

III-477 有限変形弾粘塑性理論に基づいた地盤の有限要素解析

岐阜大学工学部 正会員 岡 二三生
 岐阜大学工学部 正会員 八 嶋 厚
 岐阜大学大学院 学生会員 ○小 原 到

1. まえがき

本解析では、Updated Lagrange 法に基づき、Kirchhoff 応力の Jaumann rate を応力速度として用いた、応力・浸透連成問題の支配方程式を誘導した¹⁾。そしてこれを、変位に関しては8節点で、間隙水圧に関しては4節点で代表させた有限要素法により離散化し、有限変形プログラムを新たに作成した。そして、平面ひずみ圧縮試験・Simple Shear 試験について、微小変形理論に基づく有限要素解析との差、また、不平衡力未処理のための数値誤差の評価を行うと共に、有限変形弾粘塑性構成式を組み込んだ変形解析を実施した。

2. 微小変形理論解析との比較

平面ひずみ圧縮試験およびSimple Shear 試験を、排水条件・非排水条件の基で微小変形理論と有限変形理論の2通りで解析し、それらを比較する事により、微小変形理論の適用範囲を調べた。

微小変形理論による値をA、微小変形理論による値と有限変形理論による値との差をB、と置き両者の差を図1)を参考に次の様に定義した。

$$[\text{差}] = \frac{B}{A} * 100 \quad (\%)$$

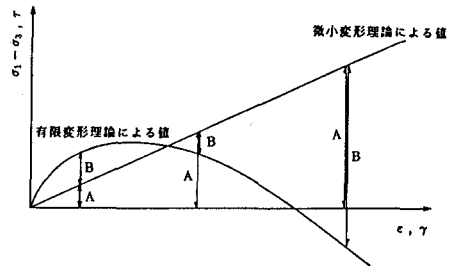


図1) 微小変形理論解析と有限変形理論解析に於ける結果の比較

何 % のひずみ、或いはせん断ひずみまでの解析なら微小変形理論解析・有限変形理論解析間の値の差が、1 % 以内、又は5 % 以内であるかを右の表1)にまとめてみた。

表1) 微小変形理論解析と有限変形理論解析に於ける結果の比較

試験の種類		排水条件	理論間の差	
			1 % 以内	5 % 以内
平面ひずみ圧縮試験		排水	ε = 1.25 %	ε = 6.25 %
		非排水	ε = 2.25 %	ε = 9.5 %
Simple Shear 試験	せん断力の差	排水	γ = 25 %	γ = 62.5 %
		非排水	γ =	γ =
	主応力差の差	排水	γ = 25 %	γ = 58.8 %
		非排水	γ =	γ =

3. 不平衡力が未処理である事による数値誤差

本解析においては、各解析ステップにおいて生じる不平衡力(積分点の移動、Bマトリックスの変化などにより生じる)を処理していない。そこで、本スキームにおいて蓄積される誤差は、どの程度であるのか考えてみる事にする。

右の図2)を参考に方法を述べる。

要素に X % ひずみまでの強制変位を与えた後、同一ステップ数で逆に強制変位を解除していき、ひずみ、またはせん断ひずみが 0 % に戻った時、つまり1サイクル経過した後に、どの位の残留応力が残っているのかを、Xの値を変えながら調べる。

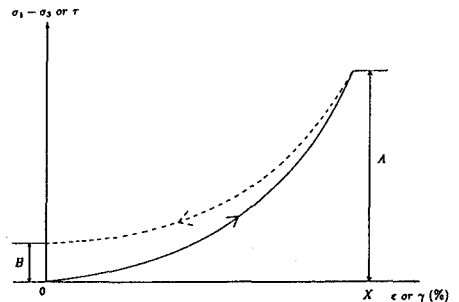


図2) 誤差算定法

この解析は3つのケースについて行った。200 step で 50 % のひずみを生じさせた平面ひずみ圧縮試験について、排水、非排水の2ケースと、400 step で 1000 % のせん断ひずみを生じさせた、Simple Shear 試験の排水条件下で、せん断力とせん断ひずみの関係を求めた1ケースである。平面ひずみ圧縮試験の2ケースについては図3)、Simple Shear 試験のケースについては図4)に示した。

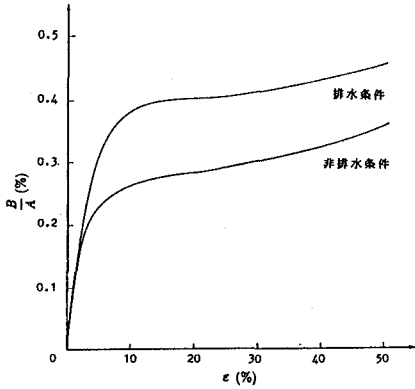


図3) 平面ひずみ圧縮試験に於ける不平衡力とひずみの関係

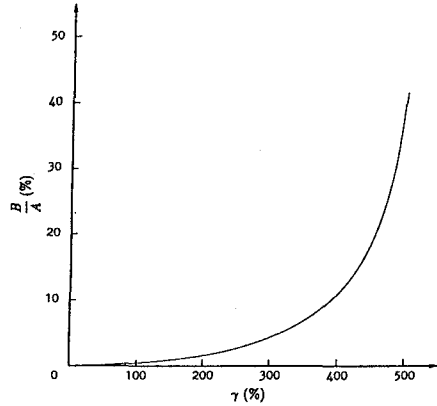


図4) 排水条件下でのSimple Shear 試験に於ける不平衡力とせん断ひずみの関係

図3)より平面ひずみ圧縮試験において不平衡力未処理による誤差が存在する事がわかる。しかし、50 % までのひずみに関してその誤差は高々 0.5 % 以下であり、解析上無視し得る程度であろう。図4)より Simple Shear 試験排水条件下でも、不平衡力未処理による誤差が存在することがわかる。またその誤差はひずみの増大に伴って加速的に大きくなる。しかし、100 % 程度のせん断ひずみでは、その誤差はやはり 1 % 未満である。

4. 有限変形弾粘塑性構成式を用いた変形解析
 正規圧密粘土の構成式は次式で与えられる²⁾。

$$\begin{aligned}
 D_{ij} &= D_{ij}^E + D_{ij}^P \\
 &= \frac{1}{2G} \dot{\epsilon}_{ij} + \frac{\kappa}{3(1+e)} \frac{\dot{\sigma}_n'}{\sigma_n'} \delta_{ij} + \Phi(F) \frac{\partial f_d}{\partial \sigma_{ij}'} \\
 &= \frac{1}{2G} \dot{\epsilon}_{ij} + \frac{\kappa}{3(1+e)} \frac{\dot{\sigma}_n'}{\sigma_n'} \delta_{ij} + \frac{1}{M\sigma_n'} \Phi(F) \frac{S_{ij}}{\sqrt{2J_2}} + \frac{1}{3M\sigma_n'} \Phi(F) \left[M - \frac{\sqrt{2J_2}}{\sigma_n'} \right] \delta_{ij}
 \end{aligned}$$

ここで、G : せん断弾性係数、 δ_{ij} : クロネッカーのデルタ、 κ : $e - \ln \sigma_n'$ 曲線の膨潤時の傾き、 J_2 : 偏差応力の第2次不変量 ($\sqrt{2J_2} = \sqrt{S_{ij} S_{ij}}$)、M : critical stateでの $\sqrt{2J_2} / \sigma_n'$ の値、 D_{ij}^E : 弾性ストレッチング、 D_{ij}^P : 粘塑性ストレッチング、 f_d : 動的降伏関数、 $\Phi(F)$: 実験的に決定されるべきひずみ速度効果を表す汎関数、この構成式を導入した有限変形理論及び微小変形理論下での解析結果については、当日発表予定である。

【参考文献】

- 1) 小原 到 : 有限変形理論に基づいた地盤の有限要素解析, 岐阜大学工学部卒業論文, (1991)
- 2) 足立・岡 : Adachi, T. and Oka, F. (1982), Constitutive equations for normally consolidated clay based on elasto-viscoplasticity, Soils and Foundations, Vol. 22, No. 4, pp. 57-70.