

長崎大学工学部

正員

伊勢田 哲也

同

棚橋 由希

学生員 ○西岡 健次郎

1. まえがき 著者らは、粘土地盤の圧密と側方流動を統一的に扱いかつ、現場の複雑な境界条件を容易に解析に導入できる手法として、八面体応力ひずみ理論に基づく非線形FEM解析法を開発し、部分載荷された粘土層の変形挙動を定性的にはよく説明できることも模型実験の結果より確かめている。(1)

現在、FEM解が定量的な解となり得るかどうかを検証するため、新たな装置により模型実験を行なっている。本文は、今後の資料を豊富にする目的で、主として層厚載荷幅比と地盤の応力履歴、粘土層の変形挙動にどのような影響を及ぼすかを知るために数値実験を行なった。

2. 八面体応力-ひずみ関係 用いた仮定は、

$$1) (E_v)_{max} \gg (E_v)_{min} \quad 2) \dot{\gamma}_{oct} \gg \dot{\epsilon}_{oct} \quad (2)$$

3) 応力経路依存性でない 4) 除荷過程は生じない 5) 応力の履歴がせん断変形特性に影響しない。

仮定(3)(4)より、八面体応力-ひずみ関係は最も一般的には(1)、(2)式で表わされるが、仮定(1)(2)より、有効応力で表示すれば、簡単(3)、(4)式となる。(4)式 γ_{oct} は一般に $\gamma_{oct}/\gamma_{oct}$ の関係になるといわれている。(3)

正規圧密飽和粘土の場合(5)式としてよい。(4)一方向線形弾性材料の場合、 $\sigma_{oct} = K \epsilon_v$ 、 $\tau_{oct} = G \gamma_{oct}$ が成り立ち(3)、(5)式の2つの非線形な応力ひずみ曲線の割線は、 K 、 G で定義され、直接反復法の手法が適用可能となる。ここに σ_{oct} : 八面体直応力 $\epsilon_v = \sigma_v / \sigma_{oct}$: 体積歪

τ_{oct} : 八面体せん断応力 γ_{oct} : 八面体せん断歪

K : 体積弾性係数 G : せん断弾性係数

式(3)、(5)の関数形を、 f_1 は、応力制御で飽和粘土に等方圧密試験、および平均有効主応力一定試験を行ない、八面体面上で整理すれば得られる。

本解析での仮定(2)より、圧密開始前の時間初期に、せん断変形が生じ、その後圧密が徐々に進行し、 $t = \infty$ 全応力と有効応力が等しくなった時に圧密が完了すると考えてよい。また仮定(5)より粘土地盤の応力履歴は圧密特性にのみ影響するとしている。

以上のことを考慮し、佐賀県大角川河川敷粘土に上述の変形特性試験を行なったDetaにKondnerの双曲線形を採用して、図-1に示す応力-ひずみ式で解析した。

$$\epsilon_{oct} = X_1(\sigma_{oct}) \quad (1)$$

$$\gamma_{oct} = X_2(\sigma_{oct}, \tau_{oct}) \quad (2)$$

$$\epsilon_{oct} = f_1(\sigma_{oct}) \quad (3)$$

$$\gamma_{oct} = f_2(\sigma_{oct}, \tau_{oct}) \quad (4)$$

$$\gamma_{oct} = f_3(\tau_{oct}) \quad (5)$$

$$\epsilon_{vi} = \epsilon_{xi} + \epsilon_{yi} \quad (6)$$

$$\gamma_{oct} = \frac{2}{3} \left[4(\epsilon_{xi} - \epsilon_{yi})^2 + 2\epsilon_{xi}\epsilon_{yi} + \frac{2}{3}\gamma_{xi}^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$\gamma_{oct} = \frac{2K_i}{2(\beta K_i + G_i)} (\sigma_{vi} + \sigma_{yi}) \quad (8)$$

$$\tau_{oct} = \left[\sigma_{xi}^2 - \sigma_{xi}\sigma_{yi} + \sigma_{yi}^2 + 3\tau_{xi}^2 - \frac{(3K_i - 2G_i)(3K_i + 4G_i)}{4(\beta K_i + 2G_i)} (\sigma_{xi} + \sigma_{yi}) \right]^{1/2}$$

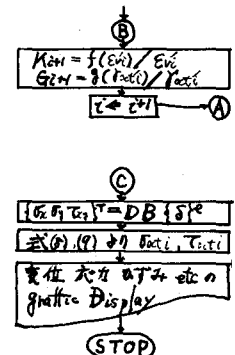
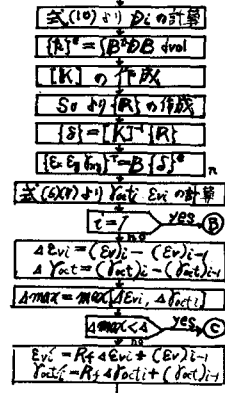
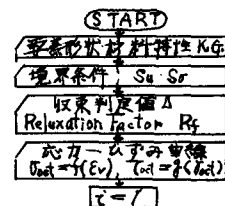


図-1 直接反復法プログラムフローチャート

3. 解析方法およびその条件

解析方法 直接反復法を用いた。すなわち不変量表示の2つの非線形な応力ひずみ曲線(図-2参)上の一状態に収束するまで、 K , G を反復修正して繰り返し線形計算を行ない最終的な解を得ようとするものである。参考のため概略のフローチャートを図-1に示す。ただし記号は文献(5)に依った。

解析モデル 図-3のように直角座標をとった層厚20m, 長さ60mの矩形モデルを三角形要素に分割し, 境界条件は底面 $u=0, v=0$, 側面 $u=0, v=0$ モデルは又方向に平面ひずみ状態にあるものとし, 物体力は無視した。なお応力は有効応力表示で, 圧縮応力, 圧縮ひずみを正とする。

解析条件 層厚載荷幅比 D/B は0, 10, 20, 40, 60の5ケース, 荷重強度 P は0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, の10ケース, 応力ひずみパターン NSS は1, 2, 3の3 caseの組み合わせで計180ケースである。

4. 解析結果とその考察 解析結果として得られるデータは, 節点変位 u, v , 要素のひずみ成分 $\{\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}\}$, 応力成分 $\{\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}\}$ および, 応力ひずみ成分から計算される諸量 $\{\epsilon_1, \epsilon_2, \sigma_1, \sigma_2, T_{oct}, T_{oct}, etc\}$ であるが, ここには変位解の一例を示す。

$D/B = 20, P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ の過圧密粘土地盤を例にとり変位ベクトル図を示す(図-4)。この図より地表面がせん断変形により一旦隆起した後, 圧裂の進行とともに沈下する様子がよくわかる。

図-5は D/B をパラメータとした過圧密粘土地盤の即時沈下量 S_i , 最終沈下量 $S_i + S_c$ と P の関係をグラフにしたものである。この図より D/B が0に近づく, いち換えれば一次元圧密状態に

近づく程最終沈下量 $S_i + S_c$ の値は大きくなり, 図-4 変位ベクトル図(○: 節点初期位置 △: 即時変位点 □: 最終変位点)逆に圧密降伏値は小さくなるのが読みとれる。即時沈下量 S_i はほぼ直線であるが, これは P の値が小さいためで, P の値をさらに大きくして S_i の非線形性を確かめる必要がある。また従来の三次元圧密の慣用解法による解と本解析の解とを比較し考察を加えたいと考える。

5. あとがき 膨大な資料を抱えた充分整理できていないので, 何か新しい知見が得られれば会場で報告したい。また2. で用いた仮定を1つ1つ取り除いていく努力を続けたい。

参考文献: 1)「軟弱地盤上盛土の沈下変形」A. Pele, 1968, 2)「盛土の沈下による軟弱地盤の流動的影響」伊藤・根岸他 昭和44年度土木学会全国大会前編 3)「軟弱粘土の三軸圧縮時の変形に及ぼす排水の影響」島原・山内 昭和44年度土木学会全国大会 講演録巻4)「土と砂を区別する」小林正樹 土と基礎 vol. 202 (1974) 5)「マッドパッド有限要素法」O. C. Zienkiewicz 土質力学 vol. 1970

	$t=0$ (圧密開始時) 即時沈下	$t=\infty$ (圧密終了時) 最終沈下
過圧密粘土		
正規圧密粘土		
応力ひずみパターン	圧密の応力ひずみ式	せん断の応力ひずみ式
$NSS=1$	$\sigma_{oct} = f(\epsilon_v) = 100\epsilon_v$	$T_{oct} = g(\epsilon_{oct}) = \frac{\gamma_{oct}}{0.05 + 2\epsilon_{oct}}$
$NSS=2$	$\sigma_{oct} = f(\epsilon_v) = \frac{6\epsilon_v}{15 - 2\epsilon_v} + 0.50$	同上
$NSS=3$	$\sigma_{oct} = f(\epsilon_v) = \frac{\epsilon_v}{15 - 2\epsilon_v}$	同上

図-2 解析に用いた 八面体応力ひずみ関係

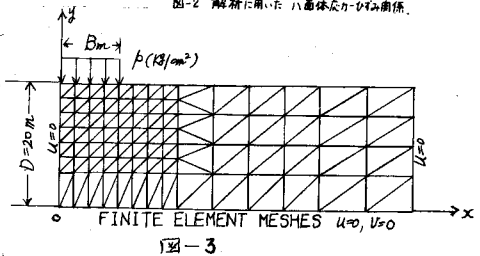


図-3

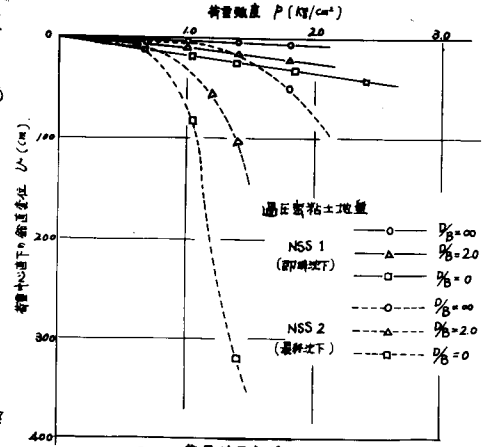
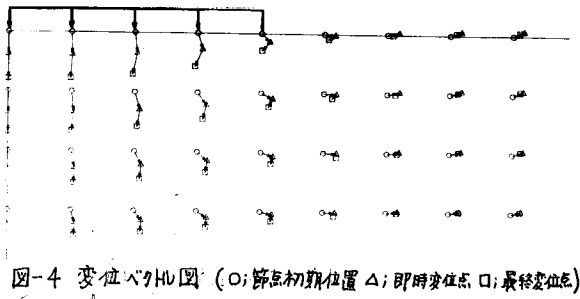


図-5 荷重沈下曲線