

シラスの物理的・力学的性質に関する研究 (第1報)

未攪乱試料の剪断試験について

河原田 礼次郎

Studies on the Physical and Mechanical Properties of the Shirasu

I. On the Shear Tests of Undisturbed Specimens

Reijiro KAWAHARADA

(Laboratory of Farm Mechanics II)

I 緒 言

シラスの法面の安定を論ずる場合、かならず問題となるものに剪断試験がある。これについて従来からいくつかの研究結果が得られているが、いずれも自然状態のものについては種々の原因、主として試料採取の困難性から報告されたものがない。すなわち自然状態のものを一旦破壊してしまい再び人工的に突き固めたいわゆる remoulded specimens について試験が行われて来たのである。その適応性がおのずから制約されるのは言うまでもない。

ここでは、相当の困難を感じながらも——したがって当初の計画通りの完全さを保つことは出来なかつたが——一応未攪乱土としての剪断試験を行い得たので報告する。なお、本研究は文部省科学研究費の補助によつて行われた。

II 試 料

1) 試料の採取。サンプラーを土層中に挿入するには、その金属面に相当の摩擦抵抗があり、また刃先にも土層中に散在する軽石あるいは礫が抵抗して真直ぐに挿入できず、その採取がはなはだ困難である。本試験に際してはスクリューの力を利用した手動押し込み、衝撃式押し込みを行つたがその抵抗が前記のように意外に強く、その力が不足したり衝撃のために試料が躍動して亀裂が入つ

Table 1. Physical properties of specimens

Soil class	Percentage of separate present					
	Separate	Gravel	Sand	Silt	Clay	Colloid
Sand	Diameter of grain (mm)	> 2.0	2.0~0.05	0.05~0.005	0.005~0.001	0.001>
	%	17.6	68.4	9.0	3.0	2.0
Natural water content (%)	15~24	Specific gravity (g/cm^3)				2.38
Liquid limit (%)	42.4	Apparent specific gravity (g/cm^3)				1.37~1.47
Plastic limit (%)	n.p.	Dry density (g/cm^3)				1.19
Plasticity index	n.p.	Porosity (%)				50
Relative consistency	0.35~0.57	Void ratio				1.0
Flow index	10.6	Degree of saturation				36~56

て分離したりして満足なものが得られず、結局は檜の木 (径 0.10 m, 長さ 2.90 m) を支柱とし自動車用のジャッキ (3 ton) で静かに押し込む方法をとった。すなわち試料の採取はシラス層中の横穴で行い一方の壁を支持面としたわけである。

2) 試料の物理的性質. 本試験は一般に白シラス*といわれているものについて行つた。その物理的性質を Table 1. に示す。

III 試験の方法及び結果

上記のように試料の採取がはなはだ困難なために、いきおい大きい試料をうることができず当初の案であつた三軸圧縮試験を断念、今回は一応径 50 mm の一面剪断試験器**を使つた。方法としては歪制御で急速剪断で行つた。全試験回数は 55 回に及ぶが、その中約半分の資料は剪断面に軽石あるいは礫が影響して結果が不均一であつたため次の各図にあらわした結果にはこれらは使われていない。試験結果を図に示すと Fig. 1 のようである***。図解法によつて各含水比のときの凝集力及び内部摩擦角を求めると Table 2. のようである。

Table 2. Cohesion and internal friction angle for various values of water contents

No. of line	Water content (%)	Cohesion (kg/cm^2)	Internal friction angle($^{\circ}$)
(1)	16.2	1.53	52.2
(2)	28.2	1.50	49.3
(3)	35.4	1.27	42.0
(4)	40.1	1.13	32.8

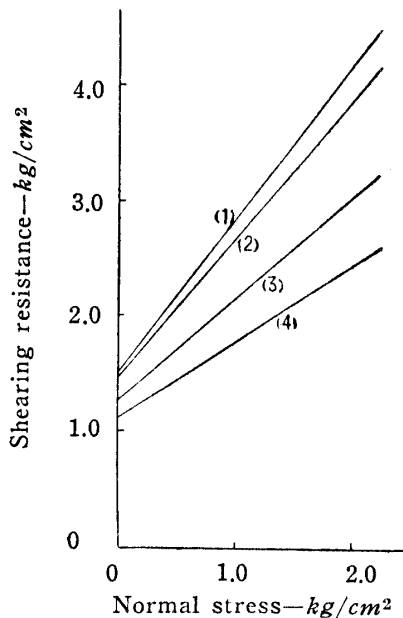


Fig. 1 Results of shear tests on undisturbed Shirasu

No. of line	(1)	(2)	(3)	(4)
Water content (%)	16.2	28.2	35.4	40.1

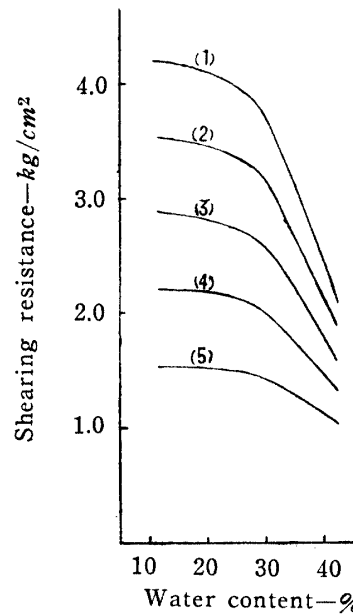


Fig. 2 Relation between water content and shearing resistance

No. of line	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Normal stress (kg/cm^2)	2.0	1.5	1.0	0.5	0

*鹿児島市郡元町唐湊産

**丸東製作所の携帯型一面剪断試験器。

***図と重複するので各々の数値は割愛した。

また考察を容易にするために、これを変形して作図したのが Fig. 2, Fig. 3 である。

以上の図をみてわかるように含水比が大きくなると強度を減ずるが、その値は自然の含水比 15 ~ 24 % では大体一定の値 (内部摩擦角 53~50°, 凝集力 1.5 kg/cm²) をもつような勾配の緩やかな変化を示し、含水比が 30 % 近くなると急にその強度を減ずる.*¹⁾

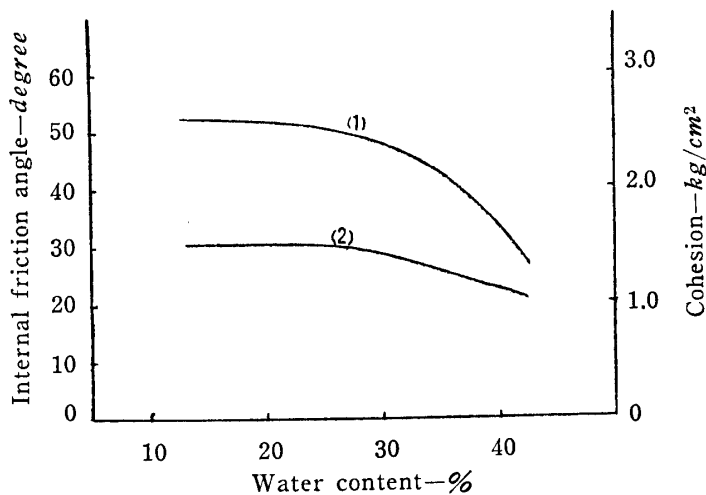


Fig. 3 Internal friction angle and cohesion as a function of water content
 (1).....Relation between water content and internal friction angle
 (2).....Relation between water content and cohesion

IV 考 察

1) 強度の急に減ずる限界が 30 % 近くにあることが知られたが、実際現象としては法面が垂直に近いシラスの崖では地表下数米に達するとほとんど降雨の影響をうけないことが知られており²⁾ 次の 2), 3) に述べるような考察からもシラスの崖の安定性が説明されるのではないと思われる。

2) 図には示されていないが、軽石あるいは礫が剪断面にある場合には抵抗力が大きく、プルーフレングの最大許容荷重 60 kg (4 kg/cm²) を越してしまうので値が得られなかつたり越さないまでもその状態に応じて分散した値を示した。しかし何れにしても軽石等のない場合に比べて大きい値をもっている。このことからシラス層中の軽石あるいは礫の存在はシラスの安定性を増しているものと言えるようである。しかしこの傾向は含水比が小さいときほど大きく、含水比が大きく 30 % を越すようになると軽石等の存在によつて抵抗値はさほど影響しないようである。

3) 本試験によつて得られた数値について一考すると、これが一面剪断試験器によつて得られたものであるため理想的と思われる三軸圧縮試験器によつて得られる値とはおのずから違ふと思われる。したがつてこの場合もその比較検討を行うべきであるが、ここではこの数値を使つてシラス崖の安定について考察してみる。

シラスの法面の崩壊面はほとんど平面迂り面と考へてさしつかえない。したがつて FELLENIUS の理論³⁾ を用いることとする。

a) 凝集力のみを考慮した場合

$$h = 4(c_0/r) \cot \theta/2 \dots \dots \dots (i)$$

* これは remoulded specimens について行つた東大三木の試験結果と、その強度の数値こそ違ふが定性的には同じような結果を得ている。

- h; 斜面を保ちうる限界の高さ(m)
- c₀; 凝集力 (kg/m²).....実験値
- r; 土の単位重量 (kg/m³)
- θ; 斜面の傾斜角

b) 凝集力及び摩擦力を共に考慮した場合

$$h = \frac{2 c_0}{r} \frac{\sin \theta \cos \phi}{\sin^2 \left(\frac{\theta - \phi}{2} \right)} \dots\dots\dots (ii)$$

φ; 内部摩擦角.....実験値

他の記号は(i)と同じ

この(i), (ii)式において各傾斜角に应ずる含水比とhとの関係を計算した結果を Fig. 4 に示す. この場合, 傾斜角 88° を取えてとつたのは, この傾斜角が実際の場合もつとも多いと言われているからである⁴⁾.

Fig. 4 をみてわかるように垂直な場合でも, 凝集力のみをもつて支えられていると考えてみても普通の自然の含水比では 35 m 位までは安全であり, さらに摩擦力を考えれば優に 100 m にも及ぶ. 自然状態にあるシラスの崖が案外安定を保っているのも, このような 限界内にあるためではなかろうか.

また計算の上では斜面の傾斜角が緩やかなほど安全になっている. これは普通の土の場合には当然あてはまることであるが, シラスの場合には緩やかな傾斜をなしているのは崩壊土によつて形成される崖錐部だけであつて自然状態にある法面の大部分は垂直に近いし, また切取を行う場合も経験的に法面を垂直に切ることが言われている. これは前記の計算でわかるように垂直でも力学的には割合安全であるが, 表面流去水あるいは降雨の打撃による侵蝕を極めてうけやすいシラス特有の性質にあるためではなかろうか. すなわち法面を直にして水蝕を避けた方が傾斜を与えるより安全なのであろう.

以上の考え方からすると, 一応平衡を保っている所では強度が急に減少する含水比 30% になることは実際の場合にはほとんどないと思われるし, したがつて一般に言われているよりはシラスはかなり安全であると推察される. ただ稀におこる大豪雨の連続あるいは人工的な構作

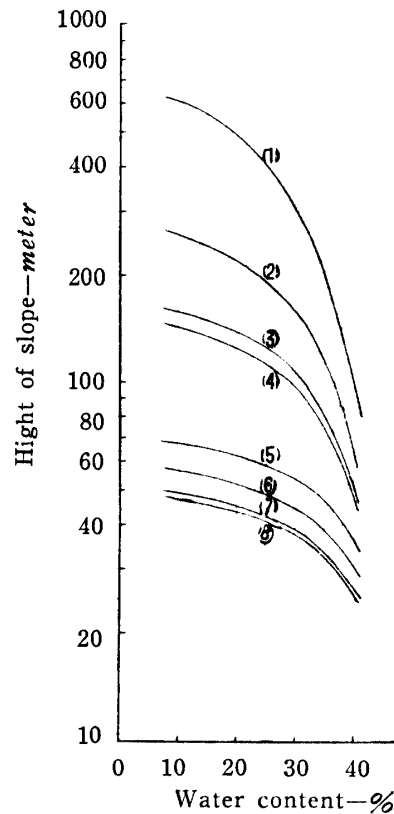


Fig. 4 Relation between water content and height of slope

Angle of slope	Working factor	
	Cohesion and friction	Cohesion
70°	(1)	(5)
80°	(2)	(6)
88°	(3)	(7)
90°	(4)	(8)

によつて地下水系が変化して含水比が30%を越すようになると危険になると思われる。

4) 本試験は一地点の試料について行つたがシラス地帯は広範囲な地域にわたるものである上に場所によつて多種多様であるから、この試験結果を直ちにそれぞれに適用することはできない。また始めに述べたように自然状態をこわさないで試料を採取することが極めて困難である。したがつてかかる剪断試験を個々について行うよりも、貫入抵抗試験からその安定性をみる方が実用性が高いのではないかと思われる。

V 摘 要

シラスの未攪乱土としての剪断試験を行い次の結果を得た。

(1) 自然の含水比15~24%においては、強度は大体一定の値(内部摩擦角 $53\sim 50^\circ$, 凝集力 1.5 kg/cm^2)をもつており、30%近くなると急にその強度を減ずる。

(2) 試験結果より得た値を FELLENIUS の理論に適用してみると、この試験の範囲ではシラスの崖は割合に安全なものようである。

(3) シラス層中の軽石あるいは礫は、強度の点において自然の含水比の範囲ではシラスの安定性を増しているようである。

終りにのぞみ、測定に尽力された西安夫君に感謝の意を表す。なお本試験の要旨は農業土木学会大会(1957)で報告した。

文 献

- 1) 三木五三郎：シラス地帯災害調査報告, 2, 60 (1952).
- 2) 西 力造・木村大造：鹿児島大学農学部学術報告, 1, 18 (1952).
- 3) 渡辺 貫・当山道三：地質工学, 93~95 (1942).
- 4) 西 力造・木村大造：鹿児島大学農学部学術報告, 1, 10 (1952).

R é s u m é

The shear tests on undisturbed specimens of the *Shirasu* were put in practice. The results obtained are summarized as follows:

(1) The shear resistance has an approximately constant value (internal friction angle $53\sim 50^\circ$, cohesion 1.5 kg/cm^2) under the condition of the natural water content 15-24% and decreases rapidly as it comes near 30% (Figs. 1, 2 & 3).

(2) Applying the results of tests to the FELLENIUS' theory, it seems to me that a cliff of the *Shirasu* is comparatively free from danger in this test (Fig. 4).

(3) Pumices or gravels in the *Shirasu* layer may in all probability add to the security of the *Shirasu* in the point of strength within the range of the natural water content.