

北大工学部 正員 北郷 繁
 “ “ “ 三田地利之

1. まえがき 土の構成式に関する最近の研究の著しい進展によって、複雑な応力経路のもとでの粘性土の応力-ひずみ挙動もかなりよく予測できるようになって来ている。しかしながら、予測式に用いられる土質定数が真に土に固有の定数とみなせるかどうかなど、定数の決定法も含めて問題点が残されているように思われる。この報告は、等方圧密非排水三軸圧縮試験のデータのみに基づいて K_0 条件で正規圧密および過圧密された粘土の非排水せん断強度を推定する方法について考察したものである。なお、せん断時の応力条件は軸対称圧縮に限っており、圧密時間やせん断速度については考慮していない。

2. 正規圧密粘土の S_u/σ_v' 筆者らは、粘性土のダイレイタンス比 $\eta (= \sigma_1/\sigma_3, \sigma = \sigma_1 - \sigma_3, p = \frac{\sigma_1 + 2\sigma_3}{3})$ の関数 $F(\eta)$ で表されるときに $\sigma_1 - \sigma_3$ の関係式を導き、個々の粘土のダイレイタンス特性を適切に表現し得るような $F(\eta)$ を導入すれば、応力-ひずみ挙動の予測値と実測値との一致度がよいことを示している¹⁾。これによれば、応力比 η で異方圧密された粘土の非排水応力経路は次式で表される。

$$\ln \frac{p}{p_0} = -\frac{1+e_0}{\lambda} \{F(\eta) - F(\eta_0)\} \quad (1) \quad (e_0, p_0 \text{ はせん断初期の間隙比および平均有効主応力, } \lambda = C_\epsilon \approx 3)$$

また、Roscoe らの Cam-clay 式で定数として扱われている膨張指数 K は実験定数としてではなく、限界状態 ($\eta = M$) における条件から (2) 式で与えられ、これと (1) 式とから非排水強度と圧密圧力の比が (3) 式で表される。

$$K = \lambda - (1+e_0)MF'(M) \quad (2) \quad \frac{S_u}{p_0} = \frac{M}{2} \exp \left[-\frac{\lambda}{MF(M)} \{F(M) - F(\eta_0)\} \right] \quad (3)$$

ただし、 $\lambda = 1 - K/\lambda$ 。original および modified Cam-clay 式では、それぞれ $F(\eta) = \frac{\lambda - K}{M(1+e_0)} \eta$ および $F(\eta) = \frac{\lambda - K}{1+e_0} \ln \{1 + (\eta/M)^2\}$ と仮定していることになる²⁾ から、これらと (3) 式とを結び、 $\eta_0 = 3(1-K_0)/(1+2K_0)$ として、 K_0 圧密後の非排水せん断強度と鉛直有効応力との比 S_u/σ_v' を求めると、

$$\left(\frac{S_u}{\sigma_v'} \right)_0 = \frac{3M}{2(3+2\eta_0)} \exp \left\{ -\lambda \left(1 - \eta_0/M \right) \right\} \quad (4) \quad \left(\frac{S_u}{\sigma_v'} \right)_m = \frac{3M}{2(3+2\eta_0)} \exp \left[-\lambda \ln \frac{2}{1 + (\eta_0/M)^2} \right] \quad (5) \quad \begin{array}{l} 0: \text{original} \\ m: \text{modified} \end{array}$$

また、等方圧密の場合は、 $\eta_0 = 0$ として

$$\left(\frac{S_u}{\sigma_v'} \right)_0 = \frac{M}{2} \exp(-\lambda) \quad (6) \quad \left(\frac{S_u}{\sigma_v'} \right)_m = \frac{M}{2} \exp(-\lambda \ln 2) \quad (7)$$

(4) と (6) 式、(5) と (7) 式の比較から分るように、間隙水圧の測定を伴う等方圧密非排水試験を行えば S_u/σ_v' および M の値から λ が計算でき、これと $K_0 = 1 - \sin \phi$ を (4)、(5) 式に代入して K_0 圧密試料の S_u/σ_v' を推定することができる。

B. S_u/σ_v' の予測値と実測値の比較 図-1 は等方圧密非排水試験の S_u/σ_v' および M を用いて (4)、(7) 式から (1)₀、(1)_m を計算し、これを (4)、(5) 式に代入して得られる K_0 圧密試料の S_u/σ_v' の計算値と実測値の比較を示したものである。用いたデータは表-1 に示すもので、Mayne の論文³⁾ に引用されているものおよび筆者らの既報のデータのうち、等方圧密非排水 (CID) および K_0 圧密非排水 (CK₀U) 試験の両方が実施され、かつ過圧密状態での試験結果から λ の値が得られるものを採用した。図-1 でデータのばらつきが大きいのは、 K_0 値が $1 - \sin \phi$ による近似値であること、ダイレイタンス特性が original あるいは modified Cam-clay 式で充分に表現できないことなどによるものと考えられる。したがって、この図から (4)、(5) 式のどちらが良い近似を与えるとも言い難いが、(5) 式の方が (4) 式に比して常に小さい値を与えている。

Mayne は、膨張曲線から K の値を決めにくいということから、圧密試験によるよりもせん断試験結果から λ

の値を計算する方がよいとして、2通りの計算法を示している。一つは(6)式によるものであり、もう一つは $\log S_u/\sigma_v' - \log OCR$ 直線の勾配を Λ とするものである。(OCR:過圧密) Mayne はこの方法によって得られる Λ の値を表-1 のように与えているが、これと(6)および(7)式から計算される $(\Lambda)_0$ および $(\Lambda)_m$ とを比較したのが図-2 である。 $(\Lambda)_m$ の方が実測値との一致の度合いがよいようである。

4. 過圧密状態での S_u/σ_v' 筆者ら⁴⁾は圧密および膨張時の応力条件(等方, K_0)にかかわらず $\log S_u/\sigma_v' - \log OCR$ 直線が平行とみなすことができ、その勾配は $(1-G_s/G_c)$ にほぼ等しいことを報告している。したがって、前記の方法で K_0 正規圧密の S_u/σ_v' が求まれば、等方圧密非排水試験の結果のみを用いて K_0 過圧密状態の S_u/σ_v' の近似値を得ることが出来る。その手順としてつぎの2通りが考えられる。

(A) CIU 試験(正規圧密)による方法

- 1) S_u/σ_v' , M の測定値から(6)または(7)式によって Λ を計算
- 2) M , Λ と η_0 ($= \frac{3(1-K_0)}{1+2K_0}$, $K_0=1-\sin\phi$) を(4)または(5)式に代入して正規圧密状態の $(S_u/\sigma_v')_N$ を計算。(N: 正規圧密)
- 3) $(S_u/\sigma_v')_0 = (S_u/\sigma_v')_N \cdot (OCR)^\Lambda$ の関係から、任意の過圧密比についての $(S_u/\sigma_v')_0$ を得る。(O: 過圧密)

(B) CIU 試験(正規圧密, 過圧密)による方法

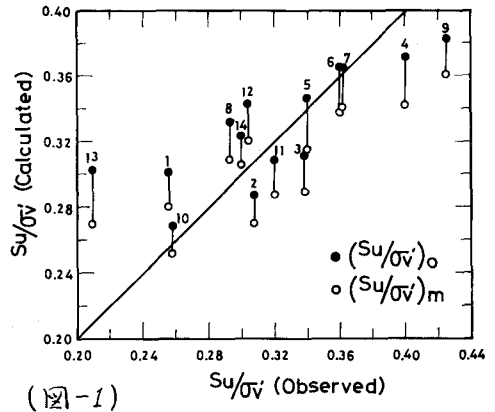
- 1) 正規圧密の試験から $(S_u/\sigma_v')_N$ を, $\log S_u/\sigma_v' - \log OCR$ 直線の勾配から Λ を得る。
- 2) $(S_u/\sigma_v')_N$, Λ の値を(6)または(7)式に代入して M を計算。
- 3) M , Λ と η_0 を(4)または(5)式に代入して K_0 正規圧密状態の $(S_u/\sigma_v')_N$ を計算 → 以下(A)法と同じ。

(A), (B) いずれの方法においても、(6)または(7)式のどちらかを用いることになる。どの式を選択するかは(6), (7)のものになったダイレイタレンシー式のどちらを採用するかにかかっている。すなわち、個々の土のダイレイタレンシー特性をよりよく表す関数を用いて S_u/σ_v' を表せば、実測値との一致度がよいことになる。(参考文献)

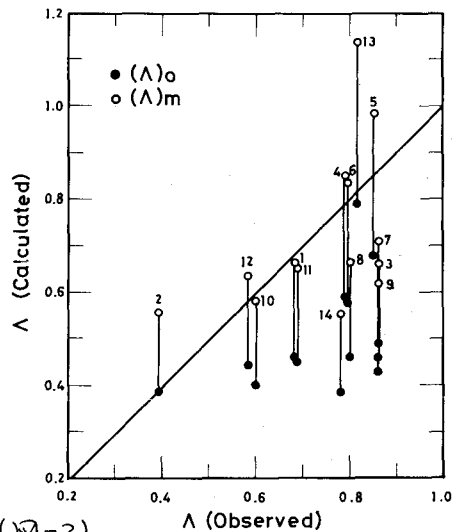
- 1) Mitachi and Kitago; S & F, Vol.19, No.2, 1979.
- 2) Mitachi and Kitago; S & F, Vol.20, No.1, 1980.
- 3) Mayne, P.W.; Proc., ASCE, Vol.106, No. GT11, 1980.
- 4) Mitachi and Kitago; S & F, Vol.16, No.1, 1976.
- 5) 佐野 他; 土質工学会北海道支部技術報告資料16号, 1976.
- 6) 北郷 他; " " " " 18号, 1978.
- 7) 北郷 他; 第16回土質工学研究発表会講演集, 1981.

(表-1)

No.	LL	PI	K_0	ϕ	S_u/σ_v'	Λ	$(S_u/\sigma_v')_0$	$(S_u/\sigma_v')_m$	$(\Lambda)_0$	$(\Lambda)_m$	Reference
1	46	22	1.00	25.9	0.323	0.683			0.460	0.663	Henkel and Sowa (1964)
			0.59	25.0	0.256		0.302	0.281			
2	72	31	1.00	23.9	0.313	0.389			0.383	0.534	Azzarín et al. (1975)
			0.75	22.0	0.308		0.288	0.271			
3	88	58	1.00	27.0	0.338	0.859			0.450	0.663	Crooke and Graham (1976)
			0.48	27.0	0.338		0.312	0.290			
4	52	21	1.00	37.2	0.42	0.787			0.580	0.859	Mitachi and Kitago (1976)
			0.45	35.1	0.40		0.372	0.343			
5	51	21	1.00	35.1	0.36	0.857			0.680	0.857	Mitachi and Kitago (1976)
			0.45	34.9	0.34		0.347	0.315			
6	72	32	1.00	36.1	0.41	0.791			0.580	0.857	Mitachi and Kitago (1976)
			0.47	34.0	0.36		0.366	0.338			
7	55	27	1.00	34.3	0.426	0.86			0.490	0.708	Sano et al. (1976) 5)
			0.49	35.0	0.361		0.366	0.341			
8	78	51	1.00	29.4	0.379	0.80			0.460	0.666	Sano et al. (1976)
			0.56	26.6	0.292		0.332	0.309			
9	94	51	1.00	35.9	0.474	0.86			0.430	0.620	Sano et al. (1976)
			0.51	35.1	0.425		0.383	0.361			
10	79	53	1.00	21.7	0.282	0.595			0.400	0.580	Donaghe and Townsend, 1978
			0.67	18.8	0.258		0.269	0.252			
11	57	36	1.00	26.7	0.339	0.684			0.450	0.659	Donaghe and Townsend, 1978
			0.50	24.3	0.320		0.309	0.288			
12	86	49	1.00	30.2	0.328	0.583			0.440	0.640	Kitago et al. (1978) 6)
			0.51	26.9	0.304		0.343	0.321			
13	57	27	1.00	30.7	0.280	0.811			0.780	1.136	Andersen et al. (1980)
			0.50	—	0.210		0.303	0.270			
14	95	66	1.00	27.4	0.37	0.777			0.380	0.557	Kitago et al. (1981) 7)
			0.56	29.0	0.30		0.324	0.306			



(図-1)



(図-2)