

部分載荷による粘性土地盤の変形的非線形解析

京都大学工学部 正員 田村 武
京都大学大学院 学生員 ○関根裕治

1. まえがき

すでに著者らは、強く過圧密された飽和粘性土地盤が部分載荷を受けた場合について、模型実験を実施する一方、弾塑性理論にもとづく有限要素法により解析し、両者の結果の比較検討を行なった。本報告は、先の研究にいくつかの点で改良を加えたものである。

2. 模型実験

模型実験は、すでに報告したのと同様の装置を用いて行なった。粘土層は、直径50.0 cm、厚さ16.5 cmであり、鉛直圧密圧力 0.3 kg/cm^2 で圧密を行ない、さらに膨潤をさせたものである。この中央に直径15.0 cmの円形剛性載荷板により等分布荷重に換算して 0.2 kg/cm^2 の荷重で部分載荷を行ない、過剰間げき水圧と載荷板の沈下量を測定した。実験結果は、4において解析結果とともに示される。

3. 解析方法

圧密変形を解析するために用いた手法は、基本的には前報告および赤井田村が用いたのと同様であるが、本解析を行なうにあたっての改良点をここに述べる。なお模型実験¹⁾に²⁾応じて解析は軸対称ひずみ条件のもとに行なう。(1) 粘性土の構成式として、関口太田の³⁾提案した弾塑性理論を用いた。これは、太田のDilatancy theoryに、せん断方向の反転の影響を加味した構成式であり、その降伏関数は次式で与えられる。

$$f = \frac{\lambda - \kappa}{(1 + e_0)\mu} \ln \frac{\sigma'_m}{\sigma'_{my}} + \eta^*, \quad \eta^* = \sqrt{\frac{1}{3}(\eta_{ij} - \eta_{j0})(\eta_{ij} - \eta_{j0})} \quad (1)$$

λ : 圧縮指数, κ : 膨潤指数, μ : ダイレイタシー係数, $\eta_{ij} = S_{ij}/\sigma'_m$ (S_{ij} : 偏差応力)

(2) 清水の⁴⁾提案した膨潤指数 κ を算定する式により、弾塑性マトリックス $D_{ij\ell\ell}^{EP}$ の修正を行なった。増分法を用いた場合の有効応力増分 $d\sigma'_{ij}$ とひずみ増分 $d\varepsilon_{ij}$ との関係は、

$$d\sigma'_{ij} = D_{ij\ell\ell}^{EP} d\varepsilon_{\ell\ell}, \quad D_{ij\ell\ell}^{EP} = D_{ij\ell\ell}^E - \frac{D_{ijmn}^E \frac{\partial f}{\partial \sigma'_{mn}} \frac{\partial f}{\partial \sigma'_{\ell\ell}} D_{\ell\ell\ell\ell}^E}{\frac{\partial f}{\partial \sigma'_{mn}} D_{mn\ell\ell}^E \frac{\partial f}{\partial \sigma'_{\ell\ell}} - \frac{\partial f}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \sigma'_{mn}} \frac{\partial f}{\partial \sigma'_{mn}}} \quad (2)$$

と導かれる。弾性マトリックス $D_{ij\ell\ell}^E$ は、非線形Lamé定数 $\alpha, \tilde{\mu}$ によってあたえられる。

$$\tilde{\lambda} = \frac{3\mu}{1+\mu} \frac{1+e}{\kappa} \sigma'_m, \quad \tilde{\mu} = \frac{3(1-2\mu)}{2(1+\mu)} \frac{1+e}{\kappa} \sigma'_m \quad (3)$$

μ : Poisson比, e : 間げき比

以上の議論においては、膨潤指数 κ は定数であると仮定されているが、本実験のような強く過圧密された地盤においては、一般に定数と仮定することは適切でない。清水は、過圧密領域における κ を算定する式も、膨潤時と再圧縮時にそれぞれ求めている。この場合再圧縮が支配的であるから、再圧縮時の κ ($=\kappa_2$)のみを考慮した。

表-1

$\lambda = 0.099, \kappa_1 = 0.011, \mu = 0.027$
 $a = 0.0016, \bar{\kappa}\lambda = 0.0254, v = 0.333$
 $\gamma = 1.82 \text{ g/cm}^3, k = 1.2 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$
 (単位体積重量) (透水係数)

(4)

N : 最大過圧率比, n : 過圧率比

ここで用いた修正方法は、まず平均的な膨潤指数 k_1 を用いて式(2)の計算を行ない、つぎに得られた $D_{j\text{ae}}^{\text{EP}}$ に $\beta = k_1/k_2$ を乗じて新しい弾塑性マトリックス $D_{j\text{ae}}^{\text{EP}}$ を求めた。(3) 載荷板の剛性を考慮して、載荷板に接する節点の変位は等沈下とした。

4. 実験結果と解析結果との比較

表-1 のような材料定数を用い、図-1 に示す要素分割に対して解析を行なった。なお排水面は載荷部以外の粘土層表面であり、Surcharge は零である。図-2 は要素 1, 2 および 3 の有効応力径路(実線)と全応力径路(点線)である。図-3 と図-4 は、それぞれ要素 1 の過剰間げき水圧と載荷板の沈下量の時間的変化である。図-3 より実験値と解析値は、比較的よい一致を示していることがわかる。なお、実験値の 3 時間以降の値のずれは、計測上の問題が考えられる。

図-4より24時間後の沈下量は、解析値が実験値の約1.4倍と大きな値を与えるが、先に報告した場合に比べて、初期沈下量が大幅に改善されより実験値に近いものとなっている。これは清水の提案した式により膨潤指数 n を変数としたことによるためと思われる。

謝辞 本研究を行なうにあたり御指導くださ、た京都大学赤井浩一教授に深く感謝いたします。

参考文献 (1) 大西, 赤井, 田村: 土木学会第 33 回講演集Ⅲ-53, PP.95-96, 1978.

(2) 赤井, 田村: 土木学会論文報告集,
No. 269, pp. 95-104, 1978.

(3) 関口・太田: Proc. 9th ICSMFE, Speciality Session 9, PP. 229-238, 1977.

(4) 清水涼都大学防災研究所年報,
第21号B, PP. 1-18, 1978.

