

7 豪雨による崩壊発生の確率的考察について

崩砂防・地すべり技術センター ○小川紀一朗 松村 和樹

1. はじめに

近年、長崎災害(1982年)、島根災害(1983年)など豪雨に伴う崩壊発生により大規模な土砂災害が発生し、人命および家屋公共施設等に対し甚大な被害を与えている。このような崩壊の発生をある程度予測することは、土砂害防止を目的とした防災計画を立案する上で重要な課題となっており、このため崩壊発生の研究は、理論的・現象論的方法により数多くの報告がなされている。しかし、発生要因については関連する要因が複雑なため決め手となる指標を見出せるまでには至っていない。そこで筆者らは、このような豪雨(一連続降雨)に伴い発生する崩壊に注目し、崩壊の発生状況を雨量との関連から検討することを試みた。

2. 研究方法

崩壊の発生状況を把握する上でとくに注意しなければならないことは、崩壊発生の場の吟味、ならびに崩壊形態の把握である。崩壊発生の場とは、崩壊の発生する諸条件を所持している斜面空間である。条件としては地質条件、地形条件、土質条件、植生条件、地下水条件等があげられるが、実際はこれらの諸条件が複雑に絡み合うことによって発生の場を形成している。個々の斜面における崩壊発生の可能性を判定するためには、各斜面についてこれらすべての条件を検討しなければならないが、防災計画を立案するためには、主に流域全体を総合的に見た場合の崩壊発生について検討するため、流域全体を対象とした平面的な取扱いの可能な条件に注目する必要がある。このため筆者ら(1, 3)は、崩壊発生の場を規定する要因として斜面傾斜に注目し、発生の場を実績崩壊の個数率から傾斜が $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ の斜面を崩壊可能地として抽出した。一方、崩壊の形態は発生機構により規制されると考えられる。このため筆者ら(3)は、崩壊を表層崩壊、大規模崩壊、溪岸崩壊に分類し、形態別に発生要因との関係について検討した。本論では雨量との関係が比較的高いものと予想される表層崩壊について注目することとした。

本調査は、空中写真判読および図上計測から得られた情報をもとに行った。空中写真は、崩壊発生前後の比較判読を行うことにより、崩壊の面積、形態等の平面的情報を得ることができる。調査対象地は九頭竜川支川の真名川流域である(図-1)。本流域は1965年9月の豪雨(いわゆる奥越豪雨)により多数の崩壊が発生した。このときの等雨量線図を図-2に示す。使用した空中写真は1965年11月と1964年5月に撮影されたもので、これにより判読された崩壊は対象とする“ひと雨”にほぼ対応していると考えられる。

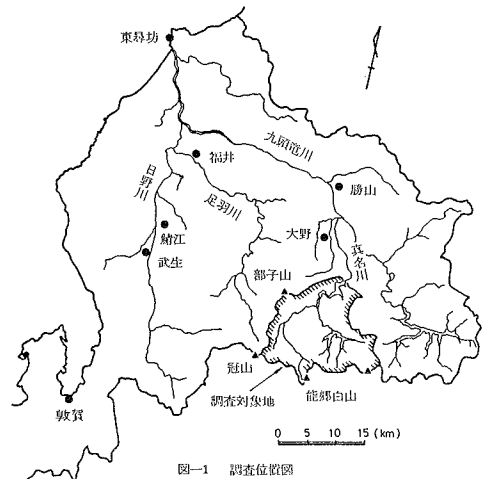


図-1 調査位置図

3. 降雨と崩壊発生状況

調査対象とした崩壊地は、2 時期の経年変化のうち 2 次谷における新規発生崩壊とした。降雨に対する崩壊面積占有率（崩壊可能地に対する崩壊面積の割合）を表層崩壊について示すと図-3 のとおりとなる。

これによれば、降雨と崩壊面積占有率との間には全体的に見れば相関はないようである。しかし、図中の記号で「○」と「□」に注目すると、「○」が雨量の増加とともに崩壊面積占有率が増加しているのに対し、「□」は減少しているように見える。ここで「○」は、雲川、笹生川流域を示し、「□」は本流域の北部一帯を示している。これは、流域北部一帯については図-2 で示した等雨量線図が適合していないことを示している。

図-4 は昭和40年9月14日21時の気象庁東尋坊気象レーダー観測所におけるレーダーエコーから、雲の厚い部分をスケッチしたものである。これによれば、真名川から揖斐川流域にかけて帯状に雲の厚い部分が存在し、また真名川流域北部についても細く雲の筋が見られ、雨量の集中域がこれらの部分に存在したことを示している。

したがって流域北部一帯のデータを除外して、降雨に対する崩壊面積占有率および崩壊頻度（崩壊可能地に対する崩壊個数の割合）の関係をまとめると図-5、6 に示したとおりとなる。これによれば、全体的には雨量が増加すれば崩壊面積占有率、崩壊頻度ともに増加する傾向にあるが、ピークは雨量階640-720 mm であり、最大の雨量階のところにおける値は減少している。

4. 崩壊の発生と確率過程

以上の検討の結果、雨量の最大のところでは崩壊面積占有率、崩壊頻度ともに低くなる傾向が見られた。また、雨量の小さいところではそれぞれの値も小さいが、雨量が大きくなると値のばらつきが大きくなっている。これは、雨量が大きくなっても崩壊しない斜面が多数存在することを示しており、このような傾向は従来からも指摘されている。参考までに打萩(5)が整理した崩壊発生データより、釜無川における降雨と崩壊面積占有率の関係を図-7 に示した。これらについても同様な傾向が見

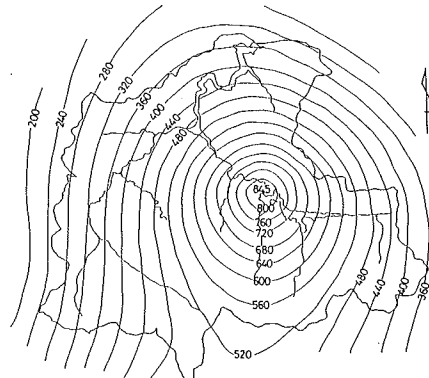


図-2 等雨量線図
(日雨量 1965年9月14日)

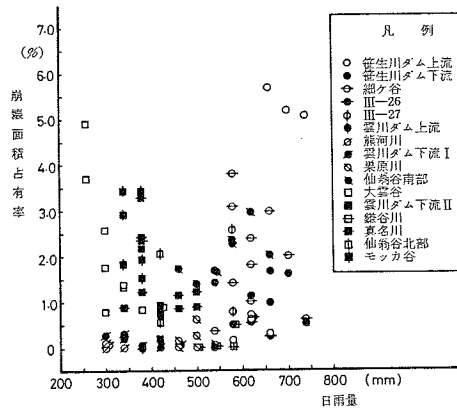


図-3 降雨と崩壊面積占有率 (流域全体)

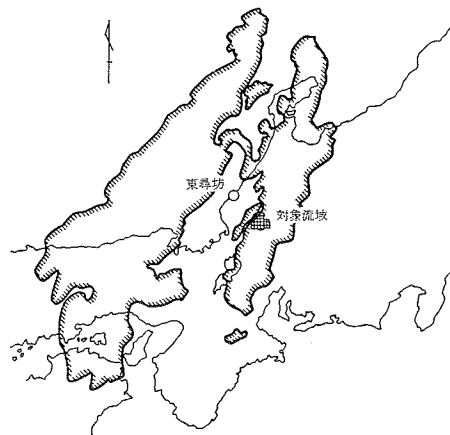


図-4 レーダーエコーによる雲域の分布
(1965年9月14日21時)

られる。このような傾向は、崩壊の発生を考える場合、物理的な現象解析に加えて確率論的な方向からもアプローチが必要であることを示唆していると考えられる。すなわち、崩壊現象は複雑な要素の絡み合いによって発生するが、個々の斜面についてこれらの要素をすべて検討することは困難であるため、これらの諸要素をブラックボックスとして現象を確率論的な視点から考察することにより、このような傾向が説明できるものと考えられる。

大村(4)は豪雨による崩壊について、流域全体の平均的な崩壊発生時刻を予測するために、崩壊発生率の時系列をガンマー分布モデルを用いて説明し、斜面における抵抗指数を考慮した崩壊発生シミュレーションを行っている。ガンマー分布はポアソン過程においてある事象が k 回起こるまでの時間 T_k の分布を表現したものである。

豪雨に伴い崩壊は発生するかもしれないという離散的な確率事象をとると考えられ、とくに雨量強度に大きく影響を受けていると考えられる。したがって、雨量強度の増加とともに崩壊の発生確率は増加することが予想される。すなわち、発生率 λ は一定でなく、時刻あるいは雨量強度により変化するようなモデルが考えられる。そこで、筆者らは確率過程 $X(t)$ で表されるある現象において、時刻 t における $X(t)$ の確率分布がそれ以前のある時刻における確率分布の実現値に依存して決まるというマルコフ過程に注目した

連続な t 軸上で変量 $X(t)$ が離散値0, 1, 2をとるようなマルコフ過程を考える。ここで t 軸上で $X(t)$ の値が変化する場合、その飛躍量は必ず1であるとする。これらの飛躍が $X(t)$ の増加する方向にのみ生起する場合、この過程を純出生過程という(2)。崩壊の発生は t 軸上で飛躍量1で単純増加するマルコフ過程であるため、崩壊の発生過程は純出生過程であると考えられる。

いま時刻 t において $X(t)=n$ であることを、系が状態 E_n にあるということにする。このとき微小区間 $(t, t+\Delta t)$ の間に $E_n \rightarrow E_{n+1}$ という推移が起こる確率は $\lambda_n(t) \Delta t$ に等しいとする。ここで $\lambda_n(t)$ は推移強度関数である。 $t=0$ の状態で E_i にあったとき、 $t=t$ に

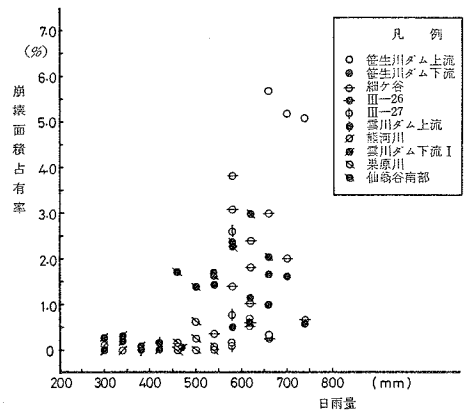


図-5 降雨と崩塌面積占有率(雲川・笠生川流域)

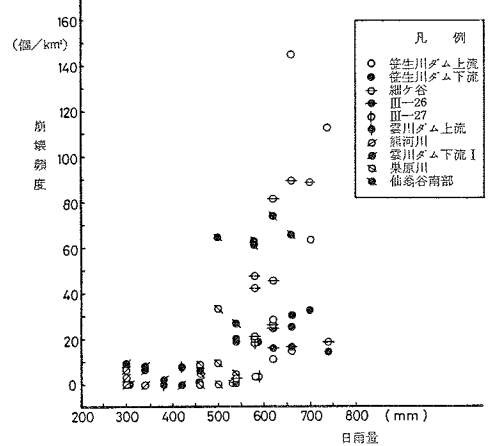


図-6 降雨と崩塌強度(雲川・笠生川流域)

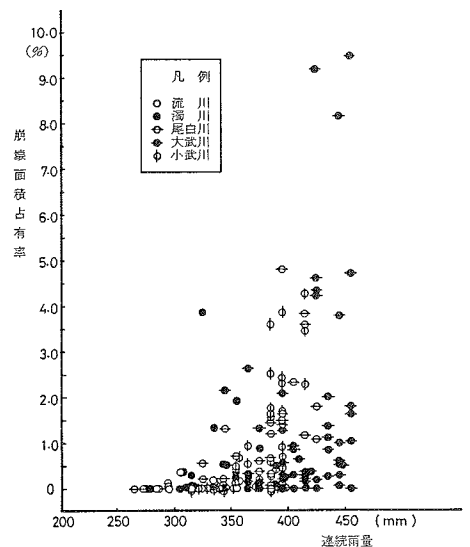


図-7 降雨と崩塌面積占有率(笠生川流域)

において状態 E_n となる確率を $P_{in}(t)$ とする。また、崩壊発生確率を考えるために時間軸を雨量軸におきかえる。すなわち、ある時刻 t の累加雨量を r とし、ある微小時間 Δr における雨量強度を Δr とすれば、崩壊発生確率 $P_{in}(r)$ は次式のように表せる。

$$P_{i,n}(r + \Delta r) = \lambda_{n-1}(r) \Delta r P_{i,n-1}(r) + \{1 - \lambda_n(r) \Delta r\} P_{i,n}(r) \quad (n > i)$$

$$P_{i,i}(r + \Delta r) = \{1 - \lambda_i(r) \Delta r\} P_{i,i}(r) \quad (n = i) \quad (1)$$

ここで初期状態において崩壊が存在しなければ $i = 0$ となる。このうち、 $P_{i,n}(r)$ は図-6 に示した散布図の相関分析によってその回帰曲線で表すことができる。また、 $\lambda_n(r) \Delta r$ は図-6 において崩壊頻度の分布状況から、それぞれの雨量階について設定することができる。

次に発生した崩壊の面積を設定する。図-8 は新規発生した表層崩壊 1 個あたりの崩壊面積をヒストグラム表示したものである。これによれば、発生した崩壊のほとんどが 100-200 m^2 であったことを示しており、また同時に、これは崩壊が発生した場合の崩壊面積を示す確率密度分布を表現している。したがって、この密度関数に基づいた乱数を用いることにより、発生した崩壊の面積を設定することができる。

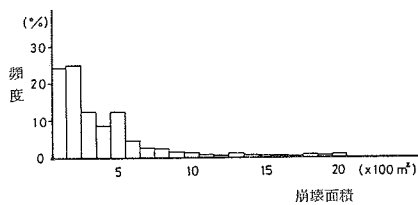


図-8 崩壊1個あたりの崩壊面積の分布

5. おわりに

以上より、豪雨による崩壊発生シミュレーションを行うことができる。今後はシミュレーション計算によるモデルの検証と、斜面の崩壊発生ポテンシャルを考慮した崩壊発生予測の検討が重要な課題となる。最後に、本調査を行うにあたり多大なる御協力をいただいた建設省福井工事事務所関係各位に深謝の意を表する。

参考文献

- (1) 日暮ほか：降雨と崩壊との関係について 昭和58年度砂防学会研究発表会概要集 1983
- (2) 亀田ほか：確率・統計解析 新体系土木工学 2 技報堂出版 1981
- (3) 小川ほか：崩壊の形態と発生要因について 昭和59年度砂防学会研究発表会概要集 1984
- (4) 大村：崩壊面積の予測に関する基礎的研究(Ⅱ) 新砂防 118 1981
- (5) 打萩：ひと雨による山腹崩壊について 新砂防 79 1971