

モルタル内部の水分移動に与える水セメント比および乾燥状態の影響

鳥取大学大学院 学生会員 ○後藤 智和 鳥取大学大学院 正会員 黒田 保
鳥取大学大学院 正会員 吉野 公 鳥取大学大学院 正会員 金氏 裕也

1. はじめに

コンクリート構造物の中性化による鋼材腐食は液状水が起因となると考えられている。また、土木学会コンクリート標準示方書[設計編]の改訂では、降雨等によって水がコンクリート内部に浸透し、それによる鋼材腐食の進展を考慮に入れた中性化による鋼材腐食の検討手法が導入された¹⁾。そのため、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ことが必要である。

本検討では液状水浸漬試験を行い、モルタルの乾燥程度（以下、乾燥状態）および水セメント比の変化がコンクリートを構成するモルタル中の液状水浸透特性に与える影響を検討した。

2. 液状水浸漬実験

(1) 試験条件

乾燥状態は図1のように「絶乾状態」および、乾燥状態と飽和状態の割合が約1:1である状態を「半乾燥状態」と定義し、絶乾状態および半乾燥状態の2ケースを用意した。用いる供試体の水セメント比は0.45、0.65の2ケースを用意し、浸漬期間は1日、3日、7日とした。

(2) 試験概要

モルタルの示方配合は表1の通りであり、供試体には Φ 100×200mmの円柱供試体を使用した。供試体は打設後の型枠養生を1日、脱型後の水中養生を27日間行った後、100℃に設定した乾燥炉内にて前日との質量差が0.1%以下になるまで乾燥させた。乾燥後、供試体温度を下げるため、室温20℃の恒温槽で気中乾燥を1日行った。気中乾燥後、浸漬実験の際に浸透面以外からの液状水の浸透を防ぐため、防水性被覆材（エポキシ系樹脂）を用いてモルタルの側面および浸透面以外の面を被覆した。浸漬実験は、室温20℃の恒温槽で行った。供試体の打設時の底面から液状水を1日、3日、7日間浸透させた。図2は浸漬状況の概略図である。浸漬実験では、供試体の底面から10mm程度の高さまで液状水に浸漬させた。

(3) 飽和度の算出

モルタル中の液状水の浸透を確認するため、以下の手順で飽和度 S_r [%]を算出した。①液状水浸透実験直後のモルタルを浸透面から厚さ15mmごとに切断する。②試験片を切断するごとに、試験片の質量 m_a [g]を測定する。③測定後、試験片を100℃に設定した乾燥炉で前日との質量差が0.1%以下になるまで乾燥させる。乾燥後、絶乾状態の試験片の質量 m_d [g]を測定する。

表1 モルタルの示方配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)		
		W	C	S
45	42	271	602	1236
65	46	268	412	1408

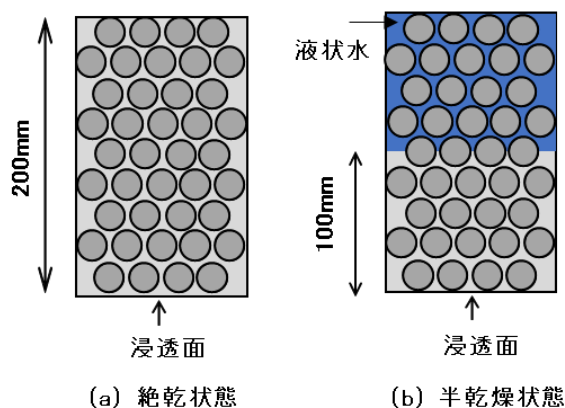


図1 供試体の乾燥状態

キーワード 液状水浸透, 乾燥状態, 浸漬試験

連絡先 〒680-8552 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

④測定後、試験片を吸水させた飽和状態の試験片の質量 m_s [g] を測定する。⑤式(1)を用いて、飽和度 S_r [%] を算出する。また、半乾燥状態の初期飽和度についても同様の方法により算出した。

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

3. 結果と考察

モルタルの絶乾状態、半乾燥状態の浸漬実験後の飽和度の測定結果を図3、図4に示す。半乾燥状態での浸漬実験を行った図4において、0日浸漬とは半乾燥状態の供試体を作製した後、浸漬実験を行うことなく飽和度を測定したデータである。また、飽和度が急激に減少する浸透面からの距離が液状水の浸透距離と仮定する。

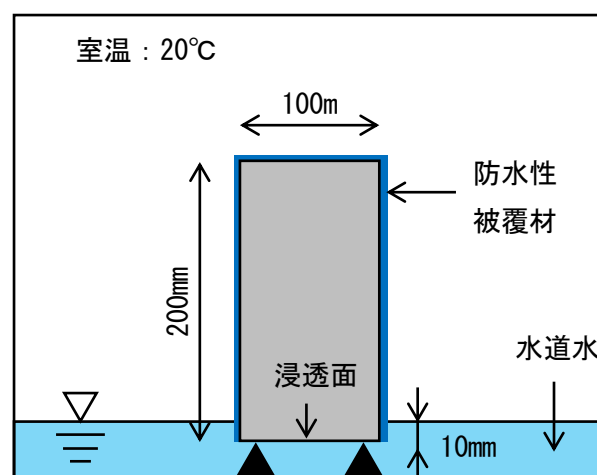
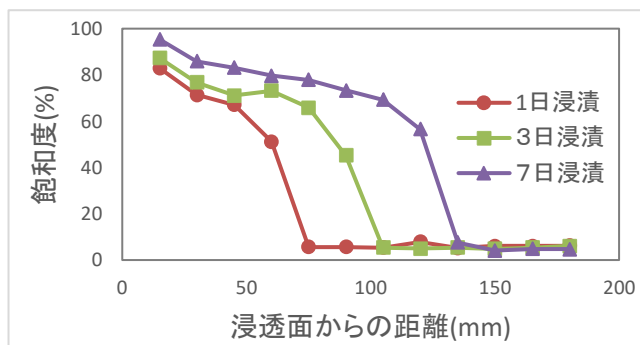


図2 浸漬状況概略図

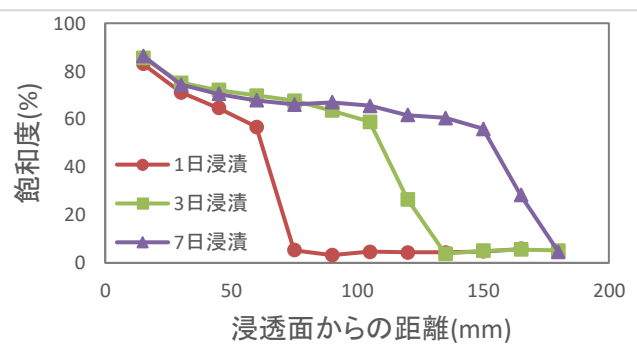
図3は絶乾状態のモルタルを用いた浸漬実験で測定された飽和度を示したものである。(a)がW/C=0.45であり、(b)がW/C=0.65である。図より1日浸漬を比較すると、水セメント比0.45で浸透距離は45mmであるが、水セメント比0.65での浸透距離は60mmであることが確認できる。水セメント比による違いが浸透距離に影響を与えることを確認できたが、これは水セメント比が小さい程、モルタル中の空隙構造は緻密になることが原因であると考えられる。モルタル中の微細空隙を1本の毛細管とし、空隙構造を亀甲状に広がる毛細管であると仮定すると、水セメント比0.65のモルタルは水セメント比0.45のモルタルに比べ、空隙構造が緻密であり、微細空隙径も小さくなるため、毛細管における管内半径が小さくなり、液状水が浸透しづらくなった結果、浸透距離が短くなったと考えられる。また、3日浸漬、7日浸漬も同様に液状水の浸透距離を比較する。3日浸漬では水セメント比0.45のモルタルで75mm、水セメント比0.65のモルタルで105mmであり、7日浸漬では水セメント比0.45のモルタルで105mm、水セメント比0.65のモルタルで150mmであることが確認できた。水セメント比の違いによる液状水の浸透距離の差は1日浸漬、3日浸漬、7日浸漬でそれぞれ15mm、30mm、45mmと差が大きくなった。絶乾状態では浸漬期間が長い程、水セメント比による液状水の浸透挙動に与える影響が大きくなることが確認できた。

図4は半乾燥状態のモルタルを用いた浸漬実験から得られた飽和度であり(a)がW/C=0.45、(b)がW/C=0.65である。半乾燥状態での1日浸漬では水セメント比0.45と0.65を比較しても浸透距離の差は確認できなかった。これは1日浸漬では浸透期間が短く、水セメント比の違いによる影響が小さかったためと考えられる。また、水セメント比に因らず3日浸漬、7日浸漬では浸透させた液状水が内在水に達しているため、半乾燥状態の供試体での水セメント比の違いが液状水の浸透挙動に与える影響については考察できなかった。これについては、供試体の寸法を工夫して今後検討したいと考えている。

次に図3および図4を用いてモルタルの空隙構造内に液状水が存在することが液状水の浸透挙動に与える影響を考察する。図3(a)と図4(a)より1日浸漬の飽和度に着目すると、液状水の浸透距離は乾燥程度に因らず45mmの位置であった。しかし、浸透面からの距離が60mmの飽和度を比較すると絶乾状態は約51%、半乾燥状態は約31%であり、絶乾状態よりも半乾燥状態の方が液状水の浸透が抑制されていることを確認できた。また、図3(b)と図4(b)より、絶乾状態の液状水の浸透距離は60mmであったが、半乾燥状態では45mmであることが確認できた。したがって、水セメント比の差に因らず半乾燥状態のモルタルは絶乾状態のモルタルと比較して、液状水が浸透しにくいと考えられる。これは、モルタルの空隙内に液状水が存在する場合、不連続空隙部が生じ、空隙内の気体の排出が制限されることにより、浸透面からの液状水の浸透が抑制されたためと考えられる。

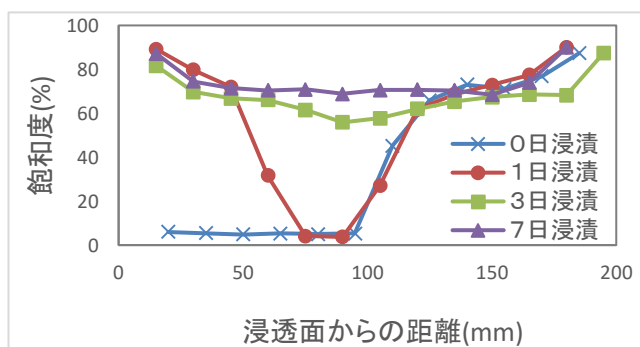


(a) 絶乾状態 W/C=0.45

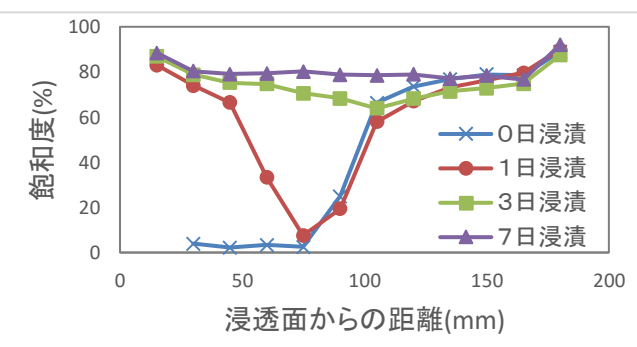


(b) 絶乾状態 W/C=0.65

図3 飽和度の測定結果（絶乾状態）



(a) 半乾燥状態 W/C=0.45



(b) 半乾燥状態 W/C=0.65

図4 飽和度の測定結果（半乾燥状態）

本検討の実験方法による飽和度の測定では、浸透面から順次飽和度が100%となりながら液状水が浸透していくと想定していたが、図3、図4より飽和度は最も高い値を示す浸透面でも80%程度であった。また、飽和度は液状水が内部に浸透するにつれ、直線勾配を有しながら低下した。飽和度が最も高い値でも100%にならず80%程度であった原因はモルタルのような多孔質体には図5に示すような水分特性があるためだと考えられる。図5のぬれる流体の飽和度とは本研究の飽和度と同じものであり、毛管圧とは液状水が乾燥状態の多孔質体空隙中を移動する駆動力である。図5に示した水分特性は、飽和状態の多孔質体を脱水後、吸水させた場合、完全には元の飽和状態には戻らないことを表している³⁾。また、飽和度は直線勾配を有しながら低下したが、これは図6に示すようにモルタル表層から内部に液状水が浸透するにつれ、不連続空隙が生じることにより、液状水浸透量の減少に伴い飽和度も低下したためだと考えられる。

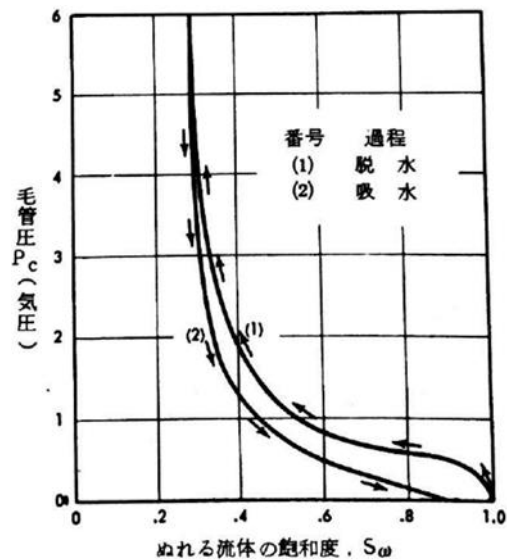


図5 水分特性曲線概念図³⁾

4. まとめ

本検討では、モルタルの水セメント比、乾燥程度の違い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。

(1) 水セメント比の違いにより液状水の浸透深さに影響を与えることが確認できた。水セメント比が小さい程、空隙構造が緻密になり、微細空隙経も小さくなるため液状水が浸透しづらく、浸透距離が短くなったと考えられる。

(2) 半乾燥状態のモルタルは絶乾状態のモルタルと比較して液状水の

浸透が抑制されることを確認した。これは、モルタルの空隙内に液状水が存在する場合、不連続空隙部が生じ、空隙内の気体の排出が制限されることにより、浸透面からの液状水の浸透が抑制されたと考えられる。

(3) 飽和度は最も高くても 80%の値を示したが、これはモルタルの飽和度が多孔質体の水分特性により完全には元の飽和状態である 100%には戻らないためだと考えられる。また、モルタル表層から内部に進むにつれ、不連続空隙が生じることによる液状水浸透量の減少の影響により、飽和度は勾配を有しながら低下すると考えられる。

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, pp53-66, 2017 年
- 2) 木村都, 村田久一, 辻和男：応用推計学, 廣川書店, pp. 52-53, 1987 年
- 3) R. E. コリンズ：浸透理論 多孔質体中の流体の運動, 畑地農業振興会, pp. 27-28, 1974

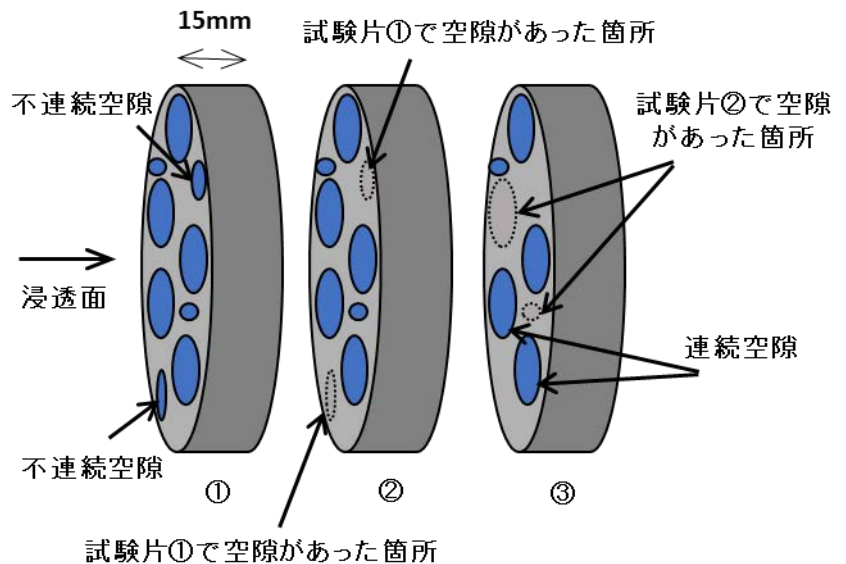


図 6 不連続空隙による液状水浸透量の減少