

## 水和イオン半径が吸水初期にモルタルの水分浸透抑制に与える影響

東京理科大学大学院 正会員 ○金子 泰明 東京理科大学 正会員 加藤 佳孝  
東京理科大学 正会員 江口 康平

## 1. はじめに

海水の作用を受けるコンクリート中への塩化物イオンの浸透現象には、水分浸透に伴う移流、濃度勾配により浸透する濃度拡散がある。移流に関する既往の検討は蒸留水や塩化ナトリウム水溶液を用いたものが多く、海水中に存在する  $\text{SO}_4^{2-}$  や  $\text{Mg}^{2+}$  などが存在する場合の水分やイオンの移動に関する検討は殆どなされていない。直町ら<sup>1)</sup>は、蒸留水、NaCl、人工海水を用いてモルタルで吸水試験を実施し、蒸留水、NaCl 溶液に比べて人工海水ではモルタル中への水分浸透は抑制されることを報告している。しかし、水分浸透の抑制に影響するイオン種の特異性や、抑制のメカニズムについては詳しく検討されていない。

本研究では、移流によるコンクリート中のイオンの移動を理解する基礎段階として、溶液種類を変えた吸水試験によって、イオン種がモルタル中の水分浸透抑制に与える影響を実験的に検討した。

## 2. 実験概要

実験には普通ポルトランドセメントを用いて作製した W/B=50%のモルタル供試体を使用した。供試体寸法は4×4×8cmとし、試験中の水和反応による影響を極力排除するために、打設後材齢1日で脱型し、91日間以上の十分な水中養生を施した。水中養生終了後、105℃環境で供試体を絶乾状態に調整した後、吸水面以外からの溶液の浸透を防ぐために、5面にエポキシ樹脂を塗布した。吸水試験は温度20℃、R.H.60%の恒温恒湿槽内で実施した。図-1に吸水試験の様子を示す。

既往の試験結果<sup>2)</sup>より、毛管張力による水分浸透が顕著に確認される吸水期間が吸水開始から3日であったため、吸水試験の期間は最大で72時間とし、吸水開始から72時間までの質量を経時的に測定した。

## 3. 実験結果および考察

## 3.1 人工海水構成溶液での吸水試験

初めに、人工海水中のイオンがモルタルへの水分浸透に与える影響を検討するために、蒸留水、人工海水、人工海水を構成する NaCl,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ , KCl を用いて吸水試験した。人工海水は JIS A 6205 に

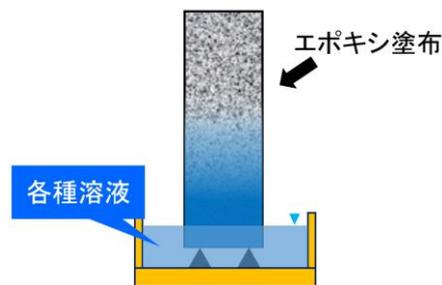


図-1 吸水試験概要

準拠して作製し、NaCl,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ , KCl の濃度はそれぞれ JIS A 6205 に準拠し、2.45%、1.11%、0.41%、0.12%、0.07%とした。試験結果を図-2に示す。質量増加量は  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、蒸留水、NaCl, KCl,  $\text{CaCl}_2$  の5つが同じ程度、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  は人工海水と同じ程度の抑制効果が確認された。この結果より、 $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  は、水分浸透を抑制しないものと考えられる。浸透が抑制された  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  の溶液中には  $\text{Mg}^{2+}$  と  $\text{Cl}^-$  が含まれる。蒸留水と NaCl, KCl の質量増加量が同程度であることから、 $\text{Cl}^-$  は抑制効果が無いと考えられるため、 $\text{Mg}^{2+}$  が水分浸透の抑制に影響していると考えられる。水分の浸透が抑制される要因として、毛管張力による液体浸透の基本式である Lucas-Washburn 式中の係数である表面張力、粘性係数、接触角の変化、セメント硬化体と外来イオンとの反応による空隙変化、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$  の沈殿による空隙の充填などが考えられる。なお、Lucas-Washburn 式中の係数の変化について検討した結果、溶液中のイオン種が毛管張力による水分浸透に与える影響はないと考えられた。

吸水開始1時間の時点で水分浸透の抑制が確認されていることから、沈殿によって空隙が充填される以前に水分浸透が抑制されている可能性も考えられる。この要因として、 $\text{Mg}^{2+}$  の水和イオン半径が  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  と比較して大きいことが考えられる。

表-1にイオン半径の一覧を示す。 $\text{Mg}^{2+}$  は、若干ではあるがその他のイオンよりも水和イオン半径が大きいことが分かる。ここで、 $\text{Mg}^{2+}$  より大きい水和イオン半径を有しているイオンとして  $\text{Al}^{3+}$  がある。水分浸透抑制に水和イオン半径が関係しているのであれば、 $\text{Al}^{3+}$

キーワード：水分移動、水和イオン半径、多種イオン

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL04-7124-1501 Email: yasuaki\_38vl@outlook.jp

が存在する溶液でも  $Mg^{2+}$ 同様に水分浸透を抑制する  
と考えた. そのため,  $Al^{3+}$ を含み, 水への溶解度が高い  
 $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  を用いるとともに, 生成物の形成や  
沈殿の影響を受けないと考えられる溶岩プレートを用  
いて吸水試験をした.

3.2 溶岩プレート吸水試験

溶岩プレートを用いて  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  と  $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  で吸水試験をした. 溶液の濃度は,  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  中の  $Mg^{2+}$ のモル数と  $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  中の  $Al^{3+}$ のモル数が同じになるように設定した. 吸水試験には  $4 \times 4 \times 2cm$  の溶岩プレートを使用した. 溶岩プレートは溶液に全面浸せきさせて, 1 分ごとに質量を測定した. 溶岩プレートは試験体ごとに空隙構造が異なる可能性が考えられるために一度蒸留水で吸水した後, 吸水開始時の質量になるまで  $105^\circ C$ 環境に静置し, 同じ供試体を用いて各溶液で吸水試験した.  $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  では3つ,  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  では2つの溶岩プレートを測定に使用し, その平均を用いた.

図-3 に吸水試験結果を示す.  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  では質量増加量が蒸留水と同程度の結果となり, モルタルで確認された顕著な水分浸透抑制効果は確認されなかった.  $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  では蒸留水と比較して質量増加量が小さくなったことから, 溶岩プレートで水和イオン半径が関係する水分浸透の抑制効果が確認された.  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  では水分浸透が抑制されていないことから, 水和イオン半径の影響による水分浸透の抑制には, 水和イオン半径と移動場の空隙径が関係していると考えられるが, 詳細については今後の検討が必要である.

4. まとめ

本研究の結果より, 次の知見が得られた.

- (1)  $Mg^{2+}$ を含む溶液で水分浸透の抑制が確認された.
- (2) 溶岩プレート吸水試験より, 吸水初期の水分浸透抑制に水和イオン半径が関係している可能性が示唆された.

謝辞: 本研究の一部は, SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術の「港湾構造物のライフサイクルマネジメントの高度化のための点検診断および性能評価に関する技術開発」の一環として実施したものである.

参考文献

- (1) 直町聡子, 加藤佳孝, 橋本永手, 加藤絵万: 棧橋 RC 上部工の塩害劣化予測の高精度化に向けた各種イオンと pH の影響に関する実験的検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.73, No.2, pp.438-443, 2017

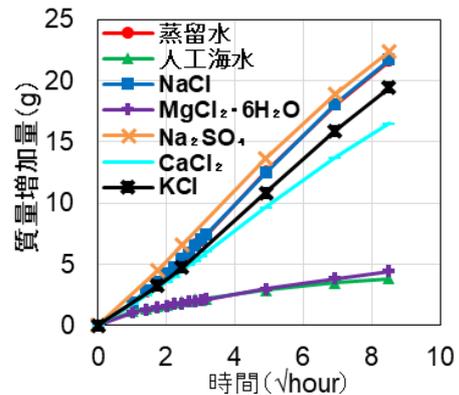
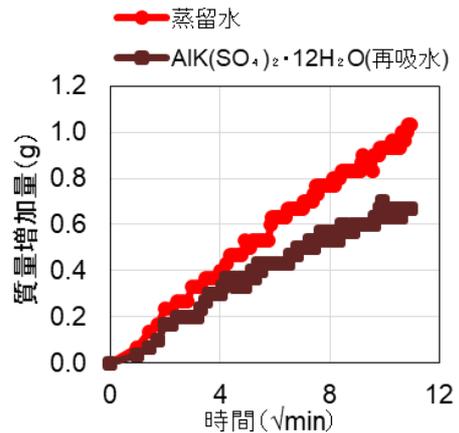


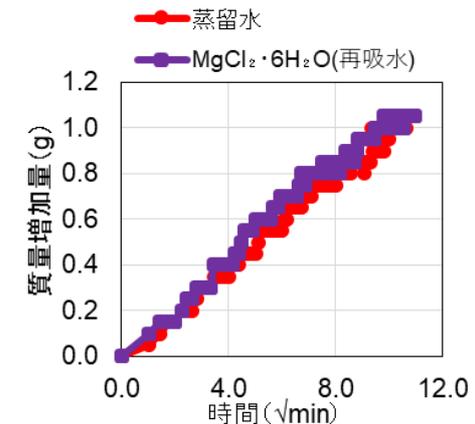
図-2 モルタル吸水試験結果

表-1 イオン半径

イオン	裸のイオン半径 (nm)	水和イオン半径 (nm)
$H_3O^+$	-	0.28
$Cl^-$	0.181	0.33
$OH^-$	0.176	0.30
$K^+$	0.133	0.33
$Na^+$	0.095	0.36
$Ca^{2+}$	0.099	0.41
$Mg^{2+}$	0.065	0.43
$Al^{3+}$	0.050	0.48



①  $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  溶液



②  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  溶液

図-3 溶岩プレート吸水試験結果

- (2) 千葉俊哉, 加藤佳孝, 池田伊輝: 初期飽和度を考慮したモルタル供試体の液状水挙動に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.529-534, 2015