

## 65 乾雪表層雪崩の発生予測と規模の評価

国際航業株式会社

○松田 宏 坊城智広

融雪砂防地すべり技術センター

菊井稔宏 佐野 清

建設省北陸技術事務所

丸山 弘

### 1. はじめに

わが国では国土の半分以上(52%)が豪雪地帯に指定され、全国の人口の2割近くの人都在这里に住んでいる。このため、冬期には雪による生活への影響が様々な形で表れている。その中でも特に深刻な影響を与えているものが雪崩である。よく知られているように雪崩には全層雪崩と表層雪崩がある。このうち、全層雪崩については、そのふるまいがよく理解されており、効果的な対策が施されている。しかし、表層雪崩の場合はそのふるまいがよく理解されていない。特に、厳冬期に発生する乾雪表層雪崩に関しては、夜中や多量降雪中に発生することが多く、そのメカニズムが完全に理解されているとは言えない。

本研究では、乾雪表層雪崩発生の気象を明らかにし、警戒避難基準設定の基礎資料を得るための検討及び雪崩の発生規模を評価する手法について報告する。

### 2. 発生データ

本研究で使用したデータは、主に新潟県内で発生した乾雪表層雪崩の中から、発生日時・範囲が明瞭に把握されているものを抽出した18箇の雪崩である。それぞれのデータの発生日時・箇所等は表1に示した。

表1 雪崩箇所一覧表

| 番号     | 雪崩箇所     |         | 基準点 | 標高<br>H | 距離<br>S |
|--------|----------|---------|-----|---------|---------|
|        | 発生日月日    | 地名      |     |         |         |
| 7      | S61.1.26 | 能生町樋口   | 能生  | 900m    | 9100m   |
| 1      | S59.2.6  | 糸魚川市寒谷  | 能生  | 900     | 7200    |
| 1007   | S59.2.9  | 湯沢町土樽   | 湯沢  | 1280    | 61400   |
| 1007-1 |          |         |     | 1250    | 61900   |
| 1008   | S59.2.10 | 湯沢町土樽   | 湯沢  | 1200    | 62400   |
| 1009   |          |         |     | 990     | 62800   |
| 31     | S59.2.9  | 中里村清津峡  | 湯沢  | 670     | 46400   |
| 42     | S59.2.9  | 六日町小川   | 湯沢  | 690     | 53800   |
| 1018   | S59.2.10 | 六日町三國川  | 湯沢  | 1070    | 54200   |
| 1019   |          |         |     | 1310    | 54900   |
| 1015   | S59.2.29 | 塩沢町清水   | 湯沢  | 1000    | 58600   |
| 1001   | S59.2.29 | 湯沢町堀切   | 湯沢  | 820     | 50600   |
| 48     | S56.1.7  | 守門村大倉   | 湯沢  | 520     | 36400   |
| 1014   | S56.1.17 | 塩沢町鹽沢新田 | 湯沢  | 680     | 56800   |
| 1015   | S49.1.19 | 塩沢町清水   | 湯沢  | 1000    | 58600   |
| 5      | S55.1.21 | 糸魚川蒲原温泉 | 能生  | 650     | 19800   |
| 2      | S58.2.13 | 糸魚川市岩倉  | 能生  | 1200    | 8400    |
| 27     | S59.2.5  | 津南町結束   | 湯沢  | 850     | 44400   |

### 3. 発生条件の検討

解析方法は次に示すとおりである。

①気象観測点群のデータ(積雪深・降雪量・気温)と地形要因(標高、海岸からの距離)の関係を解析して、それをもとに発生区の気象を推定する。

②発生区での推定気象を用いて、大規模表層雪崩発生条件を解析し、一般的条件を導く。

③②で求めた一般的な発生気象条件を各気象観測点の気象による地区別条件に引き戻して実用的な条件とする方法について検討する。

図1に検討のフローを示した。なお、ここでは気象要因として、積雪深、降雪量、気温をとりあげたが、風速は考慮していない。

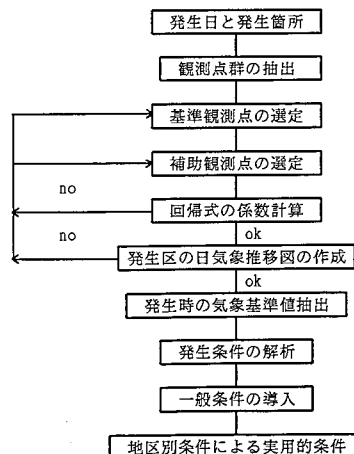


図1

気象データによる発生基準の設定フロー

### 3.1 気象データ推定の考え方

一般的には大規模表層雪崩の発生区は、斜面の上部に位置しているために、気象観測点がなく現場の気象状況を正確に把握することは困難である。そこで、雪崩発生箇所周辺の気象観測点数データのデータによって回帰式を作成し、雪崩発生区の現場での気象を推定しようとするものである。

回帰式のパラメータは標高 $H$ と海岸からの距離 $S$ を考え、次の2式を検討する。

$$(Y - Y_0) = a(H - H_0) + c \dots \dots \text{I}$$

$$(Y - Y_0) = a(H - H_0) + b(S - S_0) + c \dots \dots \text{II}$$

ここで、 $Y$ ：任意地点の気象

$Y_0$ ：基準観測点の気象

$H$ ：任意地点の標高

$H_0$ ：基準観測点の標高

$S$ ：任意地点の海岸からの距離  $S_0$ ：基準観測点の海岸からの距離

また、基準観測点は標高、海岸からの距離、地形等の要因から見て発生区に近く、データの信頼性も高い観測点を設定する。補助観測点は図2に示したように基準観測点の周辺で相互に標高差が充分にある観測点を10点前後選定する。

海岸からの距離 $S$ は図3に示したように海岸線を直線と仮定し、その直線から引いた各観測点までの垂線の長さとして求める。

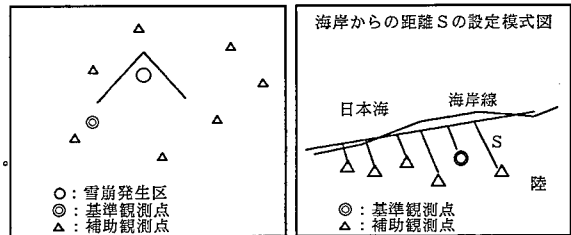


図2 観測点模式図(1)

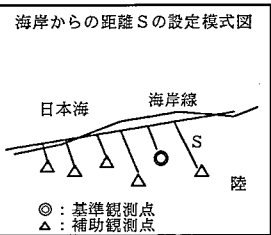


図3 観測点模式図(2)

I 及び II 式について日数×補助観測点数の個数の観測方程式を最小自乗法にかけて、 $a$ 、 $b$  及び  $a$ 、 $b$ 、 $c$  を求める。

表2 回帰係数の検討結果

### 3.2 回帰式(未観測地点気象推定式)の係数設定

#### (1) 回帰式の作成

本研究では主に新潟県内の沿海地域(糸魚川・能生が中心)と内陸地域(魚沼地方が中心)

| 地域 | 基準点 | 気象要素 | 回 帰 式 の 係 数            |                        |        |
|----|-----|------|------------------------|------------------------|--------|
|    |     |      | $a$                    | $b$                    | $R$    |
| 内陸 | 湯 沢 | 積雪深  | 0.26                   | $-0.33 \times 10^{-2}$ | 0.8322 |
|    |     | 降雪量  | $0.43 \times 10^{-1}$  | 0                      | 0.7137 |
|    |     | 気温   | $-7.70 \times 10^{-3}$ | $-0.53 \times 10^{-4}$ | 0.7818 |
| 沿海 | 能 生 | 積雪深  | 0.81                   | 0                      | 0.8527 |
|    |     | 降雪量  | $0.65 \times 10^{-1}$  | 0                      | 0.7441 |
|    |     | 気温   | $-1.07 \times 10^{-2}$ | 0                      | 0.7365 |

のふたつのブロックについて回帰式を作成して検討を行った。

上記2地域における積雪深・降雪量・気温の任意地点における日データを設定するための回帰式の係数を求めると表2のようになった。ここで、 $a$ は標高、 $b$ は海岸からの距離の係数、 $R$ は相関係数を示す。

#### (2) 回帰式の検証

求めた回帰式の妥当性を検証するために、それぞれのブロック内において、任意の観測点の日気象とその観測点の地形データ、及び基準観測点データによって回帰式から推定した値を比較・検討した。結果の一例を図4に示した。これより3要素ともに実測値と推定値では同じような推移状況となっている。したがって、今回設定した回帰式は実用上は問題ないであろう。

### 3.3 発生時の気象基準値抽出

乾雪表層雪崩は積雪深がある程度以上多く、さらに多量の降雪があり、かつ、その降雪中の気温が低いときに発生すると考えられる。そこで、発生時の気象基準値を以下の条件に

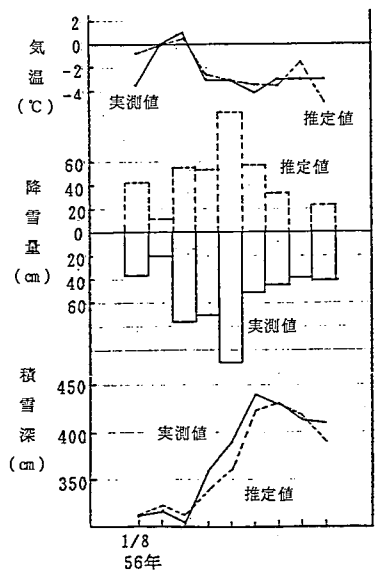


図4 推定値と実測値の比較

よって抽出した。

①積雪深が増加しつつある日、あるいは極大となった日に発生している場合、表層雪崩に寄与するのは発生日から3日前までの降雪とする。

②積雪深の極大が過ぎてから発生している場合は、極大の日から3日前までの降雪が寄与する。

結局、抽出した気象要素は、発生日までの3日間連続降雪量P、3日間平均気温T、発生日以前3日前までの累計降雪量A、発生日から3日前の積雪深Sの4つである。ここで、3日間をとった理由は18箇の雪崩サンプルの気象推移から判断して、発生に最も寄与すると思われるからである。

### 3.4 発生条件の検討

3.3で抽出した気象要素から、2要素ずつの組み合わせによる検討を行い、発生条件を設定した。図5～図7には気象の散布図を示した。それぞれ、雪崩発生のための最低ラインとしてL-1が、更に多くの雪崩が発生する領域としてL-2ラインが引ける。この差異としては以下の原因が考えられる。すなわち、①雪崩発生データとして集落近傍まで到達したものしか扱っていない。②各発生箇所の地形、植生等の要因が異なる。③各発生箇所の雪質が異なる。

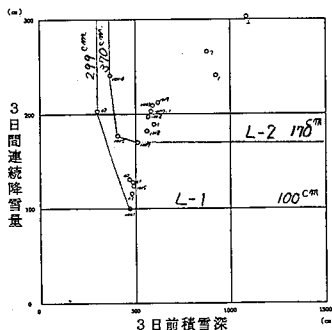


図5 発生区での気象値(1)

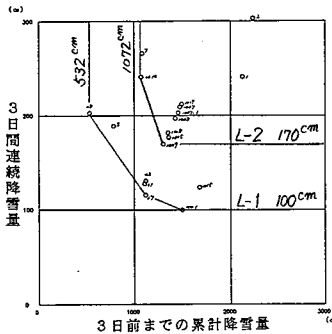


図6 発生区での気象値(2)

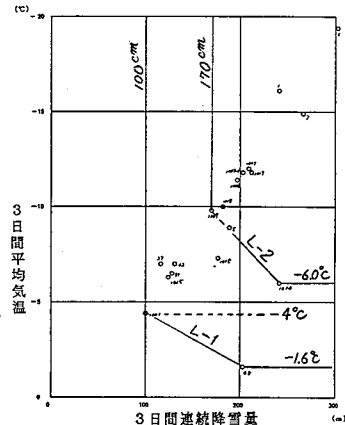


図7 発生区での気象値(3)

現段階では、L-1、L-2は今回収集した発生資料の中での最低値および雪崩が多発する領域を示したものに過ぎない。各箇所における発生基準を設定するためには、上記の問題点を踏まえた形で再検討を行う必要がある。すなわち、警戒避難基準を設定するにあたってはこの値を参考値として、各箇所において個々に対応を検討する必要がある。尚、18箇のサンプルの中で守門村大倉地区の雪崩は比較的に気温の高い状態で発生しており、他のサンプルとは別傾向を示している。この原因のひとつとして雪庇等の影響が考えられ、今後は、雪庇等の要因も含めた検討を行なう必要がある。

次に、新潟県内のA地区において設定した地区別の発生条件を図8、図9に示す。それぞれの発生条件は各地区の基準となる観測点での気象値に変換した値である。

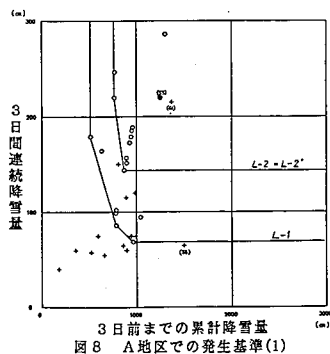


図8 A地区での発生基準(1)

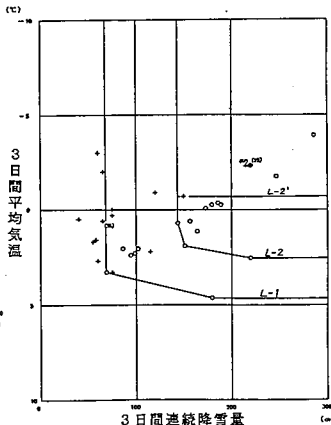


図9 A地区での発生基準(2)

#### 4. 発生規模の評価

発生量を推定するために、①発生区の面積 $A(\text{m}^2)$ ②発生区での雪崩層厚 $D_p(\text{m})$ を設定して、その評価を行なった。発生量 $V$ は①②より、

$$V = C \times A \times D_p$$

によって求める。ここで、 $C$ は係数で雪崩層厚に関わる値である。まず、①発生区の面積は空中写真や地形図で最大範囲を想定した。②の雪崩層厚 $D_p$ は、

$$D_p = (\Sigma f + D_s) / 2$$

によって求めた。 $\Sigma f$ は雪崩発生前の任意期間の累計降雪量、 $D_s$ はその期間の積雪深の増加量である。

$D_p$ を18個の雪崩サンプルについて求めると表3のようになり、 $b/a$ は0.65となる。すなわち、 $\Sigma f$ の65%が $D_p$ と考えることができる。

$D_p$ は脆弱層の形成時期、気象推移及び降雪パターン等により決定されると考えられるが、すべり面形成時期を限定すれば、降雪量に大きく支配されると思われ、 $D_p \leq 0.65 \times \Sigma f$ という関係が推定される。そこで、 $D_p$ を評価する指標として、積雪深ピーク時までの連続降雪量を取りあげ解析を行なった。年最大の連続降雪量(ピークまで) $\Sigma f$ に0.65をかけたものを確率解析した結果の $D_p'$ と $D_p$ を比較したものが表4である。これによれば、今回の発生サンプルの $D_p$ は連続降雪量の30年確率相当の値の前後に位置していることがわかる。

表3 雪崩発生層厚の推定(発生区での値)

| サンプル<br>No. | $a = \Sigma f$<br>(cm) | $D_s$ (cm) | $b = \frac{\Sigma f + D_s}{2}$<br>(cm) | $b/a$ |
|-------------|------------------------|------------|----------------------------------------|-------|
| 7           | 481                    | 103        | 292                                    | 0.607 |
| 1           | 370                    | 69         | 220                                    | 0.593 |
| 1007        | 439                    | 119        | 279                                    | 0.636 |
| 1007-1      | 425                    | 119        | 272                                    | 0.640 |
| 1008        | 459                    | 114        | 287                                    | 0.624 |
| 1009        | 387                    | 114        | 251                                    | 0.647 |
| 31          | 250                    | 119        | 185                                    | 0.738 |
| 42          | 257                    | 119        | 188                                    | 0.732 |
| 1018        | 419                    | 114        | 267                                    | 0.636 |
| 1019        | 499                    | 114        | 307                                    | 0.614 |
| 1015        | 124                    | 50         | 87                                     | 0.702 |
| 1001        | 100                    | 50         | 75                                     | 0.750 |
| 48          | 255                    | 115        | 185                                    | 0.725 |
| 1014        | 401                    | 73         | 237                                    | 0.591 |
| 1015        | 371                    | 75         | 223                                    | 0.601 |
| 5           | 488                    | 77         | 283                                    | 0.579 |
| 2           | 303                    | 47         | 175                                    | 0.578 |
| 27          | 116                    | 40         | 78                                     | 0.672 |
|             |                        |            | 平均                                     | 0.648 |

表4 雪崩の発生層厚 $D_p'$ の確率値

| No.     | 基準点 | $D_p$<br>(m) | 確 率  |       |       |       |       |
|---------|-----|--------------|------|-------|-------|-------|-------|
|         |     |              | 2    | 5     | 10    | 30    | 50    |
| 7       | 発生  | 2.92         | 1.14 | 1.58  | 1.95  | 2.64  | 3.00  |
| 1       | 発生  | 2.20         | 1.14 | 1.58  | 1.95  | 2.64  | 3.00  |
| 1007    | 湧沢  | 2.79         | 1.28 | 1.84  | 2.24  | 2.90  | 3.22  |
| 1007-1  | 湧沢  | 2.72         | 1.26 | 1.82  | 2.22  | 2.88  | 3.20  |
| 1008    | 湧沢  | 2.87         | 1.24 | 1.80  | 2.20  | 2.86  | 3.18  |
| 1009    | 湧沢  | 2.51         | 1.15 | 1.71  | 2.11  | 2.77  | 3.09  |
| 31      | 湧沢  | 1.85         | 1.01 | 1.57  | 1.97  | 2.63  | 2.95  |
| 42      | 湧沢  | 1.88         | 1.02 | 1.58  | 1.98  | 2.64  | 2.96  |
| 1018    | 湧沢  | 2.67         | 1.19 | 1.75  | 2.15  | 2.81  | 3.13  |
| 1019    | 湧沢  | 3.07         | 1.29 | 1.85  | 2.25  | 2.91  | 3.23  |
| 1015    | 湧沢  | 0.87         | 1.16 | 1.72  | 2.12  | 2.78  | 3.10  |
| 1001    | 湧沢  | 0.75         | 1.08 | 1.64  | 2.04  | 2.70  | 3.02  |
| 48      | 湧沢  | 1.85         | 0.95 | 1.51  | 1.91  | 2.57  | 2.89  |
| 1014    | 湧沢  | 2.37         | 1.02 | 1.58  | 1.98  | 2.64  | 2.96  |
| 1015    | 湧沢  | 2.23         | 1.16 | 1.71  | 2.12  | 2.78  | 3.10  |
| 5       | 発生  | 2.83         | 1.07 | 1.20  | 1.30  | 1.46  | 1.54  |
| 2       | 発生  | 1.75         | 1.43 | 1.56  | 1.66  | 1.82  | 1.90  |
| 27      | 湧沢  | 0.78         | 1.09 | 1.65  | 2.05  | 2.71  | 3.03  |
| 湧沢(基準点) |     |              | 85cm | 141cm | 181cm | 247cm | 279cm |
| 発生(基準点) |     |              | 51   | 95    | 132   | 201   | 237   |

発生規模についてはこれまで、体系的に研究されてきているとはいえない。そこで、本研究においてこれからの方向性を探る意味で発生層厚、面積等について検討した。しかし条件設定にかなりの推定がはいるために、今後は雪崩発生後の空中写真撮影等を行ない、資料の蓄積を行なう必要がある。

本研究にあたって、「雪崩の総合的対策に関する調査検討委員会」(土屋雷蔵委員長)において御指導・御助言を賜った。また、資料の提供にあたっては新潟県砂防課の協力を得た。ここに、関係各位に対し厚く御礼申し上げる次第である。