

シラスの土質力学的特性とその原因

(シラス防災の研究 第一部 その2)

上 田 通 夫

(受理 昭和46年5月30日)

MECHANICAL PROPERTIES OF "SHIRASU" AND THE CAUSES

Research on "SHIRASU" Disaster Part I No. 2

Michio UEDA

In this paper, the author tried to summarize the history of studies of "Shirasu", which, he thinks, reveals itself through the relation. And he attempted to divide the time into three periods. The first, preparatory, the second, of fundamental research, and the last, which may be subdivided into two parts, is of florescence.

The first or preparatory period will be the time before people suffered the great damage from typhoons Dela etc. hit the South Kyushu district in the summer 1949. The second period appears to be until the end of 1961, when the regulating law of building-land-making was published. The last, from that time down to this day.

Here the author writes till the end of the second period.

Through the first period we have various kinds of research, concerning natural science, engineering, disaster, and agriculture. Among the rest, reports on geological matter are remarkable. Especially T. Matsumoto's works about sunken calderas in South Kyushu are most prominent and famous. He assumes that other three gigantic volcanic calderas of the Aso type existed in South Kyushu and he named two of them Aira and Ata calderas. "Shirasu" and mud-lava are similar in substance coming from the above two past volcanoes.

R. Nishi reported about the forms of landslips in the experimental plantation of Kagoshima Higher Agricultural and Forestry School. Though he did not just notice "Shirasu" of its distinct properties, the report is yet noteworthy having not little to do with it.

Generally speaking, they did, of course, not imagine the subsequent disaster and also did not pay attention to "Shirasu" as the cause of it during that time.

In 1949 big typhoons as Dela hit South Kyushu and brought much damage. They became aware that "Shirasu" had much to do with landslip and outflow of sand, and more over, that it was the chief factor of the disaster. Research and investigation became active. Many reports were made public. The author now picks up most representative two individual works and gives rough introduction of them.

G. Miki's study of "Shirasu" chiefly from the field of soil mechanics was the first authoritative work and became a firm base of followers. After general observation of natural "Shirasu" and its table-land he found out some characteristics of it. For example, (1) water erosion is conspicuous, and he noticed the covering effect of the uppermost pumice-loam bed, (2) a slope stands high safely upright, (3) mechanical properties change when disturbed, and (4) the essential means of preventing a landslide are to protect "Shirasu" from water flow, were what he uttered. Carrying out various tests as compression test both of disturbed and undisturbed test pieces, bending, compaction, penetration, permeability, and water erosion of mixed material of "Shirasu" with pumice-loam, he gave ground to the above utterance and showed some practical ways how to treat natural "Shirasu" and its disturbed soil.

One important matter, however, remained unsolved, that is the stability of a high steep cliff. Miki attributes the cause to internal friction, but it is rather difficult to accept.

After carefully observed the damage cite M. Tamachi offered several concluding remarks of actual

use. He thought, regarding the upright cliff, a certain unknown cohesive power such as from chemical substance or of natural welding would exist. His proposal, widely covering the field of agricultural civil engineering and others, overlaps much on Miki's opinion and well agrees with it except the stability theory. He classified the types of landslide according to the causes, which many followers rely upon. Treating technics of water both on the tableland and underground and the devices for the "Shirasu" dam work are suggested. His contribution to those branches is estimable.

We can find not a little papers and data in the fields of engineering or geological science. R. Nishi cooperated with D. Kimura to know water erosion by actual test.

S. Taneda doubted that "Shirasu" is "aqueous deposition" of ejecta hurled up far from the vents and made it plain of its being pumice-flow.

M. Minato and Y. Katsui stratigraphically investigated the "Shirasu" of Aira caldera and Y. Gōhara with K. Komori also arranged the strata of those of Aira and Ata calderas.

Thus fundamental research was almost established before the end of this second period, 1961.

目 次

前報の正誤・補足・加筆

第二節 シラス研究略史

§5 区 分

§6 シラス研究第一期 —準備時代—

6.1 理学的研究

6.2 災害科学的研究

6.3 工学的研究

6.4 総 括

§7 シラス研究第二期 —基礎研究時代—

7.1 三木五三郎の研究

1° 研究の概要 (1)~(7)

2° 中心的問題点

3° 自立安定高サ (1)~(8)

4° そ の 他

7.2 田町正誉の研究 (1)~(6)

7.3 その他の研究

1° 侵蝕・崩壊

2° 工学的研究

3° 地質学・岩石学

7.4 総 括 (1)~(11)

補 足

3.2にいう固結力は、クーロン式の付着力とは異なる概念である。

$$S = C + \sigma \tan \phi$$

の C は $\sigma \tan \phi$ と同じ向きのベクトルで、移動作用面にも常在するいわば連続的な力で、両面を相互に吸着せしめる如く働くが、固結力は一度失なわれると再び回復しない、瞬間破壊性の静止膠結力である。固着という言葉も考えて見たが、固結の方がその感じをよく表わすと思い、以後これを選ぶことにする。

加 筆

定義を与えることなく議論した。シラスは地方の俗語で、人により理解にズレがある。著者は、太田良平の基本見解を妥当として、大筋は従いつつ、自己の心中に在る工学的対象を「軽石流の非熔結部、およびその二次堆積物、時に軽石流の微熔結部迄を含むことがある」とする。

第二節 シラス研究略史

哲学は哲学史なりの言葉は、宛としてシラスとその研究史に擬すべきか。二つながら、根本より未知なる

前 報 の 正 誤

頁 行	誤	正
17 下11	15~20	15~40
10	40	50 and more.
	1 kg/cm ²	2 ~2.5 kg/cm ²
18左下21	安定させるか、	安定させるか、及び 工事中の土砂流出を 如何に防止するか、
19右下10	得ない、	得ない。
20左上 6	天然シラスは、…	「天然シラスは、…
12	1 kg/cm ²	1 ~2.5 kg/cm ²
13	15~20時に40	15~40、時に50以上
15	強度にも	強度に
22	……起こす。	……起こす。」
右 上10	組織	組織
23	推論	推論
21左上 8	結合	結合説
右下11	固守てし	固守して

ものを探る立場に居るからである。この自覚を疎かにすると、安易に既成概念に倚懸ったり、軽率に私意を雑えたり、つまり無心を遠ざかり、思考が直ぐなるを得ないことになる。嘗て、「シラスに関しては百人百説で、群盲象を撫するの観がある。」と言われた。その原因の一半は、上の事情に由ると考える。研究史は、それらの事態を自ら浮彫りにするだろう。因みに著者の視点よりして、叙述は工学的立場に重点を置く結果となる。

§5 区 分

時期的には、三或いは四区分が適当か。三の場合は、最後の時期をおよそ二分するのである。いまその方針に従って述べると、第一期は昭和23年以前で、これを前期又は準備期と見てよかろう。準備期とは、翌24年に台風と豪雨が南九州地方に齎した、大規模な災害を境として、俄かに活潑化するシラス研究活動より、振返り意味づけてかくいのである。第二期は、災害時以降、昭和36年11月宅地造成等規制法の制定を見、シラスに関して現実の困難が起り、解決策を必要とするに至る迄とする。第三期は、これをキッカケに、昭和38年9月鹿児島県当局の委嘱に依り、日本建築学会シラス研究委員会(仮称)が成立し、「宅地造成事業に伴う土質の調査研究」に着手した頃から、工学分野でも、シラスは漸次研究者の注目を惹き、同41年には、「土質工学会シラス研究委員会」が生まれた。時を同じうして鹿児島県庁内には、工事執行・行政指導等の要請上、「シラス対策研究協議委員会」が設置せられ、主として関係部課の間で、シラス対策について協力し合ったのであるが、必要に応じ、外部より学術関係者の助言をも求めた。この第三期を凡そ二分してよかろうというのは、昭和43年2月のえびの地震で、シラス地帯の山崩れ現象が起こったのに引続き、翌44年夏の豪雨に由り、工事災害の大規模なものに見舞われ、シラス土質の特殊性が、俄かに世間の注視を浴びるに至ったので、この頃を境として、前後に分けて見ようということである。

概ね如上の観点より、シラス研究史を簡叙することにしよう。

§6 シラス研究第一期 一準備時代一

前にいう如く、時を経て、シラス問題の抬頭とその解決に人々が関心を払い、苦勞を経験するようになり、研究に力を注ぐに至って後、過去を振り返って、思えばそれは準備時代であった、と意味付ける時期である。当時の先輩が、予め将来を慮り、意識してその準備を

した、ということでは勿論ない。当時は当時なりに、俗称シラスなる特殊土壌につき、研究者それぞれの立場から、真理を見ようと苦心したのであった。

研究は、地質・岩石・火山等の理学的分野、土工・工業材料等の工学的分野、砂防・山崩れ等の災害科学的分野並びに農学的分野に亘るが、多いのは理学的研究である。それは、時の事情としての自然であろう。シラス台地の特殊性は、それなりに気付かれていたにせよ、人間生活と最も密接な大災害が、シラスを中心としてやがて問題化することは、予想の外であった。以下、各分野毎に略述を試みる。

6・1 理学的研究

シラスとそれらを噴出した過去の火山、かくて形成せられたシラス台地の地形・地質・岩石学的調査研究が一般である。諸論文を通じて、シラスは「灰砂層¹⁾」^{2),3)} 或いは「浮石灰砂層⁶⁾」の名で記されるが、当地方では「シラス」と俗称すると、大正6年の報文¹⁾に明記している。

噴出源の旧火山に関しては、松本唯一の論文があり、南九州、薩隅日の三州に跨り極めて広大な火山灰・軽石の地域があることは、夙に知られた所であるが、その噴出の中心に関しては、明瞭な所説がないと述べ、始良火山³⁾と揖宿火山^{4),5),6)}の存在を説いている。後者は阿多カルデラ火山説⁷⁾成立の前段階である。鹿児島湾口附近、大隅半島西岸より薩摩半島東岸部にかけ、中括れ瓢箪形に繋がる東西二つの、肝属・指宿カルデラがある。併せて之を、日本国家の先祖発祥の地の古名阿多一大いなる窪地一と名づけ、皇紀二千六百年式典を記念しよう、と書いた。昭和18年である。以後この名は不動のものとなる。

6・2 災害科学的研究

(後補1)

西力造は、山崩れの形状⁸⁾について述べる。昭和4年6月30日と翌7月1日の豪雨によって生じた、鹿児島高等農林学校演習林内の多数の崖崩壊を調査して、先ずその崩壊形に関する理論を述べ、これより安定法切の形状を導こうと、努力している。本論文は、林内の土質・土層の詳細な実状が不明で、シラスを特に意識したものではなく、且つ、結論必ずしも明快ではない。しかしながら、崩壊形を整理分類し、力学的根拠を求めようとした、前駆的関連報文として評価すべきである。此の研究は、後に木村大造とのシラス地帯の共同研究^{9),10),11)}へと繋るのである。因みに、崖崩壊形の理論は現在高度に進歩し、例えば昭和45年11月

京都大学防災研究所に於ける災害科学総合シンポジウムでも、精緻な理論が展開せられた¹²⁾が、なお、実在の崖に具体的に適用して、解明することはできない。寧ろ西の論文の真価は、緒言の中にある。それは極めて含蓄に富む文字であり、研究が時に論理の末端を遂い、現実遊離の弊に陥らんとするに對し、意味深い警告と、自戒して聴くべきである。自然現象は常に平衡を求めて推移する。自然条件に重大なる変更を与え、かつ平衡を保たんとすれば、それに見合う、大なる人工的加力による補足を要する。従って第一に、本来の自然が如何なる状態の下に平衡を保持するかを、研究しなければならぬ。かくて、崖崩壊に関する実例を、自然の展開する範例として観察すべきである。殊に自然災害は一般に規模とエネルギーが広大である上、要因が複雑且つ対象の性状も変化に富むので、人工擁壁の土圧論の如き、比較的単純な仮定から導かれた理論を、そのまま利用する訳にゆかぬ。以上が西の言わんとする要点であり、著者も年来そのように主張して来た。現実に発生しない破壊機構論を、如何程発展させても、解決には達しない。事実を忠実に見るのが、理論構成の前提でなければならぬ。

6.3 工学的研究

(後補2)

6.4 総括

この期を通観して、下の如く取纏めるとしよう。理学的研究分野に於いては、灰砂層自体に殊更注目してその特徴を挙げたり、現在行なわれている様に、細かく分類する作業はなかつた。土質工学的な特色をアラワに指示し、又は暗示する箇所に出逢わない。ただ、山口鎌次は、鹿児島湾周辺台地の地形に就いて¹³⁾、河川による灰砂層の侵蝕開析の容易な事実を認めている。シラスが流水に弱い、という特質に期せずして触れた文章である。又その侵蝕は、必ず灰砂層下の「灰石」の表面に迄及び、灰砂層は透水性のため、豪雨時以外水は地下に浸透し、下部滞水層との接触部で泉となる、としているが、シラスの透水性に関して、或る理解を要する叙述といえよう。我々が問題とするシラスは、概して難透水性であり、そのことは、土木工学上重い意味を帯びるというのが卑見である。ここにいう灰砂層は、水に洗われた河底のシラス砂であることを註しなければならぬ。

(後補3)

§7 シラス研究第二期 —基礎研究時代—

昭和24年、デラその他の台風に伴う豪雨が、鹿児

島・宮崎両県下に齎した災害の、大きな原因がシラスにあるという観点から、経済安定本部資源調査会は、我が国に於ける土壤侵蝕の実態を明らかにし、土地生産力を安定向上せしめる為の、一標本地域として、シラス地帯を選び、侵蝕と防止対策について、同年から翌年にかけて調査研究を行ない、26年6月報告書¹⁴⁾を提出した。

その土壤侵蝕小委員会の専門委員三木五三郎の関連報告書¹⁵⁾は、シラスの特性に留意して行なわれた、シラスの土質力学的研究として、最初の本格的なものであり、その後の研究に、決定的影響を与えた重要資料で、シラス研究史を窺うに当り、功罪二つながら没すべからざる文献なので、これに重点を置いて、少し詳しく論述してみたい。

7.1 三木五三郎の研究

報告書の内容の主要部分は、シラスの土質力学的特性に関し、続いてシラス台地崩壊論と対策を述べ、その他、表土・火山灰・道路・河川堤防等に説き及んでいる。総体として洞察と示唆に富み、大筋の把握は確かなもので、価値ある業績に違いない。

1° 研究の概要

例えば、

(1) 天然シラスと、崩壊破碎したり或いは人工的に締固めた時とは、区別しなければならない。

(2) 水に弱く水中で速やかに崩壊する。室内外の実験によれば、含水比30%が、シラス耐力の保持限界である。

(3) 流水をシラス肌に触れさせぬことが、崩壊防止の不可欠手段である。飛沫と雖も避けなければならない。

(4) 自然崩壊面は、あまり手を加えぬがよく、人為的法切は鉛直近くし、法面保護は不要である。

(5) 火山灰やローム表層のシラス層保護作用、兩層境界面附近のスベリ現象への注目。

(6) 表層土とシラスの混用土の、盛土としての効果性。

等は、誤りなき所見であり、明快な判断である。現在実施せられるシラス防災対策は、これらの諸則を離れるものではない。

(7) 更に特記すべき事項は、現地のシラスを切出して、強度や透水性の実験を行なったことである。この手法は、シラス問題解明に欠くべからざる有力手段で、着眼に敬服する。

2° 中心的問題点

研究社会の先駆的業績が、部分修正や補足を受けるはその常とし、三木の所論にも微小の瑕瑾なき能はざるところがある。要は、シラスの力学的特性に関して、現場における調査観察と、室内実験資料の読みとが、十分に融合わないこと、である。

それはシラス崖の自立安定高サの解を中心として起こった。シラスの天然崖が、鉛直近く数十米も自立することは、周知である。これに関し、室内実験より、下のことを導いた。

a) 一度取毀してバラバラにした気乾シラスを、 10 kg/cm^2 の静荷重で、 7 cm 角に成形し、二面剪断試験により、含水比剪断強度関係を求め図示した。それは常用のクローン式で表わされる直線である。含水比の及ぼす影響につき、30%を超すと急激に弱くなる、と言っている。粘着力 C と内部摩擦角 ϕ の、それぞれと含水比との関係曲線図も掲載されている。(内部摩擦角は、含水比30%を超えて同じく急激に低下している—上田。)

b) 天然シラス層の、地表面よりの深さと含水比の関係を調べ、平均天然含水比約20%と明らかにしている。

c) 圧縮強度試験は、現地削り出しと室内締固試験と両方向なわれた。

a)~c)の総括的結論として、自然状態シラスの粘着抵抗値は約 0.2 kg/cm^2 程度であろう、と推定する。この値を用い、「内部摩擦抵抗が全然働かないとし切り面を考えて計算すると 80° の傾斜を持って安定した状態で聳え得る高サは僅かに 7 m 位に過ぎないが、実際に 100 m 以上にも断崖を作っていることは軽石を含むことも働いて非常に大きな摩擦抵抗を持っていることを伺わせる。」と記している。

3° 自立安定高サ

(1) 計算の拠り所を知る由がないが、若干模索の末、崩壊形は直線に近いから、仮りにフランセの公式を適用した、とする。

$$H_c = \frac{4C}{r} \cdot \frac{\sin \beta \cdot \cos \phi}{1 - \cos(\beta - \phi)} \quad (7.1)$$

H_c : 安定高サ

C : 粘着力 $= 2 \text{ t/m}^2$

r : 土の単位体積重量 $= 1.3 \text{ t/m}^3$

β : 斜面勾配 $= 80^\circ$

ϕ : 内部摩擦角 $= 0^\circ$

結果は 7.3 m である。そこで、上式に拠ったと仮認定

をして置いて、ジェネラル・モーリン、その他の資料をランキンが編集した、土の内部摩擦角の最大値例を、スミゾニアン¹⁰の物理数値表から読み取ると、玉石と礫の間で、水平方向につき 48° と見える。上表は、実用上十分な信頼性を保証せられたものであるから、 $\phi = 48^\circ$ とすれば、 H_c は 27 m 足らずである。水平方向の限定を外し、ともかく、実在土類の最大内部摩擦角を以ってしても、 80° 勾配 30 m の高さの崖はあり得ない。 100 m 高に見合う理論内部摩擦角を求めると、 $67^\circ \sim 68^\circ$ となるのである。恐らくは、この程度の試算を行ない、結果の非常識に苦笑せられたと憶測する。ともかく、高い鉛直崖の存在を、極めて大なる摩擦抵抗に帰し、「摩擦抵抗が大きくて抗張力が小さいため、崩落面が垂直近くなるのだといえよう。」と記述する。

上の報告より前、「シラス地帯調査報告概要¹⁰⁾」が出ているが、その中では、シラス台地の自然状態では、天与の粘着力を持っているから、安息角ということは考えられず、垂直に切った場合でも、その粘着力に応じた高さまでは安定しており、高い崖保存の原因を、主として粘着力に帰せしめる見解が見える。後の室内実験で、それが意外に小さいとなった時、不調和の因が生じたことになる。

(2) 異常に大なる摩擦抵抗を、如何に説明するか。嚙合い抵抗論は、クーロン流の剪断スベリ説に拠る、当然の成り行きであったと言える。

$$S = C + \sigma \tan \phi \quad (7.2)$$

この路線を逐う諸研究は、以後長く後を絶たない。著者も、初めはそれに従ったことを述べた。功罪と書いたが、三木は、グラフ中に粘着力・内部摩擦角の文字を記入しているが、上式を露わに掲げてはいないのであって、土質力学専門家のカンと考慮が、(7.2)を拠点とすることに、何等かの違和を懐かせたものかもしれぬ。従って、罪は或いは安易に追隨した側にも。

(3) 自立安定高サ

シラスの鉛直崖内に任意のスベリ平面を仮想し、その面に働く剪断力と、(7.2)式の形の抵抗力を設定することは、自由にできる。

a) シラス崖端に接触して、強度の鉛直荷重を加えると、外方へ滑落する。その時のスベリ面に存在する最大剪断応力度の値は、巨大であることが、実験から分っている。それに見合う高い崖は現実に存在しない。

b) 強制による直接剪断原位置試験では、剪断外力の加力点に応力度の集中が起こって、それに基づく亀

裂が、次々と生じ、結果としてジグザグ剪断する。滑る前に裂けて、「起きる」のである。シラスは、受力との相対関係で、剪断以前に、引張破壊する性質を持つ材料である。

c) 強制試験のジグザグ剪断抵抗を(7・2)式で記載すると、見掛けの C, ϕ は普通の土と大差ない値となり、それに基づく安定論は、現実を説明しない。シラスは、直接剪断試験に適さない材料である。

以上が剪断問題に関する、事情の大略であり、現実には、これは原堆積層の厚さの自立高を保証する。

4° その他

同報告書は、その外に、現場切出し梁の曲げ破壊試験・室内の締固め試験と貫入抵抗試験・室内及び現場の透水試験結果を提供している。2°, a)~c) をも含め、数値に若干検討を要するものはある。

例えば、締固め試験では、静荷重 25 kg/cm^2 で自然状態に近い乾燥密度のものが出来、一軸圧縮強度 0.4 kg/cm^2 、この値が自然状態の強度一直径 6 cm 、高さ 7 cm の円筒形切り出し試料の $0.41 \sim 0.48 \text{ kg/cm}^2$ に近いのも興味深いと、特定条件下の人工締固の供試体と、天然シラスの強度類似性乃至対応性を、何となく含蓄する趣があるが、天然一次シラスの一軸圧縮強度は、実はもっと大なのである。現場は高松谷・中山谷であるが、シラスの一次・二次の別が分明でないのは、残念というべく。尤も、前出資源調査会の公式報告¹⁴⁾ 書中には、両者の近似は興味深い、の語は除かれている。 25 kg/cm^2 は 250 t/m^2 の驚くべき強圧で、仮りに、取崩した気乾シラスにかかる強圧を加えて、天然密度に戻るとし、その天然物は如何なる事態の下に生成したのか、という辺りを吟味する余地があった。

透水性に関する詳細は省略する。三木の研究は、シラスの力学的並びに対水特性の解明に先鞭を着け、要点をよく把握したもので、以後シラス研究者の一大拠点となった。ただ、鉛直崖安定論を中心として、現場の所見と室内実験結果の意味捕捉の間にギョコチなさが存し、後来問題の種となる。なお敢えて蜀を望めば、現地シラスの流水侵蝕試験が欲しい。

7.2 田町正誓の研究^{17), 18)}

個人の業績につき、今一つ逸すべからざるものを挙げる。シラス災害とその防止策に関する、田町正誓の研究である。農地保全を主眼とするその調査研究は、シラスの侵蝕谷・崩壊現象の究明から、関連区域の水処理を論じ、防止対策より応急措置に及び、観察鋭利、判断明快かつ具体的で、切れ味よく、一読爽快を覚

る報告である。周到で誤謬を殆んど含まない思考内容の大筋は、シラスが、力学的には急崖を作って安定する事実を確認しつつ、最大の弱点は対水非力性にあることを重視し、両特性を組合わせて対応策を建てたものである。シラス災害防止対策の眼目は、これで尽きている。

(1) 自然に存在するシラス崖を観察すると、垂直に近い懸崖には、凝集力が作用しなければならぬ。その由来は、膠質珪酸或いは水溶性珪酸か、乃至は鉄・アルミニウム水酸化物が結着剤として働くか、別に噴出して高熱堆積後、上方より重圧で溶着したか、と推測する。

(2) シラス崖侵蝕及び崩壊の種類と要因を、実例により八つ挙げ、現象の進行過程についても、詳しく記述している。問題をあらかた尽してあり、後続のこの主題に関する研究報告類は、多く本文を踏石としていることが分かる。

(3) 水処理の面では、平水落差工の原則に沿う施策を根幹とし、具体的制水法を、台上畑地・排水路・侵蝕谷・河川等につき提唱した。特に、流水を堅排水溝の上と下で減勢調整すること、流水とシラス地肌を隔離することは、現在宅地造成工事途中の、災害防止法の決め手となっている。遊水地の設置と道路の早期舗装方式の考え方と軌を一にする。

(4) 崖面の地下浸出水が、崩壊の一大誘因であることより、これを速やかに暗渠で抜き、崖裾以上の地下水水面を低下させること。

(5) シラス土堰堤の築造法としては、シラス盛土部分を、ローム火山灰等の耐水土質と植生で合理的に保護すれば、目的に堪えること。

(6) その他本報告は、自然エネルギーのありのままの評価、農民・先人の経験的シラス対策の価値、シラス崖の鉛直法切の意味等を正直に把握し、加えて科学的技術の誤りなき導入を試みている。特に、「用水構作物の総ては築造後の維持管理が絶対に必要であって」といっているのは、平凡にして永く変わらぬ真理であろうと思う。

田町の報告内容は、資源調査会報告書中、三木と並んで重用されているものである。

7.3 その他の研究

1° 侵蝕・崩壊

侵蝕・崩壊については、自然崖に関する報告類があるが、代表例としては前記西・木村のものを挙げることにする。それらは、崖崩れの形状・崩壊の起こる環

境と場所等を論じたものから、露出崖面附近のシラス含水比に及ぼす降雨の影響と、崖勾配との関係、一次シラス地山の透水試験その他に亘っている。この中で、自然崩壊崖の角度は 88° が最も多いと言い、これは以後一般に挙げられる数字となる。又、シラスと表土との層界に俗に「スベリ層」があって、表層が滑落することが、スベリ現象の主たるものであると指摘する。崖附近の、降雨の関係範囲が意外に狭いこと、鉛直に近い崖が有利なことを明らかにした。シラス地山に水溜を設けて、一定ヘッドの貯水の浸透状態と、土の含水量の強度への影響を調べ、流動水には容易に侵されるが、静水に対しては案外と耐えることを見出している。

降雨による崖侵蝕と、傾斜の緩急の関係を定める実験が、久原中吾等に依って行なわれた¹⁹⁾。勾配を $50^\circ \sim 90^\circ$ 迄5段階に変えた斜面試験場を、シラス地山6カ所に取付け、自然降雨に暴露して侵蝕状況を比較した。種々の計測を行ない、累加雨量と累加侵蝕量とは併行関係にあること、勾配が大なるほど侵蝕量が小さいので、力学的安定が保たれる範囲で急傾斜がよいこと、土の分散率が明瞭に被蝕要因であること、を導いている。本論文中、一般の土では、急勾配ほど侵蝕は激しいが、シラスは違うとしている点は、自らいう如く、斜面に注ぐ水量が急斜面で少ないことに基づくので、それを修正すると、正確な結論が出る。

2° 工学的研究

この分野では、土質力学、湧水処置、土の安定処理等工事・施工に関するものが見られる。

力学関係は、崖の安定論であるが、スベリ破壊説に基礎を置いているので、根本矛盾が潜在する。一例として²⁰⁾、(7.2)式で $C=1.5 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\phi=52^\circ$ の値は、現実は何を意味するか、再考を要するところであろう。

工事関係では、公共団体²¹⁾の手で現実の要請に答え、種々の研究と試みが行なわれている。台地の水抜工法については、楠井²²⁾等の大隅半島野井倉の台地下の湧水抜工事報告が、河川関係では、井口等の肝属川²³⁾に関する概括的報文がある。南九州シラス地帯調査連絡協議会の、「シラス地帯²¹⁾」は諸方面の研究成果の集録編集が主であるけれども、独自の調査もあり、シラス地帯一般の広い関連分野を蔽った、総括の手引になる。本文中には、「水成シラス」と土質を記録した例があり、この時期の工学関係の報文としては珍らしい。但し、二次シラスの事か水底堆積の意か不明である。一面、単位の脱落、引用の際の検討不足が間々見られ

る。

山内豊聰に、安定処理の論文²⁴⁾がある。火山灰土に対する添加材の安定効果に関する基礎的研究報告で、豊富な内容を濃縮して、整然と記述している。火山灰土に対する添加材の効果は、その有機質なるか無機質なるかにより、根本的に異なる。広く一般に火山灰土を、目下の目的に応じて、有機質と無機質とに二分類し、之に対する、水硬性材料、瀝青材料、化学的材料の三種の添加材料の、単独並びに補助的組合せ効果を詳細に明らかにした。無機質火山灰では水硬性材料の効率がよく、瀝青処理も有効である。中でもシラスはすぐれたボゾランで粒度がよく、有機物に原因する水硬性の防げがないので、ソイルセメント法による安定効果が高い。化学的材料は、一般に有機質火山灰土に適し、無機質火山灰には効率低く、使用の必要もない。シラスの表層土は有機質火山灰であるから、シラスの添加材とは別種のものが適する。本論は比較的短文の中に、多くの事例を盛り、的確に事理を明らかにした厚みある報文で、道路開設や宅地造成に伴う、盛土工事盛行の時期到来に先立つ、注目すべき業績である。シラスにセメント・瀝青の安定処理を加え、道路の実物試験を行なった例²⁵⁾があり、8~10%のセメント量で路面を安定させることが出来る。

シラスを、コンクリートモルタル用細骨材とする試みは、土木・建築の両方面で見られた。低強度コンクリート工作物や、建築構造用軽量コンクリート骨材等として研究、実用せられた時期がある。

3° 地質学・岩石学

この方面でも、シラス研究は漸く本格化した。注目すべきは、シラスの成因とその層位が明らかにせられたことである。

昭和29年種子田定勝は、シラスは、在来説と異なり軽石流²⁶⁾であろうと疑った。鏡下では、非熔結又は微熔結の「灰石」と、シラスの間に差を認め難いこと、シラスの粒度分布を見ると、空中抛出物としては分級作用が悪すぎることに、「灰石」がシラスに似た岩相に漸移する現場が諸々にあること等、論拠を挙げている。続報を併せて、専門家が肯定²⁷⁾する如く、軽石流であることは彼によって定まった、と言ってよい。前後して、湊²⁸⁾等や郷原²⁹⁾等の層位学的研究が、シラスの概念をまた明白にした。前者は、竜ヶ水、磯附近の始良熔結凝灰岩の層位を確かめ、俗称シラスの中には、起源の全く別な異物を包含しており、始良カルデラ形成に関する熔結凝灰岩のみを、シラスと呼ぶことに暫

定した。郷原等は、これに対し、阿多熔結凝灰岩類にも、シラスの名を与えることを承認し、慣習に依り古期シラスと呼んだ。大隅地方から鹿児島湾北岸にかけて、始良熔結凝灰岩類（新期シラス）の下に広く存在する、それらの層位を整理した。他に鹿児島県地質図の説明書³²⁾等に、此の部門の関連解説が見える。

7.4 総括

シラスに関する研究は、この第二期に大いに進歩した。凡そを言えば、各分野を通じて研究の骨格が整った、とすることが出来る。崖崩壊と土地保全対策では田町が、土質力学では三木が基礎を築いた。シラスの何たるかには、種子田の軽石流説と湊や郷原等の層位学的研究とが光を当てる。安定工法では山内の探究が寄与した。これらを円環上に布置すると、シラス問題解明の核となる。

渾沌もなお息づいている。中心の眼は、力学的安定論であろう。その他全般に、研究者間の異見、諸資料・解説が生む矛盾、奥所に潜む疑問等々は、時を俟って、白日の下に将来せられねばならない。

この期に、ハッキリ姿を現わした真理、無意識に又は漠然と気付いた真相、依然として未解明のまま横たわる疑問を、整理列举すれば、下のようになる。

(1) シラスが水に弱いこと、従って土地保全の眼目は、関連区域の合理的水処理にあること、一人の異論もなく明白である。

(2) シラス崖が鉛直に近く高く屹立することには、例外なく注目している。

(3) 取毀し、又は人工成形すると、天然物とは力学的に違ったものとなることも、疑う人はいない。

(4) 耕作台地その他の水処理工法^{17), 18), 21)}の鉄則は、シラス地肌を水から隔離することである。

(5) (1), (2)の基本性質より、切土勾配は、雨蝕を避けて、力学的安定の許す限り急なるが良い¹⁹⁾。等は、確実な認識である。

見解の対立・不分明・誤謬に類する記述も存在する。

(6) (2)は確実な事実でも、その根拠に至っては帰するところがない。大別して、摩擦抵抗説^{15), 21)}と凝固現象説¹⁷⁾とに分かれ、時に双方に跨る²⁰⁾ようなものも見える。上の原因論は、当分尾を引くが、凝固説の支持者は、往々シラスを「岩石に属する」と考えている。就中、西・木村は諸所^{11), 30), 31)}にそれを述べ、「土壌の粒子は固い Skelton を形成し硬度もかなり大で土壌と言わんより寧ろ軟岩に近い。」と、かなり正確な記述を行なっている。結合の原因については、コ

ロイドと見たらしい。シラス軟岩説は、山口鎌次にもある旨の記載¹⁸⁾がある。地質学者の岩石と、工学家の岩とは多少違うけれども、ここではほぼ同意である。

(7) 雨滴には弱いという説¹⁹⁾があれば、雨滴に対しては強いという²¹⁾正反対の見解があり、後者は誤っている。

(8) シラスの土質力学的性質は極めて不良で、という²⁵⁾表現の意味は明確でないが、取扱いを誤らなければそう不良なものではない。

(9) 生成年代に関する誤説がある。省略する。

(10) シラスの硬度に、方向性があることを述べた資料がある¹¹⁾。耐水方向性と関連づけよう、との意図に基づくが、原文の意味を著者は十分理解し得ない。

(11) シラスの透水性に関する計測資料類があり、湧水処理の現場関係者は、当然関心を払っている。透水性の問題は、広く盛土・擁壁等の安全計画に密接で、侵蝕とも無縁ではない。資料の意味づけは、今一步というところである。

第二期を、昭和36年末までと画定すれば、以上が研究史の荒筋である。この頃までに、出るべき首題は、大抵芽を出し、開花を待つ許りである。文末掲出の文献は、直接目を通した分のみで、孫引は避けている。研究書目は、「シラスに関する主要研究論文集³³⁾」の付録、別に追録二冊があり、併せて検索に便利である。

参 考 文 献

- 1) 小田亮平：鹿児島市外吉野台の地質，地質学雑誌，Vol.24, No. 284, 1917.
- 2) 山口鎌次：北部鹿児島湾の周縁地域特に吉野台の地質に就て（摘要），地質学雑誌，Vol. 44, No. 552, 1937.
- 3) 松本唯一：始良火山について，地理学評論，Vol. 9, 1933.
- 4) Tadaichi MATUMOTO: Four Gigantic Calderas in Kyushu [abstr. pap. Intern. Geol. Congr. Moscow 17(1937)] Jap. Jour. Geol. & Geogr. Vol. XIX, 1943.
- 5) 松本唯一：揖宿火山概説，地質学雑誌，Vol. 45, No. 537, 1938.
- 6) 松本唯一：揖宿火山泥熔岩の分布，地理学評論，Vol. 15, 1939.
- 7) Tadaichi MATUMOTO: The Four Gigantic Caldera Volcanoes of Kyushu. Jap. Jour. Geol. & Geogr. Vol. XIX, Special Number 1943.
- 8) 西力造：山崩の形状，鹿児島高等農林学校25周年記念論文集，1934.
- 9) 西力造・木村大造：シラス地帯研究（第1報），

- 鹿兒島大学農学部学術報告, 第1号, 1952.
- 10) 西 力造・木村大造：シラス地帯研究 (第2報), 同上.
 - 11) 西 力造・木村大造：シラス地帯研究 (第3報), 鹿兒島大学農学部学術報告, 第2号, 1953.
 - 12) 福尾義昭外：斜面崩壊の理論的考察, 第7回災害科学シンポジウム講演論文集, 1970.
 - 13) 山口鎌次：鹿兒島湾周囲に於ける台地の地形について, 地質学雑誌, Vol. 45, 1938.
 - 14) 経済安定本部資源調査会：シラス地帯災害調査報告書, 1951.
 - 15) 三木五三郎：白砂台地の土質力学的特性と崩壊対策, シラス地帯調査報告並びに関係資料第二集, 鹿兒島県企画室, 1952.
 - 16) 三木五三郎：シラス地帯調査報告概要, 同上.
 - 17) 田町正誉：シラス地帯の災害防止対策 (中間報告), シラス地帯災害調査報告並びに関係資料第一集, 鹿兒島県企画室, 1950.
 - 18) 田町正誉：シラス地帯の災害防止対策 (中間報告の2), 同上第三集, 1953.
 - 19) 久原中吾外：現場実験による特殊土壌 (シラス層), 急斜面の土壌侵蝕について (第一報), 土と基礎, Vol. 7, No. 2, 1959.
 - 20) 河原田礼次郎：シラスの物理的・力学的性質に関する研究 (第1報), 未攪乱試料のセン断試験について, 鹿兒島大学農学部学術報告, No. 6, 1957.
 - 21) 南九州シラス地帯調査連絡協議会：シラス地帯, 1955.
 - 22) 楠井亀治・黒須 桂：シラス台地開田によるユウ水処理の一例について, 農業土木研究, Vol. 26, No. 8, 1959.
 - 23) 井口昌平・三浦孝雄：シラス地域の河川一肝属川流域—シラス地帯災害調査報告並びに関係資料第二集, 鹿兒島県企画室, 1952.
 - 24) 山内豊聰：添加材による火山灰土の安定処理について, 土と基礎, Vol. 8, No. 6, 1960.
 - 25) 松尾春雄外：シラス道路安定に関する現地実験, 土と基礎, Vol. 1, No. 3, 1953.
 - 26) Sadakatu TANEDA : Geological and Petrological Studies on the "Shirasu" in South Kyushu, Japan, Part I. Preliminary Note. 九州大学紀要, 地質, Vol. VI, No. 2, 1954.
 - 27) 波多江信広外：鹿兒島県の地質 (20万分の1の地質図説明書), 鹿兒島地質調査研究会, 1961.
 - 28) 湊 正雄・勝井義雄：鹿兒島県竜水・磯附近の地質 (特に始良カルデラの熔結凝灰岩について), 地質学雑誌, 第63巻, 第740号, 1957.
 - 29) 郷原保真・小森長生：鹿兒島県大隅半島の第四紀層—特に火山噴出物について—資源科学研究所彙報, 1961.
 - 30) 西 力造・木村大造：土層の深度と土の理学的性質との関係, 第63回日本林学会大会講演集, 1954.
 - 31) 木村大造：南九州地方における特殊土壌の層序及び粒度について, 鹿兒島大学農学部学術報告, 第4号, 1955.
 - 32) 沢村孝之助：国分 (5万分の1地質図幅説明書), 1956.
 - 33) 九州地方建設局：シラスに関する主要研究論文集, 1966.