

自己乾燥を受けるセメントペーストの曲げ強度

広島大学 正会員 田澤栄一
〃 正会員○宮沢伸吾
大成建設㈱ 重川幸司
広島大学 正会員 三宅啓文

1. まえがき

セメントの硬化収縮現象はセメント硬化体中に内部空隙を形成させるが、マクロな体積減少はほとんど生じさせないと従来考えられてきた。本報告では、水セメント比が低いセメントペーストをシールし水分の逸散および浸透を完全に遮断して養生すると、極めて大きな収縮ひずみが生じることを実験により明らかにした。さらに、硬化体の曲げ強度は、水中養生した場合に比較して大幅に低下することを示した。

2. 実験概要

早強ポルトランドセメント (表1), シリカフューム (200,000 cm^2/g Blaine)、ナフタリン系高性能減水剤を用いセメントペーストを作成した。高性能減水剤の添加率は固形分重量比で表わし、シリカフュームは内割りで混入した。図中の凡例は(水結合材比) - (シリカフューム混入率) - (高性能減水剤混入率) のように示す。

セメントペーストは打設後材令1日まで20 $^{\circ}\text{C}$, 100% R.H. の室内に静置し、その後水中あるいは封緘養生を行なった。封緘養生の場合は、アルミ泊粘着テープ(厚さ0.05mm)により供試体全面をシールした。

長さ変化の測定は脱型時を基準とし、4 $\times$ 4 $\times$ 16cm供試体端部に埋め込んだプラグを用い精度1/1000mmのダイヤルゲージにより測定した。

曲げ強度試験はJIS R 5201に準拠して行ない、曲げ破断後の切片を用いて圧縮強度試験を行なった。

図1に示すように、練り上り後直ちに打込み高さが約3~12mmとなるように300 ml三角フラスコにセメントペーストを採り、ピペットの目盛位置まで水を加え、水面位置の経時変化から硬化収縮率(内部空隙+マクロな体積減少)を測定した。

図2に示すように供試体に表面からダイヤモンドカットで切込みを入れ自己応力を一部解放し、その際に生じるひずみの測定値により供試体の表面付近に生じている自己応力について検討した¹⁾。

表-1 早強セメントの鉱物組成

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄
61.74	11.42	9.14	8.82	5.44

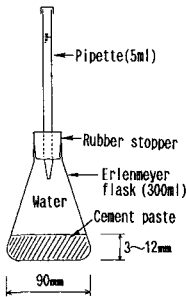


図-1 硬化収縮率の測定

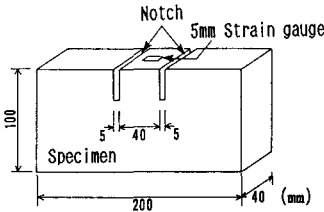


図-2 自己応力の測定方法

3. 結果および考察

図3は、セメントの水和反応により形成される内部空隙量およびマクロな体積減少の測定値を示したものである。硬化収縮の大部分は内部空隙の形成により補われることを示している。しかし図4, 5に示すように、長さ変化率としては極めて大きな値となり、特にW/C=30%程度の場合に大きく、またシリカフュームの混入により増大する。

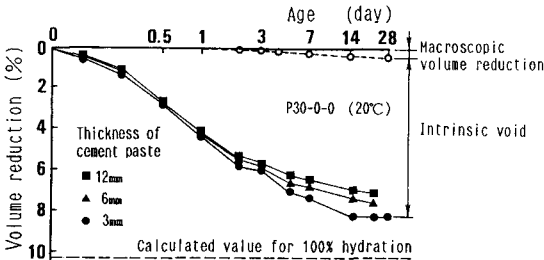


図-3 水和反応による体積減少率

セメント硬化体中の細孔を、キャピラリー空隙（直径40～40,000 Å程度）とゲル空隙（直径15～30 Å程度）に分けて考える。水和の進行とともにキャピラリー水は結合水およびゲル水として消費され、外部から水が供給されない場合には硬化収縮により内部空隙が形成され自己乾燥状態となる。そのため、ゲル水にメニスカスが形成され、毛細管張力が発生すると考えられる。内部の水分に発生するこの力によりセメント硬化体に弾性変形として生じる長さ変化は、L'Hermite によると次式で示される²⁾。

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{4\gamma}{d} \left(\frac{e}{V} \right) \left(\frac{1}{E} \right) \quad \dots\dots (1)$$

$\Delta L/L$: 長さ変化率, γ : 水の表面張力, e : 液体の体積,

d : 細孔直径, E : 弾性係数, V : 多孔体の容積

表2は、材令28日まで封緘養生した10×10×40cm供試体について表層約5mmの部分と中心約40×40mm部分の含水率の測定値を示したものである。 $(e/V) = 0.21$ (表-2より)、 $d = 15 \sim 30 \text{ Å}$ 、 $E = 2.30 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ (実測値)、 $\gamma = 72 \text{ dyne/cm}$ とすると $\Delta L/L = (1800 \sim 900) \times 10^{-6}$ となる。この計算値は、図4 (P30-0-0) に示した実測値と同程度になる。

図6および7は、水中養生あるいは封緘養生した供試体の圧縮強度および曲げ強度をそれぞれ示したものである。圧縮強度は水中・封緘で大きな差は認められないが、曲げ強度はW/Cが40%程度以下の場合に水中供試体に比べて封緘養生供試体が著しく小さくなっている。

図8は、供試体表面に生じている自己応力を切込み法により測定した結果を示したものである。水中供試体表面に圧縮の自己応力が認められるのに対し、封緘養生供試体表面には、引張の自己応力が認められる。これは、低水セメント比の場合、水中養生では養生水の侵入速度が遅いため表面部が湿潤膨張を受け内部が自己乾燥を受けたためと考えられる。これに対し封緘養生では、キャピラリー水が表面張力により供試体表面から中心に向かって移動するため、表面付近はキャピラリー水が減少し自己乾燥の状態になったためと考えられる。

図-8 切込み深さとひずみの関係

【参考文献】

- 1) 田澤栄一他；部分乾燥を受けるモルタルの収縮応力の実測について，コンクリート工学年次論文報告集，12-1，pp.151-156(1990)
- 2) 近藤達一編著；多孔材料，技報堂(1978)

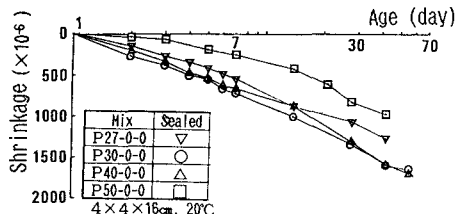


図-4 封緘養生供試体の長さ変化率

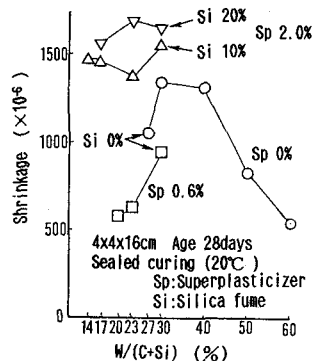


図-5 封緘養生供試体の長さ変化率

表-2 セメントペーストの含水率 (W/C=30% 封緘28日)

	Capillary water*	Gel water**
Near surface	4 vol. %	2.1 vol. %
Inner part	8 vol. %	2.1 vol. %

* Obtained from weight loss in 20°C, 50% R.H.
** Obtained from weight loss in oven(105°C)

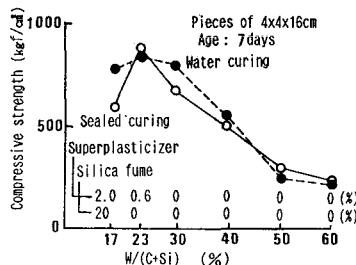


図-6 セメントペーストの圧縮強度

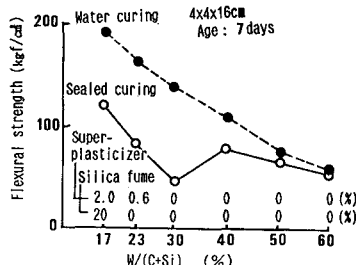


図-7 セメントペーストの曲げ強度