

堆積土のような異方性地盤の変形解析に供するため、前報²⁾に引き続いてここでは堆積面と主応力面が一致しない場合の異方性土の応力・ひずみ関係を解析する。基本的な考え方は、堆積面と滑動面(Mobilized Plane)²⁾のなす角度が小さい程変形しやすいというものである。

1. 三軸圧縮条件下の異方性土の応力・ひずみ関係

図-1は X, Y, Z を応力の主軸とし、堆積面が Y 軸のまわりに主応力面から δ だけ回転した状態を示したものである。相異なる 3 主応力下では一般に図のように 3 個の滑動面²⁾が存在するが、三軸圧縮条件($\sigma_z > \sigma_x = \sigma_y$)では Z-X と Z-Y 面内の滑動面を考えればよい。いま Z-X 面内の滑動面と堆積面のなす角度 ψ' に着目し、 ψ' が小さい程土質パラメータ γ_{02X} (Z-X 面内の γ_0 を γ_{02X} と表わす) が大きい(変形しやすい)と仮定して両者の間に直線関係が成り立つものとする。さて、前報²⁾で述べたような水平堆積状態($\delta = 0^\circ$)で通常の三軸圧縮($\theta = 0^\circ$)・伸張($\theta = 180^\circ$)試験を行なった場合の破壊時の主応力比 $(\sigma_2/\sigma_3)_f$ がそれぞれ ψ と 4 である異方性土を想定する(ここに θ は正八面体面上の半径方向の応力径路の角度を意味する)。また土質パラメータは前報と同じ $\lambda = 1.2$, $\mu = 0.23$, $\mu' = 0.43$, $\gamma_{0V} = 0.10\%$, $\gamma_{0H} = 0.40\%$, $\gamma_{0I} = 0.25\%$ を用いる。まず、前報の異方性土のための破壊規準

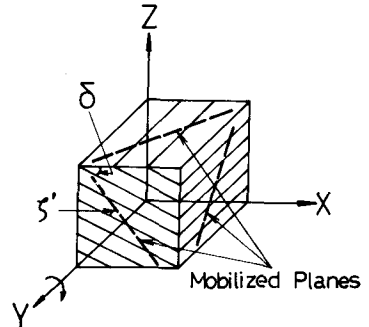


図-1 主応力面と堆積面と滑動面(Mobilized Planes)の関係

によれば、三軸圧縮条件($\theta = 0^\circ$)における δ と $(\sigma_2/\sigma_3)_f$ の関係は表-1 のように算定される(文献 1)の図-12 参照)。内部摩擦角 ϕ は $\phi = \sin^{-1} \{ \{ (\sigma_2/\sigma_3)_f - 1 \} / \{ (\sigma_1/\sigma_3)_f + 1 \} \}$ より計算され、 $(45^\circ + \frac{\phi}{2})$ も求まる。もし滑動面の角度が破壊時の ϕ によって代表せうものとするれば、 $\psi' = |45^\circ + \frac{\phi}{2} - \delta|$ と表わすことができる。したがって、上述の $\theta = 0^\circ$, $\delta = 0^\circ$, $(\sigma_2/\sigma_3)_f = 5$ より $\psi' = 65.9^\circ$ (表-1 参照)となり、このとき $\gamma_{02X} = \gamma_{0V} = 0.10\%$, $\theta = 180^\circ$, $\delta = 0^\circ$, $(\sigma_2/\sigma_3)_f = 4$ より $\psi' = 26.6^\circ$ となり、このとき $\gamma_{02X} = \gamma_{0H} = 0.40\%$ という関係を得る。この 2 点を結ぶ直線と δ と γ_{02X} (γ_{02X} , γ_{02Y} , γ_{02Y} の総称) と ψ' の関係を決定し、表-1 の ψ' の値より最下段の γ_{02X} を求めた。また、 γ_{02Y} は図-1 からわかるように $0^\circ \leq \delta < 90^\circ$ においては $\gamma_{02Y} = \gamma_{0V} = 0.10\%$, $\delta = 90^\circ$ においては Z-Y 面は堆積面と等方的と考えられるので $\gamma_{02Y} = \gamma_{0I} = 0.25\%$ と考えた。以上の土質パラメータ (λ , μ , μ' , γ_{02X} , γ_{02Y}) を用いて前報²⁾の式(4)~(6)により計算

表-1 三軸圧縮条件下の土質パラメータ γ_{02X}

δ	0°	30°	60°	90°
$(\sigma_1/\sigma_3)_f$	5	4.24	3.51	3.51
ϕ	41.8°	38.2°	33.8°	33.8°
$45^\circ + \frac{\phi}{2}$	65.9°	64.1°	61.9°	61.9°
ψ'	65.9°	34.1°	1.9°	28.1°
γ_{02X}	0.10%	0.34%	0.59%	0.39%

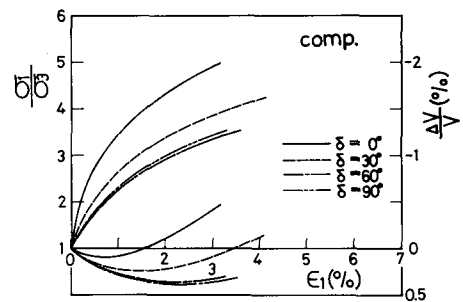


図-2 三軸圧縮条件下の応力・ひずみ関係の解析値 (δ : 堆積面と主応力面のなす角度)

した三軸圧縮条件下の主応力比 σ_2/σ_3 ・主ひずみ ϵ_1 ・体積ひずみ $\Delta V/V$ 関係を 図-2 に示す。参考のため、図-3 に小田³⁾による三軸圧縮条件下の実測値(主応力差 $(\sigma_2 - \sigma_3)$ ・主ひずみ ϵ_1 ・体積ひずみ V 関係)を示す(小田の“ δ ”はニニズの $(90 - \delta)$ に相当するので 図中 に書き変えた)。土質パラメータは小田の試料を意識して決めたものではないが、両図には類似した対応関係がみられ興味深い。

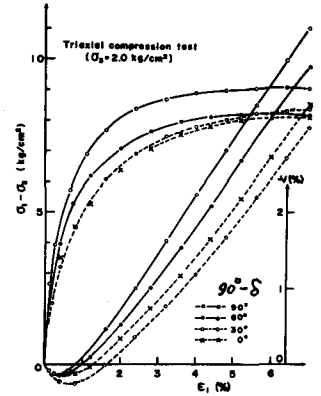


図-3 三軸圧縮条件下の応力・ひずみ関係の実測値³⁾

2. 平面ひずみ条件下の異方性土の応力・ひずみ関係

つぎに FEM はビによく用いられる平面ひずみ条件下の応力・ひずみ関係を解析する。図-1 において Y 方向の変位を拘束する平面ひずみ状態を考えれば、近似的に ZX 面内の滑動面だけを考慮すればよいことになる。²⁾ 平面ひずみ条件では $\theta = 15^\circ \sim 30^\circ$ といわれているので、平均をとって $\theta \approx 22.5^\circ$ と近似すれば、1. と同様に異方性土

のための破壊規準より δ と $(\sigma_2/\sigma_3)_f$ の関係が 表-2 のように求められる。そして 1. と同じ δ_{0ij} と ζ' の直線関係を用いて 表-2 の γ_{0ZX} を定められる。以上の土質パラメータ (λ , μ , μ' , γ_{0ZX}) を用いて 1. と同様に 図-4 に示す。また小田³⁾による平面ひずみ条件下の実測値を 図-5 に引用する。図-5 より、同じ主応力差 $(\sigma_2 - \sigma_3)$ に対するひずみ値 ϵ_1 が $\delta = 0^\circ, 30^\circ, 90^\circ, 60^\circ$ の順に大きいこと、破壊時のひずみ値 ϵ_1 は $\delta = 90^\circ$ のときに最も大きいことなどがみられるが、これらの実測値の傾向を 図-4 の解析値はよく説明している。なお、図-2, 4 の応力・ひずみ関係の終点は 表-1, 2 の破壊時の主応力比 $(\sigma_2/\sigma_3)_f$ に一致させている。また、以上の計算では $\delta \neq 0^\circ$ の場合でも主応力と主ひずみ増分の間は一致すると仮定している。

表-2 平面ひずみ条件下の土質パラメータ γ_{0ZX}

δ	0°	30°	60°	90°
$(\sigma_2/\sigma_3)_f$	5.64	4.62	3.92	4.79
ϕ	44.3°	40.1°	36.4°	40.9°
$45^\circ + \frac{\phi}{2}$	67.2°	65.1°	63.2°	65.5°
ζ'	67.2°	35.1°	3.2°	24.5°
γ_{0ZX}	0.09%	0.33%	0.58%	0.42%

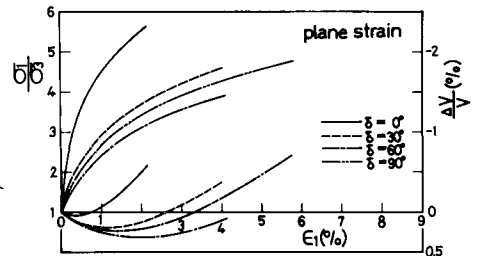


図-4 平面ひずみ条件下の応力・ひずみ関係の解析値

今後は、以上の成果に基づいて異方性地盤の変形解析を行なう予定である。

謝辞 御援助をいただいている本学山内利彦教授、有益な議論をいただいた中井照夫助手に謝意を表す。

参考文献

- 1) 松岡・鈴木(1980): 才15回土質工学研究発表会講演集.
- 2) 松岡(1974): S & F, Vol. 14, NO. 2, pp. 47-61.
- 3) 小田・小石川・樋口(1978): S & F, Vol. 18, NO. 1, pp. 25-38.

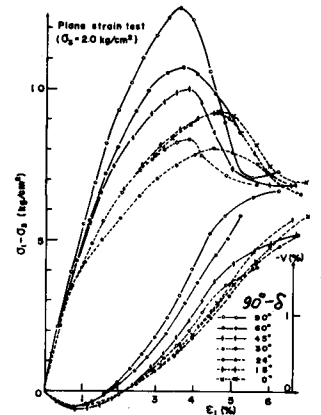


図-5 平面ひずみ条件下の応力・ひずみ関係の実測値³⁾