# 両面排水地盤における真空圧密の場合の PVD 打設深度の影響に関する検討

佐賀大学　理工学部　学生員 ○田中 裕介　佐賀大学　理工学部　学生員 松永 圭一郎
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
錦域護謨株式会社 土木部 正会員 野村 忠明

## １．はじめに

真空圧密の効果は地盤の排水境界条件によって異なる。実務上、真空圧とバーチカルドレーン(PVD)と併用する場合が多い。両面排水地盤において、底面の排水境界から真空圧の漏れを防ぐために、軟弱層中に打設する PVD は不貫通にしなければならない。この場合、PVD の打設深度の変化によって圧密の効果が変化する。本研究では、まず両面排水地盤で真空圧密と PVD を併用する場合、PVD の最適打設深度の決定法を説明する。次に佐賀県芦刈で行った真空圧密の現場試験結果を用いて、有限要素法数値解析で PVD の打設深度の影響を検討し、PVD の最適打設深度決定法の有効性を検証する。

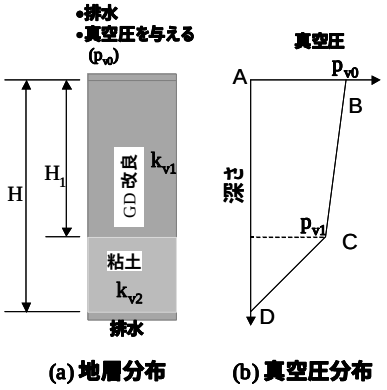


図-1　PVD で改良した地盤中の真空圧分布

## ２．両面排水地盤で真空圧密の場合、PVD の最適打設深度

両面排水地盤に、真空圧密を行う場合、底面の排水境界に実質的に真空圧をかけることができない。結果として、均一な地盤では地盤中の真空圧分布は地表が最大、底面が 0 の三角形になる。従って、地表の全水頭は底面より小さくて、地表向きの定常流が発生する。自然粘土地盤では、不均一で多層の場合が多い。地表向きの定常流の連続性を維持するために、多層両面排水地盤中の真空圧の分布は、各層の透水係数の相対値によって変化する。例えば、2 層地盤の場合、ダルシーの法則により以下の式が成り立つ。

$$k_{v1} \cdot i_1 = k_{v2} \cdot i_2 \qquad (1)$$

ただし、$k_{v1}$ と $k_{v2}$ は層１と層 2 の垂直方向の透水係数、$i_1$ と $i_2$ は層１と層２中の動水勾配。式(1)から分かるように、透水係数が低い層中の動水勾配は高くなければならない。即ち、その層中の真空圧の変化が大きい。PVD で不貫通の状態で改良した地盤については、マクロレベルで２層地盤になる。PVD 改良層全体の透水係数は未改良層より高い。地盤中の可能な真空圧分布は図 -1 に示す。PVD 打設深度の変化により、真空圧の分布が変化する。地表の真空圧が一定の条件で、地盤への圧密効果が一番良い(沈下量が大きい)最適 PVD 打設深度( $H_1$ )が存在する。柴ら [1)] は図 -1(b)中の真空圧分布面積 ABCD が一番大きいという条件で、$H_1$ を以下のように導いた。

$$H_1 = \left( \frac{k_{v1} - \sqrt{k_{v1} k_{v2}}}{k_{v1} - k_{v2}} \right) H \qquad (2)$$

ただし、H =軟弱層の厚さである。PVD 改良層の等価垂直方向の透水係数 $k_{v1}$ は以下のように表す [2)]。

$$k_{v1} = \left( 1 + \frac{2.5 l^2}{\mu D_e^2} \frac{k_h}{k_v} \right) k_v \qquad (3), \qquad \mu = \ln \frac{n}{s} + \frac{k_h}{k_s} \ln(s) - \frac{3}{4} + \pi \frac{2 l^2 k_h}{3 q_w} \qquad (4)$$

ただし、$D_e$=ユニットセール（一本の PVD とその改良領域）の直径、$k_h$ と $k_v$=自然軟弱地盤の水平と垂直方向の透水係数、l (=$H_1$)=PVD の排水距離、$n$=$D_e / d_w$($d_w$ は PVD の等価直径)、$s$=$d_s / d_w$($d_s$ はスミアゾーンの直径)、$k_s$=スミアゾーンの透水係数、$q_w$=PVD の排水能力である。

## 3．PVD 打設深度の影響に関する検討

2003 年 6 月～2004 年 3 月の間、佐賀県芦刈で長さ約 1km、幅 16-18m の区間で真空圧密の施工が行われた。一つの区間で、真空圧、沈下量、間隙水圧の変化が詳しく観測された。その結果は、棚橋らによって報告された[3]。観測した断面の地層分布と各層の物性値は図-2 に示す。軟弱な有明粘土層の厚さは約 10.9m(サンドマットを含めると 11.9m)で、下に砂層が分布しているので両面排水地盤である。PVD の配置は四角形で間隔は 0.8m、打設深度は 10.5m であった。式(2)によりこの場合の最適打設深度は 9.3m である。

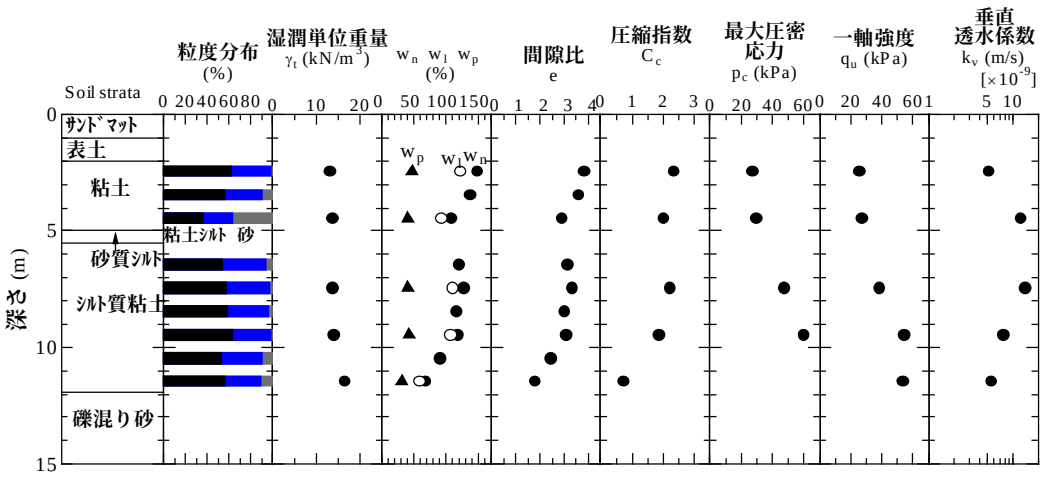


図-2　佐賀での現場試験地の地層分布と物性値

有限要素法を用いて、芦刈の現場試験をシミュレーションし、PVD の打設深度の影響を検討した。解析において、軟弱な有明粘土層を弾塑性モデル(修正カムクレー)で表した。実測とシミュレーションした地表面の真空圧の変化は図-3 に示す。図中の 9 時間/日運転の期間で真空ポンプ停止後、真空圧が -20kpa まで下がって、次の日、運転開始後再び -60kpa まで上昇することを日ごとにシミュレーションした。実際の PVD 打設深度 $H_p$=10.5m の以外に、$H_p$ =9.0、9.7m の解析も行った。地表面の沈下量変化のグラフは図-4 に示す。$H_p$ =9.0m と 9.7m（最適打設深度をカバーする）の沈下量は $H_p$ =10.5m(実際)のものより大きい(圧密効果がよい)。この検討により、次のことが分かる。(1)PVD の最適打設深度を決定するのに式(2)は有用である。(2)佐賀での現場試験の場合、PVD の打設深度を最適値にすると、圧密効果が良くなり、施工費用の縮減もできる。

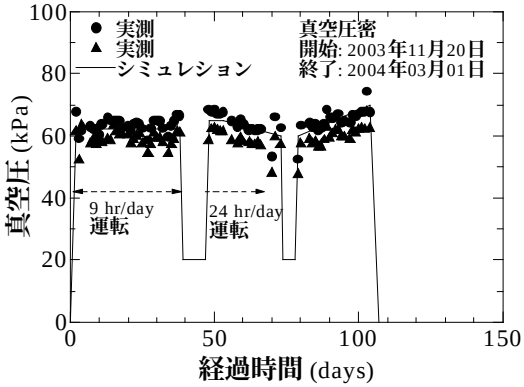


図-3　実測及びシミュレーションした真空圧変化

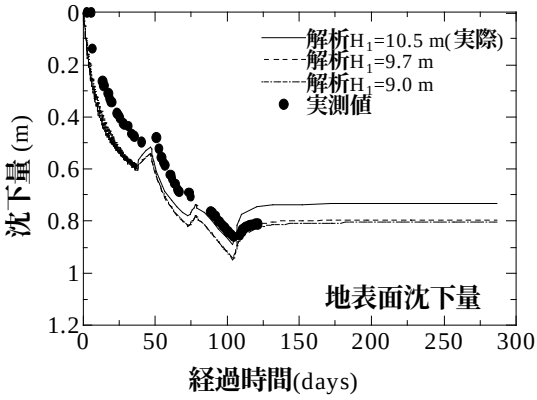


図-4　沈下量-経過時間関係の比較

## 4．まとめ

両面排水地盤においてバーチカルドレーン(PVD)と真空圧を併せて地盤を圧密改良する場合、地盤の圧密効果(沈下量)が一番高くなる最適 PVD 打設深度が存在する。佐賀での現場真空圧密試験結果を用いて、PVD の打設深度の影響を解析検討して、柴らの最適打設深度決定法[1]の有効性を確認した。

参考文献

1) 柴錦春・三浦哲彦・野村忠明・末谷宏史(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) Tanabashi, Y., Jiang, Y., Mihara, H., Li, B., Uehara, T., and Saitou, F. (2004). Field investigation and model test for clarifying compaction effect of CVC (compact vacuum consolidation) method. Proc. Vietnam-Japan Joint Seminar on Geotechnics and Geoenvironmental Eng., Hanoi, pp. 27-32.