

西日本工業大学 正員 宇原一哉

西日本工業大学 学生員 〇城市 誠

1. まえがき ^{1), 2)} 筆者らはこれまでに、³⁾ Hvorslev の破壊規準式と同等の関係が弾性平衡状態にも成り立つとの仮定から飽和粘土の力学的挙動に重要な影響を及ぼすと考えられる静止土圧係数 (K_0 値) を理論的に評価する方法を提案した。これらの理論は、力の釣り合いを考える面を 1) 八面体応力面 2) Mobilized 面の両方と考え、二つの理論式のどちらがより実験結果を説明しうるかについては、まだ十分な考察を行っていない。その理由の1つは、Hvorslev の強度定数と室内試験を求めることが困難なためでもある。本文は、限られた範囲ではあるが、いくつかの研究による強度定数と K_0 値に関する情報が得られたのみこのことを検討したものである。

2. 静止土圧係数評価のための理論式 ここでは、Mobilized 面上のみを考えた理論式のみを挙げる。Mobilized 面上の考えは、図-1 の I-I 面の力の釣り合いを考える。八面体応力面における力の釣り合いと同様に Hvorslev の破壊規準式より、 $\tau_m = \frac{1}{2}(1-K_0)\sigma_v' \cos \phi_{em} \cdots (1)$ $\sigma_m' = \frac{1}{2}\{(1+K_0) - (1-K_0)\sin \phi_{em}\}\sigma_v' \cdots (1)'$ より次式が得られる。

$$(1-K_0)\cos \phi_{em} = K_m \frac{1+K_0}{\eta^2} + \{(1+K_0) - (1-K_0)\sin \phi_{em}\} \tan \phi_{em} \cdots (2)$$

(載荷時)

$$(1-K_0)\cos \phi_{em} = K_m \frac{1+K_0}{\eta^2} + \{(1+K_0) - (1-K_0)\sin \phi_{em}\} \tan \phi_{em} \cdots (2)'$$

(除荷時)

ここで、 ϕ_e と ϕ_{em} の関係式より

$$\sin \phi_{em} = \frac{\tan \phi_e}{\sqrt{F^2 + \tan^2 \phi_e}} \cdots (3)$$

$$\cos \phi_{em} = \frac{F}{\sqrt{F^2 + \tan^2 \phi_e}} \cdots (3)'$$

が得られる。以上のことを K_0 について整理すれば

$$K_0 = \frac{\sqrt{F^2 + \tan^2 \phi_e} - \tan \phi_e - \frac{K}{\eta^2}}{\sqrt{F^2 + \tan^2 \phi_e} + \tan \phi_e + \frac{K}{\eta^2}} \cdots (4)$$

(載荷時)

$$K_0 = \frac{\sqrt{F^2 + \tan^2 \phi_e} - \tan \phi_e - \frac{K}{\eta^2}}{\sqrt{F^2 + \tan^2 \phi_e} + \tan \phi_e + \frac{K}{\eta^2}} \cdots (4)'$$

(除荷時)

を得る。受働時についても同様に Mobilized 面上のみを考える。また従来の種々の理論式は、粘性土の場合にも内部摩擦角のみに関連づけられ議論されているが、粘着成分も何らかの形で K_0 値に寄与している。Hvorslev の破壊規準式における種々の実験値によれば、せいぜい 0.1 くらいであると報告されている。すなわち、 $k=0.1$ と正規圧密粘土について議論すれば $\eta=1$ となる。そこで $t = \tan \phi_e$ 、 F は後述する。

$$K_0 = \frac{\sqrt{2} - (t+0.1)/F}{\sqrt{2} + (t+0.1)/F} \cdots (5)$$

(載荷時)

$$K_0 = \frac{\sqrt{F^2 + t^2} - t - 0.1}{\sqrt{F^2 + t^2} + t + 0.1} \cdots (5)'$$

(除荷時)

ここで、 F をいかにとればよいかが問題になるが Legend の提案に

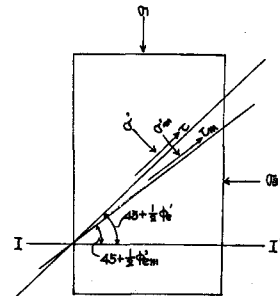


図-1 Stress state on the equilibrium planes of an element of material.

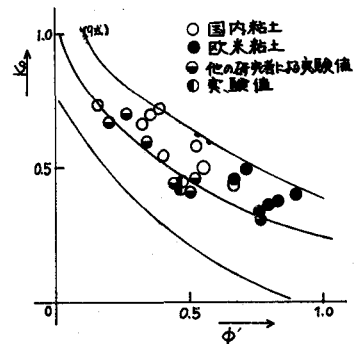


図-2 静止土圧係数 K_0 と内部摩擦角 ϕ の関係

より、 $\phi_{em} = 1.57\phi_e$ とすれば

$$K_0 = \frac{\sqrt{2 - (\frac{2}{\phi_e})(\psi + 0.1)}}{\sqrt{2 + (\frac{2}{\phi_e})(\psi + 0.1)}} \quad \text{--- (6)} \\ \text{(載荷時)}$$

$$K_{0s} = \frac{\sqrt{(\frac{\psi}{2})^2 + \psi^2} - \psi - 0.1}{\sqrt{(\frac{\psi}{2})^2 + \psi^2} + \psi + 0.1} \quad \text{--- (6')} \\ \text{(除荷時)}$$

一方 ϕ_e を用いた Rowe の提案式より、 $\phi_{em} = \phi_e$ すなわち $F=1.0$ と仮定

$$\text{すれば} \quad K_0 = \frac{\sqrt{2 - \psi} - 0.1}{\sqrt{2 + \psi} + 0.1} \quad \text{--- (7)} \\ \text{(載荷時)}$$

$$K_{0s} = \frac{\sqrt{1 + \psi^2} - \psi - 0.1}{\sqrt{1 + \psi^2} + \psi + 0.1} \quad \text{--- (7')} \\ \text{(除荷時)}$$

また、Abdelrhamid らによれば、 $\phi_{em} = 0.75\phi_e$ を提案している。

$$K_0 = \frac{\sqrt{2 - 0.75(\psi + 0.1)}}{\sqrt{2 + 0.75(\psi + 0.1)}} \quad \text{--- (8)} \\ \text{(載荷時)}$$

$$K_{0s} = \frac{\sqrt{(\frac{\psi}{3})^2 + \psi^2} - \psi - 0.1}{\sqrt{(\frac{\psi}{3})^2 + \psi^2} + \psi + 0.1} \quad \text{--- (8')} \\ \text{(除荷時)}$$

以上の計算式(6),(7),(8)より得るグラフが図-2, 図-3, 図-4である。

一方彼らは、過去の ϕ' と ψ に関する式のような結果を得ている。

$$\phi_e = 1.15(\phi' - 9)$$

が成り立つことを見出している。上式を(6)(7)(8)式に代入すれば圧密排水せん断試験で得た ϕ から比較的簡単に K_0 値を求めることが出来る。すなわち、下式のようになる。また計算結果は図中に示している。

$$K_0 = \frac{\sqrt{2 - (\frac{2}{\phi_e})[\tan\{1.15(\phi' - 9)\} + 0.1]}}{\sqrt{2 + (\frac{2}{\phi_e})[\tan\{1.15(\phi' - 9)\} + 0.1]}} \quad \text{--- (9)}$$

$$K_0 = \frac{\sqrt{2 - \tan\{1.15(\phi' - 9)\} - 0.1}}{\sqrt{2 + \tan\{1.15(\phi' - 9)\} + 0.1}} \quad \text{--- (10)}$$

$$K_0 = \frac{\sqrt{2 - 0.75[\tan\{1.15(\phi' - 9)\} + 0.1]}}{\sqrt{2 + 0.75[\tan\{1.15(\phi' - 9)\} + 0.1]}} \quad \text{--- (11)}$$

3. 実験結果との比較 計算結果と比較するために他の研究者による既出の実験結果による ϕ_e, K_0 値をプロットしたのが図2(3)(4)である。図には筆者によって得た実験結果も併記している。筆者らの実験方法はすでに報告されている三軸試験機を用いた軸圧と一定荷重に保ち圧密期間中に供試体の側方ヒズミが生じないように側圧をコントロールするという方法である。筆者らの今回の実験結果よりわかることは、同じ ϕ_e 値を有する粘土 ($G_s=2.57, w_L=114\%$, $I_p=70$) にも、圧密圧力が大きくなるほど K_0 値はそれに伴って大きくなるという事実がある。またそれぞれの理論式について比較検討してみると、 $\phi_{em} = \phi_e$ とした場合と $\phi_{em} = 0.75\phi_e$ とした場合では前者の方が実験結果とよく一致する。また八面体応力面上より Mobilized 面上に及ぶ力の釣り合を考えた理論式の方が実験結果を良く説明していると思う。

4. あとがき Hvorslev 破壊規準式が圧密平衡状態(弾性平衡状態)においても成立するとの仮定をもとに得られた式と実験結果と照合することによって K_0 値に及ぼす要因について若干の考察を行った。本文の結論は、(1)粘着力成分が大きくなれば同じ内部摩擦角においても K_0 値は小さくなる。(2)八面体応力面上に及ぶ力の釣り合を考えた理論式より特定の面(Mobilized 面)上を考えた理論式の方が実験結果と平均的に一致するようである。

引用文献 1)山内・安原(1973): 土質工学会論文報告集, Vol. 14, No.2, PP.113-118 2)安原(1976) 材料, Vol.25, No.274, PP.627-641 3)Hvorslev, A.J.(1960), Proc. Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE, PP.169. 4)Abdelrhamid, M.S. and R.J. Krizek (1976): Proc. ASCE, GT7, PP.721-738. 5)安原・山内(1976): 土木学会論文報告集, No.246, PP.93-103.

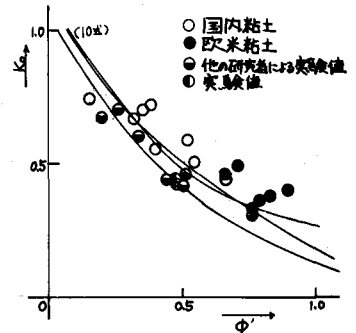


図-3 静止土圧係数 K_0 と内部摩擦角 ϕ' の関係

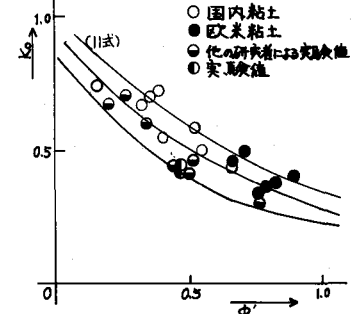


図-4 静止土圧係数 K_0 と内部摩擦角 ϕ' の関係