航空写真判読にもとづく、雪崩の動摩擦係数の算出

坊 城 智 広*

Calculation of Kinetic Friction Coefficient of Snow Avalanche on Photointerpretation

by Chiko Bojo

Abstract : Kinetic friction coefficient of snow avalanche was estimated by means of photointerpretation, terrain measurement and computation. This will contribute to calculation of speed, kinetic energy and impulsive force of snow avalanche for the purpose of the highway plan in a snowy mountainous area.

まえがき 雪の多い山岳地帯に道路を計画する場合に、道路予定線に沿った斜面について、雪崩の速度、エネルギー、衝撃力などを推定して、路線上の雪崩危険度を与えることも防雪計画にとって有効な方法である。そのためには雪崩の動摩擦係数の値が必要となるが、ここでは、前の報告¹⁾と同じ方法によって、2、3の地域において雪崩の動摩擦係数を求めた結果を報告する。

1 方 法

考え方も方法も、前の報告¹⁾と全く合じであるので、ここでは概要について説明する。

1-1) 航空写真より、雪崩の始点(発生点)と終止点を判読する。

1-2) 雪崩径路の始点側から終止点側に向って、雪崩の径路の屈折点 P_i (始点と終止点を含む)の座標 (X_i, Y_i, H_i) ($i=0, 1, 2, 3, \dots, n$) を測定する。

1-3) 動摩擦係数の値をいろいろ変えて、雪崩速度を計算する。このとき、次の式を用いる。

$$U_i = \sqrt{2gS_i(\sin \alpha_i - B \cos \alpha_i) + U_{0i}^2} \quad (1-3-1)$$

$$U_{0i} = U_{i-1} \sqrt{1 - 0.946 \sin^2(\theta_{i-1}/2) - \frac{2.05 \sin^2(\theta_{i-1}/2)}{B}} \quad (1-3-2)$$

$$U_{0,1} = 0$$

$$S_i = \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2 + (H_i - H_{i-1})^2}$$
$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

但し、

U_i : 径路途中の点 $P_i(X_i, Y_i, H_i)$ における速度

g : 動力加速度

S_i : 径路の途中の点 P_{i-1} と点 P_i を結んだ直線

$\overrightarrow{P_{i-1}P_i}$ の長さ

$\alpha_i : \overrightarrow{P_{i-1}P_i}$ の傾斜角

$U_{0i} : P_{i-1}P_i$ において、 P_{i-1} における初速度

$\theta_{i-1} : \text{点 } P_{i-1} \text{ における屈折角 } (\overrightarrow{P_{i-2}P_{i-1}} \text{ から}$

$\overrightarrow{P_{i-1}P_i}$ に移るとき)

B : 雪崩の動摩擦係数

1-4) 1-3) において、動摩擦係数 B の値をいろいろ変えた場合の、雪崩終止点の速度が求められるが、これから、終止点で速度が 0 になるような動摩擦係数 B の値をグラフにより求める。

尚、参考のために、雪崩径路の展開図と、いろいろな B の値に対する速度の変化の一例を、図1-1、図1-2 に示す。

2 計 算 値

KE-42, TK-43, 107G-43, TH-44, 112G-42, 112G-44 の 6 地区の合計170斜面について、 B の値を求めた。 B の値を 0.1 の間隔で区分し、度数百分比の各地区毎の分布および 6 地区の度数百分比の平均を求めてみると、表2-1および図2-1 のようになる。これを見ると、 B の値は大体 0.6~0.7 の場合が多いと考えてよいようである。

また、107G-43, TH-44, 112G-42, 112G-44 の 4

*国際航業株式会社 Kokusai Aerial Surveys Co. Ltd.
「写真測量」 Vol. 9 No. 1 1970

図1-1 雪崩径路の平面図と縦断面図の一例

Fig. 1-1 An example of the plane figure and the vartical section of a snow avalanche course

表 2-1 雪崩の動摩擦係数 B の度数分布表

Table 2-1 Frequency distribution of calculated kinetic friction coefficients of snow avalanche (B)

項目 B	地 区 別 度 数 お よ び 百 分 比												全 地 区	
	KE-42		TK-43		107G-43		TH-44		112G-42		112G-44		度数	(%)
	度数	(%) 百分比	度数	(%) 百分比	度数	(%) 百分比	度数	(%) 百分比	度数	(%) 百分比	度数	(%) 百分比	合計	平均
0.20～0.29	1	7.1							2	3.9			3	1.8
0.30～0.39	0	0.0							0	0.0			0	0.0
0.40～0.49	1	7.1	1	4.6					9	17.6	7	26.0	18	9.2
0.50～0.59	2	14.3	5	22.7	1	2.9	5	23.8	13	25.5	6	22.2	32	18.6
0.60～0.69	10	71.5	11	50.0	13	37.1	8	38.1	14	27.5	9	33.3	65	43.0
0.70～0.79			3	13.6	9	25.7	8	38.1	5	9.8	3	11.1	28	16.4
0.80～0.89			2	9.1	9	25.7			5	9.8	1	3.7	17	8.0
0.90～0.99					2	5.7			3	5.9	1	3.7	6	2.5
1.00～1.09													0	0.0
1.10～1.19					1	2.9							1	0.5
計	14	100.0	22	100.0	35	100.0	21	100.0	51	100.0	27	100.0	170	100.0

図1-2 動摩擦係数 B をいろいろ考えた場合の雪前速度の計算例

Fig. 1-2 An example of calculated snow avalanche velocities(U) with various Coefficients of kinetic frictions (B).

地区では、無雪時の航空写真より雪崩径路の植生を判読して、表 2-2 のような階級に分け、この植生階級と B の値の相関の有無を調べるために、図 2-2 のグラフを作ってみた。これによると、107G-43 地区では、かなりの相関がみとめられるようであるが、他の 3 地区では、相関がみとめられず、全体として、これだけの結果からは何とも言えないであろう。

3 動摩擦係数の実測例

昭和39年から41年にわたって、新潟県中頸郡妙高村の人工雪崩実験場で行なわれた実験において測定され

図 2-1 雪崩の動摩擦係数Bの度数分布図

Fig. 2-1 Frequency distribution of calculated kinetic coefficients of snow avalanches

図 2-2 植生階級と動摩擦係数の関係

Fig. 2-2 Relation between plant classes and kinetic friction Coefficients

表 2-2 雪崩斜面の植生階級

Table 2-2 Plant classes of snow avalanche slopes

階 級	植 生
A	裸地、草地、植林またはそれらの混合で比較的滑らかな斜面
B	Aに灌木が混入している場合
C	灌木地またはAと樹木との混成
D	灌木と樹木との混成
E	樹木

た雪崩速度から逆算された動摩擦係数の値として、0.518, 0.559, 0.579, 0.586が得られている²⁾。
中峠哲郎氏は、福井において、雪塊を用いて雪の動摩擦係数を測定し、積雪の種類に関係なく、0.48～0.56という値を得ている³⁾。

新保正樹氏は、北海道において、0.7～0.8を得ている³⁾。方法は中峠氏と同様であろう。

新井秀雄氏は、比較的暖気るとき、斜面積雪を引つ張って0.48～0.58の値を得ている⁴⁾。(但し、昭和32年3月30日、+14℃、晴、土樽斜面、積雪3m)

スイス国立なだれ研究所が中心となって定めた同国の国営なだれ施設規準書が採用している値は、0.50～0.60である⁴⁾。

また、平田徳太郎氏は、ざらめ雪の雪面を滑走している雪塊(20³～40³cm)に対する動摩擦係数を求めているが、これによると、ざらめ雪の密度0.4～0.6 ton/m³に対して、動摩擦係数もそれと同じような値0.4～0.6(雪の密度に比例して)となっている⁴⁾。

これらの実測例の範囲内では、動摩擦係数の平均値は0.5～0.6と考えられる。これに対し、著者らが航空写真判読にもとづいて求めた値の平均値0.6～0.7は幾分大きい感がある。

この理由としては、

- 3-1) 実験の場合はできるだけ平らな雪面を使っていると思われるのに対し、一般の雪崩斜面では凹凸や植生などのため、見かけの動摩擦係数が大きく求められるのではないか。
- 3-2) 実験の場合は主として雪塊を用いて低速で求めているのに対し、一般の雪崩は高速による雪層の乱れのために動摩擦係数が、見かけ上、大きく求められるのではないか。
- 3-3) 屈折点における速度変化について言えば、本文の式(1-3-5)による変化率が実際の変化率よりも小さいのではないか。(雪崩の終止点が与えられているのであるから、屈折点における速度の減少が小さければ動摩擦係数はそれを補うように大きくなる)

3-4) 雪崩速度の式の問題。

などが考えられるが、結局、実験で得られるのは真の動摩擦係数であると言えるのに対し、著者らの求めたものはいろいろな成分を含んだ見かけの動摩擦係数であり、一般の斜面の雪崩については、むしろ後者の方が实际的と言えよう。

4 今後の問題

本文の雪崩速度の計算方法には大きな問題点がある。その一つは、実際の雪崩の運動は剛体と流体の性質をもつと思われるのに対して、本文の雪崩速度の式(1-3-1)は剛体の運動を表わすものであることであり、もう一つは屈折点における速度変化の式(1-3-2)は管水路についての実験式で、屈折点では流体として扱っていて矛盾していることである。

尤も、雪崩の強さのランクづけをする程度ならばあまり問題はないかも知れないが、防雪施設の設計強度を求める資料とするような場合には、やはり現象をできるだけ忠実に表現するものなければならない。

そこで、今後の問題として、

- 4-1) 屈折点における速度変化をも含めて、雪崩速度の式の検討
- 4-2) 問題がやや広くなるが、雪崩の発生危険度(または発生率、発生危険度ランクなど)と強さを表わす危険度を結びつける方法について考えているので、次の機会にでも報告させていただきたいと思う。

参考文献

1) 坊城智広：航空写真による雪崩の等級づけの試みと雪崩量の測定について Vol. 7, No. 3, 1958, p. 9
2) 川崎製鉄株式会社：スノーシェッド実験報告書 41年8月
3) 中峠哲郎他2：弾性論的に見たなだれの生成 応用物理, Vol. 34, No. 2, 1965, p. 124
4) 日本建設機械化協会編：防雪工学ハンドブック 43年11日, p. 75