

## シラス地帯研究(第2報)

シラス層における含水量及びその  
力学的性質に及ぼす影響

西 力 造・木 村 大 造

本研究は主として昭和25年6月より同26年8月に至る1年2ヶ月に亘り、鹿児島市郊外の各方面のシラス層の現場において行つた結果である。

## I. シラス層の自然状態における含水量

## A) 降雨後のシラス層の含水量の変化

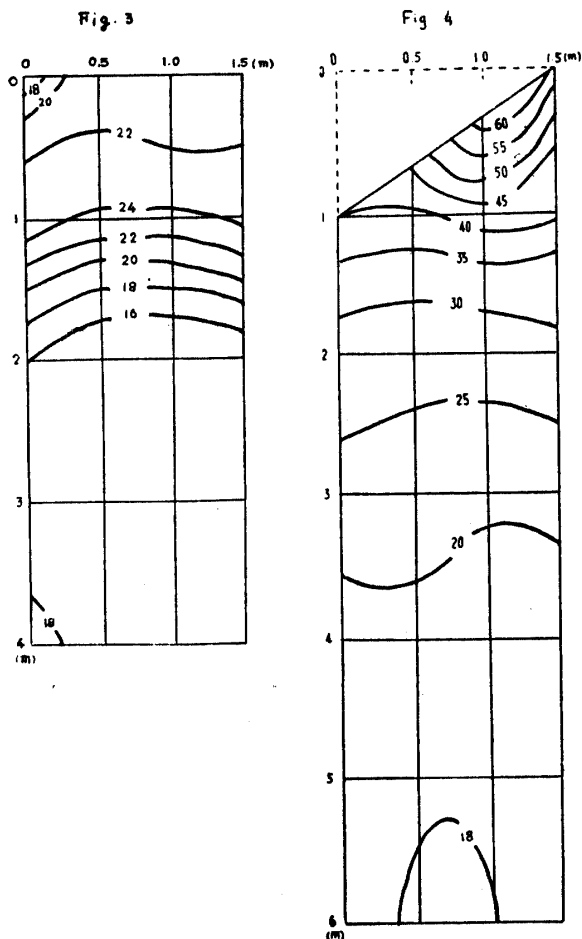
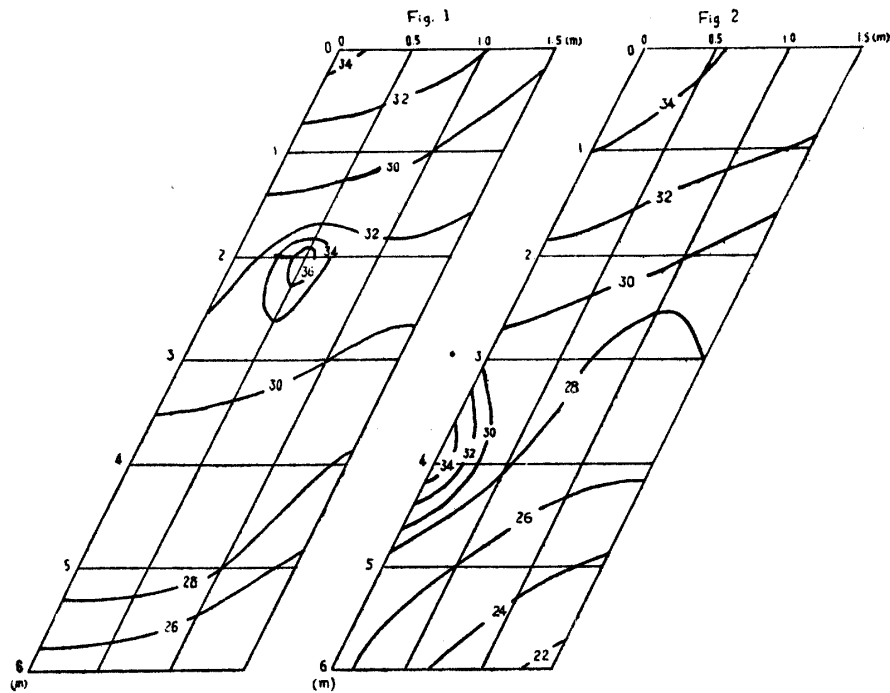
シラスの種類、地形、季節その他種々の条件によつて異なるが、多くの箇所について実査の結果によると、含水量は15.0～23.6%で普通20%位である。相当の大雨でも吾人が想像したほど急激に滲透増加しないようである。殊に、シラス特有の直立せる断崖にありて露出面から、即ち、側方からの滲透は殆ど見られないで、主として上方よりの滲透通過によるものゝ如くである。シラス断崖3箇所において降雨毎に崖の上方より下方に1mの間隔毎に奥行に0, 0.5, 1.0, 1.5m掘り込みし点において、雨上りを待ちて直にシラス層内部の透水状況を調べた。

第 1 表

実験箇所	土 質	崖の高さ m	崖の傾斜角	降 雨 期 間	降雨量 mm	降雨前の 含 水 比 %	降雨直後の 含 水 比 %	採土調 査箇所数
鴨池町唐湊 A <sub>1</sub>	白シラス	6	65°	昭和25年 6月23日～26日	89.3	19～21	26～36	28
〃 A <sub>2</sub>	〃	6	65°	7. 1～ 5	66.7	19～21	22～34	28
〃 B	〃	4	90°	9. 12～ 14	185.0	15～19	16～24	20
〃 C	赤シラス	6	上より 0～1m…30° 1～6m…90°	10. 3～ 5	107.0	18～20	18～60	27

降雨後における含水比の水平的分布は、崖の傾斜65°の白シラスと30°の赤シラス（赤シラス層は崖の上部より0～1mの区間）は共にFig.1, 2及び4（0～1mの区間）に示す如く大体において崖の露出斜面附近最大にして、奥に行くに従つて漸次減少の傾向があるが、崖直立する所では、白シラス、赤シラス共にFig.3及び4（下部）の如く崖の上部より深さ2m位の間はその中央部（露出面より奥行0.5～1mの間）がやや高くなつていて、露出面附近も、奥行1.5m附近も余り差異がない。

垂直的分布は崖の傾斜65°の白シラスはFig.1及び2の如く2回共含水比の最大は崖肩附近にあつて、漸次下方に行くに従つて減少、（唯例外的にA<sub>1</sub>は上より深さ2m、奥行0.5m、の附近に36%、A<sub>2</sub>は上より4m、下方露出面に34%の所がある、これらの理由は判然としないが或は層



の組織の異同によるものか), 最低は最下層附近で  $A_1$  は 26 %,  $A_2$  は 22 % になっている。崖の傾斜  $30^\circ$  の赤シラスでは Fig. 4 の如く, その崖の最上層が最大 60 % 以上に達し, 上より深さ 1 m, 下方までは急激に減少し 40 % となり, 1 ~ 2 m 区間は 40 ~ 30 %, 2 ~ 3 m の区間では 30 ~ 20 % に漸次減少し, それ以下, 即ち, 3 ~ 6 m の区間では, 大体 20 % 前後で殆ど差異がなく, 降水の影響を受けていないようである。

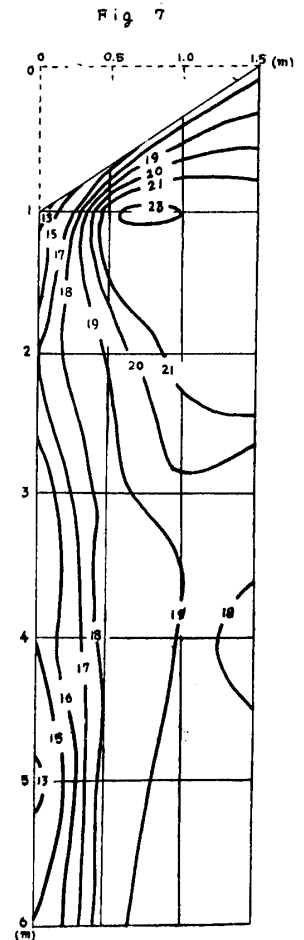
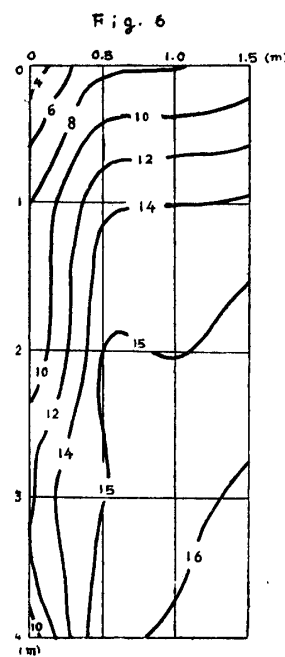
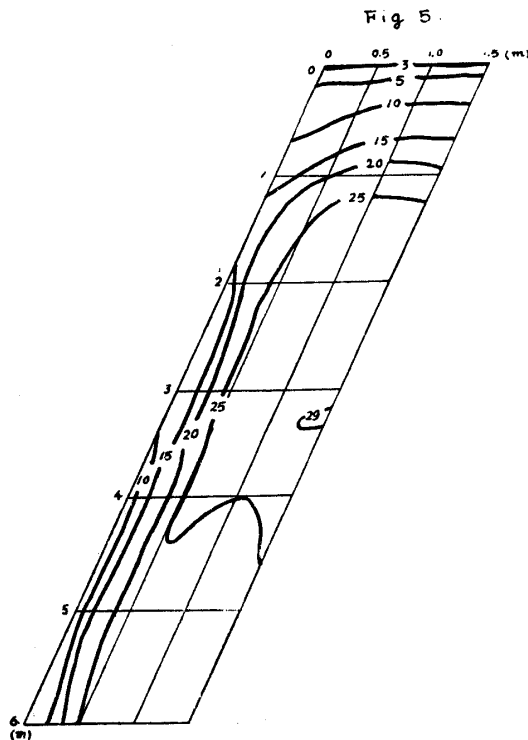
#### B) 旱魃時のシラス層の含水量

前記降雨後のシラス層含水量を実験した同一箇所において翌 26 年 8 月盛夏に旱天 18 日続いた際, 同一方法で旱魃時におけるシラス層の含水分布状況を調査した。試験地状況が前年に比べ変化のあつたものは A で, その露出斜面の大部分が芝に覆われていたことである。

先ず白シラスについて見るならば Fig. 5 及び 6 に示す如く露出面の最表層 1 ~ 5 cm では

第 2 表

実 験 箇 所	土 質	崖の高さ m	崖 の 傾 斜 角	早 乾 時 に 於 ける 含 水 比 %	採 土 調 査 箇 数
鴨池町唐湊 A	白シラス	6	65°	3~29	28
〃 B	〃	4	90°	4~16	20
〃 C	赤シラス	6	上より0~1 mの間 30° 1~6 mの間 90°	13~23	27



含水比 3~5% 位で殆ど絶乾状態にあつて、その色も白味を帯び、指先で少し触れても脆く崩れる程度である。殊に崖の上面は、その表層より深さ 1 m 位までの間は 3~15%，側面は表層より奥行約 20 cm までの含水比 6~15% で、上面が側面より可成り乾燥し易いことを示し、又上方、側方共にその露出面附近の等湿線の接近はその含水分布変化激しきを表わしている。又崖直立し表面裸地なる B の地表層面の含水比 3~8% なるに、崖 65° の斜面にして草生地たる A の地表層面の含水比 10~20% であり、夫等内部の含水比も前者は 15~16%，後者は 20~29% で、可成りの差異がある、こ

れは地被物の存在が如何に乾燥を妨げたかを如実に示したものである。

崖の傾斜垂直、裸地と云う同一条件の下にある白シラスと赤シラスとを比較するならば Fig. 6 及び 7 の如く露出面附近（約奥行 0.5 m まで）で白シラス 3~14%，赤シラス 13~18%，更にそれより内部の地層について見れば、白シラス 14~16%，赤シラス 18~23% で、赤シラスが白シラスに比べて可成り乾燥し難いことが判断される。又白シラス、赤シラス共に

露出面附近は旱魃によつて可成り影響され易いが、それ等の内部の地層は共に降雨後と同様、殆んど影響を受けることなく、大体において常時の含水比と同じである。

之を要するに

1) シラス層の組織に特別の欠陥変動がない限りは相当の大雨でも（数日間に亘り 100 mm 以上の降水量）含水量の変化は表面又は崖側露出面より僅少な範囲に限られ、殊に側方が直角に切取られたものにありては上層表面より 2 m 位までに止ること。

2) 反対に相当旱魃が続いても（盛夏 18 日も除雨なし）その乾燥は表面より 1 m 位の所に止り、他は殆ど常態を失わないということが出来るようである。

3) 斜（65°）に切取りたるものゝ等湿線の方法は大体内方より外方に下向に傾斜し、直角に切取りたるものは等湿線はほぼ水平（やゝ中高）に向つている。滲透の方向はこれ等等湿線に直角なりと推定して差支えなからうと思うから、従つてこれは滲透の方向も示すものである。

4) 直角に切取りのものは側方からの滲透殆ど認められない、上面からも 1 m 位までしか影響が認められない、斜に切りとつたものはこれに比較して遙かに滲透度が大である。

5) 白シラスと赤シラスとの比較は材料不充分であるが、赤シラスの方が土中における水の運動は遅緩なようである。（尙この点は次の実験の結果から明白に立証せられた）

## I. シラス層における滲透

自然状態のシラス層に降下した水の滲透速度、方向、量を知るために、白シラスと赤シラスとの両地層に、直径 20 cm の円筒形の水溜を穿ち、先ず満水し前回の水が滲透後、更に注水 3 回、この場合の注水量毎回 12 l 宛計 36 l が断面 314 cm<sup>2</sup> を透通するに要した時間は第 3 表、この地層の実験前の組成は第 4 表の如し。

滲透速度は Fig. 8 及び 9 に示す如く回を重ねるに従い漸次緩漫に、即ち、土の含水量が多くなり相対的湿潤度（ $= \frac{\text{水の容積}}{\text{間隙容積}}$  Terzaghi 氏の所謂 Feuchtigkeitsgrad）を高めるに従い遅緩すると云い得る。次に土質については白シラスと赤シラスとでは、白シラスの方が遙かに早い、又速度の経過は Fig. 8 及び 9 の如く何れも注水直後は早く、上部より深さ約 5 ~ 10 cm 位は比較的早く、漸次緩漫となり底部の 3 ~ 5 cm 位に

第 3 表（深さ 35cm の水が滲透するに要した時間）

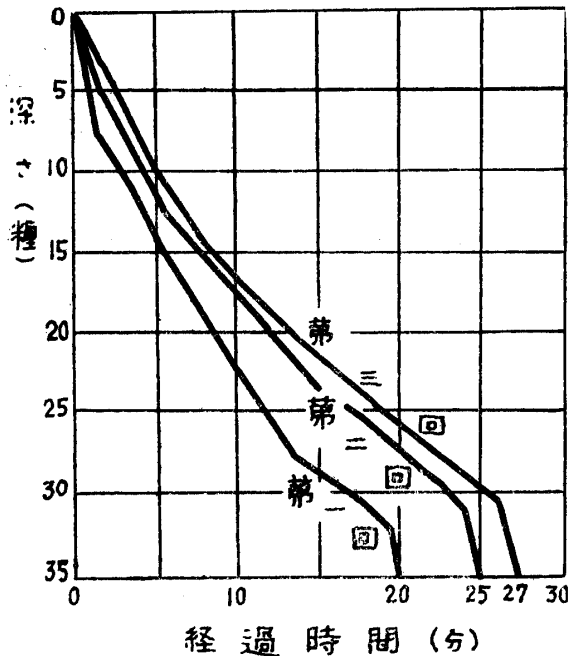
実験箇所	土 質	滲 透 時 間			
		第 1 回	第 2 回	第 3 回	計
郡元町唐湊	白シラス	20分	25分	27分	74分
〃	赤シラス	35	38	43	116

第 4 表

実験箇所	土 質	含水比	見掛比重	真比重	間隙率	間隙比	相 対 的 湿 潤 度
郡元町唐湊	白シラス	20.0%	1.33	2.38	44.1%	79.0	50.3%
〃	赤シラス	25.2	1.29	2.54	49.2	96.9	66.1

Fig. 8

白シラス



なると極めて速かに吸込まれる。

滲透分布状況を見るために、第3回目の注水が完全に滲透された後、直ちに水溜中心を通り垂直な崖面に平行なる面に切取つて、その断面について滲透分布を測定した。その結果によると、滲透の主方向は Fig. 10 の如く白シラス、赤シラス共に重力の方向 FG と重力と側方滲透の2分力の合成力の方向 GE の2方向があつて、何れも大体 60 cm 位まで滲透している。最上層 AB 方向がその滲透範囲及び滲透量が最小で、最大滲透量を示した点は水溜底より、白シラスは 25 cm、赤シラスは 15 cm 下の所にある、赤シラスには尙もう一つ水溜底線 FC の延長線上 10 cm 離れた所にあつた。その滲透

Fig. 9

赤シラス

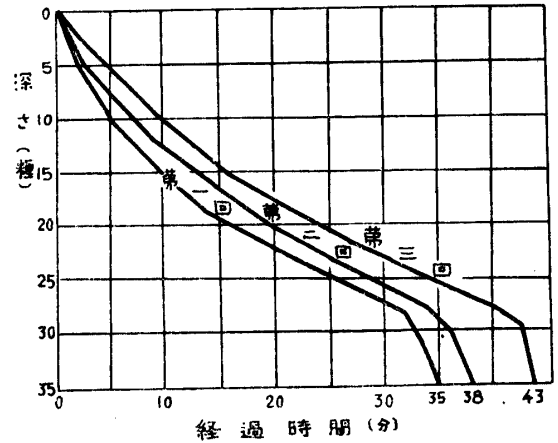
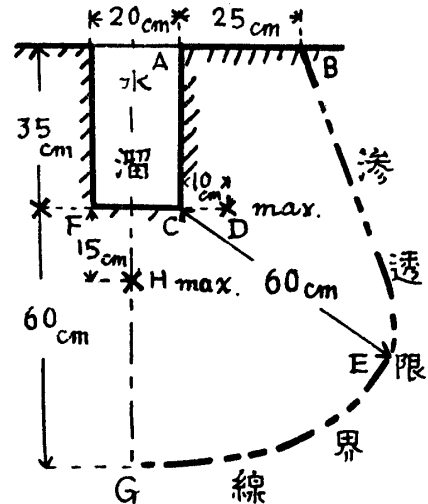


Fig. 10



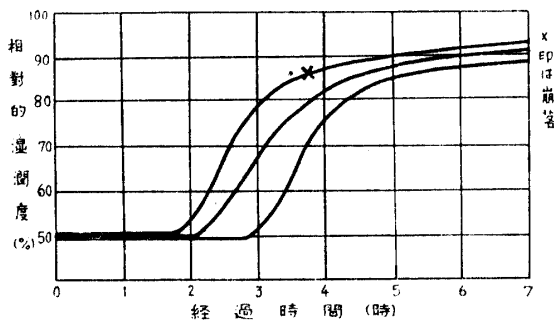
限界線は大体 BEG なる曲線で示すことが出来る。

水頭 (head) と滲透との関係を知るために、シラス断崖において直径 20 cm の円筒形の水溜 a, b, c の深さ各々 80, 50, 20 cm の3種を作り、それ等の水底より観測面までの滲透通過垂直距離は、すべて同じく 60 cm にし満水後

第 5 表

実験箇所	土質	含水比	見掛比重	真比重	間隙率	間隙比	相対的 湿潤度
郡元町堀切 水溜 a	白シラス	20.3%	1.31	2.34	44.0%	0.783	50.8%
" b	"	20.4	1.31	2.34	44.0	0.785	50.8
" c	"	20.4	1.30	2.34	45.0	0.815	49.6

Fig. 11



は常に水位を一定に保つ様絶えず注水し、水圧の相違が如何に透水に影響を及ぼすかを観測した。

このシラス層の自然状態における組成は第5表の如し。

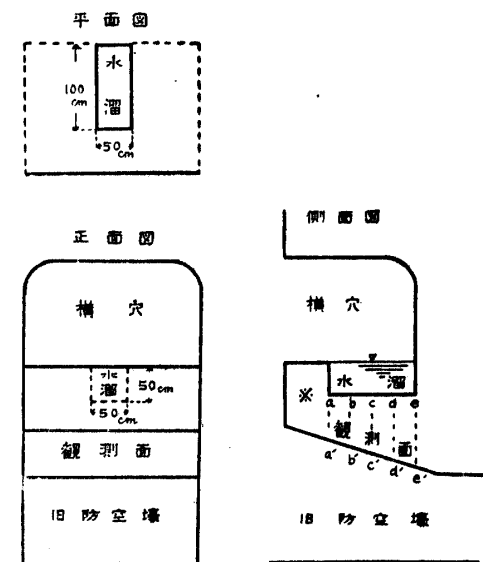
その滲水速度は Fig. 11 の如く、シラス層の相対的湿潤度 50 % 前後から 80~90 % に至る間は何れも急速度に増加し、それから進度衰え

極めそ緩漫となる傾向がある。b 水溜だけは例外的に注水後 3 時間 45 分で観測面の一部が崩落したが、他の 2 つは 7 時間後においても落盤するに至らなかった。切取つて見た結果 b 水溜の底下に空隙の多い砂層が混入した為であつた。大体において水頭の大なるほど透水速度が大なるは勿論であるが、その関係はそれ程重大でなく、寧ろ地層の組織に影響せらるゝ所が大きい。

## II. 含水量の變化と崩壊

シラス断崖に作れる旧防空壕 3 箇所 A, B, C を選定し、その上部に Fig. 12 の如き横穴を掘り、その底部に 50×50×100 cm の水溜をつくり、水溜の底の透水層の厚さは第 6 表の如く種々異なる

Fig. 12



厚さにとり、これに水を注ぎ、満水後は常に一定の水位を保つ様注水し、10~20 分毎に観測面 a, b, c, d, e の 5 点で相対的湿潤度の時間的变化と水による崩壊の危険限界を観測した。

A, B, C 3 箇所における観測前の自然状態にあるシラス層の組成は第 7 表の如くである。

透水速度は A, B, C 各箇所共相対的湿潤度 80~90 % に至る迄は、Fig. 13, 14, 及び 15 の如く急速度に進んで後、緩漫となり、88~95 % に達すると観測面に小さい崩落が起り初めた、A は満水後 3 時間 40 分で相対的湿潤度 85.4 % に達していたが、夕方まで遂に崩落せず観測面

第 6 表

実 験 箇 所	透水層の厚さ (m)					土 質	含水比 %	見掛比重	真比重	間隙率 %	間隙比	相対的湿潤度 %
	aa'	bb'	cc'	dd'	ee'							
宇宿町二軒茶屋 A	50	60	70	80	90	白シラス	20.0	1.33	2.38	44.0	0.790	50.3
〃 B	34	42	47	57	57	〃	21.4	1.38	2.37	41.7	0.715	58.5
〃 C	55	65	75	85	95	〃	20.4	1.34	2.42	44.6	0.806	50.8

Fig. 13

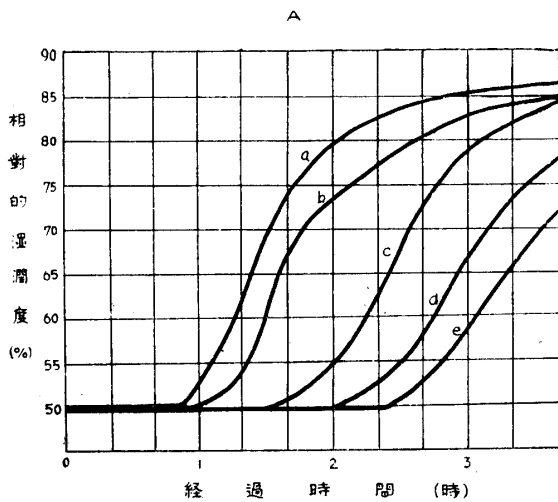
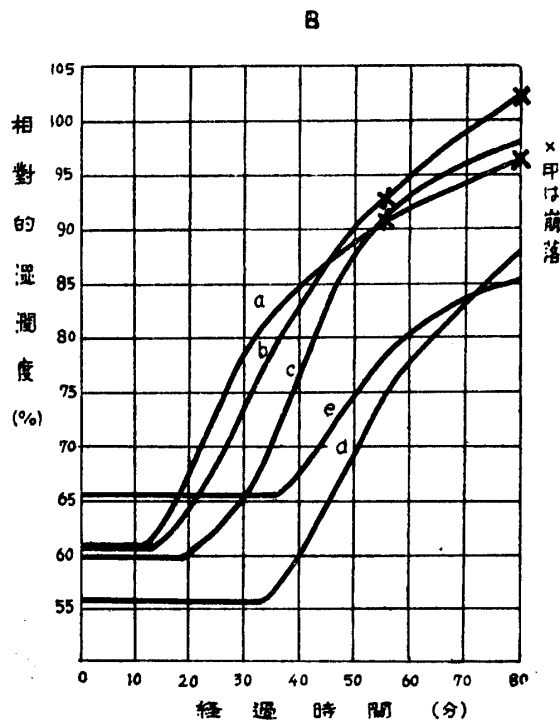


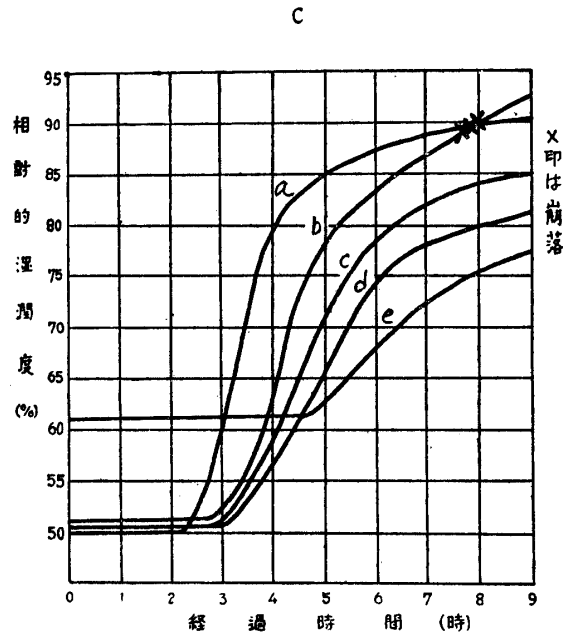
Fig. 14



の一部が夜中に落ちたことを翌朝になつて発見した。

Bは底の厚みが最も薄いものであるので、他の2つに比べ極めて早く、満水後50分にして小崩落を起しその時のa点の相対的湿潤度92.8%, b点96.3%, 1時間20分にしてa'b'間で水溜の底が抜けて大落盤をなした, その相対的湿潤度98~105%であつた。

Fig. 15



Cは満水後7時間46分にして相対的湿潤度87.5%でa b間で小崩落を起し, 7時間53分にb点で相対的湿潤度88.5%で小崩落したが, その後は9時間を経過しても崩落せず, 日没のため実験中止した. 翌朝においてもその後何等の変化も認められなかつた. 而してこれ等は皆殆ど飽和状態か, 或はそれ以上の含水量に相当している. これ等の滲透水を降水量に換算すると, 234~870 mm (時雨量97~234 mm) の豪雨に相当している。

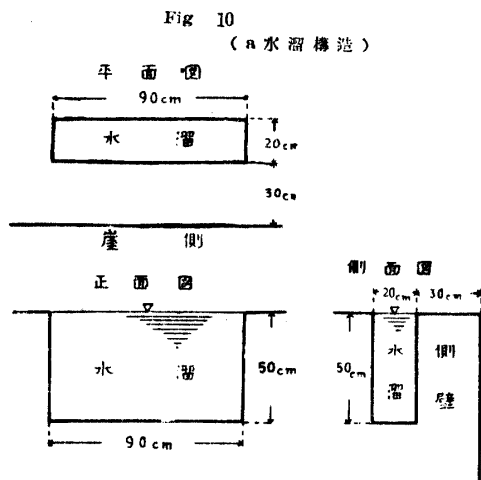
落盤の状況は水溜下部の地盤落下は塊状でなく, 水分の増加と共に土層に罅が入り漸次剝脱して, 遂に薄い鱗片状となつて小規模に剝落し, その剝落面は大體半球状をなしている. その際最も危険と想像していた水溜前面の Fig. 12 に示す×印部分は崩落するに至らなかつた。

要するに垂直方向に滲透する水は相対的湿潤度80~90%までは比較的速かに滲透するも, それ以上は急に速度が減退し, 且つ90~100%近くに至つて小片として剝落することもあるが, 普通の組織のものにおいては飽和状態にお

いても、尙大規模の崩落を起すに至らざるものゝ如くである。

#### Ⅳ. シラス層における側方滲透と崩壊

実験は鹿児島市堀切のシラス崖縁において、Fig. 16 の如く、一方の崖傾からシラス層の側壁の



厚さ  $a$  は 30 cm,  $b$  は 20 cm,  $c$  及び  $d$  は 10 cm を残して、何れも幅は 20 cm, 深さは 50 cm とし、長さは何れも側壁の厚みの 3 倍ある水溜 4 箇所を作り、これに水を満して、その後は常に水頭を一定に保つ様静かに注水し、滲透によつて側壁に如何なる影響を及ぼすかを観察した。

この実験箇所のシラス層の組成は注水前において第 7 表の如くである。

第 7 表

実 験 箇 所	土 質	含水比	見掛比重	真比重	間隙率	間隙比	相対的 湿潤度
郡元町堀切 a 水溜(側壁の厚さ 30cm)	白シラス	20.3	1.32	2.36	44.0	0.785	51.1
" b " ( " 20cm)	"	20.3	1.30	2.34	44.0	0.798	50.1
" c " ( " 10cm)	"	20.8	1.31	2.40	47.5	0.905	47.8
" d " ( " 10cm)	"	20.1	1.30	2.36	45.0	0.818	47.8

a 水溜(側壁の厚さ 30 cm のもの)においては、満水後 1 時間 55 分経過して、正面側壁の中央 2 等分線上、上端より 50 cm の深さの点、即ち水溜底の延長に当る所より水が少し泌み出し徐々にその滲出面積を広め 5 時間 40 分で側壁全面に及び、7 時間 55 分で、側壁が外方へ弧状に彎曲して最大、上端中央部では 3 cm 膨んだが、試験を始めてから 8 時間 5 分を経過しても、側壁の破壊は見られなかつた。そこで 48 l (バケツ 3 杯) の水を逐次加え溢流せしめたが、それでも破壊せず、只側壁上部に小さな溝が出来て流出し、側壁の外部の面は溢流によつて、軽石の間のシラスの一部を洗い流し、軽石の大部分が浮き出した如く取残され、恰も軽石がシラス層の骨材の役目を果しているかの観がある。

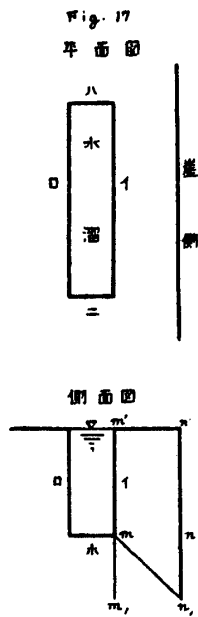
b 水溜(側壁の厚さ 20 cm のもの)は、大体 a と同じ状態で経過し、所要時間 8 時間 5 分、注水総量 320 l に及ぶも、遂に何等破壊の徴を見なかつた。

c 水溜(側壁の厚さ 10 cm のもの)は、側壁に植物の枯死せる鬚根が混入していたため、その根とシラスの隙間を伝つて来た水は、シラス層の微細粒子を次々に流去し、その間隙を大きくすると共に透水速度を増して、遂に側壁に亀裂を生じ水を迸出し、僅か 11 分 30 秒で側壁を前方へ約 50 cm 跳ね飛ばして完全に破壊した。



d 水溜(側壁の厚さ 10 cm のもの)は, c 水溜破壊後その補充として, 実験を少しく遅れて始めた為に, 夕刻まで 5 時間 27 分を費し, 注入水量は 104 l であつたが, その経過は大体 (a, b) の場合と同様であつた。

これ等水溜の水は, 水溜の 4 周イ, ロ, ハ, ニ及び底面ホの 5 方向に滲透し, その滲透速度, 滲透量は方向によつて, 夫々異なるが, これ等を精確に決定することは出来なかつた。前述「シラス層の自然状態における含水量」の研究によりても知らるゝ如く, 垂直方向の滲透に比較して水平方向への滲透は非常に低いようであるが, 此の実験の場合水溜中の水は底部においては head = 50 cm の圧力をうるから相当滲透流出が考えられる。実験の a 水溜においては mn の距離 30 cm を 1 時間 5 分にて滲出したから 10 cm 当り約 22 分を要し, b 水溜にては同じく mn において距離 20 cm を 45 分要し 10 cm 当り同じく約 23 分となつている, 然し m'n' の方向にては, a の場合 5 時間 40 分, b にては 5 時 45 分を要している。底部から垂直に mm<sub>1</sub>; mn<sub>1</sub> 等の方向は恐らく mn 部と同速, 又はそれ以上速かであらうと考えられる。



この注入滲透した水の量は, a = 390 l (降水量に換算すれば 270 mm), b = 260 l (〃 270 mm), d = 74 l (〃 225 mm)

これ等の水は水溜の 4 周及び底面の 5 方向に滲透したと考えらるゝけれど, 前にも述べし如く水平の方向は少くとも head に比例して上方に登る丈け速度小となり滲透流出も少い, 今仮りに単純に高さに正比例するとせば, 4 周の流出は平均 1/2 となるからこの面積を 2 等分して全体の面積を合計し, 単位面積 1 cm<sup>2</sup> 当りの滲透量を求めれば第 8 表に示す如くである。

第 8 表

水 溜 番 号	a	b	c
4 周 面 積 = F cm <sup>2</sup>	11,000	8,000	5,000
F/2 cm <sup>2</sup>	5,500	4,000	2,500
底 面 積 = B cm <sup>2</sup>	1,800	1,200	600
F/2 + B cm <sup>2</sup>	7,300	5,200	3,100
滲 透 総 量 l	390	260	74
1 時間当滲透量 l	48	32	14
1 cm <sup>2</sup> 当滲透量 cm/h	5.4	6.1	4.5

るによるものと考えられる。

この実験の結果から見ても, m 点においては圧力によつては殆ど崩壊を起さなかつたのみならず, 全体としては, 滲透の結果彎曲を起して, 撓度約 3 cm に及んだが, 遂に破壊に及ばなかつた処から, 相当の彎曲強度を有していると推定される。これに反して, c の場合の如く, 地中に挿入された鬚根を伝うて水が或速度を以て通ずる時は, 極めて容易に崩壊を起すことが判る。即ち, 外力により機械的に流送又は削磨されないならば意外に安全なもの様である。

本来ならば, a 又は b が側壁の厚さ大であり, d が最も薄く且つ試験継続時間が短いから, a, b の方が速度が小となる筈であるのに, 結果は a の方が大で d の方が小である。これは最低部 m においては垂直方向も水平方向も略々同等で, それから上方の側壁は高さに比例して漸減すると思つたのであるけれど, 実際は垂直方向が大で水平方向への滲透はそれ以上小なる

尙前述の滲透の結果として側壁が彎曲し中央の部分では3 cm にも及んだと云うことは、これを如何に解すべきであらうか。シラス層の壁が外力の爲彎曲した結果の撓度であるとすべきか、或は含水量の増加によりシラス層が膨脹した内力の結果と見るべきか、判定に苦しむ所であるが、恐らく主として後者の原因によるものと思われる。含水量の変化が、シラス層の膨脹収縮を起すと思われることは、他の実験の場合にもその徴候を認めた処で、これはシラス層崩壊の原因に関係ある重要事項であるので、今後更に追求せんとする問題である。

(昭和27年6月)

### R é s u m é

#### Studies on the "Shirasu" District I

#### The Water Content of the "Shirasu" Layer and its Influence on the Mechanical Properties of Soils.

Rikizo NISHI and Daizo KIMURA

##### 1. The water content of the "Shirasu" layer in the natural state.

- 1) According to our researches on the water contents of the "Shirasu" layer immediately after the heavy rains ranging from 67 mm. to 185 mm., they are restricted within a minute depth — down to 2 m. especially in the layer stood vertically — from the surface. (Figs. 1—4.)
- 2) Even after a fairly drought without rainfalls of eighteen days in summer, fluctuation of humidity of the "Shirasu" layer reaches seldom down to 1 m. in depth from the surface, and the portion deeper than it is almost constant (Figs. 5—7.)
- 3) The directions of the isohumid lines in the slope cut off obliquely (65°) are from the inner toward outer obliquely (Figs. 1—2.), and those of the cliff cut off vertically are approximately horizontal. (Figs. 3—4.)
- 4) It is seldom to percolate from the lateral side, while the percolation from the upper surface of the layer cut off vertically rarely reaches about 1 m. in depth (Figs. 3—4.), and the percolation of water into the layer cut off obliquely is much deeper. (Figs. 1—2.)
- 5) Percolation of water into the white "Shirasu" layer is much greater than those into the red "Shirasu" layer. (Figs. 1—4.)

##### 2. Percolation at "Shirasu" layer.

- 1) The more soils content the water, the more water percolate slowly. (Figs. 8—9.)

- 2) Percolation of water in the vertical direction is greater than that in the horizontal direction. (Fig. 10.)
- 3) The more head is high, the more percolation is large. However, the influence of the height of the head on the percolation is not so greater than those of the texture of the soil layer.

### 3. Fluctuation in the water content and falling.

- 1) The velocity of the vertical percolation of water is faster within the limit of the relative humidity of soils ranging from 80 to 90 %; but it decreases gradually when the relative humidity overs the above limit. (Figs. 13—15).
- 2) As the limit of the relative humidity ranging approximately 90—100 % is reached, the soil exfoliates as a small scale, but the exfoliation in large scale occurs rarely on the "Shirasu" layer with usual texture. (Figs. 13—15),

### 4. Percolation to the lateral side and falling.

- 1) Percolation to the lateral side, *i.e.* horizontal percolation, occurs slowly.
- 2) Even when the water content in the side wall is increased and the wall is bent out, the occurrence of the falling of soils is very rare.
- 3) If there exist the defects, *viz.* existence of the sand layer or rotten tree roots buried in the layer by which erosion occurs easily, the velocity of the water is accelerated and thus soils fall down easily.