

継続的な流水作用を受けるモルタル中の液状水浸透特性

鳥取大学大学院	学生会員	○原田	遼河
鳥取大学大学院	正会員	金氏	裕也
鳥取大学大学院	正会員	黒田	保
鳥取大学	正会員	畑岡	寛

1. はじめに

コンクリート構造物の中性化に伴う鉄筋腐食は液状水の供給によって進行すると考えられている。土木学会コンクリート標準示方書では、中性化深さに関する照査に加え、中性化と液状水の浸透に伴う鋼材腐食に対する照査が規定され、液状水浸透による影響を考慮している。このことから、中性化によるコンクリートの劣化現象を適切に評価するために、液状水の浸透特性を明らかにする必要がある。

本研究では、コンクリートのモルタル硬化体中を浸透する液状水に着目し、モルタル表面への液状水の接触条件がモルタルの液状水浸透特性に与える影響を浸透実験により検討した。

2. 研究背景

実環境においてコンクリート構造物への外部からの液状水の作用は主に降雨による雨水であり、降雨による液状水の作用は断続的(数時間～数日間隔)に生じる。しかし、既往研究の多くはコンクリートまたはモルタル供試体の一部を設定された期間内で常に静水に浸漬させている。また、コンクリート構造物の側面に降雨が作用する場合、コンクリート表面に雨水が付着した後、重力作用に従って雨水は表面を移動しながらコンクリート中に吸収される。降雨による断続的な液状水の作用と、コンクリート表面の液状水の移動(以下、流水作用)を伴うコンクリート中への吸水現象がコンクリート内部の液状水浸透挙動に影響を与える可能性がある。そこで本研究では、まず流水作用がモルタル中の液状水浸透特性に与える影響を把握することを目的とした。

3. 実験概要

3.1 供試体概要

液状水浸透実験には $\Phi 100 \times 200 \text{ mm}$ のモルタル円柱供試体を使用した。水セメント比は 0.65、空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ とした。打設後の型枠養生を 1 日、脱型後の水中養生を 27 日間行い、養生期間終了後、型枠に用いた剥離剤の影響を除去するために打設底面から 17.5 mm 部分を切断除去した。その後、供試体を炉乾燥(乾燥温度 105°C)し、24 時間の質量変化が 0.1% 以下となる状態(絶乾状態)とした。乾燥後、供試体温度を下げるため、供試体を室温 20°C の恒温室内に 1 日静置した。その後、浸透面以外からの液状水の浸透および、空気中の水分吸収を防ぐため、防水性被覆材(エポキシ系樹脂)を浸透面以外の面および側面に塗布し、被覆した。

3.2 実験方法

浸透実験は、室温 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の恒温室内で行い、浸透期間は 1 日、3 日、7 日とした。また、液状水には水道水を使用した。供試体表面への液状水の接触条件がモルタル中の液状水浸透挙動に与える影響を検討する。そこで、静止状態の液面を供試体浸透面に接触させる条件(鉛直浸漬)と流水作用を伴う液面を供試体浸透面に接触させる条件(流水浸透)を設定した。以下にそれぞれの条件の実験方法を示す。

(1) 鉛直浸漬

「短期の水掛かりを受けるコンクリート中の水分浸透速度係数試験方法(案)(JSCE-G 582-2018)」に準じて行い、浸透面から 10mm 程度の高さまで静水に浸漬させた。図 1 は浸透実験(鉛直浸漬)の概略図である。

キーワード 液状水浸透特性 液面接触条件 流水作用

連絡先 〒680-8522 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学大学院 持続性社会創生科学研究科 工学専攻

TEL 0857-31-5281

(2)流水浸透

厚さ 2mm のアクリル板を削孔し(削孔径 $\Phi 100\text{mm}$ 程度), 供試体の浸透面位置にアクリル板削孔部を取り付ける. 浸透面とアクリル板との接合部が平滑になるように供試体側面との隙間にはシリコンを注入し固定した. 浸透面上部のアクリル板に液状水を放水することで, 浸透面全体に流水作用を伴う液状水を接触させた. 図 2 のような実験装置により一定流量の液状水を浸透面に作用させる.

3.3 測定方法

所定の浸透期間後, コンクリートの割裂引張強度試験方法(JIS A 1113:2018)を適用して供試体を割裂する. 割裂により得られた 2 つの試験体を以下の 2 種類の方法により浸透距離の測定を行った.

(1)水分浸透距離

「短期の水掛かりを受けるコンクリート中の水分浸透速度係数試験方法(案)(JSCE-G 582-2018)」の水分浸透深さの測定方法を適用した. 供試体割裂面に液体漏れ試験発色現像剤(以下, 水分検知剤)を噴霧することにより, 液状水の浸透距離を測定した.

(2)質量飽和度

モルタルの質量飽和度 $S_r[\%]$ を定義し, 以下の手順により算出した. ①割裂した供試体を浸透面から厚さ 17.5 mm ごとに切断し, 試験片の質量 $m_a[\text{g}]$ を測定する. ②測定後, 試験片を炉乾燥(乾燥温度 105°C)により絶乾状態とし, 絶乾状態の試験片の質量 $m_d[\text{g}]$ を測定する. ③測定後, 試験片を吸水させ, 飽和状態の試験片の質量 $m_s[\text{g}]$ を測定する. ④式(1)を用いて, 各試験片の質量飽和度 $S_r[\%]$ を算出する.

$$S_r = \frac{m_a - m_d}{m_s - m_d} \times 100 \quad (1)$$

4. 結果と考察

鉛直浸漬の実験結果を図 3, 流水浸透の実験結果を図 4 に示す. 質量飽和度の測定結果を実線, 水分浸透距離の測定結果を破線で示した. 図 3, 図 4 の質量飽和度の分布において, 質量飽和度が急激に低下する位置が浸透フロントであると考えられる. 質量飽和度が急激に減少する位置と水分浸透距離の測定結果は概ね一致し, 水分検知剤により簡易的に浸透距離を測定できることを確認した. また, 水分検知剤では質量飽和度約 20%以下の低含水範囲は水分を検知できないことを確認した. 鉄筋コンクリート構造物内の鋼材腐食の進展はコンクリートの水分量(飽和度)に関係があると考えられるため, コンクリート内の飽和度分布を調査することは重要であると考えられる.

図 3, 図 4 を比較して, 水分浸透距離の差は最大で 5mm 程度であり, 質量飽和度の分布も概ね一致した. したがって, 液状水の接触条件の変化がモルタル中の液状水浸透挙動に与える影響は非常に小さいと考えられる. 鉛直浸漬と流水浸透の条件の差異として, 液状水の浸透方向, 浸透面への液状水の接触条件が考えられる.

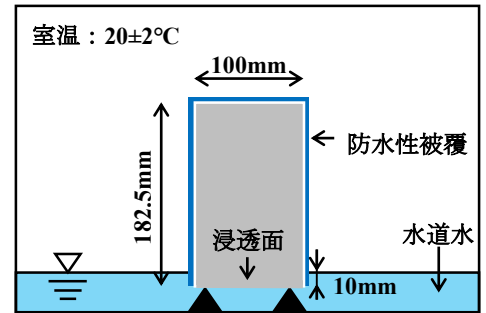


図 1 鉛直浸漬概略図



図 2 実験装置

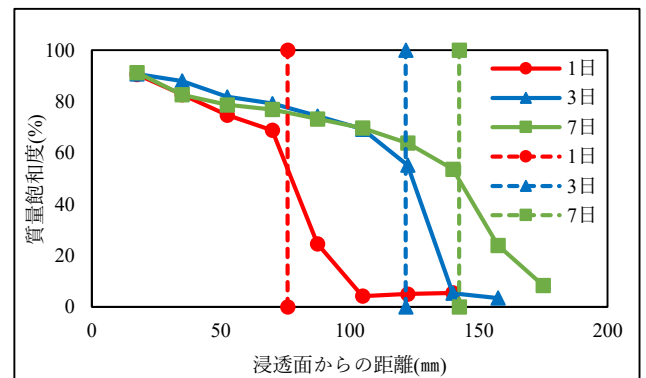


図 3 鉛直浸漬の実験結果

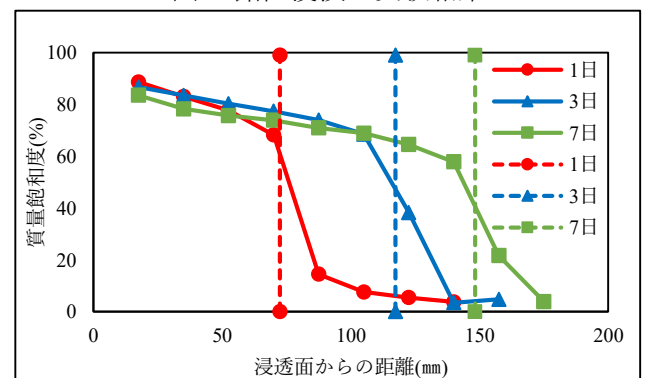


図 4 流水浸透の実験結果

まず、浸透方向の差異の影響について考察する。モルタル内に侵入した液状水に着目すると、浸透方向に伴い重力の影響が変化すると考えられる。しかし、微小空隙内に浸透した液状水の質量は微小であり、作用する重力の影響は非常に小さいため、毛細管空隙内の液状水流れにおいて粘性摩擦の影響が支配的であると考えられる。したがって、浸透方向による重力の影響は無視できるほど小さいと考えられる。

次に、流れを伴う液状水の接触が浸透挙動に与える影響について考察する。鉛直浸漬では、静止状態の液面に供試体浸透面が接触して供試体中の液状水浸透が生じ、流水浸透では移動する液面が供試体浸透面に接触して供試体中の液状水浸透が生じる。したがって、流水浸透において、供試体浸透面上の液面は流れを伴うため、供試体浸透面の空隙入口から内部へ流入する速度が大きくなり、それに伴い水分浸透距離は鉛直浸漬と比較して大きくなると考えられる。しかし、液状水の流れの有無が浸透挙動に与える影響は確認されなかった。これは、微細な毛細管空隙内において、液状水浸透の駆動力である毛管力が卓越するため、空隙入口部の流入による影響は相対的に小さくなったと考えられる。したがって、流れを伴う液面の接触の有無が、供試体中の液状水浸透に与える影響は非常に小さいと考えられる。

図5に示すように、コンクリート中の空隙を1本の毛細管と仮定し、液状水の接触が継続的な場合と断続的な場合で空隙中の液状水浸透の時間変化を考察した。図5より、断続的な水の作用を受けたコンクリート中の液状水浸透速度は、継続的な水の作用を受けた場合よりも小さくなると考えられる。浸透面に液面が接触している状態では毛管力が駆動力として液

状水が浸透するが、液面の接触がない状態では空隙中の液状水の前面と後面にメニスカス形成されるため、液状水が前進する方向の毛管力は低下する。そのため、断続的な水の作用下では、毛細管現象による浸透が制限され、浸透速度が低下すると考えられる。今後は断続的な水の作用を受けるコンクリートの液状水浸透特性を実験的に把握する必要がある。

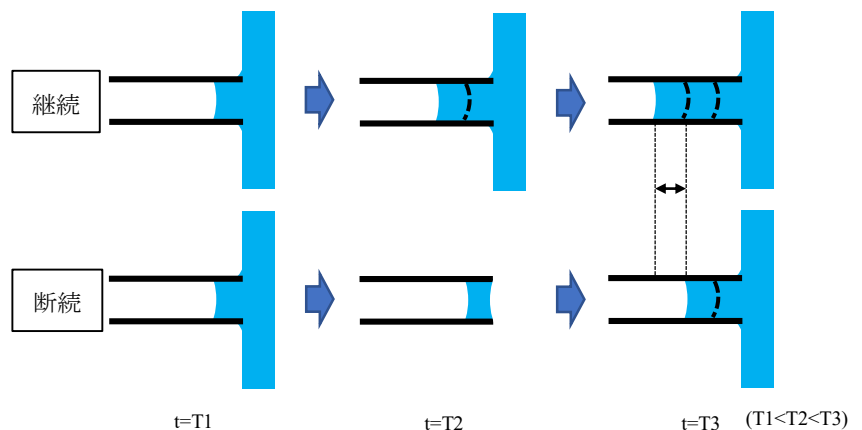


図5 継続的または断続的な水の作用による浸透挙動の模式図

5. まとめ

本研究では、モルタル浸透面への液状水接触条件の差異がモルタル中の液状水浸透特性に与える影響を実験的に検討し以下の結論を得た。

静止状態の液面を供試体浸透面に接触させる条件(鉛直浸漬)と流水作用を伴う液面を供試体浸透面に接触させる条件(流水浸透)を比較した結果、同様の浸透挙動を示すことを確認した。これは、微細な毛細管空隙内において、液状水浸透の駆動力である毛管力が卓越し、空隙入口部の流入による影響は相対的に小さくなったためと考えられる。したがって、浸透面への液状水の接触条件が供試体中の液状水浸透に与える影響は非常に小さいと考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会 コンクリート委員会:2017年制定コンクリート標準示方書 改訂資料-設計編・施工編-, pp.53-66, 2018年