

# セメントの鉱物組成に基づくコンクリートの自己収縮の予測

足利工業大学 学生員 ○川合 雅弘  
足利工業大学 正会員 宮澤 伸吾  
足利工業大学 正会員 黒井 登起雄

## 1. はじめに

5 種類のセメント（普通、早強、中庸熱、低熱、高炉 B 種）を用い、水セメント比を 22～50%としたコンクリートの自己収縮ひずみを材齢 1 年まで測定し、セメントの種類が自己収縮に及ぼす影響について調べるとともに、土木学会の自己収縮ひずみ予測式<sup>1)</sup>の適合性について検討した。その際、土木学会の自己収縮ひずみ予測式中のセメントの種類の影響を表す係数  $\gamma$  を各セメントの鉱物組成をもとに検討し、セメントの種類の影響を評価できる自己収縮ひずみ予測式の開発を目的とした。

## 2. 実験概要

コンクリートの自己収縮ひずみの測定は、100×100×400 mm 供試体を用い、温度 20±2℃において JCI 自己収縮研究委員会の提案した試験方法<sup>2)</sup>により行った。コンクリートの自己収縮試験は、上記の 5 種類のセメントを使用して、水セメント比を 22%、25%、30%、40%、50%とし合計 25 配合について、凝結の始発時間より材齢 1 年までの自己収縮ひずみを測定した。

## 3. 結果及び考察

図-1 は、水セメント比 25%における 5 種類のセメントの自己収縮ひずみ経時変化を示しており、セメントの違いにより自己収縮ひずみが著しく異なることが分かる。普通ポルトランドセメントに比べて早強ポルトランドセメントでは自己収縮ひずみが  $100 \times 10^{-6}$  程度大きくなった。中庸熱ポルトランドセメント、高炉セメント B 種を用いた場合は自己収縮ひずみが  $100 \times 10^{-6}$  程度小さくなった。低熱ポルトランドセメントを用いた場合は自己収縮ひずみが  $300 \times 10^{-6}$  程度小さくなった。自己収縮ひずみの経時変化は、いずれのセメントにおいても若材齢時に著しく増加し、長期材齢ではその増加が遅くなっていることが分かる。

図-2、3、4 は、水セメント比と材齢 1 年での自己収縮ひ

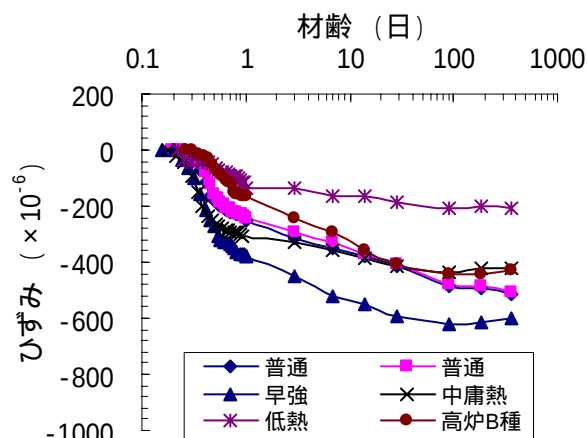


図-1 自己収縮ひずみの経時変化 (W/C=25%)

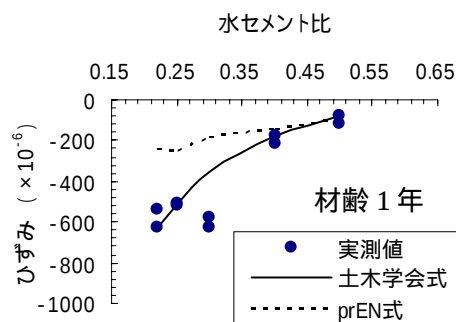


図-2 W/Cと自己収縮ひずみの関係 (普通)

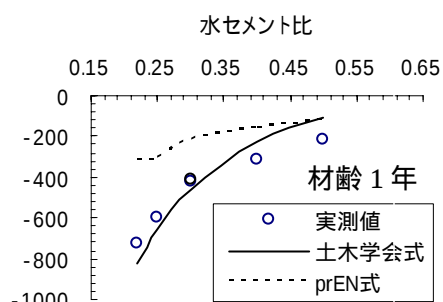


図-3 W/Cと自己収縮ひずみの関係 (早強)

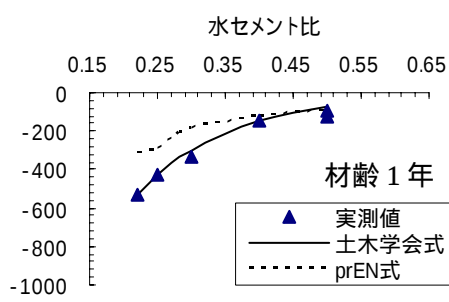


図-4 W/Cと自己収縮ひずみの関係 (中庸熱)

キーワード：自己収縮、予測式、高強度コンクリート、セメントの種類、セメントの鉱物組成

連絡先：〒326-8558 栃木県足利市大前町 268-1 足利工業大学 TEL0284-62-0605 FAX0284-64-1061

ずみの実測値と予測値を比較したものであり、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメントを使用した場合のものである。予測値は土木学会式<sup>1)</sup>および Eurocode prEN 式<sup>3)</sup> (以下 prEN 式)より算出した値である。図中の土木学会の予測値は、式(1)<sup>4)</sup>より各セメントの鉱物組成(表-1)に基づいてセメントペーストの自己収縮ひずみの終局値を算出し、普通ポルトランドセメントの自己収縮ひずみに対する $\gamma$ の値を設定し、式(2)よりコンクリートの自己収縮ひずみを算出した値である。本研究で設定したセメントの種類の影響を表す係数 $\gamma$ を表-2に示す。図-2、3、4に示すように土木学会の自己収縮ひずみ予測式における $\gamma$ を適切に設定することにより、普通ポルトランドセメント以外のセメントについても自己収縮ひずみを概ね予測可能であることが認められた。それに対して、prEN 式は、低水セメント比においては自己収縮ひずみを過小評価している傾向が認められた。

$$\begin{aligned} \varepsilon_p(t) = & A \cdot \alpha_{C_3S}(t) \cdot (C_3S\%) + B \cdot \alpha_{C_2S}(t) \cdot (C_2S\%) \\ & + C \cdot \alpha_{C_3A}(t) \cdot (C_3A\%) + D \cdot \alpha_{C_4AF}(t) \cdot (C_4AF\%) \\ & + E \cdot (Blaine) + F \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、

$\varepsilon_p(t)$ : 材齢  $t$  におけるセメントペーストの自己収縮ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )  
 $\alpha_{C_3S}(t)$ : 材齢  $t$  における  $C_3S$  の反応率 (%)  
 $(C_3S\%)$ :  $C_3S$  の含有量 (%)  
 $t$ : 材齢 (日)  
 $(Blaine)$ : ブレーン値 ( $cm^2/g$ )  
 $A, B, C, D, E, F$ : 定数、 $C_2S, C_3A, C_4AF$  についても同様。

$$\varepsilon_a(t) = \gamma \varepsilon_{ao}(W/C) \beta_a(t) \quad (2)$$

ここに、

$\varepsilon_a(t)$ : 材齢  $t$  日におけるコンクリートの自己収縮ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )

$\beta_a(t)$ : 自己収縮ひずみの進行速度を表す関数

$$\beta_a(t) = 1 - \exp \{ -a(t - t_0)^b \}$$

$\varepsilon_{ao}(W/C)$ : 自己収縮ひずみの終局値 ( $\times 10^{-6}$ )

$$\varepsilon_{ao}(W/C) = 3070 \exp(-7.2(W/C))$$

$\gamma$ : セメントの種類の影響を表す係数 (表-2 参照)

$W/C$ : 水セメント比、 $a, b$ : 定数 (表-3 参照)

$t$ : 材齢 (日)  $t_0$ : 凝結の始発時間 (日)

表-1 各セメントの鉱物組成

| セメントの種類 | 密度<br>( $g/cm^3$ ) | 粉末度<br>( $cm^2/g$ ) | $C_3S$<br>(%) | $C_2S$<br>(%) | $C_3A$<br>(%) | $C_4AF$<br>(%) |
|---------|--------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 普通      | 3.16               | 3280                | 54            | 21            | 8             | 8              |
| 早強      | 3.14               | 4420                | 63            | 11            | 8             | 8              |
| 中庸熱     | 3.21               | 3240                | 44            | 34            | 4             | 12             |
| 低熱      | 3.22               | 3350                | 30            | 52            | 3             | 9              |
| 高炉B種    | 3.04               | 3720                | -             | -             | -             | -              |

表-2 セメントペーストの自己収縮ひずみの  
予測値および式(2)の係数 $\gamma$

| セメントの種類 | W/C<br>(%) | セメントペーストの終局<br>自己収縮ひずみ             |      | 式(2)<br>の $\gamma$ |
|---------|------------|------------------------------------|------|--------------------|
|         |            | 式(1)による計算値<br>( $\times 10^{-6}$ ) | 比    |                    |
| 普通      | 23         | 1849                               | 1.00 | 1.00               |
|         | 30         | 1016                               | 1.00 |                    |
| 早強      | 23         | 2051                               | 1.11 | 1.20               |
|         | 30         | 1323                               | 1.30 |                    |
| 中庸熱     | 23         | 1496                               | 0.81 | 0.85               |
|         | 30         | 925                                | 0.91 |                    |
| 低熱      | 23         | 1010                               | 0.55 | 0.40               |
|         | 30         | 217                                | 0.21 |                    |
| 高炉B種    | -          | -                                  | -    | 0.85               |

表-3 係数  $a, b$

| W/C   | a    | b   |
|-------|------|-----|
| 0.2   | 1.2  | 0.4 |
| 0.23  | 1.5  | 0.4 |
| 0.3   | 0.6  | 0.5 |
| 0.4   | 0.1  | 0.7 |
| 0.5以上 | 0.03 | 0.8 |

#### 4. まとめ

本研究では、5種類のセメントを用いたコンクリートの自己収縮ひずみの測定を材齢1年まで行い、セメントの種類の影響を考慮できる自己収縮ひずみの予測式について検討を行った。その結果、土木学会の予測式において、セメントの種類の影響を表す係数の値をセメントの鉱物組成に基づいて設定することにより、各種セメントを用いたコンクリートの自己収縮ひずみを予測することが可能であることが明らかとなった。

(参考文献) 1) (社) 土木学会、2002年制定コンクリート標準示方書[構造性能照査編]、pp.32、2002

2) (社) 日本コンクリート工学協会、自己収縮研究委員会報告書、pp.51～pp.54、2002

3) European Standard prEN 1992-1

4) 田澤栄一、宮澤伸吾、三浦智哉、谷慎太郎：各種セメントを用いたセメントペーストの自己収縮、セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、pp.69～pp.74、1994