

法政大学 正会員 牟田親弘
山門明雄
大地羊三

1. まえがき

杭の挙動を有限要素法で求めるために、豊浦砂の予備的三軸圧縮試験を実施したのでその結果を報告する。

2. 応力-ひずみ関係

土の応力-ひずみ関係は非線形であることは既に明らかである。有限要素法の使用に当ってこれを数式で表わすことが必要になってくる。筆者らは応力-ひずみ関係を表わすものとして次式を提案する。

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{E_a}{a + b E_a} - E_p \epsilon_a \quad (1)$$

ここに $(\sigma_1 - \sigma_3)$: 軸差応力 (Kg/cm^2)

E_a : 圧縮ひずみ

a, b : 実験より求める定数 (cm^2/Kg)

E_p : 塑性係数 (Kg/cm^2)

Kondner は応力-ひずみ関係を次式のように双曲線に近似した。

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = E_a / (a + b E_a) \quad (2)$$

a, b は実験より求めるもので、初期接線弾性係数と破壊応力とに關係する。

Duncan & Chang は Kondner の式を Janbu の初期接線弾性係数の実験式と Mohr-Coulomb の破壊基準を用いて接線弾性係数 E_t を次のように表わしている。

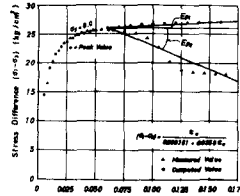
$$E_t = \left[1 - \frac{R_f (1 - \sin \phi) (\sigma_1 - \sigma_3)}{2 c \cos \phi + 2 \sigma_3 \sin \phi} \right]^2 K p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^m \quad (3)$$

Richard & Abbott は次式を提案している。

$$\sigma = \frac{E_i \epsilon_a}{\left(1 + \left| \frac{E_i \epsilon_a}{\sigma_0} \right|^n \right)^{1/n}} + E_p \epsilon_a \quad (4)$$

その他応力-ひずみ関係を表わすものとして、林と藤原、Desai の Spline Function などがある。

Kondner, Duncan & Chang の提案式は最大軸差応力附近まではかなりよく追従するがそれ以後はそれる傾向がある。Richard & Abbott の提案式はそれ以後もかなりよいがパラメーターが多くより煩雑になる傾向が



あり。

3. パラメーターの決定

3-1. E_p の決定

(1)式は近似的に Kondner の双曲線と塑性係数 E_p と圧縮ひずみ ε_a との積との差を表わしているので、まず Kondner の提案した (2) 式でパラメーター a, b を求め、図-1 のように最大軸差応力と示した点から圧縮ひずみ 10% の点を双曲線上に取り、その傾きを E_{p1} とする。次に実験値と同様に取り、その勾配を E_{p2} とする。塑性係数 E_p は $|E_{p1}| + |E_{p2}|$ として応力-ひずみ関係を求めるとかなり近似した曲線が描ける。

3-2. a, b の決定

(1)式は次式のように書きかえられる。

$$\varepsilon_a / \{ (\sigma_1 - \sigma_3) + E_p \varepsilon_a \} = a + b \varepsilon_a \quad (5)$$

(5)式は縦軸に $\varepsilon_a / \{ (\sigma_1 - \sigma_3) + E_p \varepsilon_a \}$ (cm^2/Kg) を横軸に ε_a を取ってプロットし、これを直線で近似し、その切片がパラメーター a (cm^2/Kg) でその勾配がパラメーター b (cm^2/Kg) を表わす。(図-2)

3-3. σ_3 との関係

実験に使用した飽和豊浦砂の初期間隙比は 0.67 で供試体寸法は直径 5.0 cm、高さ 12.5 cm である。 σ_3 は 0.5 (Kg/cm^2) から 80.0 (Kg/cm^2) まで変化させて実験した三軸圧縮試験結果からパラメーター E_p, a, b を求め、 σ_3 との関係を調べてみる。

(2)式において Janbu は接線弾性係数の初期値すなわち $E_i = 1/a$ は、 $E_i = K p_a (\sigma_3/p_a)^m$ で表わせることと実験的に求めているが、(1)式の場合は両対数の方眼紙上では直線関係はなく、むしろ双曲線に近似した方がよいような傾向が見られた。Lee の Sacramento River Sand の実験結果もこの傾向が見うけられる。

$$1/a = \sigma_3 / (A_1 + A_2 \sigma_3) \quad (6)$$

(6)式を変形すると次式のように表わせる。

$$\sigma_3 / (1/a) = A_1 + A_2 \sigma_3 \quad (7)$$

縦軸に $\sigma_3 / (1/a)$ 、横軸に σ_3 (Kg/cm^2) と取り、これを直線で近似し、パラメーター A_1 と A_2 (cm^2/Kg) を求める。(図-3)

b に関しては Duncan & Chang は $R_f / (\sigma_1 - \sigma_3)_f$ となるとしている。すなわち $1/b = (\sigma_1 - \sigma_3)_f / R_f$ となり、 R_f を一定とし、Mohr-Coulomb の破壊基準に従うとしているので、 σ_3 に対して $1/b$ を両対数の方眼紙上にプロットすれば 45° の勾配を持つ直線が得られることにあるが、(1)式によると 8 Kg/cm^2 まではこの傾向があるが、この点以降にして少しくその勾配は小さくなる傾向が見られる。 $1/b$ と σ_3 の関係で不連続な点があると演算時間が多くなるので図-4 のように 1 本の直線で近似した。これは Janbu の実験式と同じである。

$$1/b = K p_a (\sigma_3/p_a)^m \quad (8)$$

E_p に関しては両対数の方眼紙上では不連続と雖も双曲線で次式のように近似した。(図-5)

$$E_p = \sigma_3 / (E_1 + E_2 \sigma_3) \quad (9)$$

$1/a$ と同様にして E_1, E_2 (cm^2/Kg) を求める。

(6), (8), (9) 式を (1) 式へ代入すると、応力-ひずみ関係を表わす式は (10) 式となる。

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{\varepsilon_a}{\frac{A_1 + A_2 \sigma_3}{\sigma_3} + \frac{\varepsilon_a}{K p_a (\sigma_3/p_a)^m}} - \frac{\sigma_3}{E_1 + E_2 \sigma_3} \varepsilon_a \quad (10)$$

4. 応用

(1)式に従って実験結果からパラメーターを決定すれば非常によく応力-ひずみ関係を追従し、 σ_3 を考慮した (10) 式も図-6、図-7 のようにかなりよい演算結果が得られた。