

超軟弱粘土の自重圧密挙動に関する解析的研究

福岡大学大学院 ○学生員 小山 隆之
福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 正会員 吉田 信夫
福岡大学工学部 正会員 黒木 健実 正会員 添田 朋子
錦城護謨株式会社 正会員 野村 忠明

1. 研究目的

著者ら¹⁾はこれまでに、埋め立てポンド内に投入する浚渫土砂の投入量の増加を目的として、プラスチックボードドレーン材(以下 PD 材と略す)による高含水比の超軟弱粘土の自重圧密促進効果を模型実験により調べてきた。その結果、PD 材を打設することによって、粘土の自重圧密が促進され打設効果があることが明らかとなった。そこで本研究では、まず超軟弱粘土の自重圧密過程を解析的に求めるために、自重の影響を考慮し、圧密過程を表現できる三笠の圧密方程式²⁾の差分化を行い、数値解析用のプログラムの作成を行った。そして、著者らが行った PD 材を打設しない場合の模型地盤の沈下挙動について実験値と解析値の比較検討を行った結果について報告する。しかし、解析的にメカニズムを解明するには至っていないかった。

2. 実験概要及び解析方法

2.1 実験概要

実験には、図-1 に示すような直径 30cm のアクリル製の自重圧密用沈降筒を約 7 段程度積み重ねて用いた。

試料は、苅田湾沖より採取した自然含水比 140%の粘土である。表-1 にこの粘土の基本的な物理特性、図-2 に粒度分布を示す。この粘土に塩分濃度 3%に調整した塩を用いて初期含水比 1000%の泥水を用いた。図-3 に示すようにこの泥水を 1 日当り約 100cm の割合で沈降筒に投入し、5 日間で全 5 層の浚渫粘土による泥水柱の作成を行い、粘土の自重圧密の実験を行った。5 層目投入後 24 時間経過後より自重圧密試験の沈下量の測定を行っている。また、この時点の初期含水比は $w_0=399\%$ であり、非常に高い含水比の粘土であることがわかる。

2.2 解析方法

自重圧密解析の基本方程式には、層厚変化、粘土自重、 c_v の変化を考慮できる次式の圧密比表示による三笠の圧密理論³⁾を用いた。

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \xi^2 \left\{ c_v \frac{\partial^2 \xi}{\partial z_0^2} + \frac{dc_v}{d\xi} \left(\frac{\partial \xi}{\partial z_0} \right)^2 - \frac{d(c_v m_v \gamma')}{d\xi} \frac{\partial \xi}{\partial z_0} \right\} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 ξ : 圧密比($=f_0/f$: 原始状態の体積比)、 z_0 : 原始状態における固定

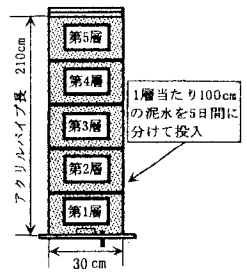


図-1 自重圧密用沈降筒

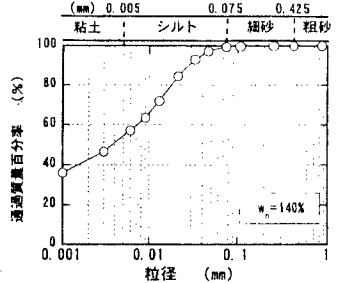


図-2 粒度分布

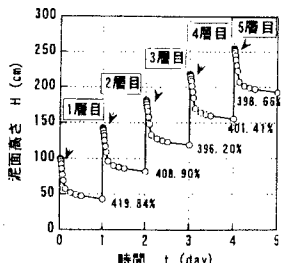


図-3 時間～泥面高さ曲線

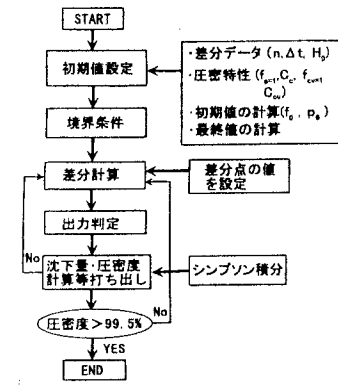


図-4 解析プログラムのフローチャート

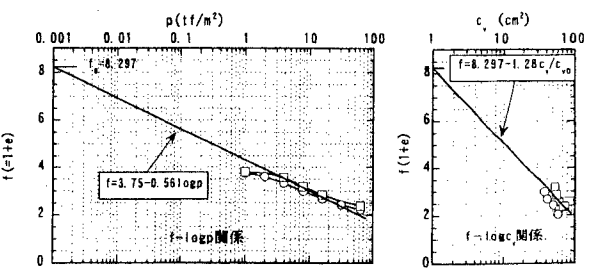


図-5 圧密特性

座標、 c_v ：圧密係数、 m_v ：体積圧縮係数、 t ：時間、 γ' ：浮力を考えた単位体積重量である。図-4 に解析プログラムのフローチャートを示す。この自重圧密方程式は非線形方程式であり解析的に解くことが困難であるので、ここでは差分化により計算を行っている。境界条件は、模型試験において、底面からの排水を止めているため、底面が不透水層に接している場合の片面排水条件を境界条件に与えて計算を行っている。解析に用いた粘土の圧密特性は、図-5 に示すように標準圧密試験結果を用い、その結果から直線近似して $f-\log p$ 、 $f-\log c_v$ の直線関係 (f ：体積比 $=1+e$) を求めて、各定数の決定を行った。表-2 今回模型地盤の解析を行うための圧密パラメーターの決定を行った。入力パラメーターは、空間差分数 n 、時間差分間隔 Δt 、初期層厚 H_0 、 $f-\log p$ 関係の $p=1\text{tf/m}^2$ 時の $f_{p=1}$ 、圧縮指数 c_c 、 $f-\log c_v$ 関係の $c_v=1\text{cm}^2/\text{day}$ 時の $f_{c_v=1}$ 、 $f-\log c_v$ 関係の直線勾配 c_{cv} 、体積比の初期値 f_0 、応力の初期値 p_0 の 9 種類である。ここで今回の解析では模型地盤の初期含水比が大きく、差分化により解析することが難しいため、体積比の初期値 $f_0=8.297$ 、応力の初期値 $p_0=0.001\text{tf/m}^2$ と仮定して計算を実施した。これらの条件にて PD 材を打設しない場合の模型粘土地盤の自重圧密解析を行った。

表-2 解析に用いたパラメーター

空間差分間隔	時間差分間隔	初期層厚	$p=1\text{tf/m}^2$ 時の f	圧縮指数	$c_v=1\text{cm}^2/\text{day}$ 時の c_v	$f-\log c_v$ 直線勾配	体積比初期値	応力初期値
n	$\Delta t(\text{day})$	$H_0(\text{m})$	$f_{p=1}$	c_c	$f_{c_v=1}$	c_{cv}	f_0	$p_0(\text{tf/m}^2)$
100	1/1000	1.92	3.75	0.56	5.53	1.28	8.297	0.001

3. 解析結果と実測値の比較

図-6、図-7 に泥面沈下曲線、圧密度による差分法で計算した結果と PD 材を打設しない場合の実測値との比較した結果を示す。PD 材を打設しない模型地盤の沈下は、310 日目に最終沈下量 $S_f=90.1\text{cm}$ に至っている。一方、差分法による解析結果は、 $S_f=90.5\text{cm}$ である。しかし、実測値と解析値を比較すると両者は沈下過程において異なっていることがわかる。特に、沈下初期において沈下量が異なる傾向を示している。このことは、高含水比の泥水の自重圧密現象の解析を行う場合、 f_0 の大きな泥水については、差分化により解析することが難しくなるためと考えられる。図-8、9 に体積比 f と有効応力 p の等時線を原始座標で示す。これらの図より自重圧密が粘土層の底面から上方に進行していることがわかる。また、 f の進行に比べて p の進行が遅れていることもわかる。これは軟弱な粘土の自重圧密では荷重増加率がかなり大きくなるためである。また、図-8 より f の上部が飛び出していることがわかる。これは、粘土が軟弱であるほど粘土層表面付近の f (計算上は g) の等時線の勾配が大きくなるため、微分を差分で近似しきれないためである。

最後に、この研究を進めるに当たり、大阪市立大学、大島昭彦先生にご指導いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

4. まとめ

自重圧密過程において模型地盤の沈下挙動の実測値と解析値の比較検討を行った結果、パラメーターの検討を含め f_0 の大きな高含水比の泥水について解析をすることは難かしく、うまく表現することができなかった。今後、入力パラメーターの検討を含め、高含水比の粘土の自重圧密の解析方法について検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 小山隆之・佐藤研一・吉田信夫・野村忠明：「PD 材を用いた超軟弱浚渫粘土の自重・載荷圧密試験」，第 35 回地盤工学研究発表会講演概要集，2-2，pp.1371～1372，2000
- 2) 三笠正人：軟弱粘土の圧密～新圧密理論とその応用～，鹿島出版会，1963.

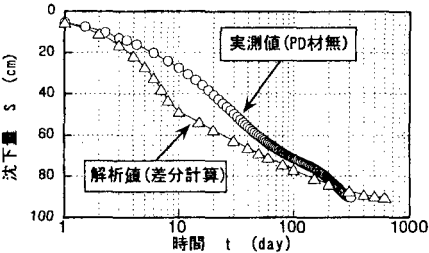


図-6 実測沈下曲線と計算沈下曲線の比較

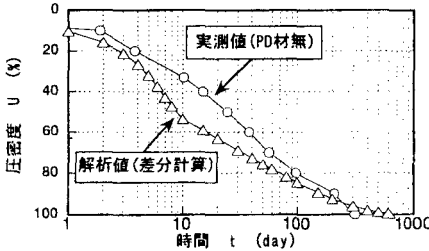


図-7 実測沈下曲線と計算沈下曲線の比較

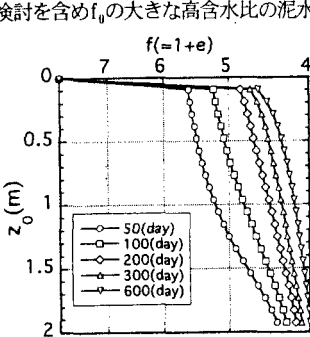


図-8 体積比 f の等時線

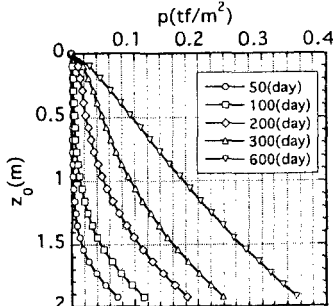


図-9 有効応力 p の等時線