

等ひずみ条件によるバーチカルドレーンの土槽実験

東海大学大学院 学生会員 ○ 杜 磊
 (株)オオバ 正会員 飯沼 孝一
 (株)新日本開発工業 正会員 赤石 勝
 東海大学 正会員 杉山 太宏

1. 緒言

一般に、バーチカルドレーンを打設した軟弱地盤の一次元圧密解析には、Barron の等ひずみ条件に対する圧密度と時間係数の関係が利用され¹⁾、ドレーンへの放射状排水のみが考慮される。圧密はドレーンに近い粘土から速く進行するので、圧密中、粘土部地表面が均等に沈下（等ひずみ条件）するのかどうかは疑問である。また、バーチカルドレーン施工現場において、周囲の粘土が等ひずみ条件のもと圧密することを実際に確認した調査結果も見当たらない。著者らは、吉国ら²⁾が行った等ひずみ条件による室内試験結果に対して、Barron 解ならびに自由ひずみ条件の差分法と有限要素法により一次元圧密解析を行いその結果を比較した³⁾。本研究では、放射状排水・等ひずみ条件の室内土槽実験を行い、沈下量、圧密中の水圧ならびに土圧を測定して圧密中の内部応力の変化について調べた。

2. 吉国らの模型実験結果²⁾を利用した数値解析結果³⁾

吉国らが行った等ひずみ条件のサンドドレーンの模型実験結果（直径 $d_w=3.7\text{cm}$ 、有効径 $d_e=24.74\text{cm}$ 、供試体高さ $H_0=16.4\text{cm}$ ）を利用し、等ひずみの Barron 解、自由ひずみ条件による差分法と有限要素法による計算結果を比較したのが図-1 である³⁾。Barron 解による鉛直ひずみを赤の実線、自由ひずみの差分法と有限要素法による計算結果を黒の実線と破線で示した。差分法のサンドドレーン部分は中空円柱を仮定するが、有限要素法ではサンドドレーン部分のヤング係数を粘土と同じにして自由ひずみ条件としている。Barron 解と比較して自由ひずみ条件とした差分法と有限要素法による計算結果の方が、等ひずみ条件で行われた実測値に近い。しかし、圧密初期と末期を除き、両計算結果は概ね実測値を再現している。青破線は差分法による最大排水距離の地点 $r=r_e$ の経時変化で、この点で圧密が開始されるのは、载荷後 100 分以上経ってからとなる。この時間よりも前に数%の等ひずみを発生させるには、実際の盛土荷重よりも大きく過剰な圧密圧力が必要となる。サンドドレーンを打設した軟弱地盤の地表面の変形挙動として、この変形が現実的かどうかは疑問である。

図-2 は、差分法による自由ひずみ条件で計算した最大排水距離 $r=r_e$ における過剰間隙水圧比の経時変化である。赤実線で示した等ひずみ条件の Barron 解では、载荷直後、圧密が開始されない地点に均等変位を発生させるために過剰な载荷重が必要となり、過剰間隙水圧比が 1 以上になる点が注目される。

3. 等ひずみの室内土槽実験とその数値解析

3.1 試料と実験方法

実験に用いた試料は市販の藤森粘土で、その物理的性質を表-1 に示す。初期含水比を 65 % に調整した粘土を図-3 に示した圧密土槽（内径 220 mm、高さ 240 mm）に、質量が 5 kg になるように計量しながら投入した。ろ紙を敷き全面にポーラスストーンが設置されたステンレス製の上部载荷板をセットして载荷装置により 10kPa で 2 日間、更に 50kPa で 2 日間上部排水条件のもと予圧密した。载荷装置から土槽を外して、試料の中心を直径 35 mm 金属円筒で削孔した。このとき粘土下部には 3 mm～5 mm 程度の粘土を残している（粘土厚約 58mm）。ドレーン材には、豊浦珪砂を水中落下により緩く詰めた場合（相対密度約 35 %、CASE-1 とする）と、厚さ 5 mm の板状のスポンジをロール状に巻いて設置した場合

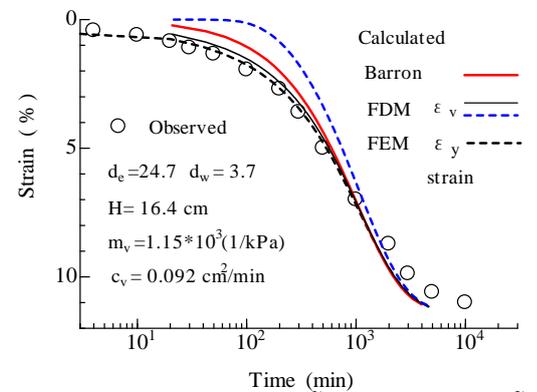


図-1 吉国らの実験結果²⁾と数値計算結果³⁾

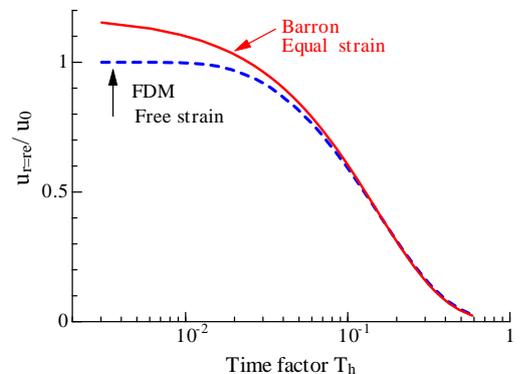


図-2 $r=r_e$ における Barron 解と差分法による間隙水圧比の関係³⁾

表-1 物理的性質

ρ_s (g/cm^3)	ω_L (%)	ω_p (%)	sand (%)	silt (%)	clay (%)
2.689	49.8	23	10	55	35

キーワード：バーチカルドレーン、土槽実験、等ひずみ条件、間隙水圧、FE 解析

連絡先：〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117 TEL 0463-58-1211 E-mail: sugi@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

(CASE-2) の 2 通りを設定した。放射状排水とするため、中央に 5 mm の穴を開けた試料と同径のゴムシートを置いて載荷板を設置した後、50 kPa で 2 日間圧密した。その後 130 kPa ($\Delta p=80$ kPa) で圧密して、鉛直変位、底部の間隙水圧 (2) ならびに底部の土圧 (5)~(7) を 5 日間測定した。この Δp を、非排水条件で載荷して水圧安定後 (20 min 間) 圧密開始する場合 (CASE-1.1, 2.1) と、排水条件で瞬間的に載荷する場合 (CASE-1.2, 2.2) の計 4 ケースの実験を行った。

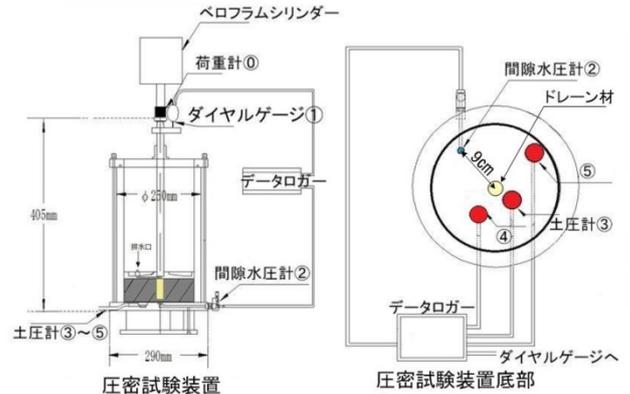


図-3 実験土槽の側面図と底版の計測器配置図

4. 実験結果と考察

緩詰め砂を設置した CASE-1 の軸ひずみ、水圧、土圧の経時変化を示したのが 図-4(a)~(c) である。載荷方法の違いが軸ひずみに与える影響はほとんど無く、圧密沈下曲線は一致している。Barron 解では、最大排水距離において圧密圧力の約 1.2 倍相当の初期間隙水圧が発生するが (図-2), 図-4(b) の結果は圧密圧力 $\Delta p=80$ kPa と同程度で、これを超えることはなかった。図-4(c) CASE-1.1 の土圧の経時変化から、載荷直後はドレーンからの距離によらず Δp とほぼ等しい土圧が発生し、沈下速度が増加する 30 分頃から測定場所により土圧が変化している。ドレーンに近い土圧③は 20 % 程度増加し、ドレーンから遠い土

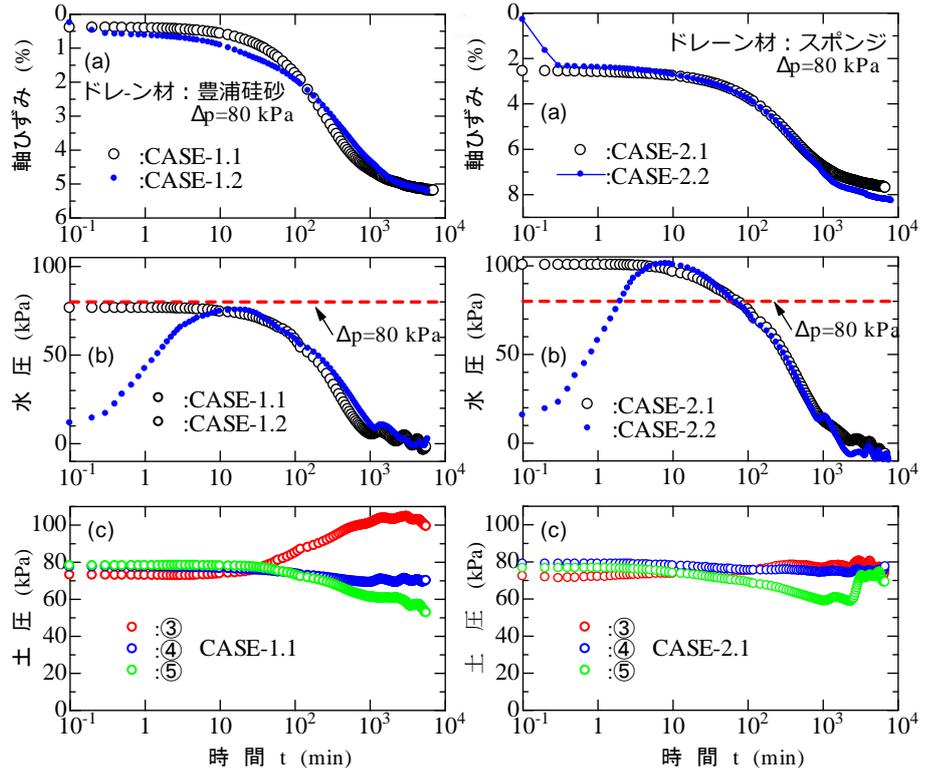


図-4 CASE-1 の実験結果

図-5 CASE-2 の実験結果

圧⑤は逆に 20 % 程低下する。吉国らの実験²⁾では、排水面近傍の土圧は Δp の 1.9 倍まで上昇した。等ひずみ条件による放射状排水の圧密では圧密中に応力配分が起こり、排水面に近い粘土には応力が集中し、非排水面側では応力が経時的に減少することを示している。

ドレーン材としてスポンジを設置した 図-5 の CASE-2 では、CASE-1 と異なる圧密挙動が観察された。 Δp を載荷直後、急激に沈下が生じ約 2.5 % のひずみ量が発生するが、その後は CASE-1 と同程度のひずみ量となった。間隙水圧は Barron 解と同じように Δp よりも 25 % 増加、排水面近傍の土圧は圧密に伴い増加することなくほぼ一定値を示した。実験終了後、供試体を二分割してドレーン径の変化を測定したところ、砂は 35 mm で変化は見られないが、スポンジは 22 mm まで細くなっていた。CASE-1 と異なる CASE-2 の試験結果は、一次元ではなく多次元圧密の影響によるものと推察される。

4. 結言

等分布荷重による自由ひずみ条件の差分法と有限要素法による計算結果は、等ひずみ条件で行われた吉国らの模型実験結果とほぼ一致し、等ひずみの Barron の解の方が実測値との差が大きかった。等ひずみ条件で緩詰め砂をドレーン材とした土槽実験では、Barron 解とは異なり圧密圧力に等しい水圧が発生すること、土圧の経時変化からは圧密中に応力配分が生じることを確認した。

参考文献：1) Barron, R.A. : Consolidation of fine grained soils by drain wells, Trans. ASCE, 113, pp.718-742, 1948.
 2) 吉国洋, 住岡宣博: パーチカルドレーンによる粘土の圧密変形メカニズムに関する実験的研究, 土木学会論文集, No.463, III-22, pp.125-132, 1993.
 3) 杜 磊, 飯沼孝一他: 自由ひずみと等ひずみによるサンドドレーンの一次元圧密解析, GeoKanto2013, CD-ROM, 2013.10