

異方圧縮を受けた不飽和土の力学挙動について

山口大学工学部 正員 村田秀一 正員 兵動正幸
山口大学工学部 正員 安福規之 学生員 〇館上和史

1. まえがき

これまで筆者らは、等方圧縮を受けた不飽和粘性土の応力-ひずみ挙動をサクシオンに着目して実験的に調べてきた¹⁾²⁾。本報は、サクシオン一定の条件で異方圧縮を受けた不飽和粘性土の応力-ひずみ挙動について実験的な検討を加えたものである。

2. 試料および実験方法

今回実験に用いた試料の指数的性質は表1に示している。供試体はモールド内で所定の間隙比になるように締固めて作成する。用いた応力パラメータは次のようである。 $p=(\sigma_1+2\sigma_3)/3-u_a$, $q=(\sigma_1-u_a)-(\sigma_3-u_a)$, $S_u=u_a-u_w$, $v=\varepsilon_1+2\varepsilon_3$, $\varepsilon=2(\varepsilon_1-\varepsilon_3)/3$, $\eta=q/p$, $\eta^*=q/(p+p_r)$,

本報では、まず表2と図1に示すような S_u 一定の応力経路のもとで等方圧縮試験及び応力比を0.3, 0.6, 0.9, 1.2にした異方圧縮試験を行い、その後 S_u を一定に保った状態で p 一定せん断試験を実施した。なお、図1の添字 n (=1,2,3,4)は、それぞれ応力比0.3, 0.6, 0.9, 1.2で異方圧縮を行った場合に相当する。サクシオンは、 u_w を大気圧に解放し、 u_a を供試体上部より強制的に加えることにより与えられる。また、载荷は応力制御で行った。試験は、それぞれ $p=10\text{kPa}$, $q=0\text{kPa}$ の条件で点 A_0 ($S_u=0\text{kPa}$)、点 B_0 ($S_u=25\text{kPa}$)、点 C_0 ($S_u=100\text{kPa}$)を初期状態として行った。なお、実験手法の詳細については参考文献¹⁾に詳しく述べている。

3. 実験結果と考察

応力-ひずみ挙動について：図2は、異方圧縮および p 一定せん断過程における q と軸ひずみ ε_1 の関係を表したものである。(a)図は、 $S_u=25\text{kPa}$ の条件で、各種の応力比で異方圧縮を行った試験結果を、また(b)図は、 $\eta=0.9$ の条件で、 $S_u=0, 25, 100\text{kPa}$ での結果をそれぞれまとめて表したものである。これらの図から、1) 異方圧縮過程における q と ε_1 の関係は、ほぼ直線関係にあること、2) S_u の値が一定であれば η の値に関わらず $q-\varepsilon_1$ 関係の勾配は変化しないこと、3) 応力比が同じであっても S_u が異なると、その勾配は変動すること、4) せん断破壊時の q_r (表2に示す)は、圧縮経路の違いによる影響を受けずに、 S_u に依存していることなどがわかる。図3は、異方圧縮過程における $e-\log p$ 関係を示している。(a)図は、 $S_u=25\text{kPa}$ の条件で η をパラメータとして表したものであるが、 η が大きい程間隙比の変化が大きくなる傾向がみられる。また $p=100\text{kPa}$ あたりから $e-\log p$ 曲線はほぼ直線的に変化し、その勾配は η の大きさに関わらずほぼ一定値を示す。(b)図は、 $\eta=0.6$ の条件で S_u をパラメータとして表したものであるが、 S_u は間隙比の変化を抑制する方向に作用していることがわかる。

ひずみ増分比と応力比の関係：図4は、異方圧縮過程における体積ひずみ v とせん断ひずみ ε の関係を表したものである。(a),(b),(c)図は、それぞれ $S_u=0, 25, 100\text{kPa}$ の条件で異方圧縮試験を行った結果をまとめて表している。(a)図に見られるように $S_u=0\text{kPa}$ (飽和)の場合には、応力比に依存したかたちで $\varepsilon-v$ 関係は直線的に変化して、ひずみ増分比($=dv/d\varepsilon$)はほぼ一定の値を示す。しかし(b),(c)図と、サクシオンの値が大きくなるにしたがって $\varepsilon-v$ 関係には直線性は見られなくなっている。この理由のひとつとして、このことは、破壊時の応力状態を $p-q$ 平面に表した破壊包絡線(図5に示す)が q 軸に対して切片をもち、そのストレスダイラテンシー特性は、今回用いた応力比 η よりも図5に示す p_r の値を考慮にいれた応力比 η^* ($=q/(p+p_r)$)によってうまく表現できるということと²⁾、密接に関連しているように思われる。

図6は、図4から得られたひずみ増分比と η との関係を S_u 別にプロットしたものである。 $S_u=100\text{kPa}$ の場合でのひずみ増分比は、上記したようにひずみレベルによってばらつきがあるので、ここでは平均値をとって評価した。この結果を見る限り、異方圧縮試験結果から得られる $\eta-dv/d\varepsilon$ 関係にはサクシオンの影響が見られる。図7は、図5に表した p_r を考慮に入れた応力比 η^* をパラメータとして、異方圧縮過程におけるひずみ増分比についてまとめてみたものである。(a),(b)図は、それぞれ S_u が $25\text{kPa}, 100\text{kPa}$ での結果である。(b)図において多少のばらつきが見られるが、 $\eta^*-dv/d\varepsilon$ 関係は、サクシオンの違いによらずほぼまとまった曲線状を呈することがわかる。このことから、 η^* を一定とした異方圧縮を行えば、この $\eta^*-dv/d\varepsilon$ 関係は曲線状の一点に収束し、一定のひずみ増分比が得られるものと考えられる。

表1 試料の指数的性質

比重	G _s	2.690
液性限界	W _L (%)	62.40
塑性限界	W _p (%)	40.90
塑性指数	I _p	21.50
初期間隙比	e	1.0849 ~ 1.1191
初期飽和度	S _r (%)	84.80 ~ 88.58
初期含水比	w (%)	35.20 ~ 36.13

表2 実験計画及び結果

Test No.	Su (kPa)	P (kPa)	η	q f (kPa)	Stress Path
1	0	80	0	114	A0-G-*
2	0	160	0	216	A0-J-*
3	0	320	0	422	A0-D0-*
4	0	320	0.3	-	A0-A1-D1
5	0	320	0.6	-	A0-A2-D2
6	0	320	0.9	419	A0-A3-D3-*
7	25	80	0	159	B0-H-*
8	25	160	0	261	B0-K-*
9	25	320	0	459	B0-E0-*
10	25	320	0.3	453	B0-B1-E1-*
11	25	320	0.6	453	B0-B2-E2-*
12	25	320	0.9	453	B0-B3-E3-*
13	25	320	1.2	441	B0-B4-E4-*
14	100	80	0	208	C0-I-*
15	100	160	0	335	C0-L-*
16	100	320	0.6	-	C0-C2-F2
17	100	320	0.9	535	C0-C3-F3-*
18	100	320	1.2	534	C0-C4-F4-*

* はせん断破壊を示す

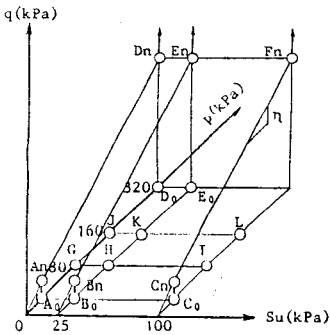


図1 圧縮経路

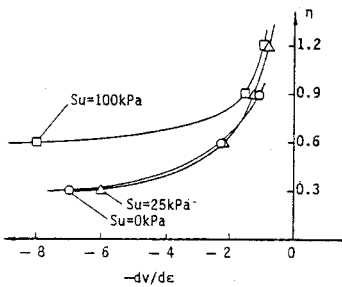


図6 $\eta - dv/dc$ 関係

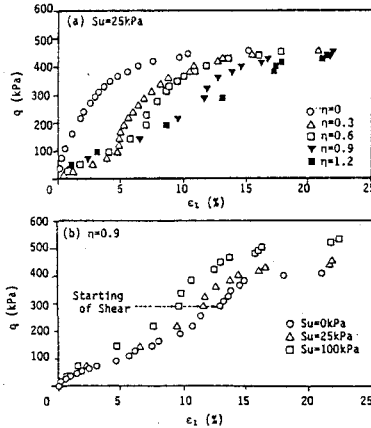


図2 軸差応力-軸ひずみ関係

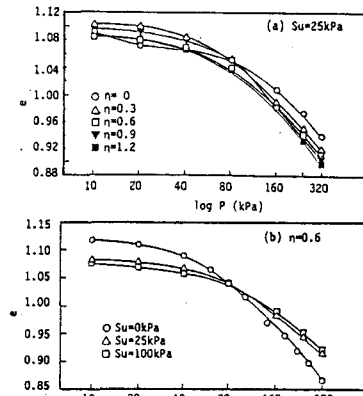


図3 $e - \log P$ 関係

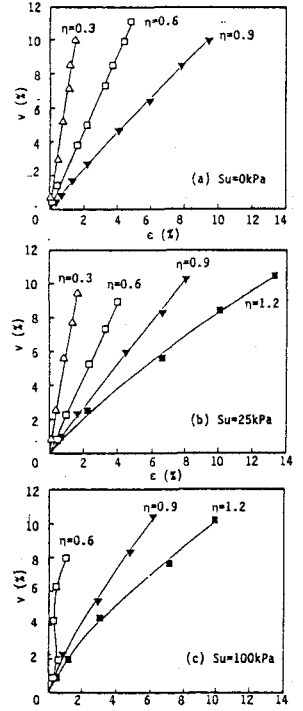


図4 $v - e$ 関係

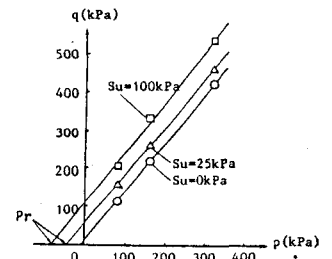


図5 破壊包絡線

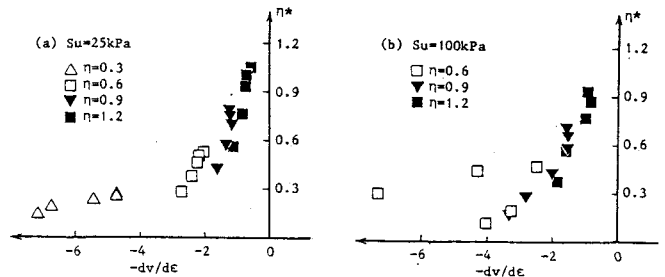


図7 $\eta^* - dv/dc$ 関係

- 参考文献: 1) 村田・兵動・安福: 不飽和土の工学的性質研究の現状シンポジウム, pp.11-16, 1987.
 2) 村田・兵動・安福・館上: サクションに着目した不飽和土の弾塑性挙動について, 第23回土質工学研究発表会, pp.567-658, 1988.