

スノーボード操作により生じるスノーボードと弾性床面の連成運動

久保寺 賢*, 杉山 佳隆*, 河合 茂博*, 坂田 敏行**

Coupled Motion of Snowboard and Elastic Foundation Due to Snowboard Control

Satoshi KUBODERA*, Yoshitaka SUGIYAMA*, Shigehiro KAWAI*
and Toshiyuki SAKATA**

(Received November 25, 2002)

Using the numerical approach developed by the authors, one can discuss qualitatively a snowboarding turn. However, the reliability and accuracy of the approach have not always been verified since it is very difficult to compare directly numerical results with experimental results obtained from the snowboarding turn on a snow slope. Then, it is necessary to discuss indirectly or partially various results estimated numerically comparing the experimental ones. Recently, the authors analyzed experimentally and numerically the contact pressure between the snowboard and linear foundation under the action of a dead weight. Although the resolution of the experimental results was not sufficient due to the measuring equipments used, the contact area estimated numerically coincided well with those obtained experimentally.

In the present study, a coupled motion of the snowboard and linear foundation caused by the snowboarder's snowboard control is discussed. The snowboard sold in the market place is used. The urethane sheet is used instead of the linear foundation. In the experimental study, 1) forces, bending moments and twisting moments acting to the snowboard from the snowboarder, 2) the displacements of the snowboard, and 3) the distribution of a contact pressure between the snowboard and linear foundation are measured. The displacements of the snowboard are computed and they are compared with experimental ones.

Key Words: Snowboard, Coupled Motion, Contact Pressure Distribution

1. 緒 言

最近,スノーボードの形状・機械特性をパラメータとしたスノーボード・ターンの数値計算が可能となり,スノーボード・ターン特性を定性的に解明できるようになった⁽¹⁾. しかし,スノーボードのスノーボード操作により,シュエセンタにどのような力とモーメントが作用するのか,力とモーメ

ントの作用はスノーボードの曲げ変形にどのような影響を与えるのか,雪面はどのように変形するのか,等は十分に解明されていない. これらはスノーボード・ターンに直接関係するため,スノーボード・ターンのシミュレーション法の妥当性の検討を行う場合には重要である.

そこで本研究では,スノーボードのシュエセンタ(二カ所)に6軸センサを設置し,スノーボードからスノーボードに作用する力とモーメント

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

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

を測定することを試みる。同時に、スノーボードと弾性床面の接触圧分布を測定する。実験は信頼性、再現性の観点から雪面上ではなく、弾性床面(ウレタンシート)上で行った。また、画像解析および数値解析も併用し、スノーボード操作により生じるスノーボードと弾性床面の接触状態変化およびスノーボードの変位も検討する。

2. 実験方法

図1に実験装置の概要を示す。固い床面上に平らなアルミ平板(厚さ0.02m, 長さ2m, 幅0.5m)を置き, その上にウレタンシート(弾性床面の代り), 接触圧センサシート, スノーボードと順次重ねた。シューセンタ(C_1, C_2)にはアルミプレートを通じて6軸センサを固定し, さらにその上に鋼鉄のプレートを介して, ビンディングを固定した。実験ではスノーボードがスノーボード操作を行った結果生じる, シューセンタに作用する力とモーメントを測定した。また, スノーボードと弾性床面との接触圧分布を接触圧センサシートにより測定した。さらに, スノーボードの六カ所の変位をレーザ変位計で測定し, 数値計算により求めた値と比較した。レーザ変位計の測定箇所($L_1 \sim L_6$)および6軸センサの取り付け位置(C_1, C_2)を図2に示す。

2.1 実験用スノーボード 図2に示すように, スノーボードのシューセンタ(C_1, C_2)間の中央位置を原点 O とし, 原点を通りスノーボードの長手方向に ξ 軸を, 幅方向に η 軸を, 垂直下向きに ζ 軸をとる。実験には市販されているフリースタイル用スノーボードを用いた。スノーボードの形状(幅 B とキャンバー高さ A)を図3に示す。原点からシューセンタまでの長さは0.21m, 質量は2.77kg, キャンバー高さの最大値は0.0056mである。また, スノーボードを不均質直交異方性板と仮定した場合の曲げ剛性分布の実測値を図4に示す。図中, D_ξ は長手方向の曲げ剛性であり, 曲げ実験より求めた。 H はせん断弾性係数とポアソン比に関係する曲げ剛性であり, ねじり試験結果とポアソン比から求めた。 D_η は幅方向の曲げ剛性であり, $D_\eta = H$ と仮定した。 D_1 はポアソン比に関係する曲げ剛性であり, $D_1 = 0.35 D_\xi$ と仮定した。

2.2 接触圧測定センサ 接触圧分布はスノーボードとウレタンシートの間にセンサシートを挟むことにより測定した。センサシートは一片が0.5mの正方形, 厚さは0.00032mである。本実験では3枚のセンサシートを用いて幅0.5m, 長さ1.5mの範囲で接触圧分布の測定を行なった。また, センサシートには0.007m間隔で格子が印刷されており, 各格子点で接触圧を測定する。

2.3 ウレタンシート 弾性床面の代わりに厚さ0.04mのウレタンシートを用いた。ウレタンシートのばね定数は $k = 4.5 \times 10^6 \text{ N/m}^3$ である。

2.4 6軸センサ 6軸センサは円筒形(高さ0.0426m, 直径0.1m)をしており, 直交する3軸の力とそれぞれの軸回りのモーメントの測定が

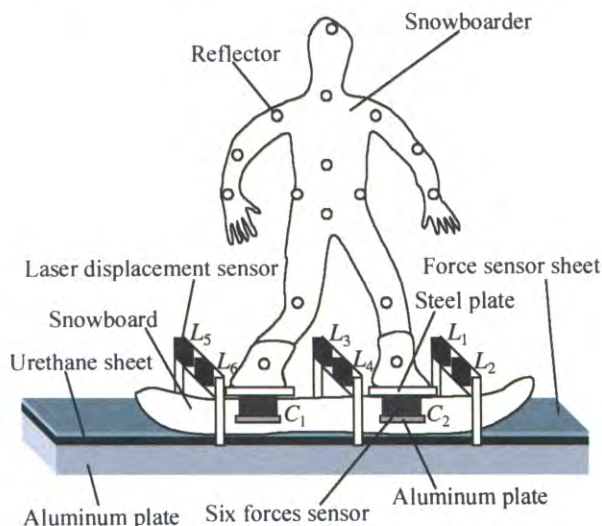


Fig.1 Illustration of experimental setup

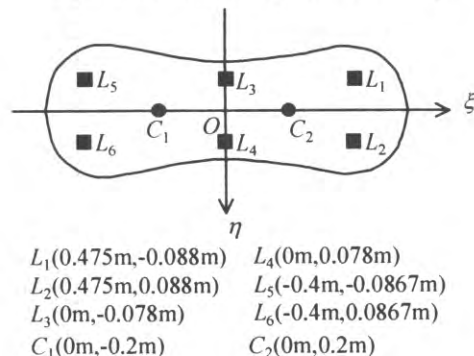


Fig.2 Sensor's positions

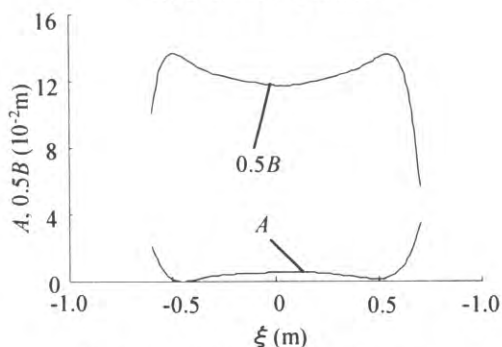


Fig.3 Width B and camber height A

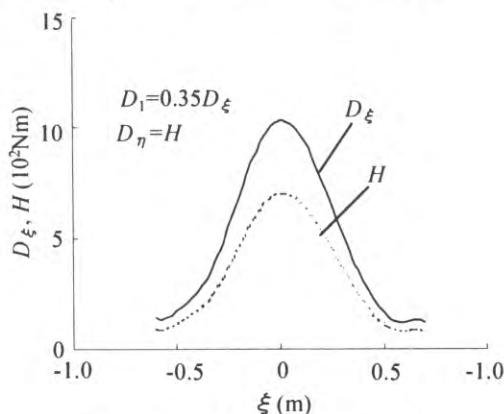


Fig.4 Flexural rigidities D_ξ and H

可能である。測定可能な最大荷重の定格値は 800N (ξ 軸), 400N (ξ, η 軸) である。また, 最大モーメントの定格値は全て 40Nm である。図 1 に示すように, スノーボードのシューセンタ (C_1, C_2) に固定し, サンプルング速度 1kHz で測定を行った。シューセンタ C_r に働く垂直力を $Q_\xi^{(r)}$, ξ 軸まわりに働く振りモーメントを $M_\xi^{(r)}$, η 軸まわりに働く曲げモーメントを $M_\eta^{(r)}$ とした (ただし, $r=1, 2$ である)。スノーボードの曲げと振り変形に影響を与えると考えられる垂直力 $Q_\xi^{(1)}, Q_\xi^{(2)}$, 曲げモーメント $M_\eta^{(1)}, M_\eta^{(2)}$, 振りモーメント $M_\xi^{(1)}, M_\xi^{(2)}$ のみについて検討する。

2.5 スノーボーダ 身長 1.83m, 体重 73kg, スノーボード歴 4 年の男性である。

3. 数値計算法

数値計算法は文献(2)に記述されているため, 本速報では要点のみを説明する。図 5 は数値計算法の解析モデルを示す。スノーボードにはキャンパー高さがあるため平板ではないが, 曲げ変形に及ぼすキャンパー高さの影響は小さいと考えられるため, スノーボードを不均質直交異方性平板と仮定して動的曲げ変形を解析した。

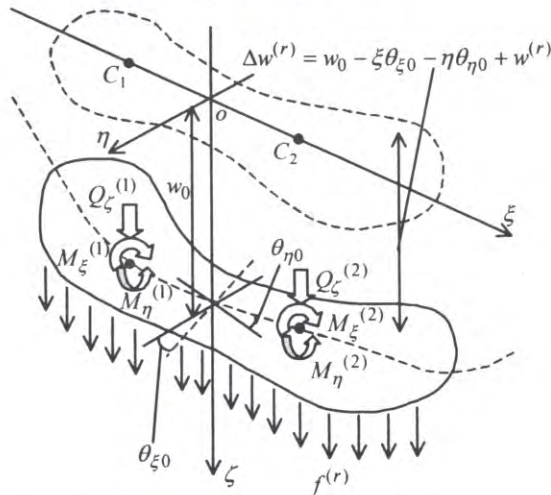


Fig.5 Analytical model for motion of snowboard

スノーボードのシューセンタ (C_1, C_2) 間の中心を原点として前半部 ($r=2$) と後半部 ($r=1$) に分けて, スノーボードの曲げ変形解析を行った。ここで, スノーボードに作用する分布外力 $f^{(r)}$ は重力 $f_1^{(r)}$, 雪面からの反力 $f_2^{(r)}$ および慣性力 $f_3^{(r)}$ の 3 力からなり次の式で表わされる。

$$f^{(r)} = f_1^{(r)} - f_2^{(r)} - f_3^{(r)} \quad (1)$$

スノーボードの曲げ変形の基礎式は式(2)で与えられる。 $Q_\xi^{(r)}$ は計算の都合上 $M_\xi^{(r)}$ を距離 $2\Delta_\eta^{(r)}$ だけ離れた偶力に変換した値である。同様に, $Q_\eta^{(r)}$ は $M_\eta^{(r)}$ を距離 $2\Delta_\xi^{(r)}$ だけ離れた偶力に変換した値である。ここで, $\delta(\cdot)$ は Dirac のデルタ関数であり, シューセンタ C_r の座標は $(\xi^{(r)}, 0)$ と表わす。

また, スノーボードに作用する垂直力の平衡方程式は式(3)で, η 軸回りのモーメントの平衡方程式は式(4)で, ξ 軸回りのモーメントの平衡方程式

は式(5)で表わされる。

$$L[w^{(r)}] = f^{(r)} + \sum_{r=1}^2 [Q_\xi^{(r)} \delta(\xi - \xi^{(r)}) \cdot \delta(\eta - 0) + Q_\eta^{(r)} \delta(\xi - \xi^{(r)} + \Delta_\xi^{(r)}) \cdot \delta(\eta - 0) - Q_\eta^{(r)} \delta(\xi - \xi^{(r)} - \Delta_\xi^{(r)}) \cdot \delta(\eta - 0) + Q_\xi^{(r)} \delta(\xi - \xi^{(r)}) \cdot \delta(\eta + \Delta_\eta^{(r)}) - Q_\xi^{(r)} \delta(\xi - \xi^{(r)}) \cdot \delta(\eta - \Delta_\eta^{(r)})] \quad (2)$$

$$\iint f d\xi d\eta + \sum_{r=1}^2 Q_\xi^{(r)} = 0 \quad (3)$$

$$\iint f \xi d\xi d\eta + \sum_{r=1}^2 [\xi^{(r)} Q_\xi^{(r)} - M_\eta^{(r)}] = 0 \quad (4)$$

$$\iint f \eta d\xi d\eta - \sum_{r=1}^2 M_\xi^{(r)} = 0 \quad (5)$$

4. 実験結果

スノーボーダが上体を振るスノーボード操作を行なった場合の実験結果を以下に示す。

4.1 スノーボード操作時のシューセンタに働く力とモーメント スノーボード操作の例として上体を右に振るスノーボード操作を行った。それぞれのシューセンタに作用する垂直力 $Q_\xi^{(r)}$ と振りモーメント $M_\xi^{(r)}$, 曲げモーメント $M_\eta^{(r)}$ を図 6, 7 に示す。図からも明らかなように右に上体を振る場合には右足 ($r=1$) の垂直力 $Q_\xi^{(1)}$ と左足 ($r=2$) の垂直力 $Q_\xi^{(2)}$ の増減が逆になっている。また, 右足の振りモーメント $M_\xi^{(1)}$ が大きいことから, スノーボードの後半部が前半部に比べて振りの影響を大きく受けていると考えられる。次に, 上体を左に振るスノーボード操作を行った。シューセンタに働く垂直力 $Q_\xi^{(r)}$ と振りモーメント $M_\xi^{(r)}$, 曲げモーメント $M_\eta^{(r)}$ ($r=1, 2$) を図 8, 9 に示す。図からも明らかなように, 左に上体を振る動作をする場合

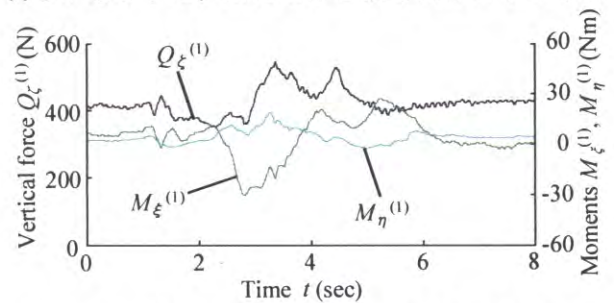


Fig.6 Force and moments caused by right twist motion

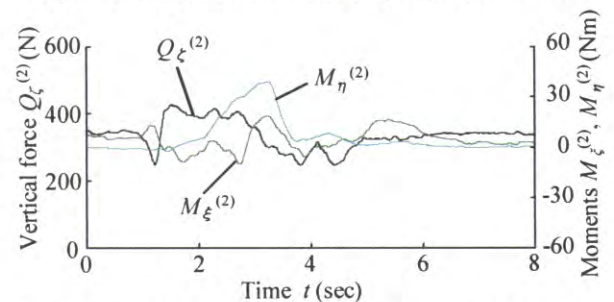


Fig.7 Force and moments caused by right twist motion

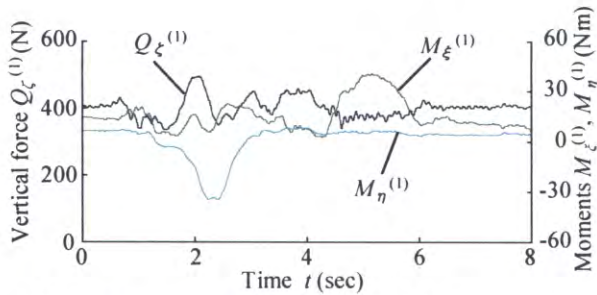


Fig.8 Force and moments caused by left twist motion

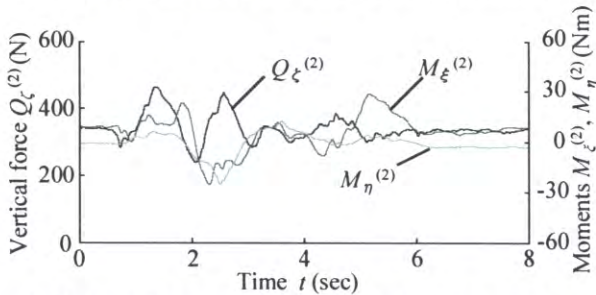


Fig.9 Force and moments caused by left twist motion

には右足と左足の垂直力が右振りと比べて逆の傾向を示している。また、振りモーメントは振り動作中（2秒から4秒の間）は右振りとは逆の傾向を示し、振りモーメント $M_{\xi}^{(2)}$ の値が大きく、スノーボードの前半部が後半部に比べて振りの影響を大きく受けていると考えられる。さらに、上体を右に振った場合の実験結果と数値計算結果の比較の一部を図 10 に示す。図はスノーボードの変位が大きい点 $L_1(0.475\text{m}, -0.088\text{m})$ の相対変位の比較を示す。図からも明らかのように数値計算結果と実験結果は良く一致している。

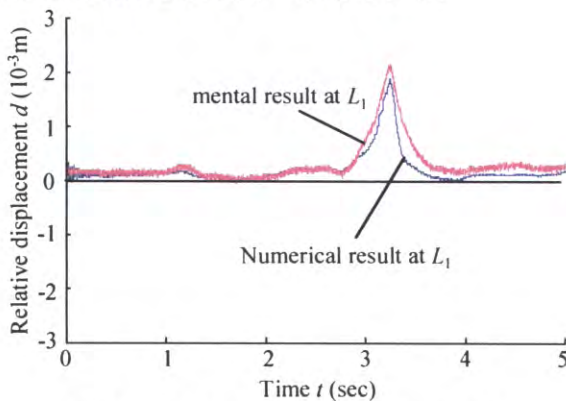


Fig.10 Comparison between experimental and numerical results

4.2 スノーボード操作時の接触圧分布変化

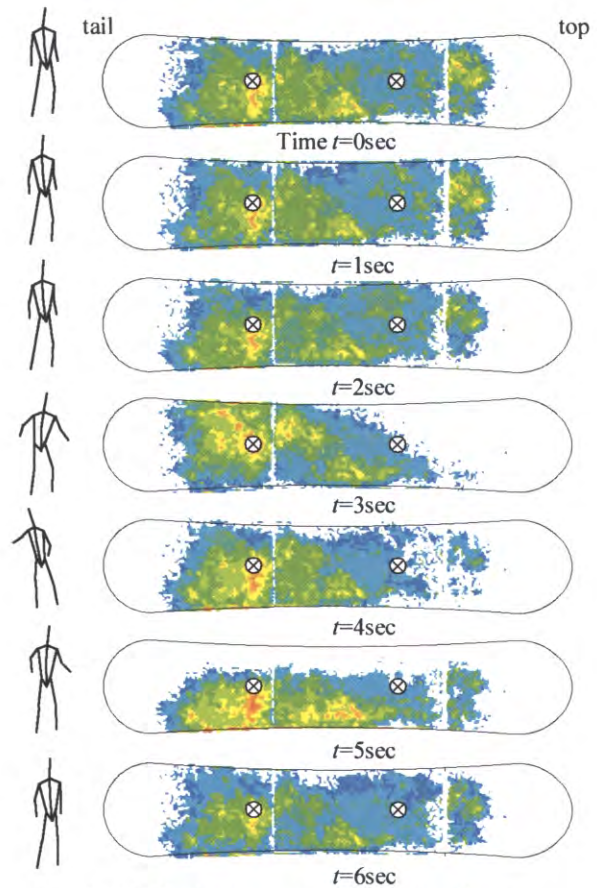
スノーボードが上体を右に振った場合にスノーボードと平面との接触圧分布が如何に変化するかを図 11 に示す。接触圧分布は明るい色ほど接触圧が高いことを表わしており、赤が最も接触圧が高く、青が最も低い。また、無色はスノーボードと弾性床面が非接触状態にあることを示している。スノーボード操作時の接触圧分布の測定結果はスノーボードが徐々に振れていく様子を明

瞭に示している。

5. 結論

スノーボード操作によりスノーボードのシュールセンタに作用する力とモーメント、スノーボードと床面の接触圧分布、スノーボード操作中のスノーボードの変位量を測定した。また、スノーボード操作によりスノーボードからスノーボードに作用する力とモーメントを用いてスノーボードの変位を計算した。その結果、レーザ変位計より得られた相対変位と数値計算から得られた相対変位はよく一致した。これにより、スノーボード操作により生じる連成運動の解析法として文献(2)で提案した数値計算法の妥当性が高いとの結論が得られた。

本研究の一部は文部科学省ハイテク・リサーチ・センター整備事業の援助を受けて行われた。関係者各位に感謝する。

Fig.11 Contact pressure distribution due to right twist motion
($\otimes$: Position of shoe center)

参考文献

- (1) 坂田敏行・月山雅晴・細川健治, スノーボード・ターンのシミュレーションに関する研究, 機論, 65-639, C(1999), 4431-4437.
- (2) 坂田敏行・河合茂博, スノーボードの動的曲げ変形解析, 機論, 61-584, C(1995), 1469-1475.