

雪崩危険度判定に関する一考察

○三好達夫、加治屋安彦、福澤義文、松澤勝、山際祐司（北海道開発土木研究所）
下澤徹也、三岡孝文（アジア航測株式会社）

1. はじめに

北海道内の国道では雪崩に対する各種対策工が実施され効果を発揮しているが、しばしば雪崩が発生し、通行止めになる事がある。この際の判断は適切かつ迅速に行われる必要がある。

そこで、地域特性を踏まえ、雪崩発生危険性を予測し、適切な道路管理体制を支援するために、自動的に雪崩危険度を判断、リアルタイムに監視、客観的判定が可能、既存の施設を活用できるというようなシステムの構築を最終目的と考えている。

本考察は、一般国道 453 号の支笏湖畔斜面における雪崩発生と気象条件等との関係を調べ、支笏湖畔の地域特性に適した雪崩危険度判定方法について検討した結果を報告するものである。

2. 一般国道 453 号支笏湖畔斜面の概況



図-1 調査対象地域

調査対象地域は、支笏湖畔の一般国道 453 号の区間である。対象区間の道路延長は 5 km 程度となっており、周辺にはアメダスや道路テレマックがある（図-1）。

また、調査対象斜面を尾根など地形状況に応じて、15 に分割した（図-2）。各斜面における雪崩発生区の想定については、「平成 12 年度一般国道 453 号千歳市支笏湖畔雪崩調査」¹⁾に基づき、それ以外は地形や植生により判断した。それによると雪崩発生区の標高は 350m から 720m で、平均斜度は 32 度から 39 度となっており、全般的に急峻な地形となっている。図-2 の網掛け部分は、植生の状況で、上部は裸地や灌木であり、中腹から脚部は樹高 8m 程度の広葉樹が多く占めており、筋状の部分は専ら草地で貧弱な植生となっている。

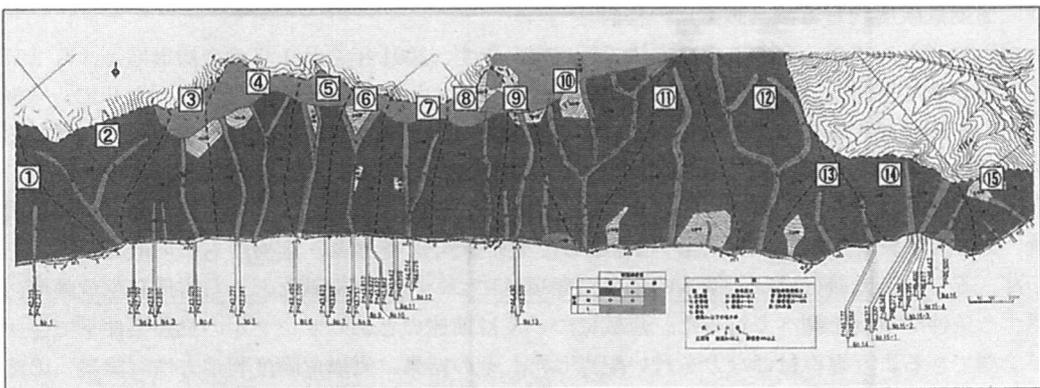


図-2 斜面・植生区分図

3. 既存の手法による雪崩危険度判定 (二次評価)

発生時期に関する既存の雪崩危険度判定 (二次評価) 手法として、DI を求める判別関数法 (以下、土研方式) を用い、2001 年 2 月 1 日の表層雪崩と 3 月 1 日の全層雪崩について DI を算出し、これらの雪崩の発生を予測できたかどうか検証した。この方法は気象データを用いて計算できるため、モニタリングを行う方法として適用性があると考えた。

評価する条件としては、北海道開発局全域 (地域セルの設定なし) の判別式 (表-1) を使用し、15 分割した各対象斜面で標高補正し危険度を算出、気象データは北奥漁道路テレメータのデータを使用した。その結果は表-2 の通りである。

土研方式 (D I)	
・表層雪崩	
$DI=0.0275 \times X_3 + 0.0150 \times X_{10} + 0.0558 \times X_{13} + 0.0720 \times X_{32} + 1.677$	
X_3	: 雪崩発生日降雪量
X_{10}	: 雪崩発生日積雪深
X_{13}	: 雪崩発生前々日平均気温
X_{32}	: 雪崩発生日最低気温
・全層雪崩	
$DI=-0.0410 \times X_3 + 0.1057 \times X_{17} + 0.2049 \times X_{22} - 0.0295 \times X_{38} + 0.442$	
X_3	: 雪崩発生日降雪量
X_{17}	: 雪崩発生前々日・発生前日の平均気温の差
X_{22}	: 雪崩発生前日最高気温
X_{38}	: 雪崩発生前々日・発生前日の日較差の和

表-1 判別式(北海道開発局全域)

斜面 No	2/1 表層雪崩 DI	3/2 全層雪崩 DI	3/1 全層雪崩前日 DI
①	0.9957	-0.4465	0.8296
②	0.6877	-0.6329	0.6431
③	0.5692	-0.7046	0.5714
④	0.3471	-0.8481	0.4280
⑤	0.3176	-0.8481	0.4280
⑥	0.2849	-0.8767	0.3993
⑦	0.3797	-0.8194	0.4566
⑧	0.2849	-0.8767	0.3993
⑨	0.4508	-0.7763	0.4997
⑩	0.4508	-0.7763	0.4997
⑪	0.3797	-0.8194	0.4566
⑫	0.6877	-0.6329	0.6431
⑬	1.0193	-0.4321	0.8439
⑭	0.8061	-0.5612	0.7148
⑮	1.1615	-0.3461	0.9300

表-2 DI 算出結果

この結果から、土研方式による雪崩危険度判定 (二次評価) について、表層雪崩では DI のピークが雪崩発生日に出現しており、適用性は高いと考える。また、全層雪崩では DI のピークが 1 日早く出現しているが、DI と雪崩発生日の関係を調べることにより適用性はあると考える。

しかし、雪崩の発生を予測・監視する上での土研方式における不十分な点としては、土研方式による雪崩危険度判定は日単位で算出するため、危険度を常時監視できるとは言い難い。また、DI は気温の影響を受けやすく、気温が高い時や変動が大きい時に危険度が高くなる。その他、表層雪崩の発生要因の一つである雪底の形成に影響する風速は考慮されていないことや融雪期などの全層雪崩に影響する降水量を考慮していないことがあげられる。そこで、土研方式による結果や上記の問題点を考慮し、より明確に、且つ、リアルタイム (毎時) に雪崩危険度を判定する手法 (以下、雪崩危険度判定法 (試案) とする) の検討を行った。

4. 雪崩危険度判定方法 (試案) の検討

検討に当たっては、次のような方法で行った。まず、2001 年 2 月 1 日の表層雪崩と 3 月 2 日の全層雪崩の発生日とその前後における気象条件 (図-3 (表層)、図-5 (全層)) を基に、雪崩の発生を予測できるよう意図的に判定できるものとした。判定方法は、表層雪崩、全層雪崩それぞれについて気象要因別、階級別に配点し、合計点数により危険度を判定するものとした。気象要因の項目として、表層雪崩は積雪深、降雪量、気温、風速で、全層雪崩は積雪深、降雪量、気温、降水量とした。その他の指標として土研方式 DI を表層・全層ともに考慮することとした。そして、階級分けは、基本的に各気象項目について既存文献などから雪崩発生危険度に関する条件や事例を調べて行った。点数については前述のとおりサンプルの気象条件下で発生が予測できるよう重み付けなどを行い配点した。その結果、雪崩危険度判定方法 (試案) の要素別階級別配点表は、表-3 (表層)、表-4 (全層) のとおりとなった。

要素		階級	配点
積雪深	毎時積雪深(h)	$50 \text{ cm} \leq h < 100 \text{ cm}$	1
		$100 \text{ cm} \leq h < 150 \text{ cm}$	3(*1)
		$150 \text{ cm} \leq h$	4
	積雪比(Δh)	$1.00 \leq \Delta h < 1.05$	1
		$1.05 \leq \Delta h < 1.40$	2
		$1.40 \leq \Delta h$	3
降雪量	24 時間累計降雪量(s)	$10 \text{ cm} \leq s < 30 \text{ cm}$	1
		$30 \text{ cm} \leq s < 50 \text{ cm}$	2
		$50 \text{ cm} \leq s$	3
気温	毎時気温(t)	$-7 \leq t < -3^\circ\text{C}$	1
		$-3 \leq t \leq 0^\circ\text{C}$	2
		雪前発生日1週間前平均気温が -10°C 以下で24時間累計降雪量が10cm以上	5(*2)
風速	3 時間平均風速(w)	$4 \text{ m/s} \leq w < 5 \text{ m/s}$	4
		$5 \text{ m/s} \leq w$	5(*2)
土研方式	DI	$DI \geq 0$	5(*3)

(*1):積雪が100cm以上になると雪崩が発生しやすくなるため、重みを置いて3ポイントとした。
 (*2):雪崩発生させる原因につながると思われることから、5ポイントとした。
 (*3):雪崩発生危険度を判定する上で重要な判断材料となるため、5ポイントとした。

表-3 要素別階級別配点表(表層雪崩)

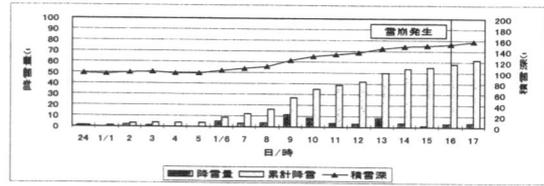


図-3 2001.2.1 における気象状況

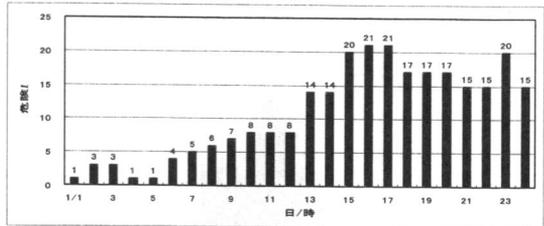
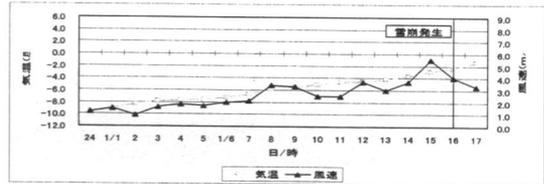


図-4 試算による 2001.2.1 における危険度推移

要素		階級	配点
積雪深	毎時積雪深(h)	$50 \text{ cm} \leq h < 100 \text{ cm}$	1
		$100 \text{ cm} \leq h$	2
	積雪比(Δh)	$0.8 < \Delta h < 1.0$	1
$\Delta h \leq 0.8$		2	
降雪量	24 時間累計降雪量(s)	$1 \text{ cm} \leq s$	1
気温	毎時気温が -4°C 。かつ、発生日前3日間平均気温以上	前々日最高気温が 0°C 以上。かつ、前日最高気温が 0°C 未満	1
			3(*1)
	前々日平均気温-3日前平均気温が 0°C 以下。かつ、前日平均気温-前々日平均気温が 0°C 未満。	雪前発生日1週間前平均気温が -10°C 以下	3(*1)
			5(*2)
降水量	発生前3日間最高気温(t8) 発生前3日間累計降水量(r)	$0^\circ\text{C} < t8$ and $1 \text{ mm} \leq r$	5(*2)
		土研方式	24 時間 DI

(*1):気温の変動は全層雪崩の発生要因として重要な要素であるため3ポイントとした。
 (*2):雪崩発生させる原因につながると思われることから、5ポイントとした。
 (*3):雪崩発生危険度を判定する上で重要な判断材料となるため、5ポイントとした。

表-4 要素別階級別配点表(全層雪崩)

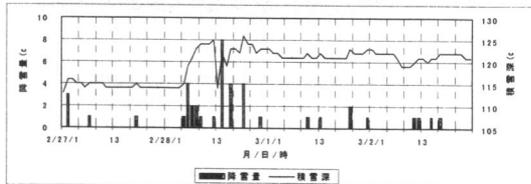


図-5 2001.3.2 における気象状況

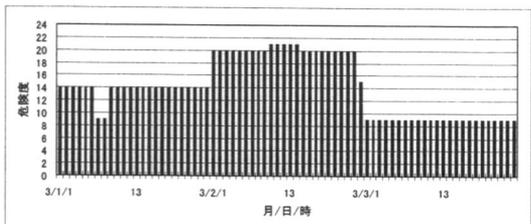
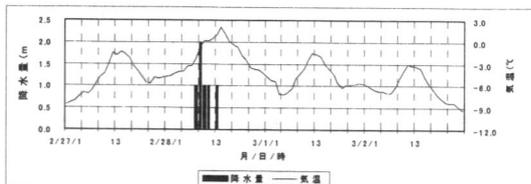


図-6 試算による 2001.3.2 における危険度推移

次に、表-3(表層)、表-4(全層)を用いて、2001年2月1日と2001年3月2日について、雪崩発生危険度を算出した。その結果はそれぞれ図-4、図-6のとおりとなり、図-4の表層雪崩では発生時刻と想定された16時から17時に21点となったことから、危険度が20点を越えた場合、雪崩発生の危険性が高いとした。同様に、図-6の全層雪崩でも10時から14時にかけて21点となったことから、危険度が20点を越えた場合、雪崩発生の危険性が高いとした。

5. 雪崩危険度判定方法（試案）の検証

雪崩危険度判定方法（試案）を用いて2001年12月から2002年3月15日における雪崩発生危険度を算出し、検証を行った。その結果の一部（図-7（表層雪崩））を以下に示す。

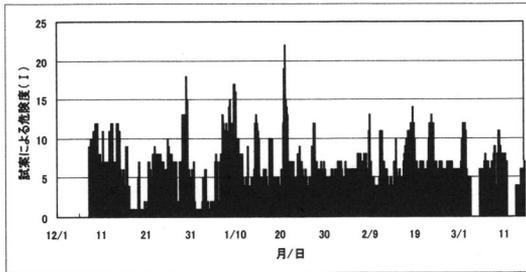


図-7 2002 冬期における危険度推移(表層雪崩)

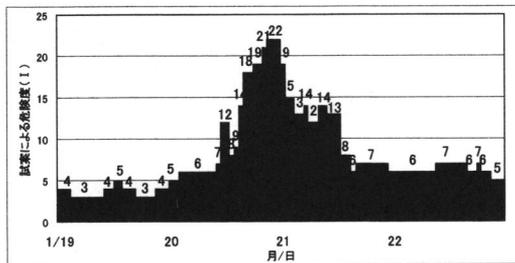
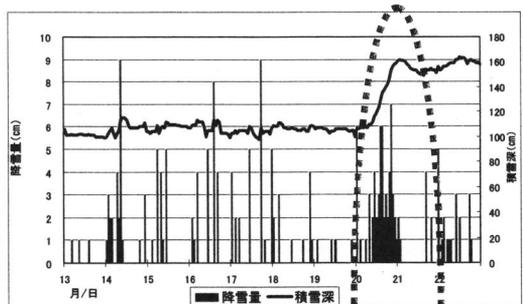


図-8 2002.1.20 における危険度推移(表層雪崩)

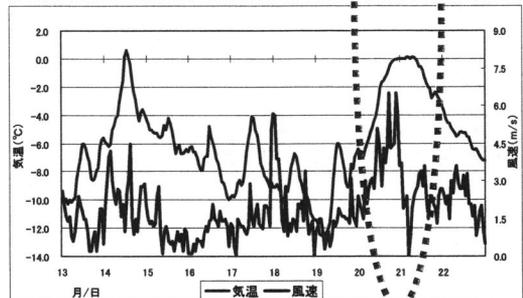


図-9 2002.1.20 前後における気象推移状況

図-7を見ると1月20日において20点を超えた。この部分を拡大したものが図-8で、21時から24時にかけて21点以上の値が出現したことから、この時間帯に表層雪崩が発生した可能性が高かったと考えられる。図-9は20日前後の気象状況で20日10時以降に連続的な降雪があり、21時には積雪深が150cmを超えた。また、気温は3時から上昇傾向を示し、風速も5m/sを超えたため、雪崩発生危険度の値が上昇したと推察されます。ただし、この時点で雪崩の発生を確認していない。実際、翌21日から大量の降雨ため、夜には国道が通行止めとなり、その後、支笏湖周辺で雪崩の発生が確認されていることから、対象斜面でも同様に発生した可能性がある。そうなる発生要因としては、降雪と降雨両方の影響が考えられるため、確実に予測出来たとは言えない。全層雪崩についても、表層雪崩と同様に危険度判定を行い、20点を超える日が出現したが、雪崩の発生を確認することが出来なかった。

6. まとめと課題・今後の予定

上記の結果、今回の試案は毎時に雪崩発生危険度を算出できる。発生予測は表層雪崩について比較的適応性は高いが、全層雪崩については低い。課題としては作成に用いた雪崩発生の事例が少ない。各気象要素の階級や配点の設定根拠が明確で無いものもある。合計点に応じた危険度ランクが設定されていない。使用した気象データは対象斜面の気象データではない。

今後は、まとめと課題を踏まえ、試案を修正・改良し精度向上を図るとともに気象データの自動収集並びに雪崩危険度を自動的に判定するシステムの構築を図りたい。

参考文献：1) 北海道開発局札幌開発建設部「一般国道453号千歳市支笏湖畔雪崩調査」報告書（平成13年3月）