

## V-511

## 低熱ポルトランドセメントコンクリートの強度発現に及ぼすボゾランの影響

太平洋セメント(株)佐倉研究所 正会員 田中敏嗣  
 広島大学工学部 正会員 田澤栄一

## 1. まえがき

低熱ポルトランドセメントは、 $C_2S$  量が多いため、発熱量が小さい、長期強度に優れる等の特徴がある。一方、フライアッシュ等のボゾランは、各種性能改善や省資源・省エネルギーの観点から混和材として古くから利用されている。近年の環境問題への対応を含め、これらの有効な組み合わせにより、コンクリートの性能の一層の向上が期待されるが、低熱ポルトランドセメントにボゾランを用いた場合の強度発現に関する研究はまだ少ない。そこで、これらの効率的利用法に関する基礎データを得ることを目的として、ボゾランとしてフライアッシュおよびシリカフュームを取り上げ、低熱ポルトランドセメントに置換した場合の強度発現に及ぼす影響を検討した。

## 2. 実験概要

## 2.1. 使用材料

セメントは低熱ポルトランドセメント(LC, 比重 3.22)および普通ポルトランドセメント(NC, 比重 3.15)を用いた。また、ボゾランとしては、フライアッシュ(FA, 粉末度  $3050 \text{ cm}^2/\text{g}$ , 比重 2.25)およびシリカフューム(Si, 比重 2.20)を用いた。

## 2.2. コンクリート配合

表1にコンクリートの配合を示す。水結合材比の範囲を25%から60%とし、フライアッシュおよびシリカフュームの置換率は、ポルトランドセメントの内割で、それぞれ30%および10%とした。

## 2.3. 試験方法

JIS A 1108に従い圧縮強度を、材齢3, 7, 28および91日で測定した。また、水セメント比30%のセメントペーストの水酸化カルシウム量を熱分析により測定した。

## 3. 結果および考察

図1に水セメント比と圧縮強度比(普通ポルトランドセメントに対する低熱ポルトランドセメントを用いた場合の圧縮強度の比)の関係を示す。これより、低熱ポルトランドセメントを用いた場合の強度は、水セメント比が大きい場合、若材齢では普通ポルトランドセメントの場合の40%以下の強度であるが、水セメント比が小さい場合には、若材齢時においても圧縮強度比が大きくなり、初期強度発現性が大きく改善される傾向が認められる。この理由

表1 コンクリートの配合と強度試験結果

| W/B (%) | セメント | C ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) | FA置換率 (%) | Si置換率 (%) | 圧縮強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) |      |      |      |
|---------|------|------------------------------|-----------|-----------|---------------------------------|------|------|------|
|         |      |                              |           |           | 3日                              | 7日   | 28日  | 91日  |
| 25      | LC   | 666                          | 0         | 0         | —                               | 65.8 | 106  | —    |
|         |      | 666                          | 0         | 10        | 38.3                            | 64.7 | 117  | —    |
| 27.5    | LC   | 600                          | 0         | 0         | 40.8                            | 60.1 | 95.9 | 111  |
|         |      | 600                          | 30        | 0         | 22.4                            | 33.8 | 78.0 | 106  |
|         | NC   | 600                          | 0         | 0         | 76.9                            | 89.0 | 98.8 | 104  |
|         |      | 600                          | 0         | 10        | 27.9                            | 44.8 | 72.8 | 91.2 |
| 30      | LC   | 600                          | 0         | 0         | 27.9                            | 44.8 | 72.8 | 91.2 |
|         |      | 600                          | 0         | 10        | 25.8                            | 41.8 | 74.4 | 89.0 |
|         | NC   | 600                          | 0         | 0         | 63.0                            | 68.0 | 81.4 | 87.3 |
|         |      | 600                          | 0         | 10        | 21.1                            | 35.0 | 64.7 | 82.8 |
| 35      | LC   | 500                          | 0         | 0         | 18.7                            | 31.1 | 58.1 | 72.6 |
|         |      | 500                          | 0         | 10        | 14.7                            | 24.6 | 47.5 | 64.3 |
| 40      | LC   | 400                          | 0         | 0         | 10.9                            | 17.8 | 40.5 | 54.2 |
|         |      | 400                          | 0         | 10        | 16.9                            | 28.6 | 53.3 | 73.0 |
| 45      | LC   | 400                          | 0         | 0         | 39.2                            | 47.7 | 57.9 | 64.5 |
|         |      | 400                          | 0         | 10        | 4.9                             | 9.5  | 32.6 | 46.1 |
| 60      | LC   | 300                          | 0         | 0         | 2.5                             | 4.6  | 18.3 | 37.6 |
|         |      | 300                          | 30        | 0         | 18.0                            | 28.1 | 37.1 | 41.0 |

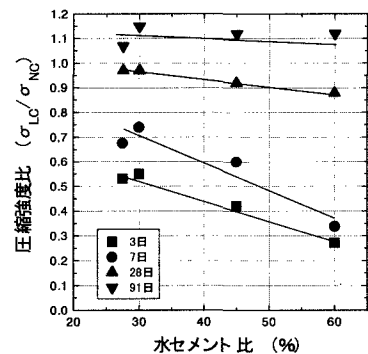


図1 水セメント比と圧縮強度比

キーワード：低熱ポルトランドセメント、フライアッシュ、シリカフューム、水セメント比、圧縮強度  
 連絡先：〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 電話 043-498-3885 FAX 043-498-3849

は次のように推定される。一般に強度発現には、水和物が空隙を充填するプロセスが深く関与している。低熱ポルトランドセメントは、 $C_2S$ の含有量が多く水和反応が緩やかに生じるが、水セメント比が小さい場合はセメント粒子間の空隙が少ないので、少ない反応量で空隙が効率的に充填されるため、初期強度発現性が改善されると推察される。この他、水酸化カルシウムの生成が少なく遷移帯が形成されにくいことも関連すると考えられる。

図2は、低熱ポルトランドセメントにフライアッシュ30%置換した場合の水セメント比と圧縮強度比（無置換の場合に対する置換した場合の強度比）を示す。水セメント比60%の場合、フライアッシュを置換した場合は、材齢91日においても、無置換の場合より約20%強度が低い。しかし、水結合材比が27.5%の場合、長期材齢では、無置換の場合とほぼ同等の強度が得られている。

図3に、硬化ペースト（ポゾラン無置換）の単位量あたりの水酸化カルシウムの生成率を示す。低熱ポルトランドセメントの水酸化カルシウムの生成率は、普通ポルトランドセメントと比較して大幅に小さい。水酸化カルシウムの供給可能量が多いほどフライアッシュの反応率は高まるが、このように水酸化カルシウム生成率が小さい場合でも、水結合材比を小さくすることで、反応に必要な水酸化カルシウムは十分供給されることが予想される。また、水結合材比が小さい場合は、セメントやフライアッシュからの少量のイオンの溶出で、反応の場となる液相中のイオン濃度が高まり平衡状態が保たれ、水和物の生成が進むことも推察される。この点についてはさらに検討する必要がある。したがって、水セメント比が小さい条件では、フライアッシュの反応に必要な液相濃度が保たれることや水酸化カルシウムが十分に供給されるため反応が促進される結果、空隙が効率的に充填され、無置換の場合と同等な長期強度が得られると考えられる。

図4は、低熱ポルトランドセメントにシリカフュームを10%置換した場合の水セメント比と圧縮強度比の関係を示したものである。ポゾラン活性が高いシリカフュームの場合も、フライアッシュの場合と同様に、水結合材比が大きい場合は、強度の改善効果は小さいが、水結合材比が小さいほど、強度改善が認められる。

#### 4.まとめ

低熱ポルトランドセメントにフライアッシュおよびシリカフュームを置換する場合、水セメント比を小さくするほど、少ない反応でも反応に必要な液相濃度が保持されること等により水和物による空隙の効率的な充填が可能となるため、ポゾランが強度発現に対して有効に作用すると考えられる。

#### [参考文献]

- 1) 内川浩：混合セメントの水和および構造形式に及ぼす混合材の効果(その2)，セメント・コンクリート，No.484，pp.81-93，1987.6

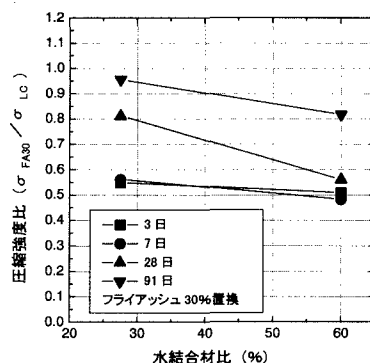


図2 水結合材比と圧縮強度比

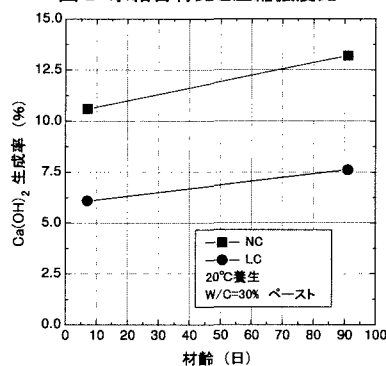


図3 水酸化カルシウム生成率

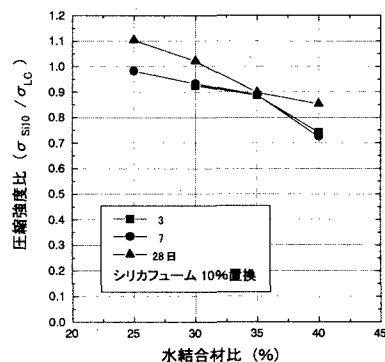


図4 水結合材比と圧縮強度比