

高流動コンクリートを構成するペーストの粘性に及ぼす諸要因に関する基礎的検討

長崎大学大学院 学生会員 ○貞松 大地
長崎大学大学院 正会員 佐々木 謙二
長崎大学大学院 正会員 原田 哲夫

1. はじめに

コンクリート構造物が本来の性能を発揮するために、施工者の熟練度に依存することのない締固め不要の自己充填性を有する高流動コンクリートが開発された¹⁾。
高流動コンクリートに要求される性能として流動性、材料分離抵抗性、間隙通過性などがある。これらはいずれも粘性と大きく関係しており、コンクリートのフレッシュ性状に大きな影響を及ぼす。高流動コンクリートに適切な粘性を与える方法の1つである粉体系高流動コンクリートでは、粉体量を増加させるために高炉スラグ微粉末や石灰石微粉末が用いられることが多いが、その代替として石炭火力発電所から排出されるフライアッシュの利用が考えられる。
本研究は、粉体系高流動コンクリートを構成するペーストを対象とし、粘性に及ぼす混和材と温度の影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本研究において対象とした粉体の種類とその物理的性質を表-1に示す。普通ポルトランドセメントに対する混和材の混和率は25mass%とした。配合の表記の仕方を図-1に示す。ペーストの水粉体容積比は90~170vol%とし、後述の相対フロー面積比が1~5となるよう3水準以上設定した。

2.2 試験項目および方法

粉体特性を評価する試験としてフロー試験を、粘性を評価する試験として管式粘度計によるレオロジー一定数測定試験を行った。各試験は10、20、30℃の環境下

表-1 粉体の種類

	結合材	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)
セメント	普通ポルトランドセメント (N)	3.15	3240
混和材	フライアッシュ (FA)	2.26	3960
	高炉スラグ微粉末 (BFS)	2.90	5920
	石灰石微粉末 (LSP)	2.71	8330



図-1 配合の表記の仕方

で行った。

(1) フロー試験

JIS R 5201「セメントの物理試験方法」を参考に試験を行った。フロー値からフロー面積を求め、フローコーン下部の面積との比である相対フロー面積比(T_p)を算出した(式(1))。縦軸を水粉体容積比(V_w/V_p)、横軸を相対フロー面積比(T_p)とし、直線回帰したときの縦軸切片を拘束水比(β_p)、傾きを変形係数(E_p)として算出した。

$$T_p = \frac{\pi(F_p/2)^2 - \pi(F_0/2)^2}{\pi(F_0/2)^2} = \left(\frac{F_p}{F_0}\right)^2 - 1 \tag{1}$$

ここに、 F_p :フローの直径、 F_0 :フローコーンの直径。

(2) 管式粘度計によるレオロジー一定数測定試験

レオロジー一定数(塑性粘度、降伏値)の測定は、図-2に示す管式粘度計により行った。排出口を閉じた状態で、水平細管および鉛直管内をペーストで満たした。排出口を開け、ペーストの流出量と管内の圧力差を経時的に測定した。なお、自重のみで流れ出ない場合には、鋼材で加圧することにより十分な圧力勾配を確保した。これらから流量と圧力勾配の流動曲線(図-3 参照)を求め、その曲線の直線部を直線回帰し、その傾き(a)及び直線の延長線の横軸切片(b)を求めた。ペーストをビンガム流体と仮定し、細管内の塑性流動を示すBuckingham-Reiner 式(2)を適用し、式(3)を用いて塑性粘度および降伏値を求めた^{2), 3)}。

$$Q = \frac{\pi \Delta P R^4}{8 L \eta_{PL}} \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left(\frac{r_0}{R} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{r_0}{R} \right)^4 \right\} \quad r_0 = \frac{2 \Delta P \tau_F}{L} \tag{2}$$

$$\tau_F = \frac{3 R b}{8} \quad \eta_{PL} = \frac{\pi R^4}{8 a} \tag{3}$$

ここに、 Q :流量(cm³/sec)、 R :管路の半径(cm)、 L :粘度計管路部の長さ(cm)、 r_0 :栓流半径(cm)、 ΔP :圧力差(Pa)、 η_{PL} :塑性粘度(Pa・s)、 τ_F :降伏値(Pa)。

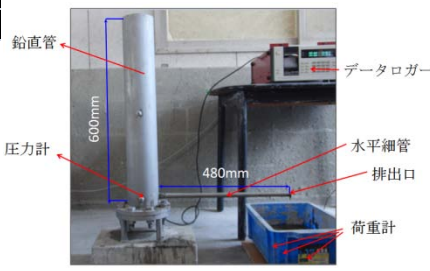


図-2 管式粘度計

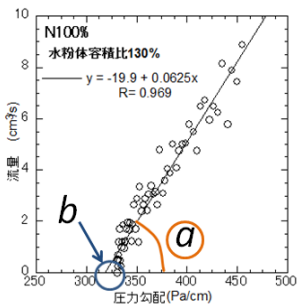
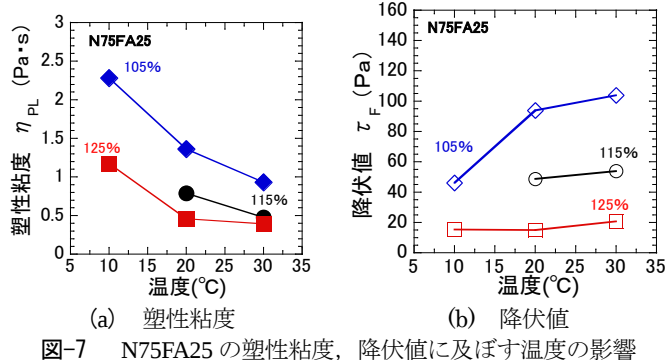
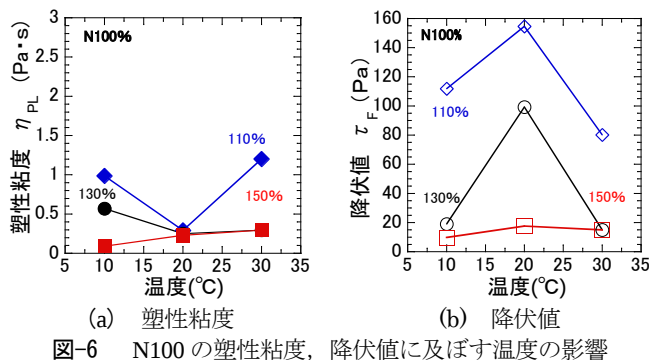
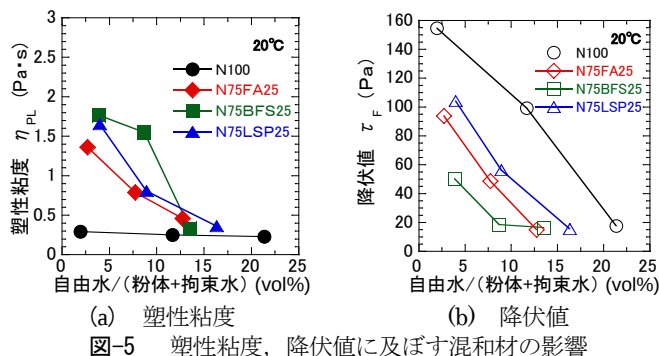
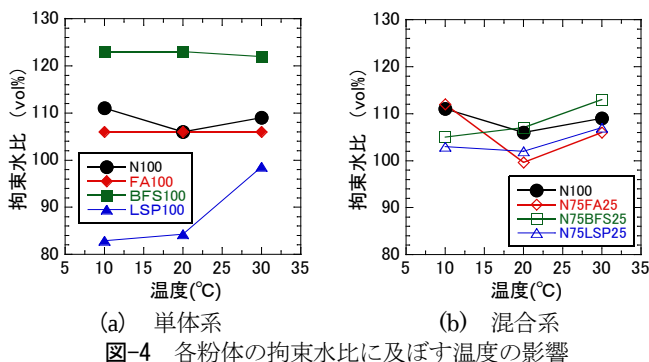


図-3 圧力勾配と流量の関係



3. 実験結果および考察

図-4に各粉体の拘束水比に及ぼす温度の影響を示す。単体系では、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末において拘束水比に及ぼす温度の影響があまりみられないが、混合系では顕著にみられる。これは混合系においてはセメントの拘束水比の温度依存性の影響が顕著に現れるためであると考えられる。

図-5に20°Cにおける塑性粘度, 降伏値に及ぼす混和材の影響を示す。混和材種類によらず統一的な指標で評価することを考え、フロー試験により求めた拘束水比より、自由水/(粉体+拘束水)体積率を算出し、検討した。自由水/(粉体+拘束水)体積率が小さい領域においては、N100に比べ混和材を使用した場合は、塑性粘度が大きく、その差が顕著であることがわかる。一方、降伏値については同程度の自由水/(粉体+拘束水)体積率であっても、混和材を用いた場合の方が降伏値が小さいことがわかる。これは、粉体の形状、粒度、水和反応性が影響していると考えられる。

図-6にN100の塑性粘度, 降伏値に及ぼす温度の影響を示す。レオロジー定数に及ぼす温度の影響は、主として初期の水和反応性、溶媒である水の粘性の違いに起因すると考えられる。その観点からみると、水粉体容積比が110%の場合に10°Cと30°Cで塑性粘度が同程度の値になっているのは、20°Cの場合に比べて10°Cでは、水和反応は抑制され、また水の粘性が大きくなるが、水の粘性の影響の方が卓越したためと考えられ、一方30°Cでは、水和反応は促進され、また水の粘性は小さくなるが、水和反応の方が卓越したためと考えられる。

図-7にN75FA25の塑性粘度, 降伏値に及ぼす温

度の影響を示す。どの水粉体容積比であっても10°Cの場合に塑性粘度が最も大きくなっている。これは、フライアッシュの混合によりN100に比べセメント量が相対的に少なくなり、水和反応の温度依存性による影響よりも水の粘性の温度依存性による影響の方が卓越したためと考えられる。降伏値に関しては、水粉体容積比が小さい場合に温度による差が顕著に出ている。これは、温度が高いほど水和物の生成量が多くなり降伏値が大きくなったと考えられる。水粉体容積比が大きい場合に温度による違いがあまり見られないのは、相対的に粉体が少なく水和物の生成量が少ないためと考えられる。

4. 結論

- (1) 同一の自由水/(粉体+拘束水)体積率においては、セメント単体に比べて、混和材を入れた場合に塑性粘度は大きくなり、降伏値は小さくなった。
- (2) レオロジー定数(塑性粘度, 降伏値)に及ぼす温度の影響は、混和材種類や水粉体容積比で異なることがわかった。

5. 参考文献

- 1) 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅: ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂出版, 1993
- 2) 村田二郎, 岡田清: 最新コンクリート技術選書1巻, フレッシュコンクリートのレオロジー・コンクリートの弾性とクリープ, 山海堂, 1981
- 3) 笠井哲郎: 高流動コンクリートを構成するフレッシュセメントペーストのレオロジー特性に及ぼす温度の影響, 材料, Vol.45, No.2, pp.230-234, 1996