

71 雪崩誘導工に関する模型実験

建設省土木研究所 ○藤澤 和範
網木 亮介
中村 良光
寺田 秀樹
小林 純

はじめに

雪崩誘導工の実験については、平成2年度から報告しており、2年度は誘導擁壁に作用する衝撃力特性及び擁壁の設置角度と雪崩の誘導効果について低温室において実験を行った。3年度は誘導擁壁に衝突した雪崩の挙動（おもに雪崩の跳躍長さと同躍高さ）について低温室において実験を行った。本年度は自然の雪を用いた縮尺の大きい模型実験と実際の雪崩事例から雪崩の挙動を検討し、低温室実験の結果と比較すると共に、雪崩の誘導を経済的に行う方法について検討をおこなった。

1 自然の雪を用いた雪崩誘導工実験

1.1 実験の目的

昨年度は低温室における実験から誘導装置に衝突した雪氷粒子の飛雪高および飛雪長を予測する実験式を作成した。しかし実験施設の制約から、誘導装置への衝突速度は2m/sから6m/sの範囲の実験結果から得られたものである。そのため本年度は衝突速度が6m/sより大きい範囲を対象として実験を行い、昨年度に作成された実験式の検証を行った。実験式は次に示す。

$$H_1 = \frac{(k \cdot V_0 \cdot \sin \theta)^2}{2 \cdot g \cdot (\sin \beta + \mu \cos \beta)} \quad \dots \text{式(1)}$$

$$L_1 = \frac{k \cdot V_0^2 \cdot \sin \theta}{2 \cdot g \cdot \Phi^2} \cdot (2 \cdot \Phi \cdot \cos \theta - \mu \cdot k \cdot \sin \theta \cdot \cos \beta) \quad \dots \text{式(2)}$$

ただし $\Phi = \sin \beta + \mu \cos \beta$

1.2 実験方法

実験は新潟試験所構内の雪崩実験斜面を用いて行った。斜面の概要を図-1に示す。斜面の上部に縦、横、高さそれぞれ1m, 1m, 0.5mの箱を4個あらかじめ準備し、一降りの降雪によって形成された積雪を誘導装置に衝突させて雪崩の速度、飛雪高、飛雪長等を計測した。誘導装置は衝突面の法勾配を90度とし、衝突角度を30、45、60度に変化させて3種類の実験を行った。実験は2回（1月25日と2月1日）行った。1月25日は降雪の止んだ昼間11時から12時にかけて行い、2月1日は降雪中の17時から20時にかけて行った。雪の密度等の状況を表-1に示す。なお、実験5、6、7については積雪が箱からスムーズに流下しなかったため次の解析からは外した。

1.3 実験結果

雪崩の流下速度についてみると、気温が高く水を含んだ雪を用いて実験した1/25の場合には乾いた雪を用いた2/1の場合よりも速度が小さい。1/25の実験では10m/sを超える事例はなく、2/1の実験では最大10.75m/sの事例が観測された。図-2および図-3は飛雪高および飛雪長の実測値と計算値の関係を昨年度の低温室実験結果¹⁾と合わせて本年度の結果を整理したものである。なお図中の

右上に一個離れてプロットされたデータは2章で検討された実際の雪崩の事例である。このことから昨年度作成された実験式は自然の雪を用いた雪崩についても妥当なものであることを示している。しかし、実際の雪崩の運動についてはまだ不明の点があるため、現地において確認することが必要である。そのため次に雪崩の発生事例から、地形そのものが自然の誘導工として機能した事例を調査し、実験式との比較検討を行った。

2 実際の雪崩事例の検討

2.1 雪崩災害の概要

検証計算を行った雪崩は昭和59年2月10日に新潟県のほぼ中央に位置する黒又沢で発生した²⁾。雪崩の発生位置及び流下経路は航空写真により確認されており、図-4に示すように砂防ダムに衝突する前に比高差が約180mある黒又沢の左岸に乗り上げている。そして雪崩の対岸への乗り上げの高さが樹木の破損調査から推定されている。現地調査の結果、雪崩の乗り上げ高さは90mまで確認できた。そこで検証計算は砂防ダムの袖を破壊したことから推定される雪崩速度と衝突角度、衝突面の法勾配から飛雪高さを計算し、この結果を樹木被害調査から得られた飛雪高さと比較した。

2.2 雪崩の運動解析及び雪崩を誘導した斜面条件

雪崩の運動解析は雪崩経路を勾配変化点毎に分割し、Voellmyの運動方程式を用いて逐次速度を求めることになる。計算に用いた動摩擦係数はSchaererが提唱した経験式 $\mu=5/V$ ($V \geq 10\text{m/s}$)を用い、 $10 > V$ の場合は $\mu=-0.01V+0.6$ とした。雪崩層の厚さは、現地近傍の気象観測所の気象データから求めた。2月10日以前の気象データを見ると2月2日から最高気温が氷点下の日が10日まで続き、3日から積雪深が急激に増加した。このことから3日にすべり面が形成され、その後の積雪が滑ったものとした。雪崩の発生厚さは3日以降の積雪の沈降を考慮すると2.2mが得られた。また発生位置から水平距離で1450m離れた発電所では積雪面から16mの位置にある窓の破損があったため、経路上の雪崩の厚さを比例配分して求めた。流動抵抗係数 ξ は雪崩の停止位置から逆算で求めることになるが84年の雪崩では砂防ダムによるエネルギー損失があるため適当ではない。したがって砂防ダムが設置されていなかった62年の雪崩データを用いて雪崩の停止位置から ξ を逆算したところ $\xi=2470$ を得た。雪崩を誘導した斜面条件は地形図から雪崩の衝突角度 θ 、斜面の法勾配 β を求めると $\theta=45^\circ$ $\beta=38^\circ$ である。

2.3 実験結果の検証

黒又沢で発生した雪崩の飛雪高と飛雪長について検証する。雪崩の飛雪高及び飛雪距離の算出に必要な値は、次のようになる。 $V_0=70\text{m/s}$ 、 $\beta=38^\circ$ 、 $\theta=45^\circ$ 、 $k=1$ 、 $\mu=0.7$

この値から実験式の飛雪高を求めると $H_1=119\text{m}$ になる。現地に最も近い宮村気象観測点の積雪深が3.4mであることを考慮しても飛雪高は123m程度であり、この計算結果は確認された樹木の最大被害高さの90mにほぼ等しい。

飛雪距離を模型実験結果から求めると $L_1=98\text{m}$ になる。この計算結果は樹木の被害位置から求めた雪崩経路から確認された70mにほぼ等しい。飛雪高、飛雪距離とも実験式がやや大きめの値を示す理由として、実際には雪崩の衝突する斜面には積雪があり、雪崩の衝突時に積雪を圧密することによりエネルギー損失があり k の値が1よりも小さくなったためと推定される。

以上の計算結果をこれまでの低温室実験および構内実験結果と併せて記述したものが図-2, 3である。雪崩誘導工に衝突した雪崩の飛雪高および飛雪距離はほぼ実験式で推定できることが分かったが、黒又沢の例にもあるように高さ100mの構造物を作ることは実際には困難である。したがって次に雪崩を経済的に誘導する方法について検討した。

3 誘導工の高さと誘導効果の関係

雪崩の飛雪高を誘導工の高さとして構造物を設計すると非常に大規模なものになる。そのため誘導工の高さと誘導効果の関係について模型実験から検討を加えた。実験に用いた斜面は昨年度実験を行った低温室での実験と同様の斜面であり、雪の供給方法は箱に入れた12Kg及び6Kgの雪を人力で流下させた。誘導工を飛び越えた雪の重量を測定し雪崩の誘導効果を求めた。

誘導工の高さHと誘導効果の関係は誘導面の法勾配によって顕著な違いがみられた。法勾配が90°の場合には誘導工の高さが小さくても誘導率が著しく良く、60°の場合には高さが小さいと多くが飛び越える。90°の場合、誘導装置に衝突した雪崩は誘導面に沿って運動し、誘導装置の前面に落下することがその理由である。法勾配が60°の場合には雪崩は誘導面に沿って乗り上げるため誘導工の高さが小さい場合には雪崩の多くが越流することになる。雪崩の全体の重量と誘導された雪崩の重量の比を誘導率として実験結果を整理した1例を図-5に示す。いずれの衝突角度の場合にも法勾配が90°の場合には誘導率が良くなっている。また法勾配が同じ場合には衝突角度が小さいほど誘導率が良くなっている。この理由は実験式の跳躍高 H_1 が衝突角度 θ の関数であり、衝突角度が小さいほど H_1 が小さくなることと関係している。また誘導工の高さが大きくなるにつれて誘導率が良くなることは当然の結果である。これらの実験結果を用いて雪崩の誘導効果を定量的に把握するため次の検討を実施した。

実験式より得られた飛雪高と誘導工の高さの比を用いて誘導率との関係について検討を行った。縦軸に誘導率、横軸に誘導工高さと飛雪高（計算値）の比をとると図-6が得られた。法勾配によって明らかな違いがみられ、60°の場合には誘導率を大きくするためには誘導工の高さを大きくする必要があり、その関係は90°の場合と比較して直線的である。しかし、90°の場合には飛雪高（計算値）の3割程度の高さがあれば、ほぼ100%の誘導が期待でき、60°の場合との顕著な違いがみられた。

おわりに

雪崩を誘導する場合、雪崩の飛雪高および飛雪距離は昨年度得られた実験式がほぼ実際にも適用できることを縮尺の大きな模型実験および現地データから確認した。また雪崩誘導工を経済的に有利に設計するためには誘導面の法勾配が90°であれば実験式から得られた飛雪高の3割あればほぼ100%の誘導が期待できることを模型実験によ

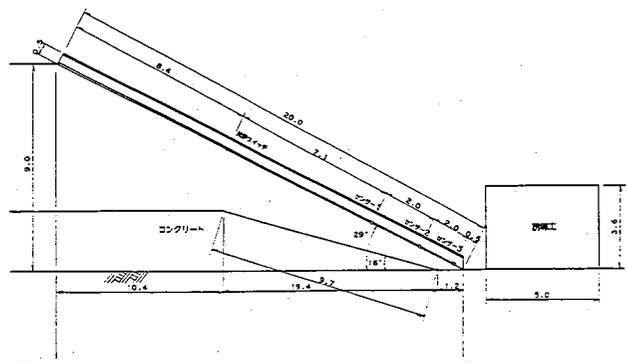


図-1 雪崩実験斜面の概要

り確認した。

- 参考文献 1) 雪崩誘導工に関する模型実験 小林ほか 平成3年度砂防学会研究発表会概要集
 2) 黒又沢砂防ダムの雪崩災害について 江口ほか 新砂防Vol.39, No.6

表-1 実験に用いた雪の状況

ケースNo	気温	雪温	雪密度	含水率	
1/25	1	5.3	0.2	0.15	24.7
	2	6.0	0.2	0.15	29.4
	3	7.5	0.2	0.14	26.6
	4	8.2	0.2	0.14	平均26.9%
2/1	5	-1.7	-0.8	0.11	0
	6	-1.3	0	0.17*	0
	7	-2.5	-1.5	0.10	0
	8	-2.5	-1.2	0.11	0
	9	-2.5	-2.0	0.11	0
	10	-2.3	-0.5	0.20*	0
	11	-2.5	-1.3	0.18*	0

*は新雪を壊さないように丁寧に箱に積めたもの

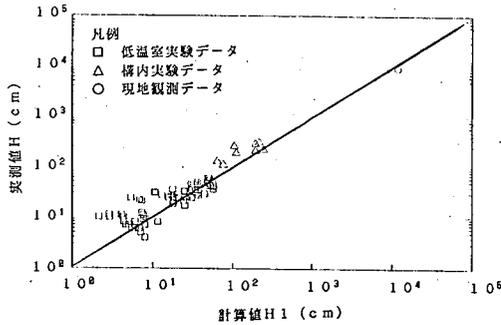


図-2 飛雪高の実測値と計算値の比較

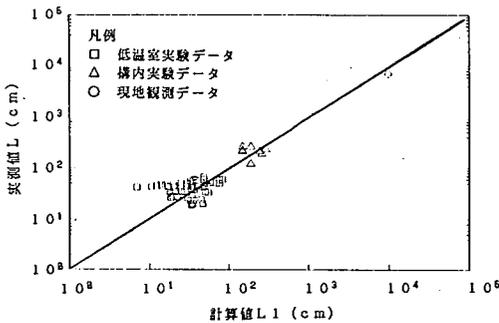


図-3 飛雪長の実測値と計算値の比較

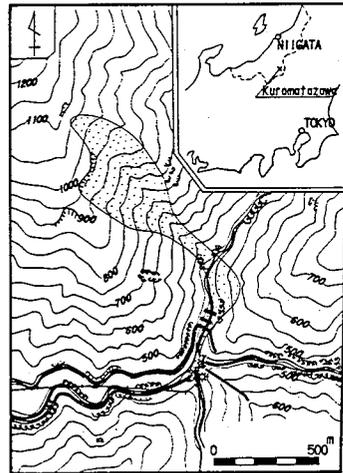


図-4 黒又沢で発生した雪崩の流下経路

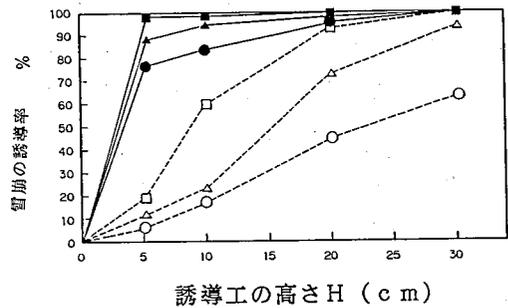


図-5 誘導工の高さと雪崩誘導率の関係 (凡例は図-6と同じ)

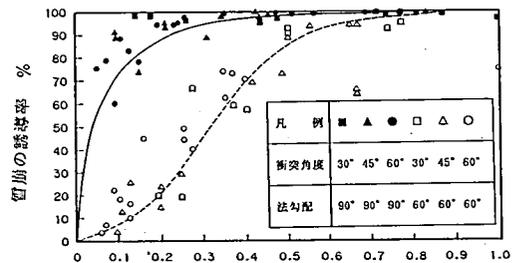


図-6 無次元化された誘導工の高さと雪崩誘導率の関係