

# コンクリートの強度発現及び中性化に関する高炉スラグ微粉末の影響の定量的評価

○前田建設工業(株) 正会員 滑川和臣  
 東京都立大学大学院 フェロー 國府勝郎  
 東京都立大学大学院 正会員 上野 敦  
 新日鐵高炉セメント(株) 兼安真司

## 1. はじめに

現在、高炉スラグ微粉末の品質は、モルタル試験結果である活性度指数やフロー値比を主体に、JIS により明確に規定されているが、実際のコンクリートにおいて高炉スラグ微粉末の品質性能がどのように発揮されるかは不明である。そこで本研究は、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの強度発現と中性化現象において、高炉スラグ微粉末の結合材としての性能を定量的に評価するとともに、強度発現と中性化速度に対する性能が異なることを明らかにした。

## 2. 実験概要

### (1) 使用材料、配合および養生条件

使用材料を表-1 に示す。コンクリートの配合は水結合材比を 40%、50%、65% の 3 水準に設定し、高炉スラグ微粉末は 50% の質量置換とした。コンクリートの配合を表-2 に示す。作製したコンクリート供試体は 20 の水中で 5 日、10 日、28 日間養生を行った。

### (2) 圧縮強度試験

所定の養生終了後に JIS A 1108 に準じて圧縮強度を測定した。

### (3) 促進中性化試験

所定の湿潤養生後ただちに促進中性化試験槽(温度 40℃、相対湿度 50%、CO<sub>2</sub> 濃度 7%)に暴露し、原則として暴露期間 1、4、9、13 週で中性化深さを測定した。

## 3. 実験結果および考察

### (1) 強度発現に関する高炉スラグ微粉末の性能

任意材齢における普通ポルトランドセメントのみを用いたコンクリート(以下、普通コンクリート)および高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの圧縮強度と水結合材比の関係、および圧縮強度と積算温度との関係は、一般に一次式で定式化することができる。この関係式に用いる結合材水比  $(C+F)/W$  (ここに、C: 単位セメント量、F: 単位高炉スラグ微粉末量、W: 単位水量)に、強度発現に関する等値換算係数  $k_c$  を導入

して  $(C+k_cF)/W$  として表示することにした。そして、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの圧縮強度と等しい普通コンクリートのセメント水比  $C/W$  を等価セメント水比  $(C/W)_{eq}$  とする。そして  $(C/W)_{eq} = (C+k_cF)/W$  とおくことにより  $k_c$  を求め、高炉スラグ微粉末の性能を、セメントを 1 としたときの比率  $k_c$  で表した。高炉スラグ微粉末 4000 および 6000 の材齢 5 日、10 日、28 日における等値換算係数  $k_c$  を図-1 に示す。

キーワード：高炉スラグ微粉末、圧縮強度、中性化、等値換算係数

連絡先：〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1、Tel 0426-77-1111、Fax 0426-77-2772

表-1 使用材料

| 材料   | 種類           | 略号     | 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------|--------------|--------|-------------------------|
| セメント | 普通ポルトランドセメント | C      | 3.16                    |
| 混和材  | 高炉スラグ微粉末4000 | SG4000 | 2.91                    |
|      | 高炉スラグ微粉末6000 | SG6000 | 2.91                    |
| 細骨材  | 富津産山砂        | S1     | 2.58                    |
|      | 奥多摩産砂砂       | S2     | 2.64                    |
| 粗骨材  | 奥多摩産砕石2005   | G      | 2.65                    |
| 混和材  | 減水剤、空気量調整剤   |        |                         |

表-2 コンクリートの配合

| 種類     | W/B | s/a  | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     |     |  |
|--------|-----|------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|        |     |      | W                        | C   | SG  | S 1 | S 2 | G   |  |
| 無混和    | 40  | 42.2 | 172                      | 430 | 0   | 144 | 575 | 990 |  |
|        | 50  | 44.2 | 172                      | 344 | 0   | 157 | 627 | 996 |  |
|        | 65  | 47.2 | 172                      | 265 | 0   | 174 | 695 | 978 |  |
| SG4000 | 40  | 42.2 | 168                      | 211 | 211 | 144 | 576 | 992 |  |
|        | 50  | 44.2 | 168                      | 168 | 168 | 157 | 629 | 999 |  |
|        | 65  | 47.2 | 168                      | 130 | 130 | 174 | 696 | 980 |  |
| SG6000 | 40  | 42.2 | 171                      | 214 | 214 | 143 | 572 | 984 |  |
|        | 50  | 44.2 | 171                      | 171 | 171 | 156 | 624 | 991 |  |
|        | 65  | 47.2 | 171                      | 132 | 132 | 173 | 692 | 974 |  |

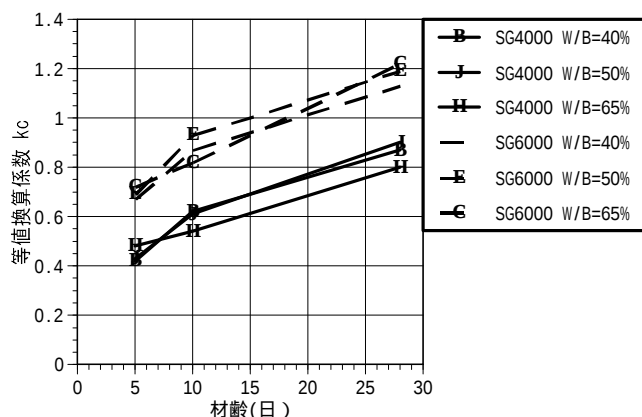


図-1 等値換算係数  $k_c$  の材齢による変化

図より、高炉スラグ微粉末 4000 および 6000 の等値換算係数  $k_c$  は、材齢の進行とともに漸増する傾向にある。普通セメントの性能を 100% とすると、材齢 28 日で高炉スラグ微粉末 4000 は 85%、高炉スラグ微粉末 6000 は 118% の性能を有することが示された。これは、これまでの定性的な報告とも一致している。

## (2) 中性化速度に関する高炉スラグ微粉末の性能

一般に、中性化深さ  $x$  (mm) と中性化期間 (week) の平方根の間には比例関係があり  $x = b\sqrt{t}$  (ここに、 $b$  : 中性化速度係数) で表せる。中性化速度係数と水結合材比の間には比例関係が成立することが既往の研究で明らかにされている<sup>1)</sup>ので、この関係を適用し、湿潤養生を 5 日、10 日、28 日間行った高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートおよび普通コンクリートの中性化速度係数と水結合材比の関係を定式化した。そして、中性化速度に関する等値換算係数  $k_n$  を導入し、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの水結合材比を  $W/(C+k_nF)$  として、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの中性化速度係数と等しい普通コンクリートの水セメント比を、等価水セメント比  $(W/C)_{eq}$  として算出する。そして、 $(W/C)_{eq}=W/(C+k_nF)$  の関係から  $k_n$  を求めた。

高炉スラグ微粉末 4000 および 6000 の初期養生日数 5 日、10 日、28 日における等値換算係数  $k_n$  を図-2 に示す。図より、高炉スラグ微粉末 4000 および 6000 の等値換算係数  $k_n$  は初期の養生日数が長いほど若干増加する傾向にあり、初期養生日数 28 日で高炉スラグ微粉末 4000 は 70%、高炉スラグ微粉末 6000 は 86% の性能を有することが示された。

一般に圧縮強度の高いコンクリートは、内部組織が緻密であるため耐久性も良いと考えられており、混和材の強度発現と耐久性に対する効果は同等であるとみなされている。そこで、中性化試験開始時のコンクリートの強度発現に関する等値換算係数  $k_c$  と中性化速度に関する等値換算係数  $k_n$  を比較し、養生日数による変化を検討した。その結果を図-3 に示す。これより、両等値換算係数は養生日数が 5 日程度では同等であるが、養生日数が長いほど強度発現に関する性能が、中性化速度に関する性能を上回ることが示唆された。

## 結論

- (1) 高炉スラグ微粉末 4000 は、普通セメントの強度発現に関する性能を 100% とすると、材齢 28 日で 85% であり、35 日程度でセメントと同等になることが予想される。また、中性化速度に関しては初期養生日数 28 日で 70% の性能を有することが示された。
- (2) 高炉スラグ微粉末 6000 の強度発現に関する性能は、材齢 17 日程度でセメントと同等であり、28 日では 118% であることが示された。また、中性化速度に関しては、初期養生日数 28 日で 86% の性能を有することが示された。
- (3) 一般に、圧縮強度を指標として耐久性に関する評価が行われているが、本研究においては高炉スラグ微粉末の強度発現と中性化速度に関する性能は同等でないことが示された。従って、強度発現性状を基にした中性化速度の判断には注意が必要である。

**参考文献** 1)和泉意登志、喜多達夫、前田照信：コンクリート構造物の耐久性シリーズ「中性化」、p26

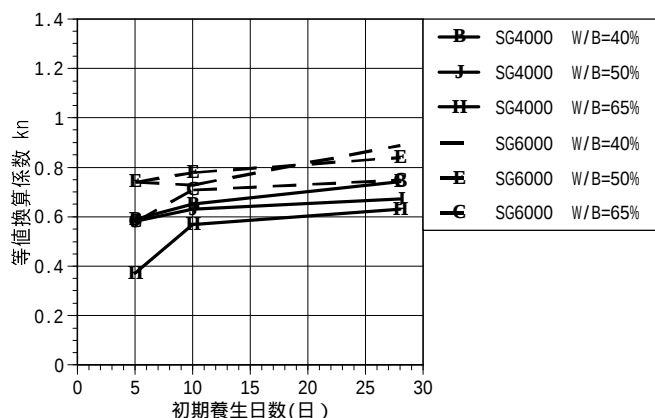


図-2 等値換算係数  $k_n$  の初期養生日数による変化

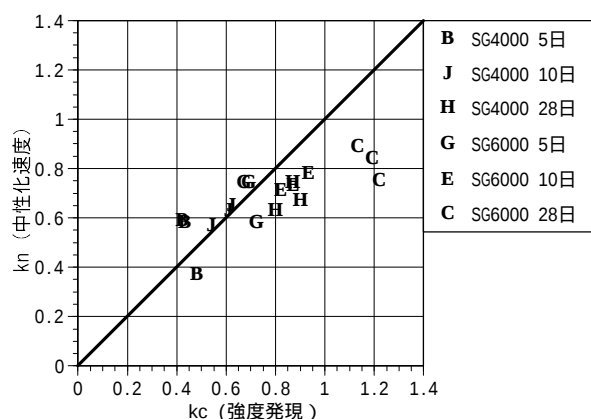


図-3 等値換算係数の比較