

簡易に判読可能な地形特性による 崩壊危険斜面の抽出に関する研究

THE STUDY ON EXTRACTION OF THE DANGER SLOPE USING SIMPLE TOPOGRAPHIC FACTOR

片渕 敏夫¹・大石 博之²・内藤 忠史³・中山浩章⁴

Toshio KATAFUCHI, Hiroyuki OOISHI, Tadashi NAITO and Hirotoshi NAKAYAMA

¹九州電力(株)宮崎支店技術部日向土木保修所 (〒883-8533 日向市北町1丁目112番地)

E-mail: Toshio_Katafuchi@kyuden.co.jp

²西日本技術開発(株)調査解析部 (〒819-0395 福岡市中央区渡辺通1丁目1-1)

E-mail: h-ohishi@wjec.co.jp

³九州電力(株)宮崎支店技術部日向土木保修所 (〒883-8533 日向市北町1丁目112番地)

E-mail: Tadashi_Naitou@kyuden.co.jp

⁴九州電力(株)宮崎支店技術部 (〒880-8544 宮崎市橘通西4丁目2番23号)

E-mail: hirotoshi_nakayama@kyuden.co.jp

Key Words: slope disaster, data mining, rough sets, topographic factor, topographic reading

1. はじめに

発電設備周辺の斜面で発生する降雨を誘因とした土砂災害は、電力事業に影響を与えるだけでなく周辺の地域社会に対して多大なる損害を与える恐れがある。発電設備を管理する電力会社では、これまでも施設の維持・管理の一貫として、斜面の調査や監視を実施してきた。しかしながら、調査対象となるのは日常的な設備巡視の中で危険が認められた箇所や、実際に災害が発生してしまった箇所など、既にリスクが顕在化したものが多く、予防的なリスク対応を理想としながらも実際には事後対応となってしまいうケースが多く、リスク管理上実現には課題を有した状況であった。特に、小規模な斜面崩壊や落石の発生などについては、発生頻度は高いにもかかわらず、その予兆を捉えることが難しいことから、この傾向が強かった。

そこで、本研究では予兆を捉えることが難しい小規模な斜面災害のリスクが潜在する斜面を抽出するための地形条件の特定に取り組んだ。ここでは、既往の調査実績から降雨に伴う小規模崩壊の発生が想定された斜

面(あるいは実際に発生した斜面)の情報を統計的な手法(ラフ集合¹⁾)を用いて分析し、災害の危険度が高いと評価される斜面に共通する地形的な条件を探索することを試みた結果を報告する。既往の研究¹⁾では詳細な調査データに基づく解析が実施されており、そこで導かれた災害発生・非発生ルールは専門的な判読結果から得られた地形・地質要素によって構成されたものであったが、本研究の基礎データは平易に判読できる地形要素のみで構成するものとし、一般的な技術者が自らの技量において災害の危険性を持った斜面を抽出するためのルールを求めることに主眼をおいた。

2. 発電設備周辺での斜面調査の概要

発電設備を管理する電力会社においては、斜面維持管理のための調査内容を定めたマニュアルを策定している。ここではカルテ形式の調査表(図-1)が定められており、現地の地形・地質状況や構造物におけるクラック等変状の発生状況を記録することとなっている。さらに、道路防災点検²⁾の「安定度評価表」を利用し、点数

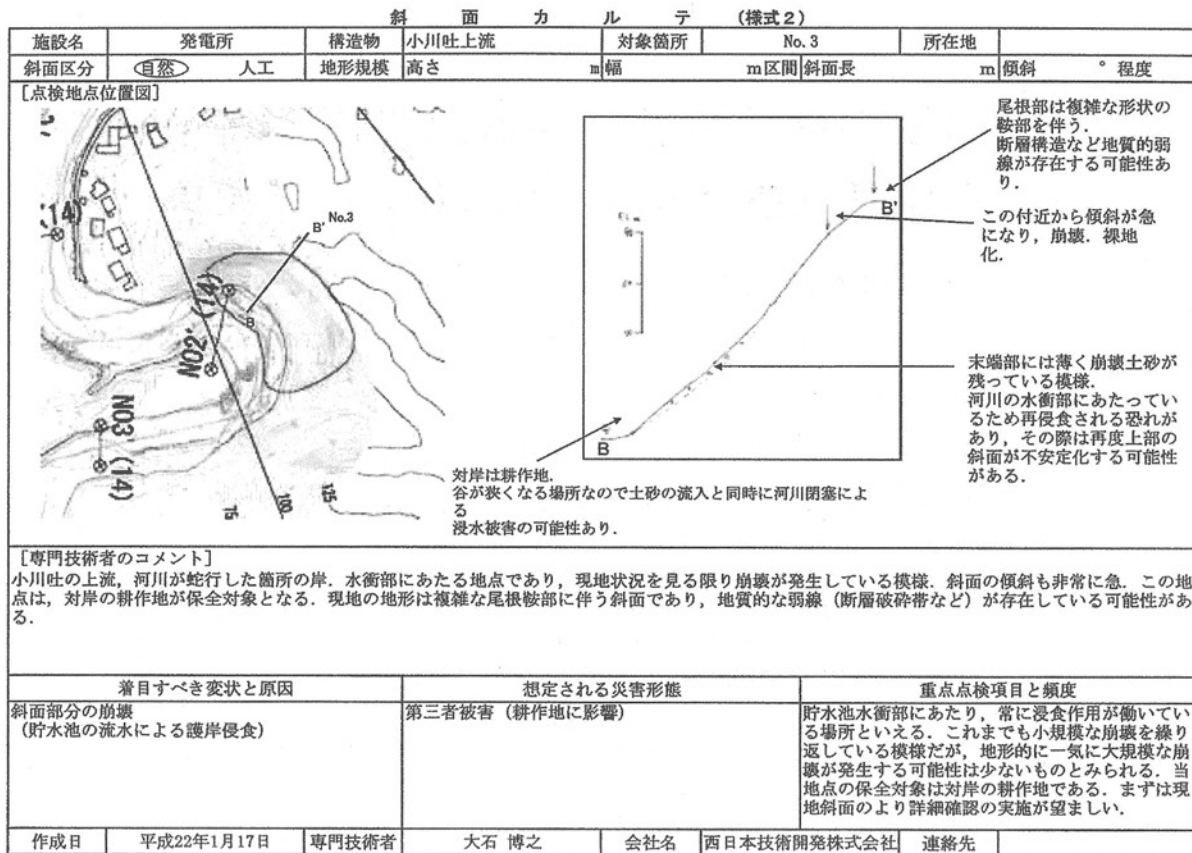


図-1 斜面カルテの記載事例。調査はカルテに加えて道路防災総点検要領に準じた安定度評価表を併用して行われる。

による斜面の危険度評価も実施している。安定度評価表は技術者が地形、地質に関する現地調査を行った上で危険度を点数評価するものである。本研究では、これらの調査資料の記載事項および評価点に着目し、斜面災害の危険が潜在する地形条件を特定するにあたり、斜面カルテならびに安定度調査表に記載された地形要素と危険性評価結果の関係を分析した。

3. リスク箇所抽出のための地形条件の分析

危険な斜面を予測するための地形条件を特定するには、過去の調査実績から地形要素の組み合わせと危険性評価結果との関係を分析することが必要となる。本研究ではこの分析を行う方法として、データマイニング手法の一種であるラフ集合を利用した。

(1) ラフ集合の概要

データマイニング(Data mining)とは「データからの知識発掘」を意味する言葉であり、大規模なデータベースから発見されたパターンやルールを知識ベースとして蓄積・学習し、新しい知識を発見・学習するプロセスを指す。ラフ集合はデータマイニングを行うための手法の一つであり、類似と近似を基本概念として、膨大に蓄積されたデータベースの有する分離性を低下させずに簡

約化を行い、客観的に重要なルールを導き出すことができる分析法である。図-2 にラフ集合の概念図を示す。この例では、全体集合を2つの要因を用いて9個の領域に区分しても部分集合は完全に分離されていない。このように領域分類によって完全に分離されない集合をラフ集合という。そして、この領域分類により定義された区分がルールである。本研究では、要因に地形要素を用い、データ種類の定義を斜面の危険・安全判定とすることで「災害発生危険の有するものと判断される斜面の地形ルール」を導き出していく。

求めるべきルールは、できるだけ汎用性を有したものであり、かつ判定精度の高いものである必要がある。

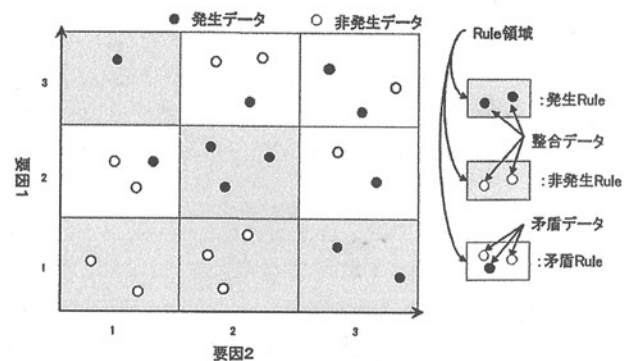


図-2 ラフ集合の概念図

そこで、分析から得られるルールを汎用性および判定精度の指標により評価していく。ラフ集合ではルールの種類(ここでは斜面が危険か安全か)とデータ種類が整合している場合、そのデータを整合データと呼び、矛盾する場合には矛盾データと呼ぶ。ラフ集合ではこの整合・矛盾データの数によりルールの評価を行う。ルールの精度を表す尺度として式(1)に示す確信度が、またルールの汎用性を表す尺度としては式(2)に示すサポートを用いる。

$$\text{確信度} = \frac{\text{ルール領域内の整合データ数}}{\text{ルール領域内の全データ数}} \quad (1)$$

$$\text{サポート} = \frac{\text{ルール領域内の全データ数}}{\text{全データ数}} \quad (2)$$

(2) 分析対象データの概要

分析の対象とするデータとして、宮崎県下水力発電施設付近で得られた既往の斜面調査データ(55箇所分)を収集した。このデータに記載されている斜面はいずれも堆積岩層(四万十累層群および宮崎層群の砂岩・頁岩類)の地質帯の中に位置するものであり、概括的には共通した地質条件の下にあるものと考えられる。よって、本研究で探索する危険斜面の条件とは地形の条件として表現されるものに限定して考察するものとした。

ラフ集合で分析を行うためには、各斜面の地形要素と危険度評価結果を対にしたデータセットを作成する必要がある。本研究では、過去の調査記録(カルテ等)をもとに、このデータを作成した。地形要素についてはカルテ・安定度調査表に多くの要素が記載されている。中でも危険度評価に関連すると推察されるものは、単純な地形量よりも、不安定斜面特有の微地形要素であるものと考えられる。しかしながら、本研究の目的は詳細調査を必要とする斜面を抽出するための一次抽出基準を作成することから、基礎データが地形図しか得られないような状態でも高度な地形判読技術を必要とせずに取り出すことができる要素の方が良いと考え、カルテの記載内容などを吟味した上で、以下の5つの要素を採用した。

①地形量要素

- ・斜面勾配
- ・斜面高さ

②地形特性要素

- ・河川の浸食可能性(水衝部)
- ・等高線の乱れ(斜面上の凹凸)
- ・連続した急崖

なお、ここでいう等高線の乱れとは、等高線間隔の不均一な状況を指す。表層の堆積物等に動きのある斜面

では表面形状に凹凸が生じることから、等高線に粗密が現れる。平滑斜面の等高線が平行線の並びになるのに対し、上記のような粗密のある等高線がみられる地点を「等高線の乱れ」のある箇所として判読するものである。図-3~5に地形量要素以外の地形特性の代表的な事例を示す。これらの要素は一般的にも災害の危険を有した斜面にみられる地形条件であり、かつ地形図のみの情報から比較的容易に取り出すことができるのである。

各斜面の危険度評価データに関しては、安定度評価表による評価点を参照することとした。ラフ集合の分析を行うためにはデータを「危険」・「安全」の2種に分類する必要がある。これまで電力会社が実施してきた既往の調査実績の中に、評価点決める現地調査に際して熟練

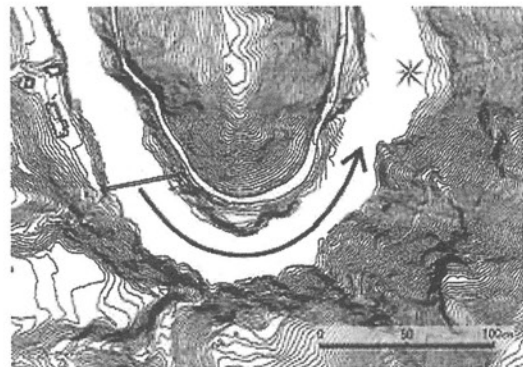


図-3 河川の水衝部に該当する箇所の例



図-4 等高線に乱れが認められる箇所の例



図-5 急崖地形が連続して見られる箇所の例

表-1 分析用データセット (一部抜粋)

地点No.	地形量		地形特性			教師値
	高さ	傾斜	河川の浸食可能性	等高線の乱れ	急崖	
	50m以上:4 30-50m:3 15-30m:2 15m以下:1	70°以上:3 45-70°:2 45°以下:1	該当:3 一部該当:2 非該当:1	顕著:3 あり:2 なし:1	連続して存在:3 部分的に存在:2 なし:1	安定度評価表 60点以上:1 60点未満:0
1	2	1	1	1	1	0
2	4	1	1	3	3	1
3	4	1	1	2	1	0
4	3	2	3	3	1	1
5	1	2	1	2	1	0
6	2	2	1	1	2	0
7	4	1	1	3	2	0

表-2 ラフ集合によるルール抽出結果

	要素			安定度評価	含まれるデータ数	整合データ数	矛盾データ数
	3 河川の浸食可能性	4 等高線の乱れ	5 急崖マーク				
Rule1	非該当	なし, あり	なし	60点未満	16	16	0
Rule2	非該当	なし	*	60点未満	3	3	0
Rule3	*	なし	なし	60点未満	2	2	0
Rule4	*	顕著	*	60点以上	16	10	6
Rule5	*	あり, 顕著	連続して存在	60点以上	3	2	1
Rule6	該当	あり, 顕著	*	60点以上	3	2	1
					43	35	8

技術者が現地確認を行い、定性的な判断から斜面の危険性を3段階で評価することを試験的に平行して実施した例がある。そこでの両者の関係について表したのが図-6である。ここに示されるように、熟練技術者が「不安定」と判断する斜面は概ね評価点が60点を超える地点であった。本研究ではこの情報を参考に、評価点60点以上の斜面には「危険」の教師値:1を、60点未満には「安全」の教師値:0を与えることとした。以上に則って作成したデータセットの一部を表-1に示す。

4. リスク箇所抽出条件の分析結果

前章で作成したデータを対象にラフ集合による分析を実施したところ、表-2のような結果を得た。これら6つのルールに55箇所中43箇所の斜面が該当し、サポート値は78.2%に達している。またルールに該当する43箇所の斜面に対して、35箇所がルールと整合した評価点を得られていることから、確信度は81.40%と算出することができ、ルールの精度も高いものといえる。評価点が60点を超えていた危険な斜面について着目すると、全データ中に含まれていた17箇所のうち、14箇所が「評価点60点以上」のルールに該当(60点以上のルールの整合データに該当)しており、82.35%を正しく判定できていることが認められ、危険な斜面を抽出するためのルールとしては妥当性を有したものと評価した。斜面が危険(評価点60点以上)となるルールは以下のようなものであった。

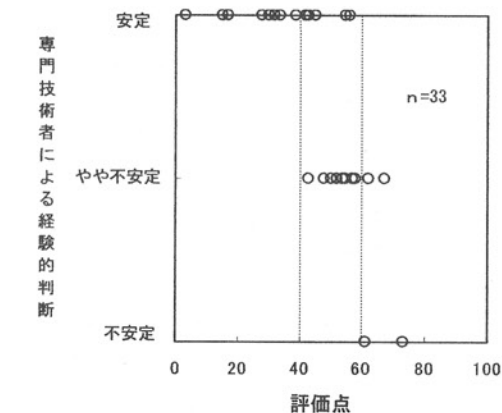


図-6 安定度評価表の評価点と専門技術者による危険性判断の相関事例(九州電力調査資料)

- ①等高線の乱れが顕著にみられる箇所
 - ②等高線の乱れがみられ、かつ急崖が連続して存在する箇所
 - ③水衝部に該当し等高線の乱れがみられる箇所
- 以上のことから、危険斜面の一次スクリーニングを実施する際には、上記ルールに該当する箇所を詳細調査候補として抽出するものとした。

5. モデル地区を対象とした現地確認結果

前章までの分析結果を利用し、実際に水力発電所地点を対象とした危険斜面の抽出を試みた。本研究での対象は宮崎県日向市の大内原ダム貯水池周辺である。

(1) リスク箇所の抽出結果

リスク箇所の抽出作業には貯水池周辺を網羅して作成されていた 1/5000 の航測地形図および空中レーザー測量成果を利用した(等高線間隔 2m で作図). 空中レーザー測量成果は広範囲にわたる詳細地形図を得ることができることから, 地形調査には大いに有用な資料である. 図-7 に地形要素による危険斜面抽出結果図の一部を示す. ここでは貯水池内の 11 箇所の地点が危険の可能性のある斜面として抽出された. 判読する地形要素が平易なものであるため, 作業者によるリスク箇所の抽出は容易であった.

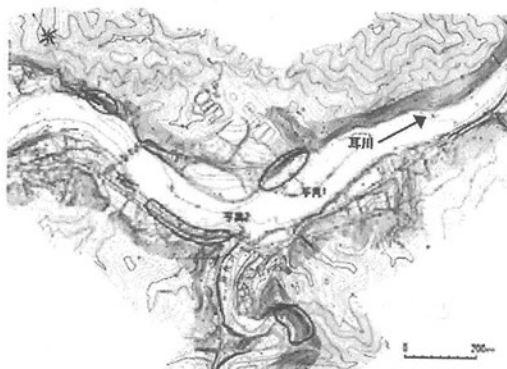


図-7 一次スクリーニング実施結果(一部抜粋). 楕円で囲まれたエリア付近が抽出条件に合致した箇所.

(2) 現地確認の結果

危険斜面予察図が完成した時点で実際に大内原ダムの現地調査を行い, 危険斜面の可能性があると予測された箇所の状況を確認すると共に, 一次抽出で見逃した危険箇所が無かったかを検証した. ここでは, 地形図で判読していた①河川の水衝部, ②連続した急崖箇所, ③等高線の乱れ といった地形要素と, その組み合わせによるルールに留意しながら, 斜面状況の確認を行った.

その結果, 一次抽出で抽出された箇所の全てにおいて現地調査でも災害発生危険性が認めることができ, 妥当な抽出がされていたものと評価できた.

ただし, 幾つかの斜面については既に対策工・復旧工が実施されており, 現状では問題のない状態にあるものも存在した. 既設工の実施状況については地形図で判断することは難しく, 現地確認ではじめて明らかにすることができる項目と考えられる.

以上のような現地調査の結果, 地形要素の判読による一次抽出段階で斜面災害が潜在するとした斜面のうち, さらに詳細な調査の対象とすべき斜面を抽出(二次抽出)すると5箇所となった. これら5箇所の斜面については既往の斜面維持管理手順に従い斜面カルテ及び安定度調査表を作成した. このうち, 安定度評価表での評価点に着目すると, 1箇所で58点が得られた以外はいずれも60点以上(61~65点)の評価となった.

(3) 危険性が予測できなかった箇所についての考察

一方, 地形要素の判読に基づく一次抽出で選ばれていなかった場所で崩壊が発生していた箇所が3箇所認められた. これらについては, 個別の条件があるものと考え, それぞれに考察を行った.

ダムサイト上流右岸部にみられた不安定箇所(護岸斜面の崩壊跡, 道路面の沈下あり)は水衝部とは全く逆の側に位置しており, かつその他の地形条件も抽出要素には合致していない場所のため一次抽出されていない



写真-1 一次抽出で抽出された箇所の現地状況の例. 崩壊跡が認められ, かつ背後には建築物が隣接.



写真-2 一次抽出で抽出された箇所の現地状況の例. 斜面形状から崩壊発生の履歴がある箇所と認められるものの, 現状では既に対策実施済み.

かった. 同箇所はより広域レベルの地形判読調査により見いだされた地すべり地形の末端部に隣接した位置にある斜面である. 斜面災害リスクを評価していく上では広域的な地形判読による評価も重要な要素であると考えられる.

一方ダム上流約 2km 左岸側の地点には斜面崩壊の発生箇所が認められた. この地点は一見すると貯水池の形状が直線的になる箇所にあたっており, 水衝部とは認めにくい地点であった. しかしながら, 貯水池の湖底

の地形を調査した深淺測量成果を確認すると、水際線は直線的な形状を呈しているものの湖底部に蛇行した流路地形が形成されていることが確認された(図-8)。この水面下の地形に関しては、現地調査時が丁度貯水池の水位低下試験中であつたことから現地でも確認できた。この地形は支流からもたらされた土砂の堆積などにより形成されたものとみられる。上記崩壊箇所は、この蛇行地形の水衝部に位置し、出水時などの流速分布を考慮すると浸食作用がより強く働く箇所であつたことが推察される。ダム上流 1km 右岸部にも一次抽出に漏れた小規模崩壊箇所が認められたが、これについても同様な湖底地形が認められた。これまで斜面の調査では陸上の情報が主体的に扱われてきたが、今回の調査結果によれば水面下の湖底地形も非常に重要なものであり、水際線の形状では読み取れない流芯の蛇行を確認することで水衝部となる可能性のある地点を抽出していくことが有効になるものと考えられる。

6. まとめ

以上の結果から、発電設備周辺の斜面から危険箇所をスクリーニングする方法として、比較的容易に判読できる地形要素の組み合わせに着目することがある程度有効であることが判明した。本研究で取り上げた地形要素はいずれも平易なものであるものの、既往の調査実績を分析することで調査対象地域の災害特性を良く反映した組み合わせを特定したことによる効果が大きかったものと考えられる。

また、今回の調査対象地域では河川の水衝部に当たる箇所を抽出することが重要な作業となるが、この時陸上の地形だけでなく水面下の湖底地形を考慮し水際線の形状では読み取れない流芯の蛇行を確認することも必要である。水力発電所ダムの貯水池ではマルチビーム測機を用いた深淺測量が実施されている箇所があるが、水面下の地形を面的に把握することができる同手法は特に有用な情報をもたらすものとする。

さらに、本研究ではあくまで小規模な斜面を対象とした調査・分析を実施したが、広域的な地形判読による大規模な不安定斜面の分布情報についても有用であることがわかった。広域的な調査が実施されている場合は、この情報を積極的に取り入れていくことが望ましいものと考えられる。

以上のことにより、本研究の成果は効率的かつ確実な斜面維持管理を実施していく上で有用な知見になるものと考えられる。ただし、分析の基礎となる調査実績データの数が少なく、また限られた地域のものであつたことを考えると、今後より汎用的な技術とするためには更

なる事例に対する試行が不可欠となる。



写真-3 ダム上流約 2km 左岸部の崩壊。下写真は崩壊地点の下流からの遠景。湖底の蛇行流路が認められる。

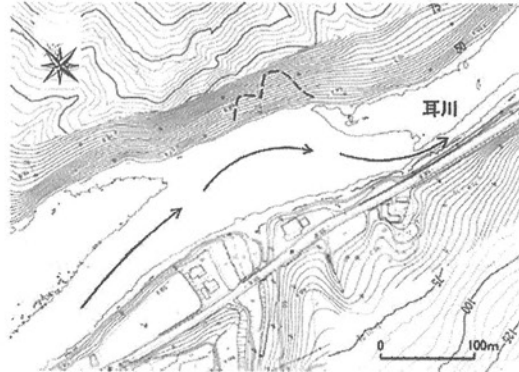


図-8 ダム上流2km 付近の地形。湖底部はマルチビーム測機での深淺測量成果によるもの。流路の蛇行が読み取れる。

参考文献

- 1) 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-48 221-229, 2000.
- 2) 財団法人 道路保全技術センター:道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等), 2007.

(2010. 5. 14 受付)