

海水曝露したセメント処理土の剛性率変化に及ぼす固化材添加量の影響

佐賀大学理工学部 学生会員○山田 卓
佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 正会員 末次 大輔
山口大学大学院理工学研究科 正会員 原 弘行
佐賀大学理工学部 学生会員 森田 麻友

1. はじめに

約 25 年前に築堤された固化処理土を基礎部に持つ感潮河川域の堤防では、堤防の至る箇所で漏水が発生し、固化処理土層が軟化している。著者らの既往の研究成果から、海水に曝されると固化処理土の化学的・物理的性状が変化することが明らかになっている¹⁾。今後、地球温暖化に伴う海水面の上昇によって沿岸部に用いられている固化処理土は海水や塩濃度の高い地下水に曝される可能性が高くなることが予想される。そのため、既設の固化処理地盤の健全性の診断技術や耐久性の評価技術が必要になると考える。

本研究の目的は、セメント処理土の健全性診断に弾性波を利用することを見据え、ベンダーエレメント（以下 BE）を用いて劣化したセメント処理土の剛性に関する基礎的な知見を得ることである。本報告では、海水に浸漬した固化材添加量が異なるセメント処理土に対して、BE を用いて劣化したセメント処理土中を伝わるせん断波速度を測定し、劣化処理土の剛性率の変化と固化材添加量の関係について述べる。

2. 試験概要

2.1 供試体の作製方法

試料土は佐賀県芦刈町で採取した有明粘土を使用した。固化材には普通ポルトランドセメント（OPC）を用いた。試料土の物性を表-1 に示す。実験で使用する劣化固化処理土は次のように作製した。まず、試料土の含水比を液性限界の 1.5 倍 (256.8%) に調整し、OPC を 50, 70, 100kg/m³ 添加した。これを $\phi=50\text{mm}$, $h=100\text{mm}$ のプラスチックモールドに詰めて気中(室温 20℃)で 28 日間養生した。その後モールドから取り出し、NaCl 濃度を 20g/L に調整した人工海水に所定期間浸漬させた。その際、供試体にはゴムスリーブを被せ下部は密閉し、海水との接触面を供試体上面のみとした。なお、浸漬期間は約 480 日間とし、1 週間に 1 回の頻度で海水交換を行った。供試体の作製条件を表-2 にまとめて示す。

2.2 試験方法

BE 設置方法を図-1 に示す。BE より大きめに穴を開け内側からアルミ板を接着したゴムスリーブを供試体に取り付け、BE を瞬間接着剤で金属板に固定する²⁾。BE は平行型で、縦 10mm、横 20mm、厚さ 1mm、アルミ板は縦 15mm、横 5mm、厚さ 0.1mm の寸法のものを使用した。送信波は sin 波、周波数 $f=1\sim 10\text{kHz}$ とし、BE の付け根部分に BE の振幅が大きくなるように固定装置を取り付けた。送信電圧はファンクションジェネレーターから送信した約 $\pm 7\text{V}$ の sin 波(1 周期)を電圧増幅器で約 $\pm 50\text{V}$ に増幅した。BE 試験で得られた波形の記録例を図-2 に示す。波形はノイズが生じるため、スタッキングによる波形の処理を施した。せん断波の伝播時間 Δt (s) は、送受信波の立ち上がり点の時間差(start-to-start³⁾)とする。BE 試験で求めた伝播時間 Δt (s) と BE 間距離 L (m) から伝播速度 V_s (m/s) を式(1)より、伝播速度 V_s と供試体の湿潤密度 ρ_r (g/cm³) から剛性率 G (kPa) を式(2)により算出した。

表-1 試料土の物性

自然含水比 (%)	239.4
土粒子の密度(g/cm ³)	2.63
液性限界 (%)	171.2
塑性限界 (%)	58.7

表-2 供試体作製条件

試料土の含水比 (%)	256.8
セメント添加量 (kg/m ³)	50,70,100
供試体寸法 (mm)	$\phi=50, h=100$
供試体と浸漬水の体積比	$\approx 1:5$
浸漬水の海水濃度 (NaCl:g/L)	20
浸漬期間 (day)	480

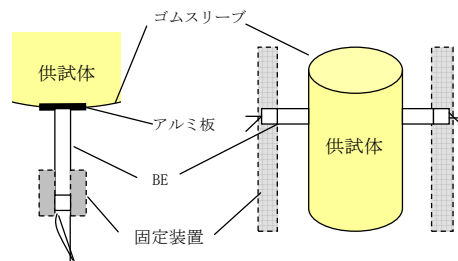


図-1 ベンダーエレメント設置方法

$$V_s = \frac{L}{\Delta t} \quad \cdots(1) \quad G = \rho_t \cdot V_s^2 \quad \cdots(2)$$

なお、BE 間距離はアルミ板間距離とする。BE 試験で測定する深度はアルミ板の下部とし、劣化した供試体の 0-70mm まで 5mm 間隔で測定を行った。

3. 結果と考察

各 OPC 添加量の剛性率分布を図-3 に示す。各添加量とも深度が浅い部分では剛性率は極めて小さい値を示し、それより深い部分では剛性率が急激に高くなる部分があり、それ以深ではほぼ一定の値を示す。著者らは、劣化が進行する固化処理土の内部の状態をコーン貫入試験と化学的性質の深度分布により 3 つの領域に分けられることを示した¹⁾。さらに、貫入抵抗分布と剛性率分布はほぼ同じになることがわかっているため⁴⁾、この剛性率の分布を同様に 3 つの領域に分け、すなわち(a)劣化領域、(b)遷移領域、(c)健全領域に分ける。セメント添加量が多いほど劣化領域は小さいので、添加量が多いほど劣化の進行が遅いことがわかる。劣化領域の最も剛性率が小さい深度 5mm と、健全領域の最も剛性率が大きい深度 70mm の剛性率をそれぞれ G_1 、 G_0 とし、セメント添加量と剛性率、セメント添加量と剛性率比 $G_1/G_0 \times 100$ の関係をそれぞれ図-4、図-5 に示す。健全領域の各添加量の剛性率 G_0 は添加量が多いほど高くなる。同様に劣化領域の剛性率 G_1 を比較すると、各添加量とも剛性率は健全領域に比べ著しく低下していたが、劣化領域においても $G_1=0.73, 1.27, 2.85(\text{MPa})$ と添加量が多いほど剛性率は高い値を示した。剛性率比は添加量に関わらずほぼ一定の値となる。その値は約 0.55% となり、これは、海水浸漬によって劣化すると剛性率が健全時の約 99.5% まで低下することを示している。

4. まとめ

本研究では、固化材添加量の異なるセメント処理土供試体を海水に浸漬劣化させ、BE 試験を実施して、固化材添加量と剛性率の関係を調べた。得られた知見を以下に示す。

- 1) 海水に浸漬したセメント処理土は、劣化領域においても固化材添加量が多いほど剛性率が高い。
- 2) 海水によって劣化したセメント処理土の剛性率低下の割合は、固化材添加量によらず、ほぼ一定である。

参考文献

- 1) 原弘行, 末次大輔, 林重徳: 海水環境下における石灰処理土のカルシウム溶出機構, 材料, Vol.61, No.1, pp11-14 (2011).
- 2) 山下聡, 堀智仁, 鈴木輝之: 異方応力状態でのせん断波速度に及ぼす伝播方向と堆積方向の影響, 土木学会論文集, No.722, III-61, pp.387-392 (2002).
- 3) 萩野俊寛, 高橋貴之, 及川洋, 三田地利之, 対馬雅己: ベンダーエレメント試験および繰り返し載荷試験による泥炭のせん断弾性係数, 地盤工学ジャーナル, Vol.4 No.1, pp.125-133 (2009).
- 4) 渡辺江美, 末次大輔, 原弘行, 鈴木裕美: ベンダーエレメント試験による海水浸漬した石灰処理土の剛性率分布の測定, 研究発表会講演概要集, III-1, (2012)

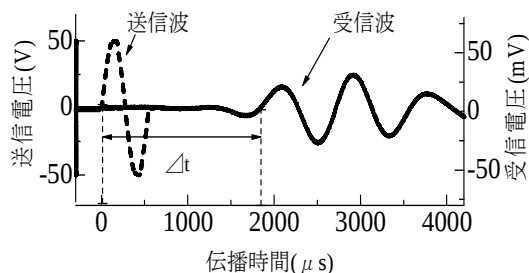


図-2 送信波と受信波の観測例

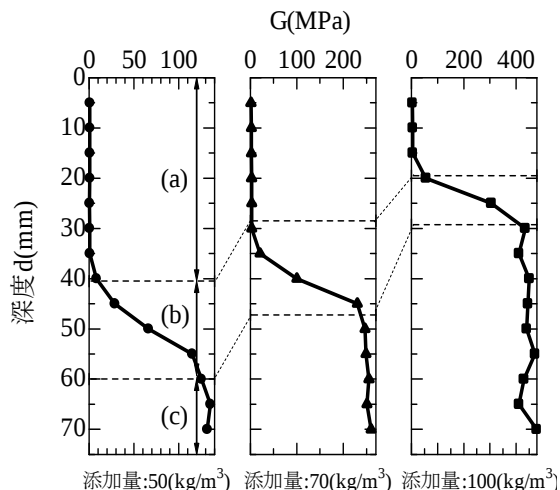


図-3 劣化したセメント処理土の剛性率分布

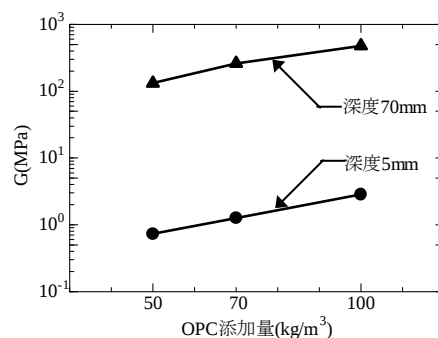


図-4 剛性率 G とセメント添加量の関係

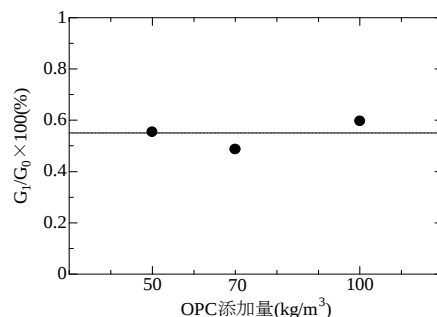


図-5 G_1/G_0 とセメント添加量の関係