

京都大学防災研究所 正 清水正喜

1. 序 粘性土について、せん断時の応力比ひずみ増分比関係とダイレタンシー特性に基づいて、塑性論を用いることにより、等方正規土の圧縮応力状態にある土の応力-ひずみ特性を調べる試みを行っている。本報告では、既に提案した概念をより明確にしていくために、正のダイレタンシーに加え、負のダイレタンシーを定式化し、さらに正規圧密状態のせん断に関する降伏と破壊するための状態境界面を決定する方法について述べた。応力はすべて有効応力の意味であり、三軸圧縮応力状態に限ることと断つておく。すなわち、応力に関する変数として、 $p = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$, $q = \sigma_1 - \sigma_3$ を用い、応力比は $\eta = q/p$ で与える。 $v = \epsilon_1 + 2\epsilon_3$, $e = e_1 - v/3$ により体積、せん断ひずみと定義する。

2. 正のダイレタンシー p -一定試験に基づいて、正のダイレタンシーを表現する式として(1)、(2)式を得ている：(1979.工費工学研究所発表)

$de = -\lambda/(\eta - D^*) \dots (1)$; $\eta > \eta_{DL}$ のとき、 $de = -\lambda/[\eta - m \cdot \{q/p_e - (q/p_e)_{DL}\} / \{p/p_e - (p/p_e)_{DL}\}] \dots (2)$ ここで、 m は過圧密比 n が大きくなるにつれて大きくなる定数、添字の DL はダイレタンシー限界 (553 東京大学発表) に対応する量を示し、 $\eta_{DL} = M_{DL} \{ \ln(n/n_{DL}) \}^{m_{DL}} \dots (3)$ 。いま m は定数と思っていたが、応力範囲の O.C.R. (1.5~2.0) に対しては、次式： $1/D^* = m^* \{ 1/n - 1/n^* \} \dots (4)$ のように n と双曲線の関係にある (図略)。これは $n \rightarrow n^*$ のときに $D^* \rightarrow \infty$ となるような過圧密比、 m^* , M_{DL} , m_{DL} は定数。表1の諸数値を用いて、破壊に至るまで正のダイレタンシーを示す (Dry 側) の正のダイレタンシーによる割増比の変化量と応力比との関係を計算して図1に示す。O.C.R. 8 の場合について実験値を示したが、(1)~(4)式でよく表わすことがわかる。なお、同図でせん断初期の直線的部分は(4)式に対応して、 $\eta < D^*$ のために直線的になるようにある。

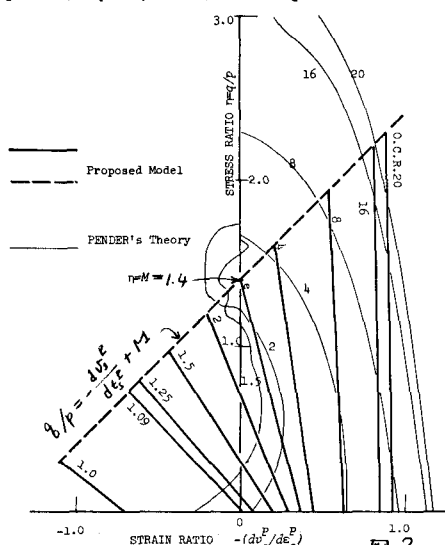
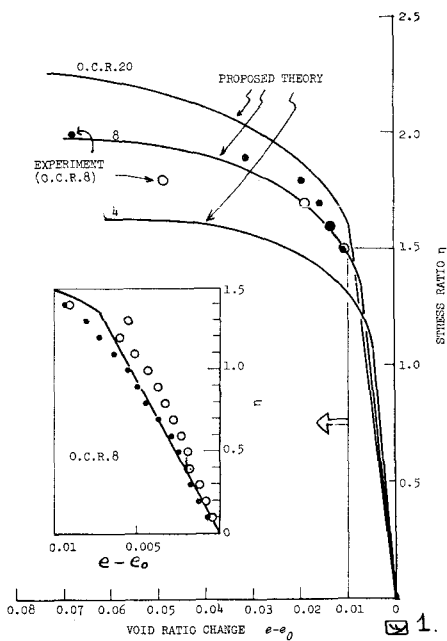


図2.

ある。

3. p -一定時の応力比ひずみ増分比関係 p -一定試験結果により各応力比段階で発生するひずみ増分 (dv_v^p , de_e^p) の比は応力比の関係として(5)式を提案している：(1979.工費工学研究所発表)

$$q/p = (1/\alpha) \{ -dv_v^p / de_e^p - (\mu - M) \} + \mu \dots (5)$$

ここに $1/\alpha$ はせん断の初期から現れる直線部の勾配、 μ はその直線と $\alpha=1$ の直線との交差の応力比で、いずれも過圧密比の関数として $1/\alpha = (1/\alpha_0) \cdot n^{m_0} \dots (6)$, $\mu - \mu_0 = (M - \mu_0) (\ln n)^{m_0} \dots (7)$ で表わされる。ここに α_0 , μ_0 は正規状態に対する α , μ の値であり、 p の値が異なっても同じ値をとるものと思われる。 m_0 , m_0 はいずれも定数。(4)式から $n=e$ (自然対数基底) のとき $\mu=M$ となり、 $n>e$ では確かに $-dv_v^p / de_e^p > 0$ であることがわかり、 $n>e$ を Dry 側、 $n<e$ を Wet 側と定義する。Wet 側では、 $\eta > \mu$ で $\alpha=1$ の直線に沿って応力比が増え $\eta=M$ で破壊し、Dry 側

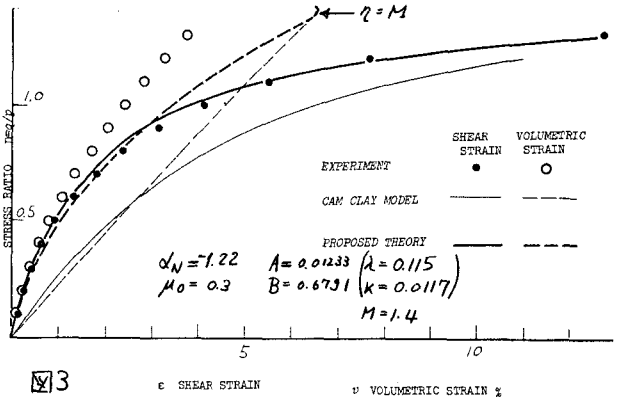
では、 $\alpha=1$ の直線に到達したとき破壊（ μ は破壊応力比を与える）する。(3)~(7)式関係を図2に示した。同

図には PENDER のモデルから p - q 一定応力経路に対して計算された関係も示した。非排水有効応力経路の放物線近似から得られた PENDER の関係と p - q 一定試験結果に基づいて得られた本モデルとが、特に過圧密比の大きい場合に傾向が合っていることは興味深い。

4. 負のダイレタンシー 塑性論を用いて負のダイレタンシーを求める。せん断中に発生するひずみは塑性的であると認めると、せん断に関する塑性ポテンシャル関数を g_s として、(7)式か

ら $\partial g_s / \partial p$, $\partial g_s / \partial q$ ($\eta < \mu$ と $\alpha = 1$, $\alpha \neq 1$; $\eta \geq \mu$ と $\alpha = 1$) を決定できる。正規状態からせん断すると、そのときせん断ひずみ-応力比関係は、KONDER の双曲線関係: $\eta = \varepsilon / (A + B\eta)$; A, B は p が変わっても変らない定数と考えると、 $de_s^p = A d\eta / (1 - B\eta)^2$ 、一方、塑性論より $de_s^p = A_s (\partial g_s / \partial q)$ から $A_s = A d\eta / [(1 - B\eta)^2 (\partial g_s / \partial q)]$ 、従って $du_s^p = A_s (\partial g_s / \partial p)$ を決定できる。図3に計算と実験の結果を示す。提案式はせん断ひずみの突利通をよく表現しているが、ダイレタンシーは応力比が大きくなると過大評価されるようである。しかし、同図に示したように、Cam Clay モデルによる計算値に比べて改良されている。以上により、正・負のダイレタンシー式を与えることができた。表2にまとめて示した。ここに、 D_1, D_2 は式(1), (2)より決まり、 D_{N1}, D_{N2} は $A_s \frac{\partial g_s}{\partial p} / d\eta$ で与えられる。同表中、 n は(3)式の p - q 関係を図2に表わした場合、 $-d\eta/d\eta = 0$ 軸と交わる点を通るような過圧密比である。すなわち、 η_0 は、 $\eta - d\eta/d\eta = 0$ の値を示す。正規状態に対して $de_s \sim d\eta$ 関係から A_s を決定したように、正のダイレタンシーを示すものについて、 $du_s^p = D d\eta$ より A_s を決定することができる。

5. 状態境界面 正規圧密状態では、(5)式の α, μ は一定であるので、それを積分して得られる塑性ポテンシャル関数は、Associated Flow Law を適用して、降伏関数とする事ができる。図4において P からせん断して Q 点に移る場合、 Q 点を通る降伏曲面は、 A 点におけるせん断降伏曲面でもある。同様、 AP 上の他の点から $ABQM$ 線との交点でせん断したときのダイレタンシーが既知であれば降伏曲線 $ABQM$ の $q=0$ 面 (e, p 面) への投影線も決定できる。(Cam Clay モデルでは、飽和線に等しい。) 図5の投影線は、上述の D_{N1}, D_{N2} を用いて計算により求めたものである。等方正規圧密状態よりせん断して非正規降伏状態にある (p, q, e) 空間内の点は、降伏曲線の縮小(軟化)が生じない材料と看做して、状態境界面を与える。結局降伏曲線 $ABQM$ とその投影線は状態境界面を決定するものである。



		O.C.R.	DILATANCY	
N.C.		n=1	Negative	$0 < \eta < \mu_0$ $D_{N1}(\eta)$
				$\mu < \eta < M$ $D_{N2}(\eta)$
O.C.	Wet	$1 < \eta < \eta^*$	Negative	$0 < \eta < \mu$ $D_{N1}(\eta)$
				$\mu < \eta < M$ $D_{N2}(\eta)$
		$n^* < \eta < n$	Positive	$0 < \eta < \mu_0$ $D_1(\eta, e)$
			Negative	$\eta_0 < \eta < \mu$ $D_{N1}(\eta - \eta_0)$
		$n^* < \eta < e$		$\mu < \eta < M$ $D_{N2}(\eta - \eta_0)$
			Positive	$0 < \eta < \eta_{DL}$ $D_1(\eta, e)$
Dry	$e < n$			$\eta_{DL} < \eta < \eta_0$ $D_2(\eta, e)$
			Negative	$\eta_0 < \eta < \mu$ $D_{N1}(\eta - \eta_0)$
				$\mu < \eta < M$ $D_{N2}(\eta - \eta_0)$
			Positive	$0 < \eta < \eta_{DL}$ $D_1(\eta, e)$
				$\eta_{DL} < \eta < \mu$ $D_2(\eta, e)$

NOTE: $du_s^p = D d\eta$

表2

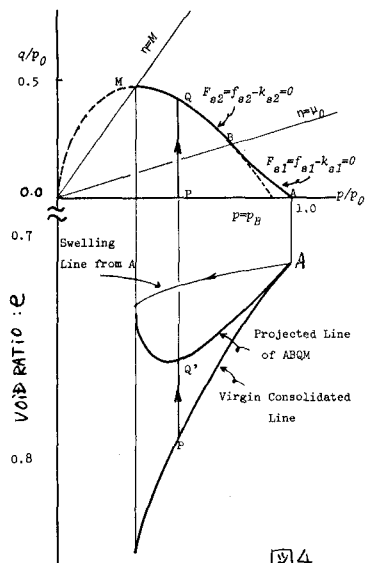


図4