

山口大学工学部 正 員 安福規之 山口大学工学部 正 員 村田秀一
山口大学工学部 正 員 兵動正幸 山口大学大学院 学生員 小西義夫

1. まえがき 一般に砂の降伏は異方的であると考えられているが、これを詳細に調べた研究は少ない。著者らは、これまでに砂の降伏のせん断履歴・圧縮履歴依存性について、実験的見地から定量的な評価を行ってきた^{1)~3)}。本報告では主に、砂の降伏挙動の異方的な特性をせん断履歴に注目して検討したものである。

2. 試料及び供試体 実験に用いた試料は、粒径を $2.0\text{mm}\sim 74\mu\text{m}$ に粒度調整した海砂である(以下秋穂砂と称す)。その主な指数的性質は、土粒子比重 $G_s=2.65$, 均等係数 $U_c=2.56$, 50% 粒径 $=0.48\text{mm}$ である。本研究では、直径 50mm , 高さ 120mm , 初期間隙比 $0.64\sim 0.67$ (相対密度約 90%), 初期乾燥密度 $1.58\sim 1.62(\text{g}/\text{cm}^3)$ の飽和密詰め供試体を用いた。供試体の作製は、ゴム製メンブレンに気乾試料をタンパーで詰め炭酸ガスを通じた後吸水飽和するという方法で行った。

3. 応力ひずみ挙動の特性

(1) 応力経路 本研究では、図1に示すように等方及び異方圧縮した後、 p 一定圧縮せん断試験を実施した。応力経路 $0-A-F$ は、 A 点($p=0.5\text{MPa}$)まで等方圧縮し、その後 F 点へせん断試験を行う。応力経路 $0-C-F$ は、 C 点($p=0.5\text{MPa}, q=-0.4\text{MPa}$)まで異方圧縮し、その後 F 点へせん断するものである。また、応力経路 $0-A-B-F$ 及び $0-A-C-F$ は、 A 点まで等方圧縮した後 B 点($\eta=-0.4, \Delta\epsilon_{ae}=0.0019, \Delta\epsilon_{ae}=-0.1343(\%)$)及び C 点($\eta=-0.8, \Delta\epsilon_{ac}=0.0036, \Delta\epsilon_{ac}=-0.5986(\%)$)まで、それぞれ伸張側に異なるせん断履歴を加え、 F 点へせん断するものである。なお実験はすべて応力制御方式で行い、実験手法の詳細については参考文献2)に詳しく述べている。ここで、 $q=(\sigma_1-\sigma_3)$, $p=(\sigma_1+2\sigma_3)/3$, $\eta=q/p$ である。

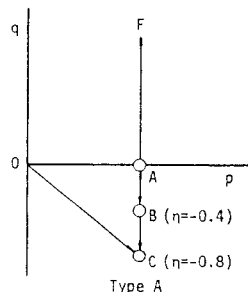


図1 応力経路

(2) せん断履歴が変形挙動に与える影響 図2(a)~(d)は、図1のせん断試験から実験的に得られた応力ひずみ関係を A 点を原点にとり、 $\eta\sim\epsilon, \eta\sim v, \eta\sim\kappa, \eta\sim W$ 関係で整理したものである。ここで W は全仕事、 κ は諸戸らの示した状態量⁴⁾で、 W を p で除し正規化したものであり次式で表される。

$$\kappa = \int dW/p = \int dv + \eta d\epsilon \quad (1)$$

まず応力経路 $0-A-C-F$ と $0-C-F$ の応力ひずみ挙動を比較してみると同じ応力状態である C 点から p 一定試験を行ったにもかかわらず、 $0-C-F$ の ϵ, v, κ, W ともに $0-A-C-F$ のものよりも大きい結果となった。このことは、応力経路が A 点まで等方圧縮した後 C 点までせん断履歴を与えたものと、直接 C 点まで異方圧縮を行った違いによるところから砂の応力ひずみ挙動は異方的であることが示される。つぎに、せん断履歴を与えない応力経路 $0-A-F$ の応力ひずみ曲線と、等方圧縮後 $\eta=-0.4$ 及び $\eta=-0.8$ まで伸張せん断履歴を与えた応力経路 $0-A-B-F$ 及び $0-A-C-F$ から得られた応力ひずみ曲線

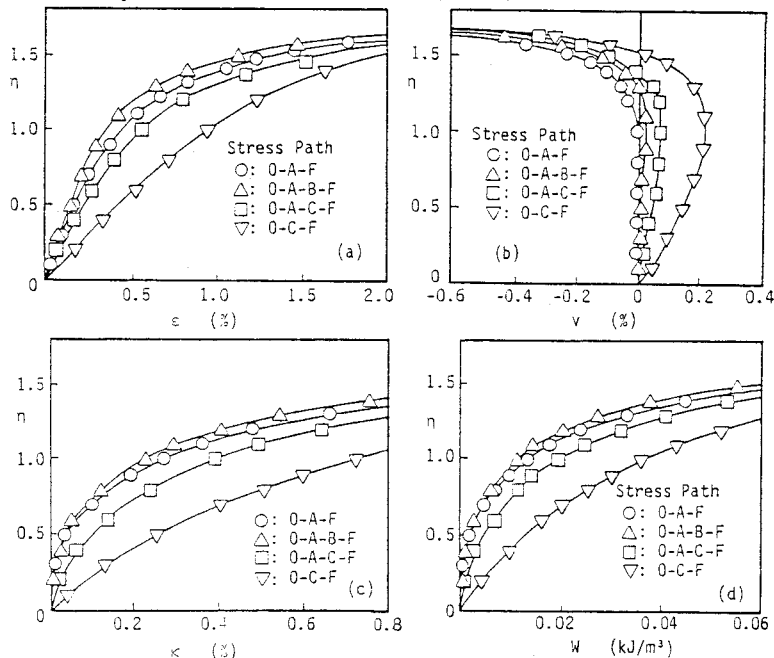


図2 $\eta\sim\epsilon, \eta\sim v, \eta\sim\kappa, \eta\sim W$ 関係

の比較を行う。0-A-Fと0-A-B-Fのひずみ量は概ね等しいが、0-A-C-Fは前述の二つの径路よりも大きいひずみ量を示した。このことは、降伏曲線がせん断径路依存性を有するという立場から考えると説明し易い。すなわち比較的低い応力比のせん断履歴を与えた場合には、降伏曲線が伸張側へ適度に移動するため、伸張領域において生じるひずみ量に大差はない。しかし供試体に、破壊線に近い応力比のせん断履歴を与えた場合には、降伏曲線が全体的に大きく伸張側へ移動するために、圧縮領域での応力ひずみ挙動は前述の場合とは大きく異なるものとなる。また著者らは、圧縮側に各々異なるせん断履歴を与えた後のp一定伸張せん断試験も行ったが、その結果も前述したものと同様の傾向を示すことが確かめられた。ここで $\varepsilon=2(\varepsilon_1-\varepsilon_3)/3$, $v=\varepsilon_1+2\varepsilon_3$ である。

4. 降伏曲線の圧縮履歴依存性

(1) 応力径路 図3の Type Bは、B点(p=1MPa)まで等方的に先行圧縮を行った後、A点まで除荷する圧縮履歴を1回与えたもの、またType Cは同様の圧縮履歴を3回与えたものである。その後、図に示すような種々の応力径路でせん断するものである。表1にはそれぞれの試験から得られた降伏点の応力比およびA-Bの応力径路間で生じた間隙比変化、せん断ひずみの変化を示した。

(2) 応力ひずみ関係 図4 (a), (b)は代表的な応力ひずみ関係を示している。この図から、圧縮履歴の回数が応力ひずみ関係に与える影響は小さいと考えられる。

(3) 降伏曲線の形状 図5 (a)はType B, (b)はType Cの試験から得られたB点に対応する降伏曲線の形状を表している。これらの図は互いによく一致している。このことから等方的な数回の静的圧縮除荷履歴は、密な砂の降伏曲線の形状にさほど影響を及ぼさないと考えられる。

参考文献 1). N.Miura, H.Murata, & N.Yasufuku: S & F, Vol.24, No.1, pp.77~89, 1984. 2) 村田・兵動・安福: 土木学会論文集, No.382, pp.183~192, 1987. 3) H.Murata, & N.Yasufuku: Numerical Methods in Geomech. pp.435~440, 1988. 4) 諸戸・河上: 土質工学論文集, No.229, pp.77~86, 1974.

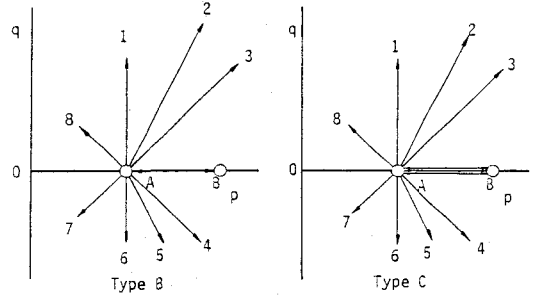


図3 応力径路

表1 実験結果

TEST TYPE	STRESS PATH	VOID RATIO		$d\sigma_{max}$	$d\varepsilon_{as}$ (%)	γ			
		σ_0	σ_{as}			ε	v	κ	ψ
B	0-B-A-1	0.8501	0.8100	0.0101	0.0162	0.33	0.48	0.87	0.87
	0-B-A-2	0.5304	0.8215	0.0091	0.0393	0.88	0.59	0.88	0.81
	0-B-A-3	0.8843	0.8316	0.0106	0.0362	0.40	0.38	0.33	0.38
	0-B-A-4	0.8339	0.8189	0.0095	0.0553	-	-	-	-
	0-B-A-5	0.8620	0.8206	0.0103	-0.0211	-	-0.32	-0.32	-0.38
	0-B-A-6	0.6570	0.8264	0.0098	0.0187	-0.44	-0.44	-0.40	-0.50
	0-B-A-8	0.6452	0.8081	0.0099	-0.0016	-0.70	-	-0.70	-0.75
	0-B-A-7	0.6874	0.8385	0.0081	-0.0098	-0.75	-	-	-
	0-B-A-7	0.6493	0.8036	0.0122	-0.0870	-	-	-	-
	0-B-A-6	0.6552	0.8287	0.0081	0.0887	1.40	1.40	-	-
C	0-B-A-B-A-B-A-1	0.8435	0.8188	0.0101	-0.0584	0.85	0.86	0.86	0.88
	0-B-A-B-A-B-A-2	0.8357	0.8075	0.0091	-0.0204	0.80	0.80	0.88	0.89
	0-B-A-B-A-B-A-3	0.8514	0.8124	0.0106	0.0003	0.38	0.35	0.35	0.39
	0-B-A-B-A-B-A-4	0.8381	0.8078	0.0103	-0.0425	-	-0.35	-0.31	-0.34
	0-B-A-B-A-B-A-5	0.8386	0.8021	0.0098	-0.0925	-0.45	-0.46	-0.47	-0.45
	0-B-A-B-A-B-A-6	0.8509	0.8204	0.0099	-0.0530	-0.73	-	-0.50	-0.80
	0-B-A-B-A-B-A-7	0.8419	0.8113	0.0081	-0.0494	-0.70	-	-	-
	0-B-A-B-A-B-A-8	0.8431	0.8127	0.0081	0.0395	1.40	1.30	-	-

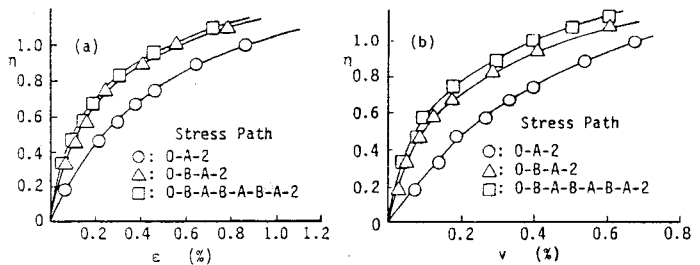


図4 代表的な応力ひずみ関係

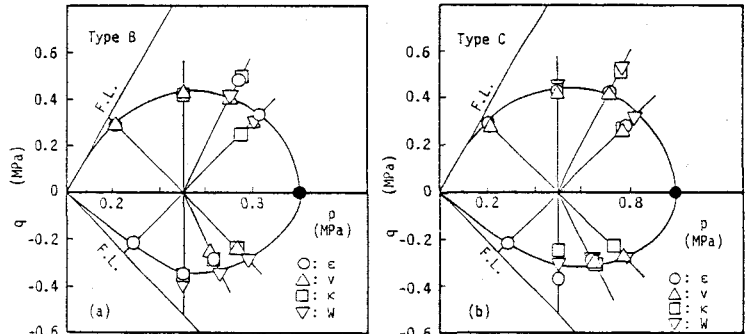


図5 降伏曲線の形状