

112 表層雪崩発生予知手法の検討

(株) MTS 雪氷研究所 ○西村 寛・入川真理
松田益義・鶴飼昭一

1. はじめに

多雪地域では毎年のように雪崩災害が発生し、その発生予知は重要かつ緊急な課題として調査、研究が進められている。

これまでの多くの調査、研究は雪崩発生時の降積雪等の気象状況、及び地形、植生状況に基づく経験的手法が主流である。しかし、雪崩の発生機構を物理的にとらえて発生予知に結び付けようという研究は少ない。

本研究は、雪崩を積雪の破壊現象としてとらえ、物理的アプローチによる発生予知手法を確立しようとするものである。

2. 基本モデル

雪崩は破壊現象であるから、破断面（すべり面）にかかる斜面方向剪断応力 τ とその面の剪断破壊強度 σ との関係が、

$$\text{斜面方向応力 } \tau < \text{ 剪断破壊強度 } \sigma$$

の時は雪崩は発生せず、

$$\tau \geq \sigma$$

の時、発生する。

遠藤(1986)は、斜面方向剪断応力 τ を雪荷重 W と斜面傾斜角 θ を用いた次の式で定義し(図-1参照)、

$$\tau = W \cos \theta \sin \theta$$

剪断破壊強度 σ を渡辺(1977)による剪断破壊強度測定結果の下限値を示す下式、

$$\sigma = \sigma_0 e^{m\rho}$$

$$\sigma_0 = 0.75 \text{ g/cm}^2$$

$$m = 15.3 \text{ cm}^3/\text{g}$$

で与えた。

ただし、密度 ρ は小島の圧密式により算出した。

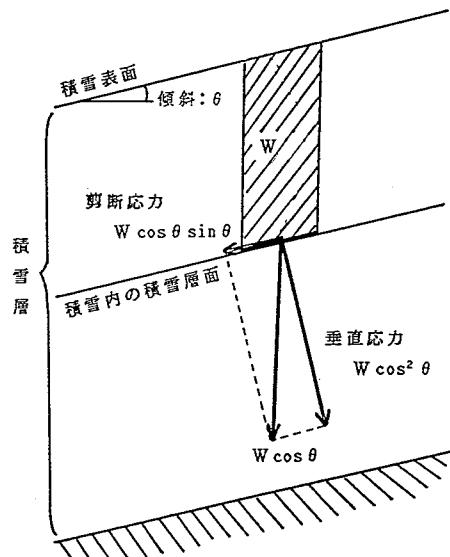


図-1 斜面積雪内部にかかる力

上記の遠藤の方法は破壊強度を密度のみの関数で表現している。しかし、雪崩発生時における実際のすべり面は、破壊強度が、著しく小さい弱層であることが多い。

そこで、本研究は上記の遠藤の方法を基本とし、弱層の存在を考慮して、弱層を含む各層の破壊強度と剪断応力の大小を比較し、雪崩の発生を予知しようとするものである。

3. 弱層の形成モデル

積雪内が等温度場である場合、雪は降り積もった後、あとから降り積もった雪の荷重により圧縮され、密度増加すると共に破壊強度が増加する。このような積雪の変質に対しては、破壊強度は渡辺の測定結果から推定できる。

しかし、積雪の内部に強い温度勾配があるとき、雪は等温度場とは異なった変質をし、しもざらめ化する。一般に、しもざらめ化が進むほど破壊強度が小さくなる。従って、温度勾配が強いほど破壊強度が小さくなる。

積雪層内の温度分布を計算により求めた結果を図-2に示す。図は、雪面温度の日変化をサインカーブとし、振幅を5°Cとし、積雪密度は0.1 g/cm³とした時の結果である。同図によれば、雪面温度が大きく変化しても雪内の温度変化が顕著な層は深さ20cm程度までであり、温度勾配もこの深さ程度までが顕著である。従って、弱層は雪面付近の20cmまでの深さにて形成されると考える。

4. 雪崩発生の判定法

雪崩は積雪層にその破壊強度を越す斜面方向応力がかかったときに発生する。図-3には、連続降雪時の斜面方向応力と破壊強度の時間変化例を示す。

降雪開始初期は破壊強度 σ が応力 τ よりも大きく雪崩は発生しないが、引き続き降雪があると応力 τ は破壊強度 σ より大きくなる。この時雪崩が発生すると判断することが出来る。

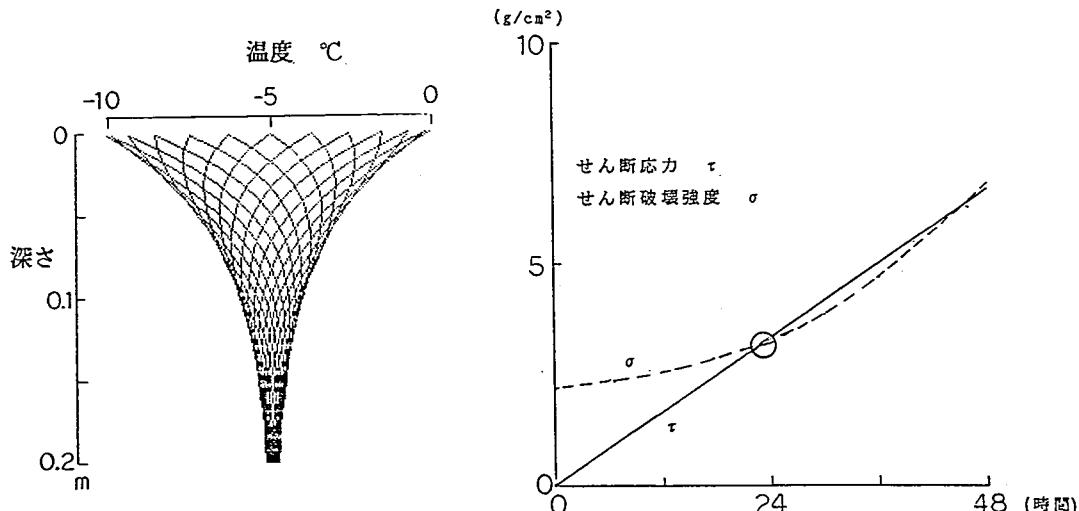


図-2 積雪層内の温度分布

図-3 斜面方向応力と破壊強度の時間変化例

図-4には連続降雪時の破壊強度と斜面方向応力の時間変化を降雪強度別に示す。図に示された破壊強度は、平常な積雪と4つの、積算温度勾配の異なる弱層についての時間変化である。積算温度勾配の大きな弱層ほど破壊強度が小さいため、降雪開始後、早い時間で応力の値と破壊強度を上回り、雪崩発生することが読み取れる。

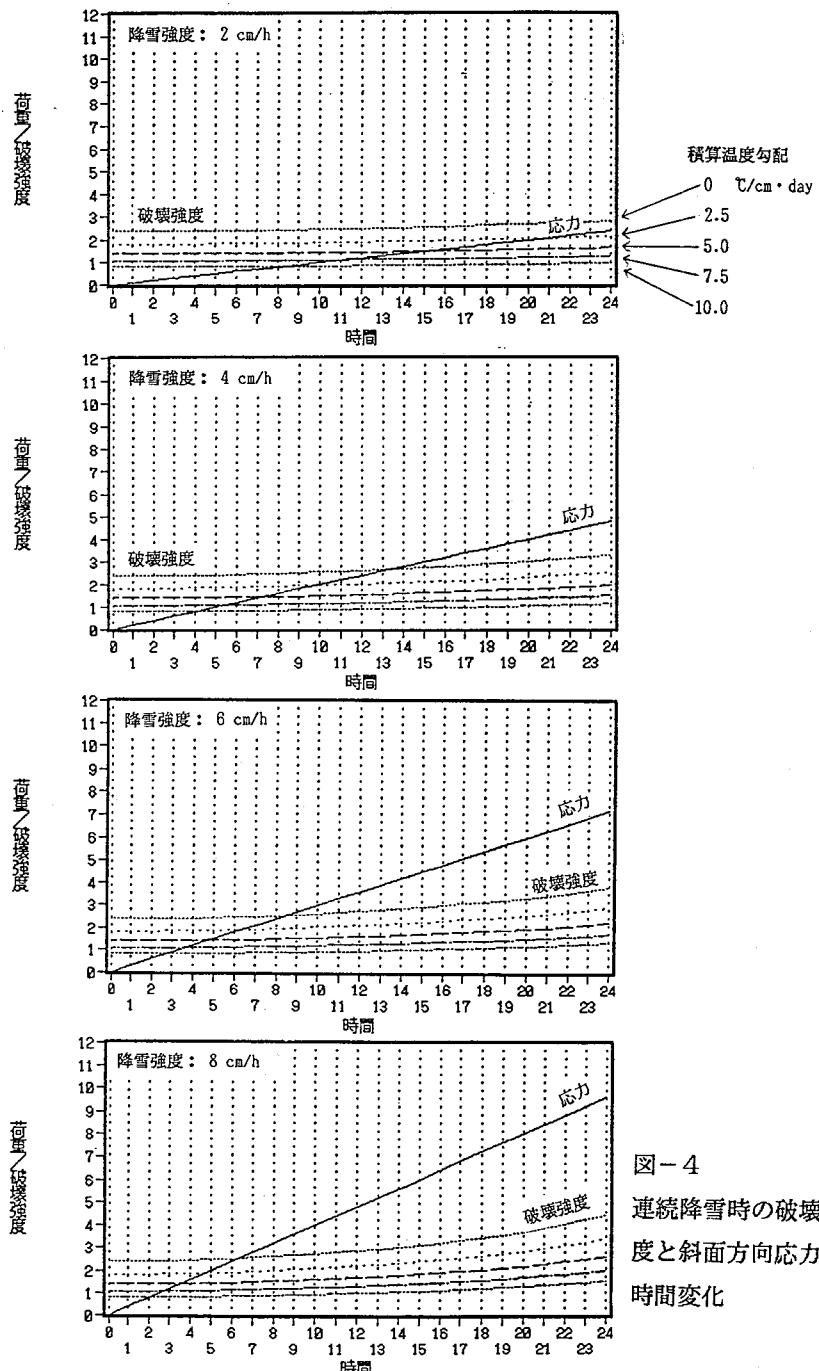


図-4
連続降雪時の破壊強度と斜面方向応力の時間変化

図-5には、図-4の応力と破壊強度の交点をまとめ、縦軸を累計降雪深に置き換えて作成したものである。

積算温度勾配を気温データより計算し、積雪各層の積算温度勾配を求め、降雪強度観測から降雪強度、及び累計降雪深をもとめることにより、現在、及び、数時間先が雪崩発生に対して安全であるのか、危険であるのかを判定することが出来る。

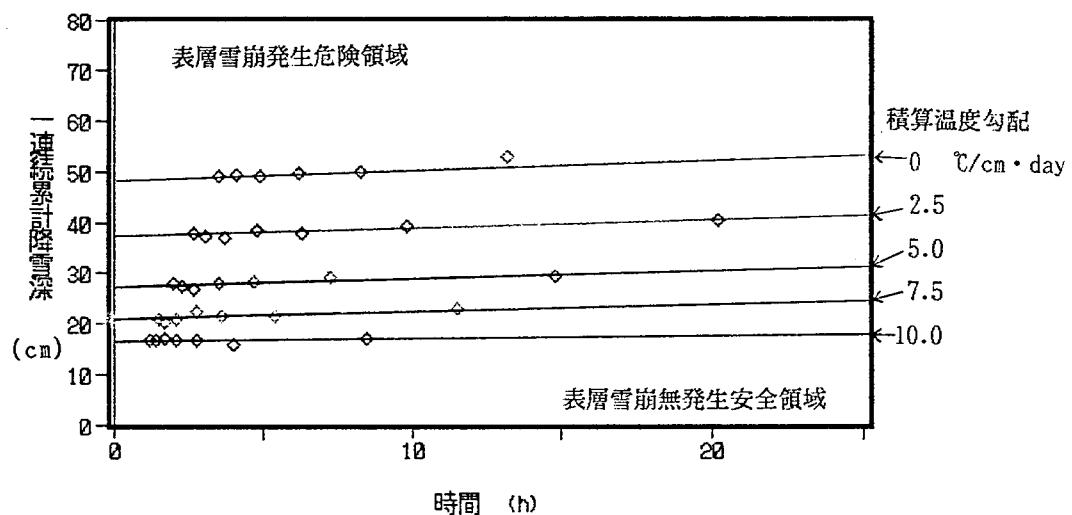


図-5 一連続累計降雪深と表層雪崩発生時間