

## 内部液体特性に依存するセメント硬化体の体積変化機構に関する研究

埼玉大学大学院 学生会員 ○加藤 恭介  
 埼玉大学大学院 正会員 浅本 晋吾

## 1. 目的

コンクリートの収縮に関する研究は歴史が深く、何十年も長期に渡って研究が続けられているが、影響を及ぼす要因が多岐に渡り複雑に関連するため、未だ収縮メカニズムを統一的に説明できる理論は存在しない。したがって、収縮を引き起こす各現象、発生条件を的確に捉え、それぞれを定量的に評価し組み合わせが複雑な機構解明に肝要であると思われる。本研究では、乾燥収縮発生の原因とされる理論の中でも、有力な毛細管張力、分離圧、表面エネルギーの各理論に着目した。これらの現象は可逆性を有し、空隙内部にある液体特性によって影響力は変化すると考えられる。そこで、乾燥後、物性の異なる各種液体に浸漬させ、収縮の回復挙動の違いに着目することで、各現象の収縮メカニズムに与える影響の抽出、確認を行うことを目的とした。

## 2. 実験概要及び実験予測

## (1) 実験概要

一般にコンクリートの体積変化はセメントペースト部分で生じるとされていることから供試体にはセメントペーストを使用した。乾燥、液体の浸透が平衡に至るには時間がかかると予想されたことから、供試体の寸法は 40mm×10mm×160mm の薄い平板供試体とし、乾燥の進行、液体の浸漬時間の削減を図った。内部空働の影響も検討するため水セメント比 40%、60%の2種類の供試体を作製し、打設2日後に脱型、5日間の水中養生を施した。養生後、20℃相対湿度 25%、60%の環境で、所定の乾燥（7日、14日、28日の3種類）を施した後、表面張力、粘性の異なる水、エタノール、潤滑油に浸漬させた。各種液体の特性値を表1に示す。水中養生後よりひずみを経時的に測定した。ひずみの測定には試体内部に埋め込み型ひずみゲージを使用した。図1に供試体概要を示す。

液体	表面張力(10 <sup>-3</sup> N/m,25°C)	粘性(Pa*s,25°C)
水	71.95	0.89 × 10 <sup>-3</sup>
エタノール	21.97	1.08 × 10 <sup>-3</sup>
潤滑油	27.05	2.11 × 10 <sup>-3</sup>

表1 各種液体特性

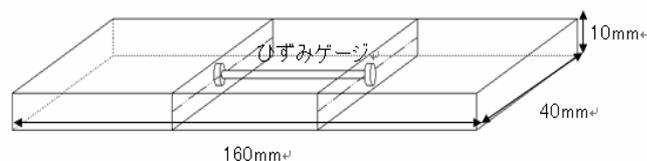


図1 供試体概要

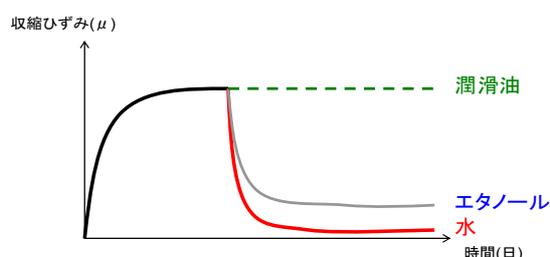


図2 実験予測

## (2) 実験予測

毛細管張力、分離圧、表面エネルギーは、水以外の液体が空隙内部に存在した場合も発生すると考えられ、乾燥後各液体に浸漬させると、セメント硬化体内部での飽和状況、液体物性によって収縮回復が変化し得ると推察される。水は毛細管張力、分離圧、表面エネルギーといずれの収縮発生現象においても元の状態に戻し得るため大きく収縮が回復するのに対し、水に可溶なエタノールはメニスカスを消失させ毛細管張力がなくなるため、毛細管張力の寄与分収縮を回復させ、潤滑油は水に不溶でセメント硬化体と親和性のないことからいずれの収縮発生要因も緩和できず、収縮は全く回復しないと予測した。乾燥—液体浸漬過程で予測される収縮回復挙動を模式的に示すと、図2のようになる。

キーワード 収縮 毛細管張力 分離圧 表面エネルギー

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 TEL048-858-3427

### 3. 実験結果

紙面の都合上水セメント比 40% 相対湿度 25%のときの結果のみ図3, 図4, 図5に示す. 他の湿度環境, 高水セメント比においても, 絶対量は異なるものの収縮の回復挙動は同様の傾向を示した. 一定の乾燥の後水に浸漬させると, 乾燥時間に関わらず予測とほぼ同じく 100%近く収縮が回復し, エタノールも乾燥時間によって違いがあるものの 70%~40%程度の収縮回復が見られた. しかし, 潤滑油については予想と異なり, 相対湿度の変化により若干の相違があるものの浸漬後 10%程度の収縮回復が見られた. 実験で得られた上記収縮回復挙動が既往の収縮発生理論によって説明可能であるかを検討した.

### 4. 考察

(1) エタノールに浸漬した際の収縮回復挙動について  
水と可溶であるエタノールが比較的大きな毛細管空隙に浸透すると, 空隙内部に存在するメニスカスを消失させ, 負圧の減少により収縮が回復すると考えられる. また, 微細な毛細管空隙やゲル空隙内部にも浸透する場合, 固体表面に吸着する水分子の間に入り込み分離圧の増加, ゲル粒子の固体表面エネルギーの低下をもたらし, 収縮は回復し得る. 紙面には掲載していないが, 本実験において, 相対湿度, 水セメント比が低いほど, エタノールに浸漬した際の収縮回復率が高かった. この現象は, 高中湿度域, 比較的大きな空隙で影響力が大きいとされる毛細管張力のみで説明することは困難であり, エタノール浸漬による収縮回復は, 上記のように複合要因によって回復したと推察される.

(2) 潤滑油に浸漬した際の収縮回復挙動について  
潤滑油は水に不溶であることから, メニスカスを消失させず微細な空隙内の水の間にも入り込めず収縮はほぼ回復しないと予想したが, 図5に示すように収縮がおよそ 10%~30%回復していることがわかる. この現象についてはより詳細な検討が必要ではあるが, 微細な空隙内部に潤滑油が浸透したとは考えにくく, 不飽和空隙に潤滑油が浸透することで, 固体壁面の固体表面エネルギーを変化させ, 水の気液界面の接触角が増加し毛細管張力が減少するために収縮が回復したと予想した. これは, 毛細管張力が収縮の発生要因となることを示した実験とも位置づけられる. 今後は, 高温など種々の乾燥条件を施し, 各液体に浸漬させた際の収縮回復挙動をより総合的に検討することで, さらに詳細な収縮機構を検証することが可能になると予想され, 今後の研究発展が期待される.

### 5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に列挙する.

- ・様々な液体に浸漬させ, 収縮回復を検討した結果, 収縮現象は今回検討した3つの理論が複合的に重なりあって進行することが示唆された.

### 参考文献

- 1) 浅本晋吾, 石田哲也: 微細空隙中の液体特性に着目したコンクリートの時間依存変形機構の検討, 土木学会論文集 No. 760V-63, 159-172, 2004. 5

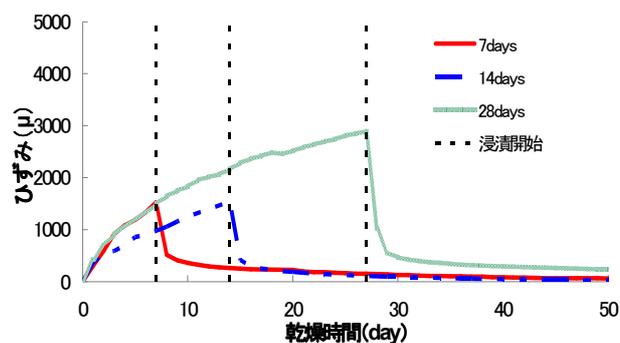


図3 水浸漬後の収縮回復

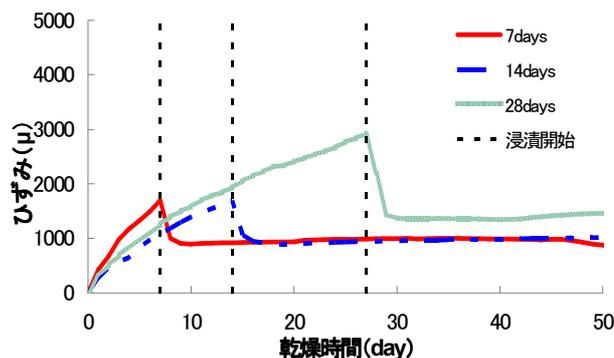


図4 エタノール浸漬後の収縮回復

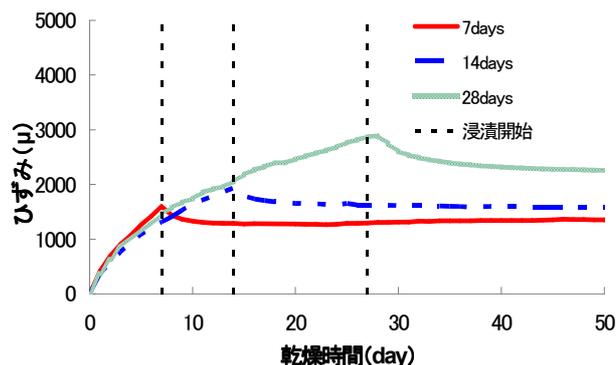


図5 潤滑油浸漬後の収縮回復