

水和物の種類がセメントペーストの自己収縮に及ぼす影響

広島大学 正会員 田澤 栄一 住友建設(株) 正会員 佐藤 剛
 広島大学 正会員 宮沢 伸吾 広島大学 学生員 〇三浦 智哉

1. まえがき

セメントペーストの絶対体積が水和の進行にともなって減少することは古くから認められていることである。この絶対体積の減少により生じるコンクリートのマクロな体積減少は Autogenous Shrinkage (自己収縮) と呼ばれている。これまで、自己収縮の大きさは長さ変化にして高々 100×10^{-6} 程度と考えられており設計やひび割れの解析において考慮されていなかった。しかし、シリカフェームを用い水結合材比が極めて小さいセメントペーストにおいて大きな自己収縮が生じることが明らかになった¹⁾。そこで、本研究では打ち込み直後からのセメントペーストの自己収縮を測定し、生成する水和物の影響について実験的に検討した。ついで、セメントの鉱物組成や各鉱物の水和率から自己収縮を予測する方法について検討を行った。

2. 実験概要

2-1. 使用材料及び配合

セメントは我国で市販されている10種類のセメントを使用し、混和材料としてナフタリン系高性能減水剤、高炉スラグ微粉末(ブレン値 $3380, 4060, 8360 \text{ cm}^2/\text{g}$)を使用した。配合は、(セメントの種類) (水結合材比%) - (高炉スラグ微粉末混入率%) - (高性能減水剤添加率%) と略記する。

2-2. 自己収縮ひずみの測定方法

セメントペーストを図1のような発泡スチロール製の型枠に打ち込み、水分の蒸発を防ぐためにビニールシートで覆いダイヤルゲージにて凝結時から材令24時間までの自己収縮ひずみを測定した。長期にわたる測定では、セメントペーストを鋼製型枠に打設後材令24時間で脱型し、直ちにアルミ泊粘着テープ(厚さ 0.05 mm) で全面シールし、両側面に張り付けたコンタクトチップによりコンタクトゲージを用いて測定した。

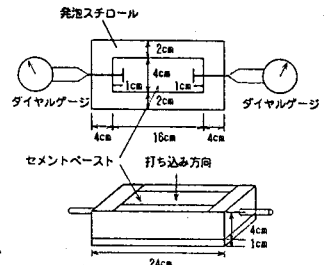
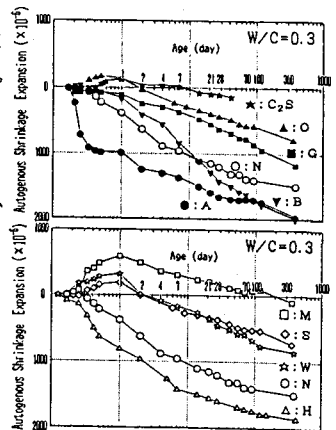


図1 自己収縮ひずみの測定方法

3. 実験結果及び考察

図2は、10種類のセメントの打ち込み直後からの自己収縮ひずみの測定結果である。アルミナセメントや早強セメントは凝結直後から極めて大きな自己収縮を生じているが、中熱セメントのように C_3A 量が少なく反応速度が遅いセメントの場合水和初期からの自己収縮が小さくなっている。また、 C_2S 量の多い C_2S 系セメントも水和初期からの自己収縮が小さくなっているのがわかる。また、いずれのセメントも材令1年を経過しても収縮が続いている。

図3は、高炉スラグ微粉末(ブレン値 $8360 \text{ cm}^2/\text{g}$) を混入したセメントペーストの打ち込み直後からの自己収縮ひずみの測定結果である。水結合材比が40%のものでは高炉スラグ微粉末の混入率が70%で最大になっており水結合材比が25%のものでは凝結直後から極めて大きな自己収縮を生じている。図4はそのほかのブレン値の高炉スラグ微粉末を混入したセメントペーストの自己収縮を併せて示したものである。高炉スラグ微粉末のブレン値が $3380 \text{ cm}^2/\text{g}$ の場合は混入率



N:普通セメント M:中熱セメント
 S:耐硫酸塩セメント H:早強セメント
 C_2S : C_2S 系セメント G:地熱セメント
 W:ホワイトセメント A:アルミナセメント
 O:オイルウェルセメント B:高炉セメント

図2 各種セメントの影響

の増加とともに自己収縮が若干減少しているのに対し、 $4060\text{ cm}^2/\text{g}$ 以上の場合、混入率が50~70%で自己収縮ひずみは最大になっているのがわかる。

次に、セメントペーストの自己収縮ひずみが各鉱物で生じる反応生成物の種類に依存し、各鉱物ごとに異なった大きさで生じる収縮ひずみを線形的に重ね合わせたものであると仮定すると、次式が成り立つ。

$$\begin{aligned}\epsilon_{as} = & a \cdot \alpha_{C_3S}(t) \cdot (\%C_3S) \\ & + b \cdot \alpha_{C_2S}(t) \cdot (\%C_2S) \\ & + c \cdot \alpha_{C_3A}(t) \cdot (\%C_3A) \\ & + d \cdot \alpha_{C_4AF}(t) \cdot (\%C_4AF) \quad \dots (1)\end{aligned}$$

ただし、 ϵ_{as} : 自己収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)

$\alpha_i(t)$: 各鉱物の反応率 (%)

(%i): 各鉱物の含有率 (%)

a, b, c, d: 定数

セメント別の自己収縮ひずみの実測結果、各セメントの鉱物組成及び各鉱物の反応率を用い重回帰により算出した係数の値を(1)式に代入すると、次式が得られた。

$$\begin{aligned}\epsilon_{as} = & -0.012 \alpha_{C_3S}(t) \cdot (\%C_3S) \\ & -0.070 \alpha_{C_2S}(t) \cdot (\%C_2S) \\ & +2.256 \alpha_{C_3A}(t) \cdot (\%C_3A) \\ & +0.859 \alpha_{C_4AF}(t) \cdot (\%C_4AF) \quad \dots (2)\end{aligned}$$

図5は、式(2)による予測値と実測値の比較を示したものである。いずれの材令においても両者はよく一致しており、本方法によりセメントペーストの自己収縮ひずみの予測を行えることを示している。また、定数a~dの数値の大きさはセメントの鉱物組成が自己収縮に与える定量的な影響と見なすことが出来るが、c, dが大きいということはアルミネート相の反応が自己収縮の機構に重要な影響を与えることを物語っている。一方、 C_2S , C_3S についての定数a, bはc, dに比べ絶対値が1~2桁小さく符号が逆である。すなわち C_2S , C_3S の反応は自己収縮に与える影響が少ないことを示唆している。

4. まとめ

- (1) ブレーン値の高い高炉スラグ微粉末を混入することによりセメントペーストの自己収縮は増大し、混入率が50~70%で最大となった。
- (2) ポルトランドセメントを用いたセメントペーストの自己収縮ひずみはセメントの鉱物組成及びそれらの反応率を基に、式(2)の実験式より予測することが出来る。
- (3) C_3A , C_4AF の多いセメント程自己収縮ひずみが大きくなる。

【参考文献】

- 1) Ei-ichi Tazawa and Shingo Miyazawa: AUTOGENOUS SHRINKAGE CAUSED BY SELF DESICCATION IN CEMENTITIOUS MATERIAL, 9th International Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, pp.712-718, 1992.11

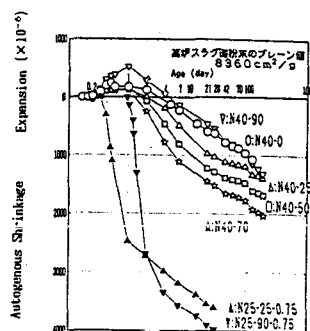


図3 高炉スラグ微粉末の影響

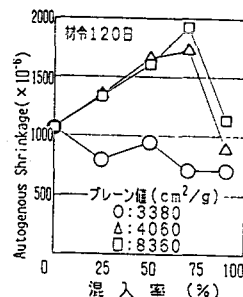
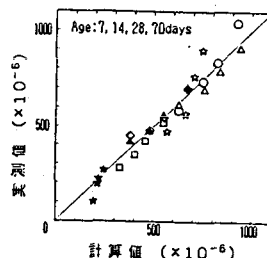


図4 高炉スラグ微粉末の影響



セメントの種類	鉱物組成 (%)				
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	C ₃ S ₀
○ N 普通セメント	49.7	23.9	8.8	9.4	3.4
△ H 早強セメント	48.4	31.2	2.0	12.2	2.98
□ M 中熱セメント	64.6	9.7	8.8	8.5	4.92
◇ S 高熱セメント	58.0	18.5	1.9	12.7	3.91
☆ W 超早強セメント	67.2	11.2	11.6	0.6	4.25
▲ O 4400kcalセメント	56.2	28.7	1.8	14.0	3.74
★ C ₃ S C ₂ S系セメント	27.8	58.3	2.4	7.6	3.74

図5 計算値と実測値の比較