

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解析

山路 幸満*, 坂田 敏行**

Coupled Motion of Snowboard and Elastic Foundation Under Snowboard Control

Yukimitsu YAMAJI*, Toshiyuki SAKATA**

(Received October 28, 2004)

A numerical approach has been developed by the authors for the estimation of a coupled motion between snowboard and elastic foundation due to a snowboard control. The accuracy of the approach is discussed. The motion of a snowboarder, displacement of the snowboard, edging force and moments acting to the snowboard from the snowboarder, contact pressure distribution between snowboard and elastic foundation, and so on are measured. The relative displacement of the snowboard is computed and compared with experimental one. It follows that one can estimate accurately the coupled motion using the numerical approach.

Key Words: Snowboard, Coupled Motion, Numerical Analysis, Contact Problem.

1. 緒 言

スノーボード滑走のメカニズムを明らかにすることは滑走技術の向上, スノーボードの開発等にとって非常に有益であるが, スノーボードの形状と機械特性をも考慮した滑走のメカニズムの研究は殆ど行われていない. 現状では, 著者等の開発したスノーボード・ターンのシミュレーション法⁽¹⁾を利用するのが唯一の方法である. 同シミュレーション法を用いれば, スノーボードの形状・機械特性のみならず, 雪面の機械特性, あるいはスノーボード操作がスノーボード・ターンに及ぼす影響を定性的ではあるが議論することが可能である. 一方, 同シミュレーション法の精度にはスノーボードと雪面の連成運動解析の精度が密接に関係している. 荷重とモーメントの作用速度が非常に遅い場合については, シミュレーション法で用いている方法により, 連成運動を精度良く解析可能なことが確かめられている^{(2),(3)}.

本研究では, 「沈み込み抜重」と「立ち上がり加重」を連続して行い, スノーボード操作に伴って生じるスノーボード重心の変位, スノーボードの変位, スノーボードからスノーボードに作用する荷重とモーメント, スノーボードと弾性床面の接触圧分布等を測定する. さらに, 測定結果を計算結果と比較することにより, 文献(2)および(3)の場合よりも速いスノーボード操作の場合について連成運動解析法の妥当性を検討する.

2. 数値解析法と実験方法

数値解析法は文献(2)に詳述されているので, 省略する. また, 実験は文献(3)とほとんど同じであるので, 要点のみを示す.

2.1 実験装置と実験方法

写真1に実験装置の概要を示す. 水平な床面上にアルミ平板(厚さ 0.02m, 長さ 2m, 幅 0.5m)を置き, その上に雪面の代わりの厚さ 0.04m のウレタンシート(ばね定数 $k=4.2 \times 10^6 \text{ N/m}^3$ の弾性床面と仮定), 接触圧測定用センサシート(厚さ 0.0032m), スノーボードを順次重ねた. シューセンタ(C_1 , C_2)には力とモーメントを測定するための 6 軸セ

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

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

ンサを固定した (図 1 参照). また, スノーボード表面の六ヶ所 ($L_1 \sim L_6$) の変位をレーザ変位計で測定した. さらに, スノーボードの主要な関節の動きをビデオカメラにより撮影し, 画像解析法により三次元的に解析した.

2.2 実験用スノーボード 市販されているフリースタイル用のスノーボード (全長 $L=1.36\text{m}$, 質量 $M_s=2.65\text{kg}$, キャンバー高さの最大値は 0.0056m) を用いた. 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) 間の中央位置を原点 O とし, 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 軸を設定した. スノーボードの形状 (幅の半分 $0.5B$ とキャンバー高さ A) を図 2(a) に示す. 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 (D_ξ, D_η) の推定値を図 2(b) に示す (他の曲げ剛性は $D_\eta=H$, $D_1=0.28D_\xi$ と仮定). ただし, D_ξ は ξ 軸方向の曲げ剛性, D_η は η 軸方向の曲げ剛性, H はポアッソン比とせん断弾性係数に関する曲げ剛性, D_1 はポアッソン比に関する曲げ剛性である.

2.3 スノーボード操作 スノーボード (身長 1.65m , 体重 $M_h=58\text{kg}$, スノーボード歴 2 年の男性) が「沈み込み抜重」動作と「立ち上がり加重」動作を連続して行った.

3. 実験結果と計算結果

実際のスノーボード操作は身体の上下運動とねじり運動が同時に行われる複雑な運動であるが, 本研究では, 「沈み込み抜重」動作と「立ち上がり加重」動作の連続した屈伸運動についての結果について説明する. 運動の様子を図 3(f) のスティックチャートで示す (左足をフロント側のビンディングに固定). 図 3(a)~(e) は左側に示すスティックチャートに対応したスノーボードとウレタンシートとの間の接触圧力分布を示す. 赤色は圧力が大きい状態を, 青色は圧力が小さい状態を,

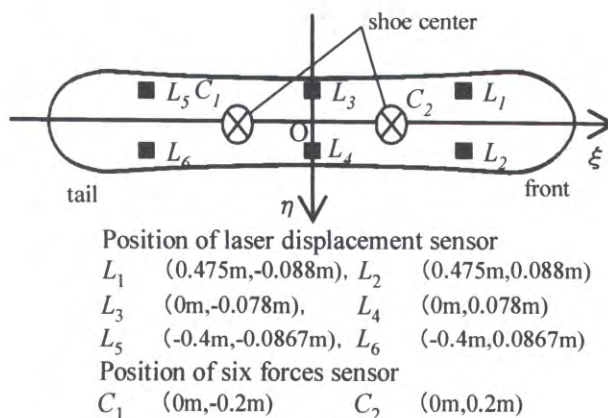
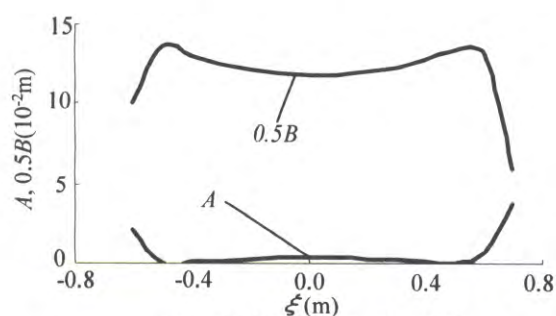
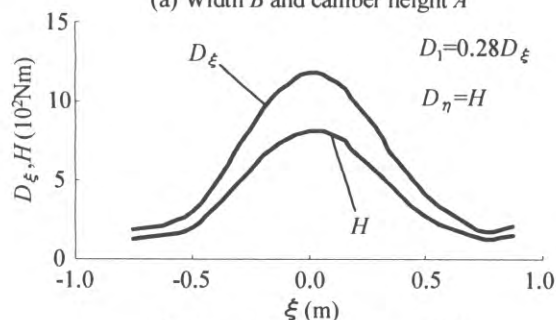


Fig. 1 Sensor's position

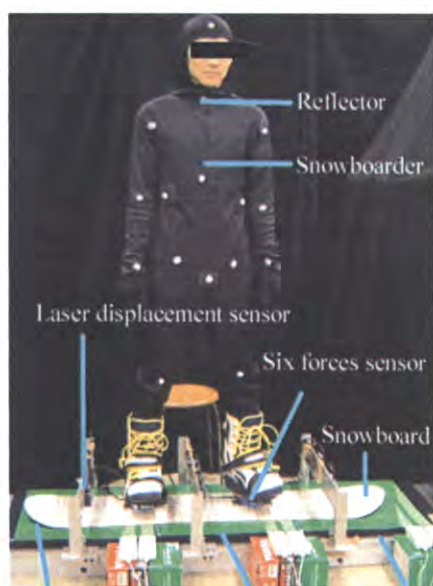


(a) Width B and camber height A



(b) Flexural rigidities D_ξ and H

Fig. 2 Shape and flexural rigidities of snowboard



Force sensor sheet Urethane sheet Aluminum plate
Photo.1 Illustration of experimental setup

白色は非接触の状態を示している. 図(a)は動作開始直前の静止状態, 図(b)は沈み込み抜重状態, 図(c)は立ち上がり加重状態, 図(d)は動作終了直前の抜重状態, 図(e)は動作終了直後の直立状態を示している. 実際の運動時間は約 3.5 秒であり, 文献 (2) の場合よりも早い, 比較的低速の運動である. 「沈み込み抜重」動作につれて, 重心は左後方に移動している様子が圧力分布から明瞭に観察される. スノーボードからスノーボードに作用した垂直力 $q_z^{(r)}$ と振りモーメント $m_\xi^{(r)}$, 曲げモーメント $m_\eta^{(r)}$ を図 4 に示す. 図 4(a) は右足の場合, (b) は左足の場合である. 両図の比較より, 振りモーメント $m_\xi^{(r)}$ は右足と左足では反対方向に作用していることが分かる. スノーボードの相対変位の計算結果と実験結果の比較を図 5 に示す. 数値計算には図 4 に示す測定結果を用いた. 横軸は経過時間 t を示す. この図より, スノーボードの変位

の計算精度は比較的良いことが明らかになった。図6はスノーボードの変形する様子を計算した結果を示す。3本の曲線は図中に示したスノーボードの中心線($\eta = 0$)、外周($\eta = 0.5B$ および $\eta = -0.5B$)に沿ってのスノーボードと弾性床面との距離を示す。振りモーメント $m_{\xi}^{(i)}$ によりテール部とトップ部が反対方向に大きくねじれている。

次に、より高速でスノーボード操作を行った場合の結果を図7~9に示す。図8から明らかなように、より高速の場合でもスノーボードの相対変位は比較的精度よく計算可能である。

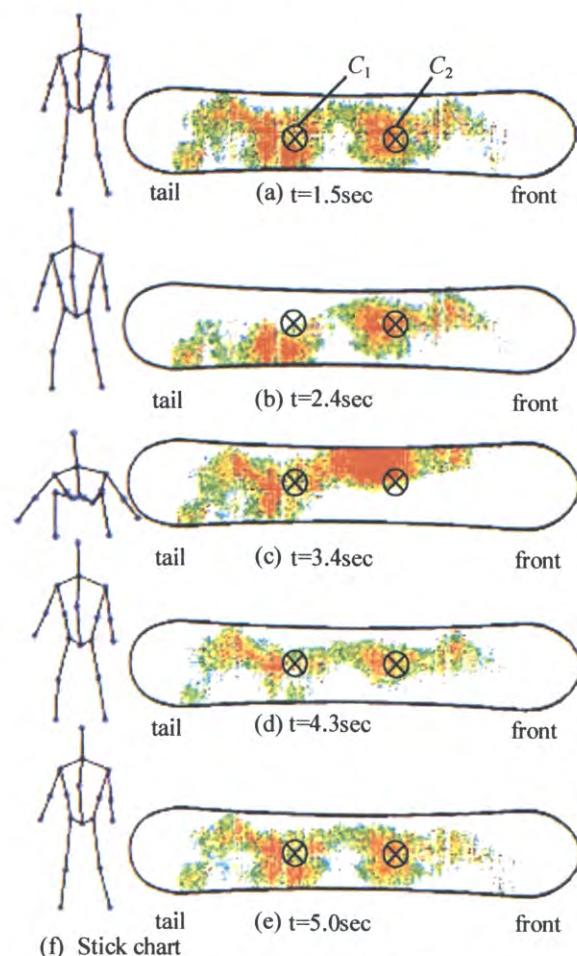


Fig.3 Contact pressure distribution caused by snowboard control (Low speed)
⊗:Position of shoe center

5. 結論

スノーボード操作に伴って、スノーボードのシュー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間に生じる接触圧分布、スノーボードの変位等を、測定した。また、測定した力とモーメントを用いてスノーボードの変位を数値計算により求めた。変位の実験結果と計算結果は良く一致した。スノーボードの変形に伴うスノーボードと弾性床面との接触圧分布は、定性的には、スノーボードの変形と矛盾がないことも明らかになった。

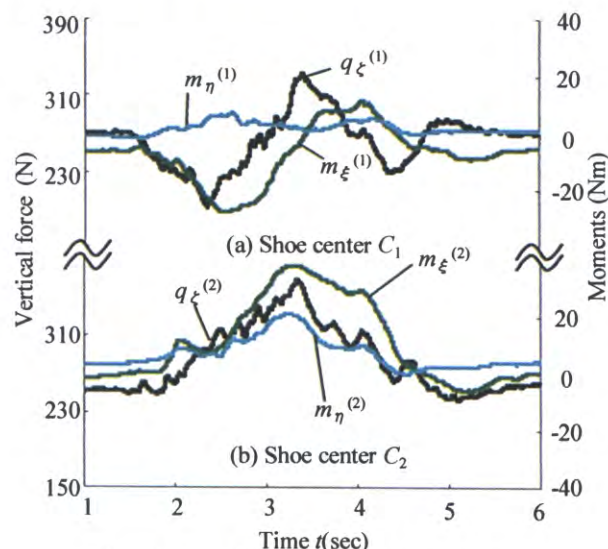


Fig.4 Force and moments acting to snowboard from snowboarder (Low speed)

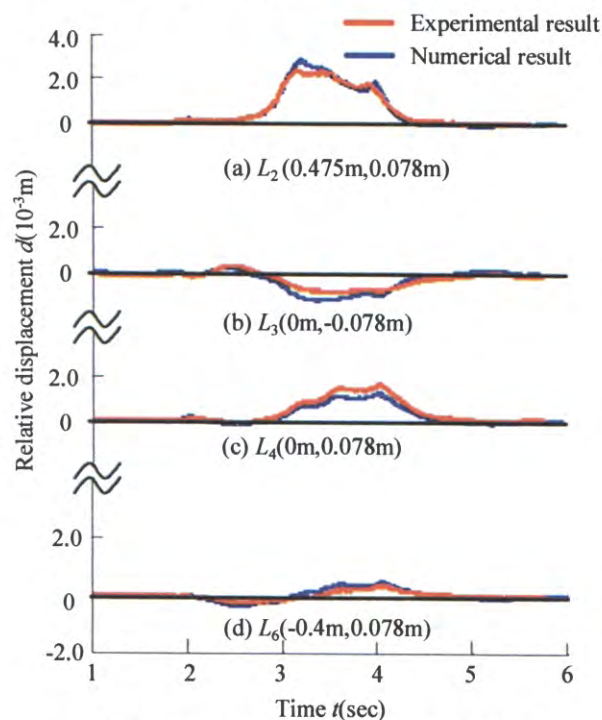


Fig.5 Comparison between experimental and numerical results (Low speed)

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), 4331-4437.
- (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.
- (3)久保寺賢, 杉山佳隆, 河合茂博, 坂田敏行, 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, 中部大学工学部紀要, 38, (2002), 49-5

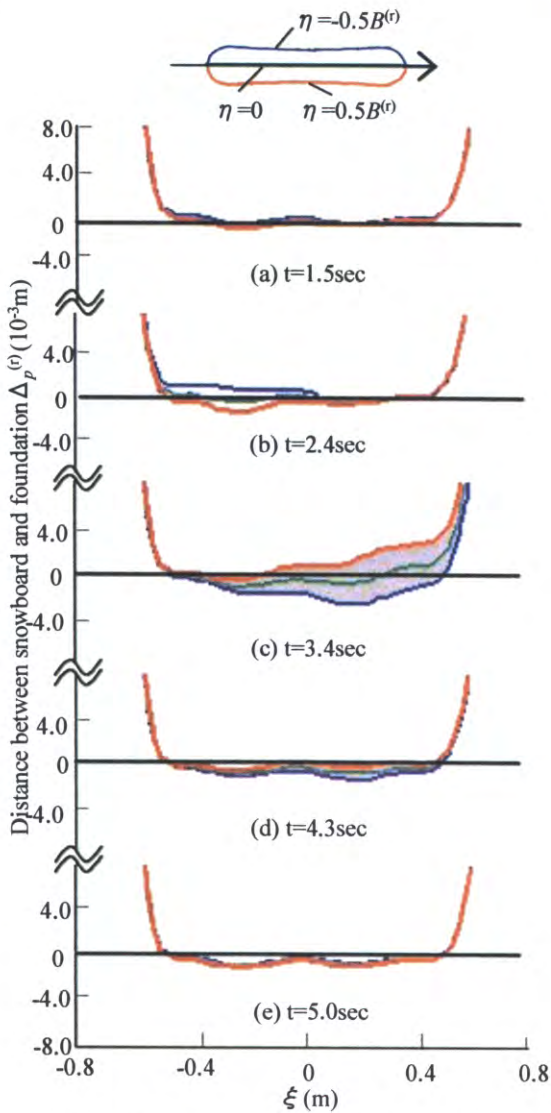


Fig.6 Displacement of snowboard (Low speed)

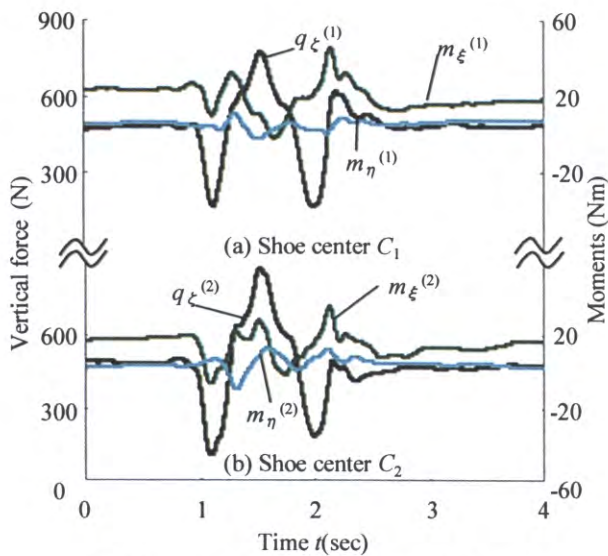


Fig.7 Force and moments acting to snowboard from snowboarder (High speed)

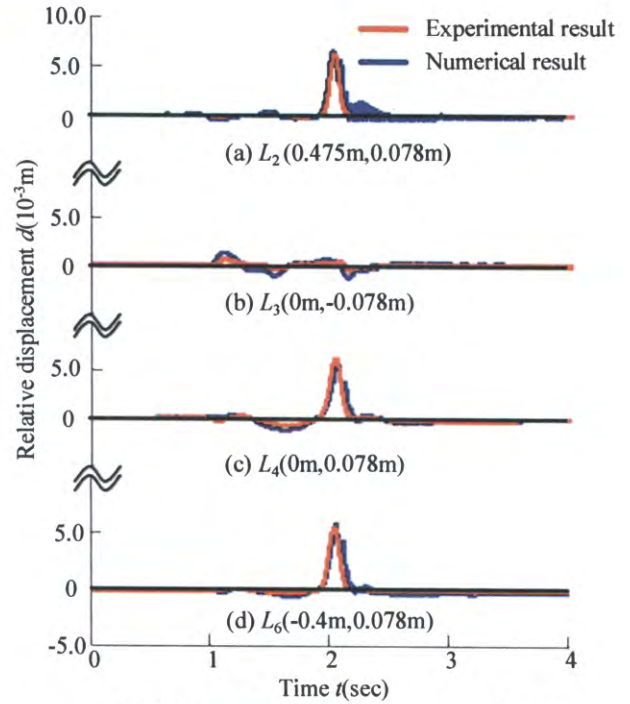


Fig.8 Comparison between experimental and numerical results (High speed)

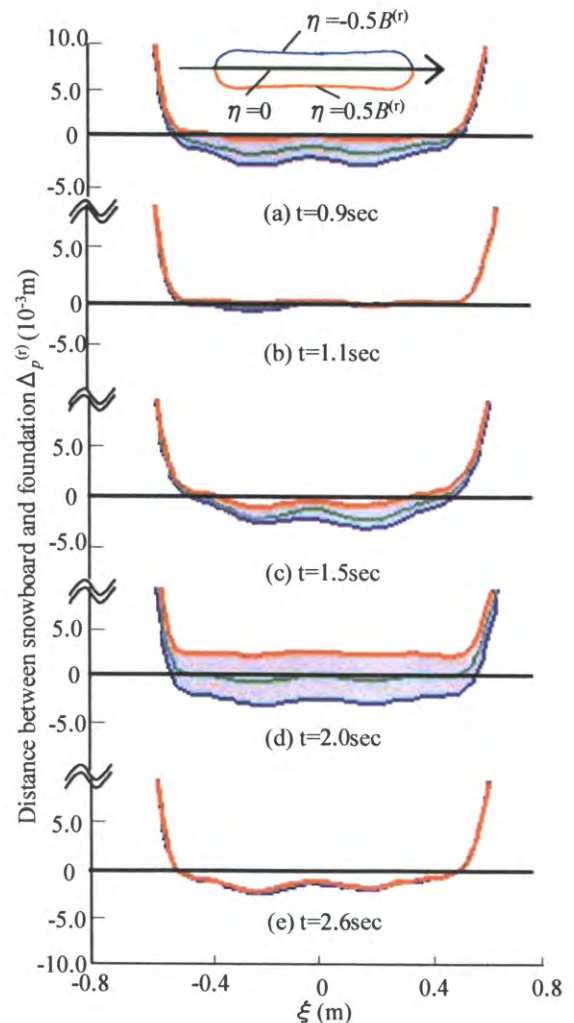


Fig.9 Displacement of snowboard (High speed)