

V 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	339
II 調査地域および調査方法	340
III 山 崩	341
1. 崩 壊	341
a. 崩壊の機構, 規模	341
b. 治山工と崩壊	345
c. 森林と崩壊	345
2. 土 石 流	350
a. 土石流の機構, 規模	350
b. 治山工と土石流	351
c. 森林と土石流	352
IV 表 面 侵 蝕	352
V 流出土砂量	352
VI 災害の原因	353
VII 治 山 対 策	354
1. 崩壊防止および崩壊土砂流出防止	354
2. 土石流防止	355
3. 表面侵蝕防止	356
4. 復旧方法および土地利用法	356
VIII 要 約	358
参 考 文 献	359
Résumé	360

I 緒 言

昭和 28 年 6 月下旬北九州一帯にわたっ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 日にかけて福岡県内では 600mm 以上の降雨があり, 福岡県下に 735 町¹⁾の崩壊地の新生・拡大があり, 門司市内だけでも 619²⁾箇所の崩壊地が発生し多数の死者を生じた。林業試験場では同年 9 月門司市の災害について総合調査を行つた。筆者らもその一部侵蝕・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, 門司市および糸島郡北崎村の山崩状況を調査し, その結果治山対策について考究

した。短時日の調査（同年 12 月 5 日、6 日に未調査の区域を一部調査しえた）で概略を掴みえたにすぎず、きわめて不備な点が多いが、とりあえず結果を取りまとめて参考に供する次第である。

本調査に当り種々御援助をいただいた林野庁業務課、熊本営林局坪田治山課長、中山技官、直方営林署横尾経営課長（現門司治山事業所）、福岡県林務部佐々木部長、興膳治山課長、江良技師、門司市役所柳田助役、吉永工務部長、星野産業課長、水害復旧本部和田農業土木班長、井浦産業課技師など関係各位および調査に同行多大の御助力をいただいた門司市教育委員会土田主事（現水害復旧本部）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

調査地域は日田市より福岡市にいたる途中筑後川中流を概見し、門司市の調査区域は風師山系、戸上山系、砂利山（附図 Fig. I 参照）で、表門司では宗利川、門司緑川、丸山谷、清滝川、白木崎谷、葛葉川、藤見谷、大川、高田川、稻積川、緑川で、裏門司では奥畑川、大坪川、大原川で、また比較のため門司市とは地質を異にする糸島郡北崎村の宮の浦・西の浦間の崩壊地を調査した。

門司市内の地形・地質・土壌・林相・土地利用状況の詳細は他氏の報告に譲るが、おおよその関係事項を記すと、門司市内は風師山（標高 362.4m）、戸上山（標高 521.0 m）山系を境にして表門司は関門海峡、裏門司は周防灘に注ぎ、山系の平均傾斜は 25~30°くらいで、人家は標高 100m くらいの山腹まで上っている（附図 Fig. Ⅱ 参照）。地質は大部分中生層、古生層で輝緑凝灰岩、粘板岩が多くその他チャート、角岩、石灰岩などがあり、風師山、砂利山には一部花崗閃緑岩もみられ、断層も多い複雑な地質である。土壌はこれらの風化土の上にさらに赤色土: red soil がのつているところが多い。

糸島郡北崎村は、地質は花崗閃緑岩で近くの灘山も 210 m と標高は高くなく、土壌はところにより門司ほどではないが赤色土に似た土がのつており、林地はスギ、マツ、広葉樹がみられる。

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。調査地域内の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 100m、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、門司市内の崩壊状況については門司市役所の調査結果、建設省河川局砂防課の調査結果³⁾を利用した。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みいだすようにつとめ、また門司市役所の調査結果を利用した。

Ⅲ 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だ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 (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て、山腹自体の原因で Fig. 1 のごとき形態で崩れたものである。その最も標準的なものは Phot. 1 のごとき最上部に崩壊部があり、その下の急斜面は崩壊土砂が通過して gully 状に掘れた通過部で、一番下の緩斜面は崩壊土砂が拡がりながら堆積する堆積部で巾も崩壊部・通過部の数倍となる。山腹崩壊の原因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。

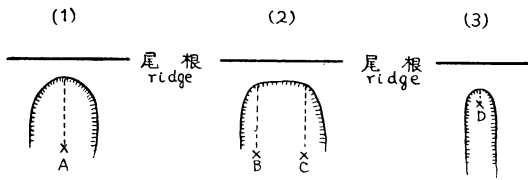


Fig. 1 山腹崩壊の形態
Types of landslides on hillside.

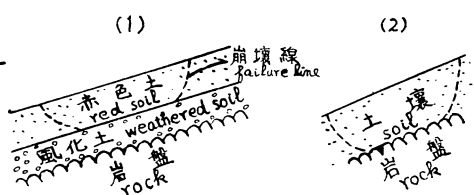


Fig. 2 地下の不連続面
Underground discontinuous planes.

地下すなわち深さの方向の不連続としては Fig. 2 のごとく

- i. 土質を異にする土層の境、すなわち赤色土と下の風化土または赤色土中の性質を異にする層の境 (Fig. 2 の (1))
- ii. 土層と下の岩盤の境 (Phot. 2) (Fig. 2 の (2))

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. 3 のごとく、

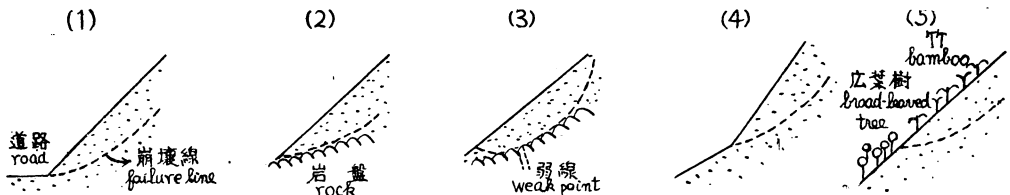


Fig. 3 地表の不連続面
Surface discontinuous planes.

- i. 道路との接触点 (Fig. 3 の (1))
- ii. 土層と岩盤との接触点 (Phot. 3), (Fig. 3 の (2))
- iii. 岩盤中の変質弱線部 (Phot. 4), (Fig. 3 の (3))
- iv. 地表傾斜の変換点 (Phot. 5), (Fig. 3 の (4))
- v. 林相変化点 (Phot. 6, 7), (Fig. 3 の (5))

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。

これら不連続点から滲透水が湧水することが多く、この湧水が Fig. 1 の(1)のごとく 1 地点 A を破る時は、崩壊の長さは A 点をとる線上が最も長く、左右に離れるにしたがい短くなり、A 点を頂点とする馬蹄型または凹頭型となる。Fig. 1 の(2)のごとく湧水が 2 地点 BC 間の線を破る時は、馬蹄型または凹頭型は巾広く頂辺は直線に近づく。また、Fig. 1 の(3)のごとく湧水が 1 地点 D を破ることは Fig. 1 の(1)と同様であるが、この湧水の量が多いか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る。不連続でないとは崩れ難いのは、やはり相当の降雨があつたと思われるこの地方の炭礦地帯のボタ山が比較的均質で崩れていないのをみてもうなすけることである。

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、中にはこの不連続がみられず Phot. 8, 9 のごとく赤色土中で崩壊したものもある。これは赤色土中の性質を異にする層の境で崩れたか、あるいは含水により赤色土中で剪断破壊を起したか、または Phot. 8 は下部が道路・校庭にするため切り取られていたらしいことに原因するかもと思われる。

溪岸崩壊は溪流の洗掘・横侵蝕、土石流の通過により溪岸の山腹が Fig. 4 のごとき形態で

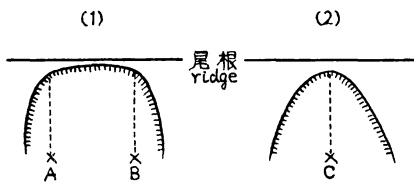


Fig. 4 溪岸崩壊の形態
Types of landslides along stream.

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 (Phot. 10)。溪岸崩壊は一般に山腹崩壊に比し巾広く、Fig. 4 の(1)は溪流侵蝕が AB 間のある区間に起つた場合で、Fig. 4 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る。



Fig. 5 窪地崩壊
Landslide in the hollow.

窪地崩壊は山腹崩壊と溪岸崩壊の中間的なもので、Fig. 5 の(1)のごとき形態が多い (Phot. 11)。これも山腹崩壊と同様土層と岩盤との接触点で Fig. 5 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。

また、集水して流水が多い場所であるので何らかの不連続点を起因として崩れたものでなく、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をとつていところもある。窪地が沢に続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、両者つながって溪頭部分の全面積の崩壊までに拡大する。

門司市の崩壊状況は Phot. 1~17（ただし、4を除く）のごとく、岩盤上の土層がすべて崩れたものと、土層の赤色土の中に崩壊を生じたものがあり、阿蘇山の最上層の黒色火山灰が薄く崩れたものに比して崩壊の深さは厚い。北崎村の崩壊状況は Phot. 4のごとく、岩盤上の土層が崩れている。

門司市の崩壊は建設省砂防課³⁾の調査によると、568箇所の調査崩壊地中 Table 1のごとく溪岸崩壊は40箇所であく、阿蘇山が溪岸崩壊が多かつたのと異なるのは、谷密度が大きいこと、地形上溪岸崩壊を起すほどの流水量が沢に集水されないことによると考えられる。崩壊の90%以上は Table 1のごとく山凸、山凹、中腹、山脚と山腹の崩壊である。

Table 1.

位 置	溪 岸	山 凸	山 凹	中 腹	山 脚	稜線・谷・貯水池岸など	計
崩壊箇所数	40	114	142	222	39	11	568

形態は建設省砂防課³⁾の調査では、円頭、貝殻、短冊、屏風、樹枝、表土剥落の形に分けられているが、80%程度が円頭状または短冊状の崩壊である。

門司市の崩壊面積は市役所略測²⁾では361haと建設省砂防課³⁾測定の57haの6倍以上であるが、市役所略測では崩壊土砂が山腹下の緩斜地・平坦地または沢に堆積して荒廃地化した面積まで含んでいるであろうことと、目測などでやや過大と思われ、別に市役所調査の林相別崩壊地調査の結果は169haで、このうち崩壊源に当る面積は建設省砂防課測定のごとく60ha程度であろう。

建設省砂防課³⁾測定では崩壊地数568箇所、崩壊面積568,556m²、崩壊土量820,632m³で、これから計算すると崩壊地1箇所当りの平均面積は10a、平均土量は1,400m³、平均崩壊深さ（谷侵蝕、貯水池岸崩壊など7箇所を除く）は1.3mとなる。崩壊地中最大のものは(Phot. 17) 清滝川に発生した面積1.92ha、崩壊土量38,400m³となつている。

また、建設省砂防課³⁾調査の門司市内の流域別崩壊調査の結果は Table 2のごとくである。

Table 2.

河 川 名	清見谷	宗利川	門 司 川 緑 川	丸山谷	清滝川	白 木 谷 崎 谷	葛 葉 谷 東 谷	藤見谷	小 森 川 江 川	羽山川	大 川
流域面積km ²	0.65	0.49	0.22	0.69	0.55	0.38	0.25	0.28	0.13	1.02	3.76
崩壊箇所数	14	15	25	25	29	16	9	5	1	21	96
崩壊面積ha	0.36	0.74	2.43	1.03	7.39	3.31	0.48	0.35	0.21	0.36	19.45
崩壊土量10 ³ m ³	2.4	9.9	28.8	20.9	104.1	56.2	6.9	7.5	15.8	6.0	206.8

河 川 名	水無川	高田川	稲積川	緑 川	村中川	奥畑川	大坪川	猿喰川	井手谷川 谷 川	櫛毛川	大原川	計
流域面積km ²	0.64	2.16	1.12	0.86	1.86	5.54	4.04	1.60	5.31	1.54	2.58	35.67
崩壊箇所数	7	7	13	6	22	116	82	24	10	6	19	568
崩壊面積ha	0.62	0.22	0.72	0.24	1.33	7.21	7.91	0.74	0.43	0.34	0.94	56.86
崩壊土量10 ³ m ³	10.4	3.0	45.3	10.0	30.8	127.9	95.2	11.0	6.8	5.6	9.3	820.6

Table 2 の値から流域面積 1 km² 当りに換算してみると Table 3 のごとくなる。

Table 3.

河 川 名	清見谷	宗利川	門 司 緑 川	丸山谷	清滝川	白 木 崎 谷	葛 葉 東 谷	藤見谷	小 森 江 川	羽山川	大 川
崩 壊 箇 所 数	22	31	114	36	53	42	36	18	8	21	26
崩 壊 面 積 ha	0.6	1.5	11.0	1.6	13.4	8.7	1.9	1.3	1.6	0.4	5.2
崩壊土量 10 ³ m ³	4	20	131	30	189	143	23	27	122	6	56
崩壊平均深さ	0.7	1.3	1.0	1.9	1.4	1.6	1.5	2.1	—	1.6	1.1

河 川 名	水無川	高田川	稲積川	緑川	村中川	奥畑川	大坪川	猿喰川	井手谷川	櫛毛川	大原川	計
崩 壊 箇 所 数	11	3	12	7	12	21	20	15	2	4	7	16
崩 壊 面 積 ha	1.0	0.1	0.6	0.3	0.7	1.3	2.0	0.5	0.1	0.2	0.4	1.6
崩壊土量 10 ³ m ³	16	1	40	12	2	23	24	7	1	4	4	23
崩壊平均深さ m	1.7	1.3	2.2	4.2	2.3	1.8	1.2	1.5	1.6	1.7	1.0	1.3

備考 崩壊平均深さの計算には谷侵蝕、貯水池岸崩壊は除いてある

Table 3 から 1 km² 当りの崩壊箇所の多いのは門司緑川、清滝川、白木崎谷、葛葉東谷、宗利川、大川で、1 km²当りの崩壊面積の多いのは清滝川、門司緑川、白木崎谷、大川で、1 km²当りの崩壊土量の多いのは清滝川、白木崎谷、門司緑川、小森江川で、崩壊箇所・崩壊面積・崩壊土量のいずれも多いのは清滝川、門司緑川、白木崎谷となる。崩壊平均深さは緑川、村中川、稲積川、藤見谷が大きくなっているが、戸上山表門司に属する緑川、村中川、稲積川では溪岸崩壊が深い。

福岡県地質図⁴⁾によると、門司市内の断層線は大休小森江——田野浦（風師山の表門司・裏門司境）、寺内——七つ石峠北方——石塚峠、寺内——鹿喰峠——山門、小森江——奥田——石塚峠、大久保——砂利山、田野浦——白野江山中——森、黒川山中——砂利山——白野江山中の 7 本がみられる。崩壊が頻発したか大きな崩壊が発生した地域は大休この断層線に係する地域に限られ、断層により地質的に擾乱されていることが崩壊に影響したと考えられる。

また、門司市の砂利山、風師山、戸上山の標高 50 m 以上の区域（標高 50 m 以上が大休山地とみなされる）につき、2 万 5 千分の 1 地形図上に一边 2 cm (0.5 km 枠目) の正方形枠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 (1),(2),(3) である。Fig. Ⅲ の値から計算したのが Table 4 である。

Table 4.

地 域	砂利山	風師山	戸上山	砂利山 表門司	砂利山 裏門司	風師山 表門司	風師山 裏門司	戸上山 表門司	戸上山 裏門司
起伏量の平均	120m	140m	160m	120m	110m	160m	110m	170m	160m

Table 4 の値からわかるごとく、風師山は表門司側が裏門司側より起伏量が大で、これが清滝川、白木崎谷などに崩壊が多く、かつ大きかつた原因の一つである。戸上山は表門司側と裏門司側と崩壊にあまり差はないが、やはり表門司側がやや多いのは僅かであるが起伏量の差が影響していると考えられる。砂利山は起伏量がそれほどでないのに崩壊が多かつたのは、断層線に囲まれて擾乱されて基岩が細かく割れた地質であることが影響し、断層にあまり関係の

ない戸上山は起伏量の大きなことが崩壊に影響したと考えられる。

建設省砂防課³⁾ 測定結果から崩壊地の傾斜角頻度分布を計算して図示したのが Fig. 6 であるが、Fig. 6 をみると崩壊地の傾斜角は 33° 前後が最も多くその前後にいくにしたがい少なくなる。

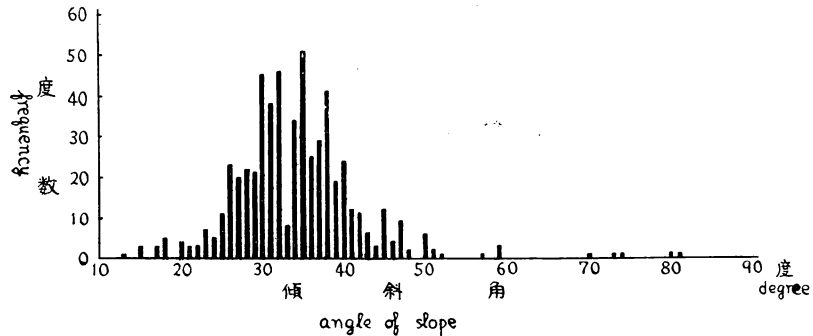


Fig. 6 崩壊角度の分布
Frequency diagram.

北崎村の調査した崩壊地は Phot. 4 のごとく、溪頭近くの山腹が基盤である糸島型花崗閃緑岩中の変質弱線化したと思われる部分で湧水して上の風化土が崩れたものである。この崩壊土砂は半分ほど山腹に留止されているが、それより下流の溪流は洗掘により岩盤露出し、途中土石流通過の影響による溪岸崩壊を起し、溪口の緩斜地帯の耕地を荒廃させたが、緩斜地帯の溜池に流出土砂は留止されて下の部落は被害をまぬがれた。溪頭近くに崩壊を起した沢の隣の沢の源頭の凹地は窪地崩壊がまさに起ろうとした象徴の亀裂がみられた。

甘木——博多の車中より遠望される 朝倉型花崗閃緑岩地帯、真崎型花崗閃緑岩地帯の崩壊も、糸島型花崗閃緑岩地帯の崩壊と大体似たものと想像される。

b. 治山工と崩壊

門司市、北崎村の調査区域内には治山工の施行されたものなく、したがって、治山工と崩壊の関係を調査することができなかった。

c. 森林と崩壊

門司市内を概見しても、奥畑川上流では Phot. 18 のごとく原野状態のところ崩壊が起り、大坪川平山上流でも Phot. 15 のごとく原野状態（現在造林直後）のところ数多く崩壊が発生し、林地は Phot. 9 の赤色土の崩れが1つあるのみで他にはないというように、崩壊は原野状態のところまたは疎悪林地に発生したことが多い。

門司市役所調査の林相別崩壊地調査図から計算すると Table 5 のごとき数値がえられる。

Table 5 の林地のうちの広葉樹Ⅰ令級には原野と同じような状態のものも含まれているが、それでも 100 ha 当りの崩壊箇所数は林地はその他の 1/3 程度、100 ha 当りの崩壊地面積は 1/4 程度と林地の方が崩壊の少ないことを示している。門司市の森林は小倉藩の林政時代は良

Table 5.

種 別	林 地	その他 (原野など)	計
面 積 ha	2,721	533	3,254
崩 壊 箇 所 数	238	136	374
面積 100 ha 当り崩壊箇所数	8.8	25.1	11.5
崩 壊 面 積 ha	96.68	72.37	169.05
面積 100 ha 当り崩壊面積 ha	3.6	13.4	5.2

好で、過去 60 年間は山地の崩壊

もなかつたが、明治以後の林政に

みるべきものなく戦時に濫伐さ

れ、戦後盗伐が盛んに行われまた

開墾の火入れなどで山火事も多

く、現在の森林は Phot. 1, 6,

7, 8, 11, 13, 14, 15, 16 にみられるごとく疎悪林が多い。1,058 ha の針葉樹の 80 % 以上、1,603 ha の広葉樹の 90 % 近くはⅡ令級以下で、崩壊防止に有効と考えられるⅢ令級以上が少ないが、幼令林程度でも原野よりは崩壊に対し有効であつた。

門司市の崩壊の深さは平均 1.3m で阿蘇山の 0.4~0.5m 程度に比し深い（これは阿蘇山が火山灰地で表層の黒色火山灰だけが崩れたのに対し、門司は中古生層で表層には赤色土がのり基盤から上の土層全部が崩れたのもある違いによる）、門司市の崩壊でも中には 0.5m 程度の浅い崩れも相当あり、この浅い崩れには深根性の樹木は浅根性の草よりはるかに有効であつた。また、林地とその他の 100 ha 当り崩壊箇所数の比と崩壊面積の比を比較した場合、前者 0.35 に対し後者 0.27 と林地はその他に比し崩壊箇所数よりも崩壊面積を少なくすることは、たとえ崩壊が発生しても森林は発生した崩壊の拡大を防ぐ作用がいちじるしいのを示し、一般に林地内の崩壊は原野の崩壊に比し巾が狭いのはこれを物語っているものと考えられる。

林地と無立木地の崩壊に対する差を数量的に検討しうる資料は、福岡県内ではやはり今回の水害時の矢部川流域 11 箇村の福岡県林務部調査の資料³⁾がある。この地域は降雨量 550~900 mm で、地質は福岡県地質図⁴⁾によると新第三紀の安山岩・凝灰質角礫岩および秩父古生層の片岩などである。この資料から計算したのが Table 6 である。

Table 6 をみても林地の 100 ha 当り崩壊数は伐跡地と差はないが、無立木地の 1/4 程度で

ある。

Table 6.

種 別	林 地	伐 跡 地	無立木地	計
面 積 ha	28,549	1,614	526	30,689
崩 壊 箇 所 数	268	15	18	301
面積 100 ha 当り崩壊箇所数	0.9	0.9	3.4	1.0

つぎに林地といつて

も樹種によりいかなる

違いがあるかを検討す

ると、門司市役所の調

査結果から計算して

Table 7 がえられる。

Table 7.

樹 種	針 葉 樹	広 葉 樹	竹 林	計
面 積 ha	1,058	1,603	61	2,722
崩 壊 箇 所 数	82	148	8	238
面積 100 ha 当り崩壊箇所数	7.8	9.2	13.1	8.7
崩 壊 面 積 ha	32.75	60.79	3.14	96.68
面積 100 ha 当り崩壊面積 ha	3.1	3.8	5.1	3.6

Table 7 の数値を

みると、面積 100ha 当

りの崩壊箇所数、崩壊

面積とも針葉樹・広葉

樹・竹林の順に多いが、広葉樹はそのⅠ令級に原野と同じような状態のものも含まれているので、この程度の差では針葉樹が広葉樹より崩壊防止に有効とはいえず、原野と同じような状態のところを除いて針広の比較をしなければわからない。前述のごとく門司市の崩壊の平均深さは 1.3m と深いので、深根樹ほど有効であつたと考えられ、竹林は平地では水害防備林として有効であるが、傾斜地では根は縦（深さ）の方向よりは横の方向に伸び表面侵蝕防止には有効であるが深い崩れにはあまり有効でないと考えられ、調査区域内でも広葉樹林が崩れていないのにその上下または横の竹林が崩れているのがところどころみられた。

矢部川流域 11 箇村⁵⁾ について同様に樹種による差を計算すると Table 8 がえられる。

Table 8.

樹	種	スギ	ヒノキ	マツ	クスギ	ザツ	タケ	計
面積	ha	14,052	1,040	1,870	946	7,654	2,987	28,549
崩壊箇所数		197	1	10	3	31	26	268
面積 100 ha 当り崩壊箇所数		1.4	0.1	0.5	0.3	0.4	0.9	0.9

Table 8 の面積 100 ha 当り崩壊箇所数はスギが最も多く、ついでタケとなり、その他マツ、ザツ、クスギの順で、ヒノキが最も少ない。スギは崩壊しやすい溪に近い堆積土に、ヒノキは崩壊し難い尾根近くに植栽されていることが多いので、この数字のままにスギはヒノキより崩壊防止に有効でないと速断はできぬが、スギは地上部の大きさの割に浅根で、崩壊防止に適する樹種とは考えられぬ。Table 8 の面積 100 ha 当り崩壊箇所数の平均は 0.60 で、これに対しスギの 1.4 は平均からの差が最も大であるので、Thompson の棄却検定⁶⁾ を行くと、 $t_0 = 2.998 > t = 2.776$ ($\alpha = 0.05$) で、スギの 1.4 の値は棄却されスギが他の樹種に比し崩れやすいこととなる。

なお比較のため、大正 10 年 6 月北九州水害の大分県日田地方および福岡県八女郡の山崩⁷⁾（この地域の地質は安山岩屑を交雑した火山灰砂層または集塊岩で、一小部分は第三紀層である）の資料について計算すると Table 9 がえられる。

Table 9.

樹	種	アカマツ	スギ	広葉樹	タケ	計
面積	ha	210	2,390	1,127	36	3,763
崩壊面積	ha	0	52.98	4.24	0.18	57.40
面積 100 ha 当り崩壊面積	ha	0	2.22	0.38	0.50	1.53

Table 9 の面積 100 ha 当り崩壊面積はスギが最も大きく、ついでタケとなり、広葉樹・アカマツは小さく、だいたい Table 8 と同様な傾向である。Table 9 の面積 100 ha 当り崩壊面積の平均は 0.775 でスギの 2.22 は平均からの差が最も大であるので、Thompson の棄却検定⁶⁾ を行くと、 $t_0 = 6.466 > t = 4.303$ ($\alpha = 0.05$) で、スギの 2.22 の値は棄却できることとなり、スギは他の樹種に比して崩れやすいこととなるのは Table 8 の場合と同様である。

Table 9 の値では針葉樹でも深根性のアカマツと浅根性のスギとの間にいちじるしい差のあることを示している。

北崎村などの花崗閃緑岩地帯でも、やはり樹種としてはスギなど浅根性のものよりはアカマツなどの深根性のものが崩壊に対し抵抗力が大であるように見受けられた。

つぎに、樹令によりいかなる違いがあるかを検討すると、門司市役所の調査結果から計算して Table 10 がえられる。

Table 10.

Table 10 の面積

令	級	I	II	III 以上	計	100 ha 当りの崩壊箇所数, 崩壊面積もとも
面	積 ha	1,305	1,003	353	2,661	に I 令級が最小である
崩	壊 箇 所 数	103	96	31	230	が, だいたい同程度の
面積 100 ha 当り崩壊箇所数		7.9	9.6	8.8	8.6	数値で令級による差は
崩	壊 面 積 ha	43.50	33.74	16.30	93.54	
面積 100 ha 当り崩壊面積ha		3.3	3.4	4.6	3.5	

あまりないという方が妥当であろう。

矢部川流域 11 箇村⁵⁾についても同様に樹令による差を計算すると Table 11 がえられる。

Table 11.

令	級	I	II	III	IV	V 以上	計
面	積 ha	6,985	4,652	3,745	3,635	6,545	25,562
崩	壊 箇 所 数	77	79	33	17	36	242
面積 100 ha 当り崩壊箇所数		1.1	1.7	0.9	0.5	0.6	0.9

Table 11 の面積 100 ha 当り崩壊箇所数をみると、Ⅳ令級以上はⅢ令級以下より小さく、Ⅱ令級が最大で、前生樹の伐根が腐朽した時期のⅡ令級が最も崩れやすいとも考えられるが、Table 11 の面積 100 ha 当り崩壊箇所数の平均 0.96 から最も差の大きいⅡ令級の 1.7 の値を Thompson の棄却検定⁶⁾で検定すると、 $t_0=2.500 < t=3.182$ ($\alpha=0.05$) で棄却できず、 $t_0=2.500 > t=2.353$ ($\alpha=0.10$) で棄却できる程度で特にいちじるしい差ともいえない。

なお比較のため、大正 10 年 6 月の大分県日田地方および福岡県八女郡の山崩⁷⁾の資料からは Table 12 の数値がえられる。

Table 12.

樹	令	10年以下	11~20年	21~30年	31~40年	41年以上	計
面	積 ha	2,199	1,829	1,466	1,096	742	7,334
崩	壊 箇 所 数	667	352	107	16	2	1,144
面積 100 ha 当り崩壊箇所数		30.3	19.2	7.3	1.5	0.3	15.6
崩	壊 面 積 ha	38.53	35.06	15.95	1.88	0.57	91.99
面積 100 ha 当り崩壊面積ha		1.75	1.92	1.09	0.17	0.03	1.25

Table 12 の面積 100 ha 当り崩壊箇所数をみると樹令が多くなるにしたがい小さくなる傾

向があり、森林の崩壊に対する抵抗力が樹令とともに増大するようにみられるが、100 ha 当り崩壊箇所数の平均 11.72 から最も差の大きい 10 年以下の 30.3 の値を Thompson の棄却検定⁶⁾で検定すると、 $t_0=2.405 < t=3.182$ ($\alpha=0.05$) で棄却できず、 $t_0=2.405 > t=2.353$ ($\alpha=0.10$) で棄却できる程度で 10 年以下がそれ以上の樹令に比し特にいちじるしい差があるともいえない。100 ha 当りの崩壊面積は崩壊箇所の場合とだいたい同一で、ただ 11~20 年が 10 年以下より大きく最大となつてゐるのが異なり、Table 11 と同じ傾向であるが、平均からの差の最も大きい 41 年以上の 0.08 の値は Thompson の棄却検定で $\alpha=0.10$ でも棄却できない。

以上樹令についてみると、だいたいにおいて老壮令は幼令より崩壊に対し有効な傾向があるとみられる。しかし今回の門司市の崩壊についてこの傾向がみられないのは、門司市の森林にはⅣ令級以上はほとんどなく疎悪林で、健全な老壮令林がほとんどみられぬこと、崩壊の深さが割に深いことで、樹令による崩壊の差がそれほどみられぬのであろう。

つぎに、樹種・令級別について考察すると、門司市役所の調査結果から計算して Table 13 がえられる。

Table 13.

樹種 \ 令級	I			II			III 以上		
	面積 ha	崩壊箇所数	崩壊面積 ha	面積 ha	崩壊箇所数	崩壊面積 ha	面積 ha	崩壊箇所数	崩壊面積 ha
針葉樹	153.44	15	4.88	715.75	53	19.33	183.52	14	8.49
広葉樹	1,146.46	88	33.62	236.97	43	14.36	169.71	17	7.81

Table 13 の値から面積 100 ha 当りの崩壊箇所数を求めると Table 14 のごとくで、Table 14 の値を分散分析した結果が Table 15 で、樹種別・令級別による差はいずれも 10 % の危険率でも有意とはならない。

Table 14.

令級 樹種	I	II	III以上
針葉樹	9.5	7.4	7.6
広葉樹	7.7	15.0	10.0

Table 15.

要因	平方和	自由度	不偏分散	F ₀	F	α
全分散	41.753	5				
樹種別分散	11.206	1	11.206	1.01	<8.53	0.10
令級別分散	8.373	2	4.187	0.38	<9.00	0.10
誤差	22.174	2	11.037			

Table 13 の値から面積 100 ha 当りの崩壊面積を求めると Table 16 のごとくで、Table 16 の値を分散分析した結果が Table 17 で、やはり崩壊箇所数と同様樹種別・令級別による差はい

Table 16.

令級 樹種	I	II	III以上
針葉樹	3.1	2.7	4.6
広葉樹	3.4	5.0	4.6

ずれも 10 % の危険率でも有意とはならない。

Table 17.

要 因	平 方 和	自 由 度	不 偏 分 散	F ₀	F	α
全 分 散	4.520	5				
樹 種 別 分 散	1.127	1	1.127	1.44	<8.53	0.10
令 級 別 分 散	1.830	2	0.915	1.77	<9.00	0.10
誤 差	1.563	2	0.782			

矢部川流域 11 箇村⁵⁾ についても同様に樹種・令級別の Table 18 がえられる。

Table 18.

樹種	令級	I		II		III		IV		V 以上	
		面積 ha	崩 壊 箇所数	面積 ha	崩 壊 箇所数	面積 ha	崩 壊 箇所数	面積 ha	崩 壊 箇所数	面積 ha	崩 壊 箇所数
ス	ギ	3,539	65	2,186	64	2,203	25	2,159	13	3,965	30
ヒ	ノ	139	0	97	0	113	0	133	1	558	0
マ	ツ	275	3	133	1	171	1	222	2	1,069	3
ク	ヌ	412	3	271	0	162	0	75	0	26	0
ザ	ツ	2,620	6	1,965	14	1,096	7	1,046	1	927	3

Table 18 の値から面積 100 ha 当りの崩壊箇所数を求めると Table 19 のごとくで、Table 19 の値を分散分析した結果が Table 20 で、樹種別による差は 5 % の危険率で有意となりスギがヒノキ、クスギ、ザツに比して崩壊が多いといえるが、樹令別による差は 10 % の危険率でも有意とはならない。

Table 19.

令級		I	II	III	IV	V 以上
樹種						
ス	ギ	1.8	2.9	1.1	0.6	0.8
ヒ	ノ	0	0	0	0.8	0
マ	ツ	1.1	0.8	0.6	0.9	0.3
ク	ヌ	0.7	0	0	0	0
ザ	ツ	0.2	0.7	0.6	0.1	0.3

Table 20.

要 因	平 方 和	自 由 度	不 偏 分 散	F ₀	F	α
全 分 散	10.910	24				
樹 種 別 分 散	4.434	4	1.109	3.35	>3.01	0.05
令 級 別 分 散	1.182	4	0.296	0.89	<2.33	0.10
誤 差	5.294	16	0.331			

以上樹種・樹令別の資料からは、一般に崩壊に対しては樹令より樹種の違いによる影響の方が大であるとみられる。

2. 土石流

a. 土石流の機構，規模

土石流はつき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 が一度溪に堆積して堰となるが直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れ出すもの | | | |

崩壊 block がそのまま直進するものは、Phot. 1 のごとく急斜地に崩壊が起り下につづく急斜面を破壊しながら緩斜地にきてはじめて停止する。赤色土中の含水による剪断破壊などによると思われる崩壊よりは、不連続に起因する湧水による崩壊が山津波として下方に直進するのが多く、やはり山津波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速度以上の速さで直進するので、これは崩壊の初動として貯留された地下滲透水の爆裂⁸⁾などによる猛烈な初速が崩壊 block に与えられるものであろう。この型の山津波の小規模なものは勾配 10 %程度の緩斜地でとどまつている。

崩壊 block は沢に落下すると停止して天然の堰となつて、しばらく上流からの流水を dam-up し、それがあつた量となると、天然堰の下に滲透した水の揚圧力もこれに加わつて、堰は切れて猛烈な勢いで沢を破壊拡大しながら突進する（Phot. 18）。沢の堆積層上層は平時の小流水には比較的安定な構造になつてゐるが、これが土石流の通過によつて擾乱流出されるので、その下の堆積層はその後の流水で容易に洗掘流出して、溪床の岩盤は露出し（Phot. 19, 20）、沢は深さ・巾を拡大されて gully 状になる。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されるのが必要である。この型の山津波は勾配 10 %程度では盛んに発生し、5 % 程度でようやく留止されるようである。門司市内の山津波にはこの型の山津波は多く、被害のはなはだしかつた藤見谷（Phot. 14）、葛葉、白木崎（Phot. 21）などにもこの型の山津波が多く、風師山表門司では崩壊発生地の中生層岩石のほかには花崗閃緑岩が国道近くに相当大きな形（Phot. 21）のまま流出しているのは、この型の山津波発生によるものとみられる。

下流土石流は平時または小洪水時に流出した土砂の溪床上の堆積が、洗掘、地下滲透水の揚圧力、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ある。門司市内の河川中小森江川、稻積川、緑川の谷侵蝕にはこれによるものがあると思われるが、かつては沢であつたのが市街地の発達とともに、沢を曲げたり（宗利川下流、白木崎谷下流など）、断面を小さくしたり（門司緑川下流、清滝川下流など）、極端なのは沢を無くしたりしていたのが、今回の土石流で再びかつての沢と同じ程度の大きさの沢に復活したと思われるものも相当ある。

b. 治山工と土石流

門司市内には治山工はまだ施行されたものはなく、ただ清滝川にあつた1小堰堤でも土石流

留止にある程度効果があつたのがみられただけであるが、河川の小さな横工事類似のものや道路の石垣が土石流をある程度留止して下流の被害を軽減した例もあるので、沢にもし堰堤があれば土石流による被害は相当軽減されていたものと考えられる。

治山工ではないが門司市内には大体標高 50 m くらいの沢の出口の緩斜地帯に溜池（上下 2 つあるものが多い）があるものが多く（Phot. 5, 22），これが今回の災害時に洪水調節および土石流留止の作用をして（Phot. 23），それより下流の部落を救つたか大いに被害を軽減している。しかし、風師山表門司などには溜池がなく土石流を留止するものがなかつたことが被害を大きくした原因の一つでもあるので、溜池とある程度同じ効果をもたらすことになる堰堤の築設が必要である。

c. 森林と土石流

山津波はその進路に森林があると、水は速度を減少させながら通過するが、山津波中の巨岩は森林障害物にはばまれて留止されることが多い。また、森林によつて土石流が方向転換されて背後の人家を救うことも多い。風師山表門司でも人家背後の数本の樹木で巨岩を防いで人家の破壊をまぬがれたのがみられた。

北崎村でも Phot. 24 の森林の上方に崩壊が起り、その崩壊 block は山津波となつて森林中を通過したが、森林中は障害物多いため巾狭く通過し、森林の下方の開墾地（以前は林地であつた）では障害物がないため山津波は巾を拡大して猛威をふるい開墾地を荒廢地化した。以前のごとくこの開墾地が林地であれば、この山津波は現在の開墾地の位置にある森林で大部分留止されたであろうと思われる。

Ⅳ 表 面 侵 蝕

門司市内の崩壊跡地をみると小土柱や rill（Phot. 7, 17）がところどころにみられ、崩壊跡地の表面侵蝕はある程度考慮せねばならぬ。特に赤色土の崩壊跡地は Phot. 8, 9 のごとく表面侵蝕が著しく小 gully 状を呈するもあるので、表面侵蝕防止を行つて崩壊跡の拡大を防がねばならぬ。

北崎村は基岩が花崗閃緑岩で土壌は砂質であるので急斜地の表面侵蝕は相当はげしいと思われる、溪床が上昇して道路より高くなつていようなところ、水面が橋とすれすれの場所もみられたが、これは今回の災害よりはむしろ平時の表面侵蝕による流出土砂によるものと思われる。崩壊跡地も Phot. 4 のごとく rill または小 gully 状に侵蝕されているので、急速に表面侵蝕を防止する必要がある。

Ⅴ 流 出 土 砂 量

崩壊・土石流により門司市内でどれだけの土砂が生産され流出したかを、建設省砂防課³⁾ 調

査の結果を基として概算してみるとつぎのごとくになる。

門司市内の崩壊地面積は崩壊の項で述べたごとく大体 60 ha 程度とみられ、崩壊の深さは平均 1.3 m 程度で、したがって崩壊体積は

$$60 \text{ ha} \times 1.3 \text{ m} = 78 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ (建設省測定では谷侵蝕, 貯水池岸崩壊を除き } 767,852 \text{ m}^3 \text{)}$$

で、このうち 40 %程度が山地に留止されたとみると（建設省測定では 82 万 m^3 の崩壊土量のうち 35 万 m^3 が残留）、崩壊土砂の流出量は

$$78 \times 10^4 \text{ m}^3 \times 0.6 \approx 50 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となる。

土石流により掘られた体積は

$$4 \text{ m (平均巾)} \times 2 \text{ m (平均深さ)} \times 500 \text{ m (平均長さ)} \times 25 \text{ (門司市内の沢数の約 } 2/3 \text{)} \\ = 10 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ (建設省測定の谷侵蝕は } 5.2 \text{ 万 m}^3 \text{)}$$

である。

流出土砂量の合計は

$$50 \times 10^4 \text{ m}^3 + 10 \times 10^4 \text{ m}^3 = 60 \times 10^4 \text{ m}^3$$

で、このうち 20 %程度が海へ流出し、門司市内の堆砂はこの 80 %程度とすると

$$60 \times 10^4 \text{ m}^3 \times 0.8 \approx 50 \times 10^4 \text{ m}^3$$

で、50 万 m^3 程度の堆砂が門司市内に起つたことになり、新聞などに報ぜられた門司市内の堆砂 50 余万 m^3 と大体同程度となる。

門司市内は山地崩壊による流出土砂量は土石流による溪流の流出土砂量よりはるかに多い。門司市内の山地面積は大体 30 km^2 程度であるので、計 $60 \times 10^4 \text{ m}^3$ の流出土砂量は流域山地面積 1 km^2 当り

$$(60 \times 10^4 \text{ m}^3) \div 30 = 2 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となり、従来の各地の災害の資料⁹⁾¹⁰⁾と比較するとそれほど大きいとはいえないが、やはり昭和 13 年の神戸の水害⁸⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾と同じく、人家の密集した地区に流出土砂・堆砂があつたことが被害が大であつた原因の大部分である。

Ⅵ 災 害 の 原 因

門司市の今回の災害の原因としては、断層の多い擾乱された複雑な地質であること、標高の割に海岸まで急斜面が迫つて平地が少ない地形であること、表層の赤色土は飽水により崩れやすいとみられる土質であることなど、天然素因の地質・地形・土壌が災害を発生しやすい条件であるところへ、天然誘因として記録的な豪雨があつたことがあげられる。

しかし、被害がひどかつた地区たとえば風師山表門司、風師山背奥加川上流、砂利山周囲などは Fig. I, II でわかるごとく、標高 100 m までも人家が山地にのぼつて沢を埋めたり小さ

くしたりしていた地区である。これに反し、戸上山系周囲は Fig. 1, Ⅱでわかるごとく、大抵標高 50 m 程度に溜池がありその下方が耕地、さらにその下方が部落であり、土石流は溜池またはその下の耕地でほとんど留止され、溜池から 300m 以上離れている部落はわずかに浸水したにすぎない。すなわち、被害は地形に順応していない人家の配置により加速された点が重大なことである。

災害の原因中天然原因の影響も大であり、これは今後の災害の予知や予報には重大であるが、現下人力ではこの天然素因、天然誘因を control することはできぬので、災害の完全な防止は困難でも災害による被害を軽減するには、この地形に順応した土地利用法の実行と保全施設・森林の整備が重要なことである。

Ⅶ 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ることが崩壊防止法となる。しかし、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い。ただ、造林の地拵え時などに上層の赤色土と下層の風化土を掘りかえして混和することが考えられるが、これも大面積には実行不可能で、また、赤色土と下の風化土との間の不連続をなくすとさらにその下の岩盤との不連続で深い崩壊を起す危険の方が大きくなるであろうとの疑問もある。

人為的に不連続をなくすか、またはそれによる危険を予防する方法としては、下の岩盤までに取り付く深根樹の植栽が最もよいが、赤色土中の不連続、赤色土と下の風化土の不連続、土層と下の岩盤との不連続を総合的に考えて、いろいろの深さに根を張るように樹種・樹令を異にするものを混淆させた森林を仕立てるのもよい。また、斜面の途中で林相が変化するのは崩壊の一因となるようであるので、斜面は尾根から沢まで同一の林相とするのがよい。

窪地は集水による崩壊の危険が大であるので、それがたとえ林地であつても地上・地下の排水工を設置することが必要である。

また崩壊跡地の周辺は不安定となり、災害後に崩壊 (Phot. 3 の左方の崩壊はこれに相当する) して崩壊地が拡大されていたので、崩壊跡地の復旧を速やかにして拡大を防ぐことが必要であり、山腹は傾斜が急で法切に限度があるので、人家背後などは山腹石積 (コンクリート) で堅固に守らねばならない。

溪岸崩壊は溪流の縦侵蝕を防ぐため階段低堰堤の築設が必要で、また、溪流全区間に横侵蝕を防止する護岸を設置するのは経費的に不可能であるので、山腹と溪流の接触点附近に Fig. 7 のように深根樹を植栽して護岸の代用とする。

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、まだ裸地状で rill の発生など土砂の緩慢な移動がみられるところは、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ない。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を施行する。また、貯砂効率のよい場処に堰堤を設けたり、溜池は時々浚渫して流出土砂に備えることも必要である。

2. 土石流防止

崩壊 block がそのまま直進すると山津波は非常な速度をもっているので、急斜面上で直接これを留止することは工作物・森林でも不可能な場合が多い。この対策としては根源である崩壊の発生を未然に予防するか、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、後者については山津波は Phot. 1 のごとく緩斜地へくると急速に速度を減じて拮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帯をおき平時は耕地として利用し、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。特にこの留止地帯は人家を設けぬのが原則であるが、現存する人家の背後・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も留止されるので、溪流横工事で溪床勾配を緩にすることも必要であるが、多数の堰堤を階段状に築設することは経費の点で不可能であるので、むしろ溪流の要処々々に洗掘に対抗する基点としての低堰堤不動点を設置する。適当な pocket には土石流を留止する目的の堰堤を築設するのもよいが、この堰堤をいたずらに貯砂量の大きなことを狙つて高くすることは、土石流の来襲により破壊すればかえつて堰堤のない場合よりも大きな災害を起すので、袖を充分長くするとか、堤冠中央部附近を特に堅固とするとか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埋まり堰堤の貯砂能力がなくなつていれば、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、水抜を大きくするなど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時に備えることが必要である。

また、溪岸の水害防備林は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・側方の川岸には巨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



Fig. 7 溪岸の森林
Arrangement of forests
along stream.

防ぐことが必要であるが、やはり溪の要処々々には低堰堤で溪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。門司市内の山地の赤色土や花崗閃緑岩風化土は表面侵蝕に対する抵抗力が弱いと思われるので、崩壊跡地は早急に植物地被を回復させる必要があり、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。

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を実行すべきである。

北崎村など花崗閃緑岩地帯の土壌は砂質で表面侵蝕に対する抵抗力は弱いと考えられるので、崩壊跡地はもちろんであるが、傾斜地の耕地などからの表面侵蝕による流出土砂も溪床上昇の因であるので、裸地の早期緑化や傾斜地の保全的農法の実施が必要である。

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である。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、必要箇所には排水工の設置と、雨水を侵蝕・崩壊を惹起せぬよう無害に流下させて溪に導く。溪流は平時の流出土砂を山地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るなど土石流の発生・来襲に備え、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2種に対策を分けて考える必要があり、この順序も門司市全体について同一でなく、各地区により異なるものとする。

風師山系表門司は、急勾配の斜面が海まで迫っていること、人家が山腹までのぼり山津波ではなはだしい被害をうけたこと、今回の土石流で沢が往時程度の断面に復活されたことが特徴である。したがって、今後の山津波による人家直接の被害を防止するには、標高 50 m 辺りに土石流に対する防備を目的とした堰堤を設け、それより上流には溪の洗掘を防ぐ低堰堤を要処に設けて不動基点とすることが必要で、これら溪流横工事が平時の流出土砂で埋まつたり下流の流路断面が狭くなつたりせぬように、上流の崩壊跡地の拡大を防ぐ法切、山腹石積などの山腹工事や早期緑化が必要である。しかし根本的には、傾斜が急で土石流が発生した場合途中で全部を留止するのは困難と考えられるので、流路の断面を広くし人家の背後・側方は森林として

土石流を方向転換させ、海まで安全に土石流を誘導することが賢明である。

砂利山表門司は風師山系表門司と大体同一であるが、山麓が市街地でそれから海まで流路断面を大きくすることも困難であるので、現在露出している溪床の岩盤を利用して直ちに低堰堤を階段状に設置すること、道路をできるだけ広くして土石流の留止地帯を兼ねさせ、人家の背後・側方に森林を設けて土石流を道路の留止地帯に誘導することが必要である。

戸上山系表門司は、風師山ほど急勾配の斜面が海まで迫らず海との間に相当距離のある緩斜地・平地があること、人家と山地の間の緩斜地は耕地であること、今回の土石流も大部分山麓の溜池で留止されたこと、溜池より上流の沢・山腹に崩壊土砂の一時留止されているものが相当あることが特徴である。したがって、土石流は海まで運ばなくても山麓で留止することが可能であるので、沢には洗掘防止の基点となる低堰堤を設ける、溜池は単に貯水のみでなく土石流留止の効果も大きいので溜池の堆砂を浚渫する、溜池の破壊箇処は修理し下流側の堤は堰堤を兼ねさせるためコンクリート構造とする、崩壊跡地は早期緑化を行う、一時的に留止されている崩壊土砂も移動防止工と緑化を行うことが必要である。

戸上山系裏門司は、大体戸上山系表門司と同一であるが、山頂より部落までの距離が表門司よりなお遠いこと、部落の上に割に広い耕地があることなど表門司より条件がよいので、地区別の復旧順位としては下位でもよいが、ただ、まだ出口に溜池をもたぬ沢が2,3みられるが、これは早急に溜池設置がのぞましい。

風師山系裏門司は、風師山系表門司ほどではないが部落が山に近いこと、溜池で土石流が大部分留止されたのも二、三あることが特徴で、大体風師山系表門司と戸上山系表門司との中間的な性格であるので、崩壊跡地の緑化、溪流の低堰堤、溜池の整備・増設により土石流留止をはかるとともに、下流の流路断面もできるだけ大きくし、部落の背後・側方は森林として土石流の来襲に備える。

砂利山裏門司は、風師山系裏門司と大体同一である。

地区別の復旧順位としては、まず第一に風師山系表門司、砂利山表門司で、ついで風師山系裏門司、砂利山裏門司であり、戸上山系表門司がこれにつき、戸上山系裏門司を最後とする。

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、いずれの地区に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・新生に備え上流より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・深根樹植栽など予防法を講ずること、部落附近は水害防備林を整備することなどが必要で、また、つぎに述べる土地利用法の改善も恒久対策の一つとして重要なことである。

現在の門司市の山林は濫伐された疎悪林であるが、これは土地保全・経済の両面とも有利な形態ではないので、少なくとも崩壊危険性のあるところは深根樹としても、他は深根樹と経済

樹の混淆とし、部落の上方・側方は土石流に備える水害防備林を整備するなど、林相の改良が必要である。

また、今回の水害で土石流による被害をうけた部落は大体標高 50 m 以上で、中には 100 m くらいまでのぼつているが (Fig. Ⅱ 参照)、本来はこうした危険地に部落を発展させるのは望ましくないが、少なくとも土石流跡地には人家を復活させずに流路としておくのが必要で、この分の人家は比較的平地が多い戸上山系裏門司に移転させるなど都市計画の点から災害防止を根本的に考える必要がある。現存する部落も今後の土石流来襲に備えて人家周囲に水害防備林的な森林を常に完備させておく必要がある。

また、今回の土石流は溜池による留止効果が非常に大きかったので、溜池は水田の水源としてのみでなく、土石流留止・洪水調節など多目的に利用すべきで、したがって、その構造も単なる溜池でなく堰堤・洪水調節池を兼ねるように築設すべきである。

今回の土石流で流路断面を広くまた深く拡大されたところの中には、往時は沢があつたが市街地の発達とともに沢の断面を小さくしたり、工場設置で流路を不自然に曲げたり、極端な場合は沢を埋めて消滅させていたところがあり、これが土石流で再び往時の流路・断面を復活したのも相当あり、今後は本来の流路を安全な断面の大きさに維持するのが、災害に備えて最も安全な道である。

北崎村の調査した崩壊地 (Phot. 4) では、崩壊土砂が相当部分崩壊地の下に一時留止されているのと、隣の沢の源頭の凹地に亀裂がみられるので、崩壊地の下隣の沢との合流点に堰堤を築設することと、一時留止されている崩壊土砂を早期緑化することを急ぐ必要がある。また恒久的には、北崎村の溪床上昇は平時の流出土砂によるものが多いと考えられるので、傾斜地の耕地は保全的農法とするか、できるだけ林地として、水源山地に裸地をなくして植物地被による表面侵蝕防止が大切である。

Ⅷ 要 約

(1) 昭和 28 年 6 月の北九州水害のうち、門司市を主として福岡県地区の侵蝕・山崩状況および森林の影響を調査した。

(2) 崩壊は山腹崩壊・溪岸崩壊・窪地崩壊がみられ、溪岸崩壊は割に少なかった。山腹崩壊は表層赤色土と下の風化土、赤色土中の土質の差、土層と下の岩盤、道路との接点、岩盤中の変質弱線部、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。

(3) 門司市の崩壊面積は 60 ha 程度とみられ、崩壊の平均深さも 1 m を越す。起伏量大か、断層で地質が擾乱されている地区に崩壊が多いか大きな崩壊がある。

(4) 門司市、矢部川流域とも林地は無立木地より崩壊が少ない。深根性の樹種が崩壊防止に

有効でスギが最も劣り、樹種の差の影響が樹令の差の影響よりも大であることが統計的に示される。

(5) 土石流は上流の崩壊による山津波と下流の溪床の押し出しの下流土石流があり、門司では山津波による被害が大であつた。

(6) 溜池が土石流留止に非常に有効であつた。

(7) 森林は土石流中の巨岩を留止する作用が著しい。

(8) 赤色土、花崗閃緑岩風化土の表面侵蝕防止が重要である。

(9) 門司市の流出土砂量は $60 \times 10^4 \text{ m}^3$ 程度とみられ、流域山地 1 km^2 当り $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 程度で、従来の他地の災害と比較して特に大きいとはいえないが、この流出土砂が大部分市街地を通過、堆積したことが特徴である。

(10) 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 control できる人工誘因としての土地利用法の不合理、保全施設の不足が重視され、地形に順応していない部落の配置が被害を加速した。

(11) 崩壊防止には深根樹の植栽、いろいろの深さの根をもつ混淆林、窪地の排水、法切・山腹石積など山腹工事による拡大防止、溪流の低堰堤、溪岸の森林が必要である。山地に残留し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。

(12) 土石流防止には留止地帯、低堰堤、水害防備林が必要である。

(13) 表面侵蝕防止には崩壊跡地の早期緑化と凹地の水路が必要で、北崎村など花崗閃緑岩地帯の表面侵蝕防止が大切である。

(14) 復旧には地区別の特徴にしたがつて早急に行う対策と、全地域にわたつて恒久的に行う対策との2種がある。地形により土石流を海まで安全に誘導するのがよい地区と途中で土石流を留止することが可能な地区とがある。林相の改善、保全的な都市計画の確立、溜池の多目的な利用、流路維持など土地利用法の改善が恒久対策として重要なことである。

参 考 文 献

- 1) 福岡県林務部：昭和 28 年 6 月下旬発生豪雨による治山関係被害報告書，(1953)。
- 2) 門司市役所経済部産業課，門司市農業委員会：大水害による農林関係被災詳報，(1953)。
- 3) 建設省河川局砂防課：昭和 28 年 6 月 28 日門司市山津浪による流域別崩壊調査書，(1953)。
- 4) 九州大学理学部地質学教室：福岡県地質図，福岡県，(1953)。
- 5) 福岡県林務部：林況と崩壊地発生の関係調査書，(1953)。
- 6) 岩佐亮二：農事試験の設計と括め方，p. 59，(1949)。
- 7) 田中八百八：森林の土砂扞止，(1934)。
- 8) 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)。
- 9) 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)。
- 10) 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)。
- 11) 宮部直己：昭和 13 年 7 月上旬の降雨による兵庫県下の山崩，地震研究所彙報，14，4，(1938)。
- 12) 棚橋嘉市，太田芳夫，菅谷惣治：昭和 13 年 7 月 5 日の豪雨による神戸裏山再度谷の山崩調査報告，海と空，19，4，(1939)。
- 13) 兵庫県林務課：昭和 13 年林野崩壊に関する概要，(1938)。

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

Résumé

- (1) We investigated on the spot chiefly at Moji in Fukuoka Prefecture about the actual state of surface erosion and landslide caused by the flood of 1953 and the influences of forests.
- (2) Landslides have following three types,
 - (i) slide on hillside,
 - (ii) slide along stream, and
 - (iii) slide in the hollow.and slides in second type were rare. Most of (i) were due to some discontinuity such as between upper layer of red soil and lower weathered soil, two different soil properties in red soil, upper layer of soil and under layer of rock, road and hillside surface, strong and weak parts in bed rock, 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.
- (3) The area of landslides at Moji district is roughly estimated at about 60 ha, and the mean depth of landslides is over 1 m. The landslides arose in close order or in large scale at the district having large relief-grade or disturbed geology by faults.
- (4) More landslides occurred in tree-less lands than in forestlands at the both districts of Moji and Yabe river. It is statistically clear that the deep-rooted trees are the best and Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) is the worst in landslide preventing function, and the influence of tree-species is greater than that of tree-ages on landslide.
- (5) 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.The calamity due to (i) was great at Moji.
- (6) Most irrigation ponds were effective against mud and stone flows.
- (7) Forests have remarkable function of retaining large rocks carried by mud and stone flow.
- (8) The prevention of surface erosion in red soil or weathered soil on granodiorite is important.
- (9) The soil loss from the mountain area of Moji is roughly estimated at about $60 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($2 \times 10^4 \text{ m}^3$ per 1 km^2 of mountain area). This loss was not specially greater than that from other district in the former flood, but it is characteristic that the most parts of eroded soil passed through or deposited in the streets of Moji.
- (10) 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 important and the unfit location of dwelling places to topography accelerated the damages.
- (11) To prevent landslide, following treatments will be effective,
 - (i) planting of deep-rooted trees,
 - (ii) installation of mixed forests having different roots in depth,

- (iii) drainage in the hollow,
- (iv) hillside works such as grading or stone masonries,
- (v) construction of stepped low dams in the stream, and
- (vi) 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.

- (12) To prevent mud and stone flow, installations of retaining area, belt of forests, low dams and forest for flood control are necessary.
- (13) To prevent surface erosion, the rapid greenization and the outlet channels in hollow must be considered, and it is important to prevent surface erosion in such districts with the geology of grano-diorite as Kitazaki village.
- (14) As to restoration works, there are two systems of measures; one is the urgent measure according to the characteristics of each district and the other is the permanent measure for all districts. There are two types of districts in Moji; one is the district adequate to guide safely the mud and stone flows from the mountain area to the sea and the other is the district possible to prevent the mud and stone flows on their ways. As the permanent measure it is also important to improve the land-use such as improvement of forest type, establishment of city-planning with the consideration for erosion control, use of irrigation ponds for various purposes and maintenance of stream course.



Fig. I 門司地区
Moji district.

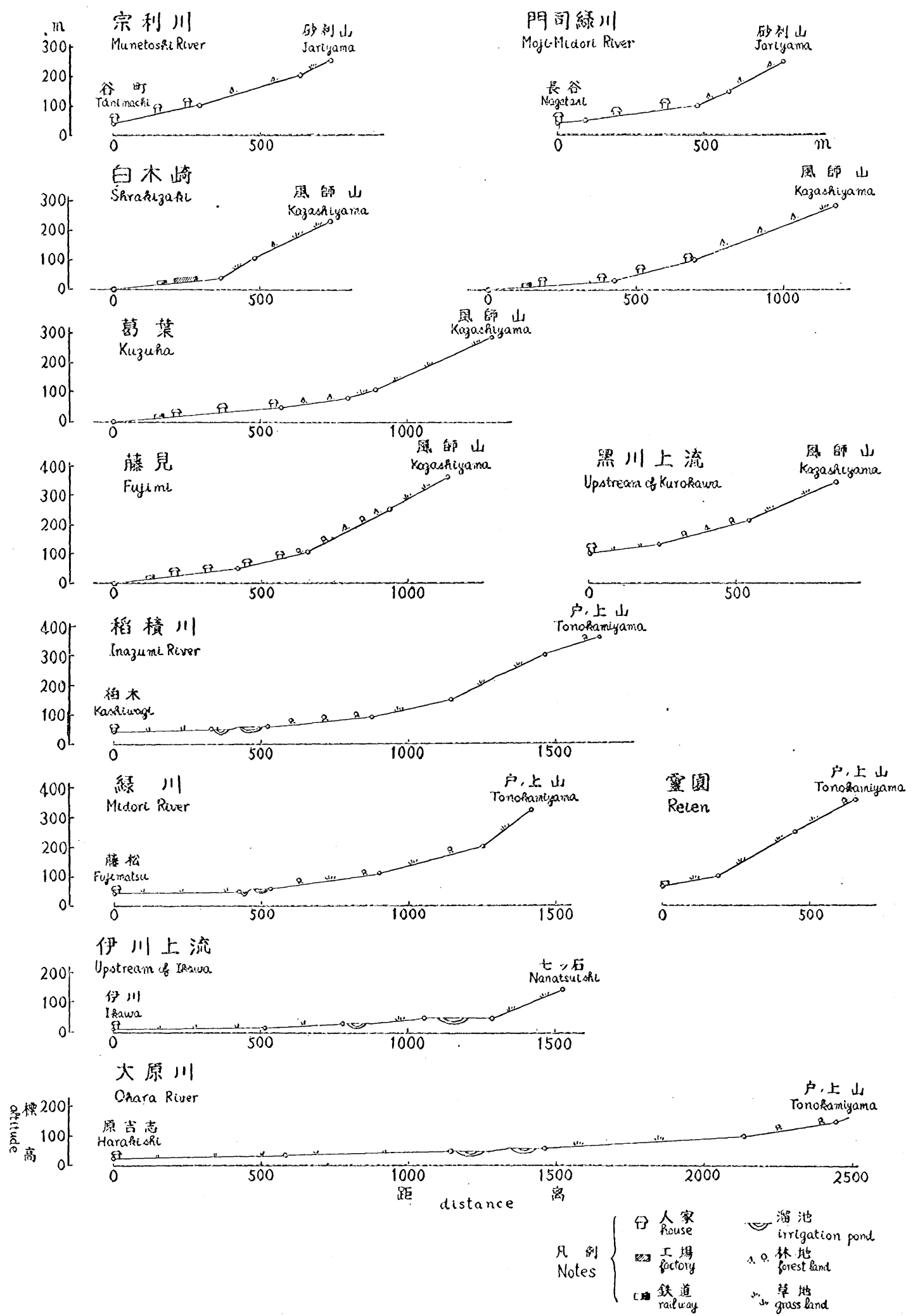


Fig. II 縦断面図
Sections

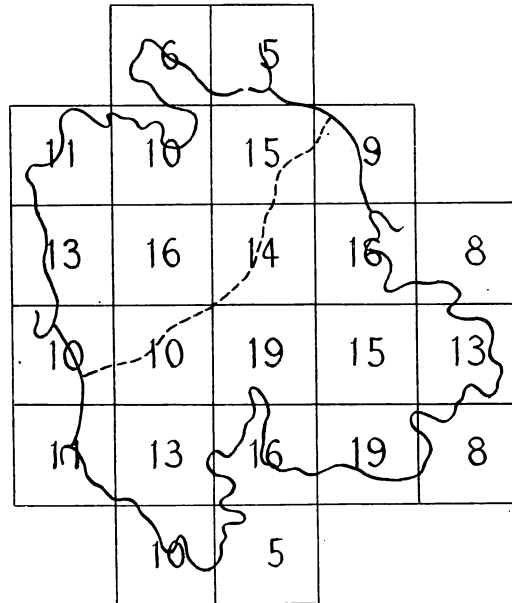


Fig. III (1) 砂利山起伏量図 (10m単位)
Relief-map of Zariyama. (unit 10m)

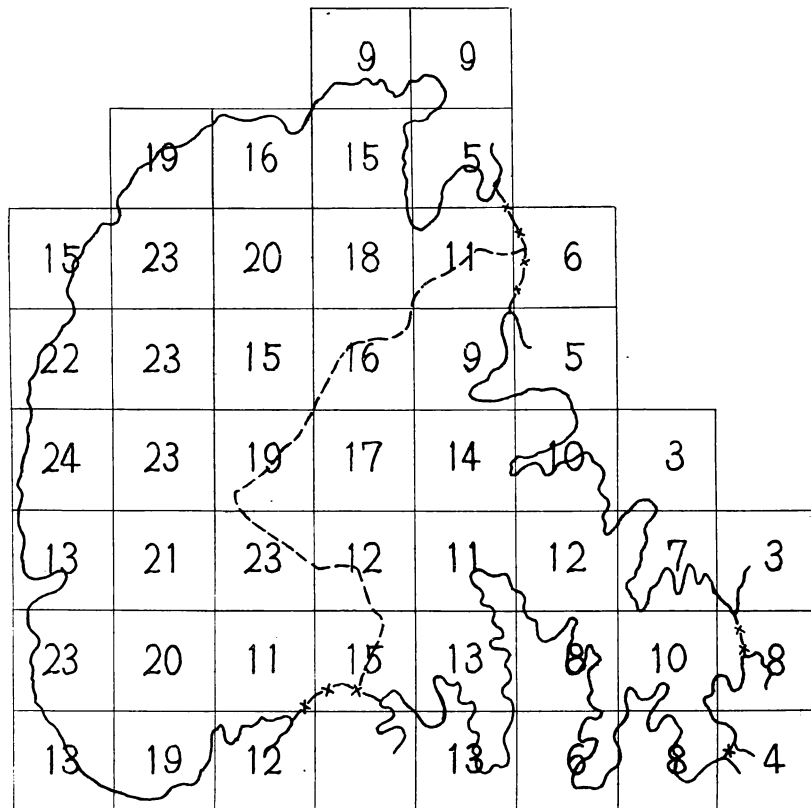


Fig. III (2) 風師山起伏量図 (10m単位)
Relief-map of Kazashiyama. (unit 10 m)

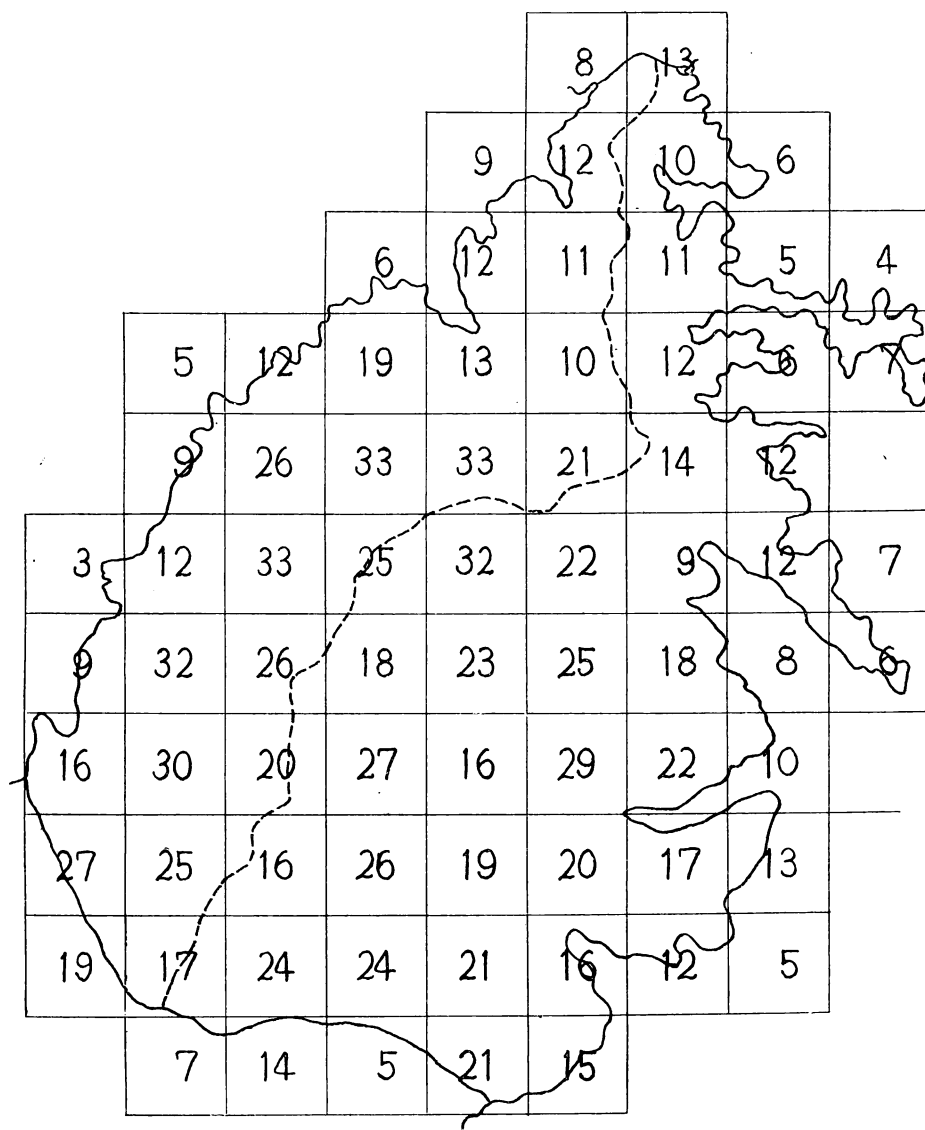


Fig. III (3) 戸上山起伏量図 (10m 単位)

Relief-map of Tonokamiyama. (unit 10 m)



写真 1 山腹崩壊 (戸上山大川)
Phot. 1 Landslide on hillside.



写真 2 土層と岩盤の接触不連続による崩壊 (稲積川)
Phot. 2 Landslide due to discontinuous plane between upper soil layer and bed rock.

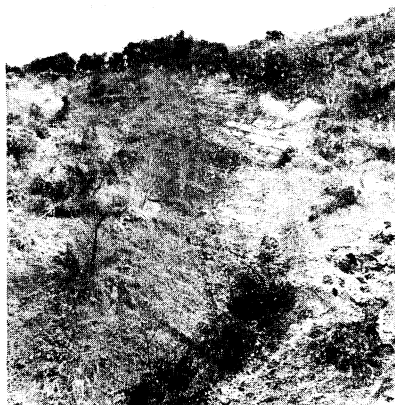


写真 3 土層と岩盤の接触不連続による崩壊 (砂利山宗利川)
Phot. 3 Landslide due to discontinuous plane between upper soil layer and bed rock.



写真 4 岩盤弱線部による崩壊 (北崎村)
Phot. 4 Landslide due to discontinuous plane between strong and weak parts in bed rock.



写真 5 地表傾斜変換点の崩壊 (稲積川)
Phot. 5 Landslide due to discontinuous plane between steep and gentle slopes on hillside.



写真 6 林相変化点の崩壊 (緑川)
Phot. 6 Landslide due to discontinuous plane between one and the other forest types.



写真 7 林相変化点の崩壊（稲積川）
Phot. 7 Landslide due to discontinuous plane
between one and the other forest types.



写真 8 赤色土の崩壊（丸山谷）
Phot. 8 Landslide in red soil.



写真 9 赤色土の崩壊（大坪川平山）
Phot. 9. Landslide in red soil.



写真 10 溪岸崩壊（清滝川）
Phot. 10 Landslide along stream.



写真 11 窪地崩壊（大坪川）
Phot. 11 Landslide in the hollow.



写真 12 風師山表門司の崩壊
Phot. 12 Landslides on Kazashiyama.



写真 13 砂利山門司緑川の崩壊
Phot. 13 Landslides on Zariyama.

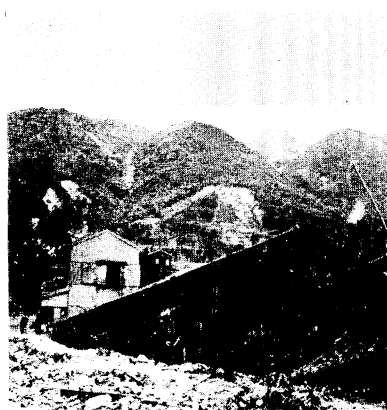


写真 14 風師山藤見谷の崩壊
Phot. 14 Landslides on Kazashiyama



写真 15 風師山系大坪川流域の崩壊
Phot. 15 Landslides on Kazashiyama.



写真 16 風師山系大坪川流域の崩壊
Phot. 16 Landslides on Kazashiyama.



写真 17 清滝川の大崩壊
Phot. 17 Largest landslide.



写真 18 土石流 (奥畑川上流)
Phot. 18 Mud and stone flow.



写真 19 土石流 (清滝川)
Phot. 19 Mud and stone flow.



写真 20 土石流 (宗利川)
Phot. 20 Mud and stone flow.



写真 21 土石流 (白木崎谷)
Phot. 21 Mud and stone flow.



写真 22 溜池 (大坪川)
Phot. 22 Irrigation pond.



写真 23 溜池による土石流留止 (大坪川)
Phot. 23 Prevention of mud and stone flow by irrigation pond.



写真 24 土石流 (北崎村)
Phot. 24 Mud and stone flow.