

雪崩減勢工の速度低減効果に関する模型実験

建設省土木研究所 ○石田孝司 加藤信夫
(株)アルゴス 上石勲

1. はじめに

雪崩による集落災害を防止する手法は、発生を予防する予防工と、発生した雪崩を阻止・誘導・減勢させる防護工の2手法に大きく分けられる。雪崩対策は雪崩の発生自体を防止する予防工の施工が基本であるが、斜面の状況によってはこの予防工の施工が困難であるような雪崩危険箇所は多数存在するため、防護工による対策を余儀なくされる場合も多い。昭和60年度に雪崩対策事業が創設されて以来各種防護工についての実験的研究がなされ¹⁾、その成果は設計基準等に反映されてきた。今後は減勢工の計画・施工例の増加が予想されるが、減勢工の主流となる柵型減勢工に関しては減勢効果の評価手法および期待する構造物の効果を得るための空隙率の算定手法の考え方が確立されていない。減勢工の効果は雪崩速度の低下量で表され、柵の空隙率が速度低下量を左右する。また、雪崩の規模や速度、柵の列数等形状により雪崩の挙動と構造物の効果は異なる。これらに関して今後定量化していくため、本研究では柵型構造物を対象とし、柵の空隙率と列数の差違による構造物の雪崩に対する効果の評価を行うことを目的として模型実験を行い、考察を行った。

2. 実験手法と条件

図-1に実験装置の概要を示す。-10℃で作成した氷をアイスライザーを用いて粉碎し、1.19mmと0.85mmの篩の間に分別された氷粒子を用いて、室温-7~-5℃の低温実験室内に設置された長さ約3mの流下斜面上から流下させ、各ケースについて粒子の挙動の分析を行った。実験条件は表-1に示すように空隙率を45%~70%の間で7条件設定し、それぞれの条件について1列でこれを満たすもの、2列(柵間隔6cmで統一)でこれを満たすものの2種類、計14種類の減勢工模型を用い、各ケース3回の実験を行った。試料雪の模型衝突直前の速度は3.5m/sに設定したが、想定する雪崩の速度を35m/sとするとその比は1:10となることから模型の縮尺(長さ比)は $1^2:10^2$ とする必要がある²⁾。流下する雪崩層厚を4m程度と想定するために、実験室では4cm程度の雪崩層厚を得られるように試料雪の量および流下方法を検討・調整し、実験1回あたり流下させる試料(密度約0.48g/cm³)は4.5kgとした。また、雪崩内部の氷粒子の運動を確認するために直径約2mmの中空プラスチックビーズを混入した(混入率1%)。本模型実験では走路および堆積域の底面を積雪面と考えたが、底面の摩擦抵抗は少なくする必要のあることから³⁾、FRP樹脂板およびポリカーボネイト板を底面に使用した。

空隙率	柵1列	柵2列
40%	○	○
45%	○	○
50%	○	○
55%	○	○
60%	○	○
65%	○	○
70%	○	○

柵模型の高さは雪崩層厚4cm(現地積雪面上4m)に近い形とした。これは、減勢工の設計指針は積雪深+雪崩層厚以上となっているため、構造物の高さが設計最大雪崩層厚となるように設定したことによる。なお、模型直前まで走路を設定したのは、衝突時の雪崩層厚を確保するためである。また、これまでの実験手法では減勢工の効果は下流部での衝撃力計測に依っていたが、構造物の効果を理論的に評価するためには流下試料内部の情報が不可欠である。側壁により両横方向を拘束した状態では側壁による左右両側の摩擦抵抗による影響が大きいと考えられるが、氷粒子同士が衝突する際の横方向への応力の伝達を逃がすことで、より自然の状態に近い形で雪崩内部の粒子の挙動を観察することが出来ると考え、模型直前より片側の側壁を解放した。

以上のような条件により実験を行い、横方向からの高速度ビデオカメラの読みとりによる粒子の挙動の他、流下試料の到達距離と飛散状況等を調べた。

3. 実験結果

横方向からのVTR判読によると、流下する試料が柵に衝突することにより、柵間を通過する粒子と柵の上部を飛散する粒子の2層に大きく分かれている。試料を構成する粒子の速度低減効果を把握するため、試料に混入したビーズの挙動に着目し、読みとれるもの全てを柵通過直後の高さ方向の位置毎および時間毎に抽出した後、これらのベクトルを分解し、走路に平行なベクトルによってそれぞれの速度変化量を算出した。実験結果の一例として空隙率65%時の粒子の速度変化を図-2に示す。柵1列の場合には柵を通過する粒子と、柵上方を飛び越え飛雪する粒子の速度低減率分布には明瞭な差違が見られるが、柵2列の場合にはこのことは顕著には見られなかった。これは2列構造の場合、柵1列あたりの空隙が大きいため柵衝突前後における粒子の衝突頻度および粒子間圧力が柵1列の場合と比較して小さいことに起因するものと考えられることができる。

図-2のグラフを各ケースについて作成し、柵間を通過直後の粒子について直線回帰により速度低減率が100%となることを閉塞とみなし、試料が柵に衝突した直後から閉塞までに要する時間として図-3に示した。雪崩減勢工は流下する雪崩を閉塞させることなく勢力を低減させることを期待する構造物である。そのため柵型構造物を雪崩減勢工として機能させるためには、少なくとも雪崩のピーク時に構造物を閉塞させないことが絶対条件であると考えられることができる。図-3では柵の空隙率により閉塞までの時間が異なることを示したが、本実験における雪崩層厚のピークは先端通過後ほぼ0.15~0.30秒の間継続しているため、このことを考慮すると、空隙率55%以下の構造物では雪崩が柵に衝突後0.3秒未満で閉塞するという結果になる。

図-4には流下試料の飛雪距離および到達距離を示した。柵の上部を飛び越えた粒子の飛雪距離については柵の空隙率による違い、列数による違い共に大きな差違はないといえる。今回の実験により得られた結果を実際の雪崩に換算すると、想定する雪崩速度が35m/s程度の場合に飛雪距離は40~70mという結果となるため、施設計画にあ

たつては空隙率にかかわらず保全対象までの間にこの程度の距離に加え、飛雪した雪崩が再度積雪面に着地した後の流動を考慮した距離確保の必要性があることを示唆している。また、柵の空隙率が大きな構造であるほど流下試料の到達距離は大きな値を示す傾向がみられた。

柵の種類毎に減勢効果を把握するため、柵間を通過する層と柵上方へ飛雪する層とを分け、実験における雪崩のピーク間(0.15~0.30秒)に柵の通過を確認できた各粒子から読みとれた速度低減率を平均値として算出すると、図-5に示す結果が得られた。柵間を通過する粒子についてみると、列数による差は大きくはないが、空隙率により約50~95%の速度低減率を有している。また飛雪する粒子についても、空隙率にかかわらず50%以上の速度低減率を有している。

4. まとめ

減勢工の設計を検討する際には、雪崩走路各地点における雪崩の速度をシミュレーションモデルを用いて算出し、保全対象の手前での停止を可能とするような構造物を計画することになるが、現段階で問題となるのは、どのような構造の減勢工がどの程度の雪崩速度低減効果を有しているかという点にある。減勢工に期待する速度低減効果は構造物の空隙率により変化するため、求める速度低減率を達成できるような空隙率を有する構造物の設計が求められる。この問題に対するひとつの回答として、今回の実験により減勢工施工位置における想定雪崩速度が35m/s程度時の各空隙率での目安となる速度低減効果が示された。また、閉塞という問題を考慮すると、35m/s程度の速度の雪崩に対して空隙率55%程度以下の場合には雪崩ピーク時に柵間に閉塞をきたすことが示された。このことは、実験条件を5m/s程度として行われた過去の成果³⁾において、空隙率50%以下で閉塞効果が認められたとする結果と併せて、柵型構造物設計時に考慮すべき事項であると考えられる。

5. 今後の研究課題

柵型減勢工の設計手法を検討するにあたっては、期待する速度低減率の問題と柵の雪崩による閉塞の問題とを同時にクリアできるような設計を行う必要がある。そのため今後は雪崩速度の他、柵の列数、間隔、部材の配置構造等を変化させた実験を行うとともに、柵に衝突する粒子の挙動をモデル化し、構造物の効果を定量的に評価させる必要がある。また、実際に発生する雪崩の減勢工に対する効果は未だ評価されていないため、実験と平行して動態観測等による現地観測を充実させる必要がある。

【参考文献】

- 1) 例えば 建設省土木研究所砂防部 急傾斜地崩壊研究室 新潟試験所(1992)：雪崩誘導工に関する実験報告書, 土木研究所資料 第3134号
- 2) 藤沢和範(1996)：集落保全の雪崩対策と調査研究, 雪崩対策の基礎技術 pp39, (社)日本雪氷学会
- 3) 建設省土木研究所砂防部 急傾斜地崩壊研究室 新潟試験所(1991)：雪崩減勢工に関する調査研究, 土木研究所試料 第2936号

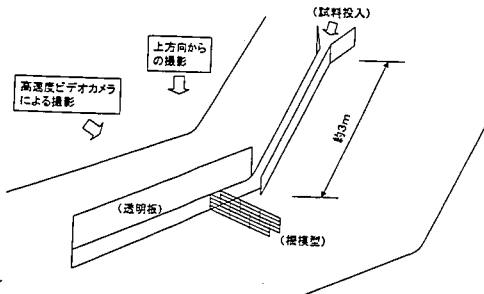


図-1 実験装置の概要

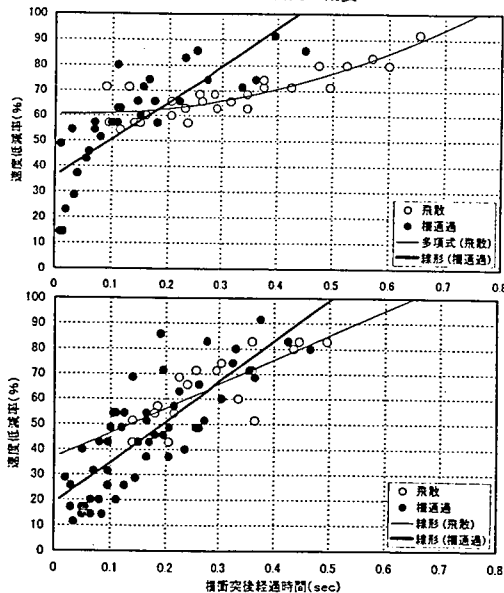


図-2 粒子の速度速度低減率分布の一例
(上：空隙率65%,柵1列 下：空隙率65%,柵2列)

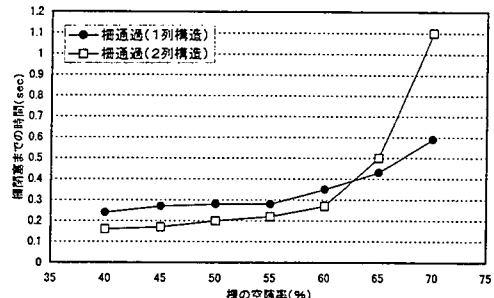


図-3 柵閉塞までに要する時間

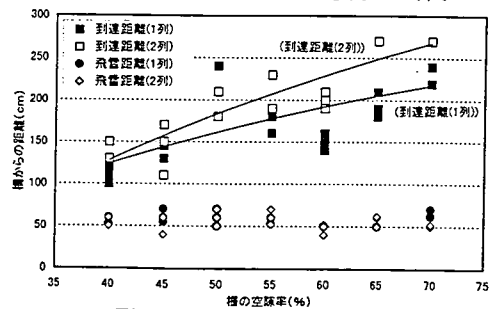


図-4 飛雪距離と到達距離

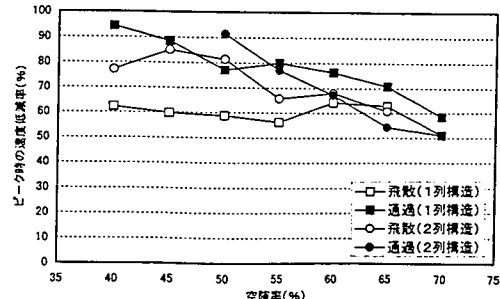


図-5 ピーク時の速度低減率