

京都大学大学院 学生員 飯塚 敦
 京都大学大学院 学生員 良峰 透
 金沢大学工学部 正員 太田 秀樹
 京都大学工学部 正員 島 昭治郎

1. はじめに

従来より弾塑性構成式(関口・太田モデル)に基づく非排水強度の理論的研究が行われてきた。¹⁾ この理論によると図-1に示されるように、地盤の非排水強度は平面ひずみ条件下での非排水条件と破壊条件との連立より、 $\sigma'_z - \sigma'_x / \sigma'_{v0} \sim 2\tau_{zx} / \sigma'_{v0}$ 応力面上でひずんだ破壊円の半径として与えられる。¹⁾ この応力面上に応力状態を表示すると、伸張・圧縮・主応力の回転などを把握しやすく、全応力と有効応力とを同一に表わせるなどの利点がある。⁴⁾ ここでは弾塑性有限要素解析より得られる地盤内の応力状態の把握への試みとして、この応力面を利用して安全度(破壊からどれほど離れているか)の表現方法について考察した。

2. 平面ひずみ条件

非排水強度の理論では、平面ひずみ条件として、中間主応力の近似式 $\sigma'_2 = \sigma'_y = \frac{K_0}{1+K_0} (\sigma'_x + \sigma'_z) \dots (1)$ が用いられている。これは、通常の平面ひずみ条件($\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_x + \dot{\epsilon}_y = 0$)と異なる。そこで、(1)式を平面ひずみ条件とするF.E.Mプログラムを組み、条件の相違による影響を調べてみた。計算に用いたパラメータを表-1に示す。

図-2に示されるように境界条件を設定し、矢印の方向に適当な外力を作用させてせん断した。但し境界外への排水は許さなかった。図-3はF.E.M(子測・修正法による収束計算スキームを採用)⁵⁾による破壊時の応力点と示したものである。(a)は中間主応力近似式(1)式を用いた場合、(b)は通常の平面ひずみ条件である。弾性項の影響も説べるため、図-4に従いポアソン比を变化させた。条件式さらにポアソン比の相違による影響は見られない。図中(a)の実線は、非排水強度を与える破壊円と示しておりF.E.M計算値(粘性を考慮)と大きくずれている。

図-2 境界条件

3. 有効応力経路の変化

図-5は、弾塑性理論(粘性を考慮しない)に基づく有効応力経路の理論線と、F.E.M.計算($v' = 0.3$)の結果とを示したものである。F.E.M.計算では収束速度がかなり遅いため有効応力経路がきつくなり上がり、強度($2C_u = \sigma'_1 - \sigma'_3$)に大きな差が生じている。実際の現地盤の解析では、排水などの影響により、さらに変化する。ここで図-6

(a)に示されるように、有効応力がI→Cと変化する場合を想定してみる。任意の有効応力状態(ox, C点)に対して弾塑性構成式に基づく非排水有効応力経路(CI→C→D)の対応が考えられる。このような非排水有効応力経路との対応づけにより、図-6(b)の応力面上では、破壊円が1→2→3と変化するように表わされ、最終的にE点において等価な非排水強度 C_{u3} が与えられる。C点の応力状態に対応する破壊円は、図-1の非排水条件式

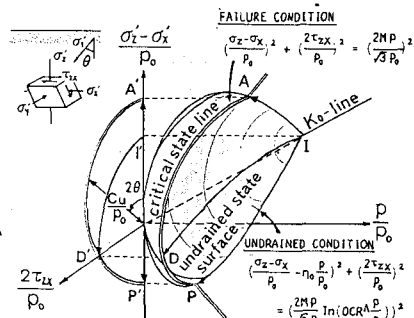


図-1 平面ひずみ非排水強度¹⁾

表-1 計算に用いたパラメータ

Ip = 50 %		
M = 1.005	Λ = 0.574	D = 0.0534
v' = 0.362	α = 4.69 × 10 ⁻³	v ₀ = 1.44 × 10 ⁻⁴ (1/day)
K ₀ = 0.569		

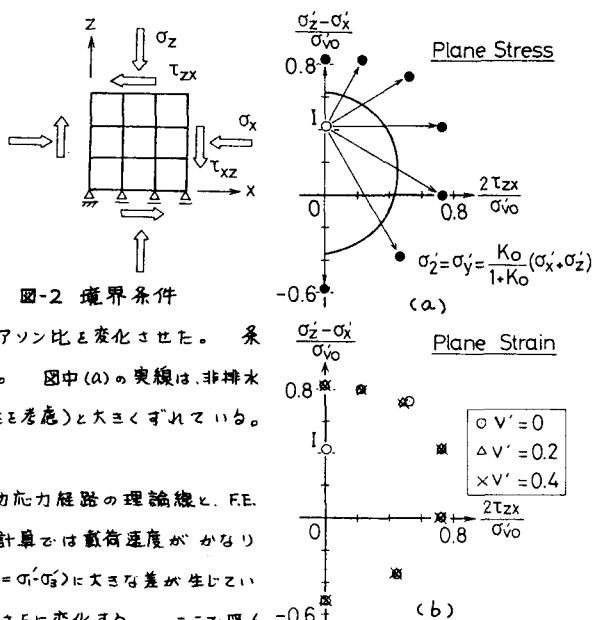


図-3 平面ひずみ条件のチェック

を变形して

$$p'_{c2} \rightarrow \sigma'_{c2} = \frac{3p'}{1+2K_0} \exp \left\{ \frac{\sqrt{3}\Lambda\sigma'_{v0}}{2MP'} \sqrt{\left(\frac{\sigma'_z - \sigma'_x}{\sigma'_{v0}} - \eta_0 \frac{p'}{\sigma'_{v0}} \right)^2 + \left(\frac{2\tau_{zx}}{\sigma'_{v0}} \right)^2} \right\} \quad \text{at C 点} \quad \dots (2)$$

$$\frac{Cu_1}{\sigma'_{v0}} = \frac{(1+2K_0)M \exp(-\Lambda)}{3\sqrt{3}(\cosh\beta - \sinh\beta \cos 2\theta)} \quad (\text{但し 正規圧密粘土}) \quad \dots (3)$$

$$Cu_2 = Cu_1 \left(\frac{\sigma'_{c2}}{\sigma'_{v0}} \right) \quad \dots (4) \quad \beta = \frac{\sqrt{3}\eta_0\Lambda}{2M} \quad \text{と計算することにより}$$

適くことができる。図-3(b)のF.E.M計算結果に対して(2)~(4)式を用いて、粘性による有効応力経路の変化を考慮した破壊円を求めたのが図-7の点線である。7°プロットで示されたF.E.M計算結果(破壊点)とよい一致を示している。

4. 安全率の表現

このように任意の有効応力状態に対応する破壊円を考えることにより、ある応力状態が破壊まで、どれだけ近づいているかを表わすことができる。

図-8に示されるように応力状態がI点からP点に変化したとする。この間に粘性や排水の影響によって対応する破壊円は、QからRに変化することになる。応力状態がP点にあり、それに対応する破壊円がRであるとき、P点における安全率を

$$S.F. = \frac{OR}{OP} = \frac{2Cu_c}{\sigma'_{v0} OP} = \frac{2Cu}{\sigma'_{v0} OP} \left(\frac{\sigma'_{c2}}{\sigma'_{v0}} \right) \quad \dots (5)$$

と定める。(5)式は、(2)~(3)式より容易に計算できる。

この(5)式より、地盤内の各要素の安全率が計算でき、さらに応力変化に伴う安全率の変化を示すことによって、地盤内の最も危険な箇所と予測できたり、または、補強等の対策を講じることができる。

5. おわりに

地盤内の有効応力変化に対してそれと等価な破壊円の変化を考えることは、地盤内の応力状態の把握に役立つことを示した。しかし、まだ考察が十分とは言えない。応力面上で有効応力が将来どちらの方向へ変化してゆくか、その方向を考慮に入れねばならないし、正規圧密粘土だけでなく過圧密粘土へも拡張しなくてはならない。今後、この方向に研究を進めてゆくつもりである。

6. 参考文献

- 1) Ohta, Nishihara and Morita (1985) 11th, I.C.S.M.F.E.
- 2) 西原, 太田, 島 (1981) 第16回土質工学研究発表会
- 3) 飯塚, 太田, 長峰 (1985) 第20回土質工学研究発表会
- 4) 太田 (1985) 第20回土質工学研究発表会
- 5) 太田, 飯塚 (1983) DACSAR マニュアル, 京大工本 施工研
- 6) 太田, 西原, 島 (1980) 第15回土質工学研究発表会

$$dv^e = \frac{MD(1-\Lambda)}{\Lambda} \frac{dp'}{p'}$$

derived from the model

Effective poisson's ratio v'

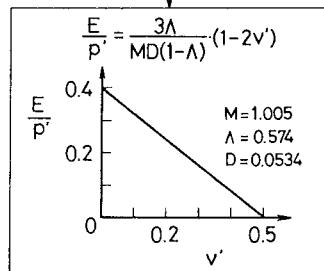


図-4 ポアソン比の設定手順

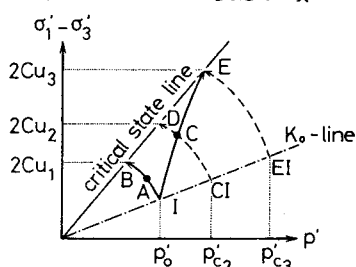


図-6(a) 有効応力の変化の概念図

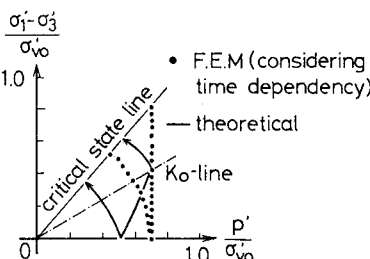


図-5 有効応力経路の比較

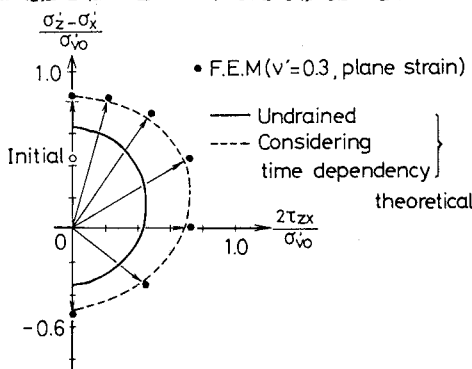


図-7 応力変化を考慮した破壊円と解析値

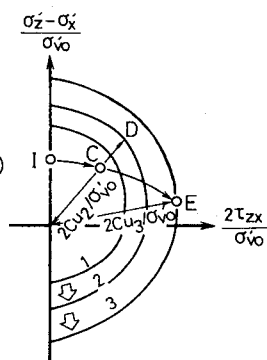


図-6(b) 破壊円の変化

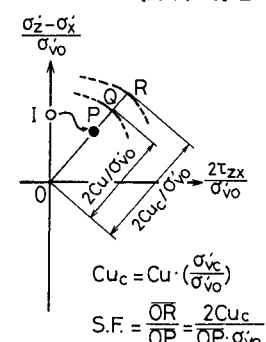


図-8 安全率の概念図