

海水環境下におけるセメント処理土の強度定数の変化

山口大学大学院 学生会員 ○狩生 卓玲
山口大学大学院 正会員 原 弘行
山口大学大学院 正会員 吉本 憲正

1. はじめに

我が国は島国であり、沿岸域が非常に多く分布している。そのため、沿岸域を有効に活用できるように、さまざまな地盤上でも構造物を設計できる技術が求められている。その技術のひとつにセメントや石灰などによる安定処理工法がある。しかし、当工法は開発後すぐに実用化に至った経緯もあり、その耐久性については十分には検討されてこなかった。近年では海水環境下でセメントや石灰によって改良された固化処理土の性質が劣化することが指摘され始めている。現在までに、海水環境下における固化処理土の劣化機構¹⁾などが明らかにされてきたが、劣化した固化処理土の強度特性についてはほとんど検討されてきていない。そこで、本研究ではセメント処理による固化過程および海水曝露による劣化過程におけるセメント処理土の強度定数の変化について検討するため、固化材添加前の粘性土および海水曝露による劣化前後の処理土に対して定体積一面せん断試験を実施した。

2. 実験概要

試料土には、有明粘土を用いた。試料土の物性を表-1 に示す。試料土は含水比を液性限界の 1.5 倍となるように調整して使用した。これは試料に固化材が均一に分布されるようにするためである。固化材は高炉セメント B 種を用い、その添加量は 50kg/m^3 とした。力学試験に供する試料は、固化材無添加の粘性土（以下、母材供試体）、セメント処理した粘性土（以下、健全供試体）、健全供試体を海水曝露によって劣化させた試料（以下、劣化供試体）とし、この 3 種の供試体を以下の要領で作製した。母材供試体は試料土の含水比調整を行い、予圧密させた後乱れないようにステンレス製の Cutter リングで押し抜いて、端面をワイヤソーで成形した。次に、健全供試体は含水比調整を行い、試料土にセメントを添加して電動ミキサーで混合し、プラスチックモールドに詰め、温度 20°C の条件下で 28 日間養生した。養生後脱型し、成形したものを健全供試体とした。最後に、劣化供試体は上記要領で作製した健全供試体を高濃度の Mg 水溶液に浸漬させて作製した。このとき、供試体 1 本当たりの Mg 水溶液の量を 2L とした。また、浸漬水は 28 日に一度交換した。浸漬水の採水頻度を 1 回/週とし、採水した浸漬水に対して Ca^{2+} 濃度の測定を行い、Ca の溶出挙動から供試体が完全に劣化に至ったか否かを判断した。ここで、固化処理土作製時に添加したセメントに含まれる Ca 量に対する浸漬期間中に溶出した Ca 量の比率を Ca 溶出率 D と定義し、式(1)より求めた。

表-1 試料土の物理的性質

土粒子密度	(g/cm^3)	2.64
液性限界	(%)	138.0
塑性限界	(%)	42.2
粒度組成	(%)	
礫		0.0
砂		3.0
シルト		58.8
粘土		38.2

母材供試体は試料土の含水比調整を行い、予圧密させた後乱れないようにステンレス製の Cutter リングで押し抜いて、端面をワイヤソーで成形した。次に、健全供試体は含水比調整を行い、試料土にセメントを添加して電動ミキサーで混合し、プラスチックモールドに詰め、温度 20°C の条件下で 28 日間養生した。養生後脱型し、成形したものを健全供試体とした。最後に、劣化供試体は上記要領で作製した健全供試体を高濃度の Mg 水溶液に浸漬させて作製した。このとき、供試体 1 本当たりの Mg 水溶液の量を 2L とした。また、浸漬水は 28 日に一度交換した。浸漬水の採水頻度を 1 回/週とし、採水した浸漬水に対して Ca^{2+} 濃度の測定を行い、Ca の溶出挙動から供試体が完全に劣化に至ったか否かを判断した。ここで、固化処理土作製時に添加したセメントに含まれる Ca 量に対する浸漬期間中に溶出した Ca 量の比率を Ca 溶出率 D と定義し、式(1)より求めた。

$$D = \frac{\sum C_i}{\alpha \times C_{\text{CaO}} \times \frac{M_{\text{Ca}}}{M_{\text{Ca}} \times M_{\text{O}}}} \times 100 \quad (1)$$

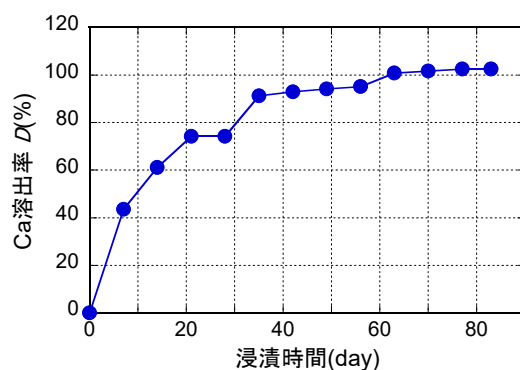


図-1 Ca 溶出率の経時変化

キーワード 海水, 劣化, 強度, 固化処理土

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1

T E L 0836-85-9005

ここに、 D は Ca 溶出率（％）， C_i は各水質分析間における供試体からの Ca 溶出量（ kg/m^3 ）， α は固化材添加量（ kg/m^3 ）， C_{CaO} は固化材の CaO 含有率（％）， M_{Ca} は Ca の原子量， M_{O} は O の原子量を表す．なお，本実験で用いた固化材の CaO 含有率 C_{CaO} は 54.6％である．図-1 に Ca 溶出率 D の経時変化を示す．63 日以降は Ca 溶出率に変化が少なく，100％近くの値を示している．このことから，供試体はこの時点で全層にわたり劣化したものと判断し，浸漬時間 83 日の供試体を力学試験に供した．一面せん断試験は定体積条件として JGS0560 に準拠した．なお，圧密圧力は 25, 50, 100, 150kPa とした．

3. 実験結果と考察

母材供試体，健全供試体，劣化供試体のせん断応力 τ と垂直応力 σ の関係を図-2，3，4 にそれぞれ示す．母材供試体と劣化供試体は類似した応力経路を示しており，いずれの圧密圧力の場合においても負のダイレイタンスが生じ，せん断とともに垂直応力が大きく減少している．それに対して，健全供試体は，比較的低い圧密圧力の範囲では正のダイレイタンスが発生していることが確認できる．また，先の 2 つの供試体に比べて大きな粘着力 c' を発揮していることが確認できる．これはセメント処理によって，土中に C-S-H などの水和物が生成され，土粒子間を結合する働きをしたためだと推察できる．図-5 は各供試体の τ - σ_f 関係を示したものである．セメントによる固化過程（母材供試体～健全供試体）では内部摩擦角 ϕ' が若干減少しているが，母材供試体のときはゼロであった粘着力 c' が大幅に増加し，せん断強さが大きくなっていることがわかる．次に，劣化過程（健全供試体～劣化供試体）では， ϕ' は母材のそれと同値となり，固化過程で発現した c' が大幅に低下した．この要因は土粒子間を結合していた水和物の崩壊により，セメント添加による固化過程で発現した粘着力が消失したためと考えられる．しかしながら，劣化供試体の c' はゼロとはならず，海水曝露によって劣化しても固化材添加前の母材の強度に戻るのではなく，僅かに残存するセメンテーション効果によって幾分かの強度は保持されることが明らかになった．

4. まとめ

本研究では，固化材添加前，固化処理後，海水曝露後のセメント処理土供試体に対して，一面せん断試験を行い，固化および劣化過程における強度定数を検討した．得られた知見は以下の通りである．

- 1) 固化過程では，内部摩擦角 ϕ' が若干減少し，母材供試体のときはゼロであった粘着力 c' が大幅に増加する．
- 2) 劣化過程では， ϕ' は母材のそれと同程度の値を示し，固化過程で発現した c' が大幅に低下する．

【参考文献】

- 1) 原弘行，末次大輔，林重徳，松田博：海水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. 69, No. 4, 469-479, 2013.

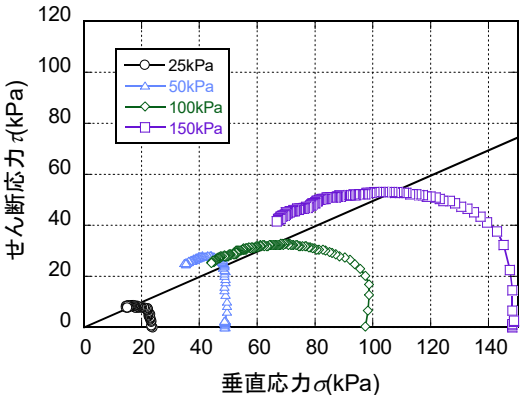


図-2 母材供試体の τ - σ 関係

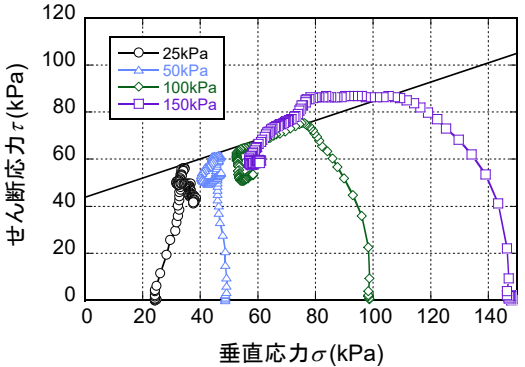


図-3 健全供試体の τ - σ 関係

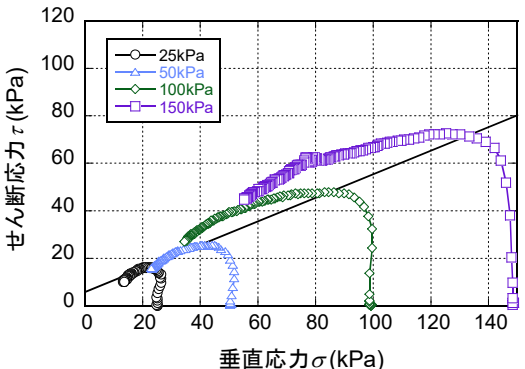


図-4 劣化供試体の τ - σ 関係

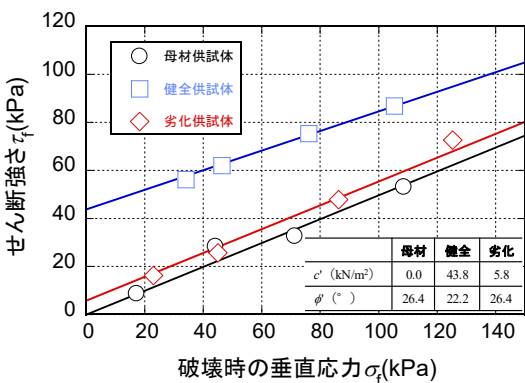


図-5 各供試体の τ_f - σ_f 関係