

吸湿によるセメント硬化体の空隙構造変化

東京大学生産技術研究所

正会員 ○鎌田 知久

東京大学

学生会員 影山 雄哉

東京大学生産技術研究所

フェロー会員

岸 利治

1. はじめに

酸素や液状水等の有害物質の移動経路となるコンクリートの空隙は、水和の進行とともに減少するものの、長期間にわたって乾燥を受けることで粗大化することが知られている¹⁾。本現象について未だ統一的な見解は得られていないが、C-S-Hの縮重合やマイクロクラックの発生等で説明されている²⁾³⁾。一方で、初期に乾燥を受けた場合においても、水分が液状水として再供給されることで、再度水和が進行し、空隙が緻密化することが確認されている⁴⁾。実環境では、雨水による水分の再供給が本条件に該当するが、雨水の影響を直接受けない箇所においても、水蒸気として水分が供給されることが想定される。雨水等、液状水として水分がコンクリート中へと浸透する場合、抵抗の小さい粗大な空隙から浸透していくが、水蒸気として水分が浸透する場合、凝縮理論に従って、微細な空隙から水分は凝縮していく。このため、吸水と吸湿では、空隙変化へ与える影響が大きく異なるのではないかと考えられる。

以上を踏まえて本研究では、事前に乾燥を与えたセメント硬化体に対して、異なる相対湿度環境下で水蒸気として水分を再供給した際の空隙構造変化を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

2. 1 試料概要

約40日間の封緘養生を与えたW/C=55%のセメントペーストと28日間の封緘養生を与えたW/C=55%, s/c=2.0(細骨材密度: 2.62g/cm³, 吸水率: 2.1%)のモルタルを5mm角程度に整形した試料(図-1)を用いた。セメントの種類は普通ポルトランドセメント(密度: 3.15g/cm³)である。

2. 1 試験概要

成形後の試料に対して、まず、温度40℃、相対湿度35%の恒温恒湿槽内で事前に5日間の乾燥を与え



図-1 5mm角に整形した試料

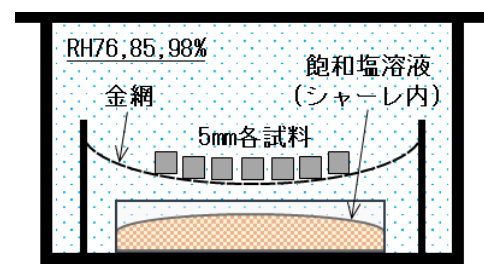


図-2 吸湿方法(実験セットアップ)

た。乾燥後に液状水もしくは水蒸気として水分を再供給した。液状水は、20℃の水中に試料を2日間浸せさせた。水蒸気に関しては、図-2に示すように、飽和塩溶液を用いて、相対湿度(以下、RH)を76%(塩化ナトリウム)、85%(塩化カリウム)、98%(硫酸カリウム)に設定した容器内で2日間吸湿させた。

各処理後は、試料を24時間以上アセトンに浸せさせ、D-dry法により24時間程度乾燥させてから、水銀圧入法により空隙構造を分析した。

3. 実験結果・考察

図-3にセメントペースト、図-4にモルタルの空隙構造分析の結果を示す。図-3のセメントペーストに関しては、養生直後の初期状態(Initial)、乾燥後(Dry)、液状水供給後(Water)およびRH85%(85%)吸湿後の結果を載せている。まず、InitialとDryを比較すると、乾燥により空隙構造が大幅に粗大化していることが分かる。これは、既往の研究¹⁾で報告されている現象と整合する結果である。次に、Waterと85%の結果を見ると、Dryと比べて累積空隙量が減少していることが分かる。乾燥により逸散した吸

キーワード 吸湿、水蒸気、空隙構造、水銀圧入法

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学生産技術研究所 Be406 TEL 03-5452-6098

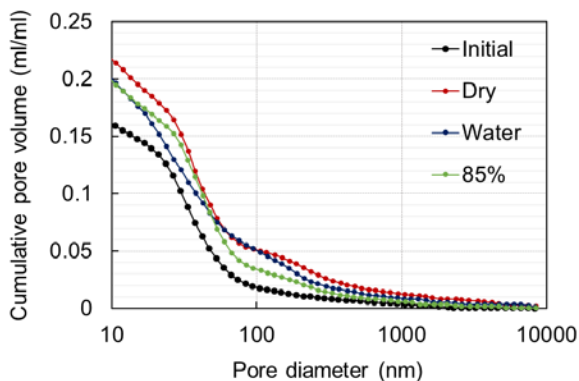


図-3 累積空隙量分布 (セメントペースト)

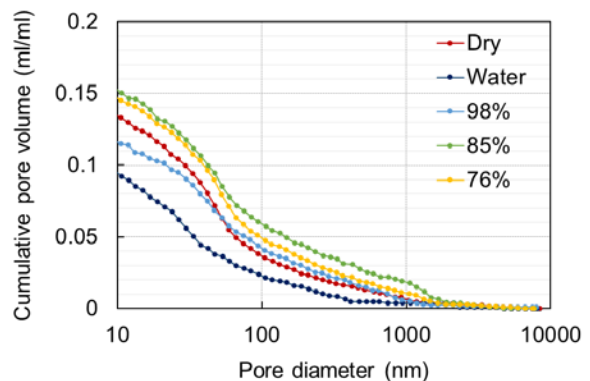


図-4 累積空隙量分布 (モルタル)

着水等が再度供給されたことにより空隙構造が回復したものと考えられる。ただし、Water, 85%共に、Initial までは回復していない。これは、乾燥によりマイクロクラック等、非回復の空隙が生じたことが原因ではないかと推察される。

図-4 のモルタルに関しては、乾燥後 (Dry)、液状水供給後 (Water) および RH76, 85, 98% (76%, 85%, 98%) 吸湿後の結果を載せている。Dry を基準に水分再供給後の結果に着目すると、まず、Water に関しては累積空隙量が大幅に減少していることが分かる。これは、上述したように吸着水等の再供給に起因していると考えられる。次に吸湿後の結果に着目すると、98%は累積空隙量が僅かに減少しているものの、76%と 85%に関しては、乾燥後よりも累積空隙量が増加していることを確認できる。液状水では空隙構造が再緻密化していたのに対して、水蒸気では粗大化していたことを踏まえると、1章で述べたような水分の浸透機構が異なること、さらに本現象がモルタルのみで確認されたことから、骨材の有無が要因になっているものと考えられる。水蒸気として空隙内に水分が浸透する場合、径の小さな空隙から水分は凝縮する。この際、微小空隙においてメニスカスが形成され、一時的に毛管張力が作用することで、乾燥収縮と似た現象が生じているのではないかと考えた。また、骨材間等局所的に収縮が拘束される領域においては、インクボトル空隙のネック部分の開口⁵⁾等により粗大化が生じているものと考えられる。

以上より、実環境のコンクリートにおいて雨水の影響を直接受けない箇所であっても、水蒸気レベルの水分が供給される個所では、本研究で確認された空隙構造変化が生じている可能性がある。ただし、

空隙の粗大化により物質浸透に対する抵抗性は低下するものの、雨水による液状水の浸透がない場合、鉄筋腐食は生じにくいと考えられる。今後は、水蒸気レベルの水分が鉄筋腐食に与える影響等、より実環境に近い状況を想定し、検討を行う予定である。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) セメントペースト、モルタル共に乾燥により空隙構造が大幅に粗大化した。
- (2) セメントペーストについては、液状水、水蒸気共に再供給後に乾燥後と比較して空隙構造が回復した。
- (3) モルタルについては、乾燥後と比較して、吸湿により空隙が粗大化する現象が確認された。毛管張力や骨材間の拘束が要因として考えられる。

参考文献

- 1) 青野義道ほか：乾燥および乾湿繰り返しによる硬化セメントペーストの微細構造変化，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.993-998，2007
- 2) 黒澤利仁ほか：C-S-H の構造変化に及ぼす外的要因の影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.65，No.1，pp.146-152，2011
- 3) 郭度連ほか：乾燥によるコンクリート組織の不均質化，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.711-716，2002
- 4) 伊代田岳史ほか：若材齢時における乾燥後の水分再供給による水和進行と細孔径分布の関係，生産研究，54 巻，6 号，pp.70-73，2002
- 5) 宮菌雅裕ほか：乾湿繰り返しがコンクリートの細孔構造と凍結融解抵抗性に及ぼす影響に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.787-792，2017