

広島大学工学部 正 員 門 田 博 知

概 要 圧密現象の解析, 推定を行うには土の圧密特性を示すための圧密に関する諸常数が決定されなければならない。従って, 現象と同じ能力状態での圧密試験を行い, 圧密諸常数と求めるのが理想的である。しかし三軸圧密試験でも, 理想的な条件通り試験とすることが困難な場合が多い, 又試験に要する日数も長くなり, 試験技術も複雑であるなどの理由もあって, 現在では試験法も簡単な側面拘束の一次元圧密試験が慣行圧密試験として行なわれている。圧密試験から与えられる時間-沈下曲線を解析して, 圧密諸常数を求めている。求めるために採用されている Terzaghi の圧密理論曲線と実験曲線とは二次圧密の領域では全く異なっている。近似的に実験曲線の一次圧密部分に合う Terzaghi の理論曲線を考えて, それに合めすためには上の圧密諸常数はいくらでなければならない, として求められている。一次圧密部だけからの m_v では現場の観測値との差が大き過ぎること, 沈下速度が早くなっていることなどから, 1440分の沈下量から m_v を算定すると云う, あまり根拠のない簡便的な修正が試みられている。しかしもっと根本的に考えるべきであると思い, 著者は試験によって求められた時間沈下曲線をどのように, どれだけ修正すれば Terzaghi の圧密曲線を適用して, 圧密係数を求めても, その理論の確立に使用されている物理的な意味と一致させることができるか—についての研究を行っている。これは石井博士を始めとし, 他の多くの研究者が, 実験室程度の試料厚さでは土のレオロジー的な性質は時間沈下曲線に影響を与えが, 戸厚が厚くなると Terzaghi の圧密曲線に近づくことを数式で, あるいは実験的に確かめている。このこと, 圧密試験の時間沈下曲線の一次圧密部の沈下特性が Terzaghi の理論曲線の型と比較的よく一致するから, 圧密係数は一次圧密部のみと対稱に考えてもよいこととは根本的に意味が違う。圧密係数を正確に知るには時間沈下曲線の型だけでなく, レオロジー^{的性質}, 側面摩擦などの影響によって時間的にいくらずれるかが問題である。レオロジー^{的性質}, 側面摩擦の影響によって一次圧密と考えられる部分の曲線型は大きな差が認められないこと(慣行法によって一次圧密部を決定した場合)を明らかにし, 時間的にずれる量が圧密係数の決定に大きな役割を演じていることを示し, さらに修正法を考へ, 修正用図表を作成し, 実験室において, 試料厚^{K13}, 荷重増加率を変化させて, 圧密係数を求め, 修正前は 50%も差があった圧密係数が修正後 10%迄近づけることができた。一方現場の沈下解析データから圧密係数と 2 倍以上を考へた方が妥当であるような場合もあるので, 数多くの圧密試験結果から瀬戸内海沿岸では一次圧密比が 60%前後が最も多く, 少なくとも慣行試験解析法による圧密係数は 1.3 倍以上にすぎまであり, $\gamma = 40 \sim 60$ の試料では 5~6 倍にもしなければならぬことが明らかとなった。新序部力発電所埋立地盤の沈下解析でも圧密試験の $C_v = 1.2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ に対し, 現場 $C_v = 6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ となって, 約 5 倍近い。このことも当研究によって説明が出来ると思う。以下研究内容について順次説明する。

理論的考慮 著者は側面摩擦の作用する圧密沈下曲線の特性と研究した理論式中にも荷重増加率の項を考慮したが, 今迄数多くのレオロジー Model の式に荷重増加の項と相俟たものが見当りなかった。幸 LAING BARDEN (1965) に Non-linear Kelvin element を考へて, レオロジー^{的性質}と加

味した式に荷重増加の影響を入れている。著者, Taylor (1942), 柴田 (1963) のデータをもとにプロットした荷重増加率と圧密係数の関係図と LAING BARDEN の曲線と利用して求めた関係とが荷重増加率が3以下では比較よく合っている, 実験室で荷重増加率, 試料厚さを変化させると横行法によれば圧密係数が散らばる, しかし LAING BARDEN に CURVE FITTING をして求められる圧密係数は10%位の誤差範囲で一致している。Terzaghi が理論と構成するに当って考えた圧密係数は排水係数と体積圧縮係数の比にあるもので、横行法のように散らばるのはおかしい。このような理由で著者は LAING BARDEN の導いた式を用いて, CURVE FITTING の方法と考えて, 修正図表を作成したのである。

LAING BARDEN の式 圧密の基礎方程式は Terzaghi の仮定以外には non-linear な viscosity 効果を附加した点に於てである。即ち

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{k(1+e)}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \frac{\partial e}{\partial t} \quad (1)$$

圧密過程中 k と $(1+e)$ とは一定と仮定して

$$C \frac{\partial u}{\partial z^2} = \frac{\partial e}{\partial t} \quad C = \frac{k}{\gamma_w} (1+e) \quad (2)$$

$de = a \cdot dp$ とし、Total 応力は間げき圧と有効応力、粘性抵抗とで釣り合うと考え

$$\frac{e_1 - e_2}{a} = \frac{e_1 - e}{a} + \tau + u$$

$$\frac{e - e_2}{a} = \tau + u \quad (3)$$

では non-linear viscosity を考えて, (3) 式に代入し

$$\tau^n = B \cdot \dot{\gamma} \quad (n > 1)$$

$$\tau = b \left(\frac{\partial e}{\partial t} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$e - e_2 = a \left[u + b \left(\frac{\partial e}{\partial t} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \quad (4)$$

(4) 式に次の関係式を代入する

$$e' = e - e_2, \quad \frac{\partial e'}{\partial t} = \frac{\partial e}{\partial t}, \quad z = z/H,$$

$$u' = u/ap, \quad ap = p_2 - p_1, \quad \frac{e_1 - e}{e_1 - e_2} = \mu,$$

$$\lambda = 1 - \mu \text{ (圧密度)}$$

(2), (4) 式から

$$C \frac{\partial}{\partial z^2} \left[\frac{e'}{a} - b \left(\frac{\partial e'}{\partial t} \right)^{\frac{1}{n}} \right] = \frac{\partial e'}{\partial t}$$

となり, ap で両辺を割り, 変形して

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} = \left[\lambda - (a b^n (ap)^{-n} \frac{\partial \lambda}{\partial t})^{\frac{1}{n}} \right] = \frac{a H^2}{C} \frac{\partial \lambda}{\partial t} \quad (5)$$

更に, $\frac{\partial \lambda}{\partial t} = \frac{a H^2}{C} \frac{\partial \lambda}{\partial t}$ とすれば

$$T = \frac{C}{a} \frac{t}{H^2}$$

となって Terzaghi の $T = \frac{C_v}{H^2} t$ となり

$$\left\{ a \cdot b^n (ap)^{-n} \frac{\partial \lambda}{\partial t} \right\}^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{\partial \lambda}{\partial T} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\text{とすれば } T_2 = \frac{t (ap)^{n-1}}{a \cdot b^n} \quad (7)$$

となり, $T/T_2 \leq R$ とすると

$$R = T/T_2 = \frac{cb^n}{H^2 (ap)^{n-1}} \quad (8)$$

ここで $b=0$ ならば $R=0$ となり Terzaghi に,

$n=1, b=\bar{\gamma}$, ならば Taylor の B 理論に合う

(9) 式は non-linear であり, 厳密解と求めたこと

がでないので差分方程式に変形して数値解と

求めるために, 次のように連立方程式としてい

$$3. \quad \frac{\partial u}{\partial z^2} = \frac{\partial \lambda}{\partial T} \quad (9)$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial t} = -\frac{1}{R} (\lambda - u)^n \quad (10)$$

これを解くと平均圧密度-時間曲線は図-2 の

ようである。即ち R を Parameter として曲線の特

性が変化する。 R が 0 に近づくれば、一増加荷重

が大きくなるか、 ρ 厚が大きくなれば一 Terza-

型になり, 二次圧密部が少くなる。この反対で

は二次圧密が非常に大きくなる。図-2 は $n=5$

についての数値解である, LAING BARDEN は

$n=10$ についても解いているが, $n=5$ の方がよ

く実験値と合うようなので $n=5$ について修正

(6) 図を考えた。 n についてはまだ検討中である。

曲線の特性

図-2の曲線を ρ と圧密度の関係と求めて $\sqrt{t}$ -解析法にならうと勾配を1.15倍じて交点を90%とし、圧密度の1%を新たに一次圧密終了時として T を求めると図-2の○印である。新たに○印を100として圧密度- T 曲線を描き、時間に無関係に T_{100} をそうえて、各曲線の特性を比較したのが図-3である。一次圧密として考えられる部分はレオロジー的性質では殆んど影響されず、寧ろ二次圧密部に顕著に現れている。実験事実ともその特性が非常によく一致している。

図-2

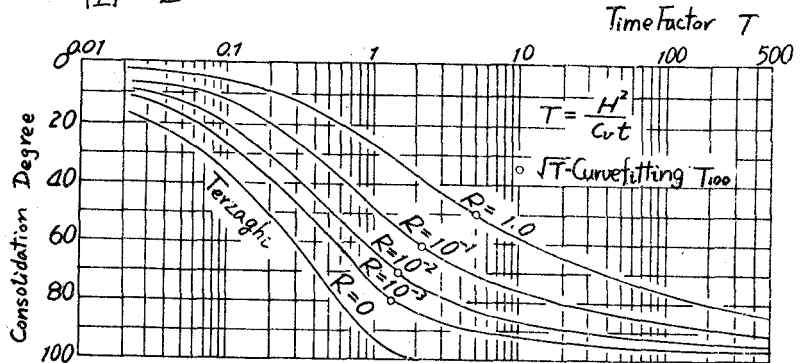
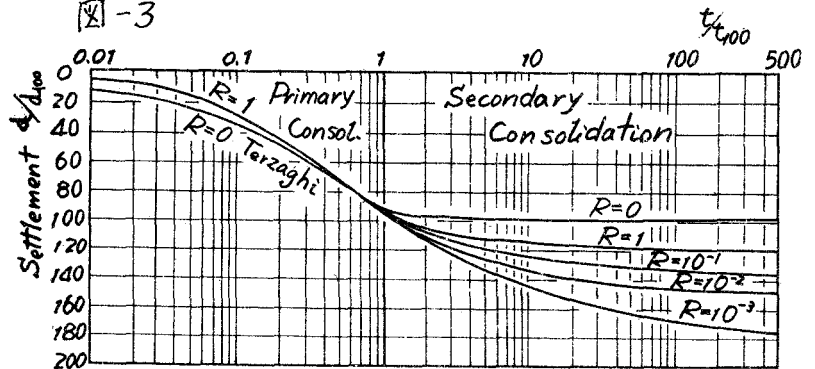


図-3



CURVE-FITTING 求められた実験曲線を $\log t$ -法で100%圧密度を求め、 t_{100} , d_{100} として二次圧密部を含む最終沈下量と d_f 、その時刻と t_f とし t_f/t_{100} , d_f/d_{100} を計算して図-3により R を簡単に求めることができる。理論的には二次圧密部の平均勾配をそうえて R を求めることになる。即ち時間軸および沈下量を無次元化して比較するのである。 R が定まれば、図-2から任意の圧密度に対する時間係数が求められるので、圧密係数が求められる。図-2は実際には使用しにくいので T_{90} と $\log T$ 曲線を描いておいて $T_{90}=0.848$ の値に R に相当する T_{90} を用いるとよい。

修正図 図-4はCURVE-FITTINGの項で述べた方法は不便であるから横行法によって求められた C_v を補正するための補正係数を求める図である。横軸に対数で R を縦軸に(右側) d_f/d_{100} をとると t_f/t_{100} の一つの値に対して一つの曲線が求められる。このようにして t_f/t_{100} をparameterとして一群の曲線群がえられる。遂に d_f/d_{100} と t_f/t_{100} から一つの R が決定される。 $T_{90}/0.848$ は R に1:1の対応であるから、この値を補正係数 α として縦軸左側に目盛り $\alpha-R$ 曲線が③の線である。 m_0 の修正についても R と t_f/t_{100} とによって定まるので β として修正図を作成した。圧密沈下曲線から $\log t$ 法により t_{100} , t_{90} を求め、 t_{90}/t_{100} , d_f/d_{100} を求めて図-4の矢印①②③④⑤⑥と進めば④と⑥とにより圧密係数^{体積}の補正係数 α , β が容易に求められる。なほ修正図ではこのような理論の ρ に側面摩擦の影響を加味し

γ_p' 目盛を10%ずらしている。全く経験的に修正を施しているの、これらの意味について今後研究を続ける予定である。先述した通り10%の修正により、側面摩擦の影響も含めて荷重増加率が3以下 $\frac{1}{R}$ (試料高さ/試料半径) の値が2位なものまで修正出来、同一試料、同一荷重では C_v の値が10%以下の誤差以内で修正出来たことは実に興味深いことである。

参考文献 LAING BARDEN: Consolidation of Clay with non-linear Viscosity, *Geotechnique*, 15-4 1965 363-367 p.p.

図-4

