

スキ - の滑走メカニズム

発表者 齋藤 悟、荒川 欣吾

電気通信大学 技術部

概要

本学では、「スキ - の滑走メカニズムを探る」研究に(1)(2)(3)ついて菅平宇宙電波観測所を拠点に研究している。

スキ - の滑走抵抗には、除雪抵抗、圧雪抵抗、空気抵抗、摩擦抵抗があるが、現在のところは摩擦抵抗について調べている。

摩擦抵抗は、スキ - の滑走面の状態と、積雪表面の雪粒子の形状や結合状態、密度、硬さ、雪の含水量などの雪質とが大きく関係していると考えられている。しかし、これらの積雪表面の雪質を把握する技術は確立されていない。

ここでは、スキ - の摩擦抵抗と雪質の関係を調べるために機械工場が開発・試作した各種の実験装置と、対象が雪ならではの工夫や問題点を含めて発表する。

1 開発した機器を用いた成果

ここで開発した機器を用いた結果、モデルスキーが低速滑走しているときの摩擦状態の変化が捉えられるようになってきている。図1にその一例を示す。霜ざらめ雪を用いモデルスキーを自然滑走させたところ、Stick-Slipのように滑走体が動いては止まりまた動くという現象が測定できた。これを元に動摩擦係数を算出したところ、負の動摩擦係数が現れた。これは、滑走面の成型に問題があるのではなく、滑走体には滑走によって慣性力が働いており、さらに界面では固着または吸着などが、瞬時に起こっているからではないかと考えられている。これらの成果は、国際スキー学会に報告される予定である。(4)

2 滑走面の作成について

2.1 雪面成型機

モデルスキーが、除雪抵抗や圧雪抵抗を受けることなく、摩擦傾向のみを受けるようにするためには、滑らかで均質な滑走面を作成しなければならない。また、滑走実験に用いた雪で、密度、硬さ、雪表面の状態観察などを測る必要がある。このため、軽くて比較的精度の高いアルミ製、厚さ6mmのチャンネル材(H60



雪の結晶の顕微鏡写真

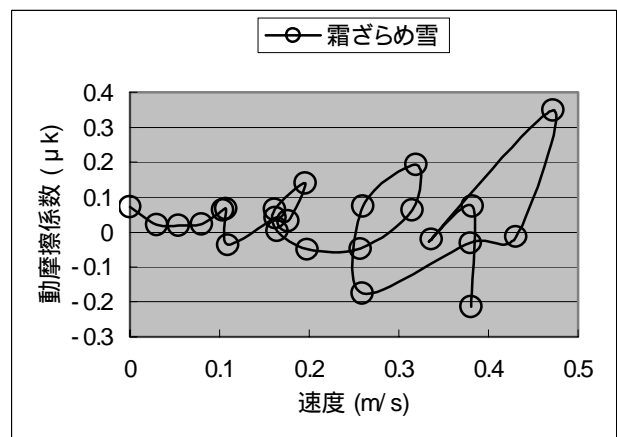


図1 滑走体の速度と動摩擦係数の関係

×W125×L1000)で滑走用雪パレット(図2参照)を製作した。表面成型後に密度測定や表面観察が行えるように、両端を取り外せる工夫をしてある。

これを雪面成型機(図3参照)で、パレットを動かした時に発せする摩擦でロ-ラ-(図4参照)を回転させ、うねりの無い雪面を作成する。雪面成型機のパレット台部はニ-ドルベアリング(市販品樹脂製)を施し、また側面にはガイド用のキャスタ-を付けてある。これによって引っかかりやガタツキのないパレットの移動ができる。表面成型用のローラーは、下部に錘を載せることによって、雪に掛かる圧力を調整できるようにし、異なる密度の雪面を作成できるようにしている。また圧雪することによって押し出された雪がパレットとローラーの隙間に噛み込み、ロ-ラ-の回転を妨げ、雪面を著しく荒らすことがある。このためロ-ラ-内部を中空にし、はみ出した雪が逃げるようにしてある。さらに、低温で水分の無い雪や霜ざらめ雪などは乾いた砂の様で、雪粒子相互が短時間では繋がらず固まりにくいいため、雪面を直接ローラーで押したのでは返って凸凹に波を打った表面になってしまう。このため、パレット全面に薄い板を(2×115×980の亚克力)を敷き、うねりが無く滑らかな雪面ができるように工夫した。このようにして作成した雪面を1時間以上低温に放置することによって、硬い雪面が出来上がる。台の骨組みの材料は、錆びず溶接も容易な SUS304 のチャンネル材(t3、30×60)、アングル材(t6、60×60)を使用、ローラー部は SUS304 外形 127mm肉厚 6mmのパイプを使用した。

2.2 滑走台

滑走台(図5参照)は任意に0°~45°まで傾ける事ができ、目的の角度で固定用ハンドルを回して締め付け角度を決めるという方法を用いた。さらに氷点下10前後にもなる屋外実験なので、手袋をしたままでも手早く角度調節ができるように、操作する側と反対側の下部に錘を付け、片手で楽に傾けられ角度計を見ながら、もう一方の手で固定用ハンドルを締め付けられるようにした。骨組みの材料は SUS304(t5、40×40)のL型アングル材を使用、大きさは(H550×W800×L1300)で、台座には水準をとる為にネジを付けてある。



図2 雪パレット



図3 ローラー式雪面成型機



図4 雪面慣らしローラー



図5 滑走台

3 雪の観察について

3.1 雪層の観察と採取

均質な雪を採取するには、自然に降り積もったままの状態の場所を選んで（図6参照）、まず積層の観察から始める。気温、積雪量、温度分布、密度、雪の結晶の状態等を観察した後に、比較的層の厚い均質な雪を採取する。本実験では、積雪表面の新雪と深さ 50 cm ~ 70 cm 付近（霜ざらめ雪）の雪を採取した。採取した雪を、5mm 柵の篩にかけ雪パレットにうつし雪面成型機にかけた。ここで雪を篩に掛けるのは、雪面を固めるとき、既に固まっている雪や氷が混在していると、均質な雪面が得られないことと、理由は明らかでないが、雪パレット上の全雪面が固まるのに時間が掛かるためである。

3.2 滑走面の観察

肉眼ではルーペ（ $\times 3$ 、 $\times 10$ ）を用いることで、新雪と霜ざらめ雪の雪粒子の繋がり状態が確認できる。これを安直にデジタルカメラで撮影して、雪質による表面の違いや、滑走前後の比較を考察しようと試みたが、雪面で光が乱反射することと、倍率の低さに問題があり、肉眼で見たような写真は得られなかった。次に、デジタルカメラを取り付けられる実体顕微鏡を用い同様に撮影したが、倍率の問題は解決したものの、光の乱反射の問題でやはり表面の雪粒子の繋がり具合は撮影することができなかった。そこで、光源の角度を色々変えて試したところ、雪の側断面からやや上向きに光源を当てることで、雪質による雪粒子の繋がり状態（図7、図8参照）の違いを撮影する事に成功した。図7の新雪に比べ、図8の霜ざらめ雪は、大きな雪粒が結びついていることがわかる。今後は、偏光板等を用意し、より鮮明な写真が得られるように工夫していく。

3.3 雪の密度

雪面成型機で作った雪を数時間放置し雪面がある程度固まった状態で滑走実験を行い、その後に雪面付近（深さ 30mm と 10mm）の雪を、密度サンプラーA（図9参照）で切り取り密度を測る。このサンプラーAは、雪氷学で一般に使われているもので、雪を破碎や圧縮することなく決まった容積分採取し、その雪の重さからかさ比重を算出し密度とする。また、機能性、携帯性に優れたものである。



図6 積層の観察

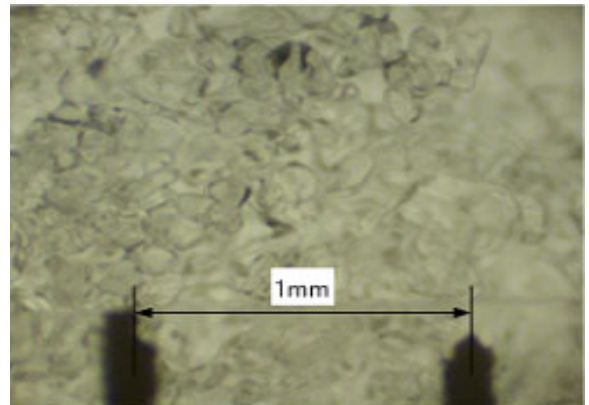


図7 新雪の滑走面

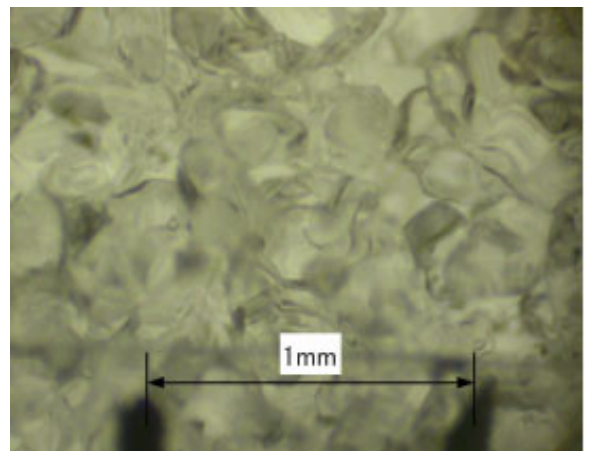


図8 霜ざらめ雪の滑走面



図9. 密度サンプラーA

しかし、サンプラー A は雪の断面を横から水平に差し込んでサンプリングするため、滑走表面のサンプリングができないことと、深さが 30mm であるために表面の密度を測っているとは言えない。このため、表面を含み且つ表面付近の密度を測るために、密度サンプラー B (図 10 参照) を試作した。

今回試作したものは、表面から 10mm までの平均密度を測定できる。設計試作段階で想定した操作性と、実際に雪を採取するまでの操作性では、機敏に手先を操れない低温環境や雪を切る刃先など、若干の問題があり現場で改善を行った。このサンプラー B で、約 60 cm^3 の雪を採取し 5% 以内のバラツキに収まる密度が測定できている。



図 10. 密度サンプラー B

4 おわりに

現在までのところ、低速域の滑走装置は整ったと言える。今後は、滑走と雪の関係を詳細に調べていくために、雪表面の密度や雪粒子の繋がり等を正確に測定できる機器の開発を行っていく。

機械工作を専門とする技術者が、測定機器の設計・製作・測定・現場での改良・問題点の考察まで、一貫して行う事により、操作性の優れた機器の開発ができるとともに、研究のピッチが大幅にアップしている。

参考文献

- (1) 仁木園雄, 富澤一郎, 灰塚正次, 坂井武夫, 太田康洋, 田辺一哉, 細谷典義, 伊藤泰範, 石井明, 日本スキ - 学会誌, 第 10 巻, 1 号, 169 - 177, (2000.7)
- (2) 仁木園雄, 古岩信嗣, 萩原雅友, 金子克己, 灰塚正次, 富澤一郎, 江本誠司, 細谷典義, 石井明, 日本スキ - 学会誌, 第 11 巻, 1 号, 175 - 186, (2001.7)
- (3) 日本雪氷学会積雪分類, 日本雪氷学会誌, 60 巻, 5 号, (1998) P 419 - 436
- (4) International Congress on Skiing and Science, ICSS 2004 CONFERENCE, March 28 - April 3, 2004 Snowmass at Aspen, Colorado USA (発表予定)