

スノーボードターンに及ぼすスノーボードの機械特性の影響

安藤 伸哉*, 河合 茂博*, 細川 健治**, 坂田 敏行**

Effects of Mechanical Properties of Snowboard on Snowboard Turn

Shin'ya ANDO*, Shigehiro KAWAI*, Kenji HOSOKAWA**,
and Toshiyuki SAKATA**

(Received November 25, 2002)

The authors have proposed a numerical approach for estimating a snowboard turn. Also, they have proposed an identification method of equivalent elastic parameters for a snowboard. In this study, to clarify the effect of the mechanical property (elastic parameter) of snowboard on the snowboard turn, numerical approach and identification method are used. First, by using vibrational properties of the snowboard, the mechanical property which is one of important factors for simulating the snowboard turn is identified. Next, by using the identified mechanical property, the snowboard turn is simulated. Consequently, it is shown that the snowboard turn is influenced by the snowboard model. Furthermore, if the mechanical property of the snowboard were changed partially, it is shown that the snowboard turn changes extremely.

Key Words: Snowboard, Snowboard turn, Mechanical Properties, Inverse Problem, Identification, Vibration

1. 結 言

スノーボードの開発を行う場合に、試作の前段階で力学的な解析と検討を行うことはスノーボードの高性能化および製作段階でのコスト削減にとって重要であると考えられる。すでに、著者らはスノーボードの形状、機械特性(弾性パラメータ等)、スノーボード(質量や重心位置等)、雪面の特性、等を考慮したスノーボードターンのシミュレーション法を提案した⁽¹⁾。また、文献(1)ではスノーボードターンに及ぼすスノーボードの形状、スノーボードからスノーボードに作用する垂直荷重および雪面のばね定数等の影響についても検討した。しかしながら、スノーボードの機械特性がスノーボードターンに及

ぼす影響についての研究は著者等の知る限り報告されていない。

そこで本研究では、スノーボードの機械特性(弾性パラメータ)がスノーボードターンに及ぼす影響について検討する。研究には市販されているアルペンボードおよびフリースタイルボードの中から各2種類、計4台用いる。スノーボードは様々な材料より成る複合構造体であるため、強い異方性を示す。そのため機械特性の測定は金属のような単一材料に比べ困難である。そこで、はじめに文献(2)で提案したスノーボードの振動特性を利用した同定法を用いてスノーボードの機械特性(弾性パラメータ)を先端から後端まで非破壊的に精度良く求める。次に、文献(1)で提案したシミュレーション法を用いてスノーボードターンを計算し、スノーボードターンに及ぼすスノーボードモデルの影響を検討

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

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

する. さらに, 機械特性を変化させた場合についてもスノーボードターンを計算し, スノーボードターン特性に及ぼす機械特性(弾性パラメータ)の影響を検討する.

2. スノーボードの機械特性の同定

2.1 研究に用いたスノーボード

研究には市販されているスノーボードの中からアルペンボード2台(A,B)とフリースタイルボード2台(C,D)の計4台を用いた. スノーボードの両シューセンタの中央を原点として中立面上で長手方向に ξ 軸, 幅方向に η 軸, 垂直下向きに ζ 軸をとる⁽¹⁾. スノーボードは ξ 軸方向に機械特性が異なるため, その弾性パラメータの定義として3次元直交異方性を使用した. ただし, 厚さ方向の弾性パラメータの影響は小さいと考え, 面外等方性の条件を適用し, 式(1)のように仮定した.

$$\left. \begin{aligned} E_{\xi} &= E_{\eta}, G_{\xi} = G_{\eta}, \nu_{\xi\zeta} = \nu_{\eta\zeta} \\ \nu_{\xi\xi} &= \nu_{\eta\eta}, \nu_{\eta\zeta} = \nu_{\xi\zeta} = 0.4 \\ G_{\eta\zeta} &= \frac{E_{\eta}}{2(1+\nu_{\eta\zeta})}, \nu_{\eta\zeta} = \nu_{\xi\zeta} \frac{E_{\eta}}{E_{\xi}} \end{aligned} \right\} (1)$$

弾性パラメータより算出される曲げ剛性は D_{ξ} (ξ 軸方向), D_{η} (η 軸方向), D_1 (ポアソン比に起因), および $D_{\xi\eta}$ (せん断弾性係数とポアソン比に起因)とした. また, 数値解析では質量密度は実測値を, 長手方向のポアソン比は 0.4 と仮定した(式(1)参照). 4 台のスノーボードの主要な緒元を表1に示す. ウェスト幅とはシューセンタ間の最も狭い部分の幅をいう. また, スノーボードの幅 B およびキャンバー高さ A を図1に示す.

Table1 Geometry and mass of snowboard

Name	model	Mass (kg)	Length (m)	Waist width (10^{-2} m)
A	Alpine	2.590	1.500	18.50
B	Alpine	3.205	1.600	19.95
C	Freestyle	3.230	1.560	24.77
D	Freestyle	2.575	1.560	24.70

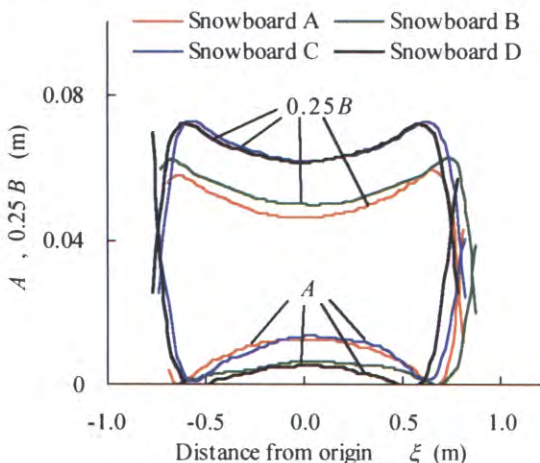


Fig.1 Width B and camber height A

2.2 機械特性の同定法の概要

図2に文献(2)で提案した同定法の流れを示す. 提案した同定法は有限要素法と逆問題解析法を組み合わせたものである. まず, 天井から十分長い糸で吊り下げられたスノーボードに加速度センサを取り付け, 境界自由の条件の下, インパルスフォースハンマで加振する. 次に, 実験的モデル解析ソフト(STAR system)を使用して, 加振により得られた伝達関数からスノーボードの固有振動数および振動モードを実験的に求め, 目標値とする. また, 3次元CAD (Solidworks)によってスノーボードの外形形状を作成した後, 有限要素解析ソフト(NASTRAN)を用いて, 拘束条件を考慮した解析モデルを作成する. 最後に, 解析モデルと加振実験により得られたスノーボードの固有振動数および振動モードを用いて解析/実験データ統合ソフト(FEMtools)上で有限要素固有値解析および逆問題解析を行う. つまり, 逆問題解析により得られた弾性パラメータを用いて有限要素固有値解析を行った結果得られた固有振動数および振動モードを目標値(加振結果)に収束させることで最適な弾性パラメータを同定する. この時, 異方性材料の同定過程において弾性パラメータの初期推定値によっては実験により得られる振動モードの順序と解析により得られる振動モードの順序が異なる場合があるが, これに対してはMAC(Modal Assurance Criterion)によりモードを対応づけて適切な同定を行った.

2.3 同定された機械特性

同定された弾性パラメータを用いて算出した機械特性(D_{ξ} , D_{η} , D_1 , $D_{\xi\eta}$)の一例として, スノーボード長手方向の曲げ剛性分布 D_{ξ} の結果を図3に示す. 図よりアルペンボードの曲げ剛性 D_{ξ} はフリースタイルボードの曲げ剛性 D_{ξ} より大きい値を示す事が明らかとなった.

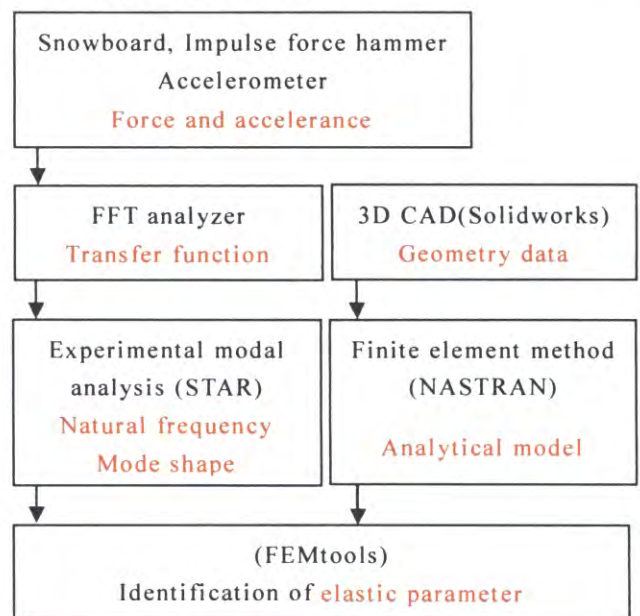


Fig.2 Flow chart of identification

3. スノーボードターンシミュレーション

同定された弾性パラメータより算出された機械特性および実測した形状を用いて、4 台のスノーボードの滑走シミュレーションを行った(シミュレーション法の詳細は文献(1)参照)。

3.1 スノーボーディングの解析モデル

スノーボードはその重心に全質量 M_h が集中した質点でモデル化し、スノーボードの重心位置 G のスノーボードへの投影点を H とし、その座標を (ξ_H, η_H) とする。雪面はばね定数 k_0 の弾性床で近似する。水平な雪面上に x 軸および y 軸をとり、 x - y 平面上をスノーボードとスノーボードよりなる滑走系が x 軸方向を進行方向として一直線に滑走しており、時間 $t=0$ の時に原点 O を x 軸となす角 θ_0 の方向に初速度 V_0 で通過すると考える。原点 O を通過する瞬間にスノーボードはエッジング動作を行うと考え、その際にスノーボードからビンディングとブーツを介してスノーボードに垂直荷重、ねじりモーメント、曲げモーメント、および回転モーメントが作用すると考える。

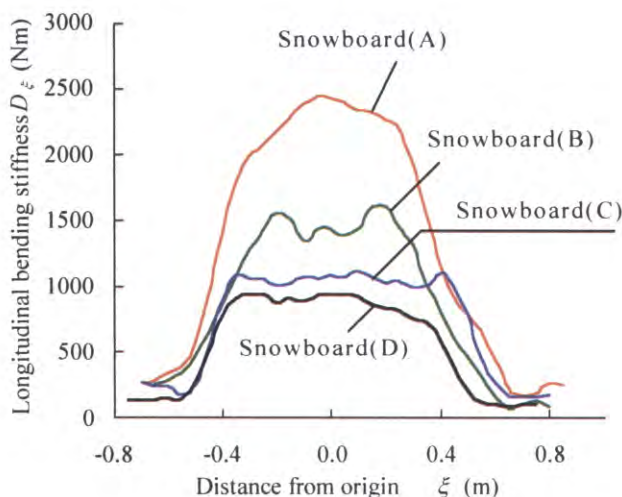


Fig.3 Identified mechanical property of snowboard

3.2 滑走解析に用いた各種パラメータ

シミュレーションでは、スノーボードの全質量 $M_h=70.0\text{kg}$ 、雪面のばね定数は $k_0=1.7 \times 10^6 \text{N/m}^3$ 、滑走初速度は $V_0=10\text{m/s}$ 、進入角度は $\theta_0=0^\circ$ とした。また、エッジング動作はいずれのスノーボードの場合も同一であり、0.1 秒で完了し、1.0 秒間のスノーボードターンを解析した。さらに、スノーボードの構えはレギュラースタンス(左足が前となる一般的な構え)とし、フロントサイドターン(スノーボードが山側を向き、つま先側でエッジングするターン)を行う場合を解析した。

3.3 スノーボードモデルの影響

滑走解析によって得られた各スノーボードの滑走状態を図 4 に示す。破線で示した黒い曲線は滑走系の重心 G の軌跡を、赤い短直線は解析から 0.1 秒ごとのスノーボードの向きを示している(x 軸方向と y 軸方向の倍率が異なるので、スノーボードの向きは実際の回転よりも大きく示されている)。図 5 はスノーボードターンの評価に用いる評価特性、「重心の軌跡 y_m 」と「スノーボードの回転 θ_m 」の定義を示す⁽³⁾。それぞれのスノーボードの解析結果を図 6 に示す。図 4 および図 6 より、アルペンボードはフリースタイルボードに比較して「重心の軌跡」の曲率半径が小さく、より小回りが可能であることが明らかになった。

3.4 機械特性の変化がスノーボードターンに及ぼす影響

スノーボードの機械特性を局所的小および全体的に変化させて滑走解析を行い、スノーボードターンに及ぼす影響を検討した(図 7 参照)。すなわち、スノーボードを長手方向に大きく 5 つに分け、先端部分を“f”，前足のビンディング位置近傍を“fb”，センタ部分を“c”，後足のビンディング位置近傍を“rb”，後端部分を“r”，全体を“all”と呼ぶ。それぞれの部分において機械特性値 D_ξ , D_η , D_1 , $D_{\xi\eta}$ の全てにおいて 10% の増加(“up”と称する)あるいは 10% の減少(“down”と称する)を行い、スノーボードターンを解析した。図 7 に示

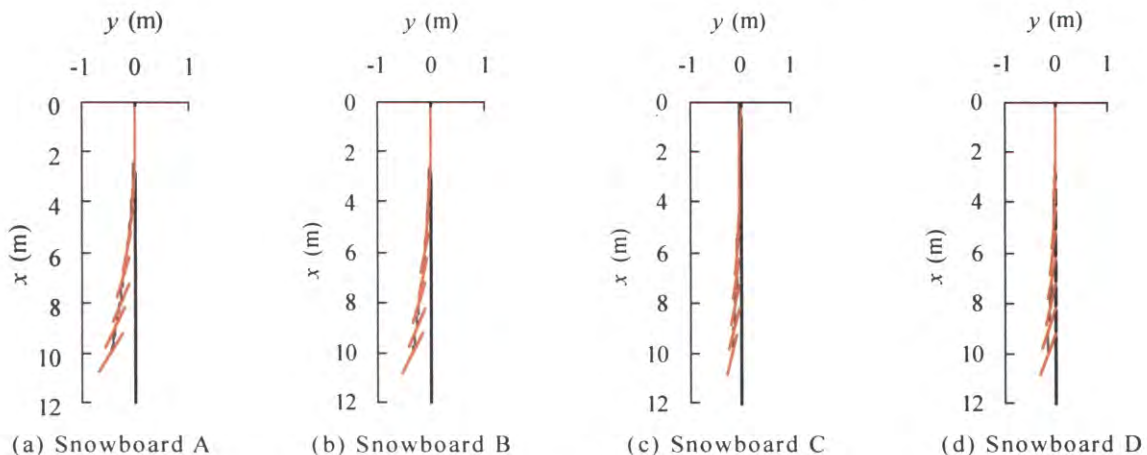


Fig.4 Effect of model of snowboard on snowboard turn

す解析結果から次の点が明らかになった。

1) 一般的に、機械特性を増加させると「重心の軌跡」が小さくなり(曲率半径が大きくなって)曲がりにくくなる。逆に機械特性を減少させると曲がりやすくなる。2) センタ位置("c")の機械特性の変化に対する「重心の軌跡」の変化はアルペンボードとフリースタイルボードで逆の傾向を示し、特に、フリースタイルボードではセンタ位置("c")の機械特性の変化の影響は大きい。3) 機械特性が「スノーボードの回転」に及ぼす影響では、ビンディング位置近傍の影響が最も大きい。また、前足のビンディング位置("fb")と後足のビンディング位置("rb")では「スノーボードの回転」に及ぼす影響は逆の傾向を示す事が明らかになった。したがって、「スノーボードの回転」の変化を狙うのであれば、全体("all")の機械特性を変化させるよりビンディング位置の機械特性を一方は増加、もう一方は減少させるような設計をおこなうことが効果的である事が明らかになった。

4. 結 言

シミュレーション法を用いてスノーボードターンを解析し、スノーボードターンに及ぼすスノーボードの機械特性の影響について検討した。初めに、スノーボードの振動特性を利用して機械特性を同定した。次に、同定した機械特性を用いて滑走解析を行った。その結果、スノーボードのモデルによりスノーボードターンが異なることが明らかとなった。また、スノーボードの機械特性を部分的に変化させると、滑走性能に大きく影響することも明らかとなった。

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。

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.

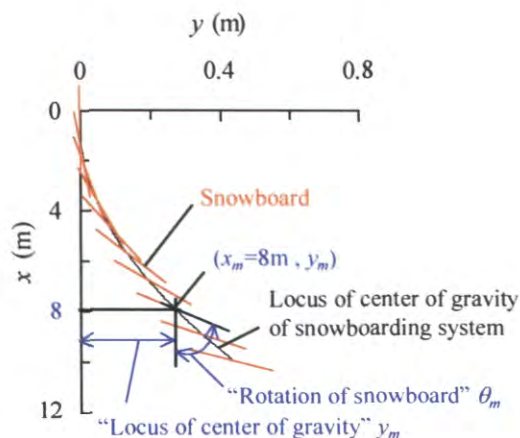


Fig.5 Snowboarding system

- (2) Kenji HOSOKAWA, Shin'ya ANDO, Toshiyuki SAKATA, Identification of Equivalent Elastic Parameters for Snowboards, Proceedings of the 7th Japan International SAMPE Symposium, (2001-11), 463-466.
- (3) 河合茂博・加藤啓介・坂田敏行, 与えられたスキーターン特性を有するスキー板の設計法, 日本設計工学会誌「設計工学」(印刷中)

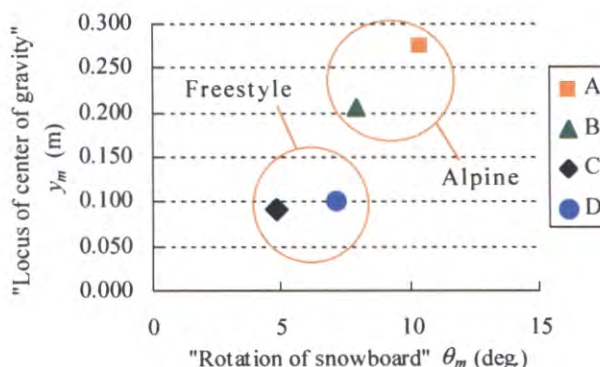
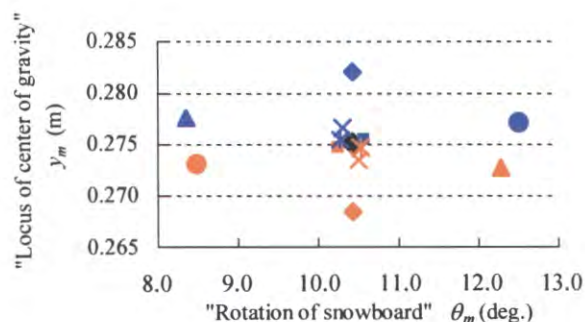
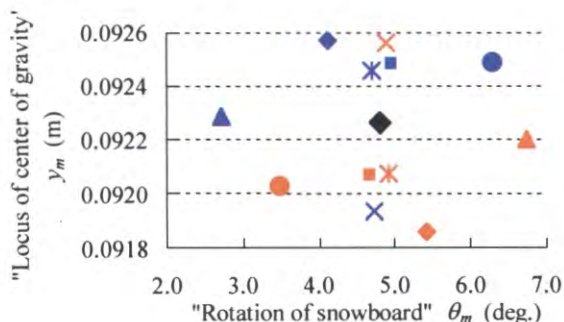


Fig.6 Effect of model of snowboard on snowboard turn



(a) Snowboard A



(b) Snowboard C

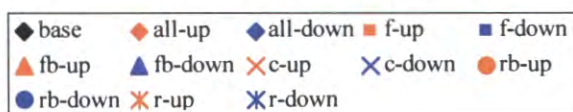


Fig.7 Effect of mechanical properties of snowboard on snowboard turn