

真空圧と載荷重併用による粘性土の側方変形特性

佐賀大学 ○学 上永 泰裕 同 齋藤 昭則
同 正 柴 錦春

1. はじめに プレローディング工法による軟弱地盤を改良する際、荷重として盛土と真空圧を用いる。しかし、盛土の場合では周辺地盤へのはらみ出し、真空圧の場合では逆に周辺地盤の引き込みが問題となる。そこで盛土と真空圧を併用すると、盛土によるはらみ出しと真空圧密による引き込みとを相殺させ、周辺地盤への影響を最小限に抑えることが可能である^{1,2)}。しかしながらその設計法はまだ確立されていない。そこで本研究は真空圧および載荷重の併用三軸圧密試験を実施し、試料の側方変形に及ぼす影響要因について検討した。

2. 真空圧と載荷重併用三軸圧密試験 試験装置は図-1に示す。本研究で用いた試料は、佐賀県小城市芦刈町より採取した有明粘土であった。その液性限界は107%、塑性限界は40.7%である。供試体の作成にまず直径250mmのモルドに初期含水比が限界の約1.2倍の有明粘土を圧密圧力 $p_0=30\text{kPa}$ で圧密した(約2週間)。次に圧密した試料から切り出して供試体を成形した。供試体の初期状態は、直径 $D_0=50\text{mm}$ 、高さ $H_0=100\text{mm}$ であった。供試体中央部には直径8mmの穴をドリル刃で掘削し、バネにろ紙を巻き付けた排水材(プラスチックバーチカルドレーンをシミュレートする)を挿入した。その後、完成した供試体を飽和装置にセットし、真空圧10kPaを1時間載荷し飽和させた。試料を試験装置にセットした後、まず地盤中の応力状態(垂直と水平方向の有効応力それぞれ40kPaと24kPaを想定)をシミュレーションするために、予圧密をした。予圧密応力を段階的に加えた。即ち、載荷時間間隔120minで軸圧10kPa、側圧6kPaを4段階かけて、軸圧40kPa側圧24kPaを載荷した。等方的な応力は空気圧によって加えたが、軸圧と側方圧の差圧は重りによりかけた。

試料の側方ひずみに着目して主に2種類の本圧密試験を行った。ひとつは載荷重(p_s)と真空圧(p_{va})の比(p_s/p_{va})の影響であり、もうひとつは載荷重をかける前の真空圧載荷期間(t_{va})の影響である。試験したケースは表-1にまとめている。

3. 試験結果

(1) 垂直変位と間隙水圧 図-2に試験したケース1-3の垂直変位-時間曲線を示す。当然のことながら載荷重70kPaの垂直変位が最小で、90kPaが最大となる。試料の底部中心から約 $r=20\text{mm}$ のところに測定した間隙水圧(u)の変化を図-3に示す。載荷重が大きくなり、載荷時間が長くなる。そして載荷による正の Δu が増加。載荷直後の u 値は載荷重90kPaの場合大きかった。しかし真空圧は各ケースで-60kPaなので理論上最終 u 値は大きな差がないはずだが、測定値にはばらつきが生じ、理由はいまだ不明である。

(2) 水平ひずみ 用いた試験装置で水
平ひずみの直接測定ができなかった。以下の方法で最終水平ひずみを計算した。まず予圧密による沈下量(d_p)および排水量(Δv)から予圧密後の本圧密試験の供試体の初期半径(r_0)を(1)式で計算する。

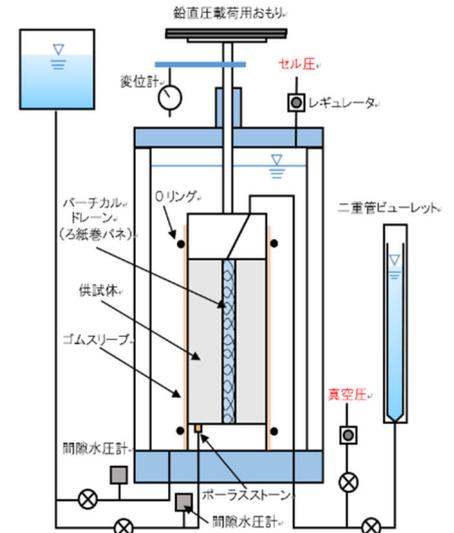


図-1 三軸圧密試験装置

表-1 試験したケース

ケース	真空圧 p_{va} (kPa)	載荷重 p_s (kPa)	t_{va} (min)	載荷重増分 Δp (kPa)	載荷重増分時 間隔 Δt (min)	備考
1	60	70	0	10	60	載荷重大きさの影響 (1)
2	60	80	0	10	60	
3	60	90	0	10	60	
4	60	80	15	10	60	先行真空圧密載荷時間 の影響
5	60	80	30	10	60	載荷重大きさの影響 (2)
6	60	90	30	10	60	
7	60	100	30	10	60	

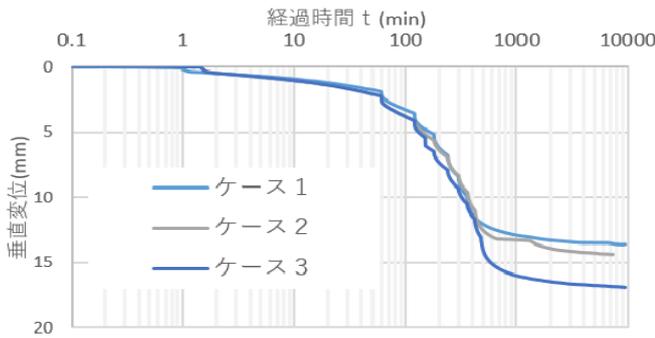


図-2 垂直変位の変化

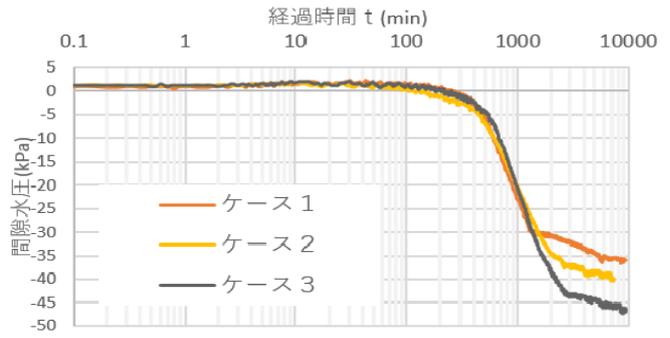


図-3 間隙水圧の変化

ここで、 V_0 は供試体の初期体積、 ΔV は予圧密による排出された水の量、 H_0 は供試体の初期高さである。三軸圧密試験後、供試体の最終半径 (r_a) を直接計った。高さ方向に 5mm ごとふたつの直交の方向でノギスにより直径を計り、その平均値を r_a とする。最終水平ひずみ (ϵ_h) は(2)式で計算した。

$$r_0 = \sqrt{\frac{V_0 - \Delta V}{(H_0 - df)\pi}} \quad (1)$$

$$\epsilon_h = \frac{r_0 - r_a}{r_0} \quad (2)$$

- (1) p_s/p_{va} の影響 図-4 に示すように、他の条件が同じ場合 p_s/p_{va} の増加に伴って ϵ_h は圧縮 (+) から伸張 (-) に転じた。試験した条件で t_{va} がゼロの場合、 p_s/p_{va} が約 1.2 の時 ϵ_h はほぼゼロになる。つまり、この载荷条件で地盤中に側方変位が生じない。 t_{va} が 30min の場合、 ϵ_h がほぼゼロの p_s/p_{va} 値は約 1.4 である。
- (2) t_{va} の影響 図-5 に荷重の大きさと载荷重増分の载荷時間増分は同じ、 t_{va} が異なるケースの水平ひずみを示す。 t_{va} の増加により、 ϵ_h が伸張 (-) から圧縮 (+) になった。
- (3) 考察 図-4、5 の結果により、真空圧と载荷重を併用して軟弱な粘性土地盤のプレローディングを行う際、 p_s/p_{va} と t_{va} の調整で周囲地盤の側方変位を最小に抑えることができる。しかし、道路盛土の場合、一定の盛土高さが要求される。また、現場での真空圧は最大で約 80kPa までしか载荷できない。これらの制限で、 p_s/p_{va} を調整できない場合がある。その際、地盤の側方変位を最小にする方法は t_{va} と载荷重の载荷速度の調整になる²⁾。

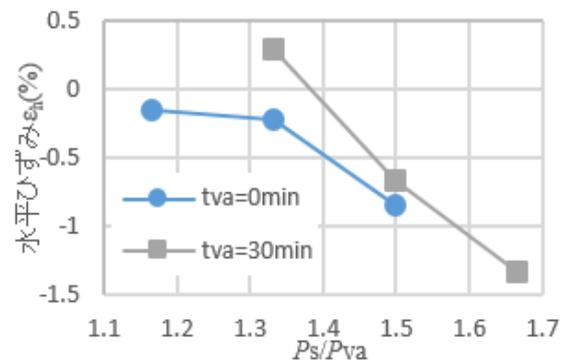


図-4 水平ひずみ(p_s/p_{va} 値の影響)

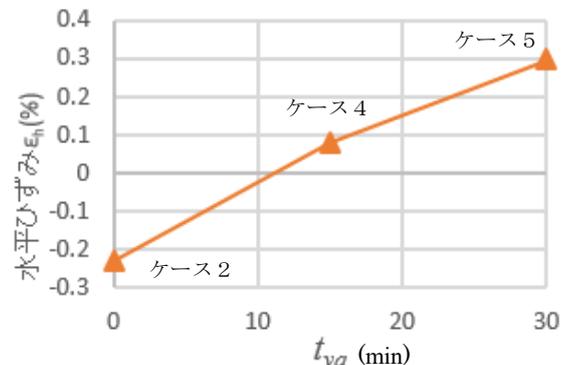


図-5 水平ひずみ(先行真空圧期間の影響)

4. まとめ プレローディングによる軟弱な粘性土地盤の改良に地盤の側方変位に着目し、真空圧および载荷重の併用三軸圧密試験を実施した。試験結果から得られた知見は以下の通りである。

- a) 载荷重 (p_s) と真空圧 (p_{va}) の比 (p_s/p_{va}) が増加すると、試料の水平ひずみ (ϵ_h) が圧縮 (+) から伸張 (-) になる。一定の载荷速度で、 ϵ_h がゼロになる p_s/p_v 値が存在する。
- b) 载荷重を载荷前に先行真空圧密を一定の期間 (t_{va}) で行うと、試料の ϵ_h 値が小さくなる。一定の p_s/p_v 値の場合、 t_{va} の調整は有効な地盤の側方変位を最小にする方法である。

参考文献: 1) 棚橋由彦他、室内三軸模型実験による真空圧载荷盛土工法の挙動再現と合理的施工管理法の提案、長崎大学工学部研究報告第 39 巻第 72 号(2009.1)、2) Chai, J.-C. and Rondonuwu, S. G. (2015). Surcharge loading rate for minimizing lateral displacement of PVD improved deposit with vacuum pressure. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 43, No. 6, pp. 558-566.