PVD を用いた高含水比浚渫粘性土の真空圧密変形特性

佐賀大学 理工学部 学生会員 江頭 雄大 同 齋藤 昭則 同正 柴 錦春

1. はじめに

港湾施設の整備と航路の水深確保を目的とした浚渫が各湾岸地域で行われており、それによって大量に発生する高含水比浚 渫土の処理が環境問題となっている。このような背景から、浚渫土の有効利用および処理のために、効率よく脱水・圧密する 技術の開発が求められており、ドレーン材を利用した真空圧密は浚渫粘性土脱水圧密の有効な方法の一つである。高含水比浚 渫土の場合、真空圧密を行う過程で土粒子がドレーン側へ移動する可能性があるが、そのメカニズムと移動量についてはまだ 究明されていない。本研究では、バーチカルドレーン(PVD)を用いた浚渫粘性土の真空圧密について、小型室内モデル試験結 果および有限要素数値解析によってPVD周囲粘性土の変形特性を検討した。 **表**1 物理特性

2. モデル試験

2.1 試験装置·方法

今回実施したモデル試験装置の概要を図-1、2に示す。1本

の PVD の影響範囲の 8 分の 1 をモデルとして使用する。モデルの半径は 300mm、高さは 150mm である。

使用した粘土試料は、佐賀県杵島郡白石町より採取した有明粘土である。試料のいく つかの物理性質の指標を表-1 に示す。

本試験では、モデルに粘土を入れ、上面をシートによって密封し、中心部(ドレーン側) の垂直面(150mm×40mm)に真空圧 60kPa をかけた。試験は排水がほぼゼロになった時点 で終了し、その後半径方向9か所の試料をサンプリングし、それぞれの単位面積当たり の土の乾燥質量と含水比を測定した。さらに、ドレーン近く、中心部、ドレーンから遠 くの位置の3か所から試料をサンプリングし、粒度分布試験を行った。また、今回行っ た2ケースでは試料の初期含水比を220%および150%に調整した。

2.2 結果と考察

初期含水比220%および150%の単位面積当たりの土の質量(m)を、それぞれの平均値 (初期値m_{av})の比で表したものを図-3に示す。どちらのケースも、土粒子がドレーン側 へ移動しており、含水比220%の方が含水比150%よりも少し多く土粒子がドレーン側に 移動したことが分かる。これは高含水比である方が、土粒子がドレーン側へ引き寄せら れやすいためであると考えられる。ところが、既存のPVDによる圧密理論は土のドレー ンへの移動の現象を考慮していない。粒径分布については3か所でほぼ同じ結果とな り分粒化は発生しなかった.

3. FEM 解析

3.1 解析モデルとパラメータ

室内モデルは小型なので、現場状況を想定して PVD による真空圧密を有限要素法 (FEM)でシミュレーションした。解析モデル及びメッシュを図-4 に示す。PVD ユニットセルの直径: $D_e = 1.0$ m、ドレーンの直径: $d_w = 0.05$ m、モデルの高さ:H=1.0m とした。粘性土の応力一ひずみ特性を修正カムクレーモデルで表し、解析に用いたプ

試料名	土粒子の密度	液性限界	塑性限界	塑性指数
	$ ho_s$ (g/cm³)	$W_L(\%)$	$W_P(\%)$	I_P
有明粘土	2.560	111.1	38.6	72.5







図-2 モデル試験装置



Undrained

解析モデル及び

 C_{hrep}

 $(10^{-8}m/s)$

102.4

11.88

1.22

メッシュ

 \mathbf{q}

図-4

 k_i

 $(10^{-8}m/s)$

79

4.45

0.25

III-035

ログラムは CRISP である。モデルパラメーターについては、室内モデル試験に使用した土の測定値 を参考に次のように設定した。液性限界: w_L = 110%、圧縮係数: C_c = 0.74、透水係数(k) 一間隙 比(e)の関係は *Taylor* (1948)の式を用いる¹⁾。

$$k = k_0 \times 10^{-(e_0 - e)/C_k}$$
 (1)

ここで、 k_0 = 初期透水係数、 e_0 = 初期間隙比、k = 現在の透水係数、e = 現在の間隙比、 C_k = 定数であり、本研究では e_0 = 2.915; k_0 =2.5×10⁻⁹ m/s; C_k = 0.4 e_0 =1.166 と設定した。解析したケースは表-2 にリストしている。また PVD の圧密理論により、圧密度の計算において水平方向の圧密係数(C_{hrep})が必要である。その計算に用いた代表的な垂直有効応力、 σ_{vrep} は以下のように計算した(JAS 2000)²)。

$$\sigma_{vrep} = \sqrt{\sigma'_{vi} \ \sigma'_{vf}} \tag{2}$$

ここで、 σ'_{vi} :初期垂直有効応力、 σ'_{vf} :最終垂直有効応力である。

3.2 解析結果

(1) モデル内水平方向ひずみの分布

PVD ユニットセルは沈下だけではなく、モデル内 水平変位が発生する。モデル水平方向のひずみ分布 を図-5 に示す。中心部(半径 $r < R_e/2$ 、 R_e はユニッ トセルの半径)で水平方向のひずみ(ϵ_h)は圧縮とな り、他の部分は伸張である。ドレーンと接触部の水

 $み(<math>\varepsilon_h$)は圧縮とな 2 4.37 165 0.65 -ンと接触部の水 3 2.92 110 2

 e_i

5.83

ケース

1

平方向圧縮ひずみの値は15-20%に達する。紙面制限で沈下量の結果を示していないが、 PVD周囲で約200mm、そして垂直ひずみも約20%である。したがって、PVD周囲の土 は等方圧密したことを示している。傾向として、モデル試験の結果と一致している。

(2) 圧密度変化の比較

解析ケース3のFEM シミュレートした圧密度とPVD のユニットセルの圧密理論に よる圧密度の比較を図-6に示している。粘性土PVDユニットセルの真空圧密変形特性 は理想のユニットセルの条件と異なっているので、一定時間での圧密度(U)は既存PVD ユニットセル圧密理論による値よりかなり低い。最大差は約40%に達している。今後、 ユニットセルの水平変形も考慮した圧密理論の開発が必要と考えられる。

4. まとめ

小型室内モデル試験、FEM 数値解析により、PVD を用いた高含水比浚渫粘性土の真空圧密による PVD ユニットセルの変形特性を検討した。

- (1) モデル試験の結果により、高含水比粘性土の土粒子が PVD 側に水平移動した。初 期含水比が高いほど、この現象が顕著になる。
- (2) FEM 数値解析により PVD ユニットセル中心部の水平ひずみ Eh は圧縮、他の部分は 伸張である。ドレーン周囲の土の水平・垂直ひずみは概ね同じであり、土は等方圧密 した。
- (3) 高含水比粘性土 PVD ユニットセルの真空圧密変形特性は理想のユニットセルの条件と異なっているので、FEM による一定時間での圧密度(U)は既存 PVD ユニットセル圧密理論による値よりかなり低い。

参考文献

1) Taylor, D. W. Fundamentals of Soil Mechanics. New York, John Wiley & Sons, Inc.; 1948.

2) JSA (Japanese Standard Association) (2000). JIS A 1217. Test method for consolidation of soils. JSA, Tokyo.

表-2 解析したケース

 $\Delta \sigma_{vac}$

 (kP_a)

-80

-80

-80

 σ'_{vi}

 (kP_a)

0.2

W_i

(%)

220

+	(%) ³⁰ ¹ ³ ⁴ ³ ²⁰	圧縮	220% 165% 110%			
191		And the second design of the	-			
		伸張	0.3 0.4 0.5			
	Ū	半径方向距	半径方向距離 r (m)			

図-5 水平方向のひずみ分布



図-6 圧密度の比較