

中性子イメージングによる非破壊水分浸透速度係数試験

理化学研究所 正会員 ○水田真紀, 理化学研究所 非会員 高梨宇宙, 大竹淑恵
 東京都立大学 正会員 上野 敦, 電力中央研究所 正会員 蔵重 勲
 鉄道総合技術研究所 正会員 上田 洋, 金沢大学 正会員 久保善司

1. 目的

2018 年にコンクリート標準示方書【設計編】の鋼材の腐食に対する耐久性照査で水分浸透を考慮するようになり, これに合わせてコンクリートの水分浸透速度係数試験方法 (JSCE-G 582) が示された. 水分浸透速度係数は, 2022 年制定の同示方書【維持管理編】における鋼材腐食の進行予測でも活用例が示され, 同係数の維持管理への活用が望まれるが, 9 個の円柱サンプル ($\phi 100 \times 200$ mm) が必要であり, 現行のままの適用は難しいと考えられる. 本報では, コンクリート中の水分浸透挙動の把握に対して, 非破壊試験である中性子イメージングの適用性を検討した結果を報告する. なお, 中性子イメージングは, 透過力が高く, 水素に強く散乱される中性子の性質を利用した方法であり, 水分の多寡が陰影の濃淡に表れた画像が得られる手法である.

2. 実験方法

理研小型中性子源システム RANS で行った実験セットアップを図-1 に示す. 中性子源から発生される中性子ビームをサンプルに照射し, 後方の検出器 (中性子イメージインテンシファイア, イメージセンサ: 冷却型 CCD カメラ, 視野: 180×120 mm) に到達した熱中性子をデジタル画像として取得する. 撮影時間は 5 分である. サンプルは, 実構造から採取可能な円柱とし, コンクリート ($\phi 100 \times 270$ mm, ASR 劣化した実橋梁から採取, 約 6 年間室内保管, 目視できるひび割れなし) を使用した.

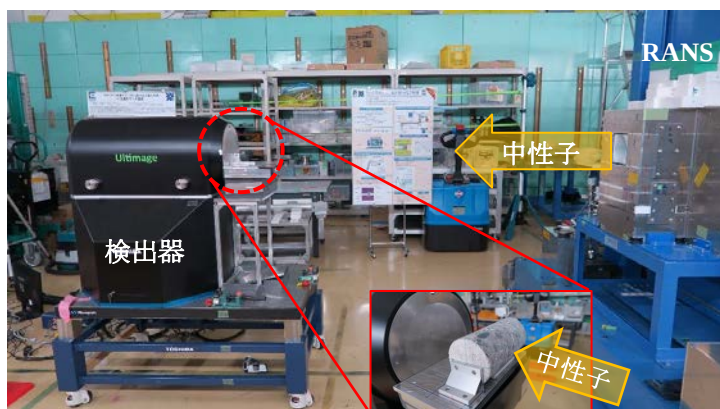


図-1 実験セットアップ

サンプル表面に被覆を施さない状態で, $\phi 100$ mm 面から一方向に水分を浸透させた. 中性子イメージングでは, 断面方向に中性子を照射し, 吸水試験前, 4 時間吸水 (吸水量 22g) および 22 時間吸水 (吸水量 49g) 後にダーク (ビーム照射なし, サンプルなし), ダイレクト (ビーム照射あり, サンプルなし), サンプル (ビーム照射あり, サンプルあり) の 3 画像を撮影した. ダーク画像はイメージセンサの暗電流の補正, ダイレクト画像は中性子の強度分布を平坦化するために使用し, 各サンプル画像に対して, これらの処理を行った. さらに, 吸水後の画像と吸水前の画像の差分を取り, 吸水した水分のみの画像を取得した.

3. 実験結果および考察

円柱の断面方向の透過画像は, サンプル厚さとサンプルから検出面までの距離が断面方向に変化した条件下の結果となる. 中性子イメージングにおいて, このような幾何学的条件の変化は, サンプルの特定の箇所を通る中性子と, サンプル全体から散乱される中性子のバランスを変え, 両者の分離を困難にする. そこで, サンプル形状の影響に着目し, 断面方向 2 ヶ所 (円柱軸付近と円周面付近) の軸方向の輝度を比較した.

図-2 に吸水試験前と 4 時間吸水後の輝度を示す. ここで, 距離 0 は吸水面, 輝度は幅 18mm (400pixel, 1pixel は 0.45mm) の平均である. 輝度は高いほど, 検出面により多くの中性子が到達したことを表し, サンプルに水素が多いと検出面に届く中性子が減るため, 輝度は低くなる. まず, 吸水前の軸, 周面付近の輝度分布を見

キーワード 中性子, 中性子イメージング, 散乱中性子, 水分浸透速度係数

連絡先 〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1 理化学研究所 中性子ビーム技術開発チーム TEL 048-467-9647

ると、ともに吸水面で最も高く、1000pixel (45mm) 辺りまで徐々に低下した。これは、サンプルから散乱される中性子の影響が、連続した部分と端部（吸水面）では異なることを表している。本研究のように端部からの水分浸透に着目する場合、散乱中性子の影響が大きい範囲の変化を捉えることになるため、今後、散乱中性子を除去あるいは軽減させる方法について、検討する必要がある。

次に、軸付近と周面付近の吸水前の輝度分布の形状を比べると、両者は良く似た傾向を示したが、周面付近の距離 1000pixel 以上で、輝度がばらつく様子が見られた。これは、円柱サンプルでは、軸付近と周面付近の中性子透過距離が異なり、水素の検出感度に差が生じたためと考えられる。その結果、透過距離の小さい周辺付近の方が骨材の存在をより反映したと推測される。

吸水前と吸水後の輝度分布を比較すると、軸付近、周面付近のいずれの場合も、距離=0 から 1000pixel 辺りまでの輝度は吸水前より吸水後の方が低下した。水分浸透により吸水面近くの水素量が増加したことで、透過する中性子が減少したことがわかる。

吸水前後の画像の差分として得た画像の輝度（図-2 同様、幅 18mm の平均）の時間変化を図-3、水分のみの画像を図-4 に示す。図-4 の画像は、水素が多く存在するほど、陰影が濃くなる。また、吸水前後の輝度に変化がない場合、図-3 の縦軸の値（以下、輝度差と称する）は 1 となり、水素量が増えると 1 より小さくなる。吸水量が増加するほど、輝度差が 1 以下になる範囲が広がり、水分が内部に浸透している様子が捉えられている。これは、円柱サンプルでも、吸水前後の差分から浸透深さを判断できることを示唆しており、例えば、図-3 の変化点（図中の矢印）を浸透深さと考え、水分浸透速度係数は軸付近で $10.0 \text{ mm}/\sqrt{\text{hr}}$ 、周面付近で $13.4 \text{ mm}/\sqrt{\text{hr}}$ となった。しかし、輝度差が 1 以下になる範囲が、軸と周面付近で異なり、この傾向が現実を捉えているのか、あるいはサンプル形状を反映しているのか、さらに検討する必要がある。

4. まとめ

円柱コンクリートの水分浸透試験において、中性子イメージングを適用できる可能性が示された。1 サンプルに対し非破壊で水分浸透速度係数が得られれば、既設構造物の維持管理上、大きなメリットになる。今後、結果に及ぼすサンプル形状や端部の影響、散乱中性子の影響を除去・軽減させる方法についてさらに検討し、中性子イメージングによる非破壊水分浸透速度係数試験を確立したい。

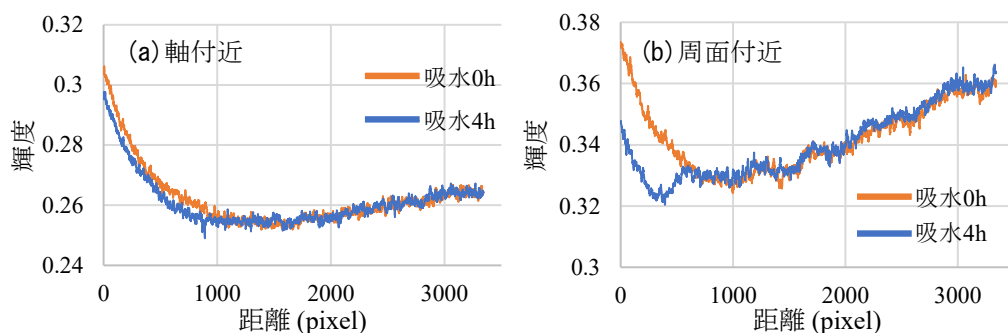


図-2 吸水前後の輝度の比較

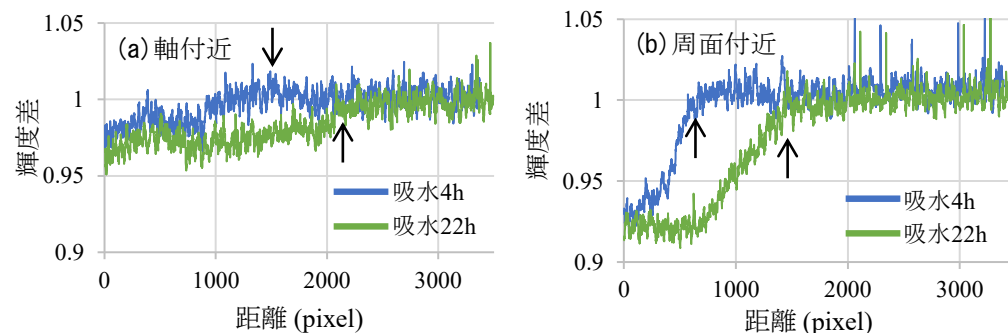


図-3 吸水による輝度差の変化

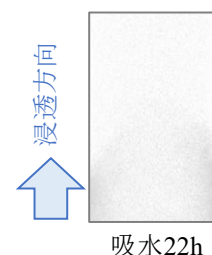
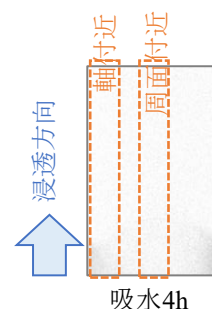


図-4 水分の透過画像