

防災を中心としたシラスの問題点

山内豊聡*
木村大造**

1. まえがき

南九州は台風、豪雨常襲地帯であるうえに、水にきわめて弱い特殊土壌シラス地帯が広く分布しているため、梅雨期から台風期にかけて、年中行事のように、どこかで災害が起きている。過去には昭和24年に終戦後の食糧難のため鹿児島県特有のシラス台地を無統制に開かん耕作していたところに、わずか3ヵ月で鹿児島の年平均降雨量を上回る実に2300mm以上という異常降雨によって県下いたる所の台地周辺で大災害を起こした。

また、昭和44年は住宅難解決のため、鹿児島市周辺の丘陵地の宅造中に10日間で約700mmという1年分の1/3の異常降雨により、シラスが浮き土砂の状態で見舞われ、住宅、田畑などの被害は甚大であったが、このほか、すでに完成された宅造地や、道路のシラス盛土が崩壊し、また、県下いたる所に発生した山腹斜面の山崩れ、崖崩れなども決して見逃すことのできない大きな災害であった。

さらに、えびの地区一帯は昔から地震が多く、群発地震地帯とされ、昭和43年2月のときのような震度6以上の烈震に見舞われることがあれば、ふたたび、えびのシラス地帯は甚大な震災を受けるものと予想される。

しかし、これらは南九州シラス地帯の宿命としてすまされない問題である。本文はシラス地帯の豪雨および地震による災害の実態と特徴を述べたのち、今後望ましいと考える工法の一端を述べるものである。

2. シラス地帯の地形と地質

(1) シラスの分布

シラスは 図-1 のように、東は宮崎県大淀川から鹿

児島県大隅半島佐多町伊座敷、西は熊本県青北郡津奈木町から鹿児島県いぶ宿郡額姓町の半ば付近まで分布している。このシラス地帯中、鹿児島県72%、宮崎県27%、熊本県1%で大部分は鹿児島県にあるが、鹿児島県だけではその約50%がシラス地帯で占められている。

(2) シラス地帯の地形

図-2 はシラス台地のプロファイルの4例であるが、

図-1 シラスの分布

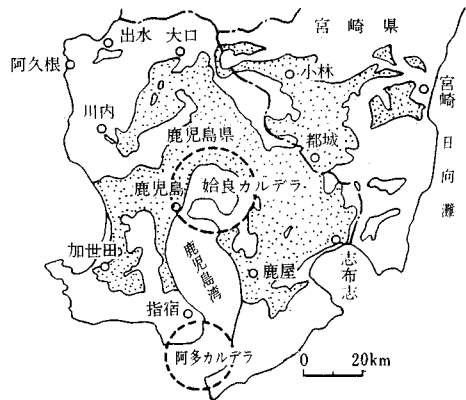
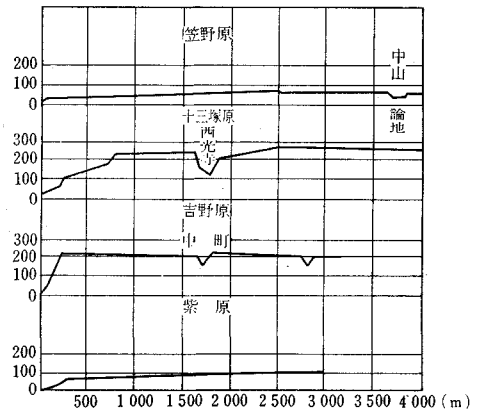


図-2 シラス地帯のプロファイル



* 正会員 工博 九州大学教授、工学部水土木工学科
** 鹿児島大学教授、農学部林学科

地形的に海岸沿いの平地が幅狭く、すぐけわしい崖、または急斜面を数十m、数百m登って、そこに標高 200~500 m の台地が鹿児島湾を囲んで、いたるところにある。これは地形上の一大特色で、鹿児島県の畑はほとんどこれらの台地にある。

このような地形はきわめて幼年期のもので、降水疎通の自然的機構が発達していないので、豪雨の際、雨水のはらんを招きやすく、台地周辺に流水が集中したときに山崩れ、崖崩れの危険がきわめて大きい。

宮崎県えびの地区の地形は開析が相当進んで谷が複雑に入り込んでおり、谷に面する山腹の勾配は鹿児島各地のシラス台地の縁辺部より緩く30°~60°の範囲である。

(3) シラス地帯の地質構造

シラス台地を構成している材料は、火山灰、火山砂、軽石などの火山噴出物が堆積したもので、ほとんど一様に混合して鹿児島のシラスは成層していない。

シラス層の厚さは、灰石のあるところは薄く、30~50 m ぐらいであるが、灰石のないところは深く 100 m 以上におよぶ所がある。シラス層の上部には写真-1のように新期火山灰層であるローム層などがある。厚い所は10 m 以上の所もあるが、普通 4~5 m ぐらいである。

宮崎のシラスは一次的に堆積したシラスが水の作用に

写真 1 鹿児島県のシラスの例

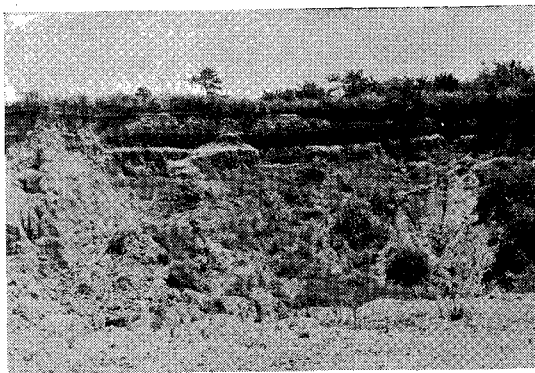
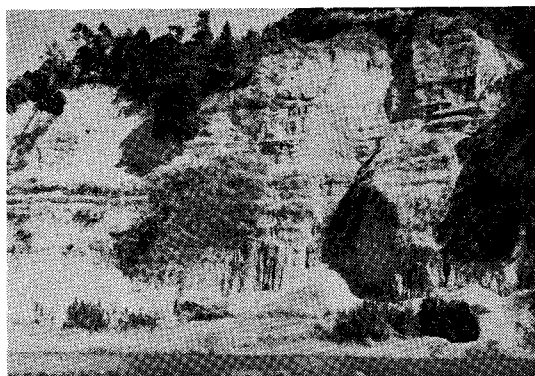


写真-2 水成シラスの例 (宮崎県)



よって二次的にできた水成シラスといわれ、写真-2 のように見事な成層をなしている。しかも、シラス層の最上部までの間に 2~3 層のあまり厚くない黄褐色の粘土質をはさんで、シラス層それ自身から盛んに地下水が湧出している。

鹿児島のシラス層では一般に侵食谷の高さが高く、50~100 m で、また幅が狭く、両端の壁はほとんど垂直にきり立っているが、宮崎では一般に高さが低く 30 m 内外が普通で、幅が比較的広く、すり鉢状の侵食谷がつくられている。また、えびの地区などシラス層の上層部は鹿児島とはその種類も異なり薄い。

3. シラス災害の種類

表-1 シラス地帯の災害の種類

対象	豪雨災害	地震災害
道路 鉄道	<ul style="list-style-type: none"> ○斜面(地山, 切土, 盛土)の崩壊 ○砂利道表面の侵食 ○道路の地下埋設部分の洗掘 ○舗装のひびわれ 	<ul style="list-style-type: none"> ○斜面(地山, 切土, 盛土)の崩壊
河川	<ul style="list-style-type: none"> ○シラス堤防のバイピング破壊, 場合により越水破壊 ○小河川の浮きシラスによる埋没 	<ul style="list-style-type: none"> ○シラス堤防のひびわれ
橋梁	<ul style="list-style-type: none"> ○洗掘による橋脚の沈下 	<ul style="list-style-type: none"> ○シラスの噴砂による橋脚の沈下
臨海施設	<ul style="list-style-type: none"> ○臨海用地, 護岸斜面(シラス)の波による侵食 ○臨海空港の路盤下シラスの流出による舗装の破壊 	<ul style="list-style-type: none"> ○埋立シラス層の流動化あるいは噴砂*
建築物	<ul style="list-style-type: none"> ○浮きシラスによる家屋の倒壊もしくはその侵入 	<ul style="list-style-type: none"> ○地盤振動による建物の破壊 ○壁や垣とくにブロックの倒壊 ○ちゅう積シラスの流動化または噴砂による建物の沈下や傾斜*
宅地	<ul style="list-style-type: none"> ○宅地斜面の侵食破壊, 場合によりすべり破壊 ○団地の沈砂池用アースダム(シラス)の決壊 ○団地の敷地の全面的な侵食流出 ○各種排水用パイプ(コルゲートパイプなど)の浮きシラスによる閉そくと抜け出し ○戦時中防空壕跡の陥没 	<ul style="list-style-type: none"> ○斜面の崩壊* ○上欄の項目
農林	<ul style="list-style-type: none"> ○山腹崩壊 ○砂防ダムの埋没, 決壊および翼部の越水侵食 ○シラス台地の陥没破壊 ○用水池や湖の水際部のシラスの波浪侵食 	<ul style="list-style-type: none"> ○山腹崩壊 ○床固めコンクリートのひびわれ ○田畑におけるシラスの噴出
その他	<ul style="list-style-type: none"> ○送電線鉄塔基礎の侵食* 	

* 事例がないが、将来警戒を要すると判断するもの。

シラス地帯の災害は、じつに多方面にわたっている。それらを豪雨災害と地震災害に大別して列挙すると表-1 に示したようになる。

シラス地帯ではこれら豪雨災害と地震災害のほかに、強風に伴うシラス災害として、山腹斜面の風食あるいは崖崩れの誘発があり、また送電線用鉄塔基礎のロッキング的破壊が懸念される。

4. 豪雨によるシラス崩壊の実態

豪雨によるシラス災害を崩壊機構、特に経過に着目して分類すると次のような 10 のケースがある。すなわち、① 地表水による面状侵食、② 落水型侵食（地げき侵食）、③ 水流による崖脚洗掘、④ シラス層上部のローム層の崩落、⑤ シラス層の雨裂侵食、⑥ 山腹斜面の山崩れ、⑦ 地下水の流動侵食、⑧ シラス断崖のはく離脱落、⑨ シラス浮き土砂の流出、⑩ シラス浮き土砂による盛土の崩壊である。

これらの崩壊は主として地表水の侵食作用がまず働いて、これに関連して他の原因を派生するのが最も多いようである。これらの原因を誘発した根本原因は、水に対する処理の仕方の誤りにある。

たとえば、永年の経過のうちに自然に水文経済の均衡がとれて侵食崩壊が起きなかったところが、人工的に山腹や上方台地の森林の伐採、開こん、道路築設および宅地造成などを行なったために地形変化が起こり、地上に降った雨水の地域分散に変動を与え、シラス層を切り崩し、ほとんど結合力を奪ってしまった浮き土砂のまま裸出しておくなど、全く自然のバランスを破ってなんら手段を講じないか、講じてもかなり不十分で集中豪雨の猛威をほしいままにさせたことである。

その水の働きの場として、シラス層の存在に関係があることには間違いないが、この崩壊の原因は単純なシラス層の存在だけによるのではなく、シラス層上部にある種々性質の異なった数層が重なって存在するローム層などにも大いに関係あることを見逃してはならないと考える。

次に、シラス地帯崩壊の経過をさらに詳しく述べることにする。

① 面状侵食：台地上に豪雨があると雨水のほとんど全部が地表を流れ、台地一面を低いほうに向かって幅の広い川のようになって、地表面を面状侵食しながら、台地周辺の侵食谷に殺到する。

② 落水型侵食（地げき侵食）：図-3(a) のように台地から崖縁に集中落下した流水は滝壺をつくり、シラス層の下部をえぐる。下部を深くえぐり取られるとケービング（caving）を生じてその上部のローム層、シラス層

図-3 水によるシラス斜面崩壊の類型

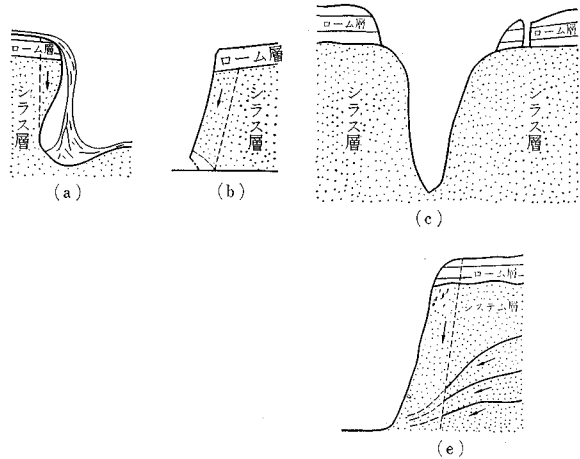
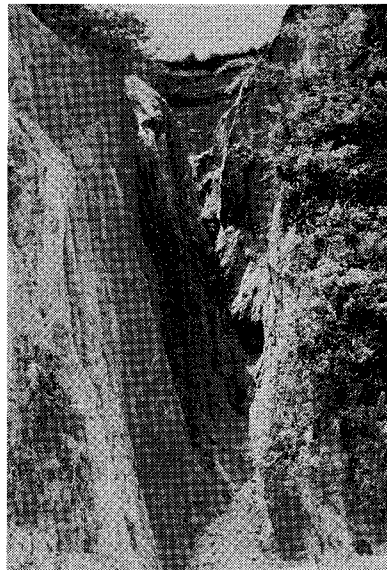


写真-3 地げき侵食



が崩れ落ちる。この作用を繰り返して流水が多いときは 1 回の豪雨で 100m 以上も台地内部に奥深く、写真-3 のように地げき侵食（ガリ侵食）して、幅狭くほとんど垂直な壁を持つ侵食谷をつくる。これはシラス侵食のうちでも、最も流出土砂が多く被害じん大である。昭和 24 年のときはこの型の侵食が最も多く発生したが、その後の台地整備が進み、その効果が現われて、昭和 44 年は一、二例を除いて、この侵食はなかった。次に、前記の幅の狭い侵食谷ができると、これが次の 2 つの形式で次第に谷幅を広げていく。

③ 崖脚洗掘：その一つは 図-3(b) のように谷を流れる水がシラス層の崖脚を洗掘し洞穴ができ、これが進み洞穴の上が崩れ落ちて次第に谷幅を広げていく。

④ ローム層の崩落：もう一つは 図-3(c) のように侵食谷の壁の最上部のローム層が露出乾燥すると収縮し

て地層に亀裂が入り、豪雨の際、そこに雨水が流れ込み崩壊を助長する。シラス層上部のローム層が落ちると、写真 4 のようにシラス層の棚ができる。

また、豪雨の際シラス地帯で諸所に非常に多く発生するもので前と少し異なったローム層の崩壊がある。これは間違えられてシラス層の崖崩れのように報道されやすい。図-3 (d) のように、地表からしみ込んできた雨水が、粘土層、酸化鉄で固まった盤層、岩盤などの半不透層や不透水層に達し、この層にさえぎられ崖側または山腹から湧水し、ここをすべり面としてその表土層が崩落、または滑落するもので、昭和 44 年はこのケースが

写真-4 シラス斜面に対するローム層の崩落

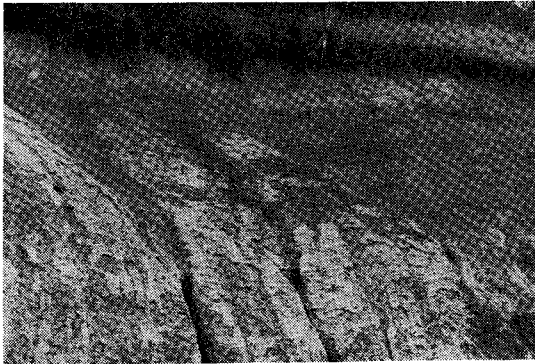


写真-5 シラスの雨裂侵食

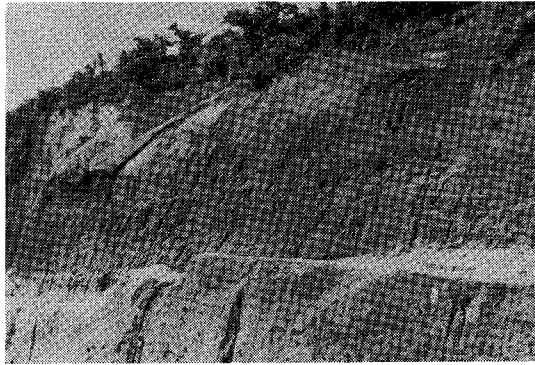
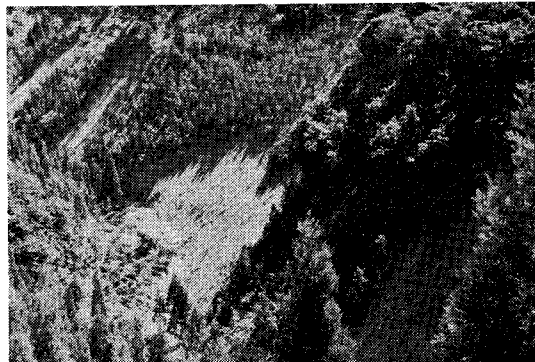


写真-6 山腹斜面の表土層の滑落



かなり多かった。

⑤ 雨裂侵食：ローム層が崩落したり、また、山腹斜面の表土層が滑落してシラス層が露出されると、写真-5 のようにシラス層に多数の雨裂侵食ができる。しだいにこの雨裂が大きくなり、ついに雨裂相互間の突起部が崩れ落ち、垂直壁となって谷幅を広げる。

⑥ 山腹斜面の山崩れ：写真-6 のように $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ の急峻な山腹斜面のシラス層上部の表土層は数十cmに止まり薄い。この部分は植物の根はよくはびこっているが、その下部のシラス層は全く有機質を含まず堅く密に締まっているので、ほとんど根が侵入せずシラス層を緊結していない。またシラス層の最上部は、シラス風化層があって、ここが集中豪雨の際すべり面となる。雨水浸透で表土層が飽和状態となり、土が抵抗力を失っているところに、この急斜面の上方台地からの地表流水がさっとうし樹木もろとも表土層が滑落するものである。昭和 44 年の集中豪雨で、山腹斜面の山崩れが県下いたるところで最も多く発生した。

⑦ 地下水の流動侵食：シラス層内の地下水の流動侵食は地質構造の関係から宮崎県に多い。鹿児島県でも末吉町高松谷のように台地上に水を引いて水田としているところでは、地下水面が上がり、そこに集中豪雨があるところに 図-3(e) のように地下水面が崖脚より上がり、地下水が“水みち”をもって崖脚上に流動湧水するようになるとシラス層内の侵食が始まり、崖の奥にケービングができ、この崖の上部が崩落するものである。

⑧ シラス崖のはく離脱落：降雨や早ばつによるシラス層内の含水量の変化はシラス崖面から 1m ぐらいに止っている。従って、崖面付近は水の増減による膨張、収縮を起こすけれども、その内部はほとんど変化がなく、ここに崖面付近とその内部の均衡が破られるが、崖の三方は閉鎖制圧され、崖面のみ開放されているから、内方から外方に膨張収縮の力が働き、崖面にほぼ並行した亀裂面が生ずる。

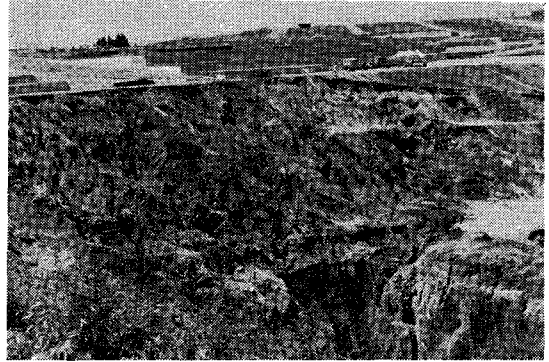
前述のようにシラス層内には植物の根が入り難いが、このシラス層内のひびわれに植物の根が団扇（うちわ）のように扁平に広がって侵入している。この根の力によりまたわずかな衝撃、振動あるいは豪雨によって薄く数十cmの厚さで馬蹄形状に亀裂面からはく離脱落する。

⑨ シラス浮土砂の流出：最近鹿児島市などの周辺の丘陵地の宅地造成が盛んとなり、宅造中のシラスの浮き土砂の下流地帯への流出被害が新しく目立ってきた。シラス層を切り崩したシラスの浮き土砂は全くその力学的性質が異なって、その結合力はほとんどなく雨水の浸透も早くすこぶる流動しやすいものになり、集中豪雨があると、写真-7 のようにきわめて激しい侵食流出が行なわれる。

写真-7 宅地造成の際の浮き土砂の流出の跡



写真-8 浮き土砂による盛土崩壊



⑩ シラス浮き土砂による盛土崩壊：写真-8 のように、宅造地にしても道路にしてもシラス浮き土砂による盛土がすでに完成したところで豪雨による大規模の崩壊がすこぶる多く、盛土施工の欠陥を如実に示した。

5. 地震によるシラス崩壊の実態

(1) 山腹地山

えびの地震による山腹地山の崩壊はこの地区のシラスの特徴と密接な関係を持つもので、その崩壊箇所は震源地飯盛山付近を中心として急傾斜な山腹を縫って、馬蹄

形状に発生している。

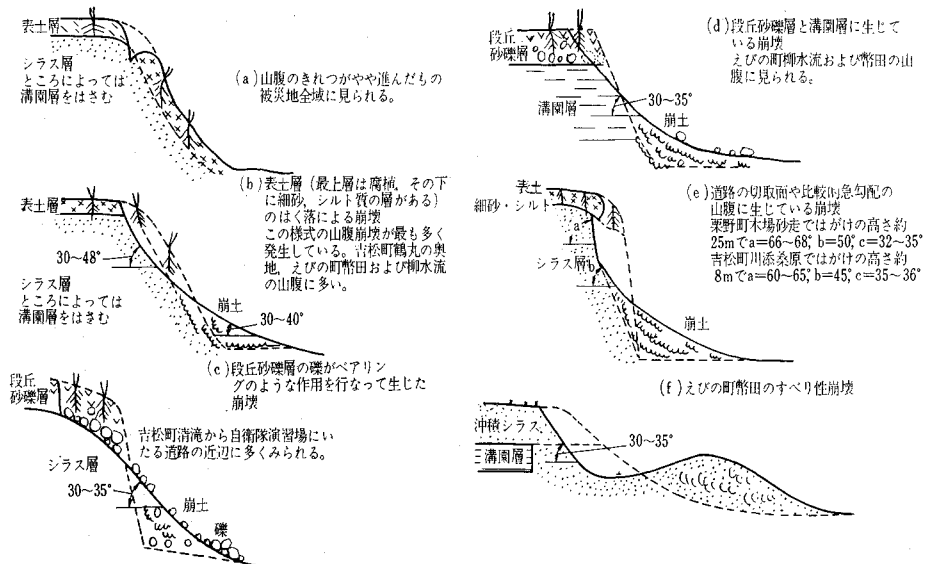
これらの崩壊地の植生状態は一般に 10~15 年生の雑木林、あるいは杉造林地の幼令林である。これらの植生の根系は表土層内にとどまってシラス層内にはほとんど侵入せず、表土とシラス層とを緊結していない。このため初めの震度 6 の烈震で表土層がシラス層と表土層の界をすべり面としてはく離滑落し、その後の地震のたびに裸出されたシラスが崩落してますます崖錐を大きくした箇所が多い。

崩壊箇所数および面積は、表-2 に示す通りであり、繰返しの地震の影響の程度がわかる。これらの大部分は川内川左岸に集中し、右岸側にきわめて少ないのも一つ

表-2 えびの地震山腹崩壊面積 (両県林務部調べ)

地 域	宮崎県えびの町		鹿児島県吉松町		同 栗野町		震 度
	箇所	面積 (ha)	箇所	面積 (ha)	箇所	面積 (ha)	
昭和 43 年 2 月 21~22 日 発生 の 地震	323	66.61	112	26.2	2	1.5	21 日 2 回 に わた っ て 5~6, 22 日 5
3 月 25 日 発生 の 地震 後	328	74.81	115	27.4	2	1.5	6 日 3~4, 被害 な し, 25 日 5

図-4 地震によるシラスの山腹崩壊の類型



の特徴であった。また、地質的にみて、崩壊はシラス層だけに起っているというものでなく、段丘砂礫層や溝園層（けつ岩）においてはなほだしく起っており、結局地質的に若い地層は非常に弱いことを現わしている。

地形的には、一般に凹凸のない単調な山腹の斜面や山の突出部に多く発生している。崩壊を起していない斜面はコンケーブな形をした部分で、山腹のこう配が $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ でも植生の根系が地中深く侵入して表土とシラス層を緊結している所にみられる。

山腹崩壊の形状は、図-4 に示す通りである。

(2) 土木施設と構造物および建築物

えびの地震における土木構造物の被害は、河川堤防、道路舗装面のひびわれ、国鉄の盛土の沈下、地表面の変動、擁壁や石積の崩壊および橋梁の上部、下部構造の損傷にわたって生じ、また建築物の大部分が損壊した。これら震害のうちの多くは、地盤が堅固でないかぎり、シラス地帯に限らず大地震の際に生起するものであった。シラス地盤と結びつけるとすれば、えびの地区では地質と地形に規制され、その沖積シラスや段丘砂礫層が弱かったということになる。以上の各震害の実態の詳しくは土質工学会シラス研究委員会の報告⁹⁾などを参考にされたい。

しかし、将来に備えて他の沖積シラス地帯が大地震を受けた場合、その流動化（液状化）の可能性の有無が大きな問題であると考ええる。すでに鹿児島市の沖積シラス層上の市街地や埋立地では、高層建築物を計画設計する場合に、この問題の論議がえびの地震以前から行なわれてきた。山内によれば、飽和シラスは地震のような繰返し荷重のもとでは、相対密度 100% の供試体でも間げき水圧が上昇して流動化が起きるといふ室内実験⁸⁾と、えびの地震の際に起きた、たんぼや河川敷におけるシラスの選択的な噴砂と関連させ、さらに繰返しの衝撃的試験から得られる N 値とプレシオメーターあるいは深層載荷試験から得られる静的支持力との間に顕著なへだたりがある事実にもとづき、沖積シラス地盤が大地震時に普通砂のそれ以上に警戒を要するという推論⁹⁾を行なっている。しかし鹿児島市などの沖積シラスには、普通土砂も混入しているため、現在その影響を現地の乱さない状態のコアサンプルによって調べているが、きれいなシラスほどは流動化の危険がないようである。しかし

ゆるい沖積シラスや水搬送工法による埋立地では、やはりその危険は大きいと考えている。

6. シラスの工学的性質の特徴

これまでの経験と研究結果をとりまとめて、シラスの災害の原因であるその工学的特性の短所と長所を考察してみると次のようになる。

(1) 短 所

a) シラスは一次、二次（水成）風化、沖積の名称を冠して大別でき、その判断は比較的容易になってきているものの、溶結と成層の有無、組織の細粗などに関する種類は非常に多く、その実用的分類法や判定法はまだ開発されていない。そのうえ溶結した自然のシラスと、いちど乱したシラスとでは性質の変化が著しい。

b) シラスの地山や切土には一種の節理（やジョイント）が入っていて、崩壊を起しやすくしている（写真-9）。その原因については研究者によってまちまちであるが、木村ら¹⁾は表面付近の含水比の分布の急変にもとづいてそれを説明している。含水比 30% から強度が急減する。

c) 侵食谷の谷壁に面する地表面が露出されると、写真-10 のように乾燥収縮して、ローム層と粘土層に多くの深いひびわれを生ずるが、その下のシラス層には及んでいない。この現象もシラス崩壊の原因の一つである。

d) シラスは地山、切土、盛土のいずれでも植生がむずかしく、また土羽土や施肥の助けを借りて行なわれた植生も根入りは非常に浅く、かついつまでも伸びない。

e) 乱したシラスのせん断抵抗角は、密な場合に 43° 、

写真-9 地山の節理崩壊

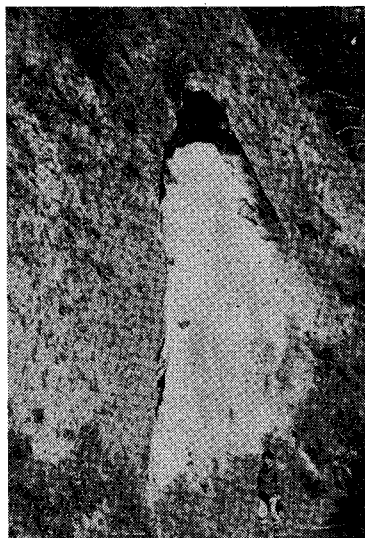
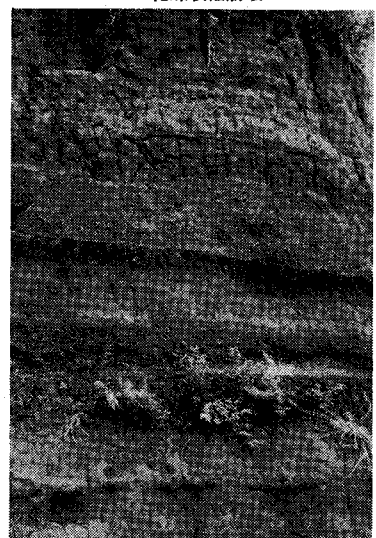


写真-10 シラス層の上部層の乾燥収縮崩壊



ゆるい場合に 34° 程度であるが、粘着力はインターロッキングに起因して砂である割合に小さくないといて、一例として、それぞれ 0.2 kg/cm² および 0 程度である。ただし飽和時の見かけの三軸せん断抵抗値である。

f) シラスの粒子の比重 G_s は小さく、間げき比 e が比較的大きいので、水浸時の有効単位体積重量は小さい。山腹の場合、えびの地区と、鹿児島市でのある平均値²⁾ を用いると、それぞれ次の値を得る。

$$r' = r_w \left(\frac{G_s + e}{1 + e} - 1 \right) \text{ の値は,}$$

$$1.0 \left(\frac{2.38 + 1.58}{1 + 1.58} - 1 \right) = 0.535 \text{ t/m}^3 \text{ および}$$

$$1.0 \left(\frac{2.425 + 1.33}{1 + 1.33} - 1 \right) = 0.611 \text{ t/m}^3$$

沖積、埋立シラスはもとより、盛土でもそれより小さい。

g) シラスの mass は浸透圧や掃流力、あるいは衝撃振動、繰返し荷重のような動的な力に対して崩壊しやすい。これは粒子の持つガラスの破片状の形と表面のなめらかさに起因する特性の一つであると判断される⁹⁾。

h) 土の水浸重量と浸透圧の合力、すなわち物体力の不安定方向の分力は f) の性質から大きく、加えて e) の性質により、土かぶの厚のわりにパイピングあるいは噴砂、洗掘が起きやすい。また砂の有効せん断応力の式 $\sigma' = \tan \phi(\sigma - u)$ において、 σ の値が小さいこと、間げき水圧が発生した場合、流動化(液状化)が起きやすくなる。したがって、沖積シラスでは標準貫入試験による N 値も静的支持力と、かなりかけはなれていることが多い。

i) 比重の小さいことや f) の性質と関連して、シラスが流出する場合、それが容易に“浮き土砂”になるばかりでなく、軽石が分離浮遊して排水パイプの閉そくなど種々の障害を起こしやすい。

j) 侵食性の著しいことは Middleton⁹⁾ による次の侵食比 ER (erosion ratio) の値によっても判断できる。

$$ER = \frac{DR}{Col/ME}$$

ここに、 DR : 分散比 (dispersion ratio) で、分散処理を行なって得た粒度と処理しないで得た粒度のいずれも 0.05 mm に対する通過百分率の比、 Col : コロイド量(%), ME : 水分当量 (moisture equivalent) であり侵食性の土で 12~115、非侵食性の土で 2.2~8.7 であるといわれる。シラスの場合、 ME として現場含水当量を用いると、一例として $ER = 62 / (2/56) = 1850$ にも達する。

侵食によるシラスの流出は現地の災害を見ない人にとっては想像外であり、舗装の縦方向のひびわれから入る浸透水によってさえ盛土が流出した例が今回の豪雨災害でも見られる。

(2) 長 所

a) 乱さないシラス特に溶結シラスはもちろん、乱したシラスでさえも、間げきが大きいにもかかわらず、粒子のかみ合わせがよいことに起因して、その静的支持力は大きい。

b) シラスに対するセメント、石灰のような水硬性材料による添加混合法の安定処理の効率は非常によい⁷⁾。そのためシラスのソイルセメントは、すでに経済的な道路の路盤工法としてかなり以前から実用になっている。

c) シラスの持つ極端な侵食性は、場合によっては長所として活用できる。水搬送工法がその好例であるが、かなり古くから掘さくや盛土でも“水流工法”⁸⁾ として利用されてきている。一種の生活の知恵である。

7. 昭和 44 年豪雨災害の反省

大きな災害が起きると、いつものことながら天災か人災かの論議が起きる。この種の土質災害は、国土利用が進み、地盤条件がわるいところを経済的、時間的に過酷な条件のもとで開発していくことに原因があるので、この論議は微妙をきわめる。しかし、集中豪雨にあった場合、あの程度の大きな災害が起きるといふ予期をしていたわけではないのだから、異常降雨にのみ責任を転するわけにはいかないだろう。少なくともシラスに対する認識が足らなかったことは否定できないと思う。認識の不足ということは重大で、豪雨災害だけでなく、昭和 39 年の新潟地震のさいに起きた砂の流動化が実験室ではわかっていても、現場の規模であのように起きるといふ確信はなかったという例もまだ記憶に新しいところである。

次に、豪雨にせよ、地震にせよ、自然作用に対する土や地盤の挙動がよく認識されていたとしても、自然作用のレベルをどの高さにおいて防災すべきかが、投資効果の壁にさえぎられて当事者は苦悩させられる。加えて防災の対象が自然物であることによる不明の因子に起因して、あるレベルの自然作用を境に、たちまちにして all から nothing に変わってしまいやすい。シラス災害はその代表的なものといえる。

シラス地帯の工事費のコスト高による防災効果と投資効果のアンバランスは、もともとシラスの宿命ともいふべき問題であり、基本計画のうで関係方面の認識が強く要望される。経済性のみ重点をおく現状は明らかに改めるべきである。

極端に侵食性のものであるというシラスの弱点を雨水に露呈した技術的な原因として、次に述べるような反省は必要であろう。

① シラス地盤の大きな面積がいちどに露出するよう

な土工計画は許されるべきでなかろう。局部的に雨水の処理の均衡をとりながら工事を進めるべきであるが、これは現地ではかなり常識的な問題である。つまり工事中の安定性の検討の問題であり、集中豪雨がなければ災害が起きないに違いないが、長期の天気予報がたまたま早天続きであったといっても、“気象は、つねに異状のものである”とさえいわれることから考えると、大土工を一挙に進める工事は一種の賭けでしかなかっただろう。

② 土質工学における水文学および水理学的考慮がシラスの場合に特に必要である。地盤では局部的な土工によって水系が変わりやすく、表面水と地中水に対する降雨の行くえを論ずる水文学的考慮が必要である。またシラスを直接、流水に接触せしめないため施される排水路に多く見られたような屈曲部の跳水は、排水路の断面量の不足というよりは、屈曲部の形状が水理学的にもともと無理なものであることが多い。道路技術者に水理学上の考慮は不足がちになりやすい。

③ 道路路線は、地形を利用して土工量での効率を重んじて行なわれ、斜面と直角方向に選定されることが多いため、表面水と浸透水は道路を横断して流れ、それが豪雨災害の原因になるので、路線の調査は線状だけでなく面状にも必要である。

次に研究の面での反省も少なくない。

④ シラスの種類が多いことが防災を困難にしているが、工学的にすぐ役立つようなシラスの分類はまだ確立されていない。現在、土質工学で用いている土の分類は

軽石のような 2.0 mm 以上のれきを考えないし、まして溶結と成層の有無、組織の細粗などの性質をうまく表現するものはまだない。最近、建設機械化研究所によって開発された洗掘抵抗試験⁹⁾や、露木(鹿児島大学)の分類法¹⁰⁾に、今後の期待が寄せられる。

⑤ “道路土工指針”や“宅地造成の手引”のような土工に関する基準では、シラスはごく抽象的な表現

でしか述べてないので、大きな災害が起きても設計には基本的誤りはなかったということになる。現地のシラスに対する認識が十分でない中央の技術者が設計することにも問題があるが、もっとシラスについて規準化を進めることが研究者に課せられていると思う。

⑥ シラス地帯の設計には水理学的考慮が必要であるといっても、豪雨のもとでのシラスは完全に浮き砂の状態となって流れるので、たんなる水理学では役立たず、泥流水理学的研究が必要であろう。

⑦ 侵食の現象はまだ土質力学の分野では解析としては取り扱えないので、その斜面の安定の部分でも、その記述を避けているのが実情である。しかしシラスの場合、すべり破壊の問題は実はほとんどない。侵食の研究は学問としても、もっと進めるべきである。

⑧ シラスの場合、現地に即した研究は特に要望される。緊急的な研究課題として現地の大学などの機関に期待するところが大きい。

なお、今回の豪雨で効果の認められた工法として次のようなものがあげられる。

① えびの地区では昭和 43 年のえびの地震災害復旧(砂防)として小段の繰返しと全面的植生被覆を併用した工法を施した高さ 30 m におよぶ斜面や、種子のヘリコプター散布によって緑化された山腹地山が 1000 mm に近いといわれる今回の豪雨にもほぼ耐えている(写真—11)。ただし、表面水の作用が主で斜面内部の浸透水の問題のあまりない場合であったし、また種子の散布に

写真—11 えびの地震による山腹の崩壊とその修復の跡

(1) 昭和 43 年 4 月 6 日に写した地震後の状況



(2) 昭和 44 年 7 月 20 日に写したヘリコプターによる種子散布の効果状況



よる植生は今後追肥を施さなければ枯衰しやすいことに注意が必要であろう。

㊦ 今回の豪雨災害は鹿児島県下に集中したが、切土の抵抗は比較的が大きかった。従来から鹿児島県下のシラスの地山は宮崎県下のものに比べて強いといわれている。

㊧ ラス（綱）を併用したセメントモルタルの新しい吹付けが今回の豪雨に耐えたものも多い。岩でないシラスの切土が、この程度の耐久性を示したのは、シラス斜面がローム質土のように変位しないためでもあろうが、シラス斜面では剛な異物との境界が侵食しやすいので、今後の耐久性はなお疑問であろう。

㊨ 大団地の沈砂池用シラスダムのうち、コンクリートまたは粘性土によるコア（はがね）を施してあるものは完全崩壊をまぬかれた。

8. 望ましいシラス地帯の工法

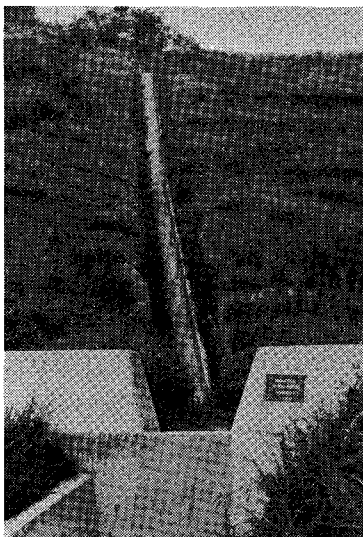
(1) 豪雨災害に対する基本的対策

a) シラス台地の地質、および土質工学的調査とその利用

シラス台地といっても、その構造および利用状況はそれぞれ異なっているから、シラス台地の地形、構造、土壌、気象などの自然条件、土地利用および侵食状況について調査し、シラス台地を構成しているローム層、シラス層、溶結凝灰岩などはその物理的性質を異にしているから、これらの特性および分布状態を明らかにし、まず今後の設計施工上に役立てることが必要である。

b) 系統的な排水計画

写真-12 台地周縁の急水路排水工



台地上に降った雨水は分散させて台地の下に排水するか、集中させて排水するか、あるいは台地にできるだけ浸透させるか、またあまり地下に浸透させすぎて地下水位をあげ、崖脚上に、地下水の流動侵食することのないよう、地表流水と地下浸透の分散を調節するなど個々のシラス台地の状態に応じて、それぞれに適した系統的な排水計画を確立する必要がある。

c) 十分な表面排水工

台地上の集中豪雨が、台地縁辺の急傾斜に集中してきて、この部分に生ずる山崩れ、崖崩れが災害の原因となるから、この部分に水を落さないよう台地周縁に堤防をめぐらし、写真-12のようにコンクリート急水路によって下方に水を落とす。台地上の排水溝および急水路の設計断面が小さすぎて豪雨のさい溢流すると、写真-13のように、かえって被害を大きくするので注意を要する。

なお、台地から斜面下端に至る傾斜地、台地周縁に利用制限区域を設け、草生帯または、樹木帯をつくり流水速度の減殺をはかるようにする。

d) 一般に採用されている標準型山腹工をシラス崩壊地に適用したのでは写真-14(a)のように侵食崩壊が激しく不成功に終ることが多いが、いまだにこの方法が採用されている。

えびの地震による山腹崩壊地の施工について、従来のものに、さらに地表が露出されないよう、張芝などで全面被覆する試案を木村¹⁾が提言し、これを県治山課で採用し、写真-14(b)のように今回の異常豪雨でもほとんど侵食崩壊しないことが立証された。

e) 宅造中のシラス流出防止のため、できれば梅雨から台風期に至る多雨期を避け、やむを得なければ、広大な地域をいっきよに宅造することなく、その現況に応じて宅造地の下方地域から宅造を完成し次第に次の区域に進み、ついに全地域を完成するようにする。さらに既往最大集中豪雨に対しても十分流出土砂を収容でき、破壊されない強固な沈砂池を設ける。

f) 施工上のわずかなミスがきわめて大きな破壊の原

写真-13 台地周縁の溢流崩壊

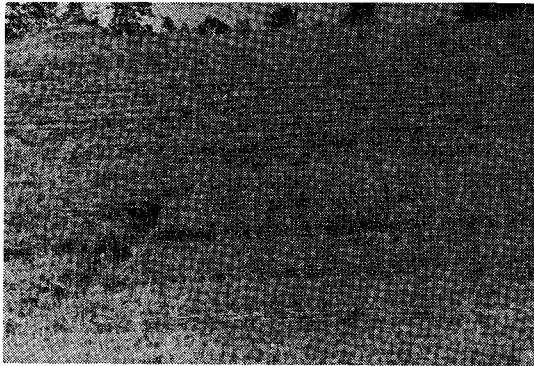


写真-14 山腹工

(a) 在来の標準型山腹工



(b) 全面被覆工法



因となることが多いから、構造物は作り放しにせず、つねに施工後の経過を十分検討し、今後の設計施工上の参考に供し、また必要があれば破壊が小さいうちに、ただちに修理して大事に至らないようにする。

(2) 切土における直立斜面と緩斜面の優劣

従来、シラス地帯では切土は直立斜面がその表面に流水があたらないことなどから、侵食に対しすぐれた方法であると考えられ、実際に広く採用されてきた。たとえば、写真-15 のように隼人町西光寺の崖の高さ約 100 m でほとんど垂直に近い崖で崩壊後約 20 年にわたって安定し侵食崩壊していない。

しかし南九州の開発が最近急速に進むに従って、直立斜面の安定性の条件である上部平地のローム層と植生の保護あるいは防水が保証できなくなるとともに、直立斜面下のごく局部的な崩落や上部からの局部的なシラス土砂の流出もまた問題となり、しかも、昨年のえびの地震の経験²⁾ から直立斜面の耐震上の欠点も論じられるようになり、にわかに直立斜面と緩斜面の優劣の問題が関係者で取り上げられるようになった。シラス地帯の九州縦貫道路のような重要な交通路では特にこの問題の解決は緊急である。なおすでに日本建築学会のシラス研究グループ³⁾ は豪雨のみを対象として全面植生被覆の緩傾斜法

の実験を試みている。

木村は、シラス地帯の道路の切土のり面は、水と地震の両方に対し安全であるため、ローム層、シラス層を上から下まで一率にのり面を 5~8 分にのり切りし、のり面は植生によって全面被覆し、路面も全面舗装するのがよいと考える。山内もまた、えびの地区ではこの工法の提案⁷⁾ をしているが、えびの地区のような二次シラスや風化シラス、あるいは、宮崎県地方に多く見られる粒子の細かい弱いシラス層に対して適用できるものとする。この方法では、一部の破たんが、全体的崩壊をもたらす懸念がないわけではない。アメリカ合衆国南部のレス土 (loess) についてもこの問題はあのように見える。写真-16 は山内が実際に見た 2 つのケースであり、写真-16 (b) は緩斜面工法が一部の破たんから nothing になった例であるように見える。

鹿児島県の多くのシラスは、必ずしもえびの地区のように弱いものでないため、地震力に対する抵抗はえびの地区よりかなり強いものが多く、おもに豪雨に対する対策を考えればよいと判断されることから、道路両側の切土はある程度の余裕幅をとったうえで、直立斜面を採用する案のほうが望ましいように思われる。要は、直立斜面と全面植生被覆の緩斜面は、シラスの地山の強さに適応させて選ぶべきであると考ええる。

(3) 新しい形式の盛土工法

次にシラスの盛土の築造について少しばかりの提案を述べたい。その提案の基礎的な考え方は次のようなものである。

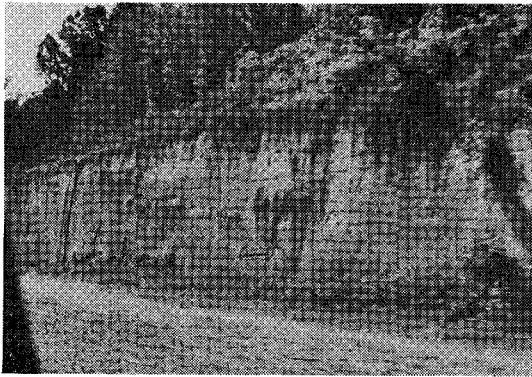
① 6. で述べたようなシラスの長所を生かし、短所を補うような方法をなるべく採用する。

写真-15 安定している直立斜面

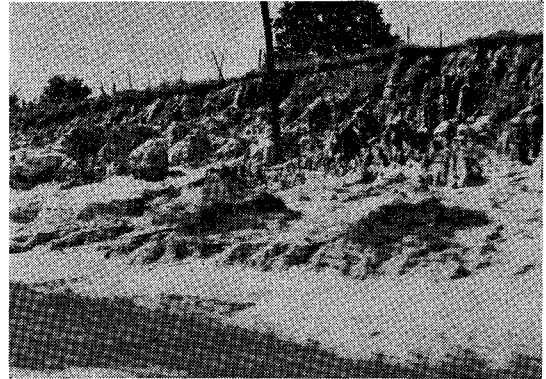


写真-16 アメリカ合衆国南部のレス土斜面の例 (Jackson, Miss., 昭和40年8月写す)

(a) 直立斜面



(b) 全面植生の緩斜面

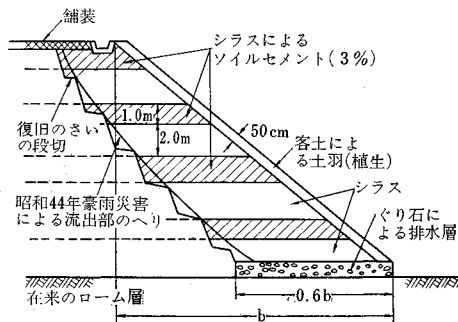


② シラスの極端な侵食性はシラス自体を改良しないかぎり避けられないものであるので、できれば土質安定の手段を取り入れ、性質のうえで普通の土に近いものに改良する。

③ 表面的な侵食だけでなく、浸透水圧によるパイピングやのり尻の洗掘を防ぐような工法を取り入れる。

④ 豪雨災害防止だけでなく、耐震も考慮する。

図-5 シラスによる盛土工法の一提案



以上のような条件のもとで、盛土のさい水平方向に3%程度の貧配合のソイルセメント層（正確にはセメント添加土）とシラス層を、図-5に示すように交互に打ちあげていく工法が一つの提案であるが、シラスの盛土が受けやすいガリ侵食の進行を防止することを狙いとしている。この工法はガリ侵食で流出した部分の修復にも応用できるし、のり枠などの工法と併用しても問題がなく、しかも植生と違って即効的である。また盛土中に打設するソイルセメントであるから、風化によるひびわれは起きにくく、地中水の流れの浸透圧によるパイピングも防止できると考える。もちろん、この方法でも斜面上には植生のため客土による土羽土を施すべきである。

アスファルト乳剤処理土も上述のソイルセメントに置き換えて考えられるが、転圧の問題、処理層の防水効果がかえって水を盛土中で貯留させる懸念、必要添加量が10%以上であることによるコスト高の問題の検討がまだ

残されている。

このような、層状にソイルセメントを取り入れる工法は、団地などにおける沈砂池用のアースダム（シラスダム）にも適用できる。シラスダムの翼部は全面的にソイルセメントにしたほうがよい。全面的なソイルセメントの採用は工費が許せば盛土にも適用してよさそうであるが、それが水の浸透を過度にさえぎって水系を変え、その盛土は安定となっても別の場所で新しい大きな破たんを生じかねないと考える。

盛土上の舗装では路床の上部にソイルセメントを応用することは、6.(1)jで述べたようなアスコン表層のひびわれから入る浸透水によって起きるシラスの侵食にも十分有効なはずである。

次に盛土のり尻でのぐり石による排水層は浸透線を下げる効果により、のり尻での洗掘崩壊を防ぐ効果を狙ったものであるが、一挙に浸透線を下げることは盛土中のパイピングを起しやすい。そのため、浸透圧と土かぶり圧による押え効果とのバランスを十分考慮したうえで、排水層の位置を決めるべきである。浸透圧を推定したうえで物体力を決定し、つりあいを検討すればよいが、安全率を大きくとるのがパイピングに対する常識であるばかりでなく、斜面全体が飽和状態になりやすいので、一つの目安として排水層の深さを図中に示したようにとればよいと考えている。詳しくは別に報告したい。なお排水用のぐり石は、密粒度の普通の石であることが必要であろう。普通の石でも開粒度の場合や軽石の場合には、シラスがぐり石へ、あるいは軽石が外へ抜け出す懸念なしとしないからである。またネット状の樹脂製排水パイプの目の大きいものはシラスが抜けやすいだろう。

このような盛土工法はもっぱら水に対する侵食防止を目的としたものであるが、地震による崩落あるいはすべりに対する抵抗が、ソイルセメントのせん断抵抗によって付与されるはずである。

9. 結 び

シラスの防災は非常に古くから取り上げられており、まさに古くて新しい問題である。もちろん関係機関による積年の努力はかなり効を奏しており、昭和 24 年災害後に各所に残っていたような数十 m の高さのガリ侵食は、いまではほとんど見られなくなったばかりでなく、今回の豪雨災害でもシラス土砂の流出は国道筋を初め、すべて著しく少なくなっている。明らかに台地の整備の成果である。

しかし南九州という地理的条件に起因して、現地のあきらめにも似た苦しみにもかかわらず、中央の関係者が十分な理解と認識を持っていたか、については疑問のあるところであった。本誌でもシラス防災の報告は初めてのものである。シラスの防災は究極のところ、防災効果と投資効果のジレンマが基本的な問題であるから、狭い意味での土木工学だけでは、もはや解決できない面がある。今後いっそう、土木工事で宅地造成が台地や臨海地に進められる折柄、シラス防災の困難点が広く認識されることを切望したい。

研究実施の面でも、問題が少なくない。現在、文部省の特定研究におけるシラス関係の班(23名)と、土質工学会シラス研究委員会(27名)が筆者が関係している組織的研究であるが、研究費は十分でなく、昭和 44 年度において、平均一人あたり、前者では 3 万 7 000 円、後者では 8 000 円である。それに大学の研究者だと、大きな災害が発生しても調査費用の準備は全くないため、地理的に近いところにながら、中央の視察団のあとや、かなり修復されたのちでない災害の実態を見る機会のないことをたびたび経験している。それにもかかわらず、

災害のたびに各方面の質問や諮問だけは集中するという状態である。研究実施に関するこの種問題もまた、シラス防災上の問題点に入るのではなからうか。しかしシラスの防災は、関係者共通の使命ともいえるべき重要課題であり、官庁、研究者それに住民が、たがいに連れいして努力せねばならぬと思う。

なお著者はつねづね、上記の二つの組織での討議からきわめて多くを得ていることを付記し、深く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 木村大造, 春山元寿: シラス地帯における工法問題について, えびの地震による山腹災害対策について, 鹿児島県土木部, 昭. 43.11
- 2) 土質工学会シラス研究委員会: えびの地震と地盤災害, 土と基礎, Vol. 16, No. 9, 昭. 43.9
- 3) 土質工学会: 土質試験法(第1回改訂版), 第6編 特殊土の試験法, 第4章 シラス, 昭. 44.10
- 4) 日本建築学会シラス研究委員会: 宅地造成事業に伴う土質の調査研究報告書, シラスがけの法面保護について, 昭. 39.3
- 5) 春山元寿・山内豊聡: 南九州における火山性堆積土シラスに関する文献集録, 九大工学部土木工学教室, 昭. 40.11
- 6) Middleton, H.E.: Properties of Soils which Influence Soil Erosion, U.S.D.A. Techn. Bul. No. 178, 1930
- 7) 山内豊聡: 添加材による火山灰土の安定処理, 土と基礎 Vol. 8, No. 6, 昭. 35.12
- 8) 山内豊聡, 村田秀一, 能戸 仟: えびの地震におけるシラスの問題について, 第3回土質工学研究発表会講演集, 昭. 43.6
- 9) 山内豊聡: 砂の静的および動的性質の関係について, 第24回土木学会年次学術講演会講演集, III, 昭. 44.9
- 10) 山内豊聡: シラス研究委員会, 土と基礎, Vol. 17, No. 12, 昭. 44.12 に紹介

(編集部注) 本論文はシラスのかかえている諸問題にかんがみ、ページ数の制限をゆるめて収載した。

(1969.10.2・受付)

コンクリートライブラリー 第18号 ■現場コンクリートの品質管理と品質検査(二版)

コンクリートの品質管理は、一般製品の管理とは異なり、統計的手法を単純に適用できない面もあり、特に品質検査結果の判定には複雑な要素を考慮することが必要となります。

本書は、コンクリートの品質管理を統計数理の説明から実施例まで詳細に解説し、再版では JIS の改訂にともないレデーミクスト コンクリート使用条件、使用されたレデーミクスト コンクリートの品質を追加しましたのでこの機会にぜひご一読下さい。

体 裁: B5判8ポ一段組 112 ページ
定 価: 700 円 会員特価 550 円
著 者: 尾坂芳夫(国鉄構造物設計事務所技師)