

V-350

セメントペーストの自己収縮に及ぼすC₃Aの影響

広島大学 正会員 宮沢 伸吾 広島大学 大学院 三浦 智哉
 広島大学 正会員 田澤 榮一 極東工業(株) 谷 慎太郎

1. まえがき

セメントの水和反応により生じるセメントペーストの自己収縮ひずみは使用するセメントにより著しく異なることが明らかになっている。また、広範囲の化学組成を有するセメントを用いた、W/C=30%におけるセメントペーストの自己収縮ひずみの測定値を基に、鉱物組成及び各鉱物の水和率から自己収縮ひずみを予測し、自己収縮ひずみに及ぼす各鉱物組成の影響を明らかにしている。本研究では、水セメント比の異なるセメントペーストを用い、自己収縮ひずみに及ぼす鉱物組成の影響を再検討し、その結果からC₃A量が自己収縮ひずみに及ぼす影響としてX線回折によりC₃Aの水和生成物であるエトリンガイトの定量分析を行った。

2. 実験概要

2-1. 使用材料及び配合

セメントは表1に示す7種類のセメントを使用し、W/C=23%の場合ナフタリン系高性能減水剤をセメントに対し固形分濃度で0.6%添加した。配合は、(セメントの種類)(W/C)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齢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齢24時間で脱型し、直ちにアルミ箔粘着テープで全面シールし、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。

2-3. X線回折によるエトリンガイトの定量分析

各材齢に達したセメントペースト(N30, H30, L30, N40)に合成エトリンガイトを混入した試料をめのう乳鉢ですりつぶし測定した。X線装置に発生する電圧、電流の変動の影響を取り除くため不活性物質であるSiO₂を常に測定し補正を行った。エトリンガイトの定量は標準添加法で行った。

表1 セメントの鉱物組成

Type of cement		Mineral Compound (%)			
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
N	普通	51.5	22.9	8.9	8.8
M	中庸熱	42.9	35.9	3.2	11.9
H	早強	62.8	11.8	8.0	8.5
S	耐硫酸塩	61.0	16.9	1.7	14.6
W	ホワイト	61.1	16.5	12.1	0.6
O	油井	57.6	20.5	2.2	13.7
L	低発熱	22.9	58.8	2.5	9.4

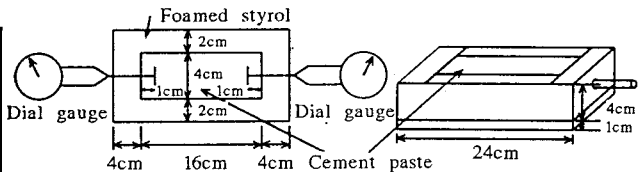


図1 自己収縮ひずみの測定方法

3. 実験結果及び考察

図2は7種類のセメントペーストを用いた打ち込み直後からの自己収縮ひずみの測定結果である。既に報告しているW/C=30%におけるセメントペーストの自己収縮ひずみ測定結果も併せて示してある。W/C=23%の場合どのセメントペーストにおいても凝結直後から大きな自己収縮ひずみを生じている。W/C=30%の場合、主に材齢1日以降から収縮が増加している。また、W/C=40%の場合早強セメントのように材

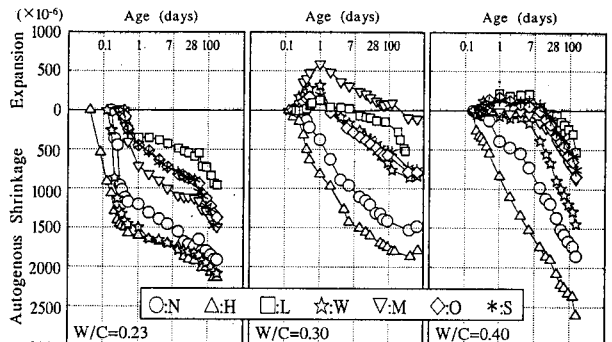


図2 水セメント比が自己収縮ひずみに及ぼす影響

齢の早い時期から収縮を生じているものもあるが、全体的に材齢7日以降から大きな収縮が生じているのがわかる。次に、セメントペーストの自己収縮ひずみが各鉱物の反応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はずである。

$$\varepsilon_{as} = a \cdot \alpha C_3S(t) \cdot (\%C_3S) + b \cdot \alpha C_2S(t) \cdot (\%C_2S) + c \cdot \alpha C_3A(t) \cdot (\%C_3A) + d \cdot \alpha C_4AF(t) \cdot (\%C_4AF) \cdots (1)$$

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

ここで、基点となる材齢はW/C=30%の場合材齢1日を基点としたが、先ほど示した水セメント比別の自己収縮ひずみの測定結果より収縮が大きく増加し始める材齢を考慮し、W/C=23%では材齢0日、W/C=40%では材齢7日を基点とし、(1)式の反応率もそれぞれの材齢を基点にして計算した。

(1)式に7種類のセメントを用いた自己収縮ひずみの実測値、表1に示した鉱物組成、表2に示した各鉱物の反応率を代入し、重回帰分析により算出した係数を表3に示す。図3は求められた係数を用いて算出した予測値と実測値の比較を示したものである。いずれのW/C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が行えることを示している。しかし、水セメント比により基点となる材齢が異なり、水セメント比が小さい程基点材齢を早くとり、水セメント比が大きいほど遅くに基点をとらなければならないことを考慮しなければならない。また、いかなる水セメント比においても C_3A 及び C_4AF の係数が大きくなっており、このことは C_3A 及び C_4AF の反応が自己収縮ひずみの大きさに大きく関わっていることを示している。次に、 C_3A 及び C_4AF の反応物質であるエトリンガイトのセメントペーストに対する含有率の経時変化を図4に示す。この図から、N30においては徐々にエトリンガイトが減少しているのに対し、L30では材齢28日を経過してもエトリンガイトは増加している。H30では材齢7日から14日にかけて急激にエトリンガイトが減少している。この結果と自己収縮ひずみの測定結果とを兼ね合わせて検討すると、自己収縮ひずみの大きいもののほどエトリンガイト量の減少が顕著であり、 C_3A 及び C_4AF の水和生成物であるエトリンガイト量が自己収縮機構に大きく影響していると思われる。

4. まとめ

- (1)水セメント比の小さなセメントペースト程早くから自己収縮が生じ、水セメント比の大きなセメントは材齢が経過してから自己収縮が生じる。
- (2)セメントの鉱物組成、各鉱物の水和率を変数とし、多変数回帰より求めた自己収縮の予測式は水セメント比23～40%の範囲でデータとほぼ一致した。ただし、回帰の際、水セメント比の増加と共に基点とする材齢を遅くする方が(W/C=23%, 0日、W/C=30%, 1日、W/C=40%, 7日)相関係数が高くなる。
- (3) C_3A の水和生成物であるエトリンガイト量の経時変化と自己収縮の大きさには相関性が認められる。

表2 各鉱物の反応率(%)

Age(day)	7	14	28	70
C_3S	76	82	87	90
C_2S	38	53	65	79
C_3A	87	91	93	95
C_4AF	58	67	74	85

表3 回帰分析による係数($\times 10^{-6}$)

W/C	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
23%	0.007	0.081	-1.743	-0.760
40%	0.211	0.010	-9.229	-1.213

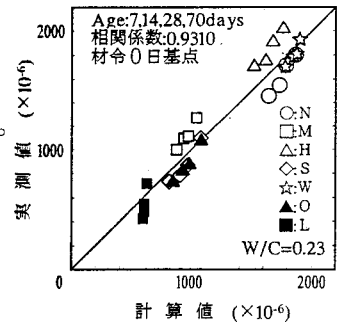


図3 実測値と計算値の比較 (W/C=23%)

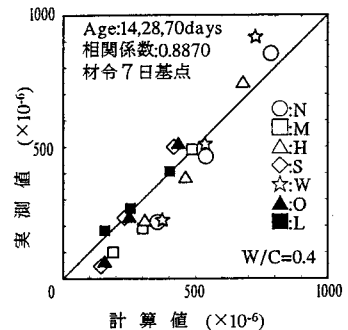


図4 実測値と計算値の比較 (W/C=40%)

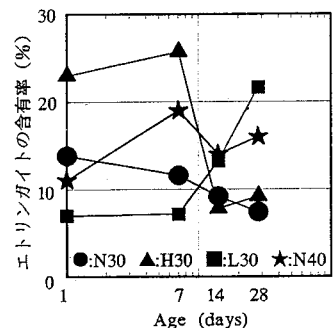


図5 エトリンガイトの経時変化