

1988年7月島根・広島豪雨災害の調査研究

芦 田 和 男

1. ま え が き

1988年7月15日に島根県浜田市を中心として集中豪雨があり、浜田川、下府川、八戸川、敬川などが氾濫し、また浜田市を中心とした地域で崩壊・土石流災害が発生した。ついで、7月20日から21日にかけて島根県の三隅町から広島県の加計町にかけて集中豪雨があり、三隅川支川の矢原川・井川川などが氾濫し、周辺地域で崩壊・土石流災害が発生した。また、加計町周辺においては土石流災害が発生した。これらの災害による死者・行方不明者は島根県で6人、広島県で14人であり、その多くは土砂災害によるものである。全壊家屋、半壊家屋、床上浸水、床下浸水家屋数は、島根県および広島県でそれぞれ、98, 174, 2, 166, 5, 272, および14, 23, 104, 460棟であった。被害額は島根、広島でそれぞれ946億円および175億円であった。

これらの地域は過去においてもしばしば梅雨末期の集中豪雨によって被害を受けているが、とくに、1983年の大災害は記憶に新しい所である。

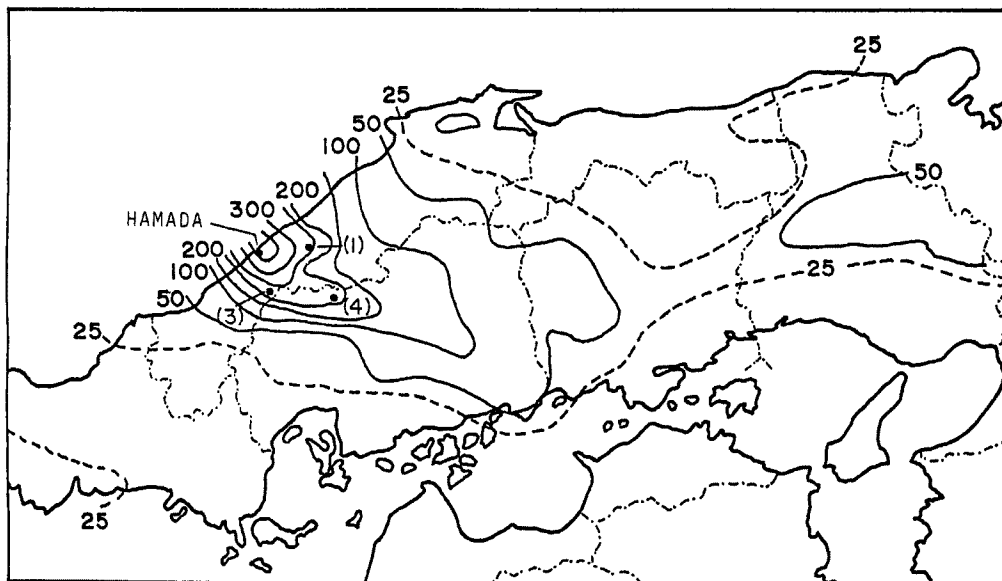
我々は、このように繰り返し発生する集中豪雨災害の特性や発生機構ならびに防災対策のあり方を究明するため、文部省科学研究費（特定研究(1)）の補助を受けて突発災害の調査を実施した。その成果の詳細は、すでに調査研究報告書として刊行されており¹⁾、また一部は自然災害学会誌や当研究所年報にも発表されることになっている。そこで、ここでは降雨・被害概況、災害の特性および防災対策のあり方について概括的に報告する。

2. 降 雨 概 況

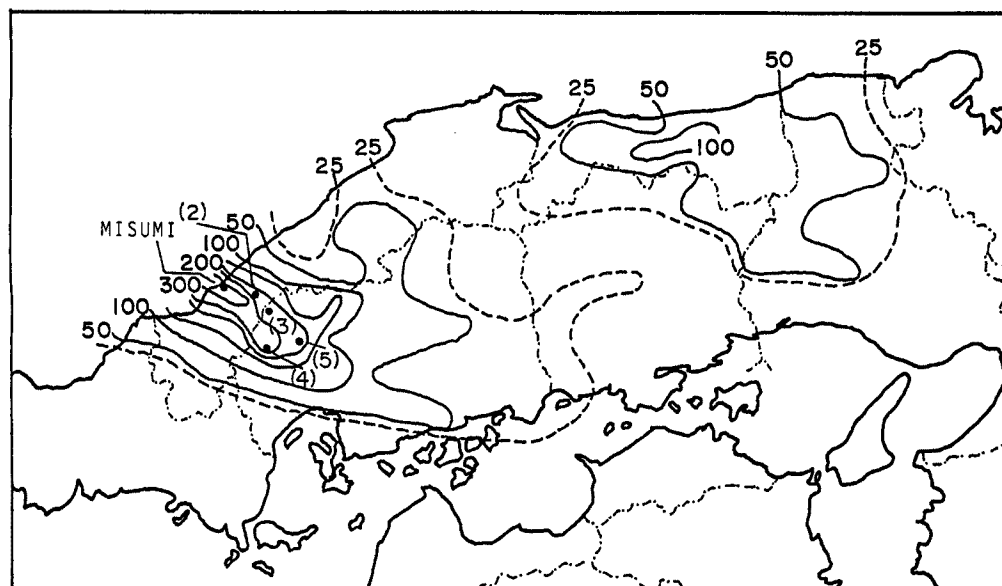
7月14日には気圧の谷が本邦の東にあり、高層においてはジェット気流によって中国大陆から寒冷で乾燥した気流が移入している一方、低層においては西南海域から温暖湿潤な気流が侵入しており、西日本は対流不安定によって豪雨が発生しやすい総観的な気圧場にあった。14日夜半低気圧が日本海を東進し、浜田を中心として集中豪雨が発生した。

Fig. 1 は、アメダスデータを基にして作成した総雨量（15日の日雨量）分布である。降水量は浜田の海岸近くが最多で、強雨域は西北西から東南東に延びている。総雨量 200 mm 以上の強雨域は 40 km×25 km の狭い地域である。降雨強度の強かったのは1時頃から7時頃までの約6時間で、浜田の雨量はこの間 342 mm で総雨量の87%である。このように地域的にも時間的にも極めて集中度の高い豪雨であった。気象衛星ひまわりからの赤外写真によると、1時に雲頂温度 -60°C 以下の背の高い積乱雲（対流活動の活発な領域）が浜田上空に明瞭に認められ、これが時間とともに拡がり西北西から東南東に延びている。また、羅漢山レーダのデータによると背の高い雲が発生するよりも先に強い降雨域が海上に現われている。15日0時に沖合いに東西方向のエコーバンドが認められ、それが南下して15日3時には浜田を通る位置に達し、6時頃まで停滞して浜田付近に豪雨をもたらした²⁾。

Fig. 2 は7月20日から21日にかけての豪雨の総雨量（20日9時～21日9時）分布である。降雨量は三隅付近が最も多く、雨域は带状に東南東に延び、中国山地を越えて瀬戸内海まで及んでいる。200 mm 以上の多雨域は幅 20 km、長さ 45 km の狭い地域である。降水は21時頃海岸地域の三隅付近ではじまり、5時頃山岳域で終了する。海岸域の三隅では21時から1時までの4時間に 308 mm で総雨量の90%が降っている



7月15日豪雨の総雨量分布(0~24時)

Fig. 1. Isohyetal map for total rainfalls, in mm.
(1988 July 15, 0-24hr)

7月20, 21日豪雨の総雨量分布(20日9時~21日9時)

Fig. 2. Isohyetal map for total rainfalls, in mm.
(1988 July 20. 9hr-21. 9hr)

が、山岳部の加計では22時から6時間で90%弱と集中度はやや低い。

以上2つの集中豪雨は多くの点で類似性を持っている。島根県西部は、1983年7月23日、1985年7月6日、今回と近年大きな災害を伴う豪雨が連続して発生している。ここでは総雨量が最大であった1983年の豪

雨と今回の豪雨と比較して、この地域における豪雨の特性を検討しよう。

Fig. 3, Fig. 4 および Fig. 5 にそれぞれ1983年7月20日～23日の三隅, 1988年7月15日の浜田および7月20日～21日の三隅, 加計の積算雨量と時間雨量分布を示す。

1983年豪雨は総雨量は多いが、気象学的には20, 21日は前線の北上に伴うもの、22, 23日は前線の南下に伴うもので2つの降雨からなっていると見ることができる。これらの降雨の比較から、山陰地方の梅雨末期に発生する豪雨について後町らがまとめた結論³⁾に若干の修正を加えて次のようにまとめることができる。

- 1) 豪雨は前線の暖域に発生し、発達した対流雲による激しい雨である。
- 2) 200 mm 以上の多雨域は 500 mb のジェットの直下あたりに生じ、1,000 km² 程度の狭い範囲に集中する。
- 3) 西の海上から侵入してくる対流雲が上陸すると急激に活発化し、背の高い積乱雲となり多雨域を作る。雲は対流圏中高層の風の方向に広がる。降水量は海岸近くが多く山岳地域は少ない。
- 4) 降雨強度の最大値は 100 mm/時間程度である。総降水量の多少は降雨継続時間の長短によると思われる。

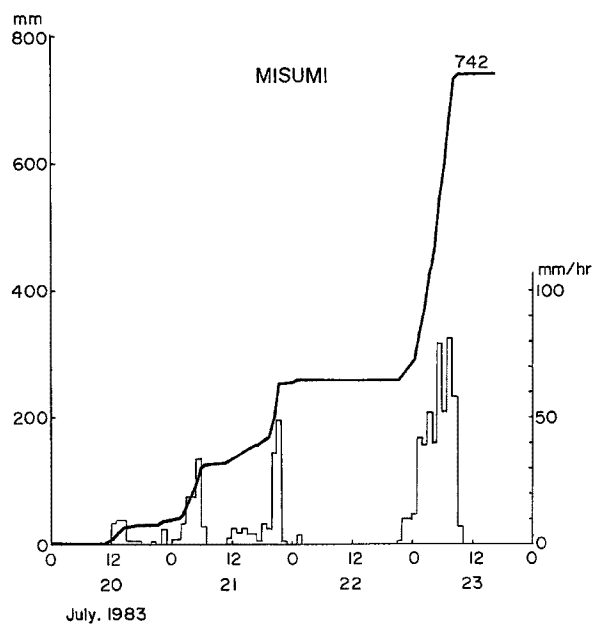


Fig. 3. Hyetograph.

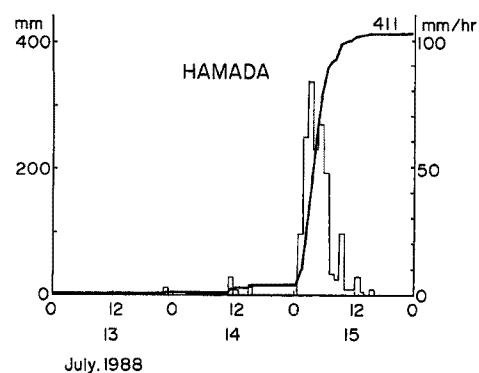


Fig. 4. Hyetograph.

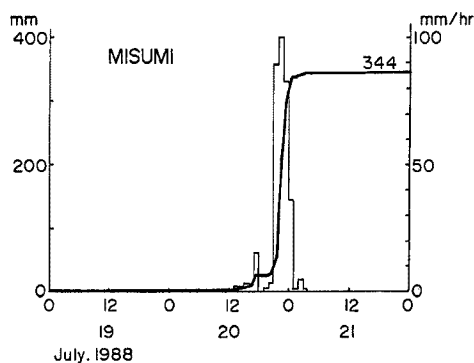
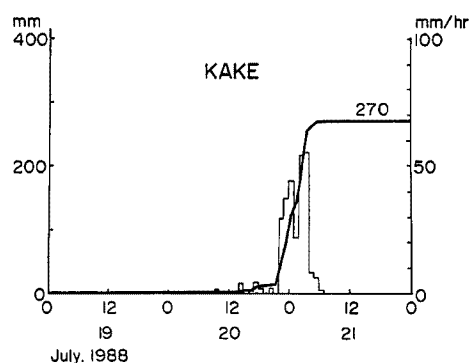


Fig. 5(a). Hyetograph.



(b). Hyetograph.

5) 梅雨末期の豪雨は 500 mb の気圧の谷が木邦上か西にある時すなわちトラフの前面で生じ、後面ではまれにしかないという結果があるが(後町ら)、今回の2例はまさに後面で発生したものである。

3. 被害概況

3.1 概況

災害の形態は山くずれ、土石流、中小河川の氾濫による家屋浸水、農耕地の浸食・堆積、河川堤防・護岸等の破壊、道路、橋梁等の被害などである。7月15日の豪雨では浜田川、下府川、八戸川、敬川などが氾濫し、また、浜田市周辺で崩壊、土石流が発生した。7月20、21日には、三隅川支川の矢原川・井川などが氾濫し、また、周辺地域で崩壊、土石流が発生した。また、広島県加計町周辺において土石流災害が発生した。

Table 1. は、人命・家屋被害を示している。死者の多くは土砂災害によるものである。

3.2 山くずれ、土石流災害

7月15日の豪雨では浜田市周辺において多数の崩壊が発生した。浜田市周辺では平地が狭く、市街地の裏や集落の際には崖が迫っており、地質は主として風化の進んだ流紋岩、流紋岩質火砕岩、泥質片岩などからなっており、崩壊災害を受けやすい条件にある。浜田市における死者はいずれも裏山の崖崩れによるものであり、また家屋倒壊等の大部分も崖崩れによるものであった。

7月21、22日の豪雨では、三隅町から加計町にかけて崩壊・土石流が多数発生した。三隅町は三隅川の狭い氾濫域に形成されており町並には崖が迫っている。三隅川およびその支川に沿って山腹斜面や崖を背にして多くの集落が形成されている。地質は主として泥質片岩や砂質片岩からなっている。一方加計町の集落は太田川の狭い河岸段丘や小支溪の扇状地に形成されている。地形は急峻で地質は主として粗粒花崗岩からなっている。このようにいずれも土砂災害に弱い条件を備えている。三隅町では加計町に比べてかなり多くの山腹崩壊が発生しているものの、それによる人命の損傷はなく、また、顕著な家屋被害は発生していない。一方、加計町においては山腹崩壊から土砂流に移行したものが半数近くを占め人命や家屋の損傷をまねいた。

3.3 洪水災害

浜田川は中流部にある浜田ダムの洪水調節効果もあって堤防越流直前の状態でおさまったが、本川水位の上昇により市街地を流下する小河川の排水能力が減少し、背後地からの出水は堤内地に氾濫し市街地で多くの床上、床下浸水被害が発生した。浸水深は一般に 50~70 cm、浅井川、今井迫川沿いでは 1.5~2.0 m に達した。(Fig. 6) 浜田市下流部の支川沿いで、異常な出水のため各河川が氾濫して家屋の全半壊を伴う激

Table 1. Number of fatalities, damaged houses, and damage due to heavy rainfall in July, 1988.

			Total	Shimane Pref.	Hiroshima Pref.
Number of Fatalities			20	6	14
Number of Houses	Wrecked	Complete	112	98	14
		Half	197	174	23
	Flooded	Over Floor	2270	2166	104
		Under Floor	5732	5272	460
Damage in 100 million yen			1121	946	175

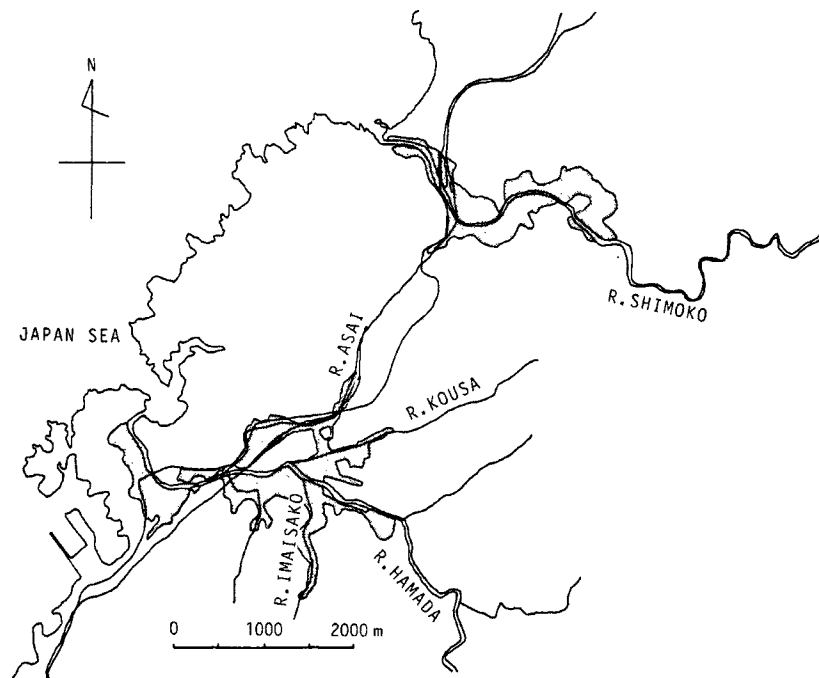


Fig. 6. Flooded area in downstream regions of R. Hamada and R. Shimoko.

甚な災害が発生した。最も被害の大きかったのは今井迫川と杉戸川中流部で、濁流とともに土石と流木が押し寄せ家屋を破壊した。

下府川、敬川、八戸川などでは各地で破堤や越流氾濫し大きな被害が生じた。

三隅町では1983年災害後に行なわれた河道改修工事によって下流域の浸水被害を軽減した。また、堤体が完成したばかりの御部ダムが洪水を貯留削減したと見られる。しかし、三隅川の支川の井川川と矢原川では多くの所で護岸、落差工などが損傷した。これらの被災河道はほとんどの区間で改修がなされており、そこに計画規模を上回る出水が発生したことが今回の河道災害を特徴付けている。しかしながら、被災形態は谷幅・勾配等の地形条件と流量により各河川毎に、また各区間毎に異なる。例えば有堤区間の長い下府川下流では越水破堤による土砂氾濫を伴った被害が多いのに対し、掘込河道的な特徴を持つ敬川では溢水した流れが河道に沿って護岸を破壊しながら河岸上部を浸食している形態の被害がよく見られた。

この地域は平地が狭いため、谷あいの出水時に砂州として形成された微高地を耕地あるいは造林の用地として歴史的に利用してきている。こうした用地は谷底内の平水時の蛇行流路を固定する形で確保されているため、中小規模の出水で容易に冠水する。その時の被災を軽減する目的で水衝部の護岸は多くの場所で三面張りとなっている。下府川、敬川ともこのような三面張りの護岸が谷底一杯を直進する洪水流によって破壊されて、耕地の上流部が洗掘、中・下流部は土砂で埋塞されていた。

山林地の災害は主に山腹崩壊による林木および土石の流出であるが、1988年災害の場合には1983年災害に比して山林被害の割合は明らかに少なかった。

中山間部において発生した農地災害は、

- i) 豪雨による農地、水路等の破壊
- ii) 河川の氾濫による河川沿い農地の流出・埋没
- iii) 山腹崩壊による水路や農地の破壊・埋没

であるが、ii) と iii) の場合が大部分を占め、災害形態としては、1983年、1985年災害と全く同様であった。

4. 災害特性に関する考察

4.1 洪水氾濫に関する検討

Fig. 7 は浜田ダムへの流入量と放流量を示している。流量のピークは7月15日5時20分頃、 $583 \text{ m}^3/\text{s}$ である。この時の放流量は $42 \text{ m}^3/\text{s}$ で、 $541 \text{ m}^3/\text{s}$ が貯留削減された。降雨が計画 (290 mm/day , 53 mm/hr) をはるかに上回るものであったため、洪水の後半には満水状態になったが、最大放流量は $280 \text{ m}^3/\text{s}$ で、浜田ダムは洪水の軽減に大きく貢献した。

Fig. 8 は Kinematic 流出モデルを用いて算出された浜田大橋地点のハイドログラフである。浜田大橋地点のピーク流量は $510 \text{ m}^3/\text{s}$ で15日7時頃発生したことがわかる。また、浜田ダムがなかったとしたらピーク流量は $1,010 \text{ m}^3/\text{s}$ になったであろうと推定され、さらに災害を激甚なものにしていたと考えられる。このように、浜田ダムによる洪水調節効果は多大であり、下流域の洪水被害の軽減に大きく寄与したと言える。

浜田市街地の氾濫解析が行われた。**Fig. 9** は浅井川、高佐川流域の氾濫水深分布の実績を示し、**Fig. 10** は計算結果の1例を示す。解析では、浜田川流量、潮位、背後地からの流入量などが考慮され、 $\Delta x = 50 \text{ m}$, $\Delta t = 1 \text{ sec}$ が採用されている。**Fig. 10** より氾濫は15日の3時頃から急激に進み A 地点（浅井川下流端より上流 400 m ）では5時、B 地点（JR 浜田駅構内）では6時にピークに達している。氾濫水深は A 地点では 1.6 m , B 地点では 1.2 m となり痕跡調査の結果と良く一致する。1983年の浜田市街の洪水災害

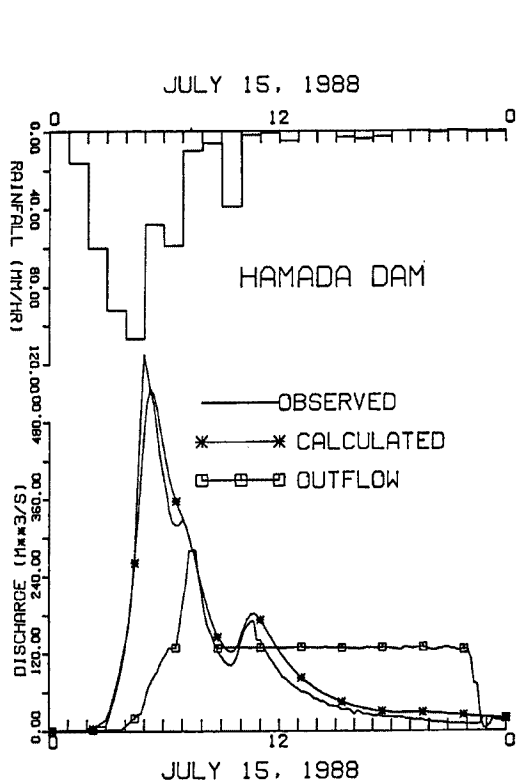


Fig. 7. Hyetograph at Hamada dam sation and discharge hydrographs of inflow and outflow at Hamada reservoir.

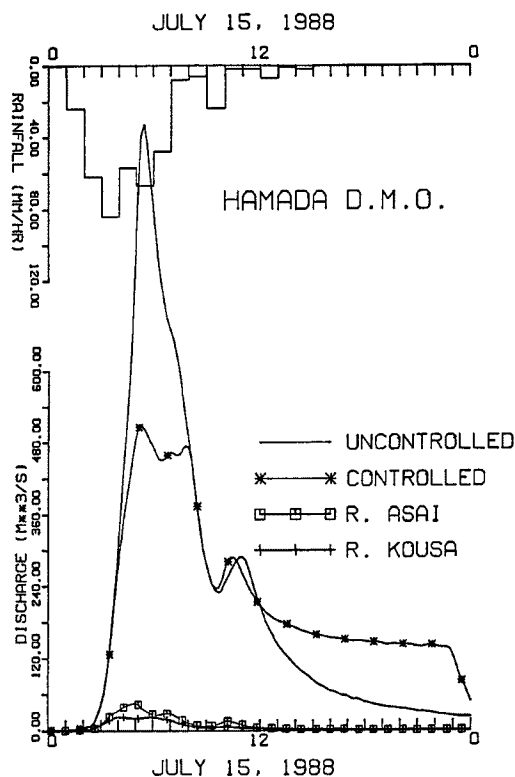


Fig. 8. Hyetograph at Hamada D. M. O. and discharge hydrographs at Hamad bridge site which were calculated by Kinematic runoff model for the conditions with and without Hamada dam.

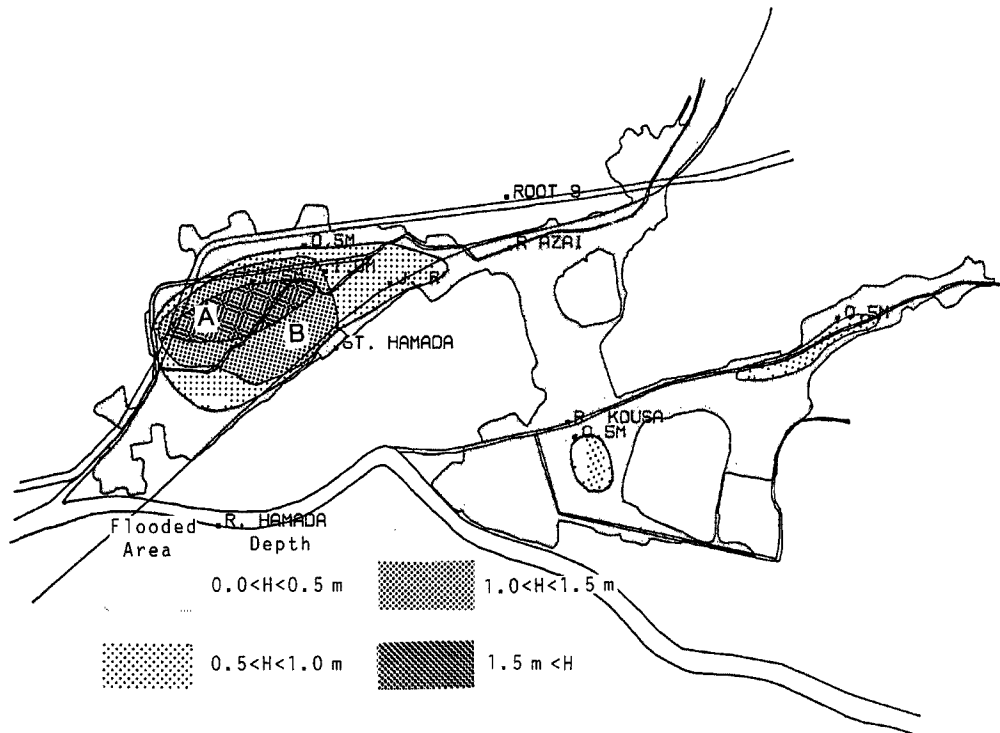


Fig. 9. Flooded area in Hamada city.

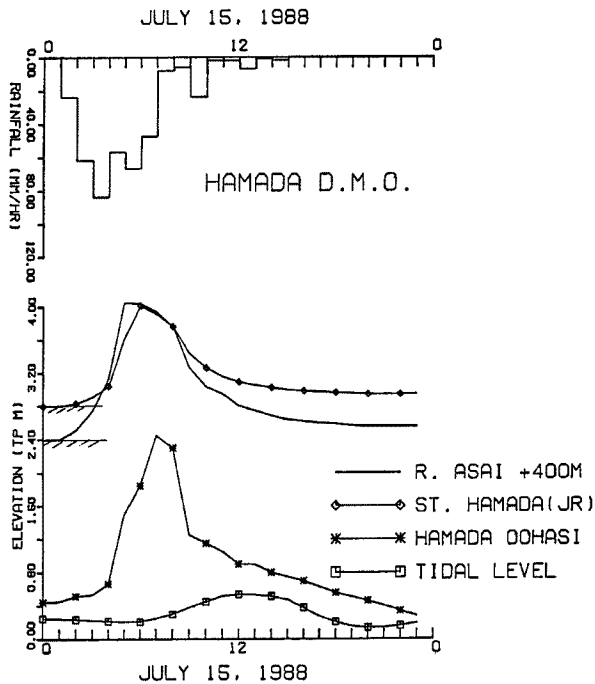


Fig. 10. Water stage hydrograph of flooding in Hamada city.

は浜田川の氾濫が主原因であったと考えられているが、今回の災害は堤内地の排水河川の氾濫が主原因であった。

4.2 河道災害の特性

河川堤防の決壊が顕著であったのは下府川の中流部の有堤区間で、下流の有堤部は越水によって堤体上部がかなり浸食された所も多かったが決壊には至らなかった。堤体形状や護岸の形式には差異がないので、両者の差は越流状態、越流水深、流速などの外力の違いによるものと思われ、今後検討して行く必要がある。

一方、護岸の破壊はその形式から三つに大別することができる。

- (i) 下流有堤区間の護岸で1割5分以上の緩勾配のもの
 - (ii) 掘込河道区間に施工された1割以下の急勾配のもの
 - (iii) 谷間の耕作地を守るための三面張護岸
- 護岸の破壊形態としては、(i)では破堤した堤体とともに流失する最も重大な被災以外に洗掘による陥没・沈下や堤内から堤外への戻り流れ

による滑落が認められた。(iii)では護岸天端をかなり越えて流れた洪水によって彎曲部・直線部を問わず倒壊・流失した護岸が多数であり、(iii)の場合は洪水流の直撃を受けて根こそぎ潰れたようなものが多かった。しかし、堤内部は広い範囲で原形を留めているので、こうした三面張り護岸による耕地確保の努力はかなりの効果を発揮したと思われる。

旧来の天然石や間知石の空・練積みと比較して、近年の大きなコンクリートブロックの練張り・練積みによる護岸は、洪水時に個々のブロックが流体に抵抗するのではなく、あるまとまった大きさの板として挙動するものと思われる。無筋コンクリートという脆弱な構造物であるために引張力が集中した部分で容易に折損するようである。今後、水理学的、土質力学的立場から護岸の破壊機構を明らかにし、被害を軽減するような設計方法を考えなければならない。

今回の出水では土砂の生産供給が顕著でなかったため全体的な河床上昇はあまりなかったが局所的な河床変動は顕著に生じておりこれが災害現象に大きな影響を与えている。すなわち河道彎曲部内岸では護岸天端まで達するような土砂堆積が生じ、一方、外岸では河床洗掘が生じた。こうした彎曲部の河床変動は河積を減少させ、上流側の溢水を生じさせ、また外岸側の水位上昇を激化させて護岸上の河岸浸食を誘起し、その倒壊を招く原因ともなるもので、それについての定量的な関係について十分検討しなければならない。

井川川最下流部のショートカット区間には計画によると 900 m 弱の区間に 2 m 級 2 基、1.5 m 級 4 基の落差工を入れ、1/200~1/400の河床勾配を保たせようとしている。しかし護岸天端まで至る土砂堆積のために落差工が洪水中に流速減少の効果を発揮したとは考え難い。落差工の間隔と落差については流量、流砂量を考慮して十分な検討が必要である。

4.3 崩壊発生の限界降雨条件

崩壊の発生は、地形、場の強度特性および降雨条件に依存するが、地域を特定すれば、降雨条件に支配されるので、それぞれの場所ごとに限界降雨条件を求めておくことは実際上有効である。このような観点より、1974年、1976年の小豆島^{4),5)}、1982年長崎⁶⁾、その翌年の鳥根県西部災害⁷⁾等において、災害発生の降雨条件が調べられており、今回のものとこれらを比較検討する。

崩壊発生の降雨条件の設定法には、実効雨量法、タンクモデル法、雨量強度—連続雨量法などいくつかの方法がある。いずれも、斜面土層中における土中水の挙動と降雨条件との関連性を念頭においたものである。ここでは、雨量強度と連続雨量（累加雨量）の平面上において崩壊あるいは災害の発生降雨条件を調べる。

Fig. 11(a), (b), (c)にはそれぞれ浜田市、三隅町、および加計町における今回の降雨分布と過去のいくつかの降雨分布を雨量強度と連続雨量の平面上に示している。ここに連続雨量は、各時刻までの総雨量であり、雨量強度はその時刻までの1時間雨量である。比較のために、1974年および1976年の小豆島災害における限界雨量曲線と1983年の長崎災害のそれを示している。限界曲線の上が崩壊発生領域、下が非発生領域である。(a)図の浜田市の場合についてみると、浜田川支川の今井迫川や下府川沿いの崩壊や災害発生時刻は、現地の聞き込みによれば、発生し始めは7月15日午前4時前後であり、5時あるいは6時頃の発生が最も多かったようである。午前4時には、連続雨量は約 200 mm 程度、雨量強度は 85 mm/hr になっており、これ以後、7時頃まで 50 mm/hr を越える降雨が続いている。1983年の降雨分布についてみると、小豆島の限界線を越える時間帯が数時間あるが、やはりこの時にも土砂災害の発生をみている。以上によると、風化の進んだ流紋岩あるいは流紋岩質火砕岩の表層地質を持つ浜田市周辺の崩壊発生限界曲線は崩壊しやすい風化花崗岩地域の小豆島のそれとほぼ同じか、若干上にある程度であり、長崎のものに比しかなり低い。

(b)図は三隅町における1988年7月20~21日の降雨分布と1983年7月のものを示している。1983年の災害調査によれば、連続雨量 150 mm、雨量強度 50 mm/hr、あるいは連続雨量 200 mm、雨量強度 40 mm/hr を越えた時点で災害が発生し始めており、三隅町における限界降雨曲線は小豆島の限界降雨曲線とほぼ同等的か、あるいはやや下側に位置するものと思われる。今回の降雨で三隅町において崩壊が頻発したが、降雨強度は限界曲線を大幅に上回っており、限界曲線の妥当性を裏づけている。なお、1983年7月23日豪雨では今

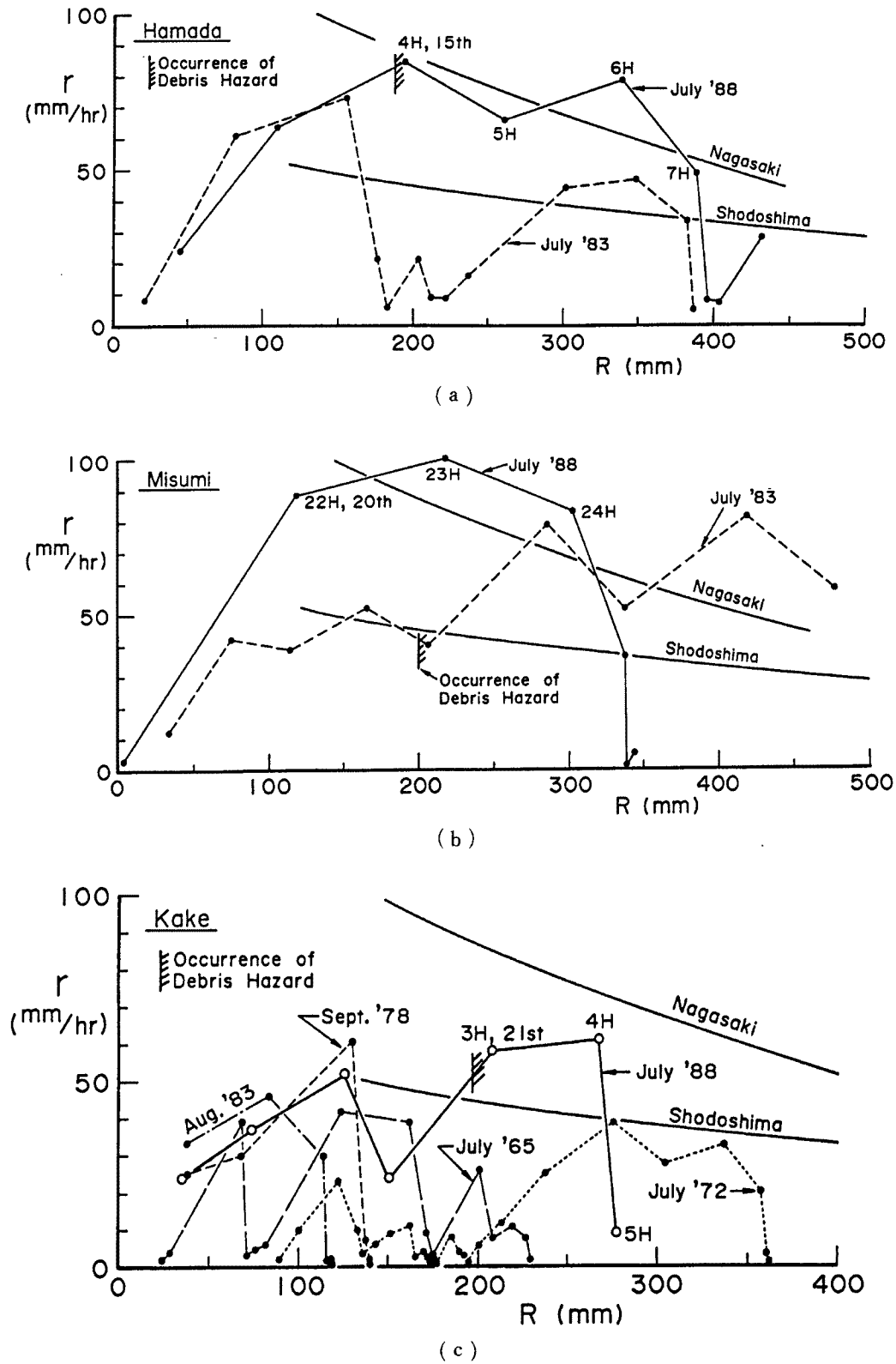


Fig. 11. Regime criteria for the occurrence of debris hazard (slope failures and debris flow) on the domain of rainfall intensity and total precipitation.

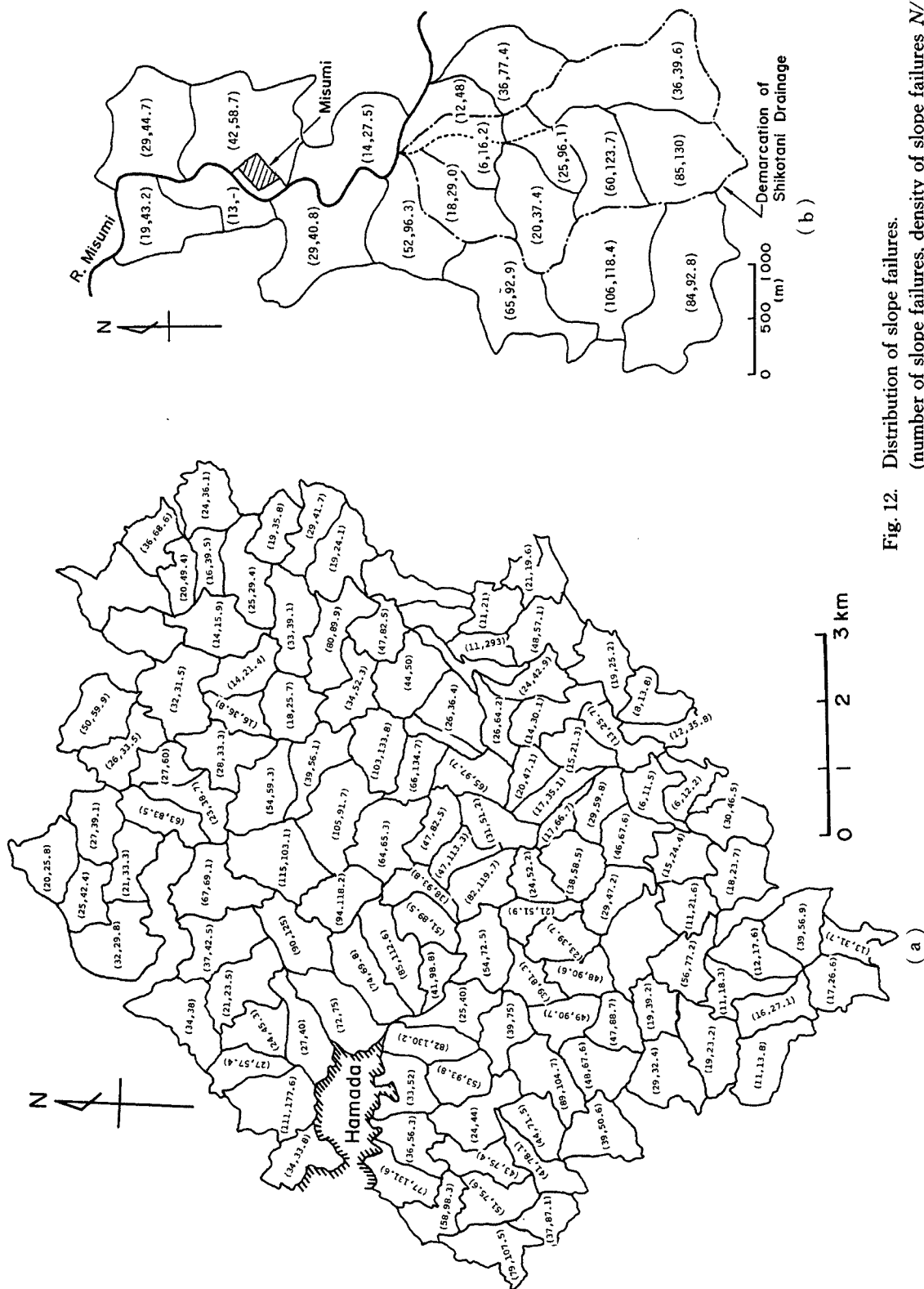


Fig. 12. Distribution of slope failures.
(number of slope failures, density of slope failures N/km^2).

回をかなり上回る崩壊が発生して大災害になったが、その時の豪雨は今回に比して大きな連続雨量があった最後の時点で強度の強い雨が降っており、そのため崩壊がはげしくなったものと思われる。なお、三隅町の地質は主として泥質片岩および砂質片岩である。

(c)図は加計町の崩壊限界を検討したものである。過去のいくつかの降雨分布も示されているが、このうち1972年7月降雨では土砂流が発生している⁸⁾。その時の降雨強度は小豆島の限界曲線付近である。今回も小豆島の限界曲線を若干上回り、土砂流災害が発生した。

加計町の表層地質は風化した粗粒花崗岩で小豆島の地質と同じであり、加計町の限界線は小豆島のものとほぼ同じである。

4.4 崩壊分布

災害の規模は崩壊土量とその分布に大きく依存するので、崩壊個数、面積などの崩壊特性の分布の推定は災害規模を知る上で、また流域の土砂処理計画等を通して長期の災害対策を立てる上で極めて重要である。ここでは、崩壊特性値のうちで最もデータの得やすい崩壊個数密度に着目し既往のデータとも比較しながら検討する。

崩壊分布の解析は、浜田川流域の浜田市街地に近い領域（解析領域 82.36 km²）、三隅町の三隅川支川の鹿子谷川流域と本川に沿う流域（鹿子谷川 3.63 km²、それ以外 6.91 km²）、および加計町の太田川本川に面した斜面（17.4 km²）である。解析には約10,000の空中写真を用いている。

Fig. 12(a), (b)は浜田および三隅における解析領域と各小流域における（崩壊個数、崩壊個数密度）を示している。これらの結果によれば、崩壊個数密度は小領域ごとに異なっているが、これは、各領域における地形特性値や地質分布に依存しているものと推察される。なお、加計町の結果については後述の Fig. 14 のとおりである。

各地域における崩壊個数、崩壊密度、降雨特性値（時間内最大時間雨量/連続雨量）および地質をまとめると Table 2 のようである。崩壊個数に及ばず表層地質の影響を調べるために、これらの結果を各地点区分ごとに整理しなおせば、Table 3 のような結果を得る。これによれば、浜田においては安山岩・同質火砕岩や流紋岩・同質火砕岩領域において崩壊密度が高く、三隅においては砂質片岩の領域において高い値を示している。

三隅および浜田地域には1983年7月豪雨においても崩壊が発生している。とくに三隅においては、今回をはるかにしのぐものであり、図示の結果につぎのような注意が必要である。すなわち、今回の崩壊の大部分は、1983年の崩壊を拡大するように、あるいは崩壊面の表土をはぎ取るような形態で起こっており、新しい場所に崩壊が認められたのは、対象地域の全崩壊数751に対して98箇所に過ぎない。一方、浜田地区におい

Table 2. Number and density of failure, rainfall and geology in Hamada, Misumi and Kake.

Name of District	Seveyed Area (km ²)	Number of Slope Failure (Number)	Density of Slope Failure (1/km ²)	Rainfall r(mm/hr)/R(mm)	Geology
Hamada (1988.7)	82.36	4572	55.51	85/455	Andesite
Hamada* (1983.7)	9.385	81	8.6	73/387 47/387	Rhyolite
Misumi (1988.7)	10.54	751 (98)	71.3 (9.3)	100/344	Pelitic and Psamitic Shist
Misumi** (1983.7)		999	94.8	80/700	
Kake (1988.7)	17.8	45	2.52	57/264	Coarse Grained Granlte

Table 3. Relation between geology and slope failure.

	Geology	Area (km ²)	Number of failure	Density of failure (1/km ²)
Hamada	Gravel, sand and mud (a)	1.78	114	64.0
	Gravel, sand and mud (Tg)	5.98	291	48.7
	Andesite and its Pyroclastic rocks	13.43	981	73.0
	Granite and granite Porphyry	18.34	835	45.5
	Andesite-dacite and their pyroclastic rocks	15.39	946	61.5
	Rhyolite and its Pyroclastic rocks	9.39	653	69.5
	Rhyolitic-dacitic Pyroclastic rocks	0.95	37	38.9
Misumi	Pelitic shist	16.96	715	42.2
	Gravel, sand and mud (0a)	0.268	12	44.8
	Pelitic shist	5.70	345	60.5
	Psammitic shist	4.57	392	85.8

Table 4. Relation between slope failure, and rainfall and geology.

Name of District	Served Area (km ²)	Number of Slope Failure (Number)	Density of Slope Failure (1/km ²)	Rainfall r(mm/hr)/R(mm)	Geology
Hamada (1988.7)	9.385	705	75.1	85/ 455	Andesite Rhyolite
Hamada* (1983.7)		81	8.6	73/ 387 47/ 387	
Misumi (1988.7)	10.54	751 (98)	71.3 (9.3)	100/ 344	Pelitic and Psamitic Shist
Misumi** (1983.7)		999	94.8	80/ 700	
Kake (1988.7)	17.8	45	2.52	57/ 264	Coarse Grained Granite
Shodoshima (1974.7)			50.0	70/ 90 500	Granite (Weathered)
Shodoshima (1976.7)			100.0	80/ 90 1400	
Nagasaki (1982.7)			60.0	120/ 160 700	Andesite and its Tuff

ては三梨の解析⁹⁾を参考にすれば'83年の崩壊は今回の12%程度であって、崩壊分布の解析では無視できるオーダーである。

崩壊に対する場の抵抗力は、前述の限界降雨曲線に反映されている。これをさらに検討するため、対象としている領域において最も崩壊密度の高い2 km²程度の領域における崩壊密度に着目してみよう。今回の資料と既往のものをまとめると、Table 4のような結果を得る。表には各降雨の連続雨量（累加雨量）と降雨期間の最大時間雨量を示し、参考のため表層地質も示されている。なお、小豆島、長崎のデータは、面積1 km²の正方格子の領域に存在する崩壊数に基づいている。'88年7月豪雨における浜田、三隅、加計の崩壊密度は、それぞれ108.3、88.3および14個/km²となっている。浜田、三隅における降雨は、崩壊発生の限界条件をかなり越えているのに対し、加計の降雨は限界条件に近いものであったことが推察される。また、1983年7月の浜田地区の崩壊密度は10.5個/km²と小さく、この降雨も限界条件を微かに越えたものであったことが推察される。

崩壊個数密度、降雨条件および前述の限界降雨条件を指標として、崩壊に対する抵抗力の地域性について調べてみる。各地域の降雨特性値の分布が広範に及んでいるため、直接的なデータの比較は難しい。そこで、連続雨量と降雨強度の平面上において崩壊個数密度を調べるとと好都合である。なぜならば、降雨特性値が限界降雨曲線を離れるに伴い、崩壊個数密度が大きくなるからである。Fig. 13は、その結果を示したものである。Fig. 11からも推察されるように、長崎における抵抗力は大きい、他の4つの地域、浜田、三隅、加計および小豆島の抵抗力は小さくかつそれらの間に有意な差はみられない。

4.5 土石流の実態と発生危険度

土石流による被害はとくに加計町を中心とした地域で顕著であった。Fig. 14は、空中写真の判読、1/5000や1/25,000の地形図、踏査および簡単な地形測量をもとに作成した加計町周辺の谷の分布と崩壊・土石流の流下経路や氾濫堆積域を示したものである。図示の谷に連なる点線の領域は、扇状地あるいは本川の河岸段丘によって勾配が緩くなっており、もはや谷地形をなしていない部分である。この調査域においては、22本の谷において土石流が発生しているが、これらのうち集落まで流出したのは12ケースである。残りは、流下過程において停止したり、砂防ダムに貯留されて流出していない。図中に左方に示す江河内谷の土石流では10名の人命が失われたのは前述の通りである。土石流の発生形態についてみると、土石流の通過した谷の源頭部にはいずれも山腹崩壊がみられ、崩土の移動過程において、これらが土石流を形成したものと思われる。

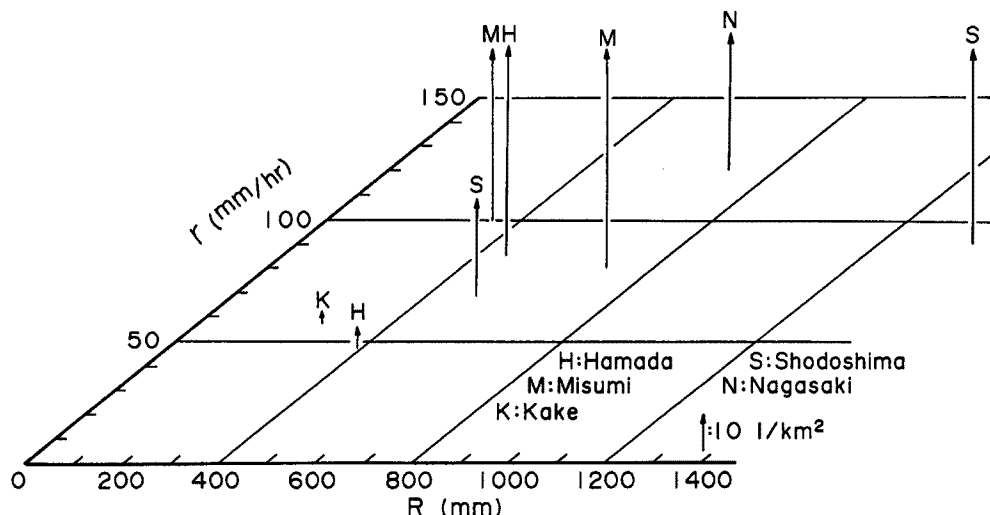


Fig. 13. Density distribution of slope failure on the domain of maximum hourly and total precipitations.

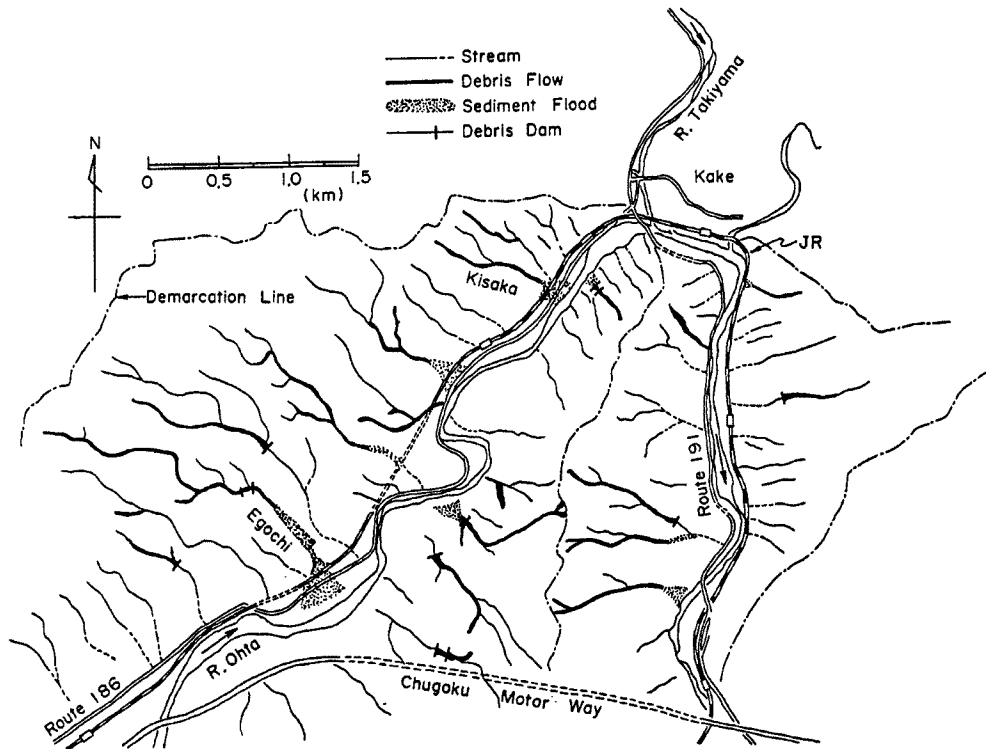


Fig. 14. Distribution of debris flows and slope failures in Kake Town.

土石流の発生、移動、堆積過程の解析は、有効な防災対策をたてる上できわめて重要である。ここでは、これらのうち土石流の発生危険度について芦田・高橋・澤井¹⁰⁾の方法を加計町に適用してみよう。彼らによれば、土石流の発生危険度は次式で与えられる。

$$Y = A/A_{dc} \quad (1)$$

ここに、 A は 15° 地点の流域面積、 A_{dc} はある降雨条件のもとで堆積物が土石流を形成するための限界流域面積であり、次式によって推定される。

$$A_{dc} = \frac{3.6}{r_e} \left(\frac{8 \sin \theta}{f k^3} g d^3 \right)^{\frac{1}{2}} \cdot B \quad (2)$$

ここに、 r_e は有効降雨強度、 θ は溪床勾配 ($\theta = 15^\circ$)、 g は重力加速度、 d は代表粒径、 f は抵抗係数で $f = 1.12 \sin \theta$ 、 k は経験的な係数で $k = 0.7$ 、 B は河幅である。河幅 B にレジーム則、 $B = \alpha Q^{1/2}$ (Q : 流量 m^3/sec) を適用し、流量を合理式によって算定すれば式(2)は次のように表される。

$$A_{dc} = \frac{3.6 \alpha^2}{r_e} \left(\frac{8 \sin \theta}{f k^3} g d^3 \right) \quad (3)$$

式(1)、(3)を適用して土石流の発生危険度を算定するためには、 α 、 d および r_e を定める必要がある。ここでは、現地踏査を参考にして $\alpha = 3$ 、 $d = 0.1 m$ とし、有効降雨強度として、加計土木事務所における観測値の最大値が $57 mm/hr$ であったことを考慮して、 $r_e = 60 mm/hr$ とする。これらのパラメータを用い、Fig. 14 に示す領域の土石流発生危険度 Y を算定すると、Table 5 の結果を得る。これによれば、 Y の大きい溪流ほど土石流の発生率は高くなっており、 Y は土石流の発生危険度指標として有効であると思われる。

Table 5. Frequency of debris flow occurrence for each class of Index Y for the prediction.

Index	Number of Stream (N _t)	Number of Debris Flow Occurrence (N)	N/N _t (%)
$0 \leq Y < 0.5$	61	5	8.2
$0.5 \leq Y < 1.0$	17	4	23.5
$1.0 \leq Y < 2.0$	13	8	61.5
$2.0 \leq Y$	8	5	62.5
Total	99	22	

しかし、 $Y < 1$ なる溪流においても土石流が発生しているところに問題がある。これは、川幅、代表粒径、有効降雨の設定法などに関する問題の外に、山腹崩壊からどんな過程を経て土石流が形成されるのかといった土石流の基礎的な取り扱いに関連する問題があることを示している。

4.6 崩壊に伴う危険範囲

崩壊土砂の通過経路と堆積範囲は土砂害の危険範囲である。そこで、危険範囲を設定するための基礎となる崩土の到達距離に関する若干の解析を行なう。

芦田・江頭^{(11), (12)}らは崩壊発生地点から停止点までの斜面縦断面形を Fig. 15 のようにモデル化し、彼らの基礎研究の成果を適用し、流出距離を次式のように与えている。

$$\frac{X_{fs}}{h} = \frac{1}{2a} \ln \left(1 - \frac{b_u}{b_d} \right) \quad (4)$$

ここに、 h は崩土の平均移動深、 X_{fs} は崖下から停止点までの距離である。 a 、 b および a に含まれる f は次のようである。

$$a = \frac{2}{(\sigma/\rho - 1)C + 1} f \quad (5)$$

$$b = \cos \theta \left\{ \tan \theta - \mu_k \frac{\sigma/\rho - 1}{(\sigma/\rho - 1)C + 1} \right\} \quad (6)$$

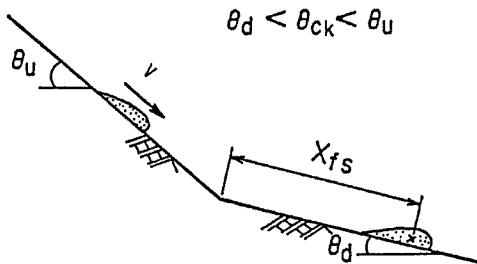


Fig. 15. Schematic model for predicting the hazard area caused by slope failure.

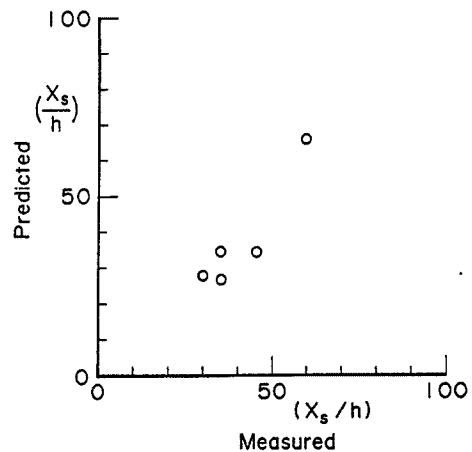


Fig. 16. Comparison between running distance of slope failure predicted and the one measured.



Fig. 17. Hazard area by slope failure predicted.

$$f = \frac{25}{4} \left(\frac{k_v}{k_p} \right)^{-2/3} \left(\frac{h}{d} \right)^{-2} \quad (7)$$

ここに、 C 土粒子の体積濃度、 σ は土粒子の密度、 ρ は水の密度、 f は抵抗係数¹²⁾である。 μ_k は土粒子の動摩擦係数、 d は崩壊土砂の代表粒径である。式(4)の b_u 、 b_d は b の定義式に含まれる θ にそれぞれ θ_u 、 θ_d を代入することによって求められる。

Fig. 16 は、浜田市域において行なった2、3の調査より得られた無次元流出距離と式(4)による計算値を比較したものである。ここで、実測値の流出距離は、崖下から崩壊土砂堆積部の先端までの距離がとられており、これを推定流動深 $h=1\text{ m}$ で無次元化している。式(4)の適用に当たっては、 $\sigma=2.65\text{ gr/cm}^3$ 、 $\rho=1\text{ gr/cm}^3$ 、 $C=0.5$ 、 $\mu_k=0.65$ 、 $(k_v/k_p)^{1/3}=2$ 、 $(h/d)=10$ としている。

実際の崩壊土砂は変形が顕著に起こるのに対し、式(4)ではこのことが考慮されていないことに留意する必要があるが、**Fig. 16** から流出距離は式(4)によってほぼ推定できることが分かる。

ソフトな防災対策をたてる上で、崩壊に伴う土砂災害危険範囲を設定することが重要である。これに対して、地形図から得られる情報と上述の運動モデルを用いて危険範囲を設定する方法が便利である。ここでは、浜田市、下府川の下流域を一例として取り上げ、国土基本図としてよく用いられる1:10,000の地方図を用いて、次のような方法によって危険範囲を設定しよう。

- ① 崩壊可能斜面として30°以上の斜面を考える。
- ② 崩壊は、崩壊可能斜面のうち最急勾配の部分で起こる。
- ③ 崩壊土砂の運動径路は、等高線に直角である。
- ④ 運動径路は **Fig. 15** のようにモデル化される。

Fig. 17 は、1:10,000の地形図を用いて、崩壊が発生したときの崩土の停止点を太線で連ね、これを限界危険曲線として示したものである。ここで、計算に用いたパラメータは **Fig. 16** の計算に用いたものと同じである。

図示の曲線よりも山側が危険領域である。しかしながら、ここが同様に危険である訳ではない。表層崩壊が起こるためには、崩壊可能斜面に表土層が存在していることが条件であり表土の強度が小さく、水の集まりやすいところが崩壊危険度は高いはずである。したがって、細部にわたって防災対策をたてるためには、まずこのような方法によって危険領域を設定し、地域全体の状況を把握した後、必要に応じて危険領域の階級設定をしていくことが必要となる。

5. 防災対策に関する考察

5.1 防災施設整備水準の向上

今回の災害においては、浜田ダムが下流域の災害軽減の上で大きな効果を発揮した。また、1983年災害後実施されてきた災害復旧工事も効果を発揮した。また、治山・砂防ダムも土砂災害の防止軽減の上で大きな効果を持つことが実証された。しかし、現実には災害が発生しておりまた、この地域における集中豪雨の特性や地形・地質特性から考えて、このままでは今後ともしばしば同様な災害が繰り返えられるものと思われる。したがって、治山、砂防ダム、洪水調節ダムや河道改修工事などの整備水準を向上させて行くことが急務である。この際、既設市街地においては早急に抜本的な対策を行うことは困難と考えられるので、降水の一時貯留や建物の耐水化などを含めた総合的対策が必要である。また、これから都市化が進行すると考えられる地域については治水対策を十分考慮した都市計画が必要であろう。

また、谷の中の河川周辺では農耕地を確保する立場から土地利用がなされてきており、河道の流下能力を大幅に向上させるような改修は困難であろう。したがって、大流量時には農耕地に浸水することは止むを得ないのではないかと考えられるが、護岸・堤防の質的な向上をはかり、被害を軽減するような配慮が必要であろう。

5.2 避難・予警報システムの整備

今回の災害では、1983年の災害に比べて被害額は1/3程度であったが、死者の数においては非常に少なかったことは特筆すべきである。これにはいろいろの要素が考えられるが、避難が適切に行われたことも大きく寄与しているものと思われる。災害を軽減する上で、とくに人命の犠牲を少なくする上で、避難が重要なことは言うまでもない。

今本らは、浜田市、三隅町、加計町を対象としてアンケート調査により、今回の災害における住民の警戒、避難行動に関する調査研究を行ない、警戒行動、避難行動、水害情報の入手状況、防災意識などを分析して興味ある知見を得ている。その中で、とくに三隅町においては、1983年災害の経験と日頃の訓練が生かされて避難がよく行なわれたことは注目に値する。

予警報に関しては、集中豪雨の予測が最も基本的な問題であるが、現在の所、場所、時間、降雨量等を適確に予測することは困難である。しかし、アメダス、レーダー雨量計等を用いて豪雨域を追跡することによって、避難等に関して有用な情報を提供することは可能である。さらに、地域ごとに崩壊発生の降雨条件を明らかにしておき、これと降雨に関する情報を組み合わせて避難行動に役立てることは有力な方法である。

5.3 土地利用の適性化

災害を軽減する上で、土地の災害危険度に適応した土地利用を行うことが重要である。現在、土砂災害や洪水氾濫危険範囲の予測に関する研究の進展により、災害危険度を予測することはある程度可能になってきた。今後さらに研究を進展させその精度を向上させることが必要ではあるが、これらの成果を土地利用の適性化に結びつけて行く努力が現在強く求められている。勿論、土地利用に関しては生活の利便さ、歴史的な経過、私権の問題等があるが、住民の理解を得ることがむずかしい面もある。したがって、それぞれの土地の有する災害危険度を公表して住民の理解を得ながら総合的な行政を推進して行くことが期待される。

6. む す び

以上、1988年7月島根・広島豪雨災害について、集中豪雨の概況と特性、被害概況について述べるとともに、災害の特性と予測の問題に関して若干の考察を行ない、さらに防災対策のあり方について2、3の提案を行なった。

本調査研究を行なうに当たり、建設省中国地方建設局、島根県、広島県および中国電力の方々に種々御援助いただいた。また、本論作成に当たっては、京都大学防災研究所助教授江頭進治、田中正昭、岡太郎、藤田裕一郎諸氏の御協力をいただいた。ここに記して感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 芦田和男代：1988年7月島根・広島豪雨災害の調査研究，自然災害総合研究班突発災害研究成果，1989.3
- 2) 田中耕平・中井専人・中根和郎：1988年集中豪雨災害調査報告—島根・広島地区一，国立防災科学技術センター，1988.
- 3) 後町幸雄・中島暢太郎：昭和58年7月豪雨の気象特性，昭和58.7豪雨災害調査研究（代表者 角屋睦）pp 8-17.
- 4) 芦田和男・奥村武信・江頭進治：小豆島の土石流による河道浸食と土砂流出，昭和49年7月集中豪雨災害の調査研究（代表者 矢野勝正），1975.
- 5) 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（代表者 中島暢太郎），1977.
- 6) 江頭進治：昭和57年7月豪雨による土砂災害について，京大防災研究所年報，26号A，1983.
- 7) 芦田和男・高橋 保・江頭進治・澤井健二：山腹崩壊と崩土の流出，昭和58年7月山陰豪雨災害の調査研究（代表者 角屋睦），1983.

- 8) 朝日新聞, 1972. 7. 12夕刊.
- 9) 三梨 昂：昭和58年7月山陰豪雨災害に関する空中写真による解析資料（個人的なメモ資料）.
- 10) 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, 京大防災研究所年報, 21号B-2, 1978.
- 11) 芦田和男・江頭進治・神矢 弘・佐々木 浩：斜面における土塊の抵抗則と移動速度, 京大防災研究所年報, 28号B-2, 1985.
- 12) 江頭進治・芦田和男・佐々木浩：土石流の流動則, 32回水理講演会論文集, 1988.

DISASTERS IN SHIMANE AND HIROSHIMA PREFECTURE BY HEAVY RAIN IN JULY 1988

By *Kazuo* ASHIDA

Synopsis

Shimane and Hiroshima Prefecture were attacked by severe rain storms in July, 1988. Land slides, debris flows and floodings occurred. These districts have been frequently suffered from the disasters caused by heavy rain.

This paper describes the meteorological conditions, damages, and scientific characteristics of the disaster in order to prevent or to mitigate the disasters frequently occurred.