

1. 地盤の異方性

異方圧密された粘土地盤では多くの場合最大主応力方向が鉛直である。このような地盤上にたとえば盛土のような荷重を載せると、荷重の真下付近は最大主応力方向がほぼ鉛直となり、荷重端から離れた場所では水平方向に近くなるであろう。これらの状態はそれぞれ主働、受働または圧縮、伸長状態であり、その時の応力-変形曲線は非排水では図-1 のようになるであろう。もし主働、受働を主応力差が初期の値より大きいまたは小さいということと定義すれば、荷重をうけた上述のような地盤は主働、受働の2つの領域に分けられなければならない。2つの領域をわける線はたとえば図-2 のようなものであり、このような問題をすべり線の考え方で解析しようと思えば、地盤の強度を主働強度、受働強度とわけて考えなければならず、しかもそれらはある線を境に急変することになるため理論上具合のわるいことが生じる。

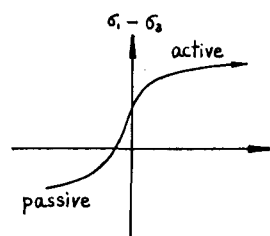


図-1

2. 主応力方向の回転

主働、受働状態での変形、強度特性の相違がもたらす困難を避けるためにここでは、いはゆる遷移領域の考え方をヒントにして次のような仮定を考えてみた。すなわち、 σ_1 方向が鉛直であれば主働、水平であれば受働、そしてその中間の応力変形カーブは、主働、受働の中間的なカーブとして比例配分的に仮定しようというものである。この方法を図示したのが図-3a、もである。図-3a 上の受働カーブ(ii)を(iii)→(iv)というように対称に移し、図-3b をえる。ここで θ は σ_1 の方向で $\theta = 0$ が水平方向、 $\theta = \frac{\pi}{2}$ が鉛直方向である。そして $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ という範囲の応力-変形曲線を次のようにして求める。すなわち、すべての応力レベル $|\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)|$ において主働、受働の曲線の接線勾配を比例配分の形で $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ の範囲でわりふるわけである。こうすると必然的に強度の方も主働、受働を両極端として、 $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ の範囲にある「遷移強度」が比例配分的にきまってくる。

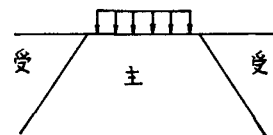


図-2

畠・太田・吉谷 による FEM 解析結果 (1970)

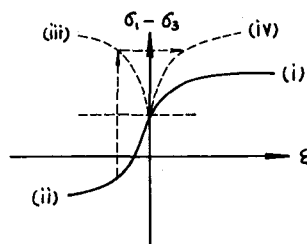


図-3(a)

3. 破壊条件

上記の仮定を用いて破壊条件を求めてみよう。以下の議論は主働、受働における非排水強度がわかっていれば展開できるが、ここでは従来筆者が提案した力学モデルを使ってすすめることにする。それによれば破壊条件は、

$$\left(\frac{\tau_{oct}}{\sigma'_m} \right)_{critical} = \frac{\lambda - K}{(1 + e_0)\mu} ; \text{一定値} \quad (1)$$

ところで $(\sigma'_m)_{critical} = C \sigma'_{mo}$ (σ'_{mo} 三先行圧密荷重) とおけば、

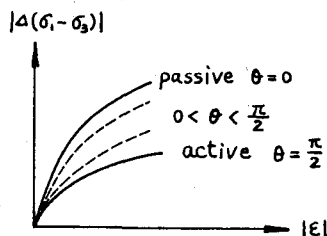


図-3(b)

$$C = \exp \left\{ - \left(1 - \frac{K}{\lambda} \right) \left(1 \mp \frac{(1+e_0)\mu k_0}{\lambda - K} \right) + \frac{K}{\lambda} \ln \frac{\sigma'_{mi}}{\sigma'_{mo}} \right\} \quad (2) \quad \begin{array}{l} \text{上記号 } C = C_a; \text{ active} \\ \text{下記号 } C = C_p; \text{ passive} \end{array} \quad (\text{非排水})$$

ここで λ , K は $e - \ln \sigma'_m$ 図上での C_c , C_s に相当するものであり, μ はダイレイタンス係数 (柴田 1963), σ'_{mo} , σ'_{mi} はそれぞれ先行圧密荷重と現在うけている圧密荷重, k_0 は σ'_{mo} をうけていたときの T_{oct}/σ'_{mo} の値, C_0 はそのときの間接比である。結局には1つの粘土に対して C_a , C_p という2つの定数になる。(1), (2) より,

$$\left\{ \begin{array}{l} S_a \\ S_p \end{array} \right\} = \sqrt{\frac{2}{3}} (T_{oct})_{critical} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left\{ \begin{array}{l} C_a \\ C_p \end{array} \right\} \frac{\lambda - K}{(1+e_0)\mu} \sigma'_{mo} \quad (3) \quad \left\{ \right\} \text{はベクトルの意味ではない}$$

ところで仮定より, $\theta = \frac{\pi}{2}$ なら $S = S_a$, $\theta = 0$ なら $S = S_p$ でありさらに

$$S = S_a + (S_a - S_p) \frac{2\theta}{\pi} \quad (4)$$

となり, 破壊条件は全応力表示で

$$\sigma_x = \sigma_m + S \cos 2\theta, \quad \sigma_y = \sigma_m - S \cos 2\theta, \quad \tau_{xy} = S \sin 2\theta \quad (5)$$

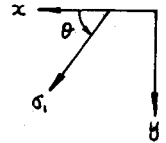


図-4

もし地盤全体に $(\lambda - K)/(1+e_0)\mu$ (中に相当) と σ'_{mo} , σ'_{mi} (先行圧密荷重と現在の圧密荷重) が一定であれば, S は最大主応力方向 θ だけの関数である。

4. 特性線

つり合式

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = \gamma \quad (5) \quad \gamma: \text{単位体積重量}$$

に破壊条件(5)を代入すると,

$$\frac{\partial \sigma_m}{\partial x} - X \frac{\partial \theta}{\partial x} + Y \frac{\partial \theta}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_m}{\partial y} + Y \frac{\partial \theta}{\partial x} + X \frac{\partial \theta}{\partial y} = \gamma \quad (6)$$

$$\text{ここで, } X = 2S \sin 2\theta - \frac{2}{\pi} (S_a - S_p) \cos 2\theta, \quad Y = 2S \cos 2\theta + \frac{2}{\pi} (S_a - S_p) \sin 2\theta$$

(6) 式の特性線の傾き $\zeta = dy/dx$ は,

$$\zeta = \tan \left(\theta - \frac{\alpha}{2} \pm \frac{\pi}{4} \right) \quad \text{ここで} \quad \tan \alpha = \frac{S_a/S_p - 1}{2\theta(S_a/S_p - 1) + \pi} \quad (7)$$

もし $S_a/S_p = 1$ (等方強度) なら $\alpha = 0$ となり $\zeta = \tan(\theta \pm \frac{\pi}{4})$ が導びかれる。

(6), (7) より

$$dy - \zeta_+ dx = 0, \quad d\sigma_m + (Y\zeta_+ - X)d\theta - r\zeta_+ dx = 0 \quad (C_+ \text{に} \text{よって})$$

(8)

$$dy - \zeta_- dx = 0, \quad d\sigma_m + (Y\zeta_- - X)d\theta - r\zeta_- dx = 0 \quad (C_- \text{に} \text{よって})$$

が特性線に沿った方程式となる。

以上の議論を同僚の関口孝雄氏に見せたところ Livneh and Greenstein (S & F, 1974, No.1, p.1-11) がすでに同種の計算をしていると指摘された。異方性の考え方に多少異なる点があるが, 特性線場の理論の主旨としては同じものようである。

(7) 式の与える特性線の傾きは今後十分に検討する必要があると考えられる。というのは(7)式をたとえば一軸圧縮試験に当てはめた場合, 特性線の傾きが中心軸に対して対称にならないことになり, 疑問を感じさせる。