

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粉体種類と温度の影響

長崎大学 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は、材料、配合、養生のみならず、初期欠陥を発生させない確実な施工が非常に重要である。その実現の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。これまでに行われている研究では、流動性、材料分離抵抗性、間隙通過性を個別に評価しているものが多く、粘性評価をすることで統一に評価をすることができる。高流動コンクリートに適切な粘性を与える方法の1つに、粉体量を多くする方法がある。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かったが、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、粘性に及ぼす粉体の種類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25%とした。本研究では普通ポルトランドセメントのみの場合をN100、フライアッシュを25%混合した場合をN75FA25、高炉スラグ微粉末を25%混合した場合をN75BFS25、石灰石微粉末を25%混合した場合をN75LSP25と表記する。ペーストの水粉体容積比は90~170%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℃の環境下で行い、ペーストの粘性に及ぼす温度の影響についても検討をした。

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 |

(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。この試験方法は、ペーストをフローコーンに詰め、引き上げ後の試験体のフロー値によって評価を行う方法である。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))。それを水粉体容積比毎に算出し、水粉体容積比(V_w/V_p)と相対フロー面積比(T_p)の関係を求める。そのグラフの縦軸切片を拘束水比(β_p)、傾きを変形係数(E_p)とした。

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

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-1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-2 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)}。

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

$$\tau_f = \frac{3Rb}{8}, \quad \eta_{PL} = \frac{\pi R^4}{8a} \quad (3)$$

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-1 管式粘度計

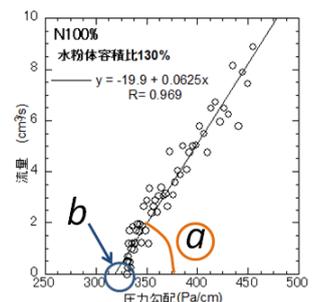


図-2 圧力勾配と流量の関係

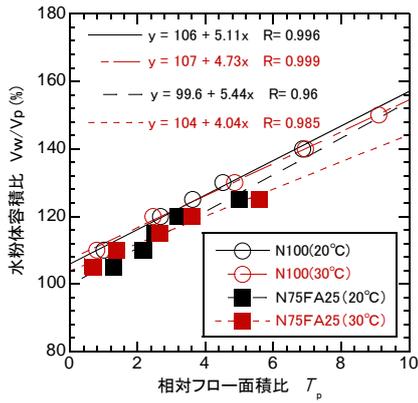


図-3 各粉体の相対フロー面積比と水粉体容積比の関係

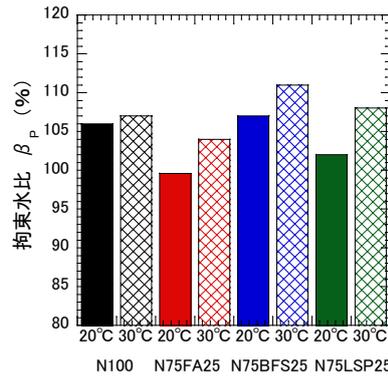


図-4 各粉体の拘束水比に及ぼす温度の影響

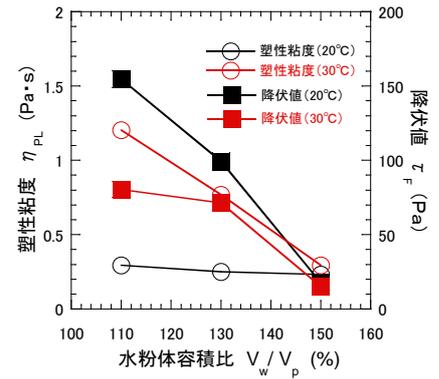


図-5 水粉体容積比と塑性粘度，降伏値の関係に及ぼす温度の影響(N100)

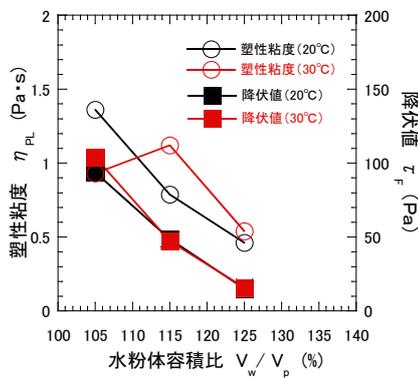


図-6 水粉体容積比と塑性粘度，降伏値の関係に及ぼす温度の影響(N75FA25)

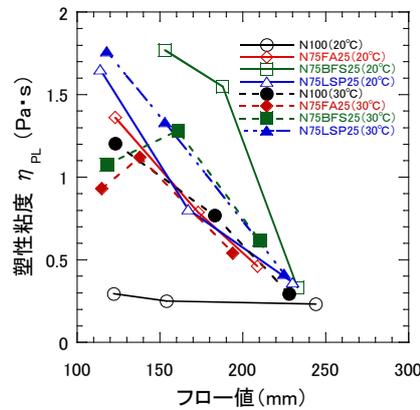


図-7 フロー値と塑性粘度の関係に及ぼす温度の影響

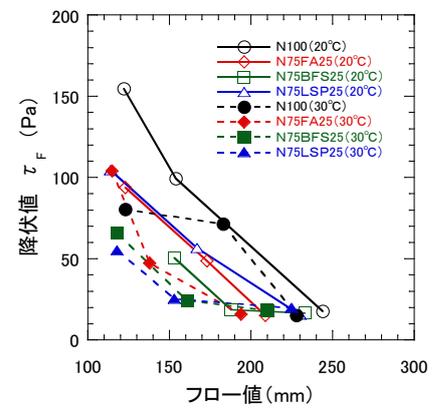


図-8 フロー値と降伏値の関係に及ぼす温度の影響

3. 実験結果および考察

図-3 に相対フロー面積比と水粉体容積比の関係の一例を示す。これらの関係から得られた拘束水比に及ぼす温度の影響を図-4 に示す。いずれの粉体種類においても 30°Cの方が拘束水比が大きくなっていることがわかる。N100 の場合には、20°C，30°Cで拘束水比がさほど変わらないが、混和材を 25%混合している粉体においては差が顕著にみられる。

図-5，図-6 に N100 の場合と N75FA25 の場合の水粉体容積比と塑性粘度，降伏値の関係を示す。N100 の場合には、特に水粉体容積比が小さい領域において塑性粘度，降伏値ともに温度による差が大きいが、N75FA25 の場合には温度による差があまりみられない。

図-7 に各粉体のフロー値と塑性粘度の関係を示す。フロー値が同程度の値であっても、粉体種類，温度によって塑性粘度に差があることがわかる。特に、N100 の場合、温度の影響が顕著にみられることがわかる。

図-8 に各粉体のフロー値と降伏値の関係を示す。温度変化にかかわらず、フロー値が大きいときの降伏値はどの粉体種類においても同程度の値になっていることがわかる。フロー値がい小さい領域では、フロー値が同程度の値であっても、粉体種類によって降伏値に差があり、またいずれの粉体においても 30°Cの場合の

方が降伏値が小さいことがわかる。N75BFS25 の場合には、温度による影響があまり見られないが、N75LSP25 の場合にはフロー値が小さい領域において温度の影響を大きく受けていることがわかる。

4. 結論

- (1) フロー値が同程度の値であっても、粉体種類，温度によって塑性粘度に差があることがわかる。特に、普通ポルトランドセメントのみの場合、温度の影響が顕著にみられることがわかる。
- (2) フロー値が同程度であっても、降伏値は粉体種類の影響を受け、また、いずれの粉体においても 30°Cの方が降伏値が小さい。

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