

弾塑性構成式による浸透を考慮した変形問題の数値解析

京都大学工学部 正 員 大西有三
大成建設 正 員 大津宏康
京都大学大学院 学生員 酒井俊朗

1. はじめに

種々の条件下の地盤の応力・変形解析を行なう場合、問題を線形化するという手法が、従来用いられることが多かった。しかし非線形特性を示す土質材料に対してそのような手法を適用することは問題が多いと思われる。そこで本研究では弾塑性構成式として、RoscoeらのOriginal Cambridge Theory¹⁾を基礎として用いることにする。そして解析対象として、カップリング問題（水理境界の変動する浸透現象と変形の相互作用）の概念を用いて、飽和粘性土地盤の揚水問題を取り挙げ、地盤内の応力・変形挙動に対する考察を行なう。

2. 弾塑性応力・ひずみマトリックス および カップリング問題の定式化

応力・ひずみ関係に関する研究において、Roscoeらの理論は最初の統一的理論であり、状態曲面という概念を導入して、降伏条件を一つの曲面から定義するものである。その理論による降伏関数は、応力テンソル σ_{ij} 、硬化パラメータ L の関数として表わされる。降伏関数 $f(\sigma_{ij}, L) = 0$ の全微分を考え、またフックの法則、Associated Flow Rule と Normality Rule に従うひずみベクトルの方向を定める式から弾塑性応力・ひずみマトリックスは次のように定まる。

$$D_{ijkl}^{EP} = D_{ijkl}^E - \frac{D_{ijkl}^{E \text{ top } f_{mn}} D_{mnkl}^E}{f_{rs} D_{rsmn}^E f_{mn} - \frac{\partial f}{\partial L} \frac{\partial L}{\partial \sigma_{mn}} f_{mn}} \quad (2-1)$$

$$\text{ここに } f_{ij} = \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}}$$

飽和・不飽和領域におけるカップリング問題の支配式の有限要素法による定式化は、次のようにマトリックス表示される。²⁾

$$\begin{bmatrix} K & C \\ C^T & H(\frac{1}{2}) + E \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta U \\ h_{t+st} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Delta F + Ch_t \\ \{-\frac{1}{2}\}H + E\}h_t + Q \end{Bmatrix} \quad (2-2)$$

ここに ΔU : 変位増分ベクトル h : 全水頭ベクトル
 ΔF : 荷重増分ベクトル Q : 既知節点流量

3. 解析結果および考察

Fig. 1 に示すモデルで、モデル左端のX印から揚水を行なう。用いた材料定数は次のとおりである。

粘土層の単位体積重量 γ : 1.65 tf/m^3
透水係数 k : $1.0 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$, 圧密指数 λ : 0.1

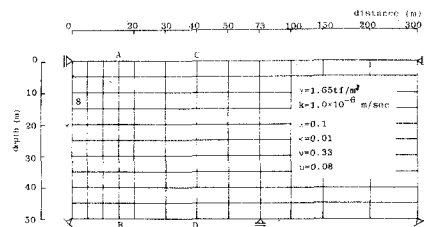


Fig. 1

膨潤指数 $e: 0.01$, ダイレクシー特性定数 $\mu: 0.08$
 ボアソン比 $\nu: 0.33$. また境界条件としてモデル
 右端部では水位降下はなく、左端部は揚水点を除き
 不透水境界である。

Fig. 2 では Fig. 1 のモデル図で示される No. 8
 要素の有効応力経路が示されている。K₀-過圧状態
 の初期状態から出発して、特に平均有効主応力 σ_m の
 増加のみ認められ、正八面体せん断応力 τ の変化は
 見られない。Roscoe らの理論によると、C. S. L
 (Critical State Line) に向かうか否かで材料の破壊に関する
 危険が判定できる。したがって、当然予想されたとおり地
 盤がせん断破壊する危険は全くないといつてよいと思われ
 る。次に地盤の変形に着目したのが Fig. 3 の地表面におけ
 る鉛直変位の経時変化図と Fig. 4 の、モデル図で示す A-B,
 C-D 鉛直断面の水平変位の経時変化図である。Fig. 3 と
 Fig. 4 を比較すると明らかに鉛直方向の変形が卓越してい
 る。最近、特に都市部などで、揚水に起因する地盤沈下問題が問題とな
 っている。現実の地盤では、材料の不均質性あるいは不連続性などを考
 慮する必要があり、ここで示した解析手法がそのまま適用できるという
 わけではないが、いずれにしても何等かの方法で事前に、地盤の変形に
 関する予想を行なう必要がある。

Fig. 5 は自由水面の経時変化を示している。本解析例では、時間ステップ
 を 2 週間までとしているため、図から明らかのように定常状態へは至
 っていない。またこのことと関連して Fig. 3, Fig. 4 に示した変形図におい
 て時間経過にしたがって、変形は以後も進行するものと考えられる。

4. 結語

Roscoe らの理論とカップリング問題の概念を組み合わせた
 手法を用いて、地盤の変形問題の解析を行なった。特に
 飽和粘性土地盤における揚水を想定し、有効応力経路を
 示すとともに、地盤の変形、自由水面に関する予測が可
 能であることを示した。

参考文献

- 1) Schofield, A. & Wroth, P. : Critical State Soil Mechanics, McGraw-Hill, 1968
- 2) 大西有三、大津康康 : トンネル掘削にともなう地盤と地下水の変動に関する数値解析,
 第13回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要集, 1980

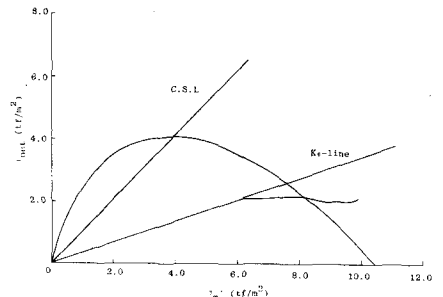


Fig. 2

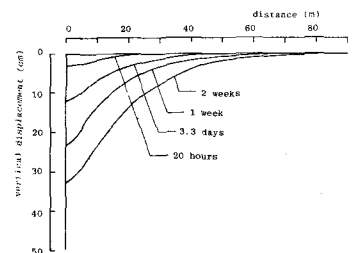


Fig. 3

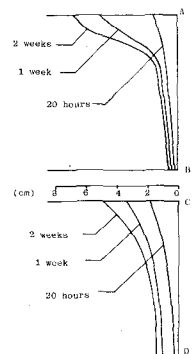


Fig. 4

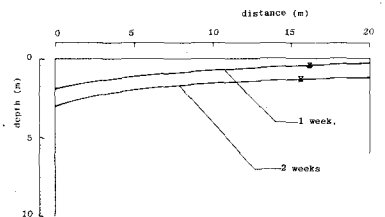


Fig. 5