



シラス地帯の斜面崩壊対策に関する 調査報告書

昭和50年2月

建設省土木研究所
急傾斜地崩壊研究室

目 次

1. ま え が き	1
2. シ ラ ス	2
2-1 シラスの成因及び分布	2
2-2 シラスの物理的, 化学的性質	2
3. シラスの分類	5
3-1 シラスの地質的分類	5
3-2 シラスの力学的分類	7
3-3 シラスの工学的分類	8
3-4 シラスの分類に関する資料	9
4. シラスの崩壊型分類	11
4-1 鹿児島県タイプ	11
4-2 建設省九州地方建設局タイプ	14
5. 崩壊実態調査	15
6. シラスの現地調査方法	24
7. シラスの室内試験方法	32
8. シラス斜面の土工指針	57
8-1 切土のり面勾配	57
8-2 切土の小段	58
8-3 切土ののり面保護工	59
8-4 排水工の設計	63
9. シラス対策工のまとめ	64
9-1 施工後の崩壊状況及び崩壊原因	64
9-2 シラス斜面での切取勾配	64

9-3 切取勾配と切取直高	65
9-4 シラス斜面での盛土勾配	65
10. 対策工実例集	66
11. 参 考 文 献	80
12. あ と が き	81

1. ま え が き

シラスは、南九州一帯の表層部を構成する地層で、鹿児島、宮崎両県に広く分布している。

梅雨期や台風期になると、両県を中心にシラス災害が毎年のように発生している。昭和47年建設省砂防部が、災害の予想される危険個所の調査を実施したが、それによると鹿児島、宮崎両県共危険な箇所は2000箇所にも及び、殆んどがシラス崖である。

シラスは、日本では十和田湖付近を初め、各地のカルデラ周辺に小規模ながらみられるが、南九州のような大規模な例はなく、豪雨のたび毎に災害におびやかされる南九州の防災体制が急がれるわけである。しかし現実には、シラスのもつ特殊性から、防災に対する技術を確立するのは容易ではない。土木研究所急傾斜地崩壊研究室では、昭和46年度より鹿児島県砂防課の協力を得て、現地試験や文献調査を行ってきたのでその結果をここにまとめたが、これがシラス災害の防災に役立てば幸いである。

2. シ ラ ス

2-1 シラスの成因及び分布

南九州一帯に広く分布するシラスは、鹿児島県の本土面積の約50%宮崎県の約17%で総計47,000^{ha}の広大な面積を占め主として台地状地形をなしている。

図-1に示すように鹿児島湾北部を中心に西は川内市西方海岸から阿々根市海岸、北は大口市から川内川流域沿いに小林市を経て東へ更に、都之城市から大淀川流域沿いに宮崎市にいたり、東は志布志湾、南は薩摩半島一帯から大隅半島大根占にいたる区域である。

宮崎県のシラスは、主に二次（水成）シラスといわれ、この軽石砂礫層は、宮崎県小林市及び都之城市に多く分布する。5万分の1の表層地質説明書、鹿屋(49)及び志布志(31)によるとシラス台地形成後侵食を受けたものが移動し再堆積したもので異質の礫を混え、粒度に従い成層しており、ときとして偽層を示し滞水層に富みかつ崩れやすいとしている。

シラスの成因については地質学者によるとつぎのようである。

第4紀更新世に鹿児島湾の北部に始良火山、南部の湾の入口に阿多火山、さらに南方の海面下に跡をとどめる鬼界火山の3大カルデラ、その他の中小の火山から噴出した火山噴出物がいわゆるシラスである。シラスの噴出年代は色々の説があるがラジオカーボンの方法で測定した結果25万年以前に噴出したものであろうといわれている。



図-1 シラスの分布

2-2 シラスの物理的、化学的性質

シラスの鉱物組成は、火山ガラスが圧倒的に多く、このほか斜長石、紫蘇輝石および石英を含んでおり表面活性の粘土分を含まない。このようにシラスの鉱物は1次鉱物であって、非塑性の流動体であるのにもかかわらず、その剪断強さは大きくかなり見かけの粘着力をもっている。この現象は、粒子形状に起因するインターロッキングや不飽和の状態で考えられる負圧の効果で説明されている。シラスのもう一つの大きな特殊性は、水に対する抵抗が著しく弱くガリ侵食を生じやすいことである。

1) シラスの組成

土は一般にその骨組を構成する土粒子と、この骨組間の大きささまざまな間ゲキとからなり、この間ゲキは通常水などの液体および気体を含んでおり、これらの個体、液体および気体の相対的量的な関係は、土の性質あるいは状態を表わす際に使われており、土の工学的性質に影響する。

この相対的な関係を表わすもののうち、土の密度を定義するものとしては湿潤密度（見掛密度）、乾燥密度、間ゲキ比、間ゲキ率および相対密度などがあり土に含まれる水分の量を定義するものとしては含水比および飽和度などがある。土粒子に関しては単位体積重量および比重などがある。土は締固めることによって、組成の相対的な関係を改良することができる。締固めの程度は、最大乾燥密度および最適含水比で表わされるが土の種類や含水比によって異なる値を示す。シラスは人工的には容易に自然状態より密に締固めることができる。

シラスについてのこれらの諸性質は表1に示す。

表1 南九州シラスの土質力学的性質

	シラス（鹿児島県）	風化シラス （鹿児島県）	宮崎県四家シラス （56・60）
自然含水比 %	18～27時として32	20～32時として40	15 ～ 33
自然湿潤密度 g/m^3	1.2 ～ 1.5	1.0 ～ 1.4	1.15 ～ 1.47
自然乾燥密度 g/m^3	1.0 ～ 1.2	0.8 ～ 1.1	0.98 ～ 1.15
自然間ゲキ比	0.9 ～ 1.5	1.3 ～ 2.9	1.04 ～ 1.50
自然飽和度 %	30 ～ 60	30 ～ 70	27 ～ 63
土粒子比重	2.30 ～ 2.45	2.50 ～ 2.65	2.32 ～ 2.44
分散率 %	62内外	?	78 ～ 88
最大乾燥密度 g/m^3	1.2 ～ 1.4	1.4 ～ 1.5	1.52 ～ 1.61
最適含水比 %	21 ～ 25	24 ～ 26	39.6 ～ 51.9
コンシステンシー	NP	NP	NP
透水係数 cm/sec	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	$(10^{-3} \sim 10^{-4})$
自然見掛粘着力 $Cu kg/cm^2$	0.3 ～ 0.6	0.04 ～ 0.05	0.3
自然せん断抵抗角 ϕ_u°	37 ～ 40	29 ～ 32	39
外観（色）	白色 ～ 灰白色 時に淡黄色～淡褐色	淡紅色時に灰白色	白色 ～ 灰白色
灼熱減量 %	3以下	5 ～ 7	?

土粒子の大きさまたは形状などによる土の工学的性質への影響は、粒径が粗大な場合は大きく現われるが、粒径が微細なものを含む場合は化学的または鉱物的性質が土の強度特性に強く影響する。土粒子の粒径分布は土の粒度分析試験に基く粒径加積曲線によって表わされ、この曲線によって粒度特性を現わす指数として、A. Hazen は有効径と均等係数という2つの量を示した。シラスの粒度分布の範囲は図-2に示すように風化シラスは未風化シラスより細粒部分が多く、二次堆積シラスは両者の中間部にある。粒径2mm以上のレキ分を除いた部分について土の三角座標による分類を行えば一般にシラスは砂ないし砂質ローム二次堆積シラスは砂質ロームならびに風化シラスは砂質ローム、砂質粘土ロームおよび粘土質ロームに属する。

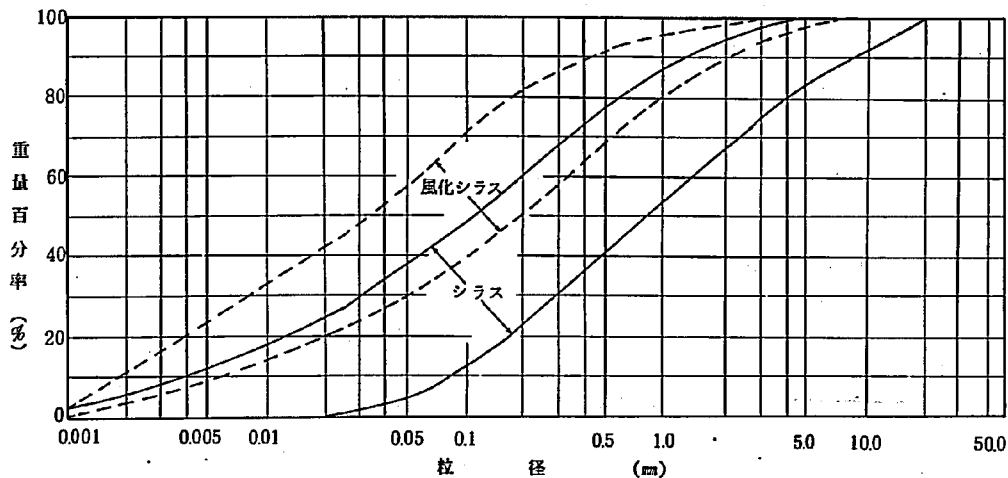


図-2 南九州シラスの粒度範囲

細かい土粒子のコンシステンシーすなわち外力を受けたときの流動変形に抵抗する度合いに関する種々の含水量を定量的に示すためにアッターベルグ限界を用いる。土は液体状から含水量の減少によって個体状まで変化する。これらの変化の段階において液性限界、塑性限界および収縮限界の3つの限界があり土を工学的に分類する。一つの指標として用いられている。シラスは表-1に示すように非塑性である。

3. シラスの分類

3-1 シラスの地質的分類

シラスと灰石（カルデラ噴出物）

更新世（第2氷期）以降に生じた蛤良、阿多の両カルデラ火山は阿蘇に匹敵する大量の噴出物を周辺に降下または流出させているが、(1)降下軽石—(2)やや溶結した—(3)暗灰～灰色の溶結凝灰岩に至る種々の岩相があり、およそ(1)に相当するものをシラス、(3)に相当するものを灰石と地元ではよんでいる。

まずシラス（または灰砂層）はその分布が広大で、成因上興味深いと同時に、しばしば山崩れや地亡りを生じ、土地利用の点でも問題となる存在である。一般に火山灰、火山砂、軽石質火山礫などからなり、新期のローム層が黄色をおびるのにくらべるとシラスの軽石は白色である。主として鹿児島北西部のシラスを研究した種子田定勝・宮地貞恵・西原元男（1957）によればその組成はガラス質部および軽石部が大部分を占め、結晶としては少量の石英、長石、紫蘇輝石を含む、またシラスは無層理で固結せず、粒度分布は火山灰やロームと異なり、分級が悪く空気または水による淘汰作用をうけていない。以上の事実から種子田らは生成機構として熱雲式の噴出と流下を考えた。

山口鎌次（1938）によれば北部鹿児島湾周辺におけるシラスを含めた第三紀～第四紀の軽石の化学組成は SiO_2 58.03～73.76%、 Al_2O_3 12.47～17.75%、アルカリ 4.18～7.15%、 H_2O 3.00～10.04%を示し、鉱物組成の検討を合わせて岩石名としては紫蘇輝石安山岩、斜長流紋岩、粗面安山岩等と称することができる。

大田良平（1961）はシラスの従来の知識を整理して表-2のような4通りのものを識別した。すなわち軽石流や降下軽石のほか、それらが二次的に堆積して円磨されたり偽層を示すものがあり、最狭義のシラスとは二次堆積軽石層のことで、それと降下軽石を含めてやや狭義のシラスとよび、この両者が防災上もっとも問題となり、その反面、広義のシラスに含まれるところの、一部または全部が溶結した軽石流は岩質が硬くて容易に災害を起こすことはないという。

シラスを含めて第四紀火山噴出物をもっとも典型的に発達するのは大隅半島の垂水-鹿屋-笠野原地区で、薩摩半島や都城地区にもかなり広く分布している。シラスの大部分は蛤良火山噴出物であり、阿多火山からのものは少ない。

つぎに灰石は、シラスにくらべて軽石、火山灰の溶結度の進んだ灰白～暗灰色の溶結凝灰岩（溶結火山砕屑岩）で、阿蘇溶結凝灰岩とともに“泥溶岩 mudlava”ともよばれ、やはり蛤良、阿多（および加久藤）などの第四紀のカルデラ火山噴出物である。しかし既述のように、第三系のなかにもガラス質流紋岩などの類似岩石で灰石とよばれるものがあり、層位上は区別しなければならないが、しばしば混同されている。

山口鎌次（1937, 38）は鹿児島湾北部の灰石類を化学組成、鉱物組成の上からつぎの4型式に分けた。

(1) 斜長流紋岩型（ SiO_2 72%以上の酸性岩類）三船、沖小島、早崎、江ノ島

表-2 シラス識別表 (大田良平, 1961 によるものをやや簡略化)

産 状	軽 石 流	降 下 軽 石	陸 上 二 次 堆 積 軽 石 層	水 中 二 次 堆 積 軽 石 層
成 層	無層理, この中に包有岩塊が配列することあり	粒度の異なる軽石層が旧地形の起伏に平行に成層	無 層 理	規則的に成層し時に粘土をはさみあるいは偽層を示す
分 級	悪 い	良 い	悪 い	良 い
軽石の形状	一様に円味あり	角 張 る	円味はあるが円磨度は一様でない	円 味 あ り
孔 隙	緻 密	孔 隙 に 富 む	緻 密	緻 密
凝 結	締っていてやや固い	ル ー ズ	ル ー ズ	ル ー ズ
柱 状 節 理	時にみられる	な い	な い	な い
溶 結	一部または全部が溶結	稀	な い	な い
堆積物の表面	平 坦	旧地形そのまま	平 坦	平 坦
炭化物	含むことがある	同 左	な い	な い
滑 剤	ガ ス	風	水 ・ 風	水
その他	発泡部 (軽石凝灰角礫岩) は溶結部 (溶結凝灰岩) に漸移する		扁平な軽石はほとんど横臥 (軽石流では立っていることがある)	

表-3 火山噴出物を主とする鹿児島県下第四系層序表

地 域	鹿 児 島 一 川 内 川	鹿 児 島 一 竜 水	鹿 屋 一 南 大 隅
著 者	種子田・宮地・西原 (1957)	湊・勝井 (1957)*	郷原・小森 (1961)
沖積世 (K)	沖 積 層 軽石ローム・火山灰 (K ₁)		黒色火山灰層 開聞岳C降下軽石層
後期更新世 (J)	礫 層 シラス { 成層 (二次的) (J ₃) { 無層理 砂礫質 凝灰質泥・砂・角礫岩 灰 石 { 上部溶結凝灰岩 段丘礫層 中部溶結凝灰岩 礫層 下部溶結凝灰岩 J ₂ J ₁	火山灰層 上部シラス (無層理, 珪長質の軽石・火山灰層) 中部シラス (安山岩質灰石) 下部シラス (安山岩質) { a ₄ a ₃ a ₂ a ₁ 竜 水 層 { ?	新期ローム層 笠野原砂礫層 砂 泥 層 新期シラス (珪長溶結凝灰岩類) { 軽石流堆積物 溶結凝灰岩 軽石層 古期ローム層 垂水砂礫層 古期シラス (阿多溶結凝灰岩類灰) { 溶結凝灰岩 (灰石) 軽石流堆積物 軽石層 大根占砂礫層
全新世 (H)	安 山 岩 類	礫層 (吉田村貝層・城山層)	両輝石安山岩その他

(2) 粗面安山岩 (SiO_2 66～72%の亜酸性岩類) 海潟, 甲突川, 大野原, 天ヶ鼻, 竜ヶ水, 郡山, 吉田, 重富, 加治木

(3) 粗面安山岩～安山岩型 (SiO_2 66%以下の中性岩類) 吉野台, 牛根, 聖崎, 帖佐

(4) 安山岩型 (紫蘇輝石安山岩～准灰石類) 天ヶ鼻

桜島基部の早崎咲花^{ささきはな}平の断崖に露出する流紋岩～石英安山岩質灰石の空隙には六角板状の新鉱物大隅石 Osumilite が含まれる。

シラスおよび灰石を中心とする南九州の若い第四系の層序は表-3のようにまとめられる。このうち標準となる2,3の地域をあげればつぎの通りである。

(1) 鹿児島北西方地区での種子田・宮地・西原ら(1957)の調査によれば, 灰石は溶結度の低いものから進んだもの, 更に非溶結のものなどがあり, 上, 中, 下の3枚が各々礫層をはさんで存在し, その上を一部分不整合でシラスがのる。

(2) 鹿児島北東の竜ヶ水付近では, 湊・勝井(1957)は第三紀の溶結岩と第四紀喰良火山噴出物を混同すべきでないことを強調し, 後者に属するものすべてをシラスとよんだ。

(3) 垂水・鹿屋・笠野原・大根占などの大隅半島中部一帯も, 下部から上部にわたって火山噴出物がよく揃っている。郷原保真・小森長生(1961)は下部の阿多, 上部の喰良噴出物についてくわしく調査した結果, 阿多火山噴出物が鹿児島湾口(指宿およびその対岸)のみでなく, 北方の湾奥の周辺にも広く分布し, 数カ所から同時に裂罅噴出したものであろうという。

また, 大隅半島の火山碎屑岩台地は, 古期シラスの作った大根占面(高度180～250m)新期シラスが堆積してつくった岩川面(50～400m)および新期シラスが砂礫層におおわれている笠野原面(35～150m)などに分けられるが, 前2者はかなり開析され, 笠野原面もシラスの崩壊による雨裂状の谷がきざまれている。

3-2 シラスの力学的分類

シラス地帯の土質を建設省九州地方建設局九州技術事務所は実用上次のように分類している。

表-4 シラス地帯の土質分類

分 類	説 明	設計積算上の分類
シラス (丘陵)		
硬質シラス	硬く締っていて洗掘抵抗も強いシラス 山中式硬度およそ33～30 mm	砂 質 土 (硬質シラス)
中硬質シラス	硬質及び軟質の中間のもの 硬度およそ30～25 mm	(中硬質シラス)
軟質シラス	比較的軟らかくて洗掘抵抗も弱いシラス 硬度およそ25 mm 以下	(軟質シラス)
沖積シラス	低地にゆるく堆積している飽和されたシラス層	
ローム層	黒ボク, 赤ボク, 風化シラス, 表土などの粘質土	粘 質 土
ゆるい軽石層	ボラ・コラなどの降下軽石層	レキ質土
その他	溶結凝灰岩, レキ層, 粘土層などがある。	

粒径 33 mm 以上は溶結凝灰岩としたが、現地での観察により判断すること。

3-3 シラスの工学的分類

工学的立場から鹿児島県林務部治山課はシラスを表-5のように分類する。

表-5 シラスの工学的分類 (試案)

A. 自然地盤のシラス
a 風化シラス (軟弱シラス)
a-1 軽石流の非溶結部
a-2 二次堆積層
a-3 降下軽石
b シラス
b-1 軽石流の非溶結部
b-2 二次堆積層
c 固結シラス (弱溶結のシラス)
d シラス様堆積物
d-1 細粒シラス (粒径 0.42 mm 以下の部分が 90 % 以上を占める)
d-2 粗粒シラス (粒径 0.074 ~ 2 mm の砂分を 70 % 以上含み、レキ分までも含む)
d-3 シラス母材の沖積層
e 降下軽石
B. 乱された地盤のシラス
崩壊地
溪床堆積物
土地造成地
築堤・盛土

3-4 シラスの分類に関する資料

シラスの種別分類表(I) (主に成國別の種別分類) (農土試案に1分追加)

名 称 観 察 事 項 等		二 次 シ ラ ス		降 下 軽 石 (ボラ)	シ ラ ス		灰 石		そ の 他			
		沖 積 シ ラ ス	洪 積 シ ラ ス		風 化 シ ラ ス	シ ラ ス	固 結 シ ラ ス (弱溶結凝灰岩)	溶 結 凝 灰 岩	表 土 層	ロ ーム 層	粘 土 層	レキ層
成 因		シラスの二次堆積物		降下軽石	軽 石 流							
露 頭 観 察	層 理	水平層理, 斜交することが多い		旧地形面に平行な層理	な し							
	肉 色 異 質 物 軽 石	淡灰白～淡灰褐		灰白, 灰, 淡黄灰	淡灰褐, 淡黄灰	淡青灰, 淡灰灰, 灰黒	淡灰, 灰, 灰黒					
		粘土, 砂, 円礫		な し	角礫状岩片 (カルデラ近辺ほど多い)							
		水磨されている		丸く粒度が均一	自形を保つがやわらかい。	自形を保ちがたい	やや扁平で重い	扁平で重い				
	節 理	な し			固結シラスに近いものにはまれにみられる。	1～3mおきに垂直節理	旧地形面に垂直な開口節理					
	主な崩壊侵食型式	液状化 (地震)	すべり, ガリー侵食	すべり, ガリー侵食	ガリー侵食, 流水波浪侵食, スプリングエロージョン, 引張り崩壊	河川による削磨	節理に沿ってブロック状崩壊					
	ハンマーによる感触	容 易 に 崩 れ る				削 れ る	削ると粉が散る程度。叩くと細片は指圧で粉になる	削れない。細片は指圧で崩せない。				
	山中式土壌硬度計 (kg/cm ²)	—	12, 13 (1.5～2)	測定不能	20～25 ± (5～14)	25 ± ～ 31 (15～50)	31～33, 34 (50～100)	33.34 以上 (100 以上)				
ボーリング	コ ア ー 状 態	無 水 掘 り					破片コア やや棒状コア	棒 状 コ ア ー				
	N 値 (回)	1-2 (地下水面下)	7～8 程度		7.8位～15, 16 位	16, 17 位～40 位?	40 位～貫入不能	貫 入 不 能				
	比 抵 抗 値 (Ω -m)	(500～600)		(200～600)	250 ～ 500	300 ～ 750	500 ～ 1,300	600 ～ 2,000				
	極 限 圧 P_g (kg/cm ²)				30 ～ 110	80 ～ 300 ±	300 +	—				
	変 形 係 数 E (kg/cm ²)				30 ～ 180	100 ～ 300 ±	300 +	—				
透水試験	第3法(ボーリング) cm/sec				$10^{-3} \sim 10^{-4}$	10^{-4}	$10^{-4} \sim 10^{-5}$	10^{-4}				
	第1法(横坑内) cm/sec					10^{-3}						

シラスの種別分類表Ⅲ (九州技術案に1部追加) (主に道路法面を目的とした分類)

分類	シラス							その他			溶結凝灰岩
	硬質シラス	中硬質シラス		軟質シラス	沖積シラス	ローム層	ゆるい軽石層	表土層	粘土層	レキ層	
		洗掘に弱い	洗掘に強い								
説明	硬くて締まっているも洗掘抵抗も強いシラス	硬質及び軟質の中間のもの		比較的軟らかくても洗掘抵抗も弱いシラス	低地にゆるく堆積している飽和されたシラス	黒ボク、赤ボヤ、風化シラスなど	ボラ、コラなどの降下軟石層				
硬さ (山中式硬度mm)	30～33mm	25～30mm		25mm以下							
洗掘抵抗 (sec/127cm)		20以下	20以下								
一般の場合	勾配部	0.5～0.7	0.5～0.7	0.8～1.0	0.8～1.2		0.0～1.2	1.0～1.5			
	のり面保護工	シラスモルタル吹付け	シラスモルタル吹付	植生穴工、植生マツトエ、張芝など	植生穴工、植生マツトエ、張芝など		張芝、植生マツト種子吹付けなど	のりわく空石(ブロック)張り、コンクリート張り(または擁壁)など			
湧る水場の場合	勾配部	1.0程度	1.0程度	1.0～1.2	1.0～1.2						
	のり面保護工	のりわく空石(ブロック)張り、コンクリート張り(水抜き十分に)									
注 1. 硬度33mm以上は溶結凝灰岩としたが、現地での観察により判断すること。 2. シラスモルタル吹付の場合は、ツタなどによる緑化が望ましい。 3. シラスでよくに湧水の多い場合は鉄筋コンクリートわく擁壁(栗石詰め)を用うことを検討のこと。 4. 集中的な湧水には排水管の打設などを行う。											

シラスの種別分類表ⅡとⅢの対照表(土研案)

農 土 試 (案)	二 次 シ ラ ス		降下軽石 (ボラ)	シ ラ ス		灰 石		そ の 他			
	沖積二次シラス	洪積二次シラス		風化シラス	シラス	固結シラス	溶結凝灰岩	表 土 層	ロ ー ム 層	粘 土 層	レ キ 層
	シラス二次堆積物		降下軽石	軽 石 流							
九州技術(案)	沖積 シラス	軟質シラス (洪積系シラス)	ゆるい軽石層	軟質 シラス	中硬質 シラス	硬質 シラス	溶結凝灰岩	表 土 層	ロ ー ム 層	粘 土 層	レ キ 層

4. シラスの崩壊型分類

4-1 鹿児島県タイプ

鹿児島県は次のように崩壊型进行分类している。

シラス地帯はどのような経過を辿って崩壊するかをみると、大体次のような8つの場合が考えられる。(1)地表水による面状侵食、(2)落水型侵食、(地隙侵食)、(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)地亡型侵食、(7)地下水の流動侵食、(8)シラス断崖の剥離崩落。これらの崩壊は主として地表水の侵食作用が、先ず働いて、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取扱いの誤りにある。

例えば、永年の経過のうちに自然に水分経済の均衡がとれて侵食崩壊が起きなかった所が、人工的に山復や上方台地の森林の伐採、開墾、道路築設、および宅地造成などを行なったために、地形変化が起り、地上に降下した雨水の地域分散の変動や地表面を裸出して均衡を破っても何等手段を講ぜず、豪雨による雨水集中をほしのままにさせたことなどである。

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、また大いに関係あることを見逃してはならない。つぎにシラス地帯崩壊の経過をもう少し詳しく述べる。

1) 面状侵食

台地上に豪雨があると、雨水の殆んど全部が地表を流れ、台地一面を低い方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 (sheet erosion) しながら台地周辺の侵食谷に殺到する。

2) 落水型侵食

図-3のように、台地上より集中落下した流水は滝壺をつくり、シラス層の下部を深くえぐり取る。下部が深くえぐり取られるとケーヴィング (Caving) を生じてその上部のシラス層及びローム層がその重さに耐えかねて崩れ落ちる。このような作用を繰返して流水が多いときは一回の豪雨で、100 m以上に亘って台地内部に奥深く図-4のように地隙侵食 (gully erosion) を起して幅が狭く、垂直な壁をもつ侵食谷をつくる。これはシラス侵食の決定的なものである。

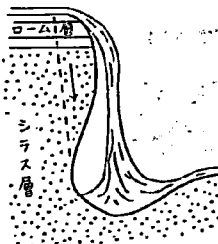


図 - 3

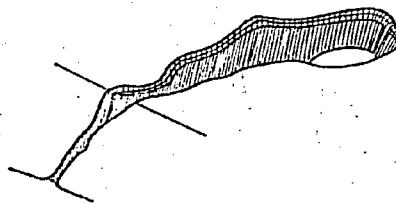


図 - 4

次にこの幅の狭い侵食谷が次第に谷幅を拡げて、谷の両側の台地を崩していく。このいき方に2つの場合が考えられる。

3) 崖脚洗掘

その1つは図-5のように谷を流れる水がシラス層の崖脚を洗掘するため、ここに深い洞穴ができる。これが進みこの洞穴の上が崩れ落ちて次第に谷幅を拡げていく。また工事中とか土砂採取の場合崖下を掘り取り、所謂“すかし掘り”によって洞穴をつくると上部が崩れ落ちよく人が生埋めとなることがある。これは人為的であるが理屈は同じである。

4) ローム層の崩落

もう1つは図-6のように侵食谷の壁の最上部ローム層が露出され乾燥すると、ローム、粘土などは収縮が激しいため地層に亀裂が入り、豪雨の際雨水が流れ込み、更に崩壊を促進している。

以上のようにしてシラス層上部のローム層が落ちると、シラス層の頭が棚状になって現われてくる。

このローム層の崩落は豪雨時に限らないことである。1例をあげると昭和26年のルース台風通過の後5日目のよく晴れた日に鹿児島市郡元町のシラス砂取り場で崩れ落ち、崖下にあったトラック3台、馬車1台を約30m押し出し道路下に突落した。このとき8名生埋めとなり、内7名が死亡したことがあった。

これは地中に滲透した雨水が5日かかって地表より約5m下にある厚い黒色粘土層に達し、すぐその上部にある約20cmの薄い白色粘土を泥状化して、これを滑り面として崩落し、全く予期しない災害となったわけである。これは崖際の地層の構成と雨が降ったら、どのような径路を経て水が流れてくるかを十分注意する必要があることを教えている。

また豪雨の際シラス地帯で所々に非常に多く発生する前述の崩落と一寸異なったローム層崩落がある。これはよく間違えられてシラス層の崖崩れのように報道されているものである。地表より滲透してきた雨水が図-7のように粘土層や酸化鉄で固った盤層などの半不透水層や不透水層に達し、この層に遮ぎられ崖側にしみ出すようになると、ここを滑り面としてその上部のローム層などが崩落し、崖下の人家などに被害を与えているものである。

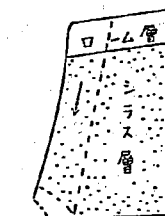


図-5 崖脚侵食

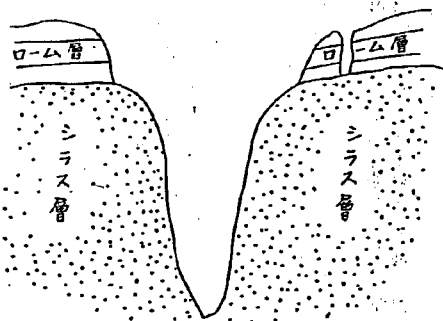


図-6 ローム層の崩落

5) 雨裂侵食

ローム層が崩落してシラス層の上部が露出され棚

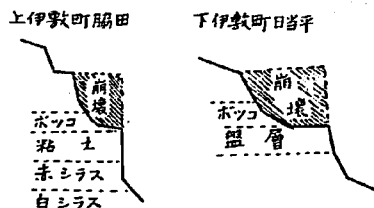


図-7

5) 雨裂侵食

ローム層が崩落してシラス層の上部が露出され棚ができると、流水に弱いシラスは容易に侵食を受けて図-8のようにシラス層面に多数の雨裂 (rill) が深く刻み込まれる。次第にこの雨裂は大きくなり、遂に雨裂と雨裂の間の突き出た部分が崩れ落ち、垂直壁になって谷幅を広げる。



図-8 雨裂侵食

6) 地亡型侵食

台地の端の傾斜面が幼令林、または草生地でその根が浅く表土にとどまっている所で、台地よりの排水が集中渗透し飽和状態になると、図-9のように表層土と元の斜面の古いシラス層との間に滑り面ができて、表層土が滑り落ちるものである。普通シラス層の上は風化された赤シラスが存在し、ここが粘土化されていて、この部分が滑り面となっていることが多い。

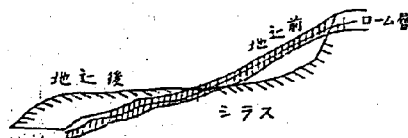


図-9 地亡型侵食

1例をあげると喜入町小学校裏の崖は傾斜 40° 内外で、炭焼のため一度伐採し萌芽4年生の雑木林が密生し、下部に幅の狭い数段の階段畑がつくられ、全く安定の状態にあったがデラ台風の後の大雨の際、夜半雨がやや小降りになった時、大量の水と共に急激に崖崩れを起し、崖下にあった校長住宅を倒壊し、数人を生埋め死亡させたような惨事があった。

7) 地下水の流動侵食

これは地質構造の関係から宮崎県にその例が多い。一般に鹿児島県のシラス台地の下の地下水面は崖脚の高さより低いのが普通であるが、鹿児島県でも末吉町高松谷、西志布志町蓬原のように台地上を水田に利用している所では夏季に水路によって水田に水を入れる結果、地下水面が全体的に上り、そこへ豪雨が襲来するとついに図-10のようにさらに地下水面が崖脚より上にあがることもある。

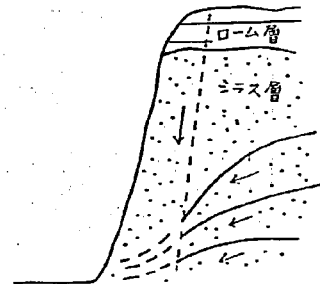


図-10 地下水の流動侵食

この場合、地下水が水みちをもって崖脚上に滲出する所では、その流出口附近のシラスが次第に水に飽和され、シラスの崩壊がはじまって崖の奥にケーシングが進み、その崖の上部に亀裂を生じ崩落することがある。殊にここに度重なる台風豪雨が襲来すると、この現象が一層激しくなり、崩落した崩土は前方に滑り出して自然の堰をつくり、一時谷を塞ぐ。その上流側に泥水が次第に溜って水面が高まると遂に崩土の堰を切って下流に押し流す。この土砂泥流は更に兩岸の崖脚を洗掘、崖崩れを起し、ますます土砂泥流を増し、下流の田畑宅地などを埋めつくすなどの大被害を及ぼすものである。

8) シラス層崖の剥離崩落

露出されたシラス断崖によく見られる現象である。これは旱天、降雨などの気象条件の永年の繰返し

によって、シラス崖の表層部付近はその内部より湿度の変化の影響が激しく、これに伴って膨張・収縮現象も大きく現われる。これは既に述べたように豪雨や旱魃の影響による含水比の変化はシラス層よりほぼ1～2mの範囲にとどまるため、表層部は膨張収縮現象を起すけれども、内部は殆んど変化がなく、表層部と内部との間に均衡が破られる。その際、崖の三方は皆閉鎖制圧せられ、唯一方の露出面のみが開放されているから、内部から外方に膨張収縮による力が働くこととなって、表層面にはほぼ並行して亀裂面ができるものと考えられる。

前述のようにシラス層は大小の土粒子がよくその隙間を密に充し硬く啗合って結合し、而も有機質を殆んど含んでいないので直根、深根性で菌根を有するマツなどの他は、シラス層内に殆んど根が侵入していないようであるが、前記シラス層亀裂面には植物の根は好んで恰も団扇のように扁平に拡がり侵入している。その根の力により、或は衝撃、振動などの外力によって小規模であるが、薄く数十cmの厚さで馬蹄形状に亀裂面を境にして剝離脱落するものである。これは小規模であるが、生埋めの危険があるので特に工事中に注意を要する。

4-2 建設省九州地方建設局タイプ

建設省九州地方建設局 九州技術事務所はシラスの崩壊タイプを表-6のように分類している。

表-6

1. 雨裂侵食現象	露出された弱いシラスの法面は流水により縦方向に侵食を受けて多数の雨裂が深く刻み込まれていき突き出た部分が崩れ落ちる。
2. 落水型侵食現象	集中落下した流水で滝壺をつくりシラス層の下部を深くえぐり取るため、上部のシラス及びローム層が重さに耐えかね崩れ落ちる。
3. 崩脚洗掘現象	流水シラス層の崖脚を洗掘するため深い洞穴が出来これが進んで上が崩れ落ちる。
4. 地入り型侵食現象	台地の端の傾斜面が浅く表土にとどまっている所で台地よりも排水が集中渗透し飽和状態になると滑り面ができて表層土が滑り落ちる。
5. 地下水の流動侵食現象	地下水面が崖脚の高さより上にあり地下水が水みちをもって崖脚上に滲出する所ではシラスが飽和され崩壊する。
6. 剝離崩落現象	膨張収縮現象の大きく現われる表層部と殆んど変化のない内部との間に均衡が破られ亀裂面が出来剝離崩落する。

5. 崩 壊 実 態 調 査

土木研究所では、昭和46年度より、鹿児島県内に試験地を設けて崩壊実態調査を行なった。

5-1 46年度調査

(1) 調査目的

シラスの崩壊例では、シラス上部の表層が滑落するケースが最も多く次いで地下水による崩壊である。本調査では、シラス層とその上層の境界面付近の地盤内の性状及びシラス斜面の地下水の挙動と地表水、浸透水の地下水に及ぼす影響を調べる。

(2) 調査内容

シラス崖面の崩壊の考え方

前述したように主要な崩壊のタイプは限られており、注目すべき点はシラス層の中そのものに原因があるのではなく、シラスとその上層の境界領域附近の性質に原因をもつものが大部分であるということである。前述した崩壊のタイプを模式的に示すと図-11のようである。

①-イのタイプの崩壊は地表流あるいは地表面から地中へ浸透した水が原因となる。即ち、わずかな地形的な凹みに地表流が集中し、従ってその部分での地中へ浸透する水量は増える。一方、シラスとその上層の表層土の間の境界は明瞭であり、特に透水性はシラス層の方が低く、この部分が不透水層になりやすい。その結果、地中に浸透した水はこの部分で地中への浸透をさえぎられ、この面に沿って下方へ流れる。水を多量に含んだ表層土は強度が著しく低下して、この面を境にすべり落ちるのである。

①-ロのタイプは直立に近いシラス斜面上部にのっているローム層へ表層土が崩落するもので、その境界はやはりシラス層である。①-イ同様、地中に浸透した水がシラス層上を流れ、この部分で境界面を作ると同時にその上にのる土層の強度を著しく低下させる。それとともに、この境界面を流れる水が崖面に出る部分で侵食を行い、上にのる表層土が張り出した状態になり不安定になる。又、シラス及び表層土の乾燥収縮の違いから、表層土上に亀裂が発生することもある。

②のタイプは、シラス層中の粘性土層、あるいは礫層等のはさみ層がある場合シラス層中に水面を持

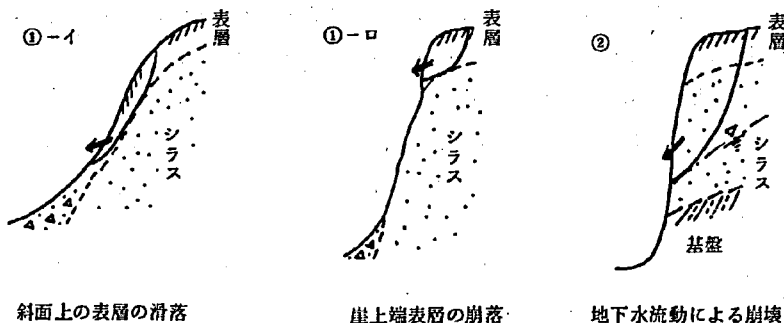


図-11 代表的なシラス地帯の崩壊

つ地下水の流動に伴ってこの部分から崩壊を起こすタイプである。崩壊はシラス層中で起こるかあるいはその下部に基岩のある場合はその境界で起こる。

①-イについては、表層土の厚さと地形的なわずかな凹みの位置を調べることによって想定される崩壊の位置と規模の大略の推定を行なえる。

①-ロについては現地踏査で充分崩壊の恐れのある部分は判明する。

②については、基岩地形、地下水の挙動、シラス層中のはさみ層等についての調査が必要である。

①-イ及び②のタイプの崩壊と推定される試験地を選び、崩壊している部分、していない部分の比較調査を行ない、その特性について調べた。

(3) 調査結果

試験地は、鹿児島市内で44年に崩壊した斜面（A試験地）、及び串木野市内で46年に崩壊した斜面（B試験地）である。

A試験地は山腹斜面のシラス上にのるうすい表層が滑落したものであり、B試験地は安山岩上にのるシラス層内の地下水流動に基づく崩壊である。

(3)-1 A試験地について

簡易貫入試験の結果

$N_c < 5$ 表層土

$5 \sim N_c \sim 10$ 崖錐層

$N_c > 10$ シラス、ただし $N_c < 30$ は漸移層

という結果が得られた。

貫入曲線は $N_c = 10$ を境界に明瞭に変化しており、これより下層がシラスに相当すると考えられるが $N_c = 10$ 付近のシラスは若干風化あるいはルーズになっており、 $N_c > 30$ で本来のシラスになるようである。

表層土あるいは崖錐層に相当する部分の土層は谷形の地形を示す部分で一般的に厚くなる。図-3のB測線上で崩壊を起こした部分はB-10、B-11の中間からB-16までの間でこの部分の表層土に相当する部分は極めて薄い、これは崩壊後の植生による復旧工事の結果シラスが表土化したものである。B-12の部分で表層土は極めて厚くなりシラス上面の地形も凹んだ谷型を示している。地表流及び地中に浸透した水がこの部分に集中したと思われる。非崩壊部のB-1～B-10の間の表層土の厚さは1m程度であり、崩壊部のB-13～B-15附近も恐らくこの程度の表土があったと思われる。従って崩壊頭部附近の崩壊土層は極めてうすいものであったことが推定される。斜面下方へ移るにつれて表土及び崖錐層の厚さは大きくなっている。しかしC-14～C-20附近は崩土が堆積したものであり、非崩壊部の厚さに比べ若干厚くなっている。

表層土、崖錐層、シラス層中の根系の重量比を比較すると、それぞれ1.19%、0.97%、0.17%となりシラス層内の根系は極めて少ない。根系侵入深度が関係するが恐らくシラス中には水分が少なくかつ固結しているため、根系が侵入できないためであろう。根系があるかないかは根系沿いの水みちとそれ

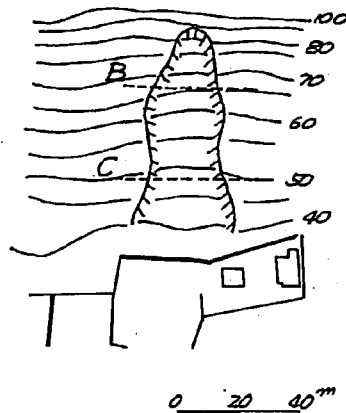


図-12 A試験地測線位置図

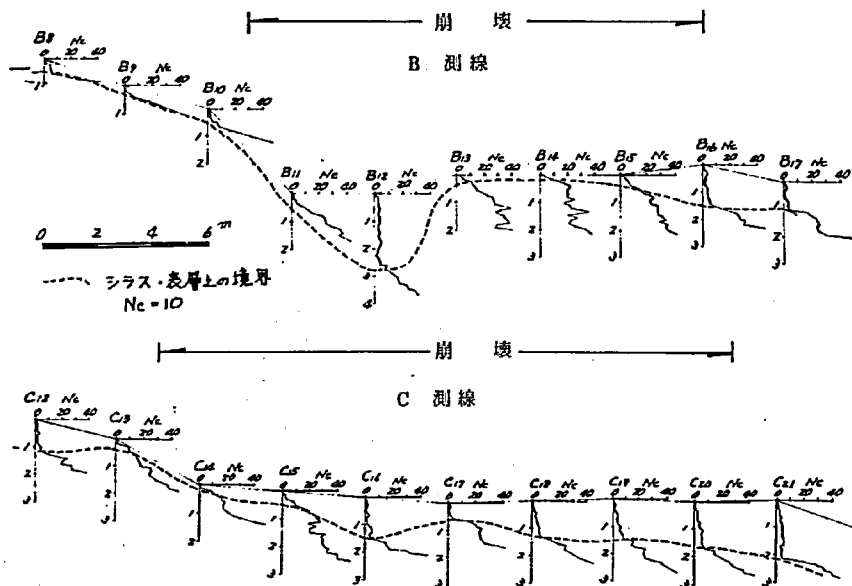


図-13 A試験地層構成図

による附近のルーズ化に関係し、土層の境界面を作りやすい。崖錐又は表層土とシルスの間にはこの点からも明らかに境界がある。

一方、現場透水試験をシルス及び表層土について行なった場合、それぞれ、 13.8×10^{-4} 、 9.0×10^{-4} となりシルスは相対的に表層土に比べ不透水層である。

以上のような結果から、表層土が滑落するタイプの崩壊は極めて薄く、それは地表水及び地中水の集中を促す、地形的に凹んだ部分及びシルス面の凹んだ部分に起こりやすいと言える。崩壊するものはシルス上の表層土であり、シルスとの境界は極めて明瞭に簡易貫入試験によって判別でき、シルス面の凹凸を調べることによって崩壊危険位置の推定がつけられそうである。その場合の崩壊を起こす恐れのある土塊のNc値は大略10までと考えてもよいようである。

(3)-2 B試験地について

B試験地は比高30m程度の台地末端の斜面である。崩壊は図-14に示すように2箇所あり、一方は地表流によるものの影響が大きいものと考えられるが他方は地下水によるものと考えられる。図中④は台地周縁部にある栗堀の水路からの水の溢水、あるいは地中への浸透による影響が大きい。

他方図中⑤は地下水の流動によるシルス層あるいはその下部の境界で滑ったものである。

ボーリングによるとシルス下部に安山岩層があり、この上部に礫混りの粘土層がある。調査時点のボーリング孔内には地下水位がほとんど認められなく、降雨時に発生する地下水によるものである。地下水位の変動そのものも地盤中のルーズ層の形成に役立ち崩壊に対しては一つの因子であると思われる。図-14に示すように基岩である安山岩層の形は崩壊部分に向って谷型を示し、基岩上に降雨時に発生する地下水はこの部分に向って流れ、斜面途中で湧水して崩壊を起したのと考えられる。

表層土の簡易貫入試験による貫入抵抗値 N_c は5以下であり、シラスは10以上である。ただし、シラス土層は幾分ルーズになっており、この部分は漸移的に10~20に変化する。 $N_c > 20$ で本来のシラスになる。この場合の崩壊の厚さは大で、湧水地点（安山岩層上）より上部のシラス層全て崩落し、さらにシラス層上の表層土の滑落を促す。

5-2 47,48年度調査

(1) 調査内容

図-1に示す鹿児島県伊佐郡菱刈町に試験地を設け表層とシラスの付近の地盤調査及び地下水位観測雨量観測地下水検層、水分含有状態を調べるために水分計を埋設し観測を行った。

(2) 調査結果

(2)-1 簡易貫入試験

簡易貫入試験は図-15に示す、5測線75点について行った。その結果を図-16に示す。

図-16は、縦軸に10cm当りの打撃回数 (N_c)、横軸に深度 (cm) をとっている。簡易貫入試験を実施した地点は崩壊を起していない箇所（試験地の近傍に同じような斜面で47年度に表層滑落型の崩壊が発生している。）図-16では図中に示すL線より上の範囲では比較的崩壊しにくいことがわかる。

(2)-2 現位置せん断試験

現位置せん断試験は、図-15に示す (T-1) (T-2) の2ヶ所で行った。試験深度は地表より1 m付近のシラス上部層で行った。

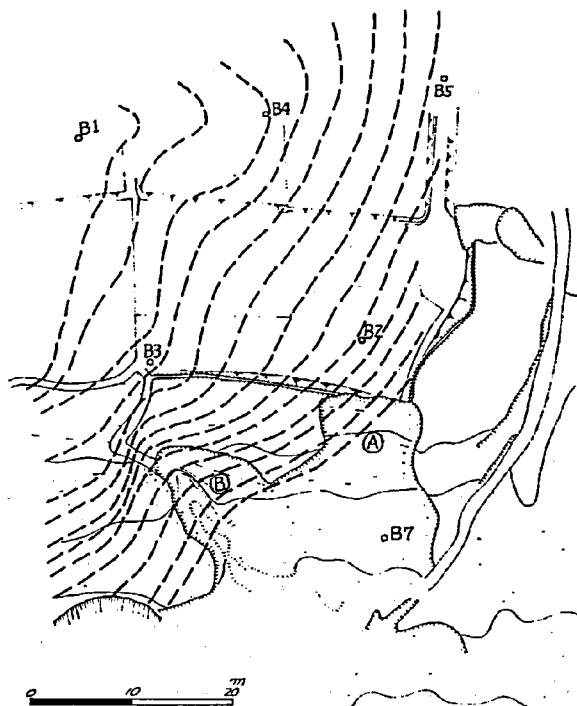


図-14 B試験地基盤等高線図

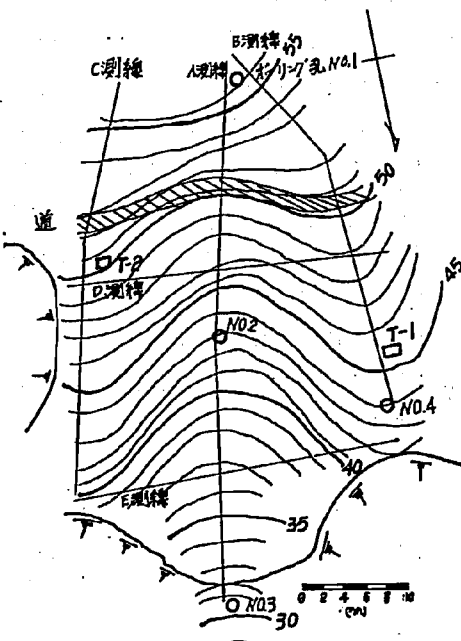


図-15

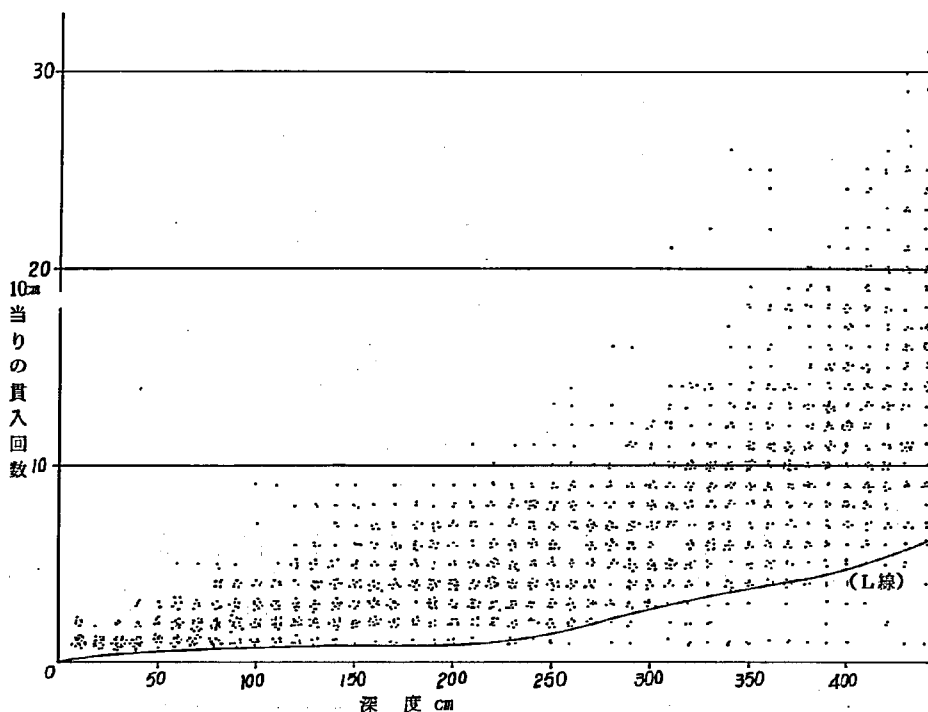


図 - 16

試験断面は、 $20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ に供試体を成型して $21\text{ cm} \times 21\text{ cm}$ の鉄製せん断箱をかぶせ、せん断速度は 1 mm/min 程度の速度を保ち、ヒズミ制御法で行った。試験装置の略図を図-17に示す。

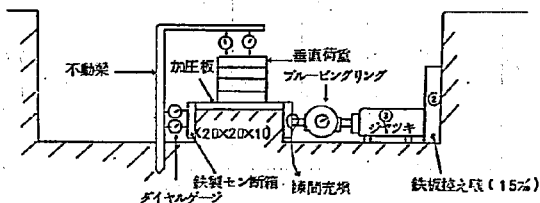


図 - 17

試験の結果せん断は、若下下に凸な破壊面を生じて、せん断変位増大とともに、この面に沿う載荷板の浮上りが起る傾向が見られた。

試験の結果を、図-18、図-19、図-20、図-21、表-7に示す。

表 - 7 原位置せん断試験結果

試験 No	試験深度	試料の状態	ϕ ($^\circ$)	C (kg/cm^2)	土性指数		
					W(%)	Gs	rt(g/cm^3)
T-1	GL-1.00m	自然状態	27	0.068	36~39	2.59	1.32
T-2	GL-1.00m	湿潤状態	24	0.057	42~43	2.60	1.27

T-1

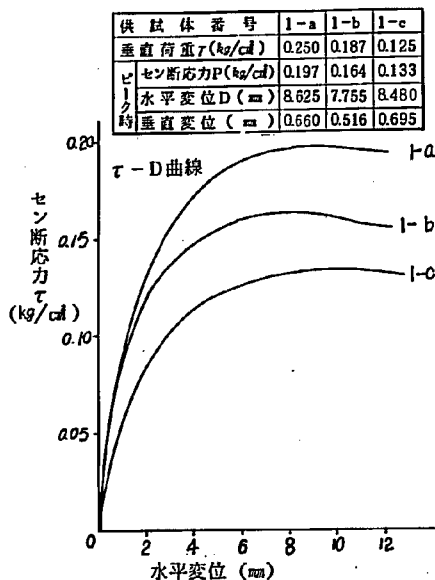


図 - 18

T-2

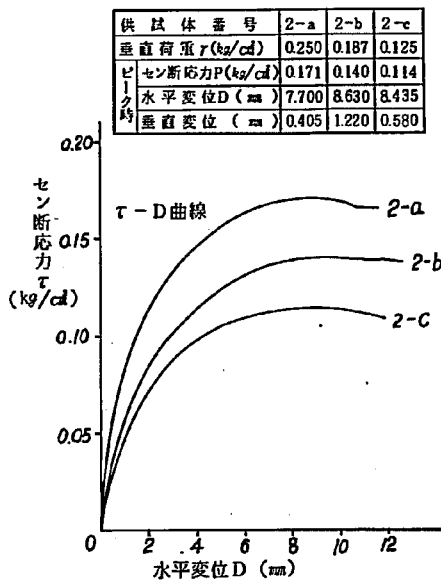


図 - 19

T-1

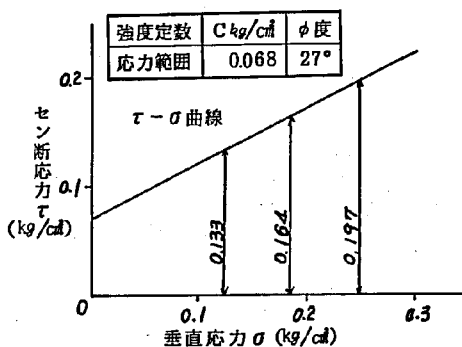


図 - 20

T-2

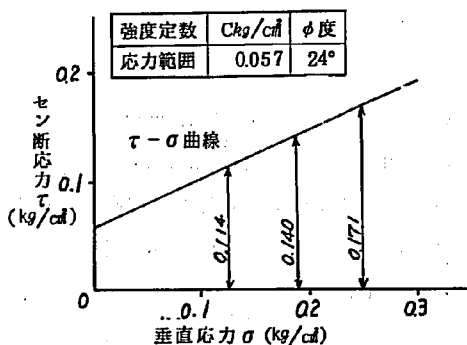


図 - 21

(2)-3 土質試験

土質試験は、液性試験、粒度試験、比重試験、現場単位体積重量試験を行った。現場単位体積重量試験は、図-15に示す (T-1) (T-2) で図-22に示すテストピット断面で試料を採取して行った。液性限界試験は、フォールコンテスターによって行った。試験結果を、図-23に示す。

シラスは、塑性土であるので従来の方法で

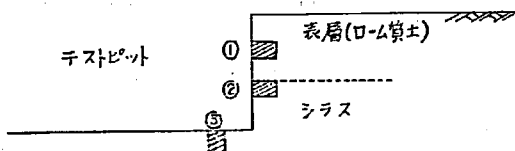


図 - 22

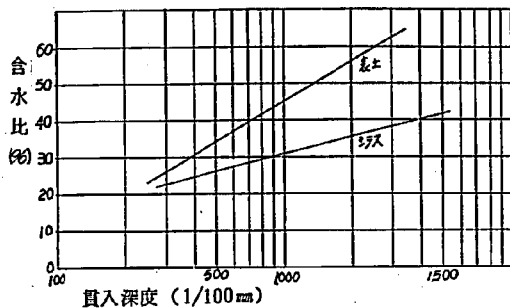


図 - 23

液性限界を測定するのは困難であるので、フォールコーンテスターによって行った。コーンの沈下量が10mmのときの含水比が、従来の液性限界と非常によく一致する。図-23からわかるように、本試験地のシルスは、フォールコーンテスターによると液性限界は、約30%であると言える。

次に粒度試験の結果を図-25に示す。

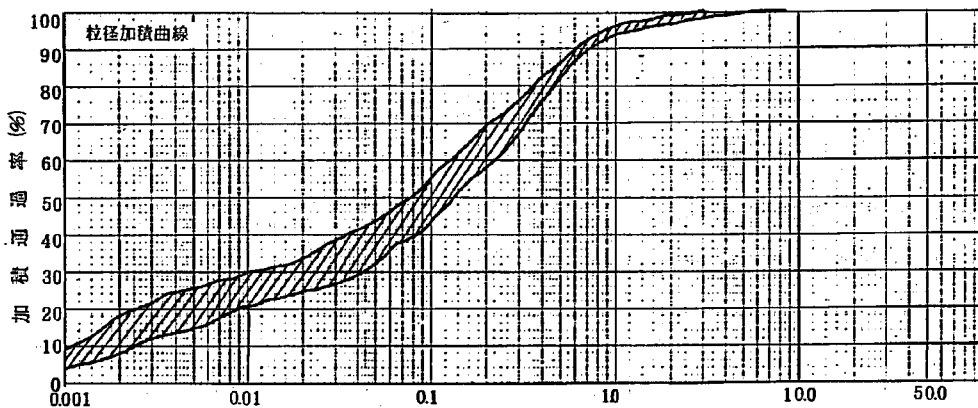


図 - 25

粒度試験の結果、シルト～粒度の細粒分は、38～50%を示し砂分は48～60%、礫分は約2%とごくわずかである。

比重は、2.58～2.61位である。

単位体積重量試験の結果を、表-8に示す。

(2)-4 水分計による含水比の測定

含水比の変化と雨量の関係を図-26に示す。

(2)-5 山中式硬度計による硬度の測定

山中式硬度計を用いて試験斜面の硬度を測定した結果、図-27のようになる。

フォールコーンテスター略図

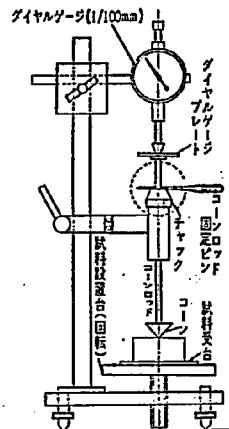


図 - 24

表 - 8

テストピット No	供試体 No	湿潤密度 g/cm ³
T-1	1	1.15
	2	1.60
	3	1.36
T-2	1	1.17
	2	1.65
	3	1.50

鹿児島県土木部砂防課が行なった
山中式硬度計によるシラスの分類基
準(案)によると、本試験地は、軟
弱シラスから普通シラスであり崩壊
侵蝕、を受けやすい。

(2)-6 地下水位観測

図-15に示す4箇所のボーリング
孔において、地下水位観測を行った
が、今年度は、比較的降雨が少なく、
地下水位が下がり実際に水位の変動
が表われたのは、第2孔、第3孔だ
けであった、それらの地下水位の変
動と雨量の関係の代表的な所を、図
-28に示す。

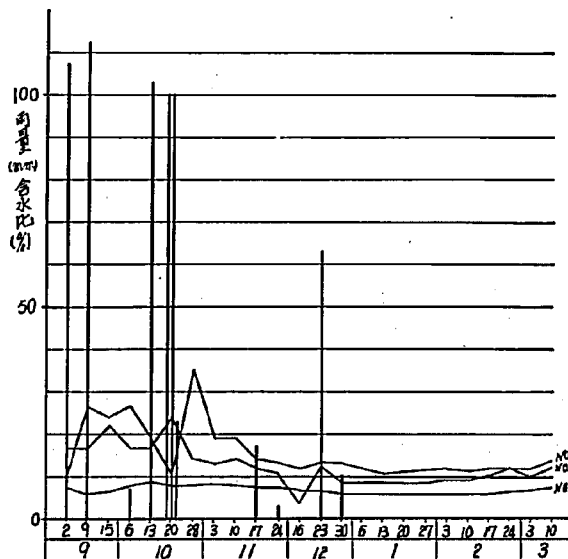


図 - 26

(2)-6

地下水検層は図-15に示す第2孔と第3孔に
おいて1孔につき4回ずつ行った。その中の1
例を図-29, 30に示す。

第2孔の抵抗値は、食塩投入後も大きな変化
は見られなかった。これはボーリング孔が拡大
したものと考えられる。上の図からわかるよう
に、第2孔は、地表から13.60m, 18.20m,
19.20m, の所に流動層があると考えられ、第
3孔は、2.7m, 7.7m, 8.7m, 付近に流動層が
あると考えられる。これらの断面図を、図-31
に示す。

第2孔の水位のピークと第3孔の水
位のピークの時間の差をとり斜面長で
割って流速を計算すると $V = 2.9 \times 10^{-2}$
cm/secとなる。

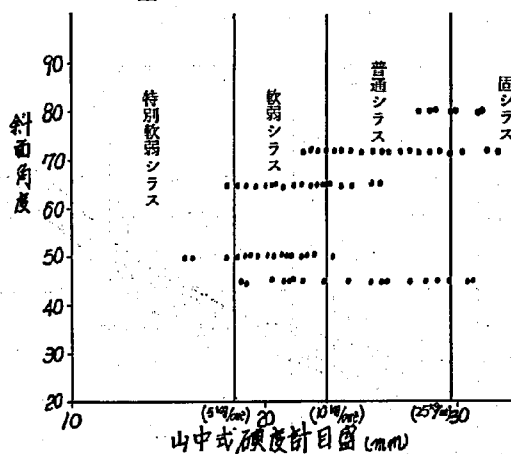


図 - 27

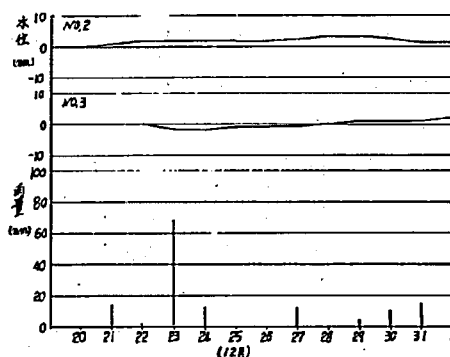


図 - 28

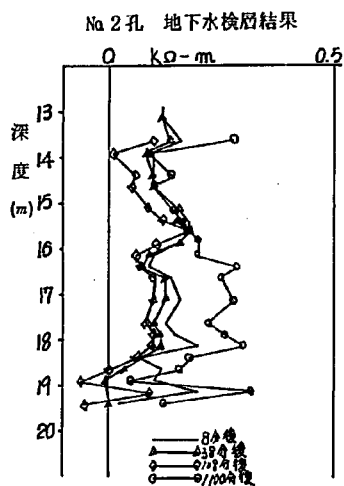


図 - 29

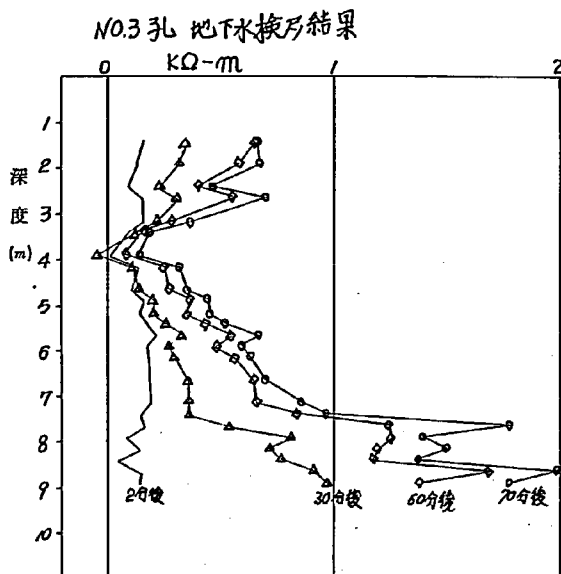


図 - 30

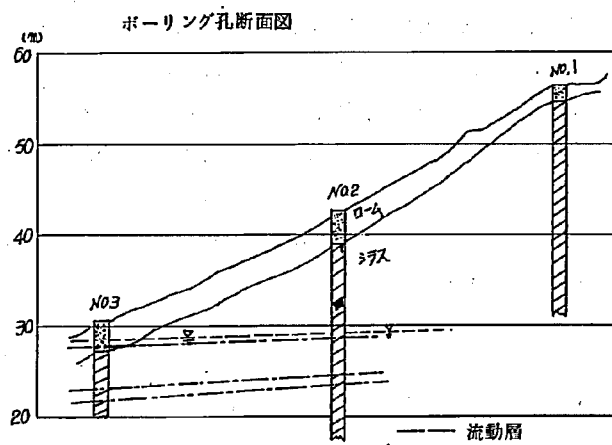


図 - 31

6 シラスの調査方法

6-1 現地調査

(1) 判別分類のための調査法

一般にシラスと呼称されるものには、分布・時代・成因および特徴を異にした各種類が含まれている。したがってこれを野外で判別する場合には、地層の一つとしてとらえ、地学的手法で調査することが必要で、たんなる一岩片・岩体とみるべきではない。そのためには地形学・地質学・鉱物学などの素養が要求される。

(1)-1 シラスの種類

従来シラスと呼ばれているものにはつぎのものがある。

- ① 軽石流タイ積物 (pumice flow deposit)
- ② 降下軽石層 (pumice fall layer)
- ③ 軽石流・降下軽石層の二次タイ積層
- ④ 凝灰質砂層・砂レキ層 (tuffaceous sand and gravel beds)

軽石流タイ積物 (P.W)

① 成因 加久藤 (かくとう)・阿多・杓良 (あいら) 火山の激しい爆発に際して噴出した熱雲タイ積物。

② 特徴 多量の軽石とその細片を含め、分級悪く無層理、火山ガラス70~80%のほか、斜長石・紫ソ輝石が比較的多く、石英・角セン石・フツウ輝石・磁鉄鉱などよりなり、外来岩レキを含む。一流出単位では、一般に中央部が溶結度が高く、固結して溶結凝灰石 (W) となり、上下に溶結度の低い部分、ほとんどまたはまったく溶結していない狭義のシラス (P) の部分があり、両者は漸移関係にある。

③ 分布 もっとも広く多量に分布するものである。噴出時期・噴出源を異にした多くの軽石流が知られ、同一地域で2~3観察されることも少なくない。

④ 備考 入戸軽石流・大隅軽石流・吉野軽石流などはPが多く、加久藤軽石流・阿多軽石流・新川軽石流などはWが多い。

降下軽石層 (F_1 ・ F_2)

① 成因 火山より噴出した軽石が地表に落下したものである。阿多・杓良火山のもと (F_1) と新しい霧島・桜島火山によるもの (F_2) とに区分される。

② 特徴 よく分級された軽石レキのみからなる。旧地形面の起伏に沿い成層することもある。溶結せず良好な透水層をなす。 F_1 は軽石流タイ積物の下位に存在する。

③ 分布 F_1 は大隅半島一円で1~5mと厚く、ほかの地域では1m以下かまたは欠如、 F_2 は大隅半島北部で、火山灰とともに最表層に分布しボラ層とも呼ばれる。

軽石流・降下軽石の一次タイ積層 (S_1 , S_2 , S_3 , S_4)

① 成因 軽石流・投下軽石が、崩壊・侵食により移動し別の場所に再タイ積したもの。

② 特徴 軽石流・降下軽石が、崩壊しガイスイ・扇状地状に陸上でタイ積したもの (S_1) では、構成物質・性状ともに本来のものと酷似し区別しがたいこともある。水中での再タイ積層は、多少ともとうた (淘汰) され、層理が発達する (S_2)。またシラス台地谷部の傾斜面表層に、1~3 m でしばしば軟弱な成層シラス (S_3) をみる。後背部がシラスよりなるチュウ積地には、シラスをおもな供給源としたチュウ積層が地下に分布する (S_4)。砂レキ質・泥質のことがあり、変化に富み成層する。

③ 分布 S_1 は鹿児島湾周辺・高隅地区に、 S_2 は鹿児島市・垂水市・都城市・えびの市の台地・段丘に、 S_4 は鹿児島市・鹿屋市・都城市・加治木町などのチュウ積地にみられる。

凝灰質砂層・砂レキ層 (T)

① 成因 第三紀中新世~鮮新世の火山活動期の水中タイ積物。

② 特徴 軽石砂レキ・火山ガラスを多量に含む。泥岩・凝灰質ケツ岩に挟在し、未固結・半固結で比較的崩壊しやすい。きわめてとうた良好なものもある (えびの昌明寺シラス)。

③ 分布 永野層・加治木層・国分層群・加久藤層群などの構成員として分布する。

④ 備考 前項 $S_1 \sim S_4$ と区別するため、上記地層中のものに限ることとする。

(1)-2 判別のための調査項目 (露木の方法)

以上のように多様にわたるシラスを区分し、さらに性状によって類別するには、その目的にもっとも適した調査方法を選ぶべきである。しかしシラスを地層として現地で調査し、その性状に関する特徴を把握するに際し、必要な一般的観察事項が幾つかあげられる。以下これについて述べるが、詳細な観察とともに、少なくとも移植ゴテで露頭を削り、ハンマーでたたき、手で感触をみ、ルーペでのぞく程度のことを前提としている。なお簡単のため、P・F₁…など前項で示した記号を用いることにする。

観 察 項 目

① 露頭における観察事項

i) 見かけ上均一かどうか。少なくとも5 mの露頭全体の均一性を観察する。

a 均一・無層理 (h) Pの大部分: S_1 : Tの一部 (えびの昌明寺シラスなど)。

b 不均一 (S)

1) 層理きわめて明りょう (S_1)

$F_1 : S_2 : S_3 : T$

2) 層理やや明りょう (S_2)

F_1 の一部: S_1 の一部

3) 大きい露頭で上下・左右で大きく不均一、明りょうな層理なし (S_3)

$S_1 \cdot F_1$ の一部: P・Wの溶結度の漸移的变化: Pと S_1 の隣接部

(注) まれにPの最上部に層理がみられる。 S_4 は S_1 に属する。

ii 色調 含水状態、風化状態によっても異なるため、色だけで区別することはむずかしく危険でもある。

灰白・淡黄かっ色・淡灰色のものが多く、暗灰色・灰黒色 (重久・蒲生軽石流)、帯赤

かっ色（最表層風化部・阿多軽石流）を呈するものもある。Wについてもかなり色調の相違がみられる。

iii) 軽石のはいり具合と大きさ hに属するものについて $2m \times 2m$ の露头を作り、観察して、要すればカラー写真をとる。

- a 人頭大のものが散点する (P_1)
- b こぶし大以上のものが20以上、鶏卵大、うずら卵大のことが多い (P_2)
- c 大きくとも、鶏卵大でうずら卵大のことが多い (P_3)
- d 大きいものでも、うずら卵以下である (P_4)
- e 軽石砂、火山ガラスの集合である (P_5)

〔注〕 $P \cdot S_1$ では $P_2 \cdot P_3$ がもっとも多く、 $F_1 \cdot F_2$ で $P_3 \cdot P_4$ 、 $T \cdot S_2$ の一部では P_5 がみられる。なお外来レキの量・種類・大きさも併記する。Wでは軽石がへん（扁）平になっていることが多い。

iv) かたさ、締まりぐあいおよび溶結度 $P \cdot S \cdot T$ について問題とし、Wにおいては岩片としてとり扱う。野外における実用性と調査者による差異を考慮し、つぎのような基準で三つに大別する。

a シラス全体について

- 1) かたい A ピックハンマーを用いた場合貫入量3cm以下
- 2) ふつう B 同上が3cm～6cm
- 3) やわらかい C 同上が6cm以上

〔注〕 山中式土壤硬度計を使用した場合 A: > 31 , B: $23 \sim 31$, C: < 23 ; ハンマーで削った場合、Cでは先端の形のままの傷またはミゾが付く（注：硬度は0～40の範囲で整数で表わされる）。

b 含有軽石について

- 1) 新鮮でかたい a
- 2) 腐っていてやわらかい b
- 3) まったく腐ってとり出せない c

c こう（膠）結度

- 1) 大きい a' 軽石・外来レキが手ではずせない
- 2) 中ぐらい b' なんとか手ではずせる
- 3) 小さい c' 容易にはずせる

〔注〕 多くの $P \cdot S_1$ は、 $B-a-b'$ 、弱く溶結しているPでは $A-a-a'$ 、 S_3 では $C-c-c'$ 。

② 野外での地層としての観察事項 各種のシラスは、それぞれ上下に他のものと重なって存在するし、ある広がりをもって分布する。

- 1) 上下の関係および厚さ
- 2) 横への広がりおよび岩相・厚さ・性状の変化
- 3) 崩壊・侵食の状況および形態
- 4) 含水・透水およびわき水の状況
- 5) 各種の割れ目の発達状況

(2) 原位置セン断試験

シラスは中央粒径、平均粒径とも 0.1~0.5 mm で、砂、砂質ロームに属し、粘着性に乏しくてサンプリングがむずかしい。また乱した試料に対する室内試験でも、多くのシラスが 5~20% 含んでいるレキ分（おもに軽石、一部安山岩質石塊）のとり扱いに困り、ふつう、こうした大レキは除いて試験されている。このような事情から、シラスの強さを知るのに、原位置試験が望ましいとする考え方が出てくるのは当然であろう。

シラスは粒径 74 μ 以下の細粒子（ガラス質へん平状）を 15~40%（5 μ 以下は 3~6%）含んでおり、自然含水比は 20% 程度が多く、見かけの粘着力は、この程度の含水比でもっとも高いことがわかっている。したがって、原位置試験のための供試体作製その外の処理は、粒度特性のわりにはしやすい面を持っている。

原位置セン断試験は、供試体の乱れが少ないという一般的利点があるうえに、シラスでは大きなレキ分を含んだままの状態でのセン断強さを知りうる利点がある。他方、欠点としては、試験装置を運搬組立てねばならないことに加えて、シラスは表-9 のように比較的セン断強さが大きいために、大きな力を必要とし、装置も大がかりとなって、手間と経費を相当に要することがあげられる。

シラスについての原位置セン断試験は、これまで鹿児島市内の宅地造成に関して行なわれたもの^{3) 4)}、九州縦貫自動車道調査に関して宮崎県えびの市で行なわれたもの⁵⁾があり、どちらも一面セン断である。前者の場合は図-32 に示すように、シラスの上に置いた 20×20 cm の角型わく（枠）（高さ 10 cm）にモルタルを流し込んでシラスと固着した載荷板を作り、これにて C を介した重すいまたはジャッキで垂直圧を加えておき、水平にジャッキでセン断力を加えている。後者の場合は、20×20 cm の鉄製セン断箱（高さ 10 cm）を置き、これに沿ってシラスを削り込みながら、セン断箱を押込んで供試体を準備した。垂直圧は重すいを直接載荷し、水平セン断力をジャッキで加えている。室内のセン断箱試験と異なって、セン断面が平面に近い状態で生じることが保証できず、かたいシラスでは下にとつ（凸）な破壊面が生じて、セン断変位の増大とともに、この面に沿う載荷板の持上りが起こり、体積変化をは握しにくいことが報告されている。

表-9 シラスの原位置強さの測定例

試 験	φ (度)	c (kg/cm ²)	土性指数 (平均値)					
			e	γ _d (kg/cm ³)	w (%)	S (%)	74μ以下の 粒子 (%)	
一面セン断 (鹿児島市)	1.	42	0.29	1.19	1.12	21	43	17
	2.	43	0.15	1.13	1.11	11	24	(11)
一面セン断 (深さ 2.5 m) (えびの市) { (深さ 5.0 m)	32.5	0.02	-	-	39	-	41	
	33	0	-	-	38	-	42	
一 軸 圧 縮	強さ (kg/cm ²)	破壊角						
	1. 0.94	62°	1.19	1.12	25	51	17	
	2. 1.37 (1.10)	76°	1.13	1.11	11	24	(11)	
一軸引張り	強さ (kg/cm ²)							
	1. 0.067		1.24	1.11	23	46	17	
	2. { 0.017(水平面) 0.021(垂直面)		1.13	1.11	11	24	(11)	

(注) 圧縮強さの () 内は極端に大きい数値を一つ除いた平均値
粒度の () 内は 50 μ 以下の値

前者の試験には、一軸圧縮試験と一軸引張り試験が同時に行なわれている。圧縮試験は、直径20cmの丸わくを置いてこれに石コウを流し込み、このキャッピングに従って高さ40cmの供試体を削り出して、ジャッキで加圧している。引張り試験は直径15cm、高さ5cmのおわん形にシラスを削り出し、これに高さ10cmの丸わくをかぶせて石コウを流し込み、この中にフックを押込んでおいて引き上げている。

以上の諸試験の結果を表-9に示す。土性指数の値は、試験地点で比較的小さな供試体を採取して測定したものである。

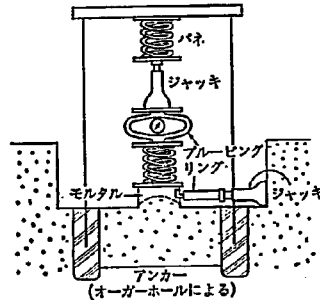


図-32 一面セ断試験
(上田・久米³⁾による)

(3) 原位置透水試験

乱さない自然状態のシラスは、サンプリングが困難なこと、その中に含まれる軽石、レキなどの粒径に対して試料径が小さいおそれがあること、およびそれが必ずしもその地層を代表するとは考えられないことなどのために、現実の問題としては、原位置試験のほうが室内試験より有効なことが多い。

その一般的試験法については、土質調査法第8章に述べられているので、ここではシラス特有の問題点とその測定例をあげることにする。

(3)-1 問題点

1) シラスは一般に、その地層の厚いこともあって、試験法としては、ボーリング孔を利用する方法によることが多いと考えられるが、水に弱いということから無水掘りにすると、掘進能力が悪い上に軽石を破碎し、とくにかたいシラスでは焼付いてしまう。一方ベントナイト混入の送水掘りだと、その点は良く孔壁の崩落もある程度防げるが、ベントナイトの洗浄によほどの注意が必要なことなど、透水試験のもととなるボーリング孔の掘削法自体にも問題がある。したがって、じゅうぶん慎重な作業が要求される。

2) シラス層においては、一般に地下水位も低いこともあって、井戸による揚水試験は、チュウ積平地以外ではほとんどみられない。したがって径の小さなボーリング孔を利用した注水法によるものが多いわけだが、その際、孔壁の崩壊には極力注意し、ストレーナーパイプで保護するとともに、使用圧力も最大5.0kg/cm²を限度とするのがよいようである。

(3)-2 測定例

すでに述べたように、実測の例として揚水試験によるものはほとんどなく、注水法によるものが多いが、その例を表-10に示す。

シラスの分類については、まだ定まったものはないが、ここでは一応このようにして、平均値をそれぞれまとめたものである。つきにこの注水法によるもののほか、鹿児島市与次郎ヶ浜の水搬送によるシラスの埋立て地で揚水試験を行なったものに、 $k = 2.4 \times 10^{-2} \sim 8.3 \times 10^{-3}$ cm/secの値が得られているが、水で洗われているためシラス本来の組成を失い、むしろ軽石まじり粗粒砂とみた方がよいようである。また鹿児島市武町の南国日生ビルの基礎工に伴う揚水試験例では、 $N = 10$ 程度の二次シラスと

表-10 原位置透水試験による透水係数 (k , cm/sec) 測定例

	シラス I	シラス II	固結シラス	溶結凝灰岩
鹿児島県姶良郡横川町万善 ⁷⁾	1.5×10^{-4}	7.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	-
鹿児島県薩摩郡志布志町高吉 ⁷⁾	$1.5 \sim 2.0 \times 10^{-3}$	$4.9 \times 10^{-4} \sim 6.1 \times 10^{-4}$	$2.5 \sim 6.0 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-3} \sim 5.5 \times 10^{-4}$
宮崎県都城市西岳町高野 ⁹⁾	$1.0 \sim 1.5 \times 10^{-3}$	2.5×10^{-4}	$1.5 \times 10^{-1} \sim 7.0 \times 10^{-6}$	$7.9 \times 10^{-5} \sim 7.2 \times 10^{-7}$
鹿児島県鹿屋市高岡町下古園 高岡ダム左岸 ⁸⁾	1.02×10^{-4}	-	-	-

注) シラス I: いわゆるシラスといわれているもので、N値も40以下、表層に近い上位部にあるもの。

シラス II: Iと同じ未固結シラスであるが、N値が50以上にもなり、指圧程度で砂状になる。まれに節理があり、層位は下部にある。

固結シラス: IIよりは固結しているが溶結度低くハンマーで砕ける。

溶結凝灰岩: ハンマーでも砕けないいわゆる岩であるが、クラックの多少により値が大きく左右される。

みられるが、 $k = 10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ cm/sec}$ が得られている。

(4) 洗掘抵抗試験

土質試験法第6編4・2・4にあげた洗掘抵抗試験は、その噴射ノズル装置を原位置試験用のものと交換することによって、原位置試験も簡単に行なうことができる。

① 試験方法

試験に必要な洗掘抵抗試験器

(1) ポンプ装置 10 l/min程度の吐出能力があり、0.1~2.0 kg/cm^2 程度の範囲で一定水圧の連続した吐出水を得ることが可能なような、圧力制御装置を有するもの。

(2) 噴射ノズル装置 (図-33 参照) ノズルの先端は、近似内径3 mmのパイプを直角に切断したままとし、試験をしようとする面に対して、15 cmの距離から直角に水流を吐出できるようなホルダーを有するもの。なおパイプ先端と試験面との間には、水流をしゃ断することのできるようなシャッターを置く。ノズルとポンプ装置はビニール管などで連絡する。

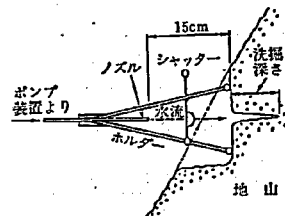


図-33 洗掘抵抗試験機の原位置試験用噴出ノズル装置

(3) ビトーマン式圧力計 ノズルより噴射される水流の水圧を測定するもので、0.05 kg/cm^2 程度の目盛で1~2 kg/cm^2 まで測定可能なもの。

(4) ストップウォッチ 0.1 sec 読みのもの

② 試験の方法

(1) 試験面の整正 試験を行なう地山や斜面を、スコップや整形定規などを使用して、乱さない鉛直な試験面を露出させる。

(2) 噴射水圧の調整 試験を行なう点と同じ高さにホルダーを保持して、試験面以外の水平方向に水流を飛ばし、ノズル先端にビトーマン式圧力計を当てて、ノズル先端水圧が0.5 kg/cm^2 になるようにポン

ブ装置を調整する。調整が終了したらシャッターを立てて、そのまま試験に移る。

(3) 試験 試験面にホルダーをあててシャッターを倒し、水流を試験面に飛ばす。水流を10秒間噴射させたら、シャッターを立てて水流をしゃ断する。水流によって洗掘された穴の深さを、デプスノギスまたは適宜な針金などで、mmの精度で測定する。

③ 試験の個数と整理

シラスは一般に、火山レキや軽石などが混入していることが多いので、1個所の試験個数は10個とし、その平均値を求める。洗掘抵抗値は、10秒間に洗掘された穴の深さをそのまま用いるか、あるいは室内試験値との比較に便利のように

$$\frac{12.7 \text{ (cm)}}{10 \text{ 秒間に洗掘された深さ (cm)}} \times 10 \text{ (sec)} = 12.7 \text{ cmを洗掘するに要する時間 (sec)}$$

で示す。

④ 洗掘抵抗試験の特徴

この試験は現場において、わりあいに簡単にしかも短時間に数多くの試験個数が得られる。このため同一個所の試験値の標準偏差などで示されるばらつきの度が、むしろ軽石などの混入程度を示す指標ともなるようである。また、この試験はたんに水に対する耐食性を示すのみならず、噴射水を一種の貫入体とする、貫入抵抗のようなものを測定しているものと考えられ、一種のセン断強さを示しているものと考えられる。

⑤ 測定例

洗掘抵抗試験の原位置における測定例は表-11に示した。

表-11 原位置における洗掘抵抗の測定例

測 定 場 所	測定値 (10秒間の洗掘深さ・cm)					平均 (cm)	標準偏差	* (sec)
熊本県水俣市田子の須	14.8	16.7	16.3	15.2	14.8	15.7	0.92	8.1
	14.2	15.2	17.0	16.5	16.3			
鹿児島県川内市上川内町桜井	6.1	5.9	10.8	9.0	10.2	8.7	2.44	14.6
	5.7	12.4	10.9	10.4	5.9			
" 日置郡東市来町江口浜	8.5	11.3	6.0	8.5	9.5	8.0	2.74	15.3
	12.0	3.8	8.0	3.2	9.0			
" 鹿児島市草牟田町城山	3.9	4.0	3.6	3.2	3.8	3.9	0.62	33.4
	4.0	5.2	3.6	4.4	2.8			
" 加世田市上津貫	11.8	17.9	15.7	10.1	13.6	13.6	2.34	9.5
	16.5	11.1	12.8	14.0	12.7			
" 鹿屋市上波川	2.8	3.8	2.1	5.0	5.5	3.5	1.18	38.5
	2.3	2.6	2.3	4.7	3.4			
" 姶良郡霧島町豊後迫	7.2	2.2	2.6	3.7	2.3	3.7	1.55	37.4
	2.4	5.1	4.9	4.0	2.6			
宮崎県西諸県郡野尻町天ヶ谷	22.5	20.4	26.5	21.0	22.3	22.3	1.54	5.7
	22.3	22.5	22.0	21.4	22.4			
" 北諸県郡高城町四家	11.4	6.0	15.4	15.8	15.0	12.3	3.59	9.5
	5.9	15.8	14.1	11.2	12.5			

* 12.7cmを洗掘するに要する時間に換算したもの

(5) 簡易貫入試験

図-34に示す簡易貫入試験機を使って50cmの高さより5kgのおもりを落下させ、その時の貫入量を測定し10cm貫入するのに要するウェートの落下回数を N_c として表わす。

試験機は総重量約10kgで、小型、軽量である。試験作業は最低2人ででき、据付、撤去、移動も容易である。足場の悪い急傾斜地では試験作業の他にこれに附随する据付、撤去、移動等が、作業全体の効率に影響する。本試験では1点当りの貫入深度が3~4m程度であることも考慮して1点当りの作業時間は30分以内である。したがって試験点数は多くとれ、元来「点」の調査法であるサウンディングを「面」の調査法に拡大でき、対象斜面の土層構成の面的な詳しい調査を行なうことができる。

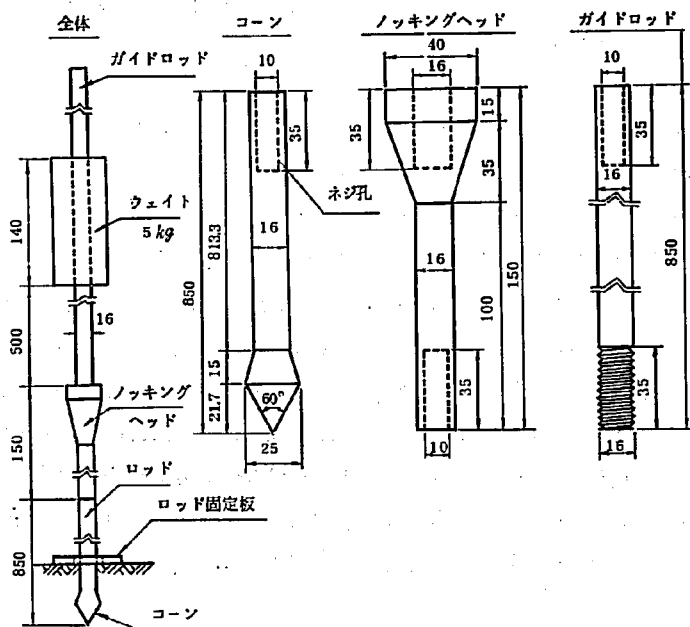


図-34 簡易貫入試験機 (単位: mm)

注意事項

- 1) この操作を繰り返し、10回のウェートの落下によってコーンが2cm程度しか貫入しなくなるまでつづける。
- 2) 試験中に明らかに軽石又は礫等のため貫入不能となった場合、あるいは他の測点、付近の地盤の状況からみて結果が不適と思われるような場合は、地点をずらせて再試験を行なう。
- 3) それぞれの単位貫入量を求め、これを10cm貫入当りの打撃回数になおして N_c を記録する。 N_c に換算したのを深度と N_c の貫入曲線を作る。

7. シラスの室内試験方法

乱した試料の試験

1 物理的性質の試験

土質工学会シラス研究委員会（委員長山内豊聡ほか21名）ではシラスの物理的性質を求める際に、現行のJISの方法をそのまま適用するのは適当でない面があるとして、シラスの物理的性質を求めるための試験方法（原案）を作成し、この規格に基づいてシラスの物理的性質に関する一斉試験を実施した。一斉試験は、試料調製、土粒子の比重、粒度、収縮定数、および遠心含水当量の各試験を対象とし、液性限界および塑性限界試験は、非塑性のシラスには意味がないとして除外された。

本節で述べるシラスの物理的性質の試験方法は、上記の一斉試験の結果をもとに試験方法（原案）を再検討し、その一部を修正して定められるものである。なお、シラスの遠心含水当量試験は、JIS A 1027 に規定される方法を忠実に行なえばよく、また収縮定数試験は、わずかな収縮量を示す風化シラス注¹⁾を除いて、一般のシラスの試験方法として有意性は認められないと結論された。

(1) 試験方法 以下に掲げるシラスの物理的性質の試験方法（試料調製方法、比重試験方法、および粒度試験方法）は、それぞれJIS A 1201, JIS A 1202, およびJIS A 1204の一部をつぎのように改めて行なうものとする。□で囲んだ番号は、おのおのJISで使用されている番号である。

シラスの粒度および物理試験のための試料調製方法

JIS A 1201 準拠、土質工学会シラス研究委員会案

1 適用範囲 この規格は、シラスを空気乾燥してシラスの粒度試験、および物理試験^{注2)}を行なう際に用いる試料の調製について規定する。

2.2 ときほごし用具 ゴム製またはビニール製などのうすい手袋。

3.1 現場から採取した土はじゅうぶんに空気乾燥し、土のかたまりは 2.2 に示す手袋をはめた指で土粒子を破損しないようにていねいにときほごす。

つぎに試験に必要な重量の試料を、分取器または円スイ四分法によってとり出す。

3.2 各試験に必要な試料の最小重量と、その試料をとり出すために使用するフルイは、表-12に示すとおりである。

表-12 試験に必要な空気乾燥試料重量

試 験	フルイ	必要最小重量 ^{注3)}
粒 度 試 験 ^{注4)}	2000 μ	一般のシラスでは115g、とくに細粒分の多いシラスでは85g
遠心含水当量試験	420 μ	50g

注1) 風化したシラスは、自然状態において淡紅色あるいは灰白色を呈し、ゆるくタイ積しており、含まれている軽石はやからかく、指先で簡単につぶすことができる。

2) ここでいう物理試験とは、遠心含水当量試験をいう。

3) この重量は各試験を1回行なうのに必要な最小重量を示す。

4) この粒度試験は2000 μ フルイ通過試料についてのもので、それぞれの重量は含水量測定のための約15gの試料を含む。一般の場合についてはシラスの粒度試験方法の中の表12に示す。

4.1 3.1 でとり出した試料の全重量を記録する。つぎに標準網フルイ 2000 μ でふるい分け⁵⁾、残留部分は 3.1 に規定する方法でさらに個々の粒子になるまでときほぐす。

これをふたたび標準網フルイ 2000 μ でふるい分け、残留した部分を除いて2回の通過部分を合わせてじゅうぶんに混合する。

シラス粒子の比重試験方法

JIS A 1202 準拠，土質工学会シラス研究委員会案

1. 適用範囲 この規格は、シラス粒子の比重を求めるための試験方法について規定する。

3.1 比重ビン 比重ビンは呼び容量100 mlのゲーリュサック形比重ビンとする。

4.2.1 試料は試験目的に応じた粒度区分のものをふるい出して用いる。試料は自然のままのものでも、炉乾燥したものでもよいが、その量は炉乾燥重量で10 g ~ 15 g とし、ふるい出し試料の中から分取器または円スイ四分法によって選ぶ。

ふるい出し試料の全重量に対する重量百分率を求めておく。

4.2.2 自然含水量のままの試料では、測定試験が終わってから炉乾燥して重量 W_g (g)を求める。

4.2.3 炉乾燥試料では110℃で一定重量になるまで少なくとも12時間炉乾燥し、デシケーターの中でさましたのちに重量 W_g (g)をはかる。

4.3.1 試料を比重ビンに入れ、さらに蒸留水を加えて全量がゲーリュサック形比重ビンの約1/2になるようにする。その場合に重量をあらかじめはかった試料では、その微量をも失わないように注意しなければならない。そののち約24時間放置する。

4.3.2 比重ビン中の気ほうを除くには、2時間以上静かに煮る。ときどき比重ビンを振り、気ほうの抜け出すのを助ける。

加熱した試料は室温になるまで放置する。

シラスの粒度試験方法

JIS A 1204 準拠，土質工学会シラス研究委員会案

1. 適用範囲 この規格は、シラスの粒度を求めるための試験に適用する。

3.2 カクハン棒 カクハン棒はピーカー中の水浸試料をかくはんするのに適したガラス棒とする。

3.3 ビーカー ビーカーは呼び容量約500 mlのものとする。

4.1 試料は、シラスの粒度および物理試験のための試料調製方法に従って準備する。試験に必要な空気乾燥試料の重量は表-12に示すとおりである。

注 5) フルイ分けは、シラスの粒度試験方法 5.2 に規定する方法で行なう。

4.2 粒度試験に用

いる全試料の重量 W' をはかったのち、これを標準フルイ 2,000 μ を用いて残留分と通過分とにわけおのおのの部分の重量 W_a および W_b をはかる。

つぎに、2,000 μ フルイ残留分の含水比 w_1 、および同フルイ通過分の含水比 w_2 を、おのおのの代表的試料について求める。次式により 2,000 μ フルイを通過した試料の炉乾燥重量 W_s 、および全試料の炉乾燥重量 W を求める。

表-12 粒度試験に必要な空気乾燥試料重量

	試料の最大粒径	必要最少重量 ^{注1)}
2,000 μ フルイに残留する試料	508 μ	2,000 g
	381 μ	1,500 g
	254 μ	1,000 g
	191 μ	700 g
	95.2 μ	500 g
	4,760 μ	250 g
2,000 μ フルイに通過する試料	2,000 μ	一般のシラス：115g、とくに細粒分の多いシラス：85g

注1) それぞれの重量は含水量測定のための試料を含む。

$$W_s = \frac{100 (W' - W_a)}{100 + w_2}$$

$$W = \frac{100 W_a}{100 + w_1} + \frac{100 (W' - W_a)}{100 + w_2}$$

6.2 フルイ分け作業に際しては、手でフルイに振動を与えながら上下および水平方向に動かし、試料が絶えずフルイ面に広がっているようにする。フルイ分けの時間は3分間とする。

6.2 この項削除。

6.3.1 2,000 μ フルイを通過した空気乾燥試料から、一般のシラスでは約100g、とくに細粒分の多いシラスでは70gを分取器または円スイ四分法によって選り、重量をはかってからつぎに述べる方法によって分散させる。

6.3.2 試料をビーカーに入れ、完全に浸るまで(200mlまたはそれ以上)蒸留水を静かに加えながら様にかき混ぜる。それを約24時間放置したのち、テトラリン酸ナトリウム0.5gを約200mlの蒸留水にじゅうぶん溶かした溶液²⁾をビーカーに加え、カクハン棒で1分間かき混ぜる。

6.3.3 この項削除。

7.1.1 各フルイごとに残留した試料の炉乾燥重量を4.2の計算式に準じて求める。求めた各炉乾燥試料の重量百分率を、2,000 μ フルイ残留試料の炉乾燥重量および全試料の炉乾燥重量に対して求める。

以下試料の重量は、すべて炉乾燥試料の重量を意味するものとする。

注2) テトラリン酸ナトリウムを蒸留水に溶かす際は、常温でじゅうぶん溶けるまで時間をかけて行かなければならない。

(2) 試験方法の解説 シラスの物理試験を行なう際は、物理試験についての一般的な注意のほかに、つぎの諸点に留意しなければならない。

1) シラスはきわめて摩耗、破碎されやすい粒子を多量含んでいる。

ii) 粗粒分は一般に多孔質(軽石)であり、その内部に保有する空気または水分の量は無視できない。

iii) 粒子比重は、粒径によって大きな差がある。

以上のことは、とりも直さずシラスと称される土の特殊な一面を表わすもので、シラスの物理試験のための規格は、従来のJISの方法に上記の留意事項をとり入れて作られたものである。

まず、留意事項 i) は、試料調製方法の **2.2** , **3.1** , **4.1** , および粒度試験方法の **3.2** , **5.2** , **6.3.2** の各項にとり入れられている。この中で、フルイ分けの時間を手で3分間と規定したのはつぎの理由による。自然粒度のシラスを、2000 μ フルイでふるい分けるとして、JIS A 1204 5.2項の規定を満足するには20数分を要することがある。その場合、フルイに残留した試料は明らかに摩滅している。一方、同じ試料を水流(水道水)を使ってじゅうぶんに水フルイした場合の2000 μ フルイ残留率は、2~3分間空気中でふるい分けした場合の残留率に近い値を示すことが多い。以上のような経験的事実と、粒度試験のもつ重要さの限度を考えて、フルイ分けは手で3分間行なうこととした。

つぎに ii) は、比重試験の **4.3.1** , **4.3.2** , および粒度試験の **4.2** , **7.1.1** 各項で考慮されている。すなわち、シラスに含まれる多孔質の粗粒分は、粒径が大きくなるに従って粒子内部の独立した間げきの量も増す。それゆえ、一般的に行なわれる程度の空気乾燥時間では、その保有水分を乾燥させ得ない場合も生じる(粒度試験)。これとは反対に、よく乾燥された試料では、粒子が水をじゅうぶんに吸収するまでにかなりの時間を要する(比重試験)。

留意事項 iii) は、比重試験に用いる試料の選定 **4.2.1** (次項問題点を参照のこと)、粒度試験における試料の必要重量 **4.1** の規定としてとり入れられている。また、粗粒分と細粒分の比重差が大きいために、両者はきわめて分離しやすい。したがって、代表的試料を選ぶ際は、たとえそれが少量であっても、厳密に分取器または円スィ四分法によって行なわなければ試料に片寄りをきたす(比重試験 **4.2.1** , 粒度試験 **6.3.1**)。

(3) 問題点

i) フルイ分けについて、フルイ分けの程度を時間で規制したことには問題が残されている。一概にシラスといっても、成因の複雑多様な広い範囲の土を含んでいるから、一つの規格でその性質を表わすことは合理的でない場合も生じる。シラスのフルイ分けの規格はその例であるが、試験方法の解説の中で述べた理由や、実際的事実などから、時間による規制を採用したものである。しかし、この規格をより合理的なものにするために、今後数多くの試料について、フルイ分け時間、フルイ分け方法(手フルイ、機械フルイ、水中フルイ)などについて比較検討していく必要がある。

ii) 比重試験を行なう試料について、比重試験を行なう場合に、試験の目的を省みず半ば習慣的に、2000 μ 以下の試料を代表試料として用いている場合も少なくない。シラスのように粒径によって粒子比重が著しく異なる土では、目的をよく認識した上で比重試験を行なうことがとくに重要である。しかしながら、シラスの粒度試験の計算には74 μ フルイ通過試料の比重測定値を用いるべきではないか、また、レキ分(軽石)を多く含む試料の平均的比重はどのようにして求めるのが適当か、などの議論に対する

結論はまだ得ていない。各試験者は、これらのことをよく考慮して、目的にかなった試験を行なうよう要望したい。(参考：(4)で述べる一斉試験では、粒度試験の計算には2000 μ フルイ通過試料の比重が用いられた。)

iii) 比重測定値を計算に用いる場合の問題点、シラス粒子の比重は、粒子内部の間げきをもできるだけ水と置換えた状態(24時間水浸、2時間煮沸)で測定される。この測定値を用いて間げき比を計算すれば、当然従来の間げき比の概念とは違った少し大きな値が得られることに注意しなければならない。飽和度の計算、突固め試験におけるゼロ空気間げき曲線のとり扱いにおいても同様の注意を払わねばならない。

(4) 一斉試験の結果 先に述べたシラスの物理的性質に関する一斉試験の結果を示す。一斉試験は、鹿児島市小山田町大迫で採取した試料を、分割、密封のうえ、シラス研究委員会委員の属する3大学8研究室(九州大学3、宮崎大学2、鹿児島大学3)に送り、昭和42年7月労同年11月にわたって行なわれた。

i) 比重試験結果(シラス粒子の比重試験方法による)

一斉試験の結果から、つぎのことがいえよう。a. 最大粒径の大きな試料ほど比重は小さい。b. 自然粒度の試料に比べて破砕試料の比重は小さい。c. 最大粒径の大きな試料ほど測定値のバラツキは大きくなる傾向がある。

ii) 粒度試験結果(シラスの粒度試験方法による)

表-13 シラスの比重測定値

試 料	測 定 値			平均値の ^{注1)}	
	最大値	最小値	平均値	確認誤差	
自然粒度の試料	48mm>D>2.0mm ^{注2)}	2140	1856	1971	± 0.020
	2.0mm>D	2445	2377	2416	± 0.005
	0.074mm>D	2493	2399	2420	± 0.007
破 碎 試 料 ^{注3)}	48mm>D>2.0mm	1937	1738	1812	± 0.015
	2.0mm>D	2338	2180	2248	± 0.010
	0.074mm>D	2434	2354	2394	± 0.005

注1) 平均値の確率誤差 = $\pm 0.6745 \sqrt{\sum v^2 / n(n-1)}$, ここに v = 偏差, n = 測定数 = 9

注2) D = 試料粒径

注3) 破砕試料とは、19.1mm>D>4.76mmの試料を各粒度に粉碎調整したもの。

iii) 遠心含水当量試験結果(JISA1207による)

(5) 試験結果の利用法 シラスの物理試験の結果をどのように利用するかは、一般の土の場合と変らない。しかし、試験結果の利用に際しは、(3)問題点の中で指摘しておいたことに注意するほかに、シラスは特異な粒子形状を有していることなどから、同じ粒度の一般の砂質土に比べて、毛管ポテンシャル

表-14 シラスの粒度試験結果

粒 度 区 別	測 定 値			平均値の 確立誤差
	最大値	最小値	平均値	
レキ(分%)	229	17.0	19.0	± 0.40
砂(分%)	648	57.0	61.2	± 0.60
シルト(分%)	200	9.1	15.2	± 0.79
粘土(分%)	7.0	3.0	4.3	± 0.27

じ粒度の一般の砂質土に比べて、毛管ポテンシャルは高いと考えられていることを考慮すべきであろう。

2 セン断試験

(1) 試験方法 一般に直接型のセン断試験は排水条件や応力条件が完全に規制できないこと、試験方法や試験機の型式が多様であること、また間接型のセン断試験のうち一軸圧縮試験は試験目的から考えてシラスのような粒状土にはあまり行なわれないので、ここでは三軸圧縮試験に主体をおいて述べる。ただし、試料の準備、供試体の作製用具、および湿潤試料を用いた供試体の作製方法は一軸圧縮試験に対しても適用できる。

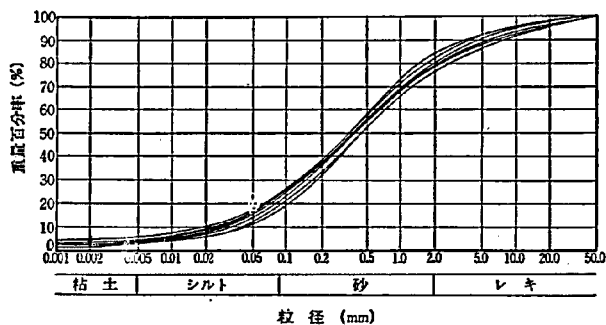


図-35 シラスの粒径加積曲線

表-15 シラスの遠心含水当量測定値

試 験	測 定 値			平均値の 確率誤差
	最大値	最小値	平均値	
遠心含水当量(%)	8.7	5.7	8.0	± 0.25

i) 試料準備 現場から採取したシラスは、室内でなるべく薄く広げてじゅうぶんに空気乾燥させたあと、標準網フルイ4.760mmによってふるい分ける。このフルイを通過した部分から試験に必要な量の試料を分取器または円スィ四分法によってとり出す。ここに試験に必要な量は、供試体1個を作るために必要な量と供試体の所要個数によってあらかじめ知ることができる。

ii) 供試体の作製用具 直径5.0cm、高さ12.5cmの供試体を作製するための用具の寸法を示す。供試体の大きさが異なる場合は、直径と高さの比を1:2.5として適宜寸法を変える。図-36は湿潤試料の二つ割りモールドで、底面から長さ125mmのところに供試体の高さ調整用のきざみ線をつける。図-37は鉄製の締固め用具で、その重さはとくに規定しない。図-38は乾燥試料用の二つ割りモールド、および図-39はモールド締めつけ用の鉄製バンドである。二つ割りモールドには2個所にバンド締めつけ用のミゾをつける。また図-36のモールドは図-38のそれによって代用することができるが、この場合試料の突固めのときやや不便である。

iii) 供試体の作製方法およびセット

a. 湿潤試料 ア) とり出した空気乾燥試料に適当量の水を加え、水分が均一になるようにかき混ぜたあと、それをビニール袋に入れ、水分の蒸発を防ぐようにして24時間以上放置する。その後試料の含水量を測定する。

イ) 図-36のモールドをバンドで締めつけ、125mmのきざみ線が上になるようにしてコンクリートなどのかたい床面に置き、ビニール袋から適当量の試料を取り出してモールドに入れ図-37の締固め用具で突固める。突固めの層数および各層ごとの突固めの回数は作製する供試体の密度に応じて決める。突

側を木づちでたたいて試料を締固める。乾燥試料は突固めよりも振動によるほうがよく締固まる。ゆるい密度の供試体を作るときはモールドに試料を一様に注ぎこむだけとする。試料を注ぎこむ際にゴムスリーブにひだがないようにするために、軽く引伸ばしながら試料を注ぎこむ。締固めの条件は記録しておく。締固めが終わった供試体の上端は密度が小さいので適当量の余盛りをして、平らにしてから口紙を敷き、キャップをのせ、ゴムスリーブをゴムバンドでかたくシールする。

ⅰ) 供試体に水銀柱で約 100mm の真空をかけて、それを自立させ高さと直径を測定する。供試体作製前の試料の重さと作製後の残留試料の差を供試体の重さとする。これらの値は供試体の間ゲキ比や密度の計算に用いる。

ⅱ) 供試体の飽和および圧密

a. 三軸室を組立て、三軸室に徐々に給水し、三軸室内の静水圧によって供試体の破壊を防ぐ。

b. 供試体の飽和を必要とするものは、キャップを通してその上面から水銀柱で約 200mm の真空をかけて、ペDESTALを通して下面から徐々に給水して飽和させる。飽和が終わったら真空を完全に解放する。飽和中のこの程度の真空度は供試体の密度に影響しない。

c. 圧密を必要とする試験においては、供試体に拘束圧を加え、拘束圧による供試体の体積変化がなくなるまで圧密する。圧密は 1 時間以内でほとんど終了する。圧密に要した時間と体積変化量は記録しておく。1 時間以上経過しても体積変化測定用ビレットの水位が動くときは、ゴムスリーブのシールが完全でないが、ゴムスリーブに小穴があいている。また数回用いたゴムスリーブは水が浸透することがある。このような場合は新たな試料を用いて供試体の作製からやり直す。

v) 供試体の圧縮 ヒズミ制御による場合、圧縮ヒズミ速さは供試体の透水係数と排水条件（片面排水か両面排水か）を考慮して決定する。ふつう両面排水の場合、供試体高さの 1.0 mm/min を標準とする。1 回試験に用いた試料はふたたび用いない。

(2) 問題点 試料の最大粒径はセン断強さに影響を及ぼす。ここでは直径 5.0 cm、高さ 12.5 cm の供試体の標準として、それを 4.760μ とした。供試体の大きさ、あるいは試験の目的などによっては、この最大粒径は変えてもよい。ただし粒径の大きい軽石レキを多量に含む供試体にあつては、間ゲキ比や飽和度の計算に問題が残る。

供試体の作製において飽和供試体の場合、図-41 のようにセットしたモールド内にあらかじめ給水しておき、その水中に乾燥試料を注ぎこむ方法¹⁾が砂に用いられるが、この方法はシラスのように軽石レキを含む試料では粒径の片寄りが生じ、均等な供試体の作製ができないので不適当である。また突固め

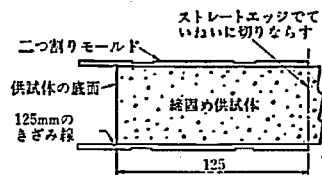


図-40 締固め供試体の高さの調整 (単位mm)

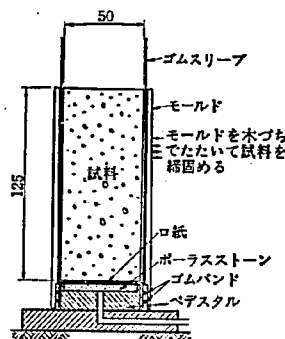


図-41 乾燥試料を用いた供試体の作製 (単位mm)

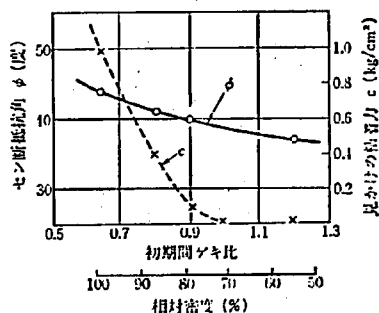


図-42 乱したシルスの一面せん断試験結果。供試体の厚さ20mm, 直径100mm (鹿児島市宇宿町二軒家屋産) (難波・若松)

用具として供試体直径の約1/2の金属棒を用いることが砂に対して提案されている¹⁾。これも均等な供試体を作るためには好ましくない。

さらに軽石レキを多く含む供試体を飽和させる場合、軽石自体多くの間げきを有しており、飽和が困難である。このような

場合は空気乾燥状態において軽石レキをふるい分け、これを数日間水浸させておく。軽石レキを除いた部分に適量の水を加えてかき混ぜたあと、水浸させておいた軽石レキを加えじゅうぶんに混合して湿潤試料とする。

また直接(一面)せん断試験を行なう場合、せん断箱の移動形式によっては、試料とせん断箱との摩擦がせん断強さに影響する。側面摩擦の適切な補正方法がないので、側面摩擦のできるだけ少ない型の試験機や大型のせん断箱を有する試験機を用いることが望ましい。

たとえば図-42は厚さ20mm, 直径100mmの供試体に関する一面せん断試験結果²⁾であり、妥当な値を示していると考えられるが、厚さ20mm, 直径60mmの供試体に関する試験結果³⁾は図-43に示されるように、側面摩擦を補正⁴⁾しても非常に過大な値である。したがってできるだけ三軸試験を行なう方が望ましく、一面せん断試験を行なう場合、上述の注意が必要である。

(3) 試験例 乱したシルスの一面せん断試験結果の例を図-42および図-43に、三軸圧縮試験結果の例を表-16, および図-44および図-45に示す。

(4) 試験結果の利用法 セン断試験によって求めた粘着力とせん断抵抗角は、地盤支持力、土圧、お

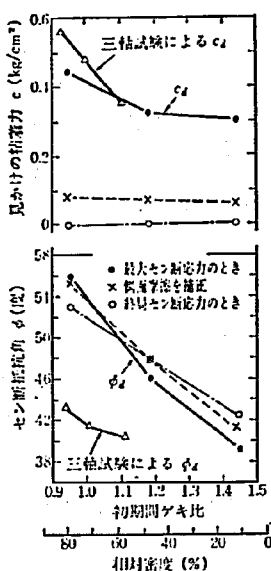


図-43 乱したシルスの空気乾燥状態における一面せん断試験結果。供試体の厚さ20mm, 直径60mm, セン断箱は上部固定, 下部移動型。(鹿児島市鴨池町唐湊産) (春山内)

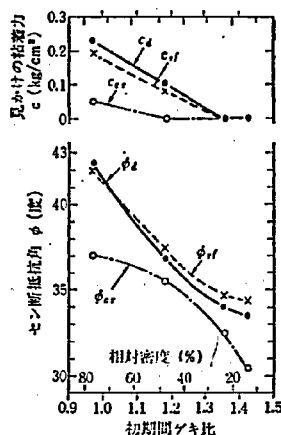


図-44 乱したシルスの飽和状態における排水三軸圧縮試験結果。 c_d, ϕ_d : 最大せん断強さ, c_{rf}, ϕ_{rf} : 表面エネルギーを補正したせん断強さ, c_{df}, ϕ_{df} : 終局せん断強さのパラメーター (鹿児島市鴨池町唐湊産) (春山・山内)

よび斜面安定などの計算に利用される。これらに利用される強度定数は現場の条件に等しい試験条件のもとで求められたものでなければならない。

3 透水試験

透水試験法としてシラスの場合、とくにふつうの土と違った取り扱いをする必要はないと思われるが、つぎのような問題点があると思われるので述べておきたい。

表-16 乱したシラスの飽和状態における三軸圧縮試験結果
(宮崎県高城町四家および同野尻町梅久保産) (藤本ほか)

試料	間 ゲキ 比	圧密非排水試験				排水試験			
		全応力表示		有効応力表示		表面エネルギーの補正をしない場合		表面エネルギーの補正をした場合	
		c_{cu} (kg/cm ²)	ϕ_{cu} (度)	c' (kg/cm ²)	ϕ' (度)	c_d (kg/cm ²)	ϕ_d (度)	c_d^f (kg/cm ²)	ϕ_d^f (度)
四家シラス	1.020	0.810	41.8	0.520	46.4	0.520	46.3	0.480	45.0
	1.192	—	—	—	—	0.300	43.0	0.250	43.0
	1.429	—	—	—	—	0.400	36.4	0.380	35.3
梅久保シラス	0.962	0.650	31.5	0.350	42.0	0.350	43.0	0.300	43.1

(1) 問題点

i) 供試体の作製について 供試体を作製するには試料の最大粒径が供試体直径の1/20以内であることが透水円筒周壁の透水の影響を防ぐ意味から要求されているから、突固め試験用の10cmモールドがこの場合に用いられるとすると最大粒径は5mm、つまり4,760 μ 以下を用いる突固め試験そのままのものでよいことは、ふつうの土の場合と変わりはない。ただシラスの場合に、その粒子の性質および粒度からこれが許されるかどうかである。

まず突固めのランマーによって粒子が破碎されることの検討についてであるが、ある試料についてつぎのような結果が得られた。

図中二重丸は突固めをしない自然試料のものである。すなわち、わずかではあるが細粒子の増加が認められる。このことは粒径分布の面から無視してよいのかもしれないが、透水試験の場合にこれがどれほど影響するか問題であろう。

つぎに自然の粒度に対して、この試験の場合4,760 μ 以上がカットされることについてであるが、鹿児島湾北部周辺のいわゆる粗粒部分の多い粒度組成のシラスの場合は、4,760 μ 以上の粒子の占める重量百分率が10~15%にも達するから、室内試験の値を実際の現地に適用する場合に、この粒度上からの問題が残る。

ii) 試料の飽和について 試料を飽和させる場合、真空吸引によることはふつうの土と同様でよいと思われるが、その減圧の程度およびその時間に問題があると思われる。

すなわち飽和度を高めるために、ふつう600mmHgまでも減圧し、シラスの場合は砂質のために、この吸引による水の上昇は20~30分とかなり早く外見上は処理が終わったように見える。ところがシラス

の比重試験の浸水時間（24時間）ならびに煮沸時間（2時間）がふつうの土より長くとらえられていることでもうかがえるように、シラスはその粒子表面の粗度があらく、かつ複雑に入りくんだ多孔質の粒子からなっているために、粒子の内外から脱気することはとうてい先に述べたような短時間では不可能である。

また、この吸引を行なった場合必ずといってよいほど、この上昇水の中に細粒子の混入が見られる。これは試料の上端に設置する黄銅金網の目の開き（74 μ ）がシラスを構成している粒子に比べて適当でないのかもしれないが、たとえこのために、さらに細かい網または口紙を使用したとしても、この細粒子が突固められた供試体の内部構造の変化による流出粒子であるとしたら、この流出細粒子が単に口紙の下面にとどまるだけで適正な供試体の飽和法とはいえない。

この二つの問題のためには、減圧の程度を低くして吸引時間を長くすることも一つの方法であろう。一例として、300 mm Hg および 500 mm Hg の場合、それぞれ60分および40分で吸引が終わり上昇水にも微細粒子は認められないが、600 mm Hg の場合は30分くらいで吸引は終わるが微細粒子が混じっていた。

iii) 経時変化について これはシラスにかぎったことではないが、測定時間の経過につれて透水係数の値は、あとの試験例にもあるように指数関数的に減少することが認められる。これが何によるものか明確でないで、その数値のとり扱いに問題が残るが、できればこの経時変化を求めておくことが望ましいと考える。

(2) 試験例 (1)に述べたように問題点として幾つかのものが考えられるので、試験例として必ずしも適切な方法によったものではないが、比重 2.414、乾燥密度 1.305 g/cm³、間ゲキ比 0.862、飽和度 93.0 % のとき、飽和直後 9.33×10^{-5} cm/sec、1 時間後 4.13×10^{-5} cm/sec、24 時間後 1.13×10^{-5} cm/sec（鹿児島市小山田町大迫産）の値が一例として得られており、試験方法としては変水位による方法が適用できるようである。また乾燥密度によっては、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sec の場合も当然あり、このときは定水位による方法も可能であるが、脱気水を用いることから変水位によるのが妥当である。

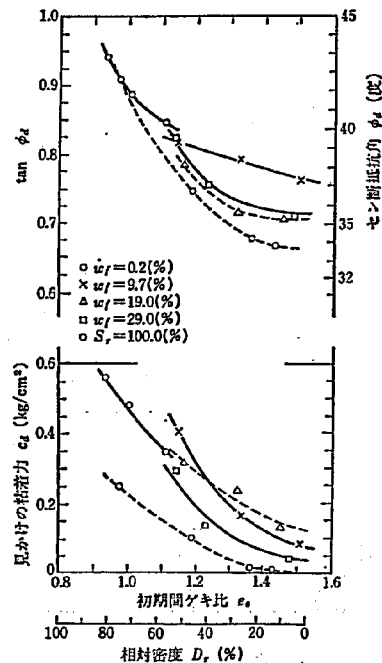


図-45 乱したシラスの含水比別の強度定数と密度の関係
(鹿児島市鴨池町唐湊産)
(春山・山内)

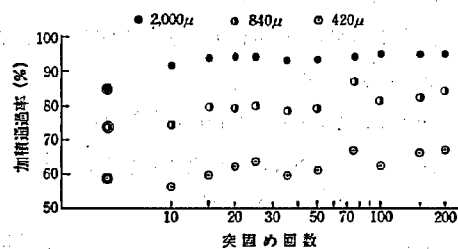


図-46 突固めによるシラス粒子の破碎

4 洗掘抵抗試験

シラスは水流の洗掘に対する抵抗性に乏しいが、これを測定する方法の一つとして建設機械化研究所によりこの試験方法が考案された。ここで洗掘抵抗とは、水流に対する土の抵抗力で、一定水圧の細い水流が供試体を貫通するのに要した時間または水量で表わす。

(1) 試験方法

i) 試験に必要な器具は洗掘抵抗試験機、供試体作製用具および含水比測定用具で、その詳細はつぎのとおりである。

a. 洗掘抵抗試験機は以下に示すようなものからなる(図-47参照)。

ア) ポンプ装置 10ℓ/min程度の吐出能力があり、0.1～0.2 kg/cm²程度の範囲で一定水圧の連続した吐出水を得ることが可能なような圧力制御装置を有するもの。

イ) 噴射ノズル装置 ノズルの先端は近似的に内径3mmのパイプを直角に切断したままとし、供試体との間隔は15cmとする。ノズルと供試体との間にはシャッターを設ける。ノズル、シャッターおよび供試体架台は水平な共通の台の上に置き、ノズルの噴射方向と供試体の中心線は一致するようにする。ノズルとポンプ装置はビニール管などで連結する。

ウ) ピトー管式圧力計 ノズルより噴射される水流の水圧を測定するもので、0.05 kg/cm²程度の目盛りで1～2 kg/cm²まで測定可能なもの。

エ) ストップウォッチ 0.1秒読みのもの。

b. 供試体作製用具はJIS A 1210(突固めによる土の締固め試験方法)に規定された試験用具を使用するが、突固めは第1方法により、モールドは10cmモールドとする。

c. 含水比測定用具はJIS A 1203(土の含水量試験方法)に規定された試験用具を使用する。

ii) 試験の方法はつぎの手順による。

a. 供試体の作製 JIS A 1210 の試験方法 3.4.1 に規定された方法によって突固め供試体を作製し、土の単位体積当たりの湿潤重量 γ_t (g/cm³)を求める。突固めた供試体そのまま洗掘抵抗測定の供試体となるので、含水比は突固め開始直前のよくかき混ぜた試料からとりだして測定する。含水量はJIS A 1203の方法によって求める。

b. 試験の準備 供試体モールドよりカラーおよび底板をとりはずし、モールドに供試体を保持したまま供試体架台に底板側をノズルに向けて、ノズル先端と15cmの間隔を置いてのせる。つぎにシャッターを立てて供試体に水流が当たらないようにして洗掘抵抗試験を作動させ、ノズル先端にピトー管式圧力計を当ててノ

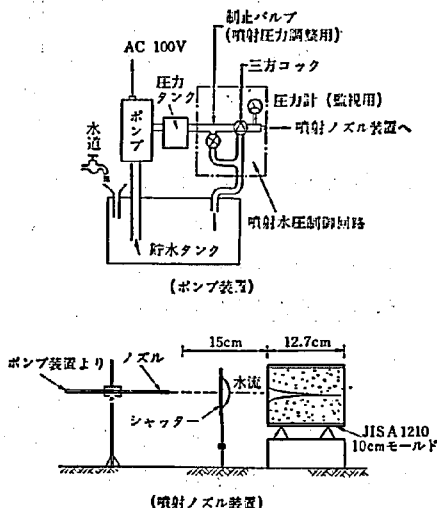


図-47 洗掘抵抗試験機の概略

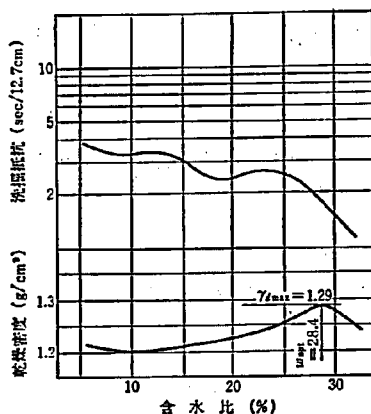


図-48 代表的なシラスの含水比、乾燥密度、洗掘抵抗曲線図
(鹿児島県鹿屋市上抜川笠野原台地産)

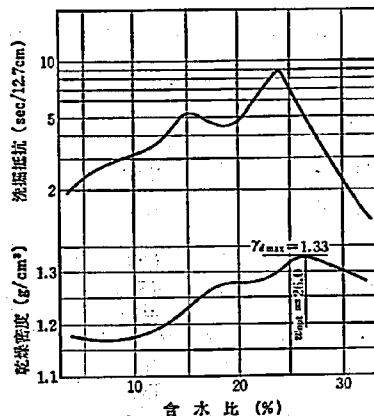


図-49 他のシラスの含水比、乾燥密度、洗掘抵抗曲線図例
(鹿児島県鹿屋市池園町産)

ズル先端水圧が 0.5 kg/cm^2 になるように調整する。

c. 試験 シャッターを倒して水流を供試体に当て、水流が供試体を洗掘してノズルの反対側に貫通するまでの時間をストップウォッチで測定する。この洗掘抵抗測定も、JIS A 1210 で行なわれるように、含水比を少しずつ変えて供試体を作って行なう。含水比の上限は湿潤重量が減少するまで行なう。

Ⅲ) 試験結果の調整はつぎのようにする。

a. 計算 供試体の含水比および乾燥密度は JIS A 1210 の方法により計算で求める。供試体の洗掘抵抗は貫通時間 (sec/12.7cm) をそのまま示すか、あるいは貫通に要した水量 (cm) で表わす。

b. 含水量と乾燥密度および洗掘抵抗との関係 含水量と乾燥密度との関係は、JIS A 1210 と同様に、乾燥密度を算術目盛の方眼紙の縦軸に、含水比を横軸にとって描く。洗掘抵抗は、この乾燥密度-含水比関係図の上に、横軸の含水比はまったく同じ目盛りを使用し、縦軸には洗掘抵抗を対数目盛りにとって描く (図-48 参照)。

(2) 代表的な測定値 乱したシラスの洗掘抵抗を含水比との関連において、JIS A 1210 の規格による突固め試験と並行して測定すると、シラスはその産地によって幾つかの類型に分けられるようである。そのうちでもっとも分布が広い型は、図-48 のような特性を示しており、これがシラスの代表型と考えられる。このほかの型としては、1 例として図-49 あるいは図-50 のような特性をもっているものもある。

(3) 試験結果の利用法 乱したシラスの洗掘抵抗試験の結果、産地によっていくらか特性の差異はあるが、いずれの場合でもシラスは少なくとも突固めの最適含水比より乾燥側において洗掘抵抗は大きく、

含水比が大きくなると洗掘抵抗は急に小さくなることが多い。このためシラスを盛土などの材料とする場合に、締固め度を密度で規定する方式では、規定された密度を満足する含水比の両端では洗掘抵抗の値は数倍から数拾倍も異なった値を示してしまう。このようなことから侵食に対する抵抗が重要な問題となることが多いシラスの盛土では、在来の締固め規定だけでなく、洗掘抵抗値の使用も検討することが必要であると考えられる。

乱さない試料の試験

1 物理的性質の試験

(1) 顕微鏡観察 シラスの粒子は特異な形状を示しているため、それがシラスの工学的性質に及ぼす影響は非常に大きい。したがって顕微鏡観察を行ない、つぎに述べるような性質を調べることが望ましい。

現場から採取してきたシラスのかたまりを指先で二つに割ってできた面を実体顕微鏡で観察し、シラスの構造、粒子の大きさ、粒子の形、粒子表面の状態、および粒子の組成（軽石、火山ガラス、安山岩などの異質粒子）などを調べ記録する。構造を観察する場合、二つに割ってできた面をヘラなどで削って平面にしたりすることは、構造を乱すので行わないようにする。表-17は肉眼的・顕微鏡的観察の1例であり、写真-1は乱した状態における顕微鏡写真の例である。

(2) 密度の測定 サンプルングされた乱さないシラスについての密度、すなわち単位体積重量試験は、重さの測定と体積の測定から成る。また、これに付随して含水量の測定も行なう。ここでは、体積測定上の問題がもっとも大きい。シラスは軽石質の大きなレキを多く含んでいるので、成形することが困難であり、したがって成形法⁹⁾は採用できない。パラフィン塗付法⁹⁾はパラフィン溶融温度に注意しても、パラフィンはシラスの間げきや軽石の組織の中に浸透するため、正確な体積の測定はできない。また、測定精度をよくするためにかなり大きい供試体を用いる必要がある。したがって水銀法⁹⁾は気

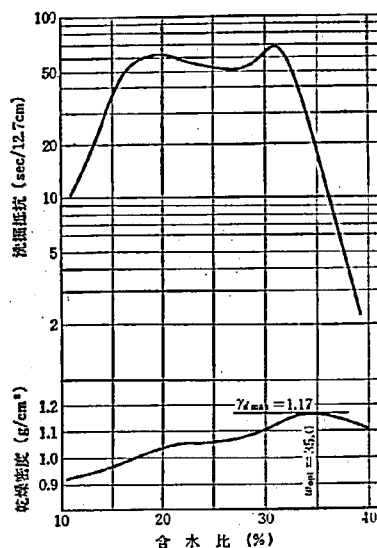
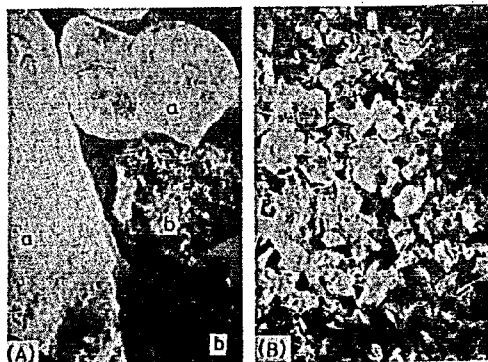


図-50 他のシラスの含水比、乾燥密度、洗掘抵抗曲線例（宮崎県北諸県郡高城町産）



(A) 粒径820~2000 μ , aはガラス質粒子, bは安山岩破碎粒子
(B) 粒径74~420 μ

写真-1 シラス粒子の顕微鏡写真（春山・山内）

表-17 シラスの組成鉱物の特徴および量的割合(大庭・露木・海老原)

名 称	始 良 シ ラ ス			池田シラス	阿 多 シ ラ ス	
採 取 地	鹿 児 島 市	谷 山 市	大崎町 志布志町 出水市 枕崎市	池 田 湖 池 崎	大 根 占 町	知 覧 町 浦 門
採 取 者	露 木	大 庭	大庭・藤宮	大 庭	大庭・露木	池 上
色・外 観	灰白色。大きな 軽石、安山岩レ キを多量に含む。	灰白色、軽石レ キ(直径1~3 cm)を多く含む 黒色安山岩レキ を少量含む。	灰白~暗灰色細 粒。軽石および 少量の安山岩レ キを含む。出水 産のものは軽石 が小さい。	灰白色細粒。 軽石を多く含む 少量の黒色安山 岩レキを含む。	帯かっ暗灰色。 多量の軽石およ び少量の安山岩 レキを含む。弱 熔結。	暗灰色、水分 を含むものは 黒色。軽石お よび少量の安 山岩レキを含 む。
組成鉱物の特徴 (鏡 下)	火山ガラスには 無~かっ色透明 破片をなすもの。 白・灰・かっ色 繊維状(流状) ~海綿状集合体 をなすものがある。 斜長石・シ ン輝石に球か 觸状(発ほう 状)かっ色ガラ ス質物質が認め られる。緑色ふ つつ角セン石は 新鮮。シン輝石 の多色性。 X=黄~とう (橙)色。 Z=緑~濃緑色。 G>Pl>Hy >Q	発ほう状を呈す る火山ガラス、 赤鉄鉱あるいは かっ鉄鉱、多数 の自形正八面体 磁鉄鉱が認めら れる。 G>Pl>Hy >Q>Mt> Au	火山ガラスは白 ~帯赤かっ色不 規則海綿状~流 状繊維状集合体 および無~かっ 色透明破片を呈 する。大崎・志 布志産のものは、 他地域産のもの に比べ、自形正 八面体磁鉄鉱に とみ、火山ガラ スは黒~赤かっ 色微粒子を多数 包有している。 G>Pl>Hy >Q	鹿児島4に類似。 ふつつ角セン石 の多色性。 X=帯緑黄色、 Z=帯かっ緑 色。 G>Pl>Hy >Q>Mt> Au>Hb	無色透明新鮮な 火山ガラスのほ かに、赤~黒色 酸化鉄質物質を もつ海綿状~繊 維状火山ガラス、 この種の火山ガ ラスをもつ透明 ガラスおよび斜 長石が多数認め られる。球状気 ほうをもつシン 輝石が認められ る。石英は認め られない。 シン輝石・普通 輝石ともに多い。 G>Pl>Hy >Au>Mt> Hb	左によく類似。 ただし石英が 認められる。 G>Pl>Hy >Au>Q> Mt>Hb

表-18 乱さないシラスの密度(単位体積重量)の測定例

調査名・目的 試験採取箇所 鹿児島県池田町唐湊 試験採取期日 昭和43年6月6日 試験期日 昭和43年6月6日 試験者 某 土 質 シラス 色 調 灰白色 土粒子の比重 $G_s = 2.38$						
試料番号	1	2	3	4	5	平 均
採土筒番号	21	22	23	24	25	
(湿潤試料)+(採土筒)の重さ $W_1(g)$	477.7	463.4	470.2	445.4	459.3	
採土筒の重さ $W_2(g)$	167.5	170.5	169.4	167.0	168.0	
湿潤試料の重さ $W = W_1 - W_2(g)$	310.2	292.9	300.8	278.4	291.3	
採土筒	内 径 $D (cm)$	4.95	4.97	4.99	4.96	4.97
	高 さ $H (cm)$	12.51	12.45	12.49	12.51	12.49
	体 積 $V = \frac{\pi}{4} D^2 H (cm^3)$	240.69	241.70	244.29	241.69	242.31
湿潤密度 $\gamma_t = W/V (g/cm^3)$	1.289	1.212	1.231	1.152	1.202	1.217
含 水 比 $w (\%)$	1.46	1.37	1.55	1.58	1.48	1.49
乾燥密度 $\gamma_d = 100 \gamma_t / (100 + w)$	1.125	1.066	1.066	0.995	1.047	1.060
間ゲキ比 $e = (G_s \cdot \gamma_w / \gamma_d) - 1$	1.116	1.233	1.233	1.392	1.273	1.249
飽 和 度 $S = w G_s / e (\%)$	31.1	26.4	29.9	27.0	27.7	28.4

表-19 乱さないシラスの密度の測定例

場 所	土 粒 子 の 比 重	自然含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm^3)	乾燥密度 (g/cm^3)	間ゲキ比	飽 和 度 (%)
鹿児島県垂水市 野※ ¹⁰⁾	2.51	27.8	1.34	1.04	1.41	50.1
“ 大隅町笠木原馬渡谷 ¹⁰⁾	2.38	26.4	1.31	1.03	1.31	48.3
鹿児島市郡元町唐湊 ¹¹⁾	2.38	15~24	1.37~1.47	1.19	1.0	36~56
“ 鴨池町唐湊 ¹²⁾	2.37	22.3	1.26	1.03	1.30	40.7
“ 上之原 ¹³⁾ () 内は平均	2.46	19.4~26.4 (22.1)	1.16~1.47 (1.36)	0.96~1.19 (1.11)	1.06~1.56 (1.21)	32.8~54.3 (44.9)
宮崎県高城町四家 ¹⁴⁾	2.32~2.44	25.2~32.8	1.240~1.468	0.975~1.147	1.04~1.50	45.0~63.0
“ えびの町西長江浦 ¹⁵⁾	2.38	41.7	1.264	0.892	1.664	59.6
“ “ 東川北	2.33	18.2	1.222	1.034	1.253	33.4
“ “ 幣 田	2.37	43.1	1.320	0.922	1.570	65.1

※ 淡紅色のシラスで風化している。

ほうが残りやすく不適當である。さらにサンプリングされたシラスのかたまりに一定体積のモールドを押しこんで行なうモールド貫入法⁹⁾はまったく実行不可能である。

現場において一定体積のモールドを貫入させてサンプリングしたものについての測定がもっとも信頼性がある。モールドを貫入させる際、打込む方法は構造が乱される恐れがあるので好ましくなく、静的に押込む方法がとられるべきである。用いるモールドの大きさは、軽石レキの含石量やその粒径などによって変えることが望ましい。しかし大きいモールドは貫入が困難である。一般には、内径5~6 cm、高さ5~7.5 cm 程度の円筒モールドでよい。供試体の個数は軽石の影響を考えて少なくとも5個をとり、密度を決定する。原位置での単位体積重量の測定は、土質工学会編「土質調査法」第6章(1964)に準じて行なえばよい。

(3) 測 定 値

表-18は乱さないシラスの密度の計算例であり、表-19は測定値の数例である。これらの表で間ゲキ比および飽和度の計算値は試験結果の応用例である。

2 セン断試験

(1) 試 験 方 法

1) 試料の準備 自然状態のシラスは、その成因や場所の違いによって軽石レキを多量に含んだもの、半ば溶結しているもの、あるいは風化の進んだものなどがあり多種多様である。このようなシラス地盤における乱さない供試体のサンプリングは非常に困難であり、細心の注意を要する。採取の際には、まず、サンプラーをなるべく軽石レキの少ないサンプリングが地点に設置して徐々に貫入させる。サンプラーの貫入に当たっては、サンプラーがぐらつかないように注意する。さらにサンプラーを打込む方法は構造が乱されるので好ましくなく、静的に押込む方法がとられるべきである。ただし、半ば溶結したようなシラスにおいては、サンプラーの上に衝撃を和らげる木製の盤を置き、静かにハンマーで打込む方法

がとられる場合もある。貫入時の摩擦を小さくするために、サンプラーの内面にグリースを塗り、またすでに貫入したサンプラーのまわりのシラスを除去しながら打込むとよい。しかし、サンプラーを貫入させるとき、ときとしてその金属面との摩擦抵抗が強すぎたり、シラス層中に散在する軽石や安山岩などのレキが抵抗してまっすぐに貫入できない場合がある。このような場合は貫入を中止する。サンプラーは供試体の高さより20～30%長い円筒モールド、あるいはカラー、モールド（長さは供試体の高さと同じもの）およびカッターの3部分から成るものを用いる。モールドは二つ割りモールド、あるいは円筒モールドのいずれでもよい。サンプラーの内径は供試体の直径に等しくする。サンプラーの貫入後、周囲のシラスを掘起こし、サンプラーをとり出す。カラーおよびカッターを注意してとりはずしてから、モールドの縁にそって試料を刃の鋭いナイフで切りならしサンプラーとも保存筒に入れて、水分の蒸発を防ぐようにシールする。試料の運搬に際しては試料に衝撃を与えてはならない。以上、一軸および三軸試験用の試料の準備について述べたが、直接セン断試験用もこれに準じて行なえばよい。ただし、サンプラーはセン断箱の形式および大きさを考慮して決定する。

ii) 供試体の準備 サンプリングした試料を試験時まで保存する場合は、養生室などで保管する。二つ割りモールドで採取した供試体にあつては、モールドをそのまま二つに開くと供試体が縦に二つに割れる恐れがあるので、モールドの縁を木づちでかるく数回たたいて、モールドを1mmぐらいずらしてからとりはずす。

円筒モールドで採取した供試体にあつては、試料抜きとり器で押出す。供試体を抜きとる場合、モールドを水平にして押出すと、供試体にクラックがはいる恐れがあるので、モールドを垂直にして下から上へ押出す。

また、供試体の高さより長いモールドを用いて採取した供試体にあつては、それを押出したのち、供試体の大きさに等しい二つ割り成形モールドを用いて、供試体をはさんで、両端をそのモールドの縁にそって切りそろえる。

一面セン断試験にあつては、セン断箱をセットしたのち図-51に示すようにモールド内の供試体を試料押し出し用具で押しつけて徐々にセン断箱に移す。なお、供試体の重さはモールドに入れたまま測定したあと、モールドの重さを差引いて求める。

ii) 試験 供試体は真空をかけなくてもじゅうぶん自立するものであるから、試験機へのセットは容易である。三軸試験における供試体の飽和、圧密、および圧縮は、乱したシラスのセン断試験に準じて行なえばよい。なお、乱さない供試体の試験においてはゴムスリーブが破れやすいので、つねに新しいものを用いることが望ましい。

一面セン断試験においては、供試体をセン断箱にそう入後、歯形多孔板および載荷板をのせる。供試体を飽和させる必要

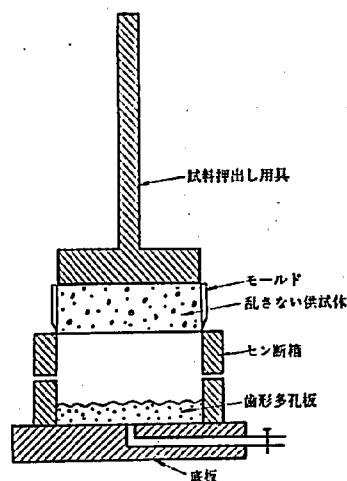


図-51 一面セン断試験の供試体のセット

のある場合、その下面から給水して多孔板を通じて徐々に飽和させる。完全飽和後圧密し、その後セン断を行なう。ヒズミ制御式でセン断する場合、セン断速さは、1分間に供試体の直径

表-20 乱さないシラスの排水三軸圧縮試験例
(鹿児島市鴨池町唐湊産シラス) (春山)

試料	平均初期間ゲキ比	拘束圧 0.5~1.0 kg/cm ²		拘束圧 2.5~3.0 kg/cm ²	
		e_d (kg/cm ²)	ϕ_d (度)	e_d (kg/cm ²)	ϕ_d (度)
飽和供試体	1.305	0.18	42.0	0.78	33.2
自然含水比供試体	1.280	0.32	41.5	1.25	33.3

の1%を標準とする。試験の終わった試料は粒度試験に供する。

(2) 問題点 乱さないシラスに方向性による工学的性質の差異があるかどうか、まだ解明されていないが、供試体採取時には採取の方向に注意すべきである。また供試体に多大の軽石や安山岩などのレキを含んでいる場合や、サンプラー貫入時に刃先でこれをかんだ場合、供試体はすでに乱れている。しかし一見したところ乱れているかどうか判別しにくい供試体は、試験に用いないほうがよい。試験結果が平均的な値より低過ぎるものは供試体の乱れの影響、高過ぎるものは供試体中のレキの影響と考えられる。前者は当然乱さないシラスの試験結果として採用できないが、後者は試験結果から除くべきかどうか問題が残る。

(3) 試験例 乱さないシラスの排水三軸圧縮試験例を表-20に示す。

(4) 試験結果の利用法 セン断試験によって求められた強度定数、すなわち粘着力とセン断抵抗角は、地盤支持力および斜面安定、とくにがけ(崖)の安定などの計算に利用される。

3 透水試験

乱した試料と同じように問題点をあげておく。

(1) 問題点 乱さない試料の場合、最大の問題は、その試料をいかにして採取するかである。すなわちシラスの場合は軽石あるいは安山岩の比較的大きな粗粒子を地域によってはかなり多量に含んでいるため、通常のソイルサンプラーでは試料の採取は非常に困難である。したがって現在までに何とか求められているものは、この粗粒のほとんどないシラスで、しかも試料径の小さな(50mm)ものである。すなわち乱した試料のように100mm径のものは得られていない。このためシラス用のサンプラーの開発が急務であるが、最近70mm径(肉厚4.3mm、荷重2.5ton)のもので自然試料の採取ができた例がみられているので、100mm径までは可能と思われるが、前にも述べたように、この径の1/20を最大粒径とするとなると、自然試料の場合どうしても満足されないことが予想される。したがってサンプラー径を100mmでなく幾分小さめに採取して透水円筒に入れたのち周辺の間げきをペースト状のベントナイトで充てんする方法が考えられよう。

またシラスには方向性があるらしいということがいわれているので、とくに層状を示す場合には、その方向を考慮した試料の採取が必要であらう。

試験終了後は、粗粒子の含有状態などから試料の現地での代表値としての意味をよく吟味することが必要である。

試料の飽和については乱した試料についてのものと同様である。

(2) 試験例 3.(1) に述べたように乱さない試料については、その試料採取の困難さから適切なものがなく、50mm径のもので、しかも飽和についての厳密性が保たれていないが、比重2.414、乾燥密度 1.105 g/cm^3 、飽和度76%のとき $5.76 \times 10^{-4}\text{ cm/sec}$ （鹿児島市小山田町大迫産）、比重2.320、乾燥密度 1.134 g/cm^3 、飽和度68%のとき $3.33 \times 10^{-3}\text{ cm/sec}$ （鹿児島市鴨池町唐湊産）の値が1例として得られている。

以上のほか、乱さない試料のものとして原位置試験法による測定例がいくつかみられるが、ここでは室内試験の範囲にとどめておく。

安定処理の試験

1 ま え が き

シラス地帯においては、一般に良質の骨材に乏しく、道路、飛行場の建設において、大量の路盤材料を安価に調達することは容易ではない。したがって、この地帯では、シラスの有効な利用法の開発が求められていた。すでに戦後間もなく、シラスは、ボゾランとしての性質がすぐれ、かつ、粒子間の結合力が乏しいのできわめて混合が容易で、ポルトランドセメントの添加によって、効率のよい安定処理土として利用できることが室内実験の結果認められた¹⁶⁾¹⁷⁾。昭和26年、シラスによるセメント安定処理土の現地実験が、鹿児島県日置郡市来町の現国道3号線において行なわれ¹⁸⁾、シラスをセメント安定処理して路盤へ利用する一步を踏出した。その後、このシラスのセメント安定処理土は順調に発展し、今日に至っている¹⁹⁾。

シラスは、本章各節で述べられたように、

- i) 産地により粒度、工学的性質が異なる。
- ii) 締固めによって、粒子が細粒化される。
- iii) 粒子の比重が小さく、締固められたシラスの間ゲキ率は大きく、締固め密度も低い。
- iv) 粒子の大きさに比較して、毛管現象が大である。

などの特性があり、シラスを用いた安定処理土も同様な特性をもっている。したがって、シラスを用いる安定処理土を利用する場合は、産地ごとに試験を行ない、工学的、経済的に利用できるかどうかを検討する必要がある。

シラスの歴青系安定処理は、安定性の面で利用困難であり、機械的な安定処理は、粒度と安定性の面から主材料としては用いられず、主として、粒調碎石の細粒部分として用いられるに過ぎず、シラスは前述のように、ポルトランドセメント（以下、セメントと略称）による安定処理土として多く用いられている。

シラスの締固めて作るセメント安定処理土（以下、セメント安定処理土という）は、従来、道路、飛行場、材料置場などの路盤として利用されていたが、今後は海岸、河川の堤防、アースダム、排水路などのライニング用として応用される気運にある²⁰⁾。この利用報には、締固めて作るセメント安定処理土のみでなく、いわゆるプラスチックソイルセメントも含まれている。

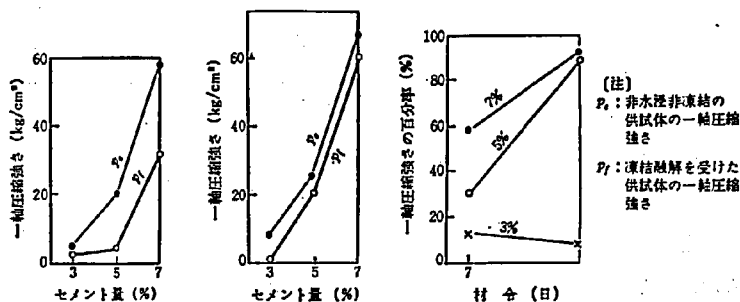


図-52 シラスによるソイルセメントの凍結融解試験結果
(熊本県阿蘇郡南小国町黒川産シラス)(山内)

セメント安定処理土の試験方法としては、一軸圧試験および耐久性試験があるが、適当な一軸圧縮強さをもつ安定処理土は、図-52に示すように、耐久性試験をも満足するという経験的事実から^{21, 22, 23)}、一般に一軸圧縮試験が用いられている。ここでは、土質試験法第7編第2章またはアスファルト舗装要綱(付録-8)によるシラスの一軸圧縮試験について述べる。

2 試験方法

前掲の試験方法による試験の実施には、シラスの特性からつきに述べるように多少の補足が必要である。

(1) 試料の採取

i) シラスの露頭から試料を採取するときは、自然含水比を考え、表面から約0.5m以下の箇所から採取する。工事のための配合設計として、本試験を行なうときは、計画土取り範囲内の数箇所からシラスを採取し、混合して試料とする。

ii) 表土におおわれている箇所からの採取は、表土の部分を取り除いたのち、自然含水比が一定となると考えられる、約0.5m以下の箇所からシラスを採取して試料とする。

iii) 配合設計のために必要な試料の最小空気乾燥重量は表-21のとおりである。

(2) 試験上の注意

i) 図-53, 54は、現場におけるシラスとセメントの混合時間(バグミルミキサー回転数56rpm)および、混合完了後、供試体作製完了までの経過時間と、一軸圧縮強さおよび密度との関係²⁰⁾を示したものであって、試験時の混合時間と供試体完成までの時間についての目安を与える。

ii) 最適含水比を求めるには、締固めによる粒子の細粒化が起きるので、含水比を変えるごとに、新しい試料を用いることが大切である。

iii) 締固めたシラスの含水比の測定には、測定誤差を防ぐため、締固めモールド中の試料全量を用いる。

表-21 一軸圧縮試験に必要な空気乾燥試料重量

試験項目	最少必要重量
一軸圧縮試験	30 kg

(注) セメント安定処理土の配合設計に必要な量で、付随して行なう自然含水比、粒度比重試験のための試料を含む。

iv) 試料をカラーのついたモールドに、3層に分けて締固めるとき、各層の境界面に幅、深さともに約3mmのみぞを約6mm間隔に、互いに直角につけて、各層のなじみをよくする。

v) 突固めが完了し、カラーをとりはずすときは、あらかじめカラーの周辺のシラスを、ドライバなどで押えたのち、カラーの外側を木づちなどで軽くたたいて、カラーをはずす。

vi) 養生のために、パラフィンシールを行なうときの温度は60～70℃が適当である。

vii) 養生温度と一軸圧縮強さの関係の一例を示すと、図-55のとおりであって、養生温度の管理が大切なことがわかる。

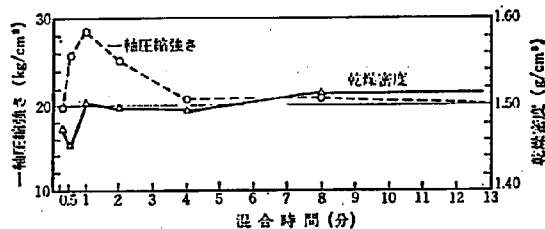


図-53 シラスのセメントの混合時間、一軸圧縮強さ(材令7日)、乾燥密度の関係(熊本県阿蘇郡南小国町黒川産シラス)(吉田)

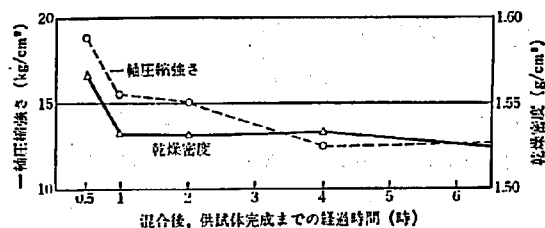


図-54 シラスのセメント安定処理土の、混合完了後供試体完成までの経過時間と一軸圧縮強さ(材令7日)と乾燥密度の関係(シラスは図-53と同じ)(吉田)

3 問題点

(1) 最近における締固め機械の発達は、シラスの場合でも、現場の仕上がり密度が表-22のように、JIS A 1210の第1方法による最大密度の3%程度高いのがふつうとなっている²⁴⁾。

シラスのセメント安定処理土は、最適含水比付近では一軸圧縮強さは仕上がり密度に比例する。したがって配合設計の基準強さを変え、JIS A 1210の第2方法の程度に締固めエネルギーを増す必要があると考えられる。この場合配合設計の基準強さを、幾らに定めるかは、(3)と同様に今後の研究課題である。

表-22 シラスのセメント安定処理土の締固め試験例(セメント量6%)(吉田)

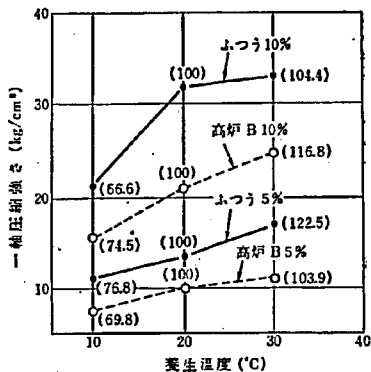
試験方法	JIS A 1210 第1方法	JIS A 1210 第2方法	現場密度	現場密度	
				JIS A 1210×100 第1方法	JIS A 1210×100 第2方法
試験値	1.481 g/cm ³ (33)	1.595 g/cm ³ (34)	1.524 g/cm ³ (8)	102.9%	95.5%

〔注〕 1. () 内はサンプルの数。
2. 熊本県南小国町黒川産シラスによる。

表-23 シラスのセメント安定処理土の代表的な測定値

県名	試料採取地	シラス原粒度		シラスの自然含水比(%)	土の分類(AAS HO法)	JIS A 1210 第1方法		一軸圧縮強さ(材令7日)(kg/cm ²)			備考
		74 μ 通過率	590 μ 通過率			最適含水比(%)	最大乾燥密度(g/cm ³)	セメント量4%	セメント量8%	セメント量10%	
熊本	人吉市麓	99	99	-	-	※ 28.5(8)	※ 1.160(8)	-	108	138	日本舗道(株)実験室による
	阿蘇郡南小国町黒川	7.1	2000 μ 通過 65.0	21.1	A-3	※ 23.5(5)	※ 1.562(5)	※ 15.0(5)	※ 19.8(6)	※ 27.0(7)	
	〃 瀬の本	8.5	62.0	29.9	〃	21.0	1.625	※ 10(5)	※ 12(7)	-	
大分	玖珠郡九重町飯田	13.0	56.0	-	〃	※ 15.4(4)	※ 1.785(4)	26.3	※ 53.8(6)	-	日本舗道(株)実験室による
	竹田市木原	25.0	53.0	34.0	-	28.0	1.080	※ 15.0(6)	17.4	20	
宮崎	日南市礼	16.0	82.8	16.3	A-2-4	※ 30.0(5)	※ 1.149(5)	※ 10.1(5)	※ 15.2(7)	※ 20.2(9)	
	〃 山川	18.4	81.8	12.5	〃	※ 30.7(5)	※ 1.163(5)	※ 7.0(5)	※ 9.9(7)	※ 14.0(9)	
	原の迫	19.6	84.8	18.2	〃	※ 33.2(5)	※ 1.142(5)	※ 10.8(5)	※ 13.9(7)	※ 18.3(9)	
	南那珂郡南郷町谷ノ口	16.7	81.9	22.0	〃	※ 28.0(2)	※ 1.225(2)	-	-	※ 30.5(2)	
鹿児島	曽勢郡有明町押切	28.4	72.9	23.1	〃	※ 21.3(7)	※ 1.330(7)	-	23.9	32.0	
	〃 大崎町	23.9	57.3	17.0	〃	※ 25.0(6)	※ 1.255(6)	※ 19.4(6)	26.4	37.4	
	〃 末吉町堂園	32.0	76.0	29.8	〃	※ 23.7(6)	※ 1.302(6)	※ 15.1(6)	21.0	28.1	
	有明町通山	33.4	73.7	25.0	〃	※ 24.5(7)	※ 1.358(7)	-	※ 21.5(9)	※ 32.6(10)	
	鹿屋市南	16.7	66.6	21.5	〃	※ 28.0(6)	※ 1.236(6)	-	18.3	26.1	
	肝つき郡高山町山下	20.9	74.3	20.9	〃	※ 28.8(6)	※ 1.209(6)	-	16.1	24.7	
	〃 串良町東串良	26.0	68.6	13.7	〃	※ 27.0(8)	※ 1.348(8)	-	26.4	31.8	
鹿児島	鹿児島市河頭	12.0	62.0	12.7	A-3	※ 26.5(4)	※ 1.290(4)	8.7	17.3	25.3	
	肝つき郡吾平町	15.4	68.1	21.5	A-2-4	※ 26.2(6)	※ 1.30(6)	-	14.1	20.9	
	曽勢郡大崎町野方	14.8	63.6	21.6	〃	※ 25.6(6)	※ 1.30(6)	-	14.4	20.2	
	姶良郡樋口牧原	24.0	64.0	21.2	〃	※ 25.7(6)	※ 1.307(6)	※ 22.2(6)	24.4	30.8	
	〃 亀割上段	24.0	420 μ 通過 56.0	20.5	〃	※ 19.6(8)	※ 1.527(8)	-	43.0	-	
	日置郡市木湊町	32.0	70	18.5	〃	※ 26.0(6)	※ 1.293(6)	-	-	20.0	
	〃 東市木湯田	24.0	79	-	A-3	32.5	1.19	80(5)	-	20.0	日本セメントKK文献(8)
鹿児島	川内市佐日野町	20	72	-	〃	26.0	1.26	9.5(5)	〃	15.0	

(注) ※印は()内のセメント量のときの測定値を示す。



- (注) 1. ふつう：ふつうポルトランドセメント
高炉B：高炉セメントB種
2. ()内の値は標準養生温度を100としたときの強さ百分率。

図-55 養生温度と一軸圧縮強さ
(材令7日) (鹿児島県指
宿郡喜入町産シラス) (吉田)

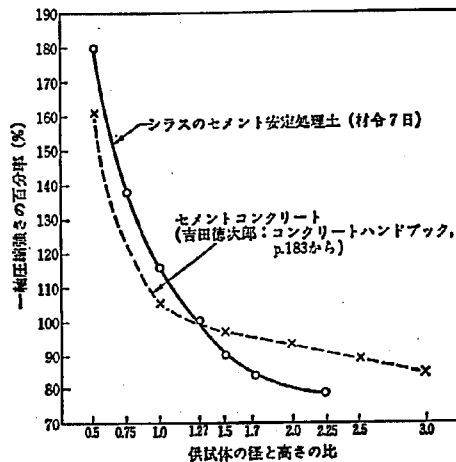


図-56 供試体の径と高さの比に対する一軸圧縮強さの変化 (熊本県阿蘇郡南小国町黒川産シラス) (吉田)

(2) セメント安定処理土の一軸圧縮強さは、供試体の大きさ、作製方法、養生方法により異なる。図-56は、供試体の径と高さの比とシラスのセメント安定処理土の一軸圧縮強さの関係であり、コアサンプルと供試体強さの比較に利用できる。

(3) シラスのセメント安定処理土は、一般の土に比べて、材令による伸びが大きく¹⁸⁾、配合設計のための基準強さである30 kg/cm² (第7編第3章参照) は、シラスのセメント安定処理土については20 kg/cm²程度でじゅうぶんであると考えられる。これも今後の研究課題である。

4. 代表的な測定値

表-23は熊本、宮崎、鹿児島県の各県で道路上の上層路盤として用いられた、シラスのセメント安定処理土の測定を示す。

5. 試験結果の利用法

シラスを締固めて作るセメント安定処理土の一軸圧縮試験は、まえがきで述べたように、道路、飛行場、材料置場などの路盤の安定処理を行なう場合、アスファルト舗装要綱によって、セメント量を決定するのに利用される。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会セン断試験法委員会：土のセン断試験法に関する基礎的研究，土質工学会 p.104, 1968.
- 2) 難波直彦・若松千秋：シラスのセン断強さと密度，第23回農業土木学会九州支部講演集 pp.13~16, 1968.

- 3) 春山元寿・山内豊聡：乱したシラスの排水セン断抵抗について，九州大学工学部集報 Vol. 39, No. 2, pp. 177 ~ 184, 1966.
- 4) 井上広胤：砂の直接セン断に関する研究，土木学会論文集，No 101, pp. 15 ~ 24, 1964.
- 5) 藤本 広・杉尾 哲：粒子形状を考慮に入れた砂のダイレイタンスー効果について，第1回土質工学研究発表会講演集，pp. 145 ~ 153, 1966.
- 6) 春山元寿・山内豊聡：シラスのセン断特性に関する含水比の影響について，土木学会第23回年次学術講演会講演概要，III, pp. 55 ~ 58, 1968.
- 7) 大庭 昇・露木利貞・海老原紘子：シラスの鉱物組成，化学組成および成因について(I)岩石鉱物鉱床学会誌，Vol. 58, No. 3, pp. 81 ~ 97, 1967.
- 8) 春山元寿・山内豊聡：土粒子のインターロッキングを考慮したシラスの直立斜面の安定について，九州大学工学集報，Vol. 40, No. 3, pp. 370 ~ 378, 1967.
- 9) 土質工学会：土質試験法，pp. 37 ~ 49, 1964.
- 10) 西 力造・木村大造：シラス地帯研究（第3報）地面の傾斜と侵食の関係，鹿児島大学農学部学術報告，No. 2, pp. 75 ~ 81, 1953.
- 11) 河原田礼次郎：シラスの物理的性質に関する研究（第1報）未攪乱試験のセン断試験について，鹿児島大学農学部学術報告，No. 6, pp. 222 ~ 226, 1957.
- 12) 春山元寿・山内豊聡：乱したシラスの排水セン断特性について，土と基礎 Vol. 14, No. 8 pp. 27 ~ 33, 1966.
- 13) 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，シラスの強度に関する原位置試験，p. 32, 1965.
- 14) 藤本 広：シラスのセン断特性について，土と基礎，Vol. 13, No. 2, pp. 56 ~ 63, 1965.
- 15) 木村大造・河原田礼次郎・難波直彦・春山元寿：農林災害“えびの地震と地盤災害” パネル討論会前刷，土質工学会九州支部，pp. 41 ~ 61, 1968.
- 16) 建設省九州地方建設局材料試験所：道路材料としてのシラスの特性並びにその安定処理に関する実験的考察，試験報告，No. 2, pp. 38 ~ 43, 1951. 6.
- 17) 松尾春雄ほか：セメントによるシラスの安定に関する実験的研究，九州大学工学集報，Vol. 26, No. 2, pp. 84 ~ 89, 1953, 10.
- 18) 松尾春雄・水野高明・内田一郎・山内豊聡：シラス道路安定に関する現地実験，土と基礎，Vol. 1, No. 3, pp. 4 ~ 8, 1953, 10.
- 19) 井手義雄・吉田保：九州地方におけるソイルセメント基層の功罪について，第8回日本道路会議論文集，p. 264, 1965.
- 20) 山内豊聡：セメント安定処理，土と基礎の設計法（その2），土質工学会，pp. 1 ~ 2, 1962. 3.
- 21) P.C.A.: Soil-Cement Laboratory Handbook, p. 13
- 22) 山内豊聡：九州の軟弱な火山灰土上における舗装の設計施工に関する土質工学的諸問題(2)，道路，p. 768, 1964. 9.

23) 永高貞治・塚山隆一：国内各地の土を用いたソイルセメントの試験，日本セメント（株）研究所要報，No 202，1959. 5.

24) 吉田保：別府阿蘇道路舗装第一工区工事ソイルセメント試験報告書，1963. 7.

8 シラス斜面の土工指針

ま え が き

シラス斜面の土工については、現在の所、明確に指針となったものではなく、道路土工指針（日本道路協会）、のり面工と斜面安定工指針（日本道路協会）などに、主に解説の形でふれられているのにすぎない。

最近、九州技術事務所が中心となって、九州地方建設局で、シラス地帯の道路土工設計施工指針（一次案）が作成された。ここでは、この指針（一次案）を抜萃し、一部メモを加える。

8-1 切土のり面勾配

切土ノリ面勾配は土質、地質構成、湧水の状況など現地をよく調査し、表24の標準値とあわせて総合的判断によって決定するものとする。

表 24 切土ノリ面勾配の標準値

土質区分	勾配 (割)	備 考	
硬質シラス	(0.6) 0.5 ~ 0.7	湧水が多く崩壊の危険ある場合は 1.0 割程度とする。	
中硬質シラス	(0.6) 0.5 ~ 0.7	洗くつに弱い場合	湧水が多く崩壊の危険ある場合は 1.0 割程度とする。
	(1.0) 0.8 ~ 1.0	洗くつに強い場合	
軟質シラス	(1.0) 0.8 ~ 1.2	湧水が多く崩壊の危険ある場合は 1.0 割以上とする。	
ローム層	(1.0) 1.0 ~ 1.2		
ゆるい軽石層	1.0 ~ 1.5	堆積の状態によっては擁壁で押える。0.5 割程度とする。	

()は通常用うる標準値であり、ノリ面の高さ、重要性などに応じ範囲内で適宜選択をする。

〔 解 説 〕

1. シラスの切土ノリ面勾配の決定には従来から緩急の議論が多いが、①斜面としての力学的安定性（地震も考慮）②表流水、浸透水、雨滴などの水の侵食に対する安定性、③ノリ面保護工の施工性、④道路の法面では走行上の視感などを考慮しなければならない。

①の力学的安定性はセン断試験結果や自然崖の安定状態からみてかなり急勾配でもよいが、軟質シラスでは特に地震なども考慮して緩勾配にする必要がある。②は、表流水の侵食に対しては急勾配が有利であるが、浸透水による浸食や表面の剥離風化に対しては緩勾配が優る。③は植生やノリ枠による場合は緩勾配（少くとも 0.8 割以上）が必要で、モルタル吹付やコンクリート張りなどには急勾配（5 分前後）でもよい。④は走行上は緩勾配で植生の場合が圧迫感がなく、視距も充分とれてよい。

以上のような基本概念に基き硬質シラスでは力学的安定からは急勾配（3 分以上）でもよいが、風化

剥離や表流水に対してなんらかの保護工は必要であり、又、走行上の圧迫感軽減のため中間的勾配とし0.5~0.7割とした。但し、ノリ面よりの湧水が多く崩壊が懸念される場合などは1割程度の緩勾配とすることを検討する。

軟質シラスは力学的安定性からみても0.8~1.2割とし、湧水が多く崩壊が懸念される場合などはもう少し緩にする必要も生ずる。

中硬質シラスは洗掘に弱い場合（洗掘抵抗おゝむね20秒/12.7cm以下）ノリ面保護工としてモルタル吹付などを前提として硬質シラス同様0.5~0.7割、洗掘に強い場合（洗掘抵抗おゝむね20秒/12.7cm以上）植生工を前提として軟質シラス同様0.8~1.0割を標準とした。勾配の選定には洗掘抵抗の外、工費、施工条件なども入れて判断すること。

8-2 切土の小段

切土ノリ高が高い場合は小段を設けるのを標準とする。

小段はノリ直高が $\times 10m$ をこえる場合、地層の変化などを考慮に入れて5~7m間隔位に設置する。

小段の巾は1.5~2.0mとし、小段排水溝は必ず設置し、小段面はノリ面と同等以上の保護工で被覆するものとする。

〔 解 説 〕

1. シラスの小段は弱点となり易いが、高いノリ面では切土作業の利便、表流水や浸透水のカット、一部崩落土の貯留などのため設けた方がよい。

小段によって、それより上方の崩壊と下方の崩壊がつかなるのを縁切りする効果を有する場合もある。

小段は全ノリ直高が10mを超えないような高いノリ面の場合に大体5~7mの間隔に設けるが、一つの斜面で地層が異なる場合、例えば、ローム層とシラス層の境界には原則として小段を設けた方がよい。これは水の浸透、透水に関する性質が異なると、その境界で浸透水が斜面に出る（中間流の湧出）ことになり、ここで浸食が生じて、上部の斜面が不安定になるからである。またローム層とシラス層など地層が異なればのり面保護工法も一般に異なるので作業上有利になる場合が多い。

2. 小段の巾は作業性、崩落土の片付など考慮して1.5~2.0mとし、浸食防止のため小段排水溝は必ず設ける。

小段排水溝は小段の中央又はやゝ内側（道路中心線よりみたら外側）に設け、適当な勾配を付して、ノリ面の両側に導水する。ノリ面の延長が長い場合は別途設ける縦排水溝へ落す。材料はコンクリートPU管、

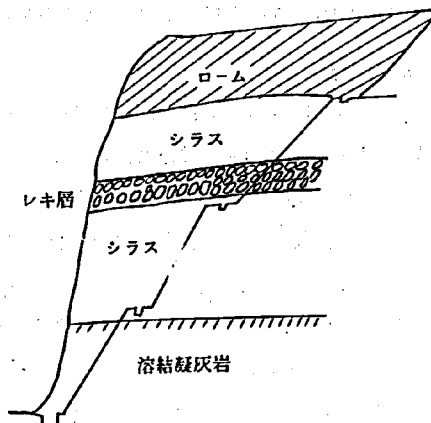


図 - 56

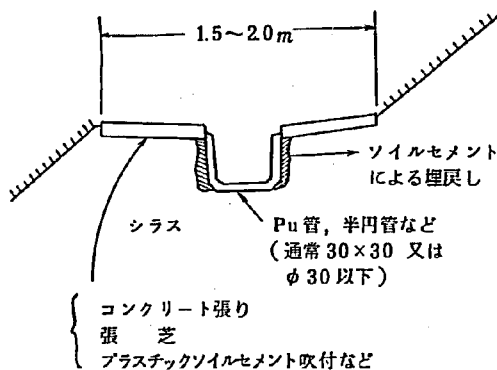


図-57 小段構造図(例)

半円管などであるが、重くならないような必要範囲で小型のものがよい。又、重量軽減のため、プラスチック、コルゲートなどの材料も検討できる。

3. 小段面は浸食をうけ易いので、ノリ面と同等以上の保護工で防護する。

例えば、コンクリート張り(厚10cm程度)、張芝、プラスチックソイルセメント吹付(ノリ面を吹付ける時同時に施工)などである。

8-3 切土のり面保護工

切土のノリ面保護工は、土質、地質構成、勾配湧水の状況、施工時期などをよく考慮のうえ、表25の標準工法とあわせ総合的判断をして決定するものとする。

表 25 切土ノリ面保護工の標準

土質区分		一般の場合		湧水がある場合	
		勾配	ノリ面保護工	勾配	ノリ面保護工
硬質シラス		0.5~0.7割	シラスモルタル吹付	1.0割程度	ノリ砕空石(ブロック)張 コンクリート張り(水抜き充分に)など
中硬質 シラス	洗掘 に弱い	"	"	"	"
	洗掘 に強い	0.8~1.0	植生穴工、植生マ ット工、張芝など	1.0~1.2割	"
軟質シラス		0.8~1.2	"	"	"
ローム層		1.0~1.2	張芝、植生マッ ト、種子吹付など		
ゆるい軽石層		1.0~1.5	コンクリート張り(又は擁壁)		

シラスで特に湧水の激しい場合は鉄筋コンクリート枠擁壁(栗石詰め)を用いることを検討のこと。
集中的な湧水には排水管の打設などを行う。

〔 解 説 〕

1. シラスの切土ノリ面はまず出来るだけノリ面以外からの表流水をノリ面へ流さないよう排水溝を完備すると共に、ノリ面に降った雨水には勿論、浸透水の浸食にも耐えるような保護工で被覆しなければならない。しかしながら、その必要な範囲内でなるべく経済的かつ環境上なるべく植生が望ましいが、シラスは栄養分に乏しく、硬い為植生に適した土壌でなく、追肥など充分に行なっても多少の浸食は覚悟せねばならず、維持管理に注意しなければならない。従って土質、地質構成、表流水や浸透水の状況、施工時期などの他、ノリ面の重要性なども考慮し、植生以外の工法を用いることも多い。

ノリ面保護工法は今後研究開発の余地が多いが、現在一般に使用されている工法によって一応の標準

的な分類を行ったのが表 25である。

2. 硬質シラスは勾配が0.5~0.7であるため、植生には急勾配で適さず、又、栄養分が乏しいことからみて、埋込式の穴工法によらざるを得ない。但し、過去の施工例からみて、追肥などの不足もあって、豪雨の際、地山シラスとの間で滑落している例が多い。従って、安全、確実な工法としてシラスモルタル吹付工の施工例がよい結果を与えている。用土として現地のシラスを用い、通常の湿式の吹付ガンで施工し、施工性、出来栄共良好でシラス地山との剥離も認められなかった。

但し湧水が多い場合はモルタル吹付は不適である。

シラスモルタル吹付	1 m ² 当配合例
シラス (15mm以下にふるい分けて使用)	1,160 kg (シラスの15%)
セメント (普通ポルト)	170 " (シラスの40%)
水	463 "

厚さ7cmラス入り

3. 軟質シラスは勾配が緩で軟かいため、植生工を主体とする。植生工は当初より雨水の浸食に強い工法がよく、植生マット、張芝、植生穴工 (乳剤の被覆も充分行ふ) などが適する。但し、より確実な工法の開発が今後望まれる。シラスは栄養分に乏しいので充分な追肥が必要である。

高いノリ面の下部や重要なノリ面などでは、ノリ枠による補強を行うとよい。ノリ枠はシラス面内に埋込むと雨水の流下の際弱点となり易いので、切土面上に固定し、枠内は客土張芝、玉石張、ブロック張りコンクリート張りなど適宜用いる。ノリ枠の固定は止杭によるが、シラス内に入りにくいときはガス管などを用いる。

4. 中硬質シラスは硬度からみて植生工の限界に近く、洗掘抵抗によって工法選定を行うのがよいと思われる。洗掘抵抗が弱い場合 (洗掘抵抗20秒/12.7cm以下) は硬質シラス同様シラスモルタル吹付、洗掘抵抗が強い場合 (洗掘抵抗20秒/12.7cm以上) は軟質シラスに準じ植生工を標準とする。但し、洗掘抵抗以外に現場条件その他を考慮し責任技術者の判断により決定すること。

5. 硬質、軟質を問わず湧水や浸透水が多い場合は、強度があつて水の抜け易い工法=ノリ枠ブロック詰 (空張)、コンクリート張り (水抜を充分に施す) などが適す。集中的な湧水に対しては盲排水管の打設などを行う。湧水が激しくケーシングの生ずる個所は鉄筋コンクリート枠擁壁 (内部に栗石を詰める。シラスが流出しないよう滲出防止工を施す) など別に検討せねばならない。

一般にシラス層からの湧水はシラス層内にレキ層などの透水層がある場合、シラス層の下に粘土層、溶結凝灰岩などがある場合が多く、豪雨時又は豪雨後のみに湧水がある場合が多いので地質状態をよく観察して設計すること。軽石流非溶結部一次シラス (硬質、中硬質が多い) ではほとんど定常地下水を認められない。

6. ローム層は流水の抵抗に強く植生の活着も可能であるから層が厚くない時は一般の植生で充分である場合が多い。ゆるい軽石層がある程度厚く堆積している場合はコンクリート張り又はコンクリート擁壁等が必要となる。

〔 参 考 〕

シラス以外の一般の自然斜面の崩壊防止法の概略を参考迄に以下に記述する。

急傾斜地崩壊防止工事は崩壊自体が地形、地質および降雨、地震などの複雑な自然条件に左右され、事前にその形態を予測することが難しい。したがって、その安定計算など量的な設計法がないのが現状である。降雨による崩壊を防止するという観点から、工法は次のように大別される。

a 崩壊につながる雨水の作用を受けないようにする工法

i) 表面流による浸食の防止工

- ① 植生工（種子吹付け、張り芝、筋芝）
- ② 構造物による表面浸食防止工（吹付け工、ブロック工、格子わく工、柵工、蛇籠工）

ii) 雨水の浸透防止工

- ① i) - ②に属する工法のうち、柵工、蛇籠工を除いたもの。
- ② 表面排水工 表面排水路を設置するときは、斜面の地形に応じて水路を設け、地域内の雨水や表流水をすべて吸収して排水できるような水路網を形成することが望ましい。容量が不足すると越流して逆効果になるので注意すること。

iii) 間隙水圧の上昇および地盤の含水の増加の防止工

- ① 上述の ii) に属する工法
- ② 浅層地下水排水工（暗きょ工および明暗きょ工） 地表から1～3m付近までに分布する地下水を排除するには最も適当な工法である。浅層地下水の分布は地表の地形に左右され、地表の凹部などに集まることが多いので、暗きょ網は地表排水網と一致することが多い。
- ③ 深層地下水排除工（横ボーリング、集水井工、排水トンネル、地下水遮断工） 急傾斜地では浅層地下水と深層地下水の間にある、いわゆる中間流が問題になることが多い。工法としては横ボーリング工がほとんどである。

iv) パイピングによる局部崩壊とその進行の防止工

- ① 蛇籠、ふとん籠
- ② 横ボーリングなどの排水工

v) 風化の進行防止工

- ① 化学的風化に対しては ii) および iii) で述べた工法
- ② 応力緩和による風化に対しては押え盛土あるいはアンカー工

b 雨水の作用を受けても崩壊が生じないようにする工法

i) 抑止施設

- ① 擁壁 急傾斜地では斜面全体にわたるような大きなすべりを直接擁壁で抑えることは一般に不可能で、次のような目的をもつことが多い。
 - ・ すべり土塊をその下部で抑える。
 - ・ 押え盛土のためのもの。

・ 斜面の下部 (脚部) の安定

- ② 杭工 これは限られた用地で大きな横抵抗力をもつ構造物として擁壁の代わりに用いられる。

斜面の形状を変えることなく施工できるので、急傾斜地には適した工法である。

ii) 斜面形状の改良

- ① 段切り

- ② 勾配を緩く切る

iii) 押え盛土

iv) 地盤改良

- ① 注入工

- ② アンカー工

- ③ ロックボルト工

c. 雨水の作用を受けて崩落する可能性の高いものを除去する工法 斜面にある不安定土塊の除去で、一般に排土工といわれるものである。この工法は最も確実な効果を期待できるので、急傾斜地によく用いられる。土塊の排除がそれより上部の滑落を誘発しないことを事前に充分検討しておかねばならない。

工法を考えるには、まず崩壊形態を想定して、複数の崩壊形態が予想されるときは、用地、工費などの制約を考慮して、対策工事が行なえるものと、行なえないものに分け、後者に対しては対策工事成後の避難方法を検討する。工事の順序は、まず降雨によっても斜面自体は全体的にみて安定であるようにし、その後、表面浸食、風化、部分的崩落の防止をする。これは主としてのり面保護工になる。

のり面保護工の概略を表-26に示す。これには、表面浸食、風化、部分的崩壊の防止の狭義ののり面保護工の効果以外に、場合によっては、斜面全体にわたる安定に対して十分な効果を有する。

表-26 のり面保護工の工種とその目的

分 類	工 種	目 的
植 生 工	種 子 吹 付 工	} 雨水浸食防止、凍上崩落抑制、全面植生
	植 生 マ ッ ト 工	
	張 芝 工	
	植 生 筋 工	} 同上
	筋 芝 工	
	植 生 簗 工	} 同上
	植 生 袋 工	
	植 生 穴 工	

表 - 26 (つづき)

分 類	工 種	目 的
構 造 物 に よ る の り 面 保 護 工	モ ル タ ル 吹 付 工 コンクリート吹付工 石 張 工 ブ ロ ッ ク 張 工 コンクリートブロックわく工	風化, 浸食の防止
	コンクリート張工 現場打コンクリートわく工 のり面アンカー工	
	編 柵 工 のり面じゃかご工	
	落 石 防 止 網 工 落 石 防 止 柵 工 落 石 覆 工	
	石 積 擁 壁 コンクリートブロック積擁壁 コンクリート擁壁 鉄筋コンクリート擁壁 わ く 擁 壁	
		のり表層部の崩落防止, 多少の土圧をうける おそれのある個所の土留, 岩盤はく落防止
の り 面 排 水 工	表面排水 のり肩排水工 縦排水工 小段排水工	表面流による浸食の防止
	地下排水 盲みど のり面じゃかご 水平排水工 垂直排水工 水平排水工	
		表層より下のすべり抑制
		間引き水圧の低下による崩壊の抑制

8-4 排水工の設計

シラスの地帯の切土ノリ面では特に排水工に留意し、一貫性のある排水系統にすると共に、溢流、跳水、漏水など起きないように構造とすること。特に下記のようなことに留意すること。

1. 重要な排水工については流量計算を行い断面決定のこと。
2. 切土の延長が長い場合は途中で縦溝を設けること。縦溝と小段排水溝の接合部の側には泥留めを設けないこと。縦溝の周囲は洗掘されないよう埋戻しに留意のこと。又、跳水がおきないように勾配変化点では蓋をつけること。
3. 排水口の呑口部、屈曲部、接続部はスムーズな形にして流水の抵抗を少なくすること。
4. 縦断勾配と平面線形の重複個所の路面排水溝は特に留意のこと。
5. 浸透水、湧水など地下排水については現地を充分把握して対策のこと。

9 シラス対策工のまとめ

鹿児島県土木部砂防課が、昭和30年から昭和47年までにシラス斜面で行なった崩壊防止工事613例の施工後の安定状況の追跡調査をもとに、シラス対策工のまとめとして整理してみた。この例を参考に今まで行なってきたシラス崩壊防止工事の概要を紹介し今後の工事の参考にするための資料となれば幸いである。

9-1 施工後の崩壊状況 及び崩壊原因

全工事（例）613例中、小さな崩壊を含めて84事例の崩壊が発生した。割合にして14%で、大きな崩壊は極めて少ない。崩壊原因を調べてみると、図-58のように殆んどが侵食による崩壊が殆んどであるのがわかる。崩壊斜面の直高も図-59より10m未満の斜面で、斜面勾配も急なのが多く、殆んどが表面流による侵食によっておこる小崩壊である。斜面直高の大きい斜面では、十分な排水施設が何よりも大切であるだろう。

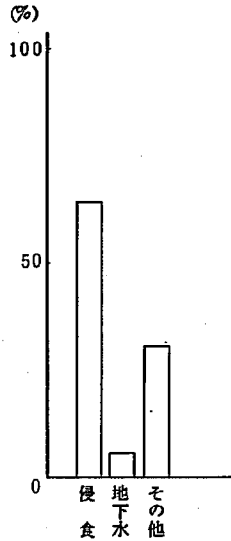


図-58 崩壊原因

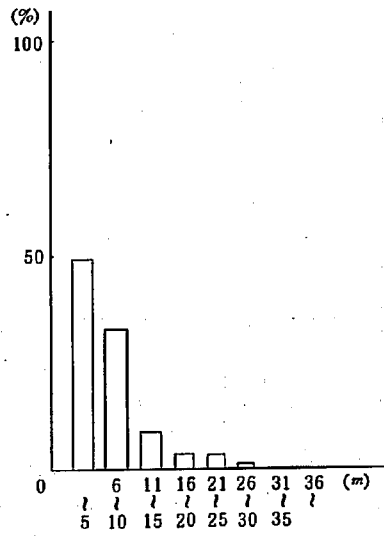


図-59 崩壊斜面の直高

9-2 シラス斜面での 切取勾配

シラス斜面での土木工事における切取勾配は図-60に示すように殆んどが5分以下の急勾配で切っている。

これは、道路土木指針における地山の土質が硬岩の時の

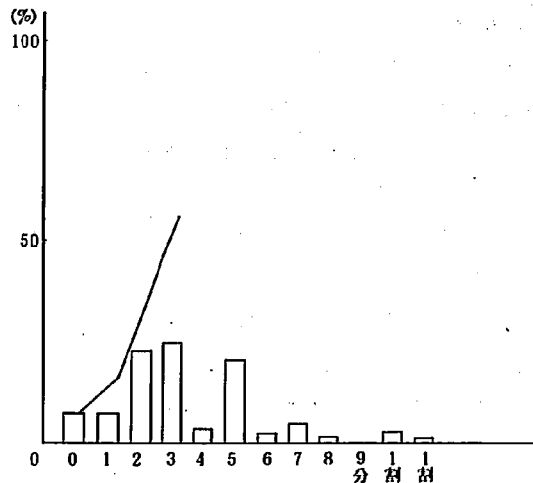


図-60 土木工事の所要切取勾配

切土勾配が3分～8分よりもまだ急勾配である。溶結凝灰岩といわれるシラスの地山は堅く、直に近い勾配で切った方が安定していることがいえる。

切取後の処理は主に張芝を行なっているが、切取勾配が1割以下の斜面の場合は、殆んど無処理のままである。

9-3 切取勾配と切取直高

切取勾配と切取直高の関係を調べてみると図-61のようになる。

これによると切取直高が15m以上になると施工上の問題もあって切取勾配は直には切っていないことがわかる。

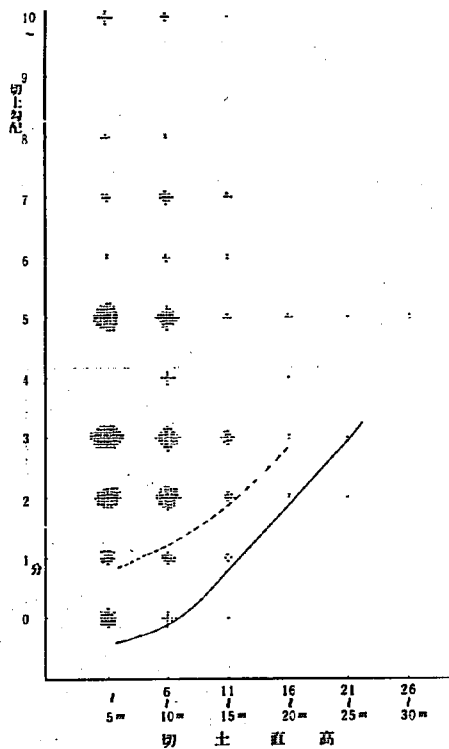


図 - 61

9-4 シラス斜面での盛土勾配

盛土勾配は図-62で示すように大部分が1割以下である。盛土に関しても一般の盛土のり面勾配よりもかなり急に盛っている。盛土のり面の処理も殆んどが芝を張って表面流による侵食を防止している。

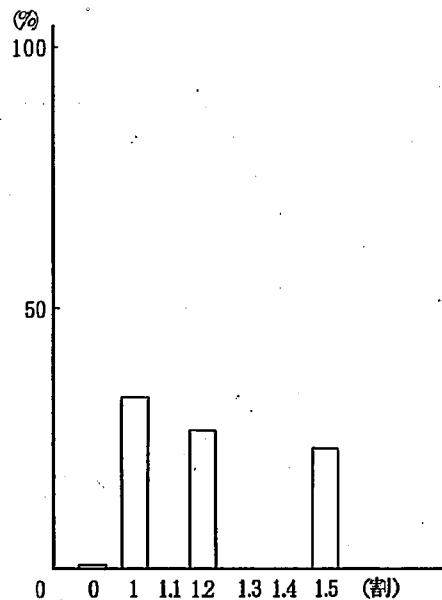


図 - 62 盛土勾配

10 対策工実例集

1 ※

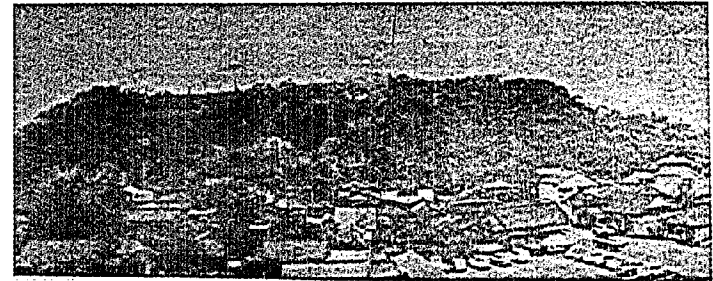
県 名 鹿 児 島 県

場 所 川辺郡川辺町大字諏訪 平山

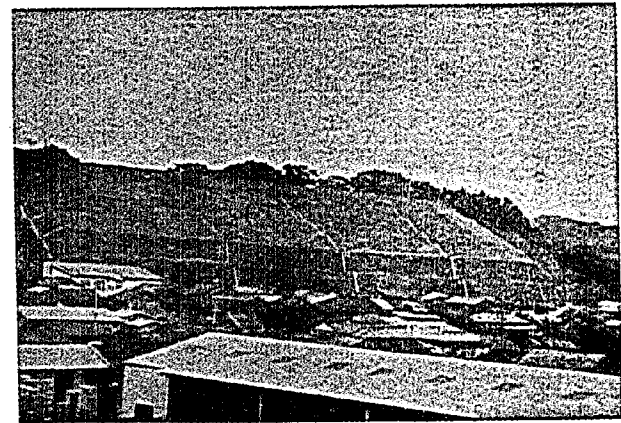
※ 急傾斜地崩壊防止工事施工例集より

※※ シラス地帯の土工設計施工指針より

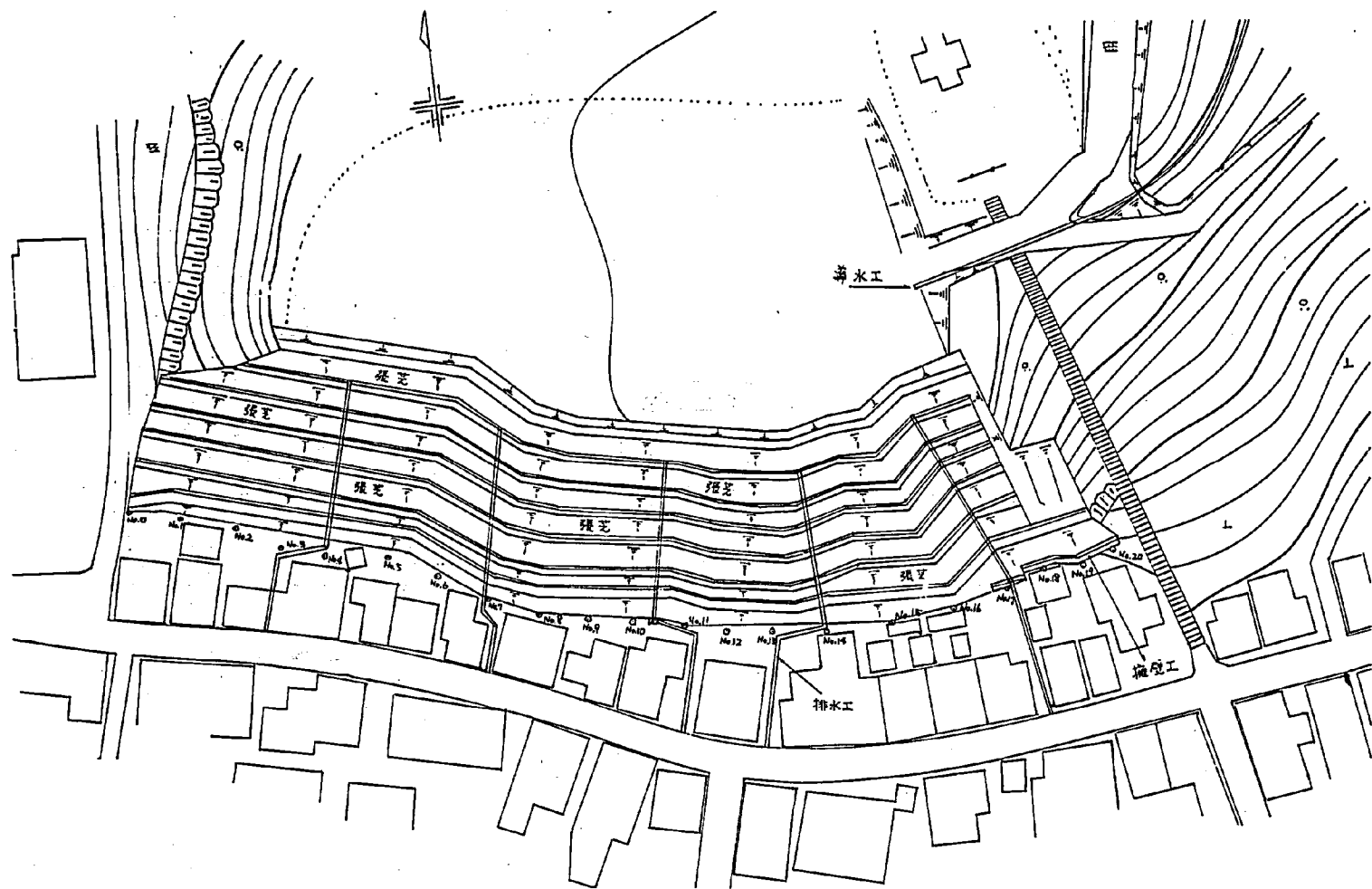
調 査 項 目 及 び 調 査 内 容				
対 策 工 地 前	人 家 戸 数 (戸)		63	
	崩 壊 型		1- (2)	
	地 質		シラス	
	地	勾 配 (度)	75	
		長 さ (m)	720	
		高 さ (m)	38	
	形	急傾斜面の面積(ha)	3.48	
		急傾斜地の面積(ha)	5.82 (5.00)	
	植 生		裸地40% 草地50% 林地30%	
	斜面の 種類	自 然	○	
		一部に人工が 加わったもの	盛 土	
			切 り 土	
			既 路 変 更	
	過 去 の 経 緯	崩 壊 な し		
一 部 崩 壊		復旧工事あり		
		" なし	○	
崩 壊		復旧工事あり		
		" なし		
崩 壊 年 月 日		昭和44年7月		
被災家屋数(戸)		なし		
その他の 自然 状況	斜面よりの湧水	常時湧水あり		
		降雨時のみ湧水あり	○ (下部、少量)	
	落 石	時々あり		
		な し	○	
斜面土層の露み	最近あり			
	" なし	○		
対 策 工	工 法 の 種 類		法面工 1119㎡ 法切工 24,832㎡ 排水工 644m 導水工 360m	
	人 家 移 転 の 有 無		有 (戸) ②	
	工 事 費 所 要 額 (千円)		総額 47,000 (内間接経費 11,279)	
工 事 期 間	工 事 期 間		2年3ヶ月 44.1223~45.3.25 45.7.25~46.12.0 46.2.19~46.6.25 46.10.20~47.3.23	



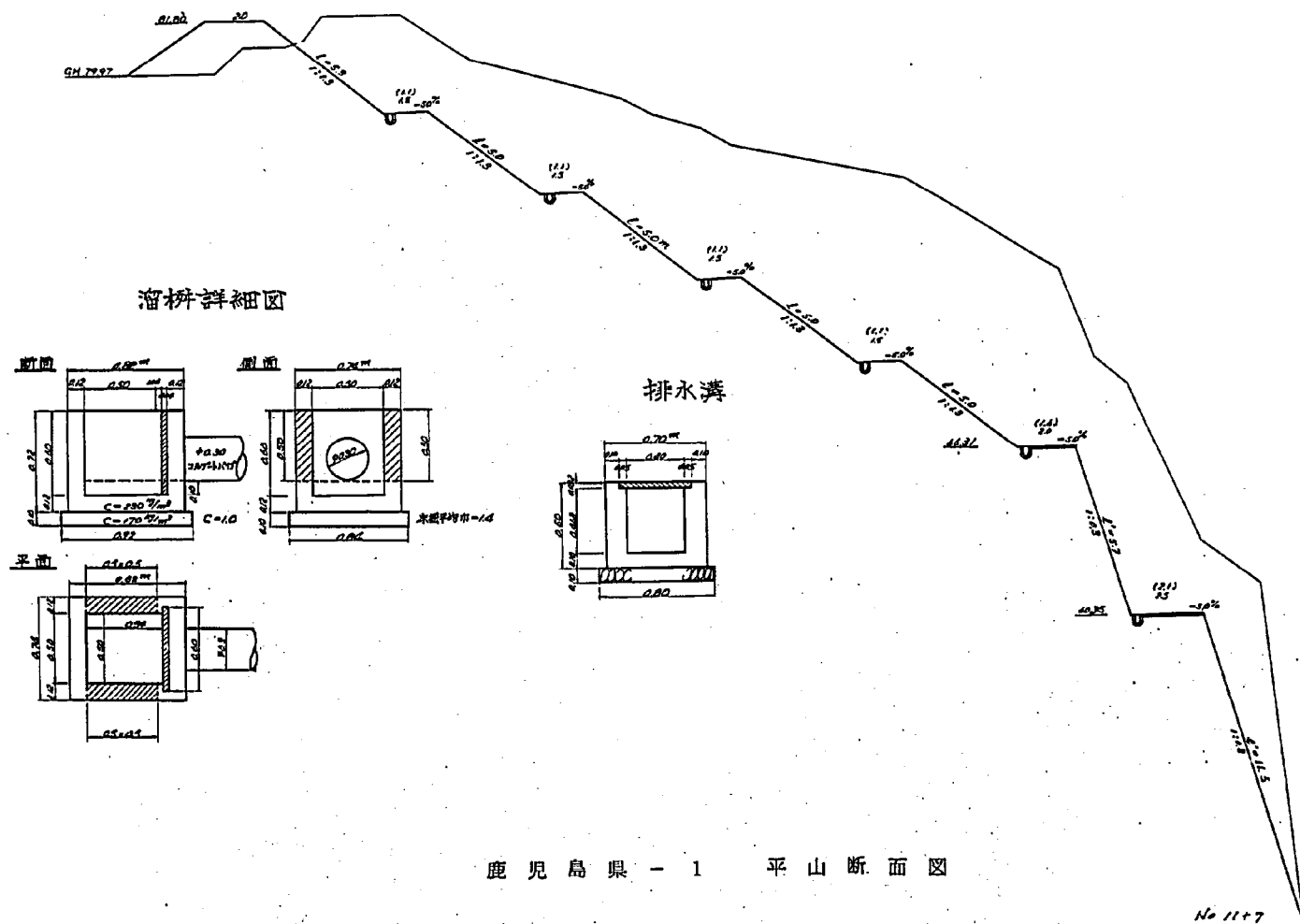
施 工 前



施 工 後



鹿 児 島 県 - 1 平 山 平 面 図

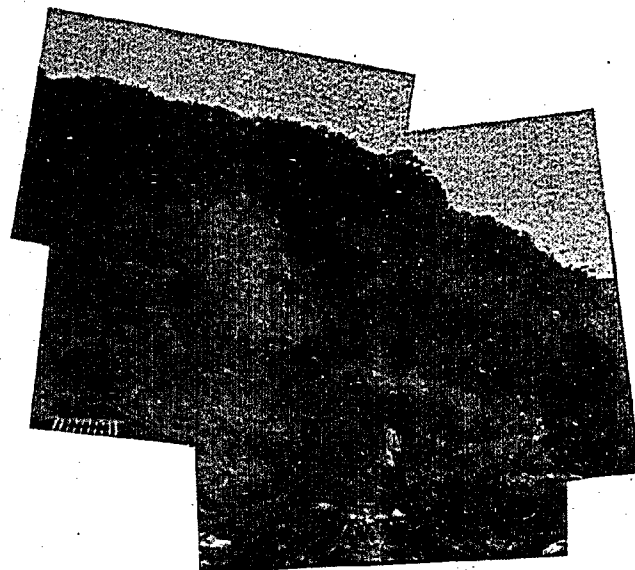


2 ※

県 名 鹿 児 島 県

場 所 鹿 児 島 市 武 町 三 尾 崎

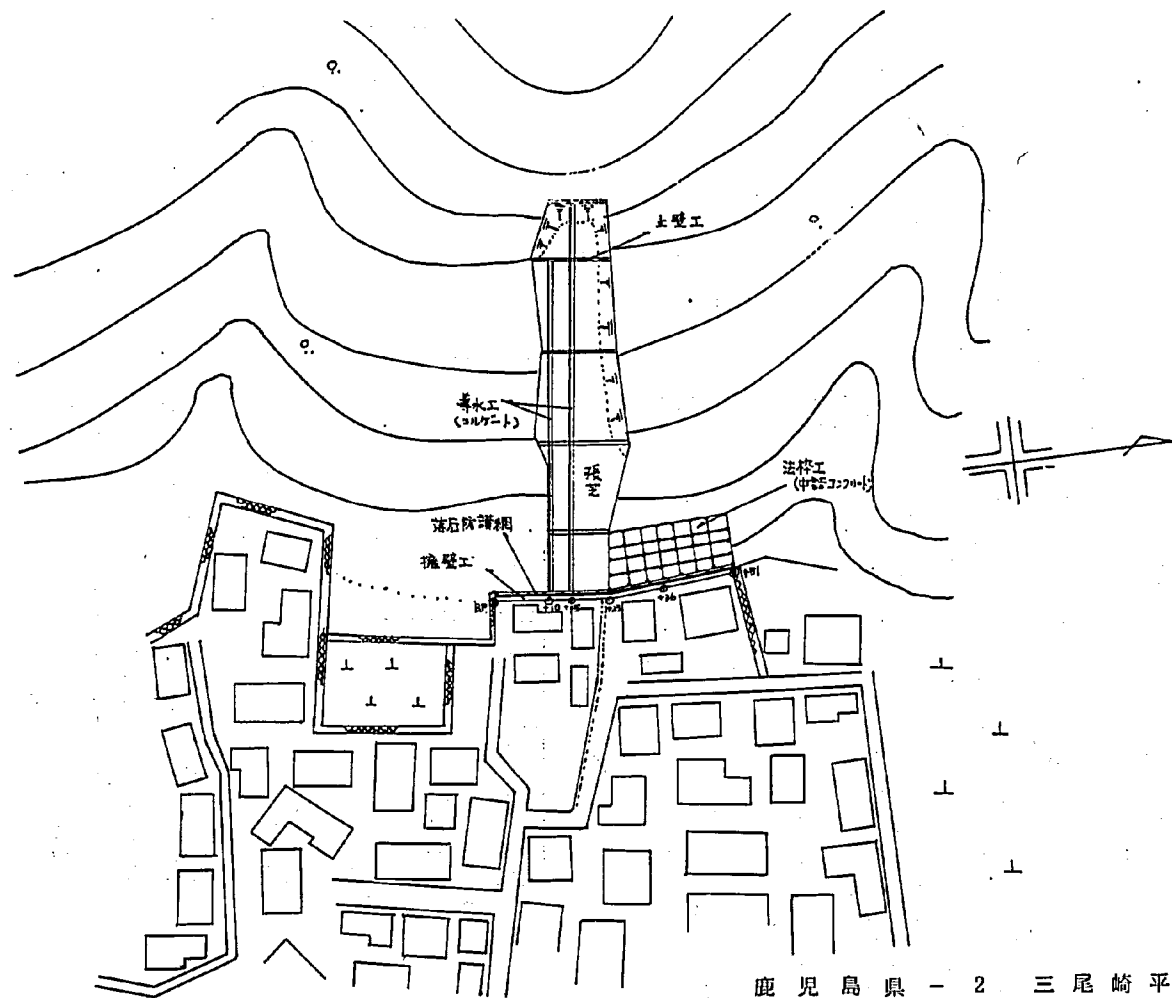
調 査 項 目 及 び 調 査 内 容			
対 策 工 事 前	人 家 戸 数 (戸)		64
	崩 壊 型		1-(2)
	地 質		シラス
	地 形	勾 配 (度)	40
		長 さ (m)	80
		高 さ (m)	44
		急傾斜面の面積(ha)	0.9
		急傾斜地の面積(ha)	3.0(2.7)
	植 生		林地 100%
	斜面の種類	自 然	○
		一部に人工が 加わったもの	盛 土 切 り 土 脱路変更
	過去の経 歴	崩 壊 なし	
		一部崩壊	復旧工事あり # なし
		崩 壊	復旧工事あり # なし
		崩壊年月日	844年6月50日
		被災家屋数(戸)	全壊5 一部損壊1
対 策 工 事	その他の自然状況	斜面よりの湧水	常時湧水あり 降排水のみ湧水あり ○ (上部、少量)
		落 石	時々あり なし ○
	斜面土層の緩み	最近あり	
		# なし	○
	工 法 の 種 別		擁壁工 L=51.0 ^m H=4.0~5.5 ^m 法面工 1716 ^m
	人 家 移 転 の 有 無		有 (戸) ⑤
工 事	工 事 費 所 要 額 (円)		総額7724 (内間接経費136)
	工 事 期 間		3ヶ月 44年12月27日~45年3月25日



施 工 前

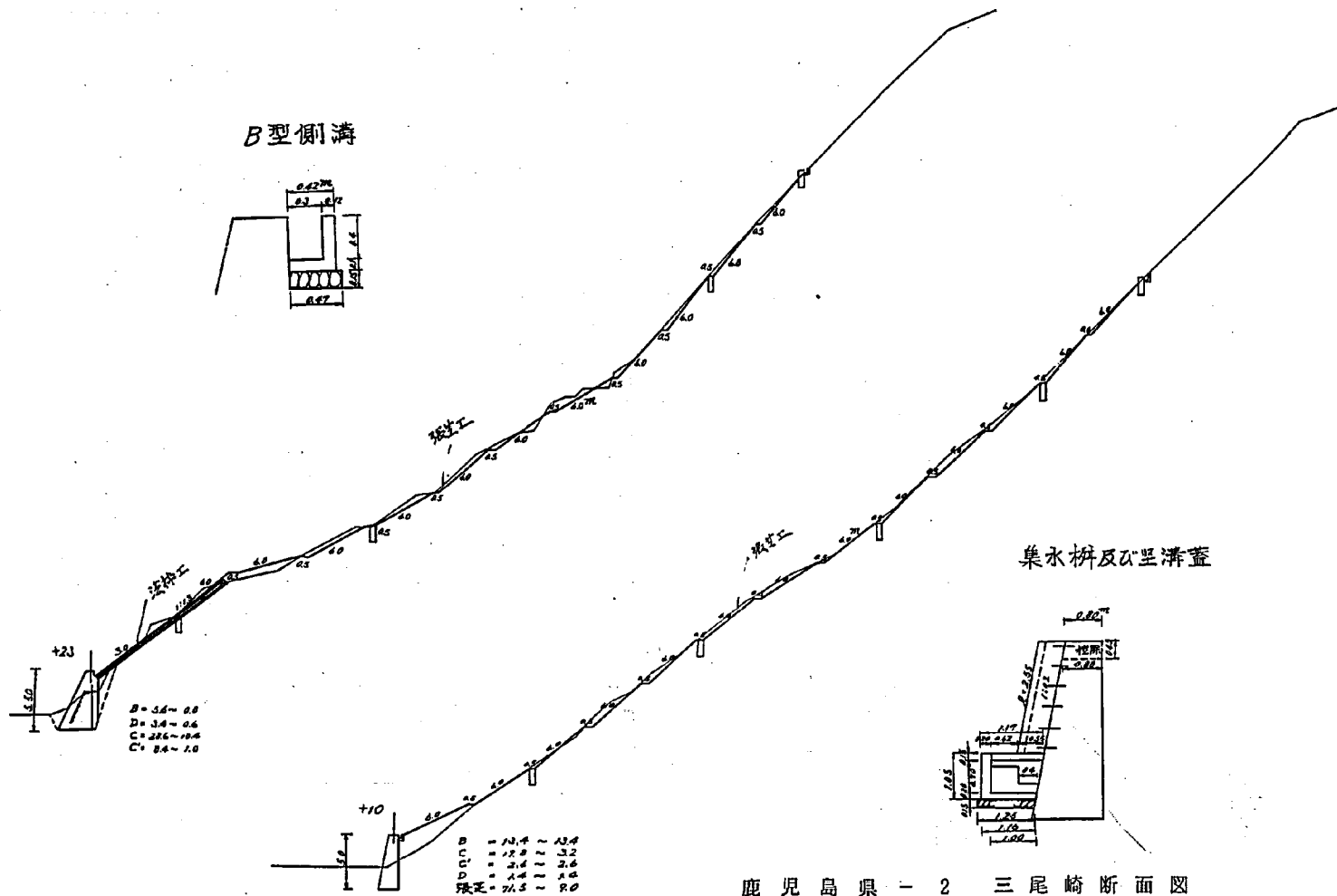
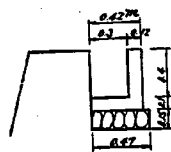


施 工 後

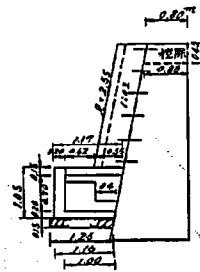


鹿児島県 - 2 三尾崎平面図

B型側溝



集水枳及凸型溝蓋



鹿兒島県 - 2 三尾崎断面図

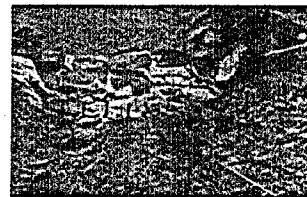
3 ※

県 名 鹿 児 島 県
場 所 鹿 児 島 市 上 竜 尾 町 常 安

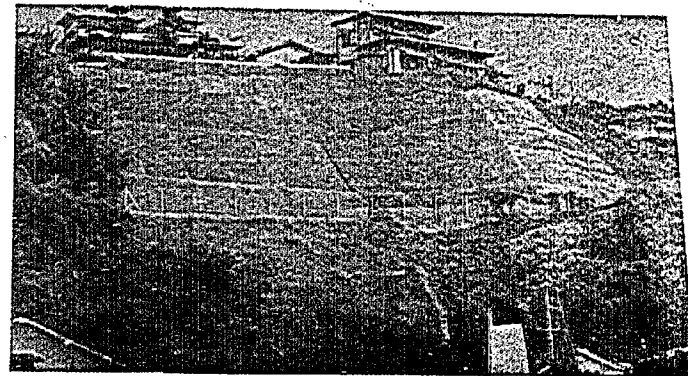
調 査 項 目 及 び 調 査 内 容				
対 策 工 事 前	人 家 戸 数 (戸)		75戸	
	崩 壊 型		1-12)	
	地 質		シラス	
	地 形	勾 配 (度)	40度	
		長 さ (m)	155	
		高 さ (m)	30	
		急傾斜面の面積(ha)	0.80	
		急傾斜面の面積(ha)	2.48(1.90)	
	植 生		林地10% 草地70% 裸地20%	
	斜面の 種類	自 然		○
		一部に人工が 加わったもの	盛 土	
			切 り 土	
			流 路 変 更	
	過 去 の 経 験	崩 壊 な し		
一 部 崩 壊		復旧工事あり		
		な し		
崩 壊		復旧工事あり		
		な し	○	
崩 壊 年 月 日		S25.7 S37.7		
被災家屋数(戸)		S44.6 全壊3 半壊2 一部損壊2		
そ の 他 の 自 然 状 況	斜面よりの湧水	常時湧水あり		
		降雨時のみ湧水あり	○ (中部、少量)	
	落 石	時 * あり		
		な し	○	
	斜面土層の緩み	最 近 あり		
	な し	○		
対 策 工 事	工 法 の 種 類		擁壁工 L=95m H=1.0~2.0m 法面工 3,006㎡	
	人 家 移 転 の 有 無		有 (戸) (無)	
	工 事 代 所 要 額 (千円)		総額25,919 (内助成金959)	
	工 事 期 間		1年4ヶ月 44年12月11日~45年3月31日 46年 1月26日~46年3月31日	



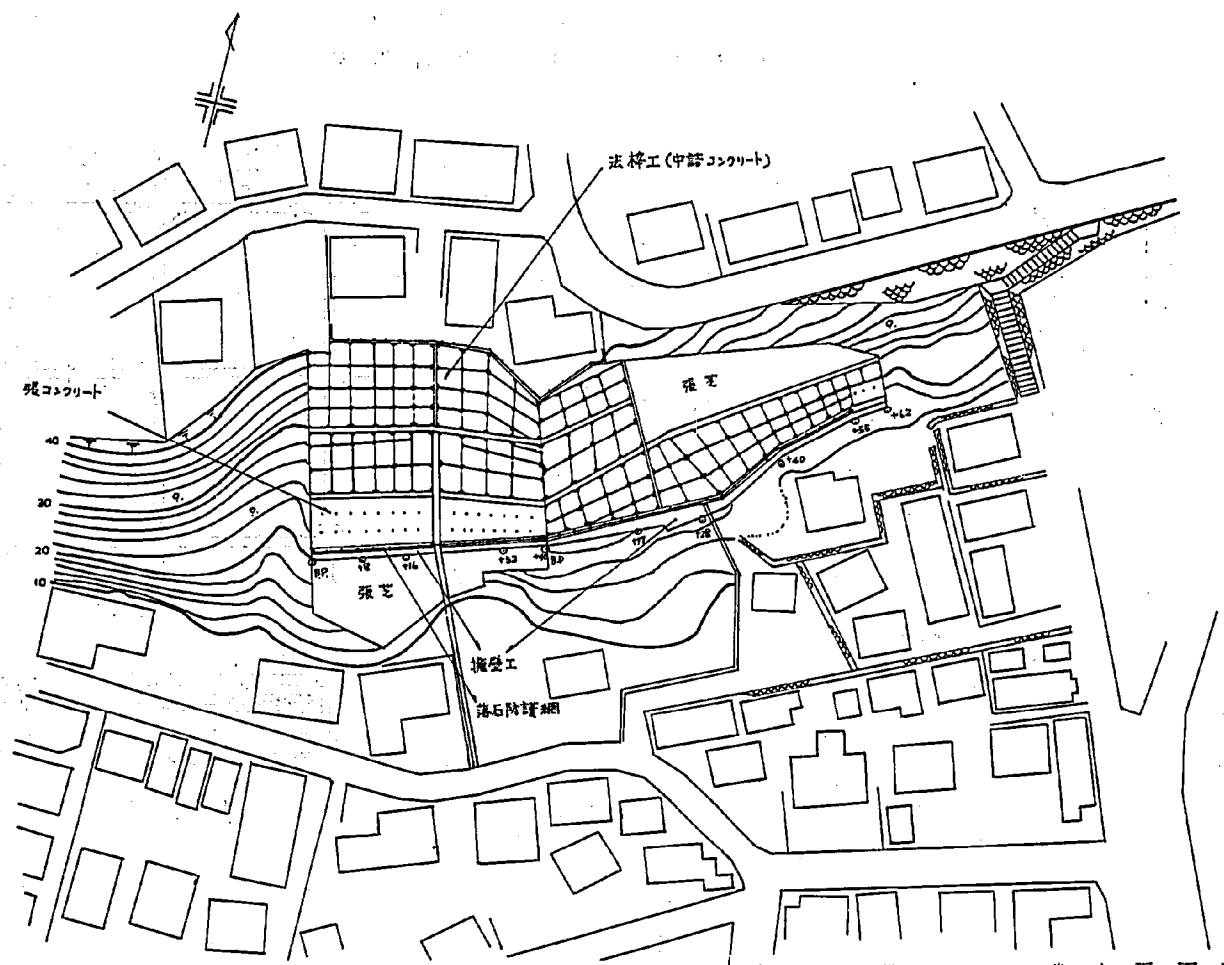
施 工 前



施 工 中



施 工 後



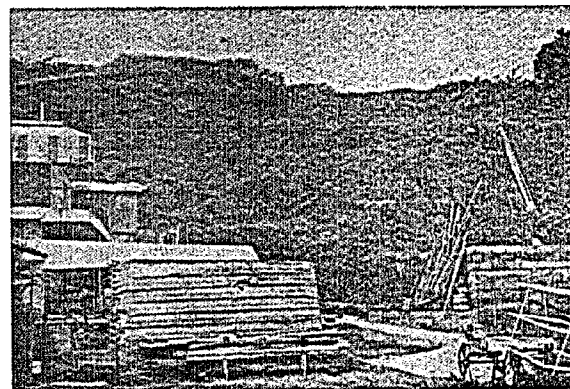
鹿児島県 - 3 常安平面図

4 米

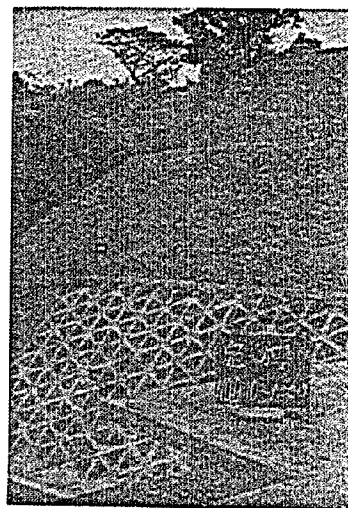
県 名 鹿 児 島 県

場 所 根 宿 郡 喜 入 町 大 字 瀬 々 串 浜 田

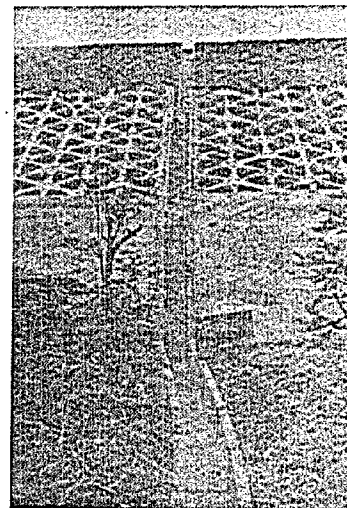
調 査 項 目 及 び 調 査 内 容			
対 策 工 事 前	人 家 戸 数 (戸)		58
	崩 壊 型		5-(1)-(a)
	地 質		シラス
	地 形	勾 配 (度)	50
		長 さ (m)	120
		高 さ (m)	15
		急傾斜面の面積(ha)	2.0
	急傾斜面の面積(ha)		2.5(1.8)
	植 生		裸地40% 草地50% 林地10%
	斜面の 種類	目 然	○
一部に人工が 加わったもの		盛 土 切 り 土 流 路 変 更	
過 去 の 経 緯	崩 壊	なし	
	一 部 崩 壊	復旧工事あり " なし	
	崩 壊	復旧工事あり " なし	
	崩 壊 年 月 日	昭和45年10月18日	
そ の 他 の 自 然 状 況	被災家屋数(戸)		全壊1 半壊2 一部損壊1
	斜面よりの湧水	常時湧水あり 降雨時のみ湧水あり	○ (下部、少量)
	落 石	時々あり なし	○
	斜面土層の緩み	最近あり " なし	○
対 策 工 事	工 法 の 種 類		抑圧工L=155m H=2.0~4.0m 排水工L=515m 法面工 2,172㎡法切工3,605㎡
	人 家 移 転 の 有 無		有 (戸) 〇
	工 事 費 用 要 額 (千円)		総額15,000 (内間接経費4,030)
	工 事 ・ 期 間		8ヶ月 46年8月2日~47年5月24日



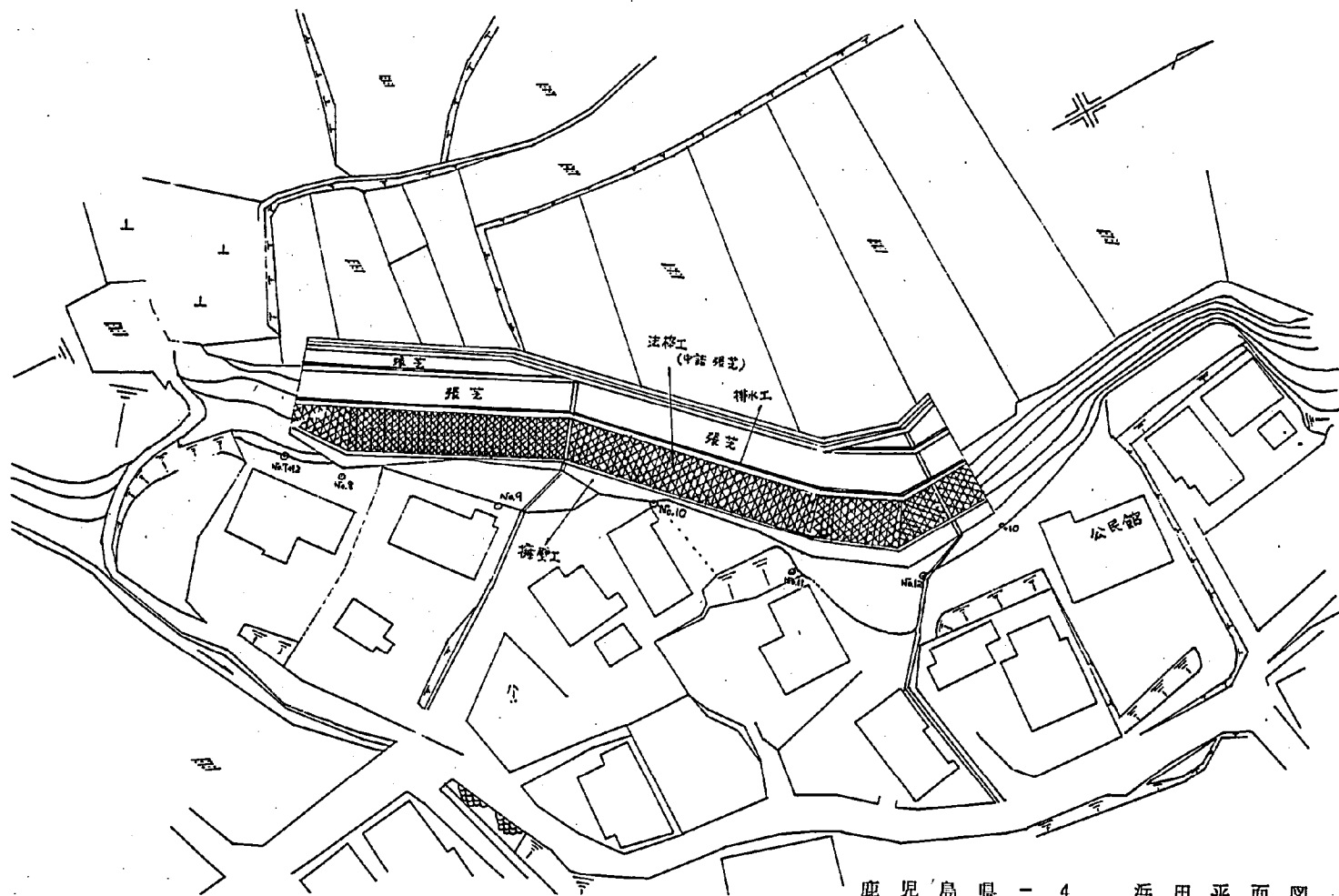
施 工 前



施 工 後

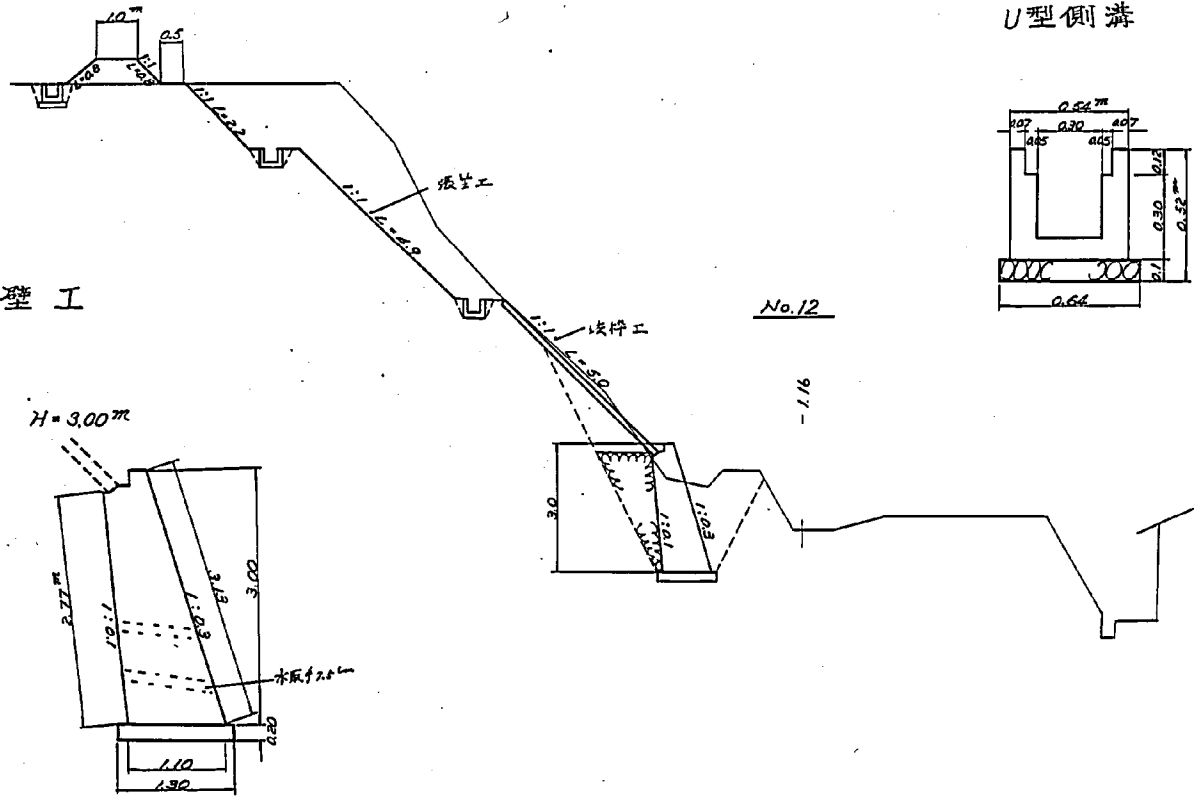


施 工 後



鹿兒島県 - 4 浜田平面図

擁壁工



鹿兒島県 - 4 浜田平面図

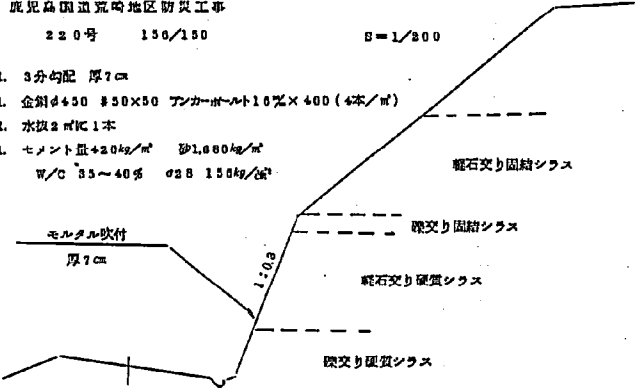
5 ✖✖

工 法 名	施 工 法	崩壊の原因 (施工前)	工法の特 徴 点	施工場所の 地 質	備 考
コンクリート 擁 壁	鹿児島国道湯之元地区防災工事 3号線 - 862K/180 附近 $S = 1/200$	地 下 水	シラス法面の保護として 張芝は根つきがあまり良 くなく工法としてはシラ スモルタル吹付又は方枠 (京阪式 共和式)等が 良い	軟質シラス ローム層あり	

6 ✖ ✖

法 枠 工 鹿兒島国道上の段地区(その1)災害復旧工事 10号 419/770 法枠工 杭 800x80x45cm 普通土 排水処理 排水口 排水路 1. 切土面は1割(シラス)とし、これに強ブロック法枠工を採用し、特にレヤ交リシラス面は法枠に杭打を行なり。 2. 排水処理としてL型側溝、壁側溝	1. 夢 間 1. この付近は台地となつて台地の低い所に水が集中、又隣層から湧水があり切土面の崩壊の原因となる。	1. 高い切土箇所であるので事故防止に努めること。	ロー ム 層 露 交リシラス 軟 質シラス
--	--	----------------------------------	--------------------------------------

7 選定

工 法 名	施 工 法	崩壊の原因 (施工前)	工法の特長・留意点	施工箇所 の状況	考 考
モルタル吹付 吹 付	鹿児島県国道荒崎地区防災工事 220号 150/150 $B=1/200$ 1. 3分勾配 厚7cm 1. 金釘φ50 #50×50 アンカーボルト10%×400(4本/㎡) 1. 水浸2㎡に1本 1. セメント量+20kg/㎡ 砂1,000kg/㎡ W/C 35~40% 砂28 150kg/㎡ 	降 雨	1. 補修などを考えると 小段勾配の検討必要	軟石及砂入り 硬質シラス	

11 参 考 文 献

1. 色 直記, 小野晃司, 太田 - 放射性炭素 ^{14}C による年代測定; 地質ニュース 133 1965-9
2. 太田良平 - シラスのしらべ方; 地質ニュース 140 1966-4
3. 管内技術研究発表論文集 (昭和 42 年度) 共通編 九州地方建設局
4. 鹿児島県土木部 - 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
昭和 43 年 11 月
5. 平尾公一, 大々保駿 - シラス地帯の災害; 土木技術資料 Vol.11, No.11 昭和 44 年
6. 鹿児島県耕地課 - 鹿児島県における特殊土じょうの概要 昭和 44 年 6 月
7. 鹿児島県土木部 - シラスの災害調査 昭和 45 年 3 月
8. 木村大造 - シラス地帯集中豪雨による崩壊の実態と防災上の問題点; 鹿児島県林務部治山課 昭和
45 年 6 月
9. 鹿児島県 - シラス地帯崩壊の実態と防災上の問題点; 昭和 45 年 6 月
10. 春山元寿 - シラスの土質試験結果の応用による設計の考え方に関する研究; 鹿児島県林務部治山課
昭和 47 年 3 月
11. 山内豊聡 - シラス地帯の防災; 予防時報 83 号
12. 郷原保真, 小森長生 - いわゆる "シラス" "炭石" について
13. 鹿児島県 - 道路工事設計基準 (案) 及び設置基準集
14. 九州地方建設局 - シラス地帯の道路土工設計施工指針 (一次案)
15. 土質工学会 - 土質調査法, 土質試験法
16. 日本地方地質誌 (九州地方)

12 あ と が き

今までシラスを総合的にとりまとめ総括したものが、なかなかできなかったようである。それだけにシラス全体を把握することはむずかしい。

この報告書も決して、これさえみればシラスについて全てが判るという具合に、シラスの全てを網羅したわけでもないし、十分まとめきったものでもない。又、個々の問題、分野についてもシラス地帯では、いくつかが未知であり、それらの検討も必要であろう。

将来において、これが訂正されたり、付け加えられたりして、シラスの総合的指針となる方向に進むようであれば幸いである。

この報告書を書くにあたって建設省九州地方建設局、同九州技術事務所、農林省農業土木試験場、鹿児島県砂防課から多大の貴重な資料を提供していただいた。また、この報告書をまとめるに当っては、建設省九州技術事務所の島常信所長および農林省農業土木試験場造構部の大平成人部長に御教示を御願いした。

文末ではあるが、これらの方々に心より感謝の意を表わす次第である。

安	江	朝	光
岡	本	正	男
服	部	泰	英
吉	川	正	徳