

Mg 濃度と水温の変化によるセメント処理土の劣化促進実験手法の開発

山口大学大学院創成科学研究科 正会員 ○原 弘行
宮崎大学工学部 正会員 安井 賢太郎

1. はじめに 近年、海水環境下において固化処理土が力学的に劣化することが明らかになってきており、既に沿岸域の現場において固化処理土層の劣化現象が確認されている¹⁾。海水環境に曝された固化処理土の耐久性を評価するにあたって、中長期にわたる劣化の進行プロセスを十分な精度で予測する手法の開発が重要となる。また、処理土の劣化時の土質特性等を検討するためには、劣化させた処理土供試体を作製する必要がある。上記のような研究を遂行するには、長期間の実験を要するため固化処理土の劣化を促進させる実験手法の開発が望まれる。以上の背景から、本研究では海水環境に曝されたセメント処理土の劣化の促進実験手法を開発するため、処理土と接触させる水溶液の Mg^{2+} 濃度と温度を変化させた浸漬実験を実施し、力学的劣化領域の経時変化を調べた。得られた試験結果から、水溶液の Mg^{2+} 濃度と温度による劣化促進効果を定量的に解明した。

2. 実験概要 試料土には有明粘土用い、その物理特性は、土粒子の密度が $2.64g/cm^3$ 、液性限界が138.0%、塑性限界が42.2%である。固化材には普通ポルトランドセメントを用いた。試料土と固化材を均一に混合するため、試料土の含水比を液性限界の1.5倍である207%に調整し、そこに固化材を $50kg/m^3$ 加えて混合した。混合物を $\phi=50mm$, $H=100mm$ のプラスチック製の円筒形モールドに充填し、28日間養生を行った。養生後の供試体を用いて、浸漬実験を行った。供試体には浸漬時に供試体上面のみが曝露されるようにゴムスリーブを被せた。浸漬水量は供試体1本に対して海水1Lとし、1つの実験ケースで5本の供試体を容器に浸漬させた。浸漬水には、 Mg 水溶液を用い、有明海水の Mg^{2+} 濃度($0.938g/L$)の1, 4, 9, 16, 25倍になるように調整した。また、水温は10, 20, 30, $40^{\circ}C$ の4段階に変化させた。本実験では、 Mg^{2+} 濃度を変化させるケースは水温 $20^{\circ}C$ のみ、水温を変化させるケースは Mg^{2+} 濃度25倍のみで実施した。浸漬時間は0, 4, 9, 16, 25, 36日とした。なお、 Mg^{2+} 濃度を定常状態とするため、浸漬水は1週間に1回交換した。浸漬後、供試体における力学的に劣化した範囲を調べるために小型のコーンを用いた貫入試験を実施した。

3. 実験結果と考察 コーン貫入試験の結果から、支持力発現がほとんど確認できなかった範囲を劣化深度 d_n ¹⁾と定義して求めた。劣化深度の経時変化を図-1に示す。図中の点線は、劣化深度 d_n と浸漬時間 t の関係を次式で表現し、実験値を最小二乗法によって近似した結果である。

$$d_n = A\sqrt{t} \quad (1)$$

ここに、 A は劣化速度係数、 t は浸漬時間 (days) を表す。劣化深度は浸漬時間の平方根に比例して拡大することがわかる。

4. 劣化速度に関する実験式 前章で示した実験結果から、すべての実験ケースにおける劣化速度係数 A の値を抽出した。これを用いて劣化速度を評価する簡易な実験式の作成を試みる。

式(2)はコンクリートの中性化の進行予測式²⁾を参考に導出したものである。

$$\frac{dd_n}{dt} = k \cdot C_{Mg} / d_n \quad (2)$$

ここに、 k は比例定数、 C_{Mg} は海水の Mg^{2+} 濃度 (g/L) を表す。この微分方程式を解き、浸漬時間がゼロの時劣化は生じていない

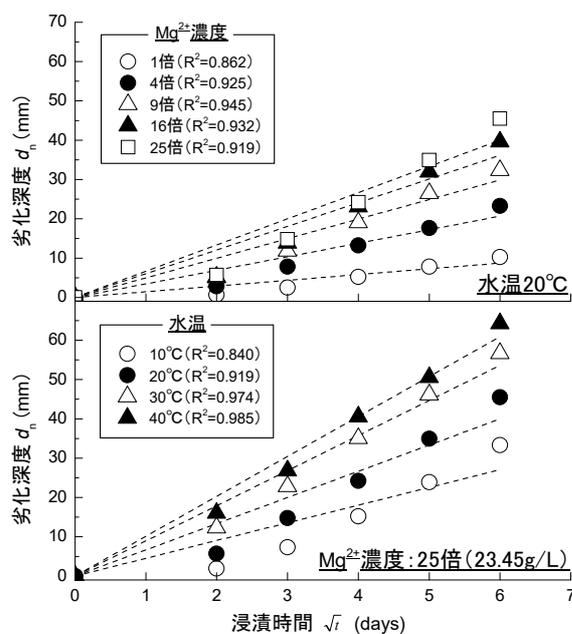


図-1 劣化深度と浸漬時間の関係

キーワード セメント安定処理, 劣化促進, Mg 濃度, 温度, アレニウスの法則

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部 TEL 0836-85-9321

($d_0=0$) と仮定すると式(3)で表される。したがって、式(1), (3)より劣化速度係数 A は式(4)で表わすことができる。本実験では Mg^{2+} 濃度 (k_{Mg}) と水温 (k_T) のみを変数としているため比例定数 k は式(5)のように表現する。

$$d_n = k\sqrt{C_{Mg} \cdot t} \quad (3) \quad A = k\sqrt{C_{Mg}} \quad (4) \quad k = k_{Mg} \times k_T \quad (5)$$

水溶液の Mg^{2+} 濃度のみを変化させたケースはすべて水温 $20^\circ C$ で実験を実施している。 $20^\circ C$ のとき $k_T=1$ とすると、上式は $k=k_{Mg}$ となる。劣化速度係数を水溶液の Mg^{2+} 濃度で除して求めた k_{Mg} と Mg^{2+} 濃度の関係を図-2に示す。最小二乗法で近似して Mg^{2+} 濃度の関数として得られた k_{Mg} は図中の式のようなになる。

次に、水溶液の温度について検討する。水温を変化させた実験ケースの k_T を次式より算出した。

$$k_T = A / (k_{Mg} \cdot \sqrt{C_{Mg}}) \quad (6)$$

水温に関する比例定数 k_T のアレニウスプロットを図-3に示す。 k_T の自然対数はアレニウスの法則に従って絶対温度の逆数に反比例する傾向が確認できる。この結果から、 $20^\circ C$ のとき $k_T=1$ を通るように最小二乗法で近似し、得られた k_T の回帰式は図中の式で表すことができる。

以上より、海水浸漬させたセメント処理土において、水溶液の Mg^{2+} 濃度および水温による劣化促進効果を考慮した劣化速度係数の実験式は次式で表すことができる。

$$A = f(C_{Mg}) \times f(T) \times \sqrt{C_{Mg}} \quad (7)$$

実験によって求めた劣化速度係数と上式より求めた計算値の相関図を図-4に示す。計算で求めた値は実験値と大きな乖離はみられず比較的精度よく評価できているといえる。

5. まとめ 本研究では、海水曝露条件下におけるセメント処理土の劣化促進実験手法を開発するため、処理土と接触させる水溶液の Mg^{2+} 濃度と温度を変化させた浸漬実験を実施し、水溶液の Mg^{2+} 濃度および温度による劣化促進効果を調べた。得られた知見をまとめると以下のようなになる。

- (1) 海水環境下におけるセメント処理土の力学的劣化は接触する水溶液の Mg^{2+} 濃度や温度にかかわらず、浸漬時間の平方根に比例して拡大する。
- (2) 海水曝露したセメント処理土の劣化速度はアレニウスの法則に従って、水温が高い場合ほど速くなる。
- (3) 水溶液の Mg^{2+} 濃度と温度を関数としたセメント処理土の劣化速度の実験式を提案した。

参考文献

- 1) Hara, H., Suetsugu, D., Hayashi, S. and Du, Y. J.: Calcium leaching properties of lime-treated soil by infiltration of tidal river water, *Proceedings of International Offshore and Polar Engineering Conference*, pp.810-813, 2008.
- 2) 魚本健人, 高田良章: コンクリートの中酸化速度に及ぼす要因, 土木学会論文集, No.451, pp.119-128, 1992.

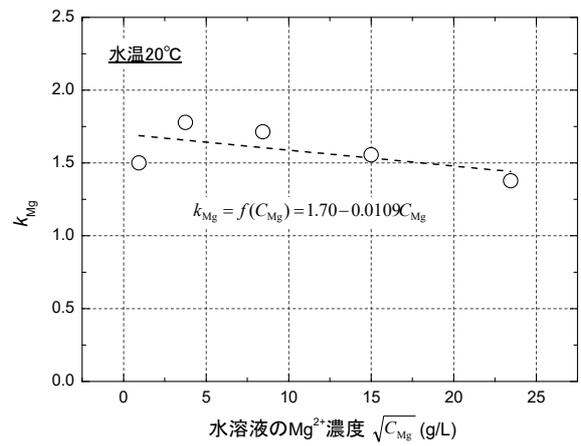


図-2 k_{Mg} と Mg^{2+} 濃度の関係

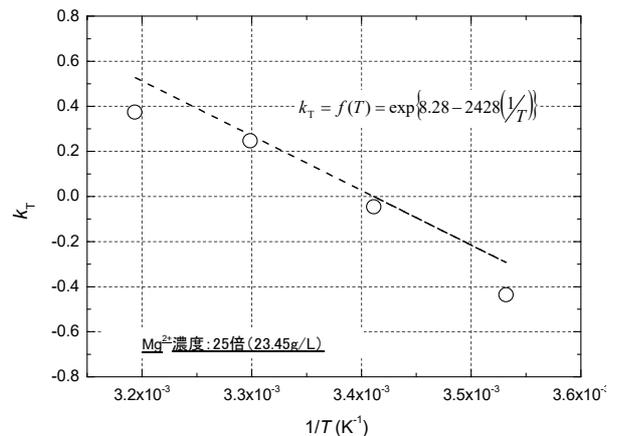


図-3 k_T のアレニウスプロット

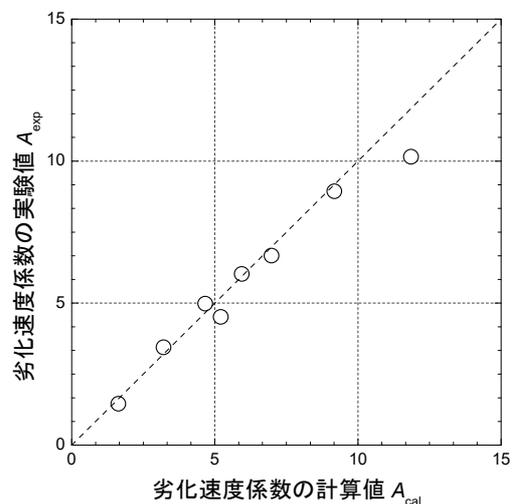


図-4 劣化速度係数の実験値と計算値の比較