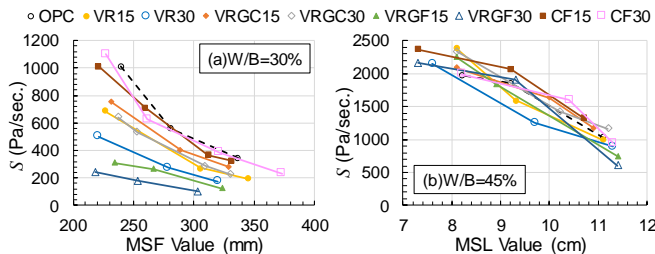


図-5 MSF 値および MSL 値とチクソトロピーの関係

表-1 火山ガラス微粉末を OPC の内割使用した場合の影響

種類	置換率 (%)	流動性	塑性粘度	チクソトロピー	空気連行性
I種*	15	同等	低い	大幅に低い	-
	30	低い	低い	大幅に低い	-
II種*	15	同等	若干低い	低い	同等
	30	若干低い	低い	大幅に低い	若干低い
III種*	15	同等	若干低い	低い	-
	30	若干低い	若干低い	低い	-
CF**	15	低い	同等	若干低い	同等
	30	大幅に低い	高い	同等	若干高い

[注] 普通ポルトランドセメント単体の配(調)合との比較を表す。なお、I種とIII種の空気連行性は未確認。 *JIS A 6209 **シラス風化物

では、下降曲線の低速度側でせん断応力が再び上昇した。これはインターロッキング現象によるものと考えられる。よって Bingham モデルによる近似は、上述した非 Bingham 性を示すデータを避けて実施した。

4. 3 ミニランプ試験結果とレオロジー定数の関係

図-3(a)に W/B=30%における MSF 値と降伏値 τ_y の関係を示す。凡例に示した配合の違いを問わず、MSF 値の低下に伴い τ_y は増加傾向を示した。図-3(b)に同配合の MSF 値と塑性粘度 η の関係を示す。MSF 値の低下に伴い η は概ね増加傾向を示した。VGP を内割置換した配合と CF15 は、OPC に比べて所定の流動性における η は低下した。中でも平均粒径が比較的小さい VRGF において顕著となった。これに対して CF30 は、OPC に比べて η は増加する結果となった。実際にモルタル試料をさじで攪拌すると、CF30 は見かけの粘性が高いように感じられた。一方、他の配合においては、見かけの粘性は OPC と同等、もしくは若干低下したように感じられ、上述した η の傾向に概ね対応した。

図-4(a)に W/B=45%における MSL 値と降伏値 τ_y の関係を示す。MSL 値の低下に伴い τ_y は増加傾向を示したが、この増加度合いは配合間で異なり、平均粒径が小さい VRGF の τ_y は大きな値を示した。なお、図-3(a)に比べて配合間で τ_y に差が生じた理由は、粘性抵抗を包含したためと考える。図-4(b)に同配合の MSL 値と塑性粘度 η の関係を示す。MSL 値の低下に伴い η は増加傾向を示した。VGP 内割置換率が 15%の場合、OPC に比べて所定の MSL 値における η は低下した。反対に η が増加したのは、VRGF30、VRGC30、CF15、CF30 の 4 配合であった。中でも CF を内割置換した配合は、試料をさじで攪拌した実際のハンドリングにおいても、OPC 単体に比べて見かけの粘性が増加したように感じられた。

4. 4 ミニランプ試験結果とチクソトロピーの関係

図-5(a)に W/B=30%における MSF 値とヒステリシスループで囲まれた面積S (チクソトロピーの指標) の関係を示す。VGP を内割使用することで、OPC 単体に比べて所定の MSF 値におけるS値は減少傾向を示した。この傾向は VRGF で顕在化し、平均粒径が小さいものほどチクソトロピーが減少する可能性が示唆された。一方、CF を内割使用した場合は OPC 単体と同程度のS値を示した。図-5(b)に W/B=45%における MSL 値とS値の関係を示す。VGP の内割使用においても OPC 単体と同程度のS値を示した。図-2 に示したように W/B=45%の履歴ではいずれもせん断初期の応力が顕著に増加し、この挙動が支配的となったため、図-5(b)では配合によるチクソトロピーの違いが明確には表れなかったものとする。

5. まとめ

表-1 に火山ガラス微粉末 VGP を OPC の内割で使用した場合の影響について、流動性と空気連行性を合わせてまとめる。

参考文献

- 1) 秋山五郎, 平野修也, 西祐宜, 山田義智: 新規ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を用いたフレッシュコンクリートのレオロジー特性評価に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.748-753, 2021.7
- 2) 谷川恭雄監修: フレッシュコンクリートの流動特性とその予測, セメントジャーナル社, 2004.9