

弾塑性FEMによる圧密解析

熊本大学 学生員 ○柴田健司

熊本大学 正員 今泉繁良

熊本大学 正員 平井弘義

1. はじめに

弾塑性FEMを用いた地盤の圧密解析は多数試みられ、また多くのプログラムが準備されている¹⁾。どのプログラムで解くにせよ弾性係数Eの値には、初期弾性係数E₀を用いるのが普通である。しかし軟弱地盤を解析する際、このE₀を用いると沈下量を過大に予測する場合があると思われる。そこで我々は、弾塑性構成モデルにより応力-ひずみマトリックスを決定し、このマトリックスの弾性成分のみを用いて基礎解析を行い、次に塑性成分を含んだマトリックスを用いて実測値と比較検討した。また境界条件により計算結果がどのように異なるか比較検討した。

2. 弾塑性FEM解析法

降伏関数は

$$f = J_2 + \beta I_1^2 + \gamma I_1 = 0 \quad (1)$$

ここでJ₂は $J_2 = T'_{ij}T'_{ij}/2$ として定義される偏差応力 $T'_{ij} = T_{ij} - (T_{kk}/3)\delta_{ij}$ の2次不変量で、 δ_{ij} はクロネッカーデルタである。I₁は、 $I_1 = T_{kk}$ として定義される応力 T_{ij} の1次不変量である。 β は $\beta = M^2/27$ として定義される材料定数であり、 γ は

$$\dot{\gamma} = \phi_1 T_{ij} \dot{E}_{ij}^P / 3 + \phi_2 T'_{ij} \dot{E}_{ij}^P \quad (2)$$

と表される硬化パラメータであり、 $\dot{\gamma}$ は硬化パラメータ速度である。 ϕ_1 、 ϕ_2 は材料定数、 $\dot{E}_{ij}^P$ は塑性ひずみ速度である。ブラッガーの式を用いると応力-ひずみマトリックス²⁾は、

$$\dot{T}_{ij} = D_{ijkl} \dot{E}_{kl} \quad (3)$$

であり

$$D_{ijkl} = C_{ijkl} - M_{ijkl} \quad (4)$$

$$M_{ijkl} = C_{ijkl} \frac{\partial f}{\partial T_{pq}} \frac{\partial f}{\partial T_{mn}} C_{mnkl}$$

$$\left/ \left[- \frac{\partial f}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial E_{st}^P} \frac{\partial f}{\partial T_{st}} + C_{stuv} \frac{\partial f}{\partial T_{st}} \frac{\partial f}{\partial T_{uv}} \right] \right. \quad (5)$$

である。またC_{ijkl}は弾性の4階のテンソルで、C_{ijkl}中の弾性係数Eは

$$E = 3(1-2\nu)(1+e_0)p/0.435C_c \quad (6)$$

ここにe₀は初期空隙比、 ν はポアソン比、C_cは圧縮指数、pは平均有効主応力である。

3. 基礎解析モデル

図-1に基礎解析モデルを示す。境界条件の違いを図-2に示す。各ケースとも右端は自由端である。排水はすべて上方のみ一方排水とした。載荷条件として載荷荷重幅の深さに対する比、ここではb/Hを3種類(0.5, 1.0, 2.0)とり載荷幅の影響も調べてみた。ポアソン比についてはマンデル・クライヤー効果の影響が最も顕著に現われる $\nu = 0.0$ で計算をおこなった。載荷荷重は35.28 kPaで、荷重を漸増的に増加させ1日で載荷を終了した。表-1に本解析に用いた土質定数を示す。

4. 基礎解析結果

応力-ひずみマトリックスの弾性成分のみを用いて計算を行った。図-3に最下端部の圧密度U-時間T曲線を示す。圧密度は次式のように定義した。

$$U = (U_1 - U_0) / U_1 \quad (7)$$

ここに U は圧密度、 U_1 載荷終了時の過剰間隙水圧、 U_2 は任意時刻 t における過剰間隙水圧である。

図より載荷幅を広くすると圧密過程が初期においては、だんだんおそくなる傾向にあると思われる。しかし圧密終了時にはほとんど表われていない。また下端水平方向を拘束した方が、マンデルクライヤー効果が表われにくいように思われる。

5. 実測値との比較

塑性成分も含めた応力-ひずみマトリックスを用いて実測値と比較してみた。(図-4) 計算はCASE 1、CASE 2、CASE 3の3種類について行った。CASE 2、CASE 3については過小な沈下量、CASE 1については過大な沈下量を与えている。

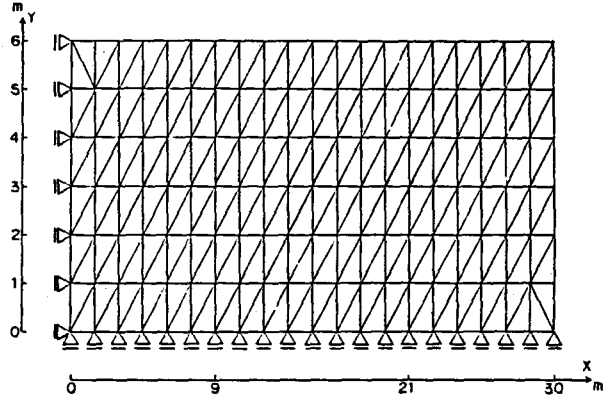


図-1 有限要素メッシュ

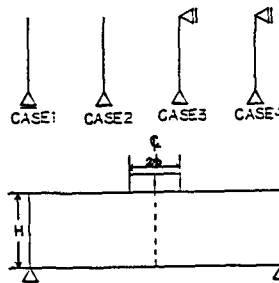


表-1 土質定数

初期間隙比 e_0	1.082
$0.435 C_c$	0.152
$0.435 C_s$	0.00912
有効内部摩擦角 ϕ'	40.0°

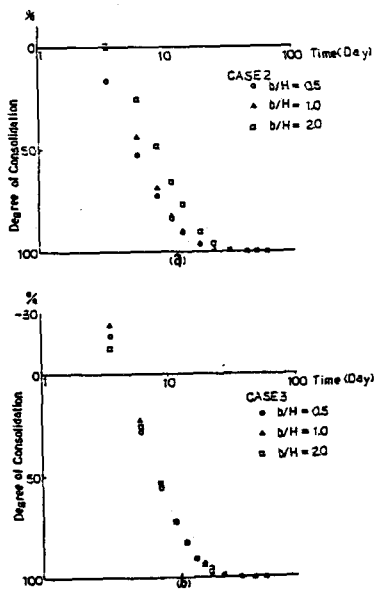


図-3 圧密度-時間曲線

図-2 境界条件と載荷条件

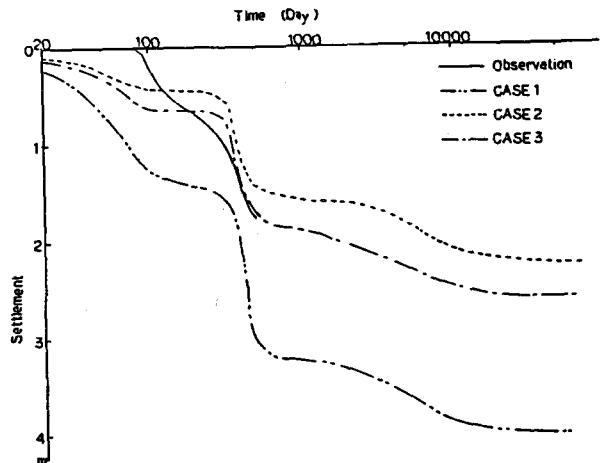


図-4 沈下-時間曲線

7. 謝辞

本研究の土質定数の決定に際して熊大土質研卒業生畑中君、杉野君の協力を得た。ここに謝意を表する。

8. 参考文献

- 1) 荒牧、古賀、Biot型圧密の数値解析、低平地防災技術研究会報告 No. 1
- 2) H. HIRAI ET AL, PROC. OF JSCE No. 339, November 1983