

集中豪雨による崖崩れの発生予測に関する研究

道上正規*・小島英司**

(1981年5月25日受理)

Study on Forecast for Occurrence of Landslides due to Heavy Rain Storm

Masanori MICHIE* and Eiji KOJIMA**

(Received May 30, 1981)

This paper treats with the forecast for occurrence of landslides and muddy flows in the weathered granite area due to heavy rain storms. The occurrence of landslides and muddy flows relates closely with the content of moisture under the ground, which can be computed with a tank model. The threshold condition for occurrence of landslides is 70 mm with the total storage height under the ground. It is confirmed from observed data of 27 samples that the occurrence of landslides can be forecasted with the threshold. It is also clarified that the similar method can be applied in order to forecast the occurrence of muddy flows.

1. 緒 言

異常気象に起因するわが国の年間の死者行方不明者数は、1959年(昭和34)以前と1960年以降では大きな差異が認められる。前者においては、その数1000人を越える年が毎年のように出現したが、後者では1000人を越える年は現れておらず、年間300人程度とその数は激減している。これは、1959年の伊勢湾台風を境にして、各種の防災施設の整備が進み、大河川のはんらん、高潮や大型船舶の沈没などの災害が抑止されたことによると考えられている。このことは、倉嶋¹⁾によっても指摘されているように、大型台風による人的被害をかなり軽減することに成功したことを表しているが、一方弱い小型の台風や前線性の豪雨によって、死者数100人程度の災害が1960年以降頻発しているようで、以前とは異なった災害形態に移行しつつある。この種の災害は、土石流、山・崖崩れといった土砂災害に基因するもので、われわれの居住域の拡大によってますます発生しやすくなっている

ものと推測される。また、土砂災害は、局地的で激甚な災害形態をとるために、災害から人命を守るには、その発生予測法の確立が重要で、次いでこれを避難行動に結びつけるシステムの開発が有効であると考えられる。

豪雨による土砂災害の発生を巨視的な立場から把握するために、石原らは²⁾過去の災害資料の検討より、土砂災害発生の限界雨量として、日雨量で200mm、3時間雨量で100mm、時間雨量強度で50mmを越えると、甚大な災害発生の可能性を指摘している。これらの限界雨量は下限値を示すものであり、地域的な特性を加味したきめこまかい値は、それぞれの地域で検討されなければならないが、一応これらの値よりどの程度の雨が降れば災害が発生するかを知ることができる。ここでも指摘されているように、土砂災害の発生を惹起する降雨としては、長時間の累加雨量にさらに短時間の雨量強度が考慮されなければならないが、これに関しても種々の立場から検討が進められている。たとえば、奥田³⁾によれば、日雨量が200

* 土木工学科 Department of Civil Engineering

** 明建設計株式会社 Meiken Design Co. Ltd.

mm を越え、5 mm 以上の 10 分間降雨が長時間集中すればするほど崩壊発生率が増加すると指摘されている。このように、降雨パターンによって崩壊発生時の降雨量が異なるので、降雨と崩壊現象を直接結びつけようとする考え方では、崩壊発生の一応の日安雨量を知ることができるが、それ以上の正確な崩壊予知へと結びつけにくいであろう。

そこで、降雨と崩壊を直接結びつけるのではなく、土中水分の消長と崩壊を結びつけようとする考え方が出現した^{9) 10)}。たとえば、大滝⁹⁾は横浜市の崖崩れについて、斜面の水収支を水理学的に考察し、表層土の過剰水分量が 30 mm を越えると、崖崩れが発生することを見出した。当然、このような考え方で土中水分量を計算するのであるから、崖崩れ発生時の一連の降雨以外に、先行降雨が重要になってくることは論をまたない。また、従来の災害調査から指摘されているように、降雨量と崩壊現象の間には非線形性が内在しているが、上述の考え方を発展させれば、このような非線形性を加味した数学モデルを作り、崩壊の発生を予測することが可能であろう。

本研究では、以上の考え方に立って、資料の完備した呉市の崖崩れ資料を用いて、崖崩れの発生時刻や個所数をタンクモデル法で検討する。

2. タンクモデルによる崖崩れの発生予測

2.1 対象地域

呉市の消防署では、1951 年から崖崩れの聞き込み調査を実施して、市内における崖崩れの発生時刻ならびに崖崩れ個所数等を詳細に記録している⁸⁾。本研究では、この資料より Table 1 に示す 27 例を解析の対象に選んだ。

呉地域は、市街地と吉浦地区を除くと、大部分が花崗岩の几化したいわゆるマサ土から成っている。このマサ土は、降雨によって脆弱化し、降雨のたびごとに崖崩れが発生しているようである。対象地域の地形は六甲とよく類似した丘陵地帯で、そこに人家が建ち並んでいる。

2.2 タンクモデル

ここでは、降雨が土中に浸透して、土のせん断抵抗を減少させ、それが崖崩れを誘因すると考えているので、土中の水分量の消長をタンクモデルで表わすことにしよう。このような手法は、高知県の繁藤の崩壊⁹⁾や六甲の崩壊¹⁰⁾に対して適用され、かなり良い成果が報告されているが、ここで収集したような数多くの詳細な資料は用いられていない。

Fig. 1 を参照して、3 段直列型のタンクモデル¹¹⁾の表

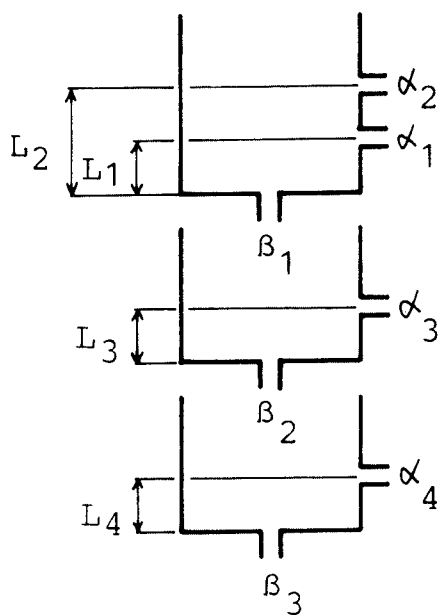


Fig. 1 Notation of tank model.

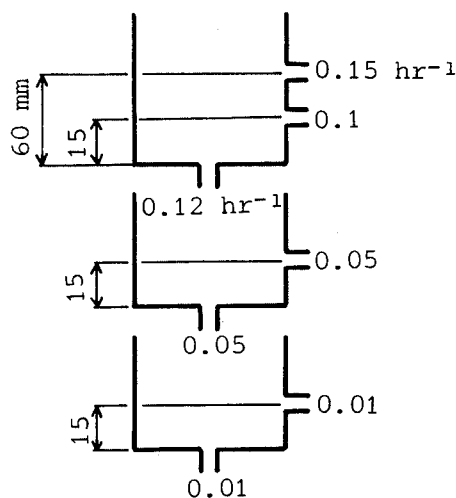


Fig. 2 Constants for tank model.

示式を記述すると、次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} S_1(t+\Delta t) &= (1-\beta_1)S_1(t) - q_1(t) + R(t; \Delta t) \\ S_2(t+\Delta t) &= (1-\beta_2)S_2(t) - q_2(t) + \beta_1 S_1(t) \\ S_3(t+\Delta t) &= (1-\beta_3)S_3(t) - q_3(t) + \beta_2 S_2(t) \end{aligned} \right\} (1)$$

ただし、

Table 1 Data of landslides in Kure city.

Sample number	Date	Number of landslides	Maximum rainfall intensity during 1hr. (mm)	Rainfall intensity during 3hrs. (mm)
1	1951.7	3 2 0	2 5 . 5	5 1 . 2
2	1951.10	5 0	3 5 . 1	4 9 . 9
3	1952.7	3 9	2 1 . 1	3 3 . 9
4	1953.6	1 6 0	2 2 . 2	5 3 . 4
5	1953.6	9 0	1 7 . 6	2 5 . 3
6	1953.7	3 8	1 7 . 4	3 3 . 4
7	1954.7	8 7	1 8 . 1	4 5 . 1
8	1956.6	3 3	1 4 . 6	3 6 . 5
9	1957.7	5 8	1 8 . 5	3 0 . 5
10	1958.7	3 1	4 6 . 8	7 9 . 4
11	1960.7	8 0	3 8 . 8	8 6 . 7
12	1962.2	1 1 3	2 7 . 3	5 4 . 4
13	1963.5	3 7	1 1 . 2	2 5 . 3
14	1963.6	3 1	1 4 . 1	2 7 . 2
15	1964.6	4 6	1 5 . 3	3 9 . 7
16	1965.6	1 0 6	2 5 . 5	5 7 . 8
17	1965.7	5 7	1 5 . 1	2 8 . 2
18	1966.7	3 7	2 2 . 6	3 5 . 3
19	1969.6	1 5 6 3	7 4 . 7	1 2 9 . 4
20	1969.7	1 7 8	2 6 . 0	5 4 . 0
21	1970.6	1 4 4	2 1 . 0	4 5 . 0
22	1972.7	3 3	2 0 . 0	4 3 . 5
23	1972.7	2 8 8	3 1 . 0	6 8 . 0
24	1974.7	2 1	1 3 . 0	6 8 . 0
25	1975.6	3 7	1 5 . 5	2 9 . 5
26	1976.6	1 2 9	2 2 . 5	4 2 . 5
27	1979.6	2 6 4	2 5 . 5	5 3 . 5

$$\left. \begin{aligned} q_1(t) &= \alpha_1 \{S_1(t) - L_1\} + \alpha_2 \{S_1(t) - L_2\} \\ q_2(t) &= \alpha_3 \{S_2(t) - L_3\} \\ q_3(t) &= \alpha_4 \{S_3(t) - L_4\} \\ Q(t) &= q_1(t) + q_2(t) + q_3(t) \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

ここに、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$: 図に示すような流出口の係数、 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$: 浸透係数、 S_1, S_2, S_3 : それぞれ1段目、2段目、3段目の貯留量、 q_1, q_2, q_3 : それぞれ1, 2, 3段目の流出量、 L_1, L_2, L_3, L_4 : それぞれ流出口の高さ、 $R(t; \Delta t)$: 時刻 t から $t + \Delta t$ の間の降雨量を表す。

タンクモデルで貯留量や流出量を計算するには、諸定数を流域に適合するようには選ばなければならないが、ここでは流量や地下水位の観測資料がないので、石原・小葉竹¹²⁾によって提案されている花崗地帯の諸定数を用いることにする (Fig. 2 参照)。この定数は、河川の洪水流出を算定するのに定められた値であり、流域を 20~30 km² の単位流域に分割するとき、このような定数は花崗流域では一定値をとると言われている。

また、崖崩れのような小規模な崩壊では、先行降雨の影響が大きいので、崖崩れ発生時の降雨から 14 日間前の

降雨を先行降雨と定義し、この降雨をタンクモデルで計算し、崖崩れ発生時の初期条件とするように工夫した。計算の時間間隔は1時間として、時間雨量の資料を用いるとともに、最初の計算条件は、1, 2段目の貯留量を0 mm, 3段目の貯留量として10 mmが仮定されている。

2.3 崖崩れ発生の限界貯留量

Fig. 3は、全貯留量 S_t や1段目と2段目の貯留量の和 $S_1 + S_2$ と、崖崩れの発生時刻およびその個所数の関係を示したものである。これより明らかなように、全貯留量が

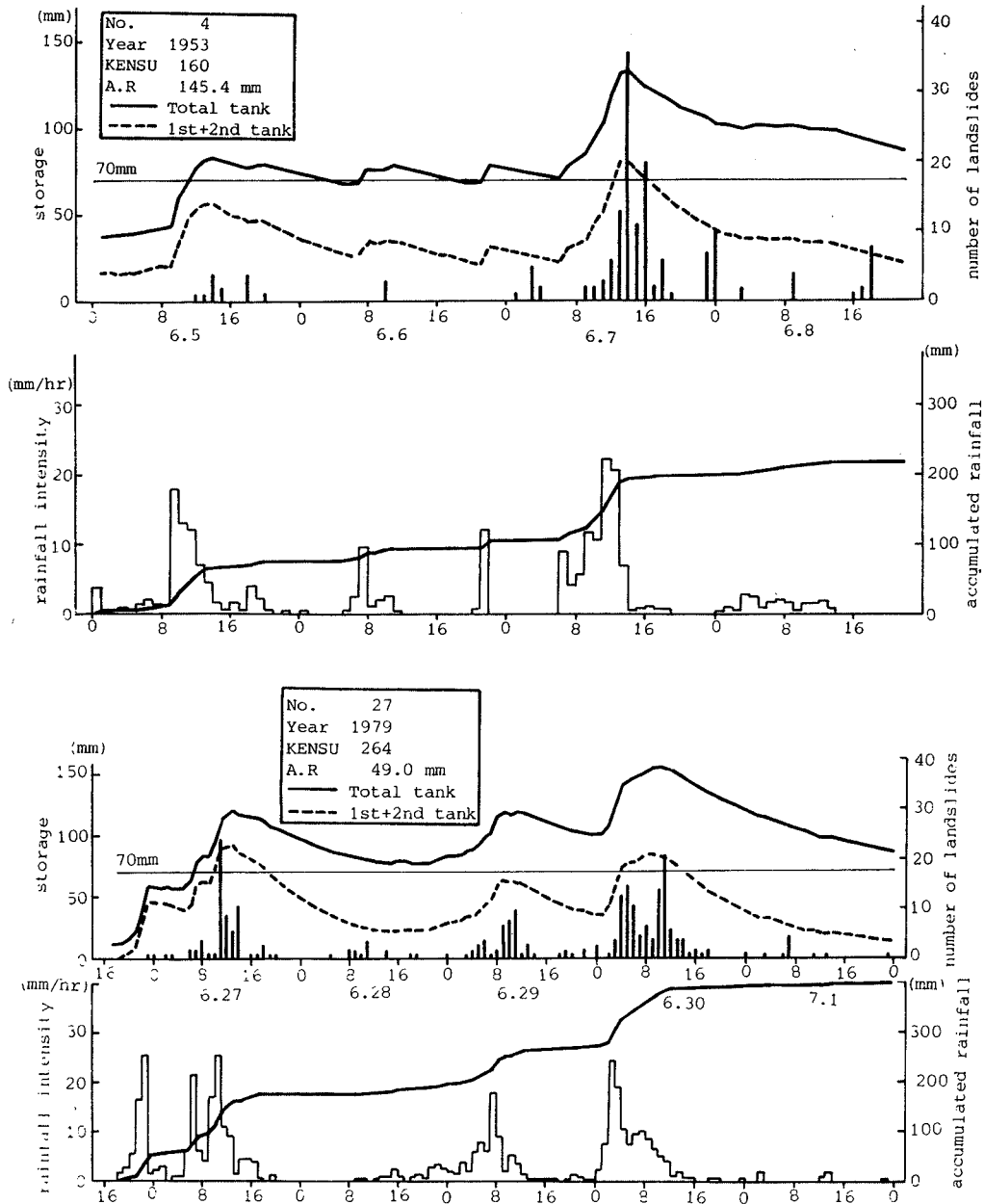
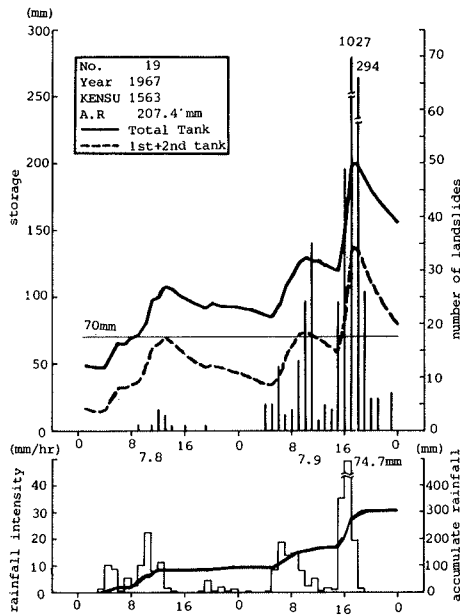


Fig. 3 Comparison between landslides and storage height.



70 mm に達すると、崖崩れが発生することが理解されよう。なお、図中には、 S_t や S_1+S_2 以外に、縦の棒線で崖崩れの発生時刻と発生件数が示されている。また、A.R.は先行降雨の累加値である。先行降雨量の相違によって、貯留量が大きく変化することも知れよう。

大滝は、横浜市の崖崩れと時間雨量との相関について検討した結果、ある時刻の崖崩れの発生件数は、1時間前の雨量との相関が最も大きく、それ以前にさかのぼるにつれて相関係数が減少するもの、あるいは4時間ないし6時間前の雨量との相関が強いものなど多種多様であることを指摘した。この原因は降雨パターンの違いによるとされている。ここでも、同様な手法で、崖崩れと雨量の相関係数を Fig. 4、崖崩れと全貯留量の相関係数を Fig. 5 のように示した。Fig. 4 に示す崖崩れと雨量との相関図では、 $\tau=0$ および $\tau=1$ (hr.) のところで相関係数が大きくなるものや、 $\tau=2$ あるいは $\tau=5$ で最大値をとるものなど、上記したように種々のパターンのものが見られる。一方、Fig. 5 に示す崖崩れと貯留量の相関図では、 $\tau=0$ のときの相関係数が最も大きく、時間をさかのぼるにつれ、相関係数の値が減少する。すなわち、崖崩れの発生が同時刻の貯留量と深い関係にあることが推測され、崖崩れ発生予測という面から見ても全貯留量が有効な指標となり得るようである。

Fig. 3 に示したような方法で、崖崩れ発生の限界貯留

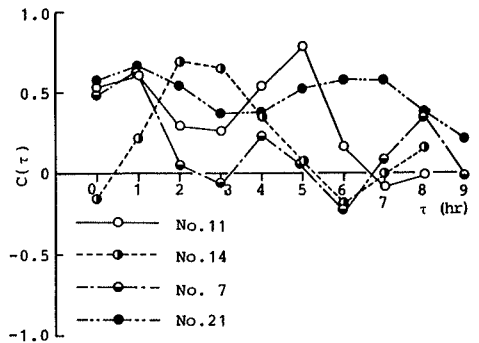


Fig. 4 Correlation factor between rainfall and number of landslides.

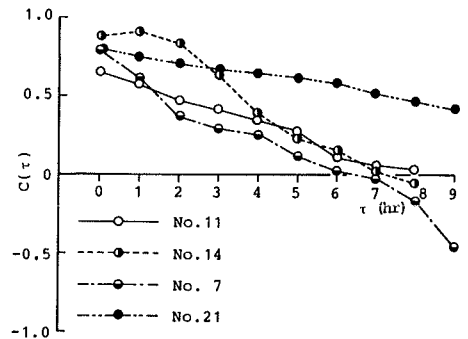


Fig. 5 Correlation factor between storage height and number of landslides.

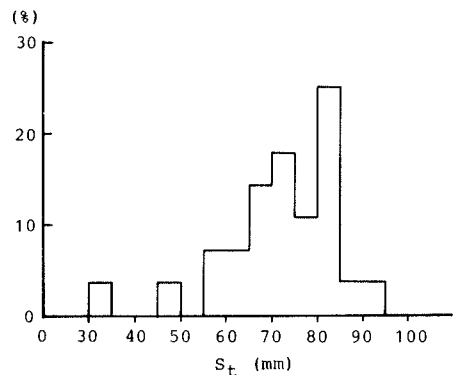


Fig. 6 Frequency distribution of threshold of storage for occurrence of landslides.

量を27例の資料より求めて、そのヒストグラムを表したものが Fig. 6 である。図によれば、崖崩れの発生頻度は

S_t が 80~85 mm のときが最高で、全体の 25 % を占めている。また、このヒストグラムはほぼ正規分布の形状を呈しているようである。そこで、崖崩れ発生時の S_t 、 $S_1 + S_2$ および S_1 をそれぞれ規準化して正規確率紙にプロットしたのが Fig. 7 である。これらの特性量は、ほぼ正規分布に近い分布形を呈していることがわかる。なお、図中に、それぞれの平均値、標準偏差および変動係数を示しているが、この中で変動係数の最も小さいものは全貯留量で、その値は 0.18 である。この S_t の平均値は、71.6 mm であり、Fig. 3 の一連の図から判断した限界値 70 mm とよく対応している。したがって、呉市における崖崩れ発生に対する限界貯留量を 70 mm に設定することができよう。

S_t を崖崩れ発生の指標として用いる場合、どのような限界値にすれば最も合理的であるか、もう少し詳しく検討してみよう。 S_t を崖崩れ発生の危険度指標として用いる場合、限界値以上で崖崩れの発生する割合が高いというだけでは不十分で、限界値を越えている時間が必要最小限に短いことも重要である。期間内の全崖崩れ発生件数に対し、限界値以上で崖崩れの発生している件数の割合を適中率 P とし、一方 S_t が限界値以上になる時間数に対

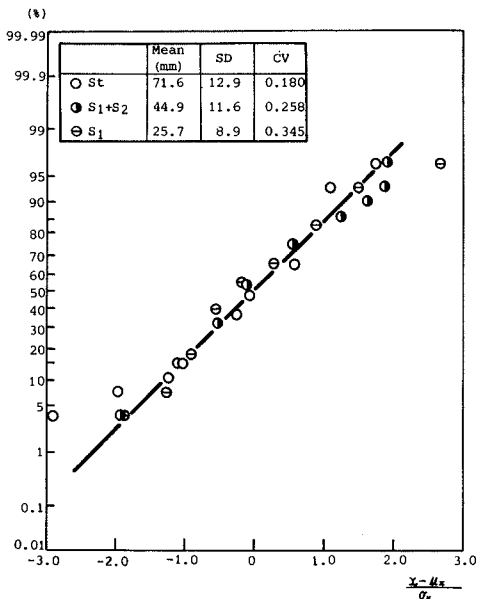


Fig. 7 Distribution on normal probability paper of S_t , $S_1 + S_2$ and S_1 as index for occurrence of landslides.

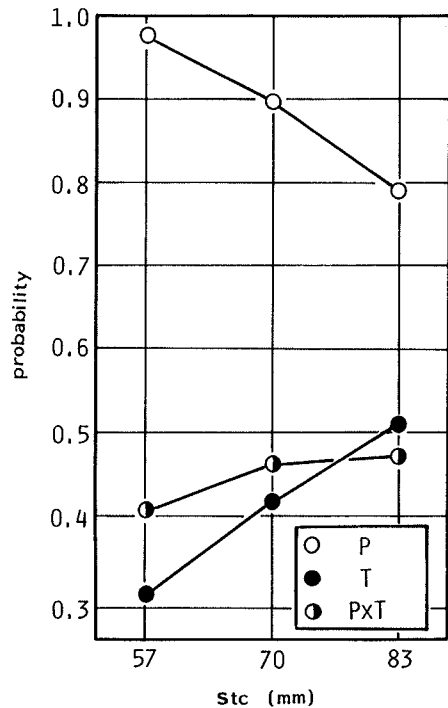


Fig. 8 Relation between various probabilities and critical storage.

し、その時間内に崖崩れが記録されている時間数の割合を超過発生率 T で表そうとする試みが鈴木・小橋¹³⁾によってなされている。ここでは、このような考え方を採用することにしよう。もちろん、 P および T が大きくなるように、限界値を設定することが望まれるが、両者は相補的であるので、ここでは、 $P \times T$ をその判定規準に選ぶことにする。いま、崖崩れ発生に対する S_t の限界値として、平均値とそれぞれ平均値から $\pm \sigma$ だけ偏奇した値、すなわち、70 mm、57 mm、83 mm を採用して検討する。これらの結果が Fig. 8 に示されているが、当然のことながら、 S_t の限界値として小さい値を選べば、 P は大きくなり、 T は小さくなる。また、70 mm および 83 mm に対応する $P \times T$ が 57 mm に対応するそれよりも大きくなり、70 mm と 83 mm の間にはそれ程大きな差異は見られない。したがって、ここでは適中率が高く、かつ $P \times T$ の値が大きい 70 mm を崖崩れ発生の限界貯留として採用した。この値は前述の値に等しい。

2.4 崖崩れ発生のオンライン予測

前述したタンクモデル法で、1963年5月1日から10月31日までの時間雨量資料を用いて、呉市の崖崩れ発生の予測を試みた。その結果を Fig. 9 に示しているが、この図では、1日の全貯留量 S_t の最大値を取り出してプロットしている。実際に崖崩れが発生した日には矢印を付し、その発生件数も記入している。この図によれば、 S_t が限界値 70 mm を越える頻度は1年間でそれ程高くなく、また S_t が 70 mm を越えた日には、崖崩れの発生が顕著になっていることが知れる。8月31日には、時間雨量で 43 mm の雨をみ、崖崩れの危険性は十分あった。しかし、 S_t は 70 mm を越えず、この判定規準では崖崩れは発生しないことになり、現実にもそれは起っていない。一方、6月3日、6日および10月9日には、日雨量で $15\sim 30\text{ mm}$ の雨しか降らなかったにもかかわらず、崖崩れが一、二箇所発生している。これについては、このモデルで予測できないが、その原因はデータの信頼性に依存するのか、あるいはモデルの精度に依存するのかよくわからない。現段階では、非常に小規模な崖崩れの発生を完全に予測することはできないが、全体的にみればかなりの精度でその予測が可能といえよう。

次に、Fig. 3 を再び見ると、一連の単位時間当りの崖崩れの個所数の極大値が、ほぼ全貯留量のピークの発生時に生起していることに気づくであろう。そこで、崖崩れの個所数の極大値を N_{max} とし、その時刻に対応する全貯留量の極大値を S_{tmax} として、両者の関係を示したものが Fig. 10 である。ひとつだけ値がかけはなれているが、これは1967年7月 (No. 19) の西日本豪雨時のものであって、この時には、7月9日 16:00~17:00 に1027個所の崖崩れが報告されている。図中の実線は、前述の値を重視して引いた直線である。この直線の関係は次式のように表される。

$$\left. \begin{aligned} N &\propto S_t^2 \\ N &= 1.216 \times 10^{-13} \cdot S_t^2 \quad (S_t \geq 70\text{ mm}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 N : 1時間当りの崖崩れ個所数、 S_t : 全貯留量で単位は mm である。

ただし、 N と S_t の関係は、 $dS_t/dt > 0$ の場合と $dS_t/dt < 0$ の場合では若干性状を異にする。すなわち、降雨が継続している場合には、同一の S_t の値に対して崖崩れの個所数が大きくなり、降雨が止んだり、弱まったときには、

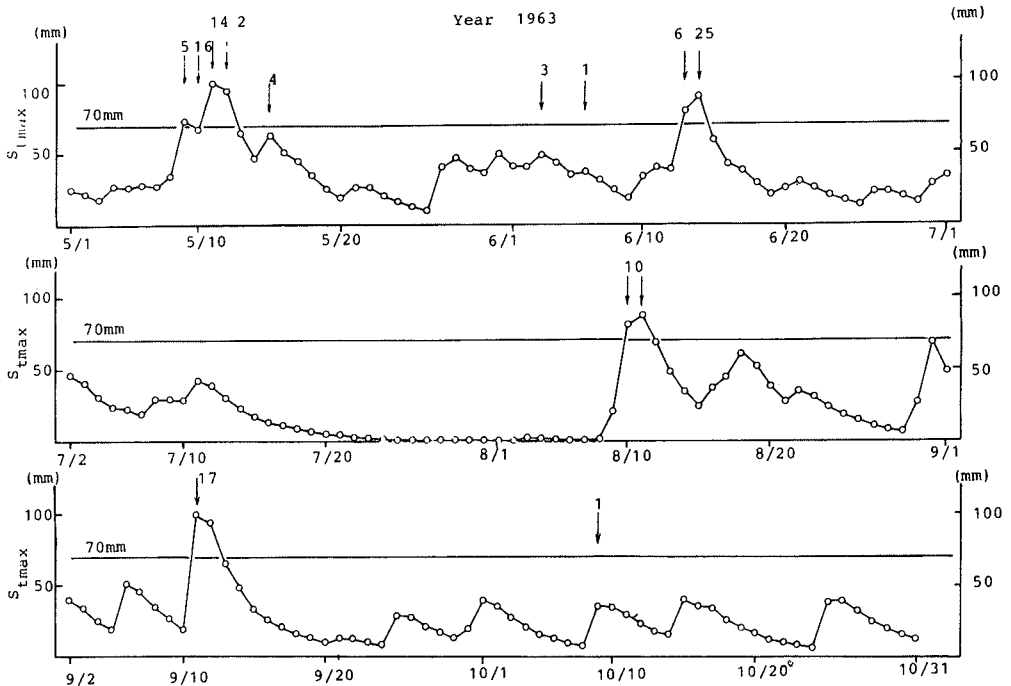


Fig. 9 Simulation of landslides.

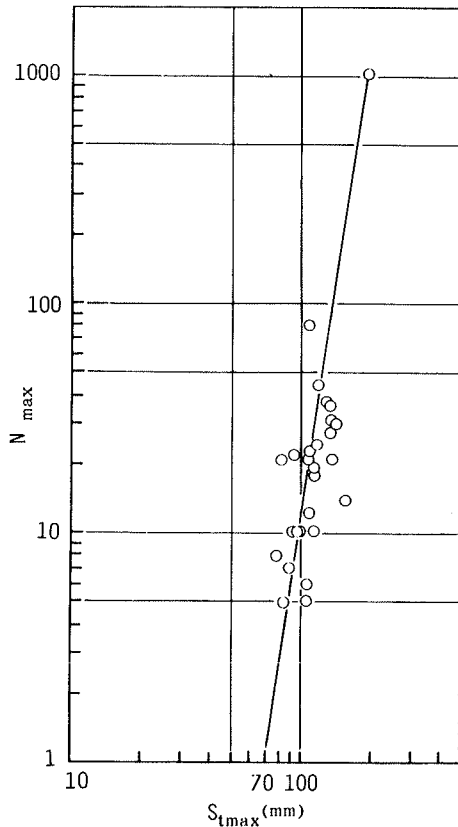


Fig. 10 relation between N_{max} and S_{tmax} .

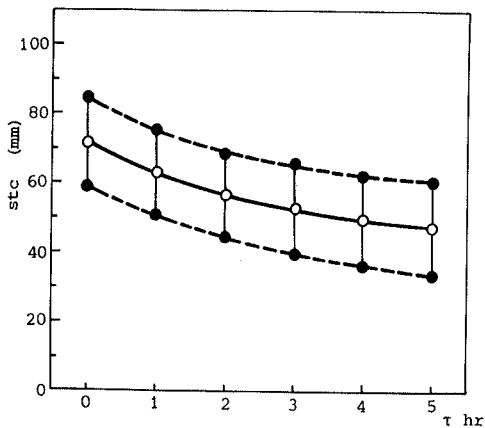


Fig. 11 Critical storage before occurrence of landslides.

その逆の現象が生じるようである。今までの議論は主として、 $dS_t/dt \geq 0$ の場合について行ってきたが、 $dS_t/dt < 0$ の場合については、式(3)は若干修正されなければならない。このような問題は含むものの、式(3)を用いると、崖崩れの個所数を予測することができる。この個所数は貯留量の7乗に比例して増加するため、全貯留量が70 mm を越えると驚異的に崖崩れの個所数は増加する。

以上述べてきた手法を住民の避難行動に結びつけるには、崖崩れ発生何時間か前に、その発生を予測することが重要である。このような考え方にに基づき、前述した呉市の27例の崖崩れ資料について、崩壊発生時刻より1時間から5時間まで逆のぼって、そのときの S_t を求めた。その結果が Fig. 11 に示されている。当然のことながら、時間を逆のぼるに従って、その限界値の平均値は減少し、標準偏差は大きくなる。ただし、図中の○印は平均値で、●印は平均値±標準偏差の値である。図によれば、崩壊発生時から2時間逆のぼったときの S_t の値は56 mm であり、これは前項で検討した崖崩れ発生時の平均的な限界値より標準偏差だけ偏奇した値にほぼ等しい。すなわち、崖崩れ発生時の限界値70 mm から標準偏差だけ引き下げた値を予備限界とすれば、この限界ラインを越えると、2時間後に崖崩れが発生することが予想できる。このような考え方を気象情報と結びつけると、崖崩れ発生時の2時間前には、その発生をかなりの精度で予測できる。したがって、時々刻々入手できる時間雨量からタンクモデルを用いて、雨水の土中の全貯留量を計算すると、崖崩れ発生時の2時間前から、崖崩れの危険度を予測でき、かつ崖崩れの発生時刻や個所数もオンラインで予測でき、これを避難体制に結びつけることができるものと考えられる。

3. 豪雨による土石流発生の予測

タンクモデル法で小豆島の土石流の発生について検討することにしよう。小豆島の地質は呉と同様な花崗岩の風化土でおおわれており、最近何度か土石流に見舞われて甚大な被害をうけている。¹⁰⁾¹⁵⁾ 一般に、土石流を惹起する豪雨は、崖崩れに比べて降雨量が非常に大きいのが特徴である。したがって、ここでは、先行降雨を考慮しないで、8例についてタンクモデルで計算を行ったが、他の条件は呉市の崖崩れの場合と全く同様である。

Fig. 12 は計算例を示したもので、図中には土石流の発生時刻、発生件数、1段目貯留量 S_1 、1段目貯留量と2段目貯留量の和 $S_1 + S_2$ 、全貯留量 S_t や流出量 q が表され

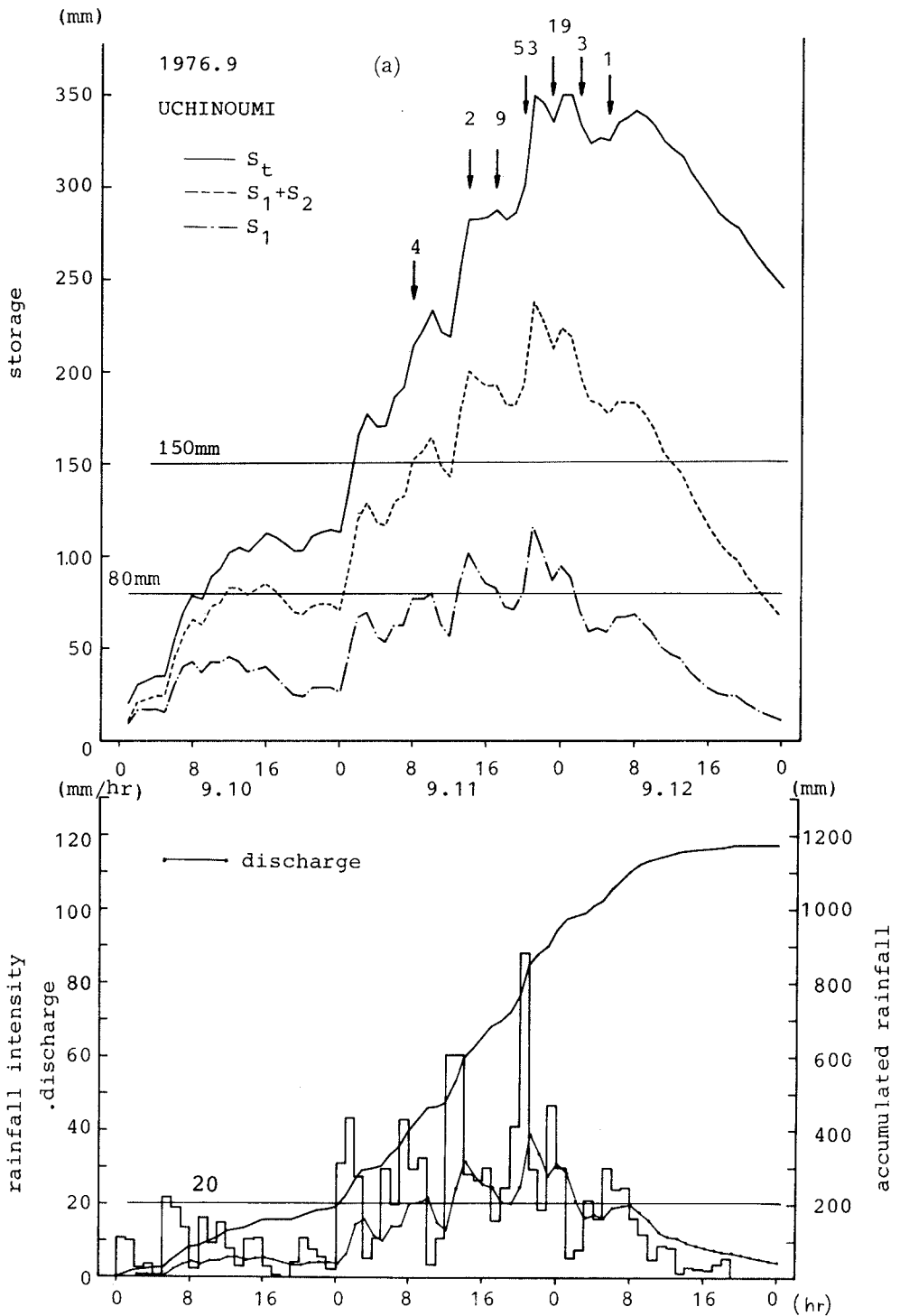
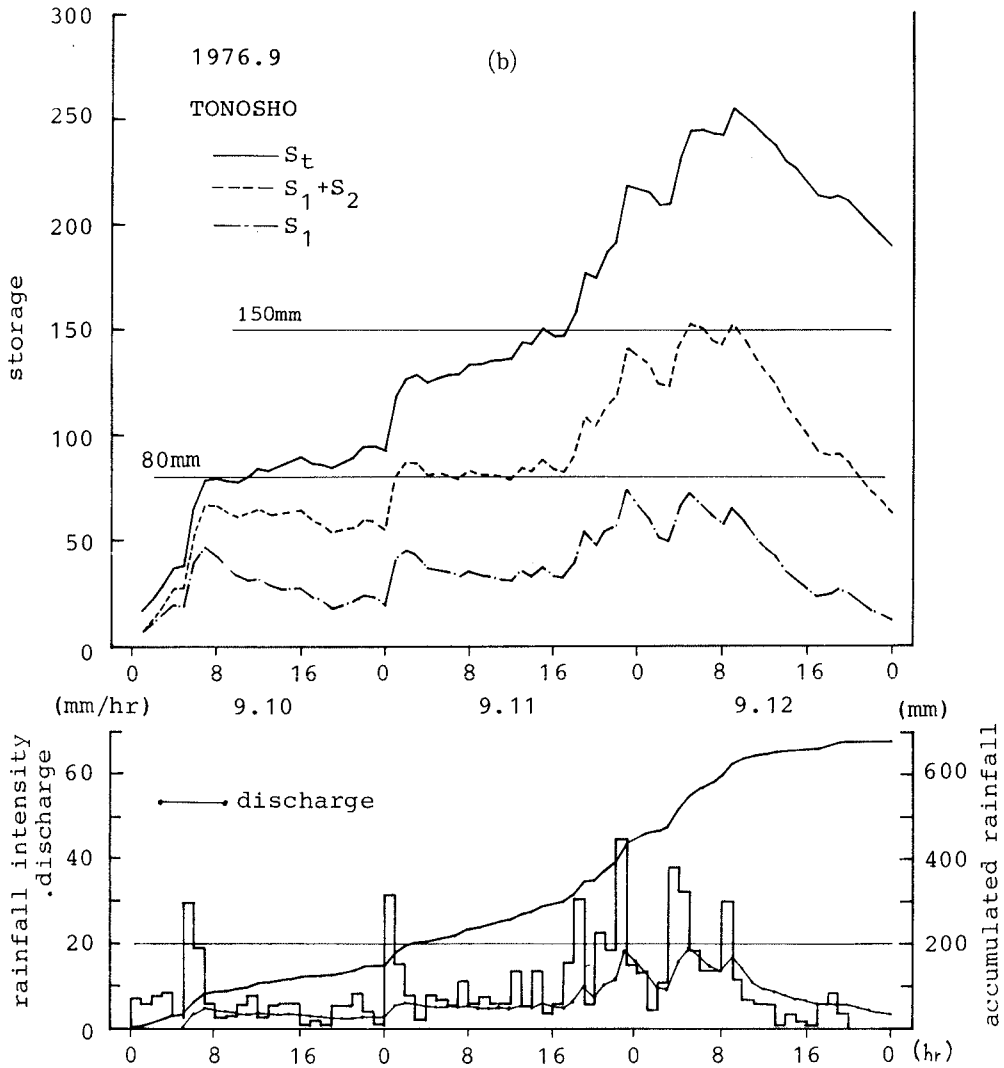


Fig. 12 Comparison between occurrence of muddy flow and storage.



ている。一方、Fig. 13 は過去の土石流発生時の S_1 , $S_1 + S_2$, S_t および q の値を正規確率紙にプロットしたもので、これより、その限界値の平均値はそれぞれ 80 mm, 150 mm, 200 mm および 20 mm/hr になる。しかし、 S_1 に関する限界値の変動係数は他のものに比べて大きいので、これを除いた他の限界値を Fig. 12 に記入している。Fig. 12(a) より明らかなように、 S_1 , $S_1 + S_2$ および q の変化が土石流の発生によく対応している。すなわち、 S_1 が 80 mm, $S_1 + S_2$ が 150 mm, q が 20 mm/hr を越えると、土石流の発生が見られ、これらの特性量の変化によって土石流の発生を予測することができよう。一方、Fig. 12(b) は、同

じ小豆島の土庄地区の降雨記録であり、これによると、連続雨量で 700 mm, 最大時間雨量で 45 mm に達していたにもかかわらず、土石流が発生しなかった。このような降雨量は、土石流の発生を予想できるものであり、当時の調査報告でも災害がなぜ発生しなかったのか、その原因が明らかにされなかったが、本モデルを適用すると、1 段目の貯留量と流出量は土石流発生の限界値に到達しておらず、1 段目と 2 段目の貯留量の和が丁度限界値になっており、まさに土石流発生の限界状態になっていたのではないかと推測される。

以上、土石流発生の予測について、崖崩れの場合に適

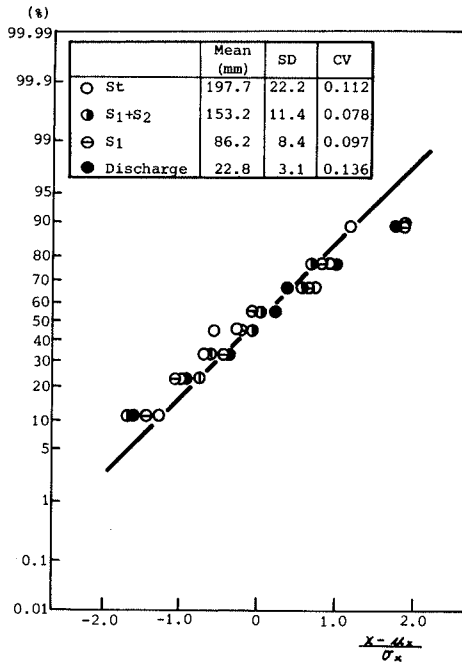


Fig. 13 Distribution on normal probability paper of storage and discharge for occurrence of muddy flow.

用した方法で検討したが、この予測には、表層土の水分 (S_1 , S_1+S_2) や流出量の特性格が有用であり、このような考え方が土石流発生の予測に適用できることを示唆している。

4. 結 言

本研究では、土砂災害の主たる要因となっている土石流・崖崩れの発生時刻に関して検討を加えてきた。このような土砂災害は、空間的及び時間的にも稀な現象であるので、正確な資料が入手しにくい、過去の資料を種々の災害報告書より抽出して、それに基づいて検討を加えた。

その結果次の事項が明らかにされた。

- 1) タンクモデル法により、降雨資料を土中水分量に変換して、その消長が呉市の崖崩れの発生とよく対応することが明らかにされた。
- 2) 崖崩れ発生時の限界貯留量の平均値はほぼ 70 mm でその標準偏差は 13 mm である。
- 3) 崖崩れの個所数は、貯留量が 70 mm を越えると飛

躍的に増加し、その割合は貯留量の 7 累に比例する。その関係は式(3)で与えられる。

- 4) 崖崩れ発生の 2 時間前の貯留量は平均的に 56 mm であり、貯留量が 56 mm を越えると 2 時間後に崖崩れの発生の危険度が増す。
- 5) 土石流発生の予測に関しても同様のモデルを適用し、小豆島の土石流に関しては、1 段目の貯留量が 80 mm、あるいは 1 段目と 2 段目の貯留量の和が 150 mm を越えると、土石流が発生する可能性の高いことを示した。また、同様な手法で、流出量が 20 mm/hr. を越えると、土石流発生の危険度は増し、これらの値が土石流発生の限界値であることが明らかにされた。

今後さらに、新しい資料を加えてモデルの適合性を高めるよう検討を加える予定である。

参 考 文 献

- 1) 倉嶋厚：死者数からみた近年の気象災害の特徴について、才 1 2 回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集、昭和 50、10、pp.181-182.
- 2) 石原安雄・友杉邦雄・小葉竹重機・下島栄一：降雨特性と災害の予測について、昭和 50 年 8 月風水害に関する調査研究総合報告書(研究代表者 矢野勝正)、昭和 51、3、pp.107-109.
- 3) 奥田稜：地沁り崩壊と降水量の関係、施工技術、9、No. 4、1976.
- 4) 大滝俊夫：降雨による崖崩れの水文学的研究(才 1 報)、電力と気象、vol.14、1963、pp.1-13.
- 5) 安井春雄：香川県マサ土地域における降雨による土砂崩壊について、天気、25. 6., 1978.
- 6) 田中茂：山くずれと地質、地形構造の関連性に関する研究、自然災害特別研究成果、No.A-51-4、1977.
- 7) 松尾稔・上野誠：破壊確率を用いた自然斜面の崩壊予知に関する研究、土木学会論文報告集、No.281、1979、pp.65-74.
- 8) 呉市消防局編集：呉市の火災と水災の記録、昭和 52. 6.
- 9) 奥西一夫・中川鮮：高知県繁藤地区の大規模崩壊について(その 2) 一崩壊に対する地下水の効果、京大防災研究所年報、才 20 号 B-1、1977、pp.223-236.
- 10) 鈴木雅一・福富義宏・小橋澄治：土砂災害発生の危険雨量、新砂防、110、1979、pp.1-7.
- 11) 菅原正己：流出解析法、共立出版、1972.

- 12) Ishihara, Y. & S. Kobatake : Runoff Model for Flood Forecasting, Bull. D. P. R. I., Kyoto Univ., Vol. 29, 1979.
- 13) 鈴木雅一・小橋澄治：がけ崩れ発生と降雨の関係について—がけ崩れ予知に関する基礎的検討—, 新砂防, (投稿中)
- 14) 芦田和男・高橋保・沢田豊明・江頭進治・沢井健二：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総合報告書, 1977.
- 15) 奥田節夫・横山康二：小豆島東部の災害概況と地形の関連性, 昭和 49 年 7 月集中豪雨災害の調査研究総合報告書, 1975.