

シラス切土斜面の崩壊とその設計

総括執筆者(座長) 山内豊聡*
 話題提供者 上田通夫**
 同 露木利貞***
 同 藤本廣****
 同 持永龍一郎*****

1. 主題選択の趣旨

“シラス”というのは、地質学的¹⁾には、“南九州に広く分布する溶結していない火砕流堆積物、その他の軽石質火砕堆積物を総称する”ことになっているが、土質工学の分野ではすでに学術用語として用いられている。

シラスは現在、錦江湾底にカルデラとして残っている始良(あいら)、阿多(あた)両火山の熱雲式火山噴出(西インド諸島のペレ火山から名をとって、“ペレ型”ともいわれる)によって、鮮新世期にできたと考えられており、標高約300mを最高として、鹿児島・宮崎両県に広く分布している。また、シラス類似のものは、全国的にカルデラの周辺に多くみられるが、南九州のものほど分布の規模は大きくない。外国では、ニュージーランド北島の“黄褐色軽石土”といわれるものが、外国におけるシラス類似の代表的な火山灰土であろう。そしてシラスは、ローカルの問題とはいえないほど、土質学的ないし岩の力学的にみて、多くの基礎的な問題を含んでいる。

シラスは、平均年降雨量(2500mm程度)が高く、かつ、しばしば集中豪雨が発生する地域に分布しているため、これまで、極端ともいえるほど著しい侵食災害をひき起こしているばかりでなく、この地域が将来も、大地震の発生を考慮しなければならぬため、防災の条件はさらにきびしさを増している。そして、事実、シラス地帯では、これまで、豪雨と大地震による災害をはじめ、種々の災害²⁾³⁾をひき起こしている。

* 正会員 工博 九州大学教授 工学部水工土木学科
 ** 工博 鹿児島大学教授 工学部建築学科
 *** 理博 鹿児島大学教授 理学部地質学科
 **** 正会員 工博 宮崎大学教授 工学部土木学科
 ***** 正会員 日本道路公団 東名阪道路工事事務所長

シラス災害は広範囲にわたるが、もっとも重要なものの一つに斜面災害がある。沖積層のシラスを除いて、その一次、二次の堆積層は地質学的には非溶結といっているものの、場所によっては、数十mの垂直に近い斜面が長年にわたって保持できる程度の強さを持っているので、これまで、かかる急斜面が伝統的な斜面工法としてむしろ積極的に用いられてきた傾向がある。地山シラスの固結についての明確な定説はまだないといえる。

しかし、最近、九州縦貫道路の設計に関する検討が始まって、たとえ上述の意味での溶結性がある場合でも、シラス切土斜面は種々の観点から、緩斜面を採用したほうがよいのではないかという見方が現われてきた。

そこで、本研究討論会では、切土斜面に限って、その崩壊をどのように見るか、そしてそれにもとづいてどのような設計をすべきかという問題を主題に取り上げ、その討論によって、実際の工事に寄与しようとするものである。しかし切土斜面が、いずれの工事を対象とするものかについては、討議の幅に余裕を残すため指定しないことにした。また土木工学だけでなく、日ごろシラスの問題を研究しておられる、建築学および地質学を専攻する方々をも話題提供者にお願いすることにした。

以下、便宜上、急斜面、緩斜面および中間斜面なる表現を使用するが、これらの意味は図-1に示すとおりである(文献10)中の表-1では緩斜面と中間斜面との図が入れ替っている)。図-1では小段などは省略してあ

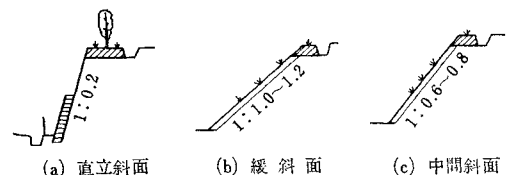


図-1 シラス切土斜面の種類分け

る。

なお、シラスの盛土斜面もしばしば侵食災害を起している、これも重要な問題であるが、切土斜面に比べると、包含する問題は比較的少なく、また、ある程度くふうを加えることによって、解決できるという認識にたつて、ここでは討論の対象としないことにした。これはまた、研究討論会は討議の対象をかなり制限して行なわなければ、普通の研究発表と変わらなくなるという前年度の反省をも考慮してのことである。

2. 話題提供者の見解

前刷に従って、各話題提供者の見解の要点を紹介すると次のとおりである（以下敬称を省略）。

(1) 上田（標題・シラス切土斜面の崩壊とその設計）

シラス切土斜面の崩壊に理論的な考察を加えることなく、できるだけ現実の崩壊の様相を直視する立場から、とくに、① 天然がけは急勾配を保つ、② 人工的に切るとかえって安定することがあり、逆に崩壊原因となることもある、③ 流動水に対する抵抗性はきわめて貧弱である、④ 引張り破壊の様相を呈している、という指摘を行なった。したがって、がけ上部の水処理を完全にし、斜面の降雨を避け、かつその水はけをよくすれば急斜面は安全であるとした。

次に、せん断強度の実測値（一例として、 $32=24.18+23 \tan 18^\circ$ 、単位は t/m^2 ）にもとづいて、 80° 勾配の切土斜面の限界高 H_c は、 ϕ を内部摩擦角として、 $H_c = (4c/r) \cdot (\sin 80^\circ \cos \phi) / [1 - \cos(80^\circ - \phi)] = 131 \text{ m}$ にもなり、シラス切土斜面は重力ではすべらない。しかし、巨大外力としての地震力を受けるか、または、流水を受けて含水比 30%以上になるときすべりを起こす。

結論として、シラス切土斜面は、破壊は引張りで起きており、なかんずく流動水に弱いから、シラスの地はだを水に対して保護して急斜面を設計すべきである。もし緩勾配にするとすれば、地はだを客土、植生の密植などで十分におおふことが必要である。中間斜面は斜面保護工を困難にしがちであり、実際にもその崩壊例が多い。中間斜面の例である西光寺谷頭の工事は、特殊の事情が幸いしたケースであって一般化しにくい。

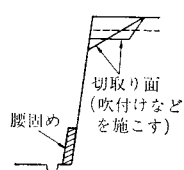
【当日の補足】 直立斜面でもよく、緩斜面とする場合は十分ゆるやかにして、完全に水に対する被覆を施すべきである。しかし、このうち経済性が優先する場合や、レベルの低い工事では前者でもよいが、それでものり面の天端のあとは逆勾配にする必要がある。次にシラス斜面の破壊において、引張り破壊とすべり破壊とを比べてみて、現実には引張り破壊が起きているとみられるし、

また実際の破壊は最も簡単な過程をとるという原理からもそれが考えられる。

(2) 露木（標題・シラスの地質学的特徴と侵食形態）

同氏の記述では設計法には触れず、地質学者の立場から、標題が示しているように、シラスの切土斜面なるものの層序を述べたのち、シラス崩壊の原因として、水、地震動、人為的不安定化をあげるとともに、その細目を述べている

【当日の補足】 シラス切土の斜面崩壊では、斜面のどの部分でそれが起きているかは、なぜ壊れるかという問題とともに重視したい。土木学会誌（文献 10）の表—2, 3)によれば、のり肩部分での粘性土化の部分や、軽石を多く含む部分の破壊が 80%以上になっている。これはシラスでない部分である。そして、中腹での破壊は少なく、壊れても小さいものである



図—2 直立斜面における対策

ことを指摘したい。高い直立斜面の設計では、その対策として、図—2 のように、のり肩部分を斜めに切り取って吹付けなどを施すほか、のり先部分の破壊に対しては、腰固めを施せばよいと考える。

(3) 藤本（標題・シラス切土斜面の崩壊とその設計—主として地震時の安定限界高さについて—）

同氏は、問題を静的条件のもとで、切土斜面が地震時にどのような安定性の変動を示すかという点に限って取扱っており、えびの地震災害でみられたように、固結度の低い二次堆積のシラス斜面破壊を、① 自然の長大斜面、② 切土斜面、③ 粘性土層の介在する段丘斜面の 3 種類に分けて、前二者の解析の手法と結果を述べている。この討論会の主題は、② の場合であるので、その解析法だけを紹介すると次のとおりである。

Seed らによれば、 $a/g = (K_y)_h$ を斜面破壊の“yield acceleration”と称し、その値を次式で表わしている。 a は水平加速度である。

$$(K_y)_h = \tan(\phi - \alpha) + (S_i + S_e) [d \gamma (\cos \alpha + \sin \alpha \tan \phi)]$$

ここに、 α : 斜面傾斜角、 g : 重力加速度、 d : すべり層の厚さ、 γ : 非粘性土の密度、 S_i : 粘着力 c に相当するせん断抵抗成分、 S_e : のり尻土けい(楔)部の受働抵抗 P をすべり面長 l で割った値である。次に、① のり尻の土けい部の背部傾斜の鉛直線に対してなす角 θ は α に逆比例的に変化する、② 崩壊高さ h は α に比例的に大きくなると仮定し、地表面傾斜角 $i=0$ の場合について、斜面高 H および h と、 $c, \phi, \gamma, \alpha, \theta, K_h$ との関係を導いている。

そして、 $\alpha=80^\circ$ として、 $c=0.5, 0.1, 0.1, 0.3, 0.075$ kg/cm^2 , $\phi=36^\circ, 36^\circ, 43^\circ, 40^\circ, 46^\circ$, $r=1.4, 1.4, 1.4, 1.4, 0.956 \text{ t/m}^3$ の値を、それぞれの順序で組み合わせて与えたときの、 θ と K_h の計算結果を、斜面全高 H をパラメーターとして図示している。この結果によれば、 $\alpha=80^\circ$ の場合の限界高 H_c は次のようになる。

静止時： $H_c=27.6 \text{ m}$

地震時 $\begin{cases} a=0.3 \text{ g} : H_c=\text{約 } 24 \text{ m} \\ a=0.4 \text{ g} : H_c=12.2 \text{ m} \end{cases}$

これらの値は、気乾試料を用いた室内実験の結果と照合されている。

【当日の補足】 シラス斜面に対する水の作用はすでによく認識されているはずなので、前刷ではあえて地震時の斜面だけを取り上げた。鹿児島県のシラスに比べて、宮崎県のそれは、二次堆積のもので溶結性に乏しく、細粒で軽石も少ない。引張りを考えるのは、土質力学ではなくて岩の力学の分野であり、土質力学ではせん断破壊であるべきである。次に、直立斜面ほど侵食にはよい面があるが、斜面安定の原理からゆるやかなほうがよい。のり面保護は力学の問題からはずれる。なお、前刷は高速道路を念頭に入れて書いた（前刷の正誤：p. 8, 11 行目の $h \geq 0$ は $h \leq 0$ ）。

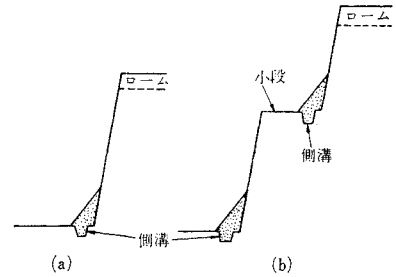
(3) 持永（標題・シラス斜面の崩壊とその設計）

同氏は、実際に九州縦貫道路を設計施工しなければならない現場技術者の立場から、シラス切土斜面の崩壊の統計的な実態調査の結果を、同氏前刷中の表一1~3に示して、急斜面の切土のうち、82%がなんらかの崩壊を起していること、そして緩斜面では、いちおう保護工が施されているにもかかわらず、61%が崩壊の危険のあることを指摘している。しかし、切土斜面の崩壊の原因として、実態調査の結果から地下水が40%と最も多く、これに地下水および表面水の場合を加えると、合計68%にもなることをとくに重視して、この原因を排除する設計を行えば、緩斜面が成功するばかりでなく、しかも最善の方法になるという見解を述べている。この具体的な設計方法として、① のり面を1:1とし、集中水を防ぐための排水溝を完備するほか、50~100 cmの厚さの土羽土のうえに、繁茂した植生を施す、② 7mの高さごとに小段を設け、この小段を張芝でおおうとともに、排水溝を設ける。小段は後日の補修作業を容易ならしめるため、2~2.5 mと広くとる、③ 工事中の豪雨をも考慮して、のり肩の側溝を先行して施すことを結論としている（筆者注：統計値は文献10）を参照されたい）。

【当日の補足】 高速道路の設計では、最初に問題になったのが切土斜面のそれであったが、沿線ぞいの240点の斜面の調査を行なった。表一1に示したように、直立

表一1 切土の斜面勾配と崩壊の割合

(例数)				
区分	3分以下	4~6分	7分以上	計
崩壊あり (A)	58	74	37	169
崩壊なし (B)	13	33	24	70
(A)/[(A)+(B)] (%)	82	69	61	71



図一3 シラス切土斜面からの崩落

斜面ほど破壊は多いほか、いずれにしても1:0.3~1:0.7の範囲ではなんらかの崩壊を生じている。地山シラスの強度 (N 値は20もある) といっても、それは擬似的な強さであって、あくまで豪雨時が問題である。実際にいくつかが維持されているといっても、直立斜面は採用できないと考えた。次に、斜面試験を行なったところ、シラスの崩落が最も問題であり、図一3に示すように、たえずそれが生じて排水溝も埋まってしまっている。小段をつくっても同じであった。このようないきさつから、緩斜面の採用に踏み切った。

3. 討議の要点

各話題提供者の発表は、前述のように必ずしも討論会の趣旨に合致したものがばかりでなかったが、討論によってかなり本討論会の趣旨に集中することができた。とくに、シラス切土斜面の設計は、水の作用に対する問題であるとするものではほぼ見解の統一が得られたが、それでも各人のアプローチにバラエティーがあることが原因して、次のように、まだかなり意見がわかれている。

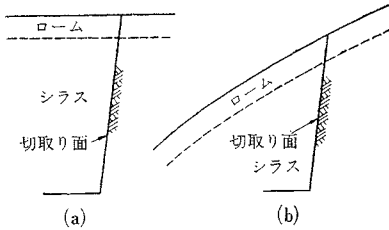
(1) 斜面の選択

a) 緩斜面のみを肯定する意見（持永）

高速道路に関するかぎり、直立斜面の場合に斜面のはだから崩壊するシラスが排水溝を埋めることを不可とする。

b) 直立・緩、両斜面ともに肯定する意見（上田・露木）

それぞれ、水に対してガリ侵食を防ぐ設計を行なえばともに十分有用であるとする。中間斜面（農林省方式）はよくない（上田）。露木は、ガリ侵食は水みちとして



図一四 切取り面と原地盤の関係

解釈し、それは対策をたてればよいことである。数十mに及ぶ大きなガリ侵食が起きるのはまれなケースであるとする。また、ごく小さい崩落はそれほど心配しないでよいだろうとする。とくに3~5m程度の高さの斜面では、崩落はむしろ表層に近い風化土からくるものであると解釈している。また、高さの取扱いはその絶対値だけでなく、図一四に示すように、地盤の構成と切り方の関係から崩壊のあり方が相違することを指摘している。

e) 直立・緩、両斜面から二者択一するのではなく、せん断すべりから決定すべきであるとする意見(藤本)

これに対し、含水比30%程度で飽和状態となり、せん断抵抗はほとんどなくなるから、せん断強度をシラス斜面には持ち込めないという反発がある(持永)。さらにこの発言に対し、斜面をぬれないようにすることを斜面設計の眼目にしているのだから、ぬれる場合を考えるのはおかしいとする意見があった(上田)。

(2) せん断試験の方法

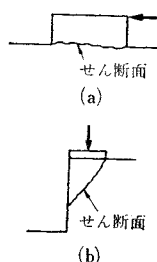
上記1.e)の藤本による意見は、実際にはまだ明らかに実用の段階ではなく、研究者のビジョンとして受けとるべきだろう。たとえ水に対する対策を十分に施しても、シラス切土斜面は後背地からの浸透水もあるし、また連続の降雨のもとでは、かなり含水比は高くなるとみるべきであろう。したがって、侵食を防ぐ対策を施しても、せん断強度を調べることは必要であると筆者は考えるがその試験が可能であるかどうか意見がわかれている。

a) 乱さないシラスのコアサンプルは採れないし、また現場でのせん断試験法もまだできていない(藤本)。

この見解は、同氏が述べた前項1.c)の意見と矛盾しているようにみえる。

b) 宮崎側のシラスであっても、乱さないシラスのコアサンプルは実際にとれる(上田、赤司六哉・九州電力)。

上田は図一五に示すような現場せん断試験を、赤司は労を惜しまなければコアサンプルに縦穴を掘ってとれると述べた。



図一五 掘り残して行なう乱さないシラスのせん断試験

(3) 引張り破壊

前述のように、上田はシラス切土斜面の破壊は引張り破壊であるとしているが、これは、のり先が洗掘された場合に上部が裂けて破壊するという意味のようである。筆者もぜい性破壊の一つとしてそれを考えている。いっぽう、藤本は、引張り破壊は派生的現象であるとして、すべり破壊を固執している。また宮崎側のシラスの引張り強度はかなり小さいとしている。

(4) 水によるシラスの弱化的メカニズム

松岡元(京大)は当を得た質問をした。水によるシラスの弱化的メカニズムは、どの程度まで解明されているか。それが明らかになれば、直立・緩、両斜面のどちらがよいか、ケースバイケースであるにしても、おのずと決まるのではないか。次に、緩のほうが安定であるべきであるのに、直立のほうが安定だという通説は、水に対しての問題であるとしても、水に対するせん断強度がどのように小さくなるのか。それがわかれば、水の作用のおそれのある場合と、防水の施工をする場合とで、それぞれ設計法が可能になるだろう。この質問に対しては、後述する4.(2)のような説明を山内が行なった。

4. シラス切土斜面の安定に関連する研究

話題提供者による前刷などの研究紹介の重複を避け、主題に関連する二、三の研究を紹介することにすると、討論会では時間がなく、このさい紹介させていただく趣旨で、いきおい筆者らの研究を多く引用することになることをお許し願いたい。そして大方のご批判もお願ひしたい。

(1) シラスの分類

ひとくちにシラスといっても、堆積の過程やその後の風化作用によって、かなりバラエティーに富んでいることが、実際の工事にたずさわる技術者をして、シラス切土斜面の設計を著しく困難ならしめている。たとえば、高速道路をはじめとする道路では、かなりの延長を同一設計で施工せざるを得ず、ルート上にいくつもの異なった方法を取り入れることができない。

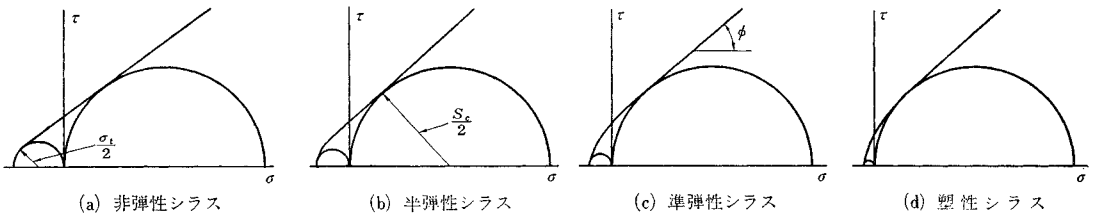
地質学者は、地名を冠して、シラスを、下浦層型、昌明寺層型、大溝層型、溝園層型などで分類してきたが、この分類法は、工学的にはあまりに抽象的であって利用価値がとぼしい。そこで、露木¹⁾は、工学的利用を考慮して、目と手による簡易分類法を提案している。また、試験装置を使う方法として、建設機械化研究所による洗掘抵抗試験²⁾があり、最近では、難波直彦(鹿児島大)

No	S_c (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	S_c/σ_t	r_d (g/cm ³)
4	4.94	1.00	4.9	1.330
7	8.64	1.90	4.5	1.490
8	7.71	1.75	4.4	1.482

No	S_c (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	S_c/σ_t	r_d (g/cm ³)
2	6.75	0.85	7.9	1.470
5	0.33	0.044	7.5	1.110

No	S_c (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	S_c/σ_t	r_d (g/cm ³)
6	0.76	0.063	12.1	1.248
17	0.50	0.037	13.7	1.071

No	S_c (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	S_c/σ_t	r_d (g/cm ³)
1	3.41	0.16	21.3	1.376
3	2.05	0.07	29.3	1.400



注: S_c ・圧縮強度, σ_t ・引張り強度, r_d ・乾燥密度.

図-6 乱さないシラスの σ - τ 図による分類

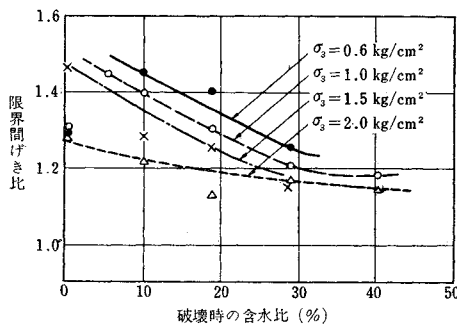


図-7 シラスの限界開けき比と含水比の関係

が紙(びょう)打錠による貫入抵抗をも研究している。密度を測定することや、貫入試験である山中式硬度計は古くから利用されてきているが、上記2種の抵抗試験値も、侵食性は必ずしもよく表現できないといわれる(持永ら)。

筆者ら^{5),6),13)}は、地山のシラスは引張り強度を持っている点で、乱したシラスと工学的に相違するという考えから、図-6に示すように4種類のシラスに分類している。筆者は、従来の土質力学の手法であるせん断すべりだけで論じていたのでは、地山のシラスの特徴は表現できないと考えている。

(2) シラスのせん断抵抗に対する水の影響

シラスの三軸の排水せん断試験^{2),6)}において、拘束圧をパラメーターにして、破壊時のダイレイタンシー指数 $(dv/d\varepsilon_1)_f=0$ (ここに、 v :体積変化, ε_1 :軸ひずみ)に相当する点の間げき比を限界開げき比とすれば、この値は、図-7に示すように水分が増すほど小さくなるので、シラス塊はゆるい状態となって外的作用に対して崩壊しやすくなると解釈される。これは、シラスの乱さないもの、乱したものについていえることで、また、侵食性もそれによって説明できそうである。沖積シラスの液

状しやすさについても、非排水せん断を試験で行なうて、このことから説明できる。

(3) シラス切土斜面における特徴的破壊

南九州のシラスは、全体的には均一材料とみてよいのものにかかわらず、決して円形すべりを起こさないことは注目すべきことである。豪雨時と地震時であると問わす後述する局部的破壊を除けば、すべりはすべて植生層とシラスの間で層状にすべっている。これは、ローム層から溶脱された成分が、在来シラスを粘性土化しているためと筆者^{11),12)}は判断している。このことは、シラスのがけの深さ方向の pH 値、有機物含有量、粒度などの分布で確かめている(図-8)。直立のシラス切土斜面では、この部分が弱点になるが、この部分の処理は、2.で述べたように(露木)、なんらかの人工的くふうで保護できるだろう。

次に、直立斜面では、斜面先部分にブロック状に崩壊することが多い。これに対して、筆者ら¹³⁾はのり先を含む水平面が、図-9に示すように、浸透水の繰返しの昇降により、圧密を起し、これが斜面先部分に鉛直方向のクラックを生ぜしめるという仮説をたてている。しかし、この局部破壊は、決して斜面の延長方向に連続するものではなく、ごく局部的におきているので、これに対しては、岩の場合に観察されるような潜在的な“貝がら構造”または“たまねぎ構造”が影響していると考えている。ケースは少ないにしても、直立斜面の中腹ではこの種の局部破壊の原因を考えると、このような潜在的構造は無視できないだろう。斜面先の局部破壊に対しては腰固めによって十分防止できるが、実際面でもこの効果は認められている。しかし、上述の2つの仮説を確かめるためには、もっと現場に即した調査が必要である。なお、斜面勾配の選定については、露木と同意見である。

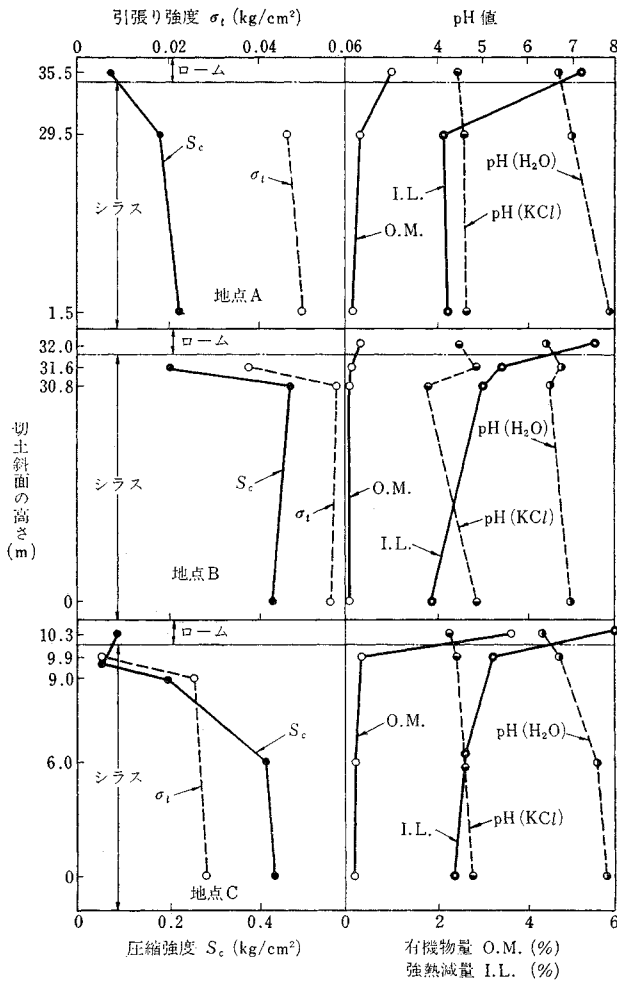


図-8 シラス直立切土斜面における深さ方向の性質変化

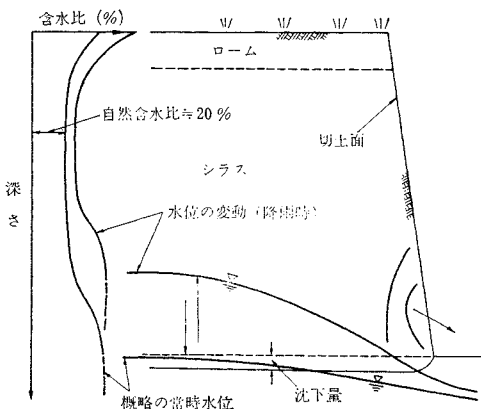


図-9 斜面先のぜい性破壊に対する仮説の説明図

(4) 地山のシラスは土か岩か

土質力学の分野では、対象の材料のせいで、せん断すべりのみを取扱っているため、引張り強度はほとんど無

視している。しかし地山のシラスは程度の差があるにしても、現実に引張り強度を持っているのだから、これを無視するわけにはいかない。レス土でも、最近ではじめて岩の手法を取り入れた論文がでたが、シラスでも、引張り強度、そしてぜい性破壊を取り入れる手法で研究することは、必要だと考える。一般的に、わが国では、研究の手法が、自己の専攻の分野に限られるきらいがありはしないかと考えるが、オーストラリアなどでは、geomechanics として、地盤の各種問題を取り扱っていることは学ぶべきことだろう。

地山のシラスは図-6で示したように、完全に土の問題のものもあれば、中間的なものもあることがわかるが、今後、修正 Griffith や Coulomb-Navier の破壊規準を応用して、それらを全部カバーして数的に取り扱える見込みがある。そして、斜面の安定についても、引張り強度を取り入れて有限要素法の計算を筆者らは行なおうとしている。

(5) ニューゼーランドのシラス類似土の切土斜面

ニューゼーランド国北島では、約半分の面積がシラス類似土でおおわれていて、その切土斜面の設計は重要である。しかし、平均年雨量が 1250~1300 mm 程度であり、人口密度も低いことから南九州ほどには問題になっていない。しかし、まれに 1 日、200 mm 程度の集中豪雨であって、やはり南九州のような侵食を受けることがある。ここでは、路肩に 3~4 m 程度の余裕をとってから、30 m の高さまでは 80° (1:0.2) の傾斜でたてて、途中に 1 か所ぐらい小段を設けて国道をつくっていることを、この機会に紹介しておきたい (昭和 45 年の筆者の現地調査による)。

5. 結 び

ここでは、研究討論会の討議を中心にして、シラスの切土斜面の崩壊とその設計に関して、最近の技術および研究の両面にわたって展望した。読者は、この問題が多く の要因を含んでいて、意見の集約が十分に行なわれるのは、まだまだかなりさきのことであることを理解されるであろう。他の地方の方々の研究参加を歓迎したい。

研究者はそれぞれの立場から、この問題に対しても大きな寄与をしているが、シラスは終局的には現場の防災につながる問題であり、しかも、現実には、研究の結果を待ってられないほど土木の開発は進んでいることを

認識すべきであろう。そのため、現場技術者の立場を理解して研究を進めねばならないと考える。

とくに、シラス切土斜面の設計は、歴史的にみて、高速道路の設計を契機としてにわか論議がさかんになったといえる。この討論会で、緩斜面が大方の肯定を得つつある顕著な変化に気がつくのであるが、これは、以前になかったことである。持永氏の調査試験に負うところが大きいと筆者は考えている。

なお、本研究討論会は非常に有意義であったと思う。活発に討議して下さった方々に深甚の謝意を表するものである。

引用文献

- 1) 土質工学会：土質試験法（第1回改訂版），D. シラス，昭和47年3月，pp. 717-720.
- 2) Haruyama, M.: Effect of water content on the shear characteristics of granular soils such as Shirasu, Soils and Foundations, Vol. 9, No. 3, 1969, pp. 35-57.
- 3) 片山信夫ほか編：新版地質学辞典，II，p. 263.
- 4) Lutton, R.J.: Fractures and failure mechanics in loess and applications to rock mechanics, US WES RP. S-69-1, 1969.
- 5) 村田秀一・山内豊聡：引張り強さを持つ乱さないシラス供試体のぜい性破壊について，第3回岩の力学国内シンポジウム論文集，昭和45年11月，pp. 69-74.
- 6) 村田秀一・山内豊聡：地山シラスの強度特性について，第27回土木学会年次学術講演会講演概要集，3，昭和47年10月，pp. 101-104.
- 7) Yamanouchi, T., Taneda, S. and Kimura, T.: Damage features in 1968 Ebino earthquakes from the viewpoint of soil engineering, Soils and Foundations, Vol. 10, No. 2, 1969, pp. 129-144.
- 8) Yamanouchi, T. and Haruyama, M.: Shear characteristics of such granular soil as Shirasu, Memoirs of Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol. 29, No. 1, 1969, pp. 53-64.
- 9) 山内豊聡・木村大造：防災を中心としたシラスの問題点，土木学会誌，Vol. 54, No. 11, 昭和44年11月，pp. 9-20.
- 10) 山内豊聡・持永龍一郎・河村忠孝：シラス地帯における九州縦貫自動車道の設計施工，土木学会誌，Vol. 57, No. 6, 昭和47年6月，pp. 65-75.
- 11) 山内豊聡・村田秀一・松田滋：シラスの地山斜面の物理化学的性質について，第7回土質工学研究発表会講演集，昭和47年6月，pp. 73-74.
- 12) Yamanouchi, T.: Damage features of "Shirasu" and their causes and countermeasures, Preprint paper, No. 3-9, Proc. 3rd Southeast Asia Conf. on Soil Engr., Hong Kong, 1972 (in press).
- 13) Yamanouchi, T. and Murata, S.: Brittle failure of a volcanic ash soil "Shirasu", Proc. 8th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engr., Moscow, 1973 (submitted).

土木計画学シンポジウム ●土木計画学研究委員会編●

1 1967・1開催 ●総論/八十島
B5・134 ●700円(〒140円) 義之助・加納治

郎・米谷栄二 ●土木計画手法に関連して/吉川和広・佐佐木綱
・五十嵐日出夫・佐用泰司・渡辺新三 ●総合計画に関連して/
川北米良・秀島敏彦・井上 孝 ●総合開発と社会開発に関連し
て/西川 喬・石原安雄・山本剛夫・鈴木忠義・高橋 裕 ●交
通計画に関連して/内田一郎・長尾義三・毛利正光・多谷虎男
・天野光三・小川博三

2 1967・11開催 ●第1回シンポ
B5・112 ●700円(〒140円) ジウムのまとめ

/米谷栄二 ●水資源計画/佐々木和彦・北野 章 ●交通計画/
立花文勝・星野哲三・長尾義三・新谷洋二・加藤 晃 ●都市計
画・地域計画/毛利正光・大塚友則・渡部与四郎

3 1969・1開催 ●第2回シンポ
B5・132 ●700円(〒140円) ジウムのまとめ

/米谷栄二 ●土木計画の考え方/幹事会 ●道路工学・交通工学
の事例/枝村俊郎 ●景観計画における計量化/鈴木忠義・村田
隆裕 ●道路計画における計量化/山根 孟 ●鉄道貨物輸送にお
ける設備計画と計量化/菊池 宏 ●全国幹線交通モデルの開発
/伊藤 博 ●港湾計画における計量的手法例/小池 力 ●構造
物の設計における安全率/島田静雄 ●上下水道計画における計
量化と問題点/末石富太郎 ●

<品切れ近し>

4 1970・2開催 ●第3回シンポ
B5・88 ●700円(〒140円) ジウムのまとめ

/小川博三 ●土木計画学へのシステムアプローチ 1. 序論 2.
土木計画学の位置づけ 3. 計画システムとは何か 4. 従来の
システムアプローチ 5. 本シンポジウムにおけるシステムア
プローチ 6. 水計画と交通計画における現象システムの共通性
7. サブシステムの構成と手法 8. まとめと今後の問題/委員
会 ●第4回シンポジウム当日の討議/委員会 ●

5 1971・1開催 ●土木計画の評
B5・108 ●900円(〒140円) 価システム/委
員会 ●

1. 土木計画学シンポジウムの歩み 2. 今回のシンポジ
ウムの役割 3. 土木計画における評価システム 4. 苫小牧港
のケーススタディ 6. 道路計画における評価システムの検討
7. 水資源計画における評価システム 8. 新市街地開発にお
ける計画の評価システム 9. 総括報告/委員会 ●第5回シンポ
ジウム当日の討議/委員会 ●

6 1972・1開催 ●第5回シンポ
B5・110 ●1100円(〒140円) ジウムのまとめ

/委員会 ●計画プロセスのパネルディスカッション 1. 土木計
画における評価 2. 都市内の道路計画 3. 水質保全からみた
下水道施設計画/委員会 ●評価のための分析モデル 1. 今回の
シンポジウムの役割 2. 分析モデル/委員会 ●第6回シンポ
ジウム当日の記録・とりまとめ/委員会 ●