

PVD 改良による軟弱地盤上盛土の残留沈下量の抑制

佐賀大学理工学部

学生会員 ○瓜生 良太

同 低平地研究センター

正会員 柴 錦春

同 理工学部

正会員 三浦 哲彦

1. はじめに

軟弱地盤上における盛土においては、残留沈下量が問題となる。道路盛土の場合、交通開放後の残留沈下量は、道路寿命の短縮とメンテナンス費に大きく影響するので、残留沈下量を抑制することが必要となる。PVD 改良によって地盤の圧密速度を促進し、盛土荷重による残留沈下量を減少させることは対策の一つである。著者らは、一定の残留沈下量と圧密期間の条件で PVD 改良を設計するプログラムを開発した。

佐賀空港で PVD 改良した地盤上の試験盛土を対象にして、開発した方法を用いて、PVD 改良のピッチと改良深さの影響、地盤中の非排水強度の変化を検討した。

2. 解析手法

PVD による圧密について、unite cell 理論を Barron (1948)¹⁾ や Hansbo (1981)²⁾ が提案し、広く使用されている。しかしながら、この方法は均一の地盤条件を仮定しているため自然の多層地盤に適用できない。多層地盤条件において、手計算で PVD 改良と設計する方法はない。そこで PVD 改良した多層地盤の圧密・沈下を計算する次元有限要素プログラム(PVD-CON)を開発した。プログラムは一定の圧密度と圧密期間で、ピッチの設計、一定の圧密度とピッチで、必要な圧密期間の計算ができる。また以下の項目を考慮している。

(a) PVD の打設深さ (全層貫入と部分貫入)

(b) 地盤表面での真空圧密の適用

(c) 排水条件 (一面排水と両面排水)

(d) 圧密過程での地盤中の非排水強度の計算

PVD の排水効果を考慮するために、次元の圧密の基本式を下記のように修正した。

$$\frac{k_v}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{8k_h u}{\gamma_w D^2 \mu} + \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial t} = 0 \quad (1) \quad \mu = \ln \frac{n}{s} + \frac{k_h}{k_s} \ln s - \frac{3}{4} + \pi \frac{2l^2 k_k}{3q_w} \quad (2)$$

γ_w : 水の単位重量、 z : 深さ、 t : 時間、 ε_z : 体積ひずみ、 u : 過剰水圧、 k_h 、 k_v : 水平と鉛直方向の地盤の透水係数、 k_s : スミアゾーンの透水係数、 D : unite cell の直径、 q_w : PVD の排水能力、 $n=D/d_w$ 、 $S=d_s/d_w$ 、 d_w : PVD の等価直径、 d_s : スミアゾーンの等価直径である。式 (1) の第二項は PVD の排水効果を考慮するものである。

地盤の非排水強度は、施工中における盛土の安定性の設計に応用する。その計算に当たって、二つの方法をプログラムに組み込んでいる。一つは修正 Cam-Clay (弾塑性モデル) 理論³⁾ によるもの、もう一つは経験式である。⁴⁾

3. 佐賀空港での試験盛土の解析検討

佐賀空港は、佐賀市から約 13 km 南に位置しており、有明海に隣接している干拓地である。堆積物は主に軟弱な有明粘土からなる。PVD による地盤改良の効果・影響を確認するために、試験盛土が行われた。試験地の軟弱層の深さは約 25m、主に 3 つの粘土層 (A_{C1} , A_{C2} , A_{C3}) から成り立っている (図 1)。

盛土の断面図と主な観測装置の位置は図 1 にも示している。PVD は 25m の深さまで打設され改良領域は 45m × 45m であった。ドレーン は正方形配置でピッチ S は 1.5m、地下水レベルは地表面から 1.0m であった⁴⁾。

この試験盛土を対象にして、残留沈下量を 10 cm と仮定して PVD 改良深さとピッチの影響を検討した。

(1) 改良深さの影響 (ピッチ一定: $S=1.5\text{m}$)

ピッチ $S=1.5\text{m}$ で、盛土中心の表面沈下量に対して PVD 改良深さの影響を調べた。PVD 長さを 25m (実際) から 21m に変化させても沈下量に差はほとんど現れないことがわかる (図 2)。さらに、改良深さ 25.0m 、 21.0m および 15.5m の条件下で、残留沈下量 (δ) が 10cm 未満となる条件を満足させる圧密時間は、 $t_1=390$ 日、 $t_2=395$ 日および $t_3=489$ 日となった。これらの結果から、 21m で改良するのが経済的である。圧密時間を長くとってもよい場合は、 15.5m での改良も可能である。

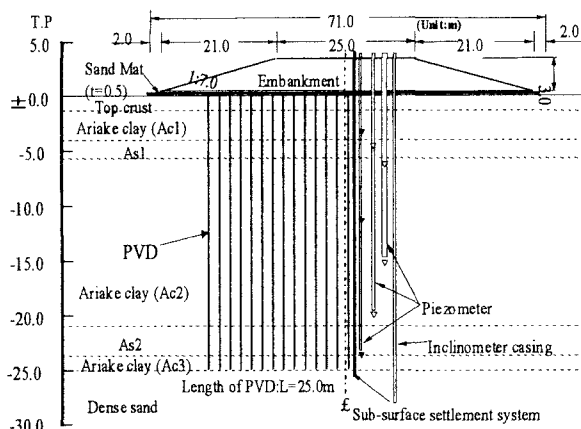


図 1 佐賀空港盛土断面図

(2) ピッチの影響 (深さ一定: $L=25\text{m}$)

PVD 長さ $L=25\text{m}$ (実際)、ピッチ $S=1.0\text{m}$ 、 1.5m および 2.0m での沈下～時間曲線は図 3 に示している。残留沈下量 (δ) 10cm の時となる圧密時間は、それぞれ $t_1=268$ 日、 $t_2=395$ 日および $t_3=548$ 日となった。このことから、工期一定の条件から適切なピッチを求めることができる。実際の設計に当たって、工期、許容残留沈下量、施工費の総合評価によって、改良深さ (L) とピッチ (S) を設定することが必要である。

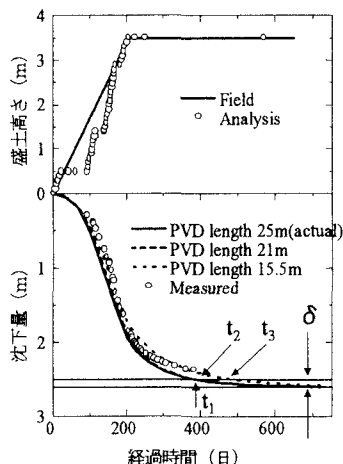


図 2 表面沈下量の比較

(3) 施工終了直後における地盤の非排水強度

修正 Cam-Clay 理論によって、地盤の非排水強度の変化を予測した。図 4 は、改良深さ $L=25\text{m}$ 、ピッチ $S=1.0\text{m}$ 、 1.5m および 2.0m の場合の地盤の初期非排水強度、施工直後の非排水強度を比較している。ピッチの減少によって、非排水強度が増加する。盛土施工の過程で、盛土の安全率が一番低い時期は施工終了直後である。これらの予測結果を用いて、盛土の安全率をチェックし、PVD 改良の設計の調整・確認をすることができる。

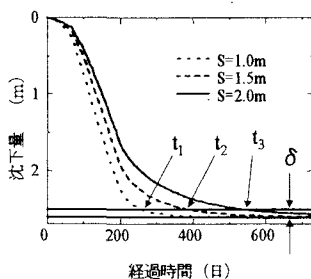


図 3 打設間隔による沈下曲線

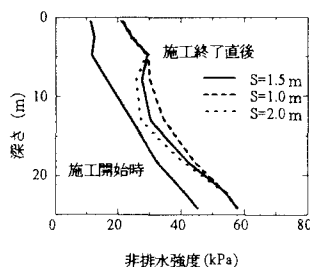


図 4 非排水強度の変化曲線

4. まとめ

PVD 改良による軟弱地盤上盛土の残留沈下量の抑制について検討した。PVD で改良した多層地盤の圧密、沈下、非排水強度を計算するプログラム (PVD-CON) を開発した。佐賀空港での試験盛土を対象として、一定の残留沈下で、PVD のピッチ (S) と改良深さ (L) の影響及び地盤中の非排水強度の変化を検討し、開発したプログラムの有効性を示した。

<参考文献> 1) Barron, R.A. 1948. Consolidation of fine-grained soils by drain wells. Trans. ASCE, NO. 113: 718-742
2) Hansbo, S. 1981. Consolidation of fine-grained by prefabricated drains. Proc. 10th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Engrg. Stockholm, 3: 677-682. 3) Roscoe, K.H. and Burland, J.B. 1968. On the generalized stress-strain behavior of wet clays. Proc. of Engeg. Plasticity, Cambridge Univ. Press, 535-609. 4) J.C. Chai, N. Miura (2000), A design method for soft subsoil improvement with prefabricated vertical drain. prof. of. Inter. Seminar on Geotechnics in Kochi, PP. 161-166.