

真空圧密における PVD 打設深度が改良効果に及ぼす影響に関する試験・検討

佐賀大学 理工学部 学生員 ○坂口 大地 佐賀大学 理工学部 正会員 柴 錦春
株式会社軟弱地盤研究所 正会員 三浦 哲彦 錦城護謨株式会社 正会員 吉川 雅史

1. はじめに

軟弱地盤改良工法としてバーチカルドレーン (PVD) と併用した真空圧密工法の応用事例が増えている。両面排水地盤において PVD と真空圧と併用する場合、PVD を経由して底面の排水境界面で真空圧の漏れを防ぐために、通常 PVD を軟弱層不貫通にする。この場合、圧密効果 (沈下量) を目標とした理論上の最適 PVD 打設深度が存在する¹⁾。本研究では、両面排水地盤条件において室内モデル試験を行い、解析検討を加えて真空圧密の効果に対して PVD 打設深度の影響を検討した。

2. 室内モデル試験

図 1 に示す室内モデル試験装置のモールドは、塩ビ製の内径 0.45m、高さ 0.90m の円筒と加圧のピストンシステムからなる。モデル試験に用いたミニ PVD は、厚さ約 3mm の不織布を 3 層折り重ねて作った断面寸法 9mm×30mm のものであった。モデル地盤の作成に有明粘土を使用した。使用した粘土の主な特性値は、表 1 に示している。試験の手順は、まず、排水層としてモールド底面にジオテキスタイルを 3 層敷く。次に、液性限界より高い含水比 (120%) で攪拌した有明粘土をモールドに数層に分けて入れ、底面から高さ 0.40m、モールド中心の位置に間隙水圧計を設置する。そして、ミニ PVD 4 本を打設し、再度 3 層のジオテキスタイルを表面に敷く。最後にピストンを入れ、沈下計、間隙水圧測定装置をセットして载荷 (空気圧) 40kPa と真空圧-40kPa をかけ、試験を開始する。真空圧のみの場合、モデル地盤に内向きの側方変形が生じ、その結果モールドとの間に隙間が発生して試験を続けることができないので、载荷と真空圧を同時にかけ、試験を行った。

本研究では、PVD 打設深度を、0.48m (下から 0.30m)、0.58m (下から 0.20m)、0.68m (下から 0.10m) のケース 1, 2, 3 で試験を行った。

3. 室内モデル試験の結果および考察

図 2 に測定した経過時間-沈下量の関係を示す。PVD 打設深度は、沈下速度と最終沈下量に影響を及ぼすことが分かる。ケース 2 の場合、沈下速度と最終沈下量がともに大きい。不貫通の条件で、理論上、PVD 打設深度が深いほど最初の沈下速度が大きい。つまり、ケース 3 の初期沈下速度が速いはずであるが、実測値はそうではなかった。試験 2 日目、真空圧を数時間止めたことがあったので、それがケース 3 の沈下速度に一定の影響を与えたと考えられる。

底面から高さ 0.40m、モールド中心の位置で測定された過剰水圧 (u) の経時変化は、図 3 に示す。初期値は 3 ケースともに約 30kPa で、理論値の 40kPa (载荷荷重) より小さい。その原因として、間隙水圧計の多孔質フィルターが 100%に飽和されなかったことが考えられ、測定した水圧は、圧密の前半においてほぼ線形的に減少したが、圧密の進行に伴って漸減する傾向を示している。試験終了時点

表 1 試料の特性

液性限界 w_L (%)	108.80
塑性限界 w_p (%)	59.21
圧縮指数 C_c	0.61
圧密係数 C_v (m ² /day)	0.0015

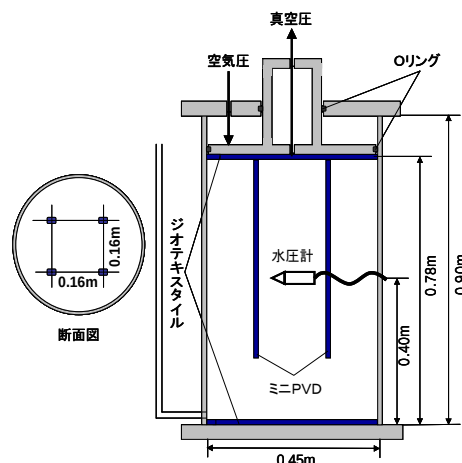


図 1 室内モデル試験装置概要図

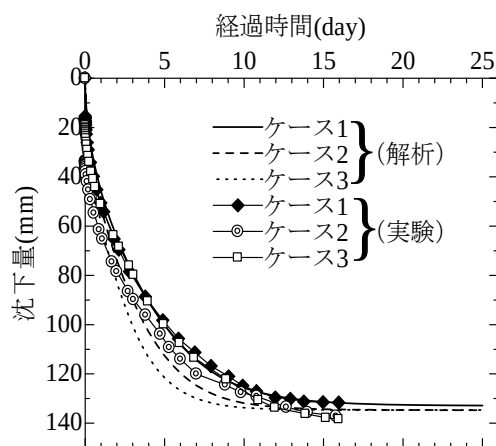


図 2 経過時間-沈下量の関係

の u 値 (真空圧) の最小値は、ケース 1, -25.6kPa ; ケース 2, -21.1kPa ; ケース 3, -20.5kPa であった。

4. PVD 最適打設深度

柴ら¹⁾ は両面排水地盤において PVD と真空圧を併用する場合、PVD の最適打設深度 (H_1) を以下のように求めることを報告した。

$$H_1 = \left(\frac{k_{v1} - \sqrt{k_{v1}k_{v2}}}{k_{v1} - k_{v2}} \right) H$$

ただし、 H =軟弱層の厚さ、 k_{v1} =PVD 改良層の等価垂直方向の透水係数²⁾、 k_{v2} =未改良層の垂直方向の透水係数である。ミニ PVD の有効直径 $d_w=0.01\text{m}$ 、スアゾンなし、ミニ PVD の排水能力 $q_w=1\text{ m}^3/\text{year}$ と仮定して計算した PVD 最適打設深度は、約 0.575m である。このことより、打設深度 0.58m が PVD 最適打設深度に最も近い。また、水流の連続の条件 $k_{v1}i_1=k_{v2}i_2$ (i_1 と i_2 は PVD 改良層と未改良層中の最終動水勾配) を用いて計算した測定位置の真空圧 (負圧) は、ケース 1, -33.2kPa ; ケース 2, -33.1kPa ; ケース 3, -31.3kPa である。測定した負圧は、計算値より小さかったが、ケース 1 が一番大きく、ケース 3 が一番小さいことは一致している。

モデル試験はいくつかの不備があったので、有限要素法 (FEM) を用いてモデル試験を解析検討した。解析において、モデル地盤を弾塑性モデル (修正カムクレ) で表し、ミニ PVD の効果を等価垂直方向透水係数法²⁾ で評価した。モデル地盤のパラメータとして、圧縮指数 $C_c=0.61$ 、初期間隙比 $e_0=3.2$ 、また、仮定したポアソン比 $\nu=0.3$ 、 $M=1.2$ (偏差応力 q -平均有効応力 p' プロットの傾き) を用いた。透水係数については、初期値 $k_0=1.41 \times 10^{-10}\text{m/s}$ を用いて、Taylor の式³⁾ で間隙比の変化による透水係数の変化を考慮した。解析結果は、図 2 と図 3 にそれぞれ示している。ケース 1 とケース 2 についてシミュレートした沈下量-時間曲線は実測値とよく合っているが、ケース 3 の場合、沈下速度は実測値より速い (図 2)。シミュレートした過剰間隙水圧の初期値は実測値より大きい、消散速度も大きく、最終値は実測値より小さい (真空圧が大きい)。また、解析した最終の地盤中の真空圧分布は図 4 に示す。過剰水圧測定位置の u 値は、水流の連続の条件での計算値とほぼ一致している。真空圧を深さに対して積分し、その値を A (u の分布と左の縦軸間の面積) とすると、この値は PVD の打設深度は最適打設深度において一番大きくなる。

5. まとめ

室内モデル試験・解析検討によって、両面排水地盤で真空圧とバーチカルドレーン (PVD) を併用する場合、PVD の最適打設深度があることを沈下量と過剰水圧 (真空圧) 分布の両面で示した。また、PVD 打設深度の決定に柴らの提案式¹⁾ は有効であることが確認できた。

謝辞：本実験にあたり、錦城護謨株式会社の野村忠明部長にお世話になりました。

参考文献

- 1) 柴錦春・三浦哲彦・野村忠明・米谷宏史(2004)真空圧密における GD の打設深度及び中間砂層の影響.ジオシンセティックス論文集, 第 19 巻, pp. 133-138.
- 2) Chai, J.-C., Shen, S.-L., Miura, N. and Bergado, D.T. (2001). Simple method of modeling PVD improved subsoil. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 127(11), pp. 965-972.
- 3) Taylor, D.W. (1948). Fundamentals of Soil Mechanics, John Wiley & Sons Inc., New York.

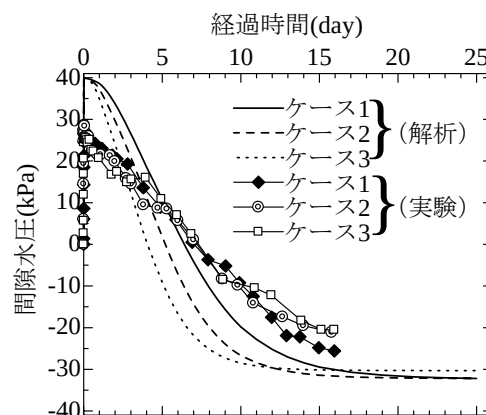


図 3 経過時間-間隙水圧の関係

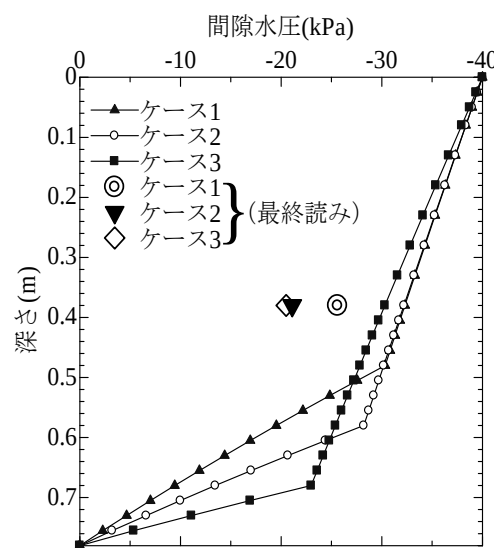


図 4 深さに対する真空圧分布