

苦小牧高専 正会員 池 浦 勲
 北大工学部 正会員 三田地 利之
 清水建設 正会員 芳 岡 良一

1. まえがき 異方圧密履歴を受けた粘土について種々のせん断経路で排水せん断試験を実施して、その応力-ひずみ特性を明らかにするとともに、異方圧密を受けた粘土を主応力の反転が生ずる方向にせん断するときには等方硬化の概念が成立しないことを示し、移動硬化の概念および非直交性を表すパラメータを導入した新しい応力-ひずみ式を得た。

2. 実験 実験に用いた試料は前報¹⁾と同じ再圧密粘土で、その物理的性質は $L.L.=63\%$, $P.I.=30\%$, $G_s=2.65$ である。実験はFig. 1に示すように平均有効主応力 $p=280\text{kPa}$ までKoa圧密(経路OA)およびC η 圧密(経路OB)した試料についての p -一定圧縮・伸張試験(KoaCP, KoaCPE, C η CP, C η CPE)とKoa圧密した試料についての応力比一定試験(KoaC η -経路OAE)、応力増分比一定試験(KoaIRC-経路OAF)の計6種類である。Koa圧密($\varepsilon_a=0$)は軸方向の変位を拘束しながら側圧を段階的に上げるもので、6日間で圧密した。C η 圧密は応力比 $\eta=0.354$ で一定となるように軸圧、側圧を段階的に調節するもので、これも6日間で圧密した。せん断については、載荷は12時間間隔で段階的に行い、所定の応力点に達したのち初期応力点まで同一経路で除荷を行った。解析においてはFig. 1の破線で示されるKor圧密($\varepsilon_r=0$)後の各種応力経路下での排水せん断試験結果(前報)も用いた。

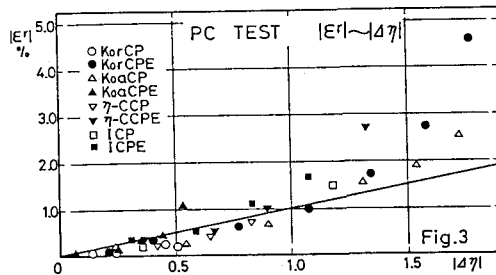
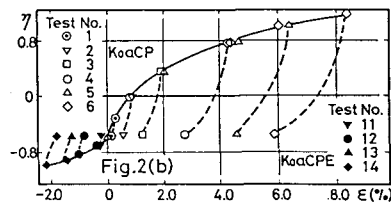
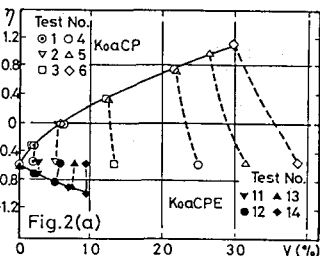
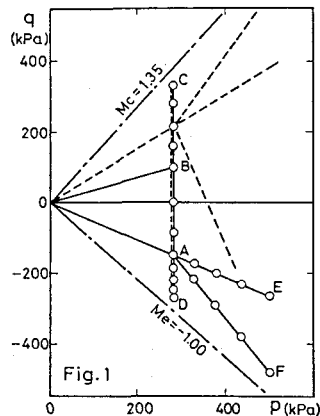
3. 実験結果 以下の記述において体積ひずみを v 、せん断ひずみを ε ($\varepsilon = \varepsilon_a - v/3$) とし、それらの塑性成分を v^p , ε^p と表す。

Fig. 2はKoaCP, KoaCPEの応力-ひずみ関係を示したもので、実線は載荷過程、破線は除荷過程を表す。(a)は v と η の関係を示しており、ダイレイタンスには可逆成分が存在しないことが分かる。また、(b)は ε と η の関係を示しており、 ε には可逆成分が存在している。なお、KoaIRCに関して同様に ε の可逆成分が見られた。

Fig. 3は p -一定圧縮・伸張試験における ε の可逆成分 $|\varepsilon^r|$ と $|\Delta\eta|$ の関係を示したもので、図に示すように直線近似することにより剛性率 G を用いて ε^r を次式で表すことができる。

$$d\varepsilon^r = d\eta \cdot p_o / 2G \quad (G/p_o \approx 50) \quad \text{----- (1)}$$

4. 応力-ひずみ挙動のモデル化 異方圧密履歴を受けた粘土に対してFig. 4に示すようにせん断方向が圧密時と反転する方向に p -一定でせん断を行うとき、従来のModified Cam-Clay理論²⁾による降伏曲面は等方硬化によりABCのようになり、応力状態がBCに到達するまでは土要素は降伏せずびがが生じ得ないはずであるが、前述のように実験結果は全く異なっている。したがって本報告では、実験結果を説明するために、主応力の反転が生ずる方向にせん断するときには、移動硬化の概念を導入することによりFig. 4



のような新しい降伏曲面を考え、さらに異方性の影響を考慮するため非関連流れの立場に立ち、降伏曲面は塑性ひずみ増分ベクトルに必ずしも直交しないとして新しい応力～ひずみ式を導くことにする。まず、塑性ひずみ増分比を次式のように仮定する。

$$d\epsilon^p/d\nu^p = a(\eta - b) / [(M - b)^2 - (\eta - b)^2] \quad \text{---- (2)}$$

ここでbは異方圧密履歴の影響を表すパラメータでせん断中主応力反転の無い場合はb=0、有る場合はb=η₀(η₀:圧密時の応力比)とする。つぎに、非直交性を表すパラメータA²⁾を導入することにより直交条件を次式のように修正する。

$$d\epsilon^p/d\nu^p = -1/A \cdot (dp/dq) \quad \text{---- (3)}$$

パラメータAはη=b(せん断原点)でA=1, η=M(破壊時)でA=0となるように次式のように変化するものと仮定する。

$$A = 1/[1 - b(d\epsilon^p/d\nu^p)] \quad \text{---- (4)}$$

(1),(2),(3)の仮定のもとにCam-Clay theoryと同様の誘導過程により次式のような応力～ひずみ式が得られる。

$$d\nu = \frac{\lambda}{1+e_0} \left[\frac{dp}{p} + (1 - \frac{\kappa}{\lambda}) \frac{a(\eta - b)d\eta}{(M - b)^2 + (a - 1)(\eta - b)^2} \right] \quad \text{---- (5)}$$

$$d\epsilon = \frac{\lambda - \kappa}{1+e_0} \frac{a(\eta - b)}{(M - b)^2 - (\eta - b)^2} \left[\frac{dp}{p} + \frac{a(\eta - b)d\eta}{(M - b)^2 + (a - 1)(\eta - b)^2} \right] + \frac{p_0 d\eta}{2G} \quad \text{---- (6)}$$

(5),(6)式にKoa圧密非排水試験より得たMc=1.35, Me=-1.00、等方圧密・膨張試験より得たλ=0.131, κ=0.039、さらに表1に示すa, b, e₀の値を代入して予測を行ったのがFig. 5, 6である。ただし、パラメータaは実測のη～ν²曲線に最も良く合うように決定したものである。ところで、圧密経路とせん断経路とのなす角度αとパラメータaとの間にはFig. 7に示すように、圧縮試験と伸張試験とでそれぞれ直線関係がみられ、その切片は次式で示されるK₀条件から得られたK_{0r}, K_{0a}圧密時のaの値にほぼ一致した。すなわち、dε^p/dν^p≡dε/dνとすると

$$\text{Kor圧密}(\epsilon_r=0) \quad a\eta/(M^2 - \eta^2) = 2/3 \quad a = 1.07 \quad \text{---- (7)}$$

$$\text{Koa圧密}(\epsilon_a=0) \quad a\eta/(M^2 - \eta^2) = -1/3 \quad a = 0.44$$

したがって、理想的には等方圧密後のp一定排水圧縮・伸張試験を実施してそのときのaの値を各一個決定すれば、(7)式との関係からFig. 7のような直線が得られ、せん断方向にかかわらずaの値を推定できることになる。しかしながら、パラメータa, bの物理的な意味に関してはまだ検討の余地が残されている。

5. あとがき 本研究は北郷 繁北大名誉教授の御指導の下に行なわれたもので、実験に関しては昭和58年度北大工学部卒業生木幡行宏、進藤 崇の両君、大学院生斎藤隆宏君および工藤 豊技官に負うところが大きい。ここに記して謝意を表します。

(文献)

- 1) 池浦ら; 土木学会第38回年次講演会 (1983)
- 2) Roscoe and Burland; Engineering Plasticity (1968)
- 3) Jain, S.K.; Fundamental Aspects of the Normality Rule (1980)

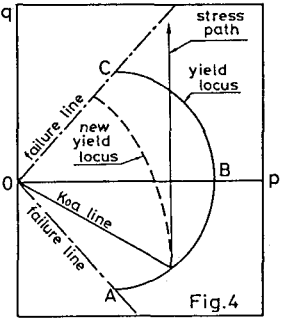


Table 1.

TEST	type	a	b	e ₀
Kor	Comp.	2.0	0	1.22
	Ext.	1.6	0.785	
C η	Comp.	2.4	0	1.23
	Ext.	1.6	0.354	
Koa	Comp.	3.2	-0.536	1.23
	Ext.	0.8	0	

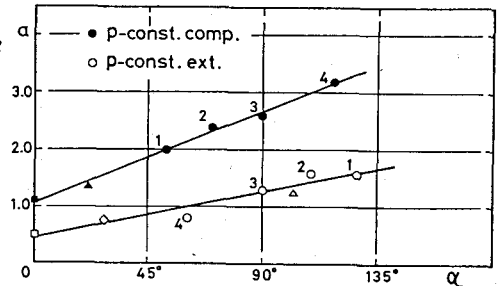
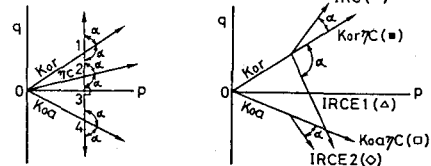
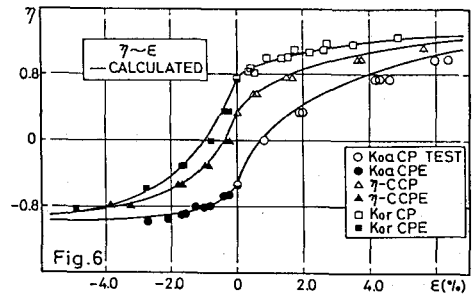
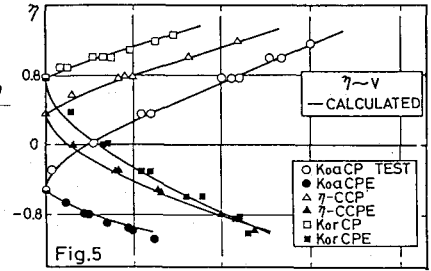


Fig. 7 $\alpha = \pm \{ \tan^{-1}(\Delta q / \Delta p) - \tan^{-1}(\eta_0) \}$