

昭和57年7月豪雨による土砂災害について

江 頭 進 治

1. 緒 言

昨年、梅雨末期の集中豪雨、8月台風10号、9月台風18号に伴う豪雨によって災害が頻発した。中でも7月の豪雨（昭和57年7月豪雨）は、長崎市およびその近郊市町村に23日夕刻から夜半にかけて史上稀にみる集中度の高い雨をもたらし、山腹崩壊・土石流、河川氾濫等による各種の災害を発生させた。とりわけ、人的被害は大きく、長崎県下の死者・不明者数は299名を数えた。しかもその大部分が市内の狭い地域に集中しており、災害の悲惨さは筆舌につくし難い様相を呈した。

上記長崎災害に対し、各方面のグループによって種々の観点より調査研究が進められているが、京都大学防災研究所のグループは、文部省自然災害科学総合研究班の一員として参加し、1. 豪雨の集中度、2. 傾斜地の土砂災害、3. 都市河川の洪水氾濫と被害、4. 災害情報の伝達と避難行動の4つの分担課題ごとに精力的な調査を行ってきた。

本報においては、まず、過去の災害事例を参考にしながら長崎災害の特徴について若干の検討を行い、被害の様相を写真等で示す。ついで、土砂災害を中心にして災害現象の実態と機構の究明に焦点を絞って検討する。

2. 災害の特徴と被害の概況

2.1 降雨概況

昭和57年7月の長崎災害をもたらした雨は、典型的な梅雨末期の集中豪雨であって、23日午後対馬海峡付近の低気圧が移動して梅雨前線を刺激し、長崎県下および九州中央部を西から東へ横切る線上に豪雨をもたらした。長崎県下の雨量は **Table 1** のようである¹⁾。同表には比較のため気象官署の史上記録も示されている。気象官署以外の観測点においては、今回の豪雨において、長浦岳 153mm/hr（23日18～19時）、長与町 187mm（23日19時～20時）を記録し、長与町では、時間雨量の史上記録を書き替えた。ほかにも時間雨量 150mm/hr、3時間雨量 300mm を越える観測点が数箇所あって²⁾、いかに集中度の高い雨であったかを物語っている。

Table 1 Precipitations of July 1982 in Nagasaki district.

Date	IWAHARA	FUKUE	HIRADO	SASEBO	NAGASAKI
23	140mm	49	193	201	448
24	1	29	39	27	124
Hourly max.	64mm/hr	16	84	45	115

Records of precipitation in Japan.

daily precipitation		hourly precipitation	
OWASE	806mm	ASHIZURI	150mm/hr
KENZAN	726	SHIONOMISAKI	145
HIKONE	596.9	CHOSHI	140

2.2 災害の規模・形態および被害概況

過去の災害資料も含めて人的被害や住家の被害をみておくことは、災害の形態や規模を把握するうえで有効である。Fig. 1 は、昭和22年以後の自然災害による年間死者数⁹⁾の推移と42年以後の洪水・土砂災害による死者数の推移¹⁾を示したものである。この図よりみると、昨年の死者数は特別に多いというものでもなく、数年に1回程度発生する規模の災害であったことがわかる。一方、42年以後の洪水・土砂災害による死者数についてみると、最近の特徴として、約60%が崩壊・土石流の犠牲者であることがわかる。昭和57年の自然災害による死者数は493人⁵⁾であって、長崎災害においては299人(長崎市262人)の死者不明者を出したが、そのうち約90%が崩壊・土石流の犠牲者である。ここに長崎災害の特徴とも言うべき側面が伺える⁶⁾。このことは、昭和32年の諫早水害と比較するとさらに明瞭になる。すなわち、諫早水害では、県下で782人の死者・不明者を出したが、このうち過半数以上が洪水氾濫によるものであったと言われている。

Table 2 は、長崎災害における住家被害⁷⁾をみたものである。全壊家屋のほとんどは崩壊・土石流によるものであり、床上浸水家屋の大部分は浦上川、中島川および八郎川 (Fig. 4 参照) 流域の中下流部のもので

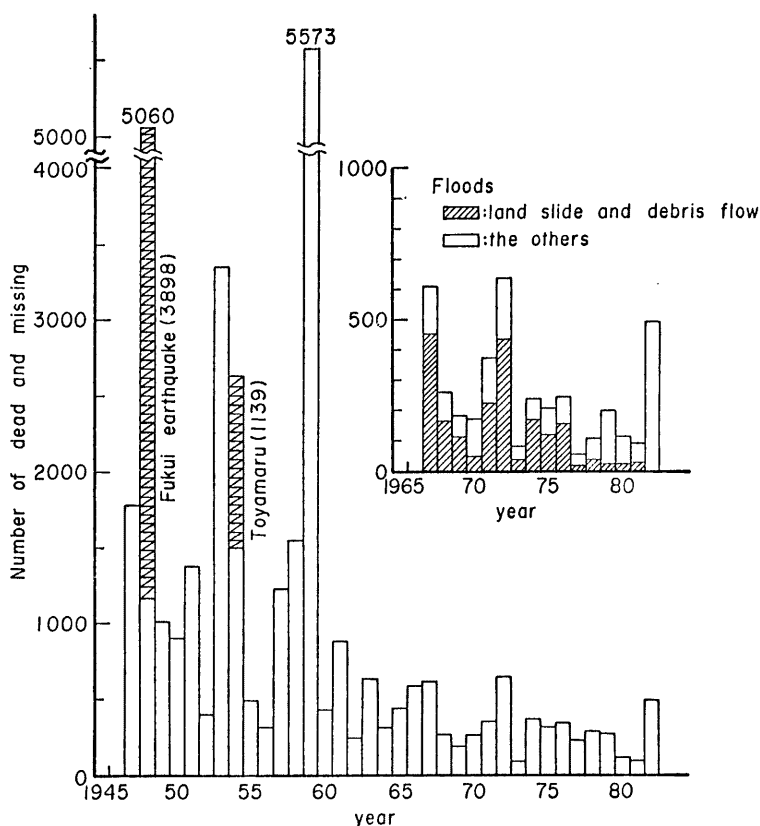


Fig. 1 Number of the dead by natural disasters in past several ten years.

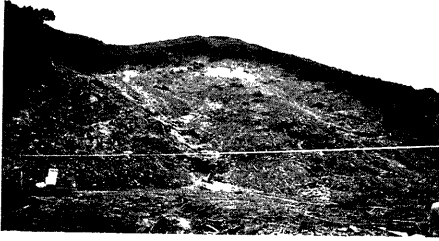


Photo. 1 A slope failure occurred at Okuyama of Hongochi.
24 persons were killed by the attack of soil mass produced by the slope failure.



Photo. 3 An example of disaster caused by flash flood: Stream banks were eroded, and pipe line was injured.



Photo. 2 An example of disaster caused by debris flow at Kawabira where 34 persons were killed.

Table 2 Number of injured houses in Nagasaki district.

Classification	Number
fully destroyed	584
partially destroyed	954
submerged above the floor	17909
submerged up to the floor	19197

ある。

上述のことより推察されるように、昭和35年以後、一つの災害事象において、限られた狭い地域にこれほど被害の集中をみた例はなく、時間的にも空間的にも極めて集中度の高い災害現象であったことが伺える。そのことを示す一例として、県警災害警備本部発表の死者・不明者数⁸⁾の経緯を示すと Fig. 2 のようである。

つぎに、災害現象の把握のため、被災の状況を写真によって示す。Photo. 1 は、本河内町奥山の山腹崩壊発生部の斜面および崩壊土の谷への堆積状況を示したものである。この崩壊によって24名の生命が奪われた。Photo. 2 は、川平町における土石流による被災状況である。川平町ではこの土石流によって34人の死者をだした。Photo. 3 は、河川氾濫や河岸侵食による被害の状況を示したものであって、写真の中にガス、水道などのライフラインの被害をみることができる。これらは被害状況の一例であるが、被害は、土木、農林、水産、商工、保健、文教施設など、ありとあらゆる項目に及んでいる。

3. 崩壊分布と降雨・地形・地質分布

3.1 長崎市域

山腹の崩壊は、崩壊そのものによる災害の直接的な要因となるばかりでなく、崩壊によって形成された裸地や生産土砂の貯留によって流域の土砂環境、すなわち、土砂災害のポテンシャルを変化させる。崩壊の実態を調べることは、こうした点においても重要な意味をもっている。

ここでは、ほかの災害事例における崩壊分布との比較も念頭において、崩壊個数分布と降雨特性、山腹の地形および地質分布との関連性について検討する。

Fig. 3 は、長崎市域の崩壊分布と連続雨量 R 、最大時間雨量 r を平面上に示したものである⁸⁾。図中の一つの黒点は崩壊個数10個を意味する。また、雨量分布は文献²⁾を用いて作成した。図より明かなように、概して R および r の大きい領域において崩壊個数密度が大きいのがわかる。ただし、 R 、 r とほぼ等しいにかかわらず、崩壊個数密度がかなり異なっている地域もある。これは、降雨ばかりでなく、他のパラメータも関与しているからである。そこで、長崎市域を Fig. 4 のように6地区 (A~F) に分割し、各地区の傾斜角 θ ごとの面積分布と崩壊個数密度 (個/km²) をみると Fig. 5 のようである。ここで傾斜角 θ は、1/25,000 の地形図において標高差 50m の等高線間隔に基づいて決定されている。また、各地区の表層地質⁹⁾および Fig. 3 より読み取られる r 、 R を示すと Table 3 のようである。まず Fig. 4 に示す傾斜角 θ による個数密度についてみると、傾斜角の大きい斜面における個数密度が高いのがわかる。一般には崩壊が発生しないと思われるような傾斜の緩い斜面でも崩壊がみられるのは、斜面の傾斜角の評価法に問題が

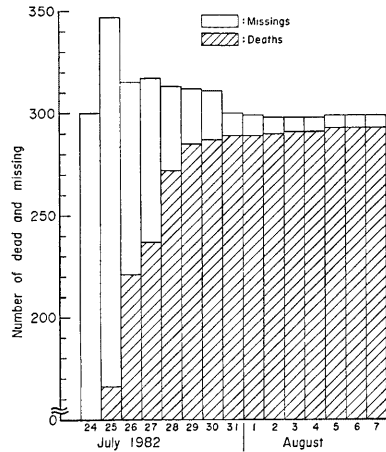


Fig. 2 Daily change of number in missing and dead which was announced by emergency office at the Nagasaki disaster.

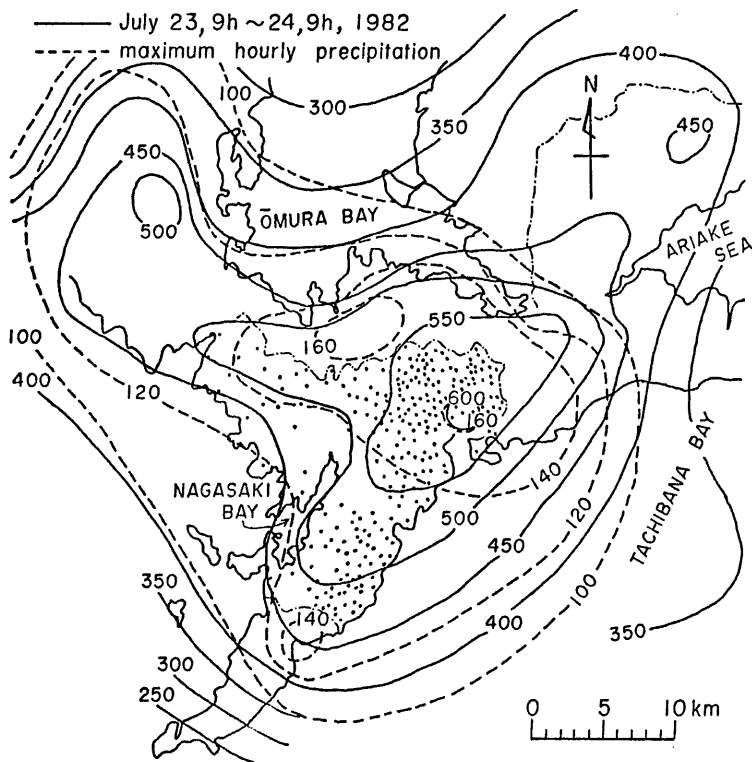


Fig. 3 Distributions of slope failures, maximum hourly precipitation and total precipitation in Nagasaki district, 23-24th of July in 1982.
A black dot=10 failures.

あるため、実際には $\theta=0\sim20^\circ$ と判定された斜面においても局所的には 30° を越えるような急な領域が存在するためである。つぎに 30° 以上の斜面における崩壊個数密度に着目すると、地区ごとにかなりの違いが認められる。この違いは、降雨特性および地質に関連する諸特性の相異に起因するものと思われる。そこで、Table 3 に示す地質および降雨特性をみながら、まず E 地区と F 地区を比較すると、E 地区の崩壊個数密度は F 地区のほぼ3倍程度になっている。この二つの地区においては、連続雨量、最大時間雨量ともほとんど変わらないことから考えて、これは地質の違いあるいはそれによる表層土質の違いによるものであると推察される。ちなみに、E 地区は黒色および緑色片岩を主体とした変成岩からなっており、F 地区は、復輝石安山岩と安山岩質凝灰岩より構成されている。ついで、地質がほぼ同じであるところの F と D 地区をみると、D 地区の崩壊個数密度は E 地区のほぼ5倍程度になっている。これは、主として降雨特性の相違によるものと推察される。そこで Table 3 をみると、D 地区において $r=130\sim140\text{mm/hr}$ 、 $R=500\sim550\text{mm}$ 、F 地区において $r=120\sim130$ 、 $R=450\sim500$ となっており、後者において降雨規模が若干小さい。崩壊がいつ発生したかについての情報が十分でないので大胆に過ぎるかもしれないが、もし、これら

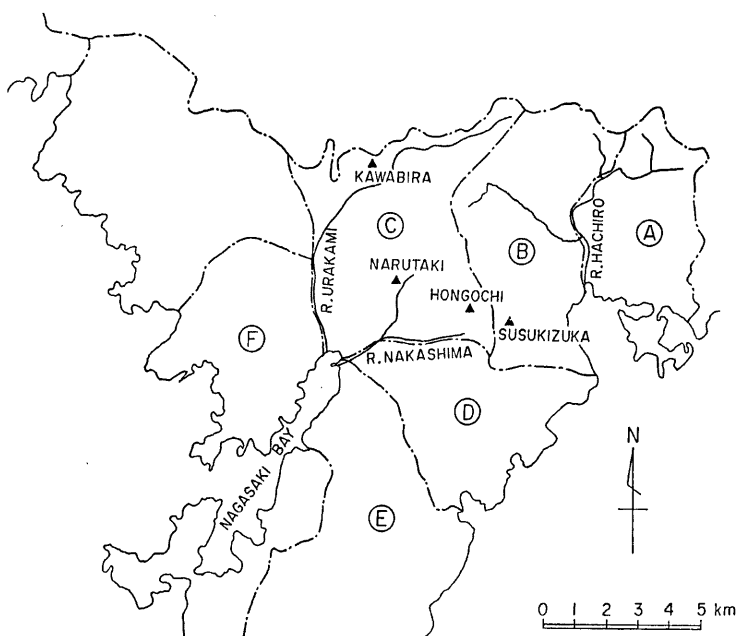


Fig. 4 Area and sub-areas for investigations in Nagasaki district.

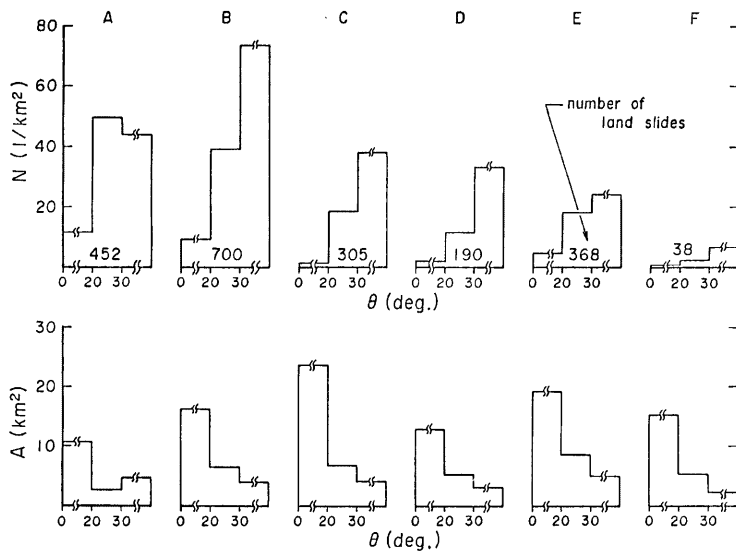


Fig. 5 Number density of failures in each class of steepness of mountain slopes.

Table 3 Surface geology and precipitation at investigated regions.

region	surface geology	maximum hourly precipitation	daily precipitation (July 23, 9h~24, 9h)
A	Ab ₁	$r > 140 \text{ mm/hr}$	$R > 550 \text{ mm}$
B	Pr, Ab ₃	$r > 140$	$R > 550$
C	Ab ₃ , Di	$r \approx 140$	$R \approx 550$
D	Tb, Ab ₃	$140 > r > 130$	$550 > R > 500$
E	Bs, Gs	$130 > r > 120$	$500 > R > 400$
F	Ab ₃ , Tb	$130 > r > 120$	$500 > R > 400$

Ab₁=biotite hornblende andesite, Ab₃=two-pyroxene andesite, Tb=andesite tuff and breccia tuff, Pr=propylite, Di=diorite, Bs=black schist, Gs=green schist

の崩壊が最強雨時に発生したものとすると、変成岩地区を除いた火山性岩地区（A, B, C, D, F）において崩壊が異常に多発するような降雨条件は $r \geq 130 \text{ mm/hr}$ 程度であったものと推察される。一方、E 地区の条件は、これらの地区よりも若干小さ目の降雨強度であったものと推察される。

3.2 長崎市域と他地域との比較

崩壊に対する斜面の抵抗力の地域差を調べておくことは種々の面で有意義である。ここでは崩壊個数密度を抵抗力の評価基準に選び、今回のものと、昭和32年7月諫早水害¹⁰⁾および昭和49年、51年の小豆島災害¹¹⁾における崩壊個数密度を比較し、崩壊に対する抵抗力の地域性をみてみよう。

Fig.6 は、昭和32年7月諫早水害のときの多良岳南東斜面の崩壊を同様の方法で解析したもので、崩壊分布と最大時間雨量および連続雨量を示したものである。同図において黒点1個は崩壊個数10個に相当する。有明海の海岸線より山側数キロメートル奥地の領域には山腹崩壊はみられないが、これは斜面勾配が緩やかなためである。したがって、以下の考察においてこの領域は除外する。なお、崩壊の多発している南東斜面の地質は、安山岩質の熔岩流と集塊岩の互層になっている。小豆島の崩壊分布などについては文献⁽¹¹⁾に示されているので、ここでは省略するが、島の頂部を除いた山腹斜面は風化花こう岩からなっている。

これらの災害における崩壊個数密度、最大時間雨量、連続雨量および地質を示すと Table 4 のようである。ここで崩壊個数密度を高密度と中密度に分類しているのは便宜的なもので文字通りの意味である。崩壊個数密度のデータはほぼ同じ傾斜角を有する斜面より得られたものであって、降雨条件が等しい場合には崩壊個数密度の大小がそのまま崩壊に対する抵抗特性につながる。しかし、実際には、降雨条件が等しいケー

Table 4 Comparison between Nagasaki and other disasters for the density of slope failures.

region	density of slope failures distribution (N/Km ²)		precipitation (mm)	maximum hourly precipitation (mm/hr)	geography
	high	medium			
NAGASAKI (July, 1982)	60	20	500-600 (one day)	120-160	propylite and two-pyroxene andesite
ISAHAYA (July, 1957)	60	30	500-700 (one day)	70-100	alteration of strata composed of lava flow and agglomerate.
SYODOSHIMA (July, 1974)	50	20	400-500 (two days)	70-90	weathered granite
SYODOSHIMA (Sep. 1976)	100	40	1000-1400 (three days)	80-90	〃

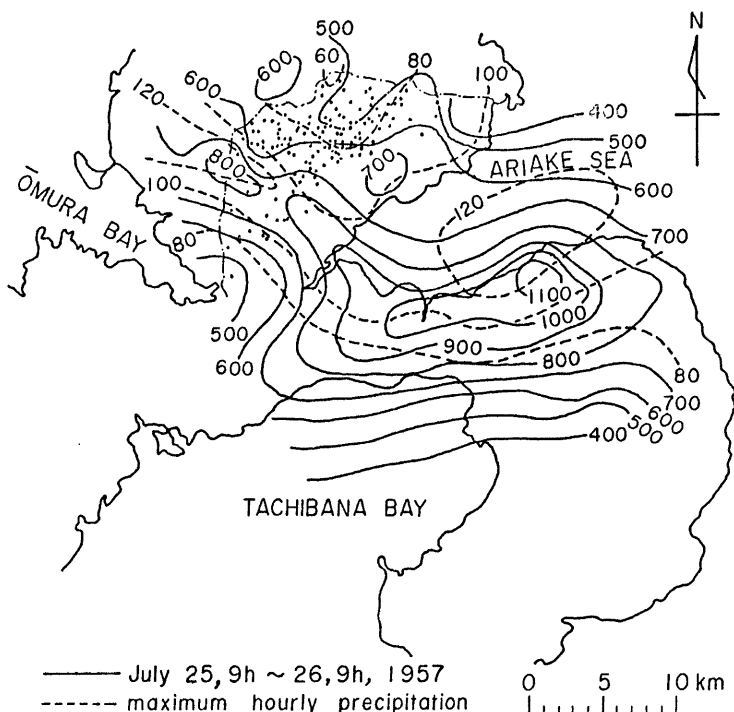


Fig. 6 Distribution of slope failures in Mt. Tara and maximum hourly and total precipitations at Isahaya disaster, July 1957.

スは殆んどない。

まず、諫早水害と長崎災害とを比較すると、連続雨量には顕著な差はないものの、最大時間雨量は後者のものがかなり大きくなっている。降雨条件にこのような違いがあるにもかかわらず崩壊個数密度は両者で殆んど変わらない。ついで、諫早と昭和49年小豆島のを比較すると、小豆島においては、降雨規模、とくに集中度が小さいにもかかわらず崩壊個数密度は同程度になっている。これらのことより三つの地域の崩壊に対する抵抗特を判定するとすれば、風化花こう岩地帯の小豆島で最も崩壊は発生しやすく、ついで、多良岳南東斜面、長崎市域の順になっている。

4. 山腹崩壊の発生条件および崩壊土の動態

4.1 崩壊発生の降雨条件

これまでに、山腹崩壊の分布、主として個数密度について調べてきた。次の段階としてこれらの崩壊がどのような降雨条件で発生したのかを調べる必要がある。崩壊を直接的に支配するパラメータは、斜面勾配、土層の強度分布および土層における水の分布などである。これらのうち、土中水は、土層の自重の増加、浮力による有効応力の減少、さらには水による強度低下などを通して崩壊現象と密接なかかわりをもっている。降雨は、与えられた条件の中で土中水の分布を支配しており、これまでの多くの災害事例において連続雨量

と降雨強度の平面上で崩壊の発生が議論されている。長崎災害においても、長崎市およびその周辺の災害発生時点の降雨強度と連続雨量との関係が伊勢田⁹⁾らによってすでに調べられている。したがって、ここでは、もう少し焦点を絞って、川平、鳴滝、本河内、芒塚の4地区について調べてみよう。

上記4地区のうち川平地区の表層地質は、閃緑岩（深成岩）より構成されており、表層はかなり風化が進んでいる。一方、他の3地区は輝石安山岩および凝灰岩よりなっており、崩壊の多発したところは風化がかなり進んでいる。また、崩壊発生地点の斜面勾配を微視的にみると、いずれの崩壊も 30° 以上の斜面で発生している。**Fig. 7** は、これらの地区における連続雨量と降雨強度の平面上に崩壊発生時点を示したものである。川平、鳴滝、本河内および芒塚の雨量データは、荒生の解析²⁾によるものであって、それぞれ長崎バイパス管理事務所、建設省長崎工事事務所、九州電力長崎変電所および住宅供給公社矢上団地事務所のものが採用されている。また、同図には、伊勢田らの結果を参考にして推定した危険降雨曲線および芦田¹²⁾らが小豆島を対象として設定した危険降雨曲線も示されている。さらに、長崎海洋気象台において過去10数年間に得られた規模の大きい降雨も示されている。

まず、過去十数年間の降雨と危険降雨曲線とをみると、後者を越える降雨は過去十数年の間発生しておらず、また、今回の降雨と過去のものとを比較すると、調査区域の各地点とも危険降雨曲線を大幅に越える異常に大きな雨であったことがわかる。さて、崩壊の発生は、連続雨量 $R=120\text{mm}$ 、雨量強度 $r=100\text{mm/hr}$ を越えるころより始まり、危険降雨をはるかに越えた $R \approx 200\text{mm}$ 、 $r \geq 120$ あたりから崩壊・土石流による大きな災害が発生している。これは、**3.1** において述べたように崩壊が異常に発生した降雨強度が 130mm/hr 程度であったと推論したことと対応するものである。また、連続雨量が 350mm 程度になると $r < 100\text{mm/hr}$ においても崩壊・土石流が多発しているのがわかる。こうした傾向は、伊勢田らの解析結果を参考にす

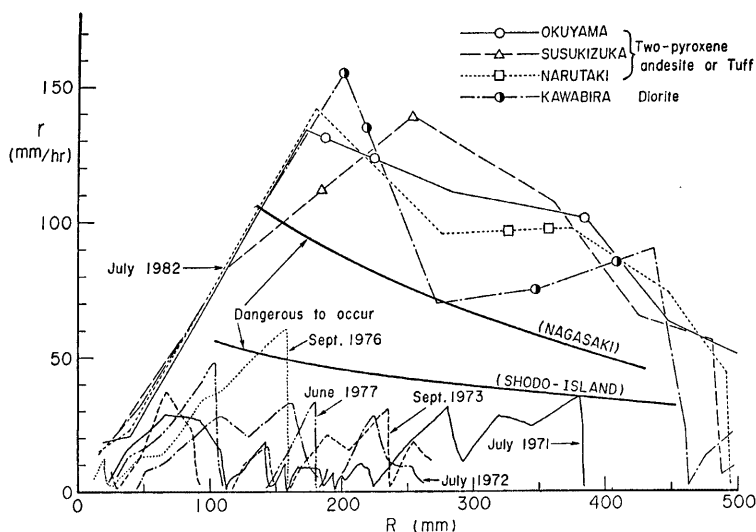


Fig. 7 Rainfall conditions investigated at Kawabira, Narutaki, Okuyama and Susukizuka for occurrence of slope failures and debris flows. Notations indicated by open circle and others mean occurrence of slope failures or debris flows. In the figure, precipitations which were observed past several and ten years at Nagasaki are shown, and critical line at Shodo island for comparison.

ると、4地区ばかりでなく市内全域についても認められることである。ついで、同図において、地質の異なる川平地区と他地区における崩壊の発生降雨条件をみると、両者には顕著な違いはみられない。さらに、風化花こう岩地域である小豆島における危険降雨曲線と長崎のそれとをみると、小豆島においては、はるかに小規模の降雨でも崩壊・土石流災害の危険性があることがわかる。このことは、山腹崩壊に対する抵抗力の地域特性に関する前章の結果に一致するものである。

4.2 山腹崩壊土の挙動

前節において崩壊発生の降雨条件について検討したので、ここでは、崩壊した土塊がどのような挙動をするのかについて、空中写真、地形図、現地調査およびこれまでの研究成果に基づいて検討してみる。なお、調査域は、川平地区、中島川支川の鳴滝川流域と本河内町の本河内ダム上流域および芒塚町（日見川と芒塚川の合流点より上流域）の4つの地区である。

山腹崩壊によって生産された土塊の運動形態を大まかに分類すれば、滑動したのち停止するものと、滑動しながら流動化して土石流を形成して流下するものがある。どちらの形態をとるかは災害の形態や規模を左右する重要な問題である。そこで、上記4地区において崩壊土の動態をみれば、Table 5 のようである⁹⁾。4地区には115箇所崩壊が発生しており、そのうちの78%は、傾斜角 20° あるいはそれ以上の勾配を有する斜面で停止しているが、22%の崩壊は、土石流を形成してさらに下流へ流出している。

このような山腹崩壊土の動態について、力学的観点よりもう少し調べてみる。Fig. 8 は、江頭・芦田¹³⁾による山腹崩壊土の運動の模式図である。ここに、 u_f : 滑動速度、 A_f : 崩壊土の断面積、 h_f : 崩壊土の高さ、あるいは崩壊深、 θ : 斜面傾斜角、 u_1 : 供給水（表面流）の流速、 h_1 : 供給水の水深である。このとき、崩壊土が水で飽和している場合には、土塊の滑動→停止あるいは停止→滑動の条件はつぎのように与えられる。

$$\tan \theta \leq \frac{\rho_s - \rho}{\rho_f} \mu (1 - \lambda) - \frac{\rho}{\rho_f A_f g \cos \theta} \left\{ u_1^2 h_1 + \frac{1}{2} g h_1^2 \right\} = \frac{\rho_s - \rho}{\rho_f} \mu (1 - \lambda) - \frac{1}{k_s} \frac{\rho}{\rho_f \cos \theta} \left\{ F_1^2 + \frac{1}{2} \right\} \dots (1)$$

ここに、 ρ , ρ_s : 水および土粒子の密度。 μ : 斜面と崩壊土の摩擦係数、 λ : 崩壊土の空隙率、 $k_s = A_f / h_1^2$, $F_1 = u_1 / \sqrt{gh_1}$, ρ_f は土塊背面の水の断面積 ΔA_f も考慮した崩壊土全体の平均密度であって、初期空隙率を λ_0 とすると次式で表される。

$$\rho_f = \rho_s (1 - \lambda_0) + \rho \lambda_0 - \frac{\Delta A_f}{A_f} \{ (\rho_s - \rho) (1 - \lambda_0) \} \dots (2)$$

ここに、 λ_0 : 初期空隙率である。いま、 $\lambda = \lambda_0 = 0.25$, $\rho = 1$, $\rho_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$, $\Delta A_f = 0$, $\mu = 0.762$ として、 θ ,

Table 5 Behaviors of soil mass produced by slope failure.

mass movement	number of slides
stoppage on slopes steeper than 20°	14 (15%)
stoppage on about 20° slopes	72 (63)
transformation into debris flows	25 (22)

Investigated areas : Kawabira, Narutaki, Hongochi and Susukizuka.

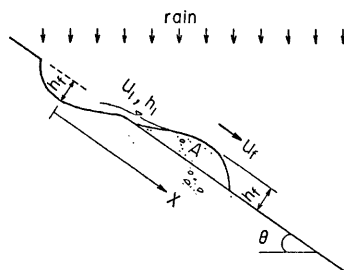


Fig. 8 Schematic and symbols for a behavior of soil mass produced by slope failure.

と k_μ , F_I との関係を示すと Fig. 9 のようである。各曲線の内側は、滑動→停止の領域であり、外側は崩壊土の初速が 0 であっても滑動する領域である。

崩壊土が斜面を滑動すると、土塊内部に変形が進み、内部構造が破壊される。内部構造が破壊された時点において土粒子の分散に必要な水が供給されていると、崩壊土は土石流へ遷移する。内部構造の破壊のための滑動距離は、江頭・芦田・大槻によると次のように示される。

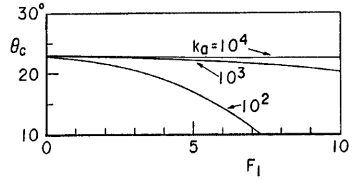


Fig. 9 Critical inclination angle θ_c of a slope where a soil mass begins or ceases to slide.

$$\frac{x_{f1}}{h_f} \geq \frac{\alpha}{k_\mu} \left\{ \frac{\cos(\pi/4 + \phi_s/2) \tan \phi_s}{3\mu} + \frac{f_{c*}}{\mu(1-\lambda)(1-\rho/\rho_s) \cos \theta} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 x_{f1} : 内部構造の破壊に必要な滑動距離、 α/k_μ : せん断ひずみおよび摩擦によるエネルギーの供給率に関連する係数で、実験によれば $\alpha/k_\mu = 23 \sim 37$ 程度である。 $f_{c*} = c/\rho_s g h_f$ (c : 土塊内部の粘着抵抗力)。 ϕ_s : 土塊の内部摩擦角である。また、土粒子が分散するための最大容積濃度を C_{max} とすると、流動化するための水の供給条件は次のように与えられる。

$$\frac{dA_f(t)}{A_{f0}} \geq \frac{1-\lambda_0-C_{max}}{C_{max}} \dots\dots\dots(4)$$

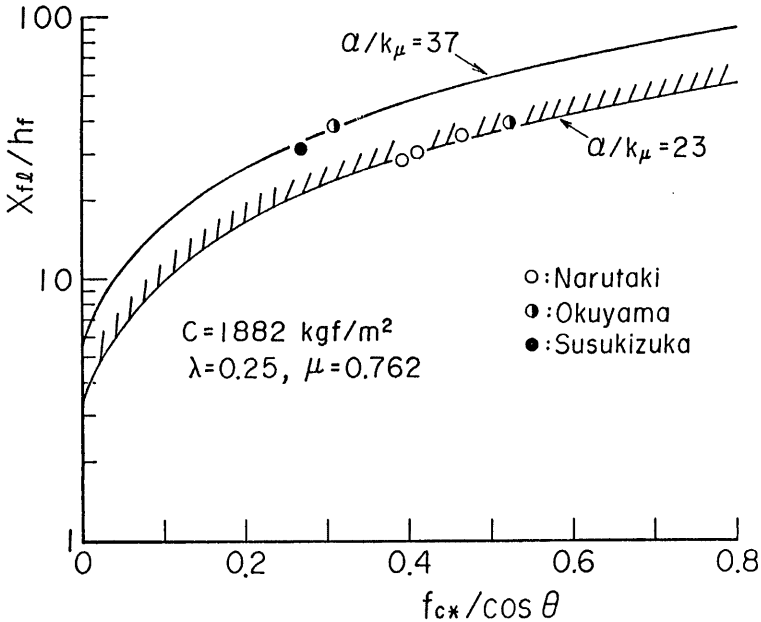


Fig. 10 Critical slide distance of soil mass for the transition from slide motion into debris flow.

ここに、 $\Delta A_f(t)$: 滑動過程にある崩壊土に対する単位幅当たりの水の供給量である。 C_{max} は勾配の条件によって変わるものと思われるが、 $\theta=25^\circ$ の実験によれば、 $C_{max}=0.5\sim 0.6$ 程度になっている。

式(4)については今後の検討も必要であるが、 $C_{max}=0.6$ とすると、 $\lambda_0=0.25, 0.35$ のときにそれぞれ $\Delta A_f(t)/A_{f0}\geq 0.25$, $\Delta A_f(t)/A_{f0}\geq 0.083$ となる。前述の4地区における現地調査によれば、崩壊深 $1\sim 2\text{m}$ 、滑動幅 $5\sim 10\text{m}$ および $A_{f0}=10\sim 30\text{m}^2$ 程度のものが大部分であった。 $A_{f0}=20\text{m}^2$ として崩壊土に対する水の供給条件をみると、 $\Delta A_f(t)\geq (0.083\sim 0.25)A_{f0}=1.66\sim 5\text{m}^2$ 程度になる。滑動幅が $5\sim 10\text{m}$ であることを考慮し、今回の豪雨を念頭に置けば、土粒子の分散に必要な水は殆んどの場合供給されていたものと推察される。このような条件のときには、内部構造の破壊のための滑動距離 x_H が流動化の条件を与えることになる。そこで、現地踏査によって流動化した地点が読み取れた数個のデータと式(2)とを比較すると Fig.10 のようである。ここで、図中の曲線は、式(3)において、 $\mu=\tan \phi_s=0.762$, $\lambda=0.25$, $\rho=1.0$, $\rho_s=2.65\text{g/cm}^3$ として求められている。一方、データにおいて、 h_f には崩壊深が用いられており、 f_{c*} の算定に必要な粘着抵抗力 c は、鳴滝地区の一つのデータが $\alpha/k_\mu=23$ としたときの曲線に一致するように定められている。同図の比較より、山腹崩壊土が流動化するための滑動距離の条件は、式(3)を用いてほぼ推定できることがわかる。

上述の考え方に基づくと、Table 5 に示した山腹崩壊土の動態は次のように解釈される。すなわち、土石流を形成して流下した22%の山腹崩壊は、その下方に θ_s よりも急でしかも x_H よりも長い斜面が存在するような箇所で発生している可能性が高い。一方、崩壊地点より下方に θ_s よりも急な斜面が存在しないか、あったとしても斜面長が x_H よりも短い場合には、山腹崩壊土は滑動した後に停止する。もちろん滑動を防げる他の要因がある場合にも停止する。傾斜角 20° 以上の斜面で停止した78%の山腹崩壊は、こうした条件を有する斜面上で発生したものと思われる。

5. 豪雨に伴う土砂災害の危険度

土砂災害の防止軽減を有効に行うには、どこが、いつ、どの程度危険であるのかを評価することが重要である。これまでの議論は、この問題を意識して進めてきたものである。そこで、今後の基礎研究および実態の調査研究に対する問題提起の意味を込めて、土砂災害の代表的な外力である山腹崩壊と土石流を対象にした場合、これらによる災害の危険度がどの程度評価できるのか若干の解析例を示しながら検討する。さらに、人間の活動と災害ポテンシャルの変遷という観点からも災害現象をみておく必要があり、これについても若干の解析例を示す。

5.1 崩壊による災害危険区域

山腹崩壊による災害の危険度は、ある降雨条件が与えられたとき、いつ、どこで、どんな規模の崩壊が発生するのか、そしてどの範囲に流出するかを推定することによって評価される。過去に幾度かの被災経験のある地域においては、4.1あるいはこれに類似な手法によって崩壊発生の降雨条件はかなり明かにされている。しかし、発生場所や規模についてみると、崩壊は 30° 以上の斜面で起こりやすく、さらに凸部よりも水の集まり易い凹部で発生しやすいなどの目安が得られている段階である。流出経路および流出範囲については、山腹崩壊土の運動則や流動化の機構についての知識がさらに必要であって、現在、4.2で述べたように滑動→停止あるいは停止→滑動を支配する斜面の傾斜角がおおむね $\theta_s\approx 20^\circ$ であると推定されている段階にある。こうした状況において、崩壊による危険区域を設定するとすれば、崩壊の発生降雨条件を越えるような豪雨があった場合には、 30° 以上の斜面はいたるところ崩壊の可能性をもっていると判断せざるを得ず、これが崩壊した場合の流出経路にあたる領域は危険であると判定される⁸⁾。この流出経路にあたる領域は 30° 以上の斜面下方に連なる $\theta_s\approx 20^\circ$ までの区間とこれより下方の減速停止区間とを合わせた部分である。もちろん減速停止区間は、崩壊土の内部構造が破壊されることなく停止する場合と内部構造が破壊されて流動化する場合とはかなり異なったものになる。

5.2 土石流発生危険度と流出範囲

土石流の発生・流動・堆積については、現地における実態の把握もさることながら、実験、理論の両面からの研究が活発に進められてきており、これまでかなりの段階の成果が得られている¹⁴⁾。さらに、実際の流域に対しその適用も図られている¹⁵⁾。ここでは、基礎研究に基づいて考察された芦田・高橋・澤井¹²⁾による土石流の発生危険度指標ならびに堆積範囲の予測法の適用結果⁸⁾について検討する。

まず、渓床堆積物を対象とした土石流発生の危険度指標と土石流の堆積範囲の予測法について若干の説明をしておく。土石流の発生危険度は、土石流発生の下限勾配が約 15° であることに着目して 15° 地点の流域面積 A_d と土石流発生の表面流量 Q_{0e} および有効降雨強度 r_e より求められる限界流域面積 A_{de} との比によって次のように定義されている。

$$Y = A_d / A_{de} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 A_{de} および Q_{0e} は、それぞれ次のようである。

$$A_{de} = Q_{0e} / r_e \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$Q_{0e} = \left(\frac{8 \sin \theta}{f \kappa^3} g d^3 B^2 \right)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 θ ：渓流の勾配、 g ：重力の加速度、 d ：代表粒径、 B ：河幅、 κ ：係数で $\kappa=0.7$ 、 f ：表面流の抵抗係数である。式(5)、(6)、(7)よりわかるように、発生危険度指標 Y は、 15° 地点の流域面積、有効降雨、河幅および代表粒径に依存する量であって、土石流の発生の難易度を表すものである。

土石流の堆積範囲の予測は次のように行われる。すなわち、なるべく大縮尺の地形図より縦断面図および横断面図を作成しておき、土石流の土量 V およびその堆積勾配 γ に基づいて Fig. 11 のような方法で予測しようとするものである。ここで、土石流の土量の推定は既往資料に基づいて設定される。一方、堆積勾配は、高橋¹⁵⁾によれば次のように与えられる。

$$\tan \gamma = \frac{C_* (\rho_s - \rho) \tan \phi}{C_* (\rho_s - \rho) + \rho \{1 + (f/\sin \gamma)^{1/3} (q_w^2/gd^3)^{1/3}\}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 C_* ：渓床堆積物の容積濃度、 ϕ ：摩擦角($\phi=42^\circ$)、 q_w ：堆積地点における水の単位幅流量である

土石流発生危険度指標および堆積範囲に関する予

測法の概略は以上のものである。土石流発生危険度指標の算定には、代表河幅、代表粒径、有効降雨強度を設定する必要がある。川平、鳴滝、本河内奥山および芒塚における現地調査によれば、 $d=10\text{cm}$ 、 $B=5\text{m}$ 程度が適当であり、降雨資料より $r_e=150\text{mm/hr}$ および流出率を1、さらに $f=1.12 \sin \theta$ とすれば $A_{de}=4.6\text{ha}$ となる。一方、1万分の1の地形図を用いて上述の4地区における渓流の 15° 地点を抽出したとこ

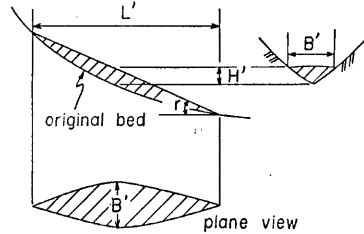


Fig. 11 A geometrical method to predict the depositing region for a debris flow.

Table 6 Risk index for occurrence of debris flow and the actual occurrence of debris flows.

Index $Y = A_d / A_{de}$	Number of streams	Number of debris flows	rate of occurrence
$Y \geq 3.0$	11	7	0.64
$3.0 > Y \geq 1.5$	14	7	0.50
$1.5 > Y \geq 1.0$	16	3	0.10
$1.0 > Y > 0$	102	0	0

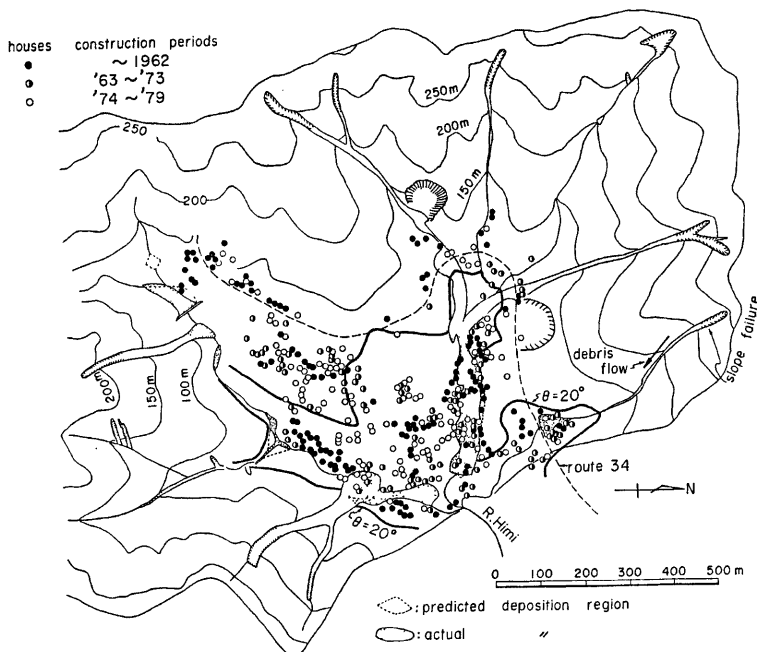


Fig. 12 Slope failures and debris flows occurred at Susukizuka. Deposition regions predicted and actually deposited regions are also shown in the figure.

ろ、それが143ヶ所あり、そのうち41ヶ所が $Y \equiv A_d/A_{d0} > 1$ になっている。これに対し、実際に土石流の発生をみたのは17ヶ所である。これらの解析結果を危険度指標ごとにまとめると Table 6 のようである⁸⁾。

同表より、危険度指標が $1 \leq Y < 3$ の範囲における発生率が若干低いようであるが、危険度指標1以下の溪流において土石流は発生しておらず、防災対策、とくに人命を尊重するという観点からみるとかなり適切な指標であることが推察される。

つぎに、危険区域の設定に関して重要である堆積範囲について調べる。土石流の土量 V については種々検討すべき問題があるが、ここでは、既往の資料および崩壊による土砂の供給も考慮し、 $15^\circ \sim 30^\circ$ の区間の侵食土量を単位長当たり $3m^3$ として4地区における17の土石流の堆積範囲を推定した。このうち2例は実際の堆積範囲よりもかなり下流に堆積する結果になったが、15例は実際の堆積範囲にほぼ一致した。Fig. 12 は芒塚地区において実測値と予測値を比較したものである。なお、同図には 5.1 で述べた $\theta_c = 20^\circ$ のラインおよび次に述べる家屋数の期間ごとの変遷の状況も示されている。

5.3 家屋数の変遷とその被害率

我国においては1960年代後半より都市近郊における農林地の宅地化が進んでいる。そこで、人間活動の一つのパラメータとして家屋数の変遷に着目し、新旧ごとの被害率について調べてみる。調査区域は、芒塚と川平の二つの地区である。家屋数の変遷は、1963, '73, '79 年国土地理院撮影の空中写真により判読した。その結果のうち芒塚のものは前述の Fig. 12 に示すとおりである。ただし、写真判読によるため、住家、非

住家の区別はなされてない。被害については全壊および半壊家屋を対象として現地踏査によって調べた。それによると家屋の被害要因は、崩壊、土石流および土砂流によるものが殆んどであった。

芒塚において Fig.12 の結果をもとに家屋棟数 N の変化をみると Fig.13 のようである。Fig.13 には、崩壊に対して最も危険と思われる傾斜角 20° 以上の斜面に存在する家屋の比率 N_{20}/N も示されている。これより、芒塚における宅地化の特徴をみると、 N_{20}/N における新旧の変化はみられない。すなわち、一般に認められているように、新しい家ほど災害を受けやすい場所に広がっていくという状況はみられず、旧い家を中心としてその周囲に新しいものが建てられて、家屋密度の場所による違いはみられない。こうした地域の災害に対する危険性は、新旧にかわりなく同様にもっているとして推察される。そこで、1979年現在384戸の家屋を'62年以前(155戸)'62~'73(104戸)および'73~'79(125戸)のものに分類し、それぞれの全半壊個数を示すと Fig.14 のようである。同図より被害率を算定すると、それぞれ18.7、21.2、19.2%となっており、旧いものも新しいものも同様に被害を受けていることがわかる。川平地区においても、家屋数の期間および場所的变化は同様であって、芒塚地区と同様の被害特性を示している。

6. 結 語

昭和57年7月豪雨による長崎災害、とくに土砂災害に関する外力の実態とその機構の究明、および災害の防止軽減のための科学的基礎資料を得ることを目的として種々の側面より検討を行った。以下、問題提起の意味も込めて本研究を要約する。

(1) 過去の災害事例を考慮しつつ長崎災害の形態、規模などについて検討し、降雨が時間的にも空間的にも密度の高いものであったため、災害は狭い地域に集中し、土砂災害特有の人的被害が大きかったことを示した。さらに、気候風土に培われた諸条件と相まって、被害は都市水害から山地災害にみられるものまで広範多岐にわたっていることを述べた。

(2) 災害の広がりや分布、集中度、規模などを把握するため、さらに、災害に対する抵抗力を評価するうえで崩壊分布の実態を把握することは重要である。こうした調査を行い、長崎市域においては変成岩地帯のそれが若干弱いことを示すとともに、ある降雨条件を越えると崩壊個数密度が急増することを述べた。

(3) 昭和32年諫早水害における多良岳南東斜面、昭和49年、51年の小豆島災害および今回の長崎災害における崩壊個数密度を比較し、従来より認められているように小豆島のような風化花こう岩地帯は崩壊に対する斜面の抵抗力が小さいことを示した。

(4) 土砂災害に対する防災対策をたてるうえで、崩壊・土石流の発生とその流出範囲をどの程度予測し得るかは重要である。これらのことについて検討し、崩壊については、それがいつどこでどんな規模のものが

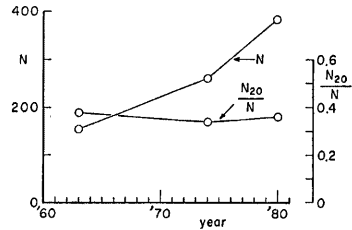


Fig. 13 Number of houses in prescribed periods. N =Total number of houses, N_{20} =Number of houses existing on the slopes steeper than 20° .

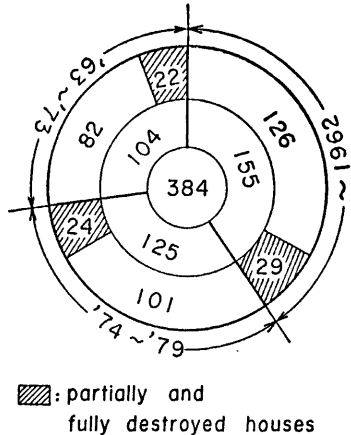


Fig. 14 Number of partially and fully destroyed houses. The houses are classified according to the construction period.

発生するかを予測するのは現時点においてはかなり困難であるが、着目すべき危険斜面を統計的に抽出すれば崩壊の発生と流出範囲の予測は可能になりつつあることを示した。一方、土石流の発生と流出範囲については現在の研究成果を適用してほぼ予測できることを示した。

本研究によって得られた知見は以上のものであるが、今後、さらに実態の把握と実験・理論に基づく基礎研究に努力するつもりである。本研究は、一部科学研究費自然災害特別研究(1) (代表者 坂上 務 九州大学教授) の補助を受けて進めたものである。その成果の一部は、先の報告(柴田 徹・高橋 保・江頭進治・澤井健二・砂坂善雄共著)にもまとめられている。本調査研究を行う上で、京大防災研究所の各部門の諸先生には有意義な御意見をたまわった。とくに、芦田和男教授には全体の調査指針について有意義なコメントをいただいた。また、長崎大学の諸先生(鎌田泰彦教授、荒生公生助教授、野口正人助教授、柵橋由彦助手)、長崎県庁、および長崎市役所の諸兄には、現地調査や資料提供など種々御協力いただいた。京大防災研究所吉田義則技官には資料解析と図面作成等で御協力いただいた。ここに記し感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 長崎海洋気象台：昭和57年7月23日から25日にかけての梅雨前線による長崎県の大雨，1982年7月30日。
- 2) 長崎大学学術調査団：昭和57年7月長崎豪雨による災害の調査報告書，2. 気象，昭和57年11月，pp. 2—13.
- 3) 全国防災協会：わが国の災害誌，1965年および1976年版。
- 4) 建設省河川砂防部：土砂災害から明るい家庭を守るため (パンフレット)，1982年版。
- 5) 災害科学総合研究班河川災害分科会：昭和57年度災害科学総合研究河川分科会シンポジウム，1983，2，p. 53.
- 6) 長崎県土木部：7・23長崎大水害誌，長崎県土木部，1983，pp. 63—67.
- 7) 長崎大学学術調査団：昭和57年7月長崎豪雨による調査報告書，1. 概況，昭和57年11月，p. 1.
- 8) 柴田 徹・高橋 保・江頭進治・澤井健二・砂坂善雄：崩壊・土石流と土砂害危険度評価について，昭和57年7月豪雨災害に関する調査研究 (代表者 坂上 務)，昭和58年3月，pp. 71—79.
- 9) 長崎大学学術調査団：昭和57年7月長崎豪雨による調査報告書，4. 土砂災害，昭和57年11月，pp. 37—72.
- 10) 橘 行一：昭和32年多良火山の山崩れについて，長崎大学学芸学部自然科学研究報告，8号，1958，pp.
- 11) 芦田和男・高橋 保・沢田豊明・江頭進治・澤井健二：小豆島の土砂災害について，昭和51年9月台風17号による災害の調査研究，中嶋暢太郎編，昭和52年3月，pp. 109—115.
- 12) 芦田和男・高橋 保・澤井健二：土石流危険度の評価法に関する研究，京大防災研年報，1978，pp. 423—439.
- 13) 江頭進治・芦田和男：山腹崩壊土の流動化機構，昭和58年度砂防学会全国大会，1983年5月，pp. 2—3.
- 14) 例えば，高橋 保：土石流の発生と流動に関する研究，京大防災研年報，20号 B-2，1977，pp. 405—435.
- 15) 高橋 保・吉田 等：土石流の停止堆積機構に関する研究，京大防災研年報，22号 B-2，1979，pp. 315—328.

DISASTERS DUE TO SLOPE FAILURE AND DEBRIS FLOW CAUSED BY HEAVY RAIN OF JULY 1982

By *Shinji* EGASHIRA

Synopsis

Various disasters occurred due to slope failure, debris flow and flood flow caused by the heavy rain of July 1982 in Nagasaki district. 299 persons, who were buried and flashed by debris and flood flows, were killed. The aims of this report are to relate an actual condition and a characteristics of the disaster, and to discuss the mechanisms of the disaster. Especially, efforts are made on the behaviors of soil mass produced by slope failures and those of debris flows.

Some results obtained from this research give valuable information for preventing disasters and for natural disaster science.