

海水に曝露したセメント処理土の劣化促進実験手法の開発

宮崎大学工学部 (正) ○安井 賢太郎

宮崎大学工学部 白 石 郷

宮崎大学工学教育研究部 (正) 原 弘 行

1. はじめに

沿岸域及び河川の感潮域など海水の曝露環境下で発生するセメント処理土の劣化に関する検討が行われており^{例え1)}, 処理土の劣化には海水中の Mg^{2+} 濃度及びその接触時間が影響することが明らかにされている²⁾. その一方で, 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準備する必要がある.

本研究は, 海水曝露環境下で劣化した処理土供試体を短期間で作製するために, 処理土の劣化促進実験を行った. 具体的には, 処理土に対して水溶液の Mg^{2+} 濃度及び水温を変化させた浸漬実験を行い, 処理土の劣化速度を調べた.

2. 実験概要

セメント処理土供試体の作製では, 試料土に佐賀県小城市の感潮河川の河口域に堆積した有明粘土を用い, 固化材に普通ポルトランドセメントを用いた. 表-1 に試料土の物性を示す. 粘土と固化材を均質に混合するため, 粘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 $\phi 50\text{mm}$, $H=100\text{mm}$ のプラスチック製円筒形モールドに充填した. その後, 供試体表面をラップフィルムで覆い恒温恒湿器にて温度 20°C , 湿度 80%の条件で 28 日間養生を行った.

養生後の供試体を用いて, 図-1 に示す浸漬実験を行った. 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 1 リットルとし, 1 条件につき 5 本の供試体を容器に浸漬させた. 表-2 に浸漬条件を示す. 浸漬水には, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ をイオン交換水に溶解させた Mg 水溶液を用い, 有明海の Mg^{2+} 濃度 (0.938g/L)²⁾ 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°C で保持した. 浸漬時間は 0, 4, 9, 16, 25, 36 日である. 尚, 浸漬水は 1 週間に 1 回交換した.

浸漬実験後, 浸漬時間と供試体の劣化した範囲の関係を調べるためにコーン貫入試験を実施した. コーンには

外径 6mm, 先端角度 60° のものを使用し, これを供試体の上面から 3mm/min の速度で貫入させ, 貫入量 (深度) と抵抗値を求めた.

3. 試験結果及び考察

図-2 にコーン貫入試験結果の一例を示す. 浸漬前 (0 日) の供試体は, 貫入直後から抵抗が発現し, 深度 10mm 以降に抵抗が一定値を示している. 水温 20°C , Mg^{2+} 濃度 1 倍の結果から, 浸漬時間の経過と共に接触面から抵抗が発現する深度が深くなっており劣化の進行が確認できる. 同じ浸漬時間で比較すると, 水温 20°C , Mg^{2+} 濃度 25 倍の結果, さらに水温 40°C , Mg^{2+} 濃度 25 倍の結果より, 水温及び Mg^{2+} 濃度の上昇によって劣化が顕著に促進されることが明らかとなった.

ここで, 劣化深度を図-3 に示す方法で定量する. 浸漬前の貫入抵抗曲線の最大抵抗値 F_0 の $1/2$ の値 ($F_0/2$) を示す深度 d_0 を求め, 同様に浸漬 n 日の貫入抵抗曲線から深度 d を求め, これらの値の差を劣化深度 d_n とした.

表-1 有明粘土の物性値

密度 (g/cm^3)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)
2.64	138.0	42.2

表-2 供試体の浸漬条件

	浸漬水中の Mg^{2+} 濃度 (g/L)				
	0.938 (1倍)	3.752 (4倍)	8.442 (9倍)	15.01 (16倍)	23.45 (25倍)
水温 ($^\circ\text{C}$)	10				●
	20	●	●	●	●
	30				●
	40				●
浸漬時間 (日)		0, 4, 9, 16, 25, 36			

●: 浸漬実験を実施

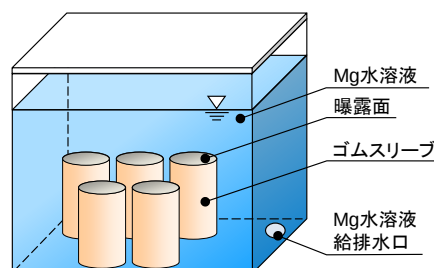


図-1 浸漬実験の概要図

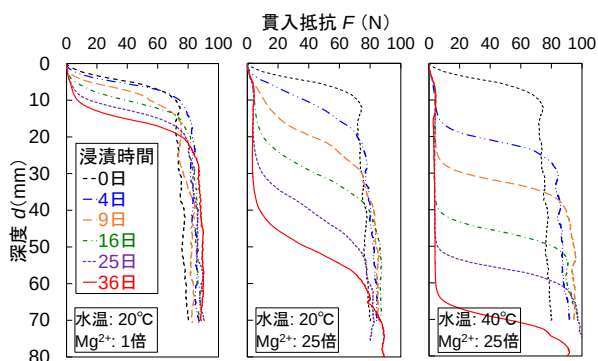


図-2 コーン貫入試験結果

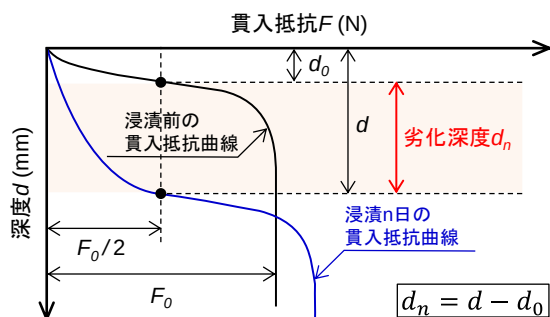


図-3 劣化深度の決定方法

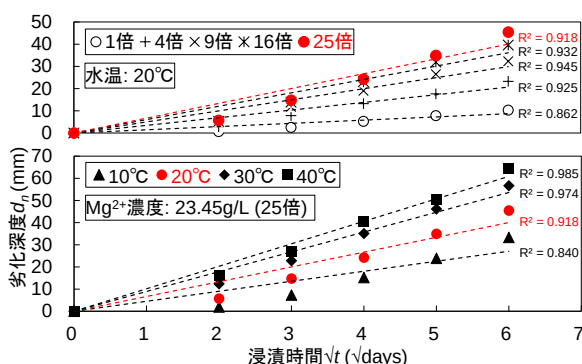


図-4 劣化深度と浸漬時間の関係

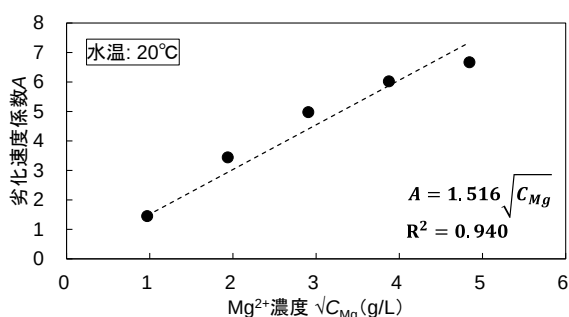


図-5 劣化速度係数と Mg²⁺濃度の関係

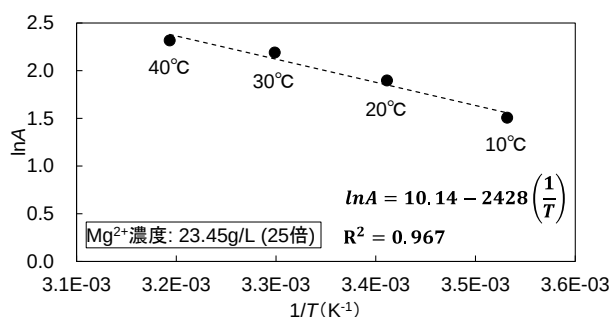


図-6 劣化速度係数と水温の関係

次に、コンクリートの中性化進行予測モデル式を参考に、劣化深度 d_n と浸漬時間 t の関係式を式(1)に示す。

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

ここに、 A は劣化速度係数を示す。この式(1)に合わせた劣化深度と浸漬日数の関係を図-4 に示す。最小二乗法で劣化速度係数 A を求めた。また、決定係数 R^2 は 1 に近く良い近似を得られたため、劣化の進行は Mg 水溶液との浸漬時間の平方根に比例することが示唆された。

次に劣化速度係数と水溶液の Mg^{2+} 濃度、並びに水温の関係を求める。水温 20°C における劣化速度係数と Mg^{2+} 濃度の関係を図-5 に示す。X 軸に Mg^{2+} 濃度の平方根を取り最小二乗法で求めた関係式を式(2)に示す。 R^2 は 0.940 であったため、劣化速度係数は水溶液の Mg^{2+} 濃度の平方根に比例することが示された。

$$A = 1.516\sqrt{C_{Mg}} \quad (2)$$

図-6 に Mg^{2+} 濃度 23.45g/L における劣化速度係数と水温の関係をアレニウスプロットした結果を示す。Y 軸に劣化速度係数の自然対数、X 軸に絶対温度の逆数を取り、最小二乗法で求めた関係式を式(3)に示す。 R^2 は 0.967 であったため、劣化速度係数は絶対温度の逆数に反比例し、アレニウスの法則に従うことが示された。

$$\ln A = 10.14 - 2428(1/T) \quad (3)$$

4. まとめ

セメント処理土供試体に対し Mg 水溶液を用いた浸漬実験を行い、以下の知見が得られた。

- 1) 劣化速度は水溶液の Mg^{2+} 濃度の平方根に比例する。
- 2) 劣化速度は水溶液の絶対温度の逆数に反比例する。

以上より、海水に曝露したセメント処理土の劣化促進実験手法として、水溶液の Mg^{2+} 濃度及び水温を高くすることが有効であることが示された。また、水溶液の Mg^{2+} 濃度及び水温と劣化速度係数の間に線形関係を見出すことができたため、 Mg^{2+} 濃度と水温による劣化促進効果を定量的に推定することができる。

参考文献：

- 1) 三原一輝，末次大輔，笠間清伸，畠俊郎；微生物機能を活用したセメント改良土の劣化抑制技術に関する検討，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol. 72, No. 2, pp.I_414-I_419 (2016)
- 2) 原弘行，末次大輔，林重徳，松田博；海水環境下におけるセメント処理した有明粘土の劣化の進行に関する検討，材料，Vol.63, No.1, pp.49-54 (2014)