

側方拘束圧密における圧密挙動について

近畿大学理工学部

中野 垣

近畿大学理工学部

○ 奥家 啓芳

1. まえがき

標準圧密試験のような一次元圧密にあつては、圧密の全期間を通じて、鉛直方向の有効垂直応力に対する水平方向の有効垂直応力の比が一定であることは、周知の事実である。このことは、圧密の過程で水平方向の全応力が減少するということで可能であり、これも多くの研究者によって実測されている。

非排水状態での全応力の増減は、飽和粘土に過剰間隙水圧の増減をもたらす。全応力の変化に対応する過剰水圧の変化は、間隙水圧係数と定義される粘土の特性値によって支配される。

これらのことを踏まえると、一次元圧密では、全応力が間隙水の排水に伴い有効応力へと置換されることによって生じる過剰水圧の減少とは別に、水平方向の全応力の減少による過剰水圧の減少が付加されると思われる方が合理的であろう。Taylor の圧密モデルで知られる圧密の概念は、等方圧密に対応するものであつて、一次元圧密には当てはまらなかつたと考えられる。

そこで、Christian によって提案された有限要素法によって、これらの関係を明らかにした。

2. 数値解析の手法

通常の一次元圧密の解析においては、平面ひずみの 応力-ひずみマトリックスを用いて、鉛直流れによる圧密が、鉛直境界面の水平変位がゼロで起こるとされる。

ここでは、鉛直境界面に水平力を外力として与え、圧密の進行に合わせて、これを減少させることによって、鉛直と水平方向の有効応力の比が一定となるようにした。このことによって、水平方向の全応力の減少に対応する過剰水圧の減少を考慮することを可能にしたわけである。以下に、その手法を概説する。

$$\sigma_3' = \frac{\nu'}{1-\nu'} \sigma_1' = K_0 \sigma_1' \quad \text{ここに、} K_0 = \frac{\nu'}{1-\nu'} : \text{静止土圧係数}$$

この関係によって、鉛直方向のひずみ ϵ_1 は

$$\epsilon_1 = \epsilon_v = \frac{(1+\nu')(1-2\nu')}{E'(1-\nu')} \Delta \sigma_1' \quad \text{ここに、} E', \nu' \text{ は}$$

土の骨格構造の弾性パラメーター

$\sigma_3'/\sigma_1' = K_0$ が、圧密期間中一定となることが必要であるから、鉛直有効応力の増分 $\Delta \sigma_1'$ に対応して、次式のような側方圧力の減少が起こらなければならない。

$$\Delta \sigma_3 = (1-K_0)\Delta \sigma_1' = \beta \Delta \sigma_1' \quad \text{ここに、} \beta = 1-K_0$$

この側方圧力の減少によって起こされる非排水状態 ($\epsilon_v = 0$) の過剰水圧の消失は次式で与えられる。

$$\Delta u'' = \alpha \Delta \sigma_3 \quad \text{ここに、} \alpha : \text{間隙水圧係数}$$

任意時刻の鉛直方向の有効応力の増分 $\Delta \sigma_1'$ は、同時刻の過剰水圧の減分 Δu に等しい。ここに、 Δu は排水による過剰水圧の減分 ($\Delta u'$) と側圧減少に起因するもの ($\Delta u''$) との和 ($\Delta u = \Delta u' + \Delta u''$) である。よつて、

$$(1-\alpha\beta)\Delta \sigma_1' = \Delta u'$$

$\Delta u'$ が本来の圧密排水によって生じる過剰水圧の減分であり、これが有効応力の増分に等しいから、これについて連続の条件が成立する。

側方拘束圧力の減少量は、次式で示される。

$$\Delta \sigma_3 = \frac{\beta}{(1-\alpha\beta)} \frac{E'(1-\nu')}{(1+\nu')(1-2\nu')} \varepsilon_1$$

3. 数値解に対する考察

図-1は、 $\alpha=0$ における終局圧縮ひずみを基準として、 $U\varepsilon$ と時間係数 T の関係を示したものである。この図において、 $\alpha=0$ の $U\varepsilon-T$ 曲線は Terzaghi のそれと完全に一致する。 α が大になる程、水平方向の応力減少に伴う過剰水圧の減少が大になるため、体積変化量が小になり、圧密が早期に終息することを示している。言い換えると、等方圧密の場合、増加応力の総てが体積圧縮に寄与するが、一次元圧密においては、 α に応じて体積圧縮量を異にする。

図-2は、総ての $\alpha>0$ の縦軸のスケールを $\alpha=0$ と同じになるように変換したものである。この図において $\alpha>0$ の $U\varepsilon-T$ 曲線を、 $\alpha=0$ のそれに合わせるように水平方向に移動させると、総ての曲線が、 $\alpha=0$ の $U\varepsilon-T$ 曲線、すなわち Terzaghi の理論曲線に重なる。

圧密沈下の経時変化の計算は、終局の圧密沈下量を圧密度 100% として、それを算定するわけであるから、 $\alpha>0$ の場合についても、見掛け上、Terzaghi 理論が適合することを意味している。

しかし、現実には $\alpha>0$ の粘土は、 $\alpha=0$ のそれに比べて体積圧縮係数が小であり、圧密係数が大である。ここでの問題は、標準圧密試験によって得られた圧密係数から推定される透水係数が、実際のものよりも大きく見積られることが予想されることと、バーチカルドレーンの設計の際の圧密係数を、鉛直方向に切り取られた試料の標準圧密試験から決定することにある。

4. あとがき

一次元圧密においては、圧密期間中に生じる側方拘束圧力の減少によって、非排水状態での過剰水圧の消失 ($\Delta u''$) が起こるものと考えられる。しかし、その量を支配する間隙水圧係数 α が、いかなる値を持つかを明確にすることはできない。

ただし、概略的には、同一供試体の等方圧密と標準圧密との試験結果の対比によって推定することができるであろう。

なお、粘土の異方性を考慮すると、除荷の過程で過圧密比が大きくなるにつれて、 K_0 -値が大きくなっていくメカニズムを、明らかにすることができる。

また、非線形の応力-ひずみ関係、圧密期間中の透水係数の変化等を導入した数値解を極めて容易に導くことができる。

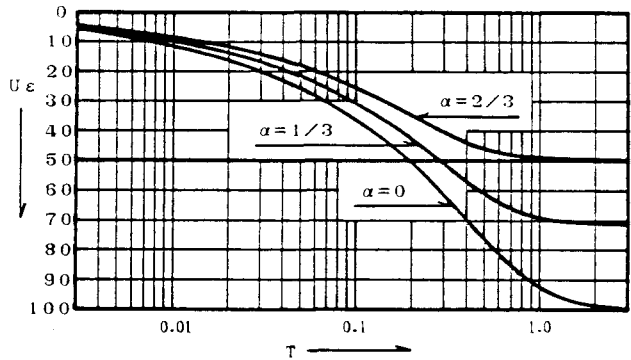


図-1

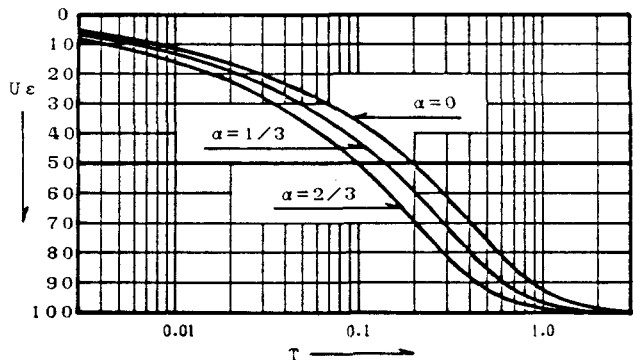


図-2