

海水環境下におけるセメント処理土の劣化の進行に及ぼす温度の影響

山口大学大学院理工学研究科 正会員 ○原 弘行

山口大学大学院理工学研究科 正会員 松田 博

佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 正会員 末次 大輔

1. はじめに

最近、九州地方における河川感潮域の堤防において、法尻からの漏水が発生した。漏水箇所を調査を実施したところ、堤体基礎部を構成する石灰処理土層が軟弱化し、力学的性質が劣化していることが確認された。現在までに、著者らは海水の影響による固化処理土の劣化メカニズムやその進行に関する検討を行っており、処理土の劣化は海水中のマグネシウム (Mg) を含む塩によって引き起こされることを明らかにした^{1),2)}。しかしながら、劣化に影響を及ぼす要因等については未解明な部分が多い。本研究では、セメント処理土の劣化の進行に及ぼす温度の影響について実験的に調べた。

2. 実験概要

実験には、佐賀県小城市を流れる感潮河川の河口域で浚渫した有明粘土を用いた。試料土の物性を表-1に示す。固化材は高炉セメントB種を使用した。固化材の添加量は 50kg/m^3 とした。供試体を作製する際に、試料土と固化材を均一に混合するため、事前に試料土の含水比を液性限界の1.5倍に調整した。含水比調整後の試料土に固化材を添加し、電動ミキサーを用いて10分間攪拌混合した。その後、混合試料を $\phi=50\text{mm}$, $H=100\text{mm}$ のプラスチックモールドに詰めて、温度 20°C 、湿度 80% に調整した恒温恒湿器内で28日間養生した。作製した供試体の上面以外をパラフィルムで覆い、さらにその上からゴムスリーブを被せて供試体の上面のみを開放させた状態で、NaCl濃度 20g/L の人工海水に浸漬させた。このとき、浸漬水の温度は $10, 20, 30^\circ\text{C}$ の3種類とした。 10°C の場合は庫内の温度を調整した冷蔵ショーケース内に、 20°C の場合は室温を調整した実験室内に、 30°C の場合は水温を調整した恒温水槽内でそれぞれ温度調整を行って浸漬した。海水の量は1本当たり1Lとしている。浸漬時間は0, 28, 56, 112, 168, 252日に設定した。所定の期間浸漬した供試体の力学的劣化領域を調べるため、小型のコーン（径 6mm 、先端角度 60° ）を用いた貫入試験を実施した。貫入試験は、供試体の上面からコーンを 3mm/min の速度で 50mm 程度貫入する方法で行った。

3. 実験結果と考察

$10, 20, 30^\circ\text{C}$ の海水に浸漬した供試体の貫入抵抗の深度分布を図-1に示す。浸漬前（浸漬0日）の供試体の貫入抵抗は深度約 10mm まで徐々に増加し、それ以深では一定値を示す。深部における貫入抵抗値は、 10°C のケースでは海水浸漬の有無にかかわらず 60N 程度を示しているが、 $20, 30^\circ\text{C}$ のケースでは海水浸漬後の供試体は浸漬前よりも大きくなり、材齢とともに内部では強度増加していることが窺える。海水浸漬後の供試体は、浸漬水の温度にかかわらず、表層付近で貫入抵抗がほとんど発現しない範囲が

表-1 試料土の物理的性質

土粒子密度 (g/cm^3)	2.62
液性限界 (%)	140.7
塑性限界 (%)	45.3
粒度組成 (%)	
礫	0.0
砂	1.5
シルト	27.1
粘土	71.4

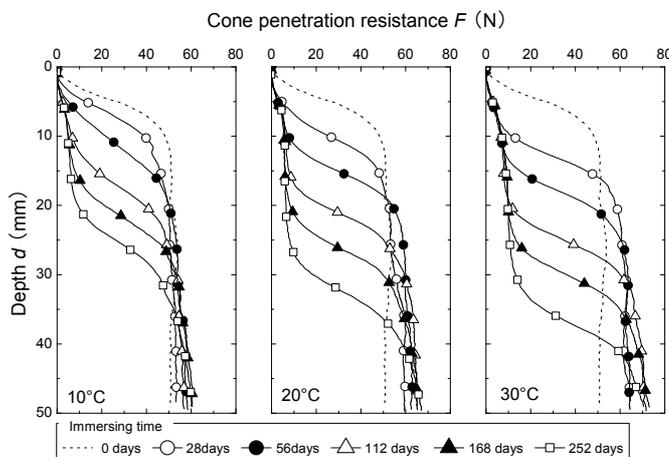


図-1 貫入抵抗の深度分布

キーワード セメント安定処理, 海水, 劣化, 温度

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 0836-85-9325

確認できる。また、その範囲は浸漬時間とともに拡大していることがわかる。ここで、貫入抵抗が著しく低下している範囲を劣化深度 d_n ¹⁾として定量した。劣化深度の経時変化を図-2に示す。横軸は浸漬時間の平方根を採用している。いずれの温度の場合も、浸漬時間の増加に伴って劣化深度は大きくなっている。また、同一浸漬時間で比較すると、温度が高い場合ほど劣化深度が大きいこともわかる。図中の破線はコンクリートの中性化の進行予測に用いられるモデルを参考に、本実験で得られた劣化深度について、式(1)を用いて近似したものである。

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

ここに、 A は劣化速度係数、 t は浸漬時間を表す。

得られた回帰直線はいずれも実験値と大きな乖離はなく、浸漬水の温度にかかわらず、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示された。表-2は各温度における劣化速度係数を示したものである。劣化速度係数は温度が高い場合ほど大きい値を示した。

海水環境下における固化処理土の劣化は、海水中のMgを含む塩が処理土中に浸透し、水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)と反応することによって進行する¹⁾。物質の拡散や化学反応の速度は、絶対温度の逆数に反比例して大きくなるというアレニウスの法則に従うとされており、コンクリートの中性化などにも適用された事例がみられる³⁾。ここで、得られた劣化速度係数についてアレニウスプロットした結果を図-3に示す。概ね直線的な関係がみられることから、固化処理土の劣化はアレニウスの法則に従って、温度が高い場合ほど速く進むと考えられる。

4. まとめ

本研究では、異なる水温の海水に浸漬させた固化処理土の力学的劣化領域を経時的に調べ、劣化の進行に及ぼす温度の影響について調べた。得られた知見をまとめると以下のようになる。

- 1) 海水に浸漬したセメント処理土の劣化は、浸漬水の温度にかかわらず、海水との接触時間の平方根に比例して進行する。
- 2) 海水環境下における固化処理土の劣化速度の温度依存性はアレニウスの法則に従って、温度が高い場合ほど速く進行する。

参考文献

- 1) 原弘行, 末次大輔, 林重徳, 松田博: 海水に曝露したセメント処理土の劣化機構に関する基礎的研究, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol.64, No.4, pp.469-479, 2013.
- 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.
- 3) 榎本悠, 宮本慎太郎, 皆川浩, 久田真: 環境温度がセメント硬化体の硫酸劣化に及ぼす影響に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, 2009.

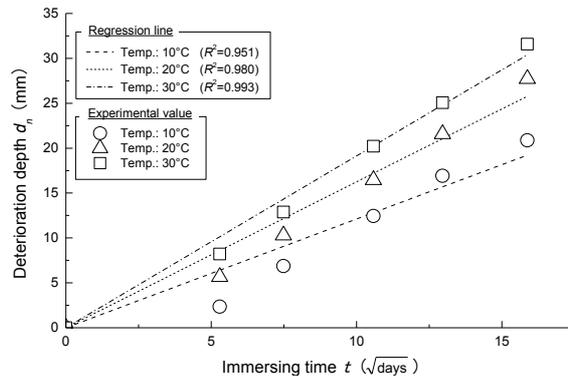


図-2 劣化深度の経時変化

表-2 各温度の劣化速度係数

	10°C	20°C	30°C
劣化速度係数A	1.21	1.63	1.92

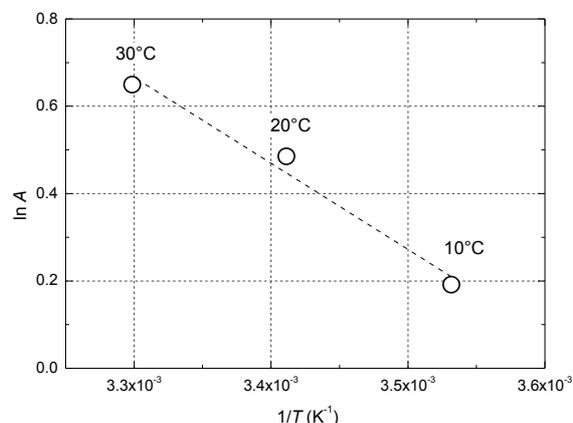


図-3 劣化速度係数のアレニウスプロット