

スラップスケート靴ブレードのひずみ測定*

長坂明彦^{*1}・掛川洋平^{*2}・井上宏克^{*3}
土橋文行^{*4}・小松秀司^{*5}・宮澤純一^{*6}

Strain Measurement of Slap Skate Shoes Blade

NAGASAKA Akihiko^{*1}, KAKEGAWA Yohei^{*2}, INOUE Hirokatsu^{*3},
TSUCHIHASHI Fumiyuki^{*4}, KOMATSU Syuji^{*5} and MIYAZAWA Jyunichi^{*6}

キーワード：スラップスケート，ブレード，ひずみ測定，機械的特性

1. はじめに

スピードスケートはスケート靴ブレードと氷との摩擦力が極めて小さく，最高スピードは時速60km近くにも達し，カーブでは大きな遠心力が作用し，片脚に体重以上の負荷が加わる．つまり，スピードスケート滑走は通常の陸上競技では考慮を要さない力学的要因と密接に関係しており，優れた滑走動作の解明には，身体運動の合理性を力学的に研究しようとするバイオメカニクスによる解析手法が有効である^{1,2)}．

そこで，スケート滑走中の氷とブレードとの間の相互作用，すなわちブレード反力をとらえるkineticな解析が不可欠になる．

これまでの先行研究では，結城ら³⁾が，スケートブレードに作用する上下および左右方向の二分力が計測できるセンサースケートを開発し，動作分析法を併用して低速および高速滑走時におけるブレード反力を比較することにより，滑走速度とブレード反力の関係について検討している．

しかしながら，長野冬季五輪以降普及し大幅なタイムの短縮の要因となった，スラップスケートに関する研究はほとんど見当たらない．

そこで本研究では，スラップスケート靴ブレードの機械的特性を各種実験により測定・調査し，滑走時間とブレード反力の関係について比較・検討した．

2. 実験方法

2-1 機械的特性

供試材には MAPLE 社製のスピードスケートブレード(板厚 1mm)を用い，ワイヤ放電加工機により引張および曲げ試験片を作製した．同ブレードはバイメタルであるため，ブレード先端から 3.6mm 部のみ超硬，他は鋼であることから，鋼部，超硬部両方の試験片を作製した．

引張試験には，インストロン型万能試験機を用い，クロスヘッド速度 1mm/min で試験を行った．試験片形状は，板幅 4mm，標点間距離 20mm とした(図 1)．

3 点曲げ試験にも同試験機を用い，クロスヘッド速度 1mm/min，パンチ直径 20mm で試験を行った．試験片形状は，4×60mm，支点間距離 32mm の短冊形とした．なお，必要に応じて硬さ試験も併せて行った．

2-2 滑走測定

実験はエムウェーブ(長野県長野市)で行い，リンクの概観図および測定箇所を図 2 に示す．リンクは一周 400m である．

図 3 および図 4 に実験装置装着時の滑走者全体および足元を示す．また，図 5 にひずみ測定装置を示す．デイバックにひずみ測定装置を入れ，リード線をメンディングテープ等で固定した(図 3)．

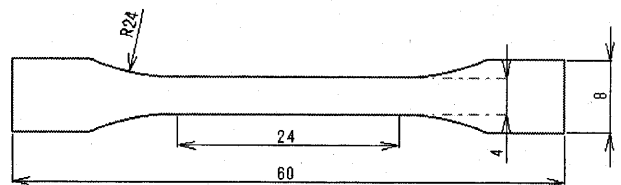


図 1 引張試験片形状

* 2006年3月5日 日本体育測定評価学会にて一部発表

*1 機械工学科教授

*2 生産環境システム専攻

*3 株式会社竹村製作所

*4 株式会社エムウェーブ

*5 有限会社ネーブル

*6 エムテック株式会社

原稿受付 2006年5月19日

図6にブレードのひずみゲージ位置を示す。ブレードにひずみゲージ(4.2×1.5mm)を貼付し、コンパクトレコーダーによりデータ収集を行った。測定条件は、サンプリング周波数 20Hz, ローパスフィルタ 200Hzで行った。ひずみゲージを貼付した位置については、ブレード外側左右共に Front, Hinge, Middle, Rear の4箇所ずつ(図6)の計8箇所とし、測定時に任意の2箇所を選択して行った。

今回の実験における被験者は2名とし、現役選手ではない被験者(体重 64kg)をA, 本校スピードスケート同好会の現役選手(体重 58kg)をBとし、データの比較を行った。

3. 実験結果および考察

3-1 引張特性および曲げ特性

表1にブレードの機械的特性を示す。ピッカース硬さ HV は先端部(超硬)と根元部(鋼)で硬さが大きく異なり、パイメタル構造であることがわかる。また、曲げ強さ σ_b においても先端部(超硬)と根元部(鋼)で σ_b が異なる。なお、根元部(鋼)の伸び TEI は 11.5%, 縦弾性係数 E は 232GPa および引張強さ TS は 1716MPa である。

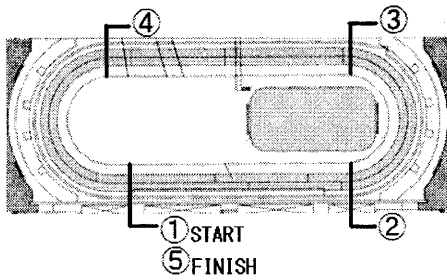


図2 リンク概観図



図3 実験装置装着時の滑走者(全体)

3-2 滑走実験

図7にひずみ ST と時間 T の関係を示す。ここで, Front, Hinge, Middle, Rear の左右ブレード計8箇所の測定結果を示す。また, ①~⑤は図2におけるライン上の通過時間を示す。左右での挙動の違いについては, 左の信号は引張・圧縮(プラス・マイナス)の両方が出ているのに対し, 右の信号はほぼ圧縮(マイナス)の信号のみが検出される。図7(c)において, ①~②および③~④のストレートでは, 氷面を下に押しな



図4 実験装置装着時の滑走者(足)

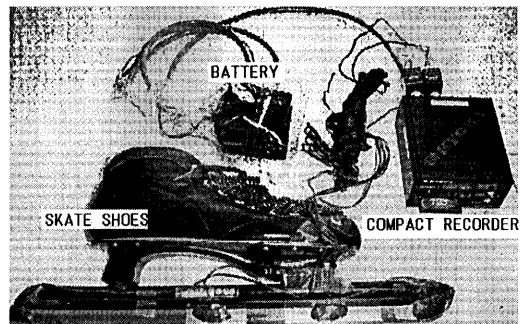


図5 測定装置

100mm

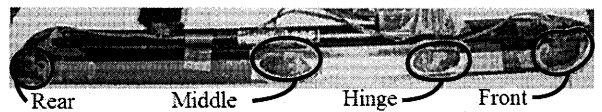


図6 ブレードのひずみゲージ位置

100mm

表1 機械的特性

Material	HV	TEI (%)	E (GPa)	TS (MPa)	σ_b (MPa)
Steel	738	11.5	232	1716	3015
Cemented carvide	1019	—	—	—	3307

HV : Vickers hardness, TEI : total elongation, E : elastic modulus, TS : tensile strength and σ_b : bending strength.

がら蹴る、すなわち内エッジで滑走するため、ブレード外側のひずみゲージは圧縮される(図9)。②~③および④~⑤のカーブは外エッジで滑走するため、ひずみゲージは引張変形を生じる。一方、図7(d)において、内エッジで滑走するため、ブレード外側のひずみゲージは常に圧縮変形(マイナス)を生じる(図10)。以上のことから、左右両足を同時に測定することが効果的であると考えられる。

さらに、ひずみの値はブレード両端部(Front, Rear)よりも中央部(Hinge, Middle)の方が大きく出力された。この理由として、ブレードに大きな曲率(ロック)がついていること、および荷重が靴とブレードの軸下付近に常に安定して加圧されていることの2点が考えられる。しかしながら、スタート時において、Hinge, Middleと同程度の圧縮ひずみがFrontおよびRearに出力されていることにも注目しなければならないだろう。HingeとMiddleは類似したデータが得られた。これらのデータは変化がわかりやすく、比較・検討時に有利である。ただし、推進力を増すためには、Rearの信号が出る方がよいと考えられる(図7(g), (h))。これは複数箇所を同時に測定する手法の有用性を示すものと思われる。

図8に被験者Bの滑走データから得られたひずみ ST と時間 T の関係を示す。(左右Hingeのみ)被験者Aのグラフ(図7(c), (d))と比較すると、ストローク数に違いが見られる。これは滑走速度の違いと、体格差によるストライドの広さの違いの為だと考えられる。一方、平均的なひずみの値は体格差があるにも関わらず、あまり差は見られなかった。これは、ひずみゲージを貼付している部分が鋼材であるため、数kgの体重差では大きな違いを検出できないためだと考えられる。一方、体重の軽い被験者Bの方がキック力は強かったため、体重差が相殺されたのではないかとも考えられる。この点においては、さらに数多くのデータの構築を行い、検討する必要があると思われる。

また図11は、図7(c), (d)のグラフを一つに重ね、タイムテーブルを引き伸ばしたものである。図11からも、コーナー部とストレート部での波形の違いがよくわかる。今回は、このグラフのコーナー部の始めから、ストレート部の終わりまでに検出された、スペクトルのピークの点を読み取り、スペクトルのピーク間隔の測定を行った。

表2は、スペクトルのピークの値が検出された時の横軸 T の値を読み取ったものである。今回は前後データ間の差を取ることで、スペクトルの検出間隔を求めた。

表3に計算結果を示す。この結果の平均を求めると2.1となるので、2.1を閾値として $2.1 \leq X$ の時 $X=1$ 、 $2.1 > X$ の時 $X=-1$ という条件に当てはめると、表4

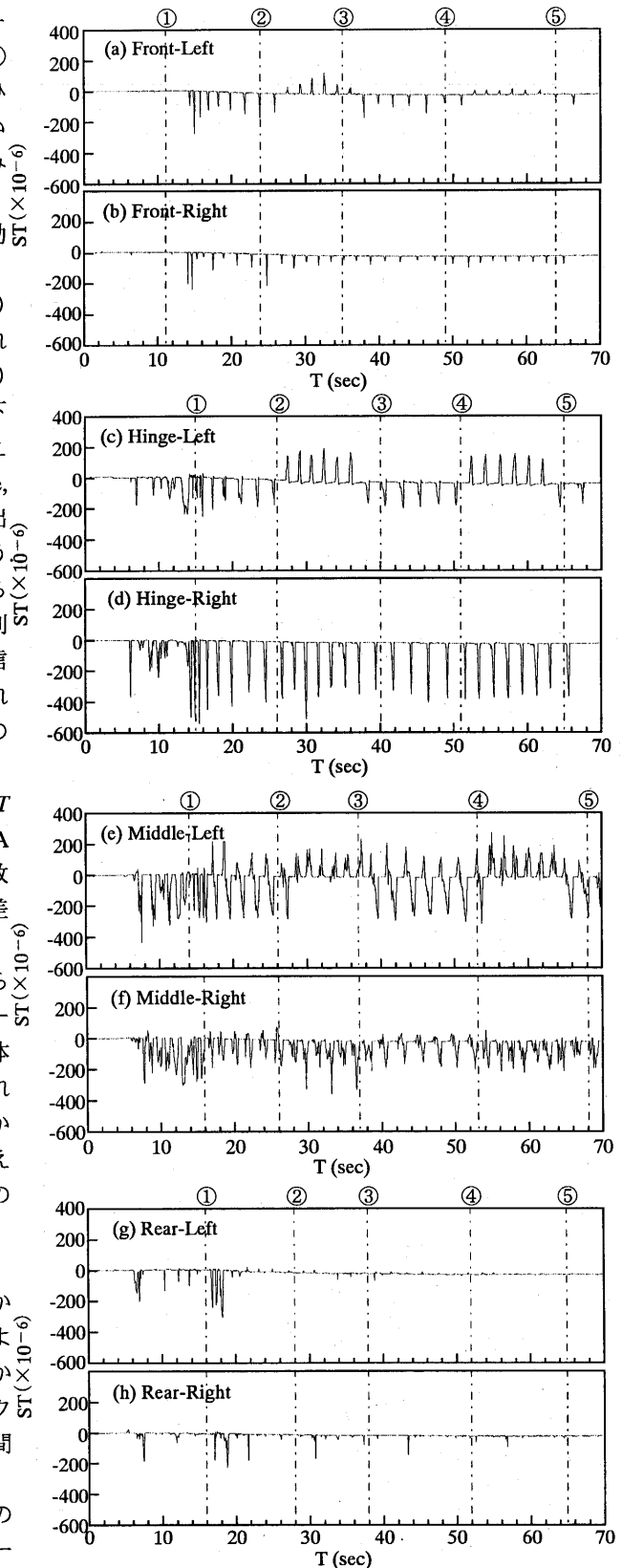


図7 ひずみと時間の関係(被験者A)

のようになる。

表4をグラフ化したものを図12に示す。こちら、コーナー部とストレート部がきれいに別れた。以上のことから、ストレート部ではスペクトル検出間隔が長く、コーナー部ではスペクトル検出間隔が短いということがわかり、ストレートとコーナーでのストローク間隔が違うということがわかった。

表2 スペクトルのピークの値が検出された時の横軸Tの値

Left-Hinge	Right-Hinge
27.5	28.35
29.15	29.95
30.7	31.6
32.4	33.25
34.2	35.25
36	37.15
38.35	39.4
40.65	41.75
43.1	44.2
45.4	46.55
47.95	49.15
50.3	51.55

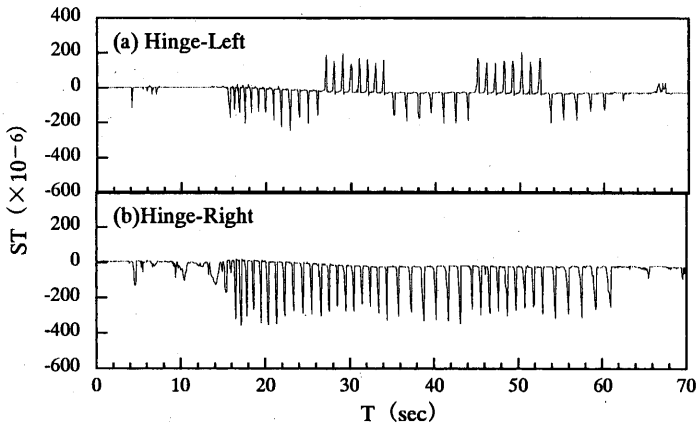


図8 ひずみと時間の関係 (被験者B-左右 Hinge)

表3 前後データ間の差

Left	Right
1.6	1.65
1.65	1.55
1.65	1.7
2	1.8
1.9	1.8
2.25	2.35
2.35	2.3
2.45	2.45
2.35	2.3
2.6	2.55
2.4	2.35

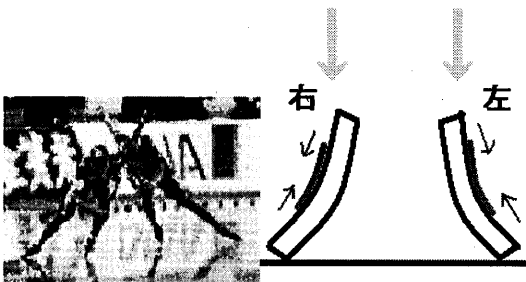


図9 ストレート滑走時

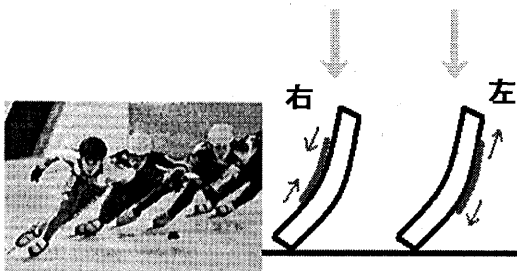


図10 コーナー滑走時

表4 閾値による判定

Left	Right
-1	-1
-1	-1
-1	-1
-1	-1
-1	-1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1

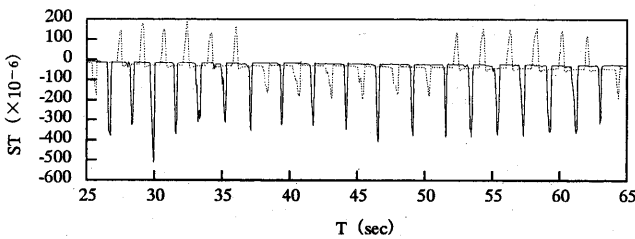


図11 Hinge部拡大

4. 結言

- (1) 左右両足ブレード外側の測定位置 8 箇所において、それぞれの動ひずみが時間経過に伴い、プラス・マイナスの変化を検出することができ、Hinge のひずみが最大となった。
- (2) 左足ブレードにおいて、ストレートとカーブのひずみはプラス・マイナスの変化を、右足ブレードにおいて、常にひずみはマイナスの変化を検出することができた。
- (3) スペクトルの検出間隔は、ストレートとコーナーで異なる。

参考文献

- 1) Ingen Schenau, G. J. van: Academisch proefshrift, 101-106, (1981).
- 2) de Koning, J. J. et al.: International Journal of Sport Biomechanics, 103-109, (1987).
- 3) 結城匡啓 他: バイオメカニズム 11, 東京大学出版会, 41/51, (1996).

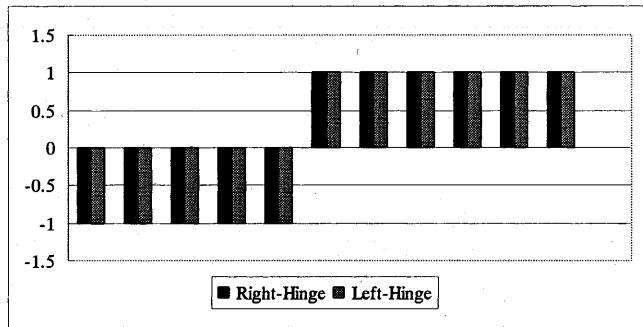


図 12 閾値による判別化