

# 論文 湿度変化に伴うセメントペーストの長さ変化と脱水量の相関性に関する研究

中央大学理工学部 ○小泉諒 横山隼佑 大下英吉  
(株)フジタ 技術センター 藤倉裕介

## 1. まえがき

セメント系材料の空隙構造は、強度、乾燥収縮やクリープ、各種の有害物質の侵入等に代表される構造性能や耐久性に大きく関与する非常に重要な物性であり、その定量化には細孔空隙径分布、吸脱着等温線などを用いた方法が挙げられる。

一般に、実構造物は絶えず変動する環境下に置かれており、一様環境下にある室内実験で得られた各種の情報はそのままの形で実構造物に適用することは困難である。すなわち、実環境を忠実に再現した室内実験の実施や限られた室内環境条件下における情報から任意の条件下の情報を推測する手法の確立が必要になる。この意味からすると、上述した構造性能や耐久性に關与する各種性状は相対湿度や雰囲気温度に大きく影響を受けるため、室内実験においては任意の相対湿度や温度条件のもとで評価が行われている。しかしながら、既往の研究のほとんどが、これら各種性状と相対湿度や温度を直接関連付けることだけに留まっており、各種性状に大きく関与する空隙構造の相対湿度や温度の依存性、さらにはこの観点に立脚して各種性状を議論したものはほとんどない。

本研究では、セメントペーストの長さ変化に及ぼす水分逸散量の影響に関する実験を行うものであり、相対湿度の変化に伴う空隙径分布、水分挙動の観点に着目した水分脱着量の実験を実施し、セメントペーストの水分挙動と長さ変化に関する議論を行った。

## 2. 実験の概要

### 2. 1 使用材料

本実験で使用したセメントは、普通ポルトランド(以下、N)、早強ポルトランド(以下、H)、低熱ポルトランド(以下、L)の配合および普通ポルトランドと早強ポルトランドの2種類にシリカフュームで20%置換した配合(以下、N+SF、H+SF)とした。また、本実験では実験中の再水和の影響をできる限

り少なくするため、20℃の水中にて2年間養生したものである。試験体は水結合材比を50%としたセメントペーストとし、空隙構造の違いによる影響について着目し、水和させた試験体を用いた。φ50mm×100mmの円柱試験体を作製して養生後、湿式のコンクリートカッターを使用して35×10×100mmの板状試験体を作製した。

### 2. 2 試験方法

試験は、恒湿室内において水中から取り出した直後の湿潤状態からRH80%への過程、RH80%からRH60%、RH60%からRH40%と順次乾燥させる過程を与えた。測定はレーザー変位計(0.0001mm)を用いて試験体の長手方向の長さ変化およびロードセル型の荷重計にて質量変化を同時に測定した。なお、試験体は各湿度下で2~3週間設置し、平衡が得られ各値がほぼ一定に安定したことを確認後、次の過程へ移行した。

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 脱水量と長さ変化の関係

図-1は、実験結果の例として早強ポルトランドセメントを用いた場合の湿潤状態からRH40%までの乾燥過程における乾燥収縮ひずみと脱水量の径時変化を表したものである。また、図-2は、脱水量と乾燥収縮ひずみの関係を試料ごとに表したものであり、飽和~RH80%、RH80%~60%、RH60%~40%の区間ごとに(a)~(c)に示す。同図より同一の脱水量であっても収縮ひずみは各試料で異なり、また全体の収縮量も異なることが分かる。これは、各相対湿度における液状水の凝縮半径(ケルビン半径)に関係しており、各試料の空隙径分布が異なることの影響が現れているためであると推察される。

### 3. 2 空隙構造に基づく脱水量と収縮ひずみの予測

空隙構造の違いが脱水量や収縮量に影響を及ぼすことは明らかであろう。そこで、各相対湿度下において平衡に至った最終的な収縮ひずみと脱水量

キーワード：乾燥収縮，脱水量，空隙径分布

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 TEL:03-3817-1892 FAX:03-3817-1803

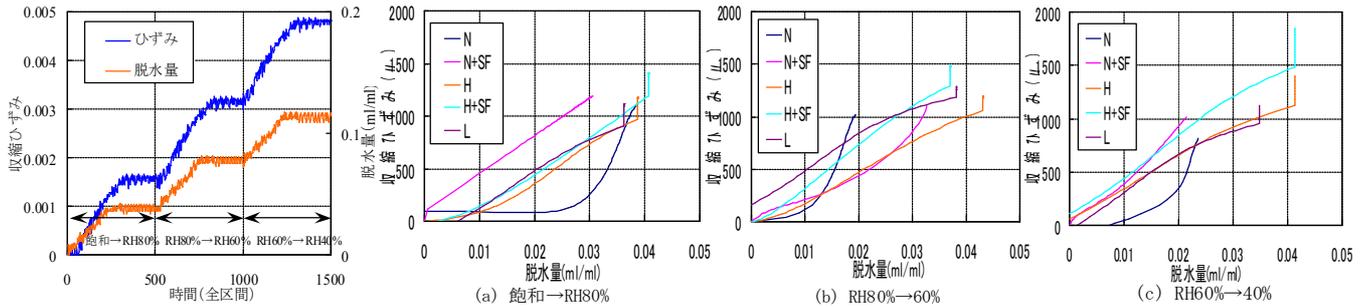


図-1 収縮ひずみと脱水量

図-2 脱水量と収縮ひずみの関係

表-1 脱水量平衡時のひずみ増分と割合

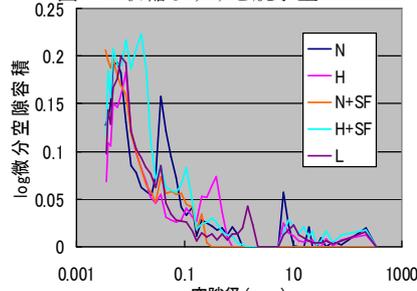


図-3 空隙径分布

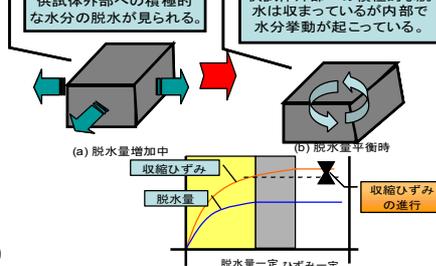


図-4 水分移動のメカニズム

		飽和→RH80%	RH80%→60%	RH60%→40%
N	Δε	****	****	84(9.5%)
	全体	1098	1012	883
N+SF	Δε	****	127(11.5%)	122(10.8%)
	全体	1188	1103	1137
H	Δε	225(19.1%)	138(11.6%)	199(14.2%)
	全体	1176	1194	1404
H+SF	Δε	177(12.7%)	183(12.4%)	324(17.5%)
	全体	1394	1477	1855
L	Δε	209(18.8%)	102(8.0%)	173(15.4%)
	全体	1117	1285	1125

(\*\*\*\*)は計測期間中脱水量の平衡なし

の関係について空隙構造の観点から考察する。まず、空隙径分布を図-3に示す。空隙内の含水状態と表面エネルギーの観点から体積変化機構を評価する方法を検討している。同図より空隙径が0.01μm以下ではH+SFに分布が多く、0.01μm~0.1μmではNに多く存在する傾向が見られる。空隙径の小さな空隙の分布が多いH+SFは図-2において比較的大きな収縮ひずみが見られる。また、同一の脱水量に対して収縮量が異なる値が示されることが分かる。この現象は、同一の空隙量を有していても空隙径により収縮量が異なるわけである。また、空隙構造の観点から脱水量と収縮ひずみの相関性について議論することが必要であると考えられる。

### 3.3 長さ変化に及ぼす水分挙動の影響

3.2では脱水量が平衡に至った時の収縮ひずみとセメントペーストに起こる水分挙動について述べた。しかし、実環境下におけるセメント硬化体の体積変化挙動を考える場合には各相対湿度において平衡に至るまでの脱水量と収縮ひずみの生じる過程を考慮することも重要であると考えられる。図-1や図-2には各相対湿度にて平衡に至るまでの過程を示しているが、脱水量や収縮ひずみが平衡に至る過程を詳細にみても、脱水量がほぼ一定となった後も収縮ひずみは進行していることが分かる。この現象は、図-4に示すような2段階のメカニズムによるものと考えられる。第一段階では、試験体からの脱水が進行してそれに伴って収縮ひずみが生じる。その後、第二段階では見かけ上は脱水量が平衡となるが、試験体の内部ではその後も引き続き水の移動(試験体内の平衡過程)が生じるため、収縮ひずみが生じる。インクボトル形状の空隙を考えると、

空隙内が水で満たされていた液浄水が湿度変化に伴って脱水が起こり表面張力により比較的小さな空隙に水が留まる。次に、脱水が平衡となり表面流れにより供試体内部で空隙径に関わらず拡散する。この2段階のメカニズムでは脱水速度や液状水の移動機構も異なり、すなわち体積変化機構も異なるものと考えられる。この2段階のメカニズムについては今後の検討課題である。表-1に各種類のセメントおよび相対湿度における収縮ひずみの全体量と脱水量が一定になった後の収縮ひずみの増分、割合を示す。同表に示す通り脱水量が一定になった後の収縮ひずみの割合は全体の10%~20%となっており、脱水量が一定になってからも比較的大きな収縮が発生していることが分かる。

### 4. まとめ

以下に本研究で得られた結果を示す。

- (1)セメント硬化体を対象とした既往の研究結果および著者らが実施した実験結果との比較を行うことにより脱水量と乾燥収縮ひずみの関係について検討した。その結果、同一の脱水量を有しても収縮量が異なることが分かった。この理由としては空隙構造の違いによる影響が考えられ、著者らの提案する空隙構造モデルに基づいた考察を行った。
- (2)各相対湿度において、平衡となる脱水量に至った後も引き続き収縮が生じることが明らかとなった。これは2段階のメカニズムによるものと考えられる。この傾向については脱水機構と収縮量との詳細な検討が必要であり今後の検討課題である。