

粘性土の変形の局所化問題に関する解析的研究

名古屋工業大学 学生会員 荒巻 景介
名古屋工業大学 正会員 中井 照夫

1. 概 説

粘土の三軸試験などの要素試験では供試体にすべり線、いわゆるせん断帯が生成される。本研究では、有限要素解析によりせん断帯の生成を表現することを試みるとともに、どのような条件下でせん断帯が生成されるか、またせん断帯生成と供試体のマスとしての挙動との関係について検討してゆく。

2. 解析の概要

非排水条件下における粘性土の平面ひずみ試験を有限要素法を用いた水～土連成有限要素解析によりシミュレーションする。解析で扱う粘性土は弾塑性材料とし、構成式には三次元応力下の種々の応力～ひずみ関係を表現できる等方硬化型弾塑性構成式 t_{ij} -clay model¹⁾を用いる。その他、本研究において共通となる解析条件を Table-1,2 にまとめる。また、解析に用いる要素は CST 要素とし、解析メッシュは Fig.1(a)～(c)に示す通りである。

想定試験	側圧一定非排水試験 ($p_0'=2.0\text{kgf/cm}^2$)
解析断面	1/4 断面 (縦 5cm、横 2.5cm)
境界条件	底面左下端完全固定 底面水平方向可動 左側面鉛直方向可動 上端面固定 鉛直方向に強制変位
地盤材料	藤の森粘土 (Table-2 参照)
構成式	t_{ij} -clay model
変形理論	微小変形

Table-1 解析条件

3. 軸ひずみ速度の違いが及ぼす影響

異なる 3 つの軸ひずみ速度 $\dot{e}_a = \infty$ (TypeA)、 $\dot{e}_a = 1.0\%/min$ (TypeB)、 $\dot{e}_a = 1.0\%/day$ (TypeC)において水～土連成有限要素解析を行った。Fig.2 に圧縮試験時の $\varepsilon_a = 10.0\%$ (TypeA については $\varepsilon_a = 6.0\%$)における変形図および主応力図を示す。要素内の十字線は主応力の大きさと方向を表している。Fig.3 に示すマスとしての応力～ひずみ挙動はほぼ同じであるが、Fig.2 に示すように軸ひずみ速度の違いがせん断帯生成に影響を与えることがわかる。また、拡大図に示すようにせん断帯上の要素の最大主応力方向がほぼ鉛直方向となっているが、構成式より考えると応力の主軸と塑性ひずみ増分の主軸が一致するので最大せん断応力の方向、つまりせん断帯の傾きが 45° となることがわかる。

$\lambda/(1+e_0)$	5.08×10^{-2}
$\kappa/(1+e_0)$	1.12×10^{-2}
$\Phi'_{(comp)}$	33.7°
a	0.7
n	0.2
k	$1.0 \times 10^{-5} \text{cm/min}$

Table-2 藤の森粘土土質パラメータ

4. 有限要素の形状の違いが及ぼす影響

軸ひずみ速度 $\dot{e}_a = 1.0\%/day$ (TypeC)について Fig.1 に示す 3 種の解析メッシュで圧縮および伸張試験の解析を行った。解析結果のうち、明確なせん断帯の生成が得られた圧縮時の TypeC-b、ならびに伸張時の TypeC-c について変形図および主応力図を Fig.4 に、マスとしての応力～ひずみ関係を Fig.5 に示す。前節ではせん断帯の傾きは水平面からほぼ 45° となったが、今回の解析結果では圧縮時はおおよそ 60° 、伸張時にはおおよそ 30° と実際の要素試験時に見られるせん断帯に近い傾きを得た。せん断帯上の要素の主応力方向に着目すると、最大主応力方向が水平方向に対して圧縮時には 110° ほど、伸張時には 20° ほどの傾きを持っている。せん断帯上の主応力方向が圧縮時(伸張時)にマスとしての最大主応力方向(鉛直方向)から傾けば、せん断帯も実際現象により近い方向へ傾くと言える。また、マスとしての応力～ひずみ関係を見ると、せん断帯が 45° 方向ではなく傾いた方向に発達している圧縮時の TypeC-b、伸張時の TypeC-c についてはピーク値到達後ひずみ軟化現象を示していることがわかる。圧縮時の TypeC-b についてせん断帯上の要素、及びせん断帯のすぐ近くにある要素における有効応力経路を Fig.6 に示しているが、せん断帯上の要素内では破壊線に到達して後に破壊線に沿って軟化していくのに対して、せん断帯近傍の要素では破壊線到達後硬化して行く様子が見られる。すなわちすべり線(せん断帯)の方向はピーク後のマスとしての応力～変位特性と密接に関係していることがわかる。

キーワード：粘土、せん断帯、有限要素法、構成式

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

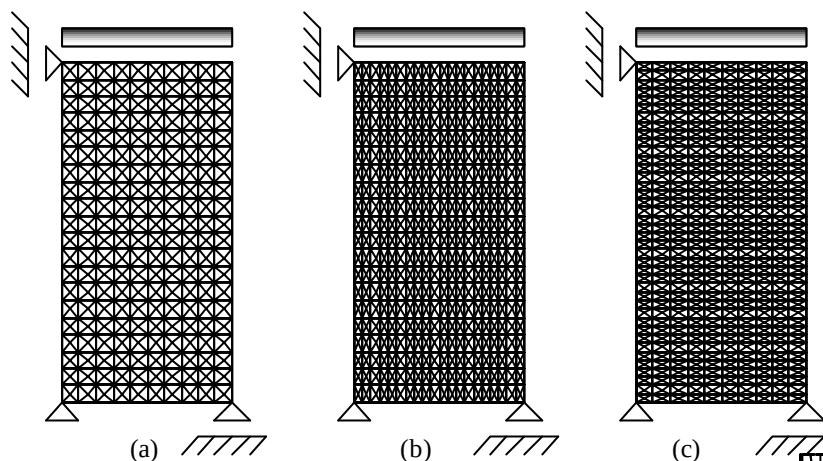


Fig.1 解析メッシュ

	三角形 要素個数	縦×横 (個)	各要素 縦横比
(a)	800	20×10	1:1
(b)	1,600	20×20	2:1
(c)		40×10	1:2

Table-3 解析メッシュの相違

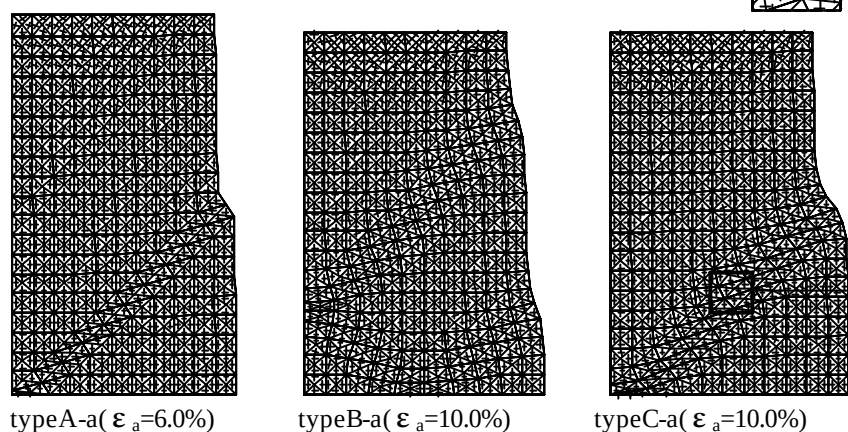


Fig.2 変形図及び主応力図 圧縮

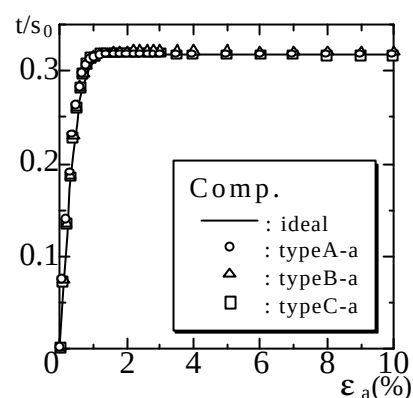


Fig.3 マスとしての応力
～ひずみ関係

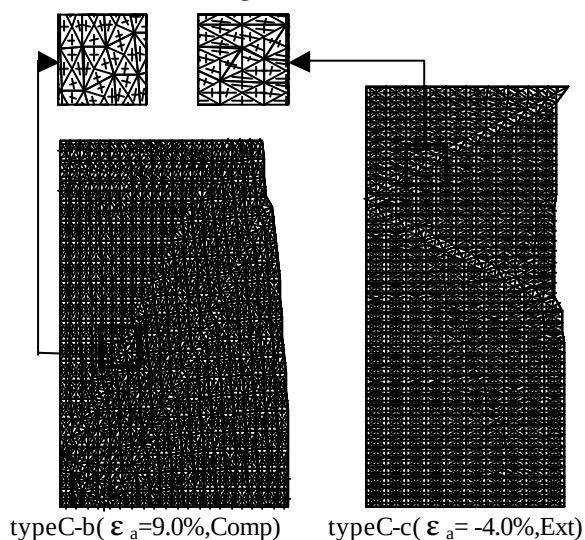


Fig.4 変形図及び主応力図

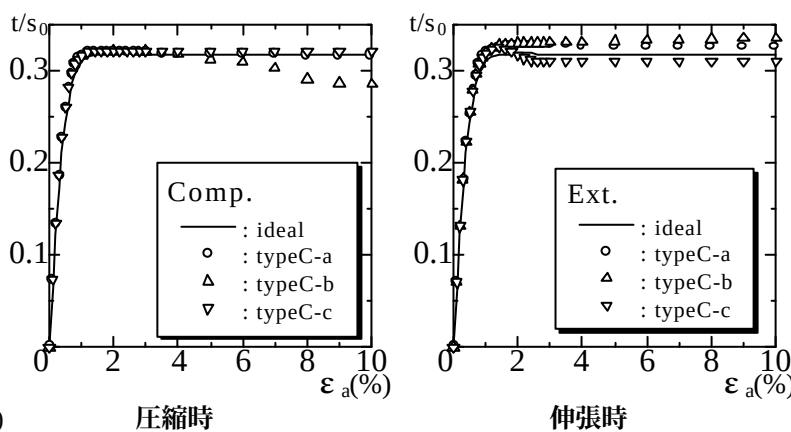


Fig.5 マスとしての応力～ひずみ関係

5. 結 論

以上の解析結果より、せん断帯上の要素内の最大主応力方向がマスとしての最大主応力方向から傾いたときに、マスとしての挙動ではひずみ軟化現象を示し、実際現象に近いせん断帯を得ることができる。また、局所的に各々の要素に着目した場合、せん断帯近傍の要素は破壊線に到達した後硬化現象を示すのに対して、せん断帯上の要素はひずみが進行して行くにつれて軟化現象を示すことがわかった。

((参考文献))

1) Nakai & Matsuoka (1986) : S&F 26 (3) 81～98

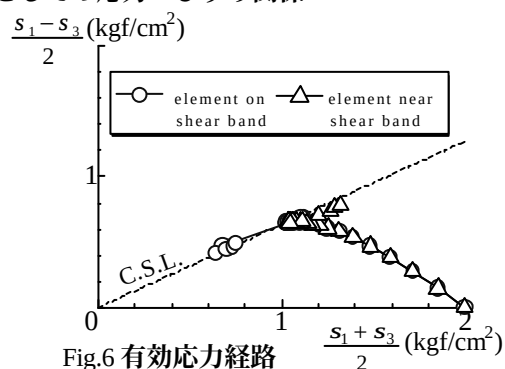


Fig.6 有効応力経路