

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1)

上 田 通 夫*

MECHANICAL PROPERTIES OF "SHIRASU" AND THE CAUSES

Research on "SHIRASU" Disaster Part I No. 1

Michio UEDA*

Studies and researches of the mechanical properties of Shirasu made poor progress for these twenty years, naturally the final solution has apparently gone to the wall. It comes from the fact that they, lacking the understanding for the essential qualities of Shirasu, indiscreetly tried to just apply the slide theory of ordinary soils. The point of the method is to observe shearing resistance values after Coulomb's equation and to use them as the basic materials for stability theory. But they can, mainly for the two reasons, offer no scientifically reliable data. For the first reason undisturbed test pieces of natural Shirasu is difficult or almost impossible to gain. As for Shirasu difference of mechanical properties between disturbed and undisturbed test pieces is large and so the above circumstances are fatal to the laboratory tests. For the second they disregard the fact that the theoretical hypothesis does not agree with the actual phenomenon. Except a special case the failure of Shirasu always occurs by tension cracks while the theory of ordinary soils is for failure by a slide. Using the hypothesis unfit for the phenomenon why can we solve the problem? The author, from the view of the fact that how natural Shirasu is stable and how it fails, studied and investigated manyways, presents a new idea quite contradictory to the usual theory. This idea starts in reconsidering the essential qualities of Shirasu. This report is only an introduction but it makes clear brief and plain the mechanical properties of Shirasu and its special structural feature from which the idea comes out. Details will be reported later, to be frank, epitomizing the essential qualities of Shirasu chiefly in the sight of mechanical properties, we can relate as follows.

After geologists we understand Shirasu as sediments of nonwelded pumice flows from past volcanos. The main factor how the flows stop and deposit will, leaving the outer conditions out of consideration, be their fluidity. And it having to do with grain-size, shape of particles, and specific weight, depends on their viscosity. Assuming the three factors are roughly alike fluidity is at all decided by viscosity and, in the concrete, it shows itself as the thickness of the deposition and as its slope angle. The force of the flow has, of course, something to do with, but generally speaking steep heights are thought to be viscidier than those which are lower and easier. The setting power when cooled down will probably be closely related with the viscosity of the hot flow. These circumstances, as the result, will support the author's idea that a vertical cliff is stable to the height of the original deposition.

Shirasu is brittle concrete-like rock with aggregates of volcanic glass and pumice, having very weak setting power of some chemical components and its coefficients of fragility are 15~20 sometimes it reaches 40. Compressive and tensile strengths are about 1 kg/cm² and 20~60 g/cm² and so the breaking always occurs by tension, never by shear. Grains and particles stick together on the surface and form collection of minute irregular solid arches. Shirasu is of large void ratio and is not anisotropic both in composition and in strength. Setting power will come from chemical substance, perhaps, colloid of silicic acid.

The setting power is easily lost when the normal state of water existence in the composition is disturbed by any cause and the Shirasu fails. The causes can be either too much or little water content or sprinkling absolute mineral oil or alcohol. The reason why Shirasu is extremely weak against water is as mentioned above. Water content of natural Shirasu covered with a surface layer is in usual case some 20% and that is the proper water quantity to be stable.

If it reaches to 30% the setting power lowers to the degree that Shirasu begins to just slide. This is

* 鹿児島大学工学部建築学教室・教授

the only natural case of slide of Shirasu slope.

Shirasu is brittle, somewhat elastic, very weak rock so the strength test should be simple compression test.

These are the summary of our opinion.

目 次

緒 言

第一節 序論

§1 シラスの経験的常識 (1)~(4)

§2 従来の謬論

2.1 サンプリングの問題

2.2 スベリ破壊論の苦悩

§3 シラスに関する私説

3.1 自然現象の教訓

3.2 結合力は何か (1)~(3)

3.3 安定自立高サ

3.4 弾性の性質

§4 序論に関する餘論 (1)~(6)

緒 言

防災というとき、広く農地保全・治山・砂防・河川保護・道路開設・宅地造成・工事災害等に関連するが、明瞭な共通の重点があり、一言にして蔽えば、シラス切土・盛土の斜面を如何に安定させるか、にある。さて、わが鹿児島県が面積の半ばをシラスに被われ、その災害が極めて特殊而も普遍的なことは、贅言を要しない。当然、防災法確立の重要性も、理解に苦しまないところである。加之、近年に至って交通・都市・住居等に関連する土工事の量が急増し、上の要請は俄かに重みを増した。

一方、シラスの或る種の性格は、経験上よく知られているに拘わらず、その学問乃至科学的研究による裏付けは、殆んどない。就中、最も基本的な「天然シラスの強さ」をどう把握すべきか、が疑問なのである。その基準が立たぬまま、強度の規定も測定法も、未解決であり、ひいては、シラスの攪乱土・シラス混り沖積土等の力学的評価も、渾沌未分に委している。これには下の重要な一つの理由がある。即ち現在、シラス研究者の一部において、見解が争われ、又は争われんとしている基本的問題であって、副題第一部は、それを闡明することの一つの重点が置かれるだろう。まずは端的に、

「天然シラス崖の安定自立高サは如何」

ということになろうかと思う。ともかく、ここから出

発しなければ、基礎が立たない。従来のシラスの力学乃至土質工学的探究が、現象記述においてかなり本質を浮かび上らせながら、解析で行きづまるのは、簡単な上の課題に答えられないからである。「実際の物理現象に合わない破壊機構を考えて論理を進めるからだ」というのが、われわれの批判である。このことは元来、シラスの成因・物理・化学的性質の理解法に原由し、それはやがてシラスが水に弱い事実の解明にも関連してくる。シラスの力学的性質を一貫する大きな問題なのである。

われわれは、「天然シラスは固結しているので、固結力が甚しく弱化し又は失われないかぎり、自重によるスベリ崩壊はない」との見解に立つ。固結力が何で、如何なる場合に弱化するか等は、順を追って本文中に叙述せられるであろう。

第一節 序 論

序論は、総論であり、端的に本質論である。著者としては、「シラス防災の研究第一部」の前半は、この小文で済んでしまっている、と感ずるものだが、独り合点でも仕方がないので、詳細を引続き発表した上で、世の批判に晒そうと思う。

シラスの防災といえば、大別して三つの立場から観察できる。第一は天然シラスの防災、第二は人工攪乱土の防災、第三はシラス混り沖積土の問題である。第一はまた二分せられ、天然シラスの力学的安定性と、対水被蝕性となる。第二は盛土と埋立地の問題を包含し、第三は主として地耐力度の研究になろう。尤も、地耐力度は第一から第三までの共通課題でもあるが、それは広く土一般の当然だから、強調して第三を取り上げる ゆえんは、動的耐力が不安定ではないか、という指摘が既になされているからで、そのことは、第二の埋立土についても、同じく懸念なしとしない。

さて、本論は、表題のいうように、天然シラスの力学的性質が、通常の土とは全く違って特殊であり、緒言に触れた如く、従来世上の見解は根本において大きな誤謬を含んでいる、という事実を指摘し、平凡にして正確な結論を示そう、とするのである。それらの論拠・証明等は、続報として提出する。

§1 シラスの経験的常識

(1) シラスは水に対して極端に弱い。流動水には削り取られ、多量の含水では崩壊する。

(2) 天然ガケは鉛直に崩れる。

(3) ガケ裾をえぐられると、上部突出部分が割裂崩落する。天然現象としては、ガケ下を河川が洗掘する場合に、必ず見られる事実である。

(4) 攪乱・未攪乱試料間の力学的性質の差違が、極めて著しい。

(1)～(4)の現象を、整理すると、

シラスは、何かの原因で甚だしく鉛直自立高サが大であるが、水によってその原因は失われる。力学的には、破壊は引張破壊であり、一ト度取り壊すと、本来の力学的特性を喪失する。

ということになる。シラスの力学的および対水特性は、以上で尽きており、両者を結合する一つの要因がある。それを見出しさえすれば、一切は簡単に片づいてしまう。何か。

§2 従来の謬論

土の安定または崩壊論を読むと、いきなり剪断強度に基づくスベリ破壊論が出てくる。土は剪断スベリ破壊する、という前提である。だから対偶として、スベリ破壊しないものは土ではない、という論理的必然が生れ、著者らの「シラス非土論」は、そのような立言だった。初期、研究者も学界も、われわれの説を、シロウト流として無視する傾向にあった。そのうち、実地家が、工事実施に際し多少顧みるようになり、最近に至って、土の専門家の中にも、耳を藉す向きが現われたが、なお「土か否かは別として」と前置きして発言するのが、通例である。土でないことは、如上論理学の証明が済んでいる。

2・1 サンプリングの問題

シラスを普通土扱いして、最初に達着する難関は、未攪乱試料の採取が困難なことである。採取または成形中割れてしまうのである。完全な見本採取は殆んど全く不可能であろう。過去、未攪乱試料に依る剪断試験結果の報文が絶無ではない。しかし、その見本がどの程度の無作為資料か、また形状・亀裂の有無等につき、どれほど信頼が置けるのか、更に、そのような未攪乱試料が、任意かつ自由に採れるか、およそ幾つに一つの割合で成功するのか、実は甚だ不確定なのである。供試体は、原則として、必ず自由に採取できるのでなければ、試験法たるの条件に欠けている。知る限りでは、シラスの未攪乱供試体採取は、一般的にはで

きない、というのが公平なところである。このことにつき、著者は採取器具の作成を目的として、上述の報文提出者達と共同研究したことがあるが、当の分担者より、成功の見込なし、との結果報告を得た。

ここに、或る種の固定剤を使用して、シラスの割裂を防ぎ、未攪乱試料を造るに成功した、という報文がある。これに二つの問題点が残る。固定剤を浸透せしめる際にシラスの組織を乱すことがその一、固定剤自体が原試料の強度に影響しないか、がその二である。自然の未攪乱試料とは異なるなきを得まい。この際、天然強度と対応或いは併行関係の裏付けがあればよいが、十分でないのである。

その他、サンプリングに関しなお多少の見聞がなくもないが、省略する。かくて、室内試験には権威がない。

原位置試験は、工事の直接目的に接触して時々行なわれ、それぞれ実用的な結論を出した少数例がある。力学的性質の基礎的系統的原位置試験は、著者らのものが殆んど唯一といえる。それにつき次回以降詳細を明らかにする。

2・2 スベリ破壊論の苦悩

クーロン流の剪断スベリ破壊論を、シラスに適用しようとする土質力学が、先ず突き当るのは、鉛直自立高サの説明の難題である。シラスの付着力は僅少である、という此の説は、必然大なる内部摩擦角を仮定しなければならない。それは、粒子間のカミ合抵抗だとするのである。ところが、その内部摩擦角の値を、自信を以て提示した一例もない。こうも考えられる、あかも計算されるでは、学問以前の憶測であって、安定自立高サの限界を保証する術はないのである。7mから150mくらい迄と、例えば言ったとし、要するに何のことか分らない。原因は既に述べたように、未攪乱試料採取不能に存する。的確な試料なくして、信頼に耐える計測の出来よう筈がないからである。

インターロッキング論は、次の問に答え得ない、シラスは概してポーラスなもので、間隙比が110%以上に時に140%に達する。100%以内のものは存在しない。それで如何にして、カミ合うことができるか。

シラス粒子は、カミ合っていないのである。粒子表面の一部分に相互にクッ付きあっている。正にカミ合いの反対である。それは立体顕微鏡下で容易に確認できるので、何も認識に手間取る事象ではない。カミ合い論は、単なる想像に基づく誤謬であり、かかる謬論の発生源は、破壊を剪断スベリに帰せしめようとす

る、先入見にある。

§3 シラスに関する私説

それでは、シラスは如何なる構造特性を持ち、その特徴ある力学的性質が生じるのであろうか。われわれは、下のようにいうことにする。

天然シラスは、適切な水分の存在法の下で最も安定する化学的固結体であり、その場合の含水比は約20%、即ち天然含水比である。火山ガラスと浮石を主たる細・粗骨材とする、微弱軽量コンクリート類似物質で、弾性的性質を帯びている。構造組織は、不規則立体小アーチ群の集合体と表現することができ、空隙に富み、圧縮強度約1kg/cm²、引張は通常20~60g/cm²程度、脆度係数15~20時に40に達する、極めて脆い物質である。破壊は引張で起こり、直接剪断によって決して生じない。強度にも方向性は認められぬ。安定自立高サは、原堆積層の高さに等しい。

水の適切な存在法を乱すと、結合力が失われ速かに崩壊する。それを乱すのは、過多または過少の含水でも、或いは無水鉱油・アルコール等の他の液体の注加でもよい。

過剰含水して、含水比30%を越えると、初めてスベリ破壊現象を起こす。

3・1 自然現象の教訓

表土に被われたシラス斜面は、表土のスベリに誘発される特殊の場合と、巨大な地震力が働く時を除き、自重で崩壊することは嘗てない。即ち、スベリ破壊しないのである。厳然たるこの事実を無視し、人はなぜ観念的な破壊論を固執するのであるか。あるものを、まずあるがままに直視することが、通常の心得ではないか。現実には決して存在しない破壊法を前提として、それに反する事実を説明しようとする無理をどうして侵さねばならないのか。現象にスナオに従ってゆくと、事態は極めて簡単なのである。ガケは必ず鉛直に裂けるという周知の事実を、強いてスベリに帰する必要がある、どこにあるのか。裂けを裂けとし、割れを割れとせよ、それで一切は解けるのである。

3・2 結合力は何か

シラスが固結又は固着しているというに、二説あった。一つは化学的結合説で二十年前に唱えられ、他は熱熔着説、比較的新しい。ともに土質工学家のものではない。熱熔着説は、力学的性質に方向性がある、という見解と一体なのだが、著者は最初この考えに傾いていた。今ではハッキリと化学的結合説を持している。その根拠は、下のとおりの比較の明快である。

(1) シラスの一次堆積物が、一度崩壊し、主として水その他自然力で運ばれて再堆積した通称二次シラスが、やはり固結している事実がある。而も、中には一次堆積物より力学的に強い例を見る。この際熱は作用しない。

(2) 攪乱資料に人工的に或る条件を与えると再固結する。その際、熱は関与しない。

(3) 熱熔着説は、シラス粒子が縦長に末端熔着して、強度に方向性がある、というのだが、鏡下の検討では、天然状態の組織に方向性なく、既述の如く強度にもそれが見出せない。

3・3 安定自立高サ

安定自立高サを、原堆積層の厚さまでと判断するのは、単なる修文ではない。それは、シラスの成因と、固結体であるという見解の、結合的帰結なのである。シラスが火山噴出物で、非熔結軽石流の堆積ならば、原堆積層の厚さは、粘性に支配される筈である。粘性は冷却後の固結力と密接である。即ち固結力の大小は、流出堆積時、粘性・粒度等をも含めて軽石流の流動性を意味し、その堆積厚を決定し、かつ静止斜面の勾配を与える道理であろう。堆積層が薄く、斜面の緩やかなシラス丘は、厚く急峻なそれより力学的に弱い。一次堆積物につき、以上の堆論が可能である。

流出時と冷却時と、冷熱・動静等の相違はあっても、「流出時静止できる高さまでは、冷却後自立し得るに見合う、固結力を有する」というのである。

実物に関する証明は面倒だが、いずれ提示する折があらう。

3・4 弾性的性質

シラスの盛土・切土面に、カラ積みブロックの実大擁壁載荷実験を行なった観測結果により、切土は弾性的性質を備えることが、判明している。後報する。

§4 序論に関する余論

私説は、在来土の剪断破壊論とは、全く相い容れない性質のものである。このような新説に到達した道順・経緯等は、次報以降おのずから明瞭となるが、ここで、関連付随する二、三の事柄に触れておく。

(1) 著者は、最初からスベリ破壊論を否定し、敢て異を樹てようとしたのでは全くない。むしろ正直に、クーロン流の考え方に従って、安定自立高サを決定しよう試み、先人同様剪断試験を行なったのである。前記の如く、サンプリングに当惑して原位置試験に切換えた。現場では、ナマの天然シラスに親しくなる。その天然・人工破壊の実態にも絶えず接する機会

がある。かくて、割れ易く、スベラないことの事実を見た。以後思考が転じたのである。

(2) 新たな観点に立つと、シラスは一種の弱い岩だ、と思われた。破壊法の疑問は、これで解決した。岩ならば、全体が塊状物質でなければならぬ。よって、固結説に到達した。化学および熱熔着説を知り、而して後それらに拠ったのではない。たまたま着想が一致したのである。その後、化学的結合と熱熔着説を比較検討し、合理的な化学物質説に同意した。

(3) 或る種のデルタ形成地では、素材の砂礫を含み水珪酸コロイドがオパールとなって固結し、岩石化している実例がある。ここでは、ガケを鉛直に切る。でないと斜面を伝う水で結合が害せられ、水蝕を受けるからである。上は、地質学上既知の事実だが、事情は一部シラスと共通である。

(4) シラスは、極く弱い、脆い弾性体である。このような物質の強度試験には、一軸圧縮試験が適当であることは、物質破壊論が既に明らかにしている、試験法の基本である。シラス強度は一軸圧縮試験に訴えるべきであろう。

(5) われわれの説に対する疑問・批判・反対等には、その折々に応じてきた。今一つ残った批評に対し、念のため答えておこう。その批評は、

「シラスの本質を軽々に論断してはいけない」とい

う風に述べているが、意味するところは、「上田の如くシラスは固結体で、スベリ破壊論は間違っている、というのには、容易に賛成できない」にある。

物事を軽々しく論断すべからざること、いうまでもないが、著者は、シラスの本質に関し軽々に論断などした覚えは、毛頭ない。無駄と感じつつ、原位置の剪断試験を数年繰返し、数十回の破壊を試みたのである。それは、常にキレツ破壊であって、スベリ破壊は発生しなかった。結合力の存在と、その対水非力性に関しても、細かく現象を追究して、発表済みである。

一層根本的に、従来の仮説と試験法で説明困難な現象が、新たな仮説と試験法でより合理的に整序できるとき、更に一段明晰な解法を提示することなく、従来の立場を固守して新説を否定するのは、解し難いと言わざるを得ない。

(6) 著者もその一員である、土質工学会シラス研究委員会は、突如として、「シラスの結合力は何か」を昭和44年度の研究テーマに取上げることを選定した。シラスの固結体たることを疑う向きは、段々と少なくなってきたのである。

序論は終った。冒頭した如く、われわれの、力学的観点の主とするシラス本質論は、以上でおよそこと足りているのである。次回から、多少詳しく事理を明らかにするであろう。