

シラスの物理的・力学的性質に関する研究 (第2報)

シラス層中の軽石の影響について

阿部 雅雄・河原田礼次郎

Studies on the Physical and Mechanical Properties of the *Shirasu*

II. On Influences of Pumices in the *Shirasu* Layer

Masao ABE and Reijiro KAWAHARADA

(Laboratory of Farm Mechanics II)

I 緒 言

第1報¹⁾においてはシラスの自然状態のもの、すなわち未攪乱試料についての直接剪断試験について報告したが、その中にも述べたように、シラス層はその場所および深さによつて相当の差はあるが、大小さまざまな軽石を含んでいて、これがシラスの物理性ひいては力学的性質に影響するところが大きいと思われる。そこでその研究の一部として軽石の二、三の性質およびこれが剪断試験にどのような影響を与えるかについて報告する。

II 試 料

供試料については第1報 Table 1.¹⁾ に示したものと同一のものであるが、ただ Percentage of separate present の欄で Gravel >2.0 (mm) 17.6 (%) を >4.8 (mm) 6.0 (%), 4.8~2.0 (mm) 11.6 (%) とする。

III 試験結果および考察

1. 軽石の二、三の性質

(1) 仮比重, 真比重および孔隙率

仮比重 0.70 でシラスの 1.19 にくらべはるかに小さい。次に真比重については 2.19 でこれもシラスの 2.38 にくらべて小さい。従つて孔隙率もシラスの 50% に対して 68% と大きい。

(2) 透水性 (浸透係数)

軽石についても土壌と同じように粘性流としての取扱いがされるものか、相当に大きいのではな

Table 1. Permeabilities of pumice and *Shirasu*

Specimen	Flow direction	
	Parallel	Vertical
Pumice	$1 \sim 4 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$	$2 \sim 4 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$
<i>Shirasu</i> (on disturbed specimens)	$3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}^*$	

Parallel or Vertical: The flow direction is parallel or vertical to the direction of pumices' fibre.

* According to MIKI's report²⁾, permeability on remoulded specimens of the *Shirasu* (the dry density of which is about 1.3 g/cm^3) is $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ cm/sec}$.

いかと想像されたが、結果は Table 1. のようである。

すなわち非常に小さな値をもっており、しかも繊維に平行なものより直角方向のものの方がかえって大きい値を示したのは意外であつた。これは孔隙の構造組織をしる上の一つの手がかりかもしれない。しかし何れにしてもシラスの値と大差がないと言えるようである。ただここに一つ注意すべきことは、この値は軽石そのものの浸透係数の値であり、もしシラスが浸蝕をうけてこのような軽石が相集るような事態がおこると、その軽石間の間隙は相当に大きなものであり、粘性流の領域をはるかにこえるものと思われる。またこの測定は気泡の影響が相当にあると思われたので水中に3昼夜つけ、一応値が一定に落ちついて読みをとつた。

(3) 圧縮強度

設備の都合上、荷重をうるために圧密試験機を利用したので細かい値がえられず、供試体も止むをえず $1.5 \times 1.5 \times 4.5 \text{ cm}$, $2 \times 2 \times 6 \text{ cm}$ の小さなものとなつたので充分満足なものとは言えないが Table 2. のとおりである。

Table 2. Compressive strengths of pumice and Shirasu

Specimen (condition)	Compressive direction	
	Parallel	Vertical
Pumice (drying)	44 ~ 67 kg/cm ²	13 ~ 25 kg/cm ²
	25 ~ 37 kg/cm ²	19 kg/cm ²
Shirasu (at the natural water content)	0.41 ~ 0.48 kg/cm ²	

Parallel or Vertical: The compressive direction is parallel or vertical to the direction of pumices' fibre.

drying: 110 degrees C, 3 hours in the drying oven.

wetting: 3 hours in the water.

垂直方向においては乾湿の影響を大してうけないが、平行方向においては湿潤の場合その強度が約 45 %減少する。また垂直方向の場合が強度は最も小さいが、それにしてもシラスの値に比べれば相当に大きい。なお破壊面の状態の数列を Fig. 1 に示す。

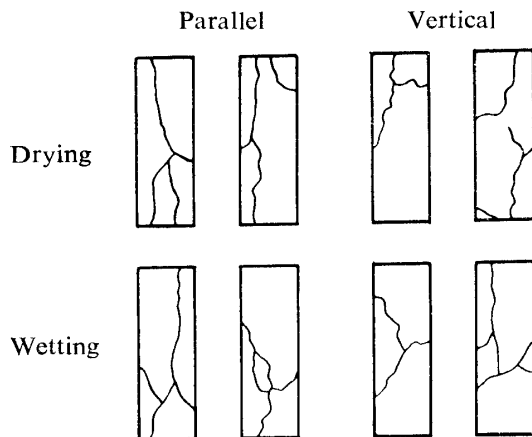


Fig. 1 Examples of breaking pumices on compression tests

2. 突固め試験

礫(大部分軽石)の影響をみるために 4.8mm の篩を通過したもの他に、2.0mm 以上のものを除いた細土のみのものについて行つた。

Fig. 2 に示すように < 4.8 mm の場合にかえって小さい値を示し曲線は下廻っている。これは 1. (1) に述べた真比重、仮比重の値の小さいことによるものと思われるが、何れも最適含水比は 23 %の附近にあり自然状態のものより密な状態に締固め出来る。また曲線の山が単一でないことも注目すべきことで、低い含水比の場合にも相当に大きい乾燥密度がえられる。

Table 3. Specimen conditions and results of triaxial compression tests

Water content grade	Specimen No.	Apparent specific gravity	Water content (%)	Dry density (g/cm^3)	Porosity (%)	Void ratio	Lateral pressure (kg/cm^2)	Normal pressure (kg/cm^2)	Cohesion (kg/cm^2)	Internal friction angle (degree)	
$\leq 2.0mm$	I	1	1.42	11.7	1.28	46.6	0.87	0.5	5.98	1.63	26.5
		2	1.42	11.5	1.28			1.5	7.81		
		3	1.41	11.7	1.26			2.5	9.20		
	II	1	1.51	20.3	1.26	47.0	0.89	0.5	5.64	1.38	29.3
		2	1.51	19.9	1.26			1.5	7.57		
		3	1.51	19.9	1.26			2.5	9.48		
	III	1	1.53	22.7	1.25	47.0	0.89	0.5	4.54	0.88	34.6
		2	1.55	22.3	1.27			1.5	7.49		
		3	1.54	22.3	1.26			2.5	9.78		
$\leq 4.8mm$	I	1	1.37	9.3	1.25	47.6	0.91	0.5	4.13	0.89	30.5
		2	1.35	9.3	1.23			1.5	6.24		
		3	1.38	9.8	1.26			2.5	8.25		
	II	1	1.46	20.6	1.21	49.1	0.97	0.5	4.91	1.42	23.7
		2	1.46	20.3	1.21			1.5	6.78		
		3	1.45	19.4	1.21			2.5	7.60		
	III	1	1.58	23.5	1.28	46.5	0.87	0.5	6.23	1.24	33.1
		2	1.56	23.2	1.27			1.5	7.92		
		3	1.56	23.2	1.27			2.5	11.11		

Fig. 3 (i)
water content 10%

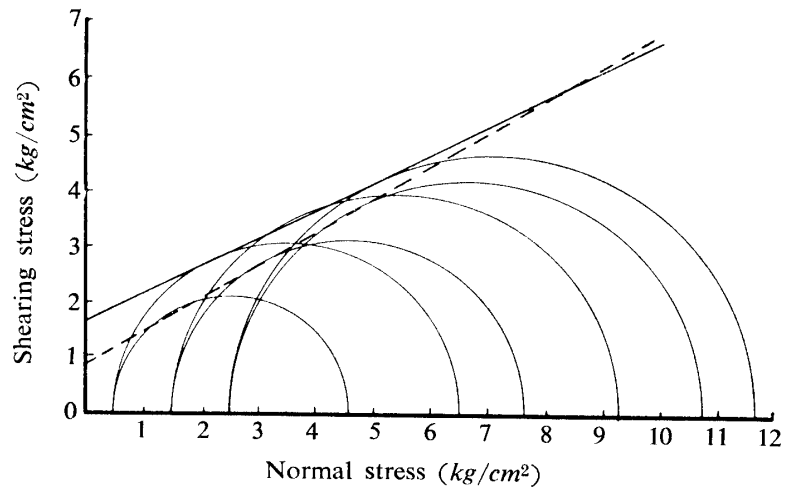


Fig. 3 (ii)
water content 18%

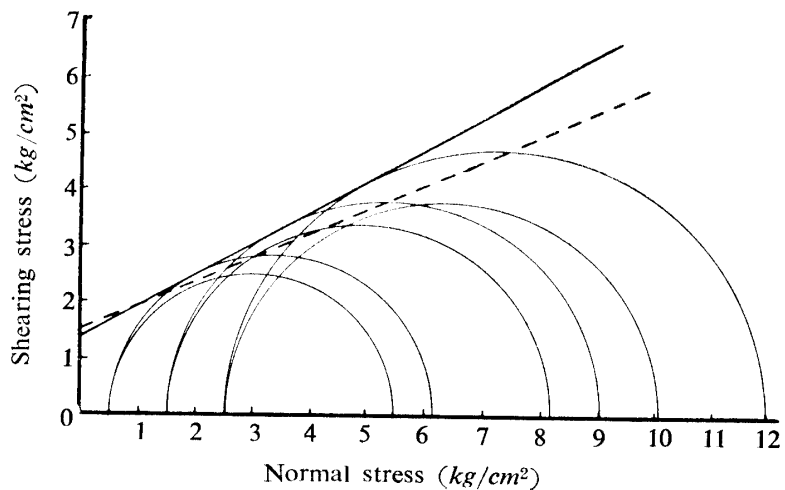


Fig. 3 (iii)
water content 23 %

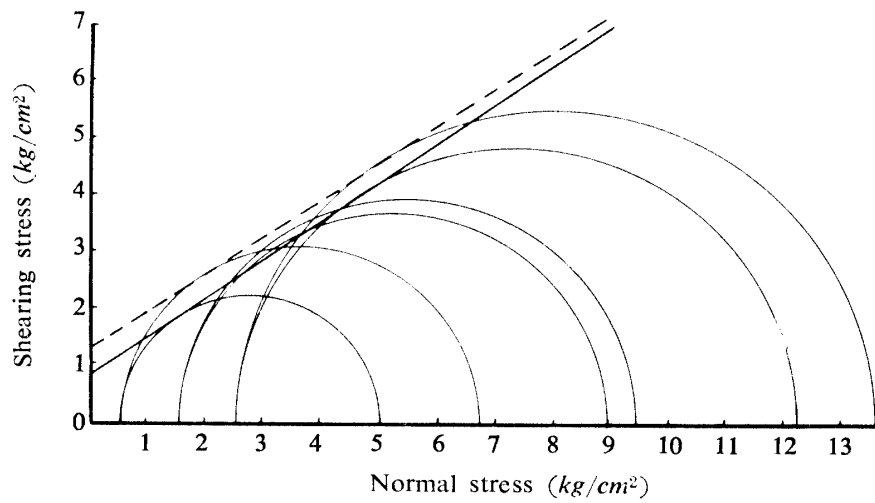


Fig. 3 Results of a series of triaxial compression tests

— $\le 2.0\text{mm}$ specimen, - - - $\le 4.8\text{mm}$ specimen

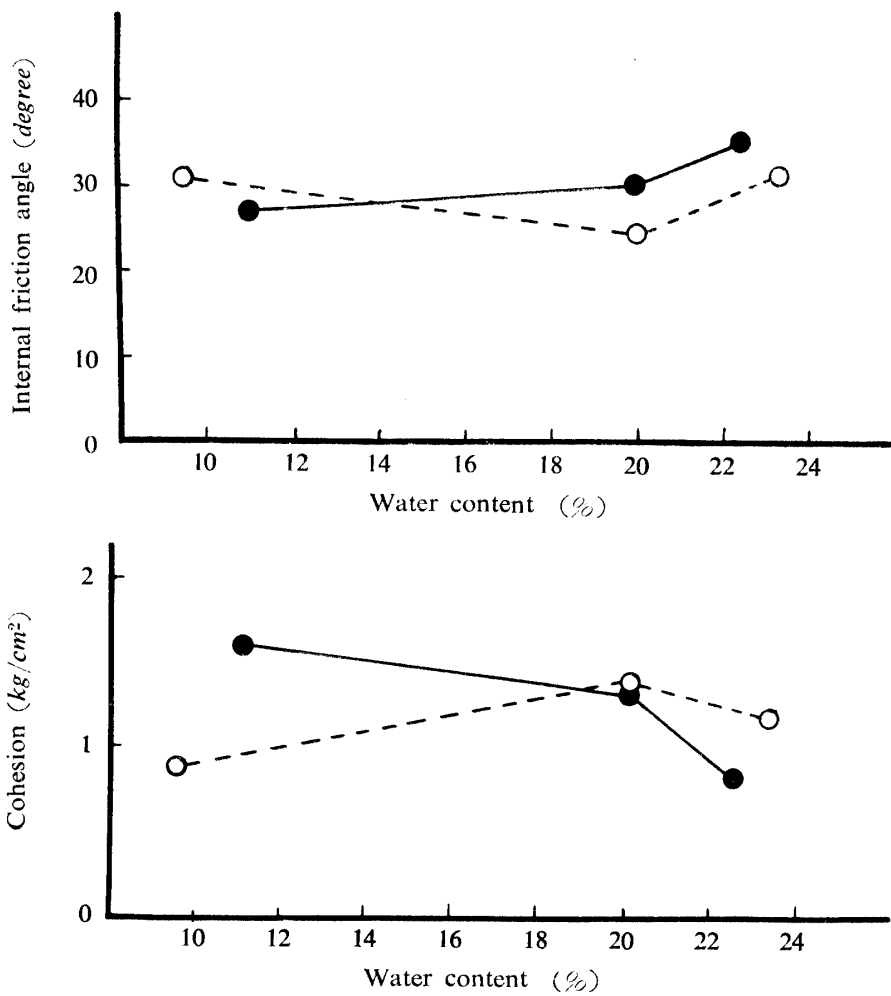


Fig. 4 Relation between water content and internal friction angle or cohesion, on $\le 2.0\text{mm}$ and $\le 4.8\text{mm}$ specimen, from the result of a series of triaxial compression tests

● — ● $\le 2.0\text{mm}$ specimen, ○ - - - ○ $\le 4.8\text{mm}$ specimen

すなわち

1) 内部摩擦角は $25 \sim 35 \text{ degree}$ の範囲にあり含水比の少いときは $< 2.0 \text{ mm}$ の方が $< 4.8 \text{ mm}$ より小さいが 14% を越してくると大きくなっている。

2) 凝集力は $0.9 \sim 1.6 \text{ kg/cm}^2$ で、未攪乱試料の場合の値とほぼ一致している。また $< 2.0 \text{ mm}$ の方が含水比の 20% 近くまでは $< 4.8 \text{ mm}$ より大きい、それを越すと小さくなる。

3) 内部摩擦角と凝集力の両者が作用した場合の剪断抵抗について比較すると未攪乱試料について第1報で予想したのとは違い、含水比の約 20% までは $< 4.8 \text{ mm}$ より $< 2.0 \text{ mm}$ の方がむしろ大きく、 23% 位になると逆に $< 4.8 \text{ mm}$ の方が大きくなっている。これは Table 3. に示したように I, II の段階では $< 2.0 \text{ mm}$ の方が、III では $< 4.8 \text{ mm}$ の方が dry density が大きいことが影響しているのではないかと思われ、この点明確でない。

(2) 三軸圧縮試験と直接剪断試験との比較

i. 直接剪断試験の方法と結果

三軸圧縮試験と同じ方法で試料を突固め、成型した円柱の最下部より 20 mm の高さで切断してこれを携帯型直接剪断試験器に挿入した。またこの場合、剪断試料寸の大きさが 50 mm 径であり試料の最大粒径は、一般にこれの $1/20$ を限度とすると云われているので、 $< 2.5 \text{ mm}$ であればよいわけであるが、三軸試験結果との比較が目的であるので $< 2.0 \text{ mm}$ の試料により試験した。したがって礫混入の影響はみることが出来なかつた。剪断は水平変位速度を 2 mm/min で行った。

三軸の場合と同じように供試体の一覧表を結果と共に Table 4. に示す。

Table 4. Specimen conditions and results of direct shear tests

Water content grade	Specimen No.	Apparent specific gravity	Water content (%)	Dry density (g/cm^3)	Porosity (%)	Void ratio	Normal pressure (kg/cm^2)	Shearing resistance (kg/cm^2)	Cohesion (kg/cm^2)	Internal friction angle (degree)
I	1	1.38	12.2	1.23	47.9	0.92	1.04	1.84	1.03	37.0
	2	1.39	"	1.24			1.55	2.07		
	3	1.39	"	1.24			2.05	2.77		
	4	1.39	"	1.24			2.54	2.86		
II	1	1.57	20.0	1.31	45.4	0.83	1.04	1.52	0.90	34.6
	2	1.55	"	1.29			1.55	2.07		
	3	1.56	"	1.30			2.05	2.43		
	4	1.56	"	1.30			2.54	2.54		
III	1	1.60	25.0	1.28	46.5	0.87	1.04	1.52	0.42	44.0
	2	1.57	"	1.26			1.55	1.77		
	3	1.60	"	1.28			2.05	2.38		
	4	1.60	"	1.28			2.54	2.93		

また Fig. 5 はこの結果を図に示したものである。

ii. 考 察 (比較)

供試体の条件に多少の差はあるが、三軸圧縮試験結果と比較考察するために再び同じ図上に表わせば Fig. 6 のようである。また参考として第1報に述べた自然状態 (water content 16% , dry density 1.19 g/cm^3) の直接剪断試験の結果を書き入れた。すなわち remoulded specimens に比し dry density は小さいにもかかわらずはるかに大きい値をもっている。

比較を容易にするために Fig. 6 の結果を含水比を一軸にとつて表わせば Fig. 7 のようである。

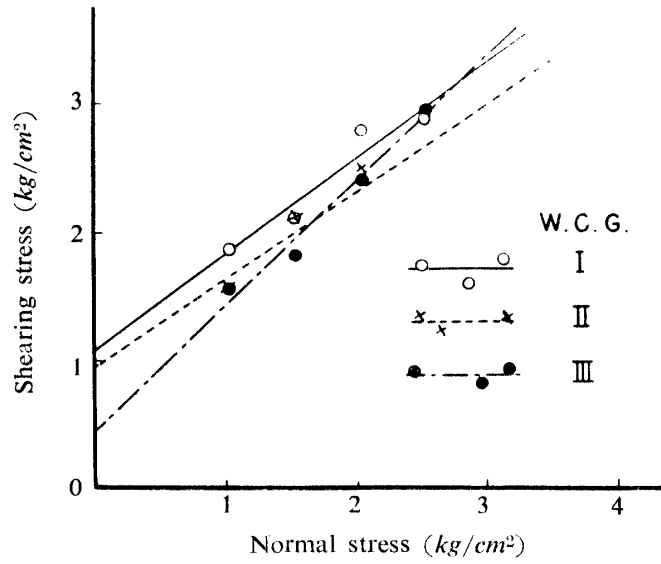


Fig. 5 Results of direct shear tests
W. C. G. : Water content grade I, II, III (see Table 4)

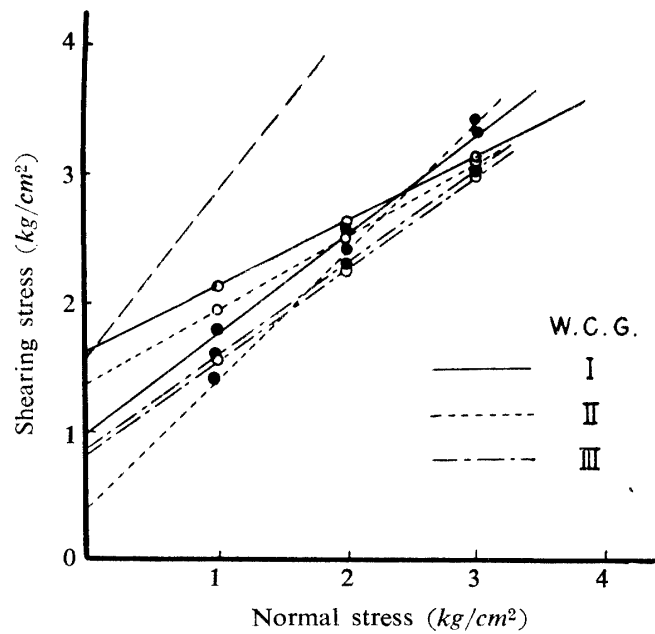


Fig. 6 Comparison of triaxial compression tests and direct shear tests

W.C.G. : Water content grade I, II, III (see Table 3 & 4)

- : Triaxial compression tests } remoulded specimen
- : Direct shear tests (i) } specimen
- : Direct shear tests (ii) } undisturbed specimen (water content 16%)

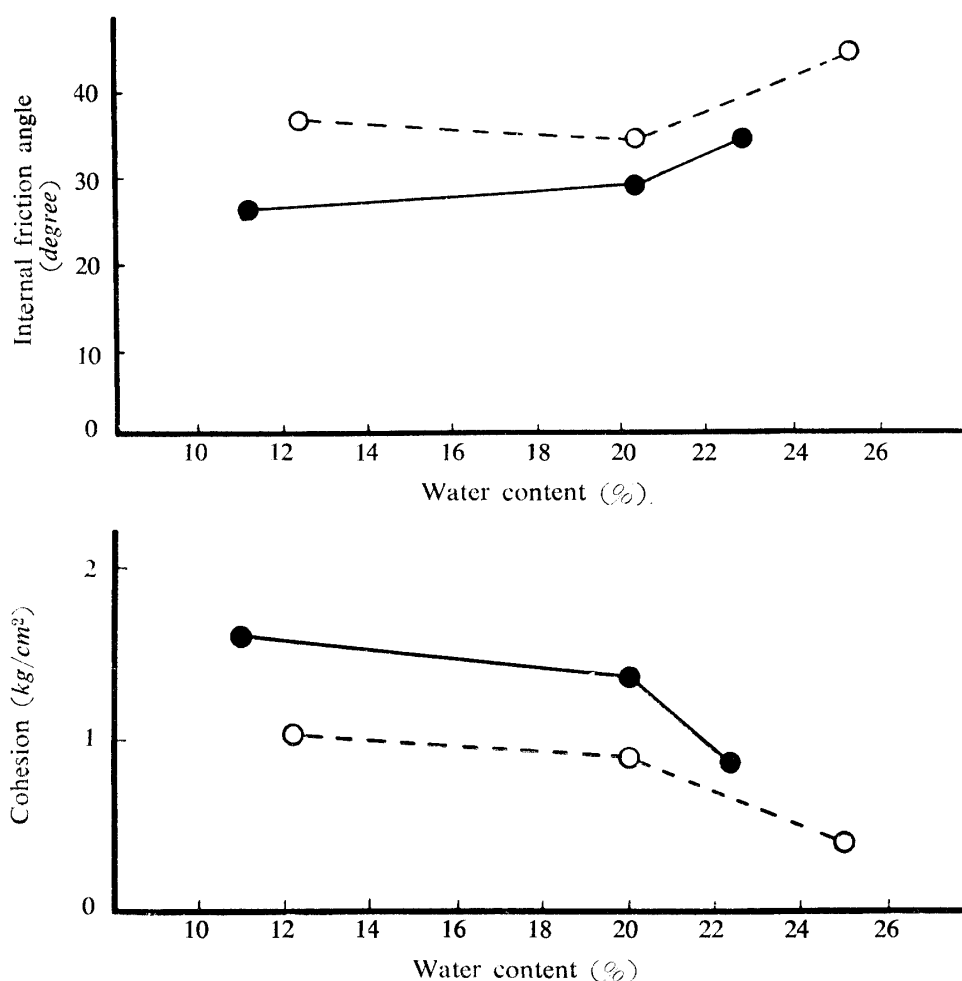


Fig. 7 Relation between water content and internal friction angle or cohesion on triaxial compression tests and direct shear tests

●—● Triaxial compression tests, ○-----○ Direct shear tests

すなわち

- 1) 内部摩擦角は直接剪断の方が三軸圧縮に比して5~10 degree 大きくなっている。
- 2) 凝集力においては 1) とは逆に、三軸圧縮の方が $0.3 \sim 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 大きくなっている。

VI 摘 要

シラス層中の軽石が、シラスの物理的・力学的性質にいかの影響しているかをするために試験を行い、次の結果を得た。

1. 軽石の二、三の性質

(1) 仮比重, 真比重 (0.70, 2.19) とともにシラスの値 (1.19, 2.39) より小さく孔隙率 (68%) はシラスの値 (50%) より大きい。

(2) 浸透係数 繊維の方向によつて大小はあるが大體 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ の値をもつており、シラスの値と殆んど変わらない。ただし軽石相互間の空隙の浸透係数はこれよりずつと大きいのではないかと思われる。(Table 1. 参照)

(3) 圧縮強度 繊維の方向によつて、また試料の含水の多少によつて強度に相当の違いがある

が、何れにしてもシラスの未攪乱試料の値にくらべ約 30 倍位の大きさをもっている。(Table 2., Fig. 1 参照)

2. 突固め試験

<4.8mm の方が <2.0mm の場合よりかえつて dry density が小さい。これは 1.(1) の値の差であつて、突固められた緻密さから云えばどちらが大きいとも云えない。しかし何れの場合も最適含水比は約 23 % である。(Fig. 2 参照)

3. 剪断試験

(1) 三軸圧縮試験 remoulded specimens について歪制御による圧縮試験を行い、次の結果を得た。(Table 3. 参照)

1) 含水比の少いときは <2.0mm の方が <4.8mm より内部摩擦角は小さいが、凝集力は大きく、含水比が 20 % 近くになると逆に <2.0mm の方が、内部摩擦角が大きく凝集力は小さくなる。(Fig. 4 参照)

2) 内部摩擦角と凝集力の両者を考えた場合の剪断抵抗については第 1 報の未攪乱試料において予想したのと違い、含水比の少いとき (20%位迄) は <2.0mm の方が <4.8mm よりむしろ大きく、23 % 位になると逆に小さくなつている。つまり礫の存在は含水比の多いときに、より影響を及ぼすものと思われるが、この結果はむしろ供試体の dry density の差によるものではないかと思われ、明確でない。(Fig. 3 (i), (ii), (iii) 参照)

(2) 三軸圧縮試験と直接剪断試験との比較

<2.0mm の remoulded specimens について直接剪断試験を行い、上記の三軸圧縮試験の結果と比較した。その結果、内部摩擦角は直接剪断試験の方が三軸圧縮試験の値より大きく、凝集力は逆に小さくなる傾向がある。(Table 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig 7 参照)

附記 この研究の一部は昭和 33 年 5 月農業土木学会大会において発表した。なお実験に対し尽力された高倉二郎、馬場朝隆両君に感謝の意を表す。

文 献

- 1) 河原田礼次郎：鹿大農学部学術報告 6, 222 (1957).
- 2) 三木五三郎：シラス地帯災害調査報告 2, (1952).

Résumé

We made present experiments on influences of pumices in the *Shirasu* layer upon the physical and mechanical properties of *Shirasu*.

Results obtained are summarized as follows:

1. Some properties of pumices

- (1) Both the apparent specific gravity (0.70) and the specific gravity (2.19) are smaller than those of *Shirasu* (1.19, 2.39 respectivity), and consequently the porosity (68%) is larger than that of *Shirasu* (50%).
- (2) The permeability has various values with the directions of fibre, but it has about $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm/sec}$ order, and it is nearly the same with that of *Shirasu*. However, the permeability of pores between the pumices will be much larger than above mentioned order (see Table 1).

(3) Compressive strength

There is reasonable difference in the compressive strength according to the direction of fibre and the quantity of water content, but in any case, values of compressive strength of pumices were about thirty times as large as those on undisturbed specimens of *Shirasu* (see Table 2 & Fig. 1).

2. Compaction test

The dry density on the coarse specimen ($<4.8mm$) is rather smaller than that on the fine specimen ($<2.0mm$). This may be due to the difference in the values of 1. (1) mentioned above. Therefore, it is hard to judge which is the larger in the compactness. But, the optimum water content is about 23% in any case (see Fig. 2).

3. Shear test

(1) Triaxial compression test

The triaxial compression test with a strain control was carried out on the remoulded specimen.

The result obtained is summarized as follows (see Table 3):

- 1) When the water content is low, the internal friction angles on $<2.0mm$ specimens are smaller than that on $<4.8mm$ specimens, but the cohesions on $<2.0mm$ specimens are larger than that on $<4.8mm$ specimens.

When the water content approaches to 20%, inversely, the internal friction angles on $<4.8mm$ specimens are larger, and the cohesions on $<4.8mm$ specimens are smaller than those on $<2.0mm$ specimens (see Fig. 4).

- 2) The shearing resistance which the internal friction angle and the cohesion are working, on $<2.0mm$ specimens is larger than that on $<4.8mm$ specimens, when the water content is low (about to 20%). And as it approaches to 23%, the resistance on $<2.0mm$ specimens becomes smaller, inversely.

That is, the existence of gravels gives a more influence on the shearing resistance when the water content is high. But, the result obtained may be due to the difference of dry densities of the specimens, though it is not obvious (see Figs. 3 (i), (ii) & (iii)).

(2) A comparison of triaxial compression tests and direct shear tests

The direct shear test was carried out on remoulded specimens ($<2.0mm$) (see Table 4 & Fig. 5), and it was compared with a result of triaxial compression tests above mentioned.

Judging from the tests, the internal friction angle on direct shear tests is larger than that on triaxial compression tests, and the cohesion shows inversely a tendency to become smaller (see Figs. 6 & 7).