

## なだれの3次元運動解析

金沢大学工学部 学生員 ○村田 昭仁

金沢大学工学部 正 員 北浦 勝

金沢大学工学部 正 員 池本 敏和

## 1. まえがき

近年、住宅地の建設やスキー場の開発・拡大などがおこなわれ、「アバランシュ・ゾーニング」(なだれ危険地帯の決定)が必要になってきた。なだれによる災害を防止するためには危険地域に立ち入らないことが最も良いが、生活上、職業上などの理由から、人が危険地域に立ち入る機会も多くなってきた。他の防止策としてはなだれ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、なだれがどこで発生し、どのような経路をたどって、そしてどこで止まるかを予め明らかにしておかなければならない。

そこで本研究では、なだれ防止施設設置の基礎的資料として地形の影響によるなだれの運動走路を数値計算しようとしたものである。

## 2. なだれの運動方程式

なだれの運動方程式として2次元モデルによるものにはVoellmy式、Schaerer式、Peala式等があり、3次元モデルによるものは納口モデル、R. W. M., 不定流モデル等がある。またそれらの中には流体的あるいは連続体的な取り扱いをしようとする場合と、剛体的あるいは質点的な取り扱いをしようとする場合がある。

なだれの慣性効果による走路のずれは、なだれ防止施設の設置の際には無視し得ないものとなる。このことを考慮して今回は3次元モデルであり、なだれの走路や到達距離などを考えるうえで比較的単純であり、有効であると考えられる質点モデルである納口モデルを用いてなだれを解析した。

納口モデルにおける運動方程式の詳細については参考文献1)を参照されたい。その中では地形を次式 $z = f(x, y)$ で与えており( $z$ は鉛直上向き、 $xy$ 面は水平面)、なだれの自由度を2としている。また、抵抗係数( $\mu, \delta$ )の2つのパラメタによって、なだれに作用する抵抗力 $R$ を次式のように表している。

$$R = \mu N + \delta V^2$$

ここに $N$ は地形面からの拘束力、 $V$ はなだれの速度を表している。

納口モデルでの運動方程式は、地形 $f(x, y)$ 、なだれの発生点 $x_0, y_0$ 、初速度 $\dot{x}_0, \dot{y}_0$ 、そして抵抗係数 $\mu, \delta$ を与えることにより解くことができる<sup>1)2)</sup>。今回の解析では、解はRunge-Kutta-Gill法による数値計算により求めた。

## 3. 鳥越村三ツ屋野での解析

石川県の白山麓にある鳥越村の三ツ屋野地区で昭和38年の豪雪時に発生したなだれを例にとって運動解析を試みる。今回の実地形を利用した解析では5m間隔の格子を考え、なだれがその格子の中に入ったときは格子の4点の $z$ の値(標高)を比例配分することによってその点の $z$ を求めた。

図は三ツ屋野地区の地形図を示している。地元の人々の説明によると、当時のなだれの概況は発生点はA点付近、到達点はB点付近であり、なだれは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らしい。A点とB点との見通し角は約30度であり、この辺はあまり木が育たない場所である。また、同地区の解析は北浦・池本がVoellmy式を用いて解析しており<sup>3)</sup>、その解析によるなだれの最大速度は18m/sec程度であった。以上のことからこの時のなだれは全層雪崩だったと考えられる。

まず最初に、 $\mu = 0.0, \delta = 0.005, 0.01, 0.02$ の時の解析をした。それらの組み合わせの中で当時のなだれの走路とほぼ一致するものは、 $(\mu, \delta) = (0.0, 0.005)$ であった(図参照)。この時の運動中の速度は、標高320m辺りで最大値をとりその後減少するが、標高300m辺りで再び増加し始め、標高270m辺りで2回目

の最大値をとる。1回目の最大値は20m/sec程度であり、2回目の最大値は18m/sec程度であった。また、なだれは数回ジャンプしている。

このままではなだれは止まらないため、 $\delta = 0.02$ の時、 $\mu$ の値を0.1, 0.15, 0.2と変えて解析してみた。当時のなだれの概況と最もよく一致していたのは $\mu = 0.15$ の時であった。その結果も図に示す。このときの最大速度は16m/sec程度であった。

#### 4. 考察

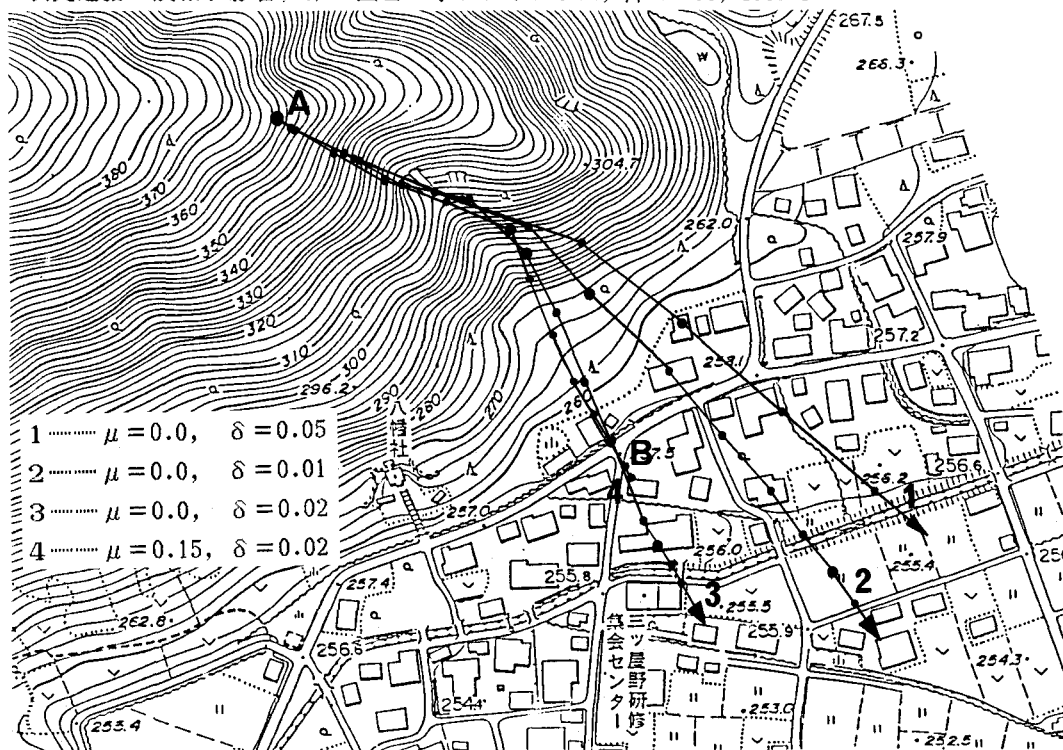
Voellmy式を用いた解析では、なだれが最大速度をむかえた後に速度を増すことはなかった。また、節点間のなだれの運動を解析しているため、なだれの到達点がはっきりしなかった。納口モデルを用いた解析では速度が2回の最大値をとり、慣性効果や外力の効果がよく現れていた。

また、なだれの速度や走路の屈折する位置から、なだれは標高300m付近の地形から大きく影響を受けていると考えられる。

#### 5. まとめ

今回の解析でも質量 $m$ と抵抗係数 $\mu$ 、 $\delta$ は運動中は一定であるとした。しかし、実際には積雪深、雪の状態、あるいは地形の植生状況等による質量や抵抗係数の運動中の変化が考えられる。今後このことについても検討していく予定である。また、なだれの発生点が変わることによって、走路も変わってくるが、発生点の予測は難しい。なだれ発生点、あるいはなだれ発生時の雪の状態、積雪深等、確率論的にしか取り扱えない部分についても研究を進めていく予定である。

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なだれの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.



図・地形図及びなだれの経路