

スキーヤからスキー板に作用するモーメントの 評価に関する実験的考察 — 前後方向へのスキー操作の場合 —

奥村 亮*, 坂田 敏行**

Experimental Considerations on Estimation of Moments Acting on Skis from Skier — In Case of Ski Control in Back and Forth Direction —

Ryo OKUMURA * and Toshiyuki SAKATA **

(Received August 31, 2007)

To simulate a skiing using a pair of skis, it is necessary to estimate separately forces and moments acting to each ski from the skier separately from each other. One of the authors and his collaborator have proposed a numerical approach for the estimation. The approach requests a moment acting on a ski through a skier's lower leg and ski boots. In the present study, the moment has been discussed experimentally and a convenient formula has been proposed to estimate the acting moment not from the deformation of the ski boots but from the angle of a skier's lower leg.

Keywords: Ski Boots, Deformation of Ski Boots, Moment Acting on Ski Boots, Ski Control

1. 結 論

二本のスキー板を用いるスキー滑走を力学的に解析するためには、スキー操作の結果として、スキーヤから左右のスキー板に別々に作用する力とモーメントの評価が不可欠である¹⁾。著者の一人と共同研究者はその評価方法の雛型を提案した²⁾。文献(2)で提案した力の計算にはスキーヤの下腿とスキー靴を通してスキー板に作用するモーメントが不可欠である。左右方向へスキー操作を行った場合の実験結果は文献(2)および(3)に示されているが、前後方向への場合の実験結果は報告されていない。

本報告はスキー操作を前後方向に行った場合に、スキーヤの下腿とスキー靴を通してスキー板に作用するモーメントの実験的考察の速報である。

2. スキーヤの下腿角度とスキー靴の変形

スキーヤのスキー操作の結果、スキーヤの下腿とスキー板のなす角度が変化し、それに応じてスキー靴の

変形が生じる。写真1はスキーヤが前後方向にスキー操作を行った場合における、スキーヤの下腿の角度とスキー靴の変形の定義を示す。スキーヤの下腿の角度は二点 P_3 と P_4 を結ぶ短直線 P_3P_4 とスキー板とのなす角 $\theta_{34}^{(r)}$ で表し (写真 1(a)参照), スキー靴の変形は二点 P_5 と P_6 を結ぶ短直線 P_5P_6 とスキー板とのなす角 $\theta_{56}^{(r)}$ で表す (写真 1(b)参照)。また、スキー靴の変形とスキーヤの下腿の傾きを総合した指標として、二点 P_3 と P_6 を結ぶ短直線 P_3P_6 とスキー板とのなす角 $\theta_{36}^{(r)}$ を用いる (写真 1(c)参照)。上記の記号中の上付き(r)は右足のスキー靴を意味する。

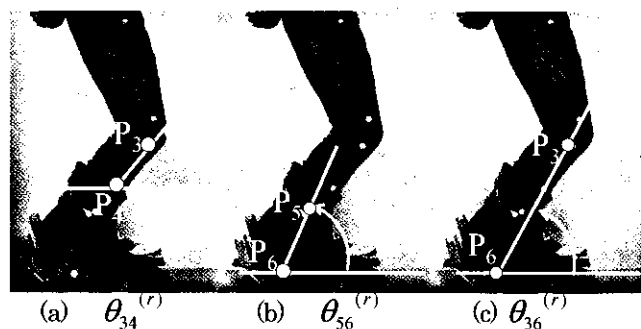


Photo. 1 Definition of angles

*機械工学専攻大学院生 (Graduate student, Mechanical Engineering)

** 機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

3. 実験装置および実験方法

写真2に示すように、頑丈な定盤の上に6軸センサ (IFS-100M40A100-L63, 販売 (株) ニッタ) を固定した。6軸センサの上部には鉄板とスキー靴用締め具を用いてスキー靴を固定した。3台のビデオカメラ (左右および中央) を用いて1/30秒間隔でスキー操作を撮影した画像から、スキーヤの下腿の前後への傾きとスキー靴の変形を画像解析法を用いて測定した。6軸センサからの出力をサンプリング時間3msでデジタル化し、スキー靴に作用している3方向 (スキー板の長手方向, 幅方向およびスキー板に垂直方向) のモーメントおよび力を測定した。写真3(a)は中央のビデオカメラのビデオ画像を示す。ビデオ画像の右側の図は $P_1 \sim P_6$ 点を結んで得られた、スキーヤ側面のスティックチャートである。写真3より、下腿の傾き角とスキー靴の時間的な変化が理解できる。このようにして求めた $P_1 \sim P_6$ 点の三次元座標値から写真1で示した三種類の角度を求めた。

図1は測定結果の一例を示す。上の曲線は右下腿からスキー靴に作用しているモーメント $m_y^{(r)}$ と時間 t との関係を、下の曲線は右足下腿の角度 $\theta_{y34}^{(r)}$ と時間 t との関係を示す。黒い曲線は前傾動作の場合であり、赤い曲線は後傾動作の場合である。図2は右足下腿の角度 $\theta_{y34}^{(r)}$ とスキー靴に作用しているモーメント $m_y^{(r)}$ との関係を示す。この場合も前傾動作の場合は黒い曲線で、後傾動作の場合は赤い曲線で表す。実験結果にヒステリシスが生じている。この原因としては、下腿、スキー靴、布等の変形と、運動に伴うそれらの接触状態の変化が考えられる。図2では、前傾動作の場合はヒステリシスが少なく、後傾動作の場合は大きい。前傾の場合にも、ヒステリシスが大きい場合もある (図3~図5参照)。このように、作用モーメントと角度との間にはヒステリシス

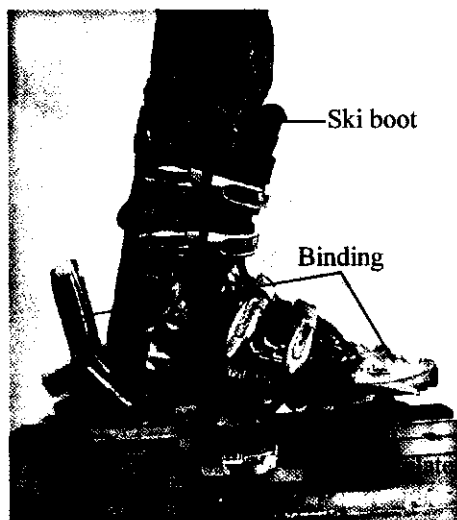


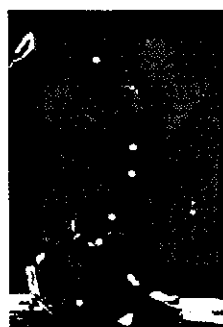
Photo. 2 Experimental view



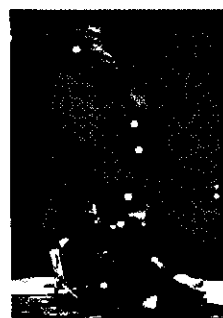
$t = 0\text{sec}$



$t = 1.0\text{sec}$



$t = 2.0\text{sec}$



$t = 3.0\text{sec}$



$t = 4.0\text{sec}$



(a) Pictures of central camera (b) Stick chart
Photo. 3 Example of experiment

があるが、本研究では現象を簡単に把握するために、両者の関係を直線近似した。この例の場合には前傾動作の場合は式(1)で、後傾動作の場合は式(2)で表される。

$$m_y^{(r)} = 2.24\theta_{y34}^{(r)} - 144 \quad (\text{前傾の場合}) \quad (1)$$

$$m_y^{(r)} = 4.13\theta_{y34}^{(r)} - 296 \quad (\text{後傾の場合}) \quad (2)$$

スキー靴の傾き角 $\theta_{y56}^{(r)}$ と作用モーメント $m_y^{(r)}$ との関係、右下腿の角度とスキー靴の変形を総合した指標 $\theta_{y36}^{(r)}$ と作用モーメント $m_y^{(r)}$ との関係、も同じように整理した。

4. 実験結果と考察

自然な直立状態から、前傾動作、後傾動作、直立状態での数分間の休憩までを一回の実験動作とし（写真3参照）、実験を5回繰り返した。

4.1 右足下腿の角度と作用モーメントとの関係

図2は一回目の実験結果を示すが、図3には5回の実験結果を同時に示している。測定結果は比較的良く

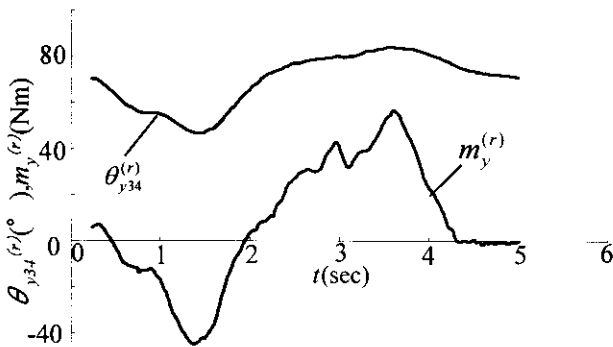


Fig.1 Variation of moment $m_y^{(r)}$ and angle $\theta_{y34}^{(r)}$ (Right leg)

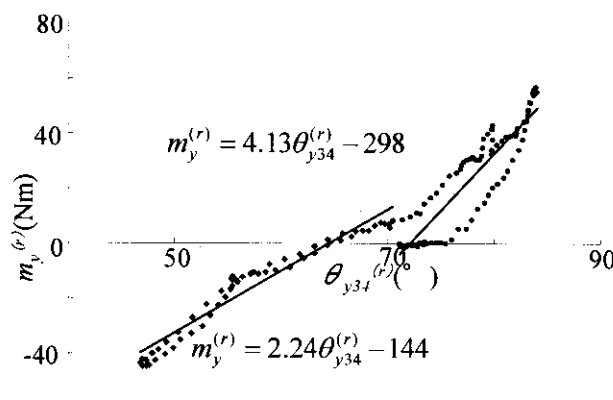


Fig.2 Relationship between moment $m_y^{(r)}$ and angle $\theta_{y34}^{(r)}$ (Right leg)

一致しているが、5 番目の実験だけはヒステリシスが大きくなっている。この原因は現状では不明であるが、図4に示すスキー靴の変形の場合には5 回目の実験結果にヒステリシスの異常は無く、図5に示す実験結果には5 回目の実験に異常があるので、スキーヤの右下腿とスキー靴との接触がこの回だけ変化したとも考えられる。各回の実験で得られた作用モーメント $m_y^{(r)}$ と右足下腿の角度 $\theta_{y34}^{(r)}$ との関係を式(3)に示す直線で近似した。

$$m_y^{(r)} = k_{y34}^{(r)}\theta_{y34}^{(r)} - C_{y34}^{(r)} \quad (\text{前傾の場合}) \quad (3)$$

近似式の係数 $k_{y34}^{(r)}$ および定数 $C_{y34}^{(r)}$ を表1に示す。表より明らかなように、係数および定数ともに良い一致を示している。全ての実験結果を用いて求めた前傾動作の近似式を式(4)に示す。

$$m_y^{(r)} = 2.15\theta_{y34}^{(r)} - 141 \quad (\text{前傾の場合}) \quad (4)$$

4.2 右スキー靴の変形と作用モーメントとの関係

図4は作用モーメントと右足用スキー靴の変形（写真1(b)に示す角度を指標として用いる）との関係を示す。この図も5 回の実験結果を同時に表示している。図3に比較してそのばらつきは多少大きい、5 回目の実験のヒステリシスは特別大きくはない。作用モーメント $m_y^{(r)}$ と右足用スキー靴の角度 $\theta_{y56}^{(r)}$ との関係を

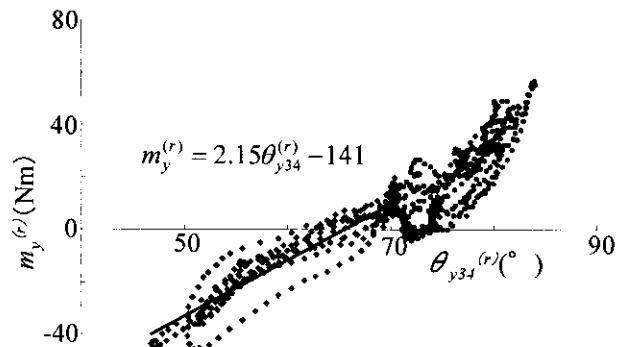


Fig.3 Relationship between moment $m_y^{(r)}$ and angle $\theta_{y34}^{(r)}$ (Right leg)

Table 1 Coefficients and constants of Eq.(3)

Number of times	$k_{y34}^{(r)}$	$C_{y34}^{(r)}$
1	2.24	-144
2	2.21	-144
3	2.22	-145
4	2.08	-138
5	2.02	-133
Mean value	2.15	-141
Standrd deviation	0.0875	4.51

式(5)に示す直線で近似した.

$$m_y^{(r)} = k_{y56}^{(r)} \theta_{y56}^{(r)} - C_{y56}^{(r)} \quad (\text{前傾の場合}) \quad (5)$$

近似式の係数 $k_{y56}^{(r)}$ および定数 $C_{y56}^{(r)}$ を表 2 に示す. 表 1 に比較すれば係数と定数のばらつきは多少大きい. 全 5 回の実験結果から, 近似式(6)が得られた.

$$m_y^{(r)} = 5.41 \theta_{y56}^{(r)} - 402 \quad (\text{前傾の場合}) \quad (6)$$

4.3 下腿とスキー靴の両者を考慮した指標と作用モーメントとの関係

図 5 はモーメントの作用により生じるスキーヤ右足下腿の角度変化とスキー靴の変形の両者を考慮した指標 $\theta_{y36}^{(r)}$ と作用モーメント $m_y^{(r)}$ の関係を示す. この場合には, 図 3 の場合と同様に, 5 回目の実験のヒステリシスが大きくなっている. したがって, 5 回目の実験のヒステリシスはスキー靴が原因とは考えられない. この場合は近似式(7)を用いた.

$$m_y^{(r)} = k_{y36}^{(r)} \theta_{y36}^{(r)} - C_{y36}^{(r)} \quad (\text{前傾の場合}) \quad (7)$$

近似式の係数 $k_{y36}^{(r)}$ および定数 $C_{y36}^{(r)}$ を表 3 に示す. 全 5 回の実験結果から近似式(8)が得られた.

$$m_y^{(r)} = 2.74 \theta_{y36}^{(r)} - 187 \quad (\text{後傾の場合}) \quad (8)$$

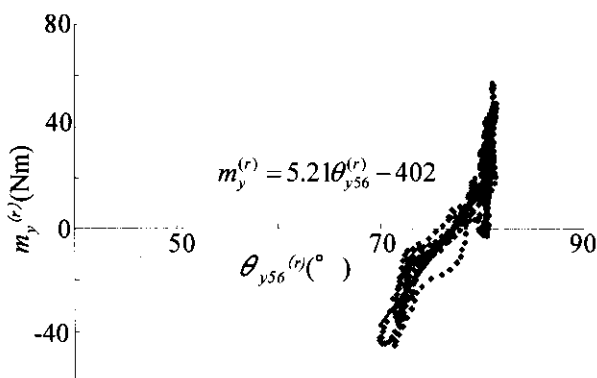


Fig.4 Relationship between moment $m_y^{(r)}$ and angle $\theta_{y56}^{(r)}$ (Right leg)

Table 2 Coefficients and constants of Eq.(5)

Number of times	$k_{y56}^{(r)}$	$C_{y56}^{(r)}$
1	5.57	-429
2	6.44	-490
3	5.67	-441
4	5.06	-389
5	4.71	-364
Mean value	5.49	-504
Standrd deviation	0.587	43.7

5. 結 論

スキー操作時にスキーヤの下腿とスキー靴を経由してスキー板に作用するモーメントを測定した. モーメントと, スキーヤ下腿の角度変化との関係, スキー靴の変形との関係, およびスキーヤ下腿の角度変化とスキー靴の変形の両者を考慮した指標との関係を検討した. その結果, スキーヤ下腿の動作に伴う角度変化の場合が, 実験結果のバラツキが少ないことが明らかになった. また, スキー操作を定量化する場合にも, 作用モーメントをスキーヤの下腿の角度変化から評価するのが便利である. すなわち, スキーヤの下腿の角度変化からその時の作用モーメントを評価することがより実用的であるとの結論が得られ, そのための近似式を求めた. 今後, 左足用のスキー靴についても検討する予定である.

参 考 文 献

- 1) 坂田・柳瀬, 二本のスキー板を用いたスキーターンの数値解析例, ジョイント・シンポジウム 2006 (スポーツ工学シンポジウム シンポジウム: ヒューマンダイナミクス), (2006), 346.
- 2) 坂田・河合, 定量化スキー操作モデル開発の試み, 日本スキー学会誌, 15-1(2005), 57.
- 3) 河合・坂田, スキー操作の実験的研究, 中部大学工学部紀要, 41-1(2005), 51-54.

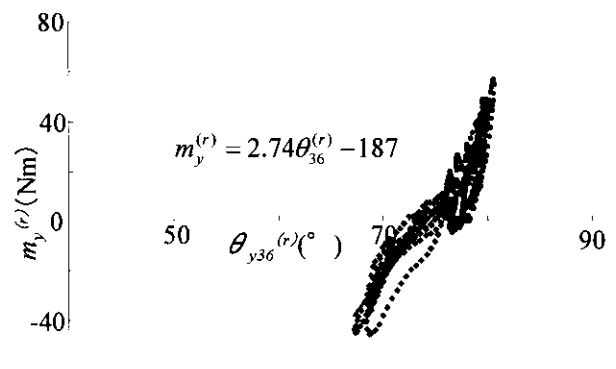


Fig.5 Relationship between moment $m_y^{(r)}$ and angle $\theta_{y36}^{(r)}$ (Right leg)

Table 3 Coefficients and constants of Eq.(7)

Number of times	$k_{y36}^{(r)}$	$C_{y36}^{(r)}$
1	2.74	-187
2	2.75	-186
3	2.67	-182
4	3.34	-223
5	2.65	-184
Mean value	2.83	-192
Standrd deviation	0.260	15.5