

粉砕したセメント硬化体の水分逸散・吸着現象に関する一考察

芝浦工業大学 学生会員 ○倉持 卓弥
東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治

東京大学大学院 学生会員 秋山 仁志
芝浦工業大学 フェロー会員 魚本 健人

1. 研究背景と目的

乾燥収縮、凍害等のコンクリートの劣化現象では、硬化セメントペースト(以下、HCP)中に存在する水分が影響を与えることが知られている。

水分挙動に関する基礎的実験として、Grudemo は、1 mm 厚のセメントペーストを、様々な相対湿度(以下、R.H.)下で乾燥させる実験を行っている¹⁾。その実験結果によれば、セメントペーストからの水分の逸散は、僅か1mm 厚さであっても相当に長い時間を掛けて進行することが分かる。また、R.H.25%程度以下においては、特に水分の逸散が急速に進む傾向が認められた。一方、乾燥のみならず湿潤も、実環境下でのコンクリートにとって重要である。

そこで、本研究では、各種相対湿度下において HCP を乾燥・湿潤させる実験を行い、HCP の空隙構造が水分の逸散・吸着に与える影響について基礎的な検討を行った。また、粉化した試料を用いることで、乾燥を速め、セメント硬化体中の微小な空隙構造に着目した検討を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体の配合および養生条件

供試体の配合を表-1 に示す。普通ポルトランドセメント、水道水を用いて 20℃恒温室にて練混ぜを行った。その後、ブリーディングが認められなくなるまで30分毎に練返しを行い、手で振動を与えながら 40×40×160mm の型枠に2層に分けて流し込んだ。表-1 に総練返し時間を示す。

20℃恒温室にて 24 時間封緘養生した後、脱型し、20℃水中養生を 87 日間行った。水和が不十分であると、水分逸散・吸着試験中に水和が進行し、空隙構造が変化する可能性が考えられたため、水和をできる限り終了させる目的で、飽和水酸化カルシウム水溶液中で煮沸を 6 時間行った。

養生が終了した試料を振動ミルで粉砕し、150～300 μm の試料を採取して、水分逸散・吸着試験の試料とした。

2.2 水分逸散・吸着試験

(1) 前処理

逸散試験では、試料を蒸留水に浸漬させ、デシケーター

内で 24 時間真空飽和させた後、濾紙で余計な水分を絞り出した。

吸着試験では、試料を 24 時間アセトンに浸漬後、冷凍真空乾燥(以下、D-dry)を 24 時間行った。

(2) 本試験

JIS B 7920 を参考に、飽和塩法により調湿を行った。すなわち、調湿剤を水に溶かしてシャーベット状とし、それを密閉容器内に入れて、容器内の湿度を調整した。8 種類の調湿剤を別々の容器に入れて使用し、容器はすべて 20℃の恒温室に置いた。これにより、R.H.が 1 時間程度で 6, 11, 23, 43, 59, 75, 85, 98%にそれぞれ落ち着くことをデジタル湿度計であらかじめ確認した。

前処理を行った試料7g 程度を調湿剤とともに各容器内に入れて密閉し、計測日に試料を取り出して、質量を計測した。計測には電子天秤を用い、0.1mg 単位まで測定した。質量計測日は 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 35, 42 日とした。測定された質量は、D-dry を 24 時間行った試料の質量を 1 として表した。

調湿剤はシャーベット状が保たれるよう新しいものに適宜交換した。ただし、乾燥過程の試料と、湿潤過程の試料とを同一の容器に入れた。また、試験開始 7 日までは湿度変化が比較的大きく、調湿剤の交換が間に合わなかった。このため、試験開始初期において、湿潤過程の試料が、乾燥過程の試料から逸散した水分を吸収した可能性がある。

3. 実験結果および考察

図-1 に乾燥過程の試料(D)、湿潤過程の試料(W)の質量比を示す。試験開始 35 日と 42 日を比較すると、R.H.が 59% 以下の範囲では、いずれの試料においても、質量変化がほ

表-1 供試体配合および総練返し時間

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)		総練返し時間 (h)
	W	C	
30	487	1622	0
45	587	1305	4
60	655	1091	9

キーワード 空隙構造 湿度 水分 逸散 吸着

連絡先 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 Tel 03-5452-6098

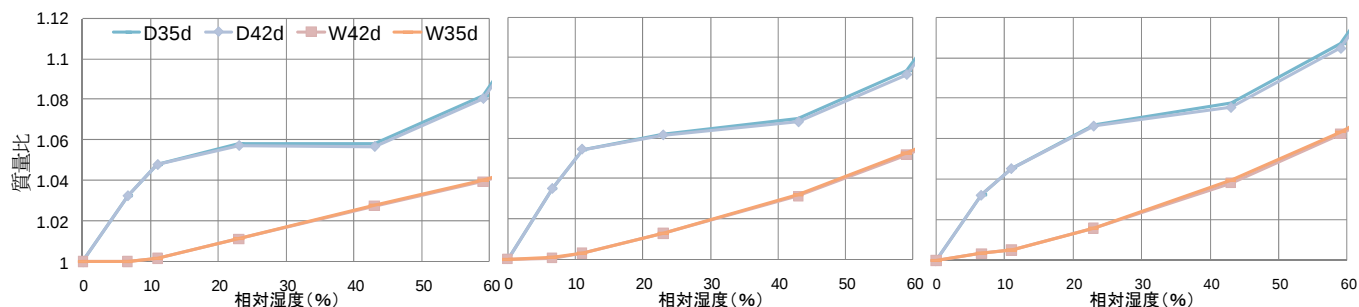


図-1 乾燥過程・湿潤過程の質量比(左より W/C=30,45,60)

とんど見られなかった。以下では、質量が定常に達しているとみなした R.H.が 59%以下の範囲に着目して考察する。なお、煮沸した試料の空隙構造は特徴的に緻密化する²⁾ので、煮沸した試料を用いた検討であることに留意されたい。

水分の逸散および吸着は、Kelvin 式および B.E.T 理論に従うと考えられる³⁾。これらの理論に従うと、R.H.とその R.H.下で気液界面が形成させる空隙径の対応関係は、R.H.6%で径 1.71nm, R.H.11%で径 2.11nm, R.H.23%で径 3.16nm となる⁴⁾。以下、R.H.と空隙径の対応関係は、同様に算出する。

W/C30%の試料をみると、乾燥過程では、R.H.が 23%と 43%において、いずれも質量比 1.057 の付近で質量が落ち着いているが、R.H.11%では 1.047, R.H.6%では 1.034 であり、低湿度下で質量減少が進行している。一方、湿潤過程での質量比は、R.H.が 23%のときに 1.010, 43%のときに 1.036 を示し、R.H.が上がるにしたがって吸湿量も緩やかに増加しているが、乾燥過程における質量比とは一致しない。このように、乾燥過程・湿潤過程共に、ほぼ平衡に達したと考えられる時点においても、両者の間で乖離が認められるのは、微細な空隙をボトルネックとする空隙構造が存在し、乾燥過程においてインクボトル空隙内の水分の逸散が抑制されているためと考えられる。R.H.23%に対応する空隙径は 3.16nm であるので、今回観察している挙動は、セメント化学においてゲル空隙と呼称されるレベルの微細空隙構造に起因するものであると考えられる。

W/C45%の試料では、R.H.43%のとき乾燥過程における質量比が 1.070, R.H.23%のとき 1.060, R.H.11%のとき 1.055 であるが、R.H.6%のとき 1.035 を示し、低湿度下で減少傾向が増している。一方、湿潤過程では、質量比は相対湿度の増加に従って緩やかに増加している。W/C30%のときと同様に、乾燥過程の質量比とは一致しないことが観察された。

W/C60%の試料では、R.H.43%のとき乾燥過程における質量比が 1.075, R.H.23%のとき 1.065, R.H.11%のとき 1.045 であるが、R.H.6%のとき 1.032 を示し、低湿度下で水分の

逸散が加速する傾向がうかがえる。他の W/C の試料と同様に、湿潤過程での質量比は、乾燥過程のものと一致していない。こうした点から、いずれの W/C でも、3.16nm 以下の径をボトルネックとするインクボトル空隙が存在している可能性が考えられる。

W/C が増加すると、湿潤過程・乾燥過程ともに、質量比が増加する傾向を示している。ただし、R.H.23%において、その差をとると、いずれも、質量比で 0.025 程度であり、インクボトル空隙内の水分量は、質量比でみた場合、W/C による違いが小さいのではないかと考えられる。

本実験は、42 日間での質量変化を計測して、定常状態と判定したが、ボトルネック径から水分が逸散するのに時間がかかっている「準定常状態」である可能性もある。この場合、質量が再び減少し始める可能性も否定できないため、質量変化を継続して観察する必要があると考えられる。

4. 結論

150~300 μm の粒径の粉体を用いて、水分逸散・吸着試験を行った。これにより、R.H.23%以下の範囲で水分逸散が加速することを確認した。また 42 日間では湿潤過程と乾燥過程の質量比が一致しなかった。このことから、3.16nm 以下の径をボトルネックとするインクボトル空隙が存在する可能性が示唆された。

参考文献

- 1) H.F.W.Taylor: Cement Chemistry, 2nd Edition, pp.245, 1997
- 2) 伊藤一聡ほか: 種主の養生温度下で形成されたセメント硬化体の空隙構造, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.24, No.1, 489-494, (2002)
- 3) 楠原千佳子ほか: セメント硬化体中に存在する液状水量の温度依存性と時間効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.1, 579-584, (2004)
- 4) Koichi Maekawa, R.P. Chaube, Toshiharu Kishi: Modeling of concrete Performance, E&FN Spon, 1999, pp.77