

セメント硬化体の乾燥収縮に影響を与える各種要因の実験的検討

千葉工業大学 学生会員 ○安田 知弘
千葉工業大学 正会員 内海 秀幸

1. はじめに

乾燥収縮の発生メカニズムは複合的機構を有しており、今日、表 - 1 ならびに図 - 1 に示すような駆動力が作用しているものと考えられている¹⁾。しかしながら、各駆動力が収縮量にどの程度寄与するかについては、いまだ明確にはなっていない。そこで、本研究では乾燥収縮における複合的機構を分離し、その発生メカニズムを明確にする観点から、毛細管張力が寄与しない溶液環境下でのセメント硬化体の収縮量を実験的に明らかにした。

2. 実験概要

2.1 使用材料

実験には水セメント比 40%，50%，60%で配合されたセメント硬化体を用いた。セメント種は JIS R 5210 に適合した普通ポルトランドセメントであり、ボグ式により算出された化学組成を表 - 2 に示す。供試体は水中養生を 230 日施した 20×20×160[mm]のスティック形状の物を用いた。用いた試料の空隙径分布を図 - 2 に、BET 比表面積等を表 - 3 に示す。

2.2 試験方法

図 - 3 に示す密封容器内に溶液を満たし減圧給水を行い完全飽和状態としたスティック形状のセメント硬化体を浸漬させた。セメント硬化体内の水分と溶液間で化学ポテンシャル勾配が生じることとなり、セメント硬化体内部の水分から溶液に向かって水分移動が生じることとなる。収縮量はダイヤルゲージを用いて測定した。また、気液平衡の観点より容器内の温湿度を計測することによりエネルギー状態の把握を行った。浸漬させた溶液は、25℃の等温とし相対湿度 15.5,39.0,45.5,63.5%に調湿して計 4 パターンの実験を行った。

3. 実験結果および考察

本実験で得られた時間と相対湿度の関係を図 - 4 に示す。また、収縮量を図 - 5 に示した。図 - 5 より、各水

セメント比のひずみ(収縮量)は 1000 時間以降において増加せず概ね平衡に達しているものと考えられる。水セメント比 50%・60%では溶液浸漬後に 60 時間ほどで最大ひずみが確認された後に膨張する傾向が確認された。この膨張は溶液に浸漬直後、セメント硬化体表層の水分が溶液側に移動することにより、セメント硬化体内部での水分のエネルギーバランスが不均衡となり、その不均衡を解消するために生じた水分の移動(再配置)に起因した体積変化であるものと著者らは推測している。さらに、溶液の平衡湿度と 1218 時間後でのひずみの関係を図 - 6 に示す。図には、近藤ら³⁾の乾燥収縮試験結果も併せて示した。近藤らの結果と本研究で得られたひずみを比較し、毛細管張力の寄与しない環境下では相対的に収縮量が小さい。

また、近藤らのような一般的な大気下での乾燥収縮試験では水セメント比が大きいものほど収縮量が大きくなる傾向があった。しかし本実験では、低い水セメント比のものほどより収縮する逆転の傾向を示した。

4. 考察

図 - 2 の空隙分布図より低い水セメント比の方が 20Å 以下の空隙径が多く存在する特徴が把握される。Bazant ら¹⁾は、分離圧は 26Å以下の空隙領域で作用すると指摘している。図 - 2 より低水セメント比のものほど、この分離圧が作用する空隙径が相対的に多く存在

表－1 乾燥収縮機構

毛細管張力	界面の釣り合いで生じるメニスカスによる収縮駆動力。
分離圧	微細領域で水が入り込むことにより骨格間をより広げようとする膨張圧。
表面張力	水分吸着とセメントゲルによる相互作用による拡張圧。



図 - 1 乾燥収縮機構概要図

キーワード 乾燥収縮, 化学ポテンシャル, 毛細管張力, 分離圧, 表面エネルギー, 硬化セメントペースト

連絡先 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学 工学研究科 TEL047-478-0447

していることに起因して、本研究では、低い水セメントのほうにより溶液中では収縮したものと考えられる。

なお、図 - 6 において、通常の乾燥収縮では低湿度ほど収縮する傾向があるが、本実験では相対湿度 60%付近で最大収縮量が見られた。

5. まとめ

- 1) 毛細管張力が寄与しない溶液環境下でのセメント硬化体の収縮量を実験的に明らかにした。
- 2) 毛細管張力が働かない環境下では、収縮量が一般的な乾燥収縮量と比較して減少することが明らかになった。
- 3) 水セメント比 50%60%に比較し 40%のものほど溶液中では、収縮することがわかった。

表-2 使用セメントの鉱物組成(ボーグ式)[%]

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
52	22	8	8

表 - 3 水銀圧入及びガス吸着による微細空隙特性

W/C	S[m ² /g]	Ra[Å]	V ₄₀₀ [mm ³ /g]	S _{BET} [m ² /g]
60	57.8	39.8	218.3	62.2
50	49.2	26.6	170.0	41.9
40	37.3	19.7	114.3	23.0

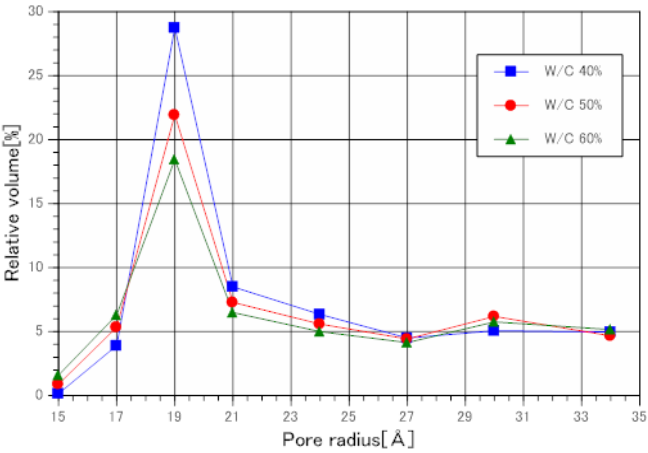


図 - 2 ガス吸着による空隙径分布

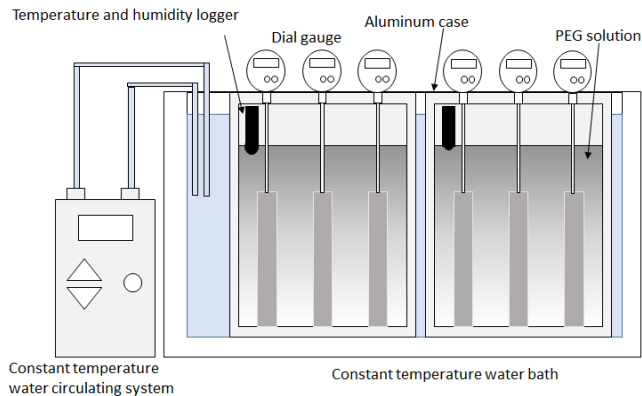


図 - 3 実験装置概要図

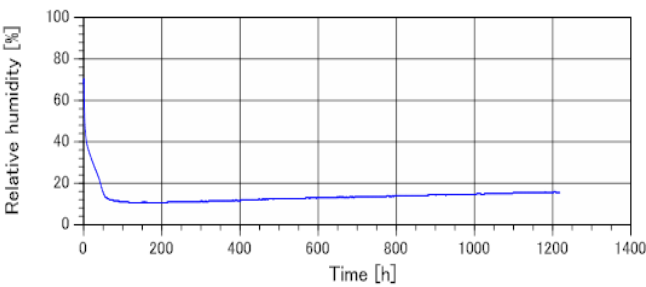


図 - 4 時間と湿度の関係

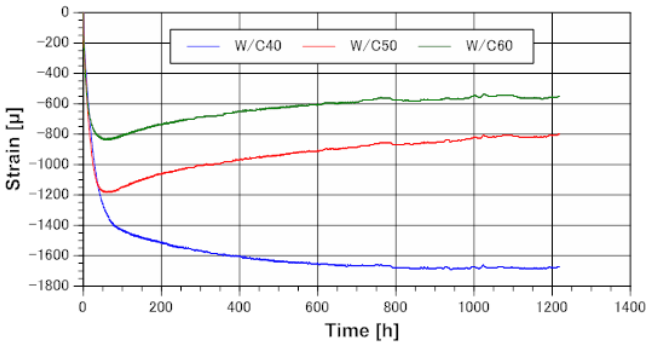


図 - 5 時間とひずみの関係

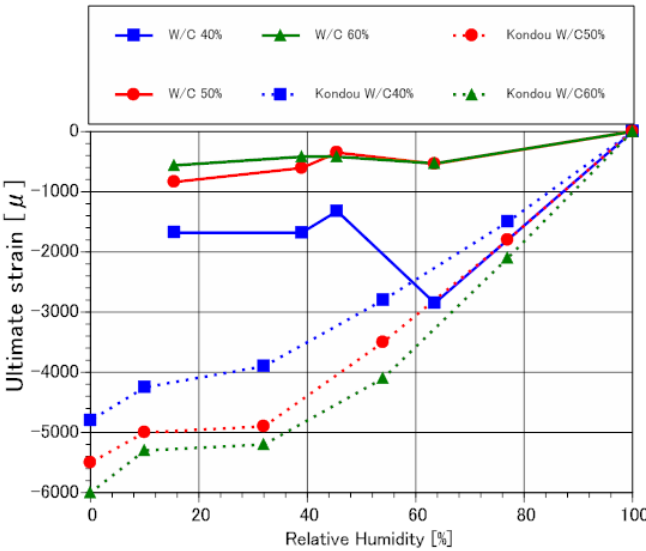


図 - 6 溶液中における湿度とひずみの関係

参考文献

- 1) Z. P. BAZANT : Thermodynamics of interacting continua with surfaces and creep analysis of concrete structures, Nuclear engineering and design 20, pp477-505, 1972.
- 2) 加藤恭介,浅本晋吾,松井久仁 : 内部液体特性に基づく多孔質材料の体積変化機構に関する研究, コンクリート工学年次論文集 Vol.31, No.1, 2009.
- 3) K. CHUJO I, M. KONDO : A study on the causes of volume change of cement paste, Matériaux et Constructions January, Volume 2, Issue 1, pp 23-34, 1969.