

モルタルの再吸水時にみられる膨潤挙動の顕微鏡観察手法に関する一考察

名古屋大学 正会員 ○五十嵐 豪
東京大学, 名古屋大学 正会員 丸山 一平

1. はじめに

鉄筋コンクリートは、海水などの水分を媒体とした塩化物イオンの浸透により鉄筋腐食を生じることが知られており、コンクリート中の水分移動メカニズムの理解は、鉄筋コンクリートの耐久性の予測、向上技術の開発に重要だと考えられる。このとき、コンクリート中の微細構造は、工学的には乾燥状態によらず不変であると考えられることが多いが、コンクリートを構成するカルシウムシリケート水和物に代表される含水鉱物は、環境条件によって、その構造中の水分量の変化とともに収縮や膨潤を生じ、微細構造は変化する。コンクリートが内・外環境の影響によって、乾燥収縮および乾燥収縮ひび割れを生じることが広く知られているが、乾燥の後に再び水分供給を受けた際の変形挙動については、乾燥によって収縮が生じることからも、湿潤によって膨潤が生じることが容易に想像がつくものの、コンクリートの水分移動性状に関する研究に比べて、あまり着目されてこなかったといえる。本検討では、セメント系材料が乾燥後に水分供給を受けた際の膨潤挙動に着目し、光学顕微鏡スケールでの観察手法の構築に取り組んだ。

2. 実験概要

試験体は、厚さ 3 mm×幅 13 mm×長さ 300 mm の樹脂と鋼を用いた型枠を用いて、モルタル薄肉片の作製を行った。試験体作製に用いたモルタルの配合とフレッシュ性状を表-1 に示す。材料には、上水、市販普通ポルトランドセメント、SO₃ 量調整のための試薬二水石膏、石灰石砕砂を用いた。練り混ぜには、ホバートミキサーを用いて、セメント、二水石膏、細骨材を空練りしたのち、水を加え 3 分間練り混ぜ、掻き落とし、2 分間練り混ぜた。30 分おきに練り返しを行い、5.5 時間後にブリーディングが収まるのを目視で確認してから、上記の型枠にフレッシュモルタルを上面に十分な余盛があるように打ち込んだ。30 分後に余盛をそぎ取り、ラップフィルムで覆い、封緘養生を行った。試験体は、4 日後に脱型し、その後は水中養生を行った。

吸水実験は、およそ 13mm 四方の薄肉片を用いた。水中養生を終えた時点の質量の測定、定温乾燥機を用いて 105 °C で 24 時間の乾燥後に質量を測定後、白色と黒色の鉱物粒子を用いて画像相関法のためのスペックルパターンを作製し、鉱物粒子による質量増分を測定した。

上述の試験体の吸水過程の質量測定および光学カメラ撮影をインターバルで行った。撮影には、USB カメラ (FLIR 社 Grasshopper3, モデル GS3-U3-51S5M-C) を取り付けた実体顕微鏡 (OLYMPUS 社 SZ61, 撮影レズ 0.5x) を用いた。解像度は、約 0.01 mm/px である。乾燥過程の計測直後から観察面側面からの一面自然吸水を行い、300s まで 1 秒、1800s まで 10 秒、6000s まで 1 分、その後は 10 分間隔で撮影を行った。画像相関解析¹⁾には VIC-2d (Correlated Solutions, Inc., ver.6) を用いた。

表-1 モルタルの配合 (kg/m³) とフレッシュ性状

水セメント比	水	セメント	細骨材	練り上がり 温度 (%)	スランプフ ロー (cm)	空気量 (%)
0.55	284	516	1234	18.0	28.0	5.5

キーワード 顕微鏡観察, 画像相関法, 水分移動, モルタル, メソスケール, 吸水膨潤
連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町
東海国立大学機構 名古屋大学 大学院環境学研究科

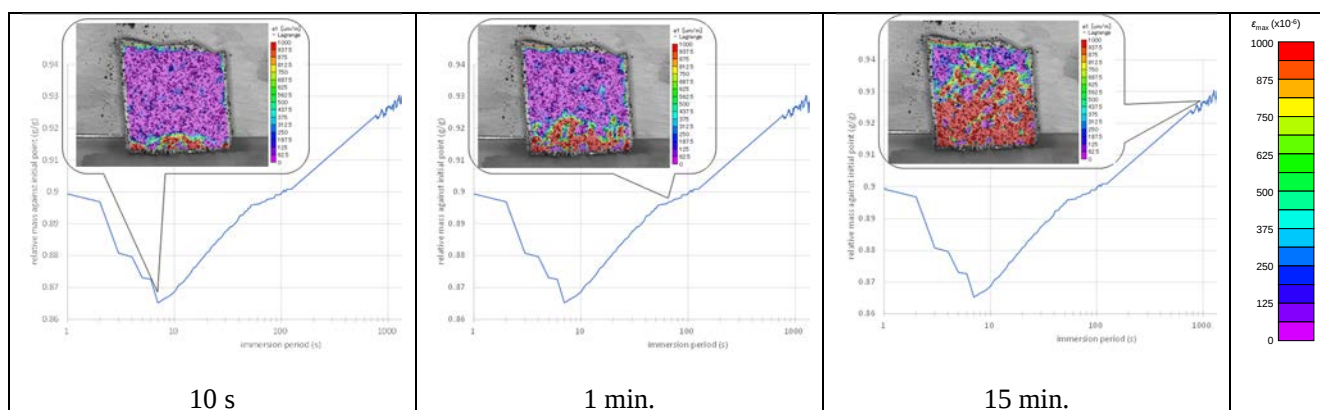


図-1 再吸水に伴う最大主ひずみ分布の変化

3. 実験結果および考察

画像相関法による吸水過程における強制乾燥状態を基準としたときの最大主ひずみの分布を図-1 に示す。図-1 は、便宜上、 $0 \sim 1000 (\times 10^{-6})$ のカラーコンターで示しているが、セメントペーストの吸水膨潤に伴って、収縮する界面部もあれば、 $1000 (\times 10^{-6})$ を超える膨潤挙動を示す位置も存在する。なお、画像相関法におけるひずみの値は、撮影における解像度と解析におけるサブセットに依存した局所的なひずみであるため、いわゆる乾燥収縮試験におけるコンクリートプリズムの示すマクロな変形量とは直接比較できず、むしろ、微視的撮像であればあるほど、単位結晶の変形量の値に近づくと考えられる。吸水面は、紙面下部の側面であり、併せて示すグラフが質量変化を示しているが、経時的な吸水に伴って吸水位置から徐々に膨潤している様子が確認できる。また、 $1000 (\times 10^{-6})$ 以上の膨潤挙動を示すマトリクスに囲まれて、直径 2mm 程度のまったく膨潤していない箇所も確認できるが、これは、細骨材の存在位置を示していると考えられる。画像相関法を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみの分布はすでに報告しているが²⁾、再吸水時のモルタルの光学顕微鏡スケールでもセメント系材料の乾湿に伴う変形挙動が観測された。なお、セメント系材料は、Washburn 式に代表される多孔体中の水分移動における時間の平方根に水分吸水量ならびに吸水フロントの変化が比例する関係が、時間の経過に従ってバイリニアを示すことが知られているが、本報告においては、紙面の制約上、考察は省略する。

4. まとめ

本検討では、画像相関法を用いたセメント系材料の強制乾燥状態を起点としたときの再吸水時に伴う光学顕微鏡スケールでの最大主ひずみ分布の観察手法の確立を行った。今後の展望としては、構成材料条件や外部環境条件などをパラメータとした系での観察を行い、セメント系材料の水分移動メカニズムについて理解を深める予定である。

参考文献

- 1) Chu, T. C., Ranson, W. F. and Sutton, M. A.: Applications of digital-image-correlation techniques to experimental mechanics, *Experimental Mechanics*, Vol. 25, No. 3, pp. 232-244, 1985.
- 2) Maruyama, I. and Sasano, H.: Strain and crack distribution in concrete during drying, *Materials and Structures*, Vol. 47, No. 3, pp. 517-532, 2014.

謝辞

本検討の一部は、文部科学省英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 JPJA20P20333545 の助成を受けた。また、本検討の一部は、吉田研究奨励賞を授与された。ここに記して、深甚なる謝意を示します。