

ピンポン玉雪崩実験 (V) -スキージャンプ台での実験-

防災科研 ○納口恭明

新潟大災害研 和泉 薫

北大低温研 伊藤陽一、S. Keller、J. McElwine、西村浩一

1. はじめに

雪崩は「雪粒子の集団が重力により雪の斜面上を空気や雪面、それに雪粒子間で相互作用しながら流れ下る現象」のひとつとしてとらえることができる。筆者らは、これまで20~40mの2次元シュート上でピンポン球を用いた雪崩実験を行ってきた。そして、自然界の大規模現象に共通して見られる顕著な頭部・尾部構造という形態的特徴の出現が、なだれが終速度に達した定常的な運動状態にあることに対応していることを示した。この頭部・尾部構造は、斜面長となだれの終速度を代表スケールとするフルード数によって支配され、終速度に達しないような模型実験や、これが存在しない枠組みの数値モデルでは現れてこない。一方、こうした2次元の実験と併行して、1995年からはスキー競技用ジャンプ台を実験斜面とした側方拘束のない3次元粒子（ピンポン）流の実験を開始した。

本報告では、雪崩の内部構造と流動機構を解明を主な目的としたこのピンポン流実験の様子と現在までに得られた結果を簡単に紹介する。

2. 測定

実験は札幌の宮の森ジャンプ競技場（ノーマルヒル）（図1参照）のランディングバーンの頂部に大型の箱を設置し、そこから最大35万個のピンポン球を一気に放出する形で行われた。流れ全体の挙動と形態変化に加えて、個々の粒子の速度や密度分布構造を詳細に測定するため、K点より10m下流の位置に観測タワーを6基設置し、8台のビデオカメラによる撮影など、各種の測定を実施した。

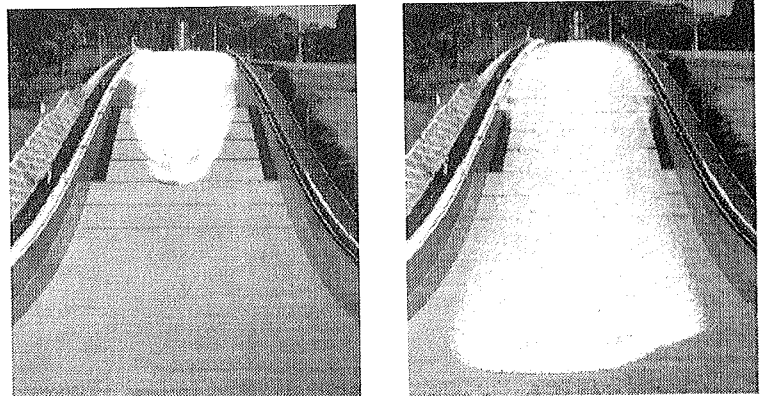


図1 宮の森ジャンプ競技場でのピンポンを用いたなだれ実験

3. 測定結果

ピンポン球はその軽量さゆえに、短時間で空気抵抗とバランスした定常状態に到達することができるという特徴をもつ。図2はピンポン球25万個を15mの地点から流下させた際の先端速度の変化である。流れは最大斜度36度の人工芝の斜面（幅30m、長さ150m）を直線的に加速し65mの距離で15m/sに達するが、その後は斜面の角度が減少はじめるまでの30mはほぼ一定である。つまりの間では3次元粒子流が定常状態を維持していると考えられる。一方、定常に達した流下速度は粒子数に強く依存する（図3）。空気抵抗、粒子と粒子および粒子と底面の衝突による散逸の影響で、粒子が単一で斜面を流れ下る際の速度は2.8m/sでピンポン球の終端速度9.5m/sの30%程度である。しかし粒子数の増加とともに集団の効果が顕著になり、30万個の場合には15m/sに達した。

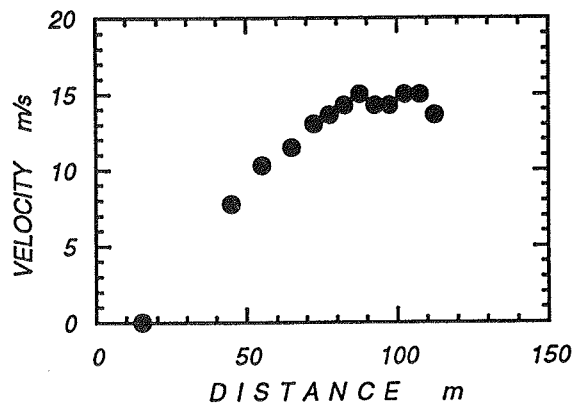


図2 ピンポンなだれの速度変化

この他、ビデオカメラを斜面上の粒子流を見下ろす形

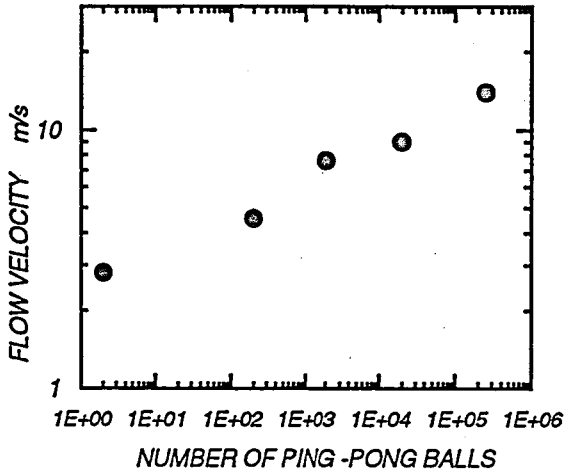


図3 ピンポンの数と先端速度の関係

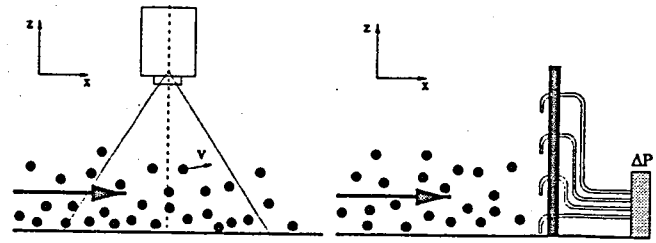


図4 ピンポン流実験に設置したビデオカメラと静圧変化測定システムの模式図

で図4(左)のように設置し、ある時間差の2画像間で同一粒子を追跡することで粒子の水平面に射影した運動の方向と速度を算出することができる。またカメラに近い流れ上部の粒子は下層のものより大きく見えることを利用すると流れの層厚や運動の鉛直成分も求められる。また差圧計に接続したチューブを流れ内部に鉛直下向きに設置し(図4(右))、静圧の変化から粒子の流れによって誘起される空気流の速度を求めた(図5)。これによると摩擦の小さい底面(人工芝)を反映して、流れの尾部では粒子は底面でも顕著な速度勾配をもたずほぼ全層一様に流動していること、また粒子流の平均厚さの約3倍上方の高さまで空気が粒子にひきずられる形で運動している様子がわかる。また図1でも明らかなように2次元のシュート実験で見い出されたクリアな頭部と尾部構造などの形態的特徴やその形成過程、さらには一定の波長を持った内部波動の存在なども確認された。現在、こうした実験結果を検証データとして、衝突による粒子間および粒子と底面の相互作用を考慮した離散要素法(DEM)に空気との速度差にもとづく抵抗を考慮した3次元粒子流モデルの開発を進めている(図6)。ちなみに、先に紹介したフルード数に基づく相似計算からは、秒速8m程度のピンポン球雪崩実験は、50m/sで4km以上流れ下った大規模な煙り型雪崩に匹敵することが導かれる。今後、ピンポン流と雪崩という2種類の粒子流を関係づける各種のスケール則が確立されると、実験に基づいた雪崩防御施設的设计・施工も可能となるわけで、災害の軽減にも多大に貢献することが期待される。

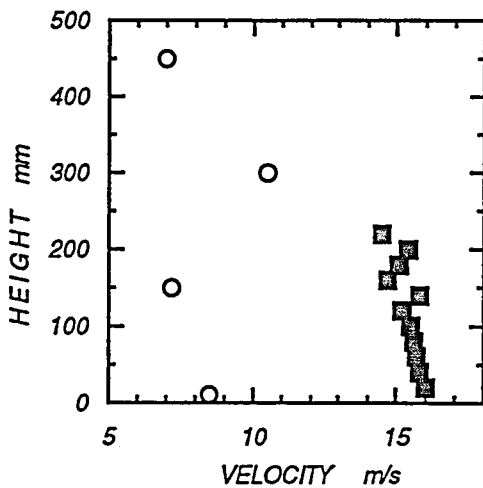


図5 粒子(■)と空気(○)の速度分布

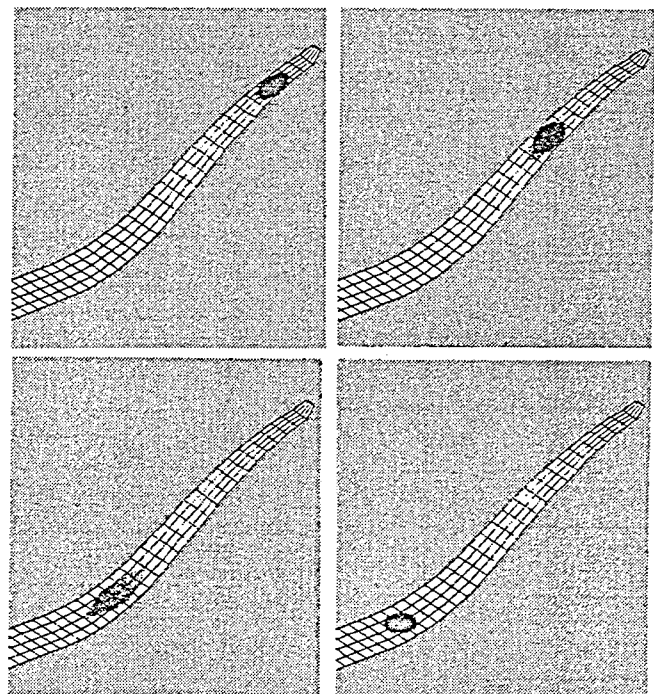


図6 ピンポンなだれの数値シミュレーション