

山口県の安山岩・花崗岩斜面における がけ崩れ発生降雨の特徴分析

榊原 弘之¹・佐藤 文晴²・倉本 和正³・中山 弘隆⁴・鉄賀 博己⁵・古川 浩平⁶

¹正会員 博(工) 山口大学講師 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

²正会員 修(理) 山口大学助手 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

³正会員 博(工) 中電技術コンサルタント株式会社 河川部 (〒734-8510 広島県広島市南区出汐2-3-30)

⁴工博 甲南大学教授 理工学部情報システム工学科 (〒658-0072 兵庫県神戸市東灘区岡本8-9-1)

⁵山口県 土木建築部砂防課 (〒753-8501 山口県山口市滝町1-1)

⁶正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

本論文では、がけ崩れと降雨の関係を明らかにすることを目的として、山口県内の降雨データを対象にラフ集合論に基づいた重要要因抽出手法を適用する。安山岩斜面に関しては、比較的短時間の集中的降雨の直後に発生する即発性がけ崩れと、多量の降雨から十数時間経過して発生する遅発性がけ崩れの2種類が存在することを示す。一方花崗岩斜面に関しては、遅発性がけ崩れと、非発生降雨と判別困難な偶発性がけ崩れが存在することを明らかにする。さらにカイ2乗検定の結果から、現状で取得可能なデータの範囲内においては、これらのグループ分けとがけの地形要因の間には有意な相関は存在しないことを示す。

Key Words: slope failure, rough sets, rainfall data, immediate failures, late failures, accidental failures

1. はじめに

降雨はがけ崩れの発生に大きな影響を与えている。がけ崩れの発生予測においても、降雨量を直接反映させた予測モデルが構築されている¹⁾。しかし、崩壊発生に至るメカニズムは複雑であり、どの時点の、どのような降雨指標を予測に用いるべきかについては、必ずしも明らかになってはいない。

筆者らは、急傾斜地崩壊危険箇所調査等から得られるがけ崩れに関するデータを対象として、ラフ集合^{2),3)}に基づくデータマイニングの手法⁴⁾を適用し、がけ崩れ発生の特徴的な要因の抽出を試みている⁵⁾。この際、降雨要因の重要性も明らかとなっているが、対象としたのは基準時刻における時間雨量と累積雨量のみであり、がけ崩れを引き起こす降雨パターンの抽出には至っていない。

本論文では、がけ崩れ発生降雨の特徴分析を目的として、ラフ集合論に基づいた重要要因抽出手法⁶⁾を適用する。具体的には、岩種別のデータを用いて、一連の降雨の特性を示すさまざまな降雨指標から、がけ崩れの発生・非発生を決定づける重要要因を抽出する。次に、抽出された重要要因を基に、がけ崩れ発生に至る降雨パターンを分類する。さらに、がけの傾斜度な

どの地形要因と、がけ崩れ発生に至る降雨パターンとの間の相関の有無を検討するために、カイ2乗検定を実施する。

2. 降雨データの概要

(1) 降雨要因の定義

本論文では山口県内の気象庁観測所の降雨データを使用する。土砂災害の予測に関する既往の研究⁷⁾に基づき、観測所からの直線距離が5km以内のがけにおける降雨が、観測所の実測値と一致していると仮定する。また、前後に24時間以上の無降雨期間のあるひとまとまりの降雨を一連の降雨として定義する⁸⁾。その上で発生・非発生降雨を以下のように定義する。

- 1) 発生降雨：一連降雨の期間中に対象観測所周辺においてがけ崩れが発生した場合、その一連降雨を発生降雨と呼ぶ。
- 2) 非発生降雨：発生降雨以外の一連降雨を非発生降雨と呼ぶ。

非発生降雨の期間中においては、対象観測所周辺の全

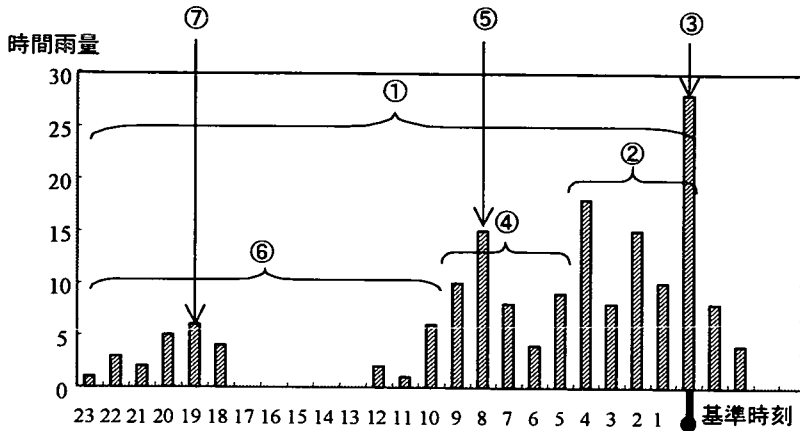


図-1 降雨要因の定義

表-1 本論文で使用する降雨要因

番号	降雨要因
①	基準時刻における累積雨量
②	基準時刻以前0~4時間区間の累積雨量
③	基準時刻以前0~4時間区間の最大時間雨量
④	基準時刻以前5~9時間区間の累積雨量
⑤	基準時刻以前5~9時間区間の最大時間雨量
⑥	基準時刻10時間以前区間の累積雨量
⑦	基準時刻10時間以前区間の最大時間雨量
⑧	半減期1.5時間の実効雨量
⑨	半減期72時間の実効雨量

表-2 離散カテゴリー化の間隔

番号	間隔
①, ②, ④, ⑥, ⑧, ⑨	50mm
③, ⑤, ⑦	10mm

てのがけにおいて、がけ崩れが発生していない。また、非発生降雨のデータは大量に存在するため、最大時間雨量 20mm 以上、もしくは累積 80mm 以上の非発生降雨のみを使用した。なお、一連降雨の期間中に複数のがけ崩れが発生した場合は、その一つ一つを個別の発生降雨データとしている。

本論文では、岩種によるがけ崩れに至る過程の違いを考慮して、①安山岩斜面及び②花崗岩斜面においてがけ崩れが発生した降雨をそれぞれ発生降雨とする。地域によって岩種の分布が異なるため、安山岩斜面については下関観測所周辺地域、花崗岩斜面については 8 観測所（柳井、防府、萩、安下庄、玖珂、岩国、下松、桜山）周辺地域を対象とする。さらに花崗岩斜面の非発生降雨としては、柳井観測所の降雨データを使

用する。以下ではこれらのデータをそれぞれ安山岩データ、花崗岩データと呼ぶこととする。対象期間は昭和 50 年から平成 10 年までの 24 年間である。

安山岩データにおいて対象期間の発生降雨は 80 件、非発生降雨は 111 件である。一方花崗岩データにおいては、発生降雨は 73 件、非発生降雨は 124 件存在している。

発生降雨と非発生降雨を同等のデータとして取り扱う際、基準時刻をそれぞれどのように設定するかが問題となる。本論文では、発生降雨については倉本¹⁾の定義による発生推定時刻、非発生降雨については時間雨量最大時刻を基準時刻とする。

がけ崩れ発生に至る降雨パターンを抽出するためには、基準時刻における時間雨量、累積雨量のみでなく、発生数時間前の雨量や、十数時間以上前の雨量も考慮する必要がある。本論文で使用した降雨要因及び図中で用いた番号を表-1、各降雨要因の定義については図-1に示す。表-1 中の実効雨量 (⑧, ⑨) は、過去の時間雨量ほど現在時点への影響が小さくなるように、累積雨量を修正した指標である。時刻 t における半減期 T の実効雨量 $R(t)$ は次式で定義される。

$$R(t) = \sum_{\tau=0}^t 0.5^{(t-\tau)/T} r(\tau) \quad (1)$$

ここで $r(\tau)$ は時刻 $\tau (\tau \leq t)$ における時間雨量を示す。実効雨量の計算上の開始点 ($\tau=0$) については、網干²⁾の知見や、土石流の警戒避難基準雨量に関する指針³⁾等を参考に、一連降雨の開始時刻の 14 日前とした。

また、ラフ集合による重要要因抽出を実施するためには、連続値を離散的なカテゴリーに変更（離散化）する必要がある。本論文では、各要因において、カテゴリー数がほぼ同一となるよう、表-2に示す間隔で離散カテゴリー化した。

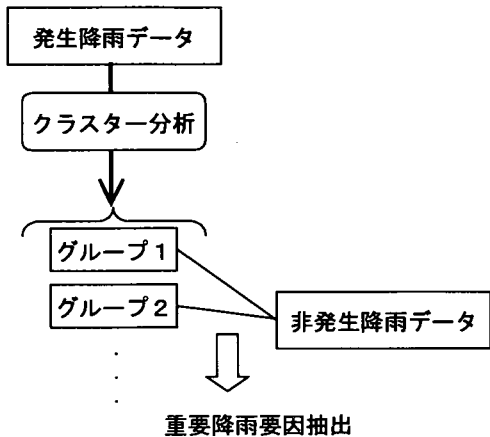


図-2 重要降雨要因の抽出プロセス

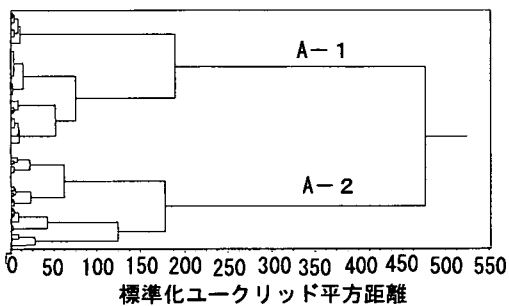


図-3 安山岩データにおける発生降雨のデンドログラム

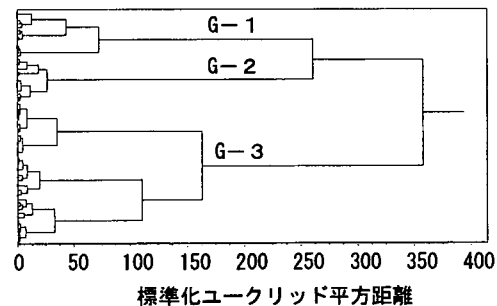


図-4 花崗岩データにおける発生降雨のデンドログラム

(2) クラスター分析の適用

図-2に本論文における重要降雨要因の抽出プロセスを示す。始めに発生降雨のデータに対してクラスター分析を適用し、発生降雨をいくつかのグループに分類する。次に、非発生降雨データと、各グループの発生降雨データを組み合わせたデータを作成し、ラフ集合論に基づいて重要な降雨要因を抽出する。

クラスター分析に際しては、距離については標準化ユークリッド平方距離を採用し、結合方法についてはウォード法によった¹⁰⁾。

安山岩データに対してクラスター分析を適用した場合のデンドログラムを図-3に示す。ここで80件の発

生降雨のデータを2種類のグループに分類する(両グループの標準化ユークリッド平方距離は476.8613)。本論文では、これらの発生降雨をそれぞれA-1、A-2と呼ぶ。降雨数は、A-1が49降雨、A-2が31降雨である。

他方、花崗岩データにおけるデンドログラムを図-4に示す。花崗岩データにおいては、73件の発生降雨のデータを3種類のグループに分類する。本論文では、これらの発生降雨をそれぞれG-1、G-2、G-3と呼ぶ。G-1とG-2の標準化ユークリッド平方距離は261.1950、G-1及びG-2とG-3の間の標準化ユークリッド平方距離は358.5463となった。降雨数は、G-1が15降雨、G-2が14降雨、G-3が44降雨である。

3. ラフ集合によるがけ崩れ発生降雨の重要要因抽出

(1) ラフ集合論による重要要因抽出手法

降雨とがけ崩れの関係の例として、ラフ集合論の概念を示す。規模が類似した2回の降雨において、一方の降雨ではがけ崩れが発生しなかったにもかかわらず、他方では発生することがある。このとき、降雨要因の類似した「発生降雨」及び「非発生降雨」のデータが混在することになる。

複数の要因を有するデータの値を離散的なカテゴリーとした場合、各要因のカテゴリーが同一であっても、結果属性(上の例においてはがけ崩れ発生・非発生)が異なるデータを「矛盾データ」と呼び、矛盾データを含んだデータの集合をラフ集合と呼ぶ。他方各要因のカテゴリーが同一で、かつ結果属性がすべて同一なデータを「整合データ」と呼ぶ。

要因の組み合わせによって、矛盾データ、整合データの集合は変化する。要因の組み合わせが与えられたとき、整合度を以下のように定義する。

$$\text{整合度 (\%)} = (\text{整合データ数} / \text{全データ数}) \times 100 \quad (2)$$

要因数を増加させることにより、整合度は増加する。一方、要因数が同じであっても、組み合わせによって整合度は異なる。そこで、本論文では筆者らの既往研究と同様の重要要因抽出手法を適用する。具体的には以下の通りである。

- ① 整合度の要求水準を設定する。
- ② 要因数が1つの場合の整合度を求め、要求水準と比較する。少なくとも1つの要因において整合度が要求水準を上回った場合、最小必要要因数は1となる。
- ③ すべての要因について、整合度が要求水準を下回っていた場合、2つの要因の組み合わせに関する整合度を求め、要求水準と比較する。

表-3 A-1の重要要因

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	整合度(%)
○	○	○				○		○	77.5
○		○		○		○		○	73.13
○	○	○		○				○	71.88
○		○			○	○		○	71.88
	○	○			○	○		○	71.25

表-4 A-2の重要要因

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	整合度(%)
			○		○			○	95.07
				○	○			○	95.07
		○		○	○				94.37
○				○	○				92.96
		○		○				○	92.96

④ 以下順次要因数を増加させ、整合度が要求水準を初めて上回った時点における要因数を最小必要要因数とする。

さらに、最小必要要因数の組み合わせのうち、整合度の上位数種類に含まれる要因を、重要要因として抽出する。

(2) 安山岩データへの適用結果

表-3及び表-4に安山岩データのA-1、A-2における重要要因を示す。A-1においては、基準時刻における累積雨量(①)、基準時刻以前0~4時間区間の累積雨量、最大時間雨量(②、③)、基準時刻10時間以前区間の最大時間雨量(⑦)、及び半減期72時間の実効雨量(⑨)などが重要要因として特定されている。一方A-2においては、基準時刻以前5~9時間区間の最大時間雨量(⑤)、基準時刻10時間以前区間の累積雨量(⑥)、及び半減期72時間の実効雨量(⑨)などが重要要因となった。

図-5及び図-6に、A-1における重要要因の②、及びA-2における重要要因の⑥によって発生降雨、非発生降雨の雨量の分布を示す。図-5(上)から、A-1においては基準時刻以前数時間の雨量を示す②によって発生降雨と非発生降雨が分離されていることがわかる。つまり、A-1の降雨によって引き起こされたがけ崩れは、数時間の間に多量の降雨を経験した後直ちに発生している。対照的に、基準時刻の10時間以前の雨量を示す⑥においては、発生降雨と非発生降雨の間に明確な差異は見られない(図-5(下))。

一方A-2においては、②によって発生降雨と非発生降雨が分離されることはない(図-6(上))のに対して、基準時刻10時間以前区間の累積雨量(⑥)においては発生降雨の70%前後が100mm以上の降雨であ

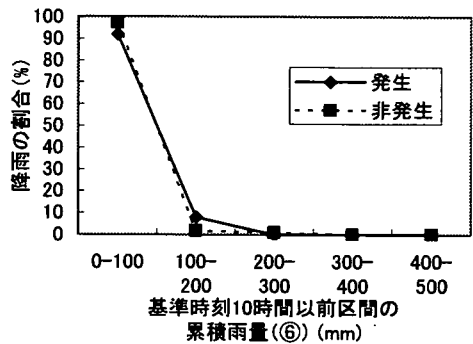
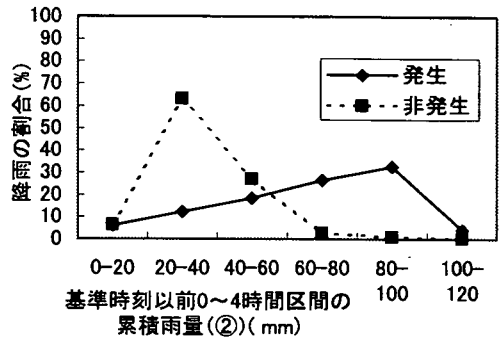


図-5 A-1の発生降雨における雨量の分布 (上:基準時刻以前0~4時間区間の累積雨量(②)、下:基準時刻10時間以前区間の累積雨量(⑥))

り、非発生降雨と分離可能である(図-6(下))。

以上の結果から、A-1、A-2の降雨はそれぞれ異なった降雨パターンを有することがわかる。また、安山岩斜面におけるがけ崩れには、A-1のように、比較的短時間の集中的降雨の直後に発生するがけ崩れと、A-2のように多量の降雨を経験した後、十数時間経過して発生するがけ崩れの2種類が存在することが推測

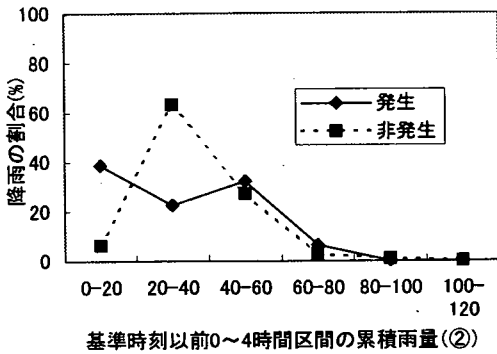
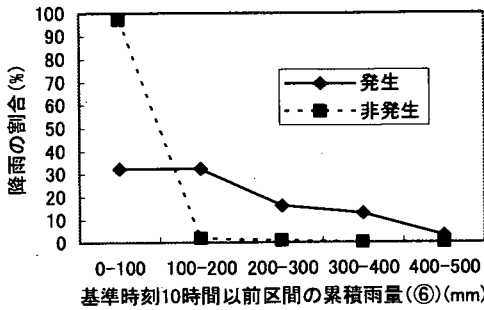


図-6 A-2の発生降雨における雨量の分布
(上:基準時刻以前0~4時間区間の累積雨量(②), 下:
基準時刻10時間以前区間の累積雨量(⑥))



される。

図-7及び図-8は、この点について検証するために、昭和50年及び昭和60年を例に、半減期72時間の実効雨量とA-1、A-2の発生降雨の基準時刻(がけ崩れの発生推定時刻)を示したものである。横軸の目盛りは1日を示す。A-1の基準時刻においては、実効雨量が急速に増加している。これは基準時刻において多量の降雨を記録していることを意味する。一方A-2の基準時刻においては、多くの場合増加が微小であるか、減少しているかのいずれかとなっている。これは、基準時刻において時間雨量が少量であるか、無降雨であることを示している。以上より、A-1の降雨によって発生したがけ崩れを「即発性がけ崩れ」、A-2の降雨によって発生したがけ崩れを「遅発性がけ崩れ」と呼ぶこととする。

(3) 花崗岩データへの適用結果

花崗岩データのG-1、G-2、G-3における重要要因を表5~表7に示す。G-1においては基準時刻における累積雨量(①)、基準時刻10時間以前区間の累積雨量(⑥)など、G-2においては半減期72時間の実効雨量(⑨)、基準時刻における累積雨量(①)、及び基準時刻10時間以前区間の累積雨量(⑥)など、G-3においては基

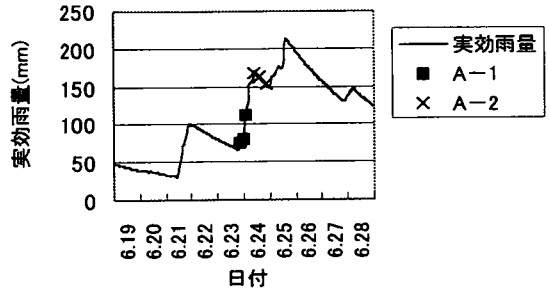


図-7 半減期72時間の実効雨量とA-1、A-2の発生降雨の基準時刻(昭和50年6月)

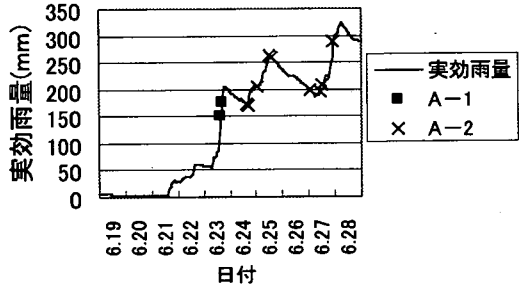


図-8 半減期72時間の実効雨量とA-1、A-2の発生降雨の基準時刻(昭和60年6月)

準時刻における累積雨量(①)、基準時刻以前0~4時間区間の累積雨量及び最大時間雨量(②、③)、基準時刻以前5~9時間区間の最大時間雨量(⑤)、基準時刻10時間以前区間の累積雨量(⑥)、基準時刻10時間以前区間の最大時間雨量(⑦)、及び半減期72時間の実効雨量(⑨)などが重要要因として特定されている。

G-1及びG-2について、いずれにおいても重要要因となっている基準時刻10時間以前区間の累積雨量(⑥)によって発生降雨、非発生降雨の雨量の分布を示す(図-9、図-10)。いずれのグループについても、発生降雨と非発生降雨が分離されていることから、これらの降雨によるがけ崩れは安山岩データにおけるG-2と同様の遅発性がけ崩れであると考えられる。

一方G-3においては、6要因を用いても整合度は70%に達しない。これは、発生降雨と非発生降雨における各降雨要因の値が類似しており、分離が困難なことを意味している。また抽出された重要降雨要因には基準時刻以前0~4時間区間の要因から基準時刻10時間以前区間の要因まで多数含まれており、他のグループのような顕著な特徴は見られない。従ってG-3に關してがけ崩れ発生に至る降雨パターンの抽出は困難である。以下ではG-3に属する降雨によって発生したがけ崩れを「偶発性がけ崩れ」と呼ぶこととする。

以上より、花崗岩データにおいては、安山岩データと異なり、遅発性がけ崩れ(G-1、G-2)と、非発生降

表-5 G-1の重要要因

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	整合度(%)
○		○							100.00
○						○			100.00
○					○				98.56
					○	○			98.56
					○			○	98.56

表-6 G-2の重要要因

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	整合度(%)
								○	100.00
○									96.37
					○				88.41
						○			80.43

表-7 G-3の重要要因

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	整合度(%)
○		○		○	○	○		○	67.86
○	○	○		○		○		○	67.26
○	○	○		○	○			○	66.67
	○	○		○	○	○		○	66.07
○		○	○	○	○			○	64.29

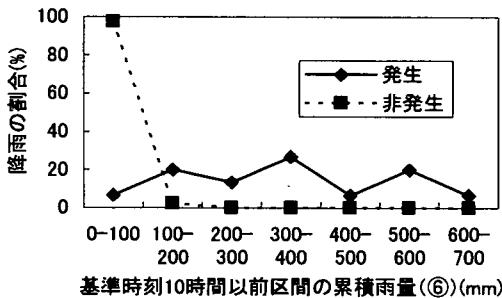


図-9 G-1の発生降雨における雨量の分布
(基準時刻10時間以前区間の累積雨量(⑥))

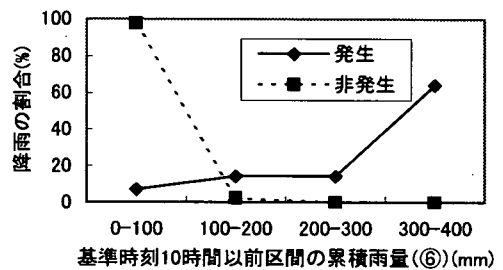


図-10 G-2の発生降雨における雨量の分布
(基準時刻10時間以前区間の累積雨量(⑥))

雨との判別が困難な偶発性がけ崩れ(G-3)の2種類が存在することが明らかとなった。安山岩データとは異なり、即発性がけ崩れのパターンが存在しない。

花崗岩斜面においては、降雨の規模が比較的小さい場合にも崩壊が発生する可能性が高いことが指摘されている¹¹⁾。本論文の結果からも、花崗岩斜面においては、直前数時間の雨量が少ない場合であっても十数時間以上前に多量の降雨を経験していればG-1、G-2のタイプの崩壊が発生する可能性があることが明らかとなった。また、G-3のタイプの崩壊は偶発性が高く、

通常がけ崩れが発生しないような降雨であっても崩壊の危険性が存在していることがわかる。

以上の結果から、それぞれの岩種について、がけ崩れ発生に至る降雨パターンが複数存在することが明らかとなった。岩種により降雨パターンが異なる理由としては、不連続面の形成過程の違いが考えられる。花崗岩は、節理面に沿った深層風化が進行しやすいという特性を有している^{12),13)}。一方、花崗岩と比較した場合、安山岩は節理面などの不連続面の形成が顕著ではない。以上のような不連続面の形成過程の違いが、雨

水の浸透性に影響を及ぼし、がけ崩れを引き起こす降雨パターンとの差異を生じさせている可能性が考えられる。

次章では、上に挙げた要因とがけ崩れ発生に至る降雨パターンとの相関について検討するため、急傾斜地崩壊危険箇所点検結果を用いて統計的検定を実施する。

4. 地形要因との相関に関する検討

がけ崩れ発生に至る降雨パターンに差異が生じる理由として、基盤岩の亀裂や風化の程度などが考えられる。恩田ら¹⁴⁾は、基盤岩に亀裂が多い場合、亀裂を経由する降雨流出のピーク時刻が、降雨量のピーク時刻から遅れる傾向があることを示している。遅発性がけ崩れは、このような降雨流出の遅れによって引き起こされた可能性がある。一方網干⁹⁾は、風化が進行した花崗岩斜面においては、当日の雨量が少ない場合であっても、過去十数日間に多量の降雨を経験していれば、がけ崩れが発生することがあり得ることを示している。さらに、がけの傾斜度、植生などの要因の影響も考えられる。

そこで本章では、カイ2乗検定を平成8年度の山口県の急傾斜地崩壊危険箇所点検結果から得られる地形データに適用し、グループの違いと、各地形要因におけるカテゴリ間の度数分布との間に相関があるか否かを検討する¹⁵⁾。2つの分類基準A,Bが存在し、それぞれがr種類の、s種類のカテゴリを有している場合、A,Bの間の連関表は表-8のように与えられる。ここで n_{ij} は基準Aにおいてカテゴリiに属し、基準Bにおいてカテゴリjに属するデータの度数を表す。また a_i, b_j はそれぞれ基準Aのカテゴリi、基準Bのカテゴリjに属するデータの総数を表す。

このときAとBが独立である(相関がない)ということを検定仮説とした場合、検定統計量は次式により与えられる。

$$\chi^2 = \sum_i \sum_j \frac{(n_{ij} - \frac{a_i b_j}{n})^2}{\frac{a_i b_j}{n}} \quad (3)$$

有意水準を α とした場合、式(3)の値が自由度 $(r-1)(s-1)$ のカイ2乗分布における判定点 χ^2_α を上回っている場合、検定仮説は棄却され、AとBの間には何らかの相関が存在することになる。一方式(3)の値が χ^2_α を下回っている場合は、AとBの間に相関が存在しないという検定仮説は承認される。

本論文で分析の対象とするがけ崩れのデータにおいては、分類基準A,Bはそれぞれ①個々の地形要因と②2.及び3.に示したグループ分けに対応する。表-9に、安山岩データ、花崗岩データについてそれぞれ個別の地形要因ごとにカイ2乗検定を実施した結果を示す。グループ分けは、安山岩データについてはA-1(即発性がけ崩れ)とA-2(

表-8 連関表

	B_1	B_2	...	B_j	...	B_s	計
A_1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1j}	...	n_{1s}	a_1
:	:	:		:		:	:
A_i	n_{i1}	n_{i2}	...	n_{ij}	...	n_{is}	a_i
:	:	:		:		:	:
A_r	n_{r1}	n_{r2}	...	n_{rj}	...	n_{rs}	a_r
計	b_1	b_2	...	b_j	...	b_s	n

表-9 グループと地形要因の相関に関するカイ2乗検定結果

地形要因	安山岩データ		花崗岩データ	
	χ^2 値	有意水準	χ^2 値	有意水準
傾斜度	6.29	11.07	5.65	11.07
高さ	1.58	5.99	1.65	7.82
斜面方位	6.86	14.07	5.57	14.07
斜面形状	5.70	15.51	4.88	14.07
横断形状	3.26	7.82	2.67	9.49
遷急線	1.12	5.99	0.99	5.99
地表の状況	0.01	3.84	0.97	7.82
表土の厚さ	2.80	7.82	5.70	15.51
地盤の状況	0.37	5.99	3.27	7.82
岩盤の亀裂	-	-	1.42	3.84
斜面と不連続面 傾斜関係	3.02	11.07	6.80	11.07
断層・破碎帯の有無	-	-	-	-
風化状況	0.00	3.84	2.62	5.99
植生の種類	5.92	9.49	3.88	11.07
樹木の樹齢	5.92	7.82	3.23	11.07
伐採根の状況	2.20	3.84	0.75	3.84
調査斜面・崩壊履歴	1.80	5.99	5.44	5.99
隣接斜面・崩壊履歴	1.30	5.99	0.05	5.99
湧水	1.66	5.99	3.65	7.82
対象斜面と 活断層距離	-	-	0.04	3.84

遅発性がけ崩れ)、花崗岩データについてはG-1、G-2(遅発性がけ崩れ)とG-3(偶発性がけ崩れ)のそれぞれ2種類とした。

表-9の結果から、安山岩データ、花崗岩データのいずれについても、全地形要因において検定仮説は棄却されず、グループ分けと地形要因の間に有意な相関は存在しないことがわかる。岩盤の亀裂や、風化状況等の要因においても、検定統計量は χ^2_α を下回っている。すなわち、現状で取得可能なデータの範囲内においては、即発性がけ崩れが発生する可能性の高いがけと遅発性がけ崩れが発生する可能性の高いがけ(安山岩データの場合)、遅発性がけ崩れが発生する可能性の高いがけと偶発性がけ崩れが発生する可能性の高いがけ(花崗岩データの場合)を地形要因によって判別することは困難である。このことは、地形とがけ崩れに至る降雨パターンが無相関であるということ必ずしも意味しない。し

かし、斜面ごとがけ崩れが発生し得る降雨パターンを特定し、危険性を個別に評価するためには、より詳細な調査が必要となろう。

以上の結果より、現状においては、斜面防災上、どのがけにおいても、いずれのタイプのがけ崩れも発生し得ると想定した上で、次のような対応が必要となると考えられる。

- ・ がけ崩れの前測に際しては、本論文で示したグループごとに個別の前測モデルを構築する。
- ・ 一連の降雨において、短時間の多量の降雨が発生した場合、即発性がけ崩れが発生する可能性が高まるため、避難命令を発令すべきと考えられる。一方避難命令解除の決定に際しては、遅発性がけ崩れの危険性が十分小さいことを確認する必要がある。
- ・ 花崗岩データ中の偶発性がけ崩れ (G-3) は、類似した条件下でがけ崩れが発生しなかったケースが多数存在するため、予測が困難なタイプのがけ崩れであると考えられる。がけ崩れ発生限界雨量線の設定を目的とした既往の研究¹⁾においても、非発生降雨との判別が困難な発生降雨が存在することが明らかとなっている。今後の斜面防災においては、予測困難ながけ崩れが存在することを事前に住民に周知することも重要となる。

5. おわりに

以上、本論文では、がけ崩れと降雨の関係を明らかにすることを目的として、降雨データに対してラフ集合論に基づいた重要要因抽出手法を適用した。安山岩データに関しては、比較的短時間の集中的降雨の直後に発生する即発性がけ崩れと、多量の降雨を経験した後、十数時間経過して発生する遅発性がけ崩れの2種類のタイプが存在することが明らかとなった。一方花崗岩データに関しては、遅発性がけ崩れと、判別困難な偶発性がけ崩れが存在することが明らかとなった。

さらにカイ2乗検定の結果から、現状で取得可能なデータの範囲内においては、これらのグループ分けとがけの地形要因の間には有意な相関は存在しないことを示した。

今後は、降雨とがけ崩れとを結びつける媒体である地下水の挙動についても分析の対象とする必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 倉本和正, 鉄賀博己, 菊池英明, 守川倫, 門間敬一, 古川浩平: 急傾斜地における斜面要因を考慮したがけ崩れ発生限界雨量線の設定手法に関する研究, 土木学会論文集, No.658/VI-48, pp.207-220, 2000.
- 2) Pawlek, Z.: Rough Sets, International Journal of Computer and Information Sciences, Vol.11, pp.341-356, 1982.
- 3) 中村昭: ラフ集合—その基本概念と知識情報, 数理科学, No.373, pp.78-83, 1994.
- 4) 中村昭: ラフ集合と論理・推論, 数理科学, No.374, pp.86-91, 1994.
- 5) Nakayama, H., Hattori, Y. and Isii, R.: Rule Extraction based on Rough Set Theory and its Application to Medical Data Analysis, proceeding of 1999 IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics, Vol.5, pp.131-132, 1999.
- 6) 榊原弘之, 倉本和正, 菊池英明, 中山弘隆, 鉄賀博己, 古川浩平: ラフ集合を用いたデータマイニングによるがけ崩れ発生要因の抽出に関する研究, 土木学会論文集, No.658/VI-48, pp.221-229, 2000.
- 7) 荒木義則, 古川浩平, 松永悟, 小笠原貴人, 石川芳治, 水山高久: 土石流危険渓流における地形特性を考慮した土砂崩壊の発生限界線の設定に関する研究, 土木学会論文集, No.574/VI-36, 33-47, 1997.
- 8) 建設省河川局砂防部砂防課: 土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針(案), 1984.
- 9) 網干寿夫: 集中豪雨とマサ土斜面の崩壊, 施工技術, Vol.5, No.11, pp.39-46, 1972.
- 10) Anderberg, M. R.: クラスター分析とその応用, 西田英郎 監訳 内田老鶴圃, 1988.
- 11) 芦田和男, 江頭樹治, 青井博志: 豪雨時の山腹崩壊に関する資料的解析的研究, 京都大学防災研究所年報, No.29, B-2, pp.309-327, 1986.
- 12) 関陽太郎: 建設技術者のための岩石学, 共立出版, 1976.
- 13) 最新建設防災ハンドブック編集委員会編: 最新建設防災ハンドブック, 建設産業調査会, 1983.
- 14) 恩田裕一, 小松陽介, 辻村真貴, 藤原淳一: 降雨流出ピークの遅れ時間の違いからみた崩壊発生時刻予知の可能性, 新砂防, Vol.51, No.5, pp.48-52, 1999.
- 15) 森田優三, 久次智雄: 新統計概論, 日本評論社, 1993.

(2001. 4. 12 受付)

ANALYSIS ON CHARACTERISTICS OF THE RAINFALLS CAUSING SLOPE FAILURES BASED ON ROUGH SET THEORY

Hiroyuki SAKAKIBARA, Takeharu SATO, Kazumasa KURAMOTO,
Hirotaka NAKAYAMA, Hiromi TETSUGA and Kohei FURUKAWA

In this paper, the methodology for detecting critical properties using rough set theory is applied to the rainfall data in Yamaguchi prefecture, for the purpose of analyzing the relationship between rainfall and slope failures. It is shown that there exist two types of slope failures, "immediate failures" and "late failures," in andesite slopes. On the other hand, "late failures" and "accidental failures" could happen in granite slopes. The result of χ^2 test shows that there is no significant correlation between geological properties of slopes and the type of slope failures, in the data which can be obtained.