

立方供試体による粘性土の単純せん断特性

九州大学工学部 正 山内 豊聡 正 巻内 勝彦
 同 学 赤星 哲也 ○学 大坪 正和
 近代技術コンサルタンツ 海老井 寿三 阪本 紀博

1. まえがき

当実験に用いた単純せん断試験機は、平面ひずみ状態におかれた立方供試体に対して、単純せん断応力を載荷し供試体の境界面上に作用する全ての応力成分を直接測定することが可能であり、せん断変形過程での三主応力成分の変化、主軸の回転状況等を明確にできる利点を持っている。今回は、この装置を用いて締めめ粘性土の静的単純せん断試験を行った。これまで、直接せん断について提案されたせん断過程中の主応力軸回転式¹⁾およびこの式に基づいて主応力値を求める方法²⁾は砂に対して示されたものであり、種々の検討が加えられてきた。一方粘性土に対しては、今まで、実験的検証は勿論、理論的考察を報告したものは見当たらない。そこで本論文では上記関係式の粘性土に対する適用の妥当性と問題点について報告するものである。

2. 実験概要

実験装置については他³⁾に詳述してある。実験試料としては白色粘土(市販品:カオリン、 $G_s = 2.71$)を用い、供試体作製は、静的角型締めめのモールドで上下プランジャーを等しく貫入させ、供試体(76mm立方)に等質性をもたせるようにした。供試体の締めめ条件および図中の記号を表-1に示す。供試体は初期異方性をもつため、供試体の締めめ方向と試験時の加圧方向の組合せにより静的変形・強度特性に差異が現われる。⁴⁾当実験では締めめ方向と鉛直拘束応力軸(主軸)とを一致させた。供試体はせん断箱にセットした後、一定の鉛直拘束応力(σ_z)を加え、鉛直ひずみ(ε_z)および側方拘束応力(σ_x, σ_y)が一一定値に落ち着くまで(約30分間)圧密を行った。その後、せん断応力(τ_{zx})をひずみ制御(1mm/min)で載荷し、せん断ひずみ($\delta/2$)が最大8%になるまで続けた。

表-1 諸条件および記号

	$\rho_d = 1.35 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ $\omega = 35 \text{ (%)}$		$\rho_d = 1.25 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ $\omega = 35 \text{ (%)}$	
	$\sigma_z \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$		$\sigma_z \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	
○	1.00		●	1.00
△	2.00		▲	2.00
□	3.00		■	3.00

3. 実験結果 3-1 材料定数 κ 小田・小西は砂のせん断中の主応力軸の回転方向として次式を提案している。¹⁾

$$\tau_{zx}/\sigma_z = \kappa \tan \theta \quad \text{--- ①}$$

ここで、 τ_{zx}, σ_z : 水平面に加えられたせん断応力および鉛直応力

θ : 最大主応力軸と鉛直軸のなす角

κ : 間隙比、粒子構造、鉛直応力などの実験条件に依存しない材料定数

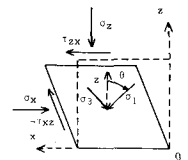
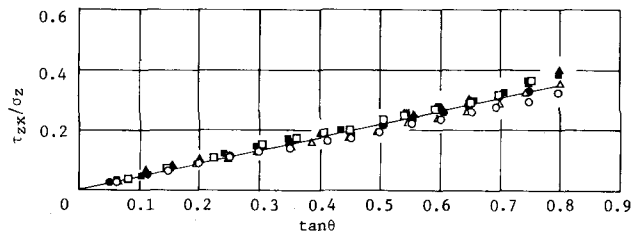


図-1 単純せん断時の主応力軸回転角

図-1は、当装置による単純せん断時の供試体に加わる応力状態ならびに供試体内の一点の主応力成分を示している。図-2は、実験した側方拘束応力を用いて求めた主応力軸回転角の正接($\tan \theta$)と傾軸に、応力比(τ_{zx}/σ_z)と傾軸にとったものである。今回の実験の範囲において、実験値はほぼ直線関係を示し、用いた粘性土に対しては $\kappa = 0.43$ が得られた。この図において、供試体乾燥密度の違いによる値の差異は認められぬが、鉛直応力による影響は若干見られ、鉛直応力の高いほうが

図-2 τ_{zx}/σ_z と $\tan \theta$ の関係

これは砂と異なり試料に粘着力成分がある場合、上記応力比で整理することが不合理であると思われる。なおこの試料については改良型一面せん断試験により、 $C=1.08 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\phi=18.3^\circ$ が得られている。

3-2 主応力値 落合は、①式と
モール応力円の図解法を利用して次式を求
めた。²⁾

$$O_1 = \frac{\tau_{zx}^2 + k O_z^2}{k O_z} \quad \text{--- (2)}$$

$$O_3 = (1 - K) O_2 \quad \text{—————} \textcircled{3}$$

表-2は、図-2により得た定数 $k=0.43$ を用いて、②、③式により求めた最大主応力 σ_1 、最小主応力 σ_3 の理論値と実測値をと1まとめて示したものである。 σ_1 の理論値と実測値の差の割合は、せん断ひずみの増加に伴い大きくなっており、 σ_3 は理論値によればせん断過程中一定であるが、実測値ではせん断ひずみの増加に伴い若干小さくなっている。概略的には理論値と実測値はほぼ近似した値とも言うことが、上記のような変動が見られ、必ずしも理論値と実測値は一致しない。表-2より $\sigma_2 = 1.00 \text{ kgf/cm}^2$ のときの実測値と理論値を用いて2次元モール応力円を作図し、比較したものが図-3である。

4. あとがき

の今回、締固め粘土を用いて静的単純せん断試験を行った結果、応力比 $\tau_{\text{ex}}/\sigma_2$ と主応力軸回転角 $\tan \theta$ の間にほぼ近似的に直線関係が得られた。ただし、鉛直応力による差異が若干見られるため、粘着力成分をも粘性土に対しては、一概に定数 k が実験条件に依存しない材料定数とは決めた。図 2 で得られた $k=0.43$ を用いて落合の提案した簡便法で算定を試みたが、最大主応力 σ_1 、最小主応力 σ_3 も実測値と比較してかなりばらつく。また、せん断過程中最小主応力 σ_3 は必ずしも一定値を示さない。単純せん断過程中の応力状態については、今のところ理論的に k の値と算定する方法がないことや、 k の物理的意味の吟味が不十分であること、さらには、最大主応力 σ_1 および最小主応力 σ_3 がせん断中に変化し、ばらつくことを考慮すれば、現状では、当実験装置のより再試験体の境界面上の応力を直接実測する方法の確立・精度向上が望まれる。

参考文献

- 参考文献 1) Oda, M. and Konishi, J. (1974): "Rotation of principal stresses in granular material during simple shear," Soils and Foundations, Vol. 14, No. 4, pp. 39-53. 2) 落合:「直接せん断試験における力の挙動」, 土質工学会論文報告集, Vol. 15, 4, 1975 3) 山内・巻内・美濃 (1980): 「単相せん断試験機による異方性粘性土の变形特性」, 第35回土学会年次学術講演会要集, III pp. 47-48

$$\sigma_z = 1.00 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad \rho_d = 1.35 \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad \omega =$$

$\sigma_z=1.00 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ $\rho_d=1.35 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ $\omega=35.0 \text{ (\%)}$											
	① (%)	② (kgf/cm ²)	③ (kgf/cm ²)	④ (kgf/cm ²)	⑤ (%)		① (%)	② (kgf/cm ²)	③ (kgf/cm ²)	④ (kgf/cm ²)	⑤ (%)
σ_1	2.97	1.30	1.35	0.05	1.67	σ_3	2.97	0.53	0.57	0.04	7.55
	4.98	1.40	1.51	0.11	7.86		4.98	0.45	0.57	0.12	26.67
	6.94	1.50	1.65	0.15	10.00		6.94	0.44	0.57	0.13	29.55
$\sigma_z=2.00 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ $\rho_d=1.35 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ $\omega=35.0 \text{ (\%)}$											
σ_1	3.05	2.36	2.34	0.02	0.85	σ_3	3.05	1.18	1.14	0.04	3.39
	5.07	2.54	2.55	0.01	0.39		5.07	1.12	1.14	0.02	1.79
	6.95	2.73	2.80	0.07	2.56		6.95	1.05	1.14	0.09	8.57
$\sigma_z=3.00 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ $\rho_d=1.35 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ $\omega=35.0 \text{ (\%)}$											
σ_1	2.98	3.42	3.37	0.05	1.46	σ_3	2.98	1.87	1.71	0.16	8.56
	5.03	3.62	3.56	0.06	1.66		5.03	1.84	1.71	0.13	7.07
	7.03	3.84	3.76	0.08	2.08		7.03	1.84	1.71	0.13	7.07
$\sigma_z=1.00 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ $\rho_d=1.25 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ $\omega=35.0 \text{ (\%)}$											
σ_1	3.04	1.23	1.25	0.02	1.63	σ_3	3.04	0.52	0.53	0.01	1.92
	5.05	1.32	1.37	0.05	3.79		5.05	0.51	0.53	0.02	3.92
	6.98	1.43	1.54	0.11	7.69		6.98	0.46	0.53	0.07	15.22
$\sigma_z=2.00 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ $\rho_d=1.25 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ $\omega=35.0 \text{ (\%)}$											
σ_1	2.97	2.36	2.39	0.03	1.27	σ_3	2.97	1.05	1.06	0.01	0.95
	5.02	2.50	2.55	0.05	2.00		5.02	1.04	1.06	0.02	1.92
	7.00	2.56	2.74	0.09	3.40		7.00	1.01	1.06	0.05	4.95
$\sigma_z=3.00 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ $\rho_d=1.25 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ $\omega=35.0 \text{ (\%)}$											
σ_1	2.99	3.42	3.40	0.02	0.58	σ_3	2.99	1.75	1.71	0.04	2.29
	5.00	3.62	3.63	0.01	0.28		5.00	1.69	1.71	0.02	1.18
	6.96	3.84	3.89	0.05	1.30		6.96	1.64	1.71	0.07	4.27

① せん断ひずみ ② 実測値 ③ 理論値 ④ = ②と③の差 ⑤ = ④ ÷ ② × 100

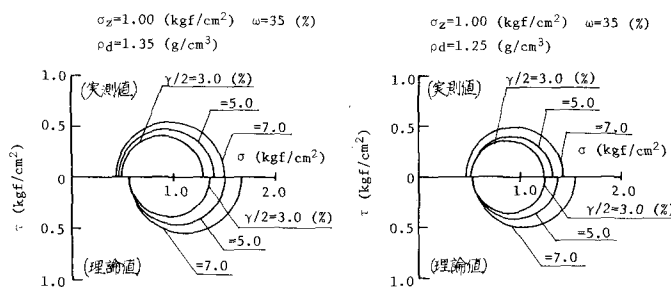


図-3 モール応力円による理論値と実測値の比較