

奈良 県 正員 大西 博文
京都大学工学部 正員 赤井 浩一
京都大学工学部 正員 田村 武

1. 序 論

従来、地盤の変形解析には簡便な弾性構成式が用いられてきた。最近ようやく複雑な構成式の応用が研究されるようになってきたがまだまだその実用性は乏しい。その内包する問題を明確にし、修正、発展させることが望まれる。本報告では Roscoe の Cambridge original theory と等価な太田の dilatancy theory による構成式を有限要素解析に用いて、軸対称圧密現象に適用した。あわせて模型実験を行ない、その実験結果と解析結果との比較、検討により上記の弾塑性理論の適用性に考察を加える。

2. 模型実験

実験は図-1 に示される装置で行なわれた。粘土層は直径 50cm、厚さ 20cm で、鉛直応力 0.10 kg/cm^2 で K_0 -圧密されている。この中央に直径 15cm の円盤により 0.08 kg/cm^2 の部分載荷がなされた。測定された量は、粘土層内の向げき水圧、載荷板の沈下および粘土層表面の鉛直変位である。これらの結果は後の解析結果とあわせて示される。図-2 は実験後の粘土層内の含水比を示しており、載荷部から離れた部分での含水比がほぼ一様ということから実験前の粘土層がほぼ一様に K_0 -圧密されていたと考えられる。

3. 解析方法

$$(\bar{\lambda} + \bar{\mu}) \nabla^2 u_i + \bar{\mu} \frac{\partial e_v}{\partial x_i} + \frac{\partial w}{\partial x_i} = 0 \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

$$\frac{\partial e_v}{\partial t} = -\frac{k}{\gamma_w} \nabla^2 w \quad (2)$$

$\bar{\lambda}$, $\bar{\mu}$: Lamé の定数, u_i : 変位成分, w : 向げき水圧, e_v : 体積ひずみ, k : 透水係数, γ_w : 向げき水の単位体積重量, x_i : 直角座標

飽和粘土の構造骨格が等方弾性体であるとき、式(1), (2)で表わされる Biot の三次元圧密理論に太田の dilatancy theory から得られる次の応力-ひずみ関係を用いて解析がなされた。

$$\begin{bmatrix} d\sigma_{rr} \\ d\sigma_{zz} \\ d\sigma_{rz} \\ d\epsilon_{\theta\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\lambda} + 2\bar{\mu} & \bar{\lambda} & 0 & \bar{\lambda} \\ \bar{\lambda} & \bar{\lambda} + 2\bar{\mu} & 0 & \bar{\lambda} \\ 0 & 0 & \bar{\mu} & 0 \\ \bar{\lambda} & \bar{\lambda} & 0 & \bar{\lambda} + 2\bar{\mu} \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{R} \begin{bmatrix} A^2 & AB & 2\bar{\mu}f_{12}A & AC \\ AB & B^2 & 2\bar{\mu}f_{12}B & BC \\ 2\bar{\mu}f_{12}A & 2\bar{\mu}f_{12}B & 4\bar{\mu}^2f_{12}^2 & 2\bar{\mu}f_{12}C \\ AC & BC & 2\bar{\mu}f_{12}C & C^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\epsilon_{rr} \\ d\epsilon_{zz} \\ d\gamma_{rz} \\ d\epsilon_{\theta\theta} \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここに用いた記号は以下のとおり。

$$f = \tau_{\theta\theta}/\sigma_m + (\lambda - \kappa)/\{(1 + e_0)\mu\} \cdot \ln(\sigma_m/\sigma_m'), \quad f_{ij} = \partial f / \partial \sigma'_{ij},$$

$$R = \bar{\lambda} f_{kk}^2 + 2\bar{\mu} f_{ke} f_{ke} - (\partial f / \partial \sigma'_m) (\partial \sigma'_m / \partial \epsilon^p_{ke}) f_{ke},$$

$$A = \bar{\lambda} f_{kk} + 2\bar{\mu} f_{11}, \quad B = \bar{\lambda} f_{kk} + 2\bar{\mu} f_{22}, \quad C = \bar{\lambda} f_{kk} + 2\bar{\mu} f_{33},$$

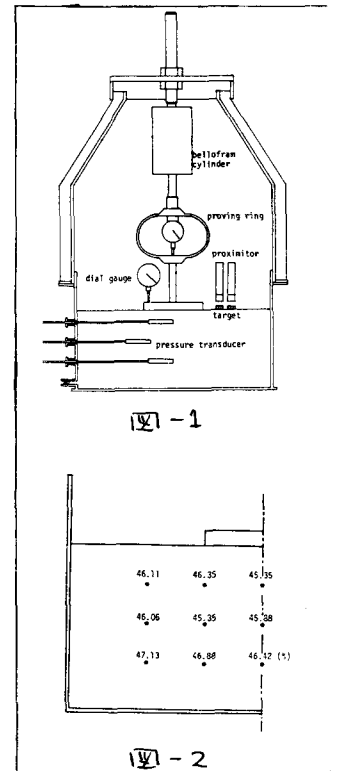


図-1

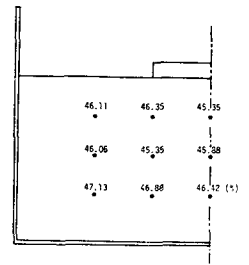


図-2

$$\bar{\lambda} = 3\nu / (1+\nu) \cdot (1+e) / K \cdot \sigma_m^2, \quad \bar{\mu} = 3(1-2\nu) / 2(1+\nu) \cdot (1+e) / K \cdot \sigma_m^2$$

λ : 圧縮指数, K : 膨潤指数, μ : ダイレイタニシ係数, ν : Poisson比, e : 間げき比

4. 実験および解析結果の比較, 検討

数値解析に用いた定数は表-1のとおりであり, 図-3には要素分割を示す。図-4は, 図-3に印した要素7~10の応力経路の解析結果を表わしている。ここでJ, PおよびBはそれぞれ, 載荷完了直, 塑性状態への移行直および圧密の終了直を意味し, 実線は有効応力経路を, 破線は全応力経路に対応している。図-5, 6はそれぞれ, 要素4の間げき水圧および載荷板の沈下量の時間的推移を比較したものである。いずれも両者の値に大きな差異が認められるが, 以下その主たる理由について検討を加えるとともに, ここで用いた解析方法の問題点を明らかにしたい。間げき水圧の実験値は, 載荷後数分してからピークに達しているが, これは埋め込んだ間げき水圧計が圧力を感知するのにある程度の機械的遅れを必要とすることや, 先に取り付けたポーラスストーンが完全に飽和していなかったことに起因すると思われる。また解析値の消散時間が長いのは, 標準圧密試験で求めた透水性係数から応力レベルの低い領域の値を予測したが, これがやや小さく算定しすぎたと考えられる。つぎに図-6の沈下量であるが, 解析値は実験値より数倍大きくなっている。とくに圧密沈下量に比べて初期の沈下量に大きな差異が認められる。そこで図-4に示した有効応力経路をみると, 載荷前の応力は自重によるものだけであるため, 粘土層上半部の平均有効応力 σ_m^2 が小さい。そのため, 3.に記した弾性範囲でのLamé定数 $\bar{\lambda}$, $\bar{\mu}$ が実際の値より過小となり, 大きな沈下量を計算したと思われる。 σ_m^2 の増大する圧密過程では, むしろ実験値の方が大きな沈下を呈している。

そのほか, 粘性の効果による影響や実験および計算の精度の問題など多くの理由が考えられるが, それらも含めて今後さらに検討を加えて行きたい。

表-1

$\gamma = 1.75 \text{ g/cm}^3$	$K = 0.012$
$R = 2.6 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$	$\mu = 0.028$
$\lambda = 0.108$	$\nu = 0.333$

