

セメントペーストの自己収縮の機構に関する一考察

広島大学 正会員 田澤 栄一 広島大学 学生員 ○佐藤 剛
 広島大学 正会員 宮澤 伸吾 清水建設(株)正会員 三宅 啓文

1. まえがき

セメントペーストは、長期にわたり大きな自己収縮を生じ、特に高性能減水剤およびシリカフュームを用いて水セメント比を小さくした場合に極めて大きくなることを既に報告した⁽¹⁾。本報告では、セメントペーストの自己収縮を打ち込み直後から測定し、水和率の測定結果などに関連させ、その機構についての考察を述べることを目的とする。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

セメントは、普通ポルトランドセメント(N)、早強ポルトランドセメント(H)、混和材料としてナフタリン系高性能減水剤(SP1)およびシリカフューム(SF)(粉末タイプ、ブレン値 $20\text{m}^2/\text{g}$)を用いた。配合は、(セメントの種類)(水結合材比) - (シリカフューム混入率%) - (高性能減水剤添加率%)と略記した。

2. 2 自己収縮ひずみの測定方法

水和初期では、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測定した。長期の測定は、セメントペーストを鋼製型枠に打設後材令1日で脱型し、直ちにアルミ箔粘着テープ(厚さ 0.05mm)によりシールし測定を行った。

測定は $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ 供試体で両端部に埋め込んだプラグによりダイヤルゲージを用いて行った。

2. 3 硬化収縮率の測定

300cc 三角フラスコにセメントペーストを打ち込み直ちに水を加え、上部にセットしたビペットの目盛りにより水面の経時変化を測定し、水和に伴う絶対体積の減少率とした⁽¹⁾。

3. 実験結果および考察

図2は、普通ポルトランドセメントを用いた各種配合のセメントペーストの自己収縮ひずみを始発時間前後から図1の方法で測定した結果を示したものである。終結直後から体積変化が起こり始め、水セメント比が小さいほど大きな自己収縮を生じている。特に、シリカフュームおよび高性能減水剤により $W/C=0.17$ とした場合、終結直後から極めて大きな自己収縮が生じている。

図3は、供試体寸法と自己収縮との関係を示したものであり、寸法が大きいほど自己収縮は小さくなっている。図4は、約3ヶ月間封緘養生したセメントペーストについて供試体の表層部と中心部の間隙水量の測定結果である。供試体表層部から中心部へと間隙水が移動したことを示しており、図3で示した現象は、間隙水の移動速度と水和反応による絶対体積の減少速度とのバランスに影響され则认为

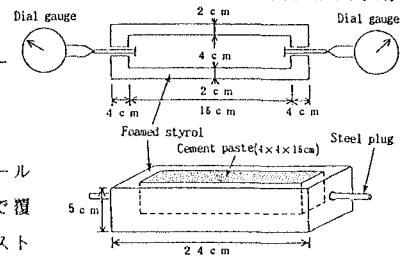


図1 自己収縮ひずみの測定装置

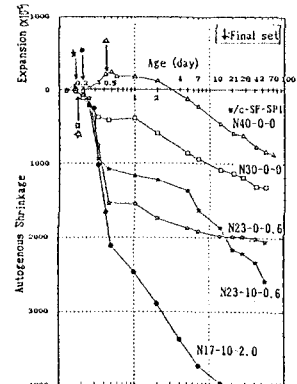
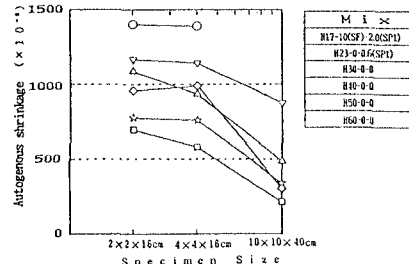


図2 セメントペーストの自己収縮ひずみ

図3 自己収縮ひずみに及ぼす供試体寸法の影響
(材令1日を原点として測定)

られる。そこでセメントペーストを図5に示すような一次元モデルに仮定して間隙水の挙動を考えてみた。セメントペーストは大きさの異なる細孔が3次元の網目構造をとっているので、これと等価な毛細管の束に置き換えるために、毛細管の屈曲の程度を等価毛細管長さ (L_e) と供試体長さ (L) との比 (L_e/L) を用いて表すことにする。

セメントの水和反応により固相と液相の体積の総和は減少するため水和の進行と共に内部空隙が形成されようとするが、水の分子間引力により連続性を保とうとするため間隙水は供試体表層部から内部へと移動する。間隙水の最大流量は、次式で表すことができる。

$$u(r, x) = \frac{r^2}{8\eta} \left(\frac{2\sigma}{r} + Pa \right) / x \quad (1)$$

ただし、 $u(r, x)$: 半径 r の毛細管中の流速、 r : 毛細管半径、 x : 供試体中心からの距離、 η : 間隙水の粘性係数、 σ : 間隙水の表面張力、 Pa : 大気圧

間隙水の移動速度が速く、水和による絶対体積の減少を補うことが可能な場合に間隙水は連続を保つと考えられる。すなわち連続条件は次式で表すことが出来る。

$$\frac{\partial C(t)}{\partial t} \leq \int V(r, t) \frac{\partial}{\partial x} u(r, x) dr \quad (2)$$

ただし、 $C(t)$: 水和反応による絶対体積減少率 (セメントの鉱物組成および反応率による)、 $V(r, t) dr$: 半径 r から $(r + dr)$ の細孔の単位体積当りの容積 (水銀圧入法による実測値)

図6は、各配合のセメントペーストについて式(2)の両辺の値の計算値を供試体厚さ $L=10\text{cm}$ について示したものである。半径の大きな細孔ほど連続性が悪くなることを考慮して⁽²⁾、 L_e/L は、5~15程度とかなり大きな値であるとする、間隙水が不連続に存在するようになることを示している。供試体断面寸法 $4 \sim 10\text{cm}$ の範囲で供試体が大いほど自己収縮が小さくなるのは、供試体が大いほど間隙水の連続性が乏しくなり負圧が液相中に伝達されなくなるためであると考えられる。また、図6は、水セメント比が小さいほど間隙水は不連続になりやすいことを示している。

4. まとめ

- (1) 低水セメント比のセメントペーストは終結直後から大きな自己収縮を生じ、特にシリカフュームを混入した場合に極めて大きくなった。
- (2) 自己収縮における寸法効果は、水和にともない間隙水が供試体表層部から中心部に向かって移動しようとする現象により説明できる。

【参考文献】

- (1) 田澤栄一他: 水和反応による硬化セメントペーストの体積減少、セメント・コンクリート論文集、No. 45, pp. 122-127 (1991)
- (2) Powers, T.C., et al: Capillary continuity or discontinuity in cement paste, Journal of the PC A, pp. 38-48 (1959)

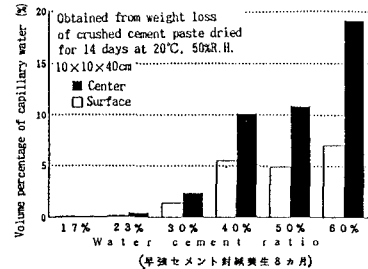


図4 キャピラリー水の容積百分率

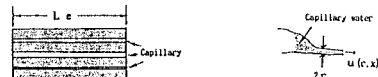


図5 セメントペーストのモデル

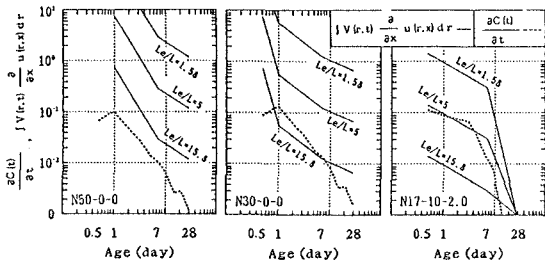


図6 絶対体積減少率と毛細管流の関係