

## なだれ斜面管理手法に関する検討



外狩 麻子\*



友利 方彦\*



鈴木 博人\*

なだれの発生による運行支障の可能性のある沿線斜面に対しては、適切な管理や積雪状況の監視を行う必要がある。この管理・監視方法に関しては、各現業機関がこれまでの技術経験等を基に災害警備・巡回点検計画を策定して対応している。そこで、最新の雪水分野における技術的知見や、現業機関で積み上げられた技術的経験を取り込んだなだれ斜面危険度評価方法の構築を試みた。作成した危険度評価方法を適用した危険度評価点の算定を試み、積雪状況の変化によるなだれ危険性の推移傾向には4つのパターンがあることが分かった。

●キーワード：なだれ、斜面管理、危険度評価、防護効果

### 1. はじめに

現在、地震・降雨・強風等に起因する災害に対して、東日本旅客鉄道株式会社では、ハード対策と併せて運転規制などのソフト対策が整備され、全社ルールとして実施している。しかしながら、雪害に関しては、各地方・線区での地域特性に対応した技術的経験に依存している部分が多い。なだれに関しても、旧日本国有鉄道時代に作成されたなだれ斜面管理指針案(S58版)を拠り所として、各現業機関が設ける災害警備や巡回点検の計画に則り対応が実施されている。作成から長期間経過したことにより、なだれ斜面管理指針案(S58版)の基本的な解釈に、現業機関毎に多くの技術的経験の積み上げが加えられ、結果として、対応方法にばらつきが生じているのが現状である。災害に対するリスク管理の観点からは、対応の統一性を保持したルールの基で管理が実施されていることが望ましい。

そこで、本研究では、なだれ斜面管理指針案(S58版)の基本的な考え方のフローに則り、最近の雪水分野での技術的知見、既往研究成果、現業機関で積み上げられてきた技術的経験および本研究で実施したデータ分析等による技術的根拠に基づいて、なだれの危険性に対する定量的評価方法を構築した。ここでは新たに、この危険性の評価に、防災対策で実施されるハード対策による防護効果を定量化して組み入れることを試みている。本稿では、なだれ斜面管理への適用を目的として、新たに構築したなだれ危険度評価方法について述べるとともに、この評価方法を用いて沿線斜面を対象に試算した危険度評価の結果について報告する。

### 2. なだれ危険度評価の考え方

なだれの潜在的危険性については、斜面でなだれが発生するかもしれないかを評価するなだれ発生危険性と、発生したな

だれが対象となる線路に到達して被害をもたらすかどうかを評価するなだれ到達危険性の2つの着眼点で評価する。この考え方は、なだれ斜面管理指針案(S58版)や既往の雪水分野のハンドブック<sup>1)</sup>においても採用されている。

上記の考え方を基に、2つの危険性の度合いを危険度(発生危険度と到達危険度)として、その掛け算でなだれ総合危険度を表現する。その際、発生危険度と到達危険度のそれぞれに、防災対策として実施されたハード対策による防護効果を反映することを、本研究では試みている。具体的には図1のフローのように、なだれ発生危険度となだれ到達危険度の双方それぞれに防護の効果を反映させ、これら危険度の積で得られた評価点を、なだれ総合危険度としている。

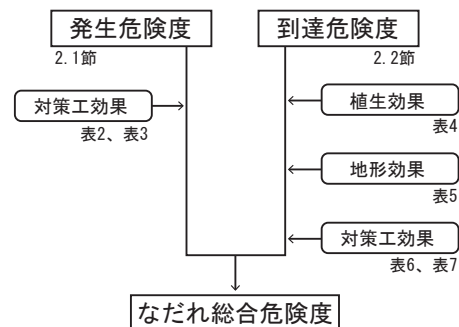


図1 なだれ危険度の算出フロー

#### 2.1 なだれ発生危険度

任意の斜面でなだれが発生する危険性をなだれ発生危険度とする。なだれが発生するかもしれないかは、事象データとして、発生・非発生のいずれかになる。これを、過去のデータを基にした確率統計的な観点から、なだれ発生の危険性を危険度の評点(=0~100の任意の数値)として算出する方法を構築する。以降各節で、発生要因の抽出設定から、評価点と発生確率の関係、及び防護効果の取り入れ方について述べる。

## 2.1.1 なだれ発生要因の設定

なだれは、地形（勾配・方位・比高・斜面類型など）、植生（疎密・常緑落葉・樹高・樹冠密度・林帯幅など）、気象（積雪・風向風速・温湿度・降水・日射など）の様々な要因が相互に複雑に絡み合った結果として発生するものである。これら要因のうち、なだれ発生に大きな影響を及ぼすと想定される有効な要因から代表的なものを選定し、それによって危険性を評価する方法が、実用的である。なだれ発生危険性評価の基本的な要素は、傾斜、植生、積雪深であり、

- ・最大積雪深が1m以上の地点、
  - ・なだれ防止林として有効な森林が生育していない地点、
  - ・斜面勾配が30～60°の地点、
- の条件が既往研究<sup>1)</sup>では挙げられる。

本研究では、上記3つ以外に雪庇、斜面方位などを要因の候補として、なだれ発生データ<sup>1) 2)</sup>（数量 $n=1012$ ）と同地域同冬季の非発生データ<sup>1) 2)</sup>（数量 $n=648$ ）を使用して数量化Ⅱ類で解析を行ない、要因の確定と各要因のカテゴリに対するスコアを算出した。ここで使用したなだれの発生・非発生の事象は、1981年（通称、S56年豪雪）の新潟県魚沼地方を主体とした北陸地方および北東北地方における冬季航空写真の判読から抽出している。算出したスコアを基に、ここでは要因として傾斜、植生、積雪深と雪庇の4つを選定した。このうち雪庇については、選定した他の3つの要因よりも寄与度が低かったため、影響が低い取扱いをすることとし、それよりも寄与度の低い要因候補は不採用とした。

## 2.1.2 要因別評価点の設定

2.1.1で算出される要因別階級別のスコアから、なだれ発生危険度の要因別評価点を設定した。スコアは正負の実数であるが、本研究では、評価点の数値を表1に示すように整数値とした。

正負の実数で算出される要因別階級別のスコアを評価点として正の整数として表現するために、その階級内のスコアの最小値がゼロとなるように全体を平行移動し、整数化した。この処理方法<sup>1)</sup>は、

$$I_s_i = \text{Int.} \{a(S_i - S_{min})\} \quad (1)$$

である。ここで、 $S_i$ :  $i$ 番目のスコア、 $S_{min}$ : スコアの最小値、 $I_s_i$ :  $i$ 番目の評価点（整数化処理後の数値）、 $a$ : 係数である。式(1)の $\text{Int.}$ により整数化処理をする際に、階級間のスコア差が小数点以下であると、階級の違いとして表現しにくいと考え、係数 $a$ をこの違いが表現できる最小限の数値を設定して、処理を施している。今回は、 $a=2.0$ を採用した<sup>1)</sup>。

表1 なだれ発生危険度要因別評価点<sup>1)</sup>に追加

要因	階級	評価点	備考	
傾斜 ( $\theta$ )	1	$25^\circ > \theta$	0	標準
	2	$25^\circ \leq \theta < 30^\circ$	4	
	3	$30^\circ \leq \theta < 40^\circ$	7	
	4	$40^\circ \leq \theta < 55^\circ$	10	
	5	$55^\circ \leq \theta$	4	
植生	1	裸地、草地、樹高2m未満の灌木 樹冠密度 20%未満	10	標準
	2	低木：樹冠密度 20～100% 中木：樹冠密度 20～50%	9	
	3	中木：樹冠密度 50%以上 高木：樹冠密度 20～50%	7	
	4	高木：樹冠密度 50%以上	4	
積雪深 (Hs)	1	$H_s < 50\text{cm}$	0	標準
	2	$50 \leq H_s < 100\text{cm}$	3	
	3	$100 \leq H_s < 150\text{cm}$	4	
	4	$150 \leq H_s < 200\text{cm}$	6	
	5	$200 \leq H_s < 250\text{cm}$	7	
	6	$250 \leq H_s < 300\text{cm}$	8	
	7	$H_s \geq 300\text{cm}$	9	
雪庇	1	雪庇なし	0	状況に応じて
	2	雪庇がなだれを誘発する可能性がある	1	

## 2.1.3 なだれ発生確率

当該斜面のなだれ発生危険度の評価点は、表1の各要因の評価点を当該斜面の状況から選び、その合計の点数となる。この評価点の合計から、以下で説明する方法で求めた図2に示す関係を用いて、なだれ発生確率を求めることができる。

なだれ発生確率： $P_0$ は、なだれ発生要因の評価点である傾斜 $x_1$ 、植生 $x_2$ 、積雪深 $x_3$ 、雪庇 $x_4$ の合計点数 $x$ を変数とした関数として、

$$P_0 = f(\sum x_n) = f(x) \quad (2)$$

とする。具体的にこの関数を求めるために、なだれ発生及び非発生の事象データを再度使用した。これら発生・非発生の事象に対して表1の要因別階級別の評価点を算出する。同一評価点となったなだれの発生・非発生データを母集団として、このうちの発生と非発生の比率から、発生確率を算出する。図2中の○印の「発生確率（観測データ）」は、この

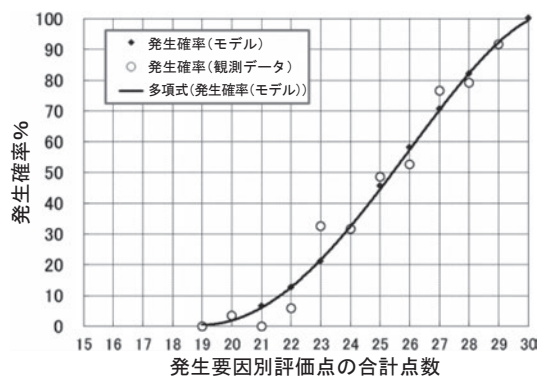


図2 要因別評価点の合計点数となだれ発生確率の関係

手続きで求めた実際の値である。これら実際の値を $b_1 \sim b_5$ は係数とした高次多項式近似：

$$P_0 = b_1x^4 + b_2x^3 + b_3x^2 + b_4x + b_5 \quad (3)$$

でフィッティングした結果、本研究では $b_1 = -4.862 \times 10^{-3}$ 、 $b_2 = 3.725 \times 10^{-1}$ 、 $b_3 = -9.333$ 、 $b_4 = 8.481 \times 10$ 、 $b_5 = -1.627 \times 10^2$ が得られた。求められた近似式は図2の曲線であり、整数化した合計点数に対応する発生確率は図2の●印となる。

### 2.1.4 対策工による防護効果

なだれ発生確率 $P_0$ は、ハード対策が無い状態を仮定した危険度である。当該斜面でのなだれ発生に対する効果的な対策工がある場合には、これらの効果を考慮して、評価点に反映できることが望ましい。ここでは、防護効果を考慮した場合のなだれ発生危険度： $P$ を、なだれ発生に関する予防効果の補正率 $\alpha$ を用いて、

$$P = \alpha \cdot P_0 \quad (4)$$

とする。

なだれ発生を予防する対策工の防護効果を、技術的な根拠をもって定量的に評価することは難しいことから、定性的にその効果の度合いを示すことにした。ここでは、定性的な効果を、補正率 $\alpha$ として1.0~0.0の数値に経験的に割り振って、評価の定量化を試みた。なだれ発生を予防する対策工種を主な2つに分け、その補正率を設定した。予防工、柵、杭に対する補正率 $\alpha$ を表2に、階段工に対する補正率 $\alpha$ を表3に示す。式(4)の設定のように、補正率 $\alpha$ が小さいほど防護効果が高くなり、補正率 $\alpha$ が1.0の場合は防護効果が無いことになる。

予防工、柵、杭などは、なだれ発生を予防する防護効果を比較的大きく期待できるため、 $\alpha = 0.2$ および $0.0$ を設定した(表2)。これに対して、階段工などは、工法として階段工の高さを大きくしにくく、よって防護効果を大きく設定し難いことから

表2 対策工による発生危険度の補正：予防工、柵、杭

工程	着眼点	発生危険度の補正： $\alpha$				
		1.0	0.8	0.5	0.2	0.0
予防工、柵、杭	斜面積雪の安定化と雪崩予防効果(柵、杭は埋雪していないか、等)	完全に埋雪しており表層なだれには効果はない。	積雪が柵にオーバーハングしており小規模SBや流れ出しなどが見られ多少不安定である。	積雪が柵にオーバーハングしておりやや不安定に見える。	積雪が柵にオーバーハングしているもの、安定している。	柵高が積雪に対して十分に有効に機能している。

表3 対策工による発生危険度の補正：階段工

工程	着眼点	発生危険度の補正： $\alpha$		
		1.0	0.8	0.5
階段工	積雪表面に階段形状が現れているか、否か？	積雪表面の階段工の筋が不明瞭であり、積雪が不安定である。	積雪表面に階段工の筋がわずかに見えるものの、SBが発生しやや不安定である。	積雪表面に階段工の筋が明瞭に見える、積雪が安定している。

ら、防護効果の上限を $\alpha = 0.5$ までとここでは設定した(表3)。また、防護効果、すなわち補正率 $\alpha$ の選定に関して、評価の判定者が同一の尺度をもって選定できるように、補正率 $\alpha$ の各数値に対して、工種によって異なる着眼点・状態の説明や可視的に参考となる写真をもって表2、3のような定義を設けた。評価の判定者個人に依存せず、適切な補正率が選択されることは、危険度評価点の品質(精度)を保持するうえで重要と考えているためである。

### 2.2 なだれ到達危険度

斜面でなだれが発生した際に、任意の地点になだれが到達する危険性をなだれ到達危険度とする。発生したなだれが、対象となる地点(本研究では、線路等)に到達して被害をもたらすかどうかは、2.1の発生の事象と同様に、到達・未到達のいずれかになる。これを確率論的な考え方で整理し、なだれ到達の危険性を危険度の評点(=0~100の任意の数値)として算出する方法を構築した。以降各節で、地形条件と到達確率の関係、及び防護工効果の取り入れ方について述べる。

#### 2.2.1 なだれ到達確率

なだれの到達範囲を推測するのに、図3のような見通し角を利用する経験的な従来方法<sup>3)</sup>がある。この方法は対象とする地点からなだれの発生点を見上げた仰角が、表層なだれでは18度以下、全層なだれでは24度以下である場合はその地点には到達しないというものである。

なだれの発生点、対象とする地点及び見通し角の概念図を図3に示す。従来方法<sup>3)</sup>の知見に従うと、図3中の発生点で発生したなだれが到達する可能性のある最も遠い地点(最遠到達地点)は、全層なだれの場合には地点A、表層なだれの場合には地点Bとなる。水平距離の関係 $x_2 > x_1$ から、ここでは地点Bを全てのなだれに対する最遠到達地点とする。よって、発生点への見通し角が18度となる地点B、すなわち最遠到達地点では、前出の経験値<sup>3)</sup>から、なだれ到達確率は0.0であると仮定できる。

図4になだれが流走する経路の水平距離 $X$ と比高 $Y$ の関係の概念図を示す。同じ比高 $Y_1$ に対して見通し角が小さい程、水平距離が長くなる( $x_3 > x_2 > x_1$ )。任意の最遠到達地点までの水平距離に対する比高を示す直線 $Y = \tan \theta_{min} X$ において

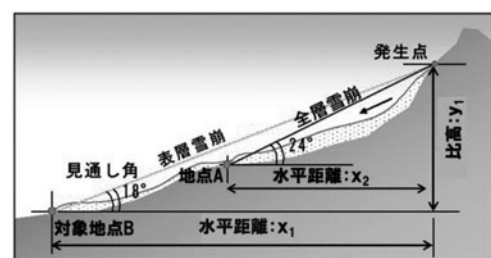


図3 なだれ到達距離と見通し角

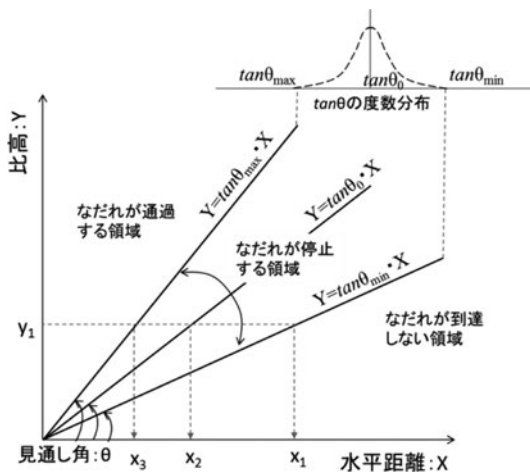


図4 なだれ流走経路の比高と水平距離との関係の概念<sup>2)</sup>に準

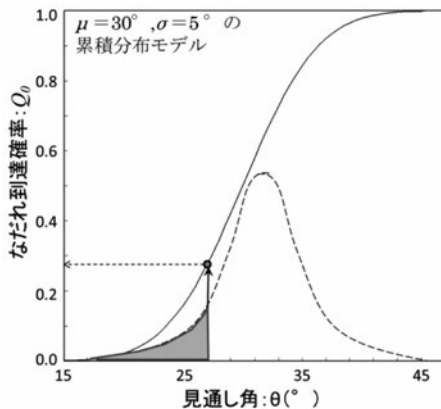


図5 見通し角となだれ到達確率の関係

は、見通し角 $\theta_{min}$ が18度となり、前述のように到達確率は0.0と仮定される。一方、全てのなだれが到達する見通し角 $\theta_{max}$ とすると、 $Y = \tan\theta_{max} \cdot X$ の直線上では、到達確率が1.0と仮定できる。対象地点となる任意の地点になだれが到達（停止）する確率が正規分布に従う確率密度関数と仮定すると、図4の右上のような概念となり、見通し角となだれの到達確率はこの正規分布の累積分布関数で表現することができる。

見通し角となだれの到達に関するなだれ事象のデータをまとめた既往研究<sup>4)</sup>では、新潟を主とする北陸地方及び東北地方における冬季航空写真の判読から得たなだれ到達のデータ（発生地点と到達地点間の比高と水平距離；数量 $n=751$ ）が統計データとして取りまとめられている。この既往研究で算出された比高／水平距離の平均値と標準偏差の2つの数値を、本研究での見通し角の平均値と標準偏差として使用する。ここでは、平均値 $\mu=33$ 度を安全側に30度、標準偏差 $\sigma=5.1$ 度を5度とした正規分布（図5の点線）で見通し角の頻度分布を表現し、なだれ到達確率との関係を累積分布関数で関数化する。求められたなだれ到達確率の推定モデルの累積分布関数を図5に実線で示す。この累積分布関数は、図5中に点線で概念を示した見通し角の正規分布の累積値（図5中ハッチ部の面積）から求められる。

## 2.2.2 対策工等による防護効果

2.1.3で述べたなだれ発生確率 $P_0$ と同様に、2.2.1のなだれ到達確率 $Q_0$ はハード対策などの防護効果を見込まないと仮定した場合の危険度である。そのため、①有効な植生がある場合、②斜面と線路の間の平坦地などの地形の効果が期待できる場合あるいは、③斜面に対策工がある場合にはこれらの防護効果として考慮し、なだれ到達危険度： $Q$ を、

$$Q = \beta \cdot Q_0 = e_1 \cdot e_2 \cdot e_3 \cdot Q_0 \quad (5)$$

と表すことにした。ここで、 $\beta$ ：なだれ到達に関する抑止効果の補正率、 $e_1$ ：植生によるなだれ阻止効果の危険度補正項（①）、 $e_2$ ：地形による阻止効果の危険度補正項（②）及び、 $e_3$ ：対策工によるなだれ阻止効果の危険度補正項（③）である。

これら補正項 $e_1, e_2, e_3$ も、なだれ発生に関する補正率 $\alpha$ と同様に、技術的な根拠をもって定量的に評価することは難しい。そこで、定性的な効果の大小を、 $\alpha$ 同様に $e_1, e_2, e_3$ のそれぞれに1.0～0.0の数値に経験的に割り振って、評価の定量化を試みた。ここで設定した到達危険度の補正に対する補正率： $e_1, e_2, e_3$ を表4～7に示す。

## 2.3 なだれ総合危険度

なだれ総合危険度： $D$ は、2.1及び2.2から得たなだれ発生危険度： $P$ となだれ到達危険度： $Q$ から、

$$D = P \times Q = \alpha \cdot P_0 \times \beta \cdot Q_0 \quad (6)$$

により算出される。このように、なだれの発生及び発生したなだれの到達に関する危険性から総合的ななだれ危険性が評価されることとなる。

本研究で構築したなだれ危険度算出の手続きの実施と、現地状況の記録がなされるように作成したシートを、カルテとして作成した。評価実施の主なポイントについて3章で後述する。

表4 植生による到達危険度の補正

工程	着眼点	植生による到達危険度の補正： $e_1$			
		1.0	0.9	0.8	0.7
植生 (防雪林)	積雪表面に階層形状が現れているか、否か？	植生がないまたは植生があっても殆ど効果が期待できない。	斜面規模と比べ、一定規模以上の雪前には効果が無い。	一定の効果あり。全層なだれに有効、表層なだれには中程度の効果あり。	斜面となだれ規模が植生に対して相対的に小さく効果が期待できる。

表5 地形による到達危険度の補正

地形	着眼点	地形による到達危険度の補正： $e_2$			
		1.0	0.8	0.5	0.2
形状	なだれ堆積空間・積雪クリアランス	斜面が急角度で線路に面するため、線路と斜面の間になだれが堆積する空間がない。	中程度の堆積空間があり、なだれ捕捉効果が期待できる。	なだれ斜面が河川の対岸であり、なだれが線路まで到達する可能性は低い。	なだれ規模と比較し、なだれ堆積空間が十分あり、なだれが線路まで到達する可能性は低い。

表6 対策工による到達危険度の補正 (スノーシェッド・明かり巻き)

工程	着眼点	対策工による到達危険度の補正: $e_3$				
		1.0	0.8	0.5	0.2	0.0
スノーシェッド・明かり巻き	なだれ流下層に対する延長は十分か。	通常のなだれに対して延長が不足する。	なだれが大きくなる出入口の延長が不足する可能性がある。	相対的に小規模ななだれには効果が期待できる。	小～中規模程度のなだれに対しては延長は十分である。	中～大規模程度のなだれに対しては延長は十分である。

表7 対策工による到達危険度の補正 (誘導工、防護工、阻止工)

工程	着眼点	対策工による到達危険度の補正: $e_3$				
		1.0	0.8	0.5	0.2	0.0
誘導工、防護工、阻止工 (擁壁、柵、杭、等)	天端は積雪表面から十分に突出しているか? 斜面と構造物の間の雪下り空間は十分か?	積雪深がさらに増加すると効果がなくなる可能性が高い。完全に空気が通らない場合は効果が期待できない。	相対的に小規模ななだれには効果が期待できる。増強してはいないものの表面なだれには効果が期待できない。	相対的に小～中規模なだれには効果が期待できる。2m程度までの雪深の積雪に対しては効果が期待できる。	積雪がこれ以上増えなければ相対的に中規模なだれには効果が期待できる。	なだれ高に対して十分な余裕があり、十分な効果が期待できる。比較的規模の大きななだれにも対応可能である。

### 3. なだれ危険度評価の実施

2章にて述べたように、鉄道沿線斜面に対してなだれ危険度評価を実施することができる。ここでは、具体的な評価方法の手続きの主な点について述べる。

#### 3.1 評価を実施する単位の設定

斜面単位を、危険性の評価を行う単位とする。斜面単位とは、図6に模式図で示すように、等高線から読み取れる尾根線で囲まれる単位とし、斜面単位内の積雪がなだれとなった場合に等高線に垂直下方に向けて滑動する単位となる。

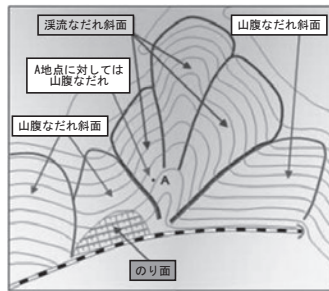


図6 なだれ斜面分割の概念

#### 3.2 カルテの作成

なだれ発生危険度及びなだれ到達危険度の算出のための評価点の設定から、なだれ総合危険度を求めるためのシートをカルテとして、書式を作成した。例を図7に示す。図7のハッチ部分は評価の判定を行う使用者の記入欄である。この右側には、当該斜面単位について10年確率積雪深(ここでは、気象庁作成のメッシュ気候値を使用)のときの評価を参考として掲載している。これは使用者の判定を補助することができると考えている。

カルテは、3.1の斜面単位ごとに作成することとなる。カルテの作成手順としては、前出の表1の傾斜・植生・積雪深・雪庇の各要因の階級から対象とする斜面単位に該当する評価点を選ぶ。続いて、なだれの発生及び到達に対する防護効果による補正率を選択することで、なだれ発生・なだれ到達

のそれぞれの危険度と、その積であるなだれ総合危険度が算出される。なだれ総合危険度のほかにも、数値化されない定性的な斜面積雪の状況(例えば、雪しわ、スノーボール、クラック等)も危険性を把握する際に大切である。これらの情報がある場合はカルテの備考欄に記述を行い、斜面単位ごとにカルテが完成する。

### 4. 積雪深の再現期間値による危険度評価の試算

3章までに述べてきたとおり、危険性評価方法の構築により、対象斜面単位でなだれ危険度の評価点を算出することが可能となった。このなだれ危険度の評価点は、その当該斜面の素因情報(地形・植生状況)に依存する部分があり、これらの素因情報は土地開発等による環境変化や対策工の新設がなされない限り変化しない。一方、同一斜面でも、一冬季期間中の積雪の量によって評価点は変動する。そこで、積雪深の推移によってなだれ危険度評価点がどのように変動するのか、また、対象とする地点での危険度の上限值はどの程度かを把握するため、本試算を行うこととした。ここで使用する積雪深は、過去に観測された年最大積雪深を気象極値として取扱って求めた再現期間値とした。

#### 4.1 再現期間値の算出

気象統計のうち極値統計を活用することで、どの様な大きな値がどれくらいの確率でいつごろ出現するかを知ることができる<sup>5)</sup>。具体的には、再現期間 $x$ 年に1度出現すると推定される積雪深を、 $x$ 年確率の再現期間値として求めることができる。極値統計における極値分布として、ここでは理論分布であるGumbel分布を採用した。鉄道沿線等の積雪深観測地点において、年最大積雪深を多年分に渡り収集し、Gumbel分布をそれぞれの観測地点で求めて本試算に使用している。

#### 4.2 なだれ危険度評価の試算

線路沿線36箇所(約100斜面単位)を試算対象のモデル箇所として、なだれ危険度評価を試みた。表1のなだれ発生評価点や見通し角の設定及び、対策工の状況を判断するに当たり、各モデル箇所でも沿線斜面管理の参考資料として活用している地形図及び航空写真(積雪時期を含む斜め写真を含む)を利用した。積雪深は、4.1で求めた各観測地点での10・20・30・40・50・100年確率の再現期間値を使用することとした。各再現期間の積雪深での表1の評価点を算出するほかに、その積雪深に対する各箇所の対策工の防護効果を参考資料から机上で判断して、総合危険度の評価点を算出する。このため、ここでの試算は、既存資料や情報からの総合的な推測となる。

なだれ危険度評価の試算結果の例を図8～11に示す。横軸になだれ発生危険度を、縦軸にはなだれ到達危険度をとる

と、なだれ総合危険度はグラフ右肩側の等値線の目盛で読み取ることができる。各図は1つのモデル斜面単位での評価結果であり、図中の6種類のプロットがそれぞれ10~100年確率の積雪深での危険度である。モデル箇所でのなだれ危険度の試算結果から、4つのパターンに分類することができた。これら4つをA~Dとし、各パターンの特徴について述べる。

(1) パターンA: 100年確率の積雪深で、総合危険度<40

図8のように、100年確率の積雪でもなだれ総合危険度が大きくなることはなく、大規模な伐採や土地開発行為による環境変化がない限り、なだれの危険性に関する管理対象外とすることが可能であると考えられる。

(2) パターンB: 10年確率の積雪深で、総合危険度≥40

Aに対して、反対の傾向を示すパターンBは、10年確率の積雪でも総合危険度評点≥40となる。図9の例のように10年確率という比較的高頻度の積雪でも危険度が極めて高くなるため、ハード対策等の実施を検討することが望ましい。

(3) パターンC: 100年確率の積雪深で、総合危険度≥40、到達危険度は変化無し

100年確率の積雪で総合危険度評点≥40となるが、その変化傾向の特徴として到達危険度には変化が無く(図10)、発生危険度の数値変化のみでなだれ総合危険度が決定されている。このことから、何らかのハード対策等を実施する場合には、なだれ発生を予防する対策が効果的であることが推察される。

(4) パターンD: 100年確率の積雪深で、総合危険度≥40

パターンA~Cの3つに属さない変化傾向がパターンDであり、100年確率の積雪で危険度評点≥40となる斜面である(図11)。プロットの変化から、効果的な対策工種別を事前検討したり、対象(線路など)の重要度に合わせて、積雪深の確率年数を設定したり、等の検討に応用することが可能である。

通番号	枝番	①	分割斜面の個別危険度	調査当日	年	月	日	線名	土扶せ	駅間	距離
基礎条件		尾根線に危険な雪面があるかないか(有無)で記入する。		当日(4段階)に判定する。		当日の積雪状況を定性的に判定する。		左側の積雪状況に該当する点数を入力する。			
発生、到達発生要素		状況		状況・状態		状況・状態		対象斜面(上)と隣			
傾斜(°)		40~49		10		傾斜(°)		40~49			
積雪状況(無積・中密)		中		7		当日積雪状況		雪面がなだれの原因になると考えられる場合は点数を入力する。			
雪面状況(応じて)		無		8		当日雪面状況		当日の積雪深を記載し、該当する点数を入力する。			
10年確率相当積雪深(cm)		280		9		積雪深		cm 観測点( )			
評価合計点		25		25		当日評価合計点		10			
発生危険度P		50		50		当日発生危険度P		0			
発生対策工(無)・有( )		無・有( )		無・有( )		積造物が積雪上にどれだけ出ているかで判断する。		積造物延長比と雪面傾斜(変化)が異なれば、			
有効高		m		m		積造物が積雪上にどれだけ出ているかで判断する。		積造物延長比と雪面傾斜(変化)が異なれば、			
設置範囲延長		m		m		積造物が積雪上にどれだけ出ているかで判断する。		積造物延長比と雪面傾斜(変化)が異なれば、			
対策工による効果α		m		m		積造物が積雪上にどれだけ出ているかで判断する。		積造物延長比と雪面傾斜(変化)が異なれば、			
発生危険度P=α×P <sub>0</sub>		50		50		当日の発生危険度P		0			
発生区コメント		*スノーポール、クラック、雪庇、積雪状況等を右欄に記載する。		注意すべき点等があれば記入する。		自動計算で結果が入る。		発生対策工があれば効果を6段階で判定し、補正率を入力する。			
到達要素		見通し角(°)到達危険度Q <sub>0</sub>		38		見通し角(°)到達危険度Q <sub>0</sub>		36.0			
積雪による防護効果e <sub>1</sub>		0.9		0.9		積雪による防護効果e <sub>1</sub>		0.9			
対策工の有効高		m		m		積造物が積雪上にどれだけ出ているかで判断する。		積造物延長比と雪面傾斜(変化)が異なれば、			
設置範囲延長		m		m		積造物が積雪上にどれだけ出ているかで判断する。		積造物延長比と雪面傾斜(変化)が異なれば、			
対策工による防護効果e <sub>2</sub>		無		1.0		積造物が積雪上にどれだけ出ているかで判断する。		積造物延長比と雪面傾斜(変化)が異なれば、			
地形による防護効果e <sub>3</sub>		無		1.0		積造物が積雪上にどれだけ出ているかで判断する。		積造物延長比と雪面傾斜(変化)が異なれば、			
到達危険度Q=β×Q <sub>0</sub> ×e <sub>1</sub> ×e <sub>2</sub> ×e <sub>3</sub>		79		79		当日の到達危険度Q		88			
なだれ危険度D		D=(発生危険度P/100)×(到達危険度Q/100)		40		なだれ危険度D=(P/100)×(Q/100)		0			
既往なだれ履歴・前兆現象・積雪目録等特記事項		既往なだれ履歴、前兆現象、等		既往なだれ履歴、前兆現象、等		既往なだれ履歴、前兆現象、等		既往なだれ履歴、前兆現象、等			
記入上の注意		*調査当日の状況は(水色枠内)に記入する。		*調査当日の積雪深観測点はプレダス、アマダス、その他当該斜面での直接計測などを記入する。		*調査当日の積雪深観測点はプレダス、アマダス、その他当該斜面での直接計測などを記入する。		*調査当日の積雪深観測点はプレダス、アマダス、その他当該斜面での直接計測などを記入する。			

図7 カルテの例(ハッチング部:使用者が記入すべき項目)

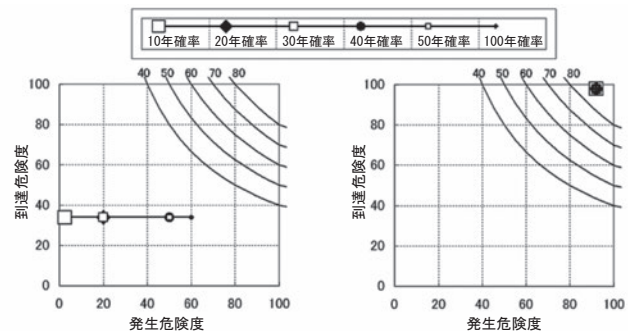


図8 100年確率の積雪で、総合危険度<40(パターンA)

図9 10年確率の積雪で、総合危険度≥40(パターンB)

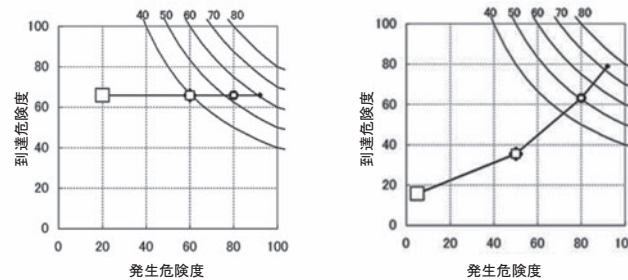


図10 100年確率の積雪で、総合危険度≥40、到達危険度は変化無し(パターンC)

図11 100年確率の積雪で、総合危険度≥40(パターンD)

## 5. 今後の進め方

なだれ斜面管理への適用を目的として、技術的な根拠に基づく新たななだれ危険度評価方法を構築した。この評価方法を用いて、36箇所約100斜面のモデル箇所を対象にした危険度の試算を行い、統計的な積雪深を仮想した場合に危険性が推移する傾向について考察した。今回の試算結果に加え、今後は試算対象の箇所を増やして検討を進め、これらの検討結果をなだれ斜面管理に関する新しい指針に取りまとめていく予定である。

### 参考文献

- (社)日本建設機械化協会・(社)雪センター:2005除雪・防雪ハンドブック(防雪編),2005.2
- 新山・松田・飯倉・河島・藤井:東北新幹線盛岡・八戸間のなだれ危険度評価とその工学的意義,日本雪工学会誌,vol.19, No.2, pp13-23, 2003.4
- 高橋:雪崩の被害,雪氷,22巻,1号pp7-8, 1960
- 内田・小山内・松田・本間・野口・坂井:雪崩の移動比高と見通し角の関係,砂防学会誌, vol.60, No.4, pp11-15, 2007
- 高橋:極値統計学,統計数理研究所公開講座資料,2008