

# シラス地帯における九州縦貫自動車道の設計施工

山 内 豊 聡\*  
持 永 龍 一 郎\*\*  
河 村 忠 孝\*\*\*

## 1. ま え が き

九州南部のシラス地帯は、豪雨および台風の常襲地帯であるのみならず、地震の多いことでも知られている。ところが、シラスは水にきわめて弱い土であるため、昭和 24 年および昭和 44 年の集中豪雨による大災害だけでなく、豪雨および台風の季節には、毎年のように斜面崩壊をはじめ種々の災害をひき起こしている。地山の乱さないシラスは、また特異な強度特性を持っているので豪雨時だけでなく、常時でも土工の際に思いがけない斜面崩壊を起こすことが多い。他面、地域によってはシラスは地震にも弱く、1968 年えびの地震におけるように、大地震の際に災害を著しく増大した実例のあることも、防災上考えなければならない。

このような、たび重なって起きるシラス災害は、すでに社会的問題になっているが、とくにそれがこの地方の急速な開発に伴って起きていること、しかも災害の様相が時代を反映して、開発の種類によって変わってきている歴史的事実に注意すべきであろう。

筆者の一人山内と木村<sup>1)</sup>は、すでに防災を中心とした全貌的な基本的諸問題について一昨年本誌に報告したが、本文はその続編として、すでに一部着工されている九州縦貫自動車道の土工に範囲を限って、これまでの調査研究の成果と、これらを取り入れた設計施工上の基準について述べるものである。

南九州における九州縦貫自動車道の路線は、前述のような問題をかかえたシラス地帯を通過することを余儀なくされているが、この工事は規模の大きさから考えて、シラス地帯の新しい種類の開発であるといえる。この工事では、とくに降雨による工事中の露出シラスの侵食と

流出の防止、切土・盛土両のり面の安定勾配、のり面の保護工および完成後の維持管理の段階における災害に対する十分な配慮は、土工の設計施工にあたっての最も重要な課題である。このため日本道路公団では、現道の実態調査を行なういっぽう、昭和 45 年 6 月から同年 12 月にかけて現地において盛土試験<sup>2)</sup>を行ない、それらの結果をもとにしてシラス地帯の道路土工の設計施工基準を作成し、現在それに準拠した工事をすでに鹿児島県下の加治木一吉田間で行なっている。なお本文では、現場用語の慣例にならい、切土・盛土とも人工的な斜面を「のり面」、自然の地山のそれを「斜面」と呼ぶことにする。

## 2. 九州縦貫自動車道の路線とシラス地帯

九州縦貫自動車道は、図一 1 に示すように、北九州市から鹿児島市までの鹿児島線約 350 km と、宮崎市までの宮崎線約 360 km で構成され、両路線は北九州市一宮崎県えびの市間約 220 km が重複している。

この九州縦貫自動車道のうち、福岡県の粕屋一熊本間約 103 km、鹿児島県の加治木一吉田間約 19 km が現在工事に着手されており、このうち熊本県の植木一熊本間約 14 km は昭和 46 年 6 月に完成した。その他の区間は、現在調査設計中である。

九州縦貫自動車道の沿線には、灰土を主とする火山灰質粘性土をはじめ、「ボタ」、「マサ土」など、道路の建設あるいは維持管理上問題の多い特殊土がいくつも路線上に分布しているが、鹿児島・宮崎両県下に広範囲に分布するシラスは、それら特殊土に比べてさらに問題の多い土である。シラス地帯では、本文で述べるのり面の問題だけでなく、構造物基礎としての二次堆積シラスは、地震時の液状化の危険性に対する配慮が必要である。しかし、この問題はまだまだ十分検討が終わっていないので、本文では取り扱わないことにする。

\* 正会員 工博 九州大学教授 工学部水工土木学科

\*\* 正会員 日本道路公団名古屋支社 東名阪道路工事事務所長

\*\*\* 日本道路公団福岡支社 建設第二部技術第二課

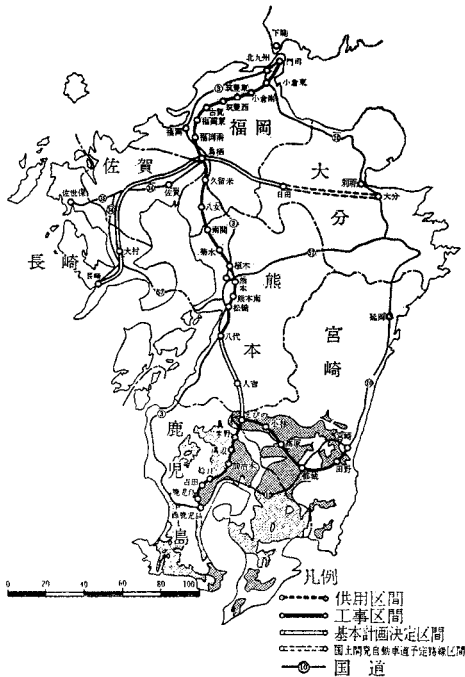


図 1 九州縦貫自動車道の路線図とシラスの分布 (網目の部分)

### 3. シラス切土のり面勾配の選定

シラスの切土のり面を直立（正確には  $80^\circ$  程度、勾配約  $1:0.2$ ）させることが、島津藩時代からの一種の伝統的工法になっていた。いっぽう、侵食という水的作用を別にすれば、切土といえども緩のり面にすることが力学的に安定であることは疑う余地がない。しかし、水の働きを考えると、従来の伝統的な「直立のり面」と、新しく検討する機運になった「緩のり面」の両工法は、それぞれ長所と短所を持っているので、筆者の一人山内は、前報<sup>9)</sup>でシラスの地山の強さに適応させて選ぶがよいと述べた。ここでは、その後に行なった考察結果<sup>9)</sup>をとりまとめて述べることにする。

ここで、直立のり面というのは、ほとんどのり面を裸出せざるを得ない程度の急勾配のものであるが、シラスの強さが十分でなく、のり先付近のはく離崩壊が起きる懸念のあるものは、できるだけ腰固めと現場でいっている防護工を施したものととし、いっぽう、緩のり面というのは、のり勾配を  $1:1.0$  ないし  $1:1.2$  にして全面を植生被覆したうえ、排水施設を十分に施したものをいうことにする。緩のり面に外観の似たものではあるが、のり勾配が  $1:0.5$  ないし  $1:0.8$  のものは、かりに「折衷のり面」と称することにする（図-2）。ここで、緩のり面というのは、前報にはなく九州縦貫自動車道の

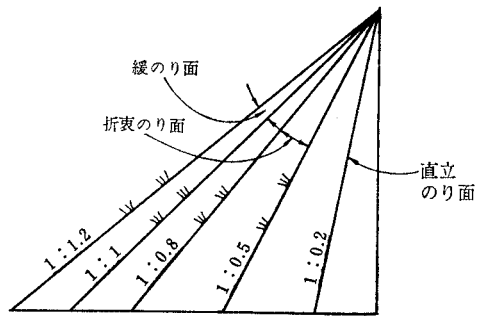


図-2 論議の対象になっている切土のり面勾配の種類

ために新しく取り上げられたもので、前報で緩のり面といっているものは、ここでは折衷案に変わっていることをお断わりしたい。

直立のり面は、もちろん、すべてのシラスの切土によいわけではなく、風化シラスや二次シラスの多くには不適當であり、硬い一次シラスに効用を發揮すると考えるが、その意味でのシラスの強さの判別分類が現状では不備である。いっぽう、緩のり面は完全排水を条件としているが、原理的には可能なはずである。しかし、適確な実例がないので、この工法に踏み切るのは躊躇させられるものがあつた。しかも、斜面勾配の選択は、それぞれ各人の着眼の違いによって考え方が分れる傾向があり、しかも決定的な決め手があるわけではなく、かなり主観の相違によるところがあるようにみえる。したがって、条件そのものが問題になってくるが、条件が完全に満たされなければ、両者とも防災効果は完全でないといえる。

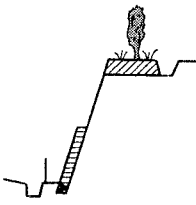
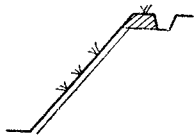
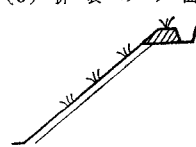
次に、自動車道に限らず、一般の道路のり面として、これら3種類の工法の長所と短所を考察してとりまとめると表-1 のようになる。

昭和40年に竣工した隼人町西光寺の砂防工事の現状は、切土のり面工法について、いくつもの教訓をあたえる。約100mの高さの直立のり面の部分は、のり尻付近においてかなり崩落が起きている。また、この地区のローム層の厚さが厚いため、10m程度の高さの直立のり面の部分では、その部分の崩落とそれに伴ってその下部のシラスの崩壊が起きている。しかし、この砂防工事では、もっぱら本文でいう折衷のり面が採用されていて緩のり面の工法は取り入れてない。いっぽう、国鉄の沿線数十年にわたって直立のり面が十分保持されているものが多いことも見逃せない経験的事実である。

以上のような考察によって、一般論としての直立のり面と緩のり面の優劣の論議にはおのずから限界があると考える。つまり次のような条件の相違を踏まえたくてケースバイケースに結論を得るべき問題であると思う。

① 第一に、地山のシラスの強さの判別分類を行なったうえで選択すべきである。硬いシラスであれば、直立

表-1 3種類の切土のり面の長所と短所

工 法	長 所	短 所 または 問 題 点
(1) 直立のり面 	① 崖下に余裕幅を取っても、なお用地上経済的 ② ローム層のはたす「ふた効果」を十分に享受しうる ③ 地山のシラスの持つ引張り強さを最大限に活用しうる（硬いシラスの場合） ④ 斜面上に水があたらない効果として、一挙に大きな破壊が起きにくい ⑤ 考え方によっては、外観の圧迫感が、道路利用者に制限速度を守らせるための効果がある	① たえず小さい破壊が起きやすい（侵食崩壊でなく、節理によるはく離的なものなど） ② ローム層が厚い場合、この部分が崩落しやすい ③ 斜面上では植生を施こせない ④ 外観がよくなく、道路利用者に対し圧迫感をあたえるのり先付近に引張り破壊が生じやすいので、この部分の防護工が必要である
(2) 緩のり面 	① 防排水が完璧ならば、ほとんど完全に防災できるはずである ② 植生が非常に良好になる ③ 外観はよく、また道路利用者に対する圧迫感はない	① 用地上は不経済で、またのり面後背地（民有地）の管理も必要になる。しかも、この土地の将来の人為的变化を予測しなければならぬ ② 起伏のはげしいのり面における縦断方向の排水は容易でない。しかも、これが必須の条件になる ③ 異常な集中豪雨では、植生も直接の降雨に対し心配なしとしない ④ 緩のり面は植生によいといっても、シラス中の根入りはやはり期待できない ⑤ 衣土としてかなりのローム質土を必要とする ⑥ 考え方によっては、道路利用者に制限速度を守らせるうえからは、直立のり面のような効果はない ⑦ 一部の破たん、とくに排水路からの跳水を完全に防ぐことは、過去の経験によれば容易とはいえず、これが起きれば崩壊を拡大する ⑧ ローム層のはたす「ふた効果」と、地山の持つ引張り強度の効用をほとんど放棄する
(3) 折衷のり面 	① 前2工法の間間的であるが、長所はむしろ緩のり面に近い	① 前2工法の間間的であるが、短所はむしろ直立のり面に近い（1:0.5~1:0.8 ののり面勾配でも、植生には十分でない）。また、のり尻付近の節理による局部のはく離的破壊は免れがたいことが経験的にわかっている

のり面（のり尻付近に防護工を施したもの）の効用を放棄することが惜まれる。ここで硬いシラスとは、凝灰岩に近いものや溶結質シラスはもちろんであるが、普通のシラスではのり先付近のはく離的崩落の少ないものである。このような意味での硬いシラスの特徴として、村田と山内<sup>9)</sup>は、引張り強度を持つことに着目している。

② 工事の種類、とくにその重要度、したがって、また工費上の工事のレベルの高低によって両工法の選択は異ならざるを得ない。自動車道であれば、かなりレベルの高い工事と維持管理が可能である。しかし、レベルの低い道路では、完全排水を期待することは困難であろう。

③ 地震に対する考慮の要否が関係する。えびの地区のように、地震が頻発し、しかも地山のシラスの弱いところでは、緩のり面は必然的に要求される。

④ ローム質土の入手が容易でなければ、衣土を必要とする緩のり面を採択する場合、工費がかさむことになる。

自動車道の場合には、以上の4条件のうち、①と③の条件は、主観にかかわりない自然条件として、どうし

ても考慮せざるを得ないことである。

切土斜面勾配の相違の優劣を論ずるうえで、次にあげる問題は基礎的に研究する必要がある。

⑧ 地山のシラスの性質の判別分類法の確立。しかし、現状<sup>9)</sup>では、地山の強さをこの目的で確実に調べるのできる方法は残念ながらまだないようにみえる。

⑨ 地山あるいは切土の場合、シラス内で内部侵食（パイピング）が果たして起きるものかどうか。前述のシラス崩壊の形態調査では内部侵食は起きていないと考えているが、起きるという現場技術者の意見もある。

⑩ 植生が効くまでの時限的用法にしる、表面保護工は、果たして有用なものかどうか。

⑪ 上部のローム層およびその直下のシラスの崩壊を防ぐ工法の開発が必要である。

#### 4. 実態調査によるシラス斜面の崩壊の型

シラス地帯における地山斜面の崩壊は、盛土の場合と違って、他の地山の土がそうである以上に、通常の土質力学的すべり解析を適用しうる場合が少ない。したがっ

て、シラスののり面を設計する場合には、いったいどのような形態の崩壊が起こっているかを、実態調査によって把握することが肝要であると考えられた。

崩壊の型を分類する場合には、崩壊の位置・型などによって分ける「形態による分類」と、崩壊を生じさせる要因、すなわち、水の作用・地質・地形などによって分ける「要因による分類」との2つが考えられる。そこで道路公団では、最初、斜面・のり面を問わず、過去の全域的な崩壊の形態の分類について実態調査<sup>6)</sup>を行ない、次に統計手法を用いて、主として切土のり面崩壊の要因解析<sup>7)・8)</sup>を行ない、崩壊形態の分類とその要因とを関連づけることを試みた。以下、その結果の要点を述べることにする。

### (1) 斜面・のり面崩壊の形態による分類

鹿兒島・宮崎両県下におけるシラス斜面・のり面の崩壊している箇所について抽出調査を行ない、崩壊の形態を総括的に分類し、要因と結びつけて表-2を作成した。これによると、シラス斜面の崩壊には、地表水・浸透水の侵食洗掘の影響が非常に大きいことがわかる。

表-2 シラス斜面の崩壊形態と要因による分類

形態	要因	水				振動	人為的	通常の安定解析可否
		地表水		地中水				
		地表水	飛沫水	地中水	浸潤水			
のり肩崩壊	◎	○	△	△	◎	○	○	○
のり尻崩壊	△	○	◎	○	◎	○	○	△
斜面内崩壊	○	○	△	△	◎	○	△	△
全面侵食	○	◎	△	△	△	×	○	×
地すべり型崩壊	◎	○	△	○	○	○	△	○
雨裂	○	◎	○	◎	○	×	△	×

注：① ◎印・要因として非常に顕著であり、事例が多いもの。  
 ② ○印・一般的な要因で事例が比較的多いもの。  
 ③ △印・きわめて特殊な場合であり、事例が非常に少ないもの。  
 ④ ×印・まったく考えられないもの。

### (2) のり面崩壊の要因による分類

この調査は主として切土のり面を対象とし、その崩壊を要因により、① 粘性土化型崩壊、② 雨裂型崩壊、③ 洗掘型崩壊、④ はく離型崩壊、⑤ 人為的崩壊に分類した。4種のり面上の崩壊位置に対するそれぞれの崩壊発生の個数は表-3に示すとおりであるが、以下、それぞれの崩壊の現象について説明することにする。

表-3 シラスのり面崩壊の実態調査結果（崩壊の型と個数）

崩壊の原因	崩壊の位置			全 面	合計 (%)
	のり面上部 (のり肩)	のり面中部 (のり内)	のり面下部 (のり尻)		
粘性土化型	82	8	1	10	101 (37.0)
雨裂型	3	12	2	1	18 (6.6)
洗掘型	9	45	32	3	89 (32.6)
はく離型	19	29	3	13	64 (23.4)
人為的	0	0	1	0	1 (0.4)
合計 (%)	113 (41.4)	94 (34.4)	39 (14.3)	27 (9.9)	273 (100.0)

#### a) 粘性土化型崩壊

シラス層の上位には、一般に黒ボクあるいは赤ボクとよばれる火山灰質のロームが堆積しているのが普通である。このロームおよびそれに接しているある深さのシラスの風化部分の粘性土化した部分が、雨水または浸透水により高含水状態になってすべり崩壊を起こし、それが端緒となって斜面の全面的崩壊を起こすものである。この型の崩壊は、調査結果のなかでも最も頻度が高く、切土設計にあたって最も注意を要する。山内ら<sup>9)</sup>は、ロームに接するある深さのシラスの弱化は、ローム層からの溶脱作用にも関係があると考えている。粘性土化型崩壊をさらに細分し、そのプロセスを示したのが図-3である。

#### b) 雨裂型崩壊

シラスは地表水あるいは局所的な湧水によりたちまち雨裂が生じ、それが深さ方向に急速に進行する。この雨裂の規模が大きくなると、のり尻付近では落下水による洗掘も生じ、えぐられた土は安定を失って容易に崩壊する。硬いシラスの切土のり面は常時は安定しているが、集中水に対しては、きわめて侵食されやすいことが後述ののり面の侵食試験でも実証された。

#### c) 洗掘型崩壊

この型には、表流水による洗掘（「流水洗掘型」）と浸透水による洗掘（「地下水洗掘型」）とがある。流水洗掘は、河川の流水が岸の崖の裾を洗う場合や、集中豪雨が路面を一時的に流下して切土のり尻を洗うような場合に生ずる。地下水洗掘は、図-4に示すように、① シラス層中に段丘礫層あるいは降下軽石層などの透水性の大きい層がある場合、下位のシラスが粘性土化して崩壊を始めるもの、② 不整合面があって谷部となって湧水がある場合、同様な崩壊を始めるもの、③ のり面の地層が比較的均質な場合でも、浸透してきた水はのり尻付近に浸出しパイピング現象を起こし、洗掘するものとに細分される。以上のような各種の地下水によって洗掘されると、上部が重力によって崩落する。

#### d) はく離型崩壊

この型も、さらに「表層はく離型」と「節理型」とに細分される。節理（ジョイント）は、冷却の際に生じたという地質学者の説に従ったものである。この崩壊状況は図-5に示すようなもので、一般に硬いシラスでも、表面水によって水の浸潤を受けると、表層付近では乾湿の繰り返し作用を受けて風化し、粘性土化して色調も変わる。このような風化した表層が、雨水による含水比の増加によって小規模ながらたえず崩壊して、順次広がってのり面が傷んでゆくことになる。これが表層はく離型である。また硬いシラスの場合には、節理が非常に顕著であり、この節理に水が侵入して間けき水圧が上昇する

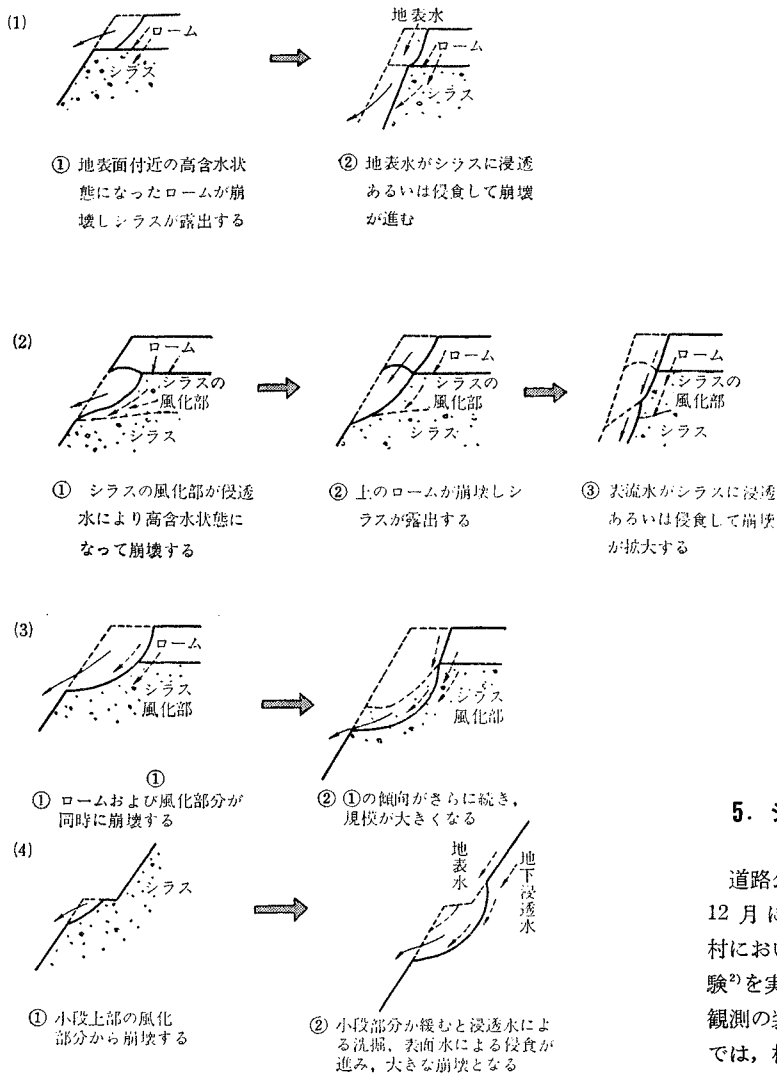


図-3 粘性土化型斜面崩壊とそのプロセス

とともに離れたり、地震時の振動によって、節理面に沿って崩落したりする場合がある。これが、節理型崩壊である。

e) 人為的崩壊

これは、人為的に急勾配に掘削したために起きた崩壊である。道路公団が、九州縦貫自動車道の計画路線沿いの現存する自然斜面と、切土・盛土両のり面 273 か所について調査した結果を前述のような崩壊の型によって分類したところ、表-2 に示すとおりであった。これによると、粘性土化型および洗掘型が多く、崩壊している位置は、のり肩およびのり面中部が多い。

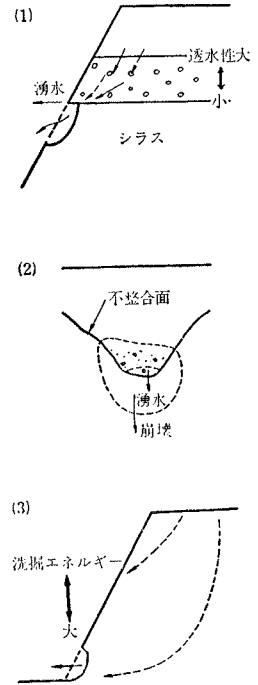


図-4 洗掘型切土のり面崩壊

5. シラスのり面の侵食試験

道路公団では、昭和 45 年 6 月から同年 12 月にわたって、鹿児島県鹿児島郡吉田村において、写真-1 に示すような盛土試験<sup>2)</sup>を実施した。切土のり面における侵食観測の装置を、写真-2 に示す。この試験では、材料試験・転圧試験・水浸試験・排水施設調査・のり面保護工の調査・土工の施工法の調査などを実施した。このうち、

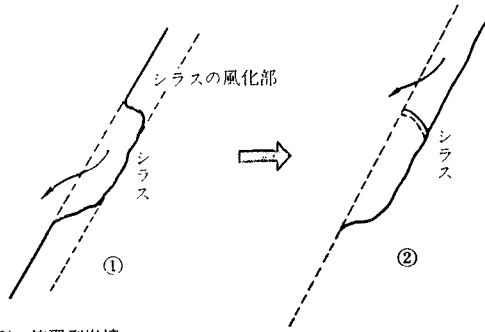
のり面の侵食試験の結果を紹介する。

(1) 切土のり面の人工集中水による侵食特性

切土のり面高 7 m ののり肩天端に設置した幅 30 cm の U 字溝から 200~240 l/min の人工的集中水を、1:0.3, 1:0.8, 1:1.2 の 3 種の勾配の切土のり面にそれぞれ流下させ、おのおののり面の侵食幅、深さおよび流出土砂量を測定した。

測定された侵食の幅および深さの経時変化を図-6 に示す。この図によると、侵食幅は初期(3分間)において急増し、その後は一定の状態であるが、侵食深さは漸増している。これは、侵食の初期には層状侵食であるが、以後はガリ侵食が主体となっているためである。また、侵食幅はのり面勾配が急であるほど広がっており、侵

(1) 表層はく離型崩壊



(2) 節理型崩壊

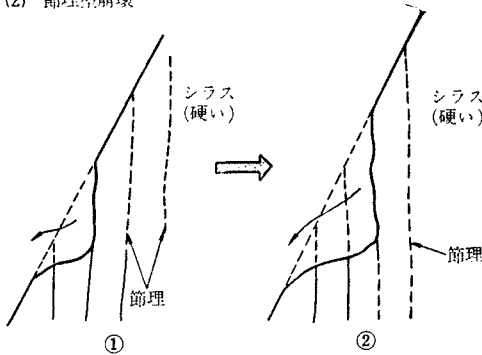
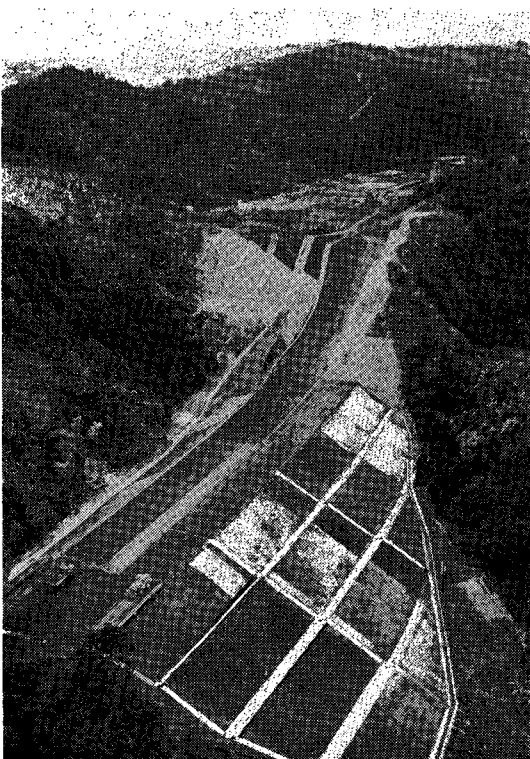


図-5 はく離型切土のり面崩壊とそのプロセス



(毎日新聞社提供)

写真-1 シラスのり面試験現場の全容

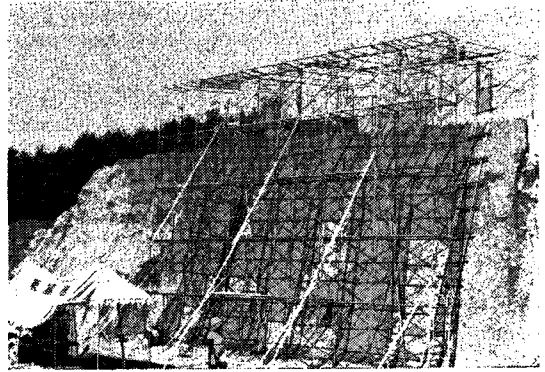


写真-2 切土のり面における人工降雨による侵食観測設備

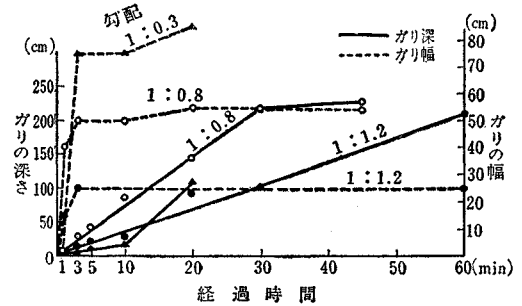


図-6 人工集中水による切土のり面の侵食深さと幅との経時変化

食深さは 1:1.2 ののり面が最も大きい。侵食深さの様相として、侵食面の上部が直立に近くなるに従って次第に侵食面は下方に移行する傾向にあり、侵食面は直立になるまで進行するものと思われる。

次に、単位時間・単位水量あたりの流出土砂量の経時変化を、のり勾配をパラメーターとして表示すると図-7 のようになる。この結果、流下水量を一定とした場合、

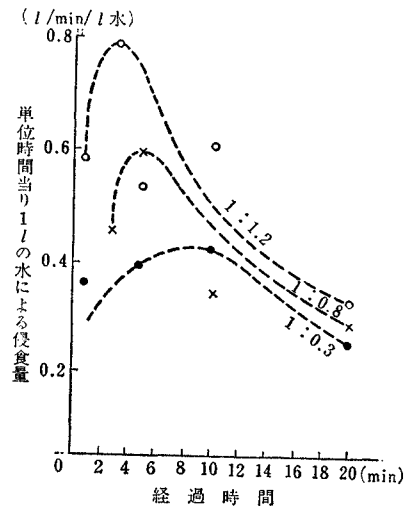


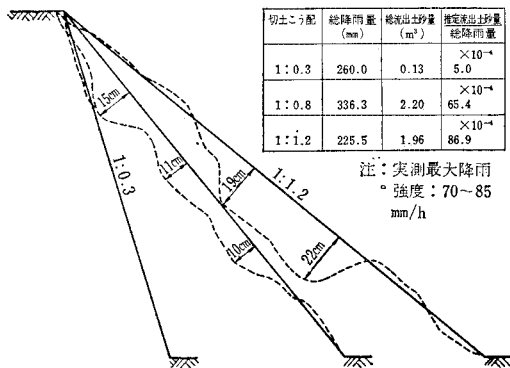
図-7 切土のり面における単位侵食量の経時変化

単位時間あたりの流出土砂量の最大値は緩な勾配ほど早く現われ、流出土砂量もり面の緩な勾配ほど多く、勾配 1:1.2 のり面では、1l の水の流下により、1分間に最大 0.8l の土砂が流出していることになる。

### (2) 切土のり面の人工降雨による侵食特性

切土高 7m, 幅 10m, のり勾配 1:0.3, 1:0.8, 1:1.2 の各のり面に対し、それぞれスプリンクラーによる人工降雨装置を設置して、計画降雨量 10mm+40mm+80mm の3段階の降雨を、おのおの3時間ずつ継続させた。各人工降雨を終了したのちに、のり面に発生した土砂の侵食の形態・幅・深さおよび、流出土砂量を測定した。

試験では、実測降雨量が計画降雨量を大幅に上回ったので各降雨ごとの比較はできないが、実測降雨量がほぼ類似した第二段階での各勾配の侵食深さを 図一8 に示す。この図によると、緩勾配ほど侵食深さは大きい。この結果は、集中水による侵食状況と同じ結果を示している。

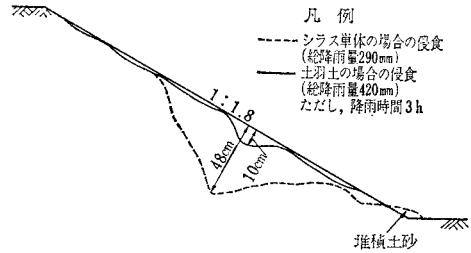


図一8 人工降雨による切土のり面の侵食深さ

### (3) 盛土のり面の人工降雨による侵食特性

盛土高 5.5m, 幅 10m, 勾配 1:1.8 で、50cm 厚さの土羽土で被覆したのり面と、被覆しないのり面について、4.(2)と同様に人工降雨による侵食試験を行った。

降雨量の増加に伴って、いずれのり面も表面はく離が発生し、次第にそれが発達していった。図一9 に試験終了後における侵食の状況を描いた。同図によると、シラス単体の場合の侵食深さは最大 48cm であり、土羽土を施工した場合の侵食深さは最大 10cm であり、規模が小さい。また、このときの流出土砂量は、シラス単体の場合で 8.0m³、土羽土を施工した場合で 1.8m³ であり、土羽土を施工した場合のほうが侵食深さ・流出土砂量ともに小さく、侵食を受けにくいことがわかる。な



図一9 人工降雨による盛土のり面の侵食深さ

お、土羽土にはシラス層の上位にある砂質ロームを使用した。

## 6. 九州縦貫自動車道で採用するシラス地帯の土工設計

### (1) のり崩壊に対する対応策

シラスのり面崩壊の実態調査結果によると、統計的に多い崩壊の型とその要因とは、ある程度の因果関係にあることが推察できた。こうした要因をなくす対策とその実現性をあらかじめ検討したうえで、設計施工を計画すべきであるから、4. で述べたのり面の崩壊の型に対してその対策<sup>1)</sup>を考えることにする。

#### a) のり面の外部からの表流水による侵食

シラスは、4. で述べたとおり、とくに集中水によって容易にかつ大規模なガリ侵食が発生する。試験の結果は、いずれのり面も無保護の状態であるので、現実には植生などによって保護しているため、その様相は異なってくるものと思われる。しかし、現道での実態調査からすれば、のり面の保護が行なわれたのり面でも、いたるところに集中水によるガリ侵食がみられる。このため切土のり肩の後背地からの流入水、小段排水溝や縦溝の越流水または漏水などが、のり面に流入しないように排水設備を完備しなければならない。



写真一3 盛土のり面に設けた排水溝

図-11 は、切土の後背地からの表面水がのり面に流入しないように排水溝のほかには止水堤を設けたものである。また、縦溝には、跳水の少なく、のり面の小崩壊時でも、水路の役割を果たすような連続性に富むものが望ましい。写真-3 は、道路公団で使用した鋼製コルゲート U 字溝である。

**b) 粘性土化型崩壊**

表-3 に示されたとおり、最も頻度の高い崩壊形式である。この型の崩壊に対して、次のような対策が考えられる。① ローム層への浸透水を減らす。これにはのり肩排水溝や止水堤などが有効に働く。② のり肩部の表土のゆるむのを防ぐ。のり肩付近の高い樹木などが風によって揺れて、その結果土がゆるみ、雨水の浸透を助長する。このためのにり肩後背地の高い樹木などは設けないようにする。③ 安定勾配に対する配慮、すなわち、崩壊が土のせん断破壊に起因するものであれば、のり勾配をゆるやかにする。

**e) 浸透水の洗掘による崩壊**

① 浸透水の洗掘エネルギーの削減、とシラスの流失防止をはかる。のり枠工やふとん籠などが効果的である。② 浸出した水を除去しよう小段を設け、排水溝を完備する。③ のり勾配をゆるくして安定な勾配とする。

**d) 表面風化はく離型の崩壊**

のり面表層の風化を防止するために、のり面を被覆保護する。植生による場合は、植生活着のために勾配をゆるめる必要がある。それは、はく落防止にも役立つことになる。

**e) 節理はく離型の崩壊**

① のり勾配の緩和、② コンクリート吹付けなどによるのり面の防護、などが考えられる。

**f) 盛土のり面の浸透水によるすべり破壊またははく落**

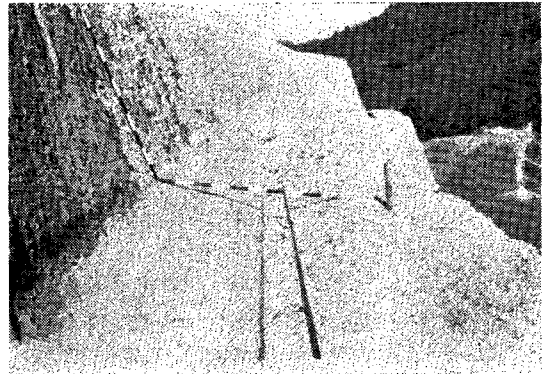
乱したシラスは、含水比の増加に伴って強度は激減する。しかも、単位体積重量は小さいので浸透圧の影響を受けやすく、浸透水のあるところでは部分的なすべり破壊を生じたり、締固めが不十分なのり面は表層がはく離する。とくにのり尻に顕著である。このためには、腰石積石張、ふとん籠あるいは編棚工などが有効である。

**g) その他**

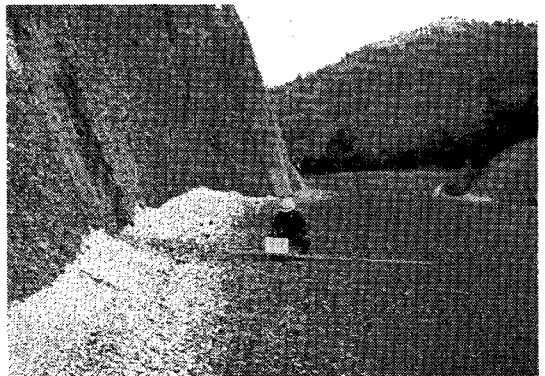
上記の崩壊に対しての対策を完全にしたとしても、シラスの特殊性および気象条件を考えると、維持管理段階において、点検と補修の労をとらなければならない。したがって、設計にあたっては、のり面の点検作業が容易であるような配慮と、崩壊したシラスの搬出を行なうほか、作業員が安全に作業ができるよう措置しておく必要がある。

**(2) のり面勾配**

シラスの切土のり面勾配を決定するにあたっての選定条件と、その問題点についての基礎的な考察は 3. で述べた。いっぽう、道路公団の試験盛土の結果は 5. に示したとおり、切土のり面は、無保護のままでは勾配がゆるやかなほど集中水に対しても、また人工降雨に対してもり面の侵食土砂量が多いという従来の経験を裏づけた。しかし、現実には、ゆるやかな勾配は植生などによる保護を行なうのがつねであり、今後こうした状態での比較が必要である。写真-4 はのり面試験における直立のり面 (1:0.3) の観測結果を示すものであるが、これからわかるように、表面のシラスが次第に崩落してのり尻に堆積している。この程度の崩壊は、直接大崩壊につながるとは思われないが、崩落したシラスは幅の広いところでは 14 m にもわたって溜っているし、小段の排水溝 (PU 30 cm のもの) はまったく埋もれて、機能を果たさない。これでは、高速で車の走る道路などでは、事故の危険、それに維持修繕の頻度などから考えると、かなり問題であると道路公団としては考えている。また、緩のり面には、のり面保護工 (穴工法による植生) を行なっているの、この種の崩落はほとんどみられない。



(1) 小段部



(2) のり尻部

写真-4 切土のり面における侵食による崩壊の跡



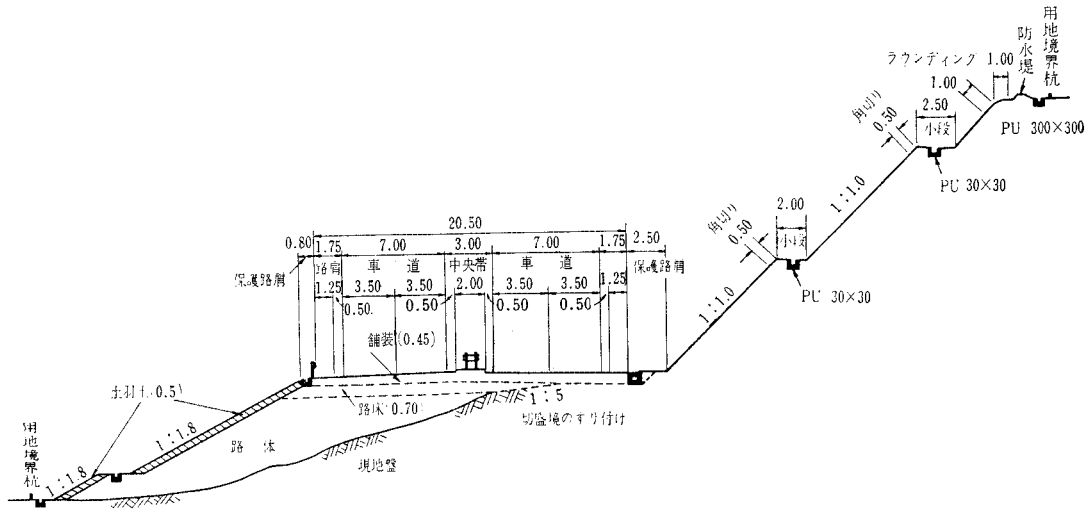


図-10 シラス地帯に適用される標準横断面図

道路公団<sup>10)</sup>では、以上の結果を勘案して、シラス地帯における切土のり面は、原則として1:1.0とした。なお、のり肩と小段には排水溝を完備し、のり面は完全に保護工を施こし、かつのり尻には2.5mの余裕幅を設ける(図-10)。ただし、えびの一小林地区にみられるような、粒子の細かく、弱いシラス層については、当地区が地震の頻発地であることも考慮して、1:1.2の勾配で考えた。

盛土のり面勾配については、のり面の安定上および植生の生育面ではゆるいほど望ましい。のり面の表層をロームで被覆する必要があることから、施工上のことも考慮に入れて1:1.8程度の勾配は必要である。

### (3) 小段の間隔と幅員

小段は点検補修の便宜上、崩壊土の一時的な貯留のためのスペースおよび崩落したときの災害を最小限にするために、その間隔は切土において7m、盛土において6m程度の標準間隔が必要であろう。その幅員は、将来の維持管理において崩落土砂の搬出作業の安全性を確保し、作業効果をあげるために、切土では2~2.5m、盛土では2m程度は必要である。

### (4) 切土部路側余裕幅

シラス地帯の切土部ののり尻をみると、のり面のはく離などによる土砂が堆積している現象がみられる。のり面の保護が不完全な場合にはとくに著しい。鹿児島・宮崎両県下では、路側に1m程度の余裕幅をとった道路がみうけられる。のり面を緩勾配とし、植生も完全に行なえば、普通の場合にはのり面の崩壊はないものと思わ

れるが、南九州の気象条件、植生工の工種および施工時期などを考えると、いくらかの崩壊は免れないものであろう。このためには、崩土の一時的な貯留スペースおよび、搬出のための余裕幅を確保しておかなければならない。道路公団では、一般通行車に支障がなく、搬出車(小型トラック)が入り出りできるように、車道の外側(保護路肩)に2.5mの余裕をとることにした。

### (5) のり面保護工

シラスのり面の植生上の特性としては、①侵食されやすい、②栄養分が少ない、③保水性に乏しい、④切土面は硬い、などがあげられる。このため、最近、切土のり面勾配を直に近く(1:0.3~1:0.5)して、コンクリート張工などで保護しているところもあるが、一般には経済性などの理由から、植生工が採用されている。植生工を用いる場合には、のり面は1:0.8以下の植生に適した緩勾配とし、のり肩、のり尻および小段などの排水設備を完備することが必要である。とくに肩部の排水は図-11に示すように、かなりの考慮をはらった。この構造は、農林省が行なった西光寺砂防工事の場合に似て

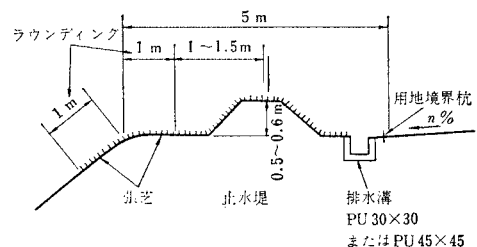


図-11 切土のり面の肩部の構造

いる。以上の点を前提条件として適応する工種を選定すると、客土して全面被覆する工法があげられる。

切土の場合、客土して全面被覆する工法としては、穴工法、溝工法、2層吹付け工法および張芝（土付き）工法があげられる。溝工法は、シラスが硬いので、軽石混じりであるため、切削面が凹凸になり、その部分から侵食を受けやすくなるという欠点がある。その他の工法としては、それぞれの特徴を有しているので、使用にあたっては、施工場所、地質、面積、時期、施工性および経済性などを十分考慮して工種の選定をするとともに、施工後は追肥のアフターケアを行わなければならない。

盛土の場合の客土法としては、土羽土工および互層仕上げ工（のり肩部約2m程度をローム層とシラス層とで互層に仕上げる複式サンドウィッチ工法）とが考えられる。土羽土を用いる場合には、従来、土羽土が表層はく離を起こした例が多い。これは、路体部の盛土後、土羽土を腹付け施工していたために転圧が不十分であったことが大きな原因である。路体と土羽土とは同時に立ち上り、重機で転圧を行なうような施工法をとることが必要である。

全面被覆の方法としては、種子吹付け工が最も経済的である。ただし、植生が生え揃うまでの施工途中の植生に適切でない時期などにおいては、「わら」「ネット」などによる特殊製品や張り芝工でおおいか、合成樹脂系の養生剤を併用する必要がある。

## （6） 工事中の排水

切・盛土の工事においては、シラスが裸にされ、しかも表面がゆるい状態にされている場合には、降雨によりおびただしい量の土砂流が、かなり遠方まで押し流され、災害を拡大することは、シラス地帯における災害の幾多の経験から明らかなことである。道路土工においても、とくに切・盛境などの施工途中で、急勾配を呈しているときに豪雨に見舞われると、切土部からの流水がガリ侵食を起こし、土砂流となって盛土部のほうへ流出してくる。

従来、一般的にとってきた盛土路体を4%程度の横断勾配をつけ、両のり肩に仮排水溝を設けて流す方法では、このような土砂流はとうてい防ぎうるものではない。そこで道路公団では、試験盛土において、盛土の中央に集めて処理する「中央排水管方式」を採用し、功を奏した。この排水方式は 図-12 に示すように、工事敷内の水を盛土中央部に集めるように路体を仕上げる。その箇所には、縦排水管（有孔コルゲート管）を設け、盛土高さに応じて排水管を縫ぎ足して集水し、集まった水をあらかじめ敷設した横断排水管に導いて、道路敷外へ排水する工法である。

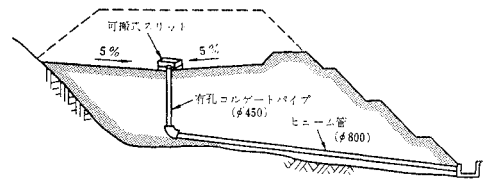


図-12 盛土工事中の中央排水方式

前述の試験盛土の施工中、何回か豪雨にあい、予想以上に軽石が多く浮上して流出し、このために排水管が詰まった。そこで、縦排水管の最上部に可搬式の金網張り枠を設けることによって軽石の流入を防止することが可能となった。

いっぽう、この方法は施工中の排水の役を果たしたのち、盛土の浸透水の除去にも効果が残るし、工夫すれば路面排水の役にもたつ可能性もあるので、最後まで閉そくさせることのないように管理すべきである。

## 7. 結 び

九州縦貫自動車道は、シラス地帯での新しい種類の開発の一つであり、防災上遺漏のないことがきわめて強く要望される。シラス地帯では、自動車道でも、防災を主眼とする土工の設計施工を確立するためには、現場以前の問題として、工学的に未解決のことが多すぎることは本誌の前報で述べた。しかし、現実に九州縦貫自動車道は、目前の工事として日本道路公団は早急に設計施工基準を設定することを迫られていた。

このため、先入感にとらわれず、客観的な視野にたつて、シラスに関する過去の調査・研究を検討したのち、独自に斜面・のり面崩壊の形態分類と、その要因分析を行なうとともに、これまでにない、大規模なり面試験（盛土試験）を実行し、これらから総合的にかつ論理的に最善と考えられる結論を引き出すことに努力した。この検討における第一の課題は、のり面の設計施工基準であるが、対象が一般道路でなく自動車道であるための、工事のレベル、機能上の要求、そして後日の維持管理の容易さから、上述の調査研究の結果を考察して、本文でいう緩り面を適用するがよいという結論に達した。その他の問題についても、本文で述べたように、できるかぎり周到な配慮を加えたはずである。しかしなお、本文の著者の間でも、いくらか意見の相違のあることをお断わりしておきたい。

## 謝 辞

九州縦貫自動車道のシラス地帯における土工の問題に関する検討は、日本道路公団としては、昭和44年から同46年にわたって東京大学の星埜和教授（現中央大学）、

