

V-402 高炉セメントの低熱化に関する一考察

住友セメント(株) 正会員 ○長曾我部 徹  
 住友セメント(株) 正会員 堀 口 浩 司  
 住友セメント(株) 大塚 昭 男  
 住友セメント(株) 正会員 鈴 木 康 範

1. はじめに

コンクリート構造物における温度ひびわれ対策として、近年、発熱量がより少なく、しかも強度発現性状に優れたマスコンクリート用の超低発熱セメントの開発が、混合系セメントを中心に行われてきた。また一方では、クリンカー鉱物のうち水和発熱量の大きな  $C_3S$  や  $C_2S$  の含有量を低減した、いわゆる高ビーライト系セメントによる低発熱化の研究も行われており、マスコンクリート向けセメントとしての期待は大きい。

本報告は、高ビーライト系セメントによる低発熱化の一環として高炉セメントの低発熱化を考え、高炉スラグ微粉末と混合した高炉セメントを試製し、この試製高炉セメント(以下、“低発熱型高炉”と称する)と従来の高炉セメントB種(以下、“高炉”と称する)のコンクリート諸性状を比較したものである。

2. 実験の概要

表1 使用セメントの特性

| (高炉)セメントの種類 | 比重   | 粉末度<br>( $cm^2/g$ ) | 化 学 成 分 |                  |                                |                                |      |     | 物 理 試 験 結 果                |     |     |            |      |
|-------------|------|---------------------|---------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|----------------------------|-----|-----|------------|------|
|             |      |                     | igloss  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO | 圧縮強さ(kgf/cm <sup>2</sup> ) |     |     | 水和熱(cal/g) |      |
|             |      |                     |         |                  |                                |                                |      |     | 3日                         | 7日  | 28日 | 7日         | 28日  |
| 高ビーライト      | 3.21 | 3750                | 0.7     | 24.1             | 3.5                            | 4.3                            | 61.3 | 0.6 | 70                         | 143 | 342 | 52.2       | 65.3 |
| 低発熱         | 3.05 | 4660                | 0.5     | 29.5             | 10.3                           | 2.4                            | 50.7 | 3.5 | 66                         | 138 | 355 | 38.9       | 50.2 |
| B種          | 3.02 | 3730                | 1.0     | 25.6             | 9.1                            | 1.8                            | 55.4 | 3.7 | 133                        | 210 | 436 | 69.3       | 85.2 |

低熱型高炉セメントの特性を把握するために、コンクリートのフレッシュ性状、硬化性状〔圧縮強度(水セメント比との関係)、引張強度〕、発熱性状〔断熱温度上昇(単位セメント量との関係)〕についての検討を行った。実験はJISに

表2 コンクリートの配合

| 高炉セメントの種類 | 粗骨材の最大寸法(mm) | スラブの範囲(cm) | 空気量の範囲(%) | 水セメント比(%) | 細骨材率(%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |      |       |        |
|-----------|--------------|------------|-----------|-----------|---------|----------------------------|------|-----|------|-------|--------|
|           |              |            |           |           |         | 水                          | セメント | 細骨材 | 粗骨材  | 混和剤   |        |
|           |              |            |           |           |         |                            |      |     |      | AE減水剤 | 空気量調整剤 |
| 低発熱       | 20           | 10±2.5     | 4±1       | 50.0      | 43.5    | 150                        | 300  | 823 | 1058 | 0.19  | 0.014  |
| B種        | 20           | 10±2.5     | 4±1       | 50.0      | 43.5    | 150                        | 300  | 822 | 1056 | 0.19  | 0.090  |

準じて行ったが、断熱温度上昇試験については当社の方法に準じ、打込後10日まで測定を行った。実験に際して試製した低発熱型高炉のベースには、表1に示す高ビーライトセメント( $C_3S=25\%$ ,  $C_2S=50\%$ )を用いた。これは、従来の中庸熱セメントに比べ、水和熱の小さいビーライトの含有割合が高いものである。この低発熱型高炉は、特に初期材令での強度発現性が小さいことから、これを補うために、混合する高炉

表3 実験結果

| 高炉セメントの種類 | 水セメント比(%) | 硬化コンクリートの性状                                 |              |             |             |             | 断熱温度上昇量(°C) | 単位強度あたりの発熱量( $t/kgf/cm^2$ ) |
|-----------|-----------|---|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|
|           |           | 上段: 圧縮強度<br>下段: 引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |              |             |             |             |             |                             |
|           |           | 3日  | 7日           | 28日         | 56日         | 91日         |             |                             |
| 低発熱       | 44.1      | 73.2<br>7.65                                | 134<br>11.7  | 301<br>26.0 | 387<br>33.2 | 445<br>38.9 | 35.8        | 0.0804                      |
|           | 50.0      | 53.4<br>5.14                                | 107<br>10.2  | 256<br>20.1 | 346<br>28.5 | 385<br>36.0 |             |                             |
|           | 57.7      | 45.3<br>4.42                                | 83.6<br>7.30 | 222<br>19.9 | 304<br>27.4 | 353<br>32.5 |             |                             |
| B種        | 50.0      | 135<br>13.8                                 | 183<br>18.0  | 323<br>26.0 | 445<br>26.4 | 476<br>37.9 | 47.7        | 0.1002                      |

スラグ微粉末には通常より粉末度の高いものを使用した。また、高炉スラグ微粉末の混合割合は、高炉セメントB種の規格内にある。試製した低発熱型高炉および高炉の試験結果を表1に示す。コンクリートの実験に使用した骨材は、粗骨材に赤穂福浦産の砕石(最大寸法20mm, 比重2.63, 粗粒率6.73)

表4 セメント水比と圧縮強度の関係

| $f_c = A + B \cdot (c/w)$ | 材 令    |        |        |        |        |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                           | 3日     | 7日     | 28日    | 56日    | 91日    |
| A                         | -47.19 | -80.56 | -36.21 | 34.81  | 49.76  |
| B                         | 52.25  | 94.38  | 147.94 | 155.43 | 172.28 |

を、細骨材に鹿島産の陸砂（比重2.66，粗粒率2.30）を使用した。混和剤には、標準型のAE減水剤および空気量調整剤を用いた。コンクリートは、単位セメント量を  $300\text{kg/m}^3$  とし、目標スランブを  $10\pm 2.5\text{cm}$ ，空気量を  $4\pm 1\%$  となるように試し練りを行って配合を定め、この配合を中心として単位セメント量を 260, 340  $\text{kg/m}^3$  と振り分けた。表2に各セメントによる代表的な配合を示す。

### 3. 実験結果および考察

実験の結果をまとめて表3に示す。図1は、単位水量とスランブの関係を示したものである。低発熱型高炉を用いた場合、同一スランブを得るのに要する単位水量は高炉を用いた場合よりも少なく、 $5\text{kg/m}^3$  程度の

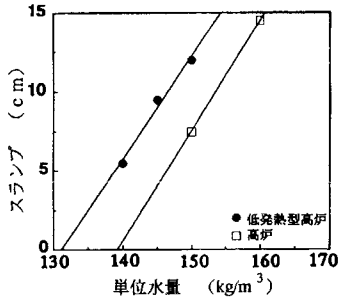


図1 単位水量とスランブの関係

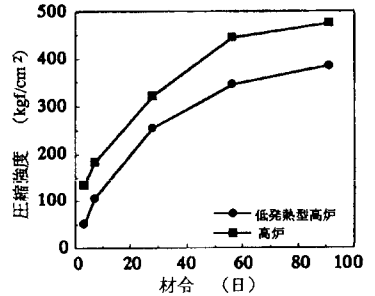


図2 材令と圧縮強度の関係

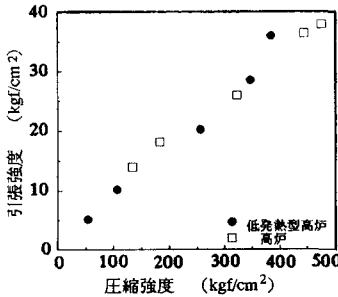


図3 圧縮強度と引張強度の関係

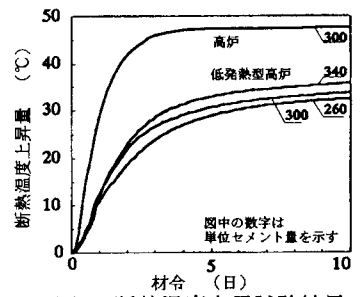


図4 断熱温度上昇試験結果

減水が可能である。図2は、水セメント比50%のコンクリートの材令と圧縮強度の関係を示したものである。同一配合の場合、低発熱型高炉を用いたコンクリートは全材令を通じて高炉の圧縮強度を下回ってはいるが、材令91日で比較すると、低発熱型高炉の圧縮強度は高炉の8割程度に達している。また、表4はセメント水比と圧縮強度の関係を各材令ごとに一次式で近似したものである。図3は、それぞれのセメントを用いたコンクリートの圧縮強度と引張強度の関係を表示したものである。この図からは、低発熱型高炉を用いた場合の両者の関係と、高炉を用いた場合のそれとはほぼ同じとなっており、低発熱型高炉を用いた場合でも、圧縮強度を高炉並にすれば引張強度も高炉並に得られることが分かる。図4は、練り上がり温度 $20^{\circ}\text{C}$ で行った断熱温度上昇試験の結果を示したものである。同一配合で比較した場合、低発熱型高炉は高炉に比べ温度上昇量を3割低減でき、また上昇速度も小さくなっている。本試験の結果より、低発熱型高炉 $10\text{kg/m}^3$  に対し温度上昇量が  $0.4^{\circ}\text{C}$  変化することが分かった。この結果と、先に求めたセメント水比と圧縮強度の関係より、同一強度において温度上昇量を比較しても、高炉を用いた場合より25%も温度上昇量を低減できる。また、材令91日の圧縮強度における単位圧縮強度あたりの断熱温度上昇量で比較しても、低発熱型高炉を用いる方が高炉を用いる場合よりも小さい。また、低発熱型高炉を用いたコンクリートの耐久性に関しては、一例として図5に乾燥収縮試験結果を示す。これによると、低発熱型高炉の方が高炉に比べ乾燥収縮量は若干大きくなっている。

### 4. まとめ

高ビーライト系セメントをベースとした低発熱型高炉セメントを用いたコンクリートは、従来の高炉セメントB種に比べ断熱温度上昇量を約3割低減することができ、なおかつ単位圧縮強度あたりの断熱温度上昇量も低い。また、同一配合における圧縮強度は高炉セメントの約8割であるが、圧縮強度と引張強度の関係は高炉セメント程度の特性を有している。以上を勘案すると、低発熱型高炉セメントを用いることは、マスコンクリート構造物の温度ひびわれ対策として有効な手段である。

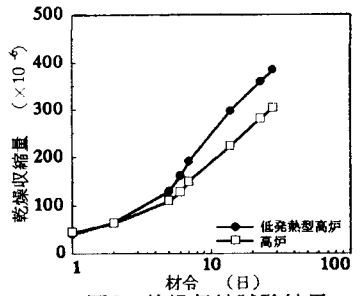


図5 乾燥収縮試験結果