

徳島大学工学部 正 山上 拓男
徳島大学大学院 学 ○酒井 信介

1. はじめに

自重の影響を考慮した圧密支配式の代表的なものとして、Gibsonの圧密方程式と三笠のそれが上げられる。両者は数学的な立場から等価性が証明されている¹⁾。しかし、両式に含まれる物理量は異なっている。そこで本報告では、両者を用いて数値解析する際必要となる物理量を実験的に定め、数値解析の過程を通して両理論式の比較を試みた。

2. 圧密試験

自重圧密方程式を数値解析する場合、Gibson理論では間隙比 e と有効応力 p 及び間隙比 e と透水係数 k の関係が、また三笠のそれでは体積比 f と有効応力 p ならびに体積比 f と圧密係数 C_v の分布関係がそれぞれ必要である。そこで、これらの物理量の分布状態を圧密試験により求めた。含水比が液性限界を越える超軟弱粘土の圧密試験は通常の方法では不可能である²⁾。このため、応力域に関して低応力域と高応力域に、含水域については高含水域と低含水域に分け、低応力域と高含水域に対して自重圧密試験を、また高応力域と低含水域においては標準圧密試験をそれぞれ行った。高含水域自重圧密試験の方法は、内径5cm、高さ100cmのアクリルパイプの底部を閉じ、任意の含水比 W_i に調整した粘土を注入する。注入後粘土層の初期の表面沈下速度 v を測定し、式(1)から透水係数 k を求める：

$$k = v \cdot \gamma_w / \gamma'_s \quad (1)$$

ここで γ'_s は、浮力を考慮した粘土の水中単位重量である。そして、これを異なるいくつかの含水比について行い、含水比と透水係数の関係を得た。今回は、 W_i を150%から1200%の間で十種類に変えた実験を行った。次に、低応力自重圧密試験は先に述べたアクリルパイプを継ぎ合わせ、それに軟弱粘土を層厚250cmに注入し自重圧密沈下させる。圧密終了後、粘土層を深さ方向に適当な切片 ΔZ_i に切り、その含水比から $f_i = (1 + G_s \cdot W_i)$ 、 $\gamma'_s = (G_s - G_w) \cdot \gamma_w / f_i$ を求め、式(2)により圧密圧力を計算する。

$$P_i = \Sigma \gamma'_{s,i-1} \cdot \Delta Z_{i-1} + \gamma'_{s,i} \cdot \Delta Z_i / 2 \quad (2)$$

注入した軟弱粘土は初期含水比 $W_0=400\%$ 、 800% 、及び 1600% の三種類である。標準圧密試験は初期含水比を74.27%に調整した粘土を用いて行った。

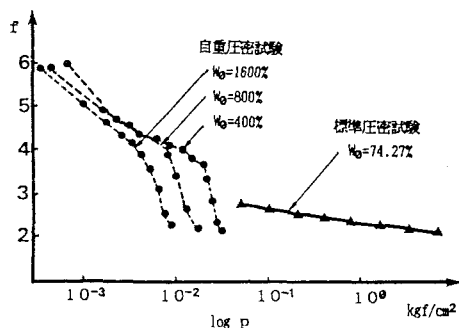


図-1 軟弱粘土 f - $\log P$ 分布

表-1 実験結果の土性

	W_i (%)	W_p (%)	I_p	G_s	粘土分(%) 200 μ	液分(%)
大谷焼粘土	42.67	21.83	20.84	2.75	36.4	50.1

図-1は試験結果のうち体積比と有効応力の関係を示したものである。また表-1は実験試料の土性を表している。実験に供した試料は大谷焼用粘土の74 μ mふるい通過分である。

3. 適用例

以上の実験結果を基に差分解析を行った。解析には、Gibson理論に対してCSLFS³⁾、三笠理論については著者らが作成したプログラム(仮にPCMと呼ぶ)を用いた。PCMでは、 f - $\log p$ 及び f - $\log C_v$ の分布を直線と仮定しなければならない。実験結果では、例えば f - $\log p$ の分布についてこれを一本の直線に仮定することは不合理であろう。そこで、図-2に示すように二本の直線を設定した。すなわち、自重圧密試験と標準圧密試験の結果についてそれぞれ直線化を行い、各々の直線について解析を行った。ここに、直線化により得られた式形は以下の通りである：

自重圧密: $f = 1.0 - 1.5 \log (p / 0.71)$ (kgf/cm²)

標準圧密: $f = 2.1 - 0.3 \log (p / 5.80)$ (kgf/cm²)

CSLFSでは、PCMのように物理量の分布を直線に設定する必要はなく、任意の分布曲線について解析可能である。そこで両者の解析条件を等しくする意味から上記 $f - \log p$ 、 $f - \log Cv$ の直線関係に基づき、 $k = Cv \cdot mv \cdot \gamma_w$ より得られる透水係数の分布をCSLFSの入力データとした。適用モデルは、初期層厚 H_0 を2.5m、上載荷重無し、定常状態の浸透流は存在しないものとした。そして、これについて初期体積比 f_0 が自重圧密より得た直線については3.0、4.0、6.0、8.0、また標準圧密より得た直線では2.8、3.0、3.5、4.0の場合についてそれぞれ解析した。しかしここの解析結果の提示は、紙面の都合上標準圧密より得た直線を基に $f_0 = 3.0$ について行った場合のみとする。図-3に体積比の時間推移、図-4に時間・沈下曲線をそれぞれ示す。図より両理論の解析値はほとんど等しく、これより両者の等価性がうかがえよう。

ここで、演算時間と計算に用いた差分間隔について簡単にふれておく。演算時間は全ての解析例においてPCMによる場合が短かった。ちなみに、上記した結果については、徳島大学情報処理センターFACOM M-760/10のもとでPCMの場合3.02秒、CSLFSでは8.99秒であった。これは、CSLFSに用いた差分法が陽解法であるのに対し、PCMにはDouglas・Jonesの予測子・修正子法に基づく陰解法⁴⁾が用いられているためである。すなわち、PCMで採用された陰解法はCrank・Nicolson形であるため、差分間隔の選択の自由度が陽解法よりもかなり大きく、結果的にPCMのtimestepをCSLFSのそれより大きくできることに起因する。実際本解析例では、PCMには $\Delta t = 0.1 \text{ day}$ 、CSLFSでは $\Delta t = 0.04 \text{ day}$ を採用している。そして、このtimestepの大きさの違いが演算時間の差となってあらわれたのである。なお、空間差分分割数 n は両者とも等しく16とした。

4. おわりに

本研究では、Gibsonの自重圧密方程式と三笠のそれについて、差分解析に要する物理量を圧密試験より求め、解析例の比較を行った。その結果、解析条件を等しくした場合両者は一致することが確かめられた。また、差分法として予測子・修正子法と陽解法を用いたが、演算時間の有意の差より予測子・修正子法の優位性が証明された。

《参考文献》

1) 今井五郎: 土質工学会わかりやすい土質力学原論, pp45~70, 1987. 2) 高田・今井・木山: 土と基礎Vol. 27, pp101~108, 1979. 3) Kenneth W. Cargill: Geotechnical Laboratory, P.O. BOX 631, Vicksburg, Miss 39180, 1982. 4) 山上・酒井: 第23回土質工学研究発表会, pp351~352, 1988.

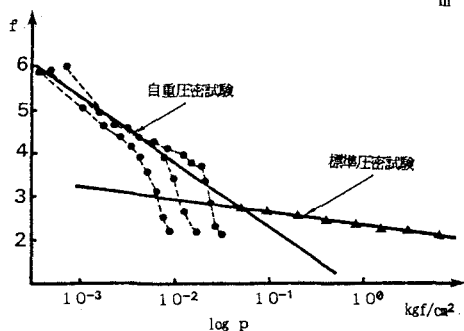


図-2 $f - \log P$ 関係の直線化

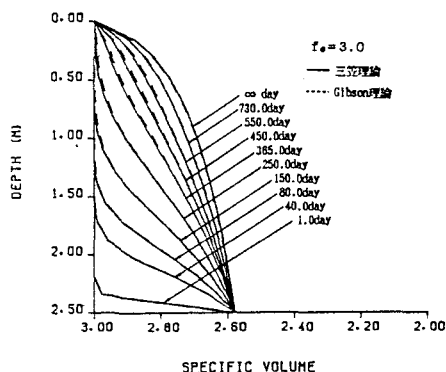


図-3 体積比の時間推移 ($f_0 = 3.0$)

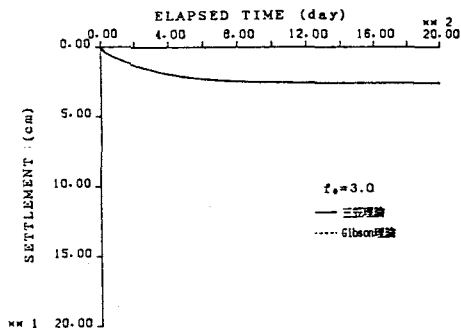


図-4 時間-沈下曲線 ($f_0 = 3.0$)