

有機質土のK₀圧密における2・3の特性

秋田大学 正 員 宮川 勇
 “ 学生員 ○岩崎恒明

1.はじめに

有機質土の力学的性質を問題とする時、それ以前に対象とする土そのものの特殊性という問題にぶつかる。従って現在までの所、有機質土を対象とした力学的特性に関する研究は、主としてフィールドのデータによるものが大半を占めている。しかしながら有機質土に対しても普通の粘性土と同様その力学的特性を理解する為には、有効応力・あるいは有効応力の多次元性を考慮した取り扱いが必要であると思われる。著者らは有機質土に対し三軸試験装置を用いた種々の実験を行なっている。ここではK₀圧密試験結果についての2・3の考察と、この場合の圧密解析法について述べたい。尚試料は攪乱したものを再圧密し、円柱形の供試体に成形したものである。従ってK₀圧密は円柱形供試体について求めたものである。

2.試料の物性とK₀圧密時の応力経路

用いた試料の物性と分類記号については表-1に示す通りである。又K₀圧密時の応力経路については、粘土・有機質土についてその代表的なものを図-1に示す。更に全ての試料に対する圧密終了時の有効応力状態とK₀線を図-2に示す。尚K₀圧密試験方法および用いた試料の詳細については文献1)を参照されたい。

分類記号	比重	液性指数 (%)
C	2.65	5
CP25	2.46	20
CP50	2.31	33
CP75	2.08	46
P	1.86	58

表-1 試料の分類記号と物性

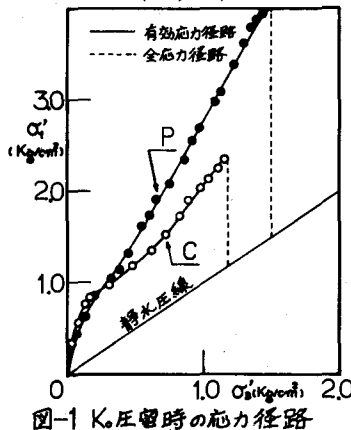


図-1 K₀圧密時の応力経路

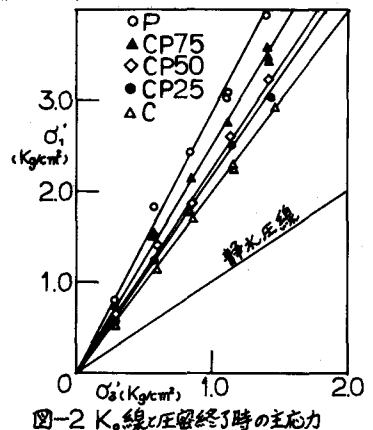


図-2 K₀線圧密終了時の主応力

図-1, 図-2より粘土・有機質土に対しては一般的に言われているように圧密時の有効主応力比はほぼ一定値を取り、その値、すなわち $\sigma'_h / \sigma'_v = K_0$ はその土の静止土圧係数であることを示している。従ってK₀圧密時の有効応力経路はほぼK₀線を示している。又図-2は土中の有機物含有量が増すに従って圧密時の有効主応力の異方向性が大きくなることを示している。更に σ'_v 一定、 σ'_h 増加の条件に伴うK₀圧密に於いて、圧密時の作用平均全応力 σ_m は初期の σ_3 から最終時の $(1/K_0 + 2/3)\sigma_3$ まで、ヌタイレイタンシー効果を含んだ軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ は初期の零から最終時の $(1/K_0 - 1)\sigma_3$ まで変化することになり、これらの $\sigma_m, (\sigma_1 - \sigma_3)$ の変化は圧密時の間隙水圧の消散に何らかの影響を与えるものと想像される。従って圧密の解析にはこれらの要素を考慮した取り扱いが必要であると思われる。そこで実測値に基づいて $\sigma_m, (\sigma_1 - \sigma_3)$ 、及び間隙水圧 u の経過時間に対する変化を概念図で示すと図-3のようになる。

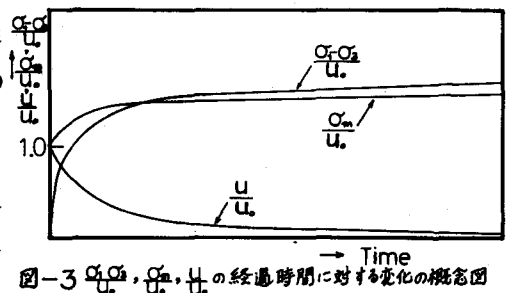


図-3 $\sigma_m, \sigma_1 - \sigma_3, u$ の経過時間に対する変化の概念図

3.K.圧密解の誘導

以上2で述べた事項を考慮してここではK.圧密の解を導く。又実験条件である上面・側方排水を考慮してここでは2次元の問題として考える。供試体に対する座標系は図-4に示すように中心軸に対して半分だけを考えれば良い。

一般的に圧密過程を通じて作用する外力が変化する際の圧密基本方程式は(1)式で表わされる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \nabla^2 u + R(x, z, t) \quad \text{----- (1)}$$

(1)式を実験条件に合致する初期条件・境界条件のもとで解けば良い。そこでこれらの諸条件をまとめて(2)式にしておく。

$$\left. \begin{aligned} t=0 \text{に於いて} \quad u &= u_0(x, z, t=0) \\ 0 < t < \infty \text{に於いて} \quad x=0; \frac{\partial u}{\partial x} &= 0, \quad x=d; u=0 \\ z=0; \frac{\partial u}{\partial z} &= 0, \quad z=h; u=0 \end{aligned} \right\} \quad \text{----- (2)}$$

(1)式の解は(2)式の諸条件を考慮して結局次の(3)式の形として求められる。

$$u(x, z, t) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_{mn} \exp(-C_v p^2 t) \cos \frac{(2n+1)\pi}{2d} x \cos \frac{(2m+1)\pi}{2h} z + \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} B_{mn}(t) \cos \frac{(2n+1)\pi}{2d} x \cos \frac{(2m+1)\pi}{2h} z \quad \text{--- (3)}$$

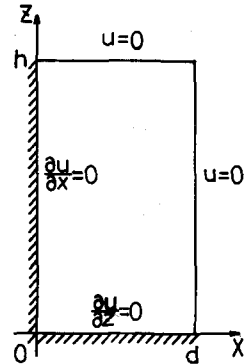


図-4 供試体の座標系

ここで A_{mn} ・ $B_{mn}(t)$ ・ p^2 は初期条件・境界条件および $R(x, z, t)$ の関数型より決定される積分定数および固有値である。

ところで赤井等²⁾は一次元圧密に対してHenkelの間ゲキ水圧表示を用いて $R(z, t)$ を表わしているが二次元の場合にも同様にして表わすことができる。従って

$$R(x, z, t) = \frac{\partial}{\partial t} (\sigma_{oct} + 3a \tau_{oct}) \quad \text{----- (4)}$$

$3a$ はHenkelの間ゲキ水圧係数に相当するものである。ここで $R(x, z, t)$ の変化がある時間 t に於ける位置 x, z に関係しないとすれば普通の三軸圧縮試験のような軸対称問題では(4)式は結局(5)式のように時間 t のみに関係する全微分の形となる。

$$R(t) = \frac{d}{dt} [\sigma_m + \sqrt{2} a (\sigma_1 - \sigma_3)] \quad \text{----- (5)}$$

ところが $R(t)$ の関数型を決定することは一種の不静定問題であって実験的に見出さなくてはならない。そこで、 $u_0(x, z, t=0)$ を位置に無関係な定数 u_0 と置いて $\sigma_m, (\sigma_1 - \sigma_3)$ を双曲線法によって時間 t のみの関数として表示することにする。双曲線法によると $\sigma_m, (\sigma_1 - \sigma_3)$ は次のように表示される。

$$\sigma_m = u_0 + u_0 \frac{t}{\alpha + \beta t} \quad \text{----- (6)}$$

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = u_0 \frac{t}{\gamma + \delta t} \quad \text{----- (7)}$$

ここで $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ は実験的に定められる定数である。それぞれの試料に対するこれらの値を表-2に示す。尚 α, β のdimensionは[sec]であり、 β, δ はdimensionlessと考える。従って(6)(7)式を用いれば $R(t)$ の関数型が決定され $A_{mn} \cdot B_{mn}(t) \cdot p^2$ を与える全ての条件が揃うことになる。更に無次元化した解を得る為次の置換を行う。

試料番号	$\alpha(\text{sec})$	β	$\gamma(\text{sec})$	δ
C	75.2	2.90	25.2	0.97
CP25	60.1	2.53	20.0	0.84
CP50	60.1	2.40	20.0	0.80
CP75	51.1	2.02	16.2	0.67
P	35.8	1.67	11.9	0.56

表-2 実験定数 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ の値

$$\frac{U}{U_0} = U, \frac{C_0 t}{d^2} = T, \frac{C_0 \alpha}{d^2} = T_\alpha, \frac{x}{d} = X, \frac{z}{d} = Z, \frac{r}{\alpha} = M \quad \text{----- (8)}$$

又著者らの実験条件から $h/d = 5.0$ を考慮して

$$U = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_{mn} \exp(-P^2 T) \cos \frac{(2n+1)\pi}{2} X \cos \frac{(2m+1)\pi}{10} Z \\ + \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} B_{mn}(T) \cos \frac{(2n+1)\pi}{2} X \cos \frac{(2m+1)\pi}{10} Z \quad \text{----- (9)}$$

ここで $A_{mn}, B_{mn}(t)$ はFourier級数, 積分指数関数を用いて次のように表わされる。

$$A_{mn} = \frac{16(-1)^{m+n}}{(2n+1)(2m+1)\pi^2} \quad \text{----- (10)}$$

$$B_{mn}(T) = \frac{16(-1)^{m+n}}{(2n+1)(2m+1)\pi^2} \{C(T) + D(T)\} \quad \text{----- (11)}$$

$$C(T) = \frac{P^2 T_\alpha}{\beta^2} \exp\left[-P^2 \left(T + \frac{T_\alpha}{\beta}\right)\right] \left\{ \log\left(1 + \frac{\beta T}{T_\alpha}\right) + \sum_{r=1}^{\infty} \left[\frac{(P^2 T + T_\alpha/\beta)^r}{r \cdot r!} - \frac{(P^2 T_\alpha/\beta)^r}{r \cdot r!} \right] \right\} - \frac{1}{\beta} \left\{ \frac{T_\alpha}{T_\alpha + \beta T} - \exp(-P^2 T) \right\} \quad \text{----- (12)}$$

$$D(T) = \frac{\sqrt{2} \alpha P^2 M T_\alpha}{\delta^2} \exp\left\{P^2 \left(T + \frac{M T_\alpha}{\delta}\right)\right\} \left\{ \log\left(1 + \frac{\delta T}{M T_\alpha}\right) + \sum_{r=1}^{\infty} \left[\frac{(P^2 T + M T_\alpha/\delta)^r}{r \cdot r!} - \frac{(P^2 M T_\alpha/\delta)^r}{r \cdot r!} \right] \right\} - \frac{1}{\delta} \left\{ \frac{T_\alpha}{M T_\alpha + \delta T} - \exp(-P^2 T) \right\} \quad \text{----- (13)}$$

$$P^2 = \left\{ \frac{(2n+1)\pi}{2} \right\}^2 + \left\{ \frac{(2m+1)\pi}{10} \right\}^2 \quad \text{----- (14)}$$

以上(9)~(14)式が今回のK₀圧密に於いて誘導された解析解である。

4. 圧密係数 C_v の決定法

圧密係数 C_v は(9)~(14)式を用いて以下のようにして決定される。(9)式より $Z=0$ と置いて底面の平均間ゲキ水圧 U^* が求められれば $T_\alpha/T = \alpha/\tau$, あるいは $\tau = \alpha/\tau$ と置いて U^* を(15)式のように置くことができる。

$$U^* = f(\tau, T) \quad \text{----- (15)}$$

そこで τ をパラメータとして $U^* \sim T$ の曲線を描けば, この曲線より C_v は次のようにして決定される。

例えば実験した底面の平均間ゲキ水圧 U^* に対してその時の時間 τ が決定されれば $\alpha/\tau = \tau$ より τ が計算される。従ってその τ に対応する $U^* \sim T$ 曲線を選び U^* に対応する T が求められれば $C_v = T d^2/\tau$ より圧密係数 C_v が決定される。

5. おわりに

以上解析的に三軸試験装置によるK₀圧密時の間ゲキ水圧の消散に関する解を導いた。その際付加関数 $R(\alpha, \tau, t)$ に注目してこれを $0 \leq \alpha < 0.5$ の時間に対する変化項とみなして取り扱った。又得られた解を基に実験した間ゲキ水圧を用いて圧密係数 C_v を決定する方法についても考慮した。これらの解に対する数値計算及び実験値との比較検討に關しては別の機会にゆずりたい。

(参考文献) 1) 宮川 勇・柴田 恒夫・高野 隆; K₀圧密による有機質土の強度特性に関する2・3の考察(土木学会東北支部技術研究委員会, 昭和49年2月), 2) 赤井浩一・足立忠尚; 有機質土の圧密特性に関する研究(土木学会論文集第113号P.15, 昭和40年1月)