

海水とモルタルの極表層の反応を考慮したセメント硬化体の Cl⁻浸透モデル手法

大成建設株式会社 正会員 ○直町 聡子
東京理科大学 正会員 加藤 佳孝

1. 目的

海水には Cl⁻以外に多種イオンが存在する。筆者ら^{例え}ば¹⁾は、海水中の多種イオンの存在がセメント硬化の Cl⁻の浸透に影響を及ぼすことを報告している。本研究では、JSCE-G572-2003 に準拠し海水よりもイオン濃度が約 3 倍高い Cl⁻=10wt%とし、共存イオンが異なる 4 種類の溶液に浸せきした場合の、モルタルの Cl⁻浸透性状について整理した。さらに、それらの現象を考慮したモルタルの Cl⁻の浸透を、拡散方程式を用いて簡易的に予測する方法について検討した。

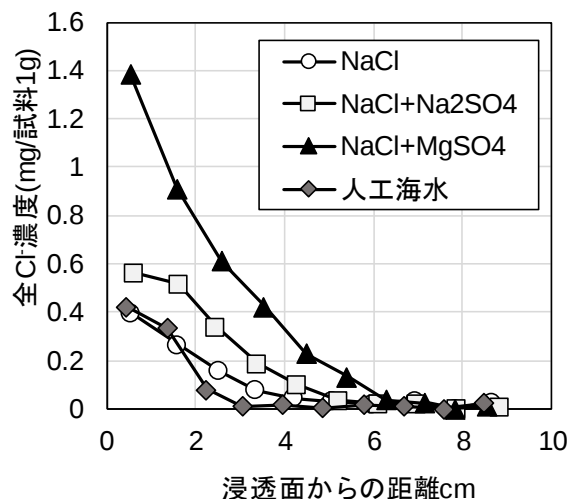
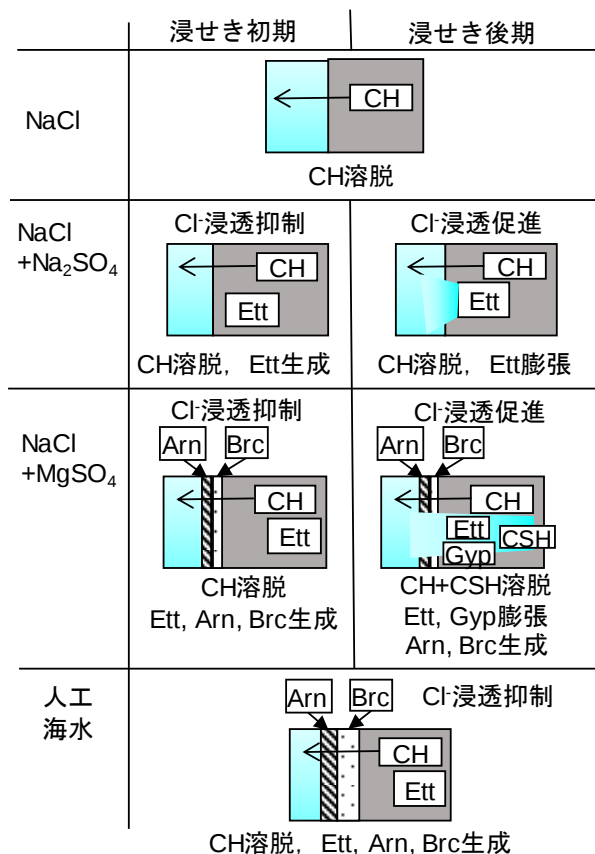
2. 実験概要

浸せきしたモルタルの配合は、W/C=50%，S/C=2.4 であり、28 日間水中養生したφ100×125mm の円柱試験体を 1 面浸せきした。浸せき溶液は、NaCl、NaCl+Na₂SO₄、NaCl+MgSO₄、人工海水の 4 種類であり Cl⁻=10wt%とし、イオン比率は海水組成と同様である。試験体と溶液の体積比は 1:2 とした。浸せき期間は 91, 476, 1100, 1453, 1736 日である。Cl⁻の浸透性状を把握するために JIS A 1154 に準拠し全 Cl⁻濃度を測定した。海水中の多種イオンの存在がモルタルの Cl⁻の浸透に及ぼす現象を把握するために、粉末 X 線回折装置、示差熱重量分析、EPMA により硬化体の内部性状の分析をした。

3. 実験結果

3. 1 モルタルの Cl⁻の浸透に及ぼす現象

浸せき期間 1453 日の全 Cl⁻濃度分布の測定結果を図-1 に示す。溶液種類により Cl⁻の浸透が異なった。さらに分析結果より、モルタルの極表層で溶液毎に図-2 に示す現象が生じていることがわかった。NaCl+Na₂SO₄は、浸せき初期はポルトランドイト(CH)の溶脱と、エトリンガイト(Ett)が生成し結果としては NaCl よりも Cl⁻の浸透を抑制し、浸せき後期は Ett が生成することで局所的な劣化が生じ Cl⁻の浸透は促進した。NaCl+MgSO₄は、

図-1 1453 日の全 Cl⁻濃度分布の測定結果図-2 溶液毎の Cl⁻浸透に及ぼす現象のまとめ

キーワード 硫酸イオン，マグネシウムイオン，極表層，促進，抑制，表面塩化物イオン濃度

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL04-7123-9766

浸せき初期は CH の溶脱と、Ett, アラゴナイト(Arn), ブルーサイト(Brc)が生成し NaCl よりも Cl⁻の浸透を抑制し、浸せき後期では CH と CSH が溶脱し、Ett と二水セッコウ(Gyp)が生成することで劣化が進行し、Cl⁻の浸透を促進した。人工海水は、浸せき期間に関わらず CH の溶脱、Ett, Arn, および Brc の生成により NaCl よりも Cl⁻の浸透が抑制された。

以上をまとめると、Cl⁻の浸透を抑制する現象は Arn と Brc の生成であり、劣化に起因し Cl⁻の浸透を促進する現象は Gyp と Ett の生成、CH と CSH の溶脱が考えられる。これらの現象は EPMA の元素分析結果より、浸透面から 10mm 未満の箇所で生じていることを確認した。ここで、Cl⁻の浸透を促進および抑制する要因が顕著に現れた浸せき溶液は、NaCl+MgSO₄と人工海水であった。これらを対象として、セメント硬化体の Cl⁻の浸透を予測する方法の1つである拡散方程式を用いて、簡易的に Cl⁻の浸透を予測することを考えた。

3. 2 拡散方程式に基づく簡易的な Cl⁻の予測

拡散方程式を差分化すると式(1)が得られる。

$$C_i^{n+1} = D \cdot \Delta t \cdot \frac{\left[C_{i+1}^n + \left(\frac{\Delta x^2}{D \Delta t} - 2 \right) C_i^n + C_{i-1}^n \right]}{\Delta x^2} \quad (1)$$

ここに、C：全 Cl(wt% of sample)、D：拡散係数(cm²/年)、t：浸せき期間(年)、x：浸せき面からの距離(mm)、i：位置、n：時間である。

図-2 に示す様に極表層の反応が Cl⁻の移動に影響することから、ここでは、簡易的に位置 i=0 である表面 Cl⁻濃度(C₀)を時間変化させ、D は一定とした。なお、D は NaCl に浸せきした実験結果から各浸せき期間毎に求めた D の平均値 (1.17cm²/年) とした。C₀ は、式(1)を用いて実験結果に合うように設定した。NaCl+MgSO₄ は、浸せき初期は NaCl よりも Cl⁻の浸透が抑制するように C₀ を小さくし、後期では大きく設定した。また人工海水の場合は、NaCl よりも常に Cl⁻の浸透が抑制するように C₀ は小さく設定するが、浸せき期間経過に伴い CH の溶脱は進行することが考えられるため、C₀ は浸せき期間経過に伴い増加するように設定した。

C₀ の浸せき期間経過に伴う算出結果を、図-3 に示す。また、図-4 に図-3 の C₀ の関数を用いて計算した結果と、実験結果を示す。図-4 より 1735 日の実験結果を C₀ の

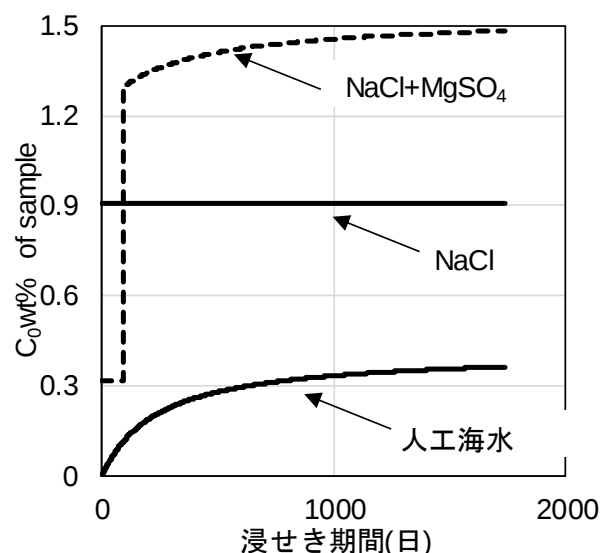


図-3 C₀の経時変化

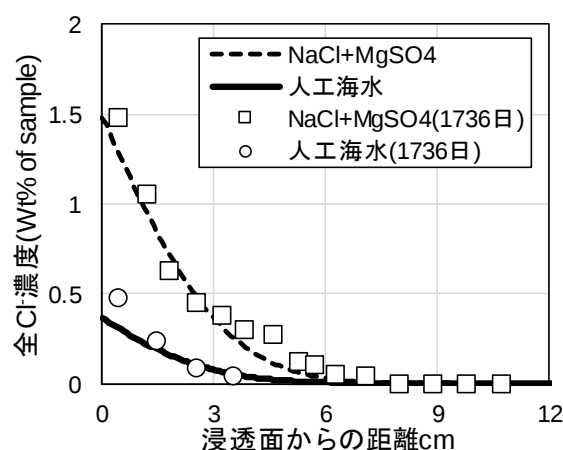


図-4 C₀の関数を用いた予測結果と実験結果

関数を用いて予測可能であることがわかる。つまり C₀ を時間の関数とすることで、海水中の多種イオンの影響が生じているセメント硬化体の Cl⁻浸透を予測可能であることが示唆された。

4. まとめ

海水とモルタルの極表層の反応を組み込んだ表面 Cl⁻濃度の関数により、Cl⁻の浸透を予測可能であることが示唆された。

参考文献

- 1) 直町ら：海水中の多種イオンがモルタルの Cl⁻浸透性状に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.40, No.1, pp.723-728, 2018