

金沢大学工学部 正会員 松本 樹典
 同 上 正会員 関口 秀雄
 同 上 正会員 西田 義親

1. まえがき 通常の三軸供試体に対する等方圧密試験においては、側圧は液圧によって、軸圧は剛な載荷板を介して所定の荷重(圧密応力に供試体断面積を乗じた値)として載荷される。したがって、端面においては載荷板との間に摩擦力が作用する可能性がある。前報¹⁾では、供試体端面と載荷板の境界面にジョイント要素を導入した有限要素解析を行い、供試体の寸法および体積弾性係数が一定の場合に端面摩擦が圧密終了時の体積ひずみと軸ひずみに及ぼす影響を中心に報告した。本報告では、特に供試体の寸法および圧縮性に応じて、三軸等方圧密試験における端面摩擦がどのように変化するのか(寸法効果)に主眼を置いて報告する。

2. 三軸供試体の有限要素モデルとジョイント要素 解析に用いた三軸供試体有限要素モデルを図-1(図中図)に示す。等方圧密試験は、軸対称問題であると考えられるため、供試体の半分について要素分割を行なった。排水条件としては、鉛直方向のみの排水として、上端面だけが排水面である。変位条件としては、下端面での鉛直変位と中心軸での半径変位を固定した。ジョイント要素(図中斜線部)は、実際には厚さの無い要素となっており、今回の解析では、ジョイント両面は相対せん断変位のみを生じるとして計算を行なった。ジョイント要素の有効応力と相対変位の関係は、次式で示される。

$$\{\sigma'\} = \begin{Bmatrix} \sigma_n' \\ \tau_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_n & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta u_n \\ \Delta u_s \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 σ_n' と τ_s は、それぞれジョイント面に作用する有効垂直応力とせん断応力である。 k_s と k_n は、それぞれジョイント両面の間の相対垂直変位(Δu_n)と相対せん断変位

表-1 解析条件

Run No.	D (cm)	H (cm)	K' (kgf/cm ²)	K _s (kgf/cm ³)
1	5.0	10.0	805.2	1000
2	10.0	20.0	805.2	1000
3	20.0	40.0	805.2	1000
4	5.0	10.0	402.6	1000
5	5.0	10.0	206.3	1000
6*	5.0	10.0	805.2	Smooth
7*	5.0	10.0	805.2	Rough

(Δu_s)に対する剛性を表わす係数であり、その単位は[応力/相対変位]で示される。このジョイント要素を軸対称変形有限要素プログラムに組み込み、三軸等方圧密試験の解析を行なった。

3. 解析結果 前項で述べた k_s の値が一定である場合に、端面摩擦に及ぼす寸法効果について調べるために、表-1に示すように、供試体直径(D)と高さ(H)、体積弾性係数(K')を変えて計7ケースの解析を行なった。全ての解析とも、圧密圧力(P)は24

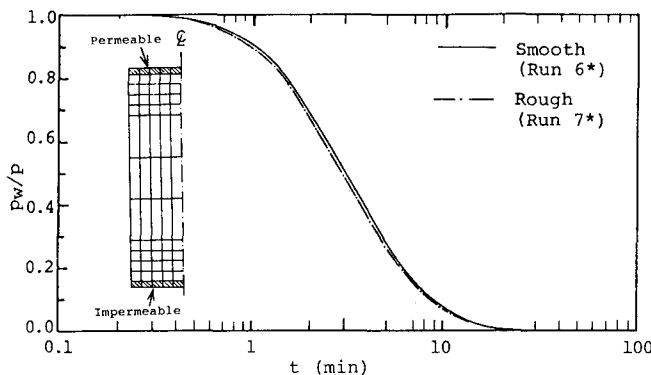


図-1 間隙水圧-時間関係 (P=24 kgf/cm²)

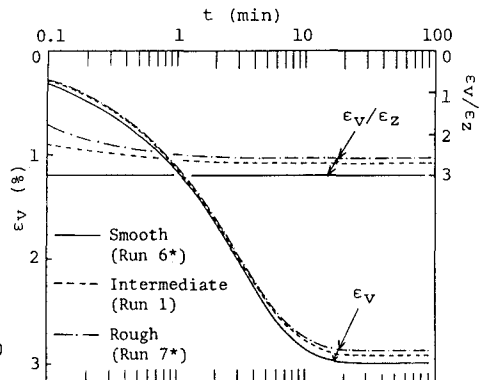


図-2 体積ひずみ-時間関係 (P=24 kgf/cm²)

kgf/cm²,ポアソン比(ν)は0.30, $H/D=2$ となっている。

図-1は, 端面摩擦が無い場合(Run 6*)と端面の半径方向変位を完全に拘束した場合(Run 7*)について, 下端面中心における間隙水圧の消散過程を示したものである。半径方向変位固定の場合の方がわずかに速く間隙水圧は消散しているが, 両者にはほとんど差はみられず, Run 1の曲線はこの両者の範囲内にある。

図-2は, Run 1, 6*, 7* について, 体積ひずみ(ϵ_v)~時間関係および ϵ_v/ϵ_x (ϵ_x は軸ひずみ)~時間関係を示したものである。 ϵ_v は, その絶対値に差がみられるが, 時間的な変化には, ほとんど差はみられない。端面の拘束が大きくなるにつれて, ϵ_v の値はわずかに減少している。 ϵ_v/ϵ_x の値は, 摩擦の有る場合, 最初時間の経過とともに増加してゆくが, その後ほぼ一定の値となる。端面拘束の程度が大きいかほど見掛けの異方性は大きく現われている。

図-3は, Run 1, 2, 3について, 両端面の最も外側に位置するジョイント要素の応力経路を示したものである。非排水面(実線)においては, 圧密の進行につれて τ_s と σ'_n は一定の比を保ちながらともに増加している。排水面(点線)においては, 圧密圧力の載荷と同時に, σ'_n だけが載荷応力に等しく増加し, その後圧密の進行につれて, τ_s は増加し, σ'_n はいくらか減少しながら一定の応力比(τ_s/σ'_n)に近づいてゆく。以上のことは, 他のジョイント要素についても同じである。図-4は, Run 1, 2, 3について, 圧密終了時の両端面の応力比の分布を示したものである。横軸には, 半径比をとって

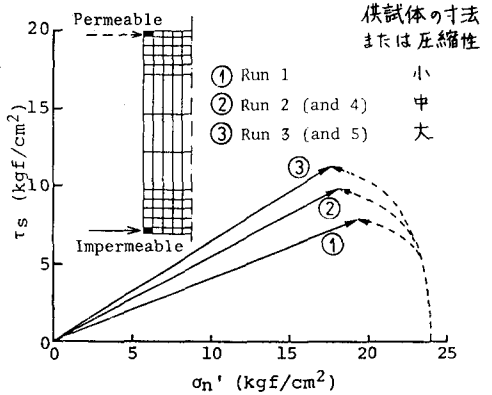


図-3 端面の応力経路

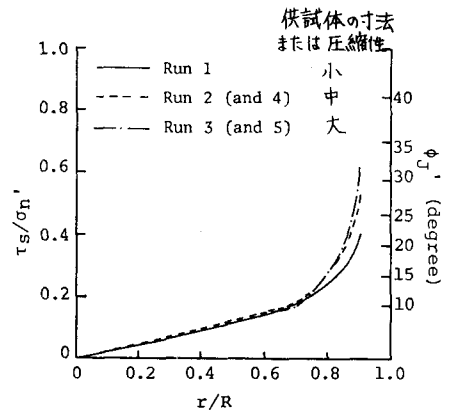


図-4 τ_s/σ'_n の分布

ある。図には, 境界面の摩擦角の値も合わせて示してある。図からわかるように, 半径比が0.7以下では, 半径比に比例して応力比は大きくなっており, 三者の間にはほとんど差はみられない。しかし, 半径比が0.7以上になると応力比は急激に増大してゆき, また供試体寸法が大きいかほど応力比は大きくなっている。ここで, 端面の摩擦 ϕ'_f について考える。もし, 端面摩擦が通常の摩擦則に従うものであれば, 端面の摩擦応力の限界値は ϕ'_f によって規定される。端面の最も外側に位置するジョイント要素($r/R=0.9$)では, Run 1, 2, 3のいずれの場合も ϕ'_f は20°を超えている。もし, 土試料と載荷板との間の摩擦角が20°であるならば, 実際には最も外側のジョイント要素は, 図-4に示されるようなせん断応力を受け持つことができず, 応力の再配分が生じて内側に位置するジョイント要素のせん断応力は増加するものと考えられる。このように, 等方圧密試験においては, 端面の外側から内側へ向かって端面と載荷板との間の進行性せん断破壊が生ずるものと思われる。

最後に, 端面摩擦に及ぼす寸法効果について考察する。端面摩擦を規定する主な要因としては, 供試体直径, 供試体の高さ(H)と直径(D)の比率, 供試体の圧縮性および k_s の値が挙げられる。つまり,

$$\text{端面摩擦} = f(D, H/D, 1/K', k_s) \quad (2)$$

として表わされる。今回行った解析のように, H/D と k_s が一定の場合に D と k_s の値が端面摩擦に及ぼす影響について述べる。供試体寸法がRun 1と同じで, k_s の値だけが, それぞれ1/2, 1/4倍としたRun 4と5の解析結果は, それぞれRun 2との解析結果にほぼ等しくなっている(図-3と4を参照)。したがって, 通常の供試体の場合($H/D=2$), D/k_s の値が等しければ, ほぼ同様な $\tau_s/\sigma'_n \sim r/R$ の関係を示すことがわかる。また, $H/D=2$ の場合, 端面摩擦は等方圧密試験結果にほとんど影響を及ぼさないことがわかる(図-1と2を参照)。

参考文献 1) 松本, 関口, 西田(1983): 第18回土質工学研究集会。2) Sekiguchi, Nishida & Kanai (1981): S. & F., Vol. 2, No. 3, p. 53-66.