

コンクリートの自己収縮に及ぼす骨材の影響

広島大学 正会員 田澤 栄一
 広島大学 ○正会員 宮澤 伸吾

広島大学 学生員 佐藤 剛
 西松建設(株) 小西 謙二郎

1. まえがき

セメントの水和反応により生じるコンクリートの収縮は、Autogenous shrinkage (自己収縮) として知られているが⁽¹⁾、その大きさは、高々 100×10^{-6} 程度とされ実用上ほとんど無視されてきた。しかし、密封したセメントペースト供試体の長さ変化の測定から、高性能減水剤やシリカフェームを混入して水セメント比を小さくすると極めて大きな自己収縮を生じることを既に報告した⁽²⁾。本報告では、特に低水セメント比のモルタル及びコンクリートの自己収縮特性について述べる。また自己収縮に及ぼす骨材混入の影響について明らかにするために、骨材の体積濃度及び弾性係数を変化させた供試体の自己収縮ひずみの測定結果を、種々の複合則を用いた推定値と比較検討する。

表-1 コンクリートの配合

Slump (cm)	Air (%)	w/c	Unit content (kg/m ³)					ad. (%/C)
			W	C	SF	S	G	
25	1.1	0.20	160	720	80	443	1075	0.75 ^{*1}
20.5	2.2	0.30	195	649	0	586	993	0.40 ^{*2}
—	—		190	570	63	586	993	0.40 ^{*2}
6.0	3.5	0.50	180	360	0	799	1056	0.14 ^{*3}

*1 Aromatic aminosulfonate macromolecule (SP5)
 *2 β -naphthalen sulfonate formaldehyde high condensates (SP1)
 *3 Lignin sulfonic acid (WR)
 Coarse aggregate: Rhyolite (Maximum size=20mm)
 Fine aggregate: decomposed granite
 SF: Condensed silica fume

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメントおよび早強ポルトランドセメント、粗骨材は流紋岩質砕石(最大寸法20mm、比重2.67、吸水率0.87%)、粗骨材は風化花崗岩系山砂(比重2.57、吸水率1.99%)及び粗骨材と同一母岩の流紋岩質砕砂を使用した。骨材の弾性係数を大幅に変化させるために、 $\phi 5 \times 5$ mmのポリエチレンおよびフッ素ゴムを骨材として使用した。また骨材を気泡で置き換えることを考え、アルミニウム粉末を使用した。混和材料は、リグニンスルホン酸塩系A E減水剤(WR)、ナフタリン系高性能減水剤(SP1)、アミノスルホン酸塩系高性能A E減水剤(SP5)、粉末タイプのシリカフェームを使用した。コンクリートの配合は表1に示す。

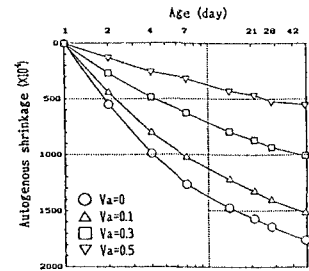


図-1 モルタルの自己収縮
 (山砂, $W/(C+SF)=0.20$,
 $SF/(C+SF)=0.10$, $4 \times 4 \times 16$ cm)

3. 実験結果および考察

図1は、セメントペーストに山砂を体積濃度0~0.5で混入した $4 \times 4 \times 16$ cmモルタル供試体の自己収縮ひずみの測定結果である。骨材の体積濃度の増加と共に自己収縮が減少していることが分かる。ここで自己収縮の実測値を複合則による計算値と比較した結果を図2~3に示す。ここではコンクリートをセメントと骨材の二相材料と考え、最も簡単なモデルである直列モデル(式(1))および並列モデル(式(2))を用いた。また、コンクリートの乾燥収縮に関して骨材の拘束効果を考慮したモデルが従来より種々提案されているが⁽³⁾、これらはほぼ同一の予測値を与えることが確認されている⁽⁴⁾。ここではHobbsにより提案されている式(3)を自己収縮にも適用できるか否かについて検討することにした。骨材として流紋岩および山砂を用いた場合であるがどちらもHobbsのモデルによる予測値と比較的よく一致している。

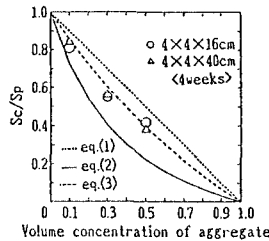


図-2 自己収縮に及ぼす骨材量の影響
 (流紋岩, $W/C=0.30$)

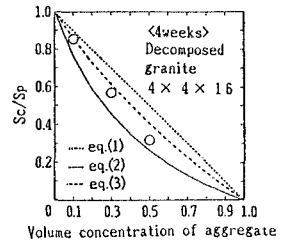


図-3 自己収縮に及ぼす骨材量の影響
 (山砂, $W/(C+SF)=0.20$,
 $SF/(C+SF)=0.10$.)

$$\varepsilon_c/\varepsilon_p = 1 - V_a \quad (1) \quad \varepsilon_c: \text{コンクリートの自己収縮ひずみ} \quad E_p: \text{セメントペーストの静弾性係数}$$

$$\varepsilon_c/\varepsilon_p = (1 - V_a) / [(E_a/E_p - 1)V_a + 1] \quad (2) \quad \varepsilon_p: \text{セメントペーストの自己収縮ひずみ} \quad K_a: \text{骨材の体積弾性係数}$$

$$\varepsilon_c/\varepsilon_p = \frac{(1 - V_a)(K_a/K_p + 1)}{1 + K_a/K_p + V_a(K_a/K_p - 1)} \quad (3) \quad V_a: \text{骨材の体積濃度} \quad K_p: \text{セメントペーストの体積弾性係数}$$

$$E_p: \text{骨材の静弾性係数} \quad (K = E/3(1 - 2\nu))$$

図4は、 K_a/K_p と $\varepsilon_c/\varepsilon_p$ の関係をHobbsモデルによる予測値と共に示したものである。ゴム弾性を示すフッ素ゴムの場合を除くと、骨材の弾性係数の増大と共に、自己収縮が減少することがわかる。

以上のことから、骨材の混入により自己収縮は低減し、その効果は自己収縮を生じるセメントペースト量の減少および骨材の弾性変形に伴う拘束効果により説明できる。

図5に、流紋岩碎石（最大寸法20mm）及び山砂を用いたコンクリート供試体（10×10×40cm）の自己収縮を示す。図より、水セメント比が小さいほど自己収縮ひずみは大きくなっていることがわかる。また、シリカフェームの混入により自己収縮ひずみが増加している。高性能AE減水剤およびシリカフェームを用いて水結合材比を0.20とした場合は、早期材令における自己収縮の増加が大きく、材令91日では 400×10^{-6} 程度とかなり大きな自己収縮ひずみが認められる。

図6は、コンクリート供試体について、結合材水比と単位セメントペースト量当りの自己収縮の関係を示したものである。自己収縮は水結合材比が小さいほど大きくなることを示している。従来より、単位セメントペースト量当りの乾燥収縮ひずみは水セメント比が小さくなるほど小さくなるといわれているが、自己収縮の場合は全く逆の傾向となることが明かとなった。

以上より、低水セメント比のコンクリート、特にシリカフェームを混入した超高強度コンクリートを用いる場合、ひびわれの発生などに及ぼす自己収縮の影響が大きくなる可能性があると考えられる⁽⁵⁾。

4. まとめ

- (1) モルタルおよびコンクリートの自己収縮は、水セメント比が小さくなるほど大きくなり、乾燥収縮の場合と全く逆の傾向を示した。
- (2) シリカフェームおよび高性能AE減水剤を用いて水セメント比を0.20と極めて小さくした10×10×40cmコンクリート供試体は、材令1日を原点にして測定すると材令91日で約 400×10^{-6} と大きな自己収縮を示した。
- (3) モルタルおよびコンクリートの自己収縮ひずみは、骨材の体積濃度の増加および弾性係数の増大に伴い減少した。

【参考文献】

- (1) Davis II. E.: Autogenous Volume Changes of Concrete, Proc. ASTM, 40, pp. 1103-1110, 1940
- (2) 田澤他、セメントペーストの自己収縮、第46回セメント技術大会講演集、1992（発表予定）
- (3) Pickett, G.: Effect of Aggregate on Shrinkage of Concrete and a Hypothesis Concerning Shrinkage, Journal of ACI, Vol. 52, No. 5, pp. 581-590, 1956
- (4) Hobbs, D. W.: Influence of Aggregate Restraint on the Shrinkage of Concrete, Journal of ACI, Vol. 71, No. 9, pp. 445-450, 1974
- (5) Paillere, A. M., et al: Effect of fiber addition on the autogenous shrinkage of silica fume concrete, ACI Material Journal, Vol. 86, No. 2, pp. 139-144, 1989

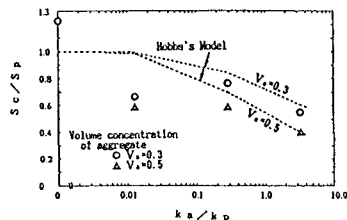


図-4 骨材の弾性係数と自己収縮の関係
($W/C=0.30, 4 \times 4 \times 16\text{cm}$, 材令28日)

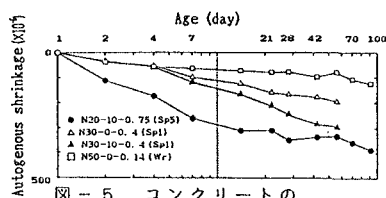


図-5 コンクリートの自己収縮に及ぼす W/C の影響
(流紋岩 & 山砂, $V_a=0.58-0.71, 10 \times 10 \times 40\text{cm}$)

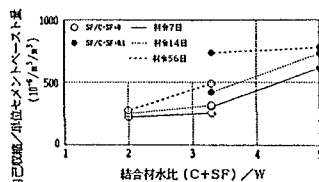


図-6 水結合材比とコンクリートの自己収縮の関係
(10×10×40cm)