409 スキー滑走表面テクスチャの形成機構 (加速度計を用いた摩擦係数測定法について)

Mechanism of Texture Generation on Sliding Surface of Ski - Measuring Method of Coefficient of Friction using Accelerometer -

○正 浦池 隆文 (北大院) 正 鍵和田 忠男 (北大院)
正 原田 宏幸 (北大院)

Takafumi URAIKE, Tadao KAGIWADA and Hiroyuki HARADA

Hokkaido University, Kita-13 Nishi-8, kita-ku, J-060-8628 Sapporo

Fine grooves called "structure" are carved on sliding surface of ski to reduce friction. But it is unknown the cause of it. This study, by designating "structure" as texture, deals with the effect of texture to the coefficient of sliding friction. Accurate measurement of sliding friction is most important element to examine the effect of texture. Generally, the test piece of ski is used to measure the coefficient of friction. It is measured by drawing the test piece on the dummy snow surface. But this method can not say making reproduction of the sliding of using real ski. Then this paper describes with the simple and accurate method. This method uses the accelerometer. Coefficient of friction is calculated by the relation of acceleration and frictional force. Through some examination, it is said that this method is effective and has enough accuracy to detect the change of coefficient by the difference of type of texture.

Key Words: Grinding, Dressing, Friction, Measurement, Ski, Sliding, Surface and Texture

1. 結 言

スキー滑走において、滑走表面に細かな溝(テクスチャ)を付けることで滑走性を高められる事が経験的に知られているが、その原因は明らかではない。

これまでに、研削によるスキー滑走表面テクスチャの形成機構を幾何学的な解析により示した。さらに、それぞれ異なるテクスチャを施した数種類の試験片を用いて、撥水性の測定及び摩擦係数の測定を行った。撥水性を評価する指標として、静的な接触角と水滴の転落角の測定を行ったが、両者に相関は無く、摩擦係数は水滴の転落角の大小に依存するという結果を得ている⁽¹⁾。ここで、摩擦係数の測定は縮小した模型スキーを使用し、スキーまたは疑似雪面をモータ等により駆動する方法が一般的である。摩擦熱による雪面の融解を考えると、接雪圧を同じにしても滑走面の長さが大きく影響すると考えられ、実際のスキー滑走を再現しているとはいえない。また、同様の方法を実物のスキーに適用するには、装置が大掛りなものとなり実用的でない。

そこで本研究では、実物のスキーを用いた摩擦係数の測定法として、これとは別の方法を試みることにした。滑走時のスキーに働く加速度を測定することで摩擦係数を求める。特別な動力を用いず、また人ではなく測定装置を搭載したスキーを滑走させることで、雪面と滑走面の状態以外に摩擦係数の変化に影響を及ぼす要因を排除出来ると考えられる。

2. 測定の原理と測定装置

斜面上を滑走しているスキーは雪面から摩擦力を受ける。滑走中進行方向の加速度を測定してこれを α とし、また同時にスキーが水平面となす角を測定してこれを θ とする。重力加速度を g 、摩擦係数 μ_k をとおくと、摩擦係数 F に関して $F = \mu_k mg \cos \theta = m \alpha$ の関係が成り立つから、 μ_k は次の式で表される。

$$\mu_k = \frac{\alpha}{g \cos \theta} \quad (1)$$

人間を想定した約 45kg のウエイトを兼ねたプラットフォームに、加速度センサ、データレコーダ、バッテリーを搭載したボックスを固定し、これらをスキーに載せ斜面を滑走させる。測定装置を図 1、図 2 に示す。斜面は図 3 に示す大きさのものを作成した。

Fig. 1 Diagram of equipment for measuring coefficient of friction with real ski

Fig. 2 Photograph of equipment

Fig. 3 Diagram of slope for experiment

Table 1 Property of texture

	A	B	C	D
Length of Groove [mm]	18.8	18.8	18.8	18.8
Width of Groove [mm]	0.65	0.55	0.44	0.33
	Wide ← → Narrow			

Table 2 Property of snow

Date	Average Diameter of Snow Grains	State
3/16/01	2mm	Dry, Granulated, Grains are packed.
3/19/01	2mm	Wet, Granulated, Several grains are bound.
3/21/01	2mm	Wet, Granulated, Several grains are bound.
3/23/01	2mm	Heavily Wet, Granulated, Several grains are bound.

(a) Raw Data (b) Smoothed Data
Fig. 4 Example of measured acceleration

滑走中の加速度センサからの電圧出力をデータレコーダに記録し、後にコンピュータに取り込んで処理を行う。滑走前は装置を斜面に停止させておき、データ収集開始後に滑走を開始する。傾斜角は滑走開始前に斜面に停止している状態での加速度を角度に変換して用いる。測定された加速度と傾斜角から、式(1)より摩擦係数が求められる。

3. 測定実験

試験片を用いた測定から、摩擦係数はテクスチャを構成する溝の長さにはほとんど依存せず、幅の影響を大きく受けることがわかっている⁽¹⁾。したがって測定は、溝の長さが同じで幅を4種類に変えたものと未加工の、計5種類について行った。テクスチャの溝の幅と長さを表1に示す。溝の幅の広いものから順にA・B・C・Dとし、未加工のものをOとした。未加工のスキーを一番初めに滑走させ、次いで溝の幅の広いものから順次4種類滑走させた。計5回の滑走を1セットとし、1回の実験では3セットの測定を行った。このような測定を、日を変えて4回行った。測定時の雪面の状態を表2に示す。

4. 測定結果と考察

測定結果の一例を図4(a)に示す。グラフには比較的多くのノイズが含まれている。このままでは加速度の変化を明確に読み取ることが困難であるため、27測定点(54ms)による移動平均処理を行い、平滑化した。その結果を図4(b)に示す。滑走開始から約1秒間の加速度は安定した値を示しているが、なおそれ以降は不安定となっていることがわかる。これは、斜度変化部分と雪面の微妙な凹凸の影響と考えられる。滑走速度が上がるにつれ、凹凸等の外乱によりスキーに働く力が大きくなり、結果として測定される加

(a) 3/16/01 :Temperature 0°C (b) 3/19/01 :Temperature 3°C

(c) 3/21/01 :Temperature 3°C (d) 3/23/01 :Temperature 13°C

Fig.5 Measured coefficient of friction

Fig. 6 Change of average coefficient of friction by difference of texture

速度も大きく乱れているものと考えられる。このことから、加速度は滑走開始から0.5秒間の、比較的低速で安定した領域での平均値を用いることにした。

図5は各測定日について[(a)-(d)], テクスチャごとの摩擦係数を測定回ごとに示したものである。1回の測定(1セット)単位で見ると、AとBは摩擦係数が大きくCとDは小さいという傾向がすべての測定のうち約半分に表れており、特徴的である。テクスチャごとの摩擦係数の平均を図6に示す。いずれの測定日においてもテクスチャAとBは未加工のものより摩擦係数が大きく、CとDは未加工のものと同程度か若干摩擦係数が小さくなる傾向にある。また、測定日ごとに比較すると、テクスチャの種類によらず、外気温が高くなるにつれて摩擦係数が大きくなっている事がわかる。ただし、測定は全て外気温が0°C以上であったため、雪面には予め融解した水が存在していた。乾燥した雪でも同様の傾向となるかは、今のところ不明である。

いずれにしても、スキーと雪面との間の摩擦係数がおよそ0.01から0.1の間の値となる⁽²⁾ことを考えると、本方法による測定結果は妥当なものであると言え、なおかつ 10^{-3} 以下の微小な変化を読み取ることが可能である。

5. 結 言

測定実験の結果から本方法の有効性が確認された。これにより、気象条件が許す限り自然の積雪を用いてあらゆる状況下でのスキー滑走摩擦係数の測定が可能になった。

参考文献

- (1) 浦池ほか, 北海道支部第40回講演会講演概要集 No.002-1, (2000), 90-91
- (2) 曾田範宗訳, 固体の摩擦と潤滑, (1961), 丸善