Ⅲ　9

粘土の体積変化について

京都大学　工学部　正　員　島　昭治郎
同　　　　　　　　学生員　太田　秀樹
同　　　　　　　　同　　　○吉谷　進

1. はじめに

これまで数度にわたって，正規圧密粘土を非排水せん断した場合の間げき水圧や有効応力径路の変化特性について報告してきた。今回はこれらの報告をさらに一般化して，任意の初期状態（正規圧密・過圧密を問わず）の粘土が，任意の応力（τ_{oct}, σ_m'）を受けたときに，任意の排水条件のもとで示す間げき比の変化量を考察した。

2. 式の誘導

粘土の状態を表現するためのパラメータとして，（τ_{oct}, σ_m', e）の3つをとりこれらをstate parameterとよぶ。（τ_{oct}, σ_m', e）で規定される空間をstate spaceとよぶと，粘土の任意の状態はstate space内の1点で表わされ，これをstate pointとよぶ。粘土をせん断ひずみが常に増大する方向にせん断した場合，state pointの軌跡（state path）はある限られた曲面上を動く。この曲面をstate surfaceとよび，これを示す式を求めることが目的である。

さて，等方圧力σ_m'だけが作用した場合のeは，$e \sim \ln \sigma_m'$関係が直線であることから，その傾きをλで示すことによって次のように与えられる。

$$\delta e = -\lambda \frac{\delta \sigma_m'}{\sigma_m'} \qquad (1)$$

σ_m'を一定にしてτ_{oct}をかえることによりせん断された粘土が示す間げき比の変化は，柴田[1]，軽部・栗原[2]により次式で示されることが指摘されている。

$$\delta e = -(1+e_0)\mu\left(\frac{\delta \tau_{oct}}{\sigma_m'} - \frac{\tau_{oct}}{\sigma_m'} \cdot \frac{\delta \sigma_m'}{\sigma_m'}\right) \qquad (2)$$

排水状態で粘土をせん断するとき，等方圧力による間げき比の変化とダイレイタンシーによる間げき比の変化とが互いに独立であるという保障がなく，相互に影響しあいながらせん断が進むと考えられるため，せん断に伴なう間げき比の変化をこれらの単なる和であると考えることはできない。しかしせん断過程の各微少段階において，これらの微少間げき比変化を加えあわせたものを，その段階での間げき比変化であるとするならば，誤差は許容できると考えられる。これを式で示すと，(1)(2)の和として，

$$\delta e = -\left\{\lambda - \mu(1+e_0)\frac{\tau_{oct}}{\sigma_m'}\right\}\frac{\delta \sigma_m'}{\sigma_m'} - \mu(1+e_0)\frac{\delta \tau_{oct}}{\sigma_m'} \qquad (3)$$

が得られる。ただし，e_0はその粘土が受けた最大先行荷重σ_{m0}'に対応する間げき比である。この式は（$\tau_{oct}=0$, $\sigma_m'=\sigma_{m0}'$, $e=e_0$）なる点をinitial state pointとするような正規圧密粘土がひずみ増加の方向にせん断されたときのstate pathが満たすべき近似式である。今後，

さらに詳細な実験的事実によって再検討をせまられることがあると思われるが，現在のところ粘土の性質を比較的正確に示していると思われる。

3. state surface と swelling wall

(3)式を $\tau_{oct}=0$, $\sigma_m'=\sigma_{m0}'$, $e=e_0$ なる初期条件のもとでとくと，

$$e-e_0+\lambda\ \ln\frac{\sigma_m'}{\sigma_{m0}'}+(1+e_0)\mu\frac{\tau_{oct}}{\sigma_m'}=0 \qquad (4)$$

が得られる。これが σ_{m0}' で圧密された粘土の state surface である。

過圧密状態にある粘土は $e-\ln\sigma_m'$ グラフ上で (e_0, σ_{m0}') なる点を通る傾き κ の直線上の点でその状態を規定することができる。従って過圧密粘土の初期 state point は(4)式で与えられる state surface 上にない。このような swelling curve 上に initial state point を持つような粘土をせん断したときの state path は，state space で $\tau_{oct}=0$ plane に対して swelling curve から垂直に立っている swelling wall 上を動き，state path が(4)式で与えられる state surface に到達してから後は state surface 上を移動する。

さて，($\tau_{oct}=0$, $\sigma_m'=\sigma_{m0}'$, $e=e_0$)なる点を先行圧密状態として経験した粘土の非排水せん断について考える。せん断される直前の initial state point を ($\tau_{oct}=0$, $\sigma_m'=\sigma_{mi}'$, $e=e_i$) とする。すなわち(σ_{mi}', e_i) は swelling curve 上の1点である。非排水の条件 $e=e_i$ を(4)に代入すると，

$$\tau_{oct}=-\frac{\sigma_m'}{(1+e_0)\mu}\left(\lambda\ \ln\frac{\sigma_m'}{\sigma_{m0}'}+e_i-e_0\right) \qquad (5)$$

となる。正規圧密粘土の場合 $e_i=e_0$ であるから，

$$\tau_{oct}=-\frac{\lambda}{(1+e_0)\mu}\sigma_m'\ \ln\frac{\sigma_m'}{\sigma_{m0}'} \qquad (6)$$

の形で有効応力経路が与えられる。過圧密粘土の場合 initial state point は式(5)を満足しない。この場合の有効応力経路は，

$$\tau_{oct}=-\frac{\sigma_{mi}'}{(1+e_0)\mu}\left(\lambda\ \ln\frac{\sigma_{mi}'}{\sigma_{m0}'}+e_i-e_0\right) \qquad (7)$$

なる τ_{oct} に到達するまでは $\sigma_m'=\sigma_{mi}'$, $e=e_i$ のまま swelling wall に沿って上昇し，その後(5)式で示される経路をたどる。

正規圧密粘土を排水条件のもとでせん断すると，τ_{oct}, σ_m' の変化に伴なって e も(4)式に従って変化する。従って任意の応力状態のもとでの間げき比の変化量が直ちに求められる。過圧密粘土の場合はいくらか複雑になるが非排水のときとほぼ同様の考え方で求めることができる。これらの考察から，正規圧密粘土と過圧密粘土のせん断特性の相違は(例えば正負のダイラタンシーや正負の間げき水圧など)，単に初期条件の相違によるものであり，いずれも本質的には同じ機構に従っていることがわかる。

参考文献　1) 柴田徹：粘土のダイラタンシーについて　京大防災年報第6号　S. 38. 7
2) 軽部栗原：練り返し粘土のダイレイタンシーとせん断強度について　土木学会論文集 135号