

VI-6 斜面の F. E. M 応力解析

宮崎大学工学部 正員 藤本 廣, 横田 漢, 荒巻英次
 " " 学生員 瀬崎満弘, 今井 亮, 上田茂見
 " " " 安東裕輔, 池崎和彦

1. まえがき

最近, 土質工学の分野における FEM 解析の導入は著しい。著者らも, 先に, C. V. Giri jvallabhan¹⁾ の手法を用いて, 直接反復法により, 斜面の非線形解析を行った²⁾。しかし, 応力-ひずみ関係を与える実験が側圧一定試験であり, また, 要素分割も粗で, 極めて不十分なものであった。今回, 平均主応力一定実験を行い, それに基づいて応力-ひずみ曲線を求め, 分割数も増大して計算を行った。本報告は, その一応の結果をまとめたものである。

2. 解析方法

2-1. 応力-ひずみ関係 (擬弾性係数)

等方弾性体では次式が成立する。

$$\sigma_{oct} = G \cdot \gamma_{oct} \quad \text{----- (1)}$$

式(1)に, 土の特性を導入するため, $\sigma_{oct}/\sigma_{oct} \sim \gamma_{oct}$ 曲線を実験より求め, その関係を割線係数 G' と用いて, 次のように表わす。

$$\sigma_{oct} = \sigma_{oct} \cdot G' \cdot \gamma_{oct} \quad \text{----- (2)}$$

式(1), (2)より

$$G = \sigma_{oct} \cdot G' \quad \text{すなわち} \quad E = 2(1+\nu)\sigma_{oct} \cdot G' \quad \text{----- (3)}$$

式(3)が, 擬弾性係数 E を与えるものだが, 計算過程において σ_{oct} の値は不明であるので, ここでは, 半無限弾性体での σ_{oct} , すなわち,

$$(\sigma_{oct})_m = \frac{1}{3}(\gamma_1 h + 2\gamma_2 h \frac{\nu}{1-\nu}) \quad h: \text{深さ}$$

を用いれば, 式(3)は
$$E = \frac{2(1+\nu)\gamma_1 h}{3(1-\nu)} G' \quad \text{----- (4)}$$

式(4)で与えられる E を反復計算に使用した。なお, $\nu = 1/3$ と一定とした。

2-2. 実験方法 (平均主応力 σ_m 一定試験)

最初に, 通常の三軸圧縮試験機 (ひずみ制御) を利用して, σ_m 一定実験を行った。 σ_1 の増大に伴って, $\sigma_1 + 2\sigma_3 = 3\sigma_m$ ----- (5) を満足させつつ, 手動で σ_3 を下げている。しかし,

$$\sigma_1 = p_a + \sigma_3 \quad (p_a: \text{ピストン軸応力}) \quad \text{----- (6)}$$

であり, σ_1 に及ぼす σ_3 の影響が大きくなって (手動操作による位相差のためか), 次のような現象が起った。

p_a (σ_1): 増大, σ_3 : 減少 (5) $\Rightarrow \sigma_1$: 減少 (6)

$\Rightarrow \sigma_3$: 増大 (5) $\Rightarrow \sigma_1$: 増大 (6)

のくり返し, ある応力段階から発生した。

次に, この σ_3 の影響をカットするため, ピストンの断面長と供試体の断面長が同一であるような三軸試験機を作製し, 実験を行

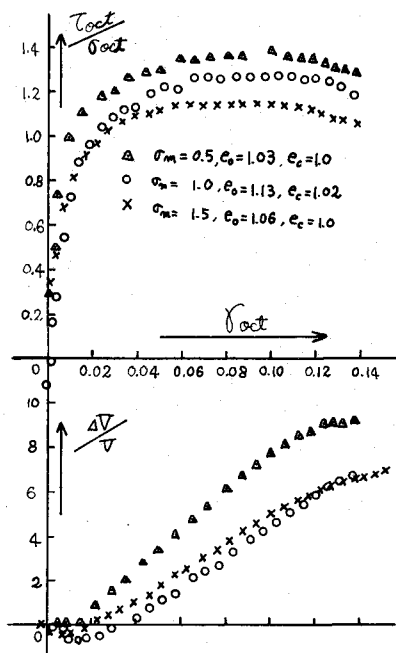


図-1

った。 σ_1 に及ぼす σ_3 の直接的な影響はなくなつたが、 σ_3 による軸方向反力が発生したため、次のような実験方法をとった。まず、排水状態にして、 $\sigma_3 = \frac{3}{2} \cdot \sigma_m$ ($\sigma_1 = 0$ の時)の側圧を使用させる。その段階で、供試体は、ある程度伸び、軸反力も発生してつり合いの状態に落ちつく。その後、徐々に σ_3 を下げてゆくと、式(5)を満足するような σ_3 と σ_1 (σ_3 による反力)が容易にえられた。体積変化もその周で落ちついてしまった。この状態を σ_m -一定実験のスタート時とし、その後、軸応力 σ_1 を増大させながら(対応して σ_3 を下げて) σ_m -一定実験に入っていた。

その結果を、図-1に示す。 σ_m は0.5, 1.0, 1.5であり、初期固ゲキ比 e_0 、 σ_m スタート時の固ゲキ比 e_c の値は図に示す通りである。なお、試料は四段のミラスで、 $e_{max} = 2.09$, $e_{min} = 1.01$ である。供試体の寸法は $D = 3.50$ cm, $H = 8.40$ cm。 α すみ制御で、速度は0.15%/分程度である。

σ_m の値により、 $\sigma_{oct}/\sigma_{act} \sim \gamma_{act}$ 曲線がかなりの差異がみられるが、今回は、これを一本の曲線で代表させ、擬弾性係数 E を決定していった。

3. 計算例

図-2に示すような斜面(高さ4H, 傾斜角 $\alpha = 63.5^\circ$)を対象とし、荷重は自重だけとした。

主応力分布図を図-3に示す。なお、

$$f_0 = \frac{2 C_d \cdot \cos \phi_d + (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \phi_d}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad (C_d = 0.52, \phi_d = 46.3)$$

にて、安全率を定義し、代表的な要素について、その様子を図-4に示す。その時の応力状態をモールの応力円を併せて図示した。

4. おまけ

斜面の非線形解析例を示したが、本報告では、引張領域における応力- α すみ曲線、 σ_1 , σ_3 ともに引張りとなった要素では剛性行列をゼロとしたこと、ならびに $\sigma_{oct}/\sigma_{act} \sim \gamma_{act}$ 曲線のバラツキなど未だ不十分な点が多く、これらについては今後の研究課題とした。

(参考文献)

- 1) Girijavallabhan, "Finite Element method for problem in soil mechanics", A.S.C.E. SM2 March, 1968
- 2) 藤本 他, "有限要素法による斜面の応力解析", 西部支那研究発表会講演集, 849, 5

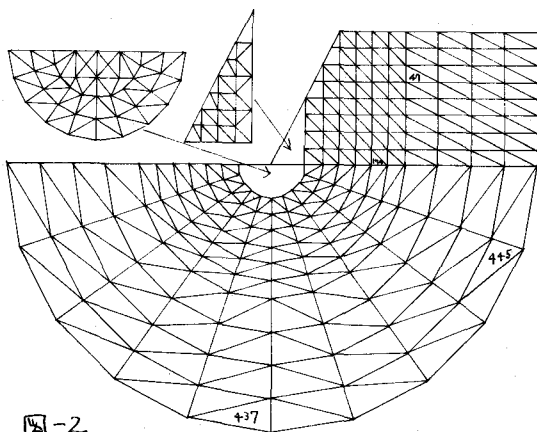


図-2

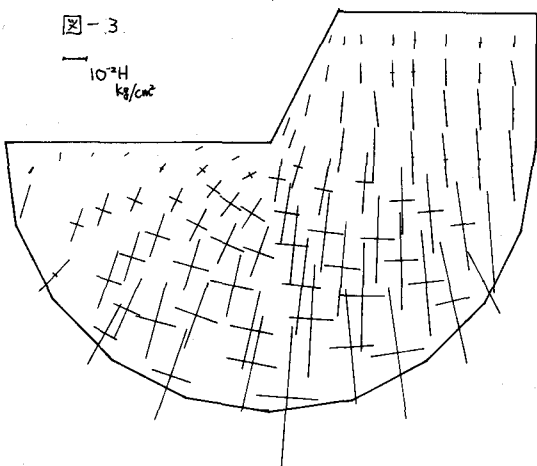


図-3

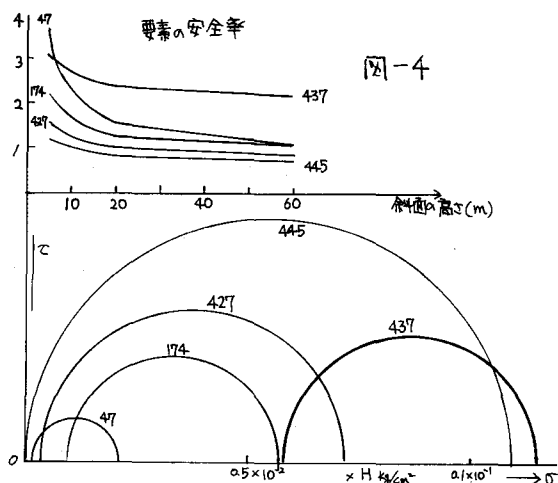


図-4