

## 排水条件下の粘土の平面ひずみ伸張試験の有限要素解析

名古屋高速道路公社 正会員 ○荒巻 景介  
 名古屋工業大学 正会員 中井 照夫  
 名古屋工業大学 正会員 檜尾 正也

今までに、正規圧密粘土の非排水試験の解析<sup>1)</sup>や正規・過圧密粘土の排水圧縮試験の解析<sup>2)</sup>を行ってきた。本報では排水条件下の正規・過圧密粘土の平面ひずみ圧縮および伸張の解析を1相系で解析し、せん断帯の発生の仕方、マスとしての変形・強度特性、局所的な変形・強度特性について数値解析結果にもとづいて検討する。なお、圧縮試験については前報<sup>2)</sup>で報告しているため、ここでは主として伸張試験の結果を中心に述べる。

### 1. 解析の概要

せん断帯の数値解析は、材料の非線形性だけでなく初期形状の非対称性や材料の非均質性を導入し、さらに土と水の2相系連成問題の有限変形解析として行われることが多い。ここでは、粘土の弾塑性の性質や非線形性等の材料特性と境界条件をきちんと考慮すれば通常の1相系の微小変形解析でも現実的な解が得られることを示す。正規圧密土および過圧密土(OCR=10)を側圧一定のもとでせん断する場合について解析した。解析は縦10cm、横5cmの供試体の1/4断面を対象に、図-1(伸張試験)に示す有限要素メッシュを用いて解析した(要素数400)。境界条件は対称性から底面左下端を完全固定、底面および左側面を鉛直方向のみ可動とした。上端面はペDESTAL部の十分な摩擦特性を表現するために、水平方向を完全固定し鉛直方向に強制変位を与えた。材料の構成モデルとしては、3次元応力条件下の種々の応力-ひずみ挙動はもとより変形・強度特性におよぼす密度・拘束応力の影響を考慮できるsubloading tij-model<sup>3)</sup>を用いている。初期応力は $p_0' = 196\text{kPa}$ の等方応力状態とし、表-1に示す藤の森粘土の材料パラメータを使って解析した。

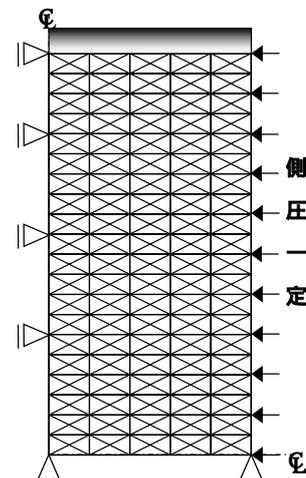


図-1 有限要素メッシュ (伸張試験)

### 2. 結果と考察

図-2、図-3は伸張せん断時の正規圧密粘土および過圧密粘土(OCR=10)のマスとしての挙動を示す。ここに、 $s = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$ ,  $t = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$  であり、上に - を付けている記号はマスとして平均化した応力、ひずみ量、間隙比を表す。また、図中の実線は理想体としての関係を表している。これらの図より、前報<sup>2)</sup>の圧縮せん断時同様、過圧密粘土のマスとしての応力-ひずみ挙動がせん断初期には理想体に近くてもせん断変形の進行とともに理想体のそれから大きくずれることがわかる。特に peak 強度以後のマスとしての体積変化は変形の局所化によりかなり過小評価することになる。次に、図-4および図-5は正規および過圧密土の伸張せん断時の偏差ひずみ分布の解析結果を表す。また、図-6および図-7は前報<sup>2)</sup>でも示した圧縮せん断時のせん断ひずみ分布の変化を示している。過圧密土では局所的なひずみの集中が見られ始めると急激にせん断帯として発達するのは圧縮・伸張時とも同じであるが、伸張

表-1 藤の森粘土の材料パラメータ

	0.0899
	0.0198
N	0.83
$R_{cs(comp)}$	3.5
	1.5
e	0.2
a	500

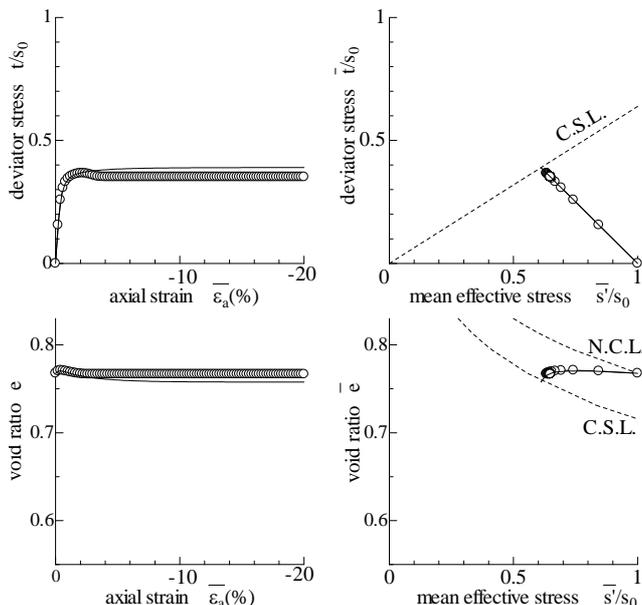


図-2 正規圧密土のマスとしての挙動 (伸張試験)

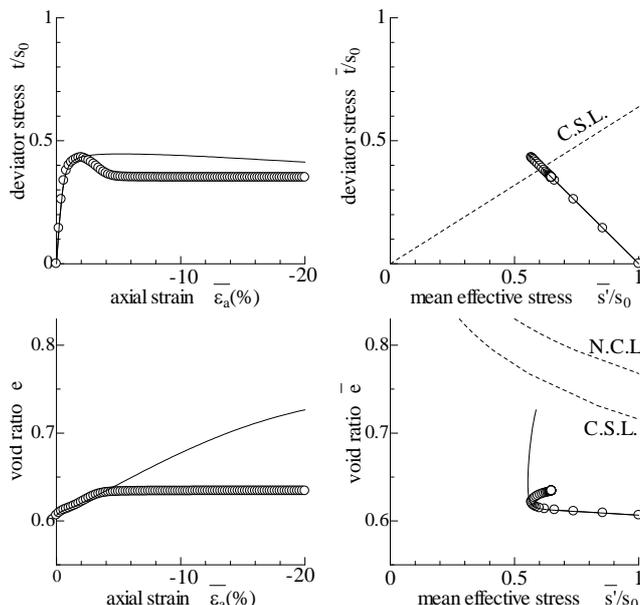


図-3 過圧密土のマスとしての挙動 (伸張試験)

キーワード：粘土、有限要素法、せん断帯

連絡先 名古屋工業大学 (住所：名古屋市昭和区御器所町、電話・FAX：052-735-5485)

せん断では圧縮せん断に比べ小さい軸変位でせん断帯が発生する。また、圧縮せん断時には供試体中央部からせん断帯が発達するのに対し、伸張せん断時には逆に供試体周辺部から内部に向かってせん断帯が発達する。すなわち、同じ初期条件であっても、境界条件の違いによりせん断帯の発達の仕方が異なる可能性があることを示唆している。理由は前報<sup>2)</sup>の圧縮せん断時の解析でも説明したように、せん断変形時には圧縮主ひずみを生じる方向とそれに直交する膨張主ひずみを生じる方向があるが、圧縮主ひずみに対して膨張主ひずみがかもとも生じやすいところで相対的に間隙比が大きくなり、そこでの強度が最も小さくなりせん断帯発生の trigger になる。このことはここでの解析条件を考えると、強制変位を与える方向と境界条件を考えれば容易に理解できよう。したがって、このような地盤材料のせん断帯解析ではその特徴的な材料特性はもとより、間隙比、拘束応力が変わっても連続的にその挙動を説明できるモデルが必要である。図-8および図-9にはせん断帯上およびその近傍の要素の応力～ひずみ関係や間隙比の変化を示している（ここでも、実線は理想体の関係を示す）。せん断帯上の要素では理想体よりも間隙比が大きくなった後に限界状態線に至っているのに対し、その近傍の要素では有意な間隙比の増加も見られない。非排水条件等の体積変化の拘束条件を入れ2相系で解いたときは、体積膨張する要素とその近傍の体積圧縮する要素が必然的にできるため変形の局所化が起こるといふ説明はこれまでもされているが<sup>4)</sup>、1相系であっても変形の適合性から結果として同じような解析結果が得られることになる。

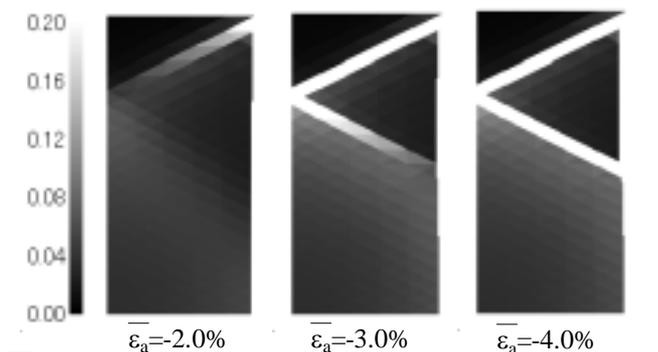


図-4 正規圧密土の供試体内の偏差ひずみ分布（伸張試験）

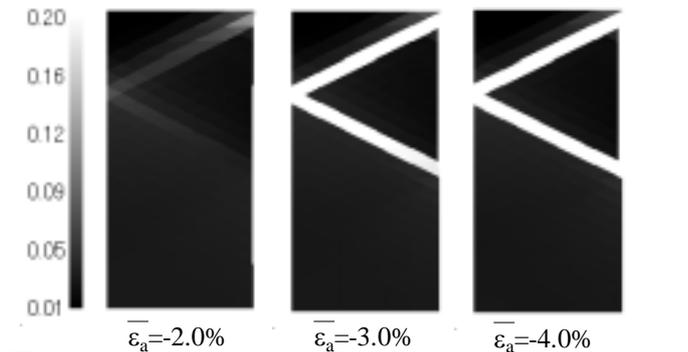


図-5 過圧密土の供試体内の偏差ひずみ分布（伸張試験）

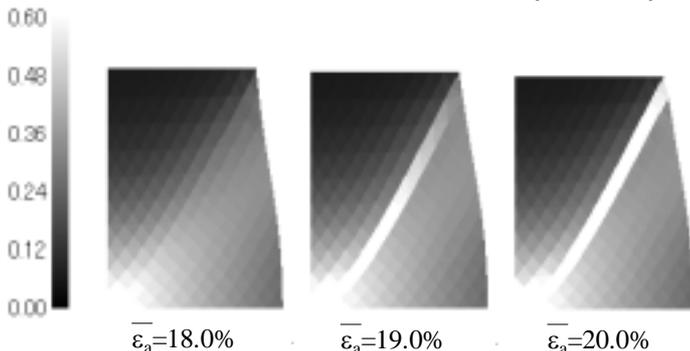


図-6 正規圧密土の供試体内の偏差ひずみ分布（圧縮試験）

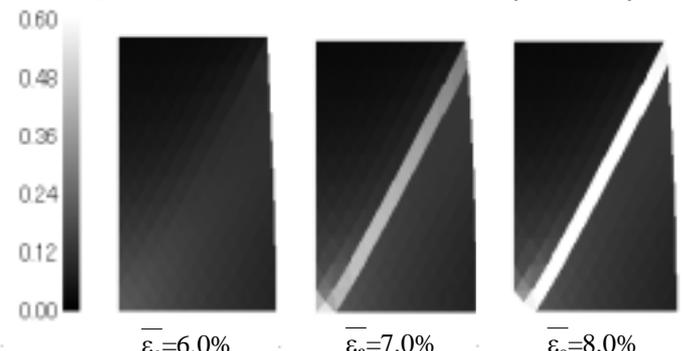


図-7 過圧密土の供試体内の偏差ひずみ分布（圧縮試験）

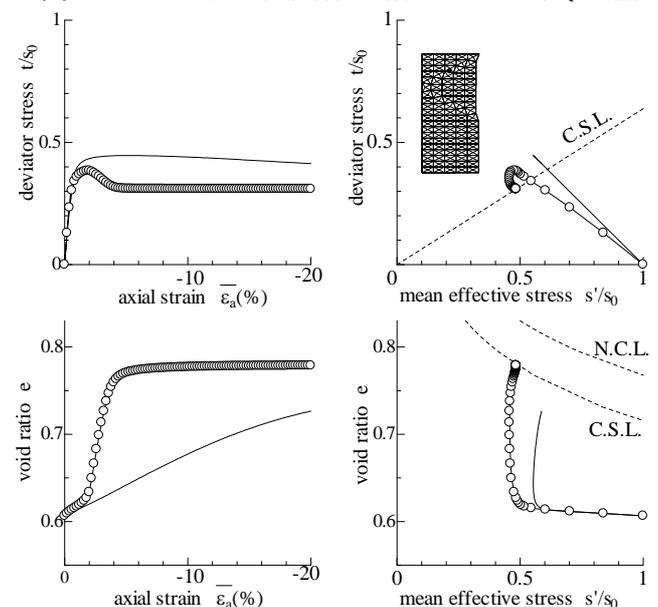


図-8 過圧密度のせん断帯上の要素の挙動（伸張試験）

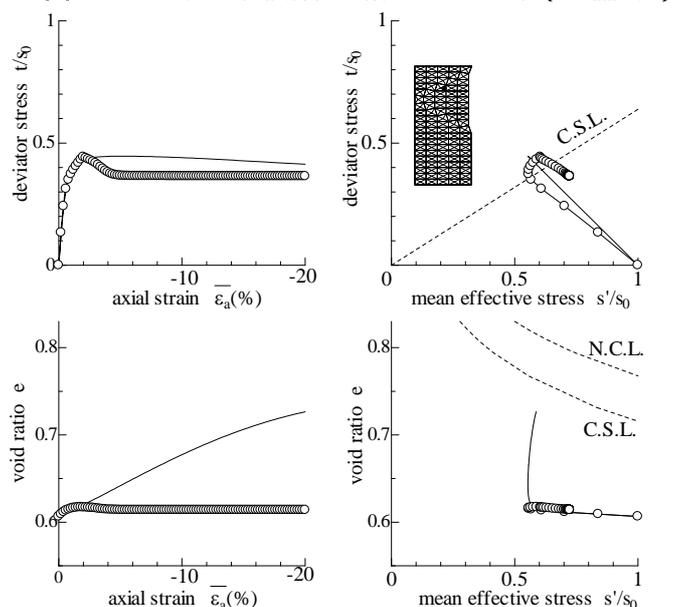


図-9 過圧密度のせん断帯近傍要素の挙動（伸張試験）

文献

- 1) 荒巻・中井(2001): 第56回土木学会年次講演会 III-A58 2) 荒巻・中井(2002): 第37回地盤工学研究発表会  
 3) 中井・檜尾・城戸・西村・宮田(2002): 第37回地盤工学研究発表会 4) 浅岡・中野・野田(1997): S&F, 37(1), 13-28