

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

佐賀大学理工学部 学生会員○渡辺 江美
佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 正会員 末次 大輔
同上 正会員 原 弘行
佐賀大学理工学部 学生会員 鈴木 裕美

1. はじめに

現在、築堤から約 20 年が経過した有明海沿岸における感潮河川堤防では、固化処理土層の軟化・漏水問題が発生している。最近の研究では、固化処理土は曝される環境によって、その性質が劣化することが報告されている^{1),2)}。さらに、近い将来、地球温暖化に伴う海水面の上昇によって、河川水や地下水の塩水化が進行し、海水に曝される固化処理土が増加することは明白である。そのため、弾性波探査等を活用して原位置で、既設の固化処理地盤の健全性、ならびに耐久性を診断する技術の開発が必要になると予想される。

本研究では、石灰固化処理土の海水劣化に伴う剛性率の変化に着目し、健全性診断技術開発のための基礎的な知見を得るために海水に浸漬した固化処理土に対してベンダーエレメント（以下 BE）を用いて剛性率を測定した。そして、コーン貫入試験および元素分析を実施し、BE 試験から得られた剛性率と貫入抵抗、Ca 濃度との相関を調べた。

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。また固化材には生石灰を用いた。試料土の物性を表-1 に示す。実験で使用する石灰処理土は、含水比を液性限界の 1.5 倍(256.8%)に調整した粘土に対し、生石灰を 50kg/m³ 添加したものである。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浸漬させた。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、浸漬時間は約 2 年間とした。供試体の作製条件を表-2 にまとめて示す。

2.2 試験方法

供試体への BE の設置方法は山下³⁾を参考にした。BE の設置方法を図-1 に示す。予め BE より少し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海水に浸漬した供試体に取り付け、BE を瞬間接着剤で金属板に固定する。BE は平行型で、10×20×1mm の寸法のものを防水コーティングして使用した。アルミ板の大きさは 10×20×0.1mm である。送信波は sin 波、周波数 $f=1\sim5\text{kHz}$ とし、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 $\pm 10\text{V}$ の波を電圧増幅器で約 $\pm 50\text{V}$ に増幅して試験を行った。BE 試験で得られた記録例を図-2 に示す。せん断波の伝播時間 $\Delta t(\text{s})$ は、立ち上がり点の時間差(start-to-start⁴⁾)とする。BE 試験で求めた伝播時間 $\Delta t(\text{s})$ と BE 間距離 $L(\text{m})$ から伝播速度

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
粒度の組成 (%)	
礫	0
砂	0.4
シルト	29.6
粘土	70

表-2 供試体作製条件

試料土の含水比 (%)	256.8
石灰添加量 (kg/m ³)	50
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
浸漬時間 (year)	2

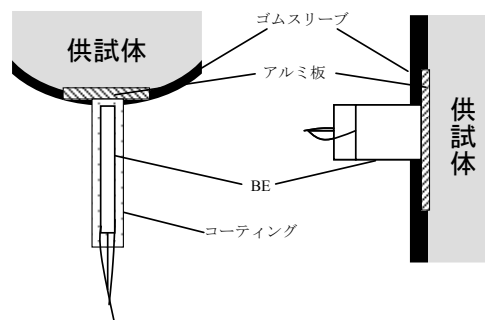


図-1 ベンダーエレメント設置方法

V_s (m/s)を式(1)より算出する.

$$V_s = \frac{L}{\Delta t} \quad \cdots(1)$$

伝播速度 V_s と供試体の湿潤密度 ρ_t (g/cm³)から剛性率 G (kPa)を式(2)により算出する.

$$G = \rho_t \cdot V_s^2 \quad \cdots(2)$$

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 BE の中心深度とし, 供試体の上部から 70mm まで測定した. BE 試験後に同一供試体に対して小型コーン貫入試験, 蛍光 X 線分析を行った.

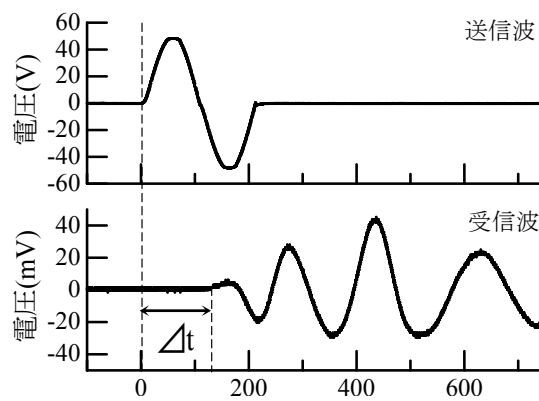


図-2 送信波と受信波の観測例

3. 結果と考察

貫入抵抗 F , 剛性率 G , Ca 濃度の深度分布を図-3 に示す. 貫入抵抗の値は約 25mm 付近まで極めて小さく, その後急激に発現し始め, 深度約 35mm 付近から緩やかになりほぼ一定値を示す. 貫入抵抗の発現がみられない範囲は著しく軟化していると考えられる. この範囲を劣化深度 dn と定義する⁵⁾. Ca 濃度は劣化深度以深で高い値を示し, 特に 35~70mm では深さ方向に大きな変化はみられず 27wt%程度であった. 劣化深度以浅では, 著しい Ca 濃度の低下が確認できる. 貫入抵抗および Ca 濃度がほぼ一定の値となる 35~70mm では剛性率も深さ方向に明瞭な変化はみられなかった. 劣化深度以浅の剛性率は深部に比べて非常に小さく, 特に表層から 20mm までの範囲では約 0.2MPa であった. また, 劣化深度付近の剛性率は深部と表層部の中間程度の値を示した. 上記のように, せん断波速度から得られる剛性率は軟化した範囲で著しく低い値を示し, 貫入抵抗や Ca 濃度との相関は非常に高い.

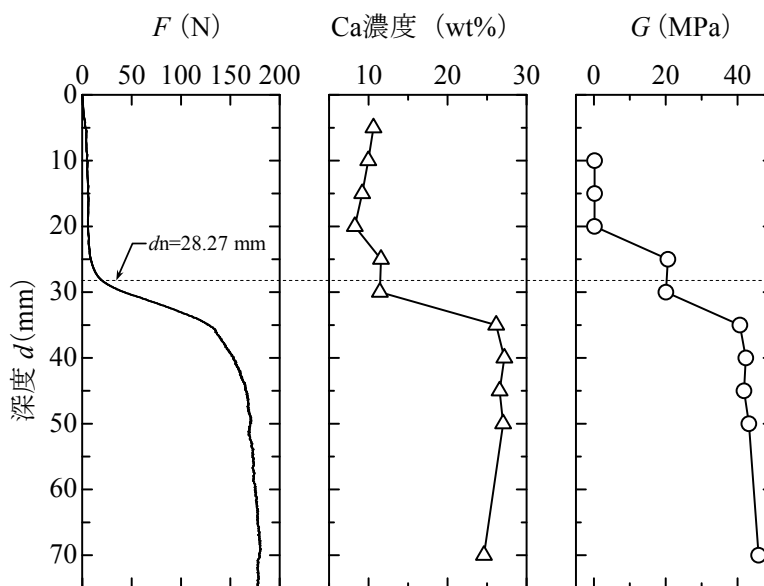


図-3 貫入抵抗 F , 剛性率 G , Ca 濃度の深度分布

部に比べて非常に小さく, 特に表層から 20mm までの範囲では約 0.2MPa であった. また, 劣化深度付近の剛性率は深部と表層部の中間程度の値を示した. 上記のように, せん断波速度から得られる剛性率は軟化した範囲で著しく低い値を示し, 貫入抵抗や Ca 濃度との相関は非常に高い.

4. まとめ

本研究では, 海水に浸漬した石灰処理土供試体に対して BE 試験ならびに小型コーン貫入試験, 元素分析を実施し, 海水への浸漬軟化に伴う剛性率の変化と力学試験・化学分析結果との相関を調べた. 得られた知見を以下に記す.

- 1) 海水に浸漬した石灰処理土は軟化した範囲において剛性率が著しく低下する.
- 2) ベンダーエレメント試験から得られる剛性率 G は貫入抵抗および Ca 濃度と高い相関がある.

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) M・Kamon・G. Ying・T. Katsumi: Effect of acid rain on lime and cement stabilized soils, Soils and Foundations, Vol.36, No.4, pp.91-99(1996).
- 3) 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).
- 4) 川口貴之, 三田地利之, 澁谷啓, 佐野信房: 室内ベンダーエレメント試験によるせん断弾性係数 G の評価, 土木学会論文集, No.694, III-57, pp.195-207 (2001).
- 5) 原弘行, 林重徳, 末次大輔, 水城正博: 海水環境下における石灰処理土の性状変化に関する基礎的検討, 土木学会論文集 C, Vol.66, No.1, pp.21-30 (2010).