

斜面崩壊と火山性堆積物の土質工学的性質

下川悦郎・春山元寿

(昭和52年8月31日 受理)

On the Slope-failures and Geotechnical Properties of Volcanic Deposits

Etsuro SHIMOKAWA and Motohisa HARUYAMA

(Laboratory of Erosion Control)

はじめに

1976年6月21日から25日(所によっては22日から26日)にかけて南部九州に停滞した梅雨前線による集中豪雨が発生した。各地の降雨量は、総雨量、最大時間雨量それぞれ鹿児島市で440 mm, 56 mm, 鹿屋市で445 mm, 36 mm, 垂水市で477 mm, 61 mm, 垂水市高峠で556 mm, 45 mmと記録的大雨となった。この豪雨によって鹿児島県中央部の薩摩半島北部、大隅半島中、北部では多くの斜面災害が発生し、人的被害は死者数32名、重軽傷者数39名、物的被害は総額で234億円にもなった。

小規模のものを加えると、毎年、鹿児島県のどこかで斜面災害は繰り返されている。一体、この原因は何か。これまで、鹿児島県の斜面災害の原因はシラスを抜きにして論議されたことがない。“シラス”を強調するあまり、鹿児島県における斜面災害をシラス地帯が背負った宿命とする考え方もある。果たして、この考え方は斜面災害の実態を正しくつかんでいるかどうか、実態にもとづいて十分な検討が必要である。そのような意味で今回の斜面災害は、発生の原因、機構など自然科学的にも、災害の歴史性など社会科学的にも再度問い直してみる必要があるであろう。

著者の1人春山³⁾は、シラス地帯の主として自然斜面に発生した斜面崩壊を形態、機構上から、表層スベリ、表層落下、パイピング、円弧スベリ、地下水による侵食、ガケ下侵食による崩壊、表層はくり、沈下の8形態に分類している。このうち、地下水による侵食、ガケ下侵食による崩壊、沈下の3種類の斜面崩壊は、シラス地帯における戦前、終戦直後の農地開発がもたらしたもので、最近ではほとんど見られなくな

た。一方、1965(昭和40)年前後からシラス地帯の広大な台地の土地開発が進み、シラス斜面は土木的工法によってがけぎわまで、宅地として利用されるようになった。その結果、最近の斜面崩壊の形態は自然斜面の崩壊より宅地造成、道路開設に伴う切取、盛土斜面の崩壊が増加してきた。このように斜面崩壊の形態は、土地利用の変化を反映して歴史的変遷をとげているようである。

筆者等は、今回発生した斜面災害を自然科学的観点に立って検討するために詳細な現地調査と現地から採取した試料土の室内試験を実施した。本文は、まず現地調査によって得られた今回の斜面災害の実態を述べ、ついで斜面土を構成する風化シラス、降下軽石、火山灰土の土質工学的性質を通じて斜面崩壊の原因を考えていく。過去の斜面災害についての実態および、シラスの土質工学的性質についての調査、研究は数多く行われている^{6,2)}が、鹿児島県における降下軽石、火山灰土の土質工学的性質と、それが及ぼす斜面災害の影響に関する研究例はほとんどない。

現地調査および試験方法

1. 現地調査

災害発生直後、鹿児島市(薩摩半島北部)、垂水市、肝属郡および曾於郡の各町(大隅半島中、北部)において発生した斜面崩壊の現地調査を行った。現地調査は斜面崩壊の発生時期、発生時の様子、斜面の種類、地形、地質、土質、植生、崩壊の形状、形態、機構(湧出水の有無)および規模について実施した。また、現場で簡略に地層ごとの力学的性質をつかむための山中式土壌硬度計によって土の硬度を測定した。

2. 試料土の試験方法

試料は諸物理試験のための乱したものと、単位体積重量、透水係数測定(サンプラーφ55 mm×60 mm)、一軸圧縮強度測定(サンプラーφ35 mm×120 mm)

* 本文の一部、現地調査に関するものは、その大要を昭和51年度文部省自然災害科学総合シンポジウム(1976)において報告した。

Table 1. Summary of slope-failures owing to the

位 置	崩壊発生 日 時	崩 壊 時 (mm)		崩壊の種類と形態	被 害 状 況	地 盤 の 地 質
		累加 雨量	時雨 量			
鹿児島市鴨池1	25, 7:02	375.5	9.0	宅地, 果樹園の盛 土崩壊, 表層スベ リ	死者4名, 家屋2棟全壊	シラス, 降下軽石, 火山灰土
鴨池2	24, 14:30	211.5	25.0	林地の表層スベリ		シラス, 降下軽石, 火山灰土
鴨池3	24, 15:00	220.0	9.0	道路切土斜面の表 層スベリ		シラス, 降下軽石, 火山灰土
宇 宿	25, 5:55 9:30	408.0	5.0	宅地盛土崩壊, 林 地の表層スベリ	死者9名, 家屋6棟全半 壊	シラス, 降下軽石, 火山灰土
日の出	13, 11:30			宅地盛土崩壊	家屋5棟半壊	シラス, 降下軽石, 火山灰土
坂元1	25, 8:40	403.0	19.5	林地の表層スベリ	家屋1棟全壊	シラス, 火山灰土
坂元2	25, 6:25	366.0	13.5	宅地盛土崩壊	家屋3棟全半壊	シラス, 降下軽石, 火山灰土
坂元3	25, 7:00	375.5	9.0	宅地盛土崩壊	家屋3棟半壊	シラス, 降下軽石, 火山灰土
下田1	25			宅地盛土崩壊, 林 地の表層スベリ	耕地うまる	シラス, 降下軽石, 火山灰土
下田2				林地の表層スベリ		シラス
山 田				林地の表層落下	家屋1棟半壊	シラス, 火山灰土
川上1				林地の表層スベリ	家屋1棟半壊	安山岩
川上2				道路切土斜面の表 層スベリ		シラス, 降下軽石, 火山灰土
川上3	25, 6:05	366.0	13.5	林地の表層落下	家屋1棟半壊	シラス, 降下軽石, 火山灰土
垂水市	24~25, 末 明			林地の表層スベリ	国道, 家屋うまる	安山岩, シラス, 降下軽石など
	24~25, 末 明			林地の表層スベリ	国道, 家屋うまる	安山岩, シラス, 降下軽石など
	25, 1:15	436.0	1.0	林地の表層スベリ	家屋1棟全壊	たい積岩, 降下軽石, 火山灰土
	25, 6:50	471.0	30.0	道路盛土崩壊	死者1名, 家屋3棟全壊	たい積岩, 降下軽石, 火山灰土
	岡 24, 13:30	331.0	8.0	林地の表層スベリ	墓地うまる	シラス
	田 上 24, 13:30	331.0	8.0	林地の表層スベリ	家屋1棟全壊, 耕地うま る	シラス
	市 来 24, 13:30	331.0	8.0	林地の表層スベリ	家屋1棟全壊	シラス
串良町	串良1 25, 21:00	318.5	0	林地の表層スベリ	重軽傷3名, 家畜16頭死 亡, 家屋2棟全壊	シラス, 降下軽石, 火山灰土
	串良2			道路切土斜面の崩 壊	家屋1棟全壊, 国道うま る	溶結凝灰岩
大崎町	大崎1 25, 朝	362.0	14.0	林地の表層落下	家屋1棟半壊	シラス, 火山灰土
	大崎2 25, 朝	362.0	14.0	林地の表層落下		シラス, 火山灰土
有明町	24, 24:00	302.5	11.5	表層落下	家屋1棟全壊	シラス, 火山灰土
松山町	松山1 25, 7:35 ~10:30	419.0	50.0	林地の表層スベリ	家屋3棟全壊	シラス, 火山灰土
	松山2 25, 9:17	428.0	9.0	道路盛土崩壊, 林 地の表層スベリ	死者5名, 家屋3棟全壊 耕地うまる	シラス, 降下軽石, 火山灰土
大隅町	大隅1 25, 20:00	412.5	0	道路切土斜面の表 層落下	家屋1棟全壊	シラス, 降下軽石, 火山灰土
	大隅2 25, 6:20	365.5	8.0	道路切土斜面の表 層落下	死者3名, 家屋1棟全壊	シラス, 火山灰土
末吉町	末吉1			林地の表層落下	家屋1棟全壊	シラス, 火山灰土
	末吉2			林地の表層スベリ	耕地うまる	シラス
輝北町	輝北1 25			林地の表層スベリ	家屋1棟全壊	シラス, 火山灰土
	輝北2 25, 12:00	530.0	11.0	林地の表層スベリ	耕地うまる	シラス, 降下軽石, 火山灰土

heavy rain by the Baiu front in june, 1976

崩壊物質	湧水の有無	斜面の横断形	斜面向, 傾斜(度)	崩壊面積(m ²)	崩壊土量(m ³)	植生	備考
盛土, 擁壁	無	凹	NE, 25~52	221	511	ミカン, 雑草	斜面上部宅地
表土	有	凹	SE, 40	80	100	雑木	斜面上部農道, 畑
表土	有	等斉	S, 60	35	70	雑木	斜面上部畑
盛土, 擁壁, 降下軽石, 火山灰土	有	等斉	SW, 38	1980	5168	雑木	斜面上部宅地
盛土, 降下軽石, 火山灰土	有	等斉	NE, 30	285	221	雑木	斜面上部宅地
捨土, 火山灰土	地表水	不整形	SW, 40	600	744	雑木	斜面上部宅地
盛土, 擁壁	無		W	134	417		宅地, ゆっくり動く
盛土, 擁壁	無	凹	N	229	665		宅地
盛土, 擁壁, 降下軽石, 火山灰土	無	凹	W, 30	909	1014	雑木	斜面上部宅地
表土	無	等斉	NW, 60	200	60	雑木	
火山灰土	無	等斉	SW, 73	35	18	雑木	
表土	無	等斉	S, 40	32	16	雑木	
表土	無	等斉	SW, 53	120	48	雑草	斜面上部宅地
降下軽石, 火山灰土	無	凹	NW			雑木	
降下軽石		凹	N, 30~35			雑木	
降下軽石		凹	N, 37			雑木	
降下軽石, 火山灰土	有	不整形	SW, 32	900	525	雑木	
盛土	無						
表土	有	凹	W, 40	460	300	雑木	
表土	地表水					雑木	斜面上部畑
表土	無	凹	SW, 46	63	45	雑木	
降下軽石, 火山灰土	無	凹	SW, 40	102	180	雑木	
表土	無					雑木	
火山灰土	無	凹	NE, 45			スギ幼令林	
火山灰土	無	凹	SW, 70	5	20	雑木	
火山灰土	無	凹	N	48	188	雑草	斜面上部宅地
火山灰土	無	等斉	SW, 37	92	180	スギ幼令林	ゆっくり動く
盛土, 擁壁, 降下軽石, 火山灰土	有	等斉	S, 33	1310	3200	スギ10年生林	斜面上部道路
降下軽石, 火山灰土	有	等斉	NE, 55	57	100	雑木	
火山灰土	無	等斉	W, 60			雑木	
火山灰土		凹	NE, 80			スギ	斜面上部平坦地
表土		凹				スギ, ヒノキ幼令林	斜面上部畑
火山灰土	無	凸	NE, 45	14	30	スギ, ヒノキ幼令林	
降下軽石, 火山灰土	有	凹	NW, 30	1732	5000	ヒノキ2年生林	

のための乱さないものを採取した。また、斜面崩壊後の土の間ゲキ比の変化をみるために崩土の土塊も採取した。それらの試料土を使って比重、粒度、自然含水比、密度、コンシステンシー試験（以上物理的試験）、透水試験、一軸圧縮試験（以上力学的試験）を行った。細粒の黒色、褐色火山灰土の土質試験は、土粒子の分散度合、初期含水比⁸⁾、練り返し程度が影響してなかなか信頼性の高いデータを得ることが困難である。そこで、本試験ではこれらの影響をできるだけ小さくするために、試料土は蒸留水中でよく解きほぐし、所要の含水比まで空気乾燥させ、実験に供した。透水試験は小型の定水位透水試験器で行った。

調査および試験結果

1. 斜面崩壊地の概要

現地調査の概要を Table 1 に示す。34 箇所の調査地それぞれに崩壊に関与するすべての要因が把握されたわけではない。基岩の地質別内訳はシラス 28 箇所、安山岩、溶結凝灰岩 4 箇所および堆積岩（四万十層）2 箇所である。崩壊した斜面のほとんど 27 箇所には基岩上に火山灰土、降下軽石が堆積し、斜面崩壊に重要な役割を演じている。

斜面の種類を自然斜面、宅地、道路などの人工切取・盛上斜面およびそれらの両者を含めた複合斜面の 3 種類に分類し、その内訳を示すと Table 2 のようになる。斜面崩壊の半数以上は人工斜面および複合斜面

で発生したものであり、とくに鹿児島市では両者の割合が 8 割にも達している。基岩の地質からみると安山岩、溶結凝灰岩および堆積岩のほとんどは自然斜面だけであるが、シラスでは自然斜面、人工斜面および複合斜面と多様である。しかし、自然斜面と言っても崩壊源が自然斜面内に位置していたと言うだけで、全くの自然状態ではない。たとえば、斜面の近くに宅地、道路などがあれば、それらは斜面内への浸透水の流入経路、量などに深い影響を及ぼす場合が多い。

地形は地質、斜面の種類によって異なる。傾斜の分布を地域的にみたのが Table 3 である。斜面崩壊の多くは傾斜 20~60 度の斜面で発生している。ちなみに、斜面崩壊の種類別平均傾斜は自然斜面 44.4 度、人工斜面 54.3 度、混合斜面 48.6 度である。地形を斜面の横断形でみると、その内訳は凹斜面 14 箇所、凸斜面 1 箇所、等斉斜面 11 箇所、不整形斜面 2 箇所となる。斜面崩壊の半数以上は凹および不整形斜面で発生している。また、シラス地帯では宅地造成が進み、地形は大きく変化している。このような所の斜面崩壊は造成前の地形（旧地形）との関連でみることも重要である。旧地形と言う場合、以上のような人為的なものだけでなく、地質的に形成されたものもある。鹿児島県のような火山地域ではいく重もの火山噴出物で地盤が構成されており、旧地形面の斜面崩壊に及ぼす影響は大きい⁹⁾。

斜面植生の内訳は広葉樹林 21 箇所、草地 2 箇所、

Table 2. Kinds of slopes

		Kagoshima-shi	Ushine, Tarumizu-shi	Tarumizu-shi	Kimotsuki-gun and So-gun	Total
Natural slope		3	3	3	7	16
Man-made slope	Cutting	3	0	0	5	8
	Baking	2	1	0	0	3
Compound slope		6	0	0	1	7

Table 3. Gradients of slope-failures

Gradient (deg.)	Kagoshima-shi	Ushine, Tarumizu-shi	Tarumizu-shi	Kimotsuki-gun and So-gun	Total
10<	0	0	0	0	0
10-20	0	0	0	0	0
20-30	3	0	0	1	4
30-40	4	3	1	3	11
40-50	0	0	1	2	3
50-60	4	0	0	2	6
60-70	0	0	0	1	1
70-80	1	0	0	1	2

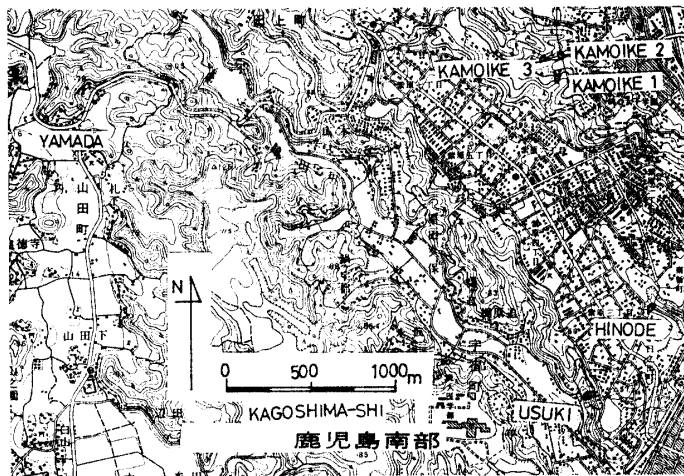
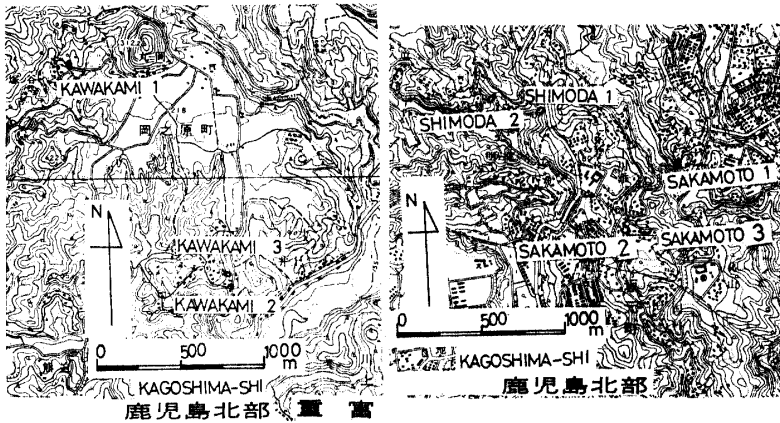


Fig. 1-a. Places where slope-failure occurred.

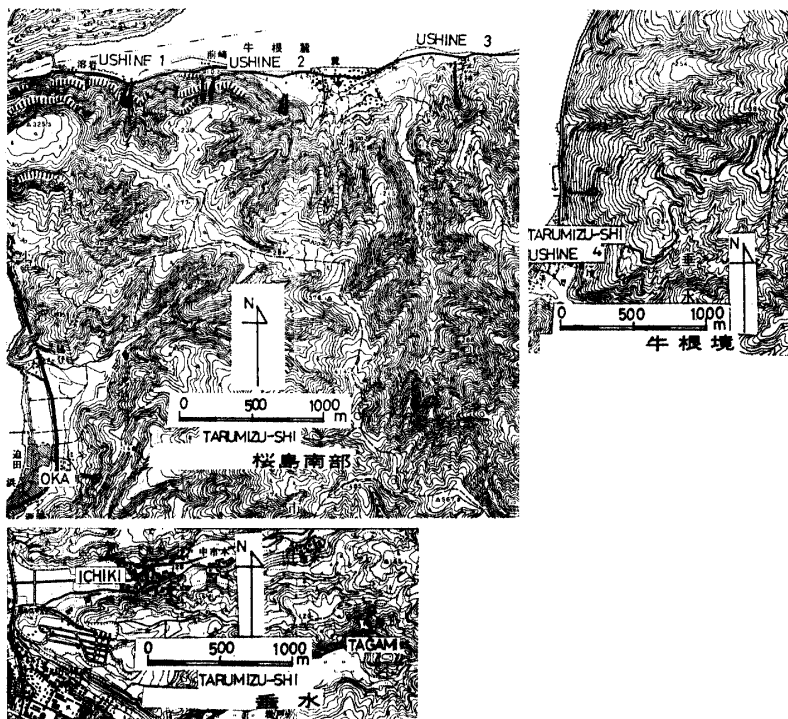


Fig. 1-b. Places where slope-failure occurred.

スギ、ヒノキの幼令林7箇所および果樹1箇所であった。

2, 代表的斜面崩壊例

全ての調査地それぞれに説明を加えることはせず、ここでは代表的斜面崩壊例をあげ、その地形、地質、土質、形態および機構について述べる。調査位置図は Fig. 1a-d に示す。

(1) 鹿児島市宇宿

今回の災害で死者9名と最大の人的被害を受けた所である。現場は紫原台地の南部、脇田川下流部の小侵食谷の入口に位置する。実測による断面図を Fig. 2 に示す。地形は傾斜角30~40度、横断形等斉あるいはやや凹の急斜面である。地質はシラス(上部は風化シラス、上層との境界近くは暗カッ色の古土壌)を基岩とし、表面から土壌、黒色火山灰土、褐色降下軽石、褐色軽石・火山灰固結層および灰白色砂粒降下軽石の順で地層が構成されている。

斜面は上、下とも斜面ギリギリまで住宅地として利用されている。崩壊前、斜面上腹部には小段(以前畑として利用)、長さ30mの土留擁壁と盛土斜面があり、下部は道路開設のためカットされた切取斜面がある。斜面崩壊は斜面上腹部の土留擁壁、盛土部の崩壊と褐色軽石・火山灰固結層を境にした上層部の表層スベリの複合形態である。斜面は6月25日5時55分と9時30分の2回にわたって最初上腹部の盛土、土留擁壁が、その後斜面全体が崩壊した。土留擁壁は杭によって補強されていたが、杭は折損した。住民の話によれば、すでに1975年に斜面上部の盛土部にクラックが発生していたそうである。

斜面崩壊の原因は、斜面上部の居住地と上腹部の小段から斜面内

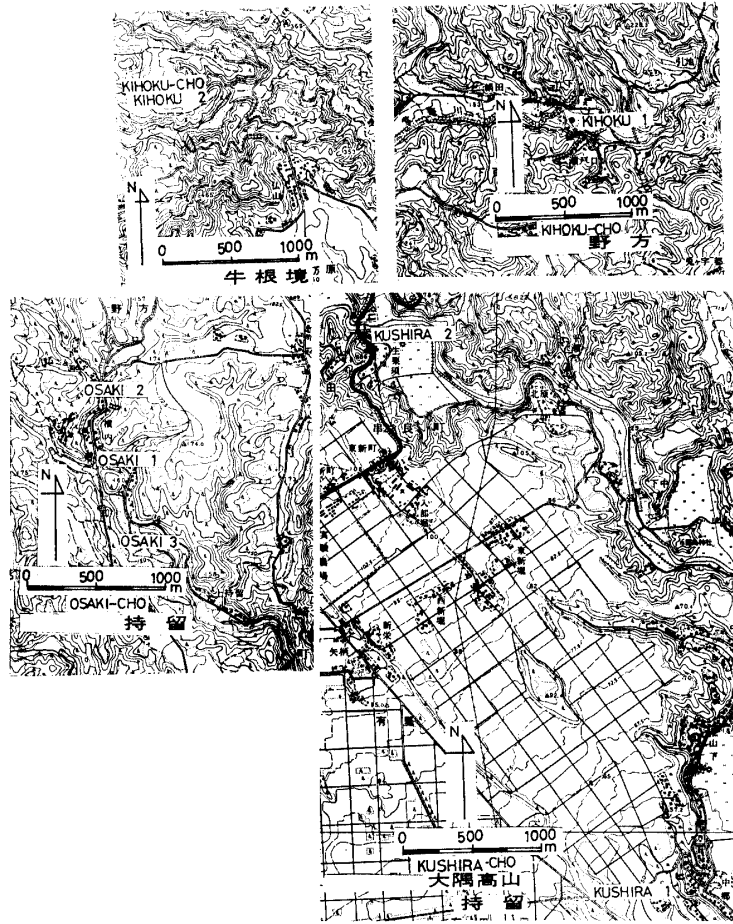


Fig. 1-c. Places where slope-failure occurred.

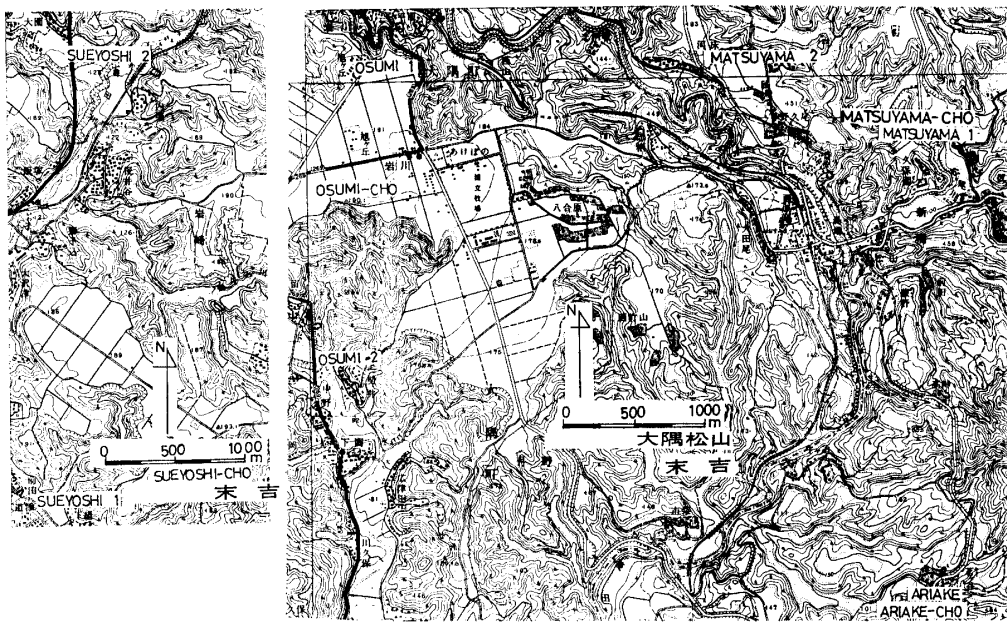


Fig. 1-d. Places where slope-failure occurred.

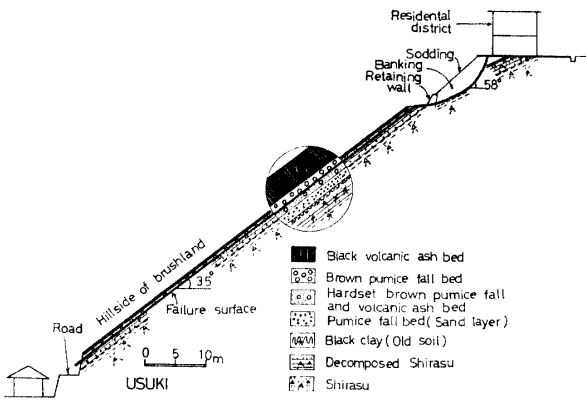


Fig. 2. The slope-failure survey section at Usuki, Kagoshima-shi.

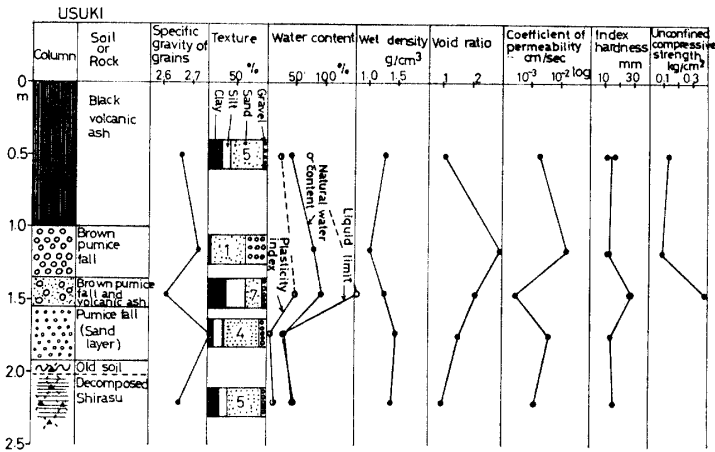


Fig. 3. The slope geotechnical properties at Usuki, Kagoshima-shi.

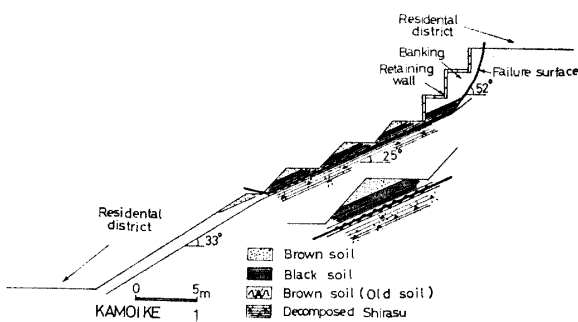


Fig. 4. The slope-failure survey section at Kamoike 1, Kagoshima-shi.

へ流入した浸透水が盛土および斜面表層の自重増加、土留擁壁内の水圧の発生、地盤の強度、支持力の低下をひき起こしたことによるものと考えられる。また、斜面下腹部では降下軽石層を通してパイピング現象が観察された。

このような形態の斜面崩壊が発生するためには、地層の境界条件が重要な役割を果しているものと思われる。

る。Fig. 3は地層ごとの土質試験結果を柱状図にしたものである。この図の粒度組成の欄に示された数字はFig. 30による土質分類番号を表わす。Fig. 3から、スベリ面を境にして上、下の土質工学的性質の違いが読みとれる。すなわち、比重、粒度、自然含水比、コンシステンシー指数、湿潤密度、間ゲキ比、透水係数、指標硬度および一軸圧縮強度はスベリ面の上、下で明らかに変化している。とくに、水の浸透ともっとも関係の深い透水係数は 10^{-2} オーダーの差がある。

この崩壊形態に類似の例として鹿児島市鴨池1, 下田1, 松山町2の斜面崩壊がある。

(2) 鹿児島市鴨池1

この現場は宇宿と同じ紫原台地の北部に位置する。斜面崩壊の規模は宇宿に比較すると小さいが、死者4名と多くの犠牲者を出した。実測断面図をFig. 4に示す。地形は傾斜25~35度、横断形凹型の急斜面である。地質は宇宿の斜面と同様シラスを基岩とし、表面から黒色火山灰土、褐色降下軽石、褐色軽石・火山灰固結層および灰白色降下軽石層の順に地層を形成している。しかし、崩壊をおこした部分は果樹園造成の際、火山灰土、降下軽石層はほとんどカットされ、かわりに褐色、黒色土が階段状にシラスをおおっている。斜面上腹部は宅地としての空間を確保するために斜面

の切土と土留擁壁(ブロック使用)、盛土があった。斜面崩壊は、風化シラス上の旧地表に沿って土留擁壁、盛土および斜面上層部の褐色、黒色土がすべったものである。崩壊原因は、凹斜面に浸透水が集中し、旧地表を境にして上部に水帯が形成され、それが土の自重増加、土留擁壁内の水圧発生、パイピング現象をひき起こしたことによるものと考えられる。Fig. 5に示した土質柱状図によって、崩壊原因は裏づけられる。湿潤密度、間ゲキ比、透水係数、指標硬度および一軸圧縮強度は旧地表面(風化シラス上の黒褐色土)を境にして顕著な違いを示している。

(3) 鹿児島市下田1

この現場は鹿児島市の中北部、長井田川(甲突川支流)の支流に面した侵食谷に位置する。実測断面図をFig. 6に示す。地形は傾斜30度、横断形凹型の急斜面である。地質はシラスを基岩としてその上に新期火山性堆積物がある。崩壊前の斜面は上部に土留擁壁、盛土があり、宅地として利用されていた。斜面崩壊は

上部の盛土と風化シラス上の古土壌を境にした降下軽石、褐色火山灰土層のスベリである。崩壊土砂は下流部約 200 m にわたって土石流として流下した。

崩壊原因は、斜面上部から多量の水が土留擁壁内の盛土部に流入し、それが斜面の自重増加、水圧上昇をひきおこしたことによるものと考えられる。Fig. 7 に土質柱状図を示す。スベリ面を境にして土の物理的、力学的性質は明らかな違いを示している。

(4) 鹿児島市坂元 1

崩壊現場は稲荷川下流沿いに位置する。実測断面図を Fig. 8 に示す。地形は傾斜 43 度、横断形等斉の急斜面である。地質はシラスを基岩として、その上部を褐色火山灰土がおおう。急斜面のため降下軽石層は堆積していない。斜面上部は宅地として利用するためカットされ、その時の切土が斜面をおおっている。斜面崩壊は風化シラスを境にその上部がすべり落ちたものである。崩壊原因は宅地上部と表土層を通して斜面内に流入した浸透水が土の自重を増加させたことによるものであろう。Fig. 9 の土質柱状図をみると土の物理的、力学的性質の違いがスベリ面の位置を示唆している。

(5) 鹿児島市日の出

この崩壊地は紫原台地の南部、彦四郎谷に位置する。実測断面図を Fig. 10 に示す。地形は傾斜 40~50 度、横断形等斉の侵食斜面である。地質はシラス、風化シラス、古土壌、数層の降下軽石層および黒色、褐色火山灰土からなる。斜面上部は編さく工を用いてシラス盛土が施工されている。斜面崩壊は、まず最上部のシラス盛土がすべり、それによって下部の火山灰土、降下軽石層の一部をもけずり取った形で発生した。その結果斜面の支持力が低下し、斜面上部の家屋、宅地のクラックの発生からわかるように二次的スベリが粘土化した降下軽石層と風化シラス上部の古土壌（黒色粘土）の間に沿って生じている。

最初の崩壊の原因は急斜面上に編さく工で簡略に施工したシラス盛土に雨水が浸透

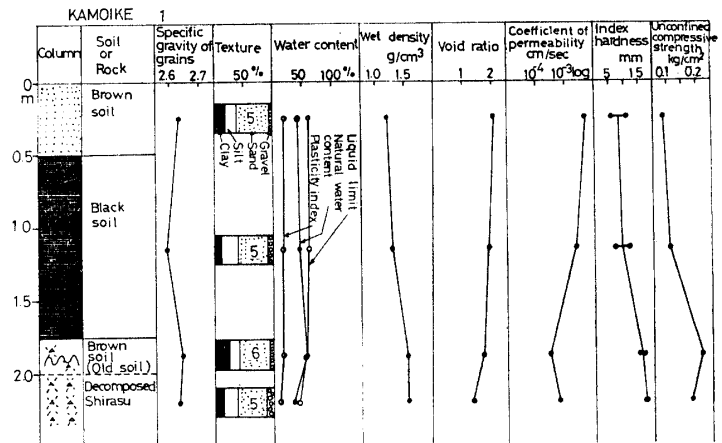


Fig. 5. The slope geotechnical properties at Kamoike 1, Kagoshima-shi.

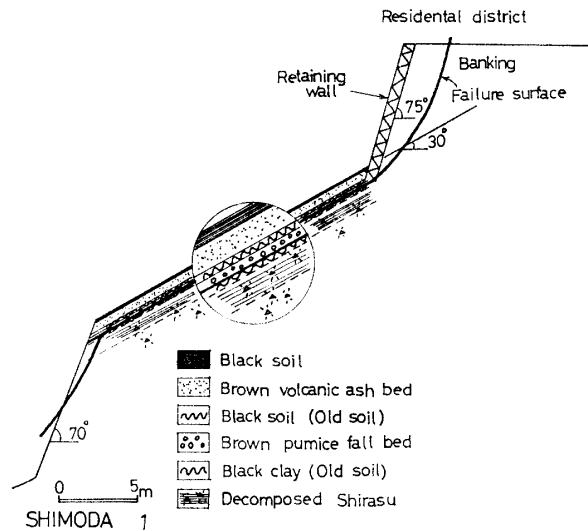


Fig. 6. The slope-failure survey section at Shimoda 1, Kagoshima-shi.

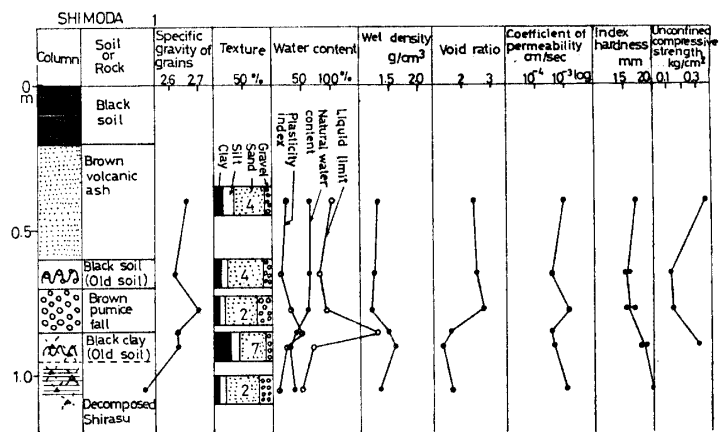


Fig. 7. The slope geotechnical properties at Shimoda 1, Kagoshima-shi.

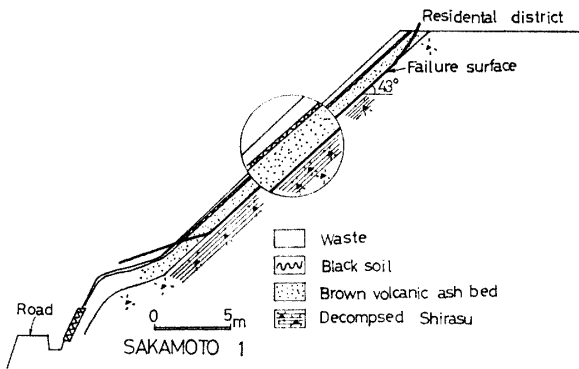


Fig. 8. The slope-failure survey section at Sakamoto 1, Kagoshima-shi.

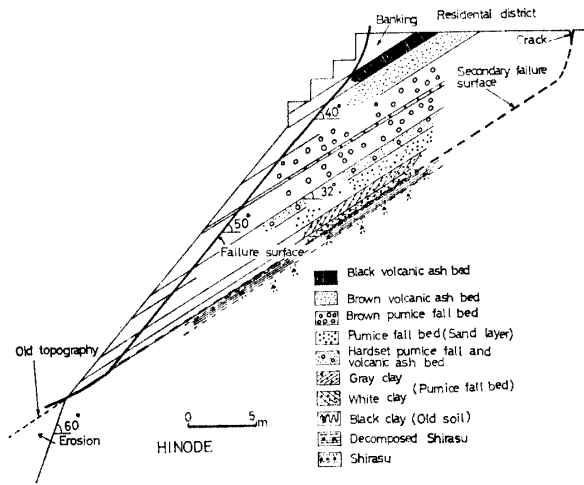


Fig. 10. The slope-failure survey section at Hinode, Kagoshima-shi.

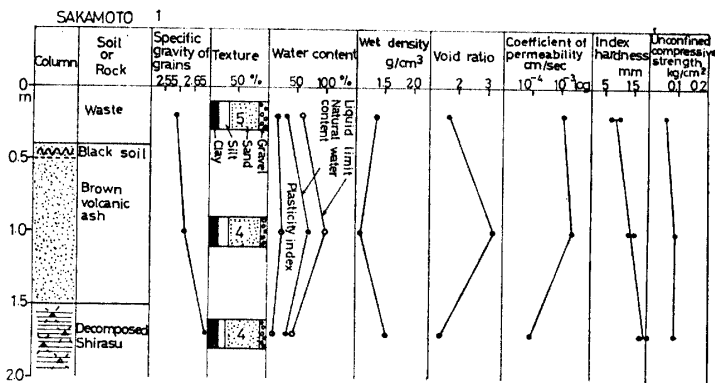


Fig. 9. The slope geotechnical properties at Sakamoto 1, Kagoshima-shi.

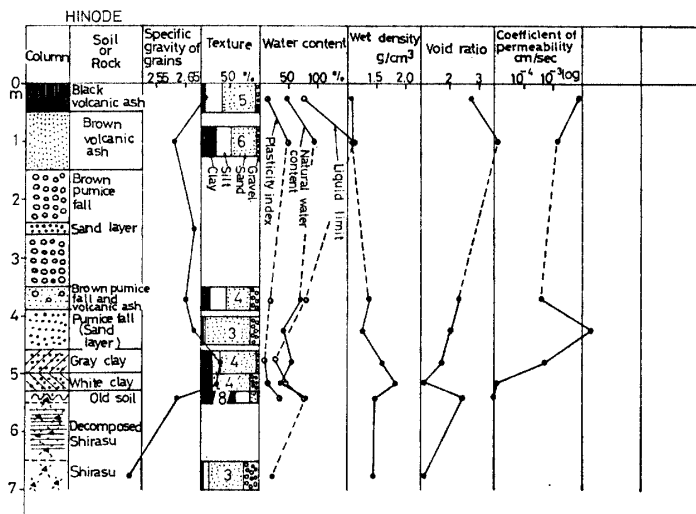


Fig. 11. The slope geotechnical properties at Hinode, Kagoshima-shi.

したことによるものと考えられる。二次的スベリの原因は長年にわたる絶え間のない浸透水によって粘土化した降下軽石層の存在によるものであろう。事実、粘土化した降下軽石層の地層面を斜面内に延長すると斜面上部のクラックと結びつけられる。

Fig. 11 に土質柱状図を示す。これによると、古土壌と粘土化した灰色、白色降下軽石層の間で比重、粒度、自然含水比、コンシステンシー指数、湿潤密度、間ゲキ比および透水係数は大きな差を示している。二次的スベリの発生は土の物理的、力学的性質の違いに影響される所が大きい。

(6) 鹿児島市坂元2

この現場は鹿児島市中北部の稲荷川下流侵食谷に位置する。実測による断面図を Fig. 12 に示す。地形は宅地造成によって著しく変化しているが、旧地形は傾斜 30 度内外、横断形等齊あるいはやや凹型の斜面である。地質はシラスを基岩とし、その上を火山灰土、降下軽石がおおう。一帯の斜面は宅地造成によって余す所なく利用されている。この斜面の崩壊形態は造成地における旧地形面と土留擁壁、盛土の境界に沿ったスベリである。崩壊原因は、宅地上部、張芝法面から降下軽石層を経由して流入した浸透水が擁壁、盛土内にたまり、斜面内の浸透水圧が増加したことによるもの

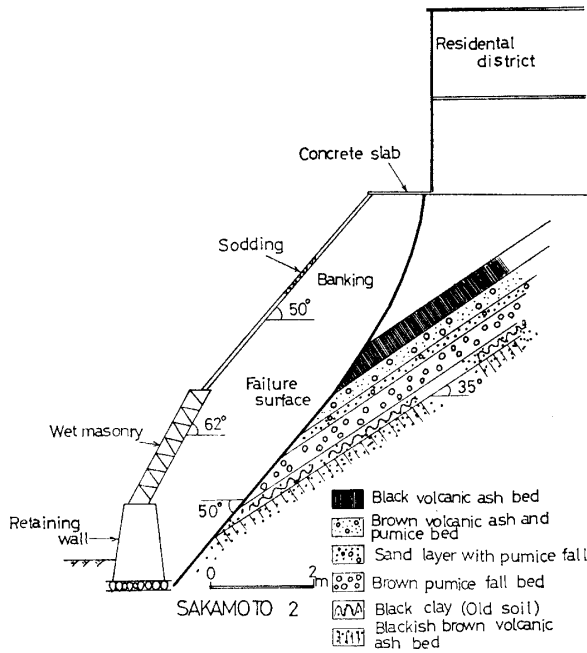


Fig. 12. The slope-failure survey section at Sakamoto 2, Kagoshima-shi.

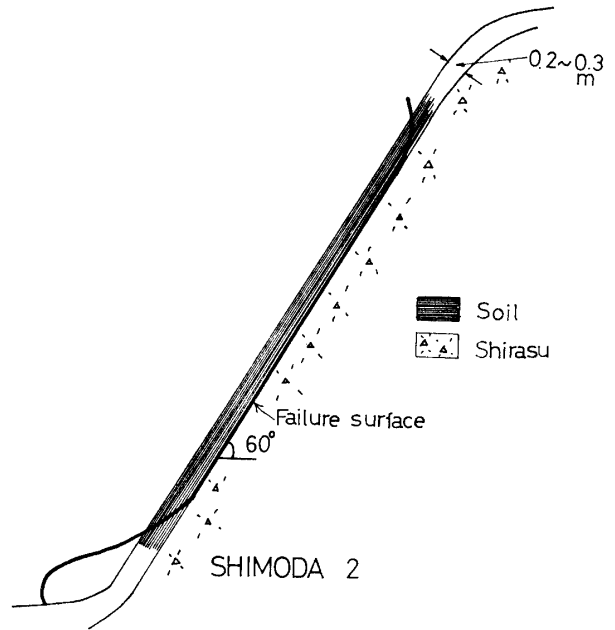


Fig. 14. The slope-failure schematic section at Shimoda 2, Kagoshima-shi.

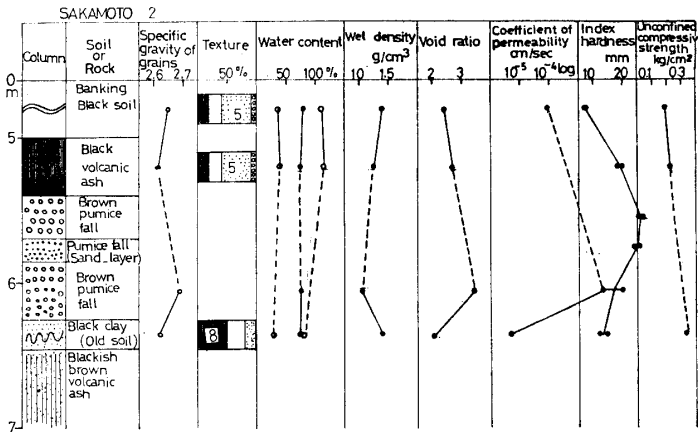


Fig. 13. The slope geotechnical properties at Sakamoto 2, Kagoshima-shi.

と考えられる。このような斜面では旧地形面の把握が重要であることは先に指摘した。Fig. 13の土質柱状図は降下軽石層の透水係数が 10^{-1} オーダーと非常に大きいこと、盛土と旧地盤の力学的性質が異なっていることを示している。

これと同じ形態に鹿児島市坂元3（坂元2と隣合わせの北向の斜面）、垂水市牛根4がある。

(7) 鹿児島市下田2

この現場は下田1の近くに位置する。崩壊地の概念図をFig. 14に示す。地形は傾斜60度のシラスガケである。地質はシラスを基岩としその上を表層土が20~30cmの厚さで薄くおおっている。崩壊はこの表

層土のすべりである。原因は水の浸透による表層土の自重増加と境界面のせん断抵抗の低下に起因するものと考えられる。

表層すべりの原因は、以上のような自重増加によるもの、パイピングによるもの（鹿児島市鴨池2、3）および地表水落下（末吉町2）によるものがある。

(8) 垂水市牛根1

現場は桜島と大隅半島が接する国道220号線沿いに位置する。崩壊地の概念図をFig. 15に示す。地形は平均傾斜40度、地層の違いを反映した不規則な斜縦断面形と凹型の横断面形をもった急斜面である。地質

は下層から堆積岩（この場所では地表に露出していない）、凝灰岩、凝灰角レキ岩、安山岩、シラスおよび降下軽石からなる。降下軽石は表層の大正降下軽石と旧地表面をへて以前に堆積した層からなる。斜面崩壊は山腹に堆積した大正降下軽石層が旧地表面を境にしてすべったものである。崩壊土砂は土石流となって国道、住宅地を埋没し、海まで流過した。崩壊原因は凹地形の旧地表面上に浸透水が集中し、それが降下軽石の自重増加とせん断抵抗の低下をまねいたことによるものと考えられる。

(9) 垂水市牛根3

この現場は国道220号線に沿って前の現場よりやや

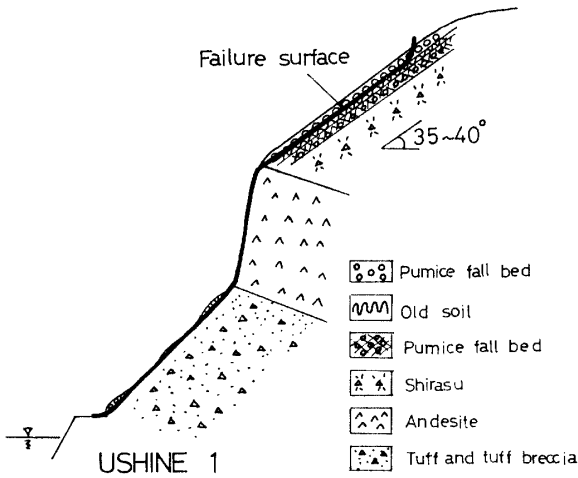


Fig. 15. The slope-failure schematic section at Ushine 1, Tatumizu-shi.

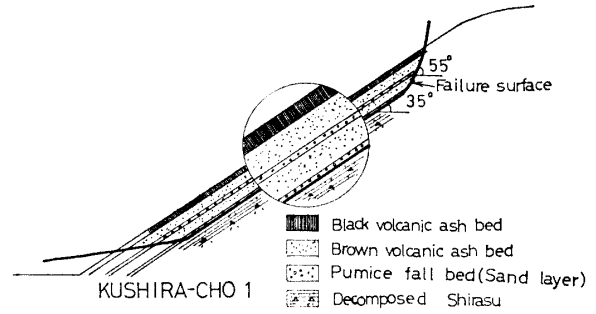


Fig. 17. The slope-failure schematic section at Kushira-cho 1.

東部に位置する。崩壊地の概念図を Fig. 16 に示す。地形は傾斜 32 度、不整形の横断形をもった斜面である。地質は堆積岩を基岩とし、その上部を褐色火山灰土、降下軽石層がおおう。褐色火山灰土は基岩の凹凸をおおう形で基岩にくっついて堆積している。崩壊は褐色火山灰土とその上の降下軽石層の間で発生した表層スベリである。崩壊土砂は土石流となって流下した。崩壊した斜面を囲むように谷がある。崩壊の原因は谷に集中した水の影響によるものと考えられる。

(10) 串良町 1

この現場は肝属川支流の串良川下流部に位置する。崩壊地の概念図を Fig. 17 に示す。地形は傾斜 30~35 度、横断形凹型、斜面高約 15 m の低い斜面である。地質はシラス、砂粒降下軽石、黒色、褐色火山灰土からなる。斜面崩壊の形態はシラスを境にしてその上の火山灰土、降下軽石がすべった表層スベリである。崩壊原因は透水性が小さい、凹型の地形面をもったシラス地盤上に浸透水が集中したことによるものと考えられる。Fig. 18 に土質柱状図を示す。透水係数はスベリ面の

上・下で 10^{-2} オーダーの違いを示している。指標硬度、一軸圧縮強度には違いがみられなかった。

(11) 輝北町 2

現場は月野川上流部に位置する。崩壊地の概念図を Fig. 19 に示す。地形は傾斜 30~40 度、横断形凹型急斜面である。地質はシラスを基岩とし、その上を数層の降下軽石、火山灰土がおおう。斜面上部には道路が開設され、下部には水田が開けている。植生は 2~3 年生のヒノキ林である。斜面崩壊はシラスを境にしてその上の降下軽石、火山灰土層がすべった表層スベリである。斜面上腹部にはレキ層の間から常時湧出水があり、これが直接の原因となって

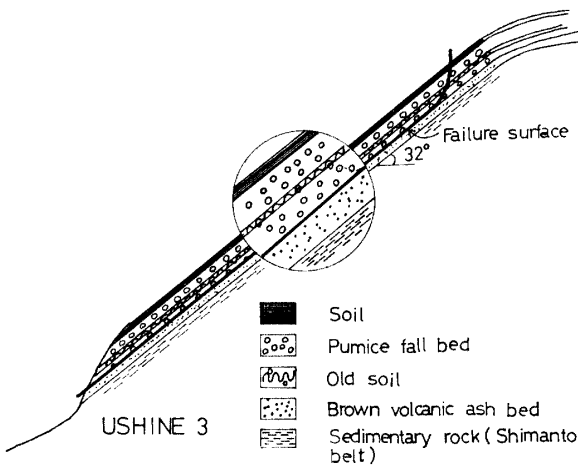


Fig. 16. The slope-failure schematic section at Ushine 3, Tatumizu-shi.

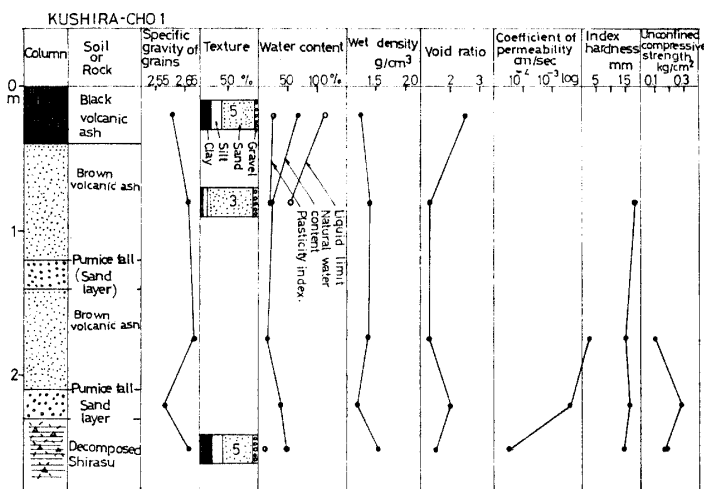


Fig. 18. The slope geotechnical properties at Kushira-cho 1.

崩壊をおこしたものと考えられる。Fig. 20 に土質柱状図を示す。スベリ面を境にして自然含水比，湿潤密度，間ゲキ比の物理的性質と指標硬度には違いがあらわれているが，透水係数，一軸圧縮強度にはその差があまり認められない。

(12) 大崎町 1

現場は持留川上流部に位置する。崩壊地の概念図を Fig. 21 に示す。地形は傾斜 45 度（山腹は 25 度），横断形やや凹型の斜面である。地質はシラスを基岩として上部を黒色，褐色火山灰土が約 1 m の厚さでおおう。植生は 4～5 年生のスギ幼令林である。斜面崩壊の形態はシラス上部の火山灰土層がすべり落ちた表層落下である。崩壊原因は，表層の火山灰土の自重増加に起因する。この種の崩壊はシラス地帯の切取，侵食斜面で多くみられる型である。

考 察

1. 斜面崩壊の形態，機構および規模

(1) 形態と機構

斜面崩壊を主に斜面の種類，構成材料，スベリ面の位置，形態にもとづいて以下のように分類した。

(a) 表層スベリ

シラス，安山岩，堆積岩など基岩上の火山灰土，降下軽石，土壌層が基岩あるいは火山灰土，降下軽石自身を境界にしてすべるものである。その機構にはスベリ面上・下の土質工学的性質の違いが大きく影響する。斜面崩壊は浸透水による土の自重増加，せん断抵抗の減少，浸透水圧の発生およびパイピング現象が単独または複合して作用することにより発生する。今回の斜面崩壊では土質柱状図から確かめられたように，水の浸透には降下軽石層の存在が大きな役割を果たしている。

(b) 表層落下

この種の斜面崩壊は斜面上部が火山灰土，降下軽石および表土層によっておおわれたシラス侵食ガケ，切取斜面で発生する形態である。このような斜面では，上部の土層はいわゆる足のない不安定な状態で存在しており，雨水の浸透によって自重増加をおこし崩壊する。

(c) 盛土崩壊

この形態は宅地造成斜面，道路盛土斜面などにみられる崩壊で，旧地形面を境界にして盛土，擁壁がすべ

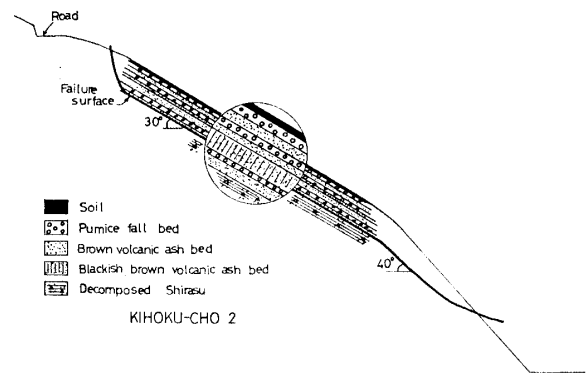


Fig. 19. The slope-failure schematic section at Kihoku-cho 2.

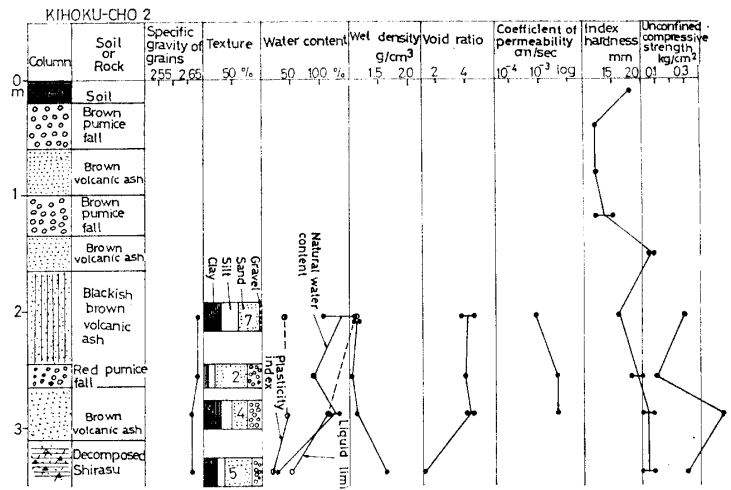


Fig. 20. The slope geotechnical properties at Kihoku-cho 2.

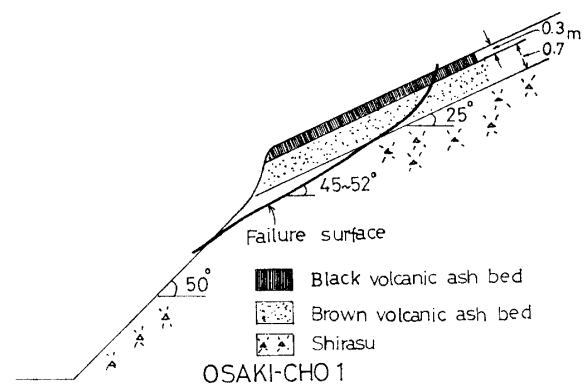


Fig. 21. The slope-failure schematic section at Osaki-cho 1.

り落ちるものである。崩壊原因は，浸透水が旧地形面と擁壁の間に集中し，浸透水圧が上昇することによるものである。このような形態の斜面崩壊においても，降下軽石層が浸透水の流入経路として重要な役割を果たしていることが確認された。

Table 4. Types of slope-failures

Type of slope-failures	Kagoshima-shi	Ushine, Tarumizu-shi	Tarumizu-shi	Kimotsuki-gun and So-gun	Total	Mean gradient (deg.)	Mean area (m ²)
Topsoil slides	6	3	3	6	18	42	341
Topsoil falls	3	0	0	6	9	62	86
Banking-failures	2	1	0	0	3	55	182
Compound type	3	0	0	1	4	34	1105

(d) 盛土崩壊と表層スベリの複合形態

この形態は、シラス斜面の上腹部に土留擁壁、盛土がある宅地造成地、道路において発生したものである。斜面崩壊は土留擁壁、盛土と斜面の表層部がすべり落ちたものである。この種の形態では、斜面腹部の土留擁壁が主原因となって崩壊が発生した。

以上の分類にもとずいて地域ごとの形態別内訳と形態ごとの平均傾斜、崩壊面積を Table 4 に示す。斜面崩壊形態に地域ごとの違いが見られる。盛土崩壊と表層スベリの複合形態は主に鹿児島市に発生している。一方、鹿児島市以外の地域における斜面崩壊は表層スベリ、表層落下が主である。どの崩壊形態においてもシラス地山が一義的に崩壊している例は一つもなかった。ちなみに、崩壊物質の内訳は火山灰土、降下軽石 20 箇所、表土（土壌）10 箇所および盛土、土留擁壁 8 箇所である。斜面の傾斜、崩壊面積は崩壊形態によって異なる。

斜面崩壊の原因は豪雨時における地表水および地中浸透水の動態の違いによって以下のように分類できる。

① 浸透水が土の自重増加だけに影響し、そのことによって崩壊がおきる。

② パイピングによるもの。地中に浸透した雨水が斜面内に形成された流路を通じて集中的に斜面外に湧出することによって崩壊がおこる。傾斜 35 度以下の斜面では、必ず透水性の大きい降下軽石層が存在し、浸透水はこの層に集中する。また、この層を通して斜面外に湧出する。湧出水は豪雨の際にだけに発生するものと常時存在するものがあった。

③ 地表水落水によるもの。斜面上の水が流路を形成し、斜面内に流下することによっておこる崩壊である。

④ 浸透水が地中にたくわえられ、その水圧で崩壊がおこるもの。

⑤ 以上の原因が二つ以上複合しておこるもの。

原因別内訳は自重増加型 15 箇所、パイピング型 4 箇所、地表水落水型 2 箇所、自重増加と地中水位増加の複合型 5 箇所および自重増加、パイピングと地中水

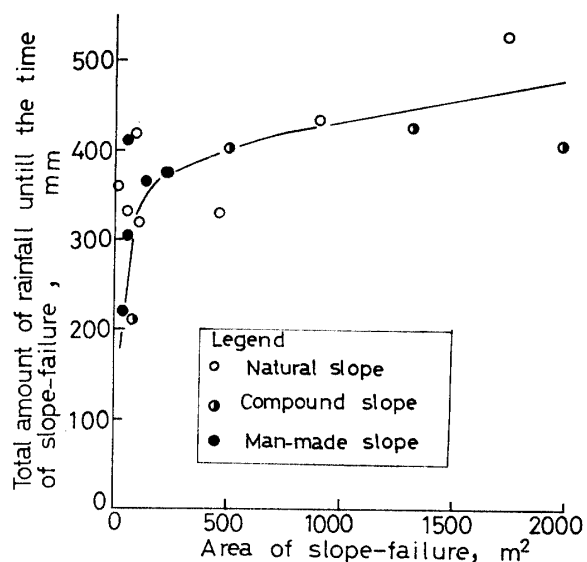


Fig. 22. The rainfall influence on the area of slope-failure.

位増加の複合型 8 箇所となる。崩壊原因別の斜面の平均傾斜はそれぞれ 55, 45, 40, 49, 38 度となる。崩壊面積はそれぞれ 75, 306, 600, 424, 1106 m² となる。崩壊原因の違いによって斜面傾斜、崩壊面積は異なる。

(2) 斜面崩壊の発生規模

斜面崩壊の規模は崩壊そのものの規模と被害規模の二つの側面が考えられる。もちろん両側面は関連性をもつが、ここでは主に前者について述べる。

斜面崩壊の規模には、地質、地形、土質および植生の素因と降雨などの誘因が影響する。Fig. 22 は降雨量が崩壊規模に及ぼす影響を示したものである。これによると降雨量 350 mm 位までは面積 100 m² 以下の小規模の崩壊だけであるが、350 mm 以上になると崩壊面積が増加する傾向がみられる。山地の自然斜面でもこのような傾向が確かめられている。Fig. 23 は崩壊面積と斜面傾斜の関係を示したものである。傾斜が緩になるほど崩壊面積は大きくなる。緩斜面は力学的には安定でも、一度崩壊が発生すると崩壊面積は大きくなるのがわかる。

斜面崩壊による被害の規模は崩壊土砂の到達距離に

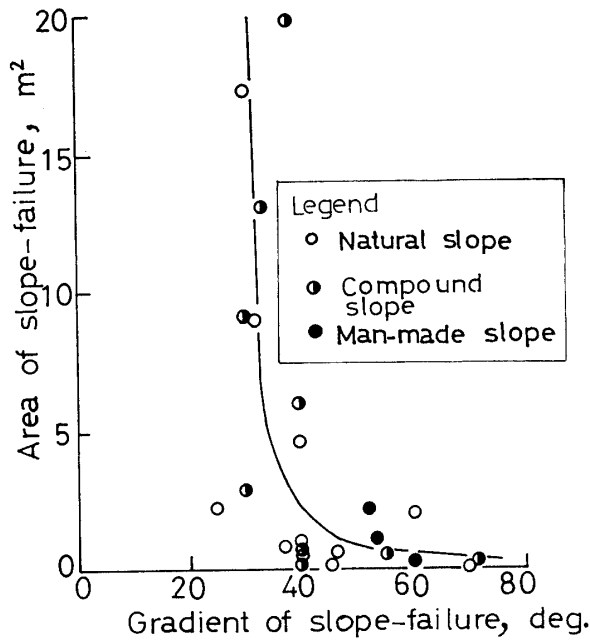


Fig. 23. Relationship between the area and the gradient of slope-failure.

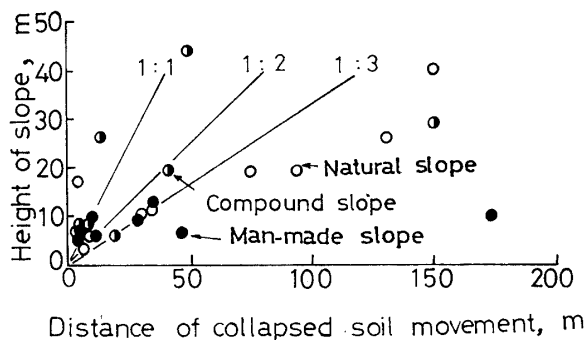


Fig. 24. The slope-height influence on the distance of collapsed soil movement.

よって決まる。以下は崩壊土砂の到達距離に影響する要因について検討したものである。地形的に言えば、斜面は侵食の過程であり、現在の斜面はより安定を得るためにエネルギーをたくわえる。現在の斜面が有する潜在エネルギーの大きさは斜面の形状、規模によって影響される。このエネルギーが大きいくほど、崩壊土砂到達距離は大きくなると考えられる。Fig. 24は斜面高に対し崩壊土砂到達距離をプロットしたものである。前者に対する後者の比を崩壊土砂到達比と呼ぶと、その値は0.27から17.3にもなる。斜面崩壊の半数以上は2以上である。斜面が高くなると崩壊土砂到達距離は指数的に大きくなる傾向を示している。これまでの調査研究によると、最低ガケの高さの2倍以内

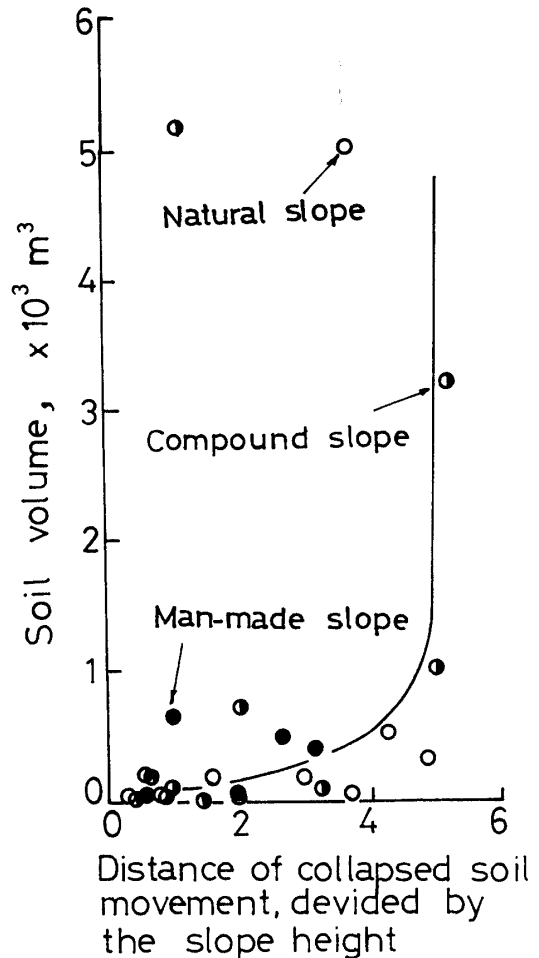


Fig. 25. The soil volume influence on the distance of collapsed soil movement, divided by the slope height.

は被害の恐れのあることが指摘されている⁵⁾。Fig. 25は崩壊土砂量と崩壊土砂到達比の関係を示したものである。崩壊土砂到達比約5までは、両者はほぼ比例的に増加するが、5をこえると一定値になる。Fig. 26は斜面下の地形（平均傾斜）と崩壊土砂到達比の関係を示したものである。ガケ下が平坦な所では崩壊土砂到達比は3以下であるが、傾斜の増加にともなって大きくなる。

2. シラス・火山性堆積物の土質工学的性質

(1) 斜面上の火山性堆積物の堆積限界

崩壊した斜面の多くは単層から複層の火山灰、降下軽石によっておおわれている。岩松⁴⁾はシラス地帯の斜面を地形発達史的に考察し、火山灰、降下軽石の堆積と旧地形の関係、またその関係が斜面崩壊に及ぼす重要性について指摘している。

火山灰土、降下軽石層の厚さと傾斜の関係を Fig. 27 に示す。緩な斜面ほど火山灰土、降下軽石層は厚

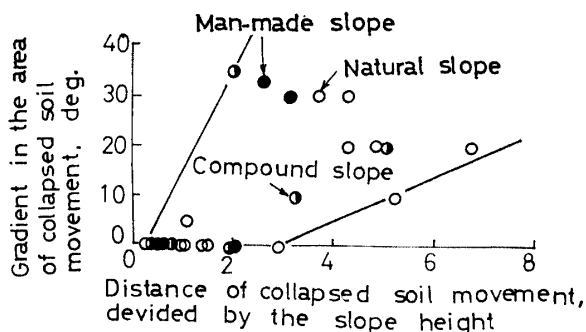


Fig. 26. Influence of the gradient in the area of collapsed soil movement on the distance of collapsed soil movement, divided by the slope height.

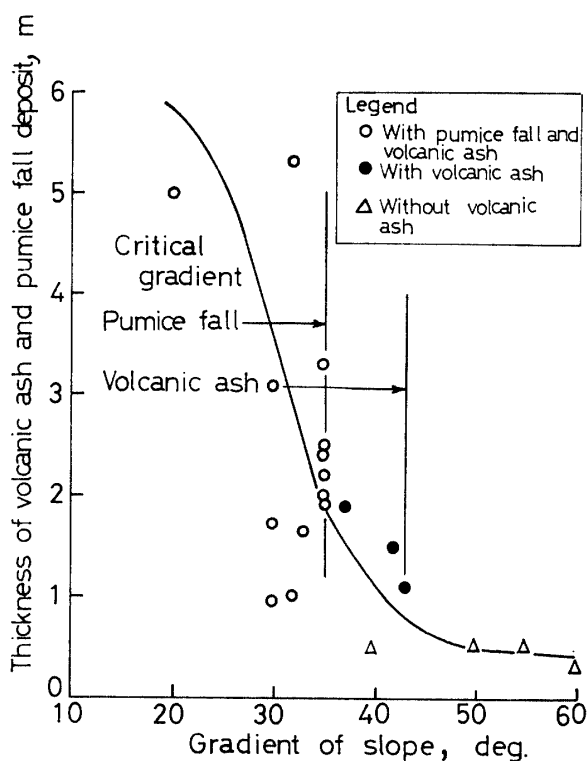


Fig. 27. Relationship between the thickness of volcanic ash and pumice fall deposit, and the slope gradient.

く、傾斜が急になると薄くなっている。降下軽石の堆積限界傾斜は35度、火山灰土のそれは42度である。

(2) 物理的性質

火山灰土、降下軽石およびシラスの物理的性質をFig. 28, 29に示す。折線は平均値を表わす。火山性堆積物は、黒色火山灰土、褐色火山灰土、褐色降下軽石、褐色軽石・火山灰固結層、砂粒降下軽石、粘土化した砂粒降下軽石、古土壌、風化シラスおよびシラス

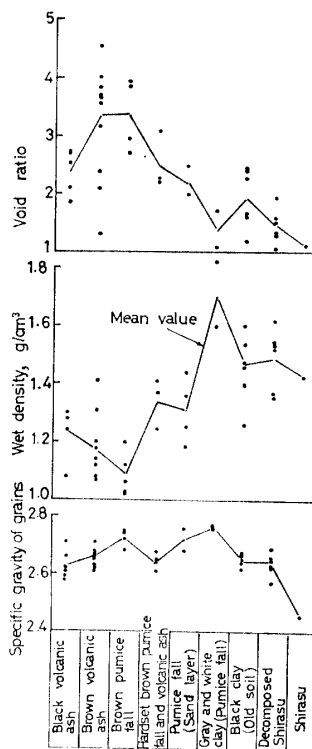


Fig. 28. Physical properties of slope constituent materials.

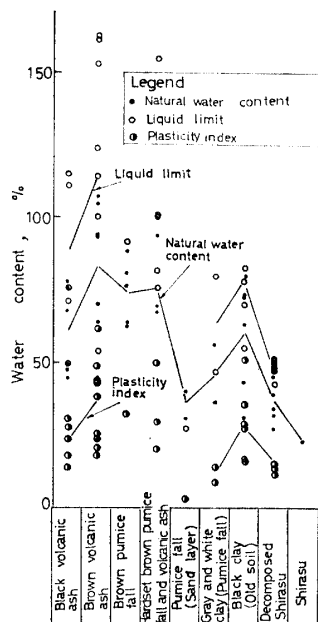


Fig. 29. Physical properties of slope constituent materials.

の9種に分けた。褐色軽石・火山灰固結層は鹿児島市宇宿、鴨池、日の出に、粘土化した砂粒降下軽石は鹿児島市日の出だけに観察された。

(a) 比重

火山灰，降下軽石の中では黒色火山灰土が平均値 2.63 と最小で，ついで褐色火山灰土の 2.65 である。降下軽石は 2.65 から 2.76 と意外に大きな値をもっている。古土壌，風化シラス，シラスは同一の母岩（シラス）からなり，風化の進んだ順でそれぞれ比重は 2.65, 2.64, 2.46 と大きくなっている。

(b) 粒度

代表的土の粒度分布曲線を Fig.

30 に示す。この曲線型にもとずいて，土を 1～8 に分類した。その結果は土質柱状図に書きこんである。黒色火山灰土，粘土化した砂粒降下軽石，シラスはそれぞれ曲線 5, 4, 3 の一つの型からなる。褐色軽石・火山灰固結層，砂粒降下軽石および古土壌の曲線型はそれぞれ 4 と 7, 3 と 4, 6 と 8 の二つからなる。褐色降下軽石は曲線 1, 2, 3, 風化シラスは曲線 2, 4, 5 と多様な型になる。さらに，褐色火山灰土は多くの曲線型を示し，3, 4, 5, 6, 7 の五つの型をとる。

(c) 湿潤密度

この値はかなり散らばりをもっているが，平均値で比較すると粘土化した砂粒降下軽石を除いて古土壌を境界にした上，下で明確な差を示している。

(d) 自然含水比

この値は湿潤密度以上の散らばりをもっている。とくに褐色火山灰土の散らばりは大きい。平均値で相互の比較をすると，褐色火山灰土，褐色降下軽石および褐色軽石・火山灰固結層が含水比 75～84 % と大きな値を，黒色火山灰土，粘土化した砂粒降下軽石および古土壌が 47～60 % の中間値を，風化シラス，シラスは 37 % 以下の値となる。

(e) 間ゲキ比

この値は褐色火山灰土，褐色降下軽石が最も大きく，黒色火山灰土がこれにつづき，ほかは下層ほど小さくなっている。全体としてみると古土壌を境にして上，下で顕著な差がでてい。褐色降下軽石の間ゲキ比が大きい理由は粒子が多孔質のためである。

(f) コンシステンシー

液性限界は褐色火山灰土が最も大きく，ついで褐色軽石・火山灰固結層，黒色火山灰土，古土壌，粘土化した砂粒降下軽石，風化シラスの順につづく，褐色降下軽石，砂粒降下軽石はそれぞれ 1 試料を除いてほかは非塑性であった。

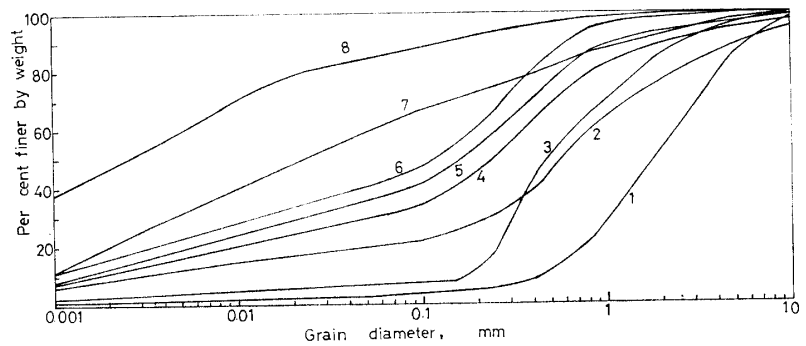


Fig. 30. Types of grain-size distributions.

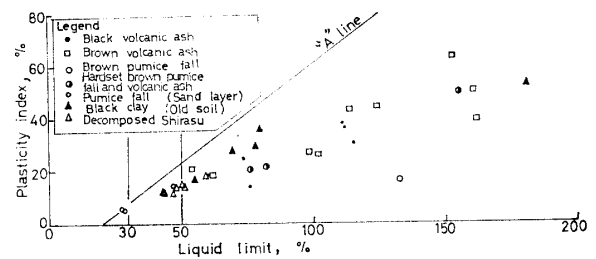


Fig. 31. Plasticity chart of slope constituent materials.

塑性指数の相対的大きさの順位は黒色火山灰土が古土壌の次に位置するだけで，ほかは液性限界の順位と変化はない。

Fig. 31 は火山灰土，降下軽石，シラスを塑性図上にプロットしたものである。関東ローム¹⁾と対比すると今回採取した試料は有楽町層，立川ローム層に相当する。塑性図上において関東ロームはA線あるいはそれよりやや下方に位置するが，今回採取した試料はかなり下方に位置する。

(3) 力学的性質

Fig. 32 に力学的性質を示す。

(a) 透水係数

褐色降下軽石，砂粒降下軽石が最も大きく黒色火山灰土，褐色火山灰土の順につづく。上記の土と褐色軽石・火山灰固結層，粘土化した砂粒降下軽石，古土壌および風化シラスの間には 10^{-1} ～ 10^{-2} オーダーの差がある。

(b) 指標硬度

平均値でみると褐色軽石・火山灰固結層が最も大きく（指標硬度 29 mm），ほかは 14～17 mm と同程度の値となっている。

(c) 一軸圧縮強度

平均値でみると褐色軽石・火山灰固結層が最も大きく，褐色火山灰土，古土壌，風化シラス，黒色火山灰土，褐色降下軽石層の順につづく。一軸圧縮強度の大

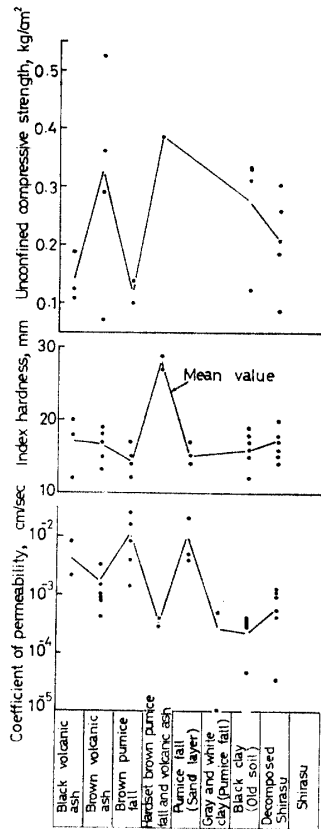


Fig. 32. Mechanical properties of slope constituent materials.

きはコンシステンシー指数とほぼ相関している。

(d) 力学的性質と間ゲキ比

Fig. 33 は間ゲキ比に対し透水係数、指標硬度および一軸圧縮強度をプロットしたものである。指数硬度以外は間ゲキ比との間に明確な関係がみられなかった。

(4) 崩壊前後の土の間ゲキ比の変化

Table 5 は斜面の崩壊前後の土の間ゲキ比の変化を示している。崩土のかく乱度が大きい崩壊地では数種類の土が混在したものの間ゲキ比を測定せざるを得なかった。明らかに膨張傾向が確かめられたのは鹿児島市坂元2の古土壌、坂元3の盛土シラスと松山町1の褐色火山灰土だけである。この3箇所では崩土はあまり乱されないまま残っていた。ほかは、間ゲキ比に大きな変化がないもの2箇所、逆に収縮したもの8箇所である。黒色、褐色火山灰土のほとんどは収縮している。このことは両者とも崩壊前は構造的に大きな間ゲキ比をもっており、崩壊によってこの構造が破壊された結果によるものと考えられる。

ま と め

1976年6月 鹿児島県中部で 梅雨型豪雨 による多く

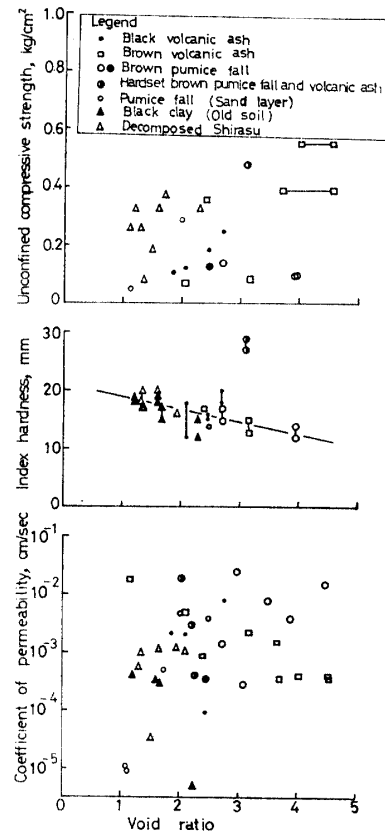


Fig. 33. Void-ratio influence on the mechanical properties of slope constituent materials.

の斜面災害が発生した。筆者等は斜面崩壊の現地調査と採取した火山性堆積物の土質試験を行なった。その結果をまとめると以下ようになる。

(1) 斜面崩壊地の基岩の地質はシラスだけでなく、安山岩、溶結凝灰岩および堆積岩など多様である。そしてそれらの斜面のほとんどを火山灰土、降下軽石がおおい、この土質が斜面崩壊に重要な役割を演じている。

(2) 崩壊した斜面の種類には地域性がみられる。鹿児島市の斜面崩壊は14箇所中11箇所が人工および複合斜面で発生している。ほかの地域では自然斜面の崩壊箇所数が人工および複合斜面のその2倍以上になっている。

(3) 人為的および地質的につくられた旧地形が斜面崩壊におよぼす影響は大きい。

(4) 斜面崩壊の形態は表層スベリ、表層落下、盛土崩壊および盛土崩壊・表層スベリの複合形態の4種類である。形態の違いにかかわらずシラスが一義的に崩壊した例は一つもない。崩壊形態にも地域性がみられ、鹿児島市以外の地域は表層スベリ、表層落下がほとんどである。

Table 5. Changes of void ratios depending on slope-failures

Place	Soil	Void ratio		
		Before failure	After failure	
Kagoshima-shi	Kamoike 1	Black soil	1.87	1.63-1.83
		Black soil, Brown soil	1.87-2.09	1.26-1.71
	Usuki	Black volcanic ash, Pumice fall	2.09-3.95	1.27-1.87
	Hinode	Banking, Volcanic ash, Pumice fall	1.00-2.09	1.48-1.78
	Sakamoto 1	Blackish brown soil	1.64	1.10-1.28
		Brown volcanic ash	3.16	1.26-1.65
	Sakamoto 2	Banking (Black soil)	2.44	1.29-2.18
		Clay	2.29	3.03-3.19
	Sakamoto 3	Banking (Shirasu)	0.98	0.97-1.25
	Shimoda-1	Banking, Volcanic ash, Pumice fall	1.20-2.72	1.46-1.61
Kushira-cho 1	Volcanic ash, Pumice fall	1.15-2.53	1.15-1.82	
Osumi-cho 1	Brown volcanic ash	3.55	1.74-2.55	
Matsuyama-cho 1	Brown volcanic ash	1.39-1.72	3.33-3.54	

斜面崩壊の原因には土の自重増加, パイピング, 地表水落水, 地中水位増加およびそれらの複合が考えられる。

(5) 土質柱状図によって, スベリ面を境界にして火山灰土, 降下軽石の上層と古土壌(旧地表面), 風化シラス, シラスの下層との間に土質工学的性質の違いが確かめられた。とくに降下軽石の透水係数は非常に大きく, これが斜面崩壊の大きな原因となっている。

(6) 斜面崩壊の規模は降雨量, 斜面の種類, 形状, 崩壊形態などによって影響される。崩壊土砂到達距離は斜面の高さだけでなく, 崩壊土砂量, 斜面下の地形などの要因の影響を受ける。

(7) 降下軽石, 火山灰土の斜面上の堆積限界傾斜はそれぞれ 35, 42 度である。崩壊の可能性からすると, この堆積限界角度以内の傾斜の斜面が危険である。

(8) この地域の火山灰土, 降下軽石およびシラスは噴出時代の新しい火山性堆積物である。このことから関東ロームと比較すると, 塑性図の位置の違いにみられるように, 土質工学的性質は著しい差を示す。

謝 辞

末筆であるが, 一部の現地調査にあたっては鹿児島県林務部治山課の協力を得た。記して深く謝意を表す。

文 献

- 1) 土質工学会: 日本の特殊土, p. 21-83 (1974)
- 2) Haruyama, M.: "Geological, physical, and mechanical properties of "Shirasu" and its engineering classification". *Soil and foundations*, 13(3), 45-60 (1973)
- 3) Haruyama, M.: Features of slope-movement due to heavy rainfalls in the Shirasu region of southern Kyushu. *Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ.*, 19, 151-163 (1974)
- 4) 岩松 暉: シラス崩災の一型式. 鹿大理紀要, No. 9, 87-100 (1976)
- 5) 建設省土木研究所急傾斜地研究室: 急傾斜地崩壊による災害の実態. 土木研究所資料, No. 801, 5-17 (1973)
- 6) 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, p. 1-47 (1970)
- 7) 下川悦郎: 降雨条件と山地崩壊. 日林誌, 58(4), 136-140 (1976)
- 8) 相馬尅之・前田 隆: 火山性ローム土の初期含水比が液性限界におよぼす影響. 農土論集, No. 49, 27-34 (1974)
- 9) 露木利貞: 南九州の地質. 第41回農業土木学会九州支部シンポジウム, p. 2-5 (1972)

Summary

Many slope-failures occurred in the central part of Kagoshima prefecture, owing to the heavy rain caused by the Baiu front in June, 1976. The field investigations and soil tests were carried out. The main points of the former lie in the following: the time when slope-failures occurred, slope-state at the time, kinds of slopes, topography, geology, soil properties, plants, and the type, mechanism and scale of slope-failures. Those of the latter lie in the physical and mechanical tests of soils. The results are summarized as follows:

1) The geology of base rock in the slope was noted to be composed of Shirasu, welded tuff and sedimentary rock. The greater part of slopes consisting of their base rock are covered with volcanic ash and pumice fall, which were assumed to have played a chief part in causing the slope-failures.

2) The slopes are to be grouped into the following three kinds: the natural, man-made and their compound types. It was nearly in the man-made and compound slopes in Kagoshima-shi that the slope-failures occurred. But, in the other regions, the occurrence-number of slope-failures in the natural slope is more than two times as often as that in the man-made and compound slope.

3) The slope-failures are to be influenced largely by the man-made and aged topography.

4) The types of slope-failures are grouped into the following four: topsoil-slides, topsoil-falls, banking-failures, and the compound type of topsoil-slides and banking-failures. The types of slope-failures are profuse in variety according to the regions. Through all the types, Shirasu has never collapsed principally.

5) The geotechnical properties of volcanic ash and pumice fall on the slide surface are different from those of the old soil or decomposed Shirasu.

6) The scale of slope-failures is influenced by the rainfall, the kind and shape of the slope, type and cause of the slope-failure. The distance of collapsed soil movement is related to the slope height, soil volume, and gradient in the area of collapsed soil movement, etc..

7) The critical deposit gradient of volcanic ash and pumice fall is 35, 42 degrees, respectively. The slope is to be looked upon in a dangerous state when the slope-gradient is within 42 degrees.

8) The volcanic deposits in this region are composed of the younger soils. This gives large influences on to their geotechnical properties.