

## 2. 山崩および治山一般対策

川 口 武 雄<sup>(1)</sup>

難 波 宣 士<sup>(2)</sup>

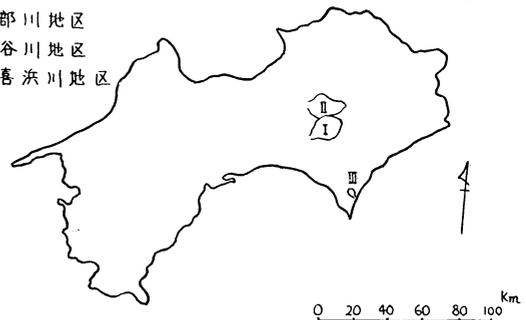
### は し が き

昭和 29 年 6 月から 9 月にかけて、四国地方には梅雨前線の停滞による豪雨、台風 5 号・同 13 号・同 12 号さらに同 15 号にとまなう豪雨が襲い、これがため吉野川・四万十川・物部川をはじめほとんど四国全域(主として中部以南)の上流山地ならびに溪流ぞいにかなりの山崩が発生した。なかでも台風 12 号の際には、物部川上流では雨量は 2 日間で 1,000 mm をこし当地方としては記録的な被害をみるに至った。

この数回にわたる豪雨によつて生じた水害に対し、林業試験場防災部では 11 月上旬から中旬にかけて総合的な現地調査を行い、筆者らは山崩と治山一般対策の項を分担した。

山崩その他の荒廃によつて被害をうけた地域はほとんど四国全域にわたっていたが、調査日数の関係から調査区域としては、もつとも被害の密集した物部川上流地区を主とし、それに地之によつて特徴づけられる吉野川上流祖谷川地区および治山事業の歴史の古い佐喜浜川地区を選んで調査した(第 1 図参照)。調査地区を上記 3 地区に限定してもなお相当広範囲で細部にわたる調査は行えなかつたが、特に祖谷川、佐喜浜川の両区については全く踏査の域を出ていない。したがつて、今回の調査は山腹面および溪流周辺の荒廃関係に着目して、そこに見いだされる森林・治山工の影響を調査し、それらの結果から治山一般対策の基調を見いだすよう努力した。

- I…物部川地区
- II…祖谷川地区
- III…佐喜浜川地区



第 1 図 調査地区

本報告は限られた地区であるため、かならずしも今回の四国水害の全貌が代表されていないかもしれぬが、水害の一記録とするとともに今後の治山事業に対し何らかの参考になればと思う次第である。

本調査にあたり種々援助をいただいた調査当時の林野庁治山課、高知営林局長井経営部長、治山課鶴木課長、土居技官、橋詰技官、原技官、川窪、石田、高橋、今城 治山事業所主任、大柄営林署 願興寺署長、助村経営課長、野根営林署菅署長、森国経営課長、高知県農林部今井技師、浜口技師、徳島県林務部丸谷技師などの関係各位に深甚なる謝意を表する。

(1) 防災部防災第一科長 (2) 防災部防災第一科治山第一研究室員

### 〔 物 部 川 地 区 〕

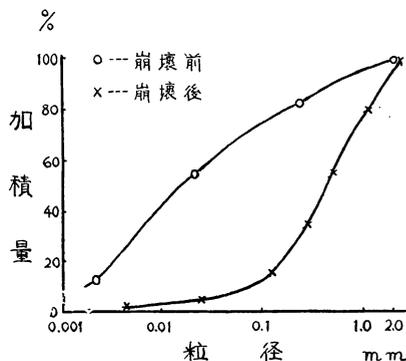
#### 1. 地況および林況

物部川流域は、北は高知・徳島の県境、西は長岡・香美、東は香美・安芸の各郡境の山地によつて圍繞され、上流部は大柄——白髪山を結ぶ支脈によつて上韭生川、槇山川の 2 流域にわかれている（付図 I 参照）。治山事業の直接対象となる地域はこの 2 支流に分流している上流部であり、この地区の地況および林況につき今次災害に関係する主要事項を記すとつぎのごとくである。

#### a) 地 況

本地区の北部にはわが国で最も巾の広い破碎帯<sup>1)</sup>をもつといわれる御荷鉢線が走つており、断層線が笹山、安野山、西熊山を経て東北東にのび、この線を境として北側の御荷鉢層と南側の秩父古生層にわかれる。さらに大柄付近から槇山川に沿つて四ツ足堂に至る断層線以北側の秩父古生層と南側の中生層にわかれ、全体として時代の古い順序に北から南へ規則正しく並んでいる。このことは地殻運動としては断層運動よりもむしろ褶曲的な運動を主とした地域と解され、また、古い地質の影響として地形はきわめて急峻で、山地の傾斜は平均して 30° をこえている。山頂高度と起伏量から判断しても満壯年の地形であり、山裾が急になつていて溪谷の両岸に基岩が露出した箇所も多く断崖上の絶嶮地も少なくない。山頂部はかえつて緩傾斜となつていて土壤の深いところもみられ、この傾向は上韭生川流域のほうが槇山川流域よりよく、その点では多少早壯年の性格がうかがわれる。

全体として以上のような地況であり、古生層地区と中生層地区の岩種は似ていて、砂岩、頁岩、チャート、石灰岩などで、荒廃状況では両者の間に顕著な差はないが、ただ上韭生流域の高板山——白髪山を結ぶ線以北がやや変つている。この地区には地況崩壊が存在し、また、地況または地況崩壊の跡と思われる押し出し地形がみられるのは、明らかに地質の影響で、ここを通る御荷鉢層に出現する片岩類に起因している。物部川の勾配は 1/250 で本邦屈指の急流河川といわれているが、流路に関して特に目だつことは、上韭生川はその中流部大屋敷——沼井間に川巾 200~300 m に広がつた箇所が諸所ある（Phot. 1）のに反し、槇山川（Phot. 2）には川巾の広がつた箇所はほとんどなく 100 m をこす箇所すらない状態である。さらに槇山川の河状は本流・支流が直角に交差していわゆる直角状水系<sup>2)</sup>を示していることも特徴で、節理、断層の支配を強くうけていることを物語つており、川筋の頁岩または砂岩が褶曲をうけて脆弱（Phot. 3, 4）となつた箇所が明瞭になつているのがよい証拠である。これがため槇山川の流路は小



第 2 図 加積曲線

規模ながらいちじくしく屈曲していることが、後に述べる荒廃状況と密接に結びついている。

土壤の性質についての詳細は林野土壤調査報告<sup>3)</sup>に発表されているが、筆者らが崩壊地の密集している 52, 57, 58, 59 各林班内の土壤を採取して測定した結果では、粒径 2 mm 以上の礫の部分とそれ以下の土壤の部分の比を算出すると平均して 59% となつている。窪田、井上氏の報告<sup>4)</sup>にある孔隙量が自然状態において 76%~85% というようにきわめて大きくなつていることから判断すると、全般的にも粗粒の部分がかかり存在してい

るのではないかと想像される。このように礫の部分が地表下数十 cm の深さにわたって多いことがいわゆる土層内の不連続面<sup>4)</sup>の形成を大巾に緩和していることは注目すべき点で、この点は山腹の崩壊に対して表土を安定にしている一つの理由であろう。しかし、崩壊して裸出した箇処の土壌加積曲線を崩壊前の加積曲線（窪田・井上氏の報告<sup>3)</sup>による）と対比させると細粒の部分が相当流亡したものと思われる（第2図）。また、土壌の流出限界 50%（含水比で打撃回数 25 回の値）で比較的小さく、耐水度 2~3 分という測定値から推して、裸出した際は細土が流亡をうけやすいことを示している。

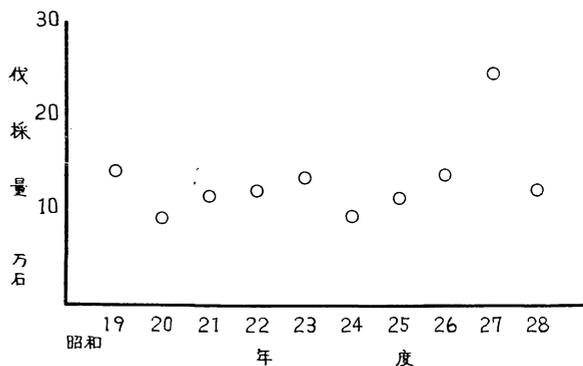
． b) 林 況<sup>5) 6)</sup>

標高およそ 1,500 m 以上はササ類しか生えていないが、奥地上流部は国有林でモミ、ツガ、ブナを主林木とする天然生林が多く、その下部に薪炭林の多い民有林が存在している。それらの面積的な割合を横山村、上叢生村両村について合計すると第1表のごとくなる。全面積の 86% は森林で被覆され、しかもこのうち 4,100 町歩の保安林があること、気象ならびに土壌条件が良好であることによつて、流域全体の 1 町歩あたりの蓄積は 330 石程度に達している。

第 1 表 森 林 面 積

総面積 $km^2$	国有林面積 $km^2$	民有林面積 $km^2$	全森林面積 $km^2$	森林率 %
290	110	140	250	86

国有林面積 110  $km^2$  のうち天然生林は 80  $km^2$  余を占め、このうち択伐の行われた面積は 20  $km^2$  に達していないから、老木大径木も多いが、現在多少過伐の傾向にあるとはいえ、第3図のごとき伐採量の趨勢から考えると、国有林では伐採造林の均衡はおおむね保たれていると思われる。民有林内の造林地は約その 1/3 とみられ、造林樹種はスギ、ヒノキが多く保育法も比較的良好であるが、奥地の町村有林や零細な個人有林には粗悪で生育状態の不良な箇処も多い。



第 3 図 伐 採 傾 向

傾斜地にスギ・ミツマタの混植した箇処がある (Phot. 5) のは特色であるが、地表面が裸出していて侵蝕の盛んなのは一考を要するし、また、横山川上流第 60 林班内に相当大面積におよぶ皆伐跡地 (Phot. 6) があり、その伐採木搬出方法の欠陥によると思われる小規模の荒廢地が集まっているように、保全上好ましくない箇処もないではないが、しかし全体としてみれば、本流域の森林状態はかなり良好であつたということができ、少なくとも森林の取扱い方が悪かつたがために荒廢を助長させたというようなことは認められなかつた。

2. 荒 廢 状 況

a) 山 崩 と 荒 廢

豪雨時における山地の荒廢様式を大きく 2 つに分類すると、山腹面の荒廢（溪流ぞいの山腹面を含む）——崩壊、地沁など山崩といわれるもの——と、溪流自体の荒廢(主として溪床面)の 2 つに分けられる。

多くの荒廃はこの両者がたがいに関連し合つたものであるが、中には山腹面のみの荒廃あるいは溪流面だけの荒廃もないわけではない。今回調査した範囲では単に溪流のみの荒廃はきわめて少なく、また山腹面の荒廃に比しその実態の把握が困難である。

さらに、山腹面の荒廃と溪流自体の荒廃の関係をみると、山腹面の荒廃は森林と直接の関係が深い場合が多いのに反し、溪流自体の荒廃は森林と直接の関係がうすく、豪雨にともなう巨大な流量そのものがひきおこす天然現象である場合が多い。しかも溪流自体の荒廃がふたたび溪岸の山腹面を荒廃せしめる原因になることと、山腹面の荒廃が溪床の荒廃度をますことが、もつとも重要な問題であることを考えて、荒廃全体のうちから特に山腹面の荒廃、すなわち山崩をとりあげて考察してゆくこととする。

本地区内の山崩はつぎのごとく分類できる。

- |      |   |          |
|------|---|----------|
| 山腹崩壊 | { | i) 剝落型   |
|      |   | ii) 滑落型  |
|      |   | iii) 地亡型 |
| 溪岸崩壊 |   |          |

この分類法は人により区々であるが、原因およびその除去、すなわち防止対策の面からは、この程度で充分と思われる。山腹崩壊とは溪流に関係なく山腹自体に原因があつて崩れるもので、溪岸崩壊は溪流の縦横侵蝕によつて溪流ぞいの山腹が崩れるもの (Phot. 13) をさすのである。山腹崩壊のなかを3つに分けたのはつぎのごとき差異があるからで、必然的にその対策も変つてくる。すなわち、

- i) 剝落型…主として地表水の侵蝕によつてわりに巾狭く薄く表面から剝け落ちる型で、山腹の植生被覆度が少なく集水しやすいところに多い (Phot. 7, 8)。
- ii) 滑落型…主として滲透水が集積され、それが一時に湧出することによつてある厚さの土層が滑り落ちるもので、崩れたあとには巨岩あるいは基岩の露出することが多い (Phot. 9, 10)。
- iii) 地亡型…滲透水が誘因ではあるが、地下に特殊粘土を生ずる片岩類があるのが本質的な原因で亡る型で、崩土の多くが崩壊地中にとどまり、限られた地域で何度もくりかえして亡ることが多く、面積的にも前2者より大で比較的緩傾斜でも起る (Phot. 11, 12)。

以上のごとき山腹崩壊のなかには、石灰岩地の崩壊がわりに多く、また少ないながら南海地震が遠因で崩れたと思われるものもあつたが、それらをすべて合計した 12 号台風による新生崩壊地は第 2 表のごとくである。

第 2 表

地区名	総面積 $km^2$	崩壊箇所	崩壊面積 $ha$
上叢生流域全域	120	9	1.55
檜山流域内国有林	65	32	4.92

第 2 表には檜山川中流部の溪岸崩壊が密集している地域 (Phot. 14, 15) が除外されているため、かなり上流奥地の崩壊状態ということになるが、それにしても崩壊

1 箇所あたりの崩壊面積はいずれも 0.15 町歩程度であまり大きくなく、全崩壊面積を既存の資料<sup>4)7)8)</sup>と対比させると第 3 表となる。本表中の起伏量とは  $1 km^2$  方眼内の等高線の最高と最低の差で、この値が大きければ大きいほど一般的に山腹の傾斜が急なことを示すものである。本地区は雨量においても地形においてもはなはだ崩壊を起しやすい条件であつたと想像されるにもかかわらず、崩壊率が他地区に比してきわめて小さくなつていくことが今次水害の特徴で、それがまた原因となつて溪流そのものの荒廃をも少な

第 3 表

地区名	年	総面積 $km^2$	起伏量 $m$	最大一連続雨量 $mm$	崩壊面積 $ha$	崩壊率
赤城山沼尾川	1947	10		450～ 500	105	0.10
阿 蘇	1953	100	250	600～1,000	350	0.04
門 司	1953	30	150	600	60	0.02
高野国有林	1953	22	220	600～ 900	46	0.02
津俣国有林	1953	5		600～ 900	10	0.02
大栃国有林	1954	115	480	700～1,100	6	0.0005

いものとしていたと思われる。

全体的な荒廃状況としては以上のごとくであるが、治山対策の基礎として森林ならびに治山工の山崩に対する影響を検討してみる。

#### b) 森林と山崩

山崩は森林の良否だけで左右されるものでなく、一般に降雨・地形・地質・地状態などの総合的な関係によって発生する。しかも、個々の山崩はそれらの微妙な限界点が問題となるので、森林という因子だけをとり出して山崩を厳密に論ずることはできない。しかし森林と山崩の関係はきわめて密接で、その関係を整理するとつぎのごとくなる。

森林の山崩防止機能として考えられる根拠は

- i) 地表面の森林障害物（樹幹および枯枝落葉類）が地表水の集中するのを妨げて、表土剥落型の崩壊を防止する。
  - ii) 根系の貫入は土壌を傾斜方向にも重力方向にも支持し、風化表層土の強度を増加させて、ある程度の深さの滑落型崩壊を防止する（Phot. 6, 7, 8, 9）。
  - iii) 地上の樹幹部は一度崩落した土塊をささえ、崩落土の破壊力による崩壊の拡大を防止する。
- 点がまず考えられ、このほかにも森林土壌の良好な理化学性が崩壊を防止する、森林が地面の亀裂発生を防止する、などの諸説もある。

しかしこれらに反対する論拠もないわけではなく

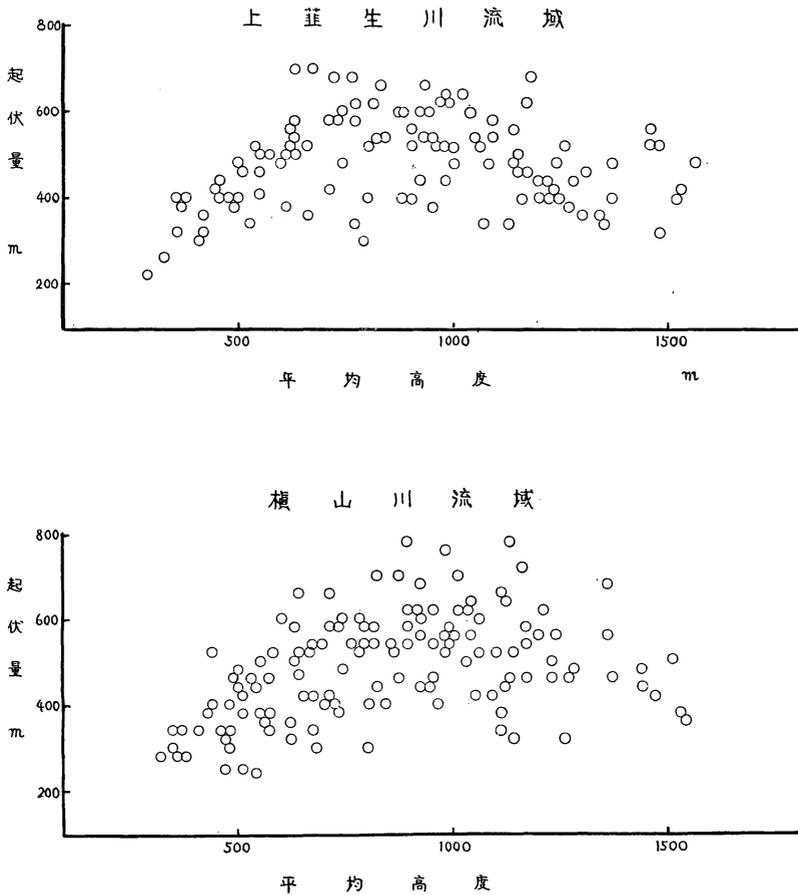
- i) 森林土壌の透水性は良好のため、かえって土層が飽和状態になりやすく崩壊の危険度をます。
- ii) 森林はその重量だけ表土にかかる荷重をまし、重心を上昇させて表土を不安定とする。
- iii) 風が強い場合は、樹木をゆり動かし風倒によって山崩を誘発する。

として森林の山崩防止機能を否定している。

森林が山崩を助長せしめるという説のうち、i) については、その結果として発生する滑落型の崩壊は滲透水が大きな問題であることに異論はないが、ただ滲透水の量そのものが問題であるというよりも、むしろ滲透した水の動き方のほうが影響力が大きく、したがって林地は滲透水が多いというだけで簡単に山崩を促進せしめると判断するのは疑問であり、ii) についても、樹木の重量と土層の重量の比を算出した結果では、あまり有力な根拠たり得ぬものとなり<sup>9)</sup>、iii) についても、たしかに風倒に起因する山崩は発生するが、起きた山崩は非常に小面積のものに限られ、大問題になるようなものはほとんどない。こう考えると、経験的評価の集積としての森林有効説はかなりの確率をもつことになり、第3表の崩壊率の小さな数字も、本流域の優良な林相と組合わせて考えれば、今回の崩壊状況全般が森林有効説をうらぎする

一例となりうるであろう。

一方、この森林といえども山体全部に比較すればごく表層の部分に限られ、崩壊の原因が森林の防止能力をこえている際には当然崩壊は発生する。槇山川筋の溪岸崩壊を除いて、残余の崩壊地を地図に記入すると、ほとんどが標高 800~900 m の区域にはいるが、標高 800~900 m の区域は、平均標高 (1 km<sup>2</sup> 方眼内の最高と最低の平均) と起伏量の関係を示した第 4 図から推定すれば、本地区内でもつとも急傾斜のところである。したがって、本地区内の崩壊は地形的にもつとも危険な区域に限ってしかも数少なく発生したことになる。これは第 3 表の起伏量の値でわかるごとく、本地区の傾斜は非常に急で、山腹崩壊が頻発しそうな地形であるにもかかわらず、大部分の区域では良好な土壌条件とともに森林が山崩防止にきわめて有効に働き、森林の防止能力限界をこえるようなもつとも急傾斜の区域でわずかに崩壊が起り、その区域でも森林はかなりの防止機能を発揮したことを示すものである。



第 4 図 平均高度と起伏量

森林と山崩の関係をさらにこまかく検討する資料はあまり得られなかつたが、集収し得た林相別の崩壊についての資料を整理すると第 4 表のごとくなる。

第 4 表の ( ) 内の数字は各占有面積 100 ha 当りの値に換算したものであるが、上葦生川関係のものと槇山川関係のものとは林相区分が異なっているため、全体としての値は出し得ず、また全崩壊面積が小さ

第 4 表

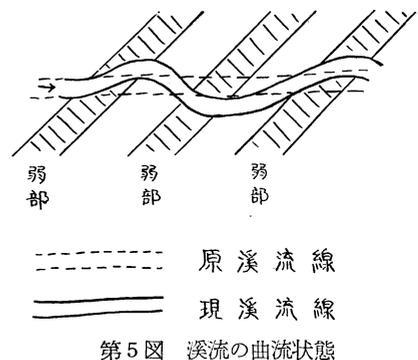
上 韮 生 川 流 域				
林 相	占有面積 ha	崩壊箇所数	崩壊面積 ha	
針 葉 樹 林	2,610	3 (0.12)	0.46	(0.02)
広 葉 樹 林	2,969	2 (0.07)	0.60	(0.02)
混 交 林	4,153	3 (0.07)	0.29	(0.01)
竹 林	18			
無 立 木 地	300	1 (0.33)	0.20	(0.07)

槇 山 川 流 域 内 国 有 林				
林 相	占有面積 ha	崩壊箇所数	崩壊面積 ha	
天然林 { 未着手	2,583	3 (0.12)	0.84	(0.03)
{ 択伐済	1,746	8 (0.47)	1.21	(0.07)
人工林	1,846	20 (1.10)	2.77	(0.15)
伐 跡 地	342	1 (0.33)	0.10	(0.03)

いので明らかな傾向は掴みにくい。しかし、上韮生川流域では無立木地の値がきわめて大きくなっており、また槇山川では人工林の値が他に比して極端に大きい。この無立木地と人工林がどのような地形・地質のところにあるのかわからぬので、この結果からただちに無立木地・人工林の危険性は断じ得ないにしても、針広混交林である天然林に比すると、やはり無立木地や人工林は保全上好ましいとはいえないものである。

最後に今次水害においてもつとも関心を集めた槇山川沿いの溪岸崩壊について検討してみる。山腹崩壊についてはすでに述べたごとく、その全崩壊面積はかなり小さい。これには土壌的な因子も大いに関係しているが、この地域が平時からの豪雨によって山崩に対する抵抗力が強かったことに加えて、良好な森林の存在もあずかつて力があつたのであるが、槇山川筋のような規模の溪岸崩壊に対しては、純粋な山腹面に起る崩壊に比較すると森林の価値も変ってくる。前述の森林有効説は、だいたいにおいて山腹崩壊に対する説明で、溪岸崩壊に対してはそれほどの論拠とはなり得ない。小支流に連続する小規模の崩壊にはやはり相当の効果はあるが、記録的な豪雨ともなう巨大な洪水量の縦横侵蝕力が原因である溪岸崩壊に対しては i) の論拠はまったく問題外で、ii), iii) の機能も大巾に割引いて考えざるを得ない。槇山川流域の別府部落上流約 2 km から下流の溪流沿いの地区は民地で、溪岸崩壊の数量的な実態は不明であるが、大部分が曲流部の攻撃斜面上の崩壊で、林相に関係なくいかなる林相のところにも崩壊は発生していた。この流域はすでに記したごとく褶曲運動が活潑であつた地区で、基岩が数十 m 間隔でもまれており、褶曲によって脆弱となつた部分 (Phot. 2) が弱点となつてはげしく横侵蝕 (第 5 図) されいちじるしく屈曲しているため、自然環境としても危険が多かつたにもかかわらず、Phot. 14, 15 のごとくきわめて溪流面近くに軌道を通してあることがさらに危険を増大させたのである。このように



第 5 図 溪流の曲流状態

環境因子からいつでも危険な箇所では、あげてその保全上の欠陥の補いを森林に期待するのは期待するほうが無理であり、今回の災害を今後のよき参考として軌道ならびに林道のつけ方に留意する必要がある。

溪岸崩壊の発生に対しては森林の効果は、山腹崩壊の発生に対するほどは期待できないが、一度溪岸崩壊として崩れたものの拡大を防ぐ点では、根系のもつ抵抗力ならびに崩落土の留止能が有効に働き、しかも、これが原因となつて溪流自体の荒廃防止にも役だつことは、Phot. 1, 20 の溪床に残存する数本のマツ、ケヤキが多量の土砂を留止していることでよく示される。また、川岸の樹木やタケも川岸の田畑の欠損をよく防いでいる (Phot. 21)。溪流自体の荒廃は、単に流水だけの原因で起ることもあるが、やはり崩壊から一時に大量に供給される巨岩・大礫の類が一体となつて流下する時のほうがはるかにひどい。このことは荒廃の激甚な溪流の上流にはかならずといつてよいほど崩壊があり、逆に崩壊のない流域では溪流もあまりあれていない事実によつて容易に想像される。したがつて森林の効果は、溪流に直接落下する土量を減ずる働きと、落下した土量が溪流を荒廃させることを未然に防止している働きとの両面があるので、その効果は単に山腹に留止される土量よりはるかに大きいといいうる。

以上森林と山崩の関係についての検討をまとめると、

1. 森林は崩壊の発生を防止する機能と、一度発生した崩壊の悪影響を少なからしめる作用がある。
2. しかし、森林の山崩防止機能には限度があり、表土剥落型の崩壊に対してはきわめて有効であるが、根系のおよぶ範囲以上の滑落型の崩壊および大規模の溪岸崩壊に対してはあまり効果を期待し得ない場合もある。
3. とはいえ、防止機能をこえて発生した崩壊に対しても、その拡大防止ならびに崩落土の破壊力を少なくする作用を周辺の森林は依然としてもっている。

このような結果からすれば、広大な山腹面全体にわたつて山崩を防止するものとして森林は非常にすぐれており、同じく林木・森林といつても、その山崩防止機能は林木・森林の種類・状態・取扱い方などによつて内容は相当異なっている点を考えると、保全的な価値と経済的な価値をあわせ考慮した森林の取扱い方が治山対策の基礎とならねばならない。

### c) 治山工と山崩

本流域内の治山工の全貌を総括しうる資料は得られなかつたが、けつして治山工の実績は少ないわけではなく、石材を多く使つた山腹工 (Phot. 22, 23, 24) および山脚固定のための谷止、護岸など (Phot. 26, 27, 28) は各所にみられた。上韭生川上流の影付近の山腹工事 (Phot. 25) をはじめ大規模の山腹工事も行われ、荒廃した支流には径 50 cm をこえる大石を材料とした溪間工作物も 適当に入れてあつて相当の効果をあげていた。

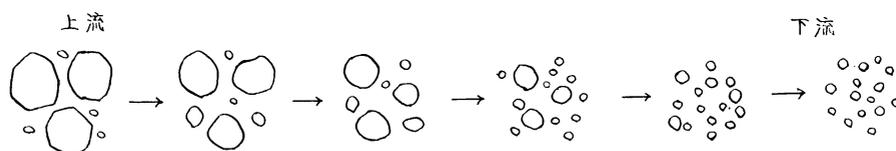
この地区の崩壊跡地の傾斜は全般に急峻で表土の支持が困難な関係から、石材を利用した山腹空積や石筋の効果はいちじるしい。表面だけの工事では保持困難な箇所は、一連の工事全体を埋設し同一施工面に 2 回の山腹工を行つている箇所も見うけられた。このような施工方法と良好な立地関係とが相まつて、山腹工施工地の復旧は順調で工事の被害も少ない。

山腹施行地はかつて崩壊したところで一応山腹が安定化に近づいている関係から、山腹工が崩壊を予防するということは強調し得ないが、各施工地で見られるごとく、施工地の拡大崩壊はほとんど問題にならないのに反し、未施工地は拡大崩壊したものが多かつた点から判断すると、山腹工事は崩壊地の拡大防止には非常に効果があるとしてよからう。ただここで注意を要することは、どこの崩壊地に対しても画一的

な工種でのぞむことは問題で、崩壊区域外から地表水の供給があつたり、また崩壊地内に湧水があるような場合には、それに応じた工種を採用するよう心がけるべきである。

以上山腹についての観察であるが、基岩の風化状態によつてきわめて大きな巨岩が数多く沢に出ている(Phot. 29) 当地区としては、山腹面よりもむしろ溪流面についての問題が大きい。大礫・巨岩の類が移動するような時には、当然それよりも細粒の細礫・土砂は簡単に移動する。移動の程度は山腹の崩壊、水の出方などによつて変るため一概に律することはできないが、移動のはげしかつたことは事実である。これがため溪床は左右すなわち横方向のみならず、上下すなわち縦方向にもかなり変動するにもかかわらず、溪床面は固定的のものであるという考え方に基づいた工事が多く、その既設工事の破壊がいちじるしい。上葦生川中流部の護岸の欠壊がよい証拠で、南池付近のごとき不安定な堆積地帯に護岸を入れる際には特に注意すべきであろう。護岸工事は主として溪流の横侵蝕を防ぐものであり、溪流の縦横侵蝕の結果生ずる溪岸崩壊その他に対する対策として、単に護岸のみに頼るのは当然危険で、できれば横工事時には水制工とともに施工して工事の安全をはかるべきである。今後の溪間工特に槇山川の軌道保護にあつて大いに留意しなければならぬ問題の一つであろう。

溪間工の破壊についてさらに観察しうることは、相当の大きさのダムの放水路および袖部の破損(Phot. 30, 31) である。参考として、上葦生川上流の片岩地帯と古生層地帯の境界付近から安丸ダム付近までの本流について観察した溪床の石礫の大きさについて一言する。全域にわたつて岩種が単調で崩壊箇所も少なかつたため、礫の大きさの変化はきわめて規則的で傾向の把握に便であつたが、一断面に存在する礫の大きさはあまりにも大小不揃いで、平均粒径を求めることは不可能に近かつた。そこで、一断面内の礫を観察するにあつて、極端に大きな石礫を除いた残余のうちでもつとも大きな礫に着目して、上流から下流にいたる礫の分布の概況を図示すると、第6図のごとくかなり明瞭な傾向を示した。この傾向



第6図 石礫の大きさの変化

が乱されていない場合は、一般に治山上問題の少ない溪流といいうるが、溪岸崩壊があつたり、荒廃した支溪が合流したりした場合には、図示した傾向は乱されて不連続な部分ができてくることになり、溪流の荒廃に対する有力な目安となるようである。これらの傾向や、上流で  $2\sim 3\text{ m}^3$  程度以上の巨岩はコケが生え動いた形跡のないことから判断すれば、影のダムを通過した最大石礫の大きさは  $1\text{ m}^3$  程度と考えられ、きわめて大きな衝撃的な力が放水路面に作用したことになる。したがつて、巨大な洪水量が運搬する大礫——1回の洪水量で移動する大礫の移動距離は  $200\sim 300\text{ m}$  以下と思われる——の破壊力に対抗する強度をもつたダムの築設が必要となつてくるが、ダム自体の強度と同時にダムの基礎の検討も肝要である。いかにダム自体としては強固なものでも、基礎が不安定ならばかえつてダムが荒廃を助長せしめる場合も生ずるわけで、槇山川西熊の工事はその一例である。ダムの規模が大きくなればなるほど堰体の強度を大きくする必要はあるが、それと同時にダムをささえる岩盤（両袖取付け部を含む）も充分いろいろの外力に抵抗しうるものでなければならず、地質的に褶曲の多い本地区では特に留意しなければならない。

以上治山工と荒廃についての考察を要約すると、

- i) 山腹工についてはおおむねその成果は順調で、特に崩壊地の拡大防止に有効であった。
- ii) 溪間工作物は、一部破壊されたものもあつたが、山脚固定のために相当の土石を留止しており、それが留止されなかつた場合には当然荒廃せしめられると思われる溪床ならびに溪岸山腹を保護していた。
- iii) 治山工は、一般に森林のみでは防ぎ得ない荒廃を保護するものであるから、その施工にあつては慎重に種々の条件を考慮する必要がある。何となれば、荒廃起動力が分散している場合には、おおむね森林で防ぎうるのに対し、治山工が必要となる際には、常にそれ以上の複雑な荒廃起動力が集中して作用するからである。

### 3. 災害の原因

今次災害の直接の原因は異常な豪雨である。しかし、豪雨といつても災害を発生させるすべての原因からみれば一部にすぎず、同じ豪雨によつても被災の程度は変つてくる。天然素因としての地形・地質・土壌、天然誘因としての降雨・地震、人工誘因としての土地利用法などが重なつて災害の規模が決定されるわけで、各因子について検討するとつぎのごとくである。

地形・地質・土壌については、すでに地況の項で記載したごとく、地形は急峻であるが、地質的に基岩の風化過程が崩壊に対して安定な土壌条件をつくつており、しかも多雨地帯の關係からある程度の豪雨には耐えうる姿になつていた点が、今回の豪雨に際しても山腹崩壊の面積を最少限にした一因で、山腹崩壊が標高 800~900 m の最も急傾斜の地域にしか存在していないことがこれを裏付けている。上叢生流域北部は片岩類に起因する地況があるが、現在のところあまり活潑でなく規模も小さいので問題は少ない。

災害時の降雨の状況は、第 12 号台風時に槇山川上流別府で 1,085 mm、上叢生川上流影で 667 mm と記録的なもので、これを 1 カ月通して見た場合には 9 月 6 日~8 日の第 13 号台風、同月 11 日~14 日の第 12 号台風、同月 17 日~18 日の第 14 号台風、同月 24 日~26 日の第 15 号台風時のみの合計でも、別府で 1,982 mm、影で 1,318 mm に達している。現在まで大柄で観測せられた 9 月の平均月雨量は 400~500 mm であるので、多雨地帯とはいえ今回の雨量はきわめて烈しいものであつたことがうなずける。この記録的な雨量が物部川上流全域にわたつていたかどうかは疑問で、現に白髪山頂の雨量ははるかに少なかつたということも聞かれたが、それにしても平常の月に比しきわめて多量であつたことは事実で、これが今回の災害の最も大きな原因であろう。

災害を拡大せしめた原因では、遠因として地震の影響と思われる箇所も数箇所みられたが、特に重要なのは人工誘因としての軌道のつけ方である。人工誘因として森林や溪流の取扱い方の粗放さもなかつたわけではないが、全般的にはそれらの取扱いに特記するほどの不備はない。そこでもっとも問題となるのが溪流面近くに敷設された槇山川の軌道である。本流域が褶曲を多くうけているため、溪流ぞいの基岩部も数十米間隔でもまれており、もまれて脆弱となつた基岩のところでは溪流は必ずといつてよいほど屈曲し、この曲流部で洪水量そのものの衝撃力が数十箇所の溪岸崩壊を惹起せしめたからである。第 7 図のごとく適当な地形のところにスギやタケがある場合には、それらが衝撃力を緩和して崩壊を防いでいた例も数箇所あつたが、これらはなほは条件のよい場合にすぎず、記録的な豪雨にとまらぬ巨大な流量の破壊力に対しては、森林という抵抗物の存在価値も小さくなる。これらの点を考えれば、この位置にある軌道は当然危険といわねばならず、敷設工事による山脚部の切取、その他の工事を行つたとすればさらに崩壊の危険をますことになるわけである。したがつて、広い意味の土地利用法の欠陥といふことができ、敷設箇

処自体に異論があるが、この軌道をそのまま是認すれば、当然災害予防法としての保全施設の欠如が大きな原因にあげられる。

これに反して、自然の地形に則した土地利用法が行われているのが、大柄より下流の物部川中流部で第8図のごとく、川岸の急斜面は森林で、その上の河岸段丘面に水田・人家・道路が配置され、さらにその上の斜面が畑として利用され、最上方の急斜地はまた森林として残されている。したがって、水害時でも、河川の増水や山崩によつて人家・耕地・道路が破壊する危険は減少している。また槇山川筋でも、溪流近くでは水害時に危険であるので、平時の不便をしのびながら人家が相当山腹高処にのぼっている例も見られた。

以上災害の原因としては、基岩の褶曲・風化など地質条件はあまりこのましくないが、その風化産物としての土壌条件は山腹面の荒廃を少なからしめ、急傾斜の地形

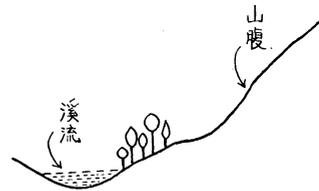
ではあるが、従前からわりには豪雨に慣らされた地形であるなど、天然素因の各条件は功罪相なかばし、天然誘因の豪雨の影響もつとも大きい。しかし、豪雨の影響もつとも大きいといつても、平時あまり豪雨のない少雨地帯と違って、本地域は平時にも相当の豪雨がしばしば襲来するわが国有数の多雨地帯であるので、豪雨に対する試練を充分受けているため、雨量のわりには災害は小規模であつたといえよう。少雨地帯でこれだけの豪雨があれば、はなはだしい災害が惹起されたことと想像される。

とはいえ、これら天然原因は現状ではコントロールし得ないので、災害に対しては天然原因よりも影響力は小さいであろうが、やはり保全施設の充実、森林の保全的取扱いなどの人工誘因の改善による被害の軽減を第一に考えねばならない。

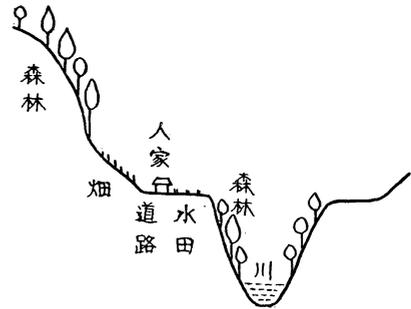
#### 4. 治 山 対 策

記録的な豪雨とか、何十年に一度とかいわれる豪雨に会った場合に、山地からの土砂石礫の生産をまったく阻止することは不可能であり、また山地そのものの破壊による土地生産力の多少の低下もやむを得ない。しかしながら、土砂石礫の生産速度をわずかでも遅らせて下流に与える被害を軽減するとともに、土地の生産力をより高度に利用してゆくのが治山対策である。

このような見地からすると、広大な山腹面全域に対する保護物としては森林による被覆がきわめて有効で、森林の存在ならびに取扱い方が治山対策としてまず検討されなければならない。この森林といえども自然の営力に比べればはなはだ小さな影響力しかもっていない。もちろん、治山対策の目標とする範囲は天然の侵蝕現象全体ではなく、それよりもはるかに小さいいわゆる人間社会に関係した災害現象に限られるわけであるが、それにしても森林の治山機能のみでは解決しうるものではなく、そこに山腹ならびに溪間工事の必要が生じてくる。すなわち、現存する大面積の森林を保全的に取り扱うことと、崩壊によつて裸地化した箇処の造林の補助手段と積極的な林地保護の目的の両種の山腹工事を行うこと、との双方によつて山腹面の治山機能を充分に発揮せしめ、それでもなお不十分の際の山脚固定のための溪間工事、さ



第7図 森林の溪岸崩壊防止



第8図 物部川中流の土地利用

らに溪間堆積物の破壊的な流下防止のための溪間工事までと、すべてを考え合わせて全体の治山対策を樹立しなければならない。

下流に四国随一の米作地香長平野をひかえ、中流に吉野の発電ダム (Phot. 32)、永瀬の洪水調節ダム (Phot. 33) などの重要な保全対象をもつた本流域の特性を考えれば、本地区の治山は、流域全体を保全する立場にたつて行うとともに、他の災害防止対策とも密接に結びついたものでなければならない。

#### a) 森林の取扱い

今回の調査によれば、崩壊は標高およそ 800~900 m の複合斜面でしかも褶曲によつて基岩が脆弱となつた箇処に多く起つているが、前述のごとく崩壊率を他地区のものと比較するとかなり小さい。この事実から推察すると、現在の本地区の森林の取扱いは保全の面ではおおむね妥当であつたといえる。しかし、地形は急峻で雨量も多い関係から、ひとたびその取扱いをあやまると、災害の程度は一段と大きくなることを忘れてはならない。したがつて、大面積にわたる強度の疎開は見合わすべきで、伐採木の搬出方法も慎重に行わなければならない。

山地が崩壊する時には、山腹の地表面または地下の不連続面<sup>1)</sup>、すなわち、林相ないし地被状態の変化点、地表傾斜の変換点、などの地表面における状態の変わったところと、土層と基岩の境界、風化して亀裂の多い弱い岩盤と未風化の亀裂の少ない堅い岩盤との境界、などの地下部分における変化面とに関係する場合が多い。これがため、地表の鬱閉と根系の貫入の少ない伐採地や幼令林の地区が危険であるわけで、現在のところ本地区は、天然生林が多く灌木類の下木にとみ、また根も浅根のものと深根のものが適当に混交した状態で連続しているから、今回の災害時にはそれほど危険はなかつたのである。

しかし、順次林木を伐採利用してゆく時には、森林の保全的取扱いはけつしてゆるがせにできない。伐採を行う場合に、1 団地何町歩以内といった劃一的方法によつて、全流域の森林の取扱いを規制することは適当でなく、急斜地や褶曲・風化のはげしい地など危険地は更新上必要最小限の伐採とし、伐採しても崩壊の危険はないとみられる区域が広くつづけば、その場合は伐採は相当広面積にわたつてもさしつかえないし、局地局地の危険度とにらみ合わせて伐採度をきめるべきであり、また、単に経済的理由からスギ・ヒノキなどの比較的浅根性のものを一斉に造林することは保全上好ましくないし、択伐するといつても、伐採時に木落し蝕溪をつくつたのでは崩壊の誘因となる。要するに大面積にわたつて山地を保護している森林を保護し、それによつてさらに森林の保護能力を増加せしめるという考え方にたち、既述の保全上の危険地区については、特に地表ならびに地下両面における不連続面<sup>1)</sup> という弱点に対して補強となるような森林の取扱いを行えばよいと思われる。

なお、スギ・ヒノキなどの人工造林はおよそ海拔高 1,300 m が限度とみられ、それ以上の高所とか尾根筋、風衝地は林木の交替が円滑に行われがたい点も注意する必要がある、また、軌道、林道からの地表水、滲透水が崩壊の起因となることもあるので、林地保護の立場からその設置については充分な検討が必要で、明らかに林地を破壊すると思われる時には、積極的にその対策として事前に予防工事を行う必要も生じてくる。

#### b) 治山工事

災害によつて崩落した土砂は、流水によつてすべて海まで運搬されたわけではなく、山崩は多く豪雨の末期に起る関係で、崩土は山腹に浮土として残っているものもあり、また溪床面に不安定な状態で残っているものも多い。崩壊跡地は植生の剥落によつて裸地化しているため、降雨ごとに表土が侵蝕されることは

疑いなく、溪床・溪岸に不安定に堆積した土砂も、つぎの今回ほどの量ではない降雨によつても流出することとなる。しかも、この部分は一般に森林とは無関係なので、治山工事としてはまずこの点に重点を向けるべきである。

山腹剝落型あるいは山腹滑落型の崩壊によつて生じた崩壊跡地のうち小規模のものは、植生の自然復旧も速く表面侵蝕の心配は少ないから山腹工事を施す必要は少ない。これに反して、相当の面積に及ぶ崩壊跡地は、自然復旧の望みはなく拡大のおそれも多いので、表土の移動を軽減する山腹工事を行つてすみやかに植生被覆することが望ましい。この場合、豊富な石材を用いた従来の工種が相当の成果をあげているので、地形の急峻な当地区では大いにこれを活用するのはよいが、あまり画一的な工法にとらわれる必要はない。同じ山腹崩壊に対する工事でも、直接溪流に多量の土砂を生産するものと否とでは、施工上の差異も生ずるであろうし、林道・軌道が存在するか否かによつても当然その計画をかえるべきものと思う。

溪岸崩壊に対しては、崩壊した跡だけをみれば山腹崩壊と同じであるが、原因となるのが溪流の縦横侵蝕であるので、山腹崩壊の対策に加えてその原因除去のための対策を合わせ考慮しなければならない。しかも、今次水害によつて発生した槇山川ぞいの溪岸崩壊にともなう森林鉄道の被害が大きな関心を集めたことを考えると、この復旧ならびに災害防止の対策はきわめて重大といえる。原因となるべき溪流の侵蝕力を軽減するためには、山腹崩壊の防止も大いに有効であるが、一般的には堰堤、護岸、水制などの溪間工事を行わなければ防げない。すなわち、堰堤によつて溪床を安定せしめて侵蝕力を弱めるとともに、編柵あるいは石積の護岸によつて直接山脚部の強度をまし、時には第9図のごとき水制工によつて溪流の攻撃面にあたる巨量の水をはねて



第9図 水制工

溪岸の荒廃を防ぐ必要がある。しかし、これら工作物を多数設置することは経費的にも不可能であるので、まず、溪流の要処を選んで土石流の侵蝕に対抗する不動基点の低堰堤を設置するようにする。溪岸崩壊の密集している区域は連鎖的に崩壊が起つているので、その一連の荒廃過程を中断せしめる効果はいちじるしい。なお、溪流の横侵蝕防止には、山腹と溪流の接点付近に深根樹または密生するタケなどの活用によつて護岸の代用となしうる場合も考えられる。溪間工事の施工にあつては、横工事を省略した護岸工は特に注意する必要があることを既に記したが、谷止の設置にあつても、平時の雨量にともなう平凡な流量ないし流速だけを考えた補整勾配にとらわれて不適当な基礎のところ築設することなく、溪床勾配の緩和よりもむしろ山脚固定の意味を強調した谷止の設置が望ましい。

## Ⅱ 祖谷川地区

### 1. 概 況

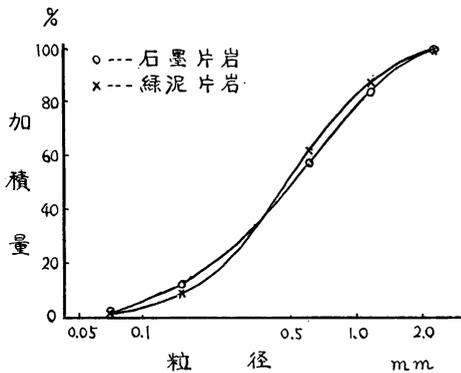
祖谷川はその源を剣山（標高1,955m）に発し、四国の屋根といわれる中央高所をおおむね西に流れて吉野川に注ぐ流域面積約190km<sup>2</sup>のかなり大きな支流である。流域は徳島県の西南端に位し、その南限は高知県の物部川流域に接している（付図I参照）。流域内の最高所は2,000mにみたないにもかかわらず、地勢はPhot. 34のごとく急峻であり、また流路の形状にも特徴がある。流路は3~5kmごとにはほとんど直角に方向を変えており、菅生から善徳に至る間は特にその傾向が明瞭となつている。起伏量の平

均は 440 m となつて物部川地区と同じ程度に地表傾斜は急で、しかも流路の形状が特異であることは、当地方が古い地質からなり、かつ、それが強い地殻運動をうけた証拠と思われる。このような地殻運動によつて基岩が破碎作用をうけたことが、この地域一体をわが国における代表的な地亡地帯たらしめている。結晶片岩地帯はほぼ東西線上に分布し、地亡の区域も高知県の豊永地区から吉野川の河口にいたる全域にまたがっている<sup>10)</sup>。

今回の豪雨によつて本地区内に発生した地亡はどの程度なのか不明であるが、当時の新聞によれば、今回の地亡地帯は名東郡園瀬川から西、高知県境にかけ東西 50 km、南北 20 km におよぶ 8 郡、900 箇処、3 万余町歩となつており、なかでも特に激甚な被害をうけた本地区には 69 箇処、4,500 町歩にのぼる地亡があつたと記されている。地亡の箇処や面積は、崩壊地の場合と違つて、今回の豪雨によつて新たに発生したものばかりではなく、以前から動いていたものが大部分であり、またその面積もはなはだ不確実にならざるを得ない。したがつて、ここではこれらの数字は問題としないで、踏査中に観察し得た事項のみについて考察することとした。

当地区の地亡はたえず青白色の粘土分を流路に送りこんで常時移動しているような地亡ではなく、間歇的に移動しているものが多く、地亡りの年齢は若いものに属するであろう。地亡は地下の粘土層が滲透水、地下水にあつて滑剤の役目をするために起るのが一般的で、本地区の地亡も緑泥片岩、石墨片岩などの破碎・風化によつて生成された特殊土の存在によつて発生しているようである。

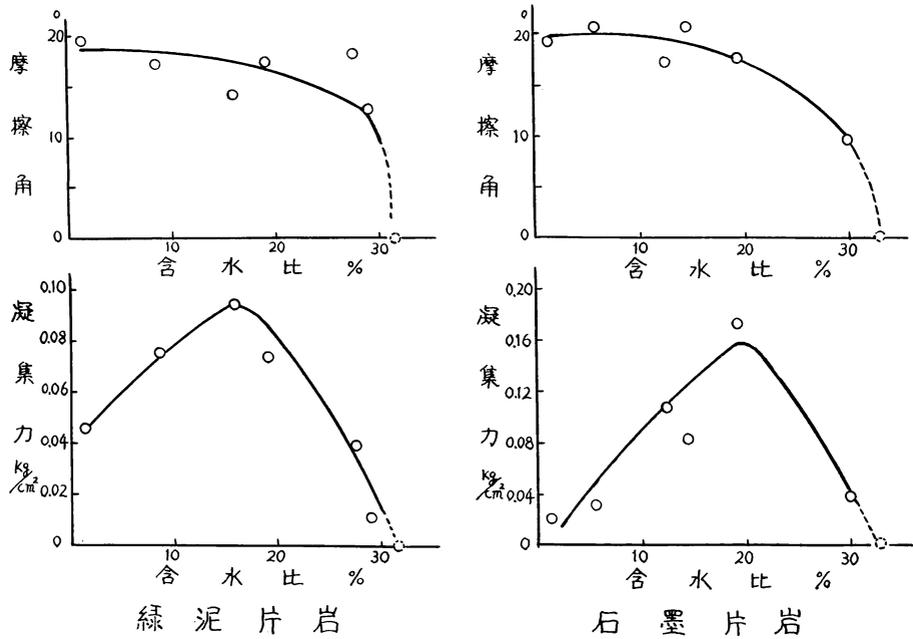
樫尾付近の片岩風化土壌について測定した二、三の理化学性はつぎのごとくである。緑泥片岩、石墨片岩はいずれも強い変成作用をうけて一方向にわれやすい性質をもち、現地では Phot. 36, 37 のごとき状態を示しているが、変成・破碎の影響は風化生成された土壌におよんで、その性質は特異である。機械分析の結果(第 10 図)をみると、いずれも細粒の部分は少なく、粒径からみた粘土の含量は皆無にちかい。国鉄土讃線 65 km の土質試験結果<sup>11)</sup>では、0.005 mm 以下の粘土分が 17~33% あるがやはり粗粒分が



第 10 図 加積曲線

多い。40 mesh の Tyler の土壌篩を通過したものについて、豆型 2 面剪断試験機で剪断試験を行つた結果は第 11 図のごとく、国鉄の試験結果<sup>11)</sup>に比し摩擦角はほぼ同じで凝集力はやや小さいが、この値は一般の粘土質土壌にくらべて凝集力の面で特異で、石墨片岩風化土は緑泥片岩風化土より凝集力がやや大きい、それも含水比 30% 付近ではほとんど同じである。流出限界値はいずれも非常に小さい。耐水度は石墨片岩風化土 20 分前後、緑泥片岩風化土 4 分前後と、いずれも小さく、第 12 図のような簡易な定水位の透水試験筒で現地土壌に近い構造を

もたせて、透水開始後 24 時間経過した時の透水係数を測定すると、緑泥片岩土  $8.5 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ 、石墨片岩土  $0.0 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$  と後者が異常に小さい。以上のごとく片岩風化土は、機械分析・剪断試験の結果では粘土質ともいえぬが、流出限界が非常に小さく透水もはなはだ悪い点では異常な粘土的性質であるといえ、この特異性は変成・破碎された結晶片岩の特殊成分かあるいは風化土の特異構造によるものであろう。いずれにしても片岩風化土は、水を透さずまた水に会えば脆いことは、地亡を起しやすいわけ

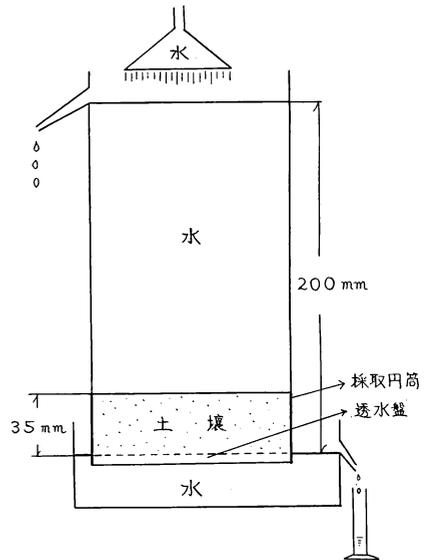


第 11 図 剪断試験結果

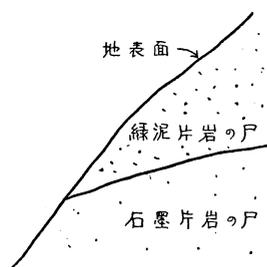
である。

本地区は全域が結晶片岩地帯で、荒廃地は多かれ少なかれ地氾的性格を帯びているものが多いが、なかでも善徳から上流菅生までは基岩の断層破碎の程度が大きいのか大規模の地氾地があり、菅生・古味・樫尾などの地氾地は5万分の1地形図でも判定しうるほどの押し出し地形を示している。本地区では地氾は土地利用に大きな関連を有するようで、旧地氾跡の押し出し地形に部落 (Phot. 35) のあるものが多く、また部落の上限と地氾地の上限<sup>10)</sup>がいずれも標高 850 m と一致していることは興味深い。本地区の地氾には善徳 (Phot. 44)・樫尾 (Phot. 40) などのわりに大面積なものや、浅い小規模なもの (Phot. 41, 42) や、古味 (Phot. 39)・菅生 (Phot. 38) などの地氾性崩壊と種々あり、また地氾というよりは一般の山腹崩壊・溪岸崩壊とみられる荒廃地もある。

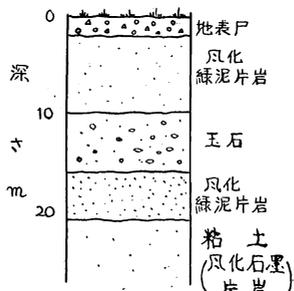
本地区は一般に、第 13 図のごとく石墨片岩層の上に緑泥片岩層がのるか、さらにその上に地表層がのついている箇処が多く、石墨片岩層と緑泥片岩層の境界面または緑泥片岩層と地表層の境界面が地氾の滑动面となり、これに滲透水・地下水が作用して地氾が起るものであろう。このことは、各層の透水性の差により各層の境界面に滞水しやすいこと、緑泥片岩層・石墨片岩層は水に会えば泥土化しやすいこと、沁ることにより境界面付近の土は粘土の性質を帯びやすいこと<sup>12)</sup>、などから想像されうることである。樫尾でのボーリングの結果<sup>13)</sup>は第 14 図のごとく、地下 20 m



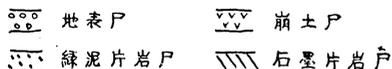
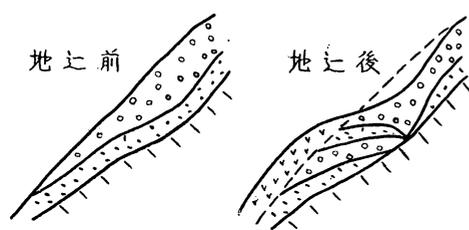
第 12 図 透水試験装置



第13図 地層の模式図



第14図 ボーリング結果



第15図 地亡前後の地層模式図

に石墨片岩層と思われるものがあり、その上に緑泥片岩層が2層あるが、現在の地形、部落・水田の位置などから第15図のごとく、かつて緑泥片岩層と石墨片岩層との境界面を滑動面として大地沈し、斜面上部の地表層・風化緑泥片岩層の一部が斜面下部の地表層の上により、その結果第14図の

ごとく緑泥片岩層が2層できたのではないとも想像される。現在でも樫尾では、大面積の深処からの沈りと、小面積な部分的の浅い沈りとの2種があるのではないかと思われ、一般に本地区では、大規模な地沈は石墨片岩層から上の層が沈り、小規模な地沈は上部の緑泥片岩層から上の層が沈るものと考えられる。

## 2. 治山対策

地面付近の条件よりは地下深処の地質的素因に大きく左右される地沈に対する治山事業は、森林を保全的に取り扱って山地を保護し、下流への災害の軽減

をはかるという一般の治山方針とはやや考え方を要する必要がある。地沈の起因は地下深処のところに複雑に存在しているため、地表部のみを対象とした事業では移動を止めることは不可能で、地下部も対象とした事業を行っても移動を完全に止めるのは困難な場合が多い。したがって、土地利用形態に応じた移動量の減少をはかるとともに、地沈で移動してもあまり支障をきたさないような土地利用を考慮すべきである。

樫尾周辺では山腹面で横穴ボーリングによる排水、溪流面で堰堤 (Phot. 45)・護岸による山脚の洗掘防止をはかつて移動を防止しようとしている。横穴ボーリングによる排水は、滲透水・地下水を排除して滑動面の摩擦角・凝集力の減退を防ぐのには有効であるが、排水量が大きかつたからといってそのボーリングが非常に効果があつたとはかぎらない。それは地沈に直接影響している滲透水・地下水が排除されているならば有効であるが、地沈に関係のないものが排除されているならば効果はないからである。したがって、ボーリング排水施工前に地沈に影響している滲透水・地下水がどこから補給されているかを調査し、その結果有効な場処にボーリング排水を施工し、施工前後の移動の比較測定などで効果を確かめる必要がある。また沈り面が2層ある時は、まず下の沈り面の排水から着手すべきである<sup>10)</sup>。

堰堤による溪床の洗掘防止は、溪床の洗掘低下のために促進されている地沈も多いので、有効なことが多いが、その築設位置は非常に注意を要する。地沈の移動区域内に堰堤を築設すれば、堰堤は地沈の移動による側圧を受けて破壊することが多いからである。一般荒廃溪流のごとく計画勾配の地点ごとに堰堤を段階的に築設することは不可で、まず地沈の移動区域外の下流に不動地点に基礎となる堰堤を設け、それ

から上流は、移動区域内といつても処々に不動地点があることが多いので、その不動地点を選んで堰堤を築設することが先決で、計画勾配の観念は従としなければならない。同様に移動区域内の石積またはコンクリートの護岸は、地況の移動圧によつて破壊することが多いので、護岸を設けねばならぬ場合は、鉄線蛇籠などのある程度移動に耐えるものを使用すべきである。

善徳に見られるように（Phot. 44）、地況地の地上に石積・コンクリートなどの堅固な工作物を設けることは好ましくない。移動区域の堅固な工作物はわずかの移動によつても破壊する結果となり、破壊すればまったくその能力を失うばかりでなく、場合によつては地表水路のごとく逆効果となるおそれもあるからである。

善徳における地況移動の測定結果によると、局部的に移動量は異なり、2カ月間で最大  $10\text{ cm}^{13)}$  となつており、樞尾地内でも全域が一様に動つていないから、局部的に移動激甚な箇所は局所防災的な排水・廻水などで応急処置をほどこすことも必要であろう。しかし全般的には、土地利用状態すなわち人家があるか、水田であるか、森林であるか、などとらみ合わせて必要な移動緩和の程度を予定して対策を立てることが必要であり、またその反面、地況の移動を完全に止めることは困難であるので、地況地内に人家を設けない、水田を止めるなどの消極的防止措置としての土地利用法の改善をも考慮すべきである。

森林は地況防止には本質的には関連のないものであるので、地況地域の治山対策は移動防止の点だけでなく、地況地の土地利用の面を考慮する必要がある。地況地は一般に地味がよく、スギなどの生育も良好であるが、移動によつて林木は曲り（Phot. 43）用材としての価値がなくなる危険性が多いので、今後の移動が予想される地は、用材林を仕立てるよりは、短伐期の薪炭林として移動による損害を最少にし、耕地も破壊復旧の困難な水田よりは畑として短期作物を栽培するのが安全である。地況地域では移動の心配がない処と、今後の移動が予測される処を区分し、それぞれに適応する土地利用法を考えることが必要である。

以上地況関係の事項についての対策の概略を述べたが、本地区内には一般の崩壊地と同じとみられるものも相当あり、祖谷川全体については一般の荒廃野溪的状况を示している処もあるので、これらに対する対策は物部川地区の対策に準じて行えばよい。

### Ⅲ 佐喜浜川地区

#### 1. 概 況

佐喜浜川は室戸岬のわずか北方佐喜浜町で直接太平洋に注ぐ本流延長  $14\text{ km}$  の小河川である（第1図、付図I参照）。しかしながら、流域全面積に対する崩壊面積の割合が非常に大きいため、荒廃の程度は四国随一といわれ、古くから治山、砂防、河川関係の事業が盛んに行われている。今回の災害で特に新しく荒廃の度を加えたという地区ではないが、治山事業の実態を調査するとともに、今後の事業に対する方針を検討する目的で本地区の調査を行った。もとよりきわめて短時間に本川最上流部の加奈木の潰（後述）を踏査したにすぎないので、ほとんど一般論の域をでていないことをこたわつておく。

佐喜浜川は南北に長い矩形状の流域を有し、周辺の水界は  $700\sim 1,000\text{ m}$  の峯で画され、その流域面積は約  $40\text{ km}^2$  である。全体の地形は前記2地区に比較すると緩斜であるが、起伏量の平均  $390\text{ m}$  という点から判断すると決して緩傾斜とはいえず、谷の横断面形などをあわせ考えるとかなり急峻な壮年地形という。流路の形が桑の木部落付近で一変し、桑の木より上流では南北方向に流れる支流を合流して

いるのに対し、それより下流ではおおむね東西方向に流れる支流を合流していることは、断層の影響と考えられ、治山対策上の大きな問題となつている。

ここの地質はいわゆる時代未詳の中生層群に属するが、岩相の単調なことが特徴で、基岩はほとんど砂岩・頁岩の互層よりなつており、これに緻密な青灰色の砂岩あるいは動力変質によつて千枚岩化してきわめて崩壊しやすくなつた頁岩が含まれている。このような地質が四国の西南日本外帯特有の褶曲作用によつて擾乱されるとともに、小規模ながら数多い断層によつて複雑な地質構造を示し、本流域の地形、さらには荒廃状況に大きな影響をあたえている。

さらに、この地域は台風の道路にあたり、台風襲来の頻度は県下で最も多く年雨量も 7,000 mm に近い。地形・地質・雨量の諸条件がかさなり合つて本流域を荒廃しやすいものとしていることが、まず考えられる大きな特性である。

一方、雨量が多くしかも高温である点が植生の生育に益していることも事実であるが、地質の構造や基岩の風化状態が原因して土壌の保水力は小さく、土壌はかなり乾燥して、美林はあまり存在していない。佐喜浜川の流域面積 4,041 ha 中、森林面積は 3,608 ha で 89.3% をしめ、その内訳は第 5 表<sup>14) 15)</sup>のごとく

第 5 表

区 分		面積 ha
林地	国 有 林	868
	官行造林地	180
	民 有 林	2,560
農地	水 田	95
	畑	45
河 川 敷		295
合 計		4,041

である。流域面積の 6 割強をしめる民有林の大部分は、広葉樹林で短伐期の薪炭林となつており、スギ・ヒノキの造林地も諸所に散在しているが、いずれも戦時中の過伐がたたつて現在 12~15 年生の幼令林がきわめて多い。国有林には天然林の択伐更新地も多いが、スギ・ヒノキの造林を主とする官行造林地に美林が存在する程度である。

以上のごとき天然の素因・誘因のほかに地震の影響もきわめて大で、昭和 21 年の南海地震までに約 110 年を周期として数回の大地震に見舞われている。これらの諸条件が一体となつて、本川最上流の大道南山国有林第 65 林班のほとんど

全域をしめる 38 ha の加奈木の大崩壊をはじめ、1 団地 1 町歩をこす大きな崩壊地は 8 箇処にのぼり、崩壊裸地面からの土砂石礫の剝落、河床堆積物の移動は活潑をきわめ、河口に至るまで Phot. 46 のごとき径 20 cm 程度の大礫が堆積（河口では砂岩・頁岩・チャートの順に多い）する状態を示しており、全川野溪といつてもさしつかえない。高知県土木部の調査<sup>15)</sup>によつて、面積 100 m<sup>2</sup> 以上の崩壊地を合計してみると第 6 表のごとくなるが、1 崩壊地の平均面積、崩壊箇処率（占有面積 100 ha 当りの箇処数）な

第 6 表

森林面積 ha	崩壊箇処	崩壊面積 ha	1崩壊地平均面積 ha	崩壊箇処率 (100 ha 当り箇処数)	崩壊面積率 %
3,608	143	93.1	0.65	3.96	2.58

らびに崩壊面積率がいずれも大きく、特に 1 崩壊地の平均面積の大きいことが認められる。これは急傾斜地のわりには地味がよく、極端な大面積崩壊以外の、小面積崩壊地は植生の進入・復旧が案外速く、大面積崩壊地だけが残つていることと、四国随一といわれる大崩壊地があることによるものであろう。

加奈木谷の大崩壊は、延享 2 年（1735 年）の地震によつて相当大面積にわたつて崩壊したとつたえられ、その後も何回となく拡大して現在に至つたものであるが、特に昭和 21 年 12 月の南海地震の影響が

大きかつたようである。本崩壊地をながめてみると、褶曲した地層ではあるが、第 16 図 (1) のごとく地層が水平に近い処が崩壊 (Phot. 47) したものが多く、第 16 図 (2) のごとく地層が傾斜し鉛直に近くなつた処にはわりに崩壊が少ないように見受け



第 16 図 地層の傾斜

られた。本崩壊地の崩壊土量  $250 \text{万} \text{m}^3$  と称せられて流域全崩壊土量の過半量をしめ、その土量のため崩壊地下方に広い堆積部をつくっていることは、5 万分の 1 地形図にも明瞭に示されているほどである。この扇状地を越えて流下する石礫は、順次下流地域の崩壊地からの石礫と合流して、水源の山頂からの流程わずか  $4\sim 5 \text{km}$  の地点ですでに川巾  $200 \text{m}$  におよび、河口にかかっている高知—徳島間の重要道路 (Phot. 46) および漁港である佐喜浜港にしばしば大きな被害をあたえている。

## 2. 治 山 対 策

以上のような実態にもとづいて本流域の治山事業は古く大正 6 年からはじめられ、途中大正 9 年から昭和 6 年まで中断されていたが、現在本地区の治山は本流最上流部の加奈木崩壊地にかぎって実施されている。大正年間にすでに堰堤 12 箇所および崩壊地最奥部の山腹植栽 (Phot. 48, 49) が行われ、その後 20 年間の施工によつて現在までに堰堤、床固、谷止合計 41 箇所が築設され、山腹面では約 12 町歩の植栽が完了している。山腹傾斜は  $60^\circ$  前後のところが多く、しかも長年月の侵蝕作用のため土壌らしい部分はほとんどないため、法切によつて基岩を砕いて植栽を行つている現状であり、法切土石の保持は困難をきわめ、山脚固定のための堰堤や護岸、山腹面の空積や石筋などに相当の経費を使い、これら施工の状態は Phot. 50, 51, 52, 53, 54 のごとくである。

今回の豪雨によつて既設工事の災害は皆無に近かつたことは大いに施工の効果を示したものと考えられるが、一方において未施工の山腹面でもそれほど変化しておらず、石割谷の出口に室戸台風時の堆積物である Phot. 55 のような角ばつた岩石が移動せずにそのまま留止していた点をあわせ考えると、山腹面では崩れるものはほとんど崩れてしまつたという感じが強い。もちろん、崩壊して裸地化しているわけであるから、一般的にいえば今後の崩壊およびその拡大の危険は皆無とはいえないが、単なる一般論だけから崩壊地にのみ着目して治山事業を行うことは問題がある。現在までになお残つている崩壊面 (Phot. 47, 57) はいまだ 26 町歩と称せられ、完全に固定するには過去 20 年間の事業分量全体に対して、今後なお溪間工事では 1.5 倍、山腹工事では実に 6 倍近くの事業量があるとされている。

治山では、対象とする崩壊地の流域内におけるウエイトおよび影響範囲などを考慮して、もつとも効果的な対策をたてなければならぬ。加奈木崩壊地の荒廃は流域内のある特定地区に対する関係というよりは、むしろ流域全体の荒廃に重大な関係があり、その復旧は流域内のある特定地区のためではなく、流域全体の防災の見地から行われるべきものであるため、ただ崩壊地だけに着目した対策は合理的とはかぎらない。また治山事業の内容には、山地の土地利用度を高める面と、下流への災害を防止軽減する面との両面があるが、そのいずれに対しても限度があり、特に本崩壊地についてはその感が深い。

崩壊地全面を緑化するということがいへば容易にできない現状であり、植栽も困難 (植栽についての詳細は岩川氏の報告にゆずる) であるし、今後主として実施する左岸地区は Phot. 47, 57 に見られるように、崩壊上面がほとんど山頂線に達して今後一時に巨量の土石が崩落する危険は少ないと思われるし、市街地の裏山の崩壊のように崩落土砂の直接の影響はない。溪床面も大きな石礫の堆積がおびただし

く (Phot. 53, 54, 55, 56), 40 数本の堰堤の背後 20~30 m の間だけに着目すると, 最上流部で勾配 25~30%, その下方で 20% 前後, 最下端の事業所付近で数 % というように規則的にみえるが, 直接堰堤の影響をうけない堰堤と堰堤の中間の溪床区間には 40% をこえる急勾配のところも多く, 山腹と溪床の中間的性格で土石の移動の可能性はきわめて大きい。治山事業によつてこれらの土石を完全に固定することは理想であり, 場合によつては経費のいくばくを問題としないこともあるが, 本崩壊地内で土砂の移動を完全にとめることは不可能に近く, またそれを強行するには疑問とする点が多い。佐喜浜川全体については, 他にも大崩壊地があることを考えればなおさらである。

結局本崩壊地に対しては, 山腹から溪床, さらに下方の扇状地までを一体とした一大荒廃地と考え, この一大荒廃地から大礫・巨岩の類が一挙に下流に押し出すことだけは防止するのを目標とする。こういった考え方からすれば, 大崩壊地の下にある平坦となつた扇状地は現状以上に土石貯溜に活用すべきで, 困難な土砂の直接生産地である崩壊面での固定のみに拘泥せず, ひとまず扇状地まででの土石固定を考える方が得策であろう。もちろん, 扇状地まででの土石固定手段でも不十分で, 扇状地からあふれて下流に流下する石礫もあろうが, その移動も災害時の土石流的なものは防止できれば, 平常の流出土石に対する処置は下流で充分行ないうるもので, 扇状地からの土石流防止対策は急斜の崩壊地固定にくらべればはるかに容易である。土砂生産源と災害地との間に相当の距離・時間をへだてているので, その間にできるだけ自然の力にさからわず, 逆にこれを利用するような方法を講ずべきである。

現在山腹工事の基礎としての溪間工事を行つた後, 急な崩壊面には法切・階段・山腹石積・植栽と画一的に施工されている。工事と工事の間に多少関連を欠く点があるが, それよりほどの程度の工事を行うべきかが問題である。もちろん, 経費を考えずに理想的に行えば, 溪間工事・山腹工事を完全に行つて短期間に復旧させるのにこしたことはない。しかし, 経費はかぎられていること, 佐喜浜川流域には他にも相当大きな崩壊地があることを考えれば, 本崩壊地だけを早急に復旧することのみに拘泥せず, ホフマン式工事で自然の力を利用する一方, 大工事なしで植栽可能な地に植栽してしばらく推移をながめるのも一策と考えられ, こうした考え方で一応あらく本流域内のすべての荒廃地に応急処置をほどこしてゆくべきではあるまいか。

#### Ⅳ 要 約

(1) 昭和 29 年 6 月から 9 月にかけて発生した四国水害につき, 物部川上流地区を主とし, 祖谷川地区および佐喜浜川地区を加え, 山崩状況および森林・治山工の影響を調査し, 治山対策を考究した。

(2) 物部川地区の調査結果はつぎのごとくである。

- i) 地形は急峻で, 地質は褶曲・断層の影響を受けているが, 比較的連続風化状態の土壌, 多雨地帯で平常の豪雨の訓練, 天然生林を主体とした良好な森林被覆などのために, 本地区の崩壊率は小さかつた。
- ii) 崩壊には, 山腹自体に原因のある山腹崩壊と, 溪流の侵蝕に起因する溪岸崩壊とがあり, 災害には後者が大きく関係した。崩壊は標高 800~900 m の地表傾斜がもつとも急な区域に集中している。
- iii) 大局的には本地区でも, 森林は崩壊およびこれにともなう溪流の荒廃の防止に有効であるが, それには限度があり, 浅い崩壊にはきわめて有効であるが, 深い崩壊や大規模の溪岸崩壊にはあまり

効果を期待しえない。しかし、防止機能をこえて発生した崩壊に対しても、その拡大防止および崩落土の破壊力減少の作用を周辺の森林はもっている。

- iv) 治山工は山腹崩壊の拡大防止 および 山脚固定による溪岸崩壊の防止に有効であったものが多いが、その施工には種々の条件を考慮する必要がある。
- v) 災害の原因としては、豪雨という天然誘因の影響するところが大きであるが、人為的に制御できる人工誘因としての軌道のつけかた、保全施設の不足などで大いに加速された点を重視すべきである。
- vi) 治山対策は流域全体への影響を考慮し、森林の保全的取扱い、山腹工事、溪間工事のすべてを考え合わせて樹立しなければならない。

山腹の地表、地下の不連続面という弱点を補強するような森林の取扱いを行い、浅根樹の一斉造林や地面を荒らすような伐採木搬出法を避け、局地に適応する伐採度を定めるべきである。

自然復旧の望みのない拡大や崩土流出のおそれのある崩壊地には、石材を活用した山腹工事を行い、溪岸崩壊には山脚固定工事が必要である。溪流には溪床勾配の緩和よりはむしろ山脚固定を目的とした不動基点としての低堰堤を要処に設置する。軌道保護のための溪間工事がとりあえず必要であるが、横工事を省略した護岸工は危険である。

### (3) 祖谷川地区の調査結果はつぎのごとくである。

- i) 地形は急峻で、地質は結晶片岩が断層破碎の影響を強く受け、わが国の代表的な地氈地帯の一つである。片岩風化土は水を透さずまた水に会えば脆い特異な性質を有している。
- ii) 本地区の荒廃地には、大規模な地氈、小規模な地氈、地氈性崩壊、一般的な崩壊と種々あり、地氈は石墨片岩層と緑泥片岩層の境界面または緑泥片岩層と地表層の境界面を滑動面として滲透水・地下水の影響で起っているようである。
- iii) 地氈の移動防止には、有効な場処での横穴ボーリング排水、地氈地域外への廻水、不動地点の堰堤築設による溪床洗掘防止が有効で、移動区域内の地上にコンクリートなどの堅固な擁壁・水路・護岸をつくることは避けるべきである。
- iv) 移動激基地に対する応急処置も必要であるが、土地利用状態とにらみ合わせた全般的な移動緩和対策をたてることが重要で、土地利用法改善による消極的防止措置も考慮しなければならぬ。
- v) 地氈地域の治山対策は、移動防止だけでなく、地氈地の土地利用法の検討が必要で、今後の移動が予想される処は、薪炭林や畑として利用するのが安全である。
- vi) 本地区には物部川地区と同様に一般荒廃地域に対する対策を必要とする処もある。

### (4) 佐喜浜川地区の調査結果はつぎのごとくである。

- i) 地形はかなり急峻で、地質は褶曲・断層の影響を受け、雨量は多い。森林は薪炭林が多く、美林は少ない。本地区は今回の豪雨によつて荒廃したのではなく、古くから豪雨・地震などで荒廃していた流域で、崩壊率がきわめて大きい。
- ii) 最上流部に加奈木の大崩壊地があり、200 年以前地震によつて発生したものが拡大し、その影響は遠く河口におよぶといわれる。
- iii) 加奈木崩壊地の治山工の歴史は古く、現在も継続されているが、今後なお大量の事業量が残っている。

- iv) 崩壊地の復旧は、その崩壊地の流域内におけるウエイトおよび影響範囲を考え、流域保全の見地で行われるべきで、加奈木崩壊地内のみで土砂の移動を完全にとめるのは困難であるので、下方の扇状地までを一体と考えて活用し、扇状地まででの土石固定と扇状地からの土石流防止をまず考えるのが得策であろう。
- v) ホフマン式工事などの自然力利用、工事なくとも植栽可能の地の植栽など、流域内の全荒廃地に応急処置を施すべきであろう。

#### 文 献

- 1) 小出 博：地質と災害について (5), 群馬の治山, 5, 11, (1954)
- 2) 渡辺 貫：地質工学, 古今書院, (1940) p. 59~63
- 3) 窪田四郎・井上輝一郎：大柄経営区の土壌, 林野土壌調査報告, 2, (1952) p. 69~122
- 4) 川口武雄・難波宣士：昭和28年6月の九州水害に関する調査報告 第一 阿蘇地区編 VI 砂防関係 (その1 一般対策), 林業試験場研究報告, 69, (1954) p. 97~123
- 5) 高知営林局：管内概要, (1954)
- 6) 林野庁：保安林整備計画 I 基本的対策に関する事項 西日本編, (1954)
- 7) 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) p. 11~78
- 8) 川口武雄・難波宣士：昭和28年近畿水害調査報告 第2次調査報告 山崩と治山対策, 林業試験場研究報告, 74, (1954) p. 57~108
- 9) 川口武雄：山崩の力学的要素及び数式解法について, 新砂防, 9, (1952) p. 8~14
- 10) 中 茂樹：地沓りの原因と対策, 新砂防, 7, (1952) p. 20~24
- 11) 山口 繁：全通後の土讃線に就て, 土木学会誌, 24, 1, (1938) p. 11~21
- 12) 小出 博：災害の研究 (1950年の山地災害を中心として), 林野庁, (1951) p. 75
- 13) 高知営林局：昭和28年度治山調査報告書, (1954)
- 14) 高知営林局経営部治山課直轄佐喜浜川治山事業所：治山事業概況, (1954)
- 15) 岡崎寿彦：佐喜浜川砂防調査報告書, 高知県土木部, (1954) p. 50

## Landslides and Erosion Control.

Takeo KAWAGUCHI and Senshi NAMBA

**Résumé**

From June to September in 1954, there were severe rainfalls many times in Shikoku Island. A significant feature was that the total amount of rainfall during Typhoon No. 12 reached more than 1,000 *mm* and caused a number of landslides and landcreeps on the steep slopes of the central mountain districts. With the aim of discussing the erosion control plan, we investigated on the spot at the mountain districts in the basins of the Monobe, Iya and Sakihama Rivers, choosing the most devastated districts, to inquire into the actual state of denudation and influences of forest and erosion control works on them.

The results of the field observation in each district are summarized as follows:

## (1) Monobe district:

Although the topography is steep and the geology shattered by many folds and faults, the total slide area was rather small in relation to the severity of the storm. It is a fact that the weathering figure of bed rock is nonerosible and the condition of land is trained against devastation by usual heavy rainfall, but we must accord due importance to the land preservational ability of the forest. Forest roots make surface soil so strong that they protect mountain sides from landslides on a large area, and also resist the enlargement of slides. Moreover, forest stems have the function of retaining falling stones from slides. Accordingly, in any future erosion control plan, we must consider protecting the mountain side and stream from devastation not only by engineering works, but also by conservative management of forest. Specifically speaking, the following procedures are presented.

As to forest management: Reinforcement of discontinuities on or under soil surface.

Evasion of uniform forest with shallow rooted trees.

Prohibition of timber slide or ground slide that denudes surface soil. Adjustment of cutting rate according to the degree of danger of landslide.

As to hillside work: Stabilization of unstable debris remaining in landslide area.

Prevention against enlargement of slide which can not be restored naturally.

As to work along stream: Construction of low dam, revetment or spur to prevent slide along stream. Installation of check dam to mitigate destructive power of flood water containing a large amount of sand and stone.

In carrying out the restoration plan of flood damage, it is important to estimate the influence of denuded area in question upon the whole basin.

## (2) Iya district:

Owing to metamorphism in geology, this district is one of the typical landcreep districts in Japan. Bed rocks are also shattered by faults and weather into impervious clayey soil which acts as a lubricant when it absorbs water. Though we observed some landslides proper the same as those in the Monobe district, the control of landcreeps which are slow movements of soil masses was considered to be the most important problem in this district.

To prevent landcreep, it is effective to drain the ground water out of the creeping area

and to protect it from scoring stream sides by the construction of a dam at an immovable point. In this procedure, concrete works for drainage or retaining wall should not be built immediately on the creeping area. However large in scale is the control plan against landcreeps, we must consider not only how to stop the movement but also how to utilize the moving land. Utilization of land as farm or coppice forests is one of the land uses recommended.

(3) Sakihama district:

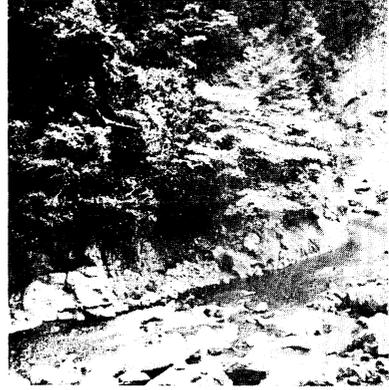
The natural conditions such as topography, geology and climate make this basin very susceptible to devastation. New landslides were not observed but there were many old aged landslides. The ratio of the slide area to the catchment area is higher than that of any other basin in Shikoku Island.

Erosion control work has been done only at Kanagi slide which expands to as large as 42 chō for about 200 years situated at the uppermost headwater district. Though this slide is the largest of all in this basin, and a large amount of sand and stone from this slide has devastated the river bed, it should not be impracticable to restore this slide in the erosion control plan. When the erosion control plan is established, we must take into account the influences affected by every landslide upon the whole basin. Regarding hillside work at the Kanagi slide—almost impossible to plant because of no soil—, it is not advisable to settle perfectly the total unstable debris within the slide area. In this case, we must extend utilization of the fan formed downward, and, with economy in mind, build check dams in order to check the rushing down of a large amount of debris.

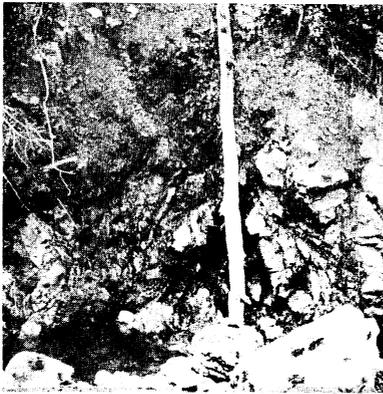
I 物部川地区



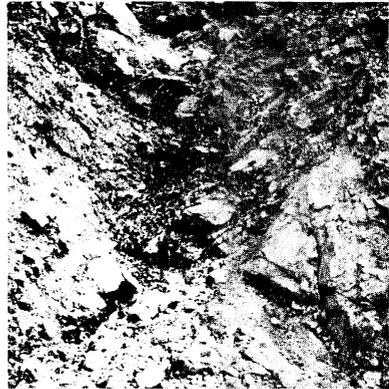
Phot. 1 上垂生川中流部



Phot. 2 槇山川中流部



Phot. 3 褶曲による基岩の破碎



Phot. 4 褶曲による基岩の破碎



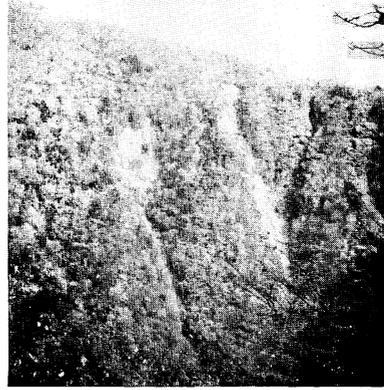
Phot. 5 スギ・ミツマタ混植地



Phot. 6 60 林班伐跡地



Phot. 7 剝落型山腹崩壊



Phot. 8 剝落型山腹崩壊



Phot. 9 滑落型山腹崩壊



Phot. 10 滑落型山腹崩壊



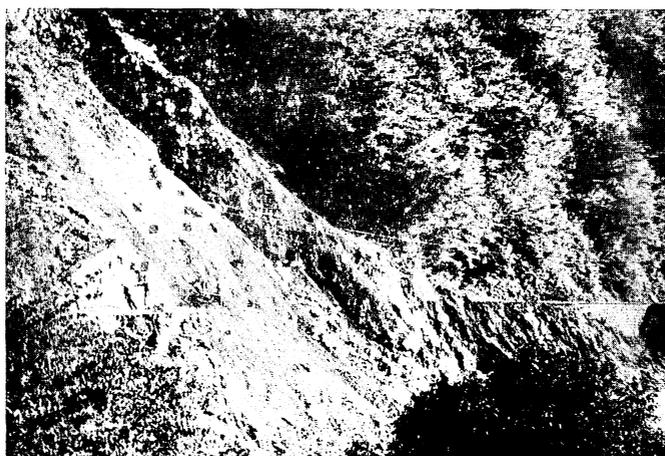
Phot. 11 地亡型山腹崩壊



Phot. 12 地亡型山腹崩壊



Phot. 13 溪岸崩壊



Phot. 14 槇山川中流の溪岸崩壊（大柝営林署撮影）



Phot. 15 槇山川中流の溪岸崩壊（大柝営林署撮影）



Phot. 16 樹根の表土支持力



Phot. 17 樹根の表土支持力



Phot. 18 樹根の表土支持



Phot. 19 樹根の表土支持



Phot. 20 溪岸の樹木の土石の留止



Phot. 21 川岸の森林、竹林の働き



Phot. 22 山腹工施工地



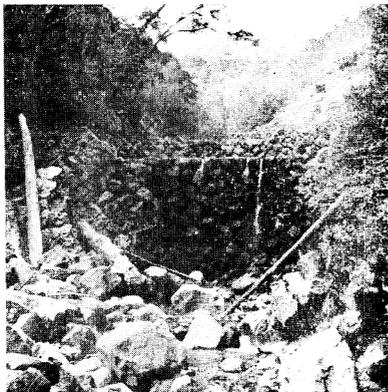
Phot. 23 山腹工施工地



Phot. 24 山腹工施工地



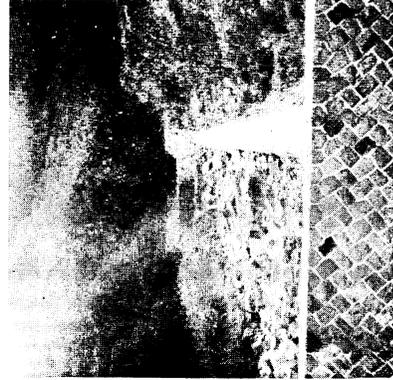
Phot. 25 上葦生影の山腹工施工地



Phot. 26 溪間工施工地



Phot. 27 溪間工施工地



Phot. 28 溪間工施工地



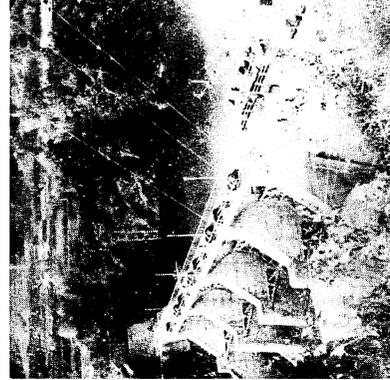
Phot. 29 溪床の巨岩



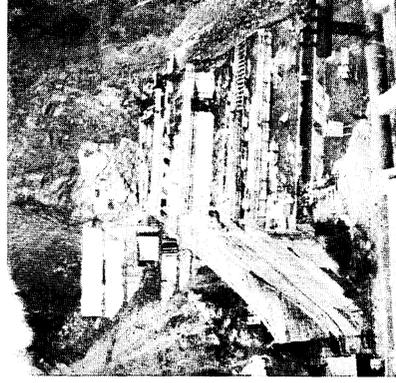
Phot. 30 放水路の破損



Phot. 31 放水路の破損



Phot. 32 吉野ダム



Phot. 33 永頼ダム

Ⅱ 祖谷川地区



Phot. 34 祖谷溪



Phot. 35 地亡跡地の部落(釣井)



Phot. 36 基岩の状態



Phot. 37 溪床の片岩(善徳)



Phot. 38 菅生の地亡



Phot. 39 古味の地亡



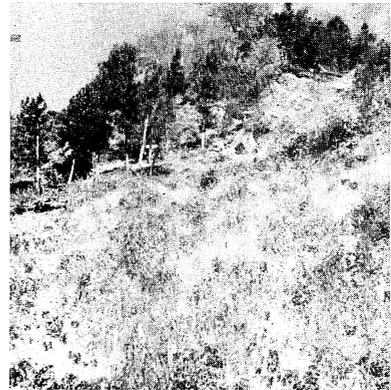
Phot. 40 榎尾の地之



Phot. 41 小規模の地之



Phot. 42 小規模の地之



Phot. 43 地之によるスギの曲り

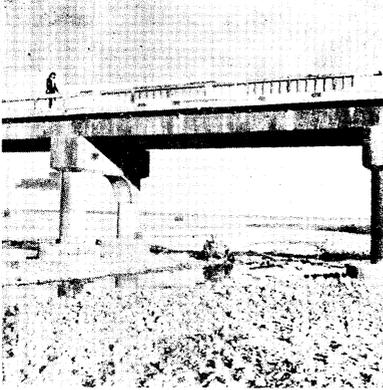


Phot. 44 破壊されたコンクリート  
擁壁（善徳）



Phot. 45 榎尾の治山工事

Ⅲ 佐喜浜川地区



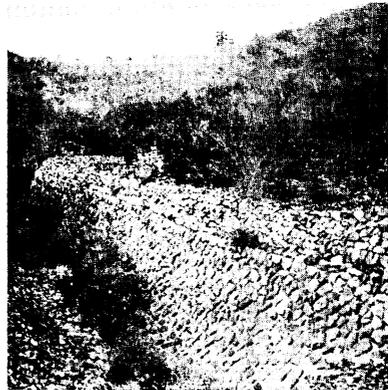
Phot. 46 河口における土砂の堆積



Phot. 47 崩壊跡地



Phot. 48 大正年間の山腹植栽



Phot. 49 大正年間の工事



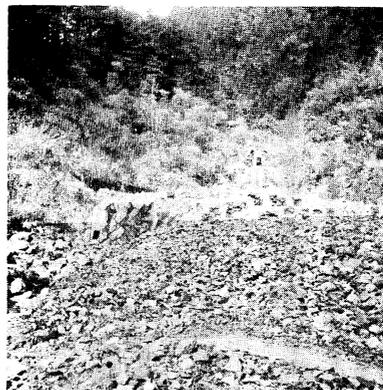
Phot. 50 施工地概況



Phot. 51 施工中の山腹工(長谷)



Phot. 52 山腹工 (苦心谷)



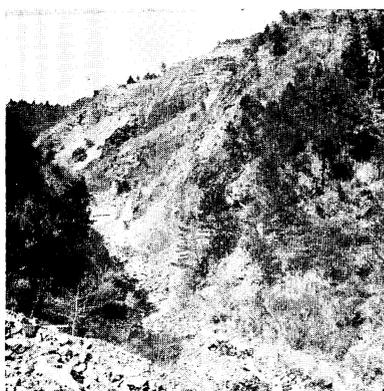
Phot. 53 溪間工



Phot. 54 溪間工



Phot. 55 溪床堆積物 (石割谷)



Phot. 56 溪床の状態



Phot. 57 崩壊跡地