

Ⅵ 砂 防 関 係

(その 1 一般対策)

川 口 武 雄⁽¹⁾
難 波 宣 士⁽²⁾

目 次

I 緒 言	98
II 調査地域および調査方法	98
III 阿蘇山土壌の力学的性質	99
IV 山 崩	101
1. 崩 壊	101
a. 崩壊の機構, 規模	101
b. 治山工と崩壊	104
c. 森林と崩壊	105
2. 土石流	106
a. 土石流の機構, 規模	106
b. 治山工と土石流	107
c. 森林と土石流	107
V 表面侵蝕	108
VI 流出土砂量	108
VII 災害の原因	110
VIII 治山対策	110
1. 崩壊防止および崩壊土砂流出防止	110
2. 土石流防止	111
3. 表面侵蝕防止	112
4. 復旧方法および土地利用法	113
IX 要 約	114
参考文献	115
Résumé	115

I 緒 言

昭和 28 年 6 月下旬北九州一帯にわたつて梅雨前線の停滞によつて生じた豪雨のため記録的水害が発生し、6 月 25 日から 29 日にかけて熊本県下では、600~1,000 mm の降雨により 3,013 町(県発表¹⁾)の崩壊地の新生・拡大があり、熊本市内にも氾濫、特に流出土砂の堆積による泥害が発生した。その泥害の根源で山容が一変したとまでいわれている阿蘇山を中心として、林業試験場でも同年 9 月総合調査を行つた。筆者等もその一部侵蝕・崩壊に関する事項を分担して、森林および治山工の山崩に対する影響を主眼目として、阿蘇山南郷谷を中心として山崩状況を調査し、その結果治山対策について考究した。短時日の調査で概略を掴みえたるにすぎず、きわめて不備な点が多いが、取りあへず結果を取りまとめて参考に供する次第である。

本調査にあたり種々御援助をいただいた林野庁業務課、熊本営林局片山経営部長、坪田治山課長、田中造林課長、宮本日田営林署長、熊本県相馬林務部長など関係各位、および調査に同行また土壌試料採取・送付などに多大の御助力をいただいた熊本県林務部経営課東技師、土質測定に従事した防災部滝口技官、葦沢技官の労に深甚の謝意を表するとともに、本調査の経費の一部には科学研究費(北九州等の洪水に関する研究)を充当したことを附記する。

II 調査地域および調査方法

調査地域は Fig. I (附図)のごとくである。すなわち、崩壊地が最も多い阿蘇五岳の南面南郷谷の色見村、白水村の根子岳(Phot. 1)、高岳(Phot. 2)、丸山(Phot. 3)方面を主として調査し、崩壊地がこれより少なかつた阿蘇五岳の北面阿蘇谷を踏査した。なおこの地域は全般的に森林が少ないので、比較対照のため森林の多い南小国村から小国町を経て日田市にいたる地域を踏査した。

南郷谷の地形・地質・土壌・林相・土地利用状況などの詳細は他氏の報告に譲るが、大凡の関係事項を記すと、標高 1,300~1,600 m に五岳の頂上が並び、その頂上から標高 600~700 m までが急斜地で、それ以下が緩斜地となつて白川に接している。さらに、この外側が標高 900 m を頂上とする外輪山で、外輪山の内側の斜面は相当の急斜である(附図 Fig. II 参照)。この地区の大部分は牧野として利用され、森林は外輪山と部落に近接した区域に限られている。土壌は最上部に厚さ 30~60 cm の黒色火山灰、その下部は 50 cm 程度の黄褐色火山灰があり、この両者が場合によつて数層の互層(Phot. 4, 5)をなし、さらにその下の熔岩または集塊岩と接している。

調査地域内の崩壊・土石流の原因・機構および森林・治山工の崩壊・土石流におよぼす影響につき調査した。調査地域はきわめて広範で、崩壊地の数も非常に多く、その個々について調査期間内に調査することは不可能であつたので、崩壊の長さ・巾・傾斜・方位などは、代表

的・平均的なものについて距離計 (可測 100 m, 精度 1/30)・クリノメーターで実測するか、または目測で概数をうるにとどめた。また、環境因子としての地表状態・林相・地質・土壌などは、観察により一般的傾向を見出すように努めた。

なお、崩壊の最も激甚であつた南郷谷の3地点で土壌試料を採取し、研究室においてこれらの力学的性質の二、三を測定した。

III 阿蘇山土壌の力学的性質

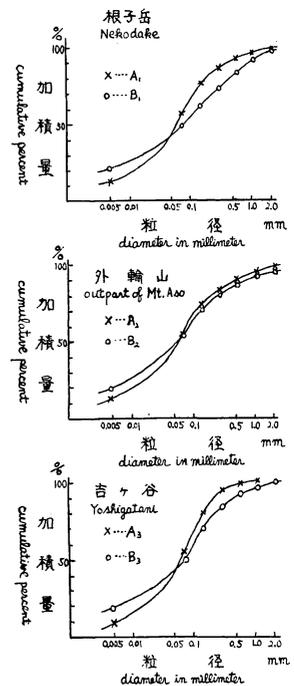
調査地域の土壌は大局的には火山灰堆積地域で同一であるが、南郷谷の崩壊は最上層の黑色火山灰が崩れ下の黄褐色火山灰が露出した型 (Phot. 6) が最も多かつた。黑色火山灰と下層の黄褐色火山灰の力学的性質の差異を知るため、Table 1 の南郷谷の3地点で採取した土壌について粒径組成・透水性・流出限界・耐水度を測定した。

1. 粒径組成

粒径組成は Fig. 1 のごとく、3地点のいずれについても黄褐色火山灰の方が黑色火山灰に比し、silt (0.05 mm 以下) 以下の含量が多く sand (2 mm 以上) の部分が少ない点が認められる。すなわち、いずれも粒径 0.025~0.085 mm のところで加積曲線は交叉し、このため透水性・流出限界における両者の差の目安がつかうが、粘土比 clay ratio においては Table 2 のごとく明瞭に上下両層の差がでている。この粘土比による受蝕性の難易³⁾は現地の状態とよく合致し、崩壊現象を説明しうる一材料である。

2. 透水性

現地の状態のまま測定できなかつたので、前記土壌の透



第1図 加積曲線

Fig. 1 Results of mechanical analysis

Table 1.

試料記号	採取場所	火山灰の種類
A ₁	色見村根子岳下	黑色火山灰
B ₁	〃	黄褐色火山灰
A ₂	色見村外輪山	黑色火山灰
B ₂	〃	黄褐色火山灰
A ₃	白水村吉ヶ谷	黑色火山灰
B ₃	〃	黄褐色火山灰

Table 2.

試料記号	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	A ₃	B ₃
粘土比 clay ratio	5.90	3.38	5.57	3.68	9.87	4.21

水係数を比較する目的で、同じ条件³⁾のもとに透水試験を行つた。採取土量の関係で土質調査委員会規格の標準のものより小型の試験機 (Phot. 7) を用い、透水開始後およそ 24 時間後の値を採用したのが Table 3 である。Table 3 の値をみると、いずれも黒色火山灰の透水係数は下層の黄褐色火山灰の透水係数より大きく、この両層の間に潜流を生じ³⁾ 上下両層を分離させて崩壊の誘因となる。

Table 3.

試料記号	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	A ₃	B ₃
透水係数 (cm/sec)	2.15×10^{-3}	1.19×10^{-3}	1.43×10^{-3}	0.85×10^{-3}	3.24×10^{-3}	1.79×10^{-3}

3. 流出限界

流出限界測定器を用い 10 回の衝撃で崩れ出す時の含水比 (%) を用い、結果は Table 4 のごとくである。いずれも上層の黒色火山灰の流出限界値が下層の黄褐色火山灰の流出限界値より小さく、それだけ、より少ない含水比で流れ出し、また凝集力も 0 に近づくわけである。流出限界値の値は他の土壌³⁾ に比し特に低いとはいえぬが、上下両層の間に明瞭な差のあることは、やはり黒色火山灰層崩壊の一因であることを示している。

Table 4.

試料記号	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	A ₃	B ₃
流出限界 (%)	59	79	69	75	54	100

4. 耐水度

径 5 cm, 高さ 3 cm の円筒状にこねた土壌を風乾し、30 番線 3 mm 間隔の金網上に置き、上方より 1 時間約 5,000 mm の降雨 (撒水管の head 1 m, 撒水管出口と土壌試料の間隔 0.5 m) に相当する水滴を当て崩れ去る時間を測定した (Phot. 8)。その結果は Table 5 のごとくで、外輪山・吉が谷の黄褐色火山灰は変化しないのに比し、上層の黒色火山灰は数時間の間に壊れ、黒色火山灰層が黄褐色火山灰層に比し雨滴侵蝕に弱いのを示している。根子岳土壌は外輪山・吉が谷土壌に比し壊れるまでの時間も短かく、下層の黄褐色火山灰が上層の黒色火山灰より雨滴侵蝕に弱いことを示し、黒色火山灰・黄褐色火山灰のいずれも露出させることが危険である。しかし、阿蘇山土壌の耐水度の値は赤城山火山灰の 1 分程度³⁾ の値に比し大きく、特に雨滴侵蝕に対して脆弱ともいえない。

Table 5.

試料記号	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	A ₃	B ₃
耐水度 (分)	45~113	10~21	240	変化なし	90~240	変化なし

IV 山 崩

山崩を便宜上山腹ならびに溪岸が block として崩れる崩壊と、崩壊した block がそのまま下流に直進するか、一度溪床に堆積して堰となり再び欠潰して突進するか、下流で溪床の堆積物全体が流れ出す土石流とに分けて考察することとする。

1. 崩 壊

a. 崩壊の機構, 規模

崩壊は形態および発生位置によりつきのごとく分類できる。

- i 山腹崩壊 (滲透水が湧水する山腹の不連続点がおもな原因)
- ii 溪岸崩壊 (溪流の侵蝕が原因)
- iii 窪地崩壊⁴⁾ (滲透水・地表流下水の集水, 溪流の侵蝕が原因)

山腹崩壊は比較的平滑とみられるような山腹で、山脚面を洗われるのではなく、山腹自体の原因で Fig. 2 のごとき形態で崩れたものである。その原因としては山腹地表または地下の不連続に起因するものが大部分である。

地下, すなわち深さの方向の不連続としては Fig. 3 のごとく

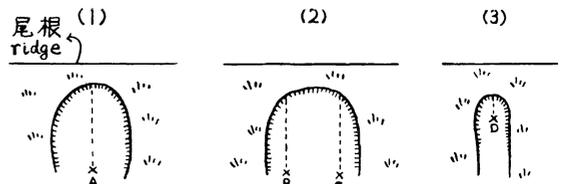
- i 黑色火山灰層と下の黄褐色火山灰層との不連続 (内輪山にこれが多い)
- ii 火山灰層と下の熔岩・集塊岩・凝灰岩との不連続 (外輪山にこれが多い)

があげられ、これにより崩壊の深さが決定づけられるようである。

地表の不連続としては Fig. 4 のごとく

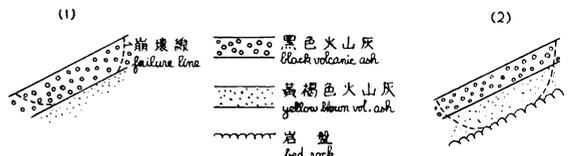
- i 道路との接触点 (Phot. 9), (Fig. 4 の (1), (2))
- ii 火山灰層と岩盤との接触点 (Phot. 10, 11, 12, 13), Fig. 4 の (3), (4))
- iii 地表傾斜の変換点 (Fig. 4 の (5))
- iv 林相変化点 (Phot. 13)

があげられ、これにより崩壊の上端または下端が決定づけられるようである。



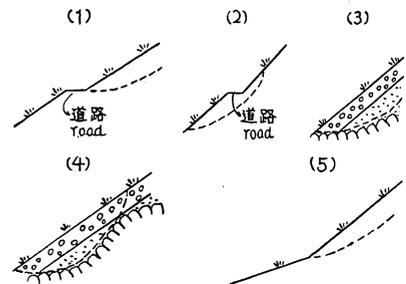
第2図 山腹崩壊の形態

Fig. 2 Types of landslide on hillside



第3図 地下の不連続面

Fig. 3 Underground discontinuous planes



第4図 地表の不連続面

Fig. 4 Surface discontinuous planes

これら不連続点からは滲透水が湧水することが多く、この湧水が Fig. 2 の (1) のごとく1地点 A を破る時は、崩壊の長さは A 点を通る線上が最も長く左右に離れるにしたがい短くなり、A 点を通る線上を頂点とする馬蹄型または円頭型となる。Fig. 2 の (2) のごとく湧水が2地点 BC 間の線を破る時は、馬蹄型・円頭型は巾広く頂辺は直線に近づく。また Fig. 2 の (3) のごとく湧水が1地点 D を破ることは Fig. 2 の (1) と同様であるが、この湧水の量が多い時、またはその後の降雨により D 点以下の急斜面が侵蝕されて巾より長さの長い短冊型となることもあり、これは道路などとの接触点に多くみられる。

山腹崩壊の発生する時の状態は Phot. 14, 15 に見られるごとく山腹面に亀裂を生ずる。白水村くりから谷・吉が谷間の尾根附近で見られた崩壊までにはいたらず残っているものは、Fig. 5 のごとく崩壊せんとする部分の上下両端に亀裂を生じ、上端の亀裂附近は沈下し下端の亀裂



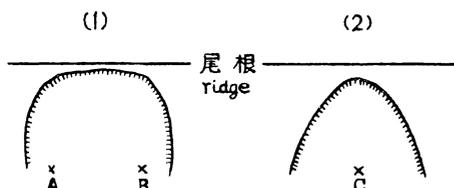
第5図 亀裂
Fig. 5 Crack

附近は浮上り、崩壊部分全体が収縮したような感をいだかせる。これは崩壊部分下端に歩道があり、この歩道地点で滲透水が湧水したため亀裂を生じ崩壊にいたらんとしたものであろう。

山腹崩壊の大部分は何らかの不連続という原因によるものであるが、なかにはこの不連続がみられず、Phot. 16 右側の崩壊のごとく上層の黑色火山灰中で崩壊し、崩壊跡面全面に黑色火山灰が残っているものもある。これは含水により黑色火山灰中で剪断破壊を生じたか、または黑色火山灰の表層がどろどろになつて流出したものであろう。

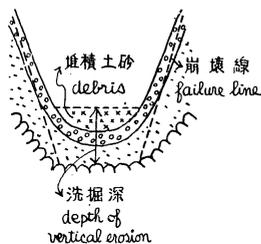
溪岸崩壊は溪岸の洗掘・横侵蝕、土石流の通過により溪岸の山腹が Fig. 6 のごとき形態で崩れるもので、その原因としては山腹自体になく溪流そのものにあるものである。溪岸崩壊は一般に山腹崩壊に比し巾広く、長さも溪流から山腹尾根までに達するか、または非常に尾根近くまで達する。Fig. 6 の (1) は溪流侵蝕が AB 間のある区間に起つた場合に起り、Fig. 6 の (2) は溪流侵蝕が比較的狭い区間 C 点附近に起つた場合であろう。

溪岸崩壊は、溪流の基盤である熔岩・集地岩等の岩盤上の火山灰・堆積土砂が掘られて、溪流は岩盤が露出して (Phot. 17) 山脚が洗われることによつて、溪流沿いの山腹が Fig. 7 のごとく崩壊するのであるが、山腹崩壊と同様に崩壊の深さは上層の黑色火山灰層が落ちた浅いものが大部分である。溪岸崩壊は勾配 25% 程度以上の溪流では非常に数多くみられ、勾配 10% 程度以下の溪流では割合に少なくなる。



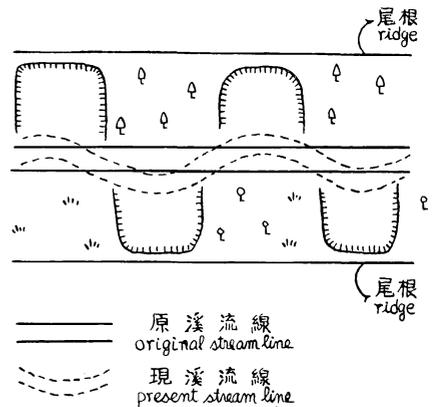
第6図 溪岸崩壊の形態
Fig. 6 Types of landslide along stream

溪岸崩壊は、溪流の基盤である熔岩・集地岩等の岩盤上の火山灰・堆積土砂が掘られて、溪流は岩盤が露出して (Phot. 17) 山脚が洗われることによつて、溪流沿いの山腹が Fig. 7 のごとく崩壊するのであるが、山腹崩壊と同様に崩壊の深さは上層の黑色火山灰層が落ちた浅いものが大部分である。溪岸崩壊は勾配 25% 程度以上の溪流では非常に数多くみられ、勾配 10% 程度以下の溪流では割合に少なくなる。



第7図 溪岸崩壊の機構
Fig. 7 Mechanism of landslide along stream

土石流により溪岸崩壊が Fig. 8 のごとく相当長
 区間にわたり交互に発生する好例は Phot. 17 にみ
 られる。これは最初溪流は比較的直ぐであつたも
 のが、最初の溪岸崩壊の溪床上への堆積土砂のため
 溪流は対岸へ押しやられ、つぎには対岸が溪流侵蝕
 により溪岸崩壊を起し、その崩壊土砂の堆積により
 溪流はふたたび反対側 (最初溪岸崩壊が起つた側)
 に押しやられてそこに溪岸崩壊を起し、順次これを
 繰返して、最後に溪床は流水で掘られて Phot. 17
 のごとく曲流する。



第8図 溪岸の交互にずれ

Fig. 8 Alternate slides along stream

窪地崩壊は山腹崩壊と溪岸崩壊の中間的なもの
 で、Fig. 9 の (1) のごとき形態が多い。これも山腹崩壊
 と同様、火山灰と岩盤との接触点で Fig. 9 の (2) のごと
 く湧水を生じて破れ、地形上集水するところであるので、
 その後の降雨流水により崩壊は上下両方向に拡大する。ま



第9図 窪地崩壊

Fig. 9 Landslide in the hollow

た集水されて流水が多い場処であるので、なんらかの不連
 続点を起因として崩れたのではなく、地表水により凹地部が崩れるというよりは掘れたような形
 態で岩盤を露出しているところもある。窪地が沢につづいている時は、窪地崩壊は溪頭崩壊と
 呼んだ方がふさわしく、山腹崩壊と同様に山腹面の崩壊が起り、同時に沢の侵蝕により溪岸崩
 壊が起り、両者はつながつて溪頭部分は全面積の崩壊までに拡大する。

南郷谷の崩壊概況は、内輪山については Phot. 1, 2, 3, 18 のごとくであるが、崩壊は一
 般に Phot. 6 のごとく上層の黒色火山灰層が薄く剝離したのことが多い。標高 800~1,200 m
 前後に今回の災害による崩壊地が密集し、標高 1,200 m 程度以上は露岩地多く以前から崩壊
 していたと思われるところも多い (Fig. I 参照)。26 日朝から降雨は烈しかつたが、崩壊は
 15 時ごろから起つたものが多いといわれる。

阿蘇山の崩壊面積については、まだ崩壊地個々の測量または航空写真も行われず、正確な数
 字を知る由もないが、現地を踏査した僅かの例から大略の値はつぎのごとくなる。

Table 6.

崩壊の種類	平均斜面長	平均巾	平均深さ	最傾傾斜	平均面積	平均体積
山腹崩壊	22m	16m	40cm	43° 前後	2.5a	100 m ³
溪岸崩壊	38m	26m	50cm	40° 前後	7.5a	400 m ³

Table 6 の溪岸崩壊は、山腹崩壊と溪岸崩壊がつながつて溪流から尾根近くまで崩壊した
 ものも含み、Phot. 2 にみられるごとく溪岸崩壊は山腹崩壊に比し非常に数多くその割合は

2:1 程度とみられる。阿蘇山の沢の数は 120 程度で、その 1 つの沢には平均 50 箇所程度の崩壊があり、総計 $50 \times 120 = 6,000$ 箇所程度の崩壊とみられ、そのうち溪岸崩壊は $6,000 \times 2/3 = 4,000$ 、山腹崩壊は $6,000 \times 1/3 = 2,000$ 程度である。結局阿蘇山の崩壊面積は

$$7.5 \text{ a} \times 4,000 + 2.5 \text{ a} \times 2,000 = 350 \text{ ha}$$

で、だいたい 400 ha 近くの崩壊が発生したと推定される。

崩壊が最も密集しているのは高岳の東面および南面、丸山の東面で、これは降雨の最も多かつた地域に属すると思われる。同様に降雨の多かつたと思われるおかまど山、丸山西面、外輪山の大村・洗川附近も崩壊は多いが、高岳東面および南面、丸山東面ほどでないのは、降雨以外に崩壊の原因となる因子があることを明らかに示している。

今阿蘇山の南郷谷・阿蘇谷の五岳を取巻く地域のだいたい山地とみなされる標高 600m または 700 m 以上の区域につき、5 万分の 1 地形図上に一辺 2 cm (1 km 柵目) の正方形柵目で方眼網目をつくり、網目内の等高線の最高と最低の差を起伏量として記入したのが附図 Fig. Ⅲ である。Fig. Ⅲ の値から計算したのが Table 7 である。

Table 7.

地 域	阿蘇谷	南郷谷	根子岳 南 面	高 岳 東 面 お よ び 南 面	丸山東面	丸山西面	えぼし岳および おかまど山
起伏量の平均	240m	270m	280m	310m	290m	230m	280m

Table 7 の値からわかるごとく、阿蘇谷（阿蘇山北面）は南郷谷（阿蘇山南面）より起伏量が小で、これが南郷谷の方に崩壊が多かつた原因の一つである。また、南郷谷の中でも高岳東面および南面、丸山東面が根子岳、丸山西面、えぼし岳およびおかまど山に比し崩壊が多かつたことも、前者の起伏量が後者より大きいことによるものである。しかし、起伏量が崩壊にあずかる唯一の因子でないことは、外輪山では崩壊の最も多かつた大村・洗川よりも南方の標高 959.2 m 附近の起伏量が大きであることでもわかり、標高 959.2 m 附近は急峻であるが、すでに露岩地であることと、降雨が大村・洗川より少なかつたことにより崩壊がなかつたものと思われる。また、高岳南面は Phot. 2 のごとく溪岸崩壊が非常に多いが、これは Fig. I を見れば明らかなごとく、沢の数が非常に多くかつ深く切込まれており、谷密度の大きなことが原因である。

b. 治山工と崩壊

高岳下および丸山西面の既設山腹工は大部分被害を受けずに残っている。これは山腹工は以前の崩壊跡地で崩れやすい上層の黒色火山灰が崩れ落ちて下の黄褐色火山灰が露出したところに施行され、比較的今度の災害では崩れ難いところとなつている故もあるが、既設山腹工も黄褐色火山灰層に切込むか、さらに下の岩盤に基礎をもたせたものは非常に安全であることを示している。

山腹工も窪地状のところは地表および地下の集水が多いので、単に地表工事のみで地下の排

土工が施行されていないと、滲透水の湧水地点で山腹工が破壊している例もみられた。

溪流の堰堤工または護岸工などにより溪流の縦横侵蝕防止や土石流を留止したところでは、溪流が掘れたり山脚を洗われなかつたために、溪岸崩壊が防がれた例もところどころにみられた。しかし、比較的高堰堤でその前庭に堅固な岩盤が露出していないか、または堅固な水叩や前堰堤がないと、Phot. 19 にみられるごとく、堰堤により流出土砂が留止され堤冠からは比較的清水に近い流水が落下して前庭を掘り、清水に近いため運搬力も強く、前庭が侵蝕されることにより溪岸崩壊をひき起す危険がある。

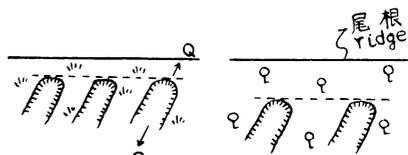
c. 森林と崩壊

阿蘇山の林地面積およびその中の崩壊箇所(面積)、草地面積およびその中の崩壊箇所(面積)はまだ詳細な調査が行われていないので、単位面積(たとえば 100 ha 当り)当りの崩壊箇所(面積)を林地と草地と比較することはできず、数量的な比較はまだ不可能であつた。しかし Phot. 1, 2, 12, 18 などにみられるごとく、阿蘇山を概見しても林地に崩壊少なく草地に崩壊の多いのがわかる。阿蘇山は優良林地は部落に近い緩斜地に限られ、もともと崩壊の危険の少ないところにあり、急斜地の林地は僅かな官行造林地程度で、森林と草の崩壊防止機能を厳密に比較調査することはできなかつた。林地の崩壊は少数の例外を除き、溪流に原因がある溪岸崩壊や、樹根が下の黄褐色火山灰層に伸びていないと思われる幼令林がほとんど大部分であつた。また、今回の豪雨が梅雨前線によるため風はあまり強くなく、したがって樹木の風倒に起因する崩壊はなかつたようである。

記録によると明治 33 年に一降雨 1,000 mm 程度の豪雨があり、熊本市も今回と同様に水害を蒙つたが、熊本市は氾濫による被害を受けたのみで今回のごとき泥害はなかつたという。これはその当時に阿蘇山の崩壊が少なかつたのを示し、当時の阿蘇山は今日より森林は多く、草千里(Phot. 20)も当時は立派な森林があつたということで、現在の大部分草地である阿蘇山よりは昔の森林の多かつた阿蘇山に崩壊が少なかつたことを物語っている。

また、小国附近は阿蘇山と異なり溪流沿いの山腹は美林(尾根はやはり草地が多い)で崩壊が少なく、外輪と内輪の差もあるが林地には崩壊はほとんどみられない。

崩壊は Fig. 10 のごとく、同一条件と思われるところでは崩壊頂点を結んだ線は尾根よりやや下つて尾根に平行な一直線をなす。これは傾斜変換点である場合もあるが、崩壊の原因となる山腹の湧水とか山脚の洗掘とかの崩壊を起す力(Fig. 10 の P)に対して根を含む植生被覆の抵抗力(Fig. 10 の Q)との割合によつて定まる。他の条件が全く同一で植生被覆が草と森林の相違がある場処はほとんどないので、あまり厳密とはいえないが、林地の崩壊頂点を結んだ線は草地の崩壊頂点を結んだ線より低位置にあるようで、これは



第 10 図 崩壊頂線
Fig. 10 Heads of landslides

森林の崩壊防止機能が草よりすぐれているのを示す。また、崩壊跡地には草の根が切断されて残つたものは見ないが、林地崩壊跡地の上縁または側縁には直径 2 cm くらいの樹根が見事に切断されて残つているのをとところどころに見たが、これは樹根の抵抗力が草の根よりはるかに勝つているのを示す。

阿蘇山の崩壊はほとんど深さ 40 cm 程度の黒色火山灰が崩れたのに対し、草の根はすべて上層の黒色火山灰層中に伸張するのみで下の黄褐色火山灰層には到達せず、上層の黒色火山灰層とともに草被覆は亡つた。これに反し、下の黄褐色火山灰層に伸張した根をもつ深根性の樹木は崩壊に充分抵抗しえたとみられる。浅い深さの崩れであるため、深根の樹木は浅根の草よりはるかに有効で、特に下の黄褐色火山灰層を突抜けて岩盤に取付いているような根をもつ樹種は非常に有効と考えられる。

また、溪岸に森林があると土石流の通過時に抵抗物として作用し溪岸崩壊を防止している (Phot. 21) のもみられる。

樹種別の崩壊防止機能の差も数量的には明らかにしえなかつたが、調査中の見聞した数例から推察しても、一般に根が強く地上部分の軽い広葉樹の方が、根が浅く地上部分の重い針葉樹より有効であつた。スギは崩れやすい厚い堆積土上に造林され、広葉樹は崩れ難い露岩地に多いことを充分考慮しなければならぬが、スギは崩壊に対して弱いように見受けられた。Phot. 17 のごとく崩壊を起す力が強い土石流通過の溪流侵蝕による溪岸崩壊では、スギの壮令木も尾根まで落ち（もちろん同様条件の草地も文句なしに落ちていた）ていたが、スギ林中にあつたマツの老令木 (Phot. 22) がよく崩壊に抵抗して残存した例からみても、針葉樹中ではマツの崩壊抵抗力を高く評価してもよからう。樹木でも灌木程度の根の浅いものは草と同じく効果はなかつた。

2. 土石流

a. 土石流の機構, 規模

土石流はつぎのごとく分類して考えられる。

i 上流土石流 (山津波)

i) 崩壊 block がそのまま直進するもの

ii) 崩壊 block が一度溪流に堆積して堰となるが、すぐまた破れて突進するもの

ii 下流土石流 溪床がそのまま押し出されて流出するもの

崩壊 block がそのまま直進するのは Phot. 12 のごとく、急斜地に崩壊が起りそれが猛烈ないきおいで落下し緩斜地にきてはじめて停止する。これは崩壊源の位置エネルギーと通過する急斜面による加速度から想像される以上の速度で直進するもので、崩壊の初動として貯留された地下滲透水の爆裂³⁾ による猛烈な初速が崩壊 block に与えられているものであろう。この型の山津波は小規模なものは勾配 10% 程度の緩斜地 (Phot. 1, 12) でとまっている。

崩壊 block は沢に落下すると停止して天然の堰となり、しばらく上流よりの流水を堰止め、それがある量となると天然堰の下に滲透した水の揚圧力も加わつて堰は切れ、猛烈ないきおいで沢を破壊拡大しながら突進する。溪床の堆積層の上層は平時の小流水には比較的安定した形となつていますが、土石流の通過で擾乱され流出すると、その下の堆積層はその後の流水で容易に洗掘流出して、Phot. 16, 23 のごとく深さ・巾も相当大きな gully に発展する。この大きな gully になるには上流に崩壊が発生し、その流出土石で沢床が荒らされるのが必要である。たとえば根子岳の山口川の溪頭は、集水区域がほとんど露岩地で今回の崩壊も平時の流出土砂もなく、溪床に堆積土砂があまりなかつたので、災害時に流水で多少掘れたが災害前と大差ないのに比し、すぐ隣の災害前には窪地程度で沢があるというほどのところでなかつた場処に、上流山腹の崩壊が山津波となり窪地は大きく深い gully に発展している。この型の山津波は勾配 10% 程度では盛んに発生し、勾配 5% 程度でようやく留止されるようである。南郷谷では部落が五岳直下の急斜地になく、それより森林帯をへだてて緩斜地帯にあるので、割に土石流による被害は少なかつたが、外輪山の洗川にはこの型の山津波による人家被害が見られた。

下流土石流は直接崩壊とは関係なしに起る⁹⁾もので、平時または小洪水時の流出土砂により溪床上に堆積していたものが、洗掘、地下滲透水の揚圧力、過飽水による流れ出し、dam-up の破れなどの原因でそのまま押し出されるもので、緩斜地帯の土石流被害はこの型の土石流によるものが多い。崩壊は直接の関係はないが、やはり山津波の第二の型と同じく、崩壊地からの土石を多量に含んだ流出水が安定した溪床の最上層を破壊していくことは間接的でも重要なことであろう。

b. 治山工と土石流

堰堤によつて土石流が相当留止、緩和されているのは色見村おやの谷 (Phot. 21)、小倉原 (Phot. 24)、前原 (Phot. 25) などにみられ、土石流の中央部分は速度が縁辺部分よりはるかに大きいであろうことと、巨岩・大木が通過することのためか堤冠部分がいずれも破壊し、袖部分も流水は越流したとみられたが (小倉原堰堤では前堰堤・水叩・護岸の一部も破壊していた)、堰堤全体としては破壊せずに相当の貯砂をして土石流防止に有効であつたのを示していた。根子岳山口川のも最上流は堰堤で崩土が留止されているが、下流には堰堤なく洗掘によつて土石流が発生している。

しかし、堰堤の前庭が堆積土砂が厚くて岩盤が露出していないか、前堰堤・水叩がないと、溪岸崩壊のところで述べたごとく、堰堤の堤冠からの土砂を置いて比較的清水に近い流水が落下して前庭を掘り、これがかえつて下流の土石流を誘発または増大させていると思われるところもある。

c. 森林と土石流

山津波はその進路に森林があると、水は速度を減少しながら通過するが、巨岩は森林障害物

にはばまれて留止されているのが前原 (Phot. 26), 大村 (Phot. 27), 洗川 (Phot. 28) などであり、中には 20 ton 程度の巨岩が見事に森林中で留止され下方の人家の破壊を救った例もある。

また、色見村小倉原では部落上方の川岸にスギと広葉樹の水害防備林的な森林があり、このため土石流中の巨岩は留止され土石流は方向を転じ (Phot. 29), 部落が助かったということである。また、阿蘇山以外にも、たとえば杖立より日田にいたる途中で大山川を寸見しても、川岸林としてのタケがよく人家を救った例が数多くみられた。

土石流に対する抵抗物としての森林は、喬大なことを要せず、根が強く根元近くから枝の数多く発生する広葉樹の方が針葉樹より有効であろう。

V 表面侵蝕

流出限界・耐水度の数値からすると、阿蘇山土壌は赤城山土壌などに比し特に表面侵蝕を受けやすいともいえないが、やはり火山灰地に共通なことではあるが表面侵蝕がところどころにみられ、崩壊跡地の上層黒色火山灰が崩れた跡に露出した下の黄褐色火山灰もその後の表面侵蝕を受け、ところにより rill が見られた。特に根子岳の崩壊地では黄褐色火山灰層が表面侵蝕で 10 cm くらいの深さに侵蝕されているのが見受けられ、これは耐水度の値が根子岳黄褐色火山灰が最も小さいことからしてもうなすけることである。

崩壊 block が下の緩斜地で留止されているところも、その表面に植生が回復されていないと、堆積した黒色火山灰が表面侵蝕で流出しつつあるのが見られ、地被物の表面侵蝕防止効果の大きいのを示している。

溪流は土石流で相当荒れているが、これは平時の流域山地からの表面侵蝕による流出土砂の堆積で溪床が上昇していたのが、今回の災害時の土石流・流水で掘られたもので、土石流の遠因も平時の流域の表面侵蝕による流出土砂にある。

また、阿蘇山土壌の性質と冬季の低温(1月の毎日最低気温平均は熊本 -0.8° ,小国 -3.8°)からして、冬季の霜柱による表土の剝落や乾燥融解時の風による飛散などによる表面侵蝕も相当考慮しなければならぬ。

VI 流出土砂量

崩壊・土石流によりどれだけの土砂が生産され流出したかは、崩壊体積およびその山地に留止する量、溪流の洗掘・堆積量などの測量が行われなければ、正確な数字はえられぬが、大略の概数を推定してみるとつきのごとくである。

阿蘇山の崩壊面積は崩壊の項で述べたごとく、山腹崩壊が 50 ha、溪岸崩壊(山腹崩壊とつながったものも含む)が 300 ha 程度で、崩壊の厚さは平均前者 40 cm、後者 50 cm 程度と

みられ、したがって崩壊体積は

$$50 \text{ ha} \times 0.4 \text{ m} + 300 \text{ ha} \times 0.5 \text{ m} = 170 \times 10^4 \text{ m}^3$$

で、このうち 1/4 が山地に留止されたとみると、崩壊土砂の流出量は

$$170 \times 10^4 \text{ m}^3 \times 3/4 = 130 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となる。土石流により掘られた体積は

$$4 \text{ m (平均巾)} \times 2.5 \text{ m (平均深さ)} \times 1,000 \text{ m (平均長さ)} \times 120 \text{ (沢数)} = 120 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となる。

$$\text{合計} \quad 130 \times 10^4 \text{ m}^3 + 120 \times 10^4 \text{ m}^3 = 250 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となり、これが熊本市など下流に流送される間には流路またはその近くに堆積するので、その割合を 1/3 とすると、熊本市附近まで流出した土砂量は

$$250 \times 10^4 \text{ m}^3 \times 2/3 = 170 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となり、そのうち 20% 程度の $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ が海へ運ばれ、熊本市の堆砂は 80% 程度とすると

$$170 \times 10^4 \text{ m}^3 \times 0.8 = 140 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となる。

以上の数字は熊本県推定の南郷谷よりの流出土砂量 $300 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、阿蘇谷の流出土砂量 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ で、下流の流路堆積がその 1/3 程度で、熊本市内の堆砂 $250 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、海へ運ばれた量 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ に比して小さいが、新聞などに報ぜられた熊本市内の堆砂 600 万 ton はやや過大で $200 \times 10^4 \text{ m}^3$ 前後とみられる。これから逆算すると山地崩壊 400 ha 前後、荒廢溪流面積 200 ha 前後と、計 600 ha 前後の荒廢地が発生したと考えられる。

前記の概数推定値からは、山地崩壊の流出土砂量は土石流による溪流の流出土砂量とだいたい同程度であるがやや多い。阿蘇山の山地面積はだいたい 100 km^2 程度であるので、計 $250 \times 10^4 \text{ m}^3$ の流出土砂量は流域山地面積 1 km^2 当り

$$(250 \times 10^4 \text{ m}^3) \div 100 = 3 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となり、従来の各地の災害の資料³⁾⁸⁾ と比較するとそれほど大きいとはいえないが、災害が阿蘇山という広面積にわたって発生し、その流出土砂量の半分以上が熊本市内に堆積したことが特徴といえる。

また、小国町の林業試験場熊本支場小国試験地内の伐跡地の流出土砂量⁹⁾ は Table 8 のごとくであつたのが、今回の災害の 6 月 26 日の 1 日で 15 ton/ha と昭和 24 年の 1 年分と同じ量が流出し (Phot. 30)、心土が露出している。

Table 8.

年	昭和 22 年	" 23	" 24	" 25	" 26
流出土砂量 ton/ha	1.7	7.7	15.9	121.1	142.1

Ⅶ 災害の原因

災害の天然素因としては、阿蘇山はやや脆い火山噴出物で構成されている地質であること、五岳直下は急斜面でまた多数の深い沢が数多くきざまれている地形であること、上層の黒色火山灰はその下の黄褐色火山灰と土質を非常に異にして不連続状態であることなど、地質・地形・土壌は災害を発生しやすい条件である。

天然誘因としては記録的な豪雨があつたことで、災害の激甚なところは降雨の多かつたであろうと思われるある中の地帯に限られている。

人工誘因としては、阿蘇山はほとんど牧野・採草地としての草地で、今回の崩壊のごとき浅い崩れに対しては非常に有効であると考えられる森林が少ないという土地利用法の不備があげられ、また、一部には見られるが、治山施設・河川工事などの保全施設も阿蘇山には充分であつたとはいえず、合理的な土地利用法、災害防止の保全施設による予防が欠けていたことがあげられる。

以上の原因が種々重なりあつて災害を発生したが、阿蘇山地帯で人家破壊などの被害を受けた地区は、標高 700 m 以上の山地とみられるところにある部落であつた。

結局災害の原因としては、天然素因としての地質・地形・土壌が災害を発生しやすい条件であるところへ、記録的な豪雨という天然誘因があつて、災害を発生したことが大であるが、これらの天然原因は現下ではまだ人力では control できぬので、災害に対しては天然原因よりも影響力は劣るかも知れぬが、人工誘因の改善による被害を軽減することが第一に考慮されねばならない。

Ⅷ 治山対策

1. 崩壊防止および崩壊土砂流出防止

山腹崩壊は崩壊の機構、規模の項で述べたごとく、なんらかの不連続に起因して発生することが多いので、この不連続をなくすことが崩壊防止法として考えられる。不連続といつても地質・地形・土壌の不連続は人為的にこれを変化させて取り除くことは不可能なことが多く、ただ造林の地拵時などに上層の黒色火山灰と下層の黄褐色火山灰を掘りかえして混和することが考えられる。しかし、これも大面積には実行不可能なことで、黒色火山灰と黄褐色火山灰を混和するとその間の不連続がなくなるかわりに、さらにその下の岩盤との不連続で崩れた場合に深い崩れとなる危険が考えられること、黒色火山灰と黄褐色火山灰が何層にも互層する場合は深く掘つて混和させねばならぬことなど、実行には疑問とする点が多い。

人為的に不連続をなくすか、または不連続による危険を予防する方法としては、黒色火山灰と黄褐色火山灰の不連続に対処するものとして、黄褐色火山灰層にまで到達する深根性樹木の

植栽が考えられる。これも下の岩盤との不連続を考慮すると、さらに深く下の岩盤までに到達する深根のものがよい。山腹全体を深根性樹種で被覆するのが望ましいが、これが望めぬ時でも少なくとも火山灰と岩盤が地表で接触している点附近は深根性樹種（露岩地は草は進入せず広葉樹のみ見られるのが多い）を植栽し、湧水による崩壊の基点を押える抵抗物とする。道路も崩壊を起す不連続の一つであるので、特に道路が山腹凹地を横切るところは排水工により崩壊の危険を予防する必要がある。窪地はたとえそれが林地であろうとも、地上・地下の排水工を設置する必要がある。

Phot. 14, 15 のごとく亀裂を生じたが崩壊するまでにいたらなかつたところは、あれだけの災害時に崩れず残つたので安定とも考えられるが、やはり亀裂を生じて崩壊寸前までいたつたこと、亀裂から地表水が滲透して下方で湧水して崩壊を起しやすくなつたとも考えられること、亀裂により上方の抗張力と絶縁されたことなどからして、安全のためには一時的には下の黄褐色火山灰層に届くように杭打工を行い、恒久的には深根性樹種の植栽と取り換えていくのがよい。

溪岸崩壊は土石流通過などの溪流の侵蝕によるので、溪岸崩壊の防止には溪流の侵蝕を防止することが先決問題で、これには溪流に低堰堤を段階的に施行して洗掘を防止することが必要である。溪流の横侵蝕を防止するため溪流の全区間に護岸を設置することは経費的に不可能であるので、Fig. 11 のように溪流と山腹の接触点附近に深根性樹種を植栽して溪岸を保護させ護岸の川をなさしめる。



第11図 溪岸の森林
Fig. 11 Arrangement of forests along stream

崩壊土砂が沢に流出する前に緩斜地で留止されているのがところどころにみられるが、これは完全に留止されて植生が自然に回復・進入しているものは表面侵蝕による流出の心配がないが、まだ植生も進入せず裸地状態で rill の発生など土砂の緩慢な移動がみられているところは、早急に緑化して表面侵蝕による流出を防止しなければならぬ。また、崩壊土砂が凹地に留止されているものは、滲透水や地表水により飽水して流れ出す危険性があるので、地表および地下の排水工を施行して崩壊土砂の移動を防止しなければならぬ。

また、溪流工により溪床勾配を緩にすること、よい pocket をもつ岩盤地に貯砂堰堤を設け崩壊流出土砂を貯砂することも考えられるが、五岳直下の急勾配では溪床勾配を緩にして流出土砂を留止するには多数の溪流横工事が必要となつて実行困難であり、また、貯砂堰堤も多量の土砂を貯留する高堰堤の築設に適する場処も少ない。

2. 土石流防止

崩壊 block がそのまま直進する山津波は非常な速度をもっているため、急斜面上で直接これを留止することは工作物・森林でも不可能の場合が多い。この対策としては根源である崩壊の発生を未然に防止するか、緩斜面にきて速度が弱まつてから留止させる被害緩和が考えられ

る。前者は崩壊防止の項で述べたが、後者については Phot. 1, 12 のごとく山津波は緩斜地へくると急速に速度を減じて拵がりながら堆積しようとするので、崩壊の危険性の多い山腹の下の緩斜地にはあらかじめ山津波留止地帯をおき、平時は畑とか草地に利用し、これに山津波がうまく誘導されるように森林帯か工作物を設ける。この留止地帯には人家を設けぬのが原則であるが、現在ある人家の背後・周囲は森林で囲んで山津波の来襲に備えることが必要である。

崩壊 block が一度溪に堆積して堰となり、また破れて突進するものに対しては、根本的にはその根源である崩壊の発生を予防することである。溪流としては勾配が緩になれば土石流の発生が防がれ、また上流よりの土石流が留止されるので、溪流横工事で溪床勾配を緩にすることが必要であるが、多数の堰堤を階段状に築設することは経費の点から不可能であるので、むしろ低堰堤(床固を目的とするもの)を要処々々に設けて洗掘に対抗する基点となる不動点を設置する。適当な pocket には土石流を留止する目的の堰堤の築設もよいが、この堰堤はいたずらに貯砂量の大きなことを狙って高くすることは、土石流の来襲により破壊すればかえつて堰堤の無い場合より大きな災害を起すので、袖を充分長くするとか、堤冠中央部附近は特に堅固とするとか、水叩・前堰堤なども堅固にするなど安全な形態とすることが必要である。また、せつかく堰堤をつくつても平時の流出土砂で堰堤が埋まり貯砂能力がなくなつていると、土石流発生時にあまり役立たぬので、上流流域からの平時の流出土砂を山地で防止すること、水抜を大きくして平時の流出土砂は貯砂せぬような構造として一朝土石流来襲の時に備えることが必要である。

また、森林と土石流の項で述べたごとく、川岸の水害防備林的な森林が土石流を方向転換させたり、土石流中の巨岩を留止するので、部落上方・側方の川岸には、喬大なことを要しないが、深根性で地面附近の枝張りの多い萌芽性の強い種類の広葉樹の水害防備林を設置することが、土石流被害の軽減策として重要である。

下流で溪床そのものが流出する下流土石流は、平時の上流流域からの流出土砂が溪床に堆積して大雨時に洗掘されて起るので、根本的には平時の上流の流出土砂を防止して溪床の堆砂を防ぐことが必要であるが、やはり溪流の要処々々には低堰堤工で溪流の洗掘を防ぐ不動基点を設置することも重要である。

3. 表面侵蝕防止

平時の流出土砂の因である山地の表面侵蝕を防止するには、植物地被の活用が最も重要である。阿蘇山土壌の力学的性質で述べたごとく、根子岳の黄褐色火山灰のように雨滴侵蝕に抵抗力が弱いと考えられる土壤もあるので、崩壊跡地には早急に植物地被を回復させる必要があり、すでに草が回復進入している場処も多くみられるので、森林の生立するまでには時間を要するので、生長の速い密な草を仕立てることが必要である。

また、冬季の霜柱による侵蝕の危険性があるので、崩壊跡地の復旧には山腹被覆工や冬季も

繁茂する草樹の活用が重要である。

山腹凹地など集水される地域には水路を設置して地表水による表面侵蝕を防止することも必要で、また逆に危険な山腹凹地に集水されぬように、かえつて山腹凸角部に地表水を廻水して山腹の凹凸を小さくして表面侵蝕を防止することも実行すべきである。

4. 復旧方法および土地利用法

以上の崩壊防止・崩壊土砂流出防止・土石流防止・表面侵蝕防止を総合してみるとつぎのごとくなる。山腹には植物地被による侵蝕防止、深根樹による崩壊防止、必要箇処には排水工の設置、山津波留止地帯の設置、霜柱防止の山腹被覆と植生活用など、雨水を侵蝕・崩壊を惹起せぬように無害に流下させて溪に導く。溪流は平時の流出土砂を山腹で留止して溪床への堆砂を防ぎ、低堰堤により洗掘に抵抗する基点を設置し、川岸には水害防備林を設け土石流の発生・来襲に備えるなど、流水を溪流中を無害に導いて下流・海まで安全に運ぶ。結局上流山地から下流河川にいたるまで系統的な工事と植生活用の対策が必要ということである。

しかしこれらの対策を全部一時に完全に実行することは、経費・労力・技術者の数などの諸面から不可能であるので、まず早急に復旧すべきものと恒久的に順次施行すべきものとの2種に対策を分けて考える必要があり、この順序も阿蘇山全体については同一でなく、各地域によつて異なるものとする。

まず、根子岳地区について考えると、この地区は山腹崩壊の崩壊土砂が下の緩斜地に一時留止されていること、土壌の耐侵蝕性が他の地区より弱いこと、gully も二、三を除きあまり大きなものはないことが特徴で、したがつて崩壊跡地の早期緑化、緩斜地の崩壊土砂の移動防止・安定、大きな gully の谷止工設置を急ぐべきものとする。

高岳、丸山東面地区は溪岸崩壊が多いこと、山腹に亀裂を生じた場処が多いこと、沢が洗掘されて岩盤露出しているところの多いこと、根子岳のごとく下に緩斜面なく山津波留止地がないことが特徴で、したがつて、しばらく放置すれば再び上流よりの流出土砂で溪床に堆砂して床掘の必要を生ずるので、すぐ溪流の岩盤を基礎とした低堰堤を段階的に施行して土石流発生や溪岸崩壊の拡大に備えることと、山腹亀裂箇所に杭打工を施して崩壊防止を行うことを急ぐべきものとする。

丸山西面、おかもと山地区も高岳、丸山東面ほどではないが、だいたいこれに準ずる。

大村・洗川など外輪の被害のひどかつた地区は、溪岸崩壊はほとんどなく、部落が崩壊地に近いので、崩壊地の拡大防止と深根樹の植栽、人家附近の森林を山津波に備えて整備することが必要である。

阿蘇谷地区は概見したのみで特徴を明らかにつかみえなかつたが(阿蘇谷地区で最も被害のひどかつたといわれる宮地附近は調査できなかつた)、南郷谷に比し被害は少なかつたようであるので、南郷谷地区の復旧後に阿蘇谷地区を施行すべきものとする。

以上の応急対策を速やかに実行して、後直ちに恒久対策に取りかかる必要がある。恒久対策としては、いずれの地区も溪流には低堰堤を段階的に施行して、今後の土石流、溪岸崩壊の拡大・新生に備え、また上流からの流出土砂を貯留すること、崩壊跡地の早期緑化から深根樹の植栽に順次移行すること、崩壊の危険性ある場処に排水工・深根樹植栽など崩壊予防法を講ずること、山津波留止地帯を設けること、gully 側壁の安定、部落附近は水害防備林を整備するなどが必要で、また、つぎに述べる土地利用法の改善も恒久対策の一つである。

現在の阿蘇山は産業としては畜産を対象とした牧野・採草地が大部分であるが、これは土地保全の面からは望ましい形態とはいえず、すくなくとも崩壊危険性のあるところは深根樹を交えた森林とし、部落上方には山津波に備える森林帯を設置し、部落上方および側方の川岸には水害防備林を整備するなど、草地から林地または混牧林地¹⁰⁾ への転換が必要である。

また、今回の水害で土石流による被害を受けた部落は、だいたい標高 700 m 以上で急斜面地に接近しているので、本来はこうした危険地に部落を發展させるのは望ましくないが、現存する部落は今後の土石流来襲に備えて部落の上方・側方特に人家の周囲は水害防備林的な森林を常に完備しておく必要がある。

また、沢あるいは従来沢でなかつたところも、土石流発生で gully となつて深く掘れて断面を大きくされ、農耕・放牧に支障をきたすため、この gully を埋めて底を高くし断面を狭くし以前の農耕地・放牧地を回復しようとしやすいが、gully は埋めても今後今回程度の豪雨があると再び土石流で掘れる危険性も多いので、かえつて災害後の現在の断面を安定な形で維持するのが、今後の災害に備える安全な道であろう。

Ⅸ 要 約

(1) 昭和 28 年 6 月の北九州水害のうち阿蘇地区を南郷谷を主として、侵蝕・山崩状況および治山工・森林の影響を調査した。

(2) 阿蘇山土壌は上層の黒色火山灰とその下の黄褐色火山灰との間に、粒径組成・透水性・流出限界・耐水性などの土質の差が明らかに測定された。

(3) 崩壊は山腹崩壊・溪岸崩壊・窪地崩壊がみられ、溪岸崩壊が最も多かつた。山腹崩壊は上層黒色火山灰と下の黄褐色火山灰、火山灰と下の岩盤、道路との接点、地表傾斜の変換点、林相変化点などなんらかの不連続に起因するものが多い。溪岸崩壊は溪流の侵蝕に起因する。窪地崩壊は地表・地下の集水に起因する。

(4) 阿蘇山の崩壊面積は 400 ha 程度とみられ、起伏量の大きな地域、降雨量が多かつたであろう地域に密集する。

(5) 治山工は崩壊に対し有効なものが多かつた。

(6) 大局的には崩壊は林地より草地に多く、崩壊の深さは草の根の深さと一致し、深根性の

樹種はきわめて有効と考えられる。

(7) 土石流は上流の崩壊による山津波と下流の溪床の押出しの下流土石流とがあり、直接的・間接的に今回の崩壊または以前の崩壊が関係する。

(8) 治山工は土石流留止に有効なものが多かつた。

(9) 森林は土石流を方向転換させ、土石流中の巨岩を留止する作用が著しい。

(10) 雨水・霜柱による表面侵蝕も相当考慮せねばならず、その防止には植物地被が有効である。

(11) 阿蘇山からの流出土砂量は $250 \times 10^4 \text{m}^3$ 程度とみられ、流域山地 1km^2 当り $3 \times 10^4 \text{m}^3$ 程度である。

(12) 今回の災害は天然原因の影響するところ大であるが、人為的に制御できる人工誘因としての土地利用法の不合理、保全施設の不足を重視すべきである。

(13) 崩壊防止には深根樹の植栽、亀裂附近の杭打工、窪地の排水、溪流の階段堰堤、溪岸の森林が必要である。山地に残っている崩壊土砂は植物地被・排水工で移動を防止せねばならぬ。

(14) 土石流防止には留止地帯、森林帯、低堰堤、水害防備林が必要である。

(15) 表面侵蝕防止には早期緑化、凹地の水路、霜柱防止工が必要である。

(16) 復旧には地域別の特徴にしたがつて早急に行うものと、全地域に恒久的に行うものがある。恒久対策としては林地を適正に配置するなどの土地利用法の改善も重要である。

参 考 文 献

- 1) 熊本県林務部：昭和28年6月26日災害林業関係被害調査，(1953)。
- 2) 難波宣士：受蝕性指標に関する実験，日本林学会誌，34，4，(1952)。
- 3) 川口武雄，渡辺隆司，滝口喜代志：赤城山山崩に関する研究，林業試験場研究報告49，(1951)。
- 4) 東技師，服部技師，森技師：昭和28年6月26日豪雨による林野崩壊の原因調査並に対策，熊本県林務部，(1953)。
- 5) 災害科学研究所：阪神大水害調査報告，災害科学研究所報告1，(1938)。
- 6) 小出 博：山地の荒廃と地質，林業技術シリーズ，26，(1951)。
- 7) 本多静六：森林家必携，p. 548, 550，(1949)。
- 8) 川口武雄：山地からの土砂流出とこれに対する治山及び森林の効果，林業技術138，(1953)。
- 9) 上野巳熊：小国に於ける土砂流出試験報告(第II報)，林業試験場研究報告58，(1953)。
- 10) 島本貞哉：九州豪雨と山地災害について，林業技術138，(1953)。

Takeo KAWAGUCHI, Senshi NAMBA: Erosion Control (1. General)

Résumé

(1) To inquire into the actual state of surface erosion and landslides in the flood of 1953 and the influences of erosion control works and forests, we investigated on the spot chiefly at Nangodani of Mt. Aso.

(2) Differences of soil properties such as size distribution, permeability, flow limit and water-stability were measured between the upper layer of black volcanic ash and the under layer of yellow-brown volcanic ash of Mt. Aso.

(3) Landslides have following three types,

- (i) slide on hillside,
- (ii) slide along stream, and
- (iii) slide in the hollow

and most of landslides were in the type of (ii). Most of (i) were due to some discontinuities such as between upper black and lower yellow-brown volcanic ashes, upper layer of volcanic ash and under layer of bed rock, road and hillside slope, steep and gentle slopes on hillside and one and the other forest types.

Slides along stream were due to stream erosion. Slides in the hollow were due to concentration of surface and underground water.

(4) The area of landslides on Mt. Aso is roughly estimated at about 400 ha. and the landslides arose in close order at the districts having large relief-grade or presumably large amount of rain-fall.

(5) Most erosion control works were effective against landslides.

(6) According to general observation, more landslides arose in grasslands than in forest lands. The depth of landslides corresponded to the depth of grass roots, so the deep-rooted trees are very effective against landslides in our opinion.

(7) Mud and stone flows have following two types,

- (i) upstream mud and stone flow caused by landslide, and
- (ii) downstream mud and stone flow of stream bed itself.

Both of them are considered to relate to new or old landslides directly or indirectly.

(8) Most erosion control works were effective against mud and stone flows.

(9) Forests have remarkable functions of turning the course of mud and stone flow and retaining large rocks carried by it.

(10) Surface erosion due to rain water and soil frost must be considered, and the ground cover is effective for its prevention.

(11) The soil loss from Mt. Aso is roughly estimated at about $250 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($3 \times 10^4 \text{ m}^3$ per 1 km^2 of mountain area).

(12) The influence of natural factors in this flood was great, but such artificial proximate causes controllable by human power as improper land-use and lack of erosion control works are more important.

(13) To prevent landslide, following treatments will be effective,

- (i) planting of deep-rooted trees,
- (ii) driving of piles into the ground near the crack,
- (iii) drainage in the hollow,
- (iv) construction of stepped low dams in the stream, and
- (v) arrangement of forests along stream.

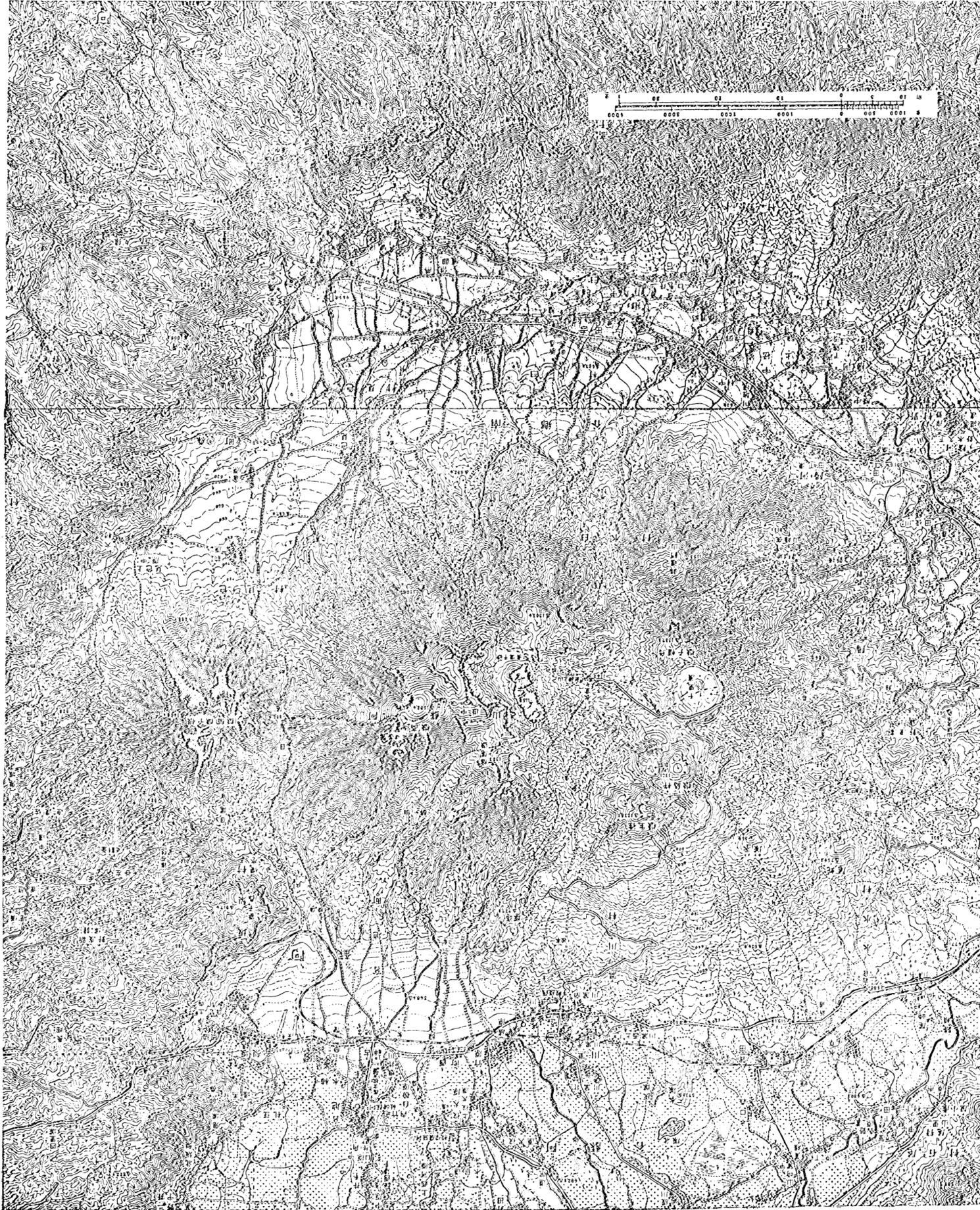
The movement of the collapsed soil mass remaining on mountain area must be controlled by the use of ground cover and drainage works.

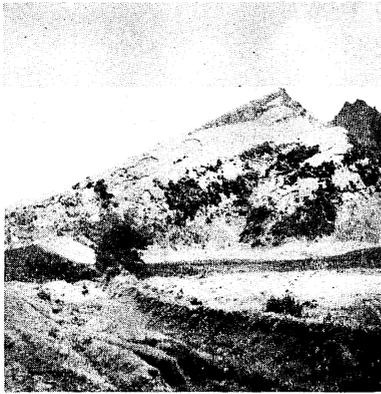
(14) To prevent mud and stone flow, installation of retaining area, belt of forests, low dams and forest for flood control are necessary.

(15) To prevent surface erosion, the rapid greenization, outlet channels in hollow and works against soil freezing are necessary.

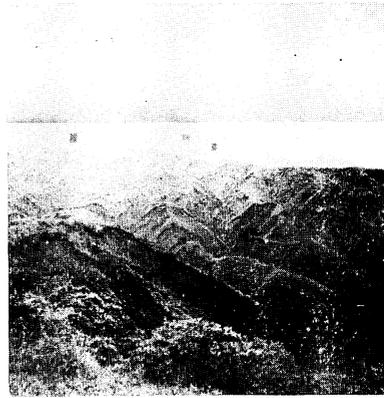
(16) As remedial programs, there are two systems of measures, the one is the urgent measure according to the characteristics of each district and the other is the permanent measure for all districts. As the permanent measure, it is also important to improve the land-use such as proper arrangement of forests and so on.

第 I 圖 阿蘇山
Fig. 1 Mt. Aso





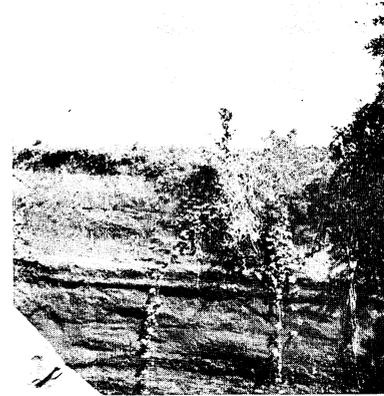
Phot. 1 Nekodake
根子岳



Phot. 2 Takadake
高岳



Phot. 3 Maruyama
丸山



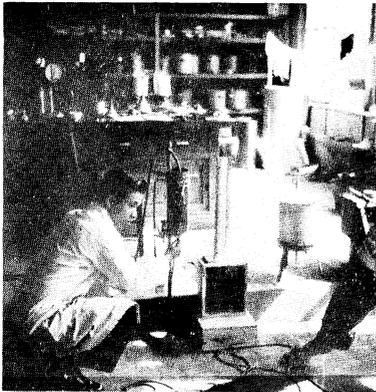
Phot. 4 Layers of volcanic ash
火山灰層 (根子岳)



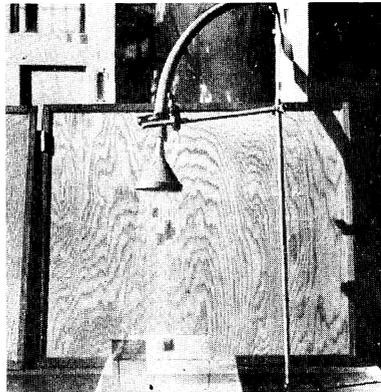
Phot. 5 Layers of volcanic ash
火山灰層 (噴火口)



Phot. 6 Depth of landslide
崩壊の深さ (高岳)



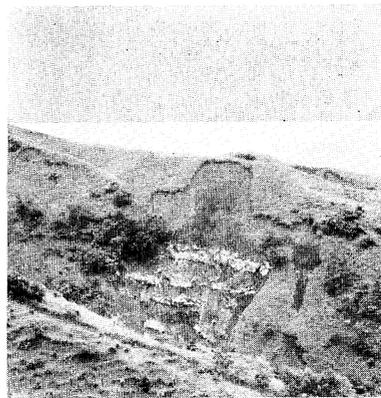
Phot. 7 Permeability test
透水試験



Phot. 8 Water-stability test
耐水試験



Phot. 9 Discontinuous plane
between road and hillside
slope
道路による不連続 (丸山)



Phot. 10 Discontinuous plane
between upper soil layer
and bed rock
岩盤による不連続 (高岳)



Phot. 11 Discontinuous plane
between upper soil layer
and bed rock
岩盤による不連続 (根子岳)



Phot. 12 Discontinuous plane
between upper soil layer
and bed rock
岩盤による不連続 (根子岳)



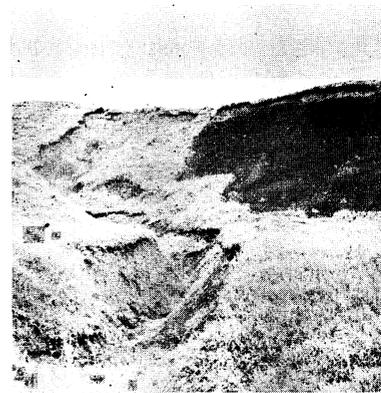
Phot. 13 Discontinuous plane
between one and the other
forest types
林相変化による不連続 (外輪山)



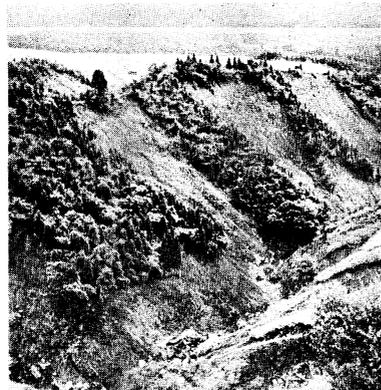
Phot. 14 Crack
亀裂 (丸山)



Phot. 15 Crack
亀裂 (高岳)



Phot. 16 Landslides
異なつた崩壊 (丸山)



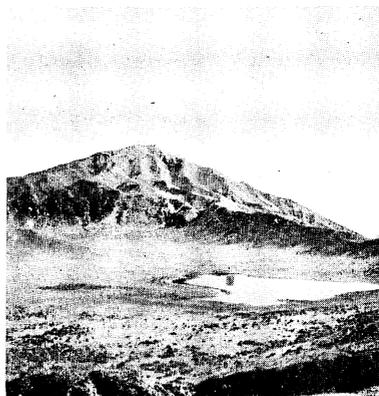
Phot. 17 Landslides along stream
溪岸崩壊 (高岳)



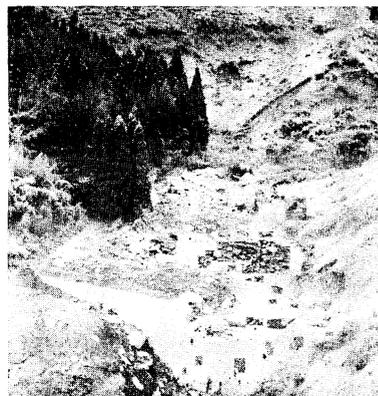
Phot. 18 Maruyama
丸 山



Phot. 19 Landslide along stream
due to dam
堰堤による溪岸崩壊 (丸山)



Phot. 20 Kusasenri
草千里



Phot. 21 Prevention of landslide
along stream by forest
溪岸崩壊を防いだ森林 (丸山)



Phot. 22 Tree resisted against
landslide
崩壊に抵抗したマツ (高岳)



Phot. 23 Gully due to mud and
stone flow
土石流通過跡 (根子岳)



Phot. 24 Prevention of mud and
stone flow by dam
堰堤による土石流防止 (小倉原)



Phot. 25 Prevention of mud and stone flow by dam
堰堤による土石流防止 (前原)



Phot. 26 Rocks retained by forest
森林により留止された岩石 (前原)



Phot. 27 Large rock retained by forest
森林により留止された土石流の巨岩 (大村)



Phot. 28 Rocks retained by forest
森林により留止された岩石 (洗川)



Phot. 29 Prevention of mud and stone flow by forest
土石流を防いだ森林 (小倉原)



Phot. 30 Soil loss at Oguni
小国の土砂流出