

昭和51年台風17号による愛媛県蒼社川
流域の山地災害に関する研究

伏見 知道*・小川 滋*
鬼木 幹男*・今西 隆男*

Studies on Mountain Devastation Caused
by Typhoon No. 7617 on Sōja River
Basin in Ehime Prefecture

Tomomichi FUSHIMI, Shigeru OGAWA,
Mikio ONIKI and Takao IMANISHI

Summary : The various places were struck by the typhoon No. 7617, and then the damage was the severest on record in Ehime prefecture. In order to clarify the actual circumstance of the mountain devastation, we investigated the Sōja River Basin where the forest landslides occurred concentrically in Ehime prefecture. We report the results of this investigation and discuss in this paper.

The investigated region was divided into five districts as follows, I, II, III, IV and V (Table 1), and each district consists of the weathered granite. The investigation was practised by the field survey, the aerophotographs taken on November 1976 and April 1973, and the topographical maps on a scale of one to five thousand.

1. Based on the field survey, the volume of slided sediment was obtained from Eq. (1),

$$Y = 0.3715 X^{1.2736} \quad (\text{m}^3), \quad (r = 0.9086) \dots\dots\dots(1)$$

where X is the area (m^2) of a slided land, r is the correlation coefficient. The slided sediment calculated from Eq. (1) was 540,000 cubic meters on mountainous forest land, and was 230,000 cubic meters on arboricultural garden in mountainous region.

2. The maximum rainfall per hour was 48 mm. The continuous rainfall amounted to more than 500 mm by the occurrence of landslide, and the value exceeded the critical rainfall against occurring devastation, though the critical values based on the recorded examples.
3. Maps of the distribution of devastation in the investigated region were compiled by interpreting the aerophotographs, and the density of landslides was quantitatively analysed. In whole region, the ratio of the landslide was 0.8 per cent in area. The devastation was concentrated on the mountainous forest

* 森林工学研究室 Laboratory of Forest Engineering

land of the Harada River Basin (II), and the ratio of landslide exceeded 2 per cent in area.

4. A lot of arboricultural gardens have been exploited at the foot of mountain region in the district V, and the largest devastated ratio of them exceeded 10 per cent of garden area.
5. Many landslides occurred from the middle part of hillside slope. The landslide occurred on some direction indicating the main slope of each basin, and there was not a certain direction occurring a high ratio of landslide.
6. At every gradient of forest land, the numerical distribution of the landslide corresponded nearly to the area distribution of the landslide. The ratio of occurrence of landslide was the largest value on hillside with mean inclination angle of 27°. The landslide occurred concentrically on hillside with inclination angle of 17 ~ 22° in the Ogo River Basin (I).
7. In each district except the district V, the drainage density of hillside corresponded with the devastation ratio.
8. The landslide area of an arboricultural garden was larger than that of a landslide on mountainous forest land in the investigated region.
9. The overbalanced deposit on the stream bed was transferred to the down stream, and became the magnifying factor of the devastation.
10. In such a case as exploitation of arboricultural garden on hillside where the slopes slide easily by the reason of deeply weathered granite, the positive preventive method must be taken to the occurrence of landslide.

要 旨 愛媛県は、気象災害が比較的少ない地方の1つと考えられるが、台風7617号によって、松山市から東部の各地で、未曾有の大災害が生じた。そのうち、山地災害は高縄山系を東西に走る地域で、甚だしいので、その中央にある蒼社川流域の荒廃の実態を調査した。

災害時の最大時雨量は、特に大きいとは言えぬが、災害発生までの連続雨量が400 mm ~ 500 mm 以上、総雨量は800 mm を越え、実例に基づく、山地災害発生限界雨量を著しく越えている。その結果、調査地全域に分布するマサ土の含水率が著しく上昇し、山腹崩壊が多発する一方、長期間平衡状態にあった溪床堆積物も土石流あるいは、土砂流となって下流へ流送され、災害拡大要因の1つとなった。

調査地の面積荒廃率は0.8%、山林地に限れば小面積崩壊が大多数を占め、その平均面積荒廃率0.6%、災害集中域で2%に達している。また山地内樹園地では、大面積崩壊を含み平均面積荒廃率10%前後に達する大災害になっている。

山林地崩壊の発生位置は、斜面中部が最も多い。また、崩壊は各流域の主要斜面方位で多く、崩壊が特に多い方位はない。山林地崩壊の面積と個数による傾斜別分布は、ほぼ対応し、発生率の最も高い階層は27°である。傾斜別崩壊発生比で見ると、全域的には各傾斜度の所で、ほぼまんべんなく発生しているのであるが、玉川ダムより上流に限ってみると17°の階層で最も多発している。荒廃率の高い地域は谷密度も高い。崩壊土砂量は、山林地および樹園地を合わせ79万 m³ を越えた。

山地内樹園地における崩壊は、1箇所あたり規模の大きい場合があり、今後、山地部を開発して、樹園地、厚生施設等を造成しようとする場合には、治山・砂防的立場からの十分な配慮が必要である。

I は じ め に

台風7617号は、9月9日から4日間にわたり、九州近海で停滞状態を続けたため、西日本を中心とする各県で未曾有の大雨となり、小豆島など各地に著しい土砂災害が発生した。愛媛県¹⁾でも、9月11日から12日にかけて、山林地や樹園地の崩壊、河川氾濫、堤防決壊等が多発した結果、死者11名建物その他公共施設等に、近年稀にみる大被害が生じた。その規模は、昭和47年秋雨前線による被害の約7倍に達するという。

林地をはじめ、里山地域に造成されたゴルフ場や大規模樹園地など、山地内のいろいろな部分に、災害が生じた

のであるが、ゴルフ場内の崩壊は、外部に対する災害拡大要因となることはほとんどなかった。しかし、林地や造成樹園地の崩壊は、土石流や土砂流となって、しばしば下流域に流出し、災害の拡大要因となっている。

県内山地部を大観してみると、変成岩地帯に比べ、和泉砂岩および領家花崗岩地帯に崩壊が多く、崩壊の型はおおよそ次のように分類できる。

- (1) 表層滑落
- (2) 谷頭の新生・発達による崩壊あるいは土石流としての流下
- (3) 流動すべり型地すべりに伴う崩壊
- (4) 層すべり型地すべりに伴う崩壊

このうち、花崗岩地域では(1), (2), (3)が、変成岩地域では(1), (2), (4)がある。

また、山林地内の溪流では、従来長期間にわたって平衡状態にあった渓床堆積物が、土石流となって流下したため、溪岸が侵食崩壊して、山林地災害が助長されただけでなく、下流域に災害を誘発した例もある。

山林地は、植生の繁茂とともに、表面侵食に対し抵抗力を増してゆく反面、土壌が次第に厚くなり、崩壊ポテンシャル²⁾を蓄積してゆき、斜面崩壊の確率を高めてゆく。しかし、一たん崩壊すると崩壊ポテンシャルは零に近くなり、そこでの崩壊のおそれは減ずるものであり、崩壊現象は不完全ながら長周期的と考えてよいであろう。今回の山林地崩壊は、この侵食輪廻の中での豪雨という崩壊確率を高める強い因子によって誘発された現象である。しかし一方に、山地内に造成されたゴルフ場や樹園地の崩壊があるのであるが、これらは山地部人工斜面の崩壊であって、山林地の自然斜面における侵食輪廻の中の崩壊と異なるものである。われわれは、自然の侵食輪廻に逆らうことはできないが、その中で、土砂の流出による災害を防ぐべく努力しなければならない。

今回の災害にあたり、著者等は、当初から崩壊の実態調査に、それぞれ何らかの形で参画してきたのであるが、山地部災害の特性を明らかにすることにより、本地域の山地保全予防山対策検討の基礎資料とするため、若干の解析を試みたので報告する。

なお、調査の実施にあたっては、愛媛県農林水産部林業課および耕地課の方々の御協力をいただいた。また資料の調製整理に本学森林工学研究室技術補佐員武田和 嬢(現・演習林研究部)、専攻生立川 忠君(現・ヤマエ久野KK)の協力を得た。合わせ記し謝意を表する。

II 調査方法

台風 7617 号による愛媛県の災害を航空写真で観察すると、山林地災害は高縄山系で特に著しい。また山麓部では、大規模に造成された果樹園の崩壊も多発している。そこで山系内の主要流域における山地全体について考察す

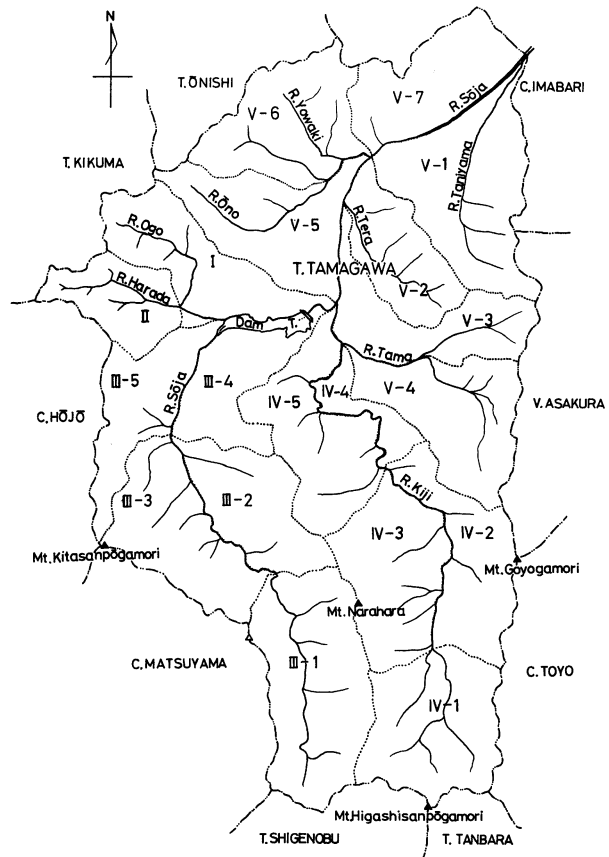


Fig. 1 Divided map of the investigated watershed

ることとし、蒼社川流域山地部（越智郡玉川町の全域と、ごく一部今治市南端を含む）を調査地とした。

1) 流域区分

調査にあたり、蒼社川の対象流域を、次のように区分した。(Fig.1 参照)

- I 御後川流域
- II 原田川流域
- III 蒼社川本流（玉川ダム上流部）
 - III-1 上流部
 - III-2 中流部右岸, III-3 中流部左岸
 - III-4 下流部右岸, III-5 下流部左岸
- IV 木地川流域
 - IV-1 上流部
 - IV-2 中流部右岸, IV-3 中流部左岸
 - IV-4 下流部右岸, IV-5 下流部左岸
- V 蒼社川本流（玉川ダム下流部）
 - V-1 右岸の谷山川流域
 - V-2 右岸の寺川流域
 - V-3 奈良木川および玉川右岸流域
 - V-4 玉川左岸流域
 - V-5 左岸の大野川流域
 - V-6 左岸の鍋地川・与和木川流域
 - V-7 左岸の残流域

2) 現地調査

航空写真による計測調査の基礎資料とするため、崩壊現場 22 箇所について、測量調査した。各崩壊地の面積、傾斜角、方位、平均崩壊深さおよび崩壊以前の斜面の断面形を求めた。測定結果から崩壊土砂量および残留土砂量を推定した。また、崩壊周縁の土壌層の観察、資料土壌の採取および植生調査も実施した。

3) 航空写真および図上調査

災害後の 11 月に撮影した航空写真の実体視により、5000 分の 1 地形図上に崩壊の現状を図化し、昭和 48 年以後撮影航空写真と比較し、新旧災害地を区別した。崩壊地は崩壊面積 0.002 ha 以上を取りあげ、得られた崩壊図化地図により、次の測定を行なった。

- (1) 崩壊の種類
 - 山腹（林道等に接しない山林地）
 - 林道沿い（道路沿いの山林地）
 - 樹園地（山地部の樹園地内部）
 - 2次崩壊（樹園地から外部に波及）
 - 溪岸以上の各々について、旧災跡の拡大再崩壊も区別した。
- (2) 崩壊個数
- (3) 崩壊地面積
- (4) 発生位置：おもな沢を基準にして、尾根までの間を上・中・下にわけ、発生の上部の位置によって区別した。
- (5) 方位：崩壊地斜面の主方位を 8 方位に分類した。
- (6) 崩壊形状：崩壊地の平面形状を板状、線状、貝殻状、樹枝状、その他に区分した。
- (7) 崩壊地傾斜：崩壊地内等高線数による平均傾斜を求めた。
- (8) 崩壊地標高：崩壊最上部の標高。
- (9) 崩壊土砂量：現地調査結果に基づき推算した。

Table 1 Distribution of inclination angle on mountain slope in each district of the investigated region

	Gentle slope (22° >)	Middle (22° ~ 35°)	Steep slope (35° <)
I. Ogo River Basin	34.51%	64.26%	1.23%
II. Harada River Basin	28.50	66.39	5.11
III. Sōja River Basin (upper stream from dam Tamagawa)			
upper stream	2.65	46.39	50.96
mid-stream	6.43	62.20	31.31
down stream	29.74	59.04	11.22
total	12.32	56.06	31.62
IV. Kiji River Basin			
upper stream	2.86	50.06	45.98
mid-stream	8.62	73.28	18.10
down stream	12.16	69.79	18.05
total	8.01	65.81	26.18
V. Sōja River Basin (down stream from dam Tamagawa)			
right bank	35.85	57.33	6.82
left bank	44.66	52.08	3.26
total	39.61	55.10	5.29

III 調査地の概要

高縄半島の基部に連なる山塊の1つ白潰(1158 m)に源を発した蒼社川本流は、東三方が森(1233 m)を源とする木地川(下流玉川)と併行し調査地の中央を北流し、鮎川里付近で合流し、北東に流れて、扇状地今治平野を形成しながら、瀬戸内海の燧灘に注いでいる。

調査地の傾斜は、5000分の1地形図に2 cm方眼をかけ、その内接円内等高線数から平均傾斜を求め、各区域の平均傾斜別面積分布を求め Fig. 2 に示した。また緩(22° >)・中(22° ~ 35°)・急(35° <)の区分を Table 1 に示した。蒼社川上流域(III-1)では急斜地の分布率が最も高く、木地川上流域(IV-1)では中斜地の割合が最も高いのであるが、両区域とも急・中斜地を合わせると96%に達する。中流から下流へ移るにつれ、急斜地の割合が減少する一方、緩斜地の割合は増加し、中斜地が占める割合が最高になる。すなわち、御後川流域(I)、原田川流域(II)および玉川ダム下流域では、平均22°の傾斜地の分布

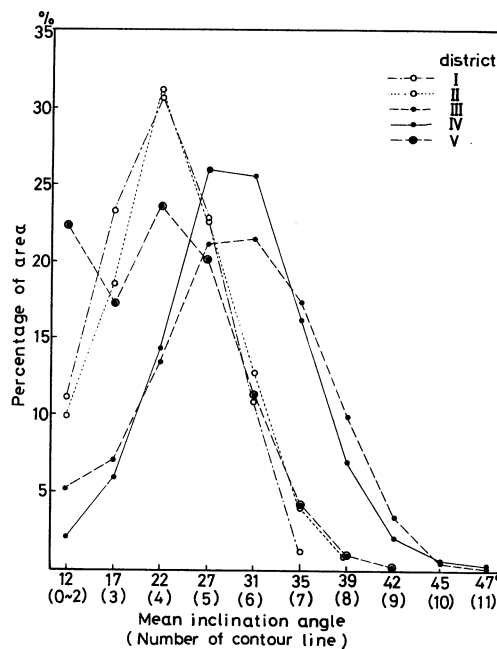


Fig. 2 Distribution of the inclination angle on mountain slope in each district

が最も多く、ほぼ類似していて、緩・中斜地が90%以上を占めている。しかし、玉川ダム下流域(V)では、平均12°以下の傾斜地の分布率がかなり高く、区域によっては、それが最大分布を示す点で、他の区域と趣をかなり異にしている。

つぎに、25000分の1地形図により、計測した調査流域の形状特性をTable 2に示す。全域の形は1:5の細長い矩形型で、主要流域の形状は平行流域に属する。

調査地は、西南日本内帯に属する領家帯花崗岩地域にあり、大部分は優白質粗粒の花崗閃緑岩であるが、部分的に黒雲母花崗岩や石英閃緑岩が分布している。花崗岩の大部分はマサ化しているが、調査地の水源地域である高縄半島中央から東部にかけては、細粒で岩質の硬い所が露岩として残ったり、風化変質しても岩盤としてとどまる割合が高く、所によりマサ土の深さ・侵食の度合が異なり急峻地形となっている。土壌は、花崗岩類が風化生成した黄褐色系褐色森林土壌が大部分を占め、その深さは50cm~90cmである。檜原山を中心とした蒼社川本流と木地川との分水嶺には、黒ボク土壌の堆積が見られる。

調査地の水源地域には国有林があり、かつては、蒼社川本流側にツガ・モミ・ヒノキの美林があり、木地川側は山麓の一群のモミ・ツガを除くと、大部分は劣等の雑木であったという。現在、国有林面積の15%が天然生林、残りが人工林になっている。一方、民有林は人工林が天然生林よりやや多いが、樹種別面積はスギ73%、ヒノキ21%、マツ6%である。この中には、旧藩時代「野山」と称し、住民が伐薪や採草に利用していたものが、明治になって共同管理が認められ、組合林として発展し、現在60~70年生の美林となっている所も多い。

本地域の年平均気温は、玉川14.3℃、今治市15.9℃、年降雨量は玉川1600mm、今治市1300mmであるが、上流に向う程降雨量が増す傾向があり、平野部が瀬戸内型少雨気候を示すのとは、趣が異なってくる。

なお、本地域の、最近における豪雨による災害の経験は、昭和43年7月集中豪雨による、国有林を含む蒼社川本流上流部での、表

Table 2 Form characteristics of the investigated basin

Catchment area (A)	108.42 km ²
Circumference of basin (P)	52.50 km
Length of main river (L)	21.98 km
Meanwidth of basin (B)	4.93 km
Form factor of basin (B/L)	0.22
Maximum side of basin (L ₀)	16.55 km
Mean width of basin (B ₀ = A/L ₀)	6.55 km
Form factor of basin (B ₀ /L ₀)	0.40
Circularity ratio (4πA/P ²)	0.49
Slenderness ratio (2√A/π/L ₀)	0.71
Drainage density (km/km ²)	6.50

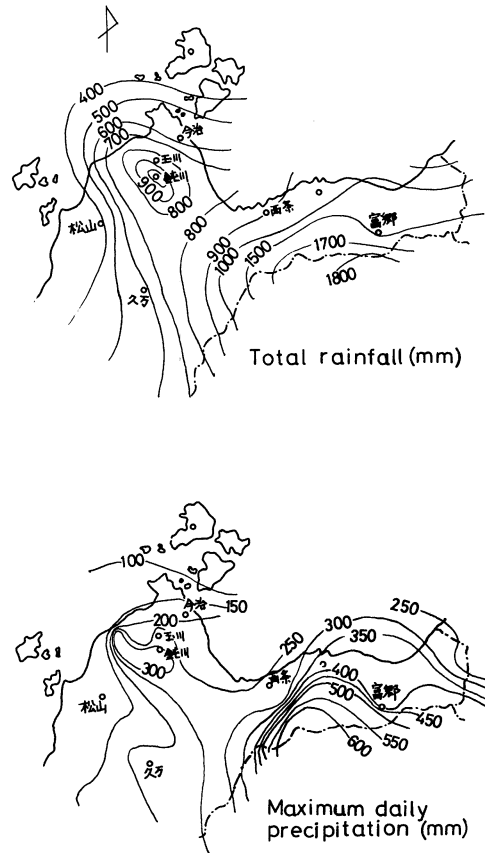


Fig. 3 Isohyetal map (September 8. AM 9~Sep. 13. AM 9, 1976)

層剝離による災害多発や、昭和47年9月秋雨前線による局地的集中豪雨に誘発された、玉川ダム下流の山地域および隣接する頓田川流域山地の災害等がある。

IV 山地災害の降雨要因

台風7617号が九州近海に、その勢力を保ちつつ停滞したため、愛媛県下では、9月8日朝から13日午後まで、ほとんど連続的に降雨があり、各地とも日雨量が日とともに増し、11日に300mmを越える所が現われた。このように、今回災害時降雨が、いわゆる後山型で、未曾有の大雨となった点は、昭和47年災害時⁹⁾の玉川ダム下流被災地域で、日雨量220mm、総雨量240mm程度であったのと比べると著しく異なる。

愛媛県は、瀬戸内少雨型気候に属すると言っても、海岸線近くに限られ、平均年降雨量は、今治市(1400mm)から内陸の東部嶺南地方(富郷2000mm)や、高縄山系(木地1800mm)から南下して、道後平野の水源山岳地(米野町1900mm)以南に至るにつれて、増加している。今回台風時も例外でなく、Fig.3に示すように、高縄山系には最大1000mmに達する局地的強雨圏が形成されたし、東部に移るにつれ1000mmを越える雨域が広がっている。

山地災害と主誘因である降雨の関係を雨量図(Fig.4)に示す。図には、災害発生当時の総雨量の変化と、10分間降雨量5mm以上の出現状況との関係を示した。

一般に、降雨が増せば溪流への流出量が増加し、それに伴い土砂流出量も増す。一方、森林は洪水調節機能を発揮するけれども、その機能は森林に応じた限界がある。したがって、雨量が非常に多くなると、森林の洪水流量調節効果は相対的に小さくなる。この面に関する明確な研究はないが、一連続降雨量が400mmくらいになると、森林

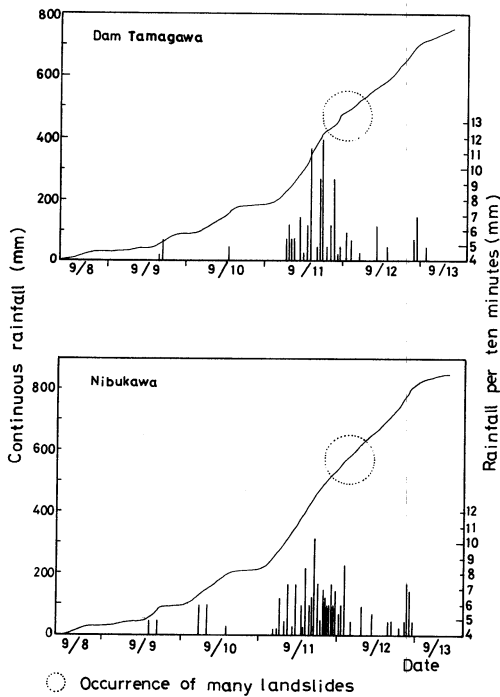
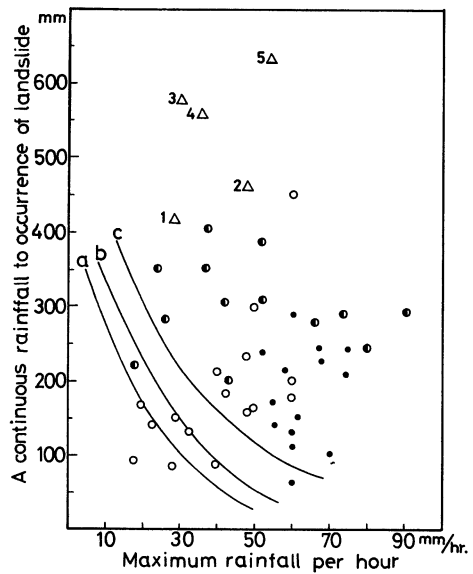


Fig. 4 Hyetograph at occurrence of landslide on September 1976



1: Imabari, 2: Dam Tamagawa(Kiji)
3: Nibukawa, 4: Saijo, 5: Tomisato
● Group I, controlled by maximum rainfall per hour.
○ Group II, lie between group I and group III.
○ Group III controlled by continuous rainfall.
a: Granite.
b: Volcanic clastic materials and sedimentary rock (Tertiary stratum).
c: Sedimentary rock (Mesozoic and paleozoic strata).

Fig. 5 Relation between the rainfall from beginning of rain to occurrence of landslide and the rainfall intensity (mm/hr.) at occurrence of landslide

の洪水流量調節効果は無いと同様の状態⁹⁾になると考えられる。Fig. 4 は、今回降雨がこのような限界に達していることを示している。

山地災害のうち、表層崩壊によるものは、強雨団の発生とはほぼ同時に生ずることが指摘⁵⁾されている。また、土石流の発生と降雨の関係について、10分間降雨量に支配される場合が報告⁵⁾⁶⁾⁷⁾されている。たとえば房総半島の例⁵⁾では、10分間5mm以上の降雨強度にさらされた時間の分布と、崩壊発生数の分布とはほぼ対応するのに対し、10mm以上を基準とした場合は、よい対応は得られていない。このことは、鈴鹿山地(昭和47年)や高知県(昭和50年)の崩壊に対してもほぼ適用できると言う。今回災害時の蒼社川流域その他の降雨状況についても、ほぼ同様のことが言える(Fig. 4参照)。すなわち、10分間降雨量5mm以上の回数は、11日に14~21回と集中し、12日にも6~12回とその傾向が続き、この間に崩壊が多発している。西条・新居浜附近では、10日に8~12回、11日に9~15回、12日には4~10回になっている。さらに嶺南の多雨地域の富郷では11日から頻度が増し、12日には頻度および強度とも最大になり、13日にも17回の多きに達し、降雨の東遷を示している。

一方、降雨開始から山地崩壊発生までの雨量と、崩壊発生時の降雨強度の関係を、3群にわけた考察⁹⁾をFig. 5に示す。「急に豪雨が降って土石流等が発生する危険(I群)」については、時間雨量50mm以上が、また「ある時間小雨量が継続して、長時間(20~30時間)経てから土石流が発生する危険(III群)」については、日雨量200mm以上が考えられる。今回災害時降雨条件は、時間雨量は比較的少ないが、継続雨量が大きく、III群に該当している。

また、同じFig. 5に記入された三曲線は、下川⁹⁾が既往災害資料に基づき、岩種ごとに見た山地崩壊発生最小限界雨量を示したものを併記したのである。今回災害時の降雨条件は示された各岩種ごとの山地崩壊最小限界を、はるかに上まわるものである。

さらに、山口⁹⁾は、昭和50年降雨により高知(台風7505号)、島根(梅雨前線)および北海道(台風7505、7506号)に発生した山地災害の例から、その地の年平均降雨量(y)と、山地災害発生限界時雨量(x)あるいは山地災害発生限界連続雨量(x')との間に高い相関があり、次式がなりたつと報告している。

$$x = 0.04y - 10.4 \dots\dots\dots(1)$$

$$x' = 0.087y - 134.0 \dots\dots\dots(2)$$

調査地周辺の最近6年間の平均降雨量に対する、山地災害発生限界雨量を求めてみると、Table 3のようになる。今回災害発生時最大時雨量は限界値に対しかなり少ないのであるが、降雨期間が長かったため、連期雨量が限界を越えるに至っている。これは、昭和50年北海道の災害例⁹⁾と同様である。

以上の諸結果から、今回台風時の降雨条件は、愛媛県内の各地で、山腹崩壊や土石流がある程度発生する条件であったと言えよう。

Table 3 The annual precipitation and the critical rainfall against occurring mountain devastation

	Annual Precipitation Y(mm)	Critical rainfall		at time occurred devastation	
		per hour X(mm)	continuous X'(mm)	Maximum rainfall per hour	continuous rainfall (September 8~11)
Matsuyama city	1259	39.9 mm	243.5 mm	26 mm	298 mm
Ehime University Forest in Komeno cho Matsuyama city	1964	68.1	304.9	41	372
Kiji Tamagawa cho	1893	65.3	298.7	48	495
Nibukawa	1631	54.8	275.9	30	580
Imabari city	1429	46.7	258.0	23~28	416
Saijo city	1424	46.5	257.5	34	558
Tomisato (Makanji)	2052	71.7	312.5	54	632

Table 4 Correlation coefficient among results of field survey

	Devastated area	Slided sediment	Slided depth	Residual sediment	Inclination angle	Bearing azimuth
Devastated area	1	0.90855	0.74509	0.54622	-0.24276	0.22775
Slided sediment	0.90855	1	0.78572	0.81468	-0.26071	0.32613
Slided depth	0.74509	0.78572	1	0.47695	-0.19708	0.14818
Residual sediment	0.54622	0.81468	0.47695	1	-0.08003	0.33504
Inclination angle	-0.24276	-0.26071	-0.19708	-0.08003	1	0.15015
Bearing azimuth	0.22775	0.32613	0.14818	0.33504	0.15015	1

V 現地調査結果と崩壊土砂量

崩壊地の特性について考察し、崩壊土砂量推定式を求めるために、現地で面積・崩壊土砂量・崩壊深・勾配・残留土砂量等を調査した。それら測定値間の相関を Table 4 に示す。崩壊の面積、土砂量、平均深、残留土砂量の相互の間に相関が認められたが、特に崩壊面積と崩壊土砂量および平均崩壊深さの間の相関は高い。

現地調査により実測した山腹崩壊面積 ($x\text{m}^2$) と推定崩壊土砂量 ($y\text{m}^3$) の関係は、Fig. 6 のようになり、高い相関をもって次式で示される。

$$y = 0.37156 x^{1.2736} \quad (r = 0.9086) \quad \dots\dots\dots(3)$$

同じ図に、昭和 47 年災害時の玉川ダム下流山地および頓田川流域山地の崩壊調査例³⁾の結果を記入してみると、面積約 0.1 ha 以下の崩壊地について、今回同様に式(3)がよく適合している。0.2 ha 以上の崩壊は調査例が少なく明確でないが、崩壊面積が大きくなると、崩壊土砂量は、式(3)による算出値よりやや大きくなることも考えられる。

VI 荒廃の実態と特性

(1) 荒廃率

調査地全域において認められた 0.002 ha 以上の山地荒廃地の調査総括を Table 5 に示す。林道沿いを含めた全山地荒廃 3409 箇所のうち、今回災害時に発生したもの 2430 箇所、そのうち新災 2204 箇所、旧災の拡大新災 226 箇所であり、崩壊面積約 64 ha、荒廃率は 1 ha 当り 0.22 箇所、面積率 0.59% である。これら山地荒廃に樹園地荒廃(全荒廃面積の 23%)を合わせた山地全体を考えると、新災は 2592 箇所、崩壊面積約 84 ha、荒廃率は 1 ha 当り 0.24 箇所、面積率約 0.78% であ

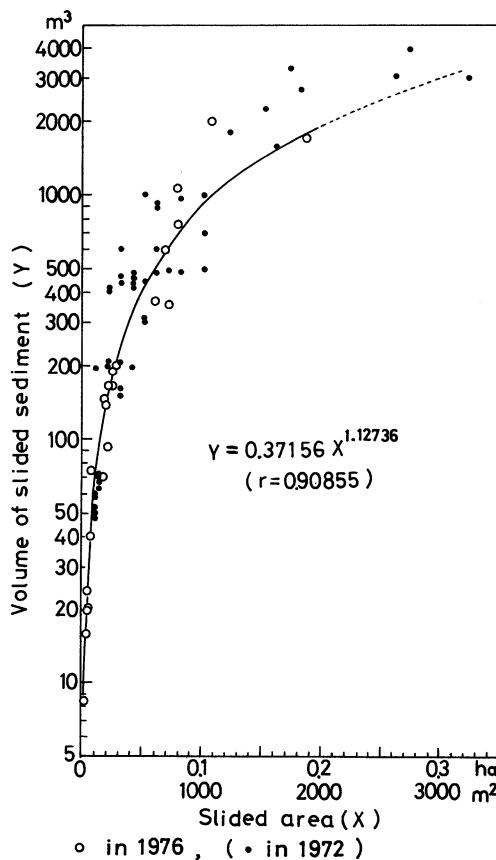


Fig. 6 Relation between slided area and volume of slided sediment

Table 5 The investigated result of mountain devastation caused by the typhoon 7617.

	Landslide			Devastation ratio		Volume of slided sediment m ³
	Number (N)	Area (A) ha	A/N ha	N/ha	per cent in area	
Investigated area (10817ha)						
Mountainous forest land						
(1) hillside						
present	2002	44.017	0.022	0.185	0.407	361358.8
expanded	204	8.616	0.042	0.019	0.080	75237.5
total	2206	52.633	0.024	0.204	0.487	436596.3
(2) along road						
present	202	8.867	0.044	0.019	0.082	75555.5
expanded	22	2.789	0.127	0.002	0.026	26578.3
total	224	11.656	0.052	0.021	0.108	102133.8
(1)+(2)						
present	2204	52.884	0.023	0.203	0.488	436914.3
expanded	226	11.405	0.050	0.020	0.001	101815.8
total	2430	64.289	0.026	0.224	0.594	538730.1
Arboricultural garden on hillside						
present	157	19.876	0.126	0.014	0.183	221295.8
expanded	5	0.182	0.036	0.0005	0.002	1479.4
total	162	20.058	0.123	0.014	0.185	231462.3
Sum total	2592	84.347	0.032	0.240	0.780	770192.4
The devastation yet remained before this.						
hillside	910	29.125	0.032	0.084	0.269	
along road	69	4.022	0.058	0.084	0.037	
arboricultural garden	9	0.247	0.027	0.001	0.002	
total	988	33.394	0.034	0.091	0.309	

る。なお、以上のほかに溪岸部崩壊 145 箇所があるが、これは区域 (V) 以外の地域に集中している。

流域区分別にみた山林地荒廃の総括を Table 6 に示す。山林地荒廃は原田川流域 (II) で ha 当り 0.8 箇所、面積率 2.1% と荒廃率が最も高く、ついで御後川流域 (I)、蒼社川本流および木地川の上流部 (III-1, IV-1) における ha 当り 0.49 ないし 0.27 箇所、面積率 1% 強であり、玉川ダム下流 (V) 地域は、昭和 47 年災害の経験もあって比較的少ない。

一方、山地部樹園地の新災は 162 箇所、崩壊土砂が園外に流出して生じた 2 次災害が 10 箇所、崩壊面積約 20 ha、全調査地に対する荒廃面積率は 0.21% である。これら樹園地崩壊の調査結果を Table-7 で見ると、樹園地面積および崩壊面積からいって、玉川ダム下流の (V-1) および (V-7) 地域での規模が最も大きい。樹園地面積に対する荒廃率は、(V-6) 地域で 13% に達し、いずれもかなり大きく大災害に相当する¹⁰⁾ 値であるが、各区域に対する樹園地荒廃率は最大 0.98% である。

なお、Table 5 に示すように、山腹荒廃地に含まれる旧災害跡山林地荒廃 1214 箇所のうち 226 箇所、すなわち約 18.7%、約 11.4 ha が、今回再び崩壊拡大している。崩壊拡大したのは、道路沿い 91 箇所中 22 箇所、約 24%、約 2.8 ha に対し、道路から離れた山腹で 1114 箇所中 204 箇所、約 18%、約 8.6 ha である。道路沿いの崩壊は、道路から離れた山腹の崩壊に比べ、1 箇所当り面積が大きい場合が多い。そして、これらが再崩壊拡大した場合を見ても、1 箇所当り面積拡大割合が、道沿い再崩壊において拡大割合がやや大きい場合が多い。

Table 6 Devastation of mountain forest land in each district

District (watershed)	Area ha	Landslide			Devastation ratio		Volume of slided sediment m ³
		Number (N)	Area (A) ha	A/N ha	N/ha	Per cent in area %	
I. Ogo Rive Basin	649	324	7.992	0.025	0.499	1.23	67375
II. Harada River Basin	372	298	7.812	0.026	0.801	2.10	64279
III. Sōja River Basin (upper stream from dam Tamagawa)							
1	983	271	10.157	0.037	0.276	1.033	78509
2+3	1102	105	4.133	0.039	0.095	0.375	44613
4+5	908	248	6.205	0.025	0.273	0.683	50135
total	2993	624	20.495	0.033	0.208	0.685	173257
IV. Kiji River Basin							
1	735	331	7.829	0.024	0.450	1.065	65842
2+3	1149	221	5.852	0.026	0.192	0.509	52939
4+5	748	121	4.232	0.035	0.162	0.566	36131
total	2632	673	17.913	0.027	0.256	0.681	154913
V. Sōja River Basin (down stream from dam Tamagawa)							
1+2+3+4	2393	218	4.539	0.021	0.091	0.190	35690
5+6+7	1778	293	5.538	0.019	0.165	0.311	43214
total	4171	511	10.077	0.020	0.123	0.242	78904
Sum total	10817	2430	64.289	0.026	0.225	0.594	538728

Table 7 Devastation of arboricultural garden in each district

District	Garden area		Landslide in garden			Devastation ratio		Volume of slided sediment m ³
	ha	in District %	Number (N)	Area (A) ha	A/N ha	in District %	in Garden %	
I. Ogo River Basin	9.495	1.46	26	0.789	0.030	0.121	8.31	7003.3
II. Harada River Basin	0.422	0.11	1	0.170	0.170	0.045	40.28	1629.0
III. Sōja River Basin								
5	0.691	0.15	2	0.006	0.003	0.001	0.86	37.6
IV. Kiji River Basin								
4	0.891	0.50	1	0.003	0.003	0.001	0.34	17.2
V. Sōja River Basin (down stream from dam Tamagawa)								
1	67.954	8.26	25	8.066	0.323	0.980	11.87	91422.6
5	23.672	3.70	40	1.934	0.048	0.302	8.17	19522.8
6	29.014	4.73	38	3.924	0.103	0.639	13.53	44753.1
7	92.992	17.71	29	5.166	0.178	0.984	5.56	67076.8
total	213.632	8.21	132	19.090	0.144	0.733	8.93	222775.3
Sum total	225.131	2.08	162	20.058	0.123	0.185	8.90	231462.4

調査地全域の山地の平均荒廃率は、昭和47年災害時、広島県花崗岩地域¹⁾のha当り0.25箇所や、同じく愛媛県花崗岩地域³⁾(玉川ダム下流V区域および頓田川流域)の面積率0.82%とほぼ同程度である。もっとも、今回山林地崩壊の集中地域である御後川流域、原田川流域や、蒼社川本流および木地川の各上流域の荒廃は、過去の例¹⁰⁾に照らし、著しい災害を受けた地域と言えよう。その他の区域のうち、木地川右岸や玉川ダム下流山林地は災害の程度が低いのでこれらを除くと、災害散発地域としても、かなりの災害に入るものであって、結局、全山林地が何らかの災害を受けたことになる。

樹園地は、里山部に造成されたものが多いのであるが、玉川ダム下流の樹園地集中区域で、区域全面積に対して見た場合は、面積率0.73%で、平均的規模の災害が生じたことになる。しかし、山林地は人手が加わっていると言っても部分的であり、全山林地としては人工的斜面を一部に含んだ自然斜面であるのに対し、樹園地は人工斜面である場合が多く、特に里山部の沢筋を埋めて造成した大規模樹園地は、同じ花崗岩のマサ土からなるのであるが、一般山林地と区別して見なければならぬ。すなわち、造成樹園地は、地山の自然風化土層に比べると、盛土部分は掻き乱された土であり、密度が小さく、締まりがゆるい¹⁾ため、浸透水が増して、土中の飽和度が高くなると強度が低下しやすい状況になる。そこで、樹園地荒廃を、樹園地に限って見てみると、面積荒廃率は大きく、災害集中域では、大災害に匹敵する規模であることが明らかである。

(2) 崩壊地の面積別分布

山林地崩壊の面積別個数分布は、各区域ともほぼ同様の傾向を示し、その平均的傾向を示すと Fig. 7 のと

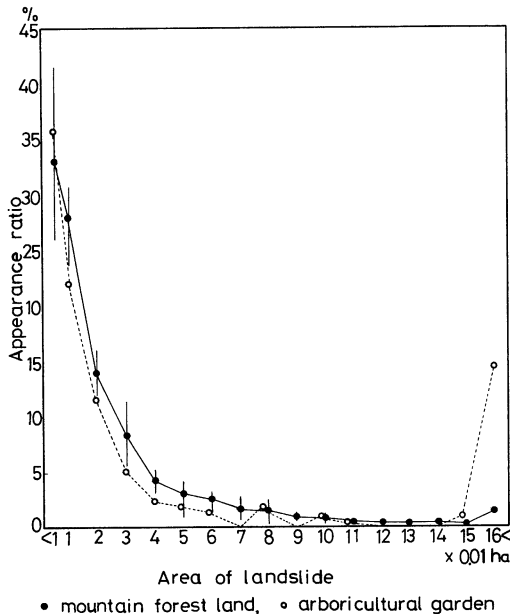


Fig. 7 Relation between area and number of landslides.

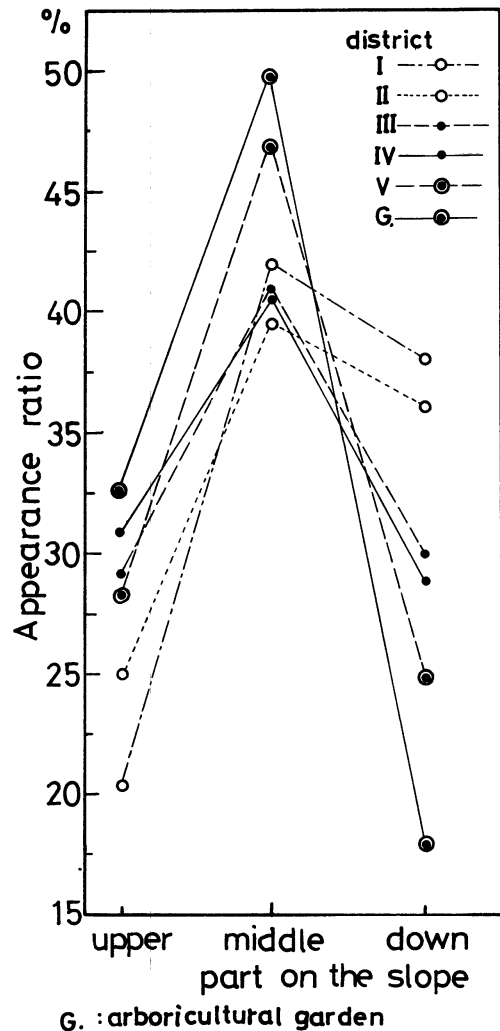


Fig. 8 Frequency distribution of the occurred part of landslide on the slope.

おりである。山林地では1箇所当り0.05 ha以下の崩壊数が89.6%、その占める面積約60%、また、0.10 ha以下の大きさの崩壊数は全体の96.7%、その占める面積は90%に達し、小面積崩壊が主体である。

同じ図で、樹園地崩壊の面積別個数分布を見ると、小面積の部では、山林地の割合よりやや低めて、類似の分布傾向を示すのであるが、1箇所当り0.20 ha以上の崩壊数は全体の11.5%、それが占める面積は、全体の48%以上であって、面積的には、小面積崩壊に匹敵する大面積崩壊が存在する点で、山林地崩壊と著しく異なっている。

(3) 崩壊地の発生位置・方位・形状

発生位置別崩壊出現率を Fig. 8 に示す。斜面中部から発生する例が全域中40%に達し最も多い。小区域別に、蒼社川上流域(Ⅲ-1)や木地川中流部および下流部の右岸と左岸といったように区分して見ると、出現傾向がやや異なっている。広島県の花崗岩地域の例¹⁰⁾では斜面上部の発生が多い。今回災害結果で発生位置が斜面中部に多い点は、昭和47年災害時愛媛県玉川ダム下流域および東に接する頓田川流域の結果(57%)³⁾と同様であり、その値はやや低いけれども、本地域の崩壊の1特性を示している。

崩壊斜面の方位による出現率を Fig. 9 に示す。全域では南東から南および南西向き斜面に多く出現しているものの、特に出現率の高い方位はない。しかし、各区域別に見ると、御後川流域と原田川流域および玉川ダム下流域では、南東および南向き斜面で出現率が高いし、蒼社川流域(Ⅲ)や木地川流域では、右岸で南西から西あるいは西北向き斜面で多いのに対し、左岸は南東から東、あるいは北東向き斜面で多くなっている。これは各支流の主河道の方向が違い、谷の発達方向も異なるため違いが生じたものであろう。つまり全域として、各流域の主要斜面方位に崩壊も多発して、一般的な、降雨の方向に関連して南向き斜面に多いという傾向は見られなかった。昭和47年災害時愛媛県³⁾は北向きで最も多く、広島県¹⁰⁾では南向きで多かった。しかし今回、支流の小流域で南東向きで最も多い点は福岡県花崗岩地帯昭和48年の例¹²⁾と一致している。なお、樹園地崩壊は、東、東南および南、あるい

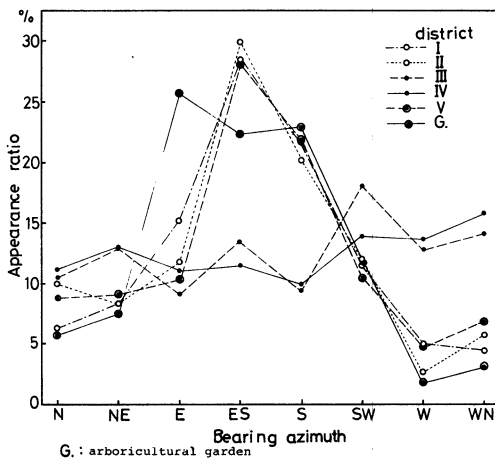


Fig. 9 Frequency distribution of bearing azimuth of slided slope

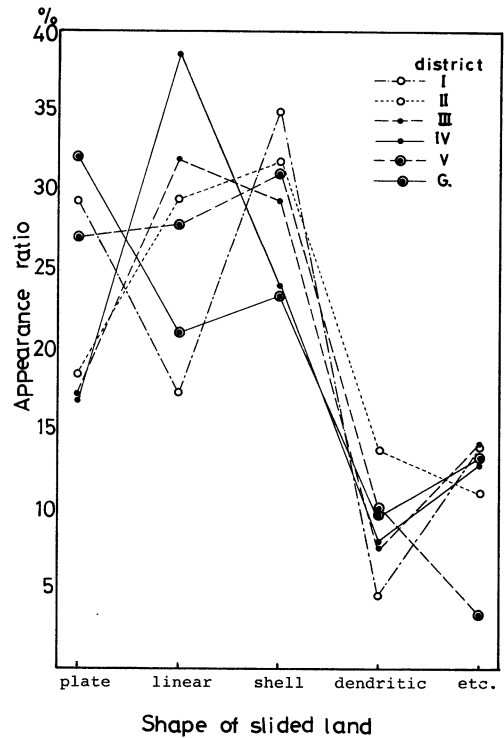


Fig. 10 Frequency distribution of the shape of slided land

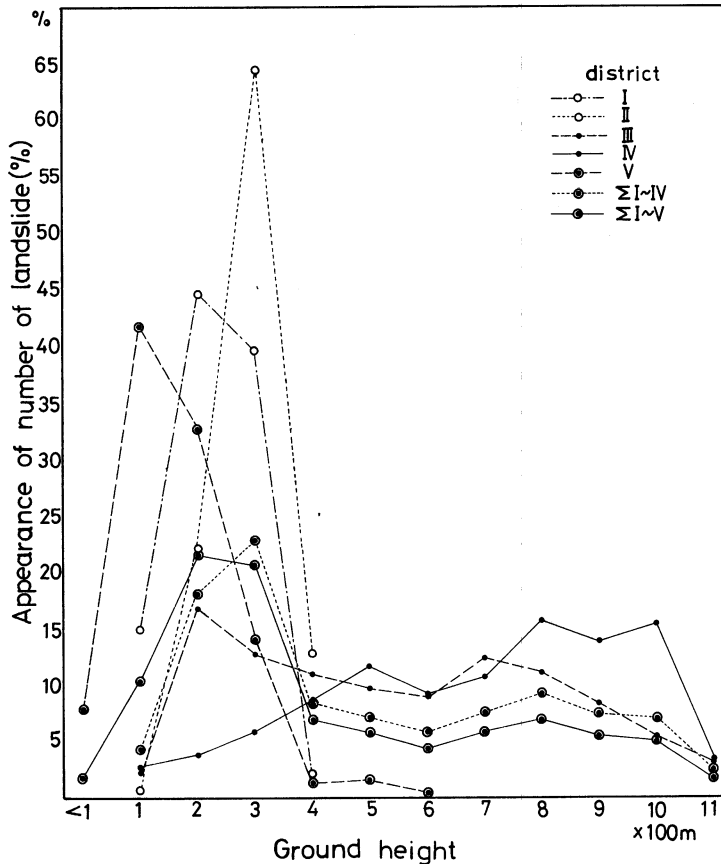


Fig. 11 Frequency distribution of the ground height of slided forest land.

は南西向き斜面に集中出現しているが、樹園地の性格から、造成斜面の主要方位と一致する結果である。

つぎに、崩壊地形別出現率を Fig. 10 に示す。全域で見ると線状と貝殻状が主で、合計 58% 近い。区域別には、御後川流域とこれに続く玉川ダム下流左岸部で、線状の割合が著しく低くなっているなど、かなり相違があって、著しい特性を示すとはいいいにくいのであるが、昭和 47 年災害時³⁾、板状が 53% に達したのとは、やや異なる。

(4) 標高別崩壊分布

標高別崩壊個数分布を Fig. 11 に示す。全域で見ると、標高 200 m と 300 m で頻度が高く、700 m ~ 800 m でもやや頻度が増している。このうち標高 200 m ~ 300 m の値は、御後川流域 (I)、原田川流域 (II) および玉川ダム下流域 (V) での崩壊分布が著しく影響した結果であり、標高 700 m ~ 900 m の値は上流域 (III) あるいは (IV) での崩壊分布が影響しているものと考えられる。すなわち、蒼社川本流域 (III) では標高 200 m と 700 m で頻度が高い点が注目されるし、木地川流域 (IV) では標高が増すと崩壊が増すという一般の様相を、ほぼ示している。区域 (V) を除いた地域では、全域の結果とほぼ一致する。玉川ダム下流域 (V) では、標高 100 m で頻度が高いが、これは里山部分にあって、区域全体の標高も低くなっている点が影響しているよう。この区域に集中している樹園地はその造成位置からみても、崩壊頻度は標高 100 m 前後で最も高くなっている。

(5) 傾斜別崩壊分布

崩壊地の面積ならびに個数の、傾斜別分布を Fig. 12 に示す。全域の結果では、傾斜 30° 付近以下で、両分布の著

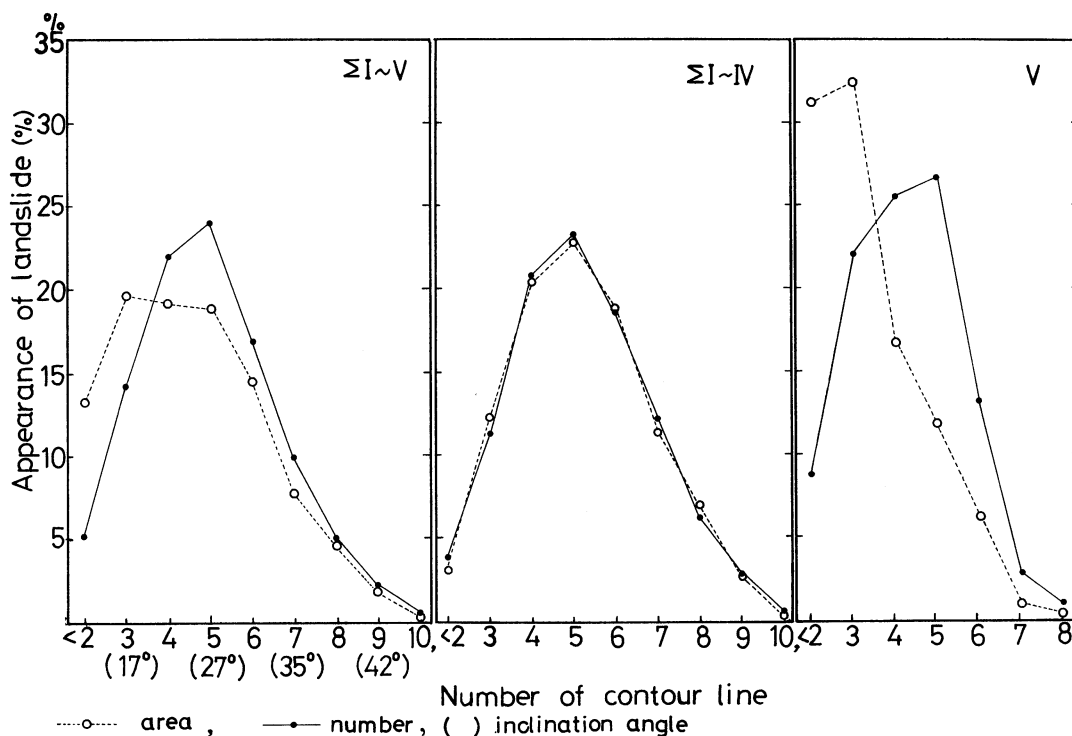


Fig. 12 Frequency distribution of inclination of all slided lands on slope

しいずれが見られる。そこで、玉川ダム下流域（V）とその他の区域（I～IV）とにわけてみると、後者においては崩壊の個数分布と面積分布とが対応していて、特定傾斜における特殊の崩壊形式はないと考えられる。しかし、区域（V）については、両分布線の対応は著しく悪く、中・緩斜地において、特殊の崩壊形式の存在が考えられる。そこで、区域（V）について、山林地と山地内樹園地に区別して考察してみると Fig. 13 のとおりである。樹園地では、傾斜 17° 付近に集中し、それ以下では 1 個所あたり面積の大きな崩壊が多発するといった特殊の崩壊形式の存在を示している。これに対し、山林地だけでは、崩壊の個数分布と面積分布はよく対応していて、特殊の崩壊形式はないと考えられる。結局、区域（V）の里山に集中する樹園地の崩壊形式の違いが、この区域全体の崩壊分布を特徴づけ、ひいては調査地全域に関する結果にも影響を及ぼしていることが明らかである。つまり、山地部の崩壊であっても、今回災害については、山林地と樹園地とは、区別して考える必要があることを示している。

以下、山林地の傾斜別崩壊分布を、Fig. 14 により区域別に見てみる。区域（III）と区域（IV）では 27°～31° で頻度が高く約 50% に達するのに対し、区域（V）では 22°～27° で頻度 55% に達する。一方、区域（I）では 17°～22° で頻度 70% と、崩壊が集中しているが、隣接区域（II）では 17°～27° で頻度 60% 以上となっていて、崩壊はやや分散している。これらの結果は、Fig. 3 に示す調査地の平均傾斜別面積分布のピークと大体対応していて、傾斜分布頻度の高い傾斜度の所で、ほぼ崩壊が多発したことを示しているのであるが、区域（I）では、傾斜分布のピークよりやや低い傾斜度に偏って、崩壊が集中多発していて、やや趣が異なる。結局、山林地全域としては、27° に頻度最大点があるのに対し、区域（I）や（II）では 22° 付近に頻度最大点があり、この傾斜度付近で崩壊が多発していることはまちがいない。

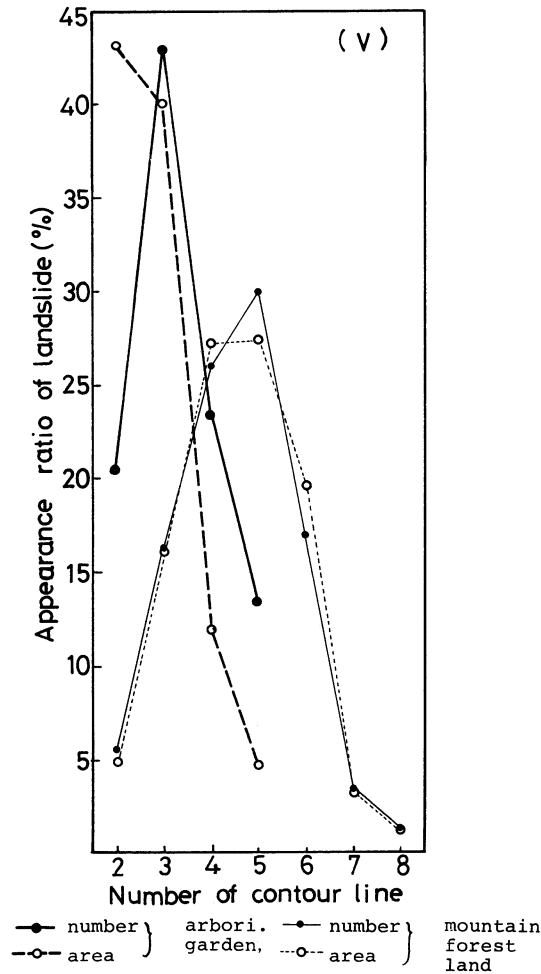


Fig. 13 Frequency distribution of inclination of slided land (a comparison between mountainous forest land and arboricultural garden on hillside.)

広島県花崗岩地帯昭和47年災害¹¹⁾の実測調査では、33°付近で崩壊の頻度が最大で、今回災害に比べ幾分高い傾斜度に最大点がある。また、木梨ら¹³⁾によると、傾斜は、山腹崩壊および林道崩壊を含めた全崩壊のいずれにおいても、著しい有意を示す要素である。そこで、調査区域の傾斜別崩壊発生比¹¹⁾(傾斜別崩壊分布率の傾斜別面積分布率に対する比)を求めた結果をFig. 15に示す。一般的には、傾斜が緩やかなうちは発生比は1以下であるが、ある限界をすぎると崩壊分布率が大きくなって、発生比が1以上になる。ある要因が崩壊と関係がないときは発生比は1になるはずであり、発生比が1を越えるときは崩壊が多発していると考えられる。ただし、個数の少ない階層では、信頼度が低いことは当然である。

樹園地は、人工的にある傾斜度内にとどまるよう造成された場合が多いので、発生比の検討も山林地に限ることとした。

山林地全域(I~V)、あるいは区域(V)以外の地域(I~IV)においては、面積および個数別崩壊発生比がほぼ対応している。全域では、17°から30°付近までほぼ同様に多発している。区域(V)以外の地域(I~IV)では

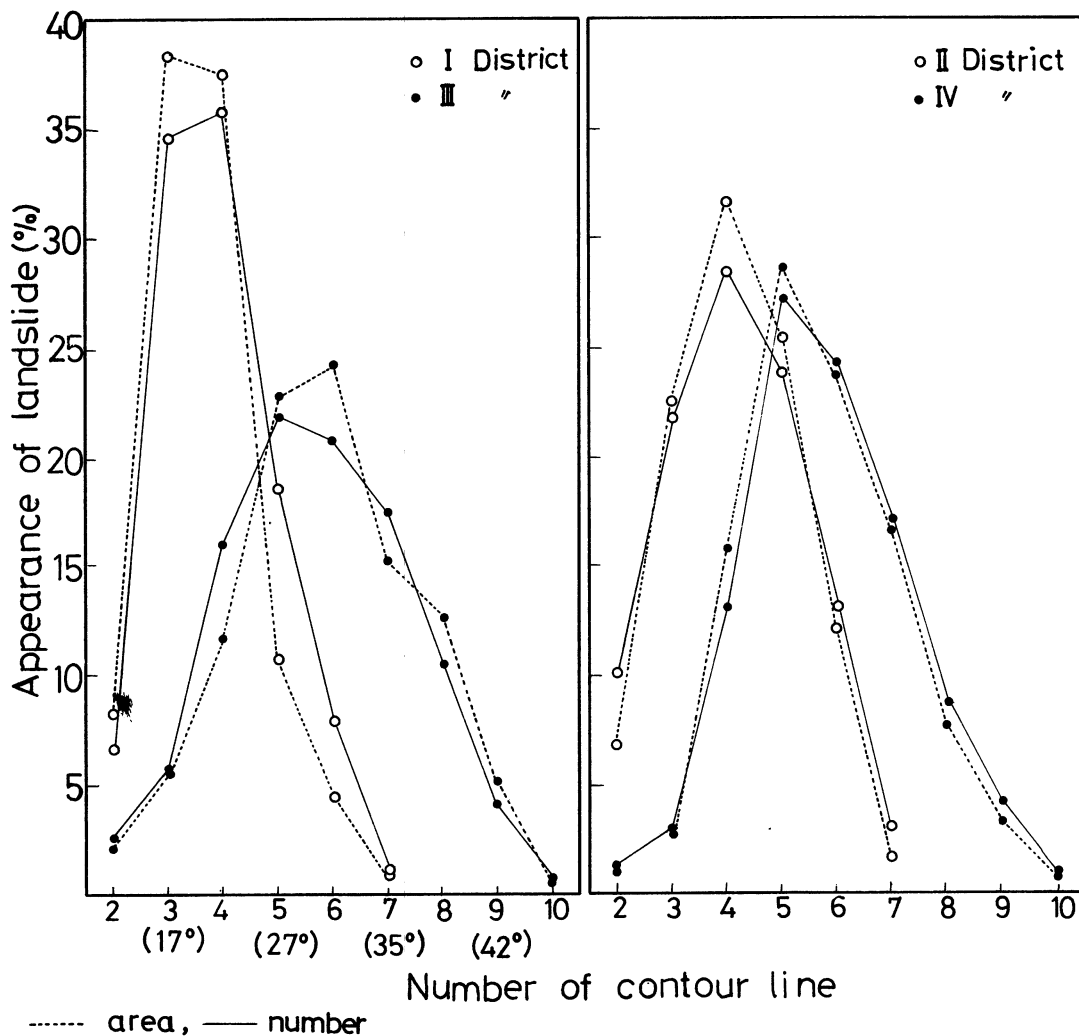


Fig. 14 Frequency distribution of forest landslide's inclination angle

17° から 22° で多発している。そのうち、区域（Ⅰ）では 17° から 22° で、特に面積的に比較的大きい崩壊の集中を示している。区域（Ⅱ）では各傾斜度のところで、崩壊がまんべんなく発生しているといえよう。区域（Ⅲ）では、数的には傾斜の増加に伴い発生比が増大するとはいいいくいが、22° と 40° 付近で多発し、面積的には 35° を除いて、傾斜の増加に伴う発生比の増大が認められる。結局、この流域では、22° と 35° 付近では比較的小面積崩壊の多発がみられるが、その他傾斜が増すとともに、比較的面積の大きい崩壊の発生が増すことを示している。区域（Ⅳ）では、数的には傾斜の増加に伴いほぼ発生比が増すといった、一般の様相に近いものであるが、面積的には 22° で面積の大きい崩壊の発生を示し、39° 付近以上では面積の小さい崩壊の多発を示している。区域（Ⅴ）では、40° 前後の傾斜地は少なく、信頼性に乏しいのであるが、27°～31° で崩壊が多発していることは明らかである。

これら区域（Ⅰ）や区域（Ⅱ）から下流部（Ⅴ）での崩壊状況は、福岡県の花崗岩地域の昭和 48 年災害¹²⁾ や山梨県の花崗岩地域の災害¹⁴⁾ の解析結果で、傾斜 30° 以上で著しく不安定であるのに比べ、やや趣を異にしている。

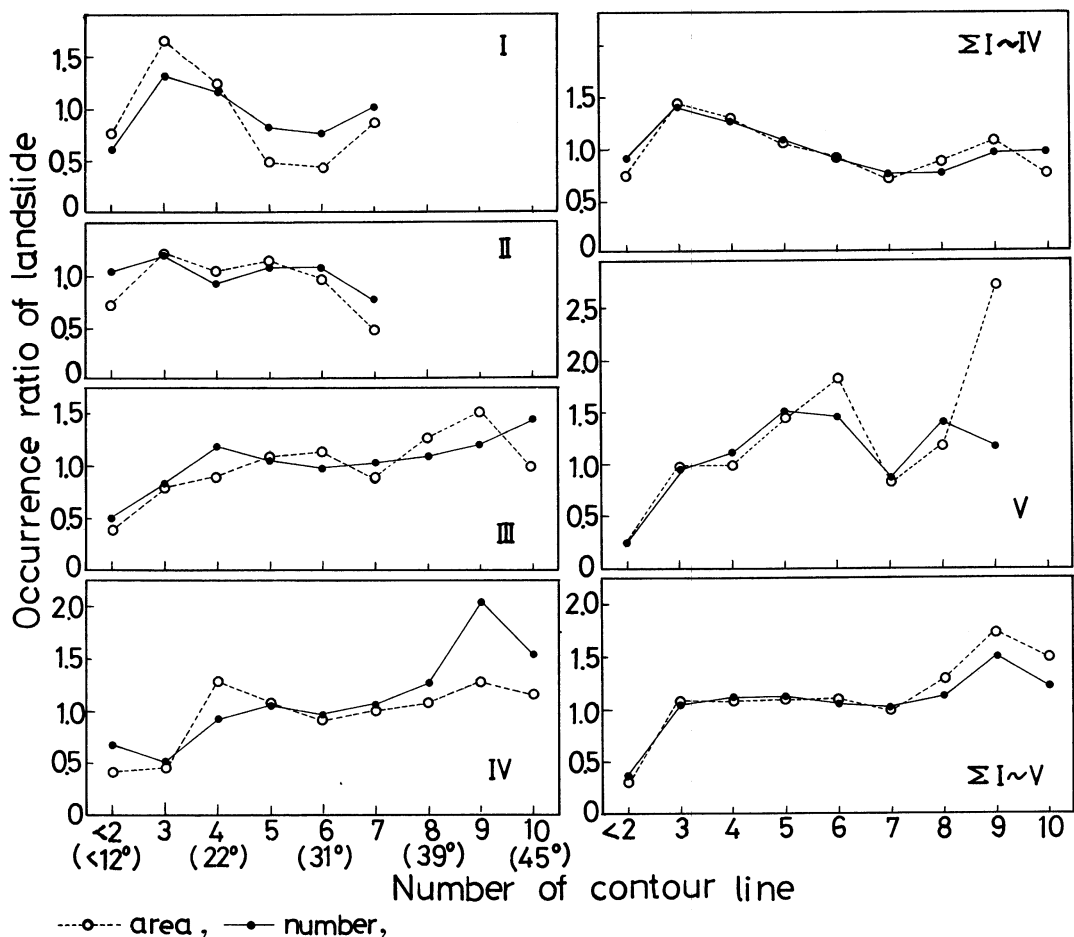


Fig. 15 Relation between occurrence ratio of landslide and inclination angle of slope.

Table 8 Drainage density of each district

District	Number of small channels larger than one		Length of channels		Devastation ratio
	(N)	(N/km ²)	(km)	(km/km ²)	
I. Ogo river basin	245	40.77	52.02	8.66	1.23
II. Harada river basin	148	42.41	31.93	9.15	2.10
III. Sōja river basin (upper stream from dam Tamagawa)	487	17.00	146.83	5.13	0.68
IV. Kiji river basin	477	18.21	143.60	5.48	0.68
V. Sōja river basin (down stream from dam Tamagawa)					
Right bank	578	22.03	176.75	6.74	0.19
Left bank	548	30.65	150.42	8.41	0.31

(6) 谷密度と崩壊

傾斜と崩壊発生に関する前項の検討は、本地域の崩壊発生に関係する、その他の因子の検討を示唆しているであろう。花崗岩地帯の災害のうち、愛知県の例¹⁵⁾では、多発地帯では谷の個数および長さがともに大きく、地形が複雑であり、福岡県の例¹¹⁾では、山ひだ的なものを含めて考えた場合、特に1次谷以上の谷数が増すと崩壊の危険が増すことを示している。そこで、25000分の1地形図により谷密度を計測した結果をTable 8に示す。谷密度は、延長および本数とも区域(II)で最大、ついで区域(I)であり、上流部の区域(III)および区域(IV)では少なくなっていて、山林地の荒廃率の大小と対応している。しかし、下流部区域(V)では、谷密度がかなり大きいにもかかわらず、今回災害時荒廃率がかなり低い。これは、この区域は、昭和47年災害時に推定29.8万m³の崩壊土砂量が流出³⁾し、不安定部分がかなり減少していた結果と思われる。

(7) 崩壊土砂量

現地調査によって得た、崩壊面積と崩壊土砂量の関係を示したFig. 6および式(3)に基づいて、各崩壊地の崩壊土砂量を算出集計した。全域の崩壊種類別結果をTable 5に、山林地の区域別結果をTable 6に、山地内樹園地の結果をTable 7に示した。崩壊土砂量のうち、山林地に由来するもの53.8万m³、崩壊面積1ha当り約8300m³、これを区域別にみると、荒廃率の最も高い区域(I)で、区域面積当り崩壊土砂量が最大である。一方、樹園地に由来する崩壊土砂量は26万m³、崩壊面積1ha当り約11000m³で、山林地より箇所あたりの崩壊規模が大きいことを示している。

Ⅶ む す び

台風7617号により、愛媛県は未曾有の災害を受けたが、山地災害が集中発生した蒼社川流域について、荒廃の実態を調査した。山林地崩壊は、災害時連続降雨量が、この地域の年降雨量や地質からみた崩壊発生限界を越えた結果生じたと考えられる。著しい災害の区域は限られるが、その他の災害散発地域としても、かなりの災害の範囲にあり、全山林地が何らかの災害を受けている。それゆえ、崩壊発生比の大きい傾斜度を中心とした、山腹の予防対策を考慮する必要がある。荒廃率の最も高い地区は、谷密度も高い点では、一般的であるけれども、崩壊の傾斜別分布がやや緩斜地に偏っている点で特色を示し、別途の検討も必要と考えられる。溪流の実地調査は不十分であるが、長期平衡堆積物の流下を重視し、実地調査に基づく溪流砂防計画の検討も望まれる。なお、下流部里山に造成された樹園地の中には、1箇所あたり大崩壊の例もあり、荒廃率が高い。古来マサ土地帯の荒廃は、傾斜地畑作農業に起因¹⁵⁾するものが非常に多い点にも留意し、今後、山地部を開発、各種土地造成を企てる場合は、治山・砂防的対策を十分取り入れる配慮が肝腎である。

文 献

- 1) 台風17号による災害対策調査：昭和51年発生台風17号による災害対策調査報告書，1～140，1977
- 2) 熊谷才蔵：砂防工学から見た水害と森林，ふくおか，3，12，13～16，
- 3) 梶山正之・野村章・中沢多美也：蒼社川・頓田川流域保全計画調査報告書，1～81，愛媛県，1974
- 4) 中野秀章：森林の水土保全機能とその活用，林業研究解説シリーズ，No. 51，15，1973
- 5) 奥田稜：地すべり，崩壊と降水量の関係，施工技術，9，4，13～17，1976
- 6) 山口伊佐夫・太田猛彦・川辺洋：豪雨特性と山地災害について，新砂防，29，2：4～6，1977
- 7) 池谷浩：砂防入門，33～46，北海道，東京，1974
- 8) 下川悦郎：降雨条件と山地崩壊，日本林学会誌58：136～140，1976
- 9) 山口岩介：山地災害危険地実態調査について，治山，21，7，4～12，1976
- 10) 末勝海：山地荒廃の予測（荒廃の定量的分析），砂防工学ノート，1975
- 11) 末勝海・中尾博美・富沢哲郎・中島勇喜：広島県の山地崩壊発生予測のための基礎調査報告：1～97，広島県，1973
- 12) 志水俊夫：花崗岩地帯の斜面の安定性に関する統計的解析，日本林学会誌59：186～190，1977
- 13) 木梨謙吉・長正道：航空写真による予防治山の研究（Ⅲ），第84回日本林学会大会講演集：370～372，1973
- 14) 山梨県林務部：台風6626号による山梨県山地崩壊実態調査報告：1～153，1967

- 15) 片岡順・竹田泰雄：崩壊土砂の流下による山腹面の荒廃に関する研究。日本林学会誌, 56: 208, 1974
- 16) 小出博：傾斜地畑作農業とハゲ山, 日本の国土 (上), 27~32, 東京大学出版会, 1976

(1978年8月23日 受理)