

鹿児島工業高専

正員 ○村田秀一

九州大学工学部

正員 山内豊聡

1. まえがき

乱したシラスは完全に粒状体としての力学的性質を示すが、地山や切土の安定を論ずるため必要な乱さないシラスの性質は、軽石など含むため、かなり不均一な混合体で脆く（ゼイ）性材料とも考えられる。¹⁾ またゆるい状態のものからかなり硬質なシラスまで存在し、その破壊機構は多くの要素に支配されて単純には取り扱えない。えびの地震における自然シラス層の崖の崩壊も引張り力の働きクラックを生じて崩落した型式のものがあった。²⁾ そこで本実験的研究は、乱さないシラスの引張り力を明らかにする目的で、試料としてかなり密な軟岩的なものを含む3種類のシラス供試体を用い、かつ自然含水比の状態で一軸引張り試験、圧裂引張り試験、一軸圧縮試験および三軸圧縮試験を行ない、乱さないシラスのゼイ性破壊の機構を明らかにしようとした。

2. 供試体の作成と実験方法

実験に用いた3種類のシラス供試体は、鹿児島県国分市付近の溶結凝灰岩の堆積する崖から採取したもので、かなり密度の高いものも含まれている。シラスⅠの粒度組成はレキ分29%、砂分55%、シルト分12%、および粘土分4%である。同じくシラスⅡは17%、72%、8%、および3%、シラスⅢは6%、75%、10%および9%である。各々の指数的性質を表-1に示す。供試体の作成はシラスⅡ・シラスⅢにおいては真チューあるいはステンレス製のサンプラー（内径3.5cm、4.6cm）をシラス層の崖に垂直と水平に打ち込み、試料抜き取り器で乱することなく抜き出した後、カミソリ等で成形した。供試体は各々写真-1〜3に示すように大小の軽石を含んでおり、その分布の状況は不均一である。一軸引張り試験は図-1に示すような装置を用いて行ない、供試体には写真-1に示すようなクビレをつけ、破断面がこの

部分になるようにしたこのときの引張り強さ σ_t は

$$\sigma_t = P_t / A \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

P_t ; 引張り全荷重 (kg)

A ; 破断面の面積 (cm²)

である。

圧裂引張り試験は写真-1に示すような円板形の試験片を作成し

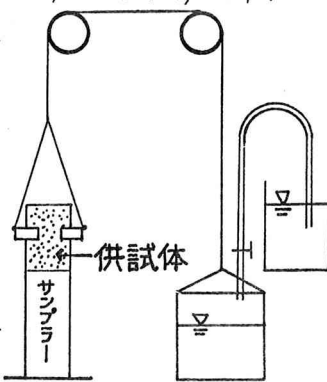


図-1. 一軸引張り試験装置

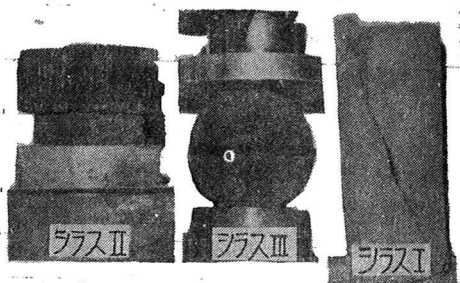


写真-1 写真-2 写真-3
引張り試験用供試体 圧裂引張り試験 破壊状況
(一軸圧縮試験)

表-1 シラスの指数的性質

試料	シラスⅠ	シラスⅡ	シラスⅢ
土粒子の比重	2.522	2.584	2.580
均等係数	32.6	13.1	42.4
見かけの密度(%)	1.80	1.86	1.46
乾燥密度(%)	1.49	1.47	1.40
含水比(%)	19.4	21.4	22.0
飽和度(%)	70.0	74.0	74.5
間ゲキ比	0.690	0.745	0.820

上下から圧縮した。破断したときの引張り強さ係数は周知の次式で求めた。 $\sigma_t = 2P/\pi \cdot d \cdot l \text{ (kg/cm)}$
 ここに P ; 加えた荷重 (cm) d ; 円板の直径 (cm) l ; 円板の厚み (cm) である。

3. 圧縮および引張りによる供試体の考察

1) 圧縮試験 図-2, 3にシラスI, II, III (三軸試験はシラスII, III) の垂直方向供試体 (以下V供試体) と水平方向供試体 (以下H供試体) の一軸圧縮試験および三軸圧縮試験における応力-ヒズミ曲線を示す。圧縮強さは両試験結果をみてもV供試体がかなり大きい。このことから自然シラス層は方向性があることが分った。岩石などの試験結果にはかなりのバラツキがあるが、シラスにおいても同様であった。シラスIの一軸圧縮試験においてはほとんどヒズミが進行しないうちに破砕される。このような強さをもつ供試体の三軸圧縮試験は普通の試験機では不可能であった。シラスIIにおいては一軸試験での挙動や破砕の程度もほとんどシラスIと同じである。三軸試験結果をみるとかなりの固結力を有していることがわかる。シラスIIIは乱したシラスの密な状態の挙動と類似している。これらのことからシラスIIIは二次的に崩落して層を形成してできたものでないかと思われる。しかし、シラスI, IIの破壊はかなりゼイ性的であるように判断される。

2) 引張り試験 表-2に3種類のシラスのV供試体とH供試体の一軸引張り強さと圧裂引張り強さ係数を示した。図-4に引張り試験におけるV, H供試体の関係を図示してある。また表-2の中の()内の値は図-4のCの方向による係数である。併せて種々の岩石の試験結果も示してある。これによるとシラスにおいても岩石と同じく一軸引張り強さと圧裂引張り強さ係数とはほとんど一致することがわかる。この場合も圧縮試験時と同様かなりバラツキを示す。特に破断面に軽石を含むとかなり弱くなる。したがって、表-2の値は大きな軽石を含まなかったときの平均値である。シラスI, IIにおいてはかなり引張り強さを有し、方向により強さが異なるようでもあるが、バラツキが大きいためなお検討する必要がある。乱さないシラスがゼイ性材料としての挙動を示すのもこの引張り強さを有することに起因しているであろう。シラスIIIにおいては引張り強さはほとんど0に近い。このことからしても成因時のままの状態にあるシラスとは思われぬ。また表-

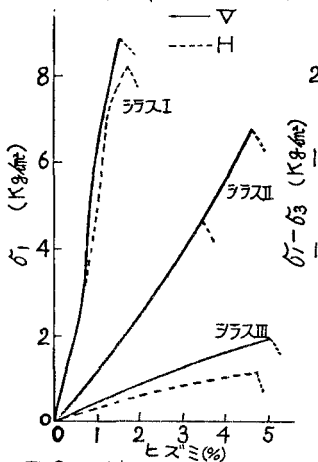


図-2 乱さないシラスの一軸圧縮試験による応力-ヒズミ曲線

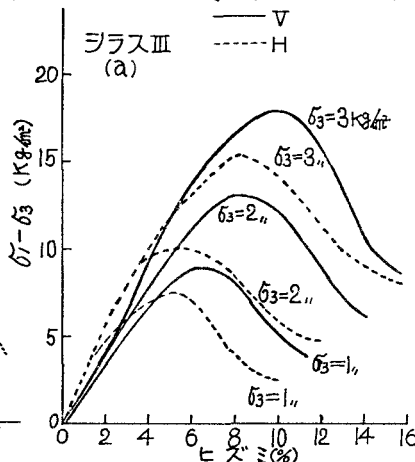
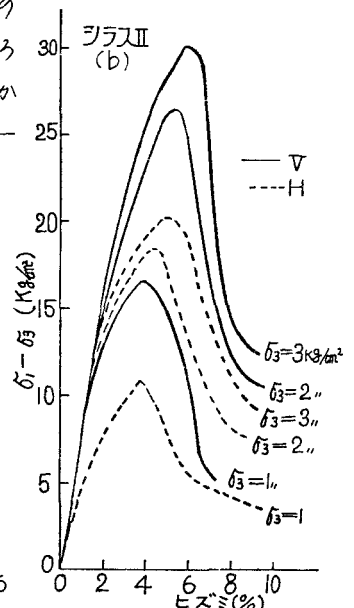


図-3 乱さないシラスの三軸圧縮試験による軸差応力-ヒズミ曲線



3に3種類のシラスのV・

H供試体と種々の岩石の強さを示した。表中Brは

$$Br = S_c / S_t \quad (\text{ここに、}$$

S_c ; 圧縮強さ, S_t ; 引張り強さである) でゼイ性度

といわれ常温常圧下でのもの

ろさの尺度として使われる

もので一般に岩石において

は $Br = 4 \sim 10$ と言われている。

4. 乱さないシラスの破壊規準

1) Coulomb - Navier の理論³⁾

この理論では、材料内のある面上のせん断応力 τ と垂直応力 σ との間に $\tau = S_s + \mu \sigma$ が成立するとき、その面に沿ってせん断スベリ破壊が生ずると考える。この式に

基づいてせん断強さ S_s と三軸的応力 σ_1, σ_3 の間には $2 S_s = \sigma_1 [-\mu + (\mu^2 + 1)^{\frac{1}{2}}] - \sigma_3 [\mu + (\mu^2 + 1)^{\frac{1}{2}}]$

なる関係が得られる。三軸試験においては、引張り破壊では $\sigma_1 = 0, \sigma_3 = -S_t$ 圧縮破壊では

$\sigma_1 = S_c, \sigma_3 = 0$ となるから前式は $2 S_s = S_t [\mu + (\mu^2 + 1)^{\frac{1}{2}}]$, $2 S_s = S_c [-\mu + (\mu^2 + 1)^{\frac{1}{2}}]$ と

なる。ゆえに $S_t / S_c = -\mu + (\mu^2 + 1)^{\frac{1}{2}} / \mu + (\mu^2 + 1)^{\frac{1}{2}}$ $\sigma_1 = S_c + \frac{S_c}{S_t} \sigma_3$

ところでシラス I $\sigma_1 / S_c = 3.9 \sim 4.4 (\sigma_3 / S_c) + 1$ ----- (1)

シラス II $\sigma_1 / S_c = 5.7 \sim 7.9 (\sigma_3 / S_c) + 1$ ----- (2)

シラス III $\sigma_1 / S_c = 20.2 \sim 29.3 (\sigma_3 / S_c) + 1$ ----- (3)

それらの関係を図-5に示した。これによるとシラス II では (2) 式と一致しているが、シラス III では

(3) 式と一致していない。Farmer はある岩石の実測値より $S_c / S_t = 10; \mu = 1.5, S_c / S_t = 6;$

$\mu = 1.0, S_c / S_t = 4; \mu = 0.7$ を得、一軸圧縮強さと

引張り強さの間に関係のあることを示した。

$$S_s = 0.15 S_c = 1.5 S_t \quad (\text{弾性体})$$

$$S_s = 0.2 S_c = 1.2 S_t \quad (\text{半弾性体})$$

$$S_s = 0.25 S_c = S_t \quad (\text{非弾性体})$$

上の3式と対比することによって、シラス I は非弾性体、

シラス II は半弾性体であるといえる。シラス I, II において

は岩石力学的にゼイ性材料として Coulomb - Navier

の規準を適用出来る。しかしシラス III ではそうでない。以上

の Coulomb - Navier 論に基づくシラスの破壊包絡線を

図示したのが図-6である。図中の μ の値は Coulomb -

Navier 論の式から導いた値であるが三軸圧縮試験より求め

た μ の値とはシラス II においては一致するが、シラス III

においてはかなり差がある。

表-2 乱さないガラスと岩石の引張り強さ

種類	一軸引張り強さ (kg/cm ²)	圧裂引張り強さ係数 (kg/cm ²)
ガラス I	V 2.22 H 1.84	2.10 1.94 (1.88)
ガラス II	V 0.85 H 0.06	0.60 0.60 (0.70)
ガラス III	V 0.07 H 0.06	0.08 0.07 (0.07)
大理石 *	37	47
砂 石 *	49	50.5
岩 塩 *	16	17.6
モルタル *	17	17.5

* 平松他による

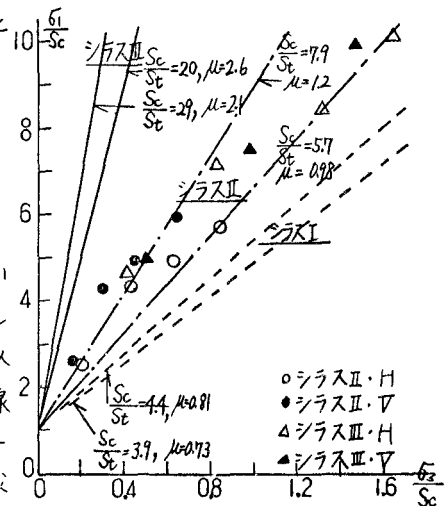
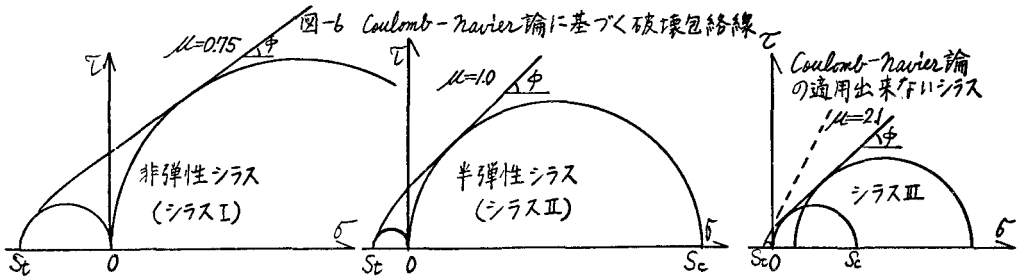


図-5 三軸圧縮試験における σ_1/S_c と σ_3/S_c の関係



2) Griffith理論

Griffithによれば、ゼイ性材料はすべて潜在的なクラックを含んでいて、力が加えられるとクラックの周囲には非常に大きな応力集中が起る。クラックの縁における引張り応力は、クラックの大きさ、形、そして方向によって異なるが、応力集中により、試料に加えられた応力よりも遥かに大きくなる。本実験の乱さない試料では、乱した試料のときの実測値よりかなりバラツキを示した。乱さないシラスにおいては軽石あるいは鉱物を含むため、これらがGriffithクラックとしての動きを示し、乱さないシラスの強さに大きな影響を与えていることが想像される。シラス供試体に σ_1 、 σ_3 の主応力が作用したとき、シラスの破壊は多くのクラックのうち最も危険な方向を向いている最も大きなクラックの縁に発生する最大引張り応力によって始まると仮定すると、

$$(1) \sigma_1 + 3\sigma_3 < 0 \text{ のとき } \sigma_3 = S_c$$

$$(2) \sigma_1 + 3\sigma_3 > 0 \text{ のとき } (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + 8S_c(\sigma_1 + \sigma_3) = 0$$

なる条件において破壊が始まることが知られる。一軸圧縮試験の場合(2)の条件で $\sigma_3 = 0$ で $\sigma_1 = -8S_c$ となり、シラスIIにおいてはあてはまるが、他の圧縮領域および他のシラスにおいてはそれが適用出来ない。

5. 結び

乱さないシラスの引張り、一軸・三軸圧縮試験を行なった結果、乱さないシラスは、ゼイ性材料として取り扱うべきであることがわかった。また破壊規準としてCoulomb-Navier論を適用出来るものと適用出来ないものがあることもわかった。つぎにミクロ的な見地に立つGriffith論を乱さないシラスに適用することは困難であるように思われる。なお自然シラス層においては方向性をもっていえると考えられるデータが得られたが、本実験に用いたシラスはかなり硬質であり、もっと弱いシラスの場合については今後調査研究する予定である。

参考文献

- 1) 山内豊聡・村田秀一；乱さないシラスの静的および疲労破壊について，第24回土木学会講演集(S.44)
- 2) 山内豊聡・村田秀一・能戸仁；元比の地震におけるシラスの問題点について，土質工学会第3回発表会講演集(S.43)
- 3) I. W. Farmer ; Engineering Properties of Rocks PP 55~65 (1968)

表-3 種々のシラスおよび岩石の強度さ

種 類	方向	圧縮強さ S_c (kg/cm ²)	引張り強さ S_t (kg/cm ²)	せん断強さ S_s (kg/cm ²)	Br S_c/S_t
シラス I	V	8.62	2.22		3.9
	H	8.03	1.84		4.4
シラス II	V	6.75	0.85	2.10	7.9
	H	3.42	0.60	1.70	5.7
シラス III	V	2.05	0.07	1.20	29.3
	H	1.21	0.06	1.04	20.2
石城砂岩 I [*]	V	160	20	34	8
	V	130	12	25	11
石炭 ⁺ 砂岩 ⁺		112	21	14	5.4
		161	15.2	27	10.6

* 堀部・小林による

+ R.G. Wuerkerによる