

始良カルデラの周辺山地流域における侵食と土砂生産*

寺本行芳**・地頭蘭 隆**・下川悦郎**・永田 治**

抄 録

始良カルデラの周辺山地流域では、これまで斜面崩壊・土石流がしばしば発生し、多量の土砂が生産されている。今回、始良カルデラの東部に位置する山地流域の侵食・崩壊と土砂生産について現地調査と空中写真判読に基づく解析を行った。得られた結果をまとめると次のようである。

- (1) 調査流域は、砂岩・頁岩が基盤岩となり、それを火砕流堆積物や火山灰・軽石が被覆した地質構造をしている。調査流域でみられたおもな侵食・崩壊の形態は、斜面の浸透水に起因する表層崩壊、基盤岩と火砕流堆積物の境界からの湧水に起因する表層崩壊および火砕流堆積物台地からの落水に起因する侵食の3つに分けられる。
- (2) 1966年, 1974年, 1984年, 1988年, 1991年および1995年の6組の空中写真を用いて調査流域の斜面崩壊の状況を解析した。その結果, 1991~1995年の期間に最も多数の斜面崩壊が発生しており, そのほとんどは1993年の豪雨によるものである。
- (3) 空中写真の判読結果から求めた斜面崩壊地の面積と平均崩壊深より, 1974~1995年の22年間に調査流域から生産された土砂量を求めた。その結果, 22年間に斜面崩壊により比土砂量に換算して合計約24,000 m³/km²の土砂が生産されており, 1年あたりの平均値を求めると1,090 m³/km²である。
- (4) 調査流域の下流部に位置する砂防ダム上流域の地形変化を空中写真を用いて測定した。その結果, 1977~1995年の19年間に砂防ダムに堆積した斜面崩壊・土石流および溪床・溪岸侵食による土砂量は合計約39,000 m³/km²であり, 1年あたりの平均値を求めると2,050 m³/km²である。

キーワード：始良カルデラ, 鹿児島県, 福山町, 侵食, 土砂生産

はじめに

始良カルデラは、鹿児島湾北部に位置する東西23km, 南北17kmの世界最大のカルデラである。このカルデラは、約25,000年前に入戸火砕流を噴出した直後の大規模な陥没により形成された¹⁾。カルデラ周辺に形成された流域・斜面は急傾斜で、地質構造は非常に複雑である。始良カルデラ周辺では、これまでしばしば斜面崩壊や土石流により土砂災害が発生している。たとえば、カルデラ西壁に位置する鹿児島市竜ヶ水地区では1976年に発生した崩壊・土石流による災害²⁾や1993年鹿児島豪雨によりカルデラ西壁一帯で発生した崩壊・土石流による災害³⁾、また、カルデラ東壁に位置する垂水市牛根地区では1976年および1977年に発生した崩壊・土石流による災害⁴⁾や

1993年の台風により発生した崩壊・土石流による災害⁵⁾などがある。

このように土砂災害が多数発生している始良カルデラ周辺において、カルデラ壁の流域・斜面における侵食・崩壊の形態、計画基本土砂量算定の基礎データとなる流域からの生産・流出土砂量などを把握しておくことは、火山地域での治山・砂防事業を効果的に進めるために重要である。本論は、始良カルデラ東部に位置するひとつの山地流域を対象として、現地調査および空中写真解析に基づき、侵食・斜面崩壊の特徴、その分布、生産・流出土砂量に関して検討したものである。

調査地の地形・地質・植生・気象

1. 地形

* TERAMOTO, Y., JITOUSONO, T., SHIMOKAWA, E. and NAGATA, O.:

Erosion and Sediment Yield in a Watershed Surrounding Aira Caldera:

** 鹿児島大学農学部生物環境学科

Department of Environmental Sciences and Technology, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890

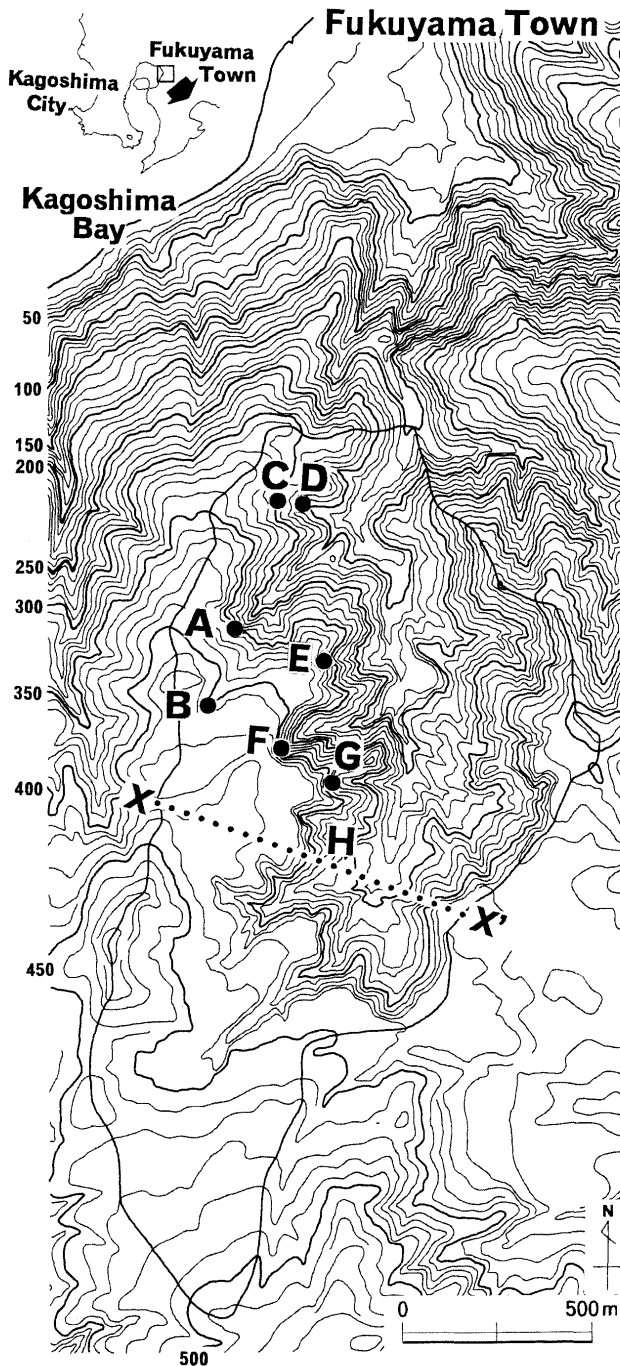


Fig. 1 Location of surveying area.
 図 1 調査地の位置と地形

調査地は、始良カルデラの東部に位置する鹿児島県始良郡福山町である (Fig. 1)。Fig. 2 は、調査地を立体的に示したものであり、黄色部分が調査流域である。調査流域は面積167.0ha、標高200~510mに位置し、本溪の勾配は7%程度である。Fig. 3 は、調査流域の傾斜区分図を示したものである。流域の左岸側には傾斜40度以上の急斜面 (図中赤色) が広く分布し、流域上流部には傾

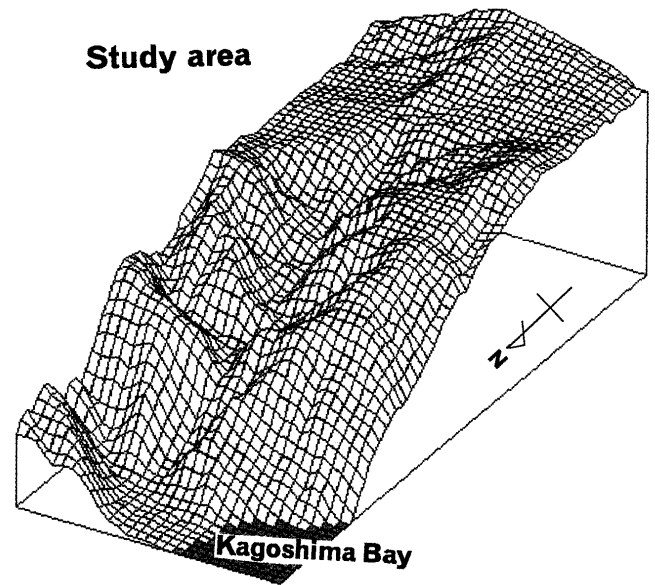


Fig. 2 Three-dimensional topographic map of surveying area. Superposed grid is 50m × 50m
 図 2 調査地の立体図 メッシュ間隔は50m

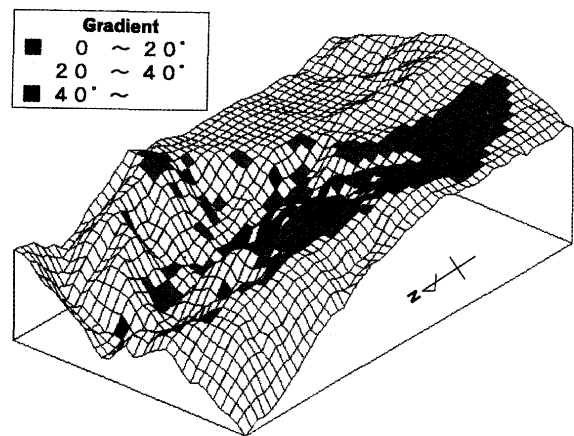


Fig. 3 Map of surveying area drawn in three dimension by contour lines with three different slope gradient.
 図 3 調査地の傾斜区分図

斜0~20度の緩斜面 (図中緑色) が広がっている。傾斜区分図においてグリッド単位で斜面傾斜20度ごとの面積および流域に占める面積率を求めると傾斜0~20度の斜面77.5ha(46.4%), 傾斜20~40度の斜面78.25ha(46.9%), 傾斜40度以上の斜面11.25ha(6.7%)である。縮尺5,000の1の地形図において流域に50m間隔のメッシュをかけてそれぞれのグリッド内の等高線本数を数え、流域平均傾斜を求めると24.6度であった。

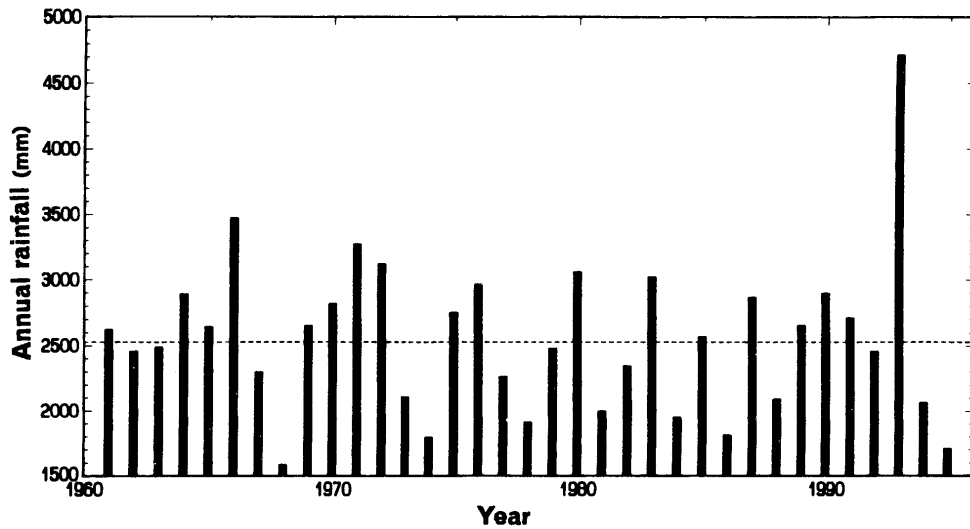


Fig. 4 Annual rainfall during the period from 1961 to 1995.

図 4 牧之原地域気象観測所における1961年～1995年の年降水量

2. 地質

調査流域の基盤岩は、中生界に属する砂岩・頁岩の互層からなる四万十層群である。四万十層群の露頭は主に侵食された谷底や河川に沿ってみられ、また、断層や褶曲が観察される。流域の最上流には更新世の火砕流堆積物である凝灰岩が分布している。さらに、調査流域には、始良カルデラを形成させた更新世末期の一連の噴火に伴う噴出物が厚く堆積している。噴出物は最下部から降下軽石層（大隅降下軽石層）、細粒の火砕流堆積物（妻屋火砕流）、砂岩、安山岩などの角礫層（亀割坂角礫層）、軽石や角礫を多く含む火砕流堆積物（入戸火砕流）からなる⁶⁾。“しらす”はこれらの火砕流堆積物の非溶結部であり、流域の中上流部にしらす台地を形成している。また、ほぼ全域を霧島および桜島火山から噴出した火山灰・降下軽石が覆っている。

3. 植生

森林基本簿⁷⁾に基づいて調査流域の林況を調査した。調査流域の林況の面積と流域に占める面積率を求めると、針葉樹93.4ha (55.9%)、広葉樹8.2ha (4.9%)、崩壊地1.1ha (0.7%)、その他64.3ha (38.5%)となっている。

4. 気象

Fig. 4は、調査地に近い牧之原地域気象観測所⁸⁾における1961年～1995年の35年間の年降水量を示したものである。35年間の年降水量の平均値は2536mm（図中破線）である。

侵食・斜面崩壊の特徴

調査地の侵食・斜面崩壊の特徴を明らかにするために、代表的な溪流において崩壊の形態、地盤の地質、湧水の有無、斜面の横断形・縦断形、崩壊斜面の向き・傾斜などについて現地調査を行った。Fig. 1のA, B, C, D, E, F, GおよびHの各地点でみられた斜面崩壊の模式図をそれぞれFig. 5に示す。得られた結果を述べると次のようになる。

A地点では、火砕流堆積物（妻屋および入戸火砕流）によって埋められた旧谷が再び侵食され、中央部に火砕流堆積物が残存する（Fig. 5のA）。谷中央部の火砕流堆積物は斜面脚部の洗掘と表層崩壊により、侵食されていると思われる。

B地点では、谷頭斜面において表層崩壊が発生している（Fig. 5のB）。斜面の地質は、下位から順に基盤岩としての砂岩・頁岩互層（四万十層群）、妻屋火砕流堆積物、入戸火砕流堆積物、火山灰・軽石層から構成され、非常に複雑である。妻屋火砕流堆積物と入戸火砕流堆積物はいずれも始良カルデラ起源の堆積物であるが、その構成材料と地質工学的性質は異なる。すなわち、妻屋火砕流堆積物はおもに火山灰と軽石からなる細粒～中粒の粗じょうな堆積物である。一方、入戸火砕流堆積物は、下位に亀割坂礫層と呼ばれる直径1m以上の岩塊を多量に含む堆積物である。礫の大きさと含有率は上位になるほどしだいに小さくなり、充填物としての火山灰や軽石の含有量が増える。表層崩壊は急斜面表層の薄い風化土層が浸透水の作用ですべり落ちたものであるが、妻屋火

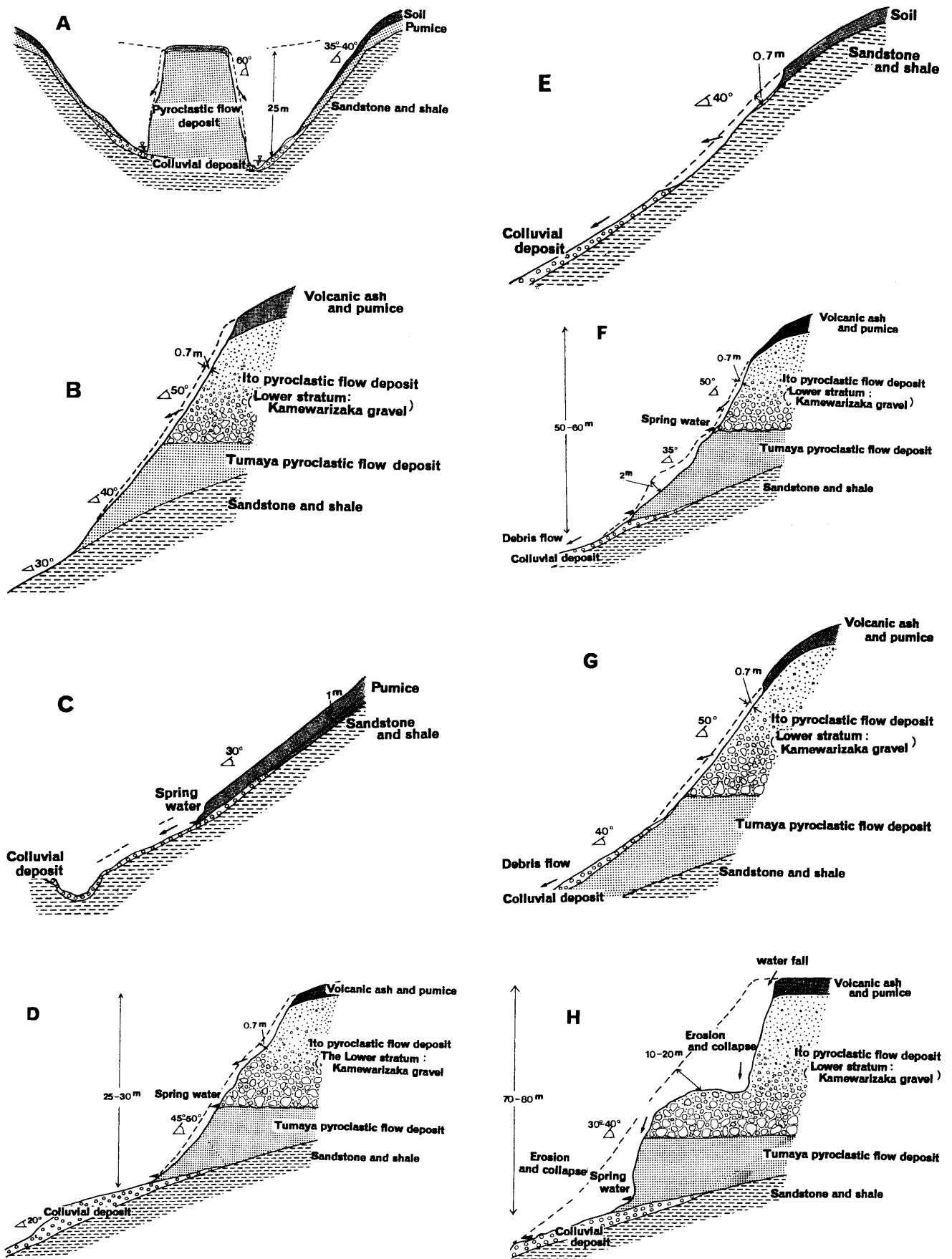


Fig. 5 Schematic profile of slope failures.

図 5 代表的な斜面崩壊の模式図

碎流堆積物と入戸火碎流堆積物の境界からの湧水も崩壊に絡んだものと考えられる。

C地点では、溪岸斜面が湧水により侵食され、表層崩壊が発生している (Fig. 5のC)。これは、崩壊でまず沢筋が流水で侵食され、その後、侵食が斜面上部に向かって拡大したものである。

D地点でも、谷頭斜面で表層崩壊が発生している (Fig. 5のD)。発生の地質的・地形的背景やしくみはB地点と同じである。ここでは特に湧水が崩壊に関与している。

E地点は、砂岩・頁岩からなる斜面の表層崩壊が発生している (Fig. 5のE)。本溪右岸側の斜面では、この種の崩壊が土砂生産の主要な形態になっている。

F地点でも、谷頭斜面で表層崩壊が発生している (Fig. 5のF)。斜面の地質構成はB地点やC地点と同じであるが、斜面脚部の砂岩・頁岩層と妻屋火碎流堆積物の境界付近からの湧水が崩壊に関与し、比較的大きな崩壊である。崩壊はさらに土石流化し、本溪との合流点まで流下した。

G地点でも、谷頭斜面で表層崩壊がみられる (Fig. 5のG)。斜面の地質構成はB, CおよびE地点の谷頭斜面と同じである。

H地点では、台地からの落水による山地斜面の侵食がみられる (Fig. 5のH)。斜面の地質構成はB, C, EおよびF地点と同じであるが、崩壊の形態と規模は大きく異なる。侵食は1993年の鹿児島豪雨時に発生したもので、その後の雨でさらに拡大した。侵食の引き金となった水は台地上の草地から供給された。また、これには砂岩・

頁岩互層と妻屋火碎流堆積物の境界からの湧水も絡んでおり、湧水で妻屋火碎流堆積物が崩壊し規模を大きくしている。

以上、調査流域でみられた侵食・崩壊は、風化土層がすべり落ちる表層崩壊、基盤岩と火碎流堆積物の境界からの湧水が関与した表層崩壊、台地からの落水による比較的規模の大きい侵食・崩壊の3つのタイプに分けられる。Fig. 6は、Fig. 1のX-X'における地質断面図を示したものである。右岸側では、その大部分が侵食に比較的強い抵抗性をもつ四万十層群の砂岩・頁岩で占められ、表層崩壊が卓越する。左岸側では、基盤岩を侵食に弱い火碎流堆積物が分厚く覆い火碎流台地を形成し、表層崩壊に加えて基盤岩と火碎流堆積物の境界からの湧水や台地からの落水が絡む比較的規模の大きい侵食・崩壊が発生している。左岸側の支溪が細長いのは、湧水が絡む崩壊が繰り返され、谷頭斜面が後退する形で谷の伸張が活発に生じているからである。また、侵食・崩壊のタイプの違いは、土砂生産の形態や土砂生産量にも影響を与えている。

侵食・斜面崩壊の発生経緯

1. 解析方法

調査流域の斜面崩壊、侵食状況を空中写真によって把握した。空中写真の判読にはトプコン製ステレオ解析装置 (PA-2000A システム) を使用した。ステレオ解析装置は、空中写真上の必要な諸点の写真座標を座標測定器で測点し、コンピュータによって3次元座標データを抽出する装置である。

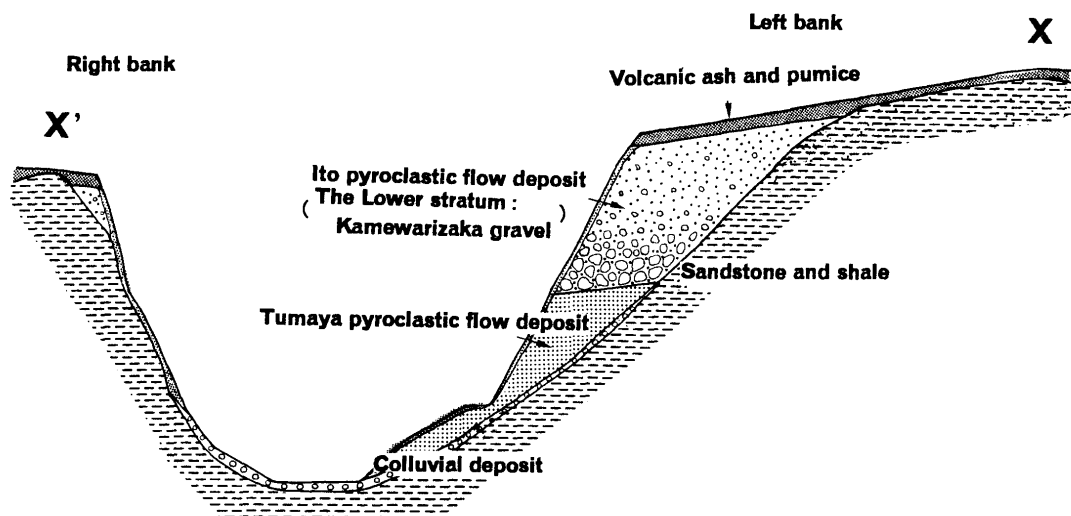


Fig. 6 Geological profile (X-X').

図6 地質断面図 (X-X')

斜面崩壊跡地の周囲，溪流の縦断形，砂防ダムの堆砂域の地形などに関する3次元座標データを空中写真から測定した。得られた3次元座標データを用いて崩壊跡地の位置確定や面積測定，河道の縦断測量，砂防ダム堆砂域の地形変化などの解析を行った。さらに，斜面崩壊・土石流による生産土砂量と流出土砂量の計算を行った。

2. 侵食・斜面崩壊の分布

空中写真を判読し，斜面崩壊跡地の周囲の3次元座標値を求めた。解析に用いた空中写真は，1966年，1974年，1984年，1988年，1991年および1995年の6組である。

Fig. 7は，ステレオ解析装置を用いて読み取った斜面崩壊跡地分布図である。それぞれの空中写真間で同一崩壊跡地の有無の点検を行った。したがって，図中にプロットされた崩壊跡地はそれぞれの写真撮影年の間に発生した崩壊である。

Table 1は，斜面崩壊跡地の周囲座標データからそれぞれの崩壊跡地の面積を計算し，期間ごとの崩壊跡地面積の範囲・平均値およびその分布割合を示したものである。

以下，それぞれの期間において発生した侵食・崩壊（ここでは上述の3形態に分けずに，これらを含めて考える）分布の特徴について，これを調査地近くの牧之原地域気象観測所における1961～1995年の降雨データとの関連から検討する。

(1) 1966年空中写真

判読された斜面崩壊数は39個である。調査流域の急斜面にほぼ一様に崩壊が分布しており，ほとんどが表層崩壊である。崩壊地面積は3～362 m^2 の範囲にあり，平均91 m^2 であり，200 m^2 未満の崩壊が約87%を占めている。写真が撮影された1966年直前的大雨には，1964年8月16～24日の台風14・16号による大雨（最大日雨量192mm），1964年9月23～25日の台風20号による大雨（最大日雨量445mm，この値は牧之原地域気象観測所における1961～1995年の最高値），1965年8月4～6日の台風15号による大雨（最大日雨量230mm），1966年7月7～9日の梅雨前線による大雨（最大日雨量283mm）がある。

(2) 1974年空中写真

判読された斜面崩壊数は33個であり，1966～1974年の8年間に発生したものである。調査流域の急斜面にほぼ一様に崩壊が分布しており，ほとんどが表層崩壊である。崩壊地面積は31～1,327 m^2 の範囲にあり，平均254 m^2 である。前期間に比較して規模の大きな崩壊が目立ち，中には1,000 m^2 を超えるものが3箇所ある。1966～1974年は鹿児島県下で大きな土砂災害がたびたび発生した時期であり，その時に発生

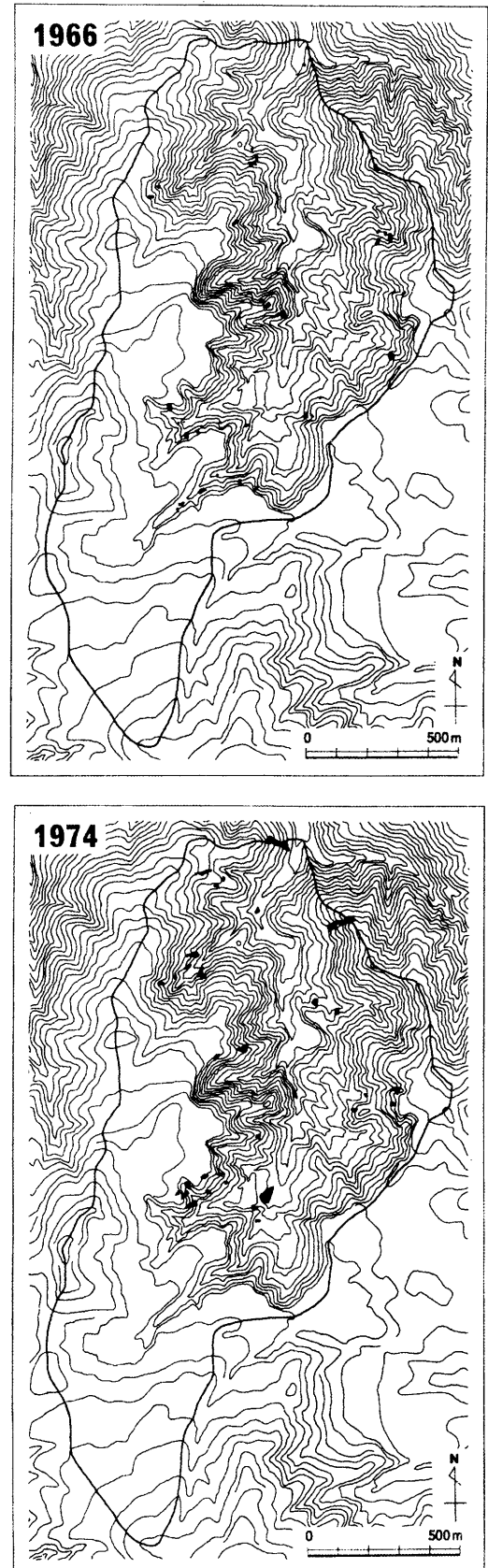


Fig. 7(1) Spatial distribution maps showing erosion scars by slope failures based on aerial photographic interpretation.

図 7(1) 斜面崩壊の分布

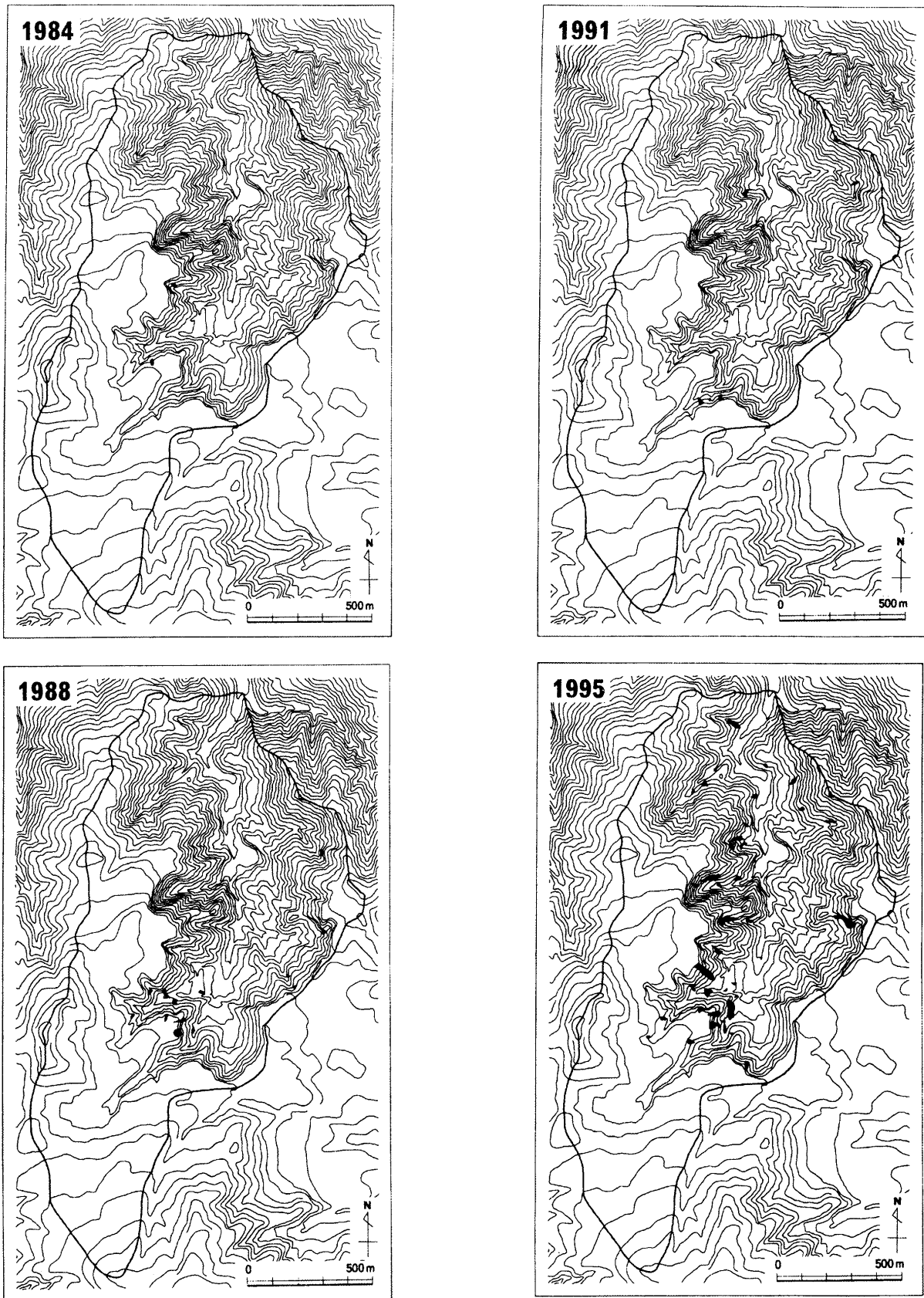


Fig. 7(2) Spatial distribution maps showing erosion scars by slope failures based on aerial photographic interpretation.

図 7(2) 斜面崩壊の分布

Table 1 Area of slope failures.
表 1 斜面崩壊地の面積

Term	Number of slope failure	Area of slope failure		Distribution of slope failure		
		Range m ²	Average m ²	0~200m ² %	200~400m ² %	400m ² ~ %
~1966	39	3 ~ 362	91	87.2	12.8	0
1966~1974	33	31 ~ 1,327	254	66.7	21.2	12.1
1974~1984	3	62 ~ 223	137	66.7	33.3	0
1984~1988	13	47 ~ 685	214	69.2	23.1	7.7
1988~1991	6	38 ~ 332	227	33.3	66.7	0
1991~1995	41	12 ~ 1,895	383	39.0	34.2	26.8

した崩壊と思われる。主な大雨には、1969年6月28日～7月12日の梅雨前線による大雨(最大日雨量344mm)、1971年8月3～5日台風19号による大雨(最大日雨量228mm)がある。

(3) 1984年空中写真

判読された斜面崩壊数は3個である。崩壊発生場所は3箇所とも調査流域の左岸側のしらす斜面であり、表層崩壊である。崩壊地面積は62～223m²の範囲にあり、平均137m²である。1974～1984年の期間には、鹿児島県下で大きな被害が出た1976年の6月22～26日の梅雨前線による大雨災害が発生している。このとき牧之原地域気象観測所では総雨量548mm、最大日雨量234mmを記録している。この大雨により、調査流域の上流部のしらす斜面において多数斜面崩壊が発生している。災害後、しらす斜面の山腹工事が施されたため、1984年空中写真の判読ではこれらの崩壊が数えられていない。なお、1976年災害後の1977年に調査流域の直下流に鹿児島県により砂防ダムが建設された。この砂防ダムの堆砂に関する解析については後述する。

(4) 1988年空中写真

判読された斜面崩壊数は13個であり、1984～1988年の4年間に発生したものである。崩壊は調査流域の上流部のしらす斜面に多くみられ、ほとんどが表

層崩壊である。崩壊地面積は47～685m²の範囲にあり、平均214m²である。1984～1988年の期間には、1984年8月25～26日の大雨(最大日雨量186mm)、1985年8月30～31日の台風13号による大雨(最大日雨量115mm)に見舞われている。

(5) 1991年空中写真

判読された斜面崩壊数は6個であり、1988～1991年の3年間に発生したものである。崩壊は調査流域の左岸側のしらす斜面に発生しており、ほとんどが表層崩壊である。崩壊地面積は38～332m²の範囲にあり、平均227m²である。1988～1991年の期間の大雨には1989年7月27～28日の台風11号による大雨(最大日雨量369mm)、1990年9月28～29日の台風20号による大雨(最大日雨量202mm)がある。特に1989年の台風11号による大雨では、調査地の南部に位置する垂水市において斜面崩壊・土石流・洪水流が多発し、死者、負傷者、家屋の倒壊・浸水、農地埋没など大きな被害が発生している。

(6) 1995年空中写真

判読された斜面崩壊数は41個であり、1991～1995年の4年間に発生したものである。崩壊地面積は12～1,895m²の範囲、平均383m²であり、中には1,000m²を超えるものが4箇所ある。今回空中写真判読を行った期間中で最も多数の崩壊が発生し、また規模

も大きい。崩壊の発生位置は調査流域の左岸側に集中しており、その多くは表層崩壊である。しかし、前項で述べたように台地上からの雨水の落水による侵食も発生している。また湧水が関与した崩壊もみられる。これらの崩壊のほとんどは1993年に幾度となく見舞われた豪雨により発生したものと思われる。

また、調査地周辺は1991～1992年に桜島の火山活動に伴う降灰の影響を受けている。支溪上部の林地で測定した最近の桜島火山灰の厚さは10cmに達し、林地地表面は非常に固く浸透能が低下したことが予想される。土壌浸透能が低下すると表面流が発生しやすくなり、リル・ガリ侵食が活発化する。1992年、調査地南部の垂水市牛根麓～海潟小浜間の山腹斜面では土壌浸透能の低下に伴う表面流の発生、リル・ガリ侵食の激化により多量の土砂が国道に流出し、しばしば通行止となった⁵⁾。

3. 溪流の侵食と堆積

1966年、1974年、1984年、1988年、1991年および1995年の6組の空中写真についてステレオ解析装置により調査流域の本溪河道の縦断測量を行った。Fig. 8はステレオ解析装置を用いて行った本溪河道の縦断測量結果である。図中の砂防ダムは1976年災害後の1977年に建設されたものであり、調査流域の最下流点から約100m下流に位置する。図中の距離はこの砂防ダムからの距離である。また、図中の破線は縦断図をほぼ平均した場合に得られる10%勾配線である。1966年から1974年にかけて400～1200m区間（標高210～300m）が最大で10m程度侵食されている。1974年から1984年にかけては、1976年災害後に砂防ダムが建設されたため砂防ダム上流には多量の土砂が堆積している。1966年から1974年にかけて侵食された区間のうち600～1000m区間（標高240～280m）は侵食されたままであるが、1000～1200m（標高280～310m）には土砂の堆積がみられる。1984年から1988年にかけては、砂防ダム上流の土砂の堆積がさらに進み、砂防ダム上流約400m付近まで及んでいる。また、1966年から1974年にかけて侵食された600～1000m区間もやや土砂が堆積している。1988年から1991年にかけては、砂防ダム上流側の土砂の堆積がさらに進み、ダムはほぼ満砂状態となった。1966年から1974年にかけて侵食された400～1000m区間（標高210～290m）はさらに土砂の堆積が行われ、1966年当時の溪床と同じになっている。一方1000～1500m区間（標高290～330m）には土砂が堆積している。1991年から1995年にかけては、砂防ダム上流の土砂は堆積がさらに進み、空中写真が撮影された1995年3月時点では洪水勾配の状態に堆積している。現地調査を

行った1995年7月には洪水勾配で堆積していた土砂は洪水により侵食されていた。上流域の1000～1500m区間（標高290～330m）の堆積はさらに進んでおり、1993年豪雨に伴い流域左岸斜面に多数発生した崩壊地から多量の土砂が生産されたことを示している。これは現地調査を行った1995年7月にも確認された。

生産・流出土砂量

1. 斜面崩壊による生産土砂量

1966年、1974年、1984年、1988年、1991年および1995年の6組の空中写真のステレオ解析装置による解析から得られた斜面崩壊跡地周囲の座標値からそれぞれの崩壊地の面積を計算した。個々の崩壊跡地面積に崩壊深を乗ずると崩壊土砂量が計算できる。現地調査によると、表層崩壊の平均的な崩壊深は0.7m、落水型侵食の平均的な崩壊深は5mであった。崩壊斜面の平均的な傾斜を45度すると崩壊土砂量は次式で計算される。

$$\text{崩壊土砂量} = (\text{崩壊地面積}) \times (\text{有効崩壊深}) \times \sqrt{2}$$

Table 2は、期間ごとに集計した個々の崩壊土砂量である。1974～1995年の22年間に斜面崩壊によって生産された土砂量の合計は約40,000 m^3 であり、比土砂量に換算すると約24,000 m^3/km^2 である。1年あたりの平均値を求めると約1,820 m^3 であり、比生産土砂量に換算すると約1,090 m^3/km^2 である。幾度となく豪雨に見舞われた1993年には多量の土砂が生産されたことがわかる。また、落水型侵食は表層崩壊に比べて生産される土砂量が非常に多くなっている。

2. 流域からの流出土砂量

1976年災害後の1977年に建設された砂防ダム（標高190m）の上流域の地形測量を1984年、1988年、1991年および1995年の空中写真を用いてステレオ解析装置により行った。さらに砂防ダム建設前の地形を把握するために1974年の写真解析も行った。Fig. 9は、砂防ダム上流側の3次元座標データを用いて2m間隔の等高線図を作成したものである。砂防ダムの放水路天端の標高は206mであり、ダム建設前に撮影した1974年の空中写真から求めた地形図からダムの容量を等高線を利用して両端面平均法で計算すると約58,000 m^3 である。

空中写真を用いて作成したダム上流域の地形図から上記と同様の方法でダム容量を求め、ダム容量の変化からダムに堆積した流出土砂量を計算した（Table 3）。1977～1995年の19年間にダムに堆積した土砂量の合計は約65,200 m^3 であり、比流出土砂量に換算すると約39,000 m^3

／ km^2 である。1年あたりの平均値を求めると約 $3,430 \text{ m}^3$ であり、比流出土砂量に換算すると約 $2,050 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ である。斜面崩壊による生産土砂量に比べるとダムに堆積した土砂量の方が多くなっている。これは、ダムに堆積した土砂量に斜面崩壊による土砂量、斜面崩壊が土石流化した部分での侵食土砂量、溪床・溪岸侵食による土砂量などが含まれているためである。ダム上流では19年間、溪床・溪岸は侵食され多量の土砂生産が行われて、ダム

の堆積土砂量を増加させている。このことは、Fig. 8の縦断面図の変化にも現れている。また、1995年3月に撮影された写真ではダムは満砂し、7%（4度）の勾配で土砂が堆積している。Table 3に示された1995年の土砂量にはこの部分の土砂量も加えられている。砂防ダムに流入した土砂には調査流域だけでなく、調査流域の北東側の流域も含まれているが、空中写真判読によると調査流域からの土砂量がほとんど推定される。

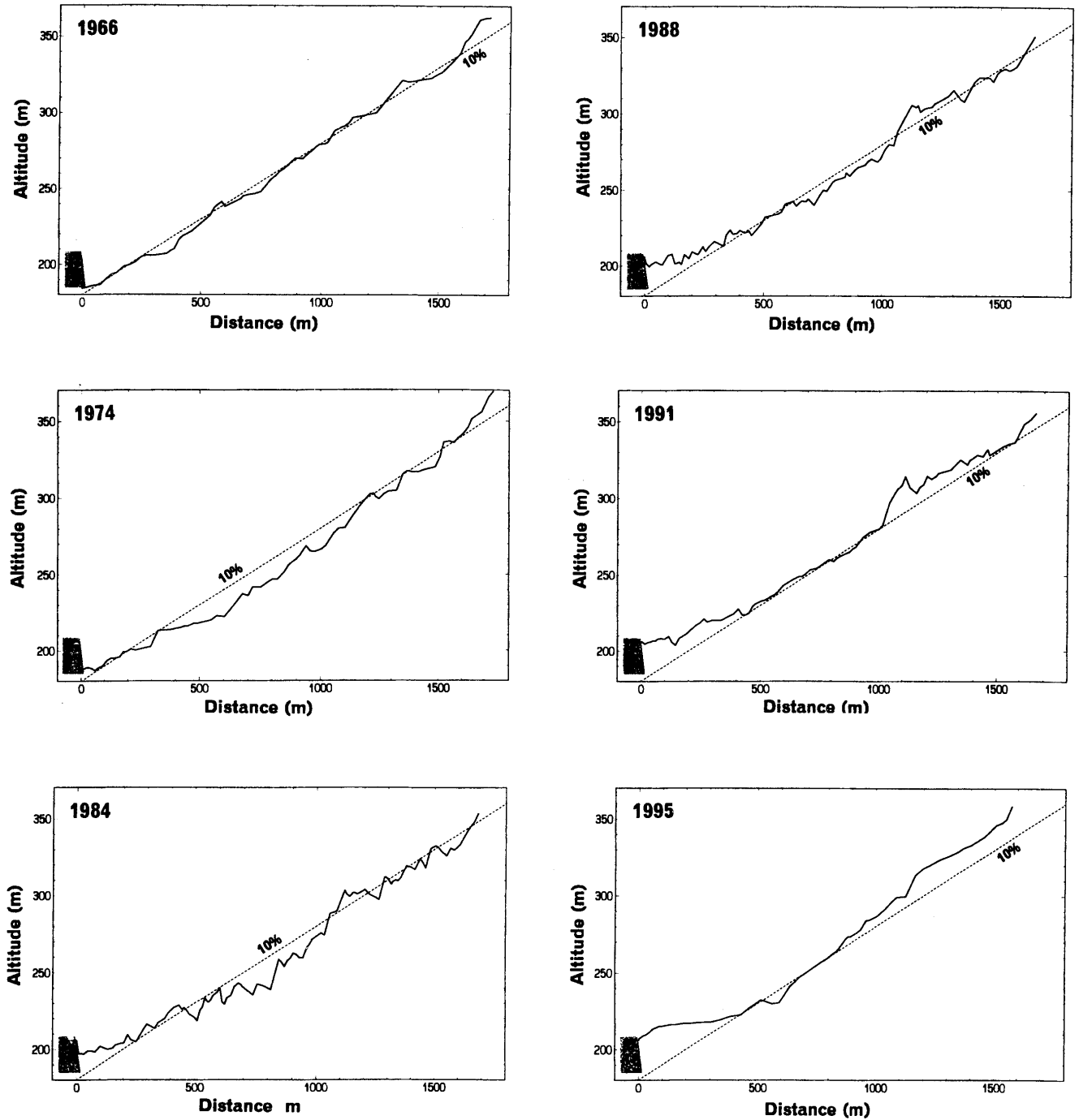


Fig. 8 Longitudinal profile of main stream in surveying area.

図 8 本溪の河床縦断面図の変化

Table 2 Sediment production by slope failures.
表 2 斜面崩壊による生産土砂量

Term	Number of slope failure	Type	Total area of slope failure m ²	Sediment production m ³	Specific sediment production m ³ /km ²
~1966	39	slope failure	3,549	3,549	2,125
1966~1974	33	slope failure	8,383	8,383	5,020
1974~1984	3	slope failure	411	411	246
1984~1988	13	slope failure	2,779	2,779	1,664
1988~1991	6	slope failure	1,364	1,364	817
1991~1995	{ 40 1	{ slope failure water fall erosion	{ 13,803 1,895	{ 13,803 13,265 } 27,068	{ 8,265 7,943 } 16,208

Table 3によると、砂防ダム完成後から1984年までに約7,200m³の土砂が流入している。これは砂防ダム建設のきっかけとなった1976年大雨により調査流域の上流部のしらす斜面から生産された土砂が流入したものと考えられる。このことは1974年と1984年の空中写真から測定した本溪の縦断面図の変動に現れている。1993年大雨によっても約32,000m³の土砂が砂防ダムに堆積した。1995年3月に撮影された空中写真の解析によるとダム上流には洪水勾配で土砂が堆積しているが、1995年7月の現地調査ではその土砂はダム下流へ流出している。

Table 3 Sediment discharge caught by the check dam.
表 3 砂防ダムの堆積土砂量

Term	Sediment discharge m ³	Specific sediment discharge m ³ /km ²
1977~1984	7,237	4,318
1984~1988	10,951	6,534
1988~1991	15,330	9,147
1991~1995	31,658	18,889

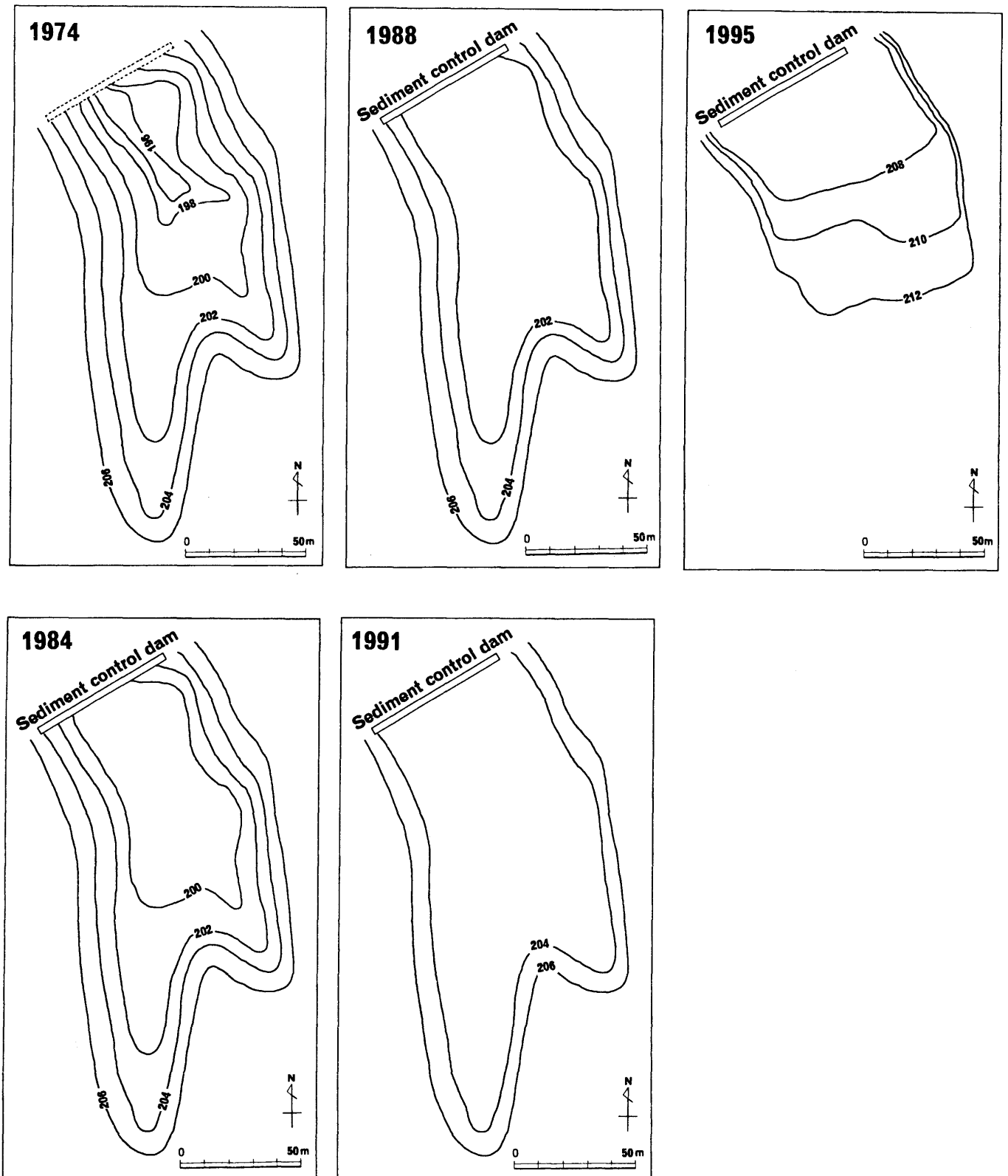


Fig. 9 Ichnographic state upstream of the check dam.
 図9 砂防ダム上流堆積地の地形の状況

謝 辞

末筆ではあるが、現地調査の際には鹿児島県加治木農林事務所、(社)鹿児島県治山林道協会の方々にご協力を頂いた。また、この研究を行うにあたり鹿児島大学大学院連合農学研究科のGPS装置およびステレオ解析装置を使用した。ここに記して謝意を表します。

引用文献

- 1) 荒牧重雄：桜島火山の地質・噴出物，「桜島火山の総合調査報告」，79-88 (1975)
- 2) 春山元寿・下川悦郎：鹿児島市吉野町竜ヶ水地区の山地崩壊・土石流について，新砂防(砂防学会誌)，30(4)，33-38 (1978)
- 3) 下川悦郎・地頭蘭隆・松本舞恵・三浦郁人・加藤昭一：1993年豪雨による鹿児島県下の土砂災害，「1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究」報告書，1993年豪雨災害鹿児島大学調査研究会，47-59 (1994)
- 4) 小林哲雄・若松暉・露木利貞：始良カルデラ壁の火山地質と山くずれ災害，鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学)，No. 10，53-73 (1977)
- 5) 地頭蘭隆・下川悦郎：垂水市域の土砂災害(8.9災害，9.3災害)，1993年鹿児島豪雨災害—繰り返される災害—，(社)土質工学会，95-111 (1995)
- 6) 鹿児島県：鹿児島県地質図(縮尺10万分の1) (1990)
- 7) 鹿児島県：森林調査簿 (1991)
- 8) 鹿児島県・鹿児島地方気象台：鹿児島県農業気象月表(1961～1995)

Summary

The slope failures and debris flows that have occurred recently in the watersheds surrounding the Aira Caldera in southern Kyushu have yielded a large amount of sediment. Based on field surveys and the analysis of aerial photographs of the area, the current study analyzes the erosion, slope failures,

and sediment yield in a watershed located at the eastern side of the Aira Caldera. The results are as follows:

(1) The geological composition of the surveyed area consists of a sandstone and shale base covered with pyroclastic flow deposits, volcanic ash, and volcanic pumice. Three main types of erosion and slope failures were observed in the area: shallow landslide resulting from water saturation of the slopes, slope collapse resulting from the seepage of spring water between the bedrock and pyroclastic-flow-deposits, and erosion of pyroclastic-flow-deposits resulting from rainfall.

(2) The slope failures in the surveyed area was also analyzed by making use of six sets of aerial photographs which were taken in 1966, 1974, 1984, 1988, 1991, and 1995. The result of this analysis revealed that most of the slope failures occurred between 1991 and 1995, mostly as a result of the torrential rainfalls occurring in 1993.

(3) The sediment production that slope failures yielded in the surveyed area during the twenty-two year period between 1974 and 1995 was found by determining the area and depth of slope failures through analysis of the aerial photographs. The amount of sediment yielded during the twenty-two year period was calculated at $24,000 \text{ m}^3 / \text{km}^2$, which is a yearly average of $1,090 \text{ m}^3 / \text{km}^2$.

(4) The aerial photographs were also used to survey the extent of topographical changes along the upper stream of the check dam, which is located at the middle reaches part of the watershed in the surveyed area. The total amount of sediment yield that had accumulated against the check dam, including sediment from slope failures, debris flows, and erosion from ravine banks and floors, was calculated for the nineteen-year period between 1977 and 1995 at $39,000 \text{ m}^3 / \text{km}^2$, a yearly average of $2,050 \text{ m}^3 / \text{km}^2$.

Key Words: Aira Caldera, Kagoshima Prefecture, the town of Fukuyama, erosion, sediment yield