

数量化理論 類を用いた層雲峡地域の岩盤評価

The rock evaluation analyzed by quantification theory II at Sounkyo Gorge Area

橋本 祥司* 菊地 宏吉** 水戸 義忠***

Shoji HASHIMOTO, Kohkichi KIKUCHI, Yoshitada MITO

斜面崩壊の発生原因は複雑で多岐にわたるが、一定の地域に限定した場合、比較的類似しているものと考えられる。本研究では、北海道層雲峡地域において、道路沿いの岩盤斜面を対象として地形・地質などの項目について現地調査を行い、そのデータを数量化理論類を用いることにより、斜面安定度に関与する因子の抽出およびその影響度の評価を行った。この地域には、第四紀の熔結凝灰岩が広く分布しており、柱状節理が発達していることが特徴である。

解析の結果、層雲峡地域では「不連続面の組合せ」、「岩盤ブロックの鉛直長さ」、「岩盤ブロックの背面への定着性」などが、斜面安定度に大きな影響を与えていることが検証された。

キーワード：岩盤評価、数量化理論 類、柱状節理

There are a wide variety of occurrence causes of slope failure, but when limiting to the small, localized area, the causes are similar comparatively. This study identifies factors affecting the stability of slopes around Sounkyo Gorge and examines the degree of the effects of these factors through the application of Quantification Theory . In this area Quaternary welded tuff is widely distributed, where columnar joint structures are developed.

As a result, it is verified that factors such as “combination of discontinuous surfaces”, “vertical length of rock block” and “progress of open crack” play a major role on slope stability at Sounkyo Gorge Area.

Keywords: *rock evaluation, quantification theory , columnar joint*

1. はじめに

近年発生した岩盤崩落事故を契機として、道路沿いの岩盤斜面の崩落に関する適切な評価手法を開発し、不安定な斜面を抽出することが急務となっている。斜面崩壊の発生原因は多岐にわたるが、一定の地域に限定した場合、その発生原因は比較的類似しているものと考えられる。これまでの報告で、新第三紀火山岩類・火山砕屑岩類の分布する日本海沿岸地域および中生代の日高変成岩類・花崗岩類が分布する襟裳岬周辺地域での解析結果を紹介してきた。今回は、柱状節理を特徴とする第四紀熔結凝灰岩が分布する層雲峡地域の岩盤斜面を対象として現地調査を実施した。¹⁾²⁾この地域では、1987年6月に天城岩の壁面が高さ百数十m、幅約15mにわたって崩壊しており、北海道において岩盤崩落の頻度が高い地域の一つである。本研究では、その調査結果を基に数量化理論を用いて、岩盤崩落に關与する因子の抽出および影響度の評価を行ったので報告する。

2. 層雲峡地域の概要

2.1 地形

層雲峡は、北海道のほぼ中央部の上川郡上川町に位置している。この地域の地形は、約30,000年前に噴出した大雪火山の御鉢平カルデラを起源とする層雲峡熔結凝灰岩からなる火砕岩台地を、石狩川が侵食して形成された。火砕岩台地の標高は800~950mであり、峡谷との比高は約200mにも及び、石狩川沿いに函状の地形が約25km余り続いている。層雲峡熔結凝灰岩には、堆積後の冷却過程で生じた柱状節理が発達し、80°~垂直の急斜面を形成し、その下部には崖錐堆積物からなる緩斜面となっている。³⁾⁴⁾

2.2 地質

既存の文献³⁾⁴⁾⁵⁾を参考に、この地域の地質について述べる。

層雲峡地域に分布する地質は、下位から白亜紀の日高累層群の粘板岩、第四紀砂礫層、降下軽石層、層雲峡熔結凝灰岩などと、これらを覆う崖錐堆積物、氾濫原堆積物、現河床堆積物からなる。図-1に層雲峡地域の模式地質断面図を示す。

基盤をなす粘板岩は、黒色で亀裂が発達し脆弱である。その上に分布する砂礫層や降下軽石層も、未~弱固結である。層雲峡熔結凝灰岩は、下部の厚さ約10mの非熔結部と上部の熔結部からなり、層厚は全体として約180mである。上部の熔結部は、幅約1.5~2.0mの柱状節理の発達が顕著で、長柱状の岩盤ブロックが80°~垂直の急斜面を形成しており、その断面は四角形か五角形のものが多い。

場所により、クーリングユニットやフローユニットに起因する板状節理、凍結融解作用により二次的に生じた割れ目も存在する。崖錐堆積物は、熔結凝灰岩層より下で堆積し、その厚さは最大約5mで、0.5~数m大の熔結凝灰岩の岩盤ブロックと細粒の基質からなっている。

2.3 気象

調査地域において、月平均気温が0°を境として変化する月は4月および11月であり、月平均最低気温が初めて0°を上回る月は5月である。³⁾

3. 調査概要

調査は層雲峡地域の道路沿いの165箇所の斜面を対象として詳細に行った。調査項目については、過去に行った調査を基に、地形・岩質・不連続面・水理環境をデータシートとして整理した。これらの項目は、斜面安定に関連した既往の文献資料から選定したものである。今回、層雲峡の地域特性である柱状節理を考慮して新たに、「岩盤ブロックの鉛直長さ」ならびに「岩盤ブロックの体積とブロック下部の状況」という2つの項目を設定した。

一方、岩盤斜面の崩落に関して、豊富な経験と知識を持つ専門家によって判定された斜面安定度を、高いものから低いものへと順に「岩盤安定度 A」、「岩盤安定度 B」、「岩盤安定度 C」、「岩盤安定度 D」と4個の群に区分した(相対的安定度評価)。この相対的安定度評価と次章で述べる解析結果の的中率を向上させることにより、専門家の判断を介さなくても、一般技術者が岩盤崩落に関する斜面評価を簡易に行うことが可能になると考えられる。それぞれの

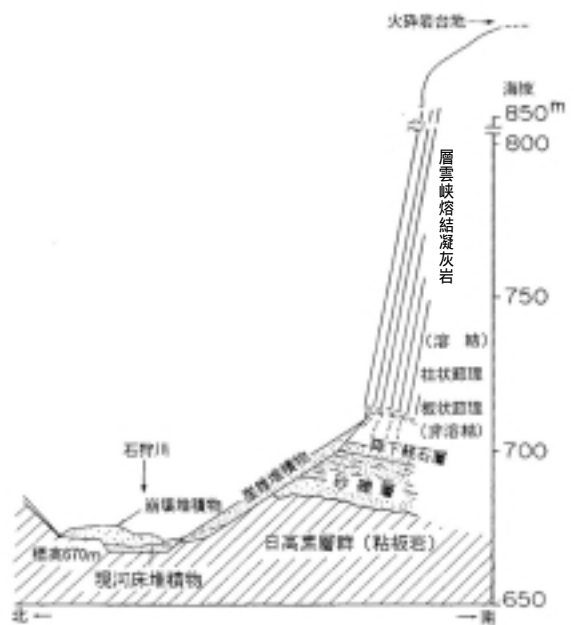


図-1 層雲峡地域の模式地質断面図



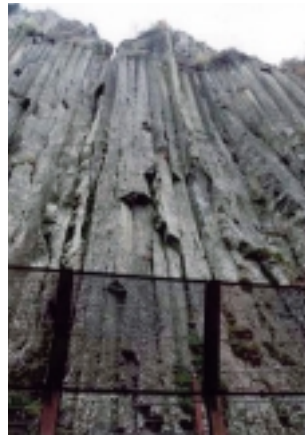
岩盤安定度 A



岩盤安定度 B



岩盤安定度 C



岩盤安定度 D

写真 - 1 層雲峡地域における岩盤安定度評価例

群についての一例を写真 - 1 に示す。

4. 数量化理論 類による分析

4.1 数量化理論 類による岩盤評価

多変量解析のうちで、質的な形で与えられる外的基準を質的な要因に基づき予測または判別する方法が数量化理論類である⁶⁾。ここでいう“数量化”とは、本来数値で表されていない質的な因子を一定の手法で数値に変換することを意味する。逆に、この理論においては、定量的因子もカテゴリカルなデータとして取り扱われる。数量化理論類は、「目的変数（外的基準）のある場合」の解析手法の一つであり、説明変数（ここでは調査項目）のデータ形式であるカテゴリデータから、質的な形で与えられる外的基準を、判別または予測する手法である⁴⁾。外的基準は、過去の崩壊回数や崩壊地の規模などのデータで区分すべきであるが、記録として残っている崩壊例が少ないため、ここでは専門家が判定した岩盤安定度（安定度 A、B、C、D）を外的基準として用いている。数量化理論による斜面安定度判定の最大の特徴は、斜面勾配のような定量的因子と同様に地質構造、斜面形状、および植生のような定性的・カ

テゴリカルな因子も数量的に扱えることにある。

アイテムの選定およびカテゴリ区分に関しては、最初の分析で可能な限り多くの数を設定し計算を行った。その結果を基に、外的基準との相関性が低いアイテム、カテゴリごとのデータ数に偏りがあり統計的に有意性がないアイテム、他のアイテムとの相関性が高く、外的基準との相関性が低いアイテム、外的基準と物理的に不適切な関係を示すアイテムについてはアイテムの棄却、あるいはカテゴリの統合を行い、新たなアイテムおよびカテゴリの組み合わせで再計算を行った。以上のような検討および再計算を繰り返し、最適と思われるアイテムおよびカテゴリを選択している。今回新たに追加した、アイテム「岩盤ブロックの鉛直長さ」については「5 m以下」_ⓐ、「5～10m」_ⓑ、「10～15m」_ⓒおよび「15m以上」_ⓓの4つのカテゴリに、「岩盤ブロックの体積とブロック下部の状況」については「100m³以上」_ⓐ、「10～100m³で下部欠如」_ⓑ、「50～100m³で下部存在」_ⓒ、「10～50m³で下部存在または10m³以下で下部欠如」_ⓓおよび「それ以外」_ⓔの5つのカテゴリに区分した。

表 - 1 カテゴリースコア表

項目名	カテゴリ名	箇所数	カテゴリースコアグラフ																	
			-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3								
斜面の平均勾配	～60度	31	-0.3260																	
	60～70度	6	-0.2797																	
	70～80度	24	0.0202																	
	80度～	104	0.1086																	
斜面の比高	～60m	29	-0.0044																	
	60m～	136	0.0009																	
斜面垂直形状	平面型	120	-0.0166																	
	突出型	45	0.0442																	
斜面水平形状	平面型・谷型	157	-0.0012																	
	尾根型	8	0.0229																	
道路位置	～50m	70	0.1723																	
	50m～	95	-0.1269																	
小崩壊	なし	128	-0.0292																	
	ある	37	0.1010																	
崖錐堆積物の比高	～10m	27	-0.2155																	
	10～30m	35	-0.0995																	
	30～50m	24	-0.0148																	
	50m～	79	0.1222																	
最大転石径	～0.5m	69	0.0157																	
	0.5～2.0m	39	0.0135																	
	2.0m～	57	-0.0283																	
オーバーハング	なし	108	-0.0107																	
	ある	57	0.0202																	
表土の厚さ	なし	63	0.0690																	
	0～1m	34	-0.0130																	
	1～5m	68	-0.0574																	
風化	風化	59	0.0616																	
	新鮮	106	-0.0343																	
岩盤ブロックの背面への定着性	定着性低い	59	0.2908																	
	定着性高い	33	-0.0109																	
	岩盤ブロックなし	73	-0.2301																	
不連続面の組合せ	柱状節理流れ目緩斜節理	60	0.2050																	
	柱状節理差し目緩斜節理	42	0.1670																	
	柱状節理のみ	19	0.1190																	
	柱状節理なし	44	-0.4904																	
岩盤ブロックの鉛直長さ	0～5m	80	-0.2491																	
	5～10m	11	0.1127																	
	10～15m	19	0.1784																	
	15m～	55	0.2782																	
岩盤ブロックの体積とブロック下部の状況	100m³～	43	0.1726																	
	10～100m³下部欠如	19	0.1498																	
	50～100m³下部存在	10	0.1363																	
	10～50m³下部存在・1～10m³下部欠如	15	0.0388																	
	上記以外	78	-0.1566																	

4.2 外的基準に影響を及ぼす要因の分析

分析の結果得られたカテゴリースコアを表-1に、外的基準への影響度を表すアイテムのレンジと偏相関を表-2に示す。

これらの結果を基に検討を行うと、レンジおよび偏相関係数が比較的高い値を示したアイテムは「不連続面の組合せ」(レンジ：1位、偏相関係数：1位)「岩盤ブロックの鉛直長さ」(レンジ：2位、偏相関係数：5位)「岩盤ブロックの背面への定着性」(レンジ：3位、偏相関係数：2位)「斜面の平均勾配」(レンジ：4位、偏相関係数：3位)であり、これらのアイテムは層雲峡地域の岩盤斜面において、斜面安定度に影響を与える要因として重要であると考えられる。「不連続面の組合せ」については、柱状節理と流れ目緩傾斜節理の組合せが最も不安定であり、続いて柱状節理と差し目緩傾斜節理の組合せ、柱状節理のみ、柱状節理なしの順に不安定である。柱状節理なしは他のカテゴリーと比較して、著しく低いカテゴリースコアとなっている。「岩盤ブロックの鉛直長さ」については、長いものほどカテゴリースコアが高くなり、不安定であるといえる。「岩盤ブロックの背面への定着性」については、定着性の低いものがカテゴリースコアが高く(不安定)なった。ここで、定着性が低いとは岩盤ブロックが開口節理または大規模節理群によって囲まれているもので、定着性が高いとは岩盤ブロックが中規模節理群を含む不連続面で囲まれているものとして区分している。「斜面の平均勾配」については、勾配の急なものほど不安定であるが、特に70度を境界にカテゴリースコアに大きな差が認められる。

逆にレンジおよび偏相関係数が低い値を示したアイテムは、「斜面の比高」(レンジ：15位、偏相関係数：15位)、「斜面の水平形状」(レンジ：14位、偏相関係数：14位)、「オーバーハング」(レンジ：13位、偏相関係数：13位)、「最大転石径」(レンジ：12位、偏相関係数：12位)である。「斜面の比高」は日本海沿岸地域や襟裳岬地域での解析でも採用したアイテムであるが、この2地域では外的基準への影響度が高かったのに比べ、層雲峡地域では順位が低かった。「斜面水平形状」は平面型・谷型と尾根型に区分し、尾根型が不安定となった。外的基準との相関も低く、尾根型に属するサンプル数が極端に少ないため、信頼性は高くないと考えられる。

過去の崩壊履歴を表すアイテムとして、「小崩壊」に関してはあるもの、「崖錐堆積物の比高」に関しては高いものほど不安定という結果が得られた。「斜面垂直形状」については、現地の調査の結果、平面型と粗面型・凸型・上部突出型・中部突出型・下部突出型をまとめた突出型に区分した。平面型と比較して突出型が不安定となっている。「岩盤ブロックの体積とブロック下部の状況」については、ブロック下部の状況を下部存在と下部欠如とに区分したが、下部の状況に関わらず体積が100m³以上のものが最も不安定であり、下部存在、下部欠如の双方とも体積の大きいものほど不安定であるという結果が得られた。「表土の厚さ」に関しては厚いもの、「風化」に関しては新鮮なものが安定度が高いという結果になっている。

過去の崩壊履歴を表すアイテムとして、「小崩壊」に関してはあるもの、「崖錐堆積物の比高」に関しては高いものほど不安定という結果が得られた。「斜面垂直形状」については、現地の調査の結果、平面型と粗面型・凸型・上部突出型・中部突出型・下部突出型をまとめた突出型に区分した。平面型と比較して突出型が不安定となっている。

「岩盤ブロックの体積とブロック下部の状況」については、ブロック下部の状況を下部存在と下部欠如とに区分したが、下部の状況に関わらず体積が100m³以上のものが最も不安定であり、下部存在、下部欠如の双方とも体積の大きいものほど不安定であるという結果が得られた。「表土の厚さ」に関しては厚いもの、「風化」に関しては新鮮なものが安定度が高いという結果になっている。

4.3 分析精度の検討

数量化理論 類による分析精度を検討するにあたっては、得られた判別式によって外的基準が良好に区分されているか否かを評価する必要がある。この評価において重要な値は、相関比の最大値と推定群と実績群の一致率である。ここで、推定群とはサンプルスコアをもとに分類した岩盤安定度であり、実績群とは実際の現地調査で専門家に

表-2 外的基準への影響度

項目名	レンジ		偏相関	
不連続面の組合せ	0.6953	1位	0.6019	1位
岩盤ブロックの鉛直長さ	0.5273	2位	0.3792	5位
岩盤ブロックの背面への定着性	0.5209	3位	0.5817	2位
斜面の平均勾配	0.4346	4位	0.4186	3位
崖錐堆積物の比高	0.3377	5位	0.3617	6位
岩盤ブロックの体積とブロック下部の状況	0.3293	6位	0.2597	7位
道路位置	0.2992	7位	0.3960	4位
小崩壊	0.1302	8位	0.2474	8位
表土の厚さ	0.1264	9位	0.1814	10位
風化	0.0959	10位	0.1871	9位
斜面垂直形状	0.0607	11位	0.1041	11位
最大転石径	0.0440	12位	0.0849	12位
オーバーハング	0.0309	13位	0.0528	13位
斜面水平形状	0.0240	14位	0.0262	14位
斜面の比高	0.0053	15位	0.0087	15位

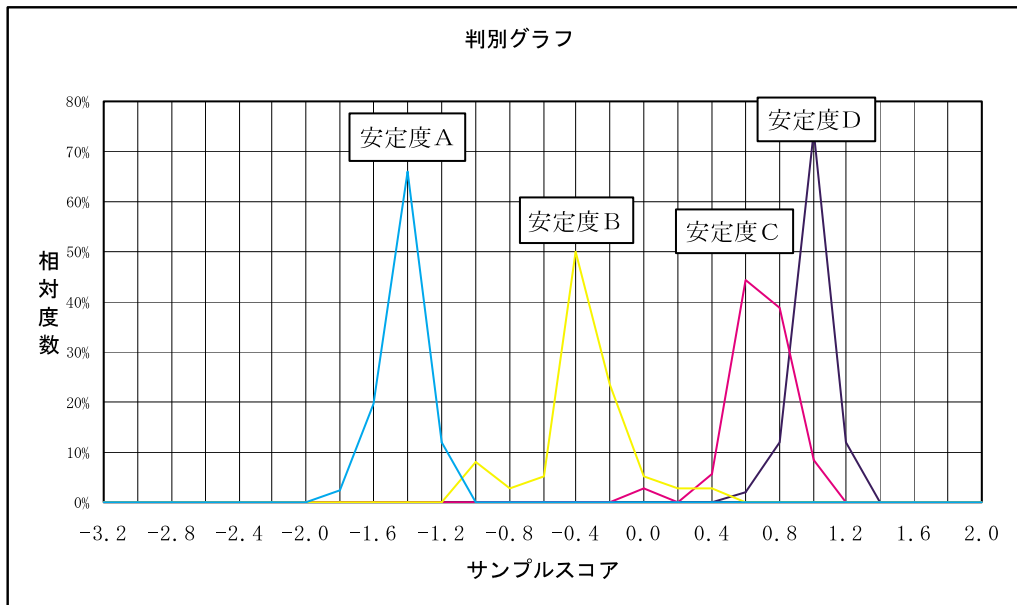


図 - 2 判別グラフ

よって判定した岩盤安定度である。

データの分析により決定されたカテゴリースコアを判別式に代入することにより、サンプルスコアを算出し、判別的中点を求めた。各地点のサンプルスコアの相対度数分布を判別グラフとして図 - 2 に示す。横軸はサンプルスコアの値、縦軸は相対度数をとっており、階級幅0.2としている。判別グラフから分析精度について検討する際、2つの相対度数分布が離れるほど精度は高く、近づくほど精度は低いと考えることができる。今回の結果では、「安定度 A」と「安定度 B」、「安定度 B」と「安定度 C」については相対度数分布グラフが離れており、精度は高いといえるが、「安定度 C」と「安定度 D」については重なり合う部分が多く、やや精度が低いと考えられる。

隣接する相対度数分布グラフの交差する点のサンプルスコアの値を判別的中点といい、その値はそれぞれ、「安定度 A」と「安定度 B」において -0.91485、「安定度 B」と「安定度 C」において 0.1530、「安定度 C」と「安定度 D」において 0.8329であった。判別的中点のサンプルスコアを境界として左右どちら側にあるかで、サンプルスコアの属する推定群が求められる。実績群と推定群から判別の中率を調べると、全165サンプル中152サンプルの実績群と推定群が一致し、判別の中率は92.1%と非常に高く、また、今回の分析で得られた相関比も0.970と高い値を示している。相関比、判別の中率の両方の結果から、今回の分析は十分な精度を有しているものと推定される。

5. まとめ

数量化理論 類を用いることにより、熔結凝灰岩からな

る層雲峡地域の道路沿い岩盤斜面の安定度に関する因子の抽出ならびにその影響度合の検討を行った。その結果、「不連続面の組合せ」、「岩盤ブロックの鉛直長さ」、「岩盤ブロックの背面への定着性」などこの地域の特徴である柱状節理に関連する因子が、斜面の安定性に大きな影響を与えていることが検証された。

柱状節理が発達する岩盤斜面は、崩壊形態が他の地域と比べて異なるため、今後の課題として、同じ地質や岩種が分布する地域においての結果との対比を行い、気候条件等の地域特性を明確にし、その地域特性を考慮に入れた岩盤斜面評価法を構築することが重要であると思われる。

参考文献

- 1) 橋本祥司・菊地宏吉・水戸義忠：数量化理論を用いた岩盤評価手法——北海道日本海沿岸地域を例として——、開発土木研究所月報、No 545、pp8-16、1998
- 2) 橋本祥司・菊地宏吉・水戸義忠：数量化理論を用いた岩盤評価手法 (その2)——北海道襟裳岬地域の分析——、開発土木研究所月報、No 555、pp9-18、1999
- 3) 層雲峡天城岩滑落調査委員会：層雲峡天城岩滑落調査報告書、1988
- 4) 勝井義雄、1987年北海道層雲峡結凝灰岩崩壊とその災害に関する調査研究、文部省科学研究費 突発災害調査研究成果重点領域研究「自然災害」総合研究班、1988
- 5) 日本の地質『北海道地方』編集委員会：日本の地質1 北海道地方、共立出版、1990
- 6) 有馬哲・石村貞夫：多変量解析のはなし、東京図書、1987



橋本 祥司*

北海道開発土木研究所
農業開発部
地質研究室
研究員



菊地 宏吉**

宇都宮大学客員教授
京都大学名誉教授



水戸 義忠***

京都大学大学院
工学研究科
助手