

## 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの養生方法及びスラグ置換率が強度特性に及ぼす影響

(株)開発設計コンサルタント 正会員 ○菊田 尋子  
 (株)復建エンジニアリング 正会員 小俣 貴洋  
 法政大学大学院 学生会員 今野 浩孝  
 法政大学 フェロー会員 満木 泰郎

## 1. 研究目的

地球温暖化対策の一つとしてあらゆる産業で CO<sub>2</sub> 排出量の削減が求められている。建設分野ではコンクリート材料として広く使用されているセメントの製造過程において膨大な量の CO<sub>2</sub> が排出されている。このような背景において、銑鉄を製造する際に大量に出される高炉スラグが注目されている。高炉スラグは潜在水硬性を有しており、高炉スラグを粉砕した高炉スラグ微粉末がコンクリート用材料として利用拡大されれば、セメント製造時のエネルギー消費量や CO<sub>2</sub> 発生量を大幅に削減することが可能となる。

一方、高炉スラグ微粉末をセメントの混合材またはコンクリート用混和材として使用した場合、その粉末度、セメントに対する置換率あるいは養生方法等によって、強度発現性の異なることが従来から言われている。

そこで、本研究では高炉スラグ微粉末のより一層の利用拡大を目指し、高炉スラグ微粉末を高添加した場合の適用性の可能性について、強度特性および発熱特性に着目した検討を行った。

## 2. 検討の方法

## 2.1 力学特性試験

圧縮強度は JIS A 1108 に準拠し、φ100×200mm の円柱供試体を用いて実施した。圧縮強度試験に併行して、コンプレッソメーターを用いてひずみを測定し、ヤング係数を求めた。

本試験では表-1 に示す要因と水準により、6 種類の配合条件によって試験を実施した。

表-1 要因と水準

| 要因                       | 水準         |
|--------------------------|------------|
| 水結合材比 (%)                | 50         |
| 粉末度 (cm <sup>2</sup> /g) | 4000, 6000 |
| 置換率 (%)                  | 50, 70, 80 |
| 養生方法                     | 標準養生       |

## 2.2 断熱温度上昇試験

本試験は断熱温度上昇試験装置を使用して行った。本装置は、試験体の温度に追従して試験体周辺の温度を同調させ、外気温の影響を受けない状態でのコンクリートの温度上昇量を測定するための装置である。本検討で用いた試験装置の試験容量は 5ℓ である。本試験は、圧縮強度試験と同配合のコンクリートを用いた。本検討では、試験結果を用いて断熱温度上昇特性の算定を行った。

なお、算定に用いた断熱温度上昇式は、以下に示す式とした。

$$T = K[1 - \exp\{-\alpha(t - t_0)^\beta\}] \quad (1)$$

ここで、 $K$  は終局断熱温度上昇量(°C)、 $\alpha$  は 温度上昇に関する定数、 $\beta$  は温度上昇に関する定数、 $t_0$  は時間遅れ(日)、 $t$  は材齢 (日)である。

## 3. 検討結果

## 3.1 圧縮強度試験

粉末度 4000cm<sup>2</sup>/g で置換率 50%とした場合および粉末度 6000cm<sup>2</sup>/g で置換率 50~80%とした場合について、各ケースの圧縮強度発現を比較した結果を図-1 に示す。図-1 から、粉末度 6000cm<sup>2</sup>/g を用いた各ケースとも、材齢 3 日以降の各材齢で粉末度 4000cm<sup>2</sup>/g、置換率 50%としたケースを上回る結果となった。したがって、粉末度 6000 cm<sup>2</sup>/g を用いた場合置換率 80%以下の置換率であれば、粉末度 4000cm<sup>2</sup>/g、置換率 50%とした場合と

キーワード 高炉スラグ、圧縮強度、断熱温度上昇特性、置換率、粉末度

連絡先 〒101-0021 東京都千代田区外神田 2-16-2 第 2 DIC ビル Tel 03-3255-6244

と同等以上の圧縮強度を得ることが可能であると考えられる。

### 3.2 断熱温度上昇試験

粉末度  $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 50%、粉末度  $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 50%～80%について、断熱温度上昇試験の結果を基に算定した断熱温度上昇式を図-2 に示す。図-2 から、粉末度  $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 50% のケースと粉末度  $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 50% のケースを比較した場合、断熱温度上昇量はほぼ同等であった。一方、粉末度  $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 70 および 80% に関しては、粉末度  $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 50% のケースに比べ、断熱温度上昇量は  $6^\circ\text{C}$ ～ $18^\circ\text{C}$  低い結果となった。

### 3.3 圧縮強度と積算温度の関係

断熱状態での積算温度（以下、断熱積算温度と称す）と圧縮強度との関係について、粉末度  $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 50% を基準とした場合の各ケースとの比（積算温度比および圧縮強度比）との関係を図-3 および図-4 に示す。図-3 から、材齢 3～14 日までの場合積算温度比が 1.0 未満で圧縮強度比が 1.0 を超える範囲にあるのは、粉末度  $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 70% および 80% のケースであった。また、材齢 28 日以降の場合には図-4 に示すように、積算温度比が 1.0 未満で圧縮強度比が 1.0 を超える範囲にあるのは、材齢 3～14 日までの場合と同様に粉末度  $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 70% および 80% のケースであった。

以上の結果から、粉末度  $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 50% の高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートと同等以上の圧縮強度を有し、発熱量が小さいのは、粉末度  $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 70% および 80% の高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートであった。

### 4. まとめ

本研究では、高炉スラグ微粉末の利用拡大を目指し、置換率 70% 以上の高置換率の適用性について検討を行った。その結果、粉末度  $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 70% および 80% の高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートが粉末度  $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、置換率 50% と同等以上の強度を有し、かつ発熱量が小さい結果となったことから、これらを用いれば市販の高炉セメント B 種に比べて発熱量を抑制しながら若材齢時での強度を確保することが可能となると思われる。今後は、低温時における高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの強度特性についても検討を行っていくつもりである。

### 参考文献

- 1) 野畑健志, 植木康知: 高炉セメントおよび高炉スラグ微粉末の基本特性とその有効利用, 新日鉄技報, 第 376 号, pp.41-44, 2002
- 2) 土木学会, 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針, p.28, 1997
- 3) 伊代田岳史, 兼安真司, 檀康弘: 高炉スラグ微粉末混入セメントの発熱特性に及ぼす各種要因の把握, コンクリート工学年次論文集 28(1), pp.23-28, 2006

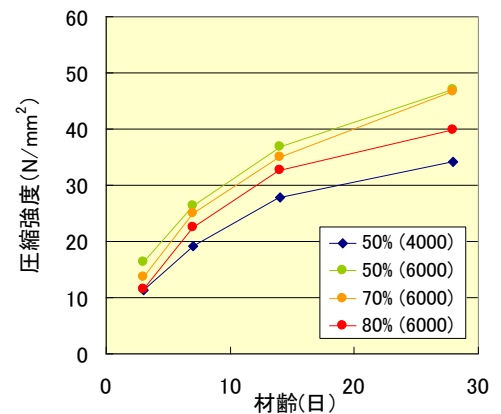


図-1 各ケースの圧縮強度発現

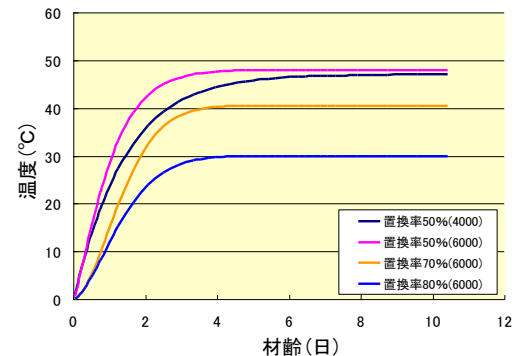


図-2 各ケースの断熱温度上昇

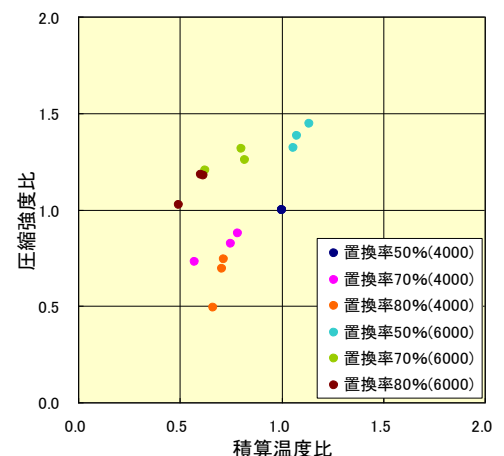


図-3 積算温度比と圧縮強度比の関係  
(材齢 3 日～14 日)

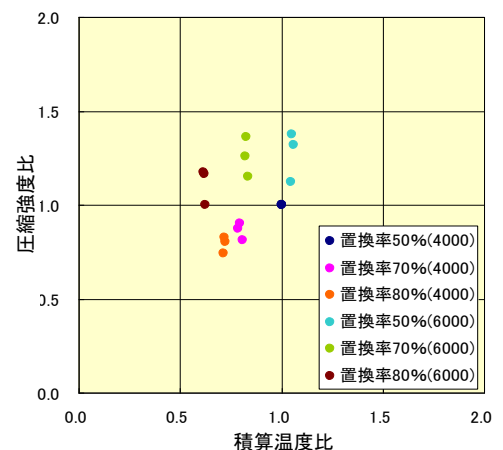


図-4 積算温度比と圧縮強度比の関係  
(材齢 28 日～56 日)