

建設省土木研究所 網木亮介
 藤沢和範
 中村良光
 寺田秀樹
 (株)アルゴス ○上石 勲

1 目的

日本では雪崩の到達距離として、雪崩の停止点から発生点への見通し角が表層雪崩で 18° 、全層雪崩で 24° という経験的な値が使われている。しかし、これは最大限の到達点を求めた経験則で、途中の地形の変化などは考慮していない。

そこで、雪崩到達範囲を求める新たな方法として、過去の雪崩発生事例の地形情報（地形縦断形状など）と停止位置の関係を解析し、雪崩危険度マップ作成の試みを行った。

2 解析方法

2.1 使用データ

解析に用いたデータは、集落に対して影響を与えた雪崩に関して収集したものの中から、雪崩の発生点と停止点ならびにその間の縦断地形が判明しているものを抽出した66事例である。雪崩発生箇所は、東北8・長野7・新潟44・その他7で全国にまたがっており、雪崩の種類別では全層雪崩14、表層雪崩52である。

2.2 解析手順

解析手順は、図-1に示すように地形の縦断形状を2次曲線に近似し、これから求めた各種説明変数と、雪崩の到達点と発生点を結んだ角度との重回帰分析を行い、雪崩到達点の位置を推定する式を作成した。さらに、この分析結果を使って雪崩の危険度の範囲設定の試みを行った。

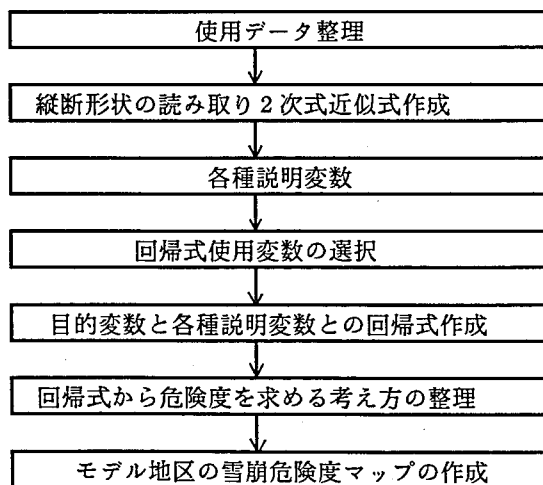


図-1 解析手順

2.3 解析に用いた地形因子

雪崩の地形縦断を2次式に近似し、これと発生点と停止点の位置からつぎのような因子の値を求めた(図-2)。

$$y = ax^2 + bx + c$$

: 縦断形状2次回帰式

α : 雪崩の到達点と発生点を結んだ角度

β : 雪崩発生点と走行路上の勾配が 10° になる点を結んだ角度

θ : 発生点の角度

y'' : 放物線の曲率

H: 雪崩発生点と放物線の頂点までの高低差

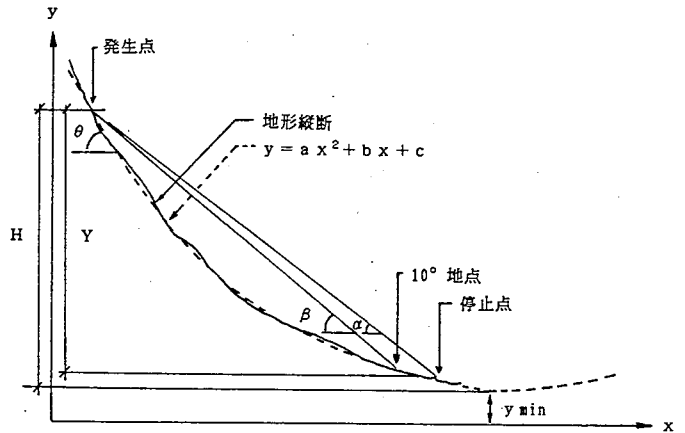


図-2 各種地形因子

3 解析結果

3.1 変数間の相関関係

目的変数 α 、説明変数4因子(β 、 θ 、 y'' 、H)、計5因子の平均値、標準偏差の基礎データ解析結果は表-1に示すとおりである。

表-2は目的変数 α と各説明変数との相関係数表である。目的変数 α と各説明変数との相関係数は0.3以上、説明変数間の相関係数は0.6以下であり、説明変数4因子を同レベルで変数増減法による重回帰分析を行っても差し支えないと言える。

表-1 因子基礎解析結果

	$\alpha (^{\circ})$	$\beta (^{\circ})$	$\theta (^{\circ})$	H (m)	y''
平均	26.8	28.3	39.0	301	0.0074
標準偏差	6.21	5.90	7.61	276	0.0185
最小値	16.3	17.9	25.3	7	0.00014
最大値	45.5	40.6	53.7	973	0.115

表-2 相関係数表

	α	β	θ	H	y''
α	1	0.70	0.68	-0.35	0.40
β	0.70	1	0.53	-0.18	0.17
θ	0.68	0.53	1	-0.40	0.50
H	-0.35	-0.18	-0.40	1	-0.37
y''	0.40	0.17	0.50	-0.37	1

3.2 変数増減法による重回帰分析結果

表-3は、各種条件別に変数増減法(変数を合理的に増減して回帰式を求める解析方法)による重回帰分析で求めた α と説明変数の関係式を示したものである。全データ使用の場合には3変数の重回帰式が得られた。

表-3 変数増減法による重回帰分析結果

使用データ	数	重回帰式	相関係数
全データ	66	$\alpha = 0.517\beta + 0.286\theta + 48.5y'' + 0.675$	0.802
表層雪崩のみ	52	$\alpha = 0.562\beta + 0.243\theta - 0.0031\theta + 59.2y'' + 2.01$	0.835
家屋衝突かつ斜面延長100m以下除く	18	$\alpha = 0.962\beta - 0.0013H + 378y'' - 2.01$	0.992

回帰式による α の推定値と実測値の関係で、全66データを使用した場合にはデータにはばらつきがあり、家屋衝突かつ斜面延長100m以下を除いた場合には相関係数が0.99以上と高くなっている(図-3、4)。

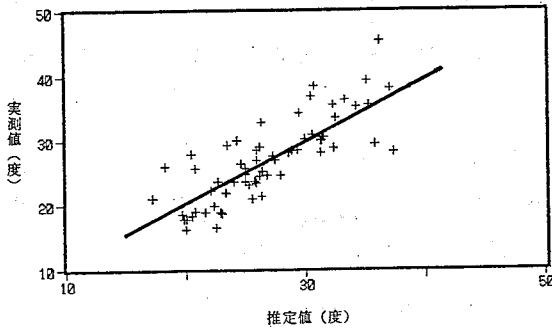


図-3 α 推定値と実測値の関係
(全データ使用)

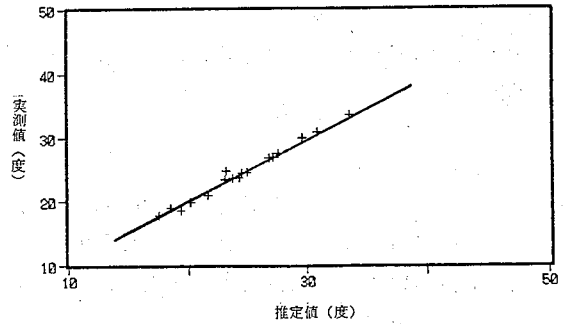


図-4 α 推定値と実測値の関係
(家屋衝突かつ斜面延長100m以下除くデータ使用)

4 統計的手法による雪崩危険度ランクづけ

ここでは、全データ使用の場合の回帰式による推定値と、実測値の誤差のばらつき信頼限界を求め、統計的な意味をもたせ危険度の範囲を設定した。

4.1 信頼区間による意味づけ

回帰式において y の値を推定する場合その誤差は t 分布になることが知られている。全データ使用の回帰式の推定値と実測値の信頼限界は図-5の通りであり、全体の90%以内にほとんどのデータが入る結果となった。また、推定値と実測値の平均的な偏差 (σ) は全データ使用の場合、3.80度であった。

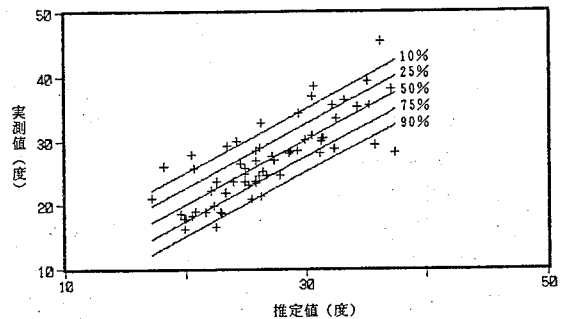


図-5 α 推定値と実測値の信頼限界

4.2 危険度の設定

図-6は α 値の平均値での信頼限界 2.5%・10%・25%・50%、 $m - \sigma$ 、 $m - 2\sigma$ の値、全層雪崩見通し角 24° 、表層雪崩 18° が全体の分布の中で、どのような位置にあるかを表したものである。表層雪崩見通し角 18° は $m - 2\sigma$ とほぼ一致する結果となった。

これをもとに $m - 2\sigma$ を「ほぼ安全」と「やや危険」域の境界、 $m - \sigma$ の値を「やや危険」と「危険」の境界とする4段階の危険度の設定を試みた。

実際の危険度境界は、地形縦断形状から求めた α 推定値から σ と 2σ の偏差を差し引いた値となる。

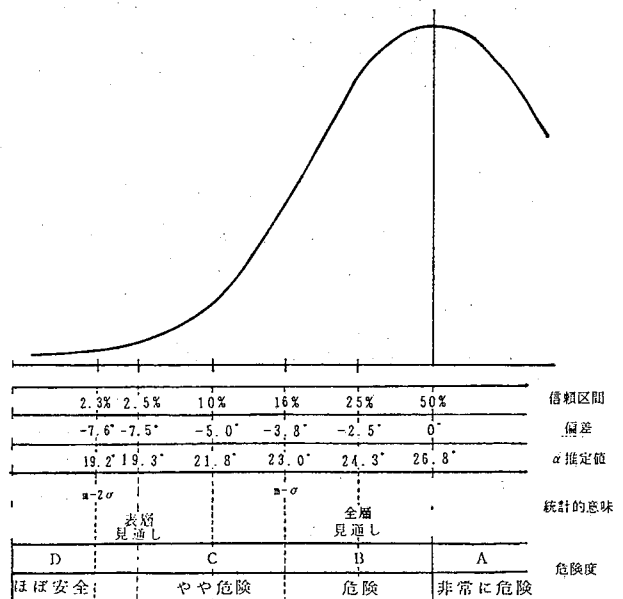


図-6 各種統計的意味と危険度の設定

5 実際の地形への応用

この雪崩停止点の推定方法を新潟県湯之谷村葎沢の実際の地形に適用した(図-7)。この地区は両岸が雪崩斜面となっている。この斜面の地形縦断形状と雪崩発生点を与え雪崩危険度を求めた。斜面に近いほど雪崩の危険度は高く、集落付近は危険度B(危険)、C(やや危険)となった。

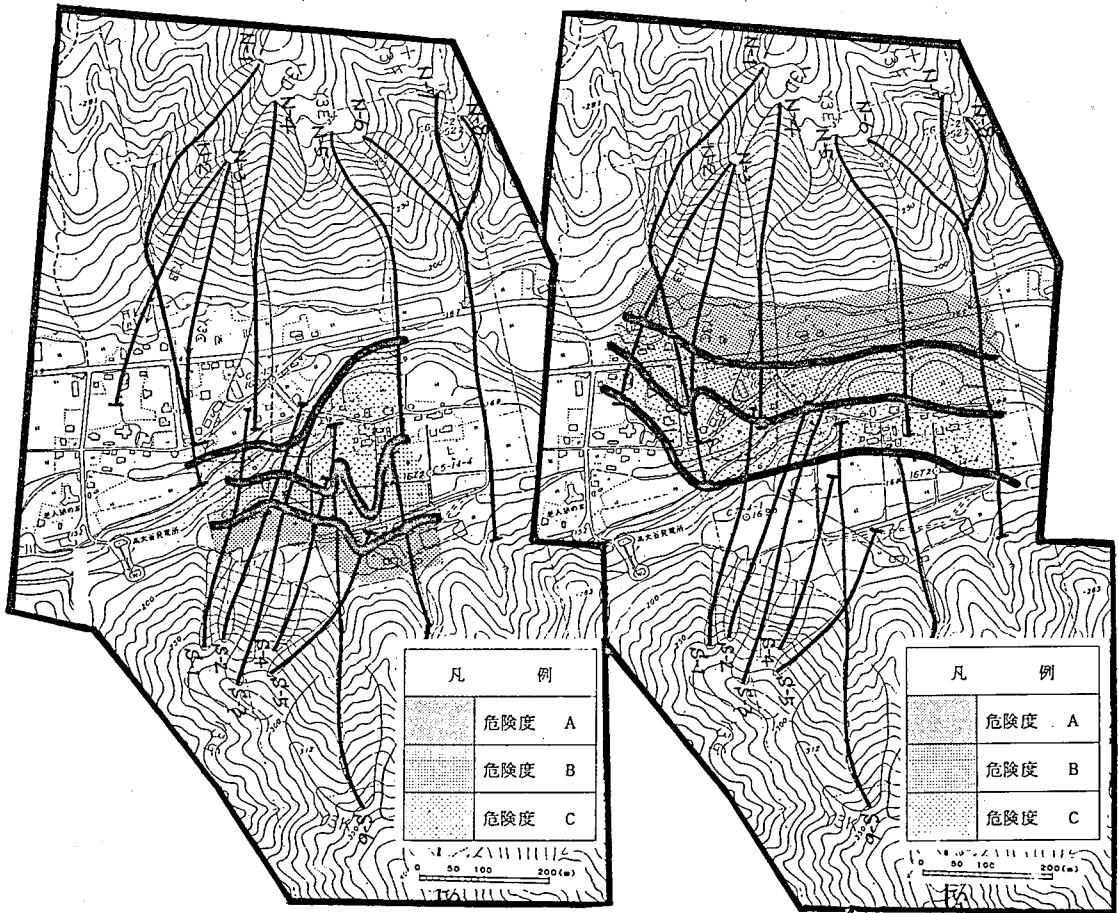


図-7 雪崩危険度マップの例

6 雪崩対策への応用と課題

雪崩の発生区の推定手法とこの方法を結び付け応用すると、地形のメッシュデータから、効率的・客観的な雪崩危険度ランクに色分けが可能となる。しかし、大規模表層雪崩の場合のように、 α 値が小さい場合には「ほぼ安全」の範囲が 10° 以下なることなど、実際への応用にはいろいろな問題点がある。

今後は、雪崩の流下経路の植生や雪質など各種の条件ごとの特性を考慮して解析を行い、より実際の危険度の設定を行っていく必要がある。

参考文献:

Calculation of Snow Avalanche Runout Distance; S. bakkehoi, U. Domaas and K. Lied; Annals of Glaciology, 1983