

名古屋大学 正員 浅岡 顕, 学生員 野津光夫
学生員 小野恭一, 学生員 〇上田一晴

1. はじめに

粘土の標準圧密試験結果を Terzaghi の 1 次元圧密の理論で説明するのが、一体どのように無理であるのかを調べようとして、いわゆる 2 次元圧密など理論外の挙動が卓越していない初期の実験値の挙動を解析した。その目的はしばらくおくとして、方法は以下によった。標準圧密試験で普通に計れるものは供試体の沈下 $p(t)$ (または平均ひずみ $\varepsilon(t) = p(t)/H$) と荷重 $p = P/A$ である。Terzaghi の理論に従うと $\varepsilon(t)$ は、片面排水で荷重一定のときは

$$\varepsilon(t) + C_1 \dot{\varepsilon}(t) + C_2 \ddot{\varepsilon}(t) + \dots = \varepsilon_f, \quad \varepsilon_f = p \cdot m_v, \quad C_i = \left(H^2 / c_v^2 \right) / (2i)! \quad (1)$$

の形の常微分方程式に従っていて、その特性根は周知のように皆負で、絶対値の小さいものから $\lambda_1 : \lambda_2 : \lambda_3 : \dots = 1 : 9 : 25 : \dots$ のプロポーションをもっている。そこで、圧密実験の比較的初期のデータを用いて、それらが、式(1)で支配されるような時系列になっているかどうかを最初に調べた。結論と先にいえば、実験値は全て式(1)のように非斉次項が定数の絶対安定な常微分方程式に従っていることはほぼ確実に確かめられた。ただ問題は、その特性根の比が $1 : 9 : 25$ のようになっていないことである。表 1, 表 2 は、ともに殆ど同じ粘土供試体(練り返した深草粘土からつくった)を用いた殆ど同じ圧密実験の解析例であって、これらの表の第 1 欄に測定された λ_2 と λ_1 の比を書いているが、みな一様に 9 以下であって、均質材料の Terzaghi 理論では説明できない。

2. 圧密固有値のプロポーションのゆがみとその解釈

上述のような固有値のプロポーションのゆがみは、いろいろに説明はできる。たとえば 2 層系供試体を仮想すれば第 2 固有値 λ_2 までの比率は自由にかえることができる(3 層なら 3 つまで)。しかしもともと均質な供試体を用意していたのであり、均質材料の場合の Terzaghi 式で説明しようという趣旨からははずれる。2 次元変形のモードがでていのではないかとも思われたが、これは確かめようがなかった。応力-ひずみ及び透水係数の非線形性の影響であれば、計測時間を piece wise にしてデータを見たとき λ_2/λ_1 が時間とともに変化してもよさそうなものだが、 λ_2/λ_1 の有意な時間変化は認められなかった。それどころか表 1, 2 に示すように λ_2/λ_1 は荷重の大きさにも殆ど影響されておらず一定で、三笠の指摘がよくあてはまっている。それで、仕方がないので、式(1)の右辺の p が、定数のようにみえていて実は時間とともに変化しているのではないかと考えた。

分銅おもり P が一定のときに粘土に作用する $p(t)$ がどのようなになるのかはわからないが、測定できる量が事実上 λ_2/λ_1 だけであるので (λ_3 の測定精度は大変悪くなる)、実験的には、自由度が 1 の関数しか設定できない。それで、未知パラメータ K を 1 個だけ余分に使って、 $p(t)$ が時間と $\varepsilon(t)$ に比例して減少する。すなわち

$$p(t) = P/A - K \varepsilon(t) / m_v \quad (2)$$

と仮定した。 K は、もし供試体とリングの間の周面摩擦で解釈するならば、 $K = 4 K_0 \tan \phi$ (ϕ は摩擦角)、 D は供試体の直径、などはその近似的解釈のひとつである。(2) のようなときには、Terzaghi 理論に従うと、式(1)に対応するものとして次式が得られる。

$$\varepsilon(t) + \frac{(C_1 + K d_1)}{1 + K} \dot{\varepsilon}(t) + \frac{(C_2 + K d_2)}{1 + K} \ddot{\varepsilon}(t) + \dots = \frac{\varepsilon_f}{1 + K} = \gamma_f \quad (3)$$

ここに $d_i = \left(H^2 / c_v^2 \right) / (2i+1)!$, ε_f : 周面摩擦がない場合の最終ひずみ量, γ_f : 周面摩擦がある場合の最終ひずみ量であり、(3) はみかけ上(1)と全く同形式であって、ただ特性根とそのプロポーションだけが(1)と異なる。

式(3)の ε_f と η_f をもちいて、つぎの量と
とりあえず「マサツ率」と呼んでおくこと
にする。

$$\eta = \frac{\varepsilon_f - \eta_f}{\varepsilon_f} = \frac{k}{1+k} \quad (4)$$

さて、式(3)の k (または η) を種々変化
させると、式(3)から得られるみかけの固有
値 $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ が得られて、それらは式(1)
のものと少しずつ異なる。その関係を図示し
たものが図1であり、式(3)の固有値の計算
はFEMによった。図1の見方はつぎのよう
である。まず実験から、式(3)をあてはめ
て、 λ_2/λ_1 を測定し、図1の左側の縦軸か
ら出発して、右下り曲線を用いて η や、 k
を知る。つぎにこの η から出発して、図中
の右上り曲線を利用して右の縦軸に至ると
 λ_2^t/λ_1 がもとまる。ここに λ_1^t は真の第
1固有値で、式(1)の λ_1 のことである。した
がってみかけの第1固有値 λ_1 から真の λ_1 が
わかり、結果として、次式によって G_v を求
めることができる。

$$G_v = - \left(\frac{2H}{\pi} \right)^2 \lambda_1 \quad (5)$$

3. 表1, 2の説明と考察

表1, 2は上記のようにして得られた解
析結果である。ここで特に、式(3)を初期の
実験値にあてはめることによって、 η (最
終平均ひずみ量) がすぐに予測できること
である。表1, 2はこれらの η を基準にした
ときの圧密度で、20~60%の間の実験値
を用いて作製された。(η 以内であれば
どの区間をとっても表1, 2の内容はあま
りかわらない)。この η と、24時間後の実
験値とでは大きな開きがあり、初期の圧密
挙動からは、24時間後のことなど全くわ
からなかった。途中で時系列の構造がかわる
ことは確かなようであって、今後実験デー
タのより進んだ新しい見方と手法が必要
なことが痛感される。実験指導を頂いた名工
大、松岡・中井両先生に感謝します。

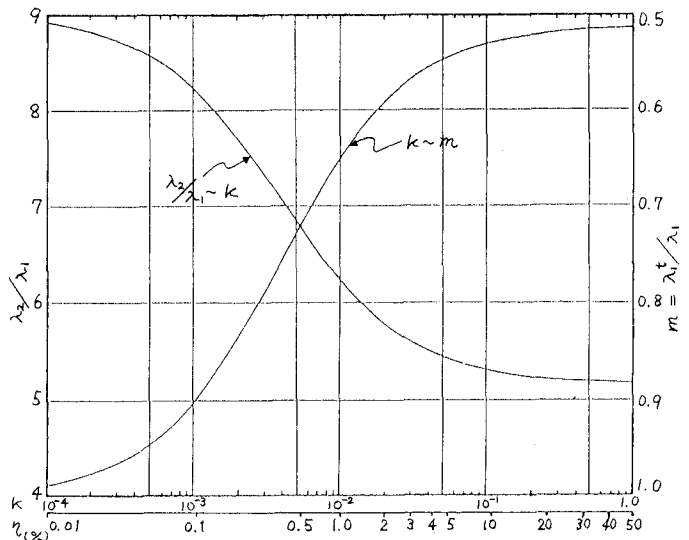


図1 $k \sim \eta$, $\lambda_2/\lambda_1 \sim k$, $k \sim m$ の関係

表1 供試体1

(変位量の単位 $1/1000$ mm)

	0.2 %	0.4 %	0.8 %	1.6 %	3.2 %	6.4 %	12.8 %
λ_2/λ_1	5.46	5.31	5.59	5.71	5.48	5.33	5.27
η (%)	4.4	8.9	2.9	2.3	3.9	7.4	10.7
$G_v \times 10^3$	0.934	1.199	1.509	1.766	1.805	1.738	1.736
m_1 (%)	0.246	0.125	0.071	0.037	0.021	0.012	0.007
η (%)	2.300	1.499	1.076	0.645	0.385	0.207	0.114
式(3)から 算出される 最終変位量	458	429	488	474	524	556	586
24時間後の 変位量	486	476	540	532	586	624	662

(λ_1, λ_2 は解析区間20~60%における変位量から統計的手法を求いて
同定した。)

表2 供試体2

(変位量の単位 $1/1000$ mm)

	0.2 %	0.4 %	0.8 %	1.6 %	3.2 %	6.4 %	12.8 %
λ_2/λ_1	5.61	5.35	5.78	5.63	5.52	5.33	5.29
η (%)	2.8	7.1	2.0	2.7	3.8	7.8	9.5
$G_v \times 10^3$	0.828	1.044	1.565	1.685	1.821	1.755	1.766
m_1 (%)	0.352	0.163	0.082	0.040	0.022	0.012	0.007
η (%)	2.914	1.700	1.286	0.667	0.408	0.214	0.120
式(3)から 算出される 最終変位量	669	566	558	520	560	576	610
24時間後の 変位量	738	592	596	566	616	640	680