

大阪大学工学部 正会員 小田和広
 大阪大学工学部 正会員 松井 保
 大阪大学大学院 学生会員 ○中村 智
 大阪大学工学部 学生会員 大川裕之

1.はじめに

近年、バーチカルドレーン工法の一つとしてPD工法（プラスチックボードドレーン工法）を用いることが多くなっている。その設計計算においてはボード状のPD材を等価な円柱に近似し、Barronの解¹⁾を適用することが一般的である。PDの近似方法については、Hansbo²⁾、外裏ら³⁾、ならびにMPD工法研究会⁴⁾等々がそれぞれの考え方に基づき換算式を提案している。本研究では3次元土-水連成有限要素解析により、PDによる圧密促進効果について明らかにするとともに、これらの提案方法の適用性について検討を行っている。

2.有限要素解析

1) 解析手法：本研究における有限要素解析では飯塚⁵⁾によって開発された3次元土-水連成解析手法を用いた。また、使用した要素は8節点アイソパラメトリック要素（一点積分）である。

2) 構成式：粘土は次式に示す松井・阿部⁶⁾による弾塑性構成式によってモデル化されている。

$$\text{主働側} \quad f_a = p' \left\{ \frac{M_a + (\alpha_a - 1)\eta}{M_a + (\alpha_a - 1)\eta_{k_0}} \right\}^{\left(\frac{\alpha_a}{\alpha_a - 1} \right)} \quad (1)$$

$$\text{受働側} \quad f_p = p' \left\{ \frac{M_p + (1 - \alpha_p)\eta_{k_0}}{M_p + (1 - \alpha_p)\eta} \right\}^{\left(\frac{\alpha_p}{1 - \alpha_p} \right)} \quad (2)$$

ここで、 p' は平均有効応力、 M_p 及び M_a は主働側及び受働側の限界状態における応力比、 η_{k_0} は K_0 状態における応力比をそれぞれ示している。表-1は解析に用いたパラメータの値を示している。

表-1 粘土のパラメータ

λ	0.35154
κ	0.031682
e_0	2.71
M^*	1.15
ν_0	0.341
η_{k_0}	0.710
$k_x(\text{cm/min})$	0.655×10^{-4}
$k_y(\text{cm/min})$	0.655×10^{-4}
$k_z(\text{cm/min})$	0.655×10^{-4}

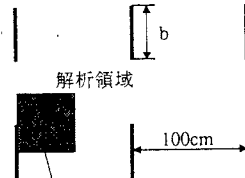


図-1 PDの配置

3) 解析モデル：実際のPDの施工は、PDを図-1に示すような正方形配置で打設することが多い。ゆえに、今回の解析ではドレーン配置の対称性を考慮し、ハッチング部分を解析領域にした。図-2は解析モデルを示している。PDによるドレーンの効果は、ドレーンに対応する部分を排水条件とすることによって表現した。また、鉛直変位に関しては等沈下条件を課している。

4) 解析ケース：表-2は各解析ケースの初期鉛直応力、載荷応力、およびドレーンの幅を示している。なお、透水係数 k は間隙比 e の変化の影響を受けず解析中一定とした。

3.圧密度の経時変化

図-3はケースA-3における圧密度の経時変化を示している。通常の施工においては沈下により圧密の

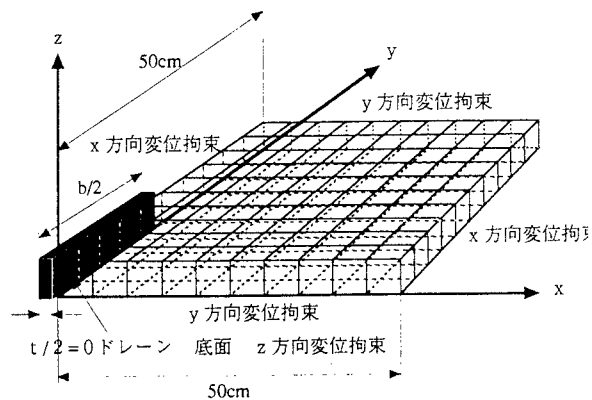


図-2 解析のモデル

Kazuhiro ODA, Tamotsu MATSUI, Satoshi NAKAMURA, Hiroyuki OKAWA

判定を行うことが一般的である。そこで、ここでは沈下量より求めた圧密過程と間隙水圧より求めた圧密過程との違いを明らかにするため、以下の4つの方法により圧密度を求めた。

(方法1) 沈下量により圧密度を求める方法

$$U = S/S_f \tag{3}$$

(方法2) 間隙水圧の平均から圧密度を求める方法

$$U = 1 - \int u dv / \int u_0 dv \tag{4}$$

(方法3) 最も早く消散する要素の間隙水圧から圧密度を求める方法

$$U = 1 - u_{min}/u_0 \tag{5}$$

(方法4) 最も遅く消散する要素の間隙水圧から圧密度を求める方法

$$U = 1 - u_{max}/u_0 \tag{6}$$

(方法3) で求めた圧密度の経時変化は、ドレーンの近傍の要素の間隙水圧より求めているため、圧密時間が100分を過ぎた地点で既に圧密がだいぶ進行しているおり、他の方法のそれに比べ非常に早い。(方法4) で求めた圧密度の経時変化はマンデル・クライヤー効果による圧密開始後の間隙水圧の上昇をうまく再現している。(方法2) で求めた圧密度の経時変化と(方法1) で求めたそれは(方法3) と(方法4) と比較して差がない。(方法3) で求めた圧密度の経時変化は(方法1) のそれに比べ非常に早く、(方法4) で求めた圧密度の経時変化は(方法1) のそれに比べ非常に遅い。

図-4 は 99%圧密終了時のドレーン幅と圧密時間の関係を示している。当然のことながら、ドレーン幅が大きくなると圧密終了時間が早くなっている。また、解析値は外裏らの等価径から求めた圧密終了時間とMPD工法研究会のその間に分布するが、Hansbo の等価径から求めた圧密終了時間は解析値のそれに比べ早い。

4.まとめ

沈下量より求めた圧密度と間隙水圧を平均して求めた圧密度はあまり差が認められない。

ドレーン幅が大きくなると圧密終了時間は早くなる。また、外裏らの等価径とMPD工法研究会の等価径から求めた圧密終了時間は比較的解析値のそれと一致するが、Hansbo の等価径から求めた圧密終了時間は解析値のそれに比べ早い。

<参考文献>

1) Barron,R.A. (1948): Consolidation of Fine Grained Soils by Drain Wells,Trans. Am. Soc. Civ. Engrs. 113-718 2) S.Hansbo: Consolidation of prefabricated drains, Ground Engineering, July, 1979 3) 外裏ら: プラスチックボードドレーンの等価径の算定法, 土木学会第 48 回年次学術講演会 (平成 5 年 9 月) 4) MPD 工法研究会: マリンプラスチックドレーン (室内実験中間報告書) 1995 年 2 月 5) 飯塚敦, 八嶋厚: 3 次元弾粘塑性連成有限要素プログラムの開発 土木学会第 44 回年次学術講演会 (平成元年 10 月) 6) Matsui,T.and Abe,N. :Flow Surface Model of Viscoplasticity for Normally Consolidated Clay,Proc2nd Int.Symp.Num.Models Geotech.Ghent,pp157-164, 1986

表-2 解析ケース

ケース	ドレーン幅 b (cm)	初期応力 σ_{vo} (kPa)	載荷荷重 ΔP (kPa)
A-1	20	9.8	9.8
A-2	40	9.8	9.8
A-3	50	9.8	9.8
A-4	60	9.8	9.8
A-5	80	9.8	9.8

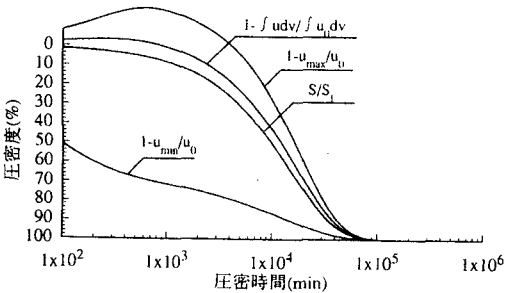


図-3 圧密度の経時変化 (ケースA-3)

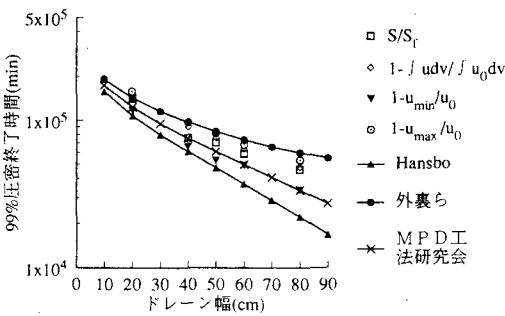


図-4 ドレーン幅-99%圧密終了時間