

アルペン・スキーの歪み測定装置の開発

影山 義光 八島 健司
布目 靖則

Abstract

We have developed the Measuring Apparatus for Strain in Alpine Ski. This Measuring Apparatus Strain for Alpine Ski tested on 90m of length and 11° of compacted snow slope that has 9 short single pole with 2 skiers.

The following results were obtained:

This Measuring Apparatus for Strain in Alpine Ski is a valid method to examine deflection of Ski. It is possible to compare deflection of a ski with other type of ski. We can apply to same comparison the speed of skier, technique and slope condition. Thus Measuring Apparatus for Strain in Alpine Ski will be a scientific variable.

1. 目 的

最近のカービング・スキーの開発によって、ワールドカップのスラローム競技では、156cmのスキーを使用した者が優勝している。カービング・スキーは、サイドカット半径を小さくすると同時に曲げ剛性やねじり剛性を改良して、2枚のスキー板に乗った切れ込みターンおよびエッジの切り換えを容易にしたスキーと考えられている。¹⁾そして、スキーのターン開始時には角付け（エッジング）操作とスキーヤーの荷重によりスキーは曲げ変形（たわみ）やねじれ変形を起こし、本来のサイドカット半径とは異なる有効サイドカーブに沿って切れ込みターンが起これと言われている。¹⁾しかし、スキーのターン動作中の変形に関しては、斜度や雪質といった雪面の状況や筋力や技術といった人的側面の状況、そしてスキーと締具・ブーツといった用具の状況が複雑に入り混じった中で、科学的に調査することは非常に困難が伴っている。しかし、この変形が技術の上達やスピードの向上などにどのような関係があるか調査することは、スキー技術や競技力の向上にとって大切なことであると考えられる。

スキーのターン動作中の変形は、サイドカーブとねじれ変形、そしてたわみ変形によって決定される。特にたわみ変形は、雪面のグリップやターンの方向に重要な役割を果たしており、

たわみ変形を研究することは大変重要なことと思われる。従来のスキーのたわみ変形の研究は、両端単純支持のスキーのたわみ変形を測定したもの²⁾、スキーロボットに歪み計を2箇所取り付け付けたもの³⁾、ビンディングを取り付けた時と取り付け以前のスキーたわみ変形を見たもの⁴⁾などがある。また実際に雪面を人間が滑走したものを分析した研究は、ミズノ⁵⁾と長野県工業試験場⁶⁾が実施している。ミズノで開発されたものは、片側8チャンネルである。本研究では、両側8チャンネルで、両スキーのたわみ変形を概念的に表すことができる。長野工業試験場の実滑走モニタリングシステムでは、16チャンネルであるが、これはスキー開発の支援のために開発されたもので、歪み分布をたわみ変形ととらえた分析はされていなかった。本研究で開発されたものは、ターン中のスキーのたわみ変形を見るために、歪み分布の測定を実施し、そのデータをソフトウェアにより、画面上に実測値として表し、それをスプライン補正によりスムージングし、スキー全体のたわみ変形を概念図として表すことができるところである。また、そのデータをアスキー変換し、統計処理ソフトウェアにより、分析やグラフ化が簡易に可能となり、スキーの用具、斜面状況、そして運動・技術、スピードとの関連等を調査するスキーの実滑走の実験場面では利便性があるものである。

本研究では、アルペン・スキーのターン動作中の変形に関して、スキーの歪みを測定することによって、スキーのたわみ変形がスキー用具、斜面状況、そして運動・技術、スピードとの関連などによってどのように変化するか、歪み測定が科学的な指標になり得ると考え、歪みを測定記憶する装置を開発し、パイロットスタディとして、9旗門90mの平均斜度約11度の緩斜面を滑走した時のスキーの歪み測定の実験を実施した。

2. 方 法

(1) 歪み測定記憶装置

歪み測定記憶装置（共和電業社製 EDS-200A）を用い、増幅部を2台接続し、16チャンネルとした。EDS-200Aは車両搭載用に開発されたもので、振動にも強く、スキーヤーが滑走中であっても安定した歪みデータの収集を可能にする。左右のスキーのそれぞれ8チャンネルに、小型防水箔歪みゲージ（共和電業社製：KFWS-2N-120-C1-11L3M2R）を取り付け、歪みを測定した。歪みゲージの抵抗値の変化量をブリッジボックスにより、微小電圧値に変換し、それをPCカード（SRAM）に記憶し、パーソナルコンピュータ（PC9821Nr 15）で解析を行った。解析には、スキー板歪み分布モニタ・ソフトウェア（テクノサイエンス社製）を用いた。このソフトウェアは、歪みデータを画面上に実測値として表し、それをスプライン補正に

よりスムージングし，図1のようにスキー全体のたわみとして表すことができる。また，そのデータをアスキー変換し，統計処理ソフトウェアにより，分析やグラフ化が簡易に可能となるものである。今回のサンプリング周波数は，0.02 kHzとした。この歪み測定記憶装置は，デイパック（15リットル）に入る大きさで，重さは約5 kgであり，写真1のように被験者が背中に背負って測定した。

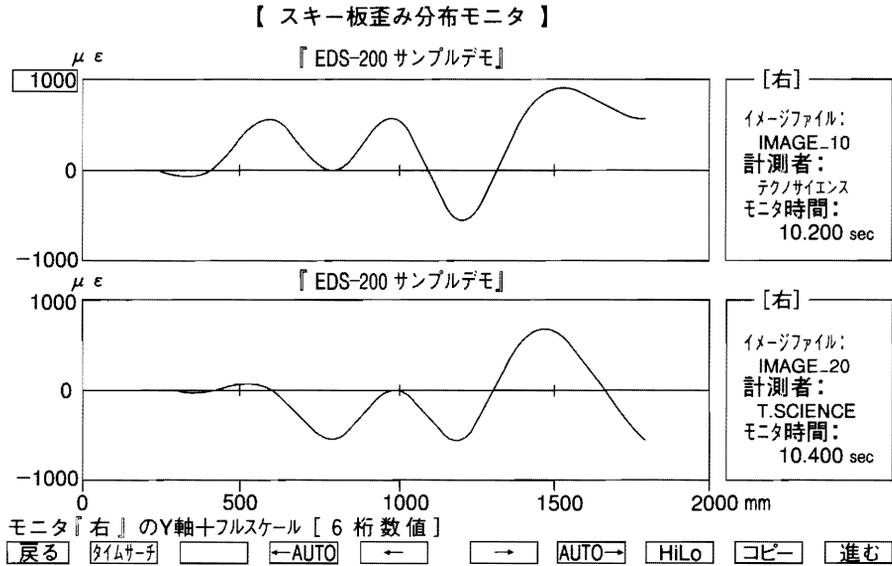


図1 スキー板歪み分布モニタ画面



写真1 歪み測定装置を背負った被験者

(2) 測定場所と時間測定

測定場所は、戸隠高原スキー場中社ゲレンデ西側コースを用いた。平均斜度11度の整地された緩斜面で、10mおきにフォールライン上にほぼ直線に可倒式ショートポール9本を用い、スタートと合せ90mで、ショートポールの斜面上部の側面に、雪面から高さ30cmに合せた光電管を設置し、合計10ポイントの時間をニシ式電子計時機（ニシ・スポーツ製 NTR-10）を用い測定した。図2に時間測定測定ポイントを示す。写真2・3にそれぞれ実験場面を示した。

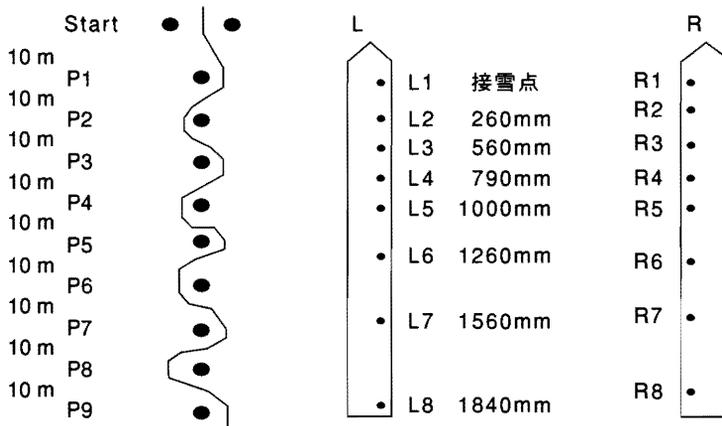


図2 時間測定ポイントとスキの測定位置の概念図

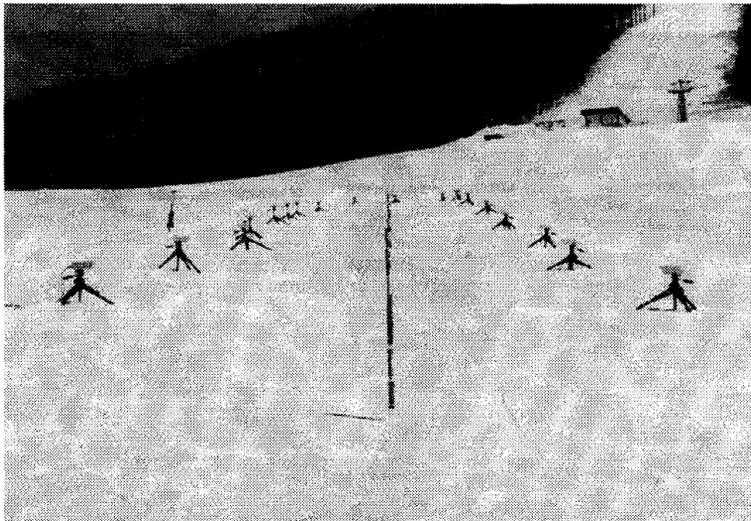


写真2 実験雪面1

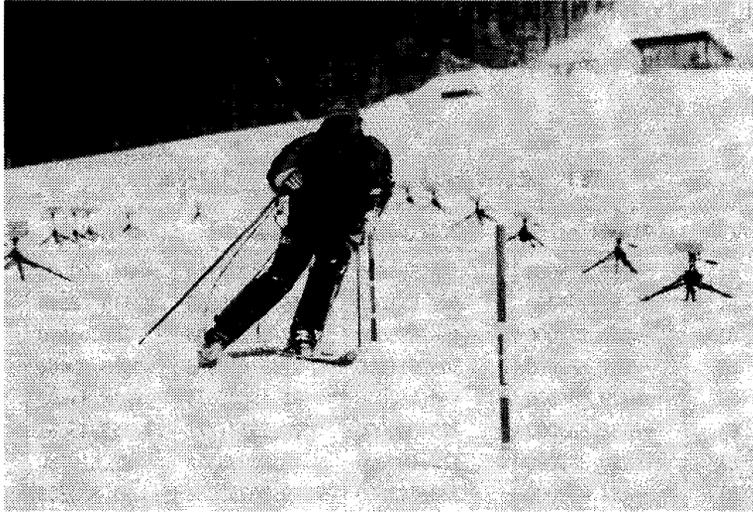


写真3 実験雪面2

(3) 測定日時と雪面状況

測定日時は2001年3月13日と14日であった。13日の雪面状況は、測定前日に約10cmの降雪があり、ゲレンデをラトラックにて圧雪して測定を実施した。13日14日ともに快晴で、14日もラトラックで圧雪して測定を実施した。雪温は、 -1 度から -2 度であった。

(4) 被験者

基礎スキー指導員A：身長172cm，体重76.0kg，57歳 Boots ロシニョール SOFT

基礎スキー指導員B：身長171cm，体重74.5kg，34歳 Boots ヘッド TR4 レーシング

(5) スキー用具

小賀坂スキー製の大回転用の競技スキー（TZ GS 203）203cm，締具 SALOMON EXP を取り付けた物を使用した。測定した左右スキーのインエッジ側のポイントは、R 1・L 1 接雪点，R 2・L 2 接雪点より260mm，R 3・L 3（560mm），R 4・L 4（790mm），R 5・L 5（1000mm Boos Center），R 6・L 6（1260mm），R 7・L 7（1560mm），R 8・L 8（1840mm）である。

3. 結 果

測定結果を歪み分布モニタより検討し、スキーのたわみ変形を見たところ明らかに被験者A

とBの間に相違が認められた。回転が安定しているP4からP8までの左右2回転に焦点を当て、検討することにした。表1と表2に被験者A・Bの統計データを示す。表3に滑走測定ポイントの時間を示す。

表1 被験者AのP4からP8の歪みの統計量

| | 度数 | 最小値($\mu\epsilon$) | 最大値($\mu\epsilon$) | 平均値($\mu\epsilon$) | 標準偏差 | 分散 |
|-----|----|----------------------|----------------------|----------------------|------------|-----------|
| R 1 | 81 | -136.778000 | 56.555600 | -30.44033123 | 31.290575 | 979.100 |
| R 2 | 81 | -53.166700 | 569.611000 | 146.40125309 | 115.78515 | 13406.200 |
| R 3 | 81 | -201.222000 | 456.556000 | 107.52262185 | 122.06990 | 14901.060 |
| R 4 | 81 | -567.889000 | 569.611000 | 21.57610988 | 315.90404 | 99795.362 |
| R 5 | 81 | -479.556000 | 430.167000 | 91.45602074 | 219.44299 | 48155.226 |
| R 6 | 81 | -332.889000 | 376.000000 | 76.73731277 | 152.45651 | 23242.987 |
| R 7 | 81 | -230.389000 | 175.167000 | 8.36285358 | 87.610780 | 7675.649 |
| R 8 | 81 | -424.833000 | -238.722000 | -369.26753086 | 39.839251 | 1587.166 |
| L 1 | 81 | -97.611100 | 109.889000 | -4.73045238 | 25.524573 | 651.504 |
| L 2 | 81 | -157.611000 | 146.278000 | 21.62758012 | 66.491962 | 4421.181 |
| L 3 | 81 | -226.500000 | 186.278000 | 33.92866000 | 89.040354 | 7928.185 |
| L 4 | 81 | -567.889000 | 227.944000 | -124.91567688 | 223.27752 | 49852.853 |
| L 5 | 81 | -567.889000 | 259.889000 | -54.24691152 | 209.24337 | 43782.786 |
| L 6 | 81 | -567.889000 | 323.222000 | 3.33536151 | 200.41163 | 40164.821 |
| L 7 | 81 | -314.556000 | 86.277800 | -57.12070519 | 86.113670 | 7415.564 |
| L 8 | 81 | -30.111100 | -9.833330 | -19.50411148 | 4.40829822 | 19.433 |

表2 被験者BのP4からP8の歪みの統計量

| | 度数 | 最小値($\mu\epsilon$) | 最大値($\mu\epsilon$) | 平均値($\mu\epsilon$) | 標準偏差 | 分散 |
|-----|----|----------------------|----------------------|----------------------|------------|------------|
| R 1 | 91 | -148.167000 | 162.667000 | -17.34859374 | 42.320073 | 1790.989 |
| R 2 | 91 | -204.278000 | 264.056000 | 96.69592014 | 105.86164 | 11206.688 |
| R 3 | 91 | -379.833000 | 314.889000 | 69.00058055 | 180.95187 | 32743.580 |
| R 4 | 91 | -567.889000 | 359.611000 | -96.61902978 | 333.17253 | 111003.932 |
| R 5 | 91 | -567.889000 | 257.389000 | -165.37360341 | 281.70697 | 79358.814 |
| R 6 | 91 | -567.889000 | 202.667000 | -186.94876571 | 247.38673 | 61200.195 |
| R 7 | 91 | -567.889000 | 68.500000 | -131.03599610 | 136.10560 | 18524.735 |
| R 8 | 91 | -25.388900 | -388889 | -13.64285713 | 3.26873933 | 10.685 |
| L 1 | 91 | -68.444400 | 58.222200 | -19.63186680 | 21.990655 | 483.589 |
| L 2 | 91 | -424.278000 | 63.500000 | -83.10865599 | 72.342568 | 5233.447 |
| L 3 | 91 | -437.611000 | 105.444000 | -71.94871463 | 101.49486 | 10301.207 |
| L 4 | 91 | -459.000000 | 427.389000 | 132.19049876 | 245.63373 | 60335.929 |
| L 5 | 91 | -430.667000 | 524.056000 | 136.76615319 | 225.51508 | 50857.053 |
| L 6 | 91 | -416.222000 | 563.778000 | 156.60133231 | 192.79305 | 37169.161 |
| L 7 | 91 | -409.556000 | 67.944400 | -97.46151220 | 91.073759 | 8294.430 |
| L 8 | 91 | -24.833300 | -7.611110 | -15.50182714 | 2.93065805 | 8.589 |

表3 滑走測定ポイントの時間（sec.）

| 被 験 者 A | | | 被 験 者 B | | |
|---------|-------|--------|---------|------|--------|
| S | 0 | | S | 0 | |
| P 1 | 2.4 | (2.4) | P 1 | 2.4 | (2.4) |
| P 2 | 3.95 | (1.55) | P 2 | 4 | (1.6) |
| P 3 | 5.3 | (1.35) | P 3 | 5.5 | (1.5) |
| P 4 | 6.5 | (1.2) | P 4 | 6.7 | (1.2) |
| P 5 | 7.6 | (1.1) | P 5 | 7.9 | (1.2) |
| P 6 | 8.6 | (1.0) | P 6 | 9.05 | (1.15) |
| P 7 | 9.55 | (0.95) | P 7 | 10.1 | (1.05) |
| P 8 | 10.50 | (0.95) | P 8 | 11.2 | (1.1) |
| P 9 | 11.4 | (0.90) | P 9 | 12.4 | (1.3) |

左右スキーの歪みをグラフ化したものを図3から図18に示す。各ポイント間の時間は、約1秒である。これらを比較すると、被験者によってそれぞれのパターンがあり、被験者Aの図3と図7の右スキーの荷重している歪みのパターンはよく似ている。（但し右スキーのR8は測定不能である。）また被験者Aの図4と図8の左スキーの荷重されていないパターンも似ている。被験者Bでも、図11と図15の右スキーの荷重パターン、図13と図17の右スキーに荷重がされていないパターン、図14と図18の左スキー荷重パターンが似ており、それぞれ被験者の滑り方の歪み分布の特徴的なものと考えられる。その歪み分布をたわみ変形と仮定し、グラフ化したものを個人の滑り方や技術との関連で分析する手段の一つとなり得るだろう。個人に対する滑り方へのフィードバックや技術の分析の手がかりとなると考えられる。

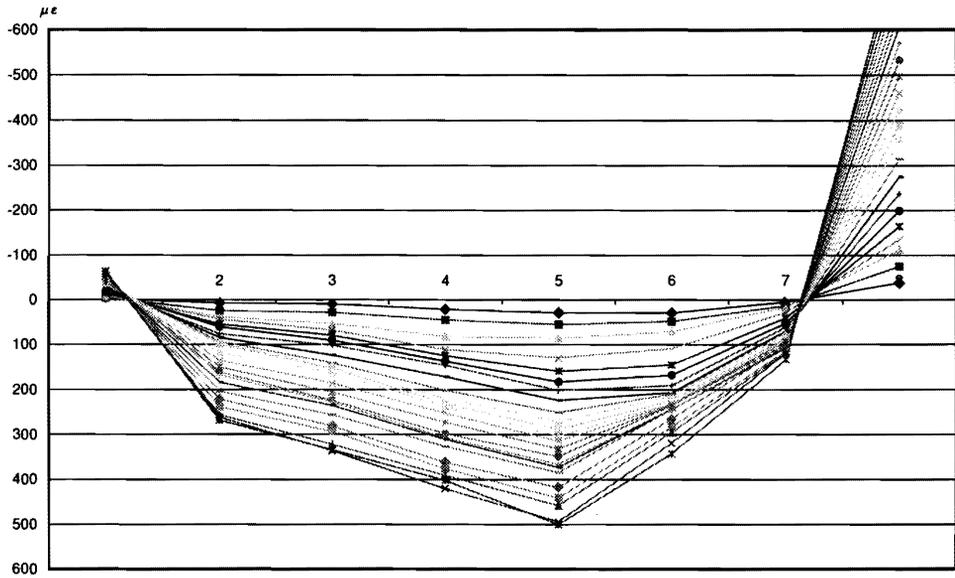


図3 被験者A右スキーP4-P5の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

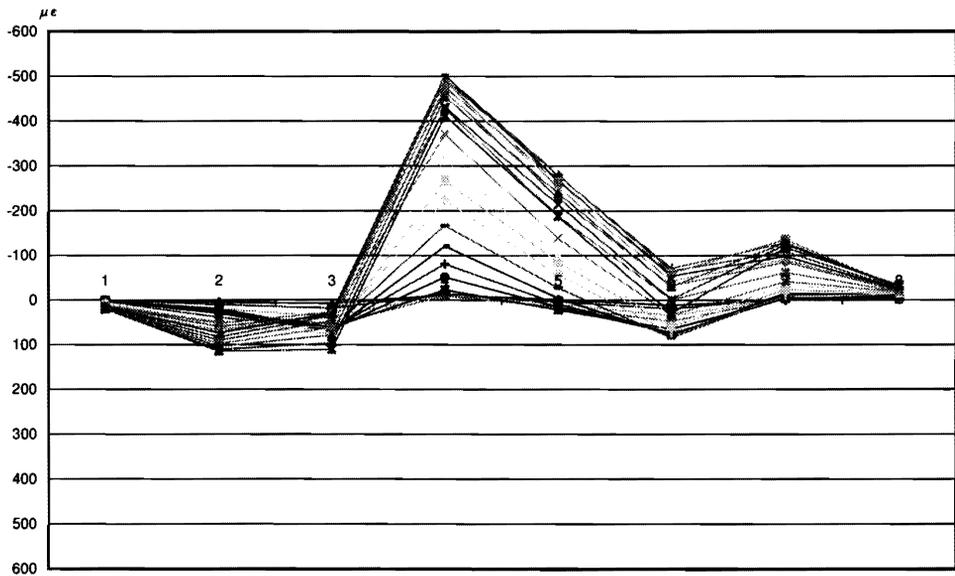


図4 被験者A左スキーP4-P5の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

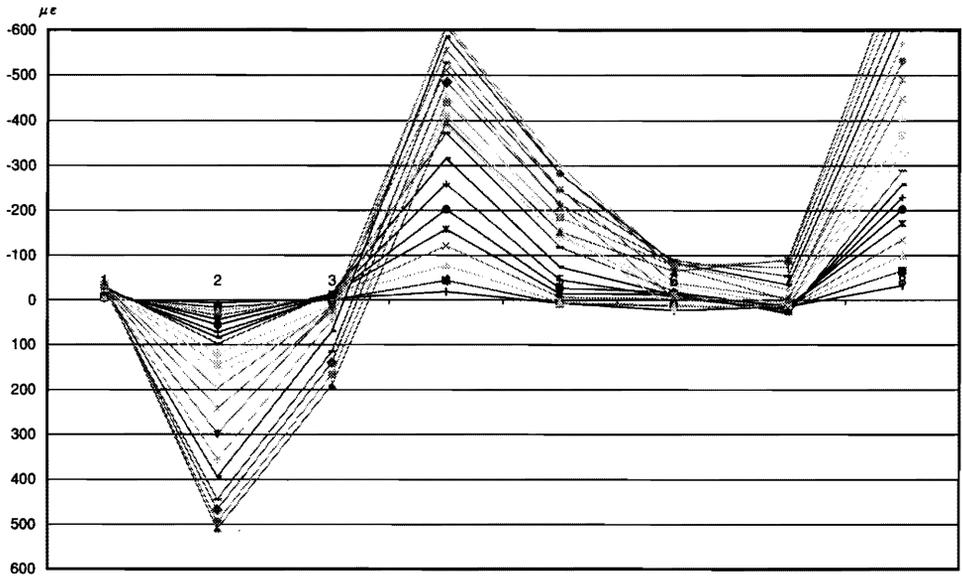


図5 被験者A右スキーP5-P6の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

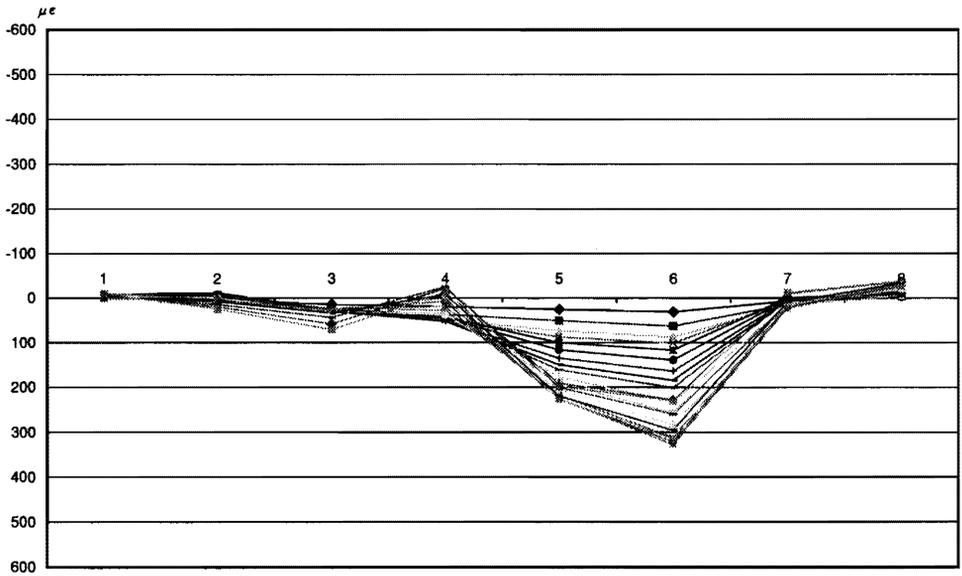


図6 被験者A左スキーP5-P6の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

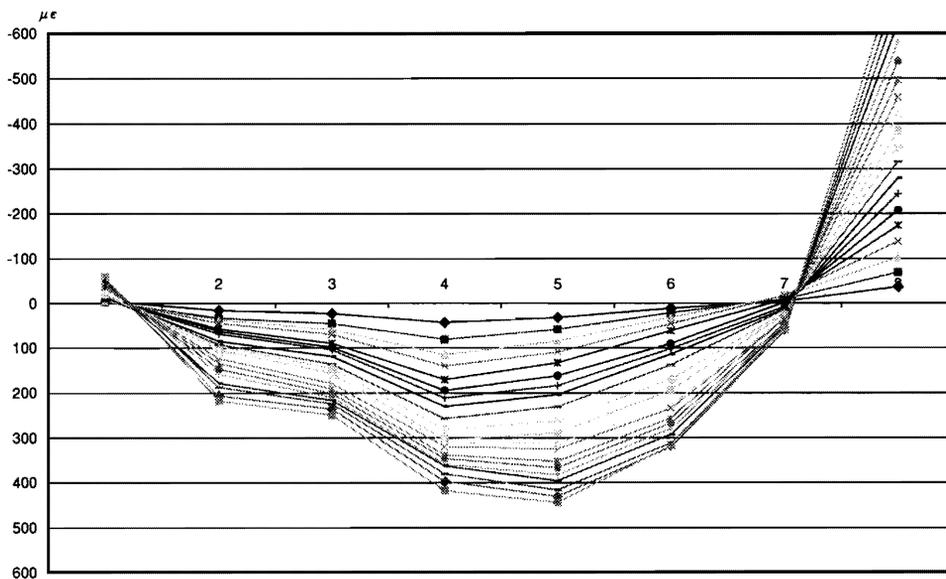


図7 被験者A右スキーP6-P7の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

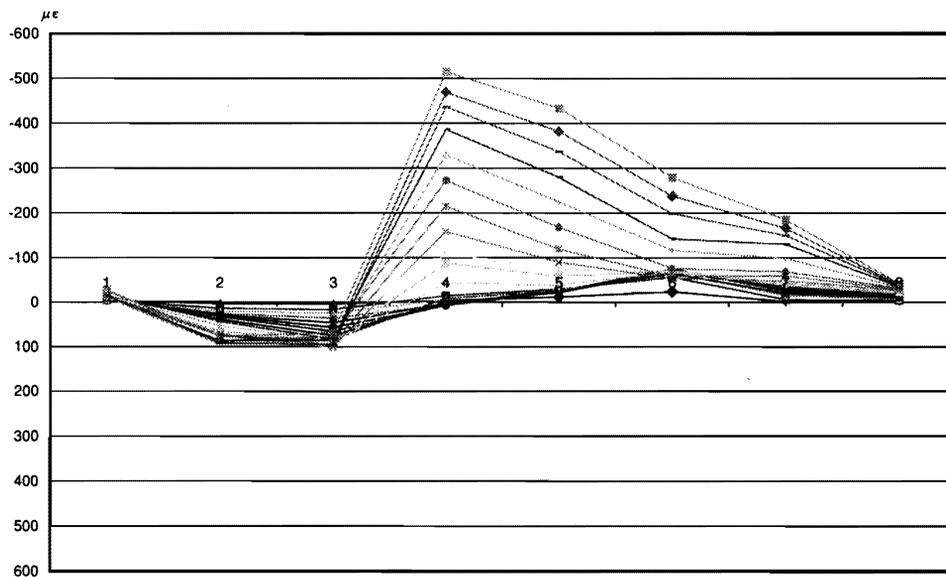


図8 被験者A左スキーP6-P7の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

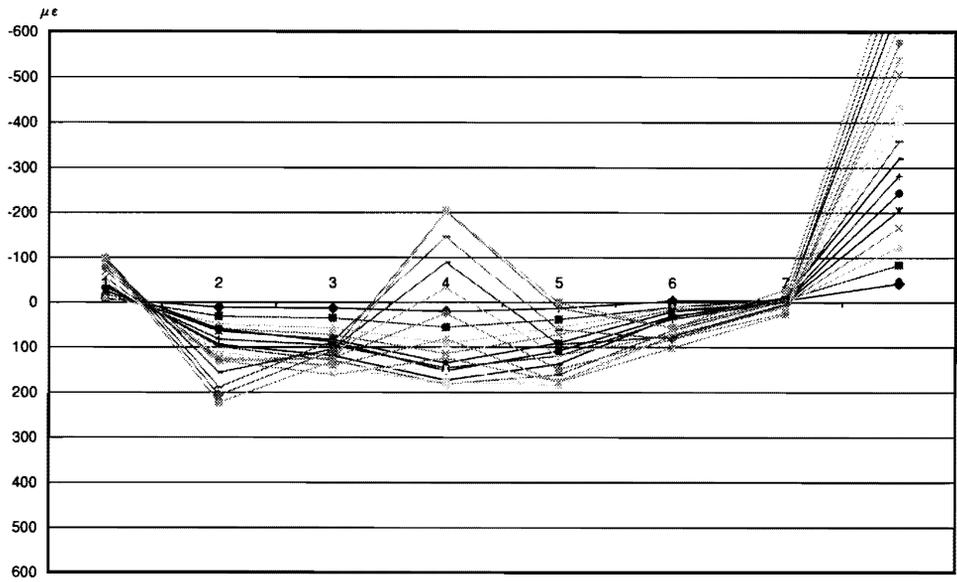


図9 被験者A右スキーP7-P8の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

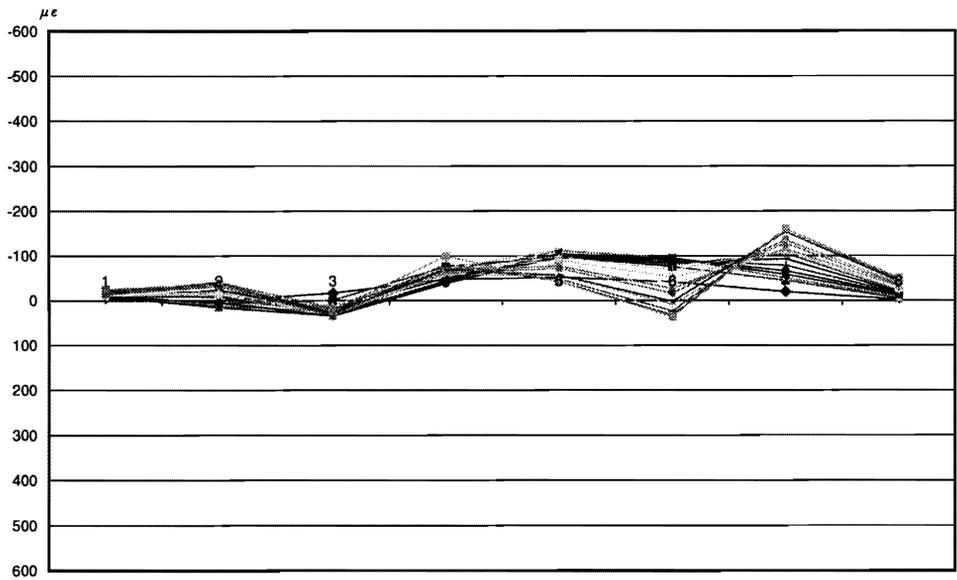


図10 被験者A左スキーP7-86の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

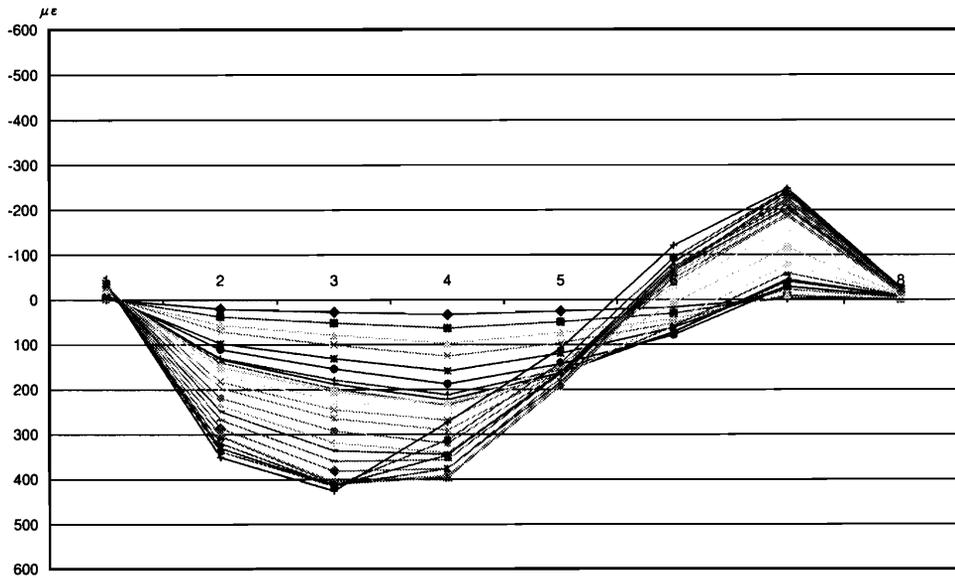


図11 被験者B右スキー-P4-P5の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

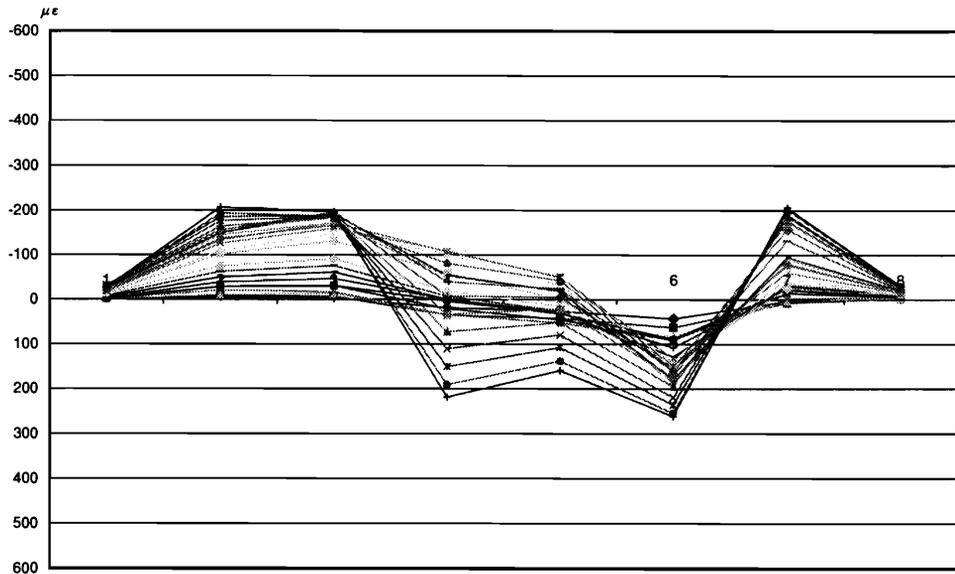


図12 被験者B左スキー-P4-P5の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

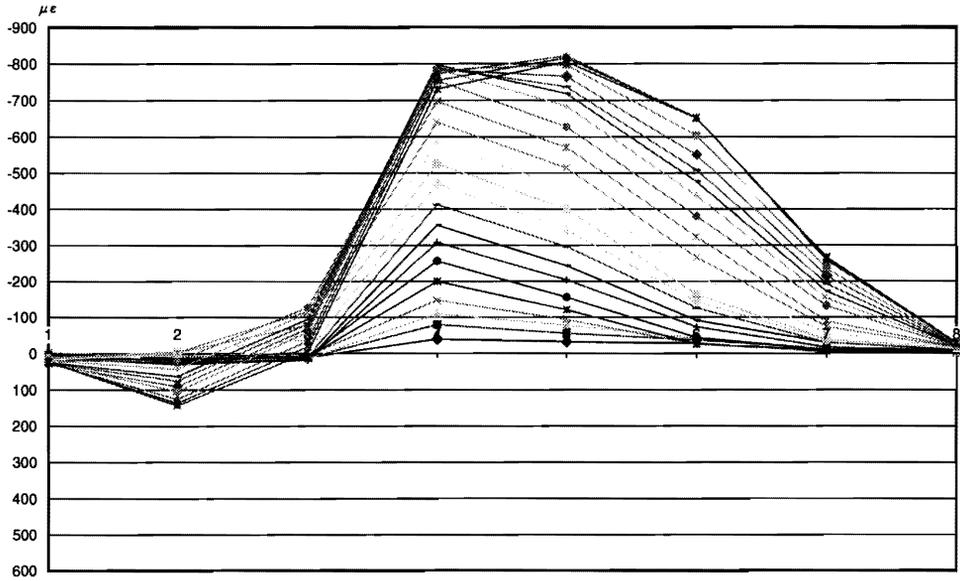


図13 被験者B右スキー-P5-P6の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

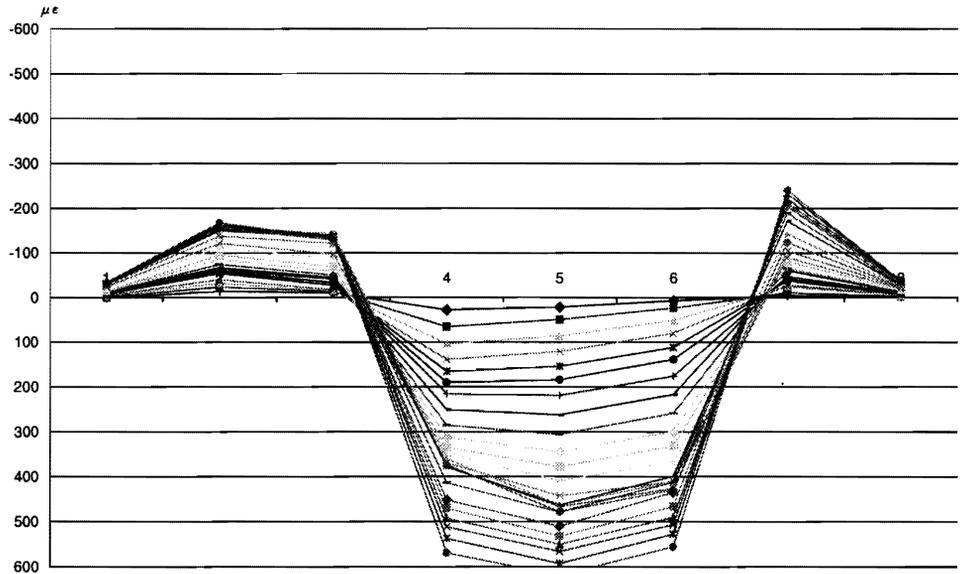


図14 被験者B左スキー-P5-P6の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

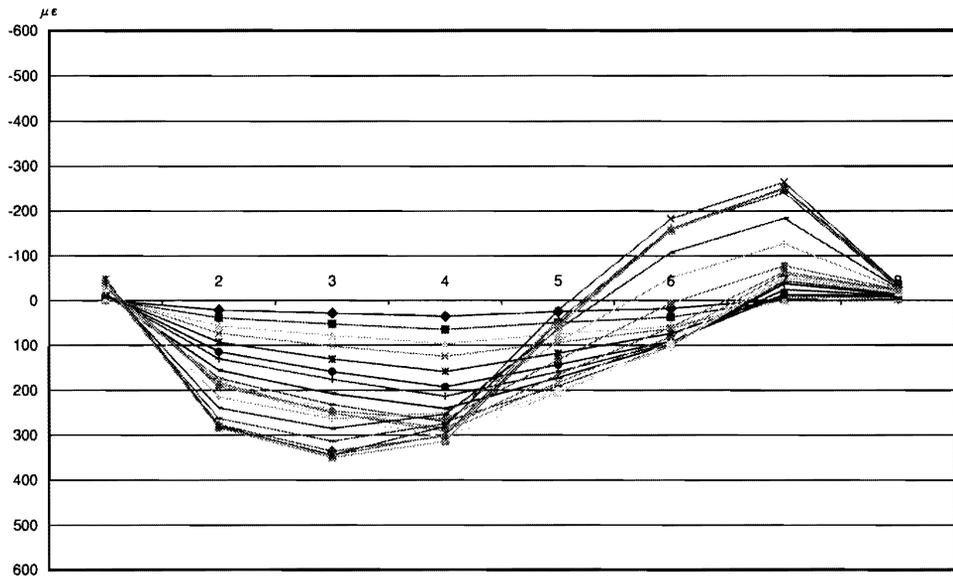


図15 被験者B右スキー-P 6-P 7の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

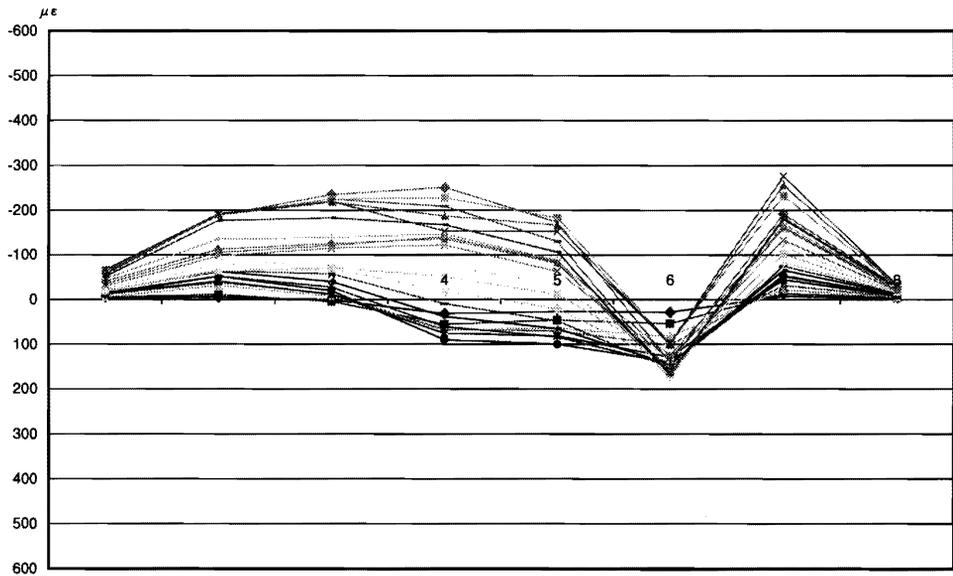


図16 被験者B左スキー-P 6-P 7の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

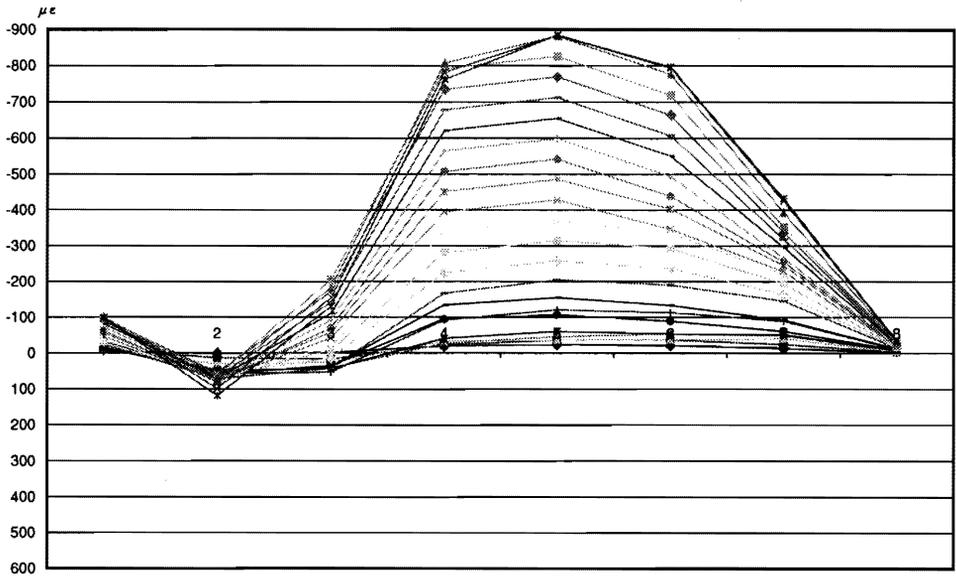


図17 被験者B右スキー-P7-P8の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

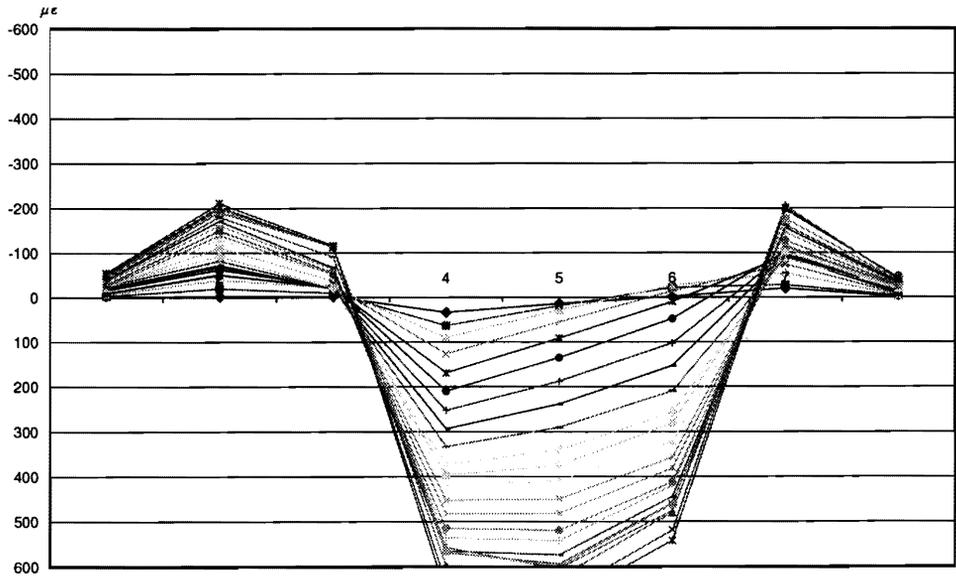


図18 被験者B左スキー-P7-P8の歪み分布 ($\mu\epsilon$)

次に、荷重の歪み方が最も多い Boots Center の歪みを検討した。図19と図20に、Boots Center の歪みの比較を被験者ごとに示した。

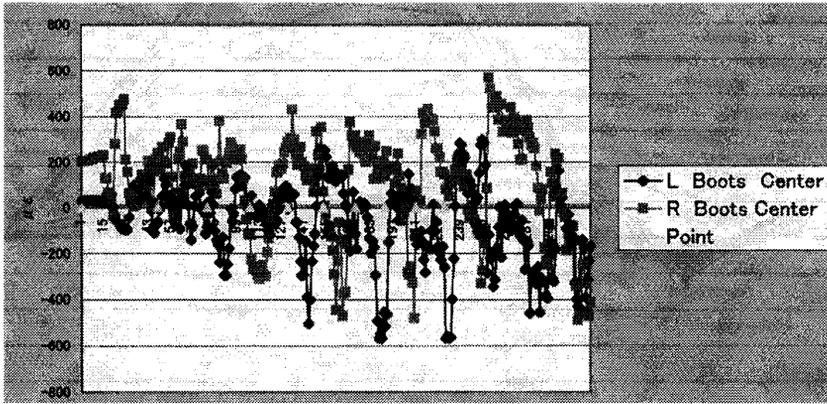


図19 被験者A

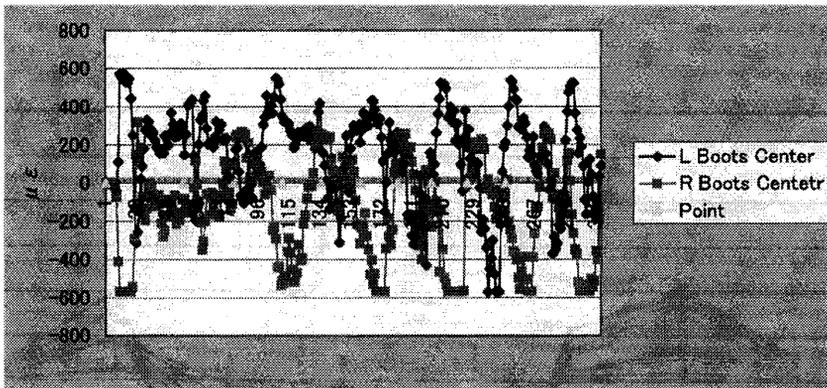


図20 被験者B

図19、図20から分かるように、Aは右スキーの歪みが多く、Bは左スキーの歪みが多い、90mのコースを滑っていた時間は、Aは11秒39、Bは12秒38であった。各ポイント通過時と歪みの時間を合せるとポイント通過前後に歪みが大きくなっているのが分かり、回転の最深部の舵取り部分で最大になっていることがわかった。ターン中の歪み ($\mu\epsilon$) は、Aが最大で右スキー $432.944\mu\epsilon$ 、Bが最大左スキーの $551.278\mu\epsilon$ であった。

先端部は、たわみの幅が少なく、また尾部の部分もたわみの幅が少なかった。靴のすぐ下の Boots Center 部位が最もたわみの幅が大きかった。そのため、今後スキーの歪みを測定する

場合，Boots Center を中心として，測定ポイントを数多くとり，異なったスキー等の比較を実施すればよいと考えられた。

このように，今後アルペン・スキーのターン動作中の変形に関して，この開発した歪み測定装置によって，スキーの歪みを測定することにより，スキー用具の違いや斜面状況，そして技術・スピードなどによってどのようにたわみ変形が変化するか，この歪み測定が科学的な指標になりえると考えられた。ただし，雪質や天候など自然条件をなるべく一定に状況設定することが重要な課題である。

4. 結 論

本研究では，アルペン・スキーの歪みを測定する装置を開発し，パイロットスタディとして，9 旗門90mの平均斜度11度の緩斜面を滑走した時のスキーの歪み測定の実験を実施した。結果は以下の通りである。

スキーのターン動作中の変形に関して，開発した歪み測定装置によって，スキーの歪みを測定することにより，スキー用具の違いや斜面状況，そして技術・スピードなどによってどのようにたわみ変形が変化するか，この歪み測定が科学的な指標になり得ると考えられた。

引用・参考文献

- 1) 長谷川健二，「スキーにおける工学的研究動向と展望」，日本スキー学会誌 Vol.9, No.2, 1999, p87-90
- 2) 坂田敏行他，「スキー板の機械特性に関する研究」，中部大学工学部紀要 Vol.27, 1991, p19-26
- 3) 坂田敏行他，「ロボットを用いたスキー滑走に関する実験的研究」，総合工学, Vol.7, 1995, p97-103
- 4) 浦井和彦他，「スキー板曲げ特性に及ぼすビンディングの影響について」，国際スキー科学技術研究会第24回大会研究発表サマリー，1992, p84-86
- 5) スキージャーナル編集部，「長野五輪を見据えたミズノの進撃」，スキージャーナル No.375, March, 1997, p63-67
- 6) 長野県工業試験場，「スキーの高性能化に関する研究」，長野県工業試験場，1996
- 7) 芳賀他，「リージュ競技におけるグリップ反力測定装置の開発」，スポーツ産業学研究, Vol.6, No.2, 1996, p9-14
- 8) Lind, D. & Sanders, S., 「The physics of Skiing at the triple point」, Springer-Verlag, 1996
- 9) 坂田敏行他，「スキー板の動的曲げ変形に関する考察」，日本機学会論文集（C編）Vol.60, No.578, 1994, p3328-3334
- 10) 坂田敏行他，「スキー板の形状および機械特性に関する考察—スキーターンに及ぼす影響—」，日本スキー学会誌, Vol.5, No.1, 1995, p187-196