

防衛大学校土木工学教室 正 員 ○森 雅美
同 上 正 員 山口晴幸

1. まえがき 近年, Mrozらの提案による異方硬化モデル¹⁾は, 繰返し載荷を受ける際の履歴挙動および異方圧密された後の力学挙動の異方性を表現し得るなどの特徴を有することから注目を浴びている。著者らは, せん断挙動に関する基本的力学特性についての輪郭すら明瞭にされていない有機質土を例にとり, 応力~ひずみ(fiber) レベルおよび有限要素法による要素試験レベルにおいて異方硬化モデルの適用性の検証を試みてきた^{2), 3), 4)}。本研究は, 有機質土のせん断特性の定量的評価を目的として, 正規圧密した有機質土の排水三軸圧縮試験を実施したうえで, 異方硬化モデルを導入した

有限要素法による要素試験解析を行い, 異方硬化モデルの有機質土への適用性の検証を主に変形解析の観点から行ったものである。

2. 実験概要 実験は, 表-1に示す物理的諸性質をもつ有機質土を用い等方応力条件下で正規圧密した供試体について側圧一定排水三軸圧縮試験を実施した。

3. 有限要素法による要素試験解析

(1) 解析方法 解析は, 8節点アイソパラメトリック要素を用い, Gauss 積分次数を2次として軸対称応力条件下で行い, 非線形解析には修正Newton-Raphson法を用いた(詳細は文献3)参照)。

(2) 入力データ 図-1は, 排水三軸圧縮試験の円柱供試体(直径5cm, 高さ12cm)の要素分割を示したもので, Gauss 積分点における自重による初期応力を考慮するため左右対称の供試体の右半分のみを考え, また, 実験結果との比較を容易にするため1要素分割とした。等分布荷重として作用する軸圧 σ_1 および側圧 σ_3 は, 等価節点外力に置換して各節点に与えた。解析は, 境界条件および Gauss積分点における初期応力状態の設定の相違による影響を考察するため図-1(a)~(d)に示す4ケースについて行った。すなわち, Case(a): 節点1を不動点, 重心の深さに相当する自重を各積分点における初期応力とする場合, Case(b): 節点1を不動点, 各積分点における深さに相当する自重を初期応力とする場合, Case(c): 節点4を不動点, 重心の深さに相当する自重を各積分点における初期応力とする場合, Case(d): 節点4を不動点, 各積分点における深さに相当する自重を初期応力とする場合。表-2に解析に用いた土質パラメータを示す($a/a_0, \gamma, K_{p0}$ の求め方は文献4)参照)。

4. 実験結果による異方硬化モデルの検証および考察

図-2~3はそれぞれ Case(a), (b)および Case(c), (d)の各場合の各節点(NPで区別)における水平変位 u_y および鉛直変位 u_z の計算結果を各積分点における軸差応力の平均値 $q = \sigma_1 - \sigma_3$ に関して示したものである。同図より, Case(a)とCase(b), また, Case(c)とCase(d)の各節点の水平および鉛直変位は一

Properties	Amounts
Liquid limit L.L.(%)	149.3
Plastic limit P.L.(%)	69.5
Plasticity index P.I.(%)	79.8
Specific gravity Gs	2.33
Ignition Loss Lig (%)	24.8

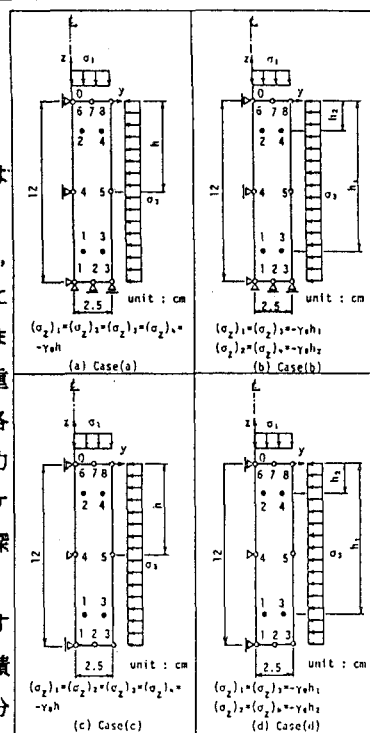


図-1 要素分割

表-2 土質パラメータ

compression index	λ	0.321
swelling index	κ	0.0382
effective angle of shear resistance	$\phi' (^{\circ})$	41.2
ratio of major semi-diameter	a/a_0	2.07
plastic swelling parameter	γ	2.01
initial plastic hardening modulus	K_{p0} (kPa)	10^5
shear modulus	G (kPa)	5800
unit weight	γ_0 (kN/m ³)	13.0
compression pressure	p_0' (kPa)	98.0
void ratio at p_0'	e_0	2.21

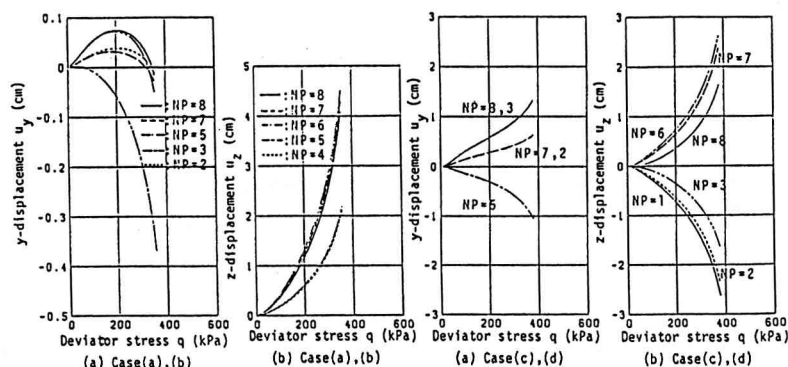


図-2 変位～軸差応力関係

図-3 変位～軸差応力関係

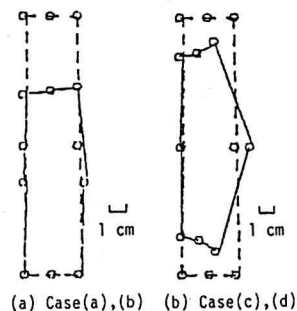


図-4 変位図

致しており、初期応力状態の設定の相違による影響を無視できることが認められる。すなわち、要素重心における自重を初期応力とする簡便な方法でも実用上十分な精度が得られることが結論付けられる。図-3より Case (c), (d) の場合には、供試体上面と下面における節点 8 と 3 および節点 7 と 2 の水平変位が一致しており、また鉛直変位に関しても節点 8 と 3、節点 7 と 2 および節点 6 と 1 の変位の絶対値が一致することから、境界条件の対称性に関する計算結果の妥当性が確認される。Case (a), (b) (図-2) の場合の供試体上面の節点 6, 7, 8 の鉛直変位は Case (c), (d) (図-3) の場合のものの約 2 倍となっており、供試体上面と下面の鉛直変位を足し合わせたものとはほぼ一致すること、および、水平変位に関しては、Case (c), (d) の場合の方がかなり大きいことが認められる。

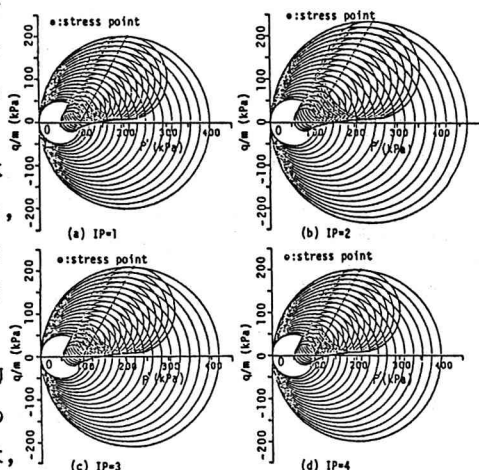


図-5 有効応力経路

図-4は、せん断の最終段階における変位図（変形前：破線，変形後：実線）を示したもので、各境界条件に対応する変形モードの違いがよく表現されている。図-5は、実際の三軸圧縮試験の境界条件に近いと考えられる Case (a) の場合の各積分点（IPで区別）におけるせん断による降伏曲面の変化と有効応力経路（破線）を q/m (m : 限界状態での応力比) $\sim p'$ ($p' = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$) 面上で示したものである。応力経路の傾きが排水三軸圧縮試験のもの ($dq/dp' = 3$) とほぼ一致していることから計算結果の妥当性が確認される。図-6は、鉛直変位の実験結果 (○印) および Case (a) の場合の計算結果を応力比 q/p' に関して示したものである。計算結果の応力比は、各積分点における応力比の平均値としている。これより、計算結果は実験結果をかなりよく表現できていることが認められ、異方硬化モデルの適用の妥当性がほぼ確認できたものと思われる。

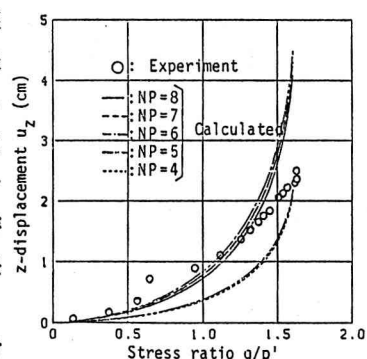


図-6 実験結果との比較

5. あとがき 本研究では、等方圧密した有機質土の排水三軸圧縮試験に関する異方硬化モデルの適用性の検証を主に変形解析の観点から試みた。その結果、異方硬化モデルの有機質土への適用性がおおむね確認できたものと思われる。(参考文献) 1) Mroz, Z. et al.: Geotechnique, Vol. 29, No. 1, pp. 1-34, 1979, 2) 森・山口・石川: 第40回土木学会年講, II-264, pp. 527-528, 1985, 3) 森・山口・石川: 構造工学論文集, Vol. 32A, 1986 年3 月号掲載予定, 4) 森・山口: 「泥炭に関する研究討論会」論文集, 1986年 2月。