

CS 30

雪崩の3次元運動シミュレーションによる防護工の信頼性解析

金沢大学工学部 正会員 北浦 勝
 金沢大学工学部 正会員 池本敏和
 (株)中央復建コンサルタント 多田成宏

1. まえがき

住宅地の建設やスキー場の開発・拡大あるいは樹木の伐採時期決定などに当たっては、雪崩危険地帯の決定が極めて必要かつ重要である。雪崩による構造物被害、防止策の一つに雪崩防止施設の設置があるが、同施設がその機能を充分発揮するためには、雪崩がどこで発生し、どのような経路をたどって、どこで止まるかを予め明らかにしておくとともに、雪崩が防護工に及ぼす衝撃力および防護工の安全性を検討しておかなければならない。そこで本研究では、雪崩が地形の影響を受け、どのような運動走路をとるかを数値計算するとともに、衝撃力を評価し、防護工の信頼性解析を実施したものである。

2. 雪崩の運動

雪崩の慣性効果による走路のずれは、雪崩防止施設の設置位置の決定には無視し得ないものとなる。このことを考慮して、雪崩の走路や到達距離などを考える上で比較的単純であり、しかも有効であると考えられる3次元の納口モデルを用いて雪崩運動の解析を行なった^{1,2)}。初期の納口モデルでは質点が坂を滑り落ちる運動を取り扱っている。また動摩擦係数 μ と速度の2乗に比例する抵抗力の項の係数 δ の2つの抵抗係数によって、雪崩に作用する抵抗力 R を次式のように表している。

$$R = \mu N + \delta m v^2$$

ここに N は地形面からの拘束力、 m は雪崩の質量、 v は雪崩の速度である。解析においては対象地域の水平面に10m間隔の格子を考え、雪崩がある格子の中に入ったときは格子の4点の標高を比例配分することで、雪崩の標高を求めた。

3. 解析例および考察

北陸のある地区で昭和38年の豪雪時に発生した雪崩を例に運動解析を試みる。図1は対象地区の地形図である。地元民の説明によると、雪崩の発生点は標高360mのA点付近、到達点は標高で約100m下のB点付近であり、雪崩はB点の山側の家屋を破壊し、B点付近の家の軒先で止まったとのことであった。A点とB点との見通し角は約30度であり、このあたりはあまり木が育たない場所である。また、同地区の解析をVoellmy式を用いて行なった結果によれば、雪崩の最大速度は18 m/sec程度であった³⁾。 μ と δ の組み合わせのなかで当時の雪崩の走路とはほぼ一致し、最大速度が18 m/sec程度になるものは、 $(\mu, \delta) = (0.2, 0.0151[1/m])$ であるので、これ以後の解析では、この値を用いる。 μ を一定にし、 δ を種々に変えたときの解析結果例を図2に示す。ところで防護工の破壊確率の算定においては、抵抗力よりも荷重のばらつきの方がはるかに大きいことを考慮する必要がある。そこで、一般には雪崩が将来どこで発生するかを限定できないことから、(1)図1に示した範囲に10,000箇所の発生点を考え、(2)図中の L 軸において $L=0 \sim 70$ mに設置されている防護工へ到達するときの速度(防護工に対して垂直成分)を求め、(3)雪崩が防護工に及ぼす10,000個の衝撃力を算定する。次に、 L の

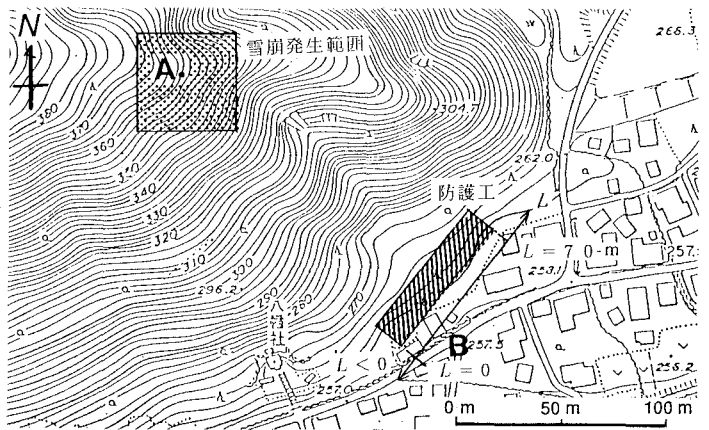


図1 解析対象地区の地形図

1 m毎に雪崩の平均速度と標準偏差を求め、同時に、その時の雪崩衝撃力の平均値 $\bar{P}$ と標準偏差 σ_p を次式で求める。ここで雪崩の単位体積重量の平均値 $\bar{\gamma}$ は、この防護工の設計で用いた値 0.45tf/m^3 とする。

$$\bar{P} = \bar{\gamma} \bar{v}^2 / g$$

$$\sigma_p = \frac{\bar{\gamma}}{g} \sqrt{4\bar{\gamma}^2 \sigma_v^2 + \bar{v}^2 \sigma_v^2}$$

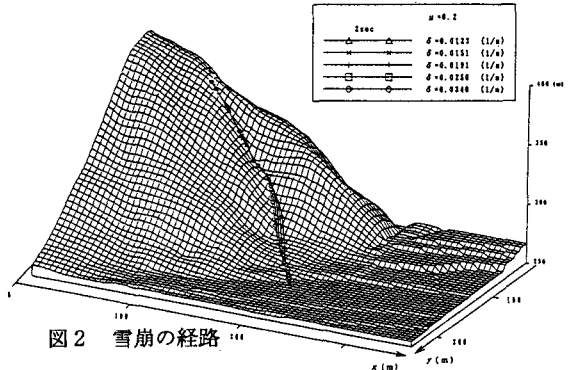


図2 雪崩の経路

(μ, δ) を一定とした場合の結果を図3に、 (μ, δ) を正規分布と仮定した場合（平均値 $(\bar{\mu}, \bar{\delta})=(0.2, 0.0151[1/\text{m}])$ 、変動係数は実際の中層雪崩の速度の範囲を考慮して0.3とした）の結果を図4に示す。図3に注目すると $L=27\text{m}$ から衝撃力のばらつきが大きくなっているが、これはこの地点に到達する雪崩の発生点が異なっているためである。ところでこれまでに世界で発生し、各種パラメータが計測された雪崩による衝撃力は最大で 5tf/m^2 程度である。しかし図4に注目すると (μ, δ) を一定とした場合に比べて雪崩が広範囲に到達していることとならんで、最大で 15tf/m^2 の衝撃力を見積もる必要があることがわかる。

次に、上述の衝撃力が現在設置されている防護工に作用した場合の破壊確率を求める。防護工は、親柱、子柱、支柱バーからなり、解析ではそれぞれの部材は独立と考える。雪崩によって作用する荷重を S 、各部材の許容耐力を R としそれぞれが正規分布と仮定すると、破壊確率 P_f は次のように表せる。

$$P_f = 1 - \Phi \left(\frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \right)$$

ここで $\bar{\cdot}$ は平均値、 $\Phi(\cdot)$ は平均値0、標準偏差1の標準正規分布関数である。 (μ, δ) を正規分布と仮定した場合の解析結果を図5に示す。一般のコンクリート構造物は、破壊確率が 10^{-2} 以下で安全と言われている。 $L=40\text{m}$ 以上の所で破壊確率が 10^{-2} よりも大きくなっているため今後補強が必要であると考えられる。

4. まとめ

- 1) 納口モデルを用いた雪崩の運動解析では、実際にあった雪崩を比較的的確に再現できる。
- 2) 納口モデルを用いて雪崩の運動解析を行うことによって、構造物に及ぼす衝撃力を算定することができ、防護施設などの設計の際の基礎的資料を得ることができる。

参考文献

- 1) 納口恭明：モデル地形における雪崩の運動走路、国立防災科学技術センター研究報告書、第31号、pp.153-174、1983.11.
- 2) 納口恭明：実際の地形上での雪崩の運動走路Ⅰ、国立防災科学技術センター研究報告書、第38号、pp.147-168、1987.3.
- 3) 北浦勝・池本敏和：流動係数の評価誤差が雪崩の3次元運動に及ぼす影響、第5回雪工学シンポジウム、pp.55-58、1989.1.
- 4) 日本建設機械化協会：新防雪工学ハンドブック、p.89、1977.12.
- 5) 雪崩対策研究会：雪崩とその対策、p.51、1987.12.

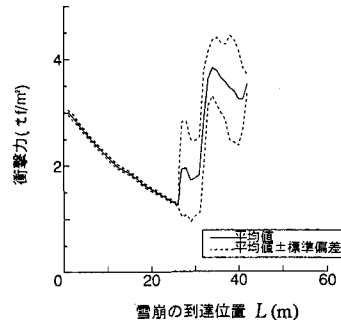


図3 到達位置における雪崩速度
 $(\mu, \delta)=(0.2, 0.0151)$ の場合

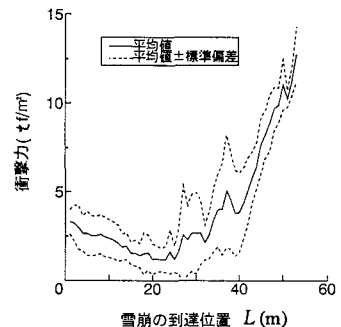


図4 到達位置における雪崩速度
 (μ, δ) を正規分布と仮定した場合

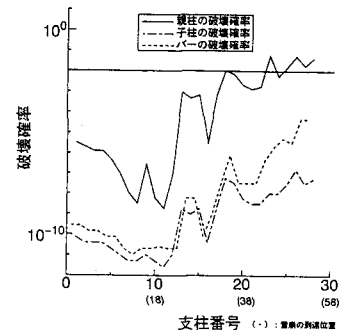


図5 各部材の破壊確率
 (μ, δ) を正規分布と仮定した場合