

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

川 口 武 雄⁽¹⁾
難 波 宣 士⁽²⁾

目 次

I 緒 言	57
II 調査地域および調査方法	58
1. 調査地域	58
2. 調査方法	59
3. 調査地区の地況, 林況	59
III 山 崩	61
1. 崩壊, 土石流の機構, 規模	61
2. 調査地区別山崩状況	63
3. 治山工と崩壊, 土石流	70
4. 森林と崩壊, 土石流	71
5. 流出土砂量	73
IV 災 害 の 原 因	75
1. 調査地区別原因	75
2. 調査地域の原因の総合検討	76
V 治山対策および災害防止対策	77
1. 現象別対策	77
2. 調査地区別対策	80
VI 要 約	82
参 考 文 献	84
Résumé	85

I 緒 言

昭和28年7月17日, 18日に紀伊地方は, 梅雨前線による豪雨(護摩壇山を中心として和歌山県下の約1/3に300 mm以上の降雨量があつたといわれる)によつて, 紀の川・有田川・日高川・富田川・熊野川の諸河川の上流山地に山崩を生じ, 下流では洪水氾濫・流出土砂堆積によつて住宅地・耕地に被害をおよぼし, 紀伊水害(被害総額706億といわれる)を起した。

(1) 防災部治山科長 (2) 防災部治山科砂防第一研究室

その後また、8月14日、15日には寒冷前線の停滞による雷雨（東和東で683mmを観測したといわれる）によつて、京都府南山城地方・三重県島原方面の木津川流域の山地に山崩を生じ、下流では氾濫・堆積によつて住宅地・耕地に被害をおよぼし、南山城水害を発生した。

その後約1カ月余を経て、9月25日には13号台風（ところによつては7月・8月水害より水位は高かつたといわれる）によつて、またまたこの両地域に水害を生じた。

この約2カ月間に発生した紀伊水害・南山城水害・13号台風水害に対し、林業試験場防災部では10月下旬から11月上旬に高野山国有林・有田川上流花園村、南山城地方の調査を行い、筆者の1人川口も科学研究費により調査に参加し、こえて29年3月中旬に筆者2名は和歌山県下有田川・日高川・富田川・熊野川の上流山地の山崩状況を踏査した。短時日の調査で概査の程度にすぎず不備な点が多いが、とりあえず調査地域の山崩状況、森林および治山工の山崩に対する影響、考究した治山および災害防止対策の概略を報告し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調査当時の林野庁業務課、大阪営林局治山課尾ヶ井課長・上野技官・中井技官・井田技官、亀山営林署池沢治山課長・堀上野担当区主任、奈良営林署田口署長・石橋事業課長・森井技官、高野営林署和田署長・谷奥土木課長・滝担当区主任、新宮営林署金野署長・内藤治山課長・柏木経営課長、三重県庁林務課湯浅治山係長・伊賀地方事務所迎林産課長、京都府相楽地方事務所平田所長・射場林務課長、綴喜地方事務所西村林務課長、和歌山県庁林業課守吉課長・上野山治山係長・宮脇技師、伊都地方事務所米沢林務課長・太田技師、斎藤花園村長、有田地方事務所鈴木林務課長・堤技師、久保安諦村長、八幡村北峰林務係、日高地方事務所尾崎技師、西牟婁地方事務所三栖技師・赤木技師、東牟婁地方事務所坂口技師など関係各位に深甚な謝意を表するとともに、本調査の経費の一部は科学研究費（北九州等の洪水に関する研究）によつたことを附記する。

Ⅱ 調査地域および調査方法

1. 調査地域

紀伊水害・南山城水害の水害地帯中調査した河川は、紀の川・有田川・日高川・富田川・熊野川・木津川であるが、調査対象地域は広範で調査日数の関係と、上流山地の災害を主対象とするため、調査地域の諸河川流域で山崩が激甚であつたといわれるつぎの地区を調査地区として踏査した。

- a. 紀の川流域：高野町高野山国有林地区（一部は有田川上流流域である）、附図 Fig. I 参照
- b. 有田川流域：花園村有田川本流右岸地域、安諦村横谷、安諦村板尾から八幡村清水の有田川本流沿い、附図 Fig. II 参照
- c. 日高川流域：川上村彌谷・愛川、寒川村朔日・滝上・西の川および寒川沿い、附図 Fig. III 参照
- d. 富田川流域：栗栖川村滝尻、二川村近塔谷・下皆（時間の関係で踏査できず状況聴取のみ）、附図 Fig. IV 参照
- e. 熊野川流域：四村村四村川沿い、三里村三越川（時間の関係で踏査できず状況聴取のみ）、附図 Fig. V 参照
- f. 木津川流域：田原村、井手町玉川沿い、棚倉村下流、湯船村・東和東村・中和東村・西和東村の和東川沿い、大河原村（車中より望見）、島原村、上野市長田国有林、附図 Fig. VI 参照

2. 調査方法

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・土石流に対する影響につき調査した。調査地域は広範であるため、調査地域中山崩が激甚であつたといわれる地区を調査地区として選定したが、それでもなお相当広範で、できるだけ踏査するようにつとめたが、時間の関係で一部は車中より望見するか、または踏査できず状況聴取のみに終つた地区もある。

したがつて、崩壊の大いさなどを個々に実測するのは不可能であつたので、代表的・平均的なものについて目測する程度にとどめ、また、環境因子としての地表状態・林相・地質・土壌なども、今次水害の山崩との関連を観察によつて一般的傾向を見いだす概況調査の程度にとどめた。なお、高野山地区では土壌試料を採取し、その土質を一部測定したが、その結果は別項渡辺等の報告に記述することとする。

3. 調査地区の地況、林況

a. 高野山地区

調査した高野山国有林は、町役場、金剛峯寺などのある高野町中心部をはさんで大体南北2部にわかれ、海拔高は600～1,000 m程度である。

北部は紀の川支流丹生川にそそぎ、地質は古生層であるが、一部は外帯の長瀬変成帯¹⁾に属し御荷鈴層の千枚岩質粘板岩・砂岩・チャートなどがあらわれるところもある。南部は紀の川支流真志川にそそぐ部分と有田川上流御殿川にそそぐ部分があり、地質は秩父古生層（外帯の秩父帯¹⁾）で粘板岩・砂岩・チャート・輝緑凝灰岩などがあらわれる。高野山国有林は土壌は肥沃な埴壌土で、尾根にコウヤマキ・ツガ、中腹以下にヒノキ・モミの天然生林があり、人工林は70%の面積を占めスギ・ヒノキが植栽されている²⁾。

主として調査した高野町南部の国有林附近について、5万分の1地形図上に高野町役場を起点として2 cm間隔の南北・東西に走る線をひき、一辺2 cm（1 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. VIIで、その平均値は220 mである。

b. 有田川地区

有田川は高野山南方を源として西方に流れ、中央構造線¹⁾に沿う断層谷である。

上流花園村では、有田川は大体古生層と中生層の境界附近を流れる。その右岸地区は秩父古生層（外帯の秩父帯¹⁾で臼谷層³⁾）で頁岩・砂岩・角岩（多くない³⁾）・輝緑凝灰岩などよりなり、海拔高300～1,000 m程度で、断層運動によりいちじるしく擾乱された地区と考えられ、有田川にそそぐ臼谷・有伴谷・高野谷・御殿川などは断層破碎帯にできた谷とみられる。土壌は肥沃でスギ・ヒノキの人工林または採草地が多く、川岸・道路近くはシユロが多く植栽されている。調査した花園村金剛寺から安諦村横谷にいたる有田川右岸地区の花園村役場起点の起伏量を記入したのが附図 Fig. VIIIで、その平均値は350 mである。

この下流安諦村板尾から八幡村壁山附近までは、40 万分の1地質図⁴⁾から想定すると、有田川は中生層白堊紀層（井谷層・境川層³⁾）で頁岩・砂岩・石灰岩）を流れ、壁山附近ではふたたび古生層（日物川層³⁾）を流れ、この地区は海拔高200～800 m程度である。肥沃地にはスギ・ヒノキの人工林、岩石地にはマツ・広葉樹があり、川岸、道路沿いはシユロの植栽も多い。この区間の調査地区の八幡村役場起点の起伏量を記入したのが附図 Fig. IXで、その平均値は290 mである。

花園村から八幡村までの区間では、有田川は屈曲がいちじるしく多い。

c. 日高川地区

日高川は護摩壇山に発し、最後は西流する中央構造線¹⁾に沿う断層谷である。

調査した川上村・寒川村はともに、日高川がいちじるしく屈曲している断層破碎帯とみられる中流地帯で、調査地区の海拔高は200～700 m程度である。地質は時代末詳の中生層（外帯の日高地帯¹⁾）で砂岩・頁岩またはその互層である。肥沃地にはスギ・ヒノキの人工林が多く、尾根・山腹上部にはマツ・モミツガなどがあり、シュロは有田川地区に比較すると少ない。川上村調査地区の川上村役場起点の起伏量を記入したのが附図 Fig. Xで、その平均値は340 mである。寒川村調査地区の寒川村役場を起点とした起伏量を記入したのが附図 Fig. XIで、その平均値は340 mである。

d. 富田川地区

富田川二川村奥部に発し西南方へ流れ、中流より北半が中生層（外帯の日高地帯¹⁾）、南半が三紀層（外帯の牟婁地帯¹⁾）である。

調査したのは中流地帯で、栗栖川村滝尻は調査地区の海拔高は100～300 m程度で、三紀層で砂礫の多い土壌である。二川村近塔谷は海拔高200～500 m程度で、中生層で砂岩・頁岩があらわれ、土壌は浅く角礫岩層が多く、大部分20年生前後の広葉樹林地または伐採跡の灌木地であるが、一部には40年生前後のスギ・ヒノキ造林地もある。踏査できなかった二川村下皆は海拔高200～800 m程度で、和歌山県治山調査報告書⁵⁾によると、下皆は中生層白堊紀層で、明治26年の水害による最奥部の崩壊地から流出した大小の岩塊が溪床に堆積し、林相は20年内外の広葉樹林地である。近塔谷・下皆は区域が狭いので起伏量を出しても精確ではないが、その平均値は300 mを越すことは確かなようである。

e. 熊野川地区

熊野川の上流十津川は遠く奈良県に発して南流し、北山川を合わせて熊野川となつている。

調査したその支流四村川・三越川（状況聴取のみ）は、40万分の1地質図⁴⁾から想定すると、いずれも上流は中生層（外帯の日高地帯¹⁾）下流は三紀層（外帯の牟婁地帯¹⁾）で、砂岩・頁岩またはその互層である。四村川沿いは上流山地は傾斜急であるが、下流皆地附近からは傾斜はやや緩となり、林相は岩石地の広葉樹を除いては針葉樹が多く、肥沃地はスギ・ヒノキ人工林である。三越川は上流水源地は傾斜急な広葉樹林地で、三里村役場を起点としての起伏量を記入したのが附図 Fig. XIIで、その平均値は大きく390 mである。

f. 木津川地区

木津川はその源を三重県に発し、数支流合して伊賀川となり、伊賀川は名張川を合わせて西流して木津川となり、木津川は木津で方向を変じて北流し沖積平野をゆるやかに流れ、八幡で淀川本流に合流する。

調査した井手町では山地の海拔高は100～500 m程度で、玉川は腰越谷上流に発して途中大正池を通り西流し、井手附近より天井川となり、玉水で木津川本流に合流する。40万分の1地質図⁴⁾から想定すると、この左岸はだいたい花崗岩（領家地帯¹⁾）の領家花崗岩）地域で、右岸は秩父古生層（粘板岩・砂岩・チャート）である。古生層地域の肥沃地にはスギ・ヒノキの人工造林地があるが、花崗岩地域はマツその他の疎悪林が多い。井手町役場を起点とした起伏量を記入したのが附図 Fig. XIIIで、その平均値は180 mである。

棚倉村は上流山地は領家花崗岩¹⁾で、下流国鉄奈良線附近はいちじるしい天井川である。

和東川は京都・滋賀県境に発し西南流し、湯船村・東和東村・中和東村・西和東村を通つて加茂附近で木津川本流に合流する。流域山地の海拔高は100～600 m程度で、40万分の1地質図⁴⁾から想定すると和東川沿いは古生層が多いが、湯船村から中和東村の和東川左岸山地は領家花崗岩または領家変成岩¹⁾、右

岸鷲峰山方面は秩父古生層で、西和東村は大部分領家地帯の木屋花崗岩¹⁾ またはホルンフェルス¹⁾ である。林相は古生層地域にはスギの造林地もあるが、大部分はマツその他広葉樹の疎悪林地である。東和東村役場起点の起伏量を記入したのが附図 Fig. XIV で、その平均値は 200 m である。

大河原村・島原村は、海拔高 600 m 程度から 200 m 程度までは急な柳生花崗岩¹⁾ の島原断層崖⁶⁾ をなし、その下は三紀層（あるいは旧期洪積層⁶⁾）で粘土層・砂層・礫層よりなり緩斜で部落・耕地がある。林相はマツその他広葉樹の疎悪林地が多い。大河原村役場起点の起伏量を記入したのが附図 Fig. XV で、その平均値は 290 m である。

上野市長田国有林は海拔高 300 m 程度の花崗岩のマツ林地で、国有林境界まで耕地がはいりこんでいる。

Ⅲ 山 崩

1. 崩壊、土石流の機構、規模

今次水害の山崩（広義）はつぎのごとく分類できる⁷⁾。

山 崩	崩 壊	山腹崩壊：不連続が原因となることが多い山腹の崩れ。
		溪岸崩壊（側方侵蝕型山くずれ ⁸⁾ ）：溪流の侵蝕が原因となる溪岸の崩れ。
山 崩	土石流	窪地崩壊：集水が原因となる前 2 者の中間の窪地の崩れ。
		上流土石流（山津波）：崩壊 block がそのまま直進するか、一度溪に堆積して堰となるがすぐまた破れて突進する土石流。
		下流土石流：溪床がそのまま押し出されて流出する土石流。

山腹崩壊は比較的平滑とみられる山腹で、山脚を洗われたためでなく山腹自体の原因で崩れるもので、紀伊水害・南山城水害を通じてつぎの 3 型がみられた。

- (i) 山腹剝落：山腹面の裸地または地被物のうすいところなどを起点として、主として地表水の侵蝕により割に巾狭く山腹表土が剝ぎ取られるもの (Phot. 66)。
- (ii) 山腹滑落（表面型山くずれ⁸⁾）：山腹土壌が滲透水湧水により板状に滑落するもので、深さは(i)より厚く基盤露出するものが多い。ある傾斜（40° 程度）以上の急傾斜に起り、面積は普通 5 a ぐらいである (Phot. 37, 47, 50)。
- (iii) 地圧性崩壊（深部型山くずれ⁸⁾）：沁りの原因となる特殊粘土を生じやすい断層破碎部または特種岩石存在部の山腹が、滲透水による剪断抵抗の低下その他で沁るもので、崩壊地の縦断形状は Fig. 1 のようなものが多く、崩土が崩壊地中に一部分とどまり、同一崩壊地で何度もくりかえし沁るものが多く、崩れの深さは深くまた大面積に起り、比較的緩傾斜でも起る (Phot. 3, 26, 42)。



Fig 1. 地圧性崩壊
Slide of landcreep type

山腹崩壊の原因としては、山腹地表または地下の不連続に起因するものが多いとみられる。地下すなわち、深さの方向の不連続としては、(1)土質を異にする土層の境、(2)土層と基岩の境 (Phot. 43, 79), (3) 風化して亀裂の多い弱い岩盤と下の未風化の亀裂の少ない堅い岩盤の境、(4) 粘土化しやすい特種緑色岩 (Phot. 4) または断層破碎部の粘板岩・頁岩 (Phot. 28) の存在があげられ、これにより崩壊の深さが決定づけられる。地表の不連続としては、(1)道

路との接触点 (Phot. 8), (2)土層と基盤との接触点 (Phot. 50, 57), (3)地表傾斜の変換点 (Phot. 54, 75), 林相変化点 (Phot. 37, 45, 67)・地被物変化点 (Phot. 32, 38, 58)などの地表状態変化点があげられ, これにより崩壊の上端または下端が決定づけられる。

溪岸崩壊は, 溪流の曲流 (Phot. 35, 39, 55, 63, 69) または土石流の通過 (Phot. 68) などによる溪流の洗掘・横侵蝕により, 溪岸が脚を洗われて崩れるもので, 崩れの方角と崩れを起す外力の方角とは直角で, 一般に山腹剝落や山腹滑落に比し巾広く, 面積は普通 10a ぐらいである。

窪地崩壊 (Phot. 1, 31) は凹地部が, 上部は滲透水湧水による山腹滑落, 中部は地表水集水による山腹剝落 (窪地は集水により流水が多く山腹崩壊の山腹剝落に比して剥ぎ取られる厚さは深く岩盤露出するものが多い), 下部は溪流侵蝕による溪岸崩壊として崩れるものが多い, 山腹崩壊と溪岸崩壊の中間的または両者の連合したもので, 巾は 3~5m 程度が多い。

山腹崩壊・溪岸崩壊・窪地崩壊の標準的な形態は, 九州水害の場合⁷⁾とだいたい同一で Fig. 2 のごとく

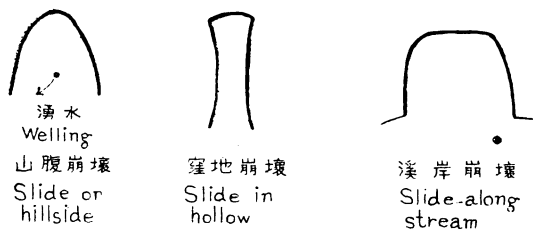


Fig. 2. 崩壊の標準形態
Standard shape of slide

であるが, 巾は地形または地被状態などによつて相当異なるものである。

紀伊水害時に降雨は 17 日夜から 18 日正午ごろが強かつたが, 18 日以降に崩壊の発生したのが多く目撃されていて, これは滲透水が山腹滑落・地性崩壊 (これによる天然ダムは 18 日~20 日にできたものが多い) の原因であることを物語り, 山腹剝落, 窪地崩壊の一部は豪雨中に起り, 溪岸崩壊は豪雨中・

その後を通じて起るものと思われる。

紀伊水害の地方では, 先年の南海地震の影響もある⁸⁾と思われ, 7 月には豪雨前にもかなりの降雨量があり土層が飽和状態であつたことも影響したのであろう。

上流土石流 (山津波) の崩壊 block がそのまま直進するもの (Phot. 46) は, ある傾斜以上の急傾斜を突進するが, その速度から考えて崩壊の初動として貯溜された滲透水の爆裂などによる大きな初速が考えられる。崩壊 block が一度沢に停止して天然堰となるがすぐ切れてまた突進するもの (Phot. 11, 13) は, 沢の方角と基盤の傾斜方向が一致する場合 (Phot. 14) に起りやすい。山津波は崩壊部と通過部と堆積部の 3 部が見られるものが多いが, 通過部は平時の小流水には比較的安定であつた沢の堆積層上層が山津波の通過で破壊され, その後の流水で gully 状に掘れるか (Phot. 46) 基盤まで露出したもの (Phot. 13) が多い。

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, 崩壊とは直接関係なく洗掘などによつてそのまま押し出されるもの (Phot. 80) である。今次水害では溜池の欠潰によるもの (Phot. 64), 7 月水害時の崩壊土砂が溪床上に堆積して天然堰となつて一時安定していたのが 9 月の 13 号台風時に欠潰したもの (Phot. 17, 25) など, dam-up の破れによる大きな下流土石流が起つたのが特徴である。

紀伊水害・南山城水害・13 号台風と 3 回の豪雨によつて, それぞれの地区に毎回どれほどの山崩を生じたかは詳細は不明であるが, その一つの目安として, この地方の国有林内の崩壊地復旧計画を営林署別⁹⁾に示すと第 1 表のごとくである。

第 1 表

災 害 営 林 署	紀 伊 水 害			南 山 城 水 害			13 号 台 風		
	個 所	面 積	流 域	個 所	面 積	流 域	個 所	面 積	流 域
奈 良	1	0.3 ha	紀の川	105	11.7	木津川	37	1.4	木津川
				36	0.4	淀 川	75	2.6	大和川
				2	0.1	大和川			
高 野	251	55.7	紀の川 有田川				16	1.3	紀の川
田 辺	73	63.0	日高川				1	1.0	富田川
	9	0.6	富田川						
新 宮	1	0.0	熊野川				22	1.6	熊野川
亀 山				308	21.7	木津川	46	4.0	木津川
				71	2.6	淀 川	30	2.0	淀 川

第1表から紀伊水害では、紀の川・有田川・日高川流域の国有林被害が多いが、この時は護摩壇山を中心として降雨があつたといわれ、山崩が多い紀の川高野町、有田川花園村・安謐村・八幡村、日高川川上村・寒川村・上山路村・龍神村、富田川二川村、熊野川三里村などをつなぐと、やはり護摩壇山を中心として南北方向が長軸の楕円形地域となる。この中に熊野川上流十津川右岸地区（高野町の隣の奈良県御迫川村の山崩もひどかつた以外の奈良県下の山崩状況を聴取できなかったもので不明である）が含まれてよいが、伯母子岳附近の奈良県十津川右岸地区にも相当山崩が発生したのではないかと想像されるが、あるいは、この地区は従来から相当崩壊地があり、ある程度崩れやすいものは崩れてしまつていて、今次水害ではあまり山崩が無かつたのかもしれない。

また、第1表から南山城水害では、木津川右岸地区の国有林被害が多いが、この時は井手・東和東・童仙房・多羅尾（附図 Fig VI 参照）を結ぶ線を中心として巾 10 km 程度の狭い地帯に豪雨があつたらしくその地帯の西和東村・東和東村・湯船村・大河原村・島原村などの領家地帯花崗岩山地に山崩が多かつた。

13号台風は前2回の水害時とは異なり、この地方全般に降雨をもたらし、第1表からは国有林被害の多いのは木津川を第1とし、大和川・淀川・熊野川・富田川各流域の国有林に山崩を起しているが、有田川・日高川の国有林被害がない。

5 万分の1地図からすると、この地方で崩壊地が記入されているのは、伯母子岳東方十津川右岸地区が大部分で、その他は白口峯北、二川村北部、三里村北部で、今次水害では、従来ほとんど崩壊地の記入されていない有田川上流地帯、日高川中上流地帯、木津川大河原・島原地帯に山崩が激甚であつたことは、5 万分の1地図作製の明治40年ごろ以前にはあまり崩壊地を発生していない地帯に、今回の山崩がひどかつたのを示している。山崩は、従来あまり豪雨が無くても崩壊を発生していなかつた地域または山崩発生後相当年数を経過した地域に、発生または再発するものであろう。

2. 調査地区別山崩状況

a. 高野山地区

7 月の紀伊水害時に高野では 543.1 mm⁸⁾ の降雨量があり、高野山国有林 40 林班の高野山事業所でも 491 mm までを観測したという。

高野町北方では、高野営林署の九度山貯木場から極楽橋にいたる森林軌道16kmの沿線に84カ所の崩壊があつたという。極楽橋・紀伊伸谷間の崩壊によって危険となつた南海電鉄線を保護するため、電鉄で崩壊下部の川岸に擁壁をつくり、崩壊部の移動に直接抵抗させようとしているが、この崩壊は上部に地へ崖らしきものがあり、また崩壊地域内には諸所に亀裂・段落があつて地へ性とみられるので、迂りの方向に直角方向の擁壁は貯溜された滲透水の爆発による破壊のおそれがあるので、丹生川の山脚洗掘を防ぐための下流地へ区域外の安全地帯の堰堤築設と崩壊地域の滲透水排水が必要である。

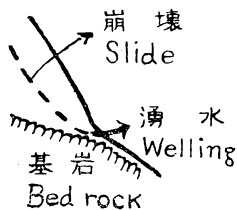


Fig. 3. 窪地崩壊
Landslide in hollow

高野町南部の踏査した高野山国有林附近では、大門南の貴志川にそそぐ地区で、Phot. 1, 2 のごとく傾斜35~40°程度の伐跡地・幼令林地の小面積の窪地崩壊・山腹崩壊が頻発している。窪地崩壊はFig. 3のごとく、上部は地表傾斜変換点の土層と基盤との接触点で滲透水が湧水して山腹滑落を生じ、それより下部は地表水の集水によつてうすい土層とすぐ下の風化して亀裂の多いもろい基盤上層を剥取つて、風化しない下の粘板岩基盤を露出させ、深さ50cm程度の巾狭いものが多い。Phot. 3に見られるごとく、この附近では伐跡地に崩壊が多く造林地に少ないが、崩壊地のない造林地小流域でも流水の多量であつたためか、沢は洗掘されて基岩が露出しているものがある。Phot. 3の前方の崩壊は、18・19林班界に発生したこの附近で最も大きいもので、Phot. 4に見られるごとく崩壊上部は基盤が露出し、崩壊の深さは浅いところでも1m以上で、崩壊中部・下部には粘土分の多い崩壊土層が厚く堆積している。これは基盤としての砂岩・粘板岩のほかに粘土化しやすい緑色岩（輝緑凝灰岩の変成したものか）の存在に滲透水が影響して発生した地へ性崩壊と考えられ、この緑色岩の存在はこの附近ではこの沢のみに見られた。またこの沢では、土層と基岩との境で滲透水が湧水するのでなく、基岩上層のいちじるしく風化して亀裂の多い部分を滲透した水が、その下の亀裂の少ない未風化基岩との間で湧水して、亀裂の多い基岩上層とその上の土層を崩壊させたのが見られる。

大門——湯川辻の道路から東方の笠松峠・薄峠を含む地区でも、Phot. 5, 6のごとく伐跡地・幼令林の小崩壊が多いが、相浦にいたる道路の貯水池上にはPhot. 7のごとく2ha程度の崩壊が発生し、土石流となつて下方の造林地を破壊して貯水池に流入している。貯水池附近は40°以上の急斜林地が、小面積ではあるが山腹滑落を起したものが多い。また、高野町から笠松峠にいたる道路は尾根を通っているが、この道路を起点としたPhot. 8のごとき山腹崩壊が見られる。笠松峠附近の急斜地には伐跡地崩壊が密集している。薄峠にいたる道路と相浦にいたる道路の交叉のトンネル附近には、Phot. 9のごとき林地崩壊



Fig. 4. 道路による崩壊
Slide due to road

が発生しているが、これはFig. 4のごとく、道路から滲入した水が傾斜変換点で湧水し、道路を上端、傾斜変換点を下端とした山腹滑落を起したものと考えられ、現在その下に山腹コンクリートを築設中であつた。この地区でもPhot. 10のごとく、基岩の粘板岩は風化して亀裂多く細片となりやすい。

薄峠より東方御殿川までの国有林は、高野山国有林の中で最も傾斜緩であるが、32林班（Phot. 11）と34林班に2~4ha程度の地へ性崩壊が発生し、御殿川左岸の30林班の地へ性崩壊（Phot. 12, 13）とともに、高野山国有林の造林地3大崩壊となつている。いずれも断層破碎部

に起つたものと思われ、崩壊源の傾斜は $30\sim 35^\circ$ ぐらい、崩壊の深さは2 m 以上もあるような深いもので、崩土が立木（尾根はヒノキ、中腹以下はスギで、スギの根は $30\sim 50$ cm 程度の深さである）をのせてまま崩壊地中腹に一部留止され、末端は土石流となつて下方の沢を洗掘し基盤を露出（Phot.13）させている。この土石流となつた沢の基岩（砂岩・粘板岩の互層で粘板岩は亀裂が多く、一部には緑色岩らしいものもある）の傾斜方向（沢の上部で 25° ぐらいの傾斜）は、沢の方向とまったく一致（Phot.14）している。30 林班の崩壊源は沢の方向と同一方向であるが、この崩壊源の隣のこれに直角な小沢では崩壊も土石流も発生せず、山腹傾斜方向・沢の方向と基岩傾斜方向が一致することは、崩壊・土石流を発生しやすくする一原因である。

高野町南部の高野山国有林および花園村辻の茶屋北方では、崩壊地は大部分北面傾斜地に発生しているが、これは基岩の傾斜方向が北が多くこれと同方向の北面山腹が崩れやすいためであろう。

高野山国有林内の崩壊地は201 カ所、その面積は45.73 ha で、一崩壊の平均面積は0.23 ha となる。

b. 有田川地区

花園村では450 mm ぐらいの降雨があつたといわれる。辻の茶屋から新子にいたる道路では、Fig.5のごとく道路が窪地を渡る時に窪地崩壊を起しているのが多く見られ、窪地の道路は排水を充分注意する必要がある。久木には採草地の大きな崩壊が見られる。花園村では池窪・中南（Phot.15）のごとく山腹高所に天水田があつたり、久木・北寺・敷地など川岸のやや平坦地に部落があるが、これはFig.6のごとく往時の崩壊跡地と考えられるところに部落が発達⁸⁾（一般に古生層山地は急斜、谷はV字形で水田・部落の適地は少ない）したものと思われる。

金剛寺上流では、Phot.16の傾斜 35° 、面積5 ha 程度の地性崩壊が、紀伊水害時に有田川を閉塞して天然ダム（Phot.15, 17 の池の上方の森林が白く見える水平線が当時の水位）となり、13号台風時に欠潰（Phot.17）して、その洪水波によつて下流に被害をおよぼした。金剛寺ではPhot.18のごとく有田川本流の堆砂は厚く、流水はその下を潜流しているものが多い。また金剛寺では、有田川にそそぐ一支沢がPhot.19のごとく、集水域のほとんど全部が地性崩壊し、その崩壊土砂は土石流となつて有田川に流入したが、その時の速さは目撃者

の話からでは30 m/s 以上の猛烈な速さと推定される。支流高野谷では、その谷頭附近でPhot.22のごとき採草地の地性崩壊や緩斜畑地の地切りがみられ、高野谷流域には地性的な崩壊が多い。高野谷・その下流の沢（Phot.20）・有付谷など有田川本流にそそぐ支流は、合流点附近の沢の堆砂がいちじるしい（各沢の上流1/4程度が侵蝕区間で、下流の堆積区間が長くまたその堆積の厚さも厚い）が、これには、13号台風時に金剛寺上流の天然ダムが欠潰して、有田川本流の水位が高くなつて各支流に逆流した影響も大きいであろう。北寺では、Phot.21のごとく傾斜 35° 程度の優良林地が5 ha 程度地性崩壊を生じ、山麓川岸の役場・人家20戸以上を瞬時に全滅させ、生存者皆無（写真の右方御堂内にいた他村民のみ助かつた）であつた。

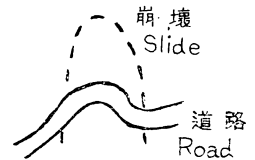


Fig 5. 道路による窪地崩壊
Slide in hollow
due to road

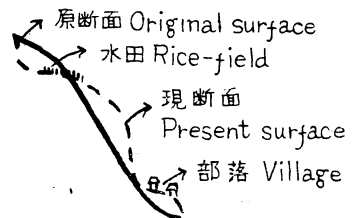


Fig 6. 水田部落の位置
Locations of rice-field
and village

有仲谷では、Phot. 26のごとく7～8 ha程度の大規模な地圧性崩壊があり、基岩の粘板岩が破碎粘土化した層より上にある土層はもちろん砂岩層までのせたままで対岸に到達し、有仲谷を閉塞して天然ダム（Phot. 27）を生じたが、やはり13号台風で欠潰している。この附近の基岩は粘板岩・砂岩が Phot. 28のごとく破碎されたり、いちじるしく褶曲したりしており、断層破碎部に当ると思われる。

花園村では、有田川は古生層と中生層の境界附近を流れる断層谷で、その流域は断層運動によって擾乱された地域で、高野谷・有仲谷・臼谷などの支流は断層破碎帯を流れる谷とみられる。

安諦村横谷は地質は古生層で土壌はわりに浅く、谷の上流 1/4 程度が侵蝕区間で掘られ、下流の堆砂（Phot. 29）の主要な根源と思われる Phot. 30 の地圧性崩壊以外は、傾斜 35° 程度の溪岸崩壊が多い。この溪岸崩壊も、前回の伐採の伐根が腐朽したところと思われる 14、5 年生のスギ・ヒノキ造林地、灌木地やシユロ植栽地（Phot. 31, 32）に多い。また、道路が窪地を横切る時の窪地崩壊（Phot. 33）が見られる。横谷は有田川との合流点附近の断面が、橋・道路で人工的にせばめられており、このため附近の人家に被害をおよぼしている。

有田川は、花園村で曲流がはなはだしいが安諦村でも同様で、Phot. 34のごとくわずかな間隔をへだててまったく反対の方向に曲流しているところもあり、この曲流のための溪岸崩壊は 0.5 ha 以上の大面積（Phot. 35）を占めるものがところどころに見られる。また、川岸のシユロ植栽地の崩壊（Phot. 36）もところどころ見られる。安諦村では、有田川は7月の紀伊水害時は土砂を多く含んで流れたが、9月の13号台風時は土砂は割に少なく水量は紀伊水害時より多かつたというが、これは花園村の天然ダム欠潰によるためと、紀伊水害時の土砂流で川床が上昇し水位が7月より高くなつたことを意味するものであろう。

八幡村はその東部の室川の谷に相当山崩があつたというが、これは有田川との合流点の安諦村井谷附近の堆砂状況（Phot. 35）からも想像される。井谷から久野原までの有田川沿いでは、Phot. 37, 38のごとき比較的小面積の山腹崩壊が見られるが、崩壊の巾は林地は狭く無立木地は広い。久野原南方の有田川曲流部には、Phot. 39の曲流の山脚洗掘による溪岸崩壊が見られる。清水やや上流では、Phot. 40のごとく有田川の氾濫堆積層の断面が見られるが、これでは円礫を有する2層の間に泥土層があり、有田川はかつて以前にも今回の水害と同じような水害を起していた⁸⁾ことがわかる。

清水部落は、その下流辻堂の発電ダムに流水が停滞する影響で水位が高まり、水害が加速されるのではないかとわれている。また、湯川川（その上流の津保国有林は、モミ・ツガの天然生林とスギ・ヒノキの人工林で、今次水害では崩壊箇所 41 箇所、崩壊面積 9.8 ha で、伐跡地からの土砂流出がはなはだしいという）が清水で有田川に合流（Phot. 41の上方が湯川川、下方が有田川で、合流点はこのやや右方で、現在では有田川は非常に濁っているが、湯川川はそれほどでない）しているが、有田川の水位が高く（13号台風時には花園村の天然ダム欠潰の洪水波の影響もあろう）湯川川は平時の合流点では有田川からの逆流のため合流できず、その上流で清水部落をつらぬいて有田川に合流し、被害を大きくしたという。清水から下流でも、有田川曲流による溪岸崩壊や沢谷附近の発電所（この附近は古生層と思われる）を送水管とともに全滅させた大きな崩壊が見られる。

八幡村内には、崩壊は1～2 a 程度の小面積のものが多く、それも伐跡地・無立木地に多いとのこと、大面積の崩壊は宮川（古生層と推定される）の約2 haの崩壊で、治山工事施行地の被害は未施行地に比して少ないという。

有田川地区では、その上流右岸の起伏量の大きい断層運動で擾乱された花園村・安諦村古生層山地に崩

壊が多く、それも地圧性崩壊とみられるものが多いことが特徴で、また有田川の曲流による大きな溪岸崩壊も多い。断層破碎部以外では林地の崩壊は少なく、あつても小面積であるが、シュロは花園村 93 町、安諦村 130 町、八幡村 280 町計 503 町¹⁰⁾も植栽され、その崩壊したものは多い。

c. 日高川地区

日高川の水量は 13 号台風時よりは 7 月の紀伊水害時（上山路の 7.17 ～7.20 の降雨量 635.5 mm⁸⁾）が多かつたといわれる。

川上村彌谷では、Phot. 42 のごとく彌谷部落のあつた約 3～4 ha 程度が地圧性崩壊を起している。崩壊上端は写真のように尾根まで達する地圧崖の岩崖が露出し、崩壊上部はスギ・ヒノキ林地で現在の傾斜 40° ぐらいで、その下には緩斜の段があり、ここに崩壊前は部落・耕地が発達し人家附近にはタケ・シュロがあり、さらにその下は現在 25° ぐらいの



Fig 7. 崩壊後の断面
Section after slide

傾斜で崩壊土層が 6～8 m 程度の厚さで堆積し下方は彌谷沢に流入している。現在の全体の形は Fig. 7 のごとくで、ここはかつて 200 年ほど前にも今回と同じような崩壊があつたといわれる。彌谷沢の右岸はかつての地圧跡の地形で、往時の崩壊土砂が沢を左岸方向に押し付けて左岸は侵蝕されて急傾斜になつてゐるものと推定される。この下流で合流する彌谷の支沢は、合流点がかつて滝となつてゐたが、現在は彌谷の堆砂で滝はなくなつてゐる。この支沢では、Phot. 43 のごとく傾斜 40° ぐらいの尾根マツ下部スギ・ヒノキ林地約 0.5 ha が厚さ 2 m 程度崩壊して基岩を露出し、その崩壊土砂は下の沢を一時堰き止めたが破れて土石流となつて下流に流出している。この崩壊の下流には、Phot. 44 のごとく互層の各層の厚さがいちじるしくうすく、また褶曲の程度がはげしい破碎されたもろい砂岩・頁岩互層が見られるが、これは断層運動の結果かと考えられ、この彌谷附近は断層による破碎部とみられる。

川上村皆瀬では、疎悪林地の小面積崩壊が数多くみられる。愛川戸瀬峠下には、Phot. 45 のごとく傾斜 35° ぐらいの林地に、上部広葉樹と下部スギとの境界附近より上が崩壊したのが 2 箇所みられ、面積は 0.4, 0.8 ha 程度で、その崩壊土砂は山津波となつて (Phot. 46) 愛川に流入し、崩壊の下部はいずれも gully 状に掘られている。愛川上流法事峠附近では、Phot. 47 のごとく巾狭い林地の崩れが多く見られる。法事峠には、Fig. 8 のごとく砂岩・頁岩互層の背斜層頂部（ここでは互層の方向が鉛直に近くなつてゐた）が圧力によつて破碎されて弱線化し、峠近くは窪地、山麓は沢となり、この弱線と道路の交点ごとに崩壊が起つてゐるのがみられた。

法事峠から上初湯川の崩壊地を遠望したのが Phot. 48 であるが、上部モミ・ツガ・サルスベリ下部スギ・ヒノキ林地に崩壊（大きなもので 1 ha 程度か）が密集して発生し、上初湯正面の谷では、傾斜 35° ぐらいの南面斜面に崩壊が多く、傾斜 30° ぐらいの北面斜面には崩壊がはるかに少なく、崩壊土砂の流出したものは谷の中ほどの緩傾斜になつた附近に相当堆積している。初湯川の上にある猪谷川も相当荒廃したとのことである。

寒川村では、寒川上流滝上で Phot. 49 のごとく、7 月の紀伊水害時に川床に相当堆砂したのが 13 号台風時に掘られたといわれ、その上流山地には崩壊地が相当発生しているらしい。滝

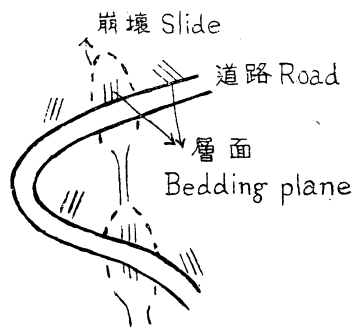


Fig 8. 褶曲による崩壊
Slide due to folding

上から下流朔目にいたる間では、Phot. 52のごとく傾斜 $40 \sim 45^\circ$ のスギ・ヒノキ林地の山腹崩壊があり、その大部分は Phot. 50のごとく山腹土層と基岩の接点で滲透水の湧水によつて崩壊した巾狭い山腹滑落または窪地崩壊であるが、なかには Phot. 51のごとく巾広く馬蹄形をなして崩土が一部下部に残留した地圧性崩壊に近いものもある。これより下流は土石流通過による溪岸崩壊や Phot. 53のごとき広葉樹林地の山腹崩壊や窪地崩壊が見られ、朔日附近は土石流堆砂（砂岩が多い）によつていちじるしく川巾が広められ、兩岸の人家・耕地に被害をおよぼしている。寒川支流西の川では、上西の川附近の傾斜 45° ぐらいの急斜山地に Phot. 54のごとく山腹滑落が密集し、下流に土石流となつて流下しその堆砂には下流では頁岩礫が多い。土井から有田川合流までの寒川本流では、曲流が頁岩よりなる溪岸を崩壊させたもの（Phot. 55）が10数カ所みられる。

日高川は護摩壇山から南流して中山路村で北流に変じ、川上村で西流に変じているが、この南流または北流する区間の日高川にはさまれた三角地帯は、中央構造線¹⁾にともなう断層運動による破砕帯とみられ、その影響の最も大きな三角形の底辺に当る彌谷・愛川・上初湯川・滝上をつらねる線上に崩壊が密集発生し、また、なかには地圧性の大面積崩壊も起つている。

日高川の隣の切目川は、上流川又の大崩壊1つを除いては流域に崩壊がなく、また、南部川も水源地帯のわずかな崩壊地を除いては山崩がないというが、これは今回の紀伊水害時の降雨の中心地帯から離れていたことと、有田川・日高川に比して地質的にも安定してるためであろう。

d. 富田川地区

紀伊水害時に栗栖川の7.17～7.20の雨量は 504.5 mm^8 ）である。

栗栖川村滝尻は、三紀層の崩壊地に昭和27年度施行された山腹工事がほとんど無被害で残り、植栽木はマツ・イチタハキが良好で、崩壊地も拡大されていないのは、工事の効果を明らかに示している。

踏査できなかつたが二川村下皆は、疎悪広葉樹林地に崩壊を生じており、明治26年の大水害時に、最奥部溪頭の持平山に山腹大崩壊を起し、その土石流で下皆部落を全滅させ、溪巾は40mの広さに拡大されたという⁵⁾。現在の溪床はその時代の押し出した砂礫からなり、溪流工事が行われていたが、今次の水害で相当破壊されたとのことである。

二川村福定附近では、富田川本流の荒廃状況は Phot. 56のごとくで、二川村の富田川本流沿いの奥部国有林地帯にも相当の崩壊があると思われる。近塔谷は傾斜 35° 前後の中生層山地が、以前から深さ20～30cmの浅い山腹崩壊（Phot. 57, 58）を起しているものが多く、伐跡地、灌木地、広葉樹林地の表土層の山腹剝落または山腹滑落が大部分であるが、40年生前後の針葉林地の板状の山腹滑落もある。近塔谷の北側は、道路の切取・捨土が崩壊して拡大しつつあるとみられるものもある。近塔谷は谷に数本の谷止

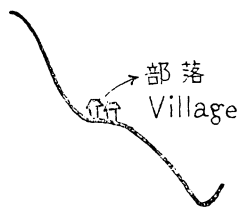


Fig 9. 部落の位置
Location of village

工が築設されており、これが今次水害ではほとんど被害をうけずに土石流を留止し、既設の山腹工事もほとんど被害をうけずに崩壊の拡大を防いでいるのは治山工の効果を示している。

e. 熊野川地区

富田川から逢坂峠を越した近露附近の日置川上流は、起伏も割になだらかに崩壊も見られず、沢も荒廃していない。

熊野川支流四村川は、その上流小広峠・不動瀑附近の中生層山地は傾斜急で、巾狭い林地の山腹崩壊が散見され、沢も荒廃しているが、中流の三紀層

地帯からは山地の傾斜もやや緩となり、崩壊地ほとんどなく、皆地附近は Fig. 9 のごとく、山腹中段のやや平坦地に耕地・人家のある部落が諸所にみられるが、これはかつての地性崩壊跡地ではないかと想像される。

踏査できなかつた三里村では、三越川の上流急斜広葉樹林地の往時からの崩壊地が今次水害で拡大し、三越川はその土石流による堆砂が厚く堆積し、藪ではいぜんから部落より3mも高い天井川となっており、今次水害でも下流土石流による被害がいちじるしいという。三越川では現在治山工事が行われつつある。

熊野川は、その上流十津川流域には崩壊地多く、その流出砂礫によつて荒されているが、これに合流する北山川はそれほど荒れていないとのことである。熊野川は川床に大礫の堆積多く、ために平底のプロペラ船（Phot. 60）が航行し、その流出砂礫は下流石英粗面岩地帯を通過して、新宮附近でも Phot. 61 のごとく非常に巾広く堆積し大礫が多い。

f. 木津川地区

宇治川上流の田原村郷の口南方、長山東方の古生層山地では、地表流水は相当の量あつたことが認められるが、崩壊は小面積の溪岸崩壊がわずかみられるだけで、沢の荒廃が場所により認められた。

玉川はその上流腰越谷や下でも、Phot. 62 のごとく相当の堆砂と土石流が見られ、その上流の古生層および花崗岩山地の荒廃が想像できる。大正池上流では、Phot. 63 のごとく曲流による溪岸崩壊がみられ、下部のスギ・ヒノキ林地が崩れ上部のマツ林地が崩れず残っている。大正池の欠潰（Phot. 64）による土石流によつて下流の被害が大であつたといわれる。大正池左岸および田村新田附近では、一部花崗岩の露出が見られるが、この附近は緩斜で崩壊は見られない。田村新田より下流では、往時の山腹石積が一部破壊したが崩壊に抵抗した例（Phot. 65）、古生層山地のスギ人工林に崩壊がないのに近接の灌木地に山腹剝落の見られる例（Phot. 66）、マツの壮齡林と幼齡林との境から起つた崩壊（Phot. 67）などがみられる。玉川は附図 Fig. XIII でわかるごとく、大正池上流より下流が起伏量大で、大正池下流では兩岸の傾斜35°程度の山腹は、古生層（Phot. 68）でも花崗岩（Phot. 69）でも、曲流部が土石流の通過によつて溪岸崩壊を起している。Phot. 70 でわかるごとく、溪岸の樹木の土石流抵抗力は、スギは弱く大木でも流出しているが、深根性のマツは強く残っている。玉川は中流以下は土石流で相当洗掘され、基岩の露出した溪谷部分が相当区間みられる。

下流井手では、玉川は相当の天井川（国鉄奈良線は玉川の川底下をトンネルで通っている）で、また、人工的に断面もせばめられており、玉川の氾濫・欠潰した水は耕地・部落にあふれ、木津川本流がまた天井川でこれらの耕地・部落より高く、調査時にはこの氾濫水がまだ排水されていない場所が相当広面積（Phot. 71 左方）見られた。玉水の玉川の堤防欠潰時には、Phot. 71 に見られるごとく、川岸林の欠けていた部分から欠潰氾濫したとのことで、また、Phot. 72 に見られるごとく、川岸の大木がよく欠潰に堪えている。井手附近の玉川左岸の花崗岩山地は、疎悪林で荒廃移行林となつている。

棚倉村では、上流花崗岩山地の平時の流出土砂で川は天井川となり、耕地・部落より6~10mも川底が高く、国鉄奈良線もその川底のはるか下をトンネル（Phot. 73の右方の白煙は汽車の煙）で通っている。今次水害では、川の堤防欠潰というよりは川底欠潰で兩岸の低地に氾濫している。川底・堤防はともに脆弱な花崗岩砂で欠潰しやすく、またところどころに横工事としての低堰堤もあるが、その堰堤直下が洗掘で欠潰しているのは注意を要する。

木津川附近の木津川岸では、タケの水害防備林が非常に有効であつたのが見られ、その竹林中の水位痕

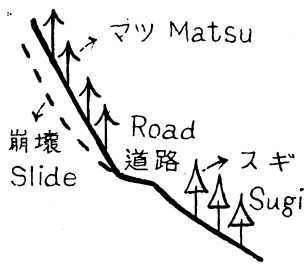


Fig 10. 林地の崩壊
Slide in forest land

跡からしても、南山城水害時より13号台風時の方が水位が高かったことがわかる。

和東川では、8月南山城水害時に東和東高校分校で683mmの降雨量の観測値(当時の木津の降雨量は113mm)があるといわれ、また、13号台風時の方が降雨のあつた範囲も広く和東川の水量也多かつたという。上流湯船村では、滋賀県境近くの花崗岩山地の崩壊はなはだしく、明治初期築設の空積堰堤も大部分破壊し、下流の高さ4mの砂防堰堤も一部を残してまつたく破壊したという。Phot. 74のごとく山腹工事地が今次水害で無被害であるのに、隣接地が崩壊しているのが

見られる。東和東村ではPhot. 75のごとく、鷲峯山の下の急傾斜古生層林地が崩壊しているが、これは上部マツ下部スギ林地でFig. 10のごとく傾斜変換点附近の道路を原因としての崩壊で、地形もやや窪地状であつたらしい。和東川の中流東和東村・中和東村では、Phot. 76のごとく川沿いの部落が被害をうけ、下流西和東村では、石寺・奥畑部落が花崗山地の崩壊(Phot. 77)から発した土石流で被害をうけている。

大河原村・島原村では、上方童仙房・多羅尾の緩斜花崗岩台地と下方関西線沿いの三紀層緩斜地との間の断層崖の急斜面が、Phot. 78, 81のごとく多数山腹崩壊を起している。この山地はマツの疎悪林が多い花崗岩山地で、Phot. 78, 81でもわかるごとく、崩壊は窪地や伐跡地に多い。山腹崩壊跡はPhot. 79のごとく基岩の花崗岩がまつたく露出したものが多いが、これは崩壊した花崗岩土は砂質で急斜地では流れやすい¹¹⁾ためでもあろう。この崩壊土砂は断層崖直下の三紀層緩斜地に発達した両村の部落・耕地に流出して被害をおよぼしたが、三紀層緩斜地にはPhot. 80のごとく下流土石流が起つている。

上野市では8月南山城水害時の降雨量400mm以上、時雨量80mmであつたという。長田国有林では、Phot. 82のごとくマツ幼齡林中に小面積の山腹崩壊が発生し、その崩壊土砂が下の耕地に流入している。

3. 治山工と崩壊、土石流

今回調査した諸地区には既設治山工が少なく、治山工の崩壊・土石流に対する影響は充分に調査できなかったが、概略つぎのごとくである。

山腹工事地は未施工地に比して崩壊したもの少なく、また工事地の被害も少ないが、これは富田川栗栖川村滝尻・二川村近塔谷、和東川湯船村(Phot. 74)の山腹工事地に被害のなかつた例、玉川井手町で往時の山腹石積が一部破壊しながら崩壊に抵抗した例(Phot. 65)、和東川湯船村で山腹工事地に被害無く隣接地に崩壊があつた例(Phot. 74)などが見られる。しかし、山腹工事地はかつて崩壊したところで一応

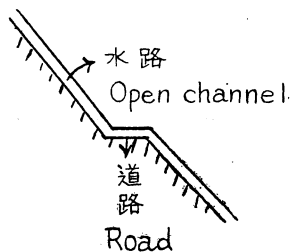


Fig 11. 水路の不適
Unfitted open channel

山腹が安定化に近づいているところであるので、しばらくは崩れ難いところと考えられ、山腹工事のため崩壊が起らなかつたとはいえないが、二川村近塔谷で見られるごとく、未施工の崩壊地は今次水害で拡大したものが多いが、施工地は拡大していないので、山腹工事は崩壊地の拡大防止には非常に効果がある。また、いかなる山腹工事をおこなつても有効であるとはいえず、たとえば有田川八幡村でFig. 11のごとく、山腹水路が道路のところで水平になつていたので、上方よりの流水がはけきれず破壊したとのことで、施工法によつて効果にいちじるしい差を生ずる。

堰堤の土石流に対する効果は、たとえば有田川島屋城村で官行造林地

には堰堤があつて土石流を防止し、近接の堰堤の無いところでは土石流による被害がはなはだしい例、富田川二川村近塔谷では堰堤が溪の洗掘を防止して土石流に対抗している例があるが、二川村下皆のごとく堰堤があつても破壊した例もある。また、和束川湯船村では明治時代の空積堰堤が破壊したための土石流で、下流の高さ4mの砂防堰堤を破壊している。これは花崗岩地帯では、上流よりの流出土砂が溪床に厚く堆積するので、この上の堰堤は洗掘・揚圧力に対抗できるように前庭・基礎を堅固にする必要があることを示している。また、棚倉村のごとく花崗岩風化土の堆積した天井川溪床では、堰堤の前庭が堅固でないと堰堤直下の洗掘でかえつて川底が欠潰することもある。

治山工ではないが、発電堰堤のため水位が上昇して上流が水害をうけたり、また発電堰堤直下が洗掘によつて溪岸崩壊を起したりすることにも注意を要する。

4. 森林と崩壊、土石流

山崩は森林の良否との関係のみで起るものでなく、一般に降雨・地質・地形・地被状態などの総合的関連のもとに発生するので、調査した山崩現象のなかから森林との関連のみを取り出して厳密に論ずるのは困難であるが、調査の範囲内では概略つぎのごとくである。

まず、山腹剝落・山腹滑落・窪地崩壊は伐跡地や無立木地に多い。これは高野山地区の Phot. 1, 3, 5, 有田川地区の Phot. 24, 32, 33, 38, 木津川地区の Phot. 66, 78, 81 などにみられる。林地では崩壊は幼令林や疎悪林に多く、これは高野山地区の Phot. 2, 6, 有田川地区の Phot. 31, 37, 日高川地区の Phot. 45, 47, 48, 53, 富田川地区の Phot. 56, 57, 58, 木津川地区の Phot. 67, 69, 79, 82 などにみられる。樹種としては、深根のマツや老壮令広葉樹が浅根のスギなどより崩壊に強く (Phot. 63, 65, 79, 82)、シユロは根は深いものでも 50 cm ぐらいで崩壊にはなはだ弱い (Phot. 24, 31, 32, 36, 53)。

以上のことは比較的浅い深さの崩壊に対しては、深根性のマツや老壮令広葉樹は、根は基岩に到達して土層と基岩を連結して崩壊に抵抗するが、深根の無い無立木地、伐根の腐朽した伐跡地、他の林木との根の横の連絡がない疎悪林、根がまだ浅くしかも前生樹の伐根が腐朽する時期の幼令林、浅根性のスギ・シユロなどでは、土層と基岩との連結が充分でないことを示し、たとえば、高野山地区のごとく土層の厚さが 50~100 cm で基岩が亀裂の多いところでは、基岩に根を深く入れる深根樹 (Phot. 10) の存在で崩壊は相当防止できるものと考えられる。

老壮令林地では崩壊しても、その形は無立木地などの馬蹄形に比して巾の狭い細長い形 (Phot. 37, 47, 50, 52, 54, 75) となり、それも窪地状の地形に発生したものが多い。森林は崩壊の拡大防止には非常に有効に働いている。

崩壊の起点（上端または下端）は、樹種の差・樹令の差など林相が変化した点 (Phot. 2, 37, 45, 53, 65, 67, 75)、または林木と草・林木と灌木など地被物の変化した点 (Phot. 32, 38, 58) であることが多い。

地質的要素が大きく影響し崩壊の深さも厚い地性崩壊に対しては、様相はまったく一変して山腹の森林の状態には無関係で、大木もほとんど立つたままの状態で迂り出すが (Phot. 11, 12, 16, 19, 21, 23, 26, 42, 51)、これは樹根の深さよりもなお深いところに粘土質面を生じて迂るので、森林では防止できない normal erosion の範囲の現象である。

調査地域内の森林と崩壊の関係を統計的に検討することは、資料がほとんど無いので、全部については不可能であるが、高野営林署調査の高野山国有林・津俣国有林の資料は第2表のごとくである。

第 2 表

種 別	高 野 山 国 有 林			津 俣 国 有 林		
	総 面 積 (ha)	崩壊個所数	崩 壊 面 積 (ha)	総 面 積 (ha)	崩壊個所数	崩 壊 面 積 (ha)
天 然 林	350	1	0.10	177	2	0.90
伐 跡 地	45	7	0.58	83	5	1.20
造 林 地	1,812	193	45.05	279	34	7.70
計	2,207	201	45.73	539	41	9.80
備 考	造林地には地亡大崩壊個所8.8 haを含む			天然林崩壊はその中の無立木凹地である造林には地亡大崩壊を含む。		

第2表から各占有面積 100 ha 当りの値に換算すると第3表がえられる。

第 3 表

種 別	高 野 山 国 有 林		津 俣 国 有 林	
	占有面積 100 ha 当り崩壊個所数	占有面積 100 ha 当り崩壊面積(ha)	占有面積 100 ha 当り崩壊個所数	占有面積 100 ha 当り崩壊面積(ha)
天 然 林	0.3	0.03	1.1	0.51
伐 跡 地	15.6	1.29	6.0	1.45
造 林 地	10.7	2.49	12.2	2.76

第3表の値からは、崩壊個所・面積とも天然林が最小で、崩壊面積は造林地が最大であるが、造林地は土壌の厚い地亡性大崩壊を起しやすい地が適地でもあるので、大面積の地亡性崩壊を発生した関係から大となつている。

また、第2表の造林地については、樹令5年ごとの令級別に第4表の資料がある。

第 4 表

林年令	高 野 山 国 有 林				津 俣 国 有 林			
	総 面 積 (ha)	崩壊個所数	崩 壊 面 積 (ha)	備 考	総 面 積 (ha)	崩壊個所数	崩 壊 面 積 (ha)	備 考
1～5	370	118(31.9)	22.85(6.18)		88	18(20.4)	3.80(4.32)	
6～10	84	16(19.0)	3.73(4.44)		48	2(4.2)	0.40(0.83)	
11～15	105	9(8.6)	1.97(1.88)		35	4(11.4)	1.00(2.86)	
16～20	89	14(15.7)	2.90(3.26)		43	10(23.3)	2.50(5.81)	地亡崩壊
21～25	133	15(11.3)	2.63(1.98)		21	0(0)	0(0)	
26～30	72	1(1.4)	1.50(2.08)		21	0(0)	0(0)	
31～35	106	6(5.7)	4.48(4.23)	地亡崩壊 1				
36～40	154	1(0.6)	0.09(0.06)					
41～45	282	13(4.6)	4.90(1.73)	地亡崩壊 2	23	0(0)	0(0)	
46～50	215	0(0)	0(0)					
51～55	93	0(0)	0(0)					
56～60								
61～65	109	0(0)	0(0)					

第4表の()内の数字は各占有面積100ha当りの値に換算したもので、高野山国有林の林令1~5年の個所31.9,面積6.18haの値はThompsonの棄却検定で5%の危険率で棄却でき、林令1~5年の幼令が他の林令に比して崩れやすいといえる。しかし、ある林令には地亡大崩

壊が含まれ林令の影響をただちに示しておらぬので、地亡大崩壊の影響をなるべく消す目的で、1令級を10年ごととして各占有面積100ha当りの値に換算したのが第5表である。

第5表の値を図示したのがFig. 12で崩壊歩合(占有面積100ha当り崩壊個所数または崩壊面積)は令級の増大とともに減少していく傾向がみられる。津俣国有林のII令級が大きいのは地亡崩壊の影響がまだ充分消されていないためであろう。

また、花園村・五村・高野山の崩壊地調査⁸⁾の結果では、10年以上の植物の生えている所と10年以内の植物または伐採状態の所に比べると、同一占有面積当りの崩壊面積は前者1に対し後者5であつたという。

樹令と崩壊歩合の関係は従来の資料とともに検討中であるが、大体Ⅰ令級までぐらひは崩壊歩合 P と林令 t の間には、

$P = P_0 e^{-at}$ (P_0 は $t=0$ の P , a は常数) の関係があり、 t の増加とともに P は減少し、Ⅵ令級ぐらひからはまた P が増加するようである¹²⁾。

森林に土石流が衝突すると、水は速度を減じて通過させるが土石流中の巨岩は留止される。また、森林が障害物となつて土石流の方向を転換させた場合も多い。土石流に対する抵抗力は、地上部が喬大な割に浅根なスギよりは深根性のマツが強い例 (Phot. 70) が多くみられる。

川岸の原木が堤防の欠潰を防ぎ、川岸林の切れ目で堤防が欠潰した例が、玉川の玉水で Phot. 71, 72のごとく見られる。また、木津町上流の木津川岸のタケの国有水害防備保安林が木津町の水害防止に有効であつた例もある。

5. 流出土砂量

流出土砂量は崩壊地・溪流の測量が行われなければ正確な数字はえられぬので、崩壊地面積の数字すらもわからずに計算することは、まったく想像の域をでないが、有田川流域の八幡村より上流の山地から有田川本流に流出した土砂量を推算してみると、つぎのごとくなる。

第 5 表

令 級	高 野 山 国 有 林		津 俣 国 有 林	
	占有面積 100ha当り 崩壊個所数	占有面積100 ha当り 崩壊 面積 (ha)	占有面積 100ha当り 崩壊個所数	占有面積100 ha当り 崩壊 面積 (ha)
I	29.5	5.85	1.47	3.09
II	11.9	2.51	1.79	4.49
III	7.8	2.01	0	0
IV	2.7	1.76		
V 以上	1.9	0.70	0	0

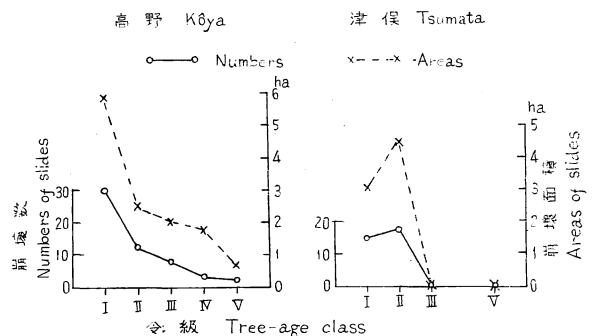


Fig. 12. 令級と崩壊数, 崩壊面積
The relations between numbers and areas
of slides and tree-age class

八幡村より上流の山地面積は 250 km^2 程度で、高野山国有林内の荒廃率（崩壊地面積の全占有面積に対する割合）2.1%，津俣国有林内の荒廃率 1.8 % から想像して、この地域内の山地の荒廃率は 2～3 % 程度とみられ、崩壊地面積は、

$$250 \text{ km}^2 \times 0.025 \div 600 \text{ ha}$$

程度となる。この崩壊は地亡性大崩壊（平均崩壊深さ 3 m）1，山腹滑落型崩壊および溪岸崩壊（平均崩壊深さ 1 m）3，山腹剥落などの小崩壊（平均崩壊深さ 0.5 m）1 ぐらいの割合で起つていているとみられるので、崩壊土量は、

$$600 \text{ ha} \times 1/5 \times 3 \text{ m} + 600 \text{ ha} \times 3/5 \times 1 \text{ m} + 600 \text{ ha} \times 1/5 \times 0.5 \text{ m} = 120 \text{ ha} \times 3 \text{ m} + 360 \text{ ha} \times 1 \text{ m} + 120 \text{ ha} \times 0.5 \text{ m} = 780 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となり、このうち 1/3 が山地に留止されているとみると、崩壊土砂の流出量は、

$$780 \times 10^4 \text{ m}^3 \times 2/3 = 520 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となる。沢はその上流 1 km 程度の区間が掘られたものが多いので、その洗掘量は、

$$4 \text{ m (平均巾)} \times 2.5 \text{ m (平均深さ)} \times 1,000 \text{ m (平均長さ)} \times 135 \text{ (沢数の } 3/4) = 135 \times 10^4 \text{ m}^3$$

で、このうち 1/3 が有田川との合流点までの下流に堆積したとすると、有田川本流への流出量は、

$$135 \times 10^4 \text{ m}^3 \times 2/3 = 90 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となる。合計、

$$520 \times 10^4 \text{ m}^3 + 90 \times 10^4 \text{ m}^3 \div 610 \times 10^4 \text{ m}^3$$

が有田川本流へ流出した計算となり、流域山地面積 1 km^2 当りでは、

$$(610 \times 10^4 \text{ m}^3) \div 250 \div 2 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となる。有田川の川床堆砂は $1,500 \times 10^4 \text{ m}^3$ で、八幡村清水より上流では流路延長 29.5 km，川巾 45 m，堆積厚さ 3～5 m といわれ⁹⁾，これでは八幡村より上流の川床堆砂は $530 \times 10^4 \text{ m}^3$ でだいたい上記の山地よりの流出土量推算値と同程度となるが、下流に対しては有田川本流沿いの道路の欠潰，田畑の流出（花園村の田畑流出・埋没 54 町）による流出土量（ $200 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上かと思われる）が大きく影響すると思われる。また、有田川の山腹土砂崩壊は、 $3,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ ¹³⁾ともいわれるが、これでは有田川流域の山地崩壊は 3,000 ha 程度となるが、これはやや過大と考えられる。

日高川では柳瀬・甲斐川・五味・越方・高津尾・船津の各発電堰堤の堆砂は、昭和 23 年 1～8 月までの 20～40 年ぐらいの平均¹⁴⁾で、1 カ年に流域 1 km^2 当り最大 $0.018 \times 10^4 \text{ m}^3$ の流出土砂量であり、いずれも 80～130 % の堆砂率で低堰堤の堆砂のいちじるしい例となつてているが、これは昭和 23 年の南海地震の奥地山崩によるといわれ、今回の水害の崩壊地からの流出土砂で堆砂はいちじるしく増大していると思われる。

富田川では昭和 26 年度治山調査の結果⁵⁾では、崩壊地よりの流出土砂量は昭和 26. 6. 10～27. 3. 25（降雨量はこの間栗栖川村栗栖川で 1,776.6 mm，最大日雨量 107.0 mm，二川村福定で 2,058.5 mm，最大日雨量 118.2 mm）に、下皆の 0.144 ha の崩壊地より 3.9 m^3 ，近塔谷の 0.38 ha の崩壊地より 5.2 m^3 ，0.59 ha の崩壊地より 10.2 m^3 ，0.4 ha の崩壊地より 4.8 m^3 で、流出土砂深にして 1.2～2.7 mm である。これは約 9 カ月間の数値であるので、1 年間の数値（他の 3 カ月もこれと同じ割合の流出土砂深として）に換算すると 1.6～3.6 mm で、だいたい年流出土砂深は 3 mm 程度である。富田川流域では崩壊地 500 町，はげ山 70 町，荒廃移行地，490 町，計 1,060 町の荒廃地があるので、富田川流域の荒廃地よりの年流出土砂量は、

$$1.050 \text{ ha} \times 3 \text{ mm} = 3.2 \times 10^4 \text{ m}^3$$

で、富田川の集水面積約 250 km^2 に対し 1 km^2 当り、

$$(3.2 \times 10^4 \text{ m}^3) \div 250 = 0.013 \times 10^4 \text{ m}^3$$

となり、この数字は一平常洪水の流出土砂量¹⁵⁾に匹敵し、大水害時の流出土砂量¹⁵⁾の $1/30 \sim 1/300$ 程度であり、やはりこの平時の流出土砂を 100 年ぐらい放置すれば 1 回の大水害の流出土砂量と同程度になる。

木津川支流山城谷川では京大の調査結果¹⁶⁾によると、今次水害で流域 1 km^2 当りの総流出土砂量は $25 \times 10^4 \text{ m}^3$ で、そのうち山腹上部の崩壊の流出土砂量は $11 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、溪流の侵蝕によるもの $13 \times 10^4 \text{ m}^3$ （うち溪床侵蝕 $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ ）となつてゐるが、これは流域面積が小さいことと、花崗岩地帯で花崗岩質土は流れやすいことによると思われ、昭和 13 年の神戸附近の水害時の花崗岩山地の流出土砂量集水面積 1 km^2 当り $0.5 \sim 10.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ に比して大きくなつてゐる。

流出土砂量のうち崩壊によるものと土石流の洗掘（溪床の侵蝕）によるものとは、有田川では推算で正確ではないがそれぞれ 85 %・15 %、山城谷川ではそれぞれ 70 %・30 % 程度で、やはり前者が多くなつてゐる。

IV 災害の原因

1. 調査地区別原因

災害を発生する因子としては、天然素因としての地形・地質・土壌、天然誘因としての気象（降雨）・地変、人工誘因としての土地利用法、その他天然・人工原因の組合わさつたものなどがあるが、これらについて調査地区別に山地災害を主として検討するとつぎのごとくなる。

a. 高野山地区

地質は断層破碎部の基岩の破碎・粘土化および一部緑色岩の存在が地圧性崩壊を起し、沢の方向と基岩の傾斜方向の一致が山津波を起しやすくしている。地形は調査地域の古生層地帯のうちでは傾斜緩な方であるが、それでも崩壊の密集しているのは、笠松峠附近など Fig. VII で大体 260 m 以上の起伏量を示す区域である。降雨はもちろん 7 月の紀伊水害時の豪雨が影響し、先年の南海地震によつて地盤が擾乱され大雨によつて崩壊しやすい状態になつていたと考えられる。地圧性崩壊を除く山腹崩壊、窪地崩壊は、伐跡地・幼齢林に多く老壮齢林の林相良好地には少なく、また、道路と関係する崩壊が多い。保全施設は従来あまり行われていない。

b. 有田川地区

地質は各支流が断層破碎帯に沿つた谷で、基岩の破碎・粘土化が大きな地圧性崩壊を起した主要原因である。地形は上流花園村・安諦村では急で、大部分が Fig. VIII, IX で起伏量 300 m を越している。有田川の曲流はなはだしく、これによつて大きな溪岸崩壊を起しているが、溪岸崩壊の密集するものも Fig. VIII, IX の起伏量 300 m を越すところに多い。降雨は 7 月の紀伊水害時の豪雨が影響し、先年の南海地震の影響も高野山地区と同様である。地圧性崩壊は優良林地でも起つてゐるが、その他山腹崩壊や溪岸崩壊はやはり伐跡地・幼齢林に多く、シユロ植栽地の崩壊が多い。保全施設は従来あまり行われていない。7 月水害時の崩壊土砂の谷閉塞で形成された天然ダムが、13 号台風で欠潰したことは、花園・安諦・八幡村の一部の水害を大きくしている。

c. 日高川地区

川上村・寒川村は、日高川が南流・北流の反対方向に流れる区間にはさまれた三角形の断層破碎域の底

辺部にあたり、断層運動による中生層基岩の破碎・粘土化が最もいちじるしいと思われる部分で、これが地圧性崩壊の主原因と考えられる。地形はいずれも急で、Fig. X, XIでやはり起伏量が300 mを越す部分に崩壊が密集している。また、谷の筈人蛇行による溪岸崩壊も多い。降雨は7月水害時の豪雨が影響し、13号台風時には影響は少なかつと思われ、南海地震（当時の奥地山崩は相当あるとのこと）の影響は大きい地区と考えられる。シュロは有田川地区に比して少なく、林相の崩壊に対する影響がわりに認められない、normal erosion の地区とみられる。保全施設は一部を除き従来あまり行われていない。

d. 富田川地区

地質は中生層・三紀層基岩の褶曲・風化がはげしく、土壌は礫の多い浅い土壌で、これが山腹剝落型崩壊が多い原因である。地形もやはり急である。降雨は7月紀伊水害時の豪雨が影響し、既崩壊の拡大および崩壊地よりの土砂流出が主である。南海地震も影響の大きい遠因と思われる。林相は疎悪幼令広葉樹林地・伐跡地が多く、山腹剝落型崩壊の原因の主要部分を占め、道路の切取・捨土も重要な関係を有するとみられる。治山工は一部に相当行われ、崩壊の拡大防止・土石流防止に有効であつた地区である。

e. 熊野川地区

上流の急峻な中生層地区に崩壊が多く、地形は三越川流域は Fig. XIIのごとく調査地区中最大の起伏量を示し、400 mを越す部分が半分以上あり、旧崩壊からの流出土砂で下流は天井川である。この地区は7月の紀伊水害時よりは13号台風時の降雨の影響が大であつたと思われる。林相の差の山崩に対する影響はあまりいちじるしくない地区で、三越川の一部には従来から少し治山工が行われている。新生崩壊よりは旧崩壊からの土砂流出、旧崩壊の拡大がはげしかつたと思われる。

f. 木津川地区

玉川・和束川とも古生層地区よりは花崗岩地区に崩壊が密集し、花崗岩断層崖の大河原・島原地区がもつともひどい。起伏量は古中生層の紀伊地方にくらべれば一般に小さいが、断層崖の大河原・島原はやはり大きく300 mを越す部分が半分以上ある。古生層でも起伏量の大きい鷲峯山附近に崩壊が多い。各支川はいずれも上流山地よりの平時の流出土砂で天井川となつてゐるが、本流の木津川もいちじるしい天井川である。土壌は花崗岩風化土は砂質で急斜地では流出しやすい。降雨は8月の南山城水害時の豪雨が影響し、また13号台風の降雨も下流被害に大きく影響している。林相良好の古生層山地には崩壊少なく、花崗岩山地の幼令林地・疎悪林地・伐跡地に崩壊が密集する。川岸林の整備されたところでは下流被害が軽減されている。治山工は一部には既設のものがあつて、崩壊の拡大防止、土砂流出防止に有効に働いているが、空積などの安全度の低い施工は有効でなかつた。玉川では溜池欠潰がそれより下流の災害を大きくした。この地区は8月水害時の流出土砂で川床が上昇したところへ、引続き13号台風の出水があつたことが大きく影響している。また、各支川の木津川合流点附近は人口が多く、土地利用に追われて河川断面が小さくなつたり、川岸林が欠陥したりしていることが下流災害に拍車をかけている。

2. 調査地域の原因の総合検討

以上紀伊水害・南山城水害・13号台風の紀伊地方・南山城地方の調査地域全般について、災害原因を一括すると第6表になる。

第6表からすると、天然素因としての地質（断層、花崗岩地帯）・地形（急斜、河川曲流、天井川）に天然誘因としての豪雨・地震などの天然原因が大きな役割をなしているが、林相不良（伐跡地、幼令林、疎悪林、シュロ）・道路・保全施設不足などの人工誘因が災害を加速したもので、天然ダム・溜池の欠潰

第 6 表

調査地区	天然素因	天然誘因	人工誘因	その他
高野山地区	断層破碎帯および緑色岩	7 月紀伊水害時豪雨および南海地震	伐跡地, 幼令林, 道路, 保全施設少	
有田川地区	断層破碎帯, 急斜, 河川曲流	7 月紀伊水害時豪雨および南海地震	伐跡地, 幼令林, シュロ, 道路, 保全施設少	13 号台風による天然ダム欠潰
日高川地区	断層破碎帯, 急斜, 河川曲流	7 月紀伊水害時豪雨および南海地震	保全施設少	
富田川地区	基岩風化, 急斜	7 月紀伊水害時豪雨および南海地震	疎悪林, 伐跡地, 道路	既崩壊の拡大, 土砂流出
熊野川地区	急斜, 天井川	13 号台風豪雨	保全施設少	既崩壊の拡大, 土砂流出
木津川地区	花崗岩およびその風化土, 断層崖急斜, 天井川	8 月南山城水害および 13 号台風豪雨	疎悪林, 伐跡地, 川岸林不備, 不完全保全施設, 河川下流断面小	溜池欠潰

が災害の程度を増加させた。また、下流の災害に対しては、豪雨が 2 回あつたこと、天井川であること、下流の河川断面が小なこと、川岸林が不足であつたこと、流木があつたことなどの影響も大きい。

災害の様相別にみると、断層破碎帯の原因する地亡性崩壊（高野山地区・有田川地区・日高川地区）、急斜・河川曲流の原因する溪岸崩壊（有田川地区・日高川地区）、急斜（1 km 幅目の起伏量が 300 m 程度以上）と林相不良が原因する山腹崩壊（地亡性崩壊を除く）、窪地崩壊（全地区）、天井川が原因する下流災害（熊野川地区・木津川地区）がある。いずれも豪雨が誘因となつていることはもちろんである。

山地災害を地区別にみた場合には、比較的林相は良好であるが断層破碎帯という天然原因による古中生層の地亡性崩壊が目だつ normal erosion 的な有田川地区・日高川地区（流域全体の 2 km 幅目の起伏量は、有田川 450 m、日高川 440 m でだいたい同じであるが、有田川では海拔高 0～550 m 程度が晩壮年、550～800 m 程度が満壮年、800 m 程度以上が早壮年に対し、日高川では晩壮年 0～500 m 程度、満壮年 500～750 m 程度、早壮年 750 m 程度以上と、有田川の方が日高川よりやや解析¹⁷⁾が進んでいる）と、疎悪林相の影響が大である花崗岩地帯の崩壊が目だつ accelerated erosion 的な木津川地区とが対照的である。

V 治山対策および災害防止対策

1. 現象別対策

a. 崩壊防止および崩壊土砂流出防止

山腹崩壊のうち、山腹剝落は山腹地表を一樣な密な植生で被覆することと、集水するところの排水が防止法となる。山腹滑落は山腹のなんらかの不連続によることが多いので、この不連続を取除くことが防止方法となるが、この不連続は人為的に変更不可能なことが多い地質・地形・土壌に起因するものが多いので、可能な不連続除去方法としては、深根樹による土層と下の基岩との連結、道路と山腹の接触点の排水、山腹の地被物・林相の一樣化などがあげられる。地亡性崩壊はある程度発生する個所が予測できるので、これに対しては地下排水などの積極的措置と危険性のあるところには人家を建てぬなどの消極的措置を場所によつて適宜使用する。

溪岸崩壊は溪流の縦侵蝕を防ぐための階段低堰堤の築設が必要であるが、数多くの堰堤を設置すること

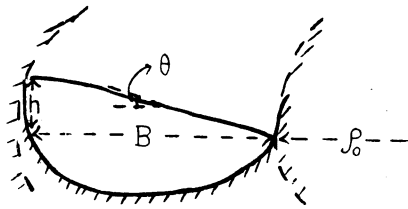


Fig. 13 曲流
Meander

第 7 表

ρ_0 m	B m	v m/sec	h m
100	5	10	0.5
"	10	20	3.9
150	10	10	0.7
200	25	10	1.2
"	40	5	0.5
"	"	10	1.9
300	"	5	0.3
"	"	10	1.3

は経費的に不可能であるので、溪流の要所を

選んで土石流侵蝕に対抗する不動基点となる堅固な低堰堤を設置するようにする。溪流の横侵蝕防止には、山腹と溪流の接点附近に深根樹を植栽して護岸の代用とする。河川曲流を修正可能な場所ではできるだけ直流とすることおよび曲流部では Fig. 13 のごとく¹⁸⁾ $\rho \cdot B \cdot v$ をそれぞれ曲率半径・川巾・流速として、

$$\tan \theta = \frac{dh}{d\rho} = \frac{v^2}{\rho g}$$

$$h = \int_{\rho_0}^{\rho_0 + B} \frac{v^2}{g} \frac{d\rho}{\rho} = \frac{v^2}{g} \log_e \left(1 + \frac{B}{\rho_0} \right)$$

外側凹岸は内側凸岸より h だけ（第7表）水面が高くなることを考慮して護岸などを設置することが必要である。

窪地崩壊を防止するには、窪地は集水により崩壊するので、たとえ林地であつても排水工を設置するのが望ましく、特に道路が窪地を横切る時は充分の排水工を設置する必要がある。

古中生層の崩壊跡地には、拡大防止を行えば自然復旧できると思われるものが多い。崩壊土砂が沢に流出する前に緩斜地で留止されているものは完全に留止されて植生が自然に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 の発生などがみられるところは、早急に緑化して流出を防止する必要があり、花崗岩地帯に特にこの必要がある。また、崩壊土砂が凹地に留止されているものは、飽水による流出を防ぐため地表または地下の排水が必要である。

また、normal erosion の強いところでは、今後もある程度の崩壊は覚悟せねばならぬので、今後の崩壊土砂の流出に備えて、平時には貯砂せず洪水時のみに貯砂するように水抜を大きくした防災堰堤も必要であると考えられる。

b. 土石流防止

崩壊 block がそのまま直進する山津波は、急斜面上で直接これを留止することは不可能であるので、その根源である崩壊の発生を未然に防止するか、緩斜面に山津波留止地帯を設けて平時は畑・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。崩壊 block が一度沢に堆積して堰となるが、すぐ破れて突進する山津波に対しても、根本的にはその根源の崩壊の発生を防止することであるが、溪流の勾配が緩になればこの型の山津波はある程度留止可能で、溪流横工事で溪床勾配を緩にすることが考えられるが、多数の堰堤を階段状に設置することは経費の点で不可能であるので、むしろ、溪流の要所に洗掘に対抗する不動基点としての低堰堤を設置し、溪流沿いに設けた山津波留止地帯と併用するのがよい。

下流土石流に対しては、根本的には平時の流域の流出土砂による溪流の堆砂を防ぐことであるが、溪の要所に洗掘に対抗する基点としての低堰堤を設置することが必要である。すべて土石流防止の堰堤は、貯砂量の大きなことを狙って高くすることは破壊した時の危険が大きいのので、袖を充分長くする、前庭を堅固にする、堤冠を強固にするなどの堅固な構造にすることと、水抜を大きくするなど平時の流出土砂で堰堤の貯砂能力がなくならないようにして土石流の来襲に備えることが必要である。

また、沢沿い・川岸の人家・部落の土石流被害に対する保護としては、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で水害防備林を設置するのがよい。

c. 表面侵蝕防止

古中生層地帯の崩壊跡地は植生の自然復旧も速く、表面侵蝕の心配は割に少ないが、花崗岩地帯や三紀層の一部は崩壊跡地の植生進入は容易でなく、また表面侵蝕に対する抵抗力が弱いので、生長の速い密な草で早期緑化をはかる必要がある。花崗岩地帯はまた荒廃移行地、はげ山の状態になりやすいので崩壊跡地のみでなく山地全体を密な植生で被覆する必要がある。

山腹凹地は地表水の集水による表面侵蝕を防止するための水路も必要で、逆に凹地に集水せぬようにかえつて山腹凸角部への地表水の廻水も実行すべきである。

d. 下流災害防止

山地災害以外の下流災害防止としては、つぎのことが考えられる。

まず、溜池は平時の灌漑用水貯溜池としての作用のみでなく、上流流域からの流出土砂を貯砂する堰堤・洪水調節池の作用もなしているの、溜池の堆砂は時々浚渫して土石流来襲時に備えることが必要であり、また、溜池は単に静水圧のみを考慮して築設されたものが多いが、上流からの土石流来襲で破壊するとそれから下流の被害は非常に増大されるので、溜池は土石流来襲を考慮して充分安全な構造とする必要がある。

下流は河川断面が非常に狭小となつていることおよび天井川であることが災害を甚大にする原因であるが、勾配の急な上流山地の河川断面より勾配緩な下流平地の河川断面が狭小なことは当然氾濫災害を起すので、土地利用にのみ追われて無理に河川断面を狭小にしないことが必要であり、天井川はその根源である上流山地よりの流出土砂を防止すること、いたずらに堤防を高くして天井川の程度を高めるよりは平時に徐々に堆砂を海に流すか浚渫して川床の低下をはかる方法を講ずることが必要である。

V. 1. a で述べたごとく、河川曲流部では外側凹岸の水面は内側凸岸より高くなるので、人家を建てるには、外側凹岸では、それだけ内側凹岸より高い位置に設けなければ安全でないことを考慮すべきで、また、川岸の水害防備林によつて堤防の補助、人家の保護をはかる必要がある。

また、流木が橋脚などにひつかかつて断面を小にしたり、堰止めたりして氾濫・欠潰被害を起すのに対しては、綱場などの流木集材装置を堅固に改良するか、あるいは鉄骨格子堰のようなものを設けて格子の隙間から流水は通過させるが流木は留止し、この留止した流木を兩岸の遊水池に流しだすか兩岸に引上げる装置を附属させるなど、なんらかの流木留止方法を考究する必要がある。

しかし、根本的に下流災害を防止する方法としては、できるだけ多くの氾濫堆積地をつくり、平時はこれを耕地などに利用して洪水時に備え、災害時には洪水・土石流をこれに誘導して人家地帯の難を避けることが望ましいと考えられる。災害時の流域面積 1 km^2 当りの流出土砂量を $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ （この値は流域全面積が大になるほど小さくなるであろう）とし、流域全面積を $A \text{ km}^2$ とすれば、全流出土砂量は $A \times 1$

$\times 10^4 \text{ m}^3$ となる。いま氾濫堆積地の平均土砂堆積深を 2 m とすると、堆積地がすべて 100% に有効に働いた場合、その面積は

$$A \times 1 \times 10^4 \text{ m}^3 \div 2 \text{ m} = 0.5 \times A \times 10^4 \text{ m}^2 = 0.5 A \text{ ha} = 0.005 A \text{ km}^2$$

となり、堆積地の面積は流域全面積の 0.5% あればよいことになる。堆積地がすべて 100% 有効に働くことはあまりなく、堆積地の有効率を 50% とみても、全流域の 1% に当る面積の砂礫堆積地で流出土砂を処理しうるものとなるので、流出土砂による被害防止法としては砂礫堆積地の設置を考慮する必要があると思われる。

2. 調査地区別対策

a. 高野山地区

伐跡地・幼齢林の窪地崩壊・山腹崩壊が多いが、伐跡地の巾狭い窪地崩壊 (Phot. 1) は、あるいは伐採時の木落し蝕溪が原因しているのではないかとみられるので、伐採木の搬出は保全を考慮して慎重に行う必要があり、幼齢林の崩壊は前生樹の伐根の腐朽期に当るためではないかと考えられるので、大面積を皆伐してその跡に浅根性のスギなどの一斉造林をすることは保全上好ましくない。

土壌は肥沃なところが多く崩壊跡地は自然復旧できるものも多からうが、中には崩壊地の拡大防止を必要とするものもある。造林にあたっては、スギ・ヒノキの一斉造林を避けて深根樹を交えることが必要で、特に窪地や急傾斜地にその必要がある。道路・林道が尾根を通りこれからの地表水・滲透水で、道路・林道を起点としてその下方が崩れているのが多いので、道路・林道の設置に当つてはその排水を充分考慮すること、特に窪地を横切る時に充分の排水工を施すことが必要である。

緑色岩 (輝緑凝灰岩の変成したものか) 存在地や御殿川近くの断層破砕部は緩斜地でも地圧性崩壊の危険があり、これは地質が原因して防止困難であるが、発生した時に下流に土石流被害をおよぼすのを最小限にとどめるため、沢 (特に北向きの沢は基岸の傾斜方向と一致するので必要) には洗掘防止の基点となる低堰堤を要所に設ける。また、集水域が優良林地でも大雨時には出水で沢は洗掘されるので、現在溪床の基岩がまだ流出土砂で埋らず露出している間に、各沢に速やかに洗掘防止の基点となる低堰堤を設置するのが望ましい。

b. 有田川地区

高野山地区と同じく、採草地・伐跡地などの無立木地、シユロ林地の小面積崩壊が相当多いが、やはり伐採木の搬出に注意すること、シユロは階段状に栽培する⁸⁾ か深根樹を交えること、造林に当つてはスギ・ヒノキの一斉造林を止めて深根樹を交えること、山腹の地被物・林相の一樣化をはかることなどが必要で特に急斜地・窪地にその要がある。

上流花園村・安諦村では断層破砕部の地圧性崩壊が多いが、これもどこでも起るわけではなく、基岸の破砕・粘土化状態や地形から過去の亡りの有無などを調査することにより、ある程度その危険地は予想できるので、こうした場所には人家を設けぬことが最も安全であるが、地形上過去の地圧性崩壊でできた中腹の台地状の緩斜地や山麓の押出し平地のみが部落として利用できる現状であるので、こうした場所は湧水状況などをよく調査して地下排水施設を充分行つて、再度の崩壊を防止する必要がある。

土壌は一般に肥沃であるので、崩壊跡地は拡大防止を行えば自然復旧するものも多からう。

溪岸崩壊の防止には、溪流の洗掘防止のための溪流要所の低堰堤築設と溪流の横侵蝕防止の護岸代用としての深根樹植栽が必要であるが、曲流による溪岸崩壊の防止には、Phot. 34 のごときはなはだしい曲流

で修正可能と思われるところは、曲流を直流に直す河川改修を行い、旧曲流部を洪水時の砂礫堆積地として平時は耕地に利用し、耕地の増加と溪岸崩壊の防止を合わせねらう方策も必要である。

有田川本流にそそぐ各支流は、合流点附近の溪床に相当の堆砂があり、この今後の大雨による流出防止のため、洗掘防止の階段低堰堤と適地の貯砂堰堤が必要である。また、合流点附近では道路・橋の設置で溪流断面を狭小にしやすいが、断面を小さくしないことが必要である。上流花園村・安諦村のように地形も急で、地質的原因による地亡性崩壊が多く起る危険性のある地域では、normal erosion に備えて、できるだけ多くの防災堰堤や砂礫堆積地を設置するのがよい。

土石流に対しては、やはりできるだけ多くの留止地帯を設けるのがよいが地形が、急で留止地帯の適地は少ないので、洗掘防止基点となる低堰堤と貯砂に備える防災堰堤が必要で、部落は水害防備林で保護して土石流被害を緩和する。

有田川本流では、発電堰堤は上流の部落に影響を与えぬ位置に設置し、下流災害防止に洪水時の流木留止装置を設けることが必要である。

c. 日高川地区

有田川地区とまったく同じ対策が必要である。

d. 富田川地区

伐跡地・疎悪林の山腹剝落型崩壊が多いが、やはり伐採木の搬出に注意すること、山腹を密な植生で被覆すること、造林には亀裂の多い基岩に根を張る深根樹を交えることが必要である。

既崩壊の拡大や道路の切取・捨土による流出土砂が相当あるので、山腹工事や早期緑化によつて裸地をなくすことが必要で、下流の三紀層地帯ははげ山化しやすいので、密な植生で山腹全体を被覆しなければならぬ。

溪床の堆砂も多いので、洗掘・流出防止の堰堤が必要である。

e. 熊野川地区

三越川は既崩壊の拡大防止や溪床堆砂の移動防止を行つて下流の天井川となることを防ぐことと、部落を保護する水害防備林が必要である。

熊野川本流は、新宮附近の川床堆積をみても、下流の石英粗面岩地帯からの礫のほかには古中生層岩石の礫が多いので、上流の十津川流域の荒廃地を復旧することが重要ではないかと思われる。

f. 木津川地区

花崗岩山地に崩壊が多く、それも伐跡地・疎悪林・幼齡林に密集するので、花崗岩山地の林相改良がまず大切である。現存林地の伐採を差控えたり、深根性広葉樹を交えたりして、山地全体を密な植生で被覆し、地下は深根によつて土層と基岩を連結させ、保全上好ましい林相に改良する。窪地の排水も必要である。

また、花崗岩地の崩壊跡地は砂質土が流出しやすいので、密な草で早期緑化をはかつて、後に順次優良林に移行することが必要である。上流山地には従前からの崩壊地やはげ山が相当あるので、これに対してはも早急に緑化が必要なことはもちろんである。

洗掘・曲流による溪岸崩壊の防止の必要も他の地区と同様で、溪流の堆砂は今後の大雨による流出を防止するため、溪流の洗掘に備えて各沢の要所に前庭・基礎を堅固にした低堰堤を設置する。また、適地には今後の土石流発生に備えて防災堰堤を設置するのも望ましい。

下流の災害は、天井川であること、河川断面が小であること、川岸の水害防備林が不備であることが原因するので、根本的には上流山地からの不断の流出土砂を防止して川床の低下をはかるのが必要であるが土地利用に追われて河川断面を小にしないこと、氾濫・流出土砂に備えて遊水地・氾濫堆積地を設けること、部落・人家保護の水害防備林を整備すること、溜池は土石流来襲に備えて堅固な構造とし時々浚渫することなども必要である。

Ⅵ 要 約

1) 昭和 28 年の紀伊水害・南山城水害・13 号台風による紀の川・有田川・日高川・富田川・熊野川・木津川の災害山地の一部を現地踏査し、主として山崩状況、森林・治山工の影響を調査した。

2) 調査地区の地況はつぎのとおりである。

調査地区	地 質	起 伏 量 (1 km 樹目)	河 川	林 相
高野山地区 (高野)	古生層で断層破碎部あり	220 m		スギ・ヒノキ人工林が多い、 が伐跡地・幼令林もあり
有田川地区 (花園, 安諦, 八幡)	古生層・中生層で断層破碎部あり	350m (花園) 290 〃 (安諦, 八幡)	曲流多し	スギ・ヒノキ人工林および シシロが多い
日高川地区 (川上, 寒川)	中生層で断層破碎部あり	340 m (川上) 340 〃 (寒川)	曲流多し	スギ・ヒノキ人工林が多い
富田川地区 (二川)	中生層	300 m 以上		伐跡地および 20 年生前後の 広葉樹林が多い
熊野川地区 (四村, 三里)	中生層・三紀層	390 m (三里)	天井川(三里)	針葉樹林多い、(四村) 広葉樹林(三里)
木津川地区 (井手, 和束, 大河原, 島原)	古生層・花崗岩 (井手, 和束) 花崗 岩断層崖(大河原, 島原)	180 m (井手) 200 〃 (和束) 290 〃 (大河原) 島 原	天井川(井手)	古生層はスギ・ヒノキ人工 林が多く、花崗岩地はマツ ・広葉樹の疎悪林が多い

3) 崩壊には山腹崩壊(山腹剥落・山腹滑落・地亡性崩壊の 3 型あり)、溪岸崩壊、窪地崩壊がある。山腹崩壊は、土質を異にする土層、土層と下の基岩、風化岩盤と下の未風化岩盤、粘土化しやすい緑色岩および断層破碎部基岩、道路との接触点、地表傾斜の変換点、地表状態(地被物・林相)変化点など、山腹の地表・地下のなんらかの不連続に起因するものが多い。溪岸崩壊は溪流の曲流・土石流通過などの溪流侵蝕に起因する。窪地崩壊は地表・地下の集水に起因する。

4) 土石流には、上流の崩壊に起因する山津波と下流の溪床の押し出しによる下流土石流がある。溜池および崩壊土砂堆積による天然ダムが欠潰して大きな下流土石流を生じた。

5) 国有林内の崩壊は、紀伊水害時には紀の川・有田川・日高川に多く、南山城水害時には木津川に多く、13号台風時には有田川・日高川を除く各河川に生じた。

6) 調査地区の山崩状況はつぎのとおりである。

調査地区	崩壊状況	土石流状況
高野山地区	伐跡地・幼令林の窪地崩壊、道路下の崩壊が多い。緑色岩存在地、断層破碎部に地圧性崩壊がある。北向き斜面に崩壊が多い。	北向き沢に土石流が多い。
有田川地区	断層破碎部の地圧性崩壊が多い。伐跡地・シユロ林地・無立木地の小崩壊も多い。河川曲による流大きな溪岸崩壊がある。	天然ダム欠潰による土石流が起つた。
日高川地区	断層破碎部の地圧性崩壊・山腹滑落が多い。河川曲流による溪岸崩壊も多い。	山津浪による堆砂・部落被害が多い。
富田川地区	伐跡地・疎悪林地の山腹剝落・山腹滑落が多い。既崩壊の拡大もある。	治山工により土石流が留止されているのがある。
熊野川地区	急斜地の巾狭い崩壊あり。既崩壊の拡大がある。	下流土石流が起つた。
木津川地区	花崗岩地の伐跡地・疎悪林地の崩壊が多い。古生層は急斜地にのみ崩壊が起つた。河川曲流による溪岸崩壊あり。	溜池欠潰による土石流と下流土石流あり。

7) 山腹工事は崩壊地の拡大防止には非常に効果があるが、施工法によつていちじるしい差がある。堰堤は土石流に対して効果があるが、前庭・基礎を堅固にする必要がある。

8) 山腹剝落・山腹滑落・窪地崩壊は伐跡地・無立木地に多い。林地の崩壊は巾狭く、森林は崩壊の拡大防止には非常に有効である。樹種としては、深根のマツ・老壮令広葉樹が浅根のスギなどより強く、シユロははなはだ弱い。地圧性崩壊に対しては、森林は無関係である。

高野山国有林では、天然林に崩壊が最も少なく、造林地は幼令林に崩壊が最も多く、林令の増加とともに崩壊歩合は減少している。

土石流に対しては、深根性のマツなどが浅根性のスギなどより強く、川岸林は水害防備林として非常に有効である。

9) 有田川の上流山地よりの今次水害の流出土砂量は、 1 km^2 当り $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 程度と推算される。日高川・富田川の資料では平時の流出土砂量も無視できない。花崗岩山地の今次水害の流出土砂量は大きいようである。

10) 災害の原因としては、地質（断層、花崗岩地）・地形（急斜地、河川曲流、天井川）の天然要因に天然誘因の豪雨・地震が働いたことの影響が大きい。林相不良（伐跡地、幼令林、疎悪林、シユロ）・道路・保全施設不足などの人工誘因が災害を加速し、溜池・天然ダムの欠潰と豪雨が2回あつたことが災害の程度を増大させている。

11) 山地災害としては、比較的林相良好であるが断層破碎部の地圧性崩壊が目だつ高野山地区・有田川地区・日高川地区と、疎悪林相の影響が大である花崗岩地の崩壊が目だつ木津川地区とが対照的である。

12) 崩壊防止および崩壊土砂流出防止には、つぎのことが必要である。

i) 山腹剝落には、山腹を一樣な密な植生で被覆することと集水地を排水すること。

ii) 山腹滑落には、深根樹を植栽すること、道路を排水すること、山腹の地被物・林相を一樣化すること。

- iii) 地圧性崩壊には、発生地を予測することと地下排水を行うこと。
- iv) 溪岸崩壊には、洗掘防止の低堰堤を設けること、曲流を修正すること、溪岸に深根樹を植栽すること。
- v) 窪地崩壊には、排水（特に道路との接触点）を行うこと。
- vi) 崩壊土砂流出防止には、花崗岩流出土を緑化すること、凹地の堆砂を排水すること、normal erosion に備えて防災貯砂堰堤を設けること。
- vii) 崩壊跡地の復旧には、花崗岩地は早期緑化を行うこと（古中生層地は崩壊の拡大防止を行えば自然復旧するものが多からう。）
- 13) 土石流防止には、山津波留止地帯を設けること、洗掘防止の低堰堤を設けること、水害防備林で部落を保護することが必要である。
- 14) 表面侵蝕防止には、花崗岩地および三紀層一部を早期緑化すること、凹地を排水すること、凹地を排水することが必要である。
- 15) 下流災害防止には、溜池の構造を安全にして浚渫すること、河川断面を充分大きく保つこと、天井川の川床低下をはかること、洪水時の流木留止装置をつくること、川岸林を整備すること、遊水地・砂礫堆積地を設けることが必要である。
- 16) 各調査地区の特徴に応じた対策が必要である。

参 考 文 献

- 1) 松下進：近畿地方（日本地方地質誌），朝倉書店，(1953)。
- 2) 高野営林署：管内概要，p. 3，(1953)。
- 3) 井上重一：和歌山県有田川流域の地質，地球，19，5，6，(1933)。
- 4) 地質調査所：大日本帝国中部地質図 40 万分の 1，(1914)。
- 5) 和歌山県林業課：昭和 26 年度治山報告書，(1952)。
- 6) 多田文男：平衡曲線の研究によつて知り得た木津川流路の変遷，地質学評論，5，3，p. 222，(1929)。
- 7) 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，砂防関係（その 1 一般対策），林業試験場研究報告，69，(1954)。
- 8) 近畿地区大学連合水害科学調査団：和歌山県水害報告書，(1953)。
- 9) 大阪営林局治山課：国有林治山災害復旧計画書，(1953)。
- 10) 松本由友：しゅろ，林業普及シリーズ，33，(1952)。
- 11) 川口武雄：山地土壌侵蝕の研究（第 1 報）従来の資料による統計的研究，林業試験集報，61，p. 222，(1951)。
- 12) 川口武雄：山崩の統計的研究，未発表，
- 13) 矢野勝正：筑後川・白川の計画洪水量，紀州地方の崩壊と段波，紀州地方河川の流木，北九州等の洪水に関する研究経過報告，p. 29，(1954)。
- 14) 建設省河川局水利課：河川堰堤の堆砂量に就て，資源調査会土地部会資料，114，(1950)。
- 15) 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)。
- 16) 栃木省二：京都府下，南山城地域災害調査概報，新砂防，12，(1953)。
- 17) 多田文男：山頂の高度と起伏量との関係並びに之より見たる山地の開析度に就いて，地理学評論，10，11，(1934)。
- 18) 野満隆治：河川学，p. 70，(1943)。

Takeo KAWAGUCHI and Senshi NAMBA: Landslides and their control,

Résumé

- (1) To inquire into actual state of landslides and influences of forests and erosion control works, we investigated on the spot at the mountain districts in the basins of Kino, Arita, Hidaka, Tonda, Kumano and Kizu Rivers damaged by the Kii flood, South Yamashiro flood and the No. 13 typhoon of 1953.
- (2) The conditions of the districts in question are as follows:

District	Geology	Relief-grade (per 1 km square)	River	Forest
Koya district (Kōya)	Palaeozoic system, Partially, shattering areas by fault.	220 m		Artificial forests of Sugi(<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don) and Hinoki(<i>Chamaecyparis obtusa</i> S. et Z.). Partially, young stands and cut-over areas.
Arita district (Hanazono, Ade, Yawata)	Palaeozoic and meso- zoic systems. Partially, shattering areas by fault.	350 m (Hanazono) 290 m (Ade, Yawata)	Meandering	Artificial forests of Sugi and Hinoki. Plantations of hemp-palms.
Hidaka district (Kawakami, Sōgawa)	Mesozoic system, Partially, shattering areas by fault.	340 m (Kawakami) 340 m (Sōgawa)	Meandering	Artificial forests of Sugi and Hinoki.
Tonda district (Futagawa)	Mesozoic system.	over 300 m		Broad-leaved forests about 20 years old, and cut-over areas.
Kumano district (Yomura, Misato)	Mesozoic and tertiary systems.	390 m (Misato)	Uplifted (Misato)	Needle-leaved forests (Yomura) Broad-leaved forests (Misato)
Kizu district (Ide, Watsuka, Ōgawara, Shimagawara)	Palaeozoic system and granitic zone (Ide, Watsuka). Granitic fault scarp (Ōgawara, Shimagawara).	180 m (Ide) 200 m (Watsuka) 290 m (Ōgawara, Shimagawara)	Uplifted (Ide)	Artificial forests of Sugi and Hinoki in palaeozoic system. Bad sparse forests of Japanese red pine (<i>Pinus densiflora</i> S. et Z.) and broad-leaved trees in granitic zone.

- (3) Landslides have the following three types:
- (i) Slides on hillsides (surface stripping type, surface sliding type, and landcreep type),
 - (ii) Slides along streams, and
 - (iii) Slides in hollows.

Most of (i) are due to some surface or underground discontinuities. These discontinuities exist not only between two soil layers with different soil properties, soil layer and underlying bed rock, weathered bed rock and underlying non-weathered bed rock, but in the part of green rock or bed rock shattered by fault which is friable to clay and changes of surface slopes and conditions (ground cover or forest type), etc. (ii) are due to stream erosion such as meandering of stream and passing of mud and stone flow. (iii) are due to the concentration of surface and underground water.

(4) Mud and stone flows have the following two types:

- (i) Upstream mud and stone flows related to landslide directly, and
- (ii) Downstream mud and stone flows of streambed itself.

Mud and stone flows of (ii) type arose on a large scale owing to the collapse of irrigation pond or temporary dam built naturally of debris from slides and made the disaster severer.

(5) Severely damaged districts were Kino, Arita and Hidaka districts in the kii flood, Kizu district in the South Yamashiro flood and all other districts except Arita and Hidaka at the No. 13 typhoon in the national forests.

(6) The state of landslides in the investigated districts are as follows:

District	Landslide	Mud and stone flow
Kōya	Many slides in hollows in cut-over areas and young stands. Slides of landcreep type in the area having green rock or shattering bed rock by fault. Severe on north slopes.	Numerous mud and stone flows in the stream towards the north.
Arita	Many slides of creep type in shattering areas by fault. Many slides in cut-over areas, treeless lands and hemp-palm plantation. Large slides by stream erosion.	Mud and stone flows by the collapse of natural dam.
Hidaka	Many slides of creep and surface sliding types in shattering areas. Many slides along streams by stream erosion.	Heavy sedimentation and severe damage to villages due to upstream mud and stone flows.
Tonda	Many slides of surface stripping and sliding types in cut-over areas and bad sparse forests. Enlarging of old slides.	A few mud and stone flows prevented by erosion control works.
Kumano	Narrow slides in width on steep slopes. Enlarging of old slides.	Downstream mud and stone flows.
Kizu	Many slides in cut-over areas and bad sparse forests on granitic mountains. Slides only on steep slope in palaeozoic system. Slides along stream by stream erosion.	Mud and stone flows by the collapse of irrigation pond. Downstream mud and stone flows.

(7) Hillside works were very effective to prevent the enlargement of old slides, but there was a remarkable difference in the effectiveness between the methods of these works. To prevent mud and stone flows, a dam is one of the effective constructions, but the stability of water cushion and foundation of the dam must be specially considered.

(8) Landslides of surface stripping and sliding types, and slides in hollows occurred numerously in cut-over areas and treeless lands. Slides in forest lands were narrow in width and forests are very effective to prevent the enlargement of the slides. As for tree species, such deep-rooted trees as Japanese red pine and old or mature broad-leaved trees have stronger resistance against slide than such shallow-rooted trees as Sugi and hemp-palm.

Forests have no relation to the slides of landcreep type. In the Kōya

national forest, the least slides occurred in natural forest and the most in young stands of artificial forests.

The older the tree ages, the smaller the percentage of slides. The deep-rooted trees are also stronger against mud and stone flow than the shallow-rooted trees, and forests on riverside are very effective as the forests for flood control.

- (9) The soil loss in these floods from the mountain area in Arita River is roughly estimated at $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ per 1 km^2 . Comparing this value with the data from the sites in Hidaka and Tonda districts, the usual soil loss due to soil erosion is not negligible. The soil loss in these floods from granitic mountain areas may presumably be in a large amount.
- (10) As the causes of these disasters the natural causes such as geology (fault and granitic zone) and topography (steep slope, meandering river and uplifted river) and the natural proximate causes such as torrential rain and former earthquake worked large influences, but the artificial proximate causes such as inadequate forest type (cut-over area, young stand, sparse forest and hemp-palm plantation), unfitted road and lack of erosion control works accelerated the calamity.
- (11) As for the disaster of mountain areas, two types of disastrous districts form a plain contrast. The one is kōya, Arita and Hidaka districts which are characterized by good forests and slides of landcreep type, the other is kizu district which is characterized by bad forests and slides on granitic mountains.
- (12) To control landslides and soil losses, the following treatments are necessary:
- (i) Against slides of surface stripping type—Covering with uniform dense vegetation on slopes and drainage of concentration water in hollows.
 - (ii) Against slides of surface sliding type—Planting of deep-rooted trees, drainage of roads and keeping of uniform ground covers on slopes.
 - (iii) Against slides of landcreep type—Forecasting of danger and drainage of underground water.
 - (iv) Against slides along streams—Construction of low dams to prevent vertical stream erosion, improvement of river route and planting of deep-rooted trees on stream sides.
 - (v) Against slides in hollows—Drainage (especially at contact points with roads).
 - (vi) Against soil loss by landslides—Greenization on unstable deposits of granitic soil, drainage from deposits in hollows, and construction of soil saving dams provided against normal erosion.
 - (vii) As restoration of denuded lands—Rapid greenization of bare granitic mountain areas. (Most of denuded lands in palaeozoic and mesozoic systems will be recovered naturally only by prevention of their enlargement.)
- (13) To prevent mud and stone flows, installation of retaining areas, low dams to prevent scoring by stream and forests for flood control to protect villages

are necessary.

- (14) To control surface erosion, rapid greenization of granitic district and part of tertiary system and drainage of concentration water in hollows are necessary.
- (15) To prevent downstream calamities, safe construction and dredging of irrigation ponds, keeping of sufficiently large river sections, lowering of uplifted river-beds, retaining devices of drift woods in flood waters, arrangement of forest for flood control, installation of flood-retarding areas and sediment-retaining areas are necessary.
- (16) Erosion control measures must be performed in accordance with the characteristics of each district.

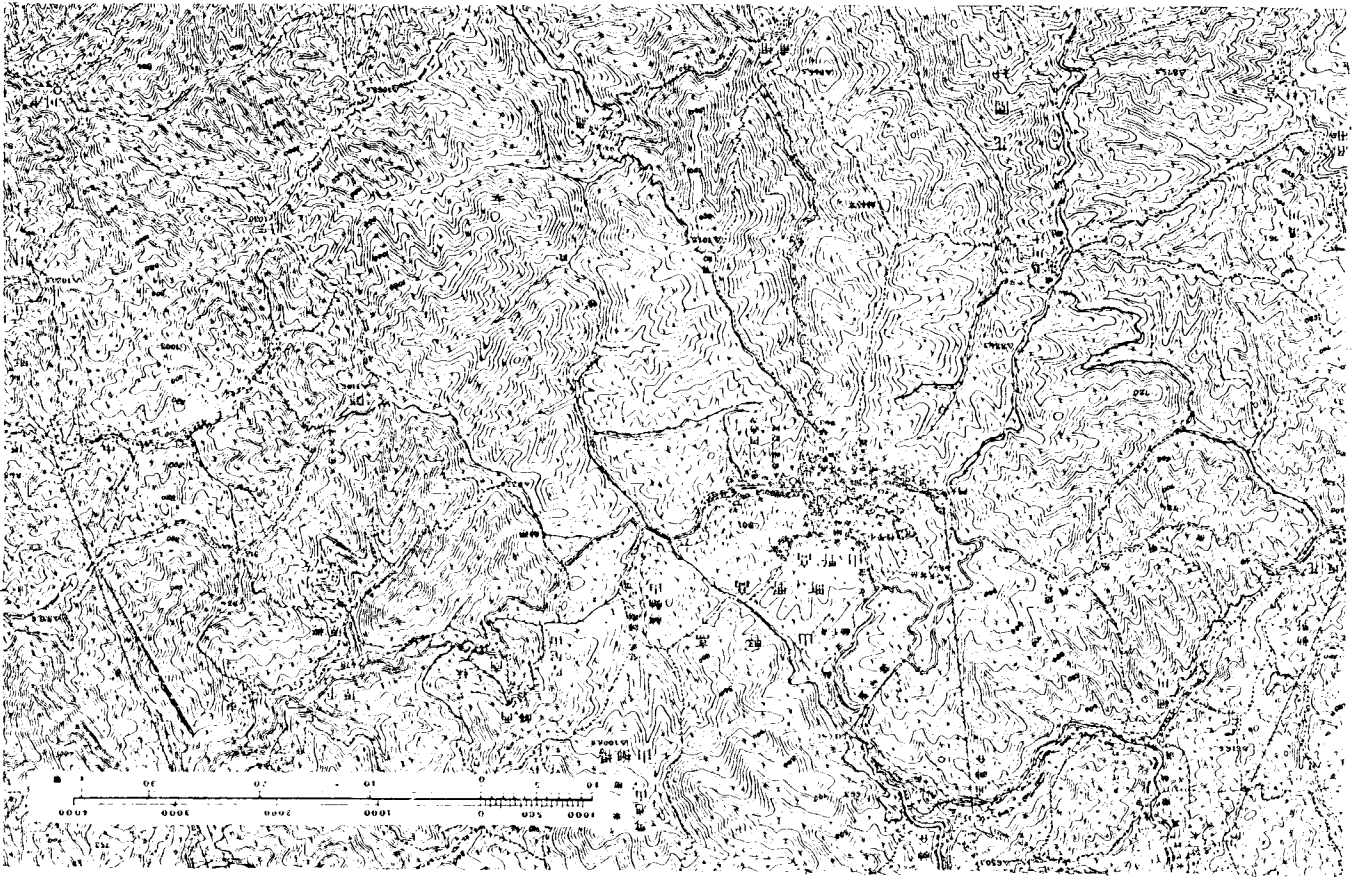


Fig. 1 高野山地区
Koya district



Fig. 3 日高川地区
Hidaka district

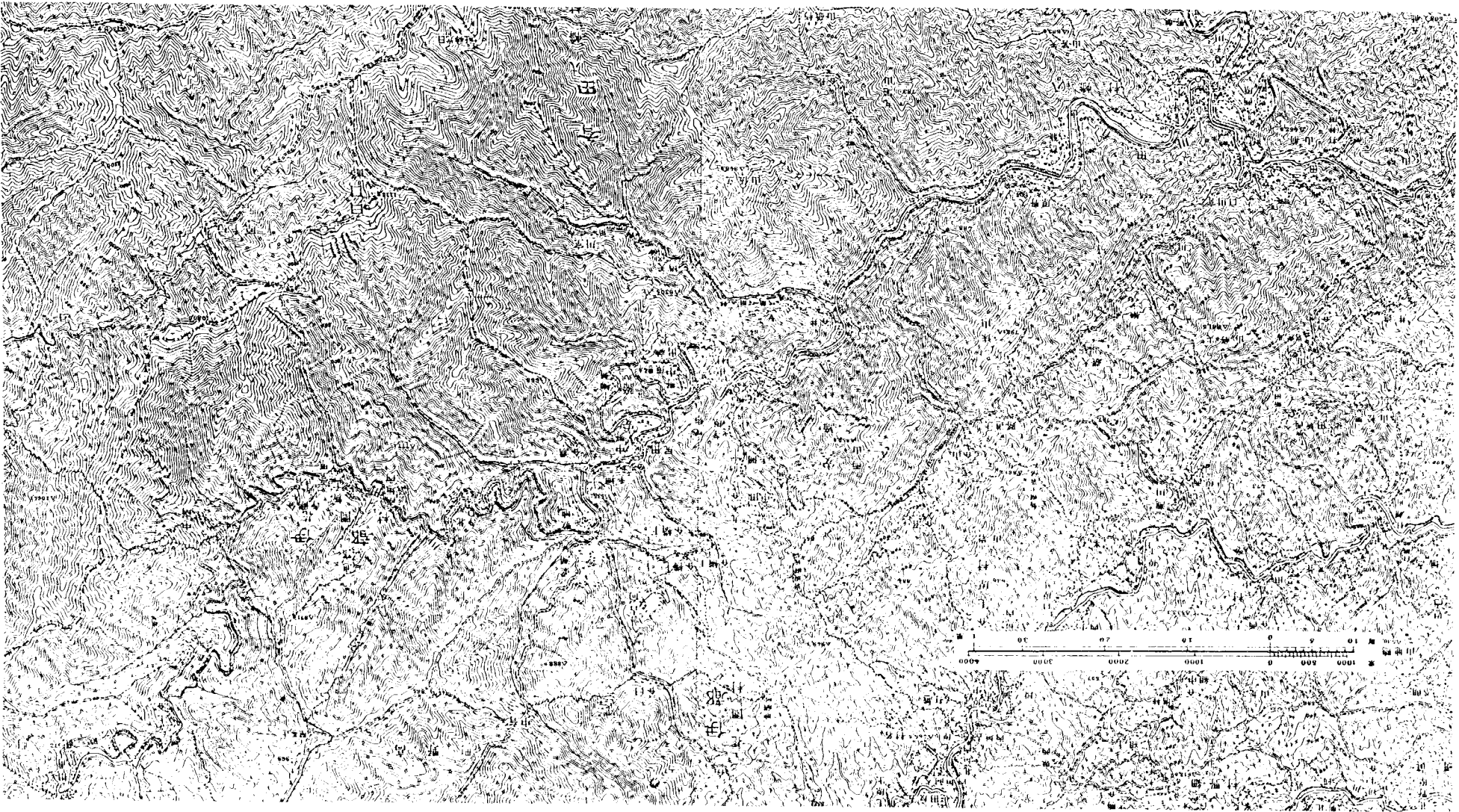


Fig. 11 有田川地区
Arita district

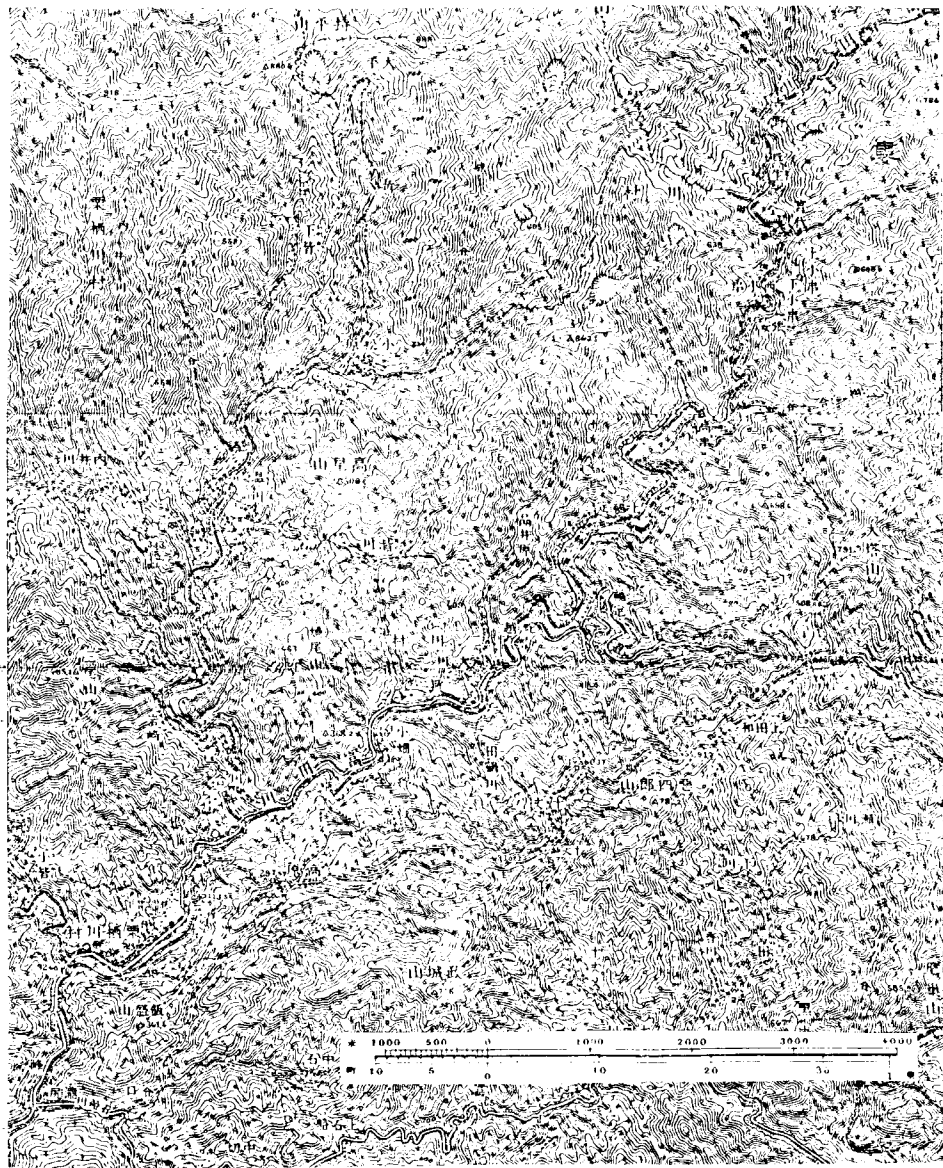


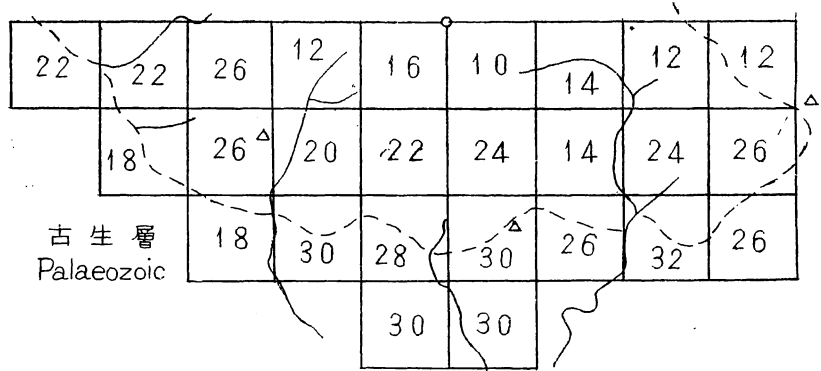
Fig. IV 富田川地区
Tonda district



Fig. V 能野川地区
Kumano district



Fig. VI 木津川地区
Kizu district



--- 国有林界 Boundary of national forest

Fig. VII 高野 (単位 10 m)
Koya (Unit 10 m)

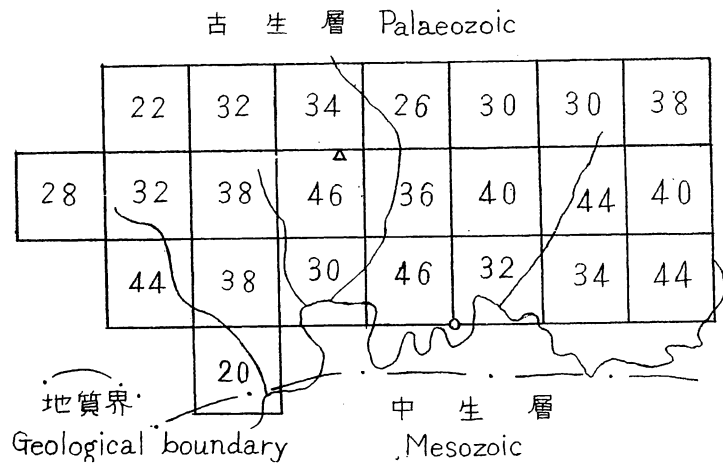


Fig. VIII 花園, 安諦 (単位 10 m)
Hanazono, Ade (Unit 10 m)

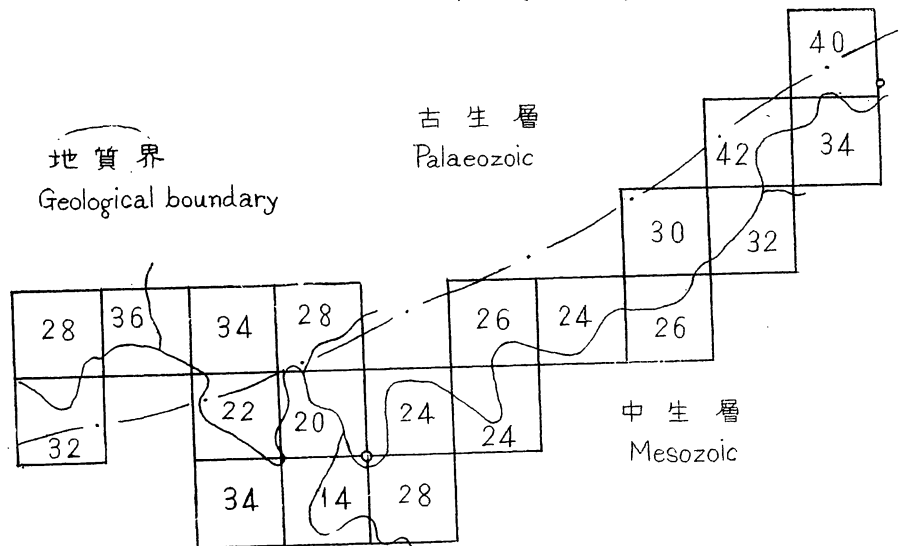


Fig. IX 安諦, 八幡 (単位 10 m)
Ade, Yawata (Unit 10 m)

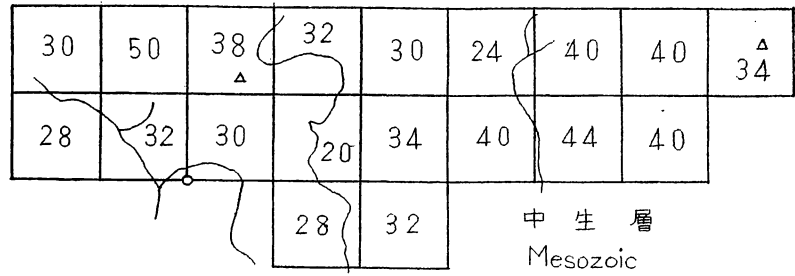


Fig. X 川 上 (單位 10 m)
Kawakami (Unit 10 m)

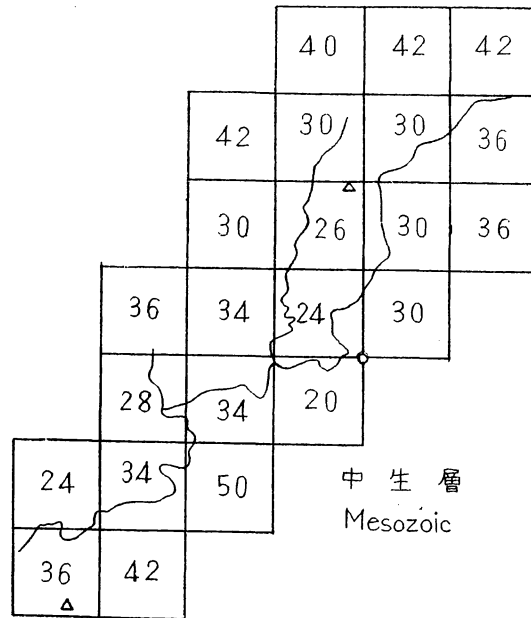


Fig. XI 郷 川 (單位 10 m)
Sogawa (Unit 10 m)

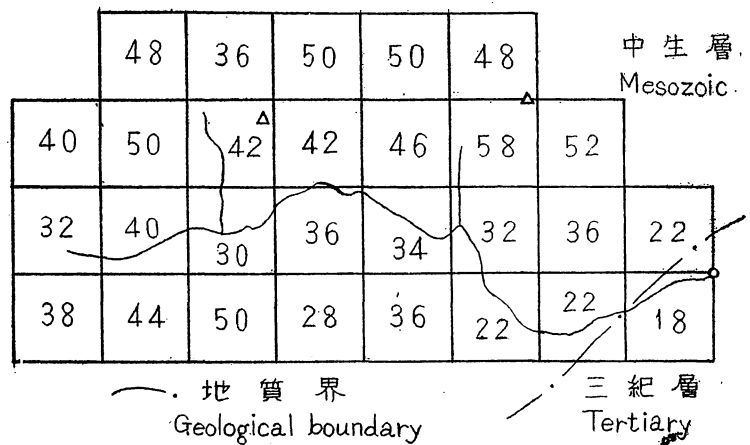


Fig. XII 三 里 (單位 10 m)
Misato (Unit 10 m)

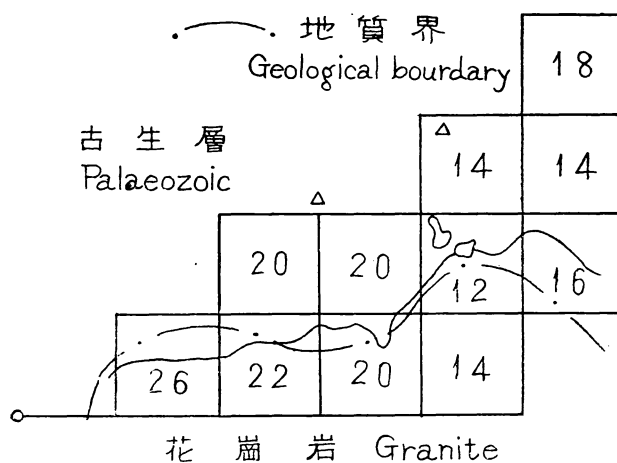


Fig. XIII 井手, 田原 (単位 10 m)
Ide, Tawara (Unit 10 m)

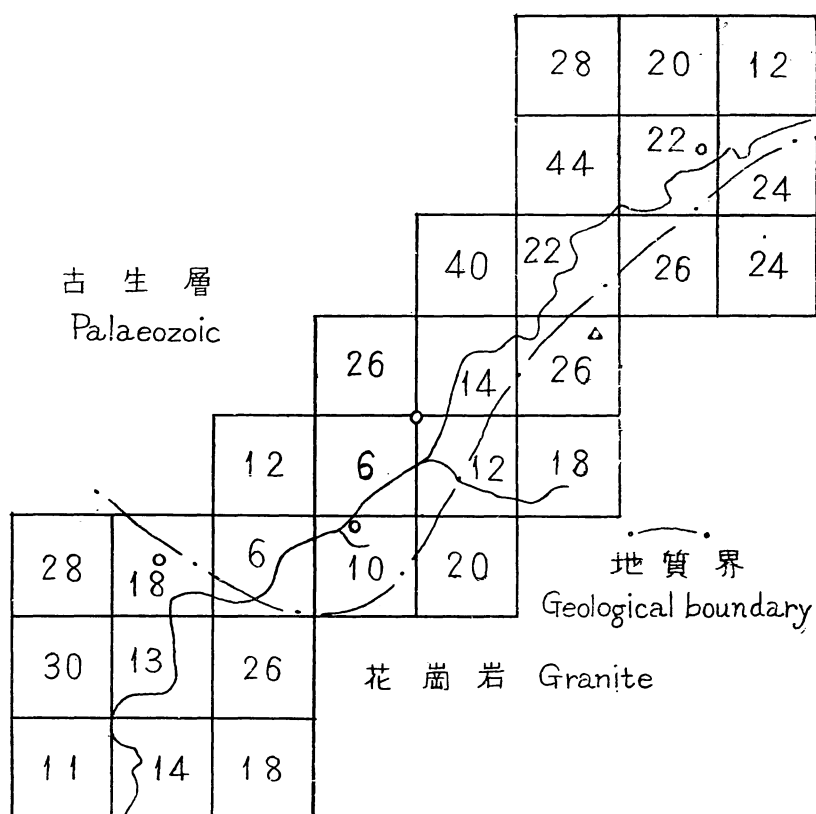


Fig. XIV 和東, 湯船 (単位 10 m)
Watsuka, Yubune (Unit 10 m)

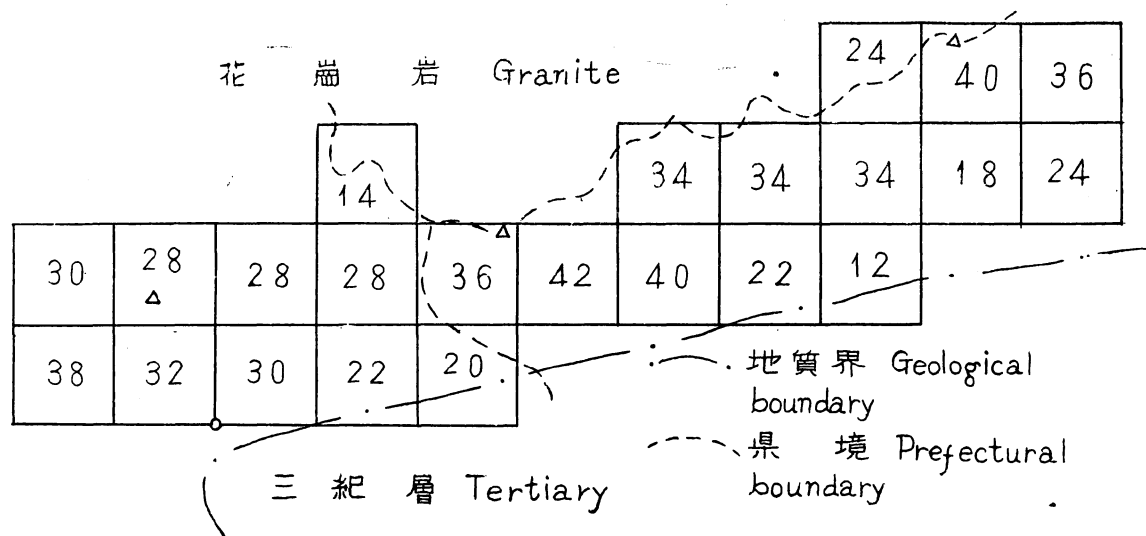
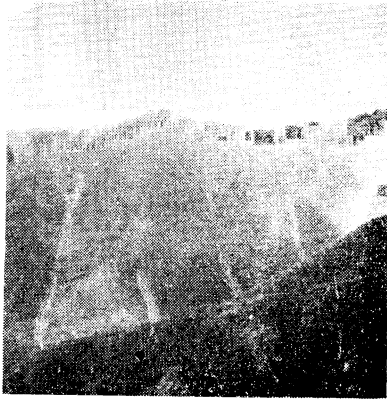
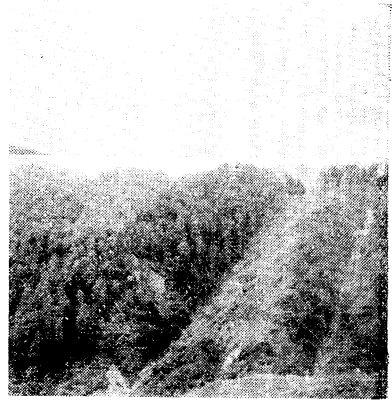


Fig. XV 大河原, 島原 (単位 10 m)
Oogawara, Shimawara (Unit 10 m)

1. 高野山地区 Kôya district



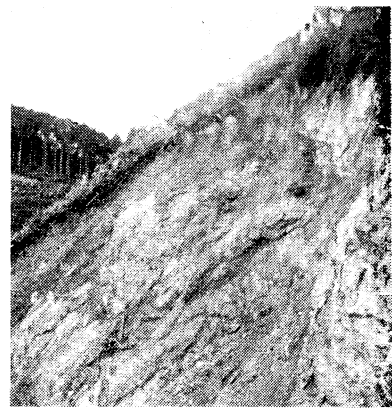
Phot. 1 伐跡地の崩壊
Landslides in cut-over area



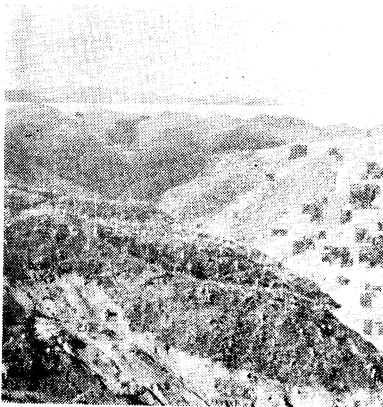
Phot. 2 幼令林の崩壊
Landslides in young stand



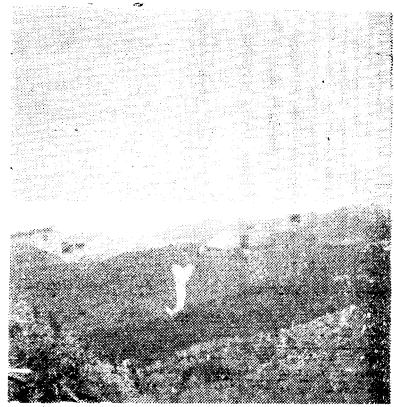
Phot. 3 伐跡地の崩壊
Landslides in cut-over areas



Phot. 4 地這性崩壊 (18林班)
Landslide of landcreep type



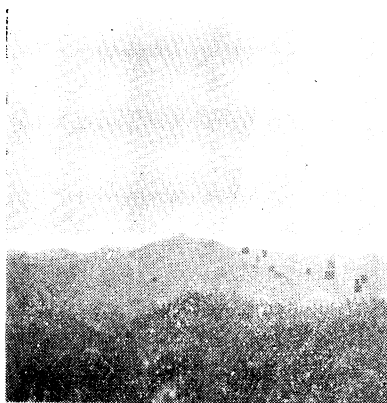
Phot. 5 伐跡地の崩壊
Landslides in cut-over areas



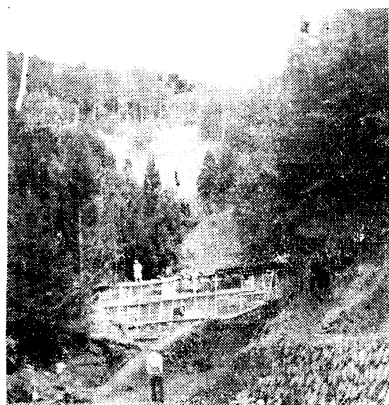
Phot. 6 幼令林の崩壊
Landslide in young stand



Phot. 7 貯水池上の崩壊
Landslide over the reservoir



Phot. 8 道路下の崩壊
Landslides under the road



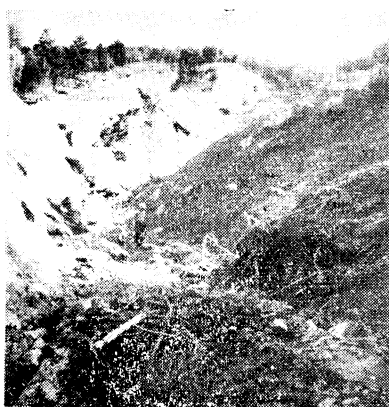
Phot. 9 道路下の崩壊
Landslide under the road



Phot. 10 基岩の風化
Weathering of bed rock



Phot. 11 地氇性崩壊と山津波 (32林班)
Landslide of landcreep type and
upstream mud and stone flow



Phot. 12 地氇性崩壊 (30林班)
Landslide of landcreep type



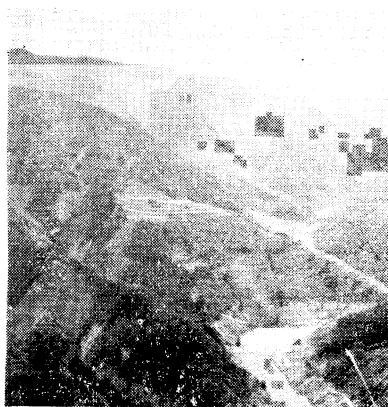
Phot. 13 山津波 (30林班)
Upstream mud and stone flow



Phot. 14 基岩の傾斜
Dip of bed rock

2. 有田川地区 Arita district

(花園村 Hanazono village)



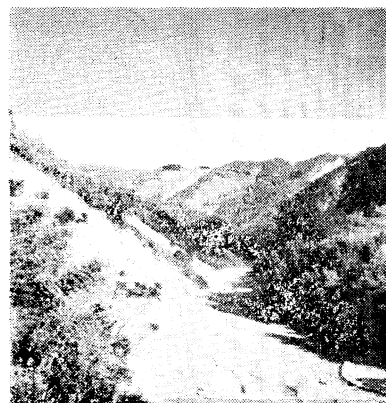
Phot. 15 天然ダムによる池 (中南)
The pond made by natural dam



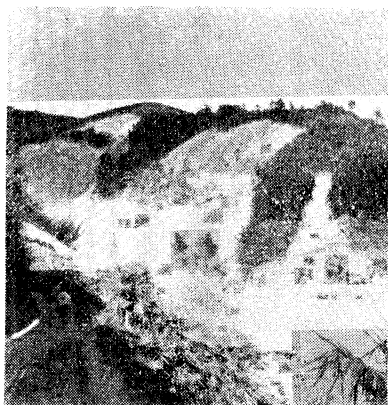
Phot. 16 天然ダムをつくった崩壊
(金剛寺) The source of natural dam



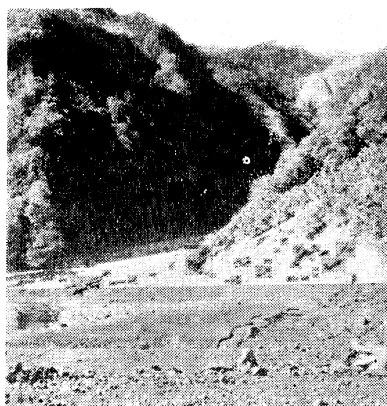
Phot. 17 天然ダムの欠潰 (金剛寺)
Collapse of natural dam



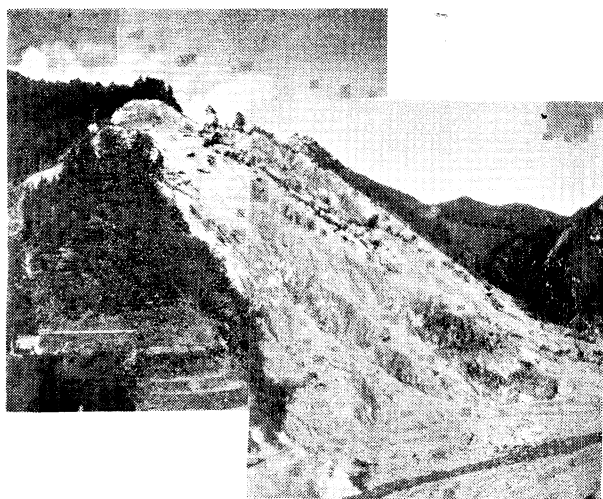
Phot. 18 川床の堆砂
Sedimentation on river bed



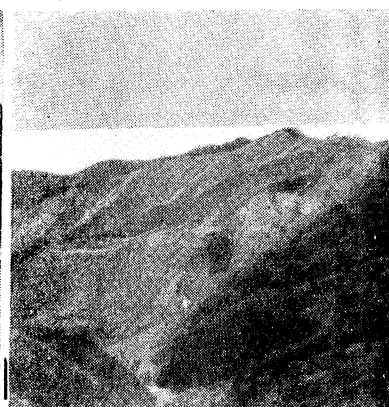
Phot. 19 地_レ性崩壊（金剛寺）
Landslide of landcreep type



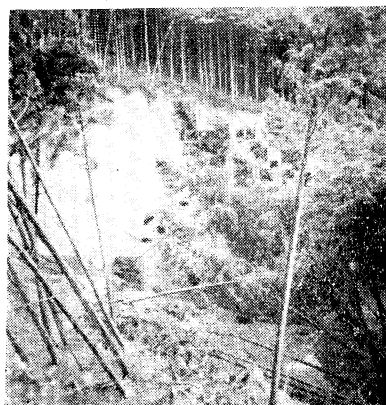
Phot. 20 溪床の堆砂
Sedimentation on stream bed



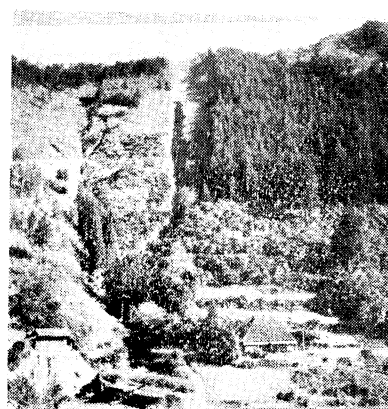
Phot. 21 地_レ性崩壊（北寺）
Landslide of landcreep type



Phot. 22 地_レ性崩壊（高野谷）
Landslide of landcreep type



Phot. 23 地_レ性崩壊
Landslide of landcreep type



Phot. 24. 無立木地の崩壊（有阿谷）
Landslides in treeless land



Phot. 25 土石流跡
Mud and stone flow



Phot. 26 地亡性大崩壊（有仲谷）
Large landslide of landcreep type

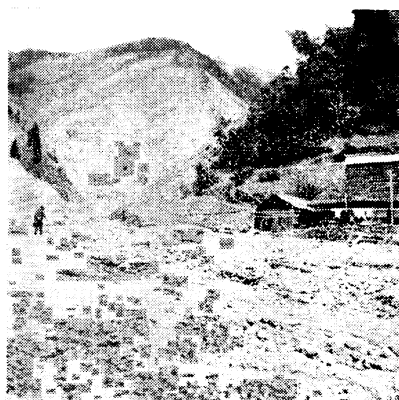


Phot. 27 天然ダムによる池（有仲谷）
The pond made by natural dam

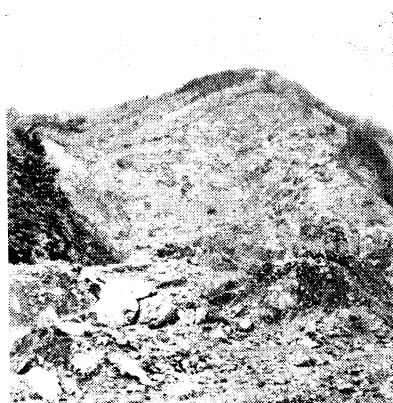


Phot. 28 基岩の破碎と褶曲
The breaking to pieces and folding of bed rock

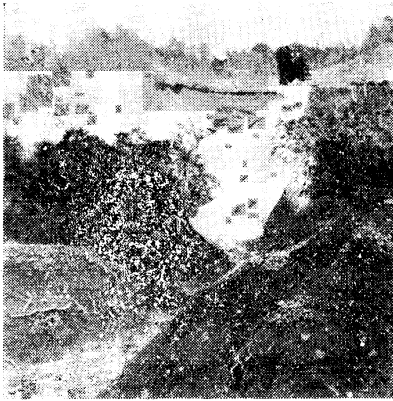
（安 諦 村 Ade village）



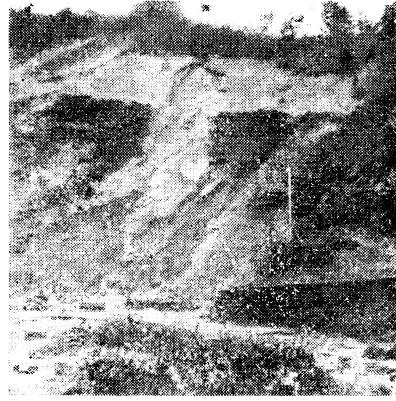
Phot. 29 溪床の堆砂
Sedimentation on stream bed



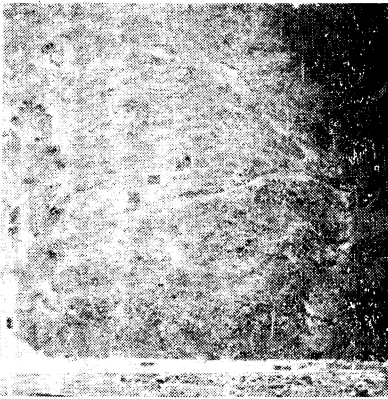
Phot. 30 地亡性崩壊（横谷）
Landslide of landcreep type



Phot. 31 窪地崩壊
Landslide in hollow



Phot. 32 灌木、シユロ林地の崩壊
Landslide in shrubs and hemp-palms]



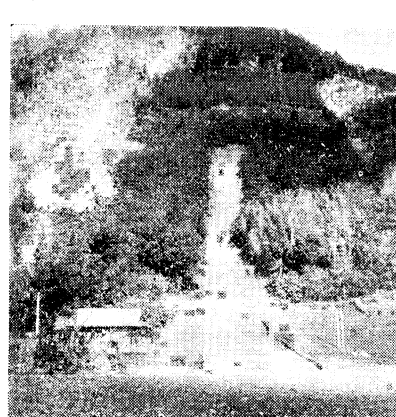
Phot. 33 道路による窪地崩壊
Landslides in hollow due to road



Phot. 34 曲 流
Meander

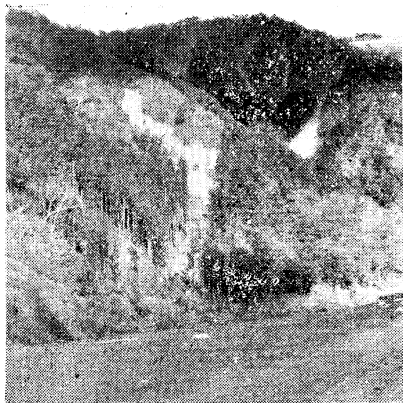


Phot. 35 溪岸崩壊と川床の堆砂
Landslide along stream and sedi-
mentation on river bed

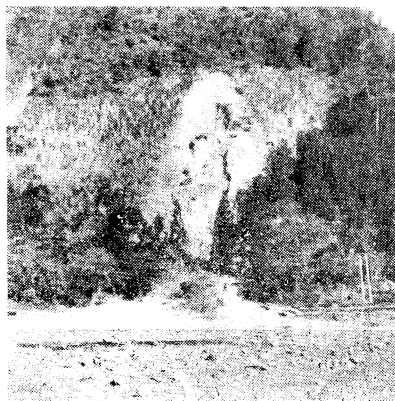


Phot. 36 シユロ林地の崩壊
Landslide in hemp-palms forest

(八幡村 Yawata village)



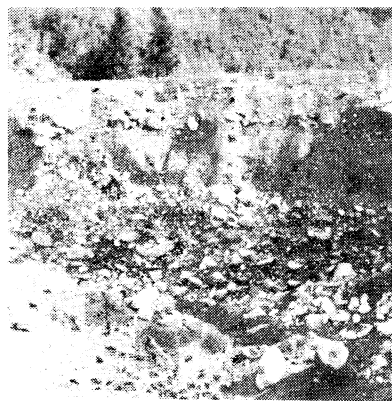
Phot. 37 林地の崩壊
Landslides in forest land



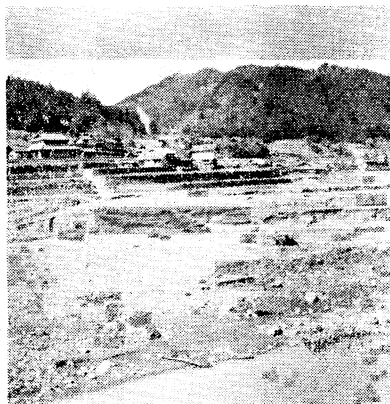
Phot. 38 山腹崩壊
Landslide on hillside



Phot. 39 曲流による溪岸崩壊
Landslide along stream due to
meander



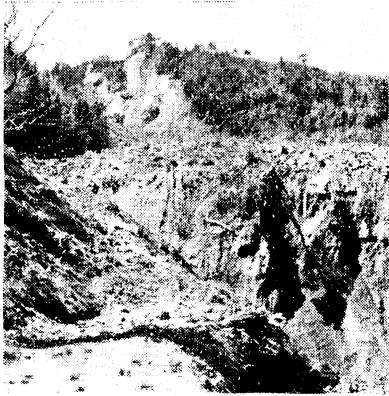
Phot. 40 堆積層
Layers of sedimentation



Phot. 41 合流点(清水)
Junction of rivers

3. 日高川地区 Hidaka district

(川上村 Kawakami village)



Phot. 42 地圧性崩壊（彌谷）
Landslide of landcreep type



Phot. 43 崩壊と山津波
Landslide and upstream mud and
stone flow



Phot. 44 岩石の破碎，褶曲
The breaking to pieces and
folding of rock



Phot. 45 山腹崩壊（愛川）
Landslides on hillside



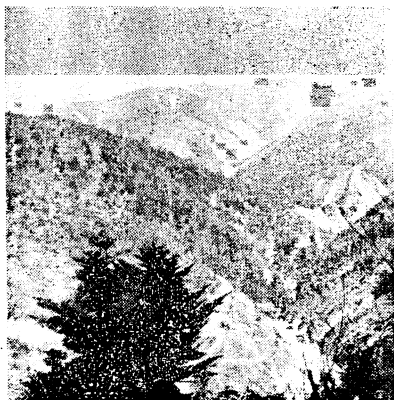
Phot. 46 山津波
Upstream mud and stone flow



Phot. 47 林地の崩壊
Landslides in forest land

(寒川村)

Sogawa village



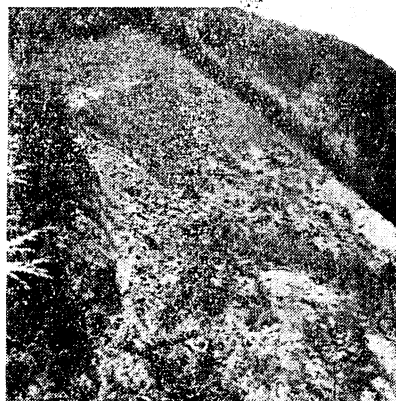
Phot. 48 崩壊地遠望 (上初湯)
A distant view of landslides



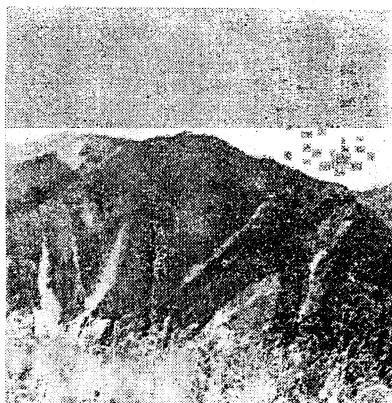
Phot. 49 溪床の堆砂 (瀬上)
Sedimentation on stream bed



Phot. 50 湧水による山腹滑落
Sliding of soil layers upon bed
rock due to welling



Phot. 51 地じり性崩壊
Landslide of landcreep type



Phot. 52 林地の崩壊
Landslides in forest land



Phot. 53 山腹崩壊と窪地崩壊
Landslide on hillside and landslide
in hollow

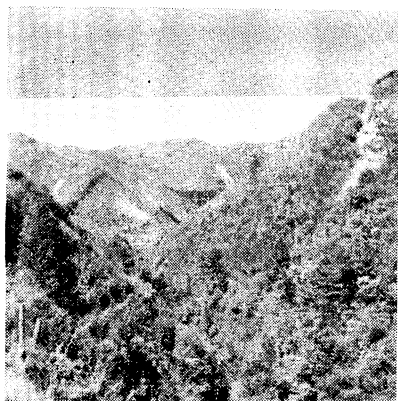


Phot. 54 山腹滑落（西の川）
Sliding of soil layers upon bed rock

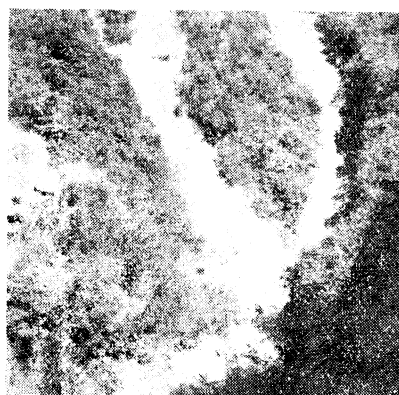


Phot. 55 曲流による溪岸崩壊
Landslide along stream due to meander

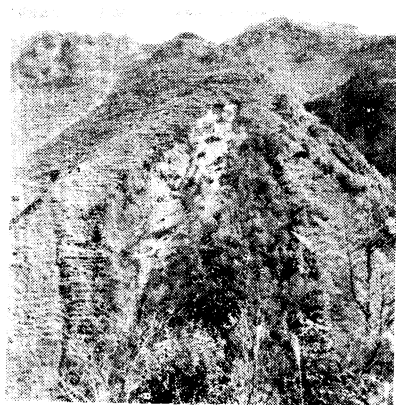
4. 富田川地区 Tonda district



Phot. 56 崩壊地遠望
A distant view of landslides



Phot. 57 浅い山腹崩壊
Shallow slides on hills:de



Phot. 58 浅い山腹崩壊
Shallow slides on hills:de



Phot. 59 山腹工事
Hillside works

5. 熊野川地区 Kumano district



Phot. 60 プロペラー船
Propeller



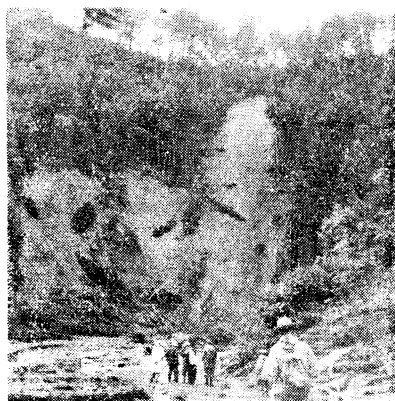
Phot. 61 川床の堆砂 (新宮)
Sedimentation on river bed

6. 木津川地区 Kizu district

(玉川 The Tama river)



Phot. 62 川床の堆砂
Sedimentat on on river bed



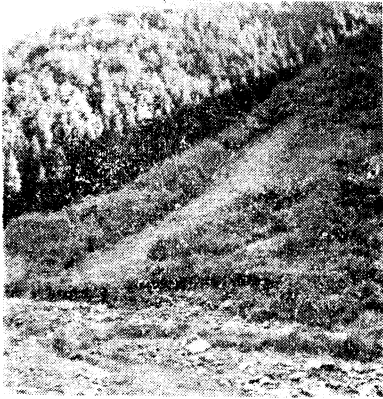
Phot. 63 溪岸崩壊
Landslide along stream



Phot. 64 溜池の欠潰 (大正池)
Collapse of irrigation pond



Phot. 65 山腹工事と崩壊
Hillside works and Iandslide



Phot. 66 山腹剥落
Landslide of surface stripping type



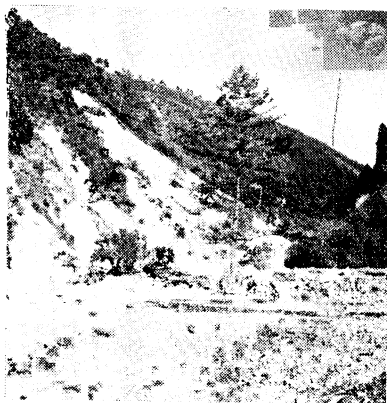
Phot. 67 林地の崩壊
Landslide in forest land



Phot. 68 溪岸崩壊
Landslide along stream



Phot. 69 溪岸崩壊
Landslide along stream

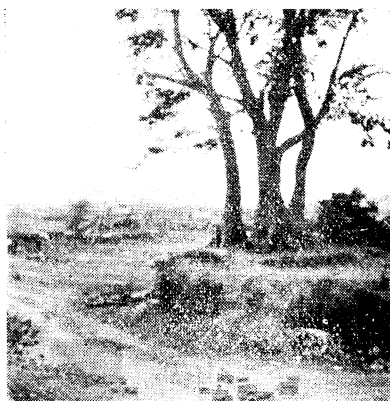


Phot. 70 スギとマツの抵抗力
Resistances of Sugi and Matsu



Phot. 71 堤防の欠潰（玉水）
Collapse of embankment

(棚倉村 Tanakura village)

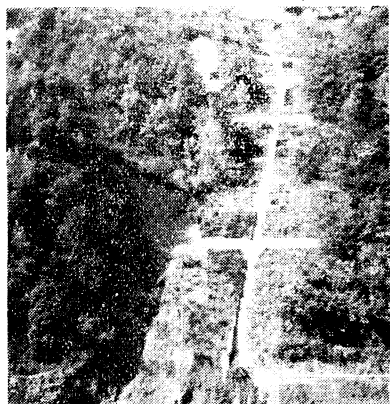


Phot. 72 欠潰にたえた大木 (玉水)
The big tree resisting against
collapse

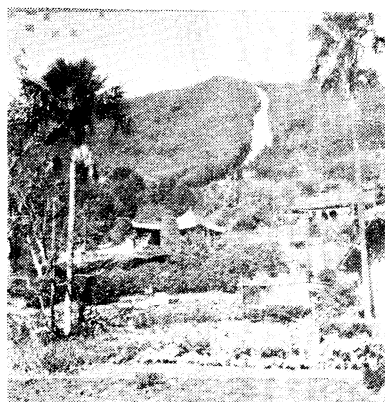


Phot. 73 天井川
Uplifted river

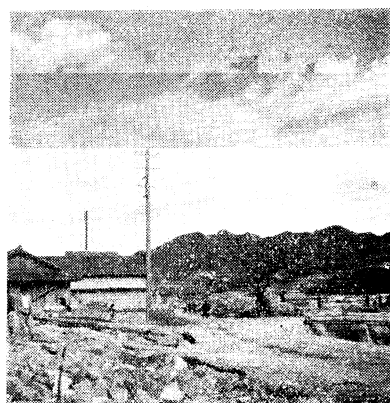
(和束川 The Watsuka River)



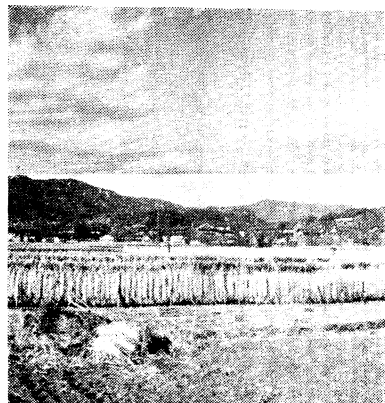
Phot. 74 山腹工事と崩壊
Hillside works and landslides



Phot. 75 林地の崩壊
Landslide in forest land



Phot. 76 洪水被害と崩壊地
Flood damage and landslides

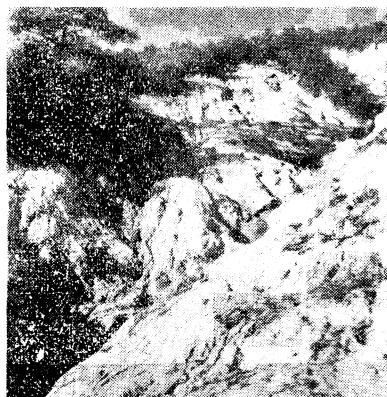


Phot. 77 崩壊地遠望
A distant view of landslides

(大河原村 Ôgawara village)



Phot. 78 崩壊地遠望
A distant view of landslides

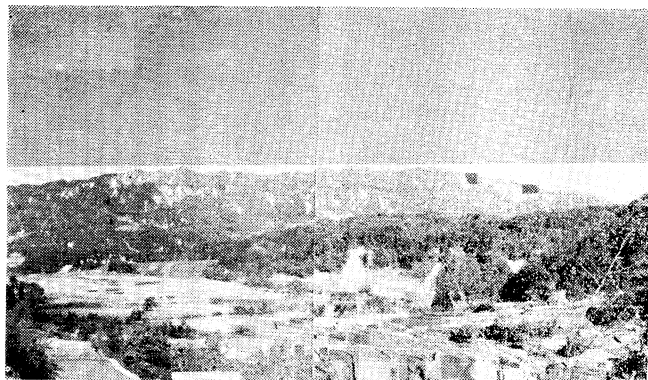


Phot. 79 花崗岩山地の崩壊
Landslide on granitic mountain



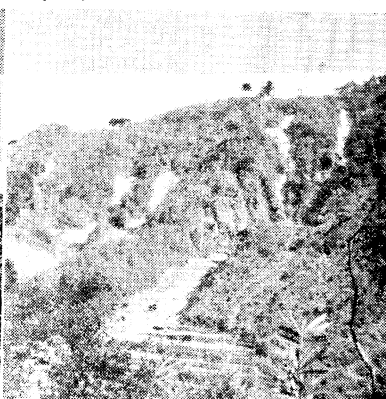
Phot. 80 下流土石流
Downstream mud and stone flow

(島原村 Shimagawara village)



Phot. 81 崩壊地遠望
A distant view of landslides

(上野市長田 Osada, Ueno city)



Phot. 82 花崗岩山地の崩壊
Landslides on granitic mountain