

高炉スラグ微粉末を用いた高流動用モルタルの流動性に関する研究

九州工業大学大学院 学生会員 三角 晋介 九州工業大学 フェロー 出光 隆
九州工業大学 正会員 山崎 竹博 九州工業大学 正会員 合田 寛基

1. はじめに

高流動コンクリートの流動性には材料の配合、特性などが影響する。材料特性が同一の場合には、コンクリートの流動性関数は、モルタルの流動性関数とモルタル粗骨材容積比から推定できる。また、モルタルの流動性関数は、ペーストのフロー面積比関数とペースト細骨材容積比から推定でき、ペーストの流動性は、水粉体容積比と減水剤添加率 (SP/B) を変数とするフロー面積比の関数で定式化できる。本研究では、高炉スラグ微粉末の物性がモルタルの流動特性に及ぼす影響について実験的研究を行い、モルタルの流動性関数へのスラグ置換率 (V_{slag}/V_b) の導入を試みた。

2. 実験概要

本実験ではセメントは普通ポルトランドセメント、混和材は高炉スラグ微粉末 (比表面積 $7910\text{cm}^2/\text{g}$)、細骨材は海砂 (比重 2.587; 粗粒率 2.78)、混和剤はポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を使用し、ペーストならびにモルタルの流動性試験を行った。ペースト実験では水粉体容積比を、モルタル実験ではペースト細骨材容積比をそれぞれ変化させた。なお、SP/B は 0, 1, 2%, V_{slag}/V_b は 0, 15, 30% で配合を行った。

3. 実験結果および考察

モルタルの流動性は、ペーストの流動性により決定されることから、モルタルの流動特性を知るにはペーストフロー面積比 (Γ_p) の推定式をあらかじめ知る必要がある。よって、まずペーストの流動性の検討を行った。

3. 1 ペーストの流動性

図-1 に $V_{slag}/V_b=15, 30\%$ の時の水粉体容積比 (V_w/V_b) と Γ_p との関係を示す。 Γ_p を数式化するため、 V_w/V_b と Γ_p の関係を比例近似すると、両者はその傾きを単位フロー水比 (α_p)、切片を拘束水比 (β_p) として (式-1) で表される。

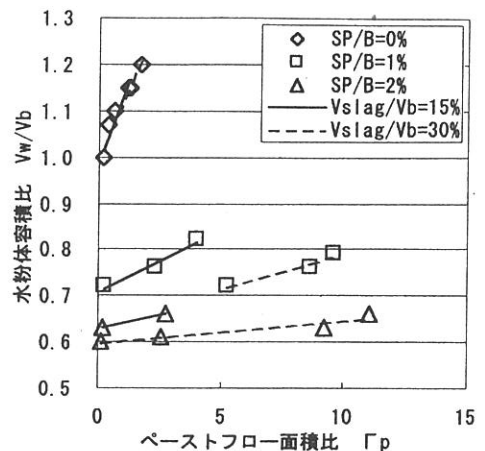
また、図-1 の各直線は SP/B の相違によるものであるから、 α_p , β_p と SP/B との関係について検討する。

拘束水比 (β_p) と SP/B との関係は、係数 a, b, c を用いて近似式 (式-2) で表される。また、係数 a, b, c は V_{slag}/V_b に依存する。よって、係数 a, b, c と V_{slag}/V_b との関係を求めると、両者の関係は近似式 (式-3) で表される。

単位フロー水比 (α_p) も拘束水比と同様の方法によって (式-4), (式-5) で近似される。

以上より、(式-2~5) を (式-1) に代入し Γ_p の推定式として (式-6) が得られた。ただし、 V_{slag}/V_b と SP/B の値は百分率である。

$$\Gamma_p = \frac{(V_w/V_b) - \{0.003(V_{slag}/V_b) + 0.070\}(SP/B)^2 + \{-0.009(V_{slag}/V_b) - 0.268\}(SP/B) + \{0.002(V_{slag}/V_b) + 0.953\}}{\{-0.001(V_{slag}/V_b) + 0.074\}(SP/B)^2 + \{0.003(V_{slag}/V_b) - 0.254\}(SP/B) + \{-0.003(V_{slag}/V_b) + 0.224\}} \quad (\text{式-6})$$

図-1 Γ_p と V_w/V_b との関係

$$\Gamma_p = \frac{(V_w/V_b) - \beta_p}{\alpha_p} \quad (\text{式-1})$$

$$\beta_p = a(SP/B)^2 + b(SP/B) + c \quad (\text{式-2})$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0.003(V_{slag}/V_b) + 0.070 \\ b &= -0.009(V_{slag}/V_b) - 0.268 \\ c &= 0.002(V_{slag}/V_b) + 0.953 \end{aligned} \right\} \quad (\text{式-3})$$

$$\alpha_p = d(SP/B)^2 + e(SP/B) + f \quad (\text{式-4})$$

$$\left. \begin{aligned} d &= -0.001(V_{slag}/V_b) + 0.074 \\ e &= 0.003(V_{slag}/V_b) - 0.254 \\ f &= -0.003(V_{slag}/V_b) + 0.224 \end{aligned} \right\} \quad (\text{式-5})$$

3. 2 モルタルの流動性

図-2 に、 $V_{slag}/V_b=15\%$ の時の Γ_p とモルタルフロー面積比(Γ_m)との関係を示す。 Γ_m を数式化するため、 Γ_m と Γ_p との関係を切片(C)、傾き(I)を用いて(式-7)で近似する。ただし、Cはペースト細骨材容積比(V_p/V_s)による影響が小さかったため、SP/Bと V_{slag}/V_b に依存することとした。

よって、切片(C)の算出式は、3. 1の拘束水比と同様の方法で(式-8)、(式-9)となる。

傾き(I)は、 V_p/V_s に依存する。よって、Iと V_p/V_s との関係を検討すると、両者は切片 C_1 と傾き I_1 を用いて(式-10)で表される。 C_1 はSP/Bに依存する。よって、 C_1 とSP/Bはd、eを用いて(式-11)で近似される。また、d、eは V_{slag}/V_b に依存することから、d、eと V_{slag}/V_b との関係は(式-12)で近似される。 I_1 も切片 C_1 と同様の方法によって(式-13)、(式-14)で近似される。

$$\Gamma_m = C + I \Gamma_p \quad (式-7)$$

$$C = a(SP/B)^2 + b(SP/B) + c \quad (式-8)$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0.043(V_{slag}/V_b) + 1.723 \\ b &= -0.108(V_{slag}/V_b) - 2.741 \\ c &= 0.023(V_{slag}/V_b) - 1.466 \end{aligned} \right\} \quad (式-9)$$

$$I = C_1 + I_1 \times (V_p/V_s) \quad (式-10)$$

$$C_1 = d(SP/B) + e \quad (式-11)$$

$$\left. \begin{aligned} d &= -0.009(V_{slag}/V_b) + 0.475 \\ e &= 0.046(V_{slag}/V_b) - 1.801 \end{aligned} \right\} \quad (式-12)$$

$$I_1 = f(SP/B) + g \quad (式-13)$$

$$\left. \begin{aligned} f &= 0.018(V_{slag}/V_b) - 0.834 \\ g &= -0.072(V_{slag}/V_b) + 3.061 \end{aligned} \right\} \quad (式-14)$$

以上より、(式-8~14)を(式-7)に代入し、 Γ_m の推定式として(式-15)が得られた。ただし、 V_{slag}/V_b とSP/Bの値は百分率である。

$$\Gamma_m = \left[\{0.043(V_{slag}/V_b) + 1.723\}(SP/B)^2 + \{-0.108(V_{slag}/V_b) - 2.741\}(SP/B) + \{0.023(V_{slag}/V_b) - 1.466\} \right] + \left[\{(-0.009(V_{slag}/V_b) + 0.475)(SP/B) + (0.046(V_{slag}/V_b) - 1.801)\} + \{(0.018(V_{slag}/V_b) - 0.834)(SP/B) + (-0.072(V_{slag}/V_b) + 3.061)\}(V_p/V_s) \right] \Gamma_p \quad (式-15)$$

(式-15)より算出したモルタルフロー面積比の推定値と実験値との比較を図-3に示す。破線は推定値の精度が $\pm 25\%$ の範囲を示している。黒塗りのマーカーは一般的に使用される減水剤添加率SP/B=1%の場合であるが、精度が $\pm 25\%$ 程度の範囲であれば(式-15)で高炉スラグ微粉末混入モルタルの Γ_m は推定可能であることが示された。

4. まとめ

- ①高炉スラグ微粉末を混入した場合、流動性は大きくなる。
- ②ペーストフロー面積比は水分粉体容積比、スラグ置換率、減水剤添加率の関数として推定できる。
- ③モルタルフロー面積比はペースト細骨材容積比、スラグ置換率、減水剤添加率の関数として推定できる。
- ④モルタルフロー面積比は精度が $\pm 25\%$ の範囲であれば推定可能である。

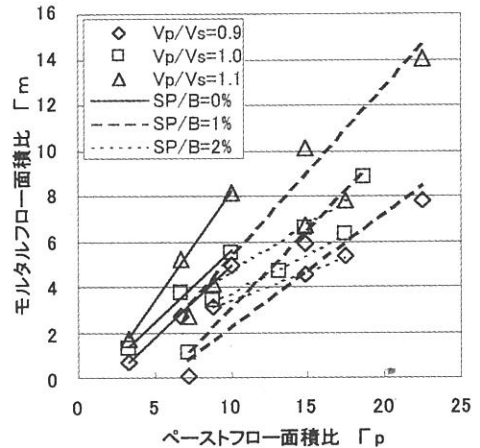


図-2 Γ_p と Γ_m との関係

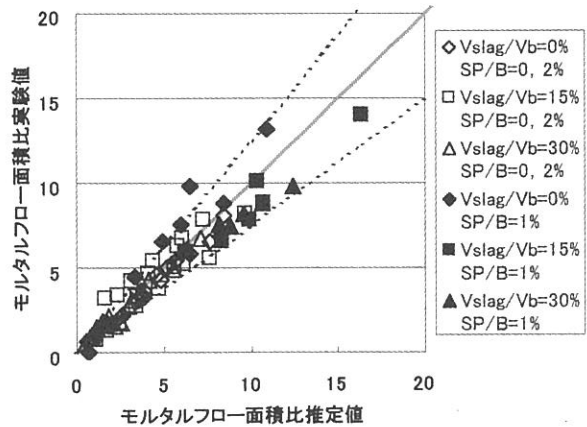


図-3 モルタルフロー面積比の推定値と実験値との比較