

高拘束圧下におけるシラスのせん断特性

誌名	鹿児島大学農学部学術報告
ISSN	04530845
著者	若松, 千秋 難波, 直彦 三輪, 晃一
巻/号	39号
掲載ページ	p. 293-300
発行年月	1989年5月

高拘束圧下におけるシラスのせん断特性

若松千秋・難波直彦・三輪晃一

(農地工学研究室)

昭和63年8月10日 受理

Drained Shear Characteristics of SHIRASU under High Confining Pressure

Chiaki WAKAMATSU, Naohiko NANBA and Koichi MIWA

(Laboratory of Farm Land Engineering)

緒 言

シラスの地層構造は、大規模な軽石流の堆積の場合、上部シラス・溶結凝灰岩・下部シラスと層をなしている。下部シラスの位置は地表面下数 10m となり、大きな拘束圧を受けた状態にある。高いダムが建設されると、その基礎地盤内では数 10 kgf/cm² の静的あるいは動的な応力が発生することが考えられる。

最近南九州のシラス地帯でも、フィルダムの建設計画が進められていて、基礎地盤土の高拘束圧の下での力学特性を明らかにする必要がある。

従来から行われてきた三軸圧縮試験での拘束圧は、1～6 kgf/cm² の場合がほとんどである。シラスのようなぜい弱な土粒子からなる土では、このような通常の拘束圧下でせん断される場合でも粒子破砕が生じることが指摘されており、大きな圧力を受けるような条件下では、相当大きな粒子破砕が起こるものと考えられる。

本研究では、密づめ供試体とゆるづめ供試体に 50 kgf/cm² までの拘束圧を加えて側圧一定圧密排水せん断試験を行い、高拘束圧下でのシラスのせん断強さ並びに圧縮変形に関する挙動について調べた。

なおここでは、一般的に行われる拘束圧より大きいという意味で、拘束圧 $\sigma_3 = 10 \text{ kgf/cm}^2$ 以上を高圧とする。

試料及び実験方法

試料は鹿児島県始良郡溝辺町で採取した、入戸軽石流の非溶結部のシラスである。試験には 2mm フレイ通過分を用いた。試料の物理的性質は、土粒子比重 2.447, 均等係数 13.6, 含水比 19% である。粒度分布は後述の Fig. 7 に示されている。

供試体は均一にするために、次の方法で作成した。密づめの供試体は内径 50 mm, 高さ 125 mm のモールド用い、自然含水比の試料を 8 層に分け各層 0.75 kg のランマーで 15 回突き固めた。プロクターによって定義された締め固めの仕事量は、JIS 標準突き固め仕事量 (第 1 方法) の約 2 倍になる。

ゆるづめ供試体は三軸室の下部ペDESTAL の上に、直径 50 mm, 高さ 125 mm の 2 つ割形枠を取りつけ、下部ペDESTAL と形枠の内側に 0.4 mm 厚さのゴムスリーブをかぶせ、10 層に分けて試料を入れ、それぞれの層を突き棒で軽く押さえた後、上部ペDESTAL をかぶせてゴムスリーブを O リングで締め付けた。形枠は供試体の自立を助けるために、三軸室に水を満たした後取りはずした。

試験は拘束圧 $\sigma_3 = 1 \sim 6 \text{ kgf/cm}^2$ の場合は標準的な三軸圧縮試験機で行い、 $\sigma_3 = 10 \sim 50 \text{ kgf/cm}^2$ では高圧三軸圧縮試験機を使用した。後者の場合試料を包むゴムスリーブは、標準的な三軸圧縮試験に用いられる厚さの 2 倍、0.4 mm 厚さのもを用いたが、それによる圧縮強度への影響はないもの考えられる³⁾ ので、ここでは考慮していない。

高圧三軸圧縮試験機の構造は標準的な三軸圧縮試験機と変わらない。ただ、三軸室の強度を許容圧力 50 kgf/cm² に増したのと、拘束圧を加えるのに三軸室に水を満たした後、三軸室上部より北村等²⁾ が簡便で経済的であるとしている、市販の窒素ガスポンプを用いて所定の拘束圧を加えた。

実験は側圧一定圧密排水試験で、ひずみ制御型の圧縮試験機である。また軸圧縮速さを 1%/min とし、軸ひずみ量は最大のもので約 40% に達するまで圧縮を行った。

各試験段階での密度を相対密度で表すために、最大・最少間隙比を求めた。最大間隙比は、空気乾燥

試料を内径 10 cm, 高さ 12.5 cm の円筒モールドに、スプーンで静かに入れたときの密度から求めた。最少間隙比は、自然含水比の試料を JIS A-1210 の第 1 方法で締め固め回数を増し、密度が一定値に落ち着いた値を採った。

実験結果及び考察

1. 軸ひずみと軸差応力及び体積ひずみの関係

拘束圧の違いによる密づめ・ゆるづめの供試体の軸ひずみ $\epsilon = \Delta L/L_c$ に対する軸差応力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) と体積ひずみ $\epsilon_v = \Delta V/V_c$ の関係を Fig. 1 及び Fig. 2 に示す。Lc と Vc は圧密終了時の高さと同体積である。また各試験条件で行った三軸圧縮試験結果を Table 1 に示す。

これらの図と表によって密づめ供試体とゆるづめ供試体の性質を比較すると、本研究における拘束圧の範囲では、 $(\sigma_1 - \sigma_3) - \epsilon$ 曲線の初期接線勾配は常に密づめ供試体の方が急である。このような曲線の形の違いは、Table 1 に示した変形係数 E_{50} で比較できる。すなわち、密づめ供試体の変形係数がゆるづめ供試体の変形係数より常に大きい。

拘束圧 $\sigma_3 = 10 \text{ kgf/cm}^2$ 以下の結果を示した Fig. 1 では、密づめ供試体はゆるづめ供試体に比べ最大軸差応力値 $(\sigma_1 - \sigma_3)_t$ は大きい。軸差応力最大時に供

試体は破壊強さに達したと考える。破壊時の軸ひずみ ϵ_t は、密づめ・ゆるづめ供試体とも拘束圧の増大につれて大きくなり、同じ拘束圧ではゆるづめ供試体の値が非常に大きい。

体積ひずみと軸ひずみの関係では、密づめ供試体は $\sigma_3 = 3 \text{ kgf/cm}^2$ までは初め収縮し、その後膨張に転じ、その膨張量は拘束圧が小さいほど大きい。 $\sigma_3 = 6 \text{ kgf/cm}^2$ 以上では膨張はみられなくなる。ゆるづめ供試体では膨張することなく収縮のみで、拘束圧が大きいほど収縮量が大きい。

つぎに拘束圧 $\sigma_3 = 20 \sim 50 \text{ kgf/cm}^2$ の Fig. 2 と Table 1 をみると、 $\sigma_3 = 30 \sim 50 \text{ kgf/cm}^2$ では密づめ・ゆるづめ供試体の最大軸差応力は同一の値を示すようになる。この同じ最大軸差応力を示す拘束圧は、豊浦標準砂の場合 $75 \sim 125 \text{ kgf/cm}^2$ であることが知られている⁴⁾。しかし軸差応力と軸ひずみ曲線の形は、低拘束圧の場合と同様にゆるづめ供試体の方がその曲線はなだらかである。

体積ひずみと軸ひずみの関係は、密づめ・ゆるづめ供試体とも収縮のみで、 $\sigma_3 = 30 \sim 50 \text{ kgf/cm}^2$ の間では拘束圧の影響は見られなくなる。しかし、ゆるづめ供試体の方が収縮量は大きい。

2. 間隙比とダイラテンシーレイトの変化

粒状土が排水せん断を受けると、必ず体積変化を

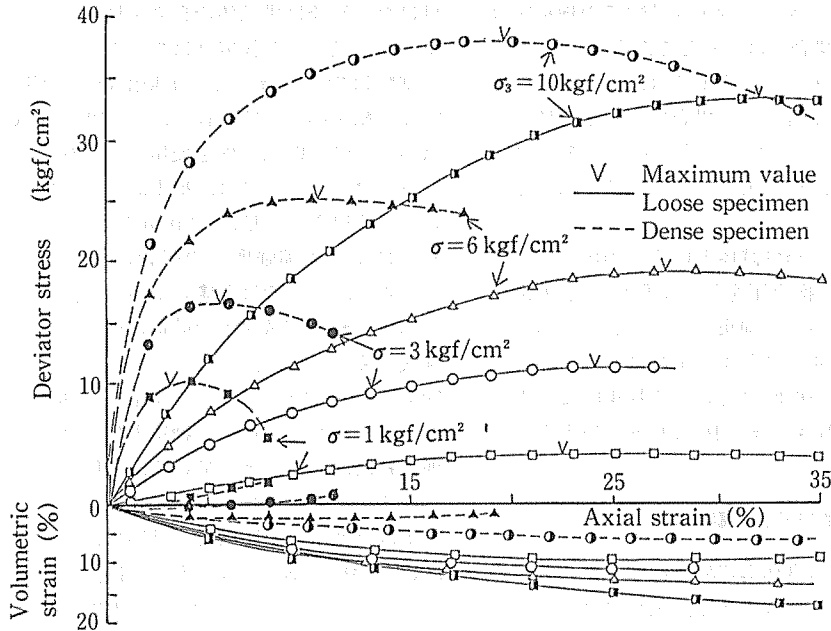


Fig. 1 Relations of axial strain and deviator stress or volume change in drained triaxial compression tests of confining pressure from 1 to 10 kgf/cm²

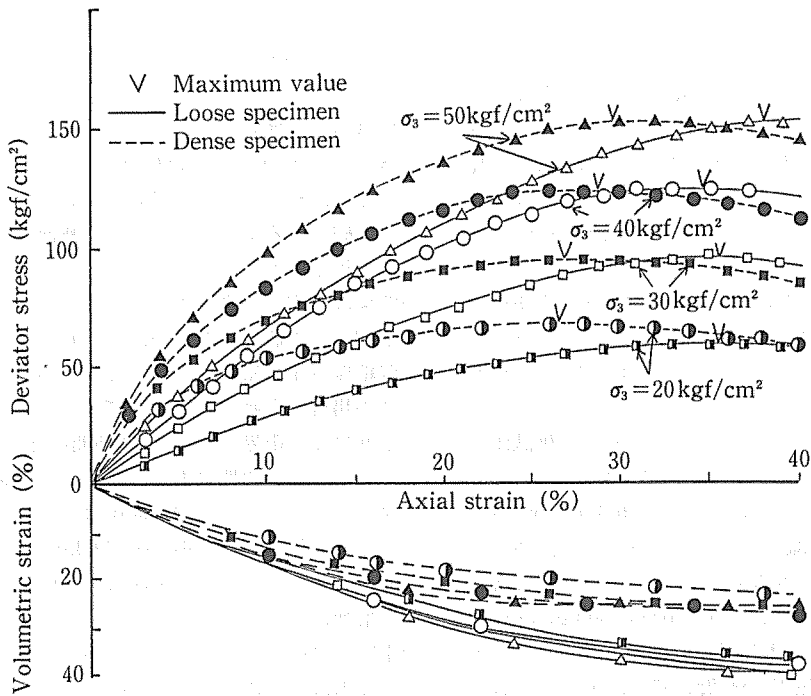


Fig. 2 Relations of axial strain and deviator stress or volume change in drained triaxial compression tests of conifing pressure from 20 to 50 kgf/cm²

Table 1. The results of drained triaxial compression tests

Confining Pressure σ_3 (kgf/cm ²)	Situation of specimen	Initial relative density (%)	Relative density after consolidation (%)	The various values when the maximum deviator stress was shown				Modulus of deformation
				Deviator stress (kgf/cm ²)	Axial strain (%)	Volumetric strain (%)	Relative density (%)	
1	Dense	79.6	80.7	7.8	3.2	-0.8	78.4	975
	Loose	-2.5	20.0	4.2	18.0	5.3	44.7	30
3	Dense	79.6	82.9	16.6	5.6	-0.1	82.9	830
	Loose	2.0	35.7	11.4	24.0	10.6	60.5	104
6	Dense	79.6	85.2	25.3	10.4	1.7	86.5	1411
	Loose	8.8	42.5	19.2	27.6	13.0	75.1	143
10	Dense	78.4	84.0	38.0	19.7	5.4	95.3	1187
	Loose	5.4	52.6	32.7	32.2	15.8	90.8	216
20	Dense	79.6	89.7	66.9	26.3	10.3	111.0	817
	Loose	8.8	71.7	62.3	35.0	18.0	112.1	284
30	Dense	79.6	93.0	94.5	27.2	12.0	117.8	965
	Loose	16.6	75.8	92.7	35.7	19.3	125.6	378
40	Dense	80.7	99.8	123.6	28.8	12.3	123.4	981
	Loose	14.4	93.0	122.9	34.9	18.8	130.1	586
50	Dense	78.4	100.9	151.1	29.8	11.8	123.4	1713
	Loose	8.8	94.2	151.7	36.5	18.3	131.2	637

伴う。この体積変化はダイランシーと呼ばれており、粒子の骨組み構造の変化や間隙の変化によって生じるもので、砂の強さに影響を及ぼす重要な因子の一つである。応力ひずみ曲線において、軸ひずみの増分 $d\varepsilon$ に対する体積変化の増分 $d(\Delta V/V)$ の比 $d(\Delta V/V)/d\varepsilon$ はダイランシーレイトと呼ばれている。軸差応力最大時、すなわち供試体破壊時のダイランシーレイトを求め、各試験過程での間隙比と共に拘束圧との関係を示したのが Fig. 3 と Fig. 4 である。初期間隙比は密づめ供試体の場合 $e_0 = 0.88 \sim 0.90$ 、ゆるづめ供試体 $e_0 = 1.40 \sim 1.52$ の範囲にあった。

圧密後の間隙比の変化を見ると、密づめ供試体の場合は $\sigma_3 = 10 \text{ kgf/cm}^2$ 以下では減少量は小さいが、それを越えると大きく減少し、 $\sigma_3 = 40 \text{ kgf/cm}^2$ 以上になると間隙比の減少量はまた小さくなる。ゆるづめ供試体では、 $\sigma_3 = 40 \text{ kgf/cm}^2$ までは拘束圧の増大にともなって小さくなるが、40から 50 kgf/cm^2 の間では、密づめ供試体と同様にほとんど同じ値を示す。しかし、初期密度の影響は残り、密づめ供試体の方が小さい。

最大軸差応力時の間隙比をみると、密づめ供試体で $\sigma_3 = 3 \text{ kgf/cm}^2$ 以下では、圧密後の間隙比より大きくなるが、 $\sigma_3 = 6 \text{ kgf/cm}^2$ 以上ではゆるづめ供試体と同様に、拘束圧の増大に伴って小さくなっている。

初期密度の違いによる間隙比の変化量の違いを比較すると、 $\sigma_3 = 10 \text{ kgf/cm}^2$ 以下では密づめ供試体の

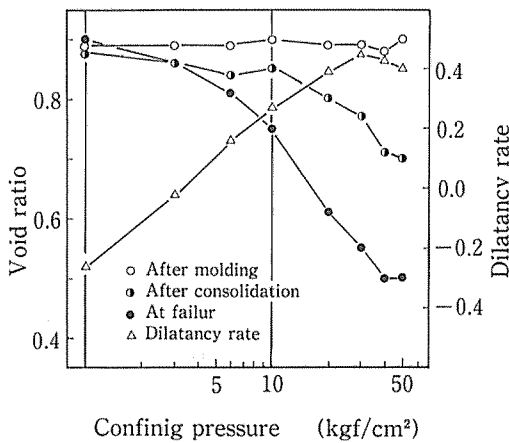


Fig. 3 Changes of void ratio and dilatancy rate with the increase of confining pressure at dense sample.

方が小さいが、 $\sigma_3 = 20 \text{ kgf/cm}^2$ でほとんど等しくなり、 $\sigma_3 = 30 \text{ kgf/cm}^2$ 以上では、逆にゆるづめ供試体の方が小さくなる。

供試体の破壊状況は、密づめ・ゆるづめ供試体とも $\sigma_3 = 6 \text{ kgf/cm}^2$ までは柱状のままですせん断破壊をするが、 $\sigma_3 = 10 \text{ kgf/cm}^2$ 以上では、たる状にふくらんで破壊するようになり、せん断面は表れない。

最大軸差応力時のダイランシーレイトと拘束圧の関係は、密づめ供試体では拘束圧 3 kgf/cm^2 では膨張側（負の値）にあるが、 $\sigma_3 = 6 \text{ kgf/cm}^2$ 以上では収縮側（正の値）になる。これらのことから、シラスの場合最大軸差応力時にダイランシーがちょうど 0 になる限界拘束圧は、初期間隙比が 0.9 の場合 $3 \sim 6 \text{ kgf/cm}^2$ の間にある。ゆるづめ供試体のダイランシーと拘束圧の関係曲線は、密づめ供試体のそれとよく似ている。拘束圧が 6 kgf/cm^2 を越え 30 kgf/cm^2 までは、密づめ・ゆるづめ供試体とも拘束圧の増加にともなって収縮するが、それより大きな拘束圧では反転して収縮の程度が小さくなる。これらの原因は後で述べる粒子破碎によるものと思われる。

3. 粒子破碎

高い拘束圧下で行われた豊浦標準砂の三軸圧縮試験では、圧密及びせん断中に粒子破碎が起こることが知られている⁴⁾。本研究で用いた各拘束圧下での軸差応力最大時と、ある拘束圧下での軸ひずみごとの供試体について粒度試験を行った。

その結果、密づめ・ゆるづめ供試体とも、拘束圧

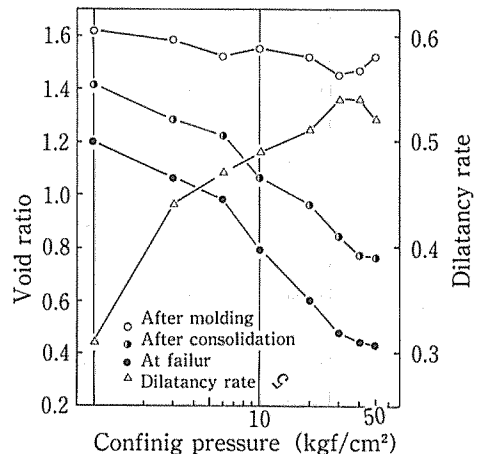


Fig. 4 Changes of void ratio and dilatancy rate with the increase of confining pressure at loose sample.

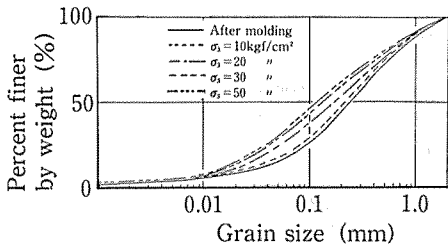


Fig. 5 Grading of the dense and loose sample at failure under various confining pressures.

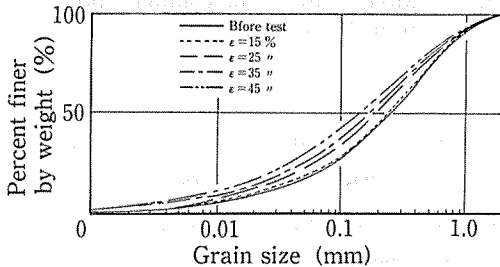


Fig. 6 Change of grading of the loose samples during compression.

$\sigma_3 = 6 \text{ kgf/cm}^2$ 以下での曲線は供試体作成後の曲線とほとんど一致し、圧縮試験による粒子破碎はみられない。拘束圧 $\sigma_3 = 10 \sim 50 \text{ kgf/cm}^2$ では、ゆるづめ供試体の粒度曲線がわずかに上方にあり、粒子破碎はゆるづめ供試体がやや多い。

拘束圧の違いによる粒子破碎量の変化を見るために、軸差応力最大時のゆるづめ供試体の粒度曲線を Fig. 5 に示す。これによると $\sigma_3 = 10 \text{ kgf/cm}^2$ 前後から粒子破碎が起こり初め、これ以上の拘束圧では破碎量が急激に多くなることを示す。また $\sigma_3 = 30 \text{ kgf/cm}^2$ 以上になると破碎量はほとんど変わらなくなる。

Fig. 6 は、圧縮試験中の粒子破碎の進行状況を見るために、 $\sigma_3 = 20 \text{ kgf/cm}^2$ での圧縮試験で、各ひずみ段階の粒度曲線を示したものである。これによると、軸ひずみ量が増すと破碎が進み、とくに軸ひずみが15%を越えると急激に多くなる。

次に、粒子破碎の実態を調べるために、密づめ供試体について各拘束圧下での圧縮試験における最大軸差応力時の供試体で薄片を作り、顕微鏡で観察した。その結果、 $\sigma_3 = 6 \text{ kgf/cm}^2$ では軽石は完全な状態で存在していて、 $\sigma_3 = 10 \text{ kgf/cm}^2$ では軽石は完全なものが多いが、中には割れ目の生じているものや、他の鉱物粒子との接触部がくずれているものが見受

Table 2. Particle crushing rate for grading curve

Confining-pressure (kgf/cm ²)	1~6	10	20	30	40	50
Dense specimen (d ₅₀ /D ₅₀)	1.00	0.88	0.74	0.62	0.58	0.54
Loose specimen (d ₅₀ /D ₅₀)	1.00	0.90	0.68	0.57	0.53	0.50

けられる。 $\sigma_3 = 20 \text{ kgf/cm}^2$ では軽石のかたい部分だけがはっきりみられ、周辺部はくずれて他の鉱物粒子との区別がつけにくく、 $\sigma_3 = 30 \text{ kgf/cm}^2$ になると、軽石と他の鉱物粒子との区別が全くつけられない。

これらのことから、 $\sigma_3 = 10 \text{ kgf/cm}^2$ 付近から粒子破碎が供試体全体にわたって起こりはじめ、 $\sigma_3 = 20 \text{ kgf/cm}^2$ にかけて粒子破碎が急激に進む。さらに $\sigma_3 = 30 \text{ kgf/cm}^2$ 前後で、シラスに含まれる壊れやすい粒子はほとんど破碎されるものと考えられる。

粒子破碎がせん断強さに及ぼす影響を定量的に示すには、破碎量をいかなる数値で定義するかということが重要である。現在のところいくつかの試みがなされているが、せん断特性と結びつくような適切な定義は見出だされていない。本研究で得られた粒度曲線から、供試体作成後の中間粒径 D_{50} に対する破壊時の中間粒径 d_{50} の比 d_{50}/D_{50} を破碎指数として示したのが Table 2 である。

密づめ供試体よりゆるづめ供試体の方が小さい値を示している。すなわち、ゆるづめ供試体の方が破碎されやすい。この理由は、粒子相互の接触点数及びせん断中における粒子の移動量にあると考えられる。

4. モールの応力円

試験を行った拘束圧の範囲を、低圧域 (1~6 kgf/cm²)、中圧域 (10~30 kgf/cm²)、高圧域 (30~50 kgf/cm²) とわけて最大軸差応力時のモールの応力円を示したのが Fig. 7, Fig. 8 及び Fig. 9 である。図から、それぞれの拘束圧域における強度定数である、みかけの粘着力 c_d とせん断抵抗角 ϕ_d を求めて示したのが Table. 3 である。

低圧域では密づめ供試体の方が c_d , ϕ_d とも大きい。これは前にも述べたように、粒子破碎もほとんど見られず、ゆるづめ供試体の破壊時での相対密度が、密づめ供試体作成時の密度にも達しない (Table 1) 低密度のためと思われる。

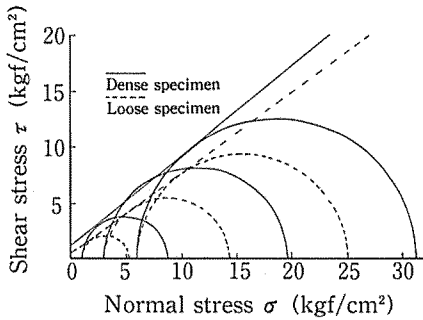


Fig. 7 Mohr's circles for confining pressure from 1 to 6 kgf/cm².

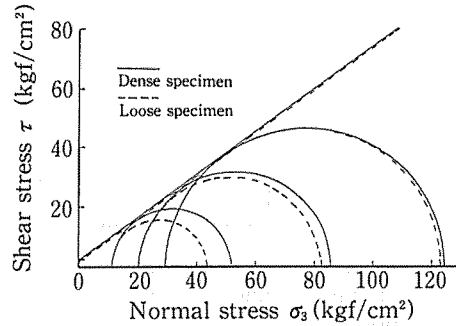


Fig. 8 Mohr's circles for confining pressure from 10 to 30 kgf/cm².

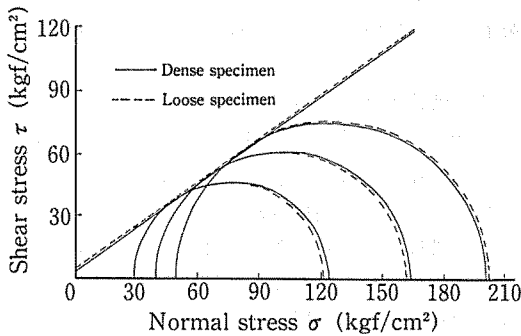


Fig. 9 Mohr's circles for confining pressure from 30 to 50 kgf/cm².

Table 3. The strength constants in respective confining pressure zones

Strength constant	Specimen situation	Low pressure zone	Medium pressure zone	High pressure zone
c_d (kgf/cm ²)	Dense	1.17	2.54	2.52
	Loose	0.41	0.54	1.11
ϕ_d (°)	Dense	39.4	35.8	35.9
	Loose	36.8	35.9	36.6

中圧域では軸差応力最大時の密づめ供試体とゆるづめ供試体の相対密度はほとんど等しくなり、 ϕ_d は同じ値を示す。しかし c_d は密づめ供試体の方が大きい。

高圧域においては、最大軸差応力時の相対密度は、ゆるづめ供試体の方が相当大きくなり、 ϕ_d は密づめ・ゆるづめ供試体でほとんど値が等しい。 c_d は中圧域と同じく密づめ供試体の方が大きい。

せん断過程で体積変化が大きく、粒子破碎が起こる中・高拘束圧 $\sigma_3 = 20 \sim 50$ kgf/cm² での最大軸差応力でモール円を描き、 c_d 、 ϕ_d を求めると、密づめは $c_d = 2.67$ kgf/cm²、 $\phi_d = 35.8^\circ$ 、ゆるづめは $c_d = 0.75$ kgf/cm²、 $\phi_d = 36.7^\circ$ となる。

これらの結果を総合すると、粘着力 c_d は密づめ・ゆるづめ供試体ともすべての拘束圧域で存在し、密づめ供試体の方が数倍大きい。これは見掛けの粘着力であり、粒子のかみ合わせ(インターロッキング)によるものであるから、初期重鎮時の骨組み構造の影響によるものと考えられる。

ϕ_d の値は低拘束圧で大きく、中・高拘束圧ではや

や小さくなる。また拘束圧が10 kgf/cm² 以上になると、初期密度による差はほとんどなくなる。

一方、試験中の密度の変化を見ると (Table 1, Fig. 3, 4), ゆるづめは圧密による体積変化が非常に大きく、また軸圧縮過程での体積変化も大きい。この変化は拘束圧が大きくなるに伴って大きくなる。その結果拘束圧10 kgf/cm² 以上では相対密度は同じか、ゆるづめの方がやや大きくなっている。

以上のことから、低拘束圧域では、ゆるづめの体積変化はかなりのものではあるが、破壊時の相対密度は密づめに比べて半分程度しかなく、どちらの密度の場合も粒子破碎はない。低圧域での強度定数は、シラスの粗粒土としての密度の違いによる値をそのまま表すものと考えられる。

中拘束圧以上では、密づめも破壊時までの体積変化は大きく起こるが、ゆるづめの方がより大きく、相対密度はゆるづめの方がむしろ大きくなっている。また粒子破碎はどちらの密度とも、拘束圧の増大に伴って多くなる。粒子破碎による塑性的な圧縮変形量の増大のために、軸差応力の増大が押えられ、拘

束圧の増加に伴い密度が増大するにも関わらず最大軸差応力の増加割合が減じて、中・高拘束圧における ϕ_d が低拘束圧における値よりも小さくなるものと考えられる。

要 約

初期密度の異なるシラスについて高圧三軸試験を行い、高い拘束圧の下でのシラスのせん断特性を検討した。その結果を要約すると次のようである。

1. 最大軸差応力時の軸ひずみは拘束圧が大きくなるに伴って大きくなり、同じ拘束圧下ではゆるづめ供試体の方が軸ひずみは大きい。最大軸差応力は拘束圧 $\sigma_3=20 \text{ kgf/cm}^2$ 以下では密づめ供試体の方が大きい。また、 $\sigma_3=30\sim 50 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲では密づめ供試体とゆるづめ供試体とは同じ値を示す。

2. 密づめ供試体では、 $\sigma_3=3 \text{ kgf/cm}^2$ まではせん断中に体積が膨張する。しかし、拘束圧が 6 kgf/cm^2 を越えると、ゆるづめ供試体と同様に収縮する一方である。また、最大軸差応力時のダイレタンスーレートも $\sigma_3=3 \text{ kgf/cm}^2$ までは膨張側にあるが、拘束圧が 6 kgf/cm^2 を越えると収縮側になる。 $\sigma_3=30 \text{ kgf/cm}^2$ 以上では、初期密度による体積変化量の差はみられるが、拘束圧の大小による差は見られない。

3. 軸差応力最大時の粒子破碎は $\sigma_3=10 \text{ kgf/cm}^2$ までは少ないが、 10 kgf/cm^2 を越えると急激に多くなる。一方、同じ拘束圧下での密づめ供試体とゆるづめ供試体の粒子破碎量は、ややゆるづめ供試体の

方が多い。

4. 供試体に加えた拘束圧 $\sigma_3=1\sim 50 \text{ kgf/cm}^2$ を低圧域($1\sim 6 \text{ kgf/cm}^2$)、中圧域($10\sim 30 \text{ kgf/cm}^2$)及び高圧域($30\sim 50 \text{ kgf/cm}^2$)とわけて強度定数 c_d 、 ϕ_d を求めた。各拘束圧域における強度定数を比較すると、 c_d はどの圧力域でも密づめ供試体がゆるづめ供試体より大きい。 ϕ_d は低圧域で密づめ供試体がゆるづめ供試体より大きな値を示すが、中圧域以上では密づめ供試体とゆるづめ供試体は同じ値を示す。

5. 中・高拘束圧域では強度定数 ϕ_d 、 c_d の値は、初期密度、拘束圧、破壊時の密度及び粒子破碎に支配される。

拘束圧が高くなると、粒子破碎による塑性的な圧縮変形の増大のために軸差応力の増大が押さえられ、拘束圧の増加に伴い密度が増大するにもかかわらず最大軸差応力の増加割合が減じて、中・高拘束圧における ϕ_d が低拘束圧における値よりも小さくなるものと考えられる。

文 献

- 1) 春山元寿：講座cと ϕ を考える 7. シラス. 土と基礎, 23, 67-74 (1975)
- 2) 北村良介・他：中低圧下におけるしらすの力学的特性. 土と基礎, 22 (2), 17-21 (1984)
- 3) 三浦哲彦・山本哲朗：砂の高圧三軸圧縮試験の結果に及ぼす2, 3の要因について. 土質工学会論文報告集, 16, 123-128 (1976)
- 4) 三浦哲彦・山内豊聡：高拘束圧下における標準砂の排水せん断特性について. 土木学会論文報告集, 193, 69-79 (1971)

Summary

The aim of this study is to clarify the shearing characteristics fo SHIRASU under high confining pressure.

The results are summarized as follows :

1. The axial strain at the maximum deviator stress becomes larger as the confining pressure becomes higher, and under the same confining pressure the strain is larger in the loosely packed specimen. The maximum deviator stress is large in the densely packed specimen at the confining pressure lower than 20 kgf/cm², but in the range of confining pressure of 30~50 kgf/cm², both densely packed and loosely packed specimens have the same value.

2. In the densely packed specimen, the volume increases during shearing up to 3 kgf/cm² of the confining pressure. However, when confining pressure exceeds 6 kgf/cm², the volume decreases similarly to the case of the loosely packed specimen. Besides also, the dilatancy rete at the maximum deviator stress shows the value of expansion side up to 3 kgf/cm², but when confining pressure exceeds 6 kgf/cm², the rate changes to contraction side. At a confining pressure more than 30 kgf/cm², the difference in the volume change due to the initial density is observed, but that due to the intensity of confining pressure is not observed.

3. The crushing of particles at the maximum deviator stress is negligible up to 10 kgf/cm² of the confining pressure, but when the pressure exceeds 10 kgf/cm² it increases rapidly.

On the other hand, at the same confining pressure the crushing of particles is somewhat more in the loosely packed specimens, than in the densely packed ones.

4. By dividing the confining pressures of 1~50 kgf/cm² applied to specimens into three zones, namely, low pressur zone (1~6 kgf/cm²), medium pressure zone (10~30 kgf/cm²) and high pressur zone (30~50 kgf/cm²), the strength constants c_d and ϕ_d are to be determined, respectively. When the strength constants in the respéctibve confining pressure zones are compared, c_d is larger in densely packed specimens than in loosely packed specimens in all the pressure zones. ϕ_d has the larger value in densely packed specimens than in loosely packed specimens at the low pressur zone, but it has the same value in the medium and high pressure zones.

5. The values of strength constants ϕ_d , c_d are subjected to the following three factors, namely, the initial density of soil, confining pressure and crushing of soil particles. At higher confining pressure, developement of deviator stress is reduced on account of plastic deformation induced by the crushing of soil particles, in spite of increasing of specimens. Consequently, it seems that the values of ϕ_d at medium and high confining pressures are lower than those at low confining pressure.