

スノーボードの振動特性

梶原, 成祐 / KAJIWARA, Seisuke

(発行年 / Year)

2008-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2008-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

2007 年度 修士論文
「スノーボードの振動特性」

指導教授 長松 昭男

指導助手 岩原 光男

法政大学大学院

工学研究科機械工学専攻修士課程

06 R 1108

梶原 成祐

目 次

第 1 章 モード解析

第 1 節 モード解析の概要	5
1-1 振動の種類	5
1-1-1 自由振動	5
1-1-2 強制振動	6
1-2 モード解析	6
1-2-1 モード解析の概要	6
1-2-2 モード解析の長所	7
1-3 振動実験	8
1-3-1 振動実験の概要	8
1-3-2 対象の支持方法	9
1-4 打撃試験	12
1-4-1 打撃試験の概要	12
1-4-2 打撃試験の長所・短所	13
1-4-3 打撃ハンマ	14
1-4-4 2 度叩き	22

第 2 章 スノーボードの振動特性

第 1 節 緒論	25
1-1 緒論	25
1-2 目的	26
第 2 節 実験モード解析による加振試験	27
2-1 実験方法	27
2-1-1 ゴムに吊るした状態	28
2-1-2 人を乗せた状態	31
2-1-3 中央を固定した状態	31
2-1-4 自然加振試験	33
2-1-5 ビンディング部分を固定した状態	34
2-2 実験結果	36
2-3 考察	40

第3節 曲げ試験	41
3-1 実験方法	41
3-1-1 寸法の測定	41
3-1-2 曲げ試験	43
3-1-3 ヤング率の同定	45
3-2 実験結果	46
3-3 考察	47
第4節 滑走試験	48
4-1 実験方法	48
4-2 実験準備	48
4-3 実験結果	55
4-4 考察	65
第5節 前方部、後方部の曲げ試験	68
5-1 曲げ試験	68
5-2 ヤング率の同定	70
5-3 実験結果、考察	70
第6節 前方部の振動試験	72
6-1 実験方法	72
6-2 実験結果	73
6-3 考察	74
第3章 結論	
謝辞	78
参考文献	78

第1章 モード解析

第 1 節 モード解析の概要

1.1 振動の種類

振動は，自由振動，強制振動，及び複雑な振動に大別できる．ここでは，その中でも特に重要な自由振動，及び強制振動について述べる．

1.1.1 自由振動 (free vibration)

動的な外作用が変化すると必ず発生し，一旦生じれば，外から何もしないでも自分自身だけで自由勝手に振動し続ける．叩く，引っ張っておいて放すなどのように外作用が加わる時はもちろん，今まであった加振力が急に無くなる時や，加振力の大きさ，方向，周波数が急に変わったときにも発生する．同じ物体に同じ外作用の変化があれば同じ自由振動が発生するが，同じ物体でも外作用の変化が異なると異なる自由振動を生じる．大抵，初めは運動の形も振動数もはっきり見分けがつかないが，次第に両方共見分けがつくまで単純になり，やがて消えて行く．

自由振動は，ほとんどの場合が速やかに消えてしまい，実際の機械では強制振動ほど大きい問題を生じないが，実験モード解析から見ると極めて大切である．それは，強制振動や自励振動などのすべての振動を生じる元になる物体の動特性が，自由振動の中にすべて含まれているからである．したがって，自由振動を観察すれば，すべての動特性を知ることができる．しかも，自由振動は外作用が無い状態で続いているから，現象が外環境の影響を受けず，物体自身の動特性だけに支配されている．そこで，現象の分析により動特性を容易に正しく把握できる．自由振動は，1 自由度系では最初の振幅の大きさ，振動の速さ，

減衰の速さの 3 つの現象で表される．多自由度系では，これらがそれぞれ固有モード，固有振動数，モード減衰比の 3 つの現象に対応する．一方動特性は質量，こわさ（剛性），減衰係数の 3 種類であり，3 という数字が基本になっている．

1.1.2 強制振動（forced vibration）

外作用に対する応答であり，外作用の開始と共に直ちに発生する．しかし外作用の開始は外作用の変化の一形態なので，同時に自由振動も発生する．大抵は両者の振動数は異なるので両者が混合した複雑な波形を示す．これを過渡振動（transient vibration）という．やがて自由振動は減衰して消え，強制振動だけが残る．これを定常強制振動または定常振動という．過渡振動は外作用の開始だけでなく，大きさや振動数の急変する時にも生じる．

1.2 モード解析（modal analysis）

1.2.1 モード解析の概要

通常行われているコンピュータ援用振動解析の例として Fig.2-1 を示す．振動解析は FEM 数値解析と実験解析の 2 通りの流れに始まる．FEM 数値解析では，設計図面や CAD 情報をもとにして FEM モデルを構築すれば，コンピュータ内でエネルギー原理を用いて特性行列（characteristic matrix）（質量行列と剛性行列）が作成される．そして固有値問題を解いてモード特性（modal parameter）を導き，モード解析の理論により周波数応答関数を求める．

一方，実験解析では，振動試験で得た加振力と応答の測定結果から，信号処理によって周波数応答関数を求め，さらにモード解析の理論を用いてモード特性を同定する．

これら実験による解析，及び FEM 数値解析をそれぞれ実験モード解析，理論モード解析と呼ぶ．

1.2.2 モード解析の長所

- ・ 固有モードの直交性を利用して多自由度系の運動方程式を非連成化する．
そのために，複数の 1 自由度微分方程式を互いに独立に解いただけで，多自由度連立微分方程式を解くのと同等の解を得ることが出来る．
- ・ 運動方程式を固有モード毎に互いに独立な 1 自由度系微分方程式に分解するので，高次固有モードに相当する式を無視するだけで簡単に高次固有モードを省略できる．そして，解くべき 1 自由度系微分方程式の数を著しく少なくすることが出来る．

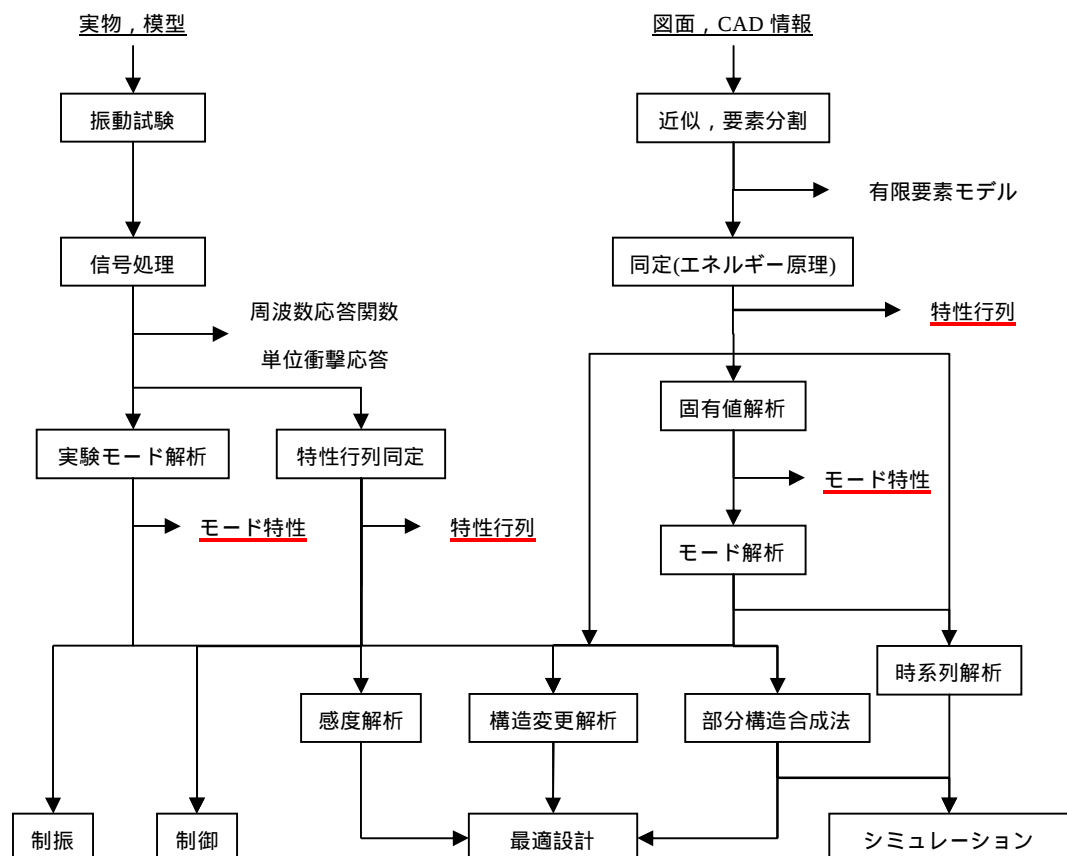


図 1 コンピュータ援用による振動解析

1.3 振動試験

1.3.1 振動試験の概要

機械や構造物に振動を発生させる目的で動的な作用を加えることを，加振または励振という．加振の対象である機械や構造物（以下対象物という）は，加振によって動的な応答を示す．加振入力と応答の間には，次の関係がある．

$$\text{応答} = \text{対象物の特性} \times \text{入力}$$

対象物を加振して，加振入力と応答の両方を測定し，それらの測定結果に適切な信号処理をほどこして，対象物の動特性を情報として含む信号を取り出す一連の操作を，振動試験という．信号は周波数応答関数として取り出すことが多い．振動試験で得られた信号は，そのままの状態で観察し，不具合対策などに役立てることもあるが，大抵は対象物の動特性を同定するための入力として用いる．モード特性を同定する目的で行う振動試験をモード試験という．またモード試験とモード特性の同定を合わせて実験モード解析という．

実験モード解析を成功させるためには，正しい周波数応答関数を測定することが第一の条件である．モード特性同定の方法にはいろいろあるが，誤差が少ない良い周波数応答関数を入力データとして与えさえすれば，どの方法を用いても大抵は良い結果を得る．反対に，入力データが大きい誤差を含み信頼性が乏しいときには，どんなに複雑で高級な同定方法を用いても，あまり良い結果は得られない．したがって，振動試験は実験モード解析の中で最も重要な部分であるといえる．

1.3.2 対象物の支持方法

振動試験を行うためには，まず対象になる機械や構造物，すなわち対象物を何らかの方法で支持しなければならない．対象物の支持は，ともすれば軽く扱われがちである．しかし，同一の対象物を同一の方法で加振しても，その支持方法によって応答は全く異なったものになるので，目的にあった方法で支持するように，細心の注意が必要である．

対象物の支持は，自由境界または自由支持，固定支持および弾性支持の 3 通りに大別できる．

【1】 自由境界または自由支持

対象物の動きを拘束したり妨げたりしない支持をいう．理想的には空間に浮かんだ状態を指すが，この理想状態は地球の重力がある限り実現できない．しかし実際には，柔らかいゴムひもで吊ったり，タイヤチューブ，スポンジ，ゴム板，空気ばねなどの上に置いたりすることで，実用上十分な自由支持が比較的簡単に実現できる．対象物を支持しているこれらの物をここでは支持物と呼ぶ．自由支持を実行する上で留意する必要がある主な事項を以下に述べる．

- (1) 支持物のばねこわさが，対象物の剛性に比べて十分小さいこと．そのために，支持物はできるだけやわらかい物にすべきである．他方，対象物の局部的な剛性ができるだけ大きい所を支持するように支持点を選ぶべきである．剛性が小さくやわらかい部分を支持すれば，支持物のばねこわさが測定に影響したり，対象物が自重によって変形し，その動特性が変わってしまう恐れがある．
- (2) 剛体モードの振動数が十分小さいこと．
- (3) 支持物の質量が十分小さいこと．

- (4) 支持物による見かけの減衰の増加が十分小さいこと。
- (5) 測定にできるだけ影響を与えないような支持場所を選ぶこと。
- (6) ゴム板やスポンジは、全体にわたってべったり敷くよりは、部分的に、数箇所に、できるだけ剛性の高い所にできるだけ小さい面積で敷く方がよい。

以上の事項を十分満足しているか否かを支持条件（吊りひもやゴム板などの種類，場所，位置，対象物の姿勢など）をいろいろ変えた予備試験によって検討し，不十分な点があれば対策や，最適の支持条件を選んだりしておく必要がある。

【2】 固定支持

実用時に一部が固定された状態にある構造物や機械の動特性を本来あるがままの状態を知りたいときなどに採用される支持条件であり，自由支持ほど一般的な支持条件ではない。理論的解析では，該当する自由度の変位を零と置くだけで固定支持を極めて簡単に作ることができる。一方，振動試験で理想的な固定支持を実現するためには，質量と剛性が共に無限大である物体に，溶接などで完全に一体化するように対象物を取付ける必要がある。しかしこれは無理なので，実際には質量と剛性の両方が対象物よりもはるかに大きいと考えられる基礎や定盤のような物体に，ボルト締めなどでしっかり取付けた状態を固定支持とみなす。

このような方法で作った固定支持では，様々な問題が生じることも多く，振動試験では，固定支持はなるべく避け，できるだけ自由支持で行う方がよい。これは，第 1 に固定支持は自由支持よりも実現が困難だからである。たとえば，やわらかいゴムひもで吊るしたり，やわらかいゴム版の上においた状態を自由支持と近似するのは妥当であるが，大きい基礎に取付けたからといって，必ず

しも固定支持にはならない．そして第 2 に，自由支持の結果から固定支持の結果を導くことは可能であるが，逆は不可能だからである．これは，自由支持の方が固定支持よりも固定すべき点の応答を測定している分だけ自由度が多く，振動試験の結果から自由度を減らすことはできても増やすことはできないからである．

【3】 弾性支持

大型構造物や重量機械は，自由支持も固定支持も実現しにくい．また，機械の部品の振動試験を行うときに，構造上取り外すことが出来なかったり，組み込んだままの動特性がほしい場合もある．このようなときには，自由と固定の中間の支持で実験を行うことになる．このような支持方法を弾性支持と呼ぶ．弾性支持の場合には，あらかじめ支持物単体の固有振動数，固有モードおよび支持点における周波数応答関数を，計算や実験で明らかにしておく必要がある．そして，振動試験の後に，部分構造合成法を利用して，全体の動特性を表している振動試験結果から支持物単体の動特性を差し引くことによって，対象物単体の動特性を得ることが望ましい．これを完全に行うことが無理な場合には，支持物単体を対象物に取付け点における等価 1 自由度系に置き換えておき，それを差し引く．

1.4 打撃試験

1.4.1 打撃試験の概要

打撃試験は、FFT の開発と共に現場に急速に普及し、いまや振動試験の中で主役の座を占めている。機械の動的な性質を調べたり、不具合対策をしようとする人は、ほとんどまず IMP による打撃試験を行う。これは、打撃試験が手軽に短時間でできるので、一見簡単そうに見えるからである。しかし、実際には多くの落とし穴があって良い結果を得るのが意外に難しい。むしろ、打撃試験はすべての振動試験の中で最も困難な方法であると言っても過言ではない。これは、方法の簡単さが、人間の技能および計測とデータ処理に負荷をかけることによって実現されているからである。

打撃試験では、力と応答が特別な性質を持っており、それが原因で、外乱と漏れ誤差という 2 つの問題を生じる。これらに対処するために、打撃試験特有の信号処理方法を必要とする。またこれらの問題による精度低下の程度は、対象物の性質と実施者の技能に大きく依存する。

打撃試験は、大別して 3 つの目的で行われる。第 1 に固有振動数と固有モードの有無とおよその値と形を知るため、第 2 に他の高精度な方法で本試験を行う前の予備試験として、第 3 に他の方法と同様に正確な周波数応答関数を得るため、である。第 1 や第 2 の場合には適当に行ってもよいが、第 3 の場合には、経験と知識と注意なしでは良い試験を行うことができない。しかし逆にいえば、これらがあれば必ず良い結果を得ることができるのである。

1.4.2 打撃試験の長所・短所

【1】 打撃試験の長所

- (1) 準備と実施の両方の時間が、全加振方法の中で最も短い。
- (2) 基本的には、打撃ハンマと加速度計と 2 チャンネル FFT さえあれば良く、加振器を使う他の加振方法に比べて装置が簡単で金がかからない。また、機動性に富むから、現場で容易に実現できる。
- (3) だれでもすぐ行うことができる。他の振動試験では加振点を固定させて応答点を移動させるが、打撃試験では加振点の移動が極めて簡単であり、次々と場所を変えて叩いていくだけで全体の振動試験ができる。
- (4) 加振系は、エネルギーを注入する瞬間だけ対象物に接触する。そのために、加振系が対象物に影響を与えその動特性を変えることがない。また、対象物に加振系取付けのための加工を加える必要がない。
- (5) 打撃力は広範囲の連続周波数スペクトルを有するため、広周波数帯域の加振が瞬時にできる。
- (6) 加振力に漏れ誤差が全く生じない。
- (7) 叩ける物であれば何でも加振でき、広いはん用性を有する。

【2】 打撃試験の短所

- (1) 波高率が極端に大きい。
- (2) SN 比が極端に小さい。
- (3) 非線形特性を有する対象物には不適である。
- (4) 対象物の減衰の大きさにより制限を受ける。
- (5) 精度が実施者の技能や熟練度に大きく依存する。

- (6) 加振力の大きさ，周波数範囲，周波数成分の割合を調整しにくい．
- (7) 低周波域の加振が困難である．
- (8) 叩くことにより対象物に損傷を与える可能性がある．

1.4.3 打撃ハンマ

a. 構造

普通の打撃ハンマ (impact hammer) の構造は、釘を打つ金槌のように、柄を持って対象物を叩くことにより加振する道具である。本体質量の前端に力変換機 (force transducer) が付き、さらにその前端に可変チップ (interchangeable tip) が付いている。本体の後端には、可変質量 (interchangeable mass) が付いている。可変チップと可変質量は、通常本体 1 個につき数個ずつ用意されており、対象物に適したものを選んで取り付ける。

打撃ハンマは、普通片手で軽く打撃できる大きさであるが、対象物によって様々なものがある。小型構造物に対しては、位置と方向を正しく決められるように案内が付いたものを用いる。一方人力で打撃できない大型構造物に対しては、大きい質量をクレーンなどで吊るし、落下や揺動によって打撃する。チップ先端の面積は、最大荷重時に対象物表面に永久変形を生じない程度の大きさを有する必要があるが、加振点の特定を可能にするためにあまり大きくてもいけない。

b. 加振波形と周波数スペクトル

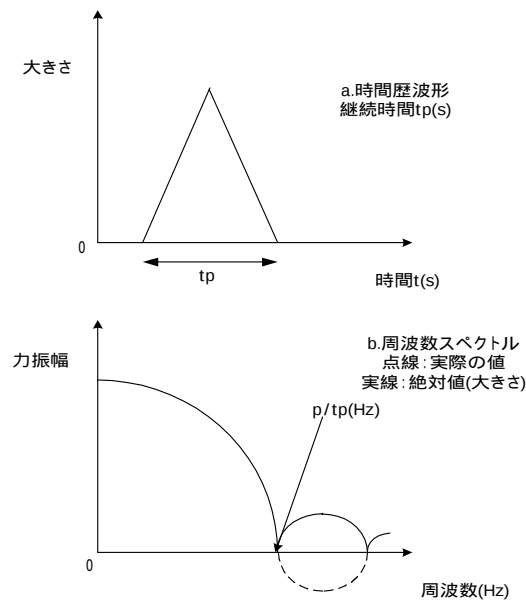


図2 通常の時間歴波形と周波数スペクトル図

上図は単一の衝撃波であり、時間軸上で t_p 秒継続するときは周波数軸上で小さいほうから最初に p/t_p Hz で 0 になる。この点を零交点という。 p は衝撃波形で決まる定数。

方形波 : 1

半正弦波 : $3/2$

通常の打撃加振力は半正弦波に近い。零交点の周波数は波の継続時間に逆比例し、波形が鋭く t_p が小さいほど零交点は高周波になる。

$t_p \rightarrow 0$ のデルタ関数のとき零交点 $\rightarrow \infty$

周波数スペクトルは平坦になる $\rightarrow$ 加振エネルギーの周波数成分は一定

しかし、実際の加振では零交点はノイズで 0 にならず、スペクトルの溝として見分けることができる。

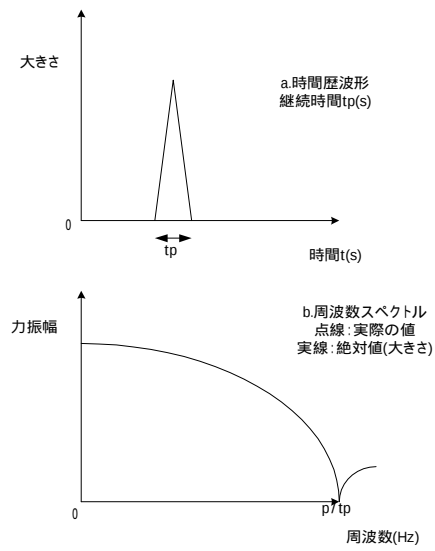


図 3 時間を狭めた時の時間歴波形と周波数スペクトル図

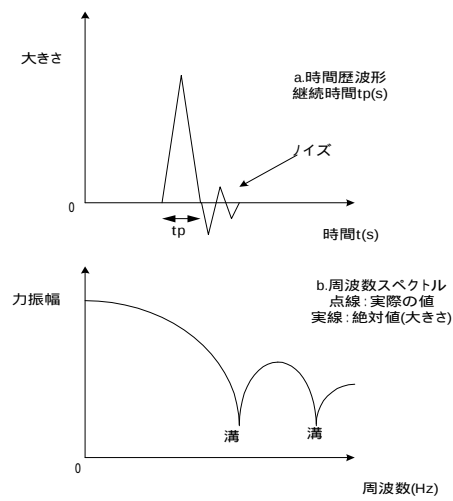


図 4 ノイズが入った時の時間歴波形と周波数スペクトル図

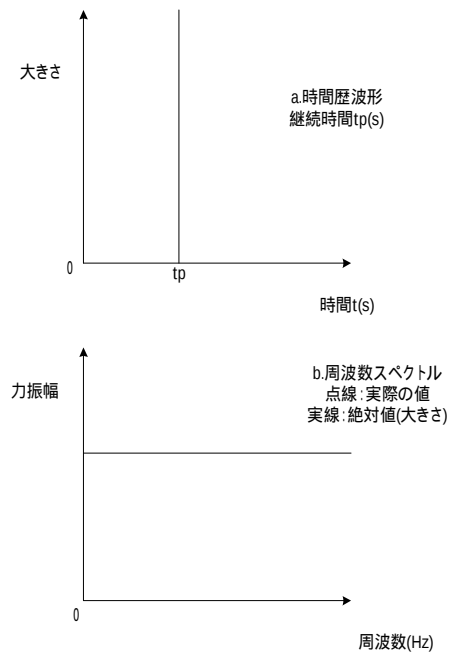


図5 理想的な周波数スペクトル波形

もし対象物の固有振動数が加振力の零交点近傍にあれば、その固有モードはほとんど励起されず検出できない。そこで、打撃試験における対象周波数の上限 $F_{\max}$ は、少なくとも零交点より小さくしてはいけない。加振力を半正弦波とすれば、零交点は $3/(2t_p)$ Hz であるから、 $F_{\max} < 3/(2t_p)$ 、すなわち $t_p < 3/(2F_{\max})$ でなければならない。一方、4章で述べた標本化定理により、周波数 $F_{\max}$ の波を正しく表現するためには、ナイキスト周波数 $2F_{\max}$ の標本化間隔 $\tau = 1/(2F_{\max})$ 秒で標本化しなければならない。したがって、 $t_p < 3\tau$ でなければならない。このことは、打撃試験の対象周波数が打撃加振力の零交点より小さくなるためには、加振力の継続時間 t_p が標本化間隔 τ の三倍より小さくしなければならないことを意味している。加振力の持続時間内には、標本化点が1個か2個しか存在してはならないのである。これは、正しい加振が行われているか否かを判断する一つの目安になる。

零交点近傍の周波数では加振エネルギーがほとんどないので、SN比が極端に

低下し、測定の信頼性が失われる。そこで、実際の対象周波数上限 $F_{\max}$ は図 4 のように、零交点よりかなり小さくし、できるだけ平坦な周波数スペクトルで加振する。しかしこれにより、加振力の持続時間内に許される標本化点の数はますます少なくなり、事実上 1 個になってしまう。その 1 個が加振力が最大になる時刻に一致することはまずない。したがって打撃試験では、加振力時刻だけは測定できるがその大きさや波形は測定できないと考えてよい。このように打撃試験では、加振力の測定精度は、時間軸上と周波数軸上が相反関係にある。そして、時間軸上の精度を犠牲にする形で周波数性能を向上させているのである。

零交点を対象周波数上限よりできるだけ高くしたほうが平坦な周波数スペクトルが得られるが、そうすると次の三つの問題が生じる。第一に、一回の打撃で入力できる加振エネルギーの総量は同じハンマを使う限りほぼ一定値に決まっているので、高周波数まで平坦な部分が伸びると周波数当たりのエネルギー密度すなわちパワースペクトル密度が減少し、SN 比が全体として低下し、加振信号が全周波領域でノイズに埋もれてしまう。第二に、 t_p が減少し、加振波形が鋭く最大値が大きくなって、過負荷が発生し、加振波形が飽和のために頭切れになり正しく検知されない。第三に、対象物を不必要に高周波成分まで励振すれば、高次の局部振動の発生などにより測定精度が低下する恐れがある。

これらの理由で、零交点をあまり高くすることは好ましくない。したがって、加振スペクトルを平坦にする、元来少ない加振エネルギーを対象周波数範囲に集中させ効率よく利用する、不要な高次モードを励振しない反面必要な固有モードはすべて励振する、加振力の過負荷を避けることを念頭におき、対象周波数範囲と零交点の関係を適切に選ばなければならない。

c. 力の調節

打撃試験では加振力を前もって調節しておくことが不可欠である。加振力の調節は、エネルギーと周波数成分の両方について行う。加振エネルギーは、SN比を大きくし外乱を強くするためには大きいほうがよいが、過負荷を防ぐためにはあまり大きくできない。一方、周波数成分は、高周波域まで存在するほうが動特性が未知の対象物を調べる上で安全であるが、前述の3つの理由であまり高周波成分まで無い方がよい。

加振エネルギーの調節は、加振の強さ(衝突速度)を人間が変える、ハンマの大きさ(本体質量)を変える、可変質量を変える、の3通りの方法で行う。ハンマ本体と可変質量は数種類しかないので、加振エネルギーを段階的にしか変えることができない。これらの質量が大きくなると、加振エネルギーは増大するが、同時に同じチップでも接触時間が長くなるために、周波数成分が若干低い方に移動するとともに、2度叩きを発生しやすくなる。チップの硬さを変えたら、加振力の最大値は大きく変わるが、エネルギーの総量はほとんど変わらない。ただ、硬いチップは対象物を傷つけやすいので柔らかいチップほどには強く叩けず、軽く叩いてエネルギーを小さめにする必要がある。人間の操作より加振速度をある程度定量的に調節し、しかもそれを再現性良く行うには高度の熟練が必要なので加振エネルギーの大きさはできるだけハンマや可変質量の取替えによって調節したほうがよい。

一方、入力エネルギーの周波数成分は、上記のように衝撃力の形で決まり、その形は可変チップと対象物の両方の剛性に支配される。両者が硬くなるほど接触時間が短くなり、高周波成分が増加する。両者のうちで変えることができるのはチップのみであるから、周波数成分は可変チップの選択によって調節する。しかし、同じチップでも対象物によって周波数成分が変化するので、周波

数成分は相手次第ということになり、ハンマの質量だけによって決まる加振エネルギーの大きさほどにはきちんと調節するのは困難である。対象物の剛性は、チップとの接触点の極部的な硬さよりも全体のたわみやすさに大きく支配され、これは打撃点の等価剛性として評価される。等価剛性が小さい場合には、チップの硬さを増加させるよりもハンマの質量を小さくする方が、高周波成分の励起には有効である。ただし、そうすると全加振エネルギーが小さくなるので、これに対する対策が必要になる。

チップの材質としては、高分子材料の他に鋼、アルミニウム、ゴムなどが用意されており、この順序で高周波域まで伸びている。鋼とアルミニウムでは零交点が高く、ゴムでは低い。チップの材質を変えて予備試験を行い、スペクトルの大きさが対象周波数上限で最大値より 10-20dB 落ちるようなチップを選べばよい。

d. 使い方

打撃試験は、実施者が叩くので、人間を加振系の一部にしている。そのため、加振の良否が実施者の技能やノウハウに依存する度合いが、他の方法よりもはるかに大きい。初心者は、細心の注意を払ってもなかなかうまくいかない。経験と熟練がものをいう世界である。ただ、いくつかの指針や留意点を知っておく必要がある。

まず、ハンマ本体、可変質量、チップの種類、打撃店の位置と方向、を目的に合うように選ぶ。打撃時に最も大切なのは、人間の力で叩くのではなく、ハンマの質量による慣性力だけを加振力とすることである。打撃の瞬間のハンマは宙に浮いた自由状態でなければならず、手で拘束を与えないようにする。手はハンマに初速度を与えるだけであり、ハンマをやわらかく軽く支え、力を与

えるために使ってはならない。力を使えば必ず加振が乱れる。そして衝突と同時にすばやく引く。そのために、当てるよりも引く方に意識を集中して打撃する。打撃エネルギーの大きさを人間の手で変える場合には、単に衝突速度を変えるだけでそれを行い、叩く手の力を変えようとしてはならない。人間が力の大きさを変えると、熟練していても再現性を損なう原因となるので、なるべく行わない。叩き方はできるだけ一通りで一定にし、力の調節は前述のようにハンマの仕様を変えることにより行う。

チップの先端は小さいながら面積を有しているので、その中心を目的の打撃点に正しく一致させる。打撃の瞬間には、加振点はチップに遮られて見えないから、あらかじめ位置決めをきちんとしておく。対象物が小型の場合には、特に加振位置に注意する。

加振方向は、ハンマについている力検出器の受感軸方向と一致させる。また、対象物表面の法線方向から 10 度以上傾かないようにする。ハンマが、軸方向に細長く可変質量を付けるのは、その方が加振方向を定めやすいためである。このように打撃方向が限定されるので、叩くことができない方向の周波数応答関数を求めたいときには、応答検出器を移動させながら振動試験を行う。打撃に関しては、手はハンマに軸方向の並進速度を与えるだけであり、回転速度は生じないようにする。特に、大きい可変質量を付ける場合には、ハンマの重心が手前より後方に移り、そこを中心とした回転運動を生じやすいので気をつける。

1-4-4 2 度叩き(double hammering)

2 度叩きとは、1 度目の打撃で振動を始めた供試体が、最初の反動で戻ってきたときに、ハンマに再度衝突する現象である。両者の周波数スペクトルの大きさは同じ形をしているが、一回目より二回目のほうが周波数による位相の変化

の割合が大きい。2 度叩きの特徴としては、周波数スペクトルに大きさが極小になる溝が一定の周波数周期で続いている波形が現れる。これによって 2 度叩きを見分けることができる。2 度叩きを時間軸上で見る場合は、ローパスフィルタ以前の波形を観察した方が良い。ローパスフィルタ後の時刻歴では、1 度目の波の終わりと 2 度目の波の始まりが重なり区別できないことがある。

もし、加振力と応答が両方共誤差なく測定できていれば、2 度叩きが発生しても、そのような加振をしたというだけで、問題はない。しかし、実際には誤差の混入が避けられないので、カスペクトルの溝の部分で次の 2 通りの問題を生じる。第 1 に、溝の近傍に固有振動数を有する固有モードは、ほとんど励起されず、誤差に埋もれて見逃してしまう。第 2 に、逆に溝の部分では加振力が急減するから、応答はほとんどノイズだけになる。このノイズを、この急減した力で割った計算上の偽のピークが現れ、共振峰と誤認する。

2 度叩きが生じているときに、2 度目の打撃は余分だと考え、窓関数によって消してはならない。応答中には 2 度目の加振による成分が存在しているので、加振力だけ消してしまうと、周波数応答関数中に大きい誤差が発生する。

2 度目以降の打撃は、1 度目とは逆に対象物がハンマに返すからである。2 度叩きでは、加振スペクトルに同一間隔で多くの溝があり、それに応じて周波数応答関数に多くの偽りのピークが出現して、真の共振峰と区別できなくなっている。また、位相もでたらめに変化している。このように、2 度叩きが発生すると周波数応答関数の精度が著しく低下し、信頼性が失われる。

さて、2 個の鋼球を左右に隣接して吊下げておき、右方を静止させ左方に初期揺動振幅を与えて離すことを考える。もし両者の質量が等しいと、衝突により全運動エネルギーが右方に移って、左方が静止する。右方が揺動して戻ってきて左方と衝突した後は、右方が再び静止する。

理想的な打撃は、このように空中に吊下げた 2 個の質量同士の衝突とみなせる。2 度叩きが発生しないためには、対象物が最初に戻ってくるまでに、それが届かない位置までハンマが後退していればよい。もしハンマの質量が対象物の等価質量より大きければ、ハンマは衝突後も前進し、2 度叩きが避けられない。衝突によって 2 個の質量の速度が変わる割合は、運動量保存の法則によって質量に逆比例する。ハンマが衝突後速く後退するためには、ハンマの質量を対象物の等価質量よりずっと小さくする必要がある。

対象物の等価質量は固有モードによって異なり、打撃点の振幅を 1 としたときのモード質量に等しい。打撃点の振幅が大きいほど、それを 1 としたときの固有モードは全体的に小さいので、等価質量は小さくなる。そのために軽量構造物の固有モードの腹では、特に 2 度叩きが生じやすいのである。対象物の等価質量を打撃試験中に知ることは困難なので、ハンマの質量はできるだけ小さい方が 2 度叩きについては安全である。それに伴い、チップの材質を少し柔らかめにして、ハンマの軽量化による加振力スペクトルの高周波域への移動を補正することが望ましい。しかしながら適当な質量のハンマを選んでも、初心者は 2 度叩きを生じやすい。これは、手がハンマの後退を拘束してしまうからである。2 度叩きを生じない技術を身につけるべきである。

第2章 スノーボードの振動解析

第 1 節 緒論

1.1 緒論

近年、様々な工業製品において低振動、低騒音化は設計を行う上で重要な項目となっている。現在、最も人気のあるウィンタースポーツのひとつである「スノーボード」において、滑走時に発生する板のブレ振動はライダーのエッジコントロールを失わせ、雪面との接触を難しいものとし、プロボーダーをはじめ一般的にも深刻な問題となっている。その問題を解消するため、世界中であらゆる視点から研究が行われている。しかしながらスノーボードは、雪面・ビンディング・ブーツ・ライダーなどの非線形の動的なシステムで成り立っているため、解析は非常に困難なものとなっている。

近年、振動現象の予想と現象解明にモード解析が使用され始め、専用の解析機器も市販されている。モード解析は実験モード解析と計算モード解析に分けられる。今回の研究では前者の実験モード解析を主に用いた。実験モード解析とは振動試験によって周波数応答関数を実験的に求め、その中に含まれる系の動的な性質をモード特性の形で抽出する一連の方法である。実験モード解析手法として非線形最適化法が提案されており、これは周波数領域法である偏分反復法を正確に多点応答に拡張したものである。この手法により実験対象のモード特性を求める。また、非線形最適化法を使いやすくするために、MATLAB 言語を使用して構築した本研究室の実験モード解析システムを使用する。

1.2 目的

今回の研究では、性能良く、ブレや振動が少ないとされるオーストリア製の板(A-1)と日本で市販されている板(O-2,3,5,6)との比較実験を行い、その性能の違いを見極める。また、振動実験から A-1 の設計指針を考察し、役立てる。

第 2 節 実験モード解析による加振試験

2-1 実験方法

使用する実験モード解析の流れを図 1 に示す。対象は比較的ブレの少ないオーストリア製の板 1 枚と一般的に市販されている日本製の板 4 枚を用いる。インパルスハンマを用いた打撃加振で、加速度ピックアップを固定、ハンマを移動し、FFT 装置を用いて応答を得る加振点移動で行う。打撃試験は 5 回平均で行い、1 軸加速度ピックアップによって Z 方向の応答を測定する。板の支持方法は、板をゴムで吊るした自由支持と実際に人が板をはいた状態での方法で行う。また、板をはいた状態で飛び跳ねて加振を加える自然加振試験を行う。

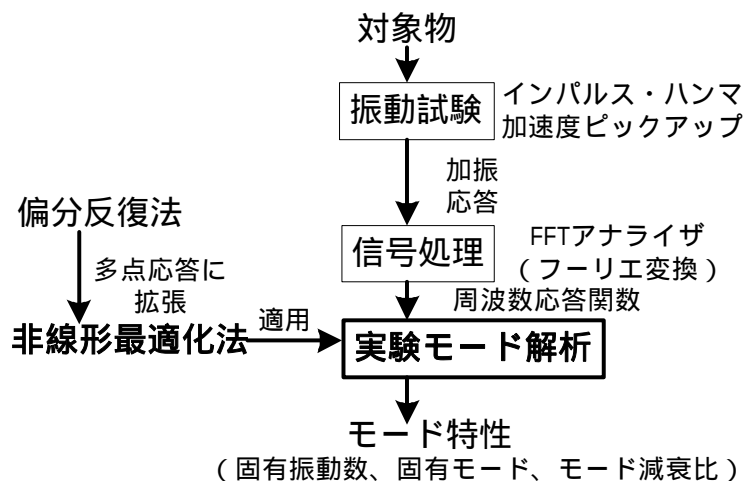


図 1 実験モード解析の流れ

2-1-1 ゴムで吊るした状態

図 2 にスノーボードの加振点と計測点を示す。ハンマにより Z 方向に計 16 点を垂直に加振した。1～16 を加振点、17 を計測点とする。実験モード解析システムによりモードアニメーションを見ることができる。図 3 に同定により得られたオーストリア製板の第 1 次の固有モード形状を示す。これは単純な梁の曲げ 1 次モードに近い形状である。

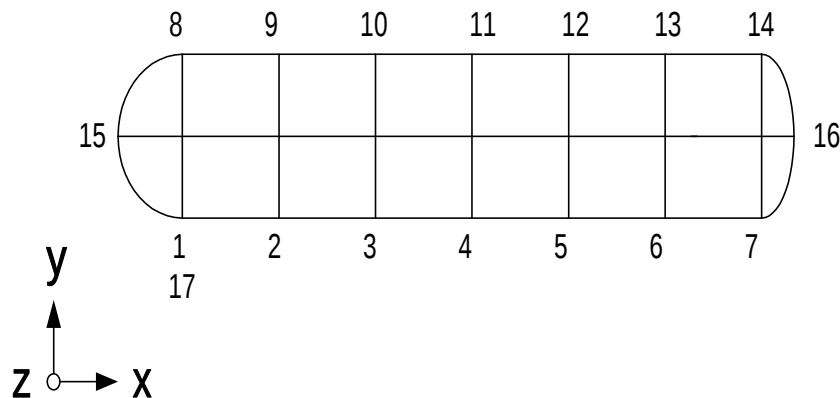


図 2 加振点と応答点

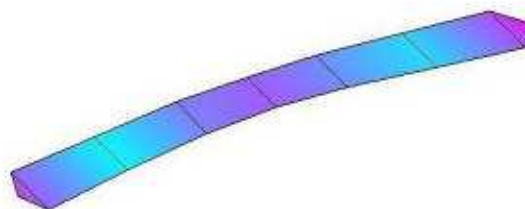


図 3 一次固有モード形状

実験の様子を以下に示す。自由支持を作り出すため、板を地面に平行に二本のゴムで吊るす。また、実験で使用したインパルスハンマ・加速度ピックアップ・FFT アナライザも以下に示す。

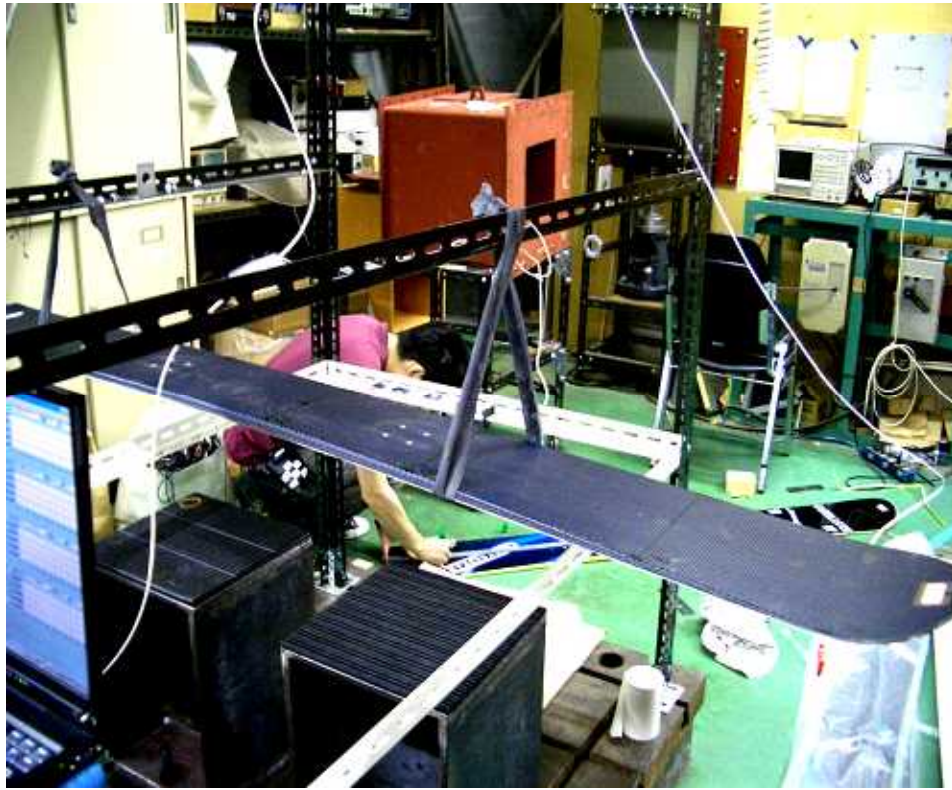


写真 1 ゴムで吊るした状態



写真 2 インパルスハンマ



写真 3 加速度ピックアップ



写真4 FFTアナライザ&ノートPC

2-1-2 人を乗せた状態

実験方法は 3-1-1 ゴムで吊るした状態と同様である。実験の様子を以下に示す。



写真 5 人を乗せた状態

2-1-3 中央を固定した状態

スノーボードは大きな対象となる為、ノーズ部（前方部）とテール部（後方部）の二つに分けられる。今回特に滑走時にブレ振動を発生している後方部のみの振動特性を実験モード解析により求め比較する。

それぞれの板の中央部をアルミ板とボルトで固定し、後方部のみ振動するようにした。実験方法は 3-1-1 ゴムで吊るした状態と同様に行った。ただし、加振点と応答点の位置は以下の図 4 に示す。1～13 を加振点、14 を応答点とする。また実験の様子も以下に示す。

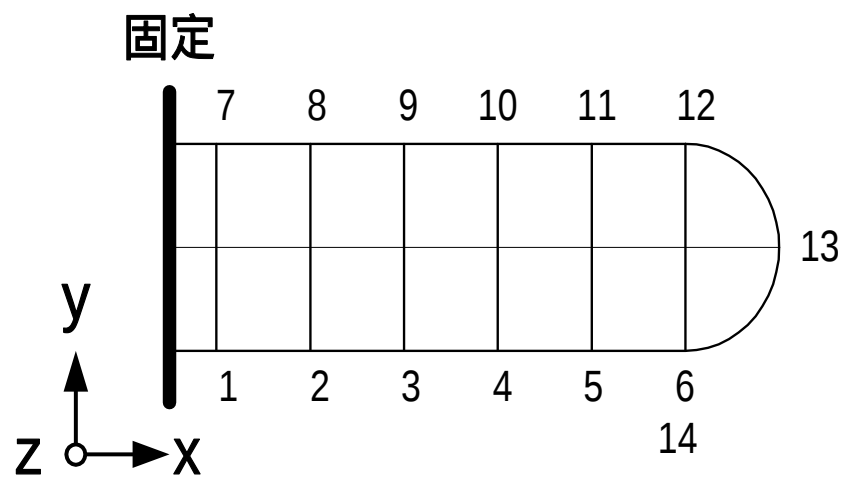


図 4 中央を固定した状態での加振点と応答点



写真 6 中央を固定した状態

2-1-4 自然加振試験

インパルスハンマによる打撃試験ではなく、自然の力により発生する振動を測定するため、自然加振試験を行った。加振方法は、板を履いた状態でジャンプし、着地の衝撃で加振する方法で行った。加振点は板全体の衝撃であるため、この実験は応答点移動で行った。応答点の位置は図 5 に示す。また実験の様子を以下に示す。

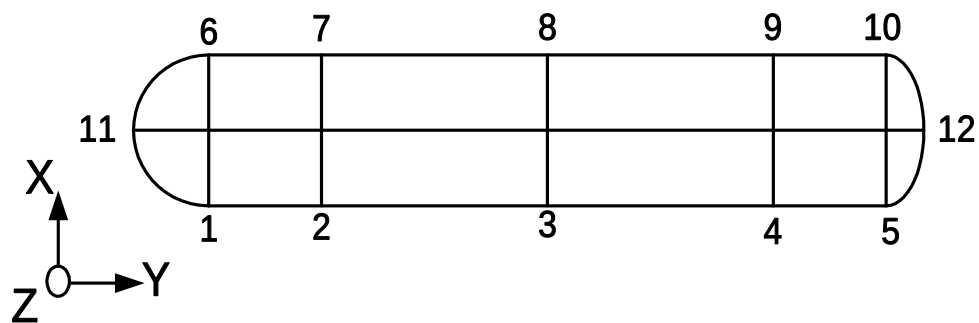


図 5 自然加振試験の応答点



写真 7 自然加振試験

2-1-5 ビンディング部分を固定した状態

さらに、後方部の厳密な減衰比の違いを調べるために、後方のビンディング装着部分を固定し、打撃試験を行った。以下に様子を示す。



写真 8 ビンディング部分を固定した状態



写真 9 後方部のピンディング固定部分

2-2 実験結果

表 1 に、それぞれの板をゴムで吊るした状態と人を乗せた状態での第 1 次の固有モードの固有振動数と減衰の結果を示す。ただし、A-1 はオーストリア製の板で、O-2・O-3・O-5・O-6 は日本製の板である。また、それぞれの実験結果の推移を以下に示す。

表 1 固有モード

	固有振動数(Hz)		減衰(%)	
	ゴム	人	ゴム	人
A-1	15.87	18.61	0.42	1.02
O-2	16.36	18.06	0.52	3.00
O-3	16.04	16.89	0.43	3.04
O-5	15.99	18.39	0.40	1.20
O-6	16.29	18.61	0.69	1.64

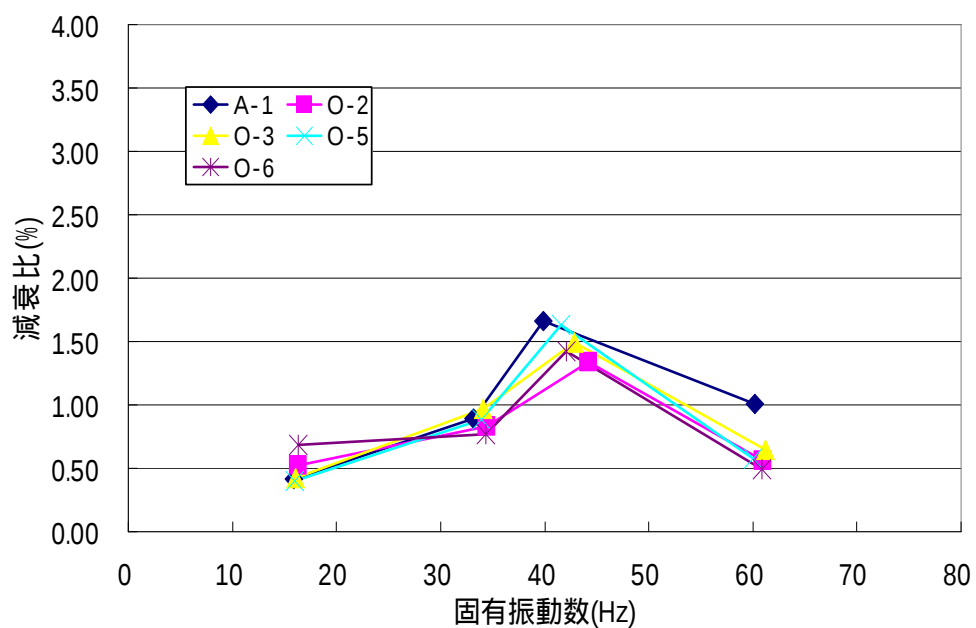


図 6 ゴムで吊るした状態の固有振動数と減衰比

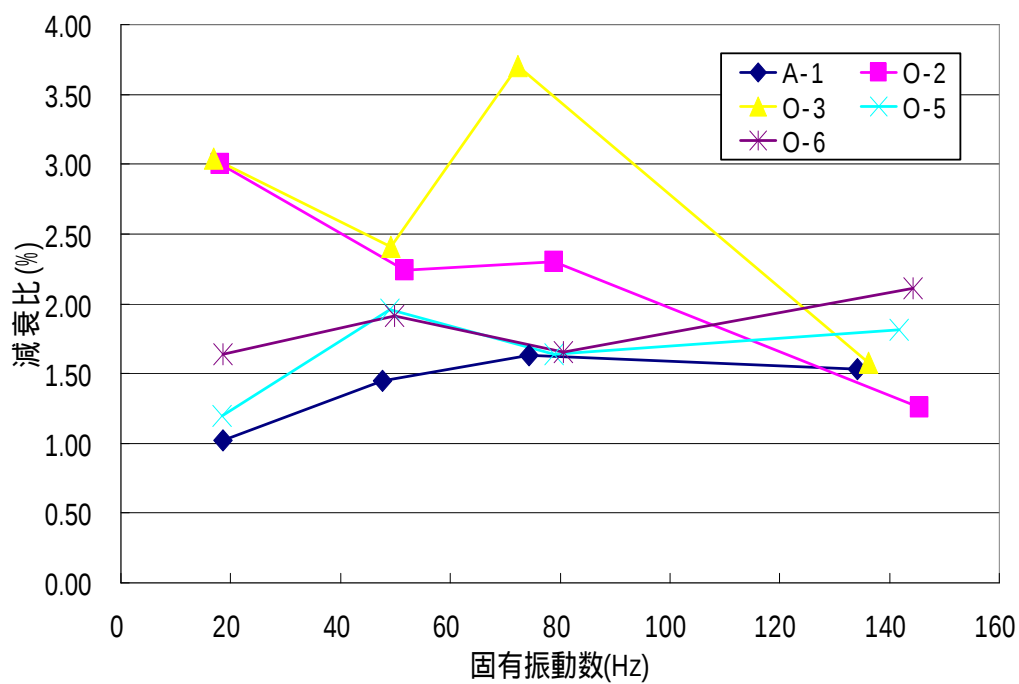


図 7 人を乗せた状態の固有振動数と減衰比

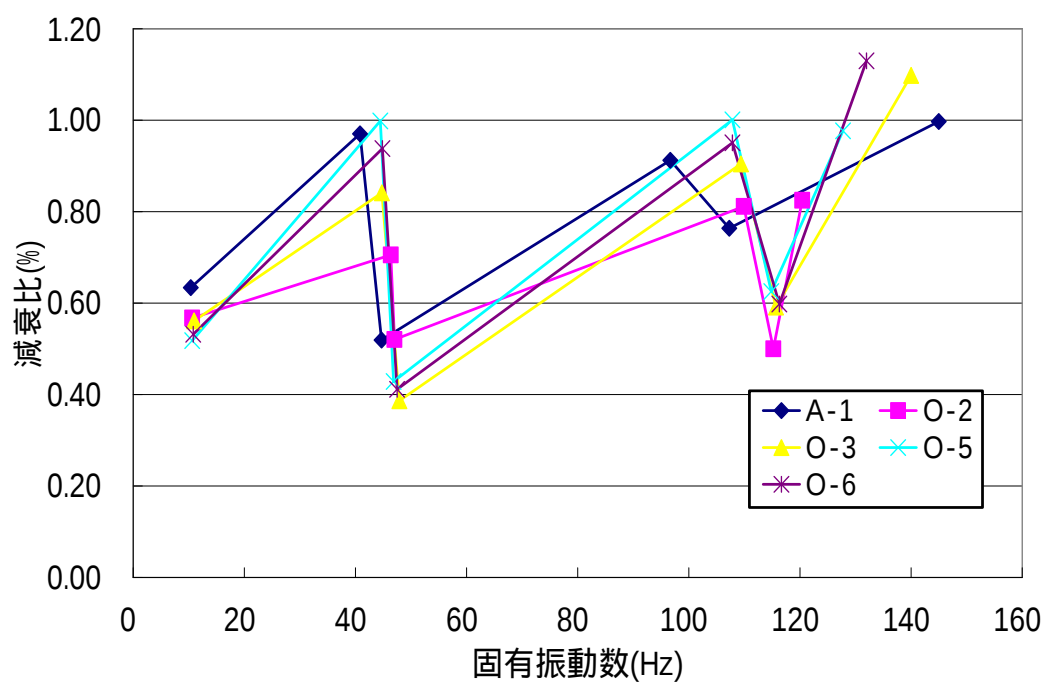


図 8 中央を固定した状態での固有振動数と減衰比

表 2 中央を固定した状態での一次固有モード

	固有振動数(Hz)	減衰比(%)
A-1	10.37	0.634
O-2	10.63	0.567
O-3	10.96	0.561
O-5	10.62	0.518
O-6	10.81	0.532

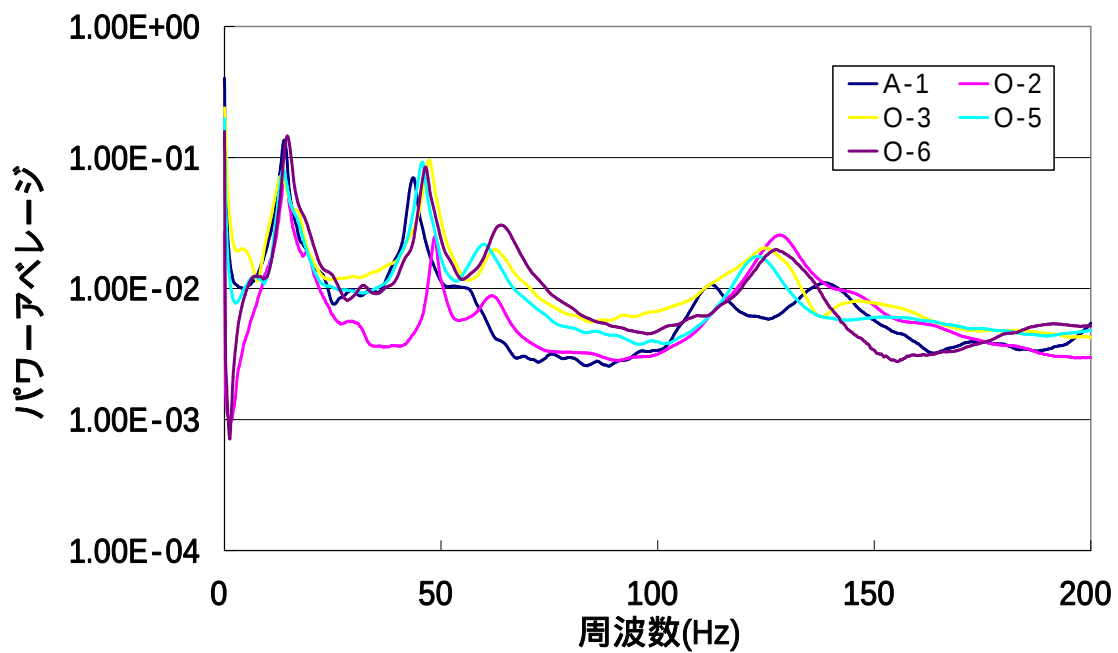


図 9 自然加振試験 (応答点 1)

表 3 ビンディング部分を固定した状態での一次固有モード

	固有振動数 (Hz)	減衰比 (%)
A-1	20.01	0.567
O-2	21.09	0.450
O-3	20.80	0.469
O-5	20.64	0.495
O-6	20.98	0.475

表 4 ビンディング部分固定状態での三次までの固有モード

A-1		O-2		O-3	
固有振動数	減衰比	固有振動数	減衰比	固有振動数	減衰比
20.013	0.567%	21.092	0.450%	20.797	0.469%
50.406	1.088%	58.873	0.848%	56.359	0.939%
86.774	0.961%	94.648	0.587%	94.127	0.600%
O-5		O-6			
固有振動数	減衰比	固有振動数	減衰比		
20.637	0.495%	20.978	0.475%		
55.830	1.163%	55.551	1.012%		
92.300	0.794%	92.817	0.773%		

一次、三次ともに曲げのモード形状である。二次はねじりモード形状。

2-3 考察

表 1 から固有振動数を比較すると、ゴムで吊るした状態と人を乗せた状態とともに A-1 に特別大きな違いは見られなかった。減衰を比較すると、人を乗せた状態で少しばらつきは出た。しかし明らかに A-1 が振動しにくいとは言えない。また自然加振試験や滑走試験においても同様の結果となった。

また、“ゴム”と“人”で比較すると、固有振動数がすべての板で“人”の方が“ゴム”より約 2 Hz 大きくなることと、減衰は約 2.5～6 倍に大きくなることからわかる。このことによりスノーボードのブレ振動現象は、人やビンディングなどの非線形システムの影響を大きく受けることが確認できた。

中央を固定した状態では、表 2 より一次固有モードでは A-1 が最も減衰比が大きくなり、これは低周波において後方部では A-1 が最も振動しにくいという結果を得られた。このように板全体で考えるのではなく、部分的な振動特性を求めることの重要性を確認できた。

それを受けて、後方のビンディング部分を固定して実験を行った結果、やはり、固有振動数に大きな違いは見られなかったが、A-1 のスノーボードの減衰比が他のものと比べ、0.1%高くなっている。人間と雪面で後方部が固定された状態となる滑走時にも減衰比が高いということは、やはり A-1 のスノーボードが、他のスノーボードと比べ振動が収まりやすいという大きな特徴が出ていることを確認できる。

また、最大の特徴と見られるのが、ねじりモード時の減衰は 5 枚とも 1 %程度で変わらないが、曲げの一次、三次モードではともに A - 1 のスノーボードの減衰が高くなっていることがわかる。これからも、A - 1 の板のバタつきは収まりやすいということがわかった。

第 3 節 曲げ試験

3-1 実験方法

剛性は、振動数が零の場合の動的特性とも考えられる。今回の対象物であるスノーボード板は平たい板状なので、実際に感応的にも硬さがそれぞれの板で違いがあることがわかる。

実験の流れとしては、まずそれぞれの板の寸法を測定する。次に『JIS S7019 アルペンスキー試験法』を参考に曲げ試験を行い、以上のデータからヤング率を算出し、それぞれの板を比較する。詳しい実験方法を以下に示す。

3-1-1 寸法の測定

板の輪郭は曲線を描き厚さは各部によって異なるため、11 点の横幅と厚さをノギスとマイクロメータで測定し、その平均を板の横幅と厚さとする。

測定した横幅と厚さより断面二次モーメントを算出する。以下に計算式を示す。

$$I_z = \frac{bh^3}{12} \quad (1)$$

{

I_z : 断面二次モーメント

b : 横幅

h : 厚さ

写真 10 スノーボード全身



表 5 スノーボードの形状寸法

	Width (mm)	Thickness (mm)	Weight (kg)
A-1	209.81	9.905	3.544
O-2	207.37	10.276	3.674
O-3	205.73	10.136	3.66
O-5	207.10	10.294	3.88
O-6	206.55	10.245	3.84

スノーボードの長さは最長部分、厚さは測定点の平均値をとった。

3-1-2 曲げ試験

実験方法は図 10 に示す『JIS S7019-1987 アルペンスキー試験法(1997 年廃止)』を参考に行った。ここで、荷重によるたわみの推移も比較するため、荷重を 10kg・15kg・20kg・25kg・30kg の計 5 種類とした。荷重は以下に示すバーベルを使用した。たわみの測定は、ダイヤルゲージとノギスを用いて測定した。

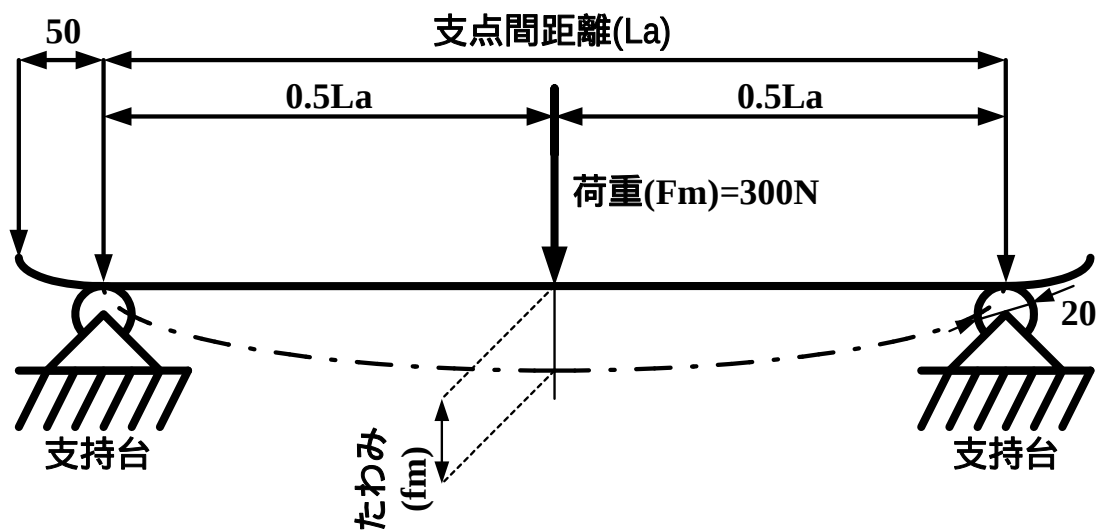


図 10 JIS S7019-1987 アルペンスキー試験法
中心ばね定数の測定



写真 11 曲げ試験(バーベル使用)



写真 12 支持台

3-1-3 ヤング率の同定

板自体の剛性を比較するため、板の寸法より求めた断面二次モーメントと曲げ試験により測定したたわみにより、ヤング率を求める。以下に計算式を示す。

$$E = \frac{Pa^3}{48\delta Iz} \quad (2)$$

$$\left(\begin{array}{l} P : \text{荷重} \\ a : \text{支点間距離} \\ \delta : \text{たわみ} \end{array} \right)$$

3-2 実験結果

以下に曲げ試験の結果を示す。

ただしヤング率の推移において、ヤング率とは物体固有の値であるが、スノーボードの板は厚さも各部で違いたわみにより形状が変化し、曲げ剛性 EI_z (ヤング率 $\times$ 断面二次係数) が変化するため、荷重により値が変化した。

表 6 寸法緒言

	幅(mm)	厚さ (mm)	重さ (kg)	断面二次 モーメントI
A-1	209.81	9.905	3.54	1.699E-08
O-2	207.37	10.276	3.67	1.875E-08
O-3	205.73	10.136	3.66	1.704E-08
O-5	207.10	10.294	3.88	1.813E-08
O-6	206.55	10.245	3.84	1.809E-08

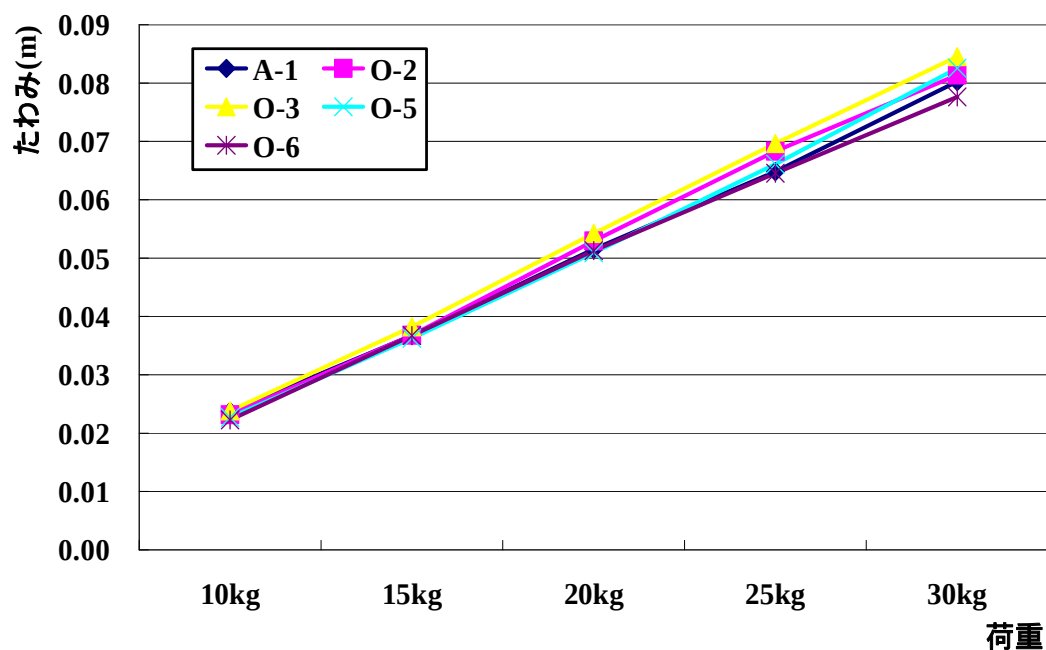


図 11 荷重によるたわみの推移

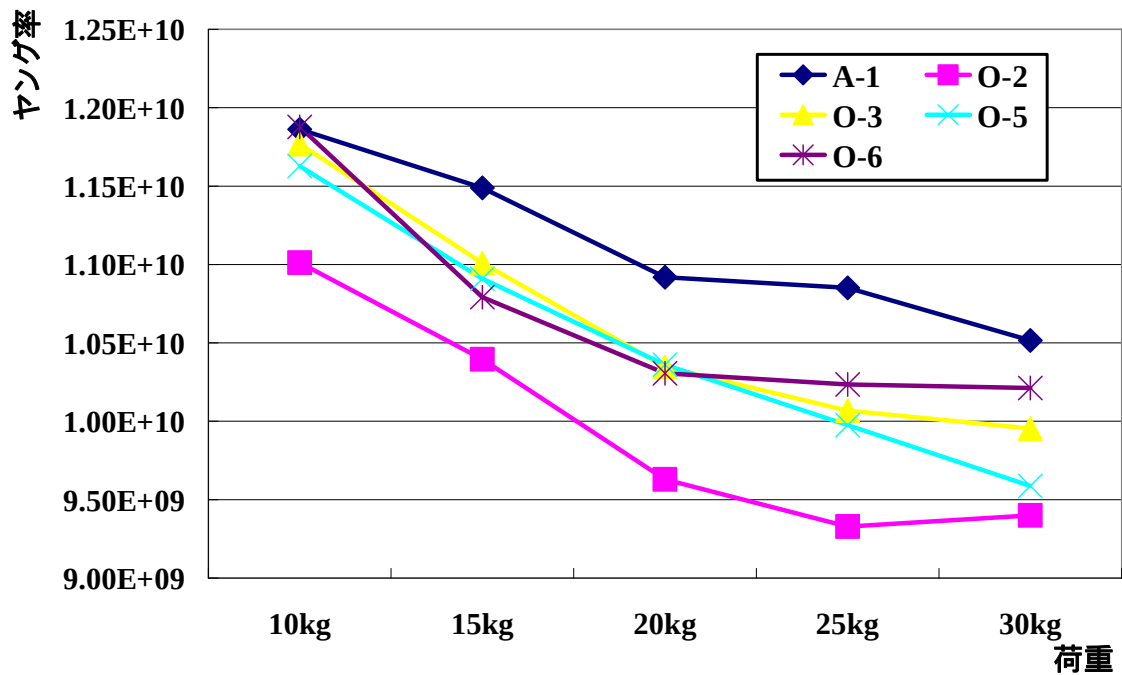


図 12 荷重によるヤング率の推移

3-3 考察

表 3 を見ると、A-1 の特徴として幅が広く厚さが薄いことがわかる。そのため、断面二次モーメントが最も小さくなることを見出せた。また、次に小さい値を取るのが O-3 となり、材料の構成としては A-1 と O-3 が似た特徴を持つことがわかった。

次に図 11 を見ると、板によってあまり大きな変化は見られなかったが、図 12 のヤング率で比較すると A-1 が最も大きな値となり、A-1 の単位断面積あたりの剛性が他の板より強いことがわかった。

第 4 節 滑走試験

4-1 実験方法

今までの実験は、擬似的に自由支持状態、または実際にビンディング、ブーツを装着して、固定支持かのように実験を行ってきた。しかし実際には雪面の状態、硬さ、走者の状態で結果が変わってしまう。そこで実際に雪面上での滑走試験を行い、それぞれの板の特徴を見出す。ピックアップを前後それぞれに付けて斜面より滑り降りる。そこで得られた応答を比較し、検討する。

4-2 実験準備

実験に使用したもの

- ・ 加速度ピックアップ
- ・ データレコーダー(SONY 製)
- ・ レコーダーバッテリー(SONY 製正規付属品)
- ・ ノート PC
- ・ スノーボード
- ・ ビンディング
- ・ ブーツ

スノーボードの前後部分に加速度ピックアップを付けて、携帯性の高いデータレコーダーにて時間領域波形を測定する。その得られたデータを MATLAB プログラムによりフーリエ変換を行い、それぞれの板の特性を分析、検討する。実験は雪面のコンディションがあまり変わらない夜を選び測定した。



写真 1 3 データレコーダー



写真 1 4 加速度ピックアップ



写真 1 5 ビンディング装着状態のスノーボード



写真 1 6 加速度ピックアップ取り付け部分



写真 1 7 実験に使用した斜面 1



写真 18 実験に使用した斜面 2



写真 19 測定の様子



写真 20 測定の様子

4-3 実験結果

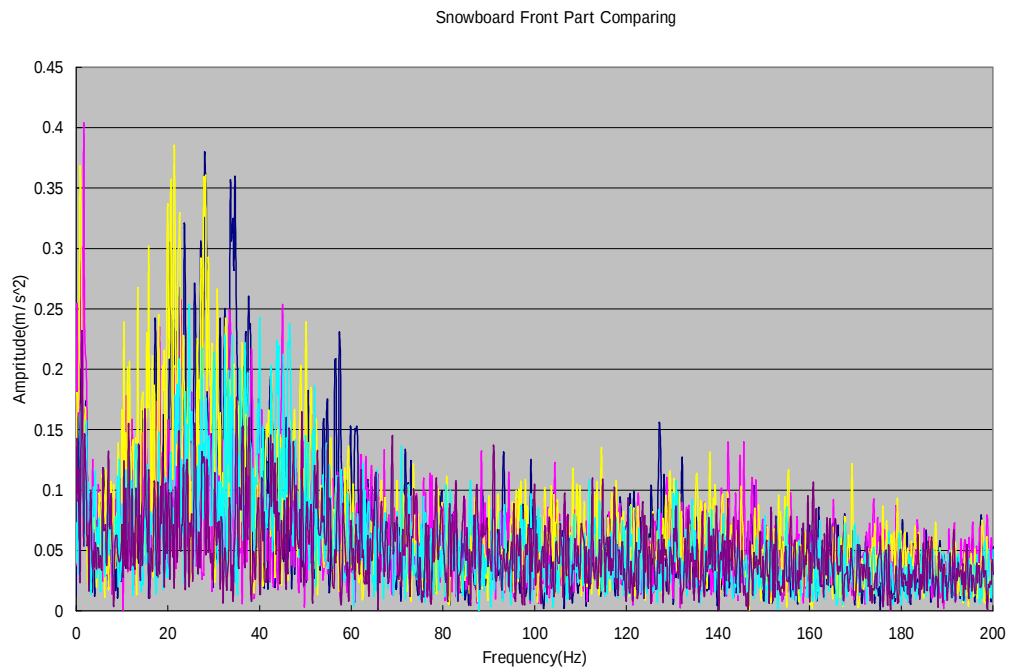


図 13 5 枚の板の前方部の周波数応答関数

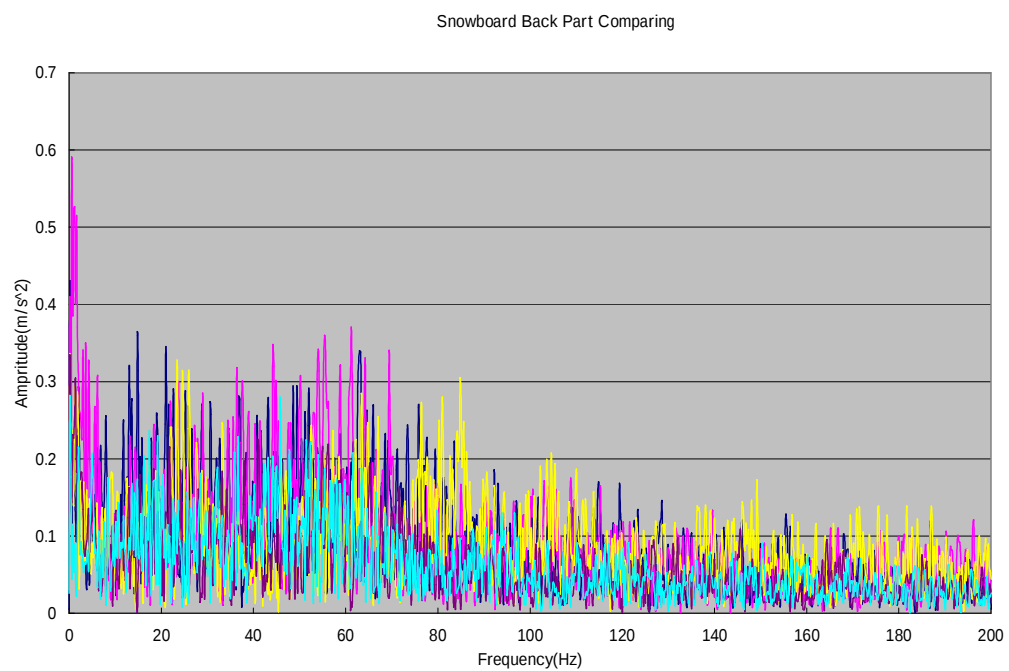


図 14 5 枚の板の後方部の周波数応答関数

図 13 は、前方部分につけた加速度ピックアップの周波数応答関数である。前方部分に関しては、A-1 の 50-80Hz 付近の加速度が他のスノーボードよりも大きな値を示している。

図 14 は後方部の周波数応答関数である。こちらでは、40-90Hz 範囲で A-1 よりも O-2 や O-3 等の加速度が高くなっている。O-6 は前後ともに大きな起伏が感じられない。

そして、最大の特徴として、後方部の A-1 のスノーボードの固有振動数のピークが他の板に比べて一番低い値を示していることである。これは、実験モード解析で実験を行って固有振動数を計算しても出てこなかった、つまり、実際に滑走することによってのみ、この特徴が表れるのである。前方部の固有振動数の 1 次ピークに関しては、A-1、O-3、O-6 に関しては 16Hz 付近に表れ、それ以外は 20Hz 付近に表れている。

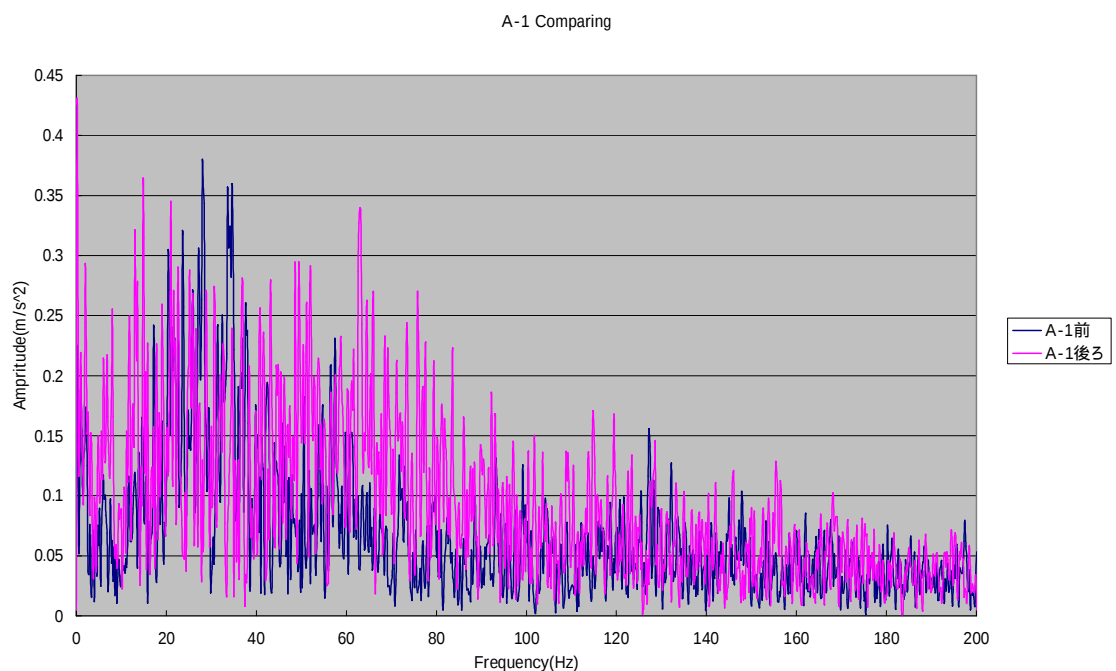


図 15 A-1 の前後の周波数応答関数

図 15 は A-1 の前後の周波数応答関数である。前方部分よりも後方部分のほう

が大きく振動しているのが分かる。

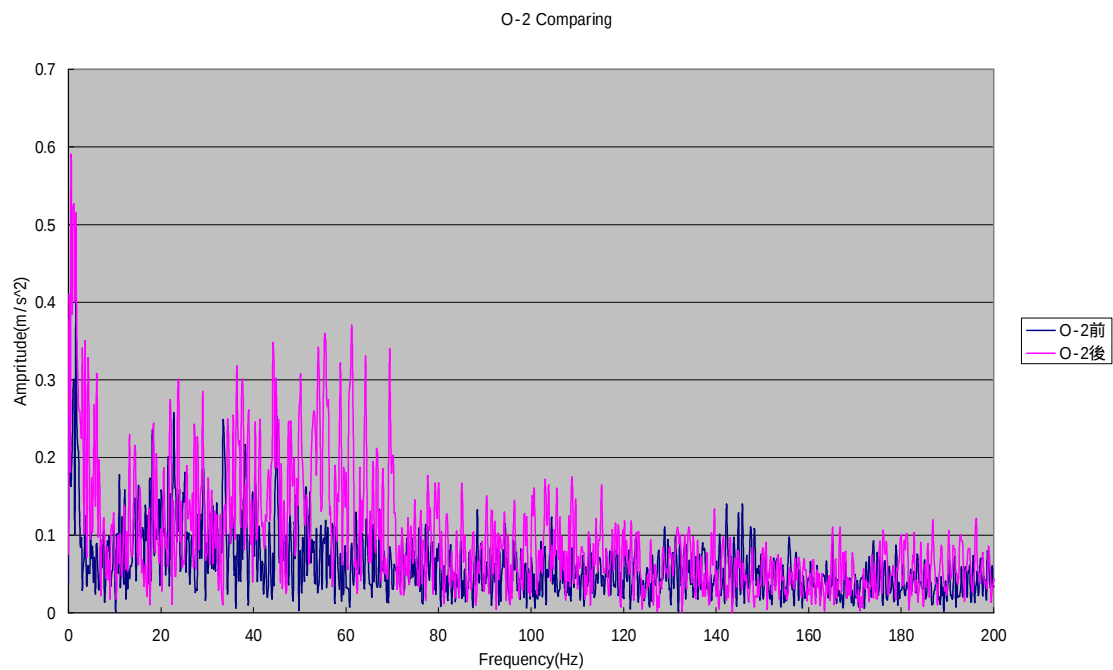


図 16 O-2 の前後の周波数応答関数

図 16 は O-2 の前後の周波数応答関数である。やはりこちらも後方部分の振動が大きくなっているのがわかる。

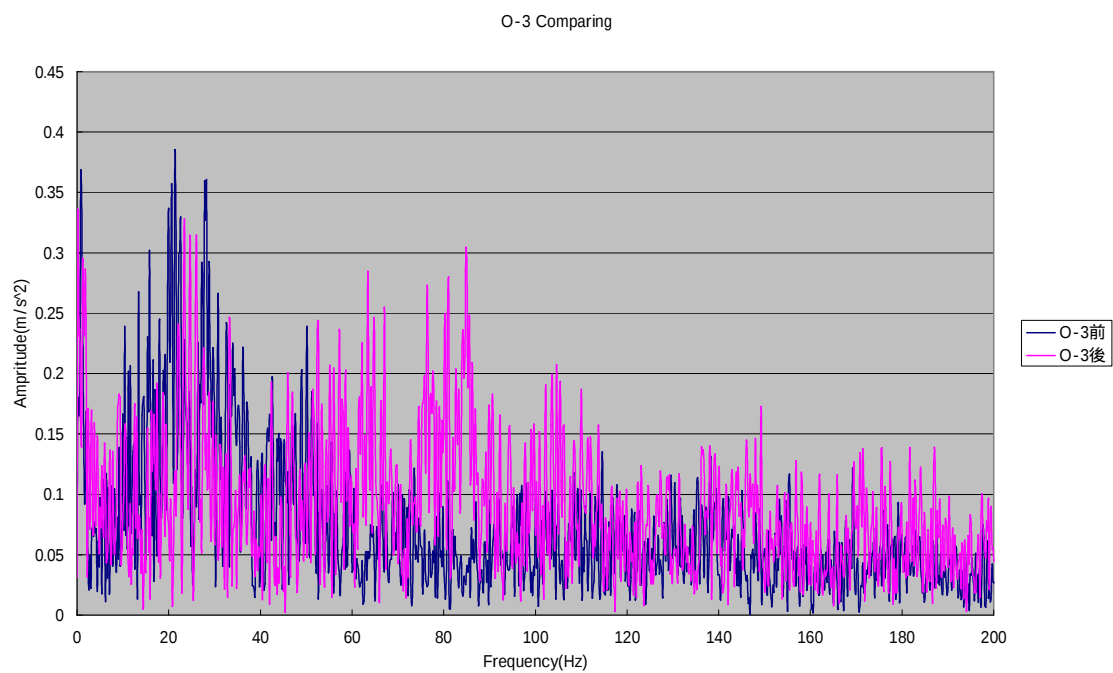


図 17 O-3 の前後の周波数応答関数

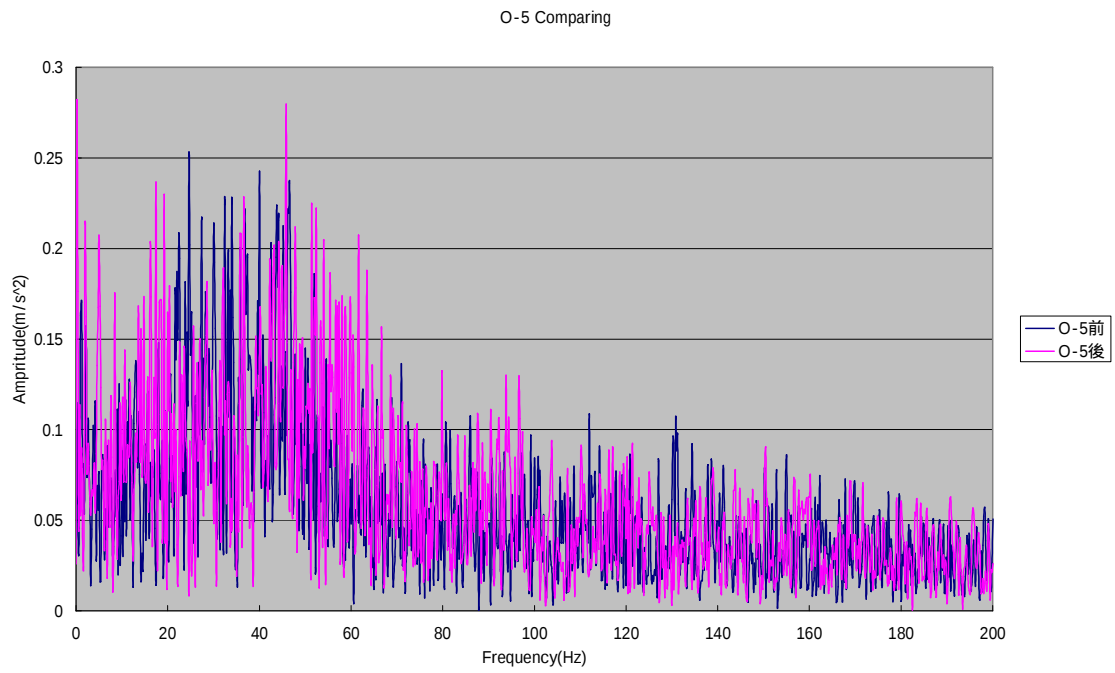


図 18 O-5 の前後の周波数応答関数

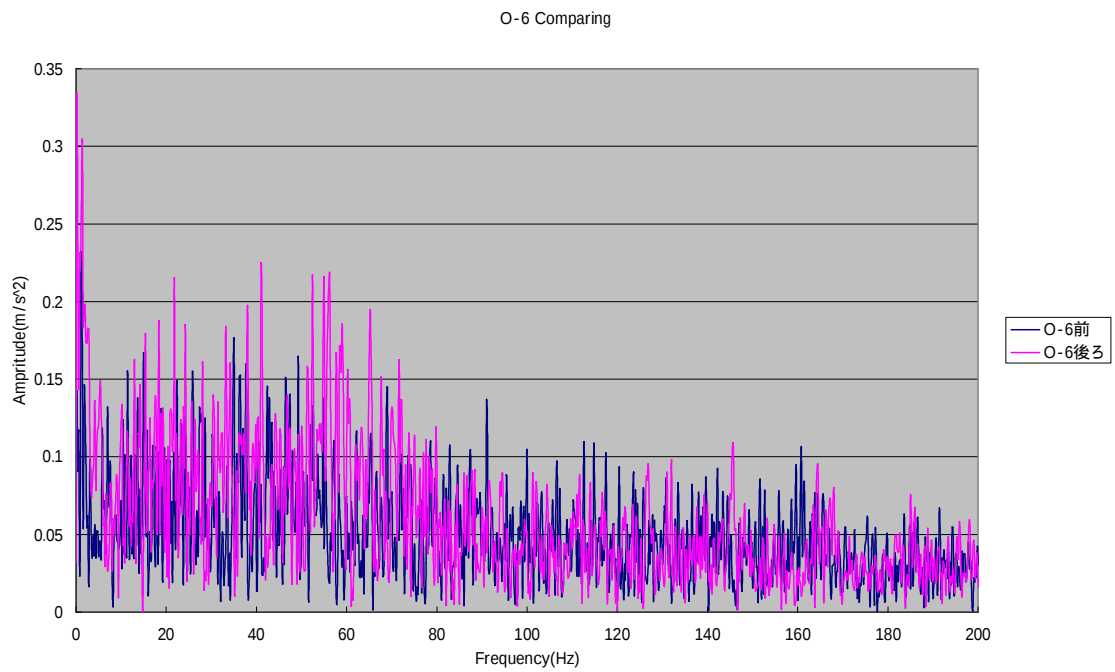


図 19 O-6 の前後の周波数応答関数

同じように、O-3、O-5、O-6 の前後の周波数応答関数である。すべてのスノーボードに共通していることは、50-100Hz 付近の振動は後方部分のほうが大きいことである。打撃試験では、2 次の曲げモード形状の表れていたところである。120Hz 以降の振動にはあまり大きなピーク等は見られなくなっていて、それぞれの板の特徴はあまり見受けられない。O-2 と O-6 が多少似ている感じは受ける。

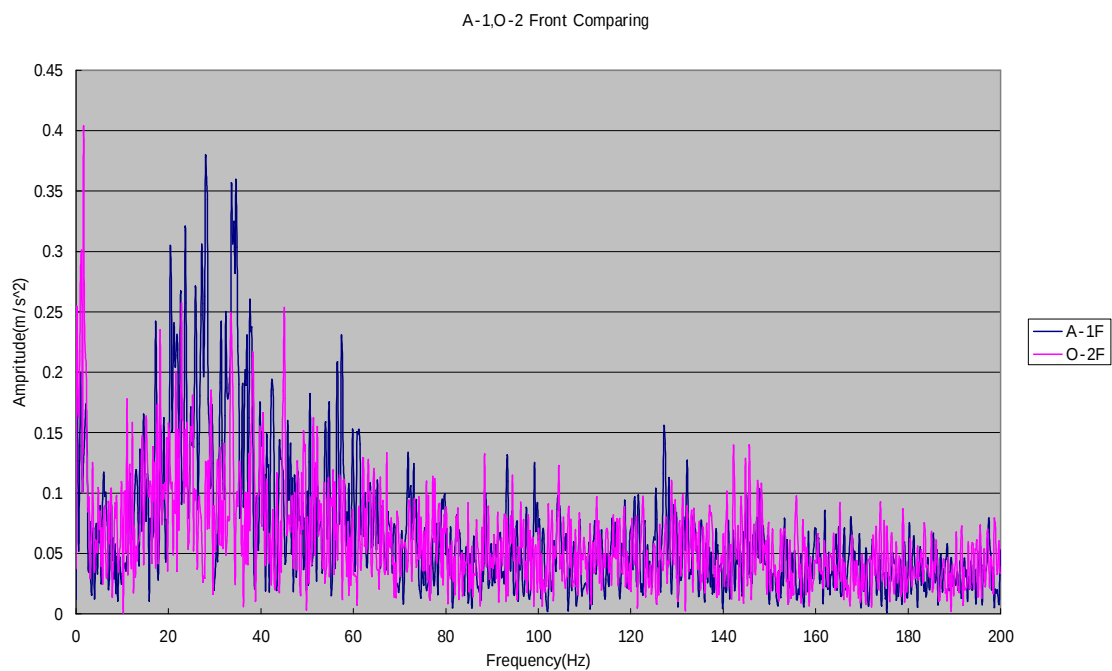


図 20 A-1 と O-2 の前方部分の比較図

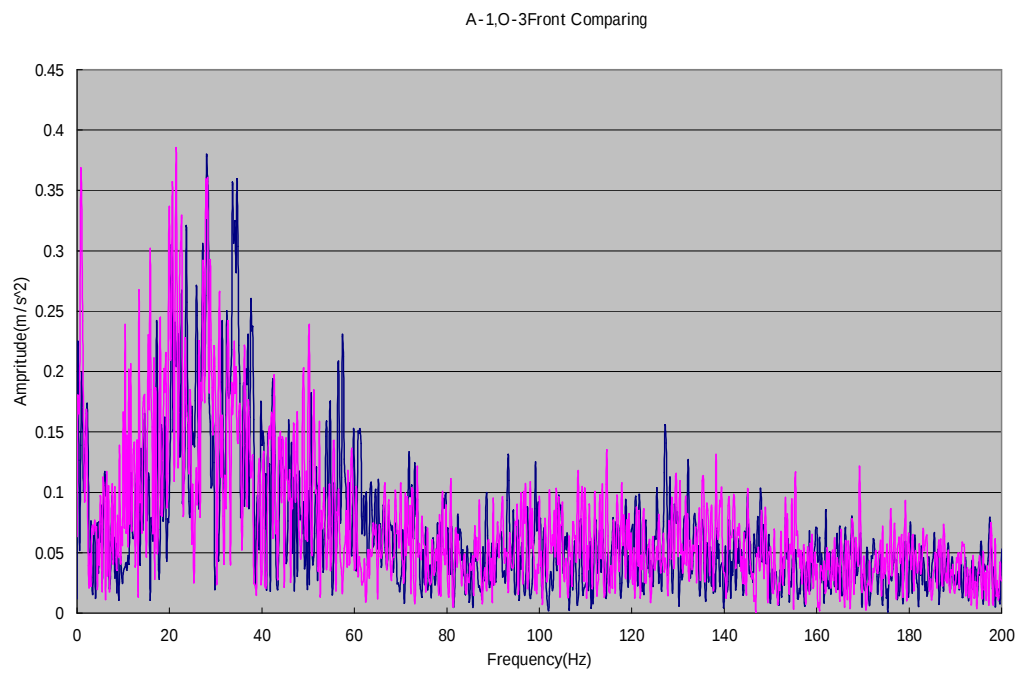


図 21 A-1 と O-3 の前方部分の比較図

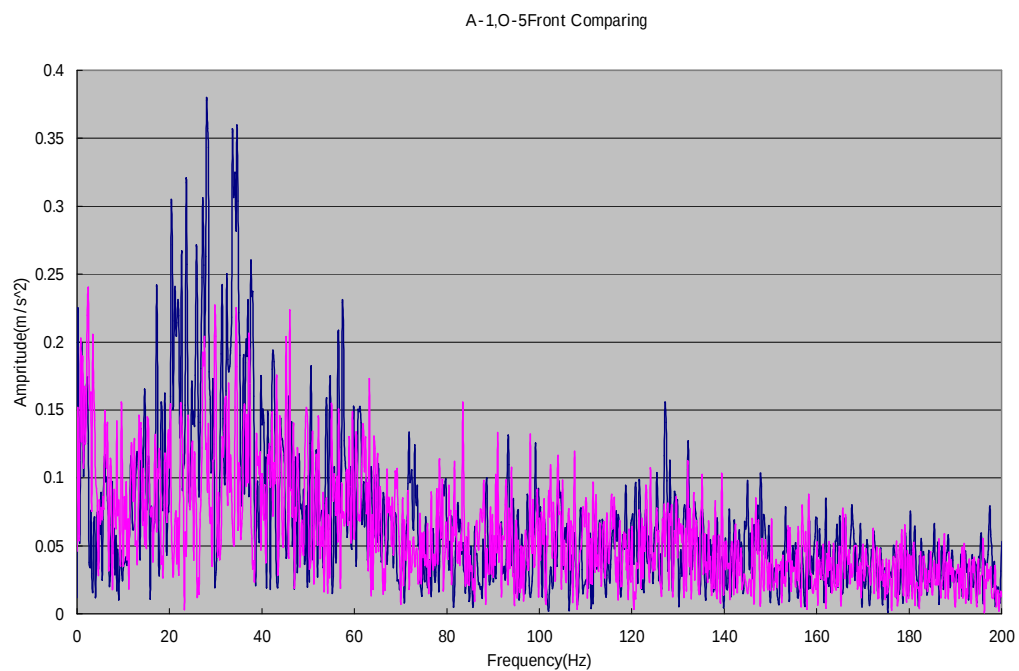


図 22 A-1 と O-5 の前方部分の比較図

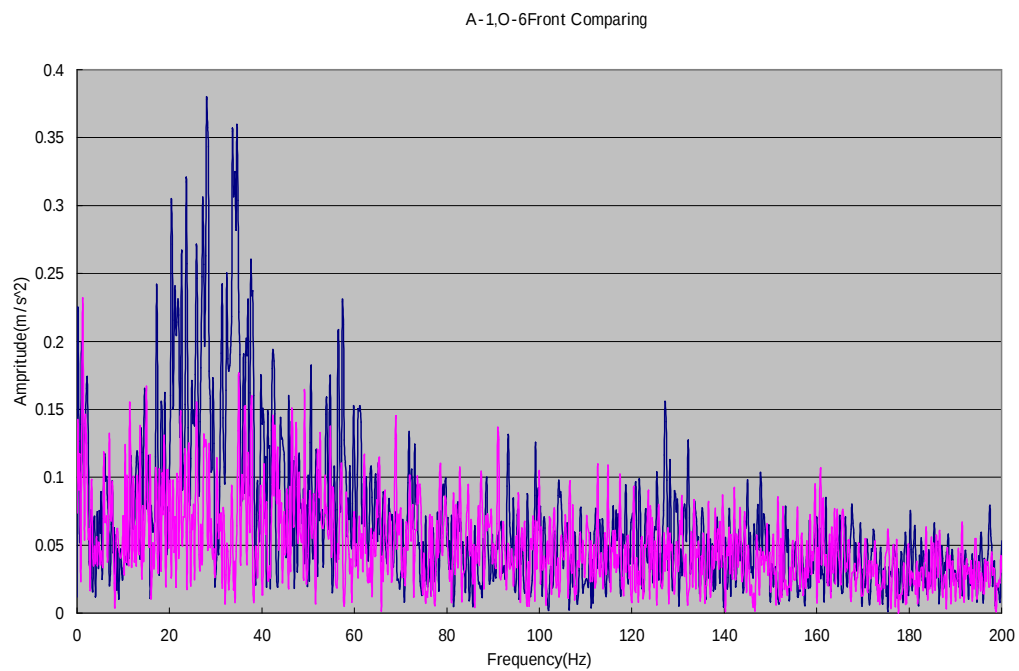


図 23 A-1 と O-6 の前方部分の比較図

次に、A-1 を基準として前方部を他の板と比較してみた。すべてにおいて、A-1 の板が 15-40Hz で大きくなっているのがわかる。また、A-1 が 55Hz、130Hz に大きなピークが表れているのが分かる。O-3 の板と A-1 の板は実走において前方部分の振動が多少似通っている。

次に後方部分を比較してみる。

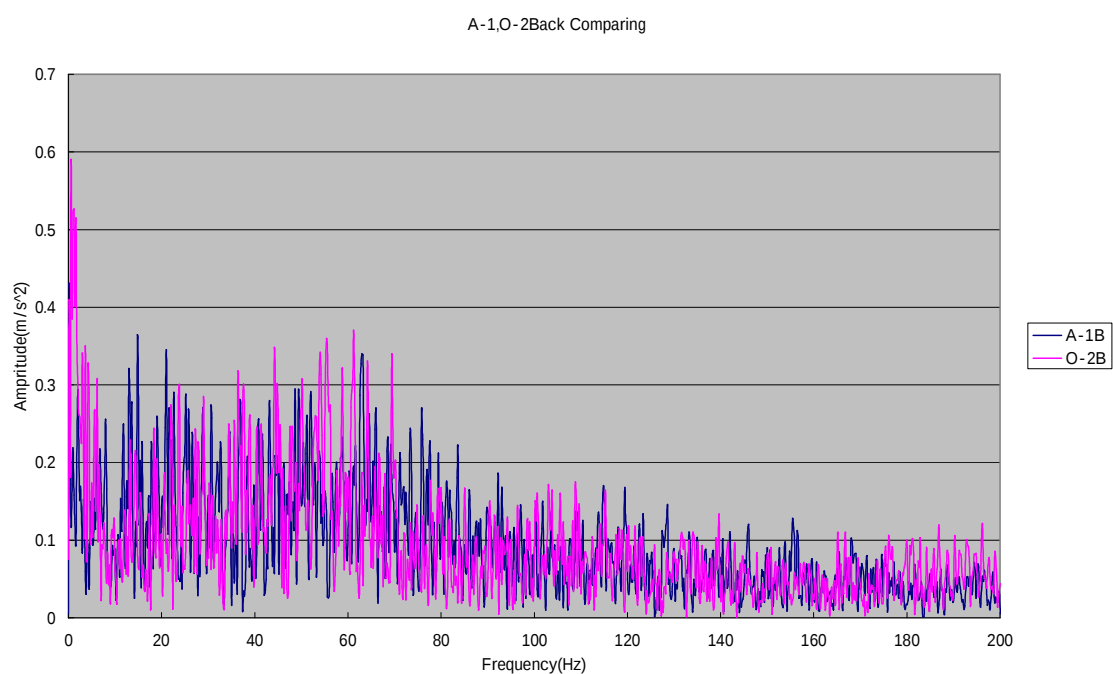


図 24 A-1 と O-2 の後方部分の比較図

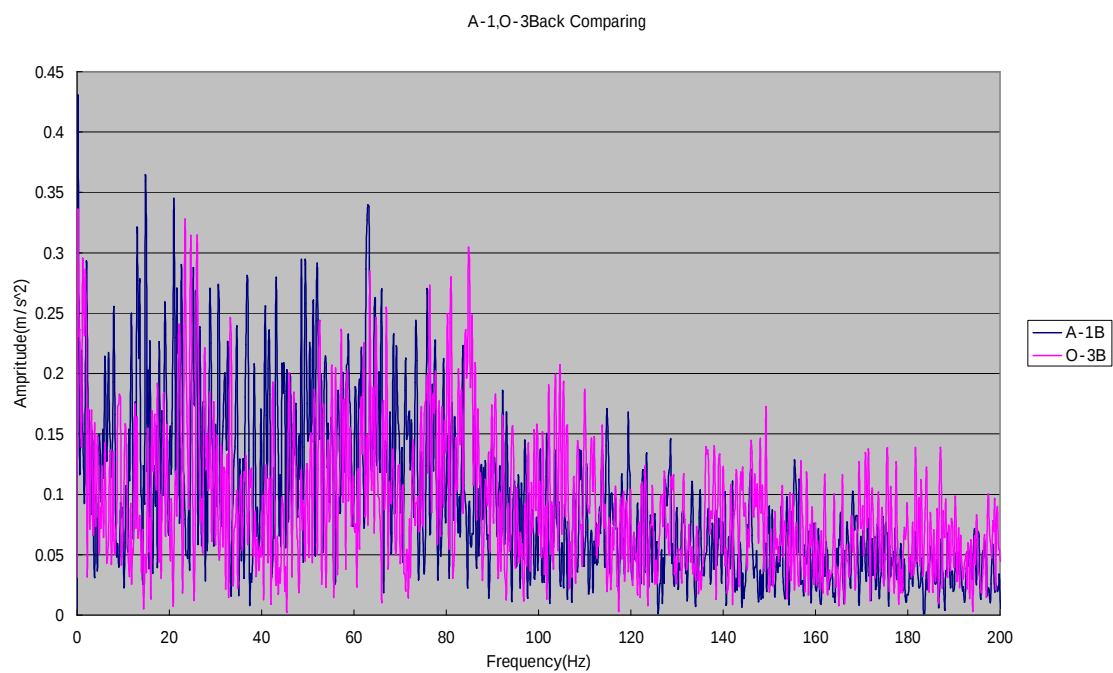


図 25 A-1 と O-3 の後方部分の比較図

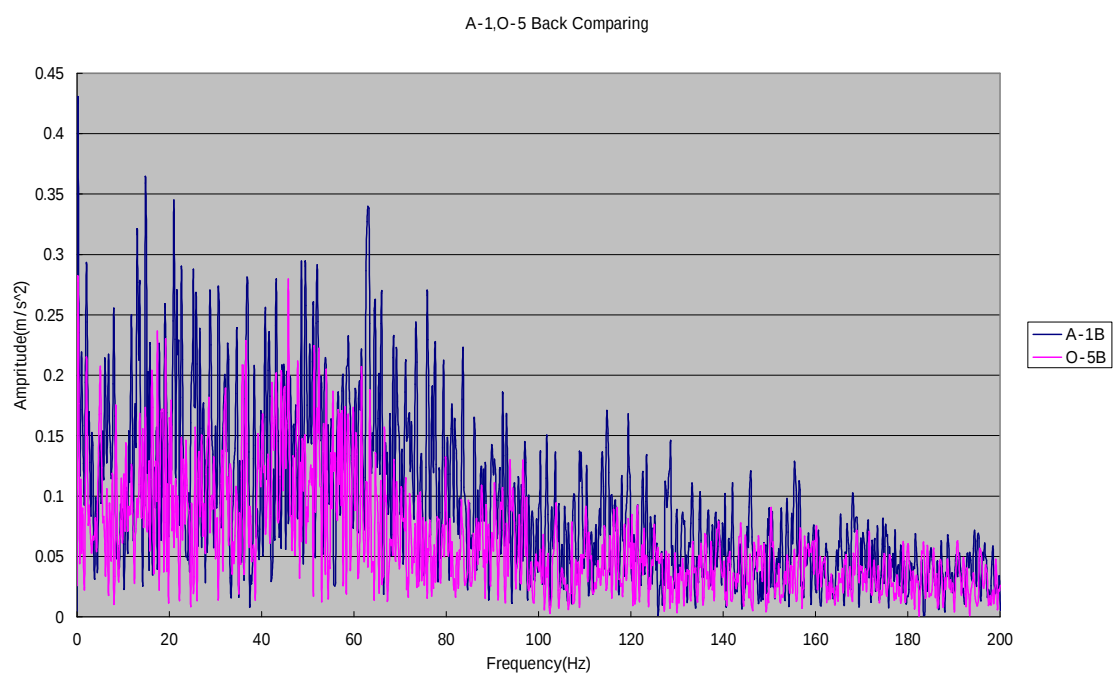


図 26 A-1 と O-5 の後方部分の比較図

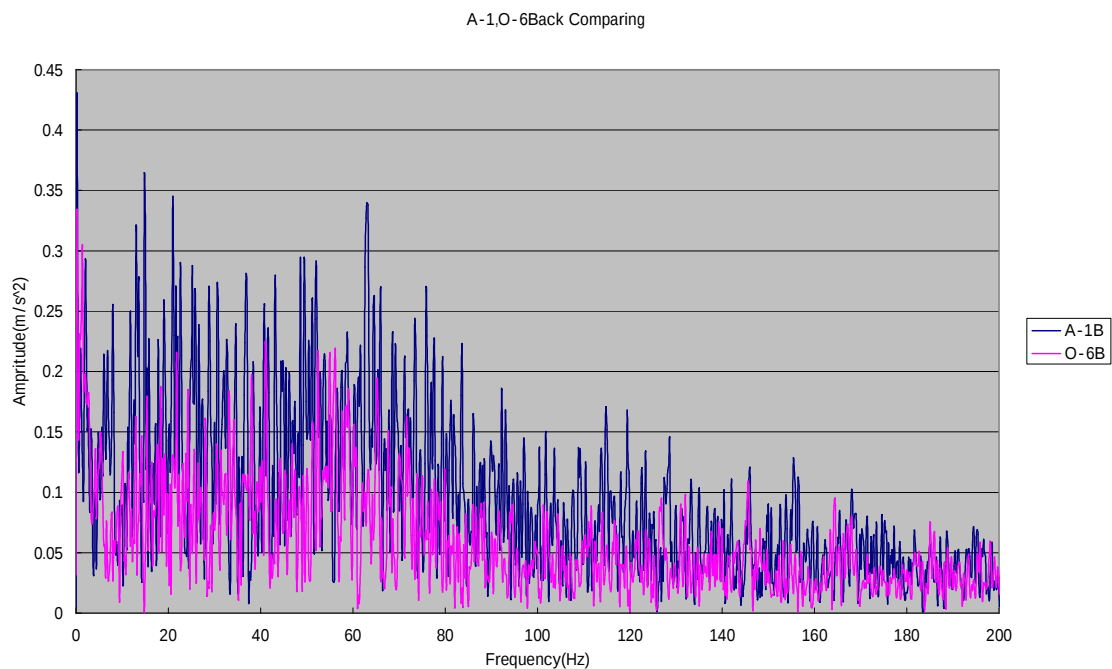


図 27 A-1 と O-6 の後方部分の比較図

ピークが大きく出ているところは、人を乗せた状態での打撃試験で現れた固有振動数付近(20,70Hz 付近、どちらも曲げモード形状)に表れている。40Hz 付近にねじりのモード形状が表れていたがスノーボードではねじりモードはそれほど強い力を出さないと考えられる。どれも A-1 のスノーボードの加速度が大きくなっているが、A-1 自体の厚さが薄いことや、重さが他の板と比べ軽いからだと思われる。A-1 自体の減衰比が大きいので、加速度をうまく制御しながらブレ振動を抑えているのではないかと考えられる。

4-4 考察

滑走実験を行うことによって、これまで研究室で行ってきた結果についての矛盾点が生まれた。A-1 の特性は、中央部の剛性が高く、後方部の減衰比が高いだけでなく、固有振動数も低い結果となった。しかし、

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

という式を満足しないのである。つまり、剛性が高いと固有振動数は大きくなるはずなのに、A-1 は一番低い数値がでた。つまり A-1 の構造が他の板と違うからこのような結果が生まれたと考えられる。

これまでに行ってきた実験から A-1 の特性は、

- ・ 後方部分の剛性が低く、固有振動数が低い
- ・ たわみ試験では、中央部の剛性が高い
- ・ 他の板に比べ、後方部の減衰比が高い

と、考えられる。これらから導き出される A-1 の構造として、

- ・ A-1 の構造は、中央部が硬く、両端が柔らかい
- ・ 後方部の減衰を高めることにより振動を抑えている
- ・ 雪面になじみやすく、雪面から受ける加振力が安定

と考えられる。

逆に、その他の板に関しては、

- ・ 中央部の剛性は、A-1 よりも低いが、似通った数値が出る
- ・ 後方部の減衰比は A-1 に比べ低い
- ・ 曲げ振動が A-1 に比べ収まりにくい

- ・ 全体的に硬さを持たせて、剛性を上げることで振動を抑えようとしている

以上から考えられるのが、

- ・ A-1 よりも後方部の減衰が低く、振動が抑えられてない
- ・ 全体的に板が硬いので雪面になじまない
- ・ 雪面からの加振力が安定しない

その結果、曲げ振動が A-1 と比べると収まらず、ブレ振動としてライダーに影響を及ぼしていると考えられる。

以下、推測される構造を簡単な図に表わす。

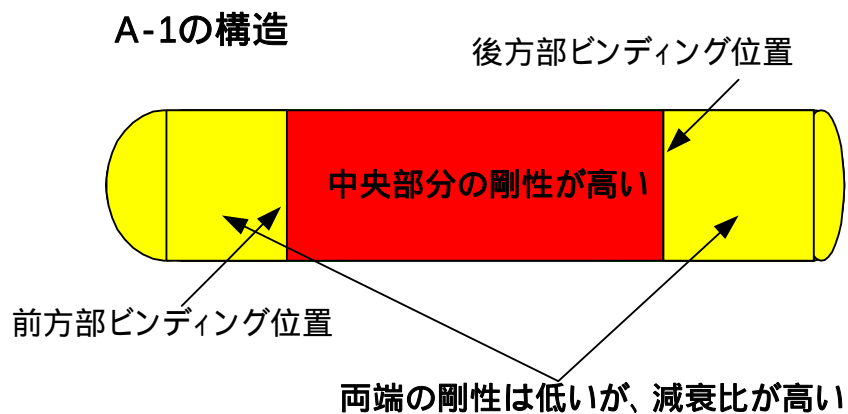


図 28 推測される A-1 の構造

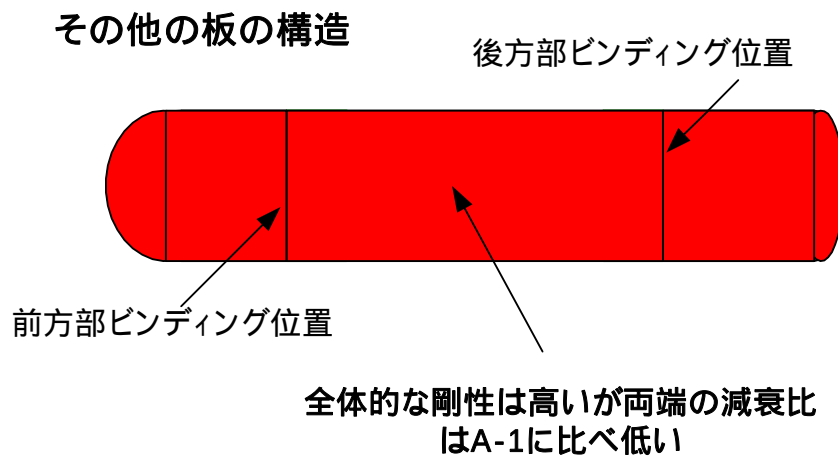


図 29 推測されるその他の板の構造

A-1 は、地面から受ける力を両端の減衰によって制御している。一方その他の板は、板自体を硬くして振動を抑えようとし、減衰を考えていない。ここが A-1 とその他の板の構造での大きな違いである。

振動が抑えられない分、振幅が増大し、A-1 以外の板のブレ振動の発生原因とないっていると考えられる。また、板が硬く、雪面からの加振力の不安定さも要因として考えられる。

第 5 節 前方部、後方部分の曲げ試験

5-1 曲げ試験

そこで、スノーボードの構造を詳しく理解するために、また、推測される板の構造を確かめるために、前方部、後方部の曲げ試験を行った。ここで、ヤング率の差を見て、板の両端の硬さを確かめてみる。



写真 21 前方部分の固定状況

実験方法として、『JIS S7019-1987 アルペンスキー試験法(1997 年廃止)』を参考にして実験を行った。

スキーとは違い、ビンディング固定部は前後 2 つあるので、前後各々固定し実験を行った。荷重は、中央部試験と同様に行った。たわみを測定し、そこからヤング率を測定した。

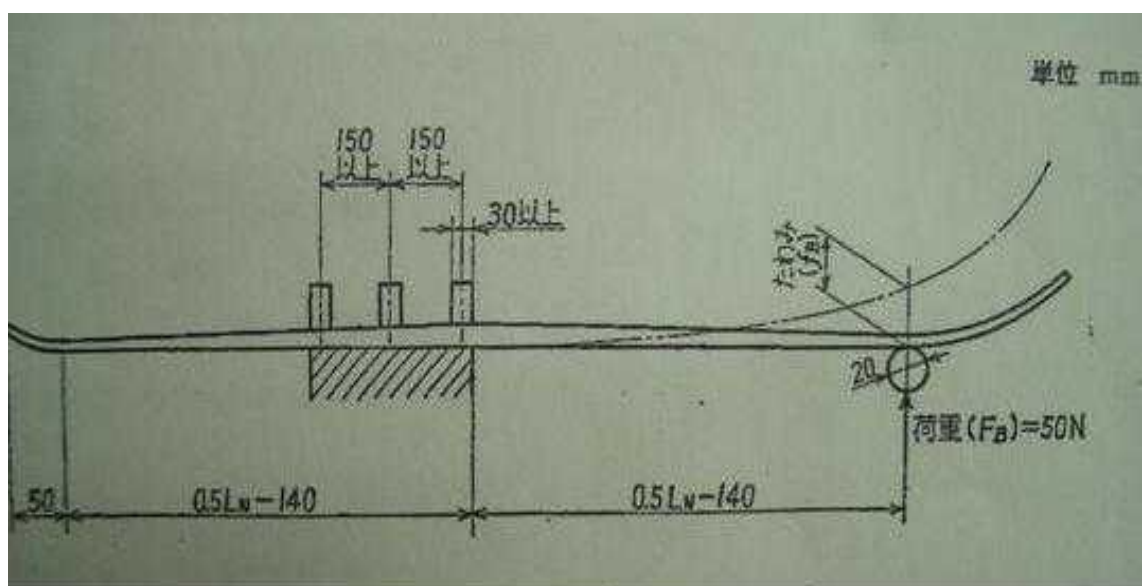


写真 2 2 アルペンスキー前方部ばね定数の測定

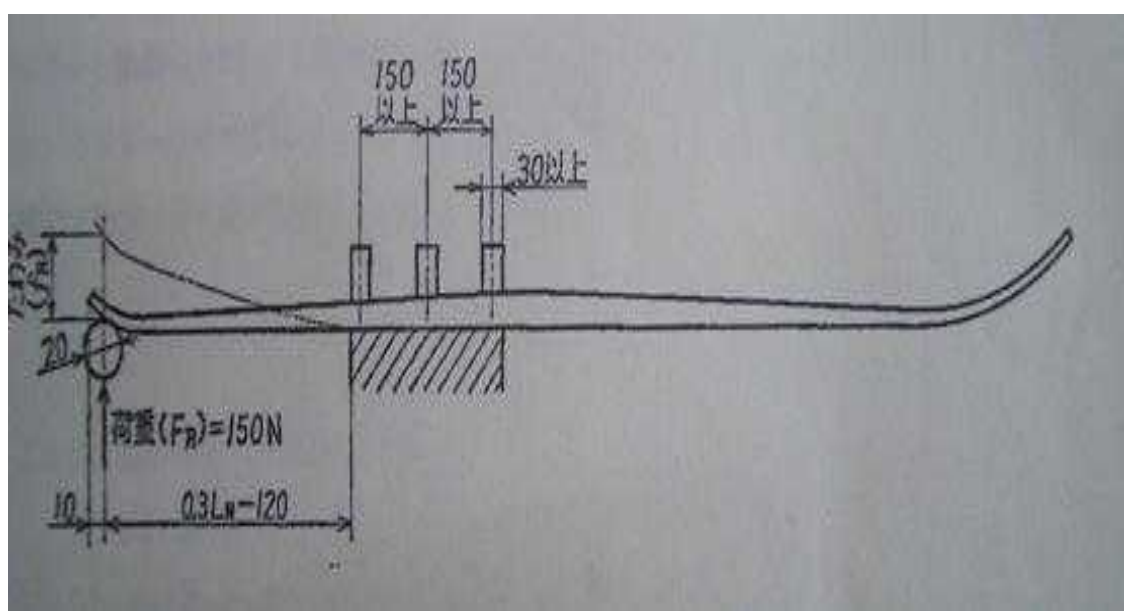


写真 2 3 アルペンスキー後方部ばね定数の測定

5-2 ヤング率の同定

板自体の剛性を比較するため、板の寸法より求めた断面二次モーメントと曲げ試験により測定したたわみにより、ヤング率を求める。以下に計算式を示す。

中央部の計算式は、両端自由固定であったが、今回は片端固定である。

$$E = \frac{Pa^3}{3\delta Iz}$$

P : 荷重

a : 支点間距離

δ : たわみ

5-3 実験結果、考察

以下、実験結果をグラフにまとめる。

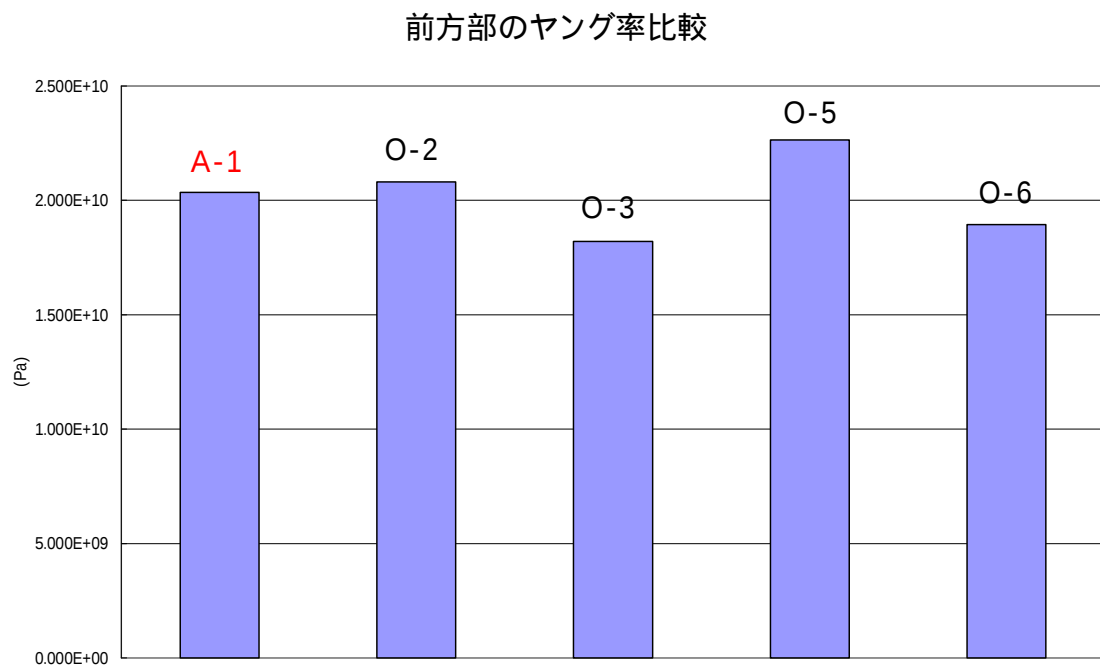


図 30 前方部のヤング率比較

図 30 は前方部分のヤング率の比較図である。5 枚の板にそれほど違いは現れなかったが、A-1 が一番柔らかいと言えない結果となった。これは、滑走試験で、A-1、O-3、O-6 の 1 次固有振動数が同じような数値を取っていたことから推測できる。前方部の剛性はそれほど違いがないようだ。

次に後方部分の結果を載せる。

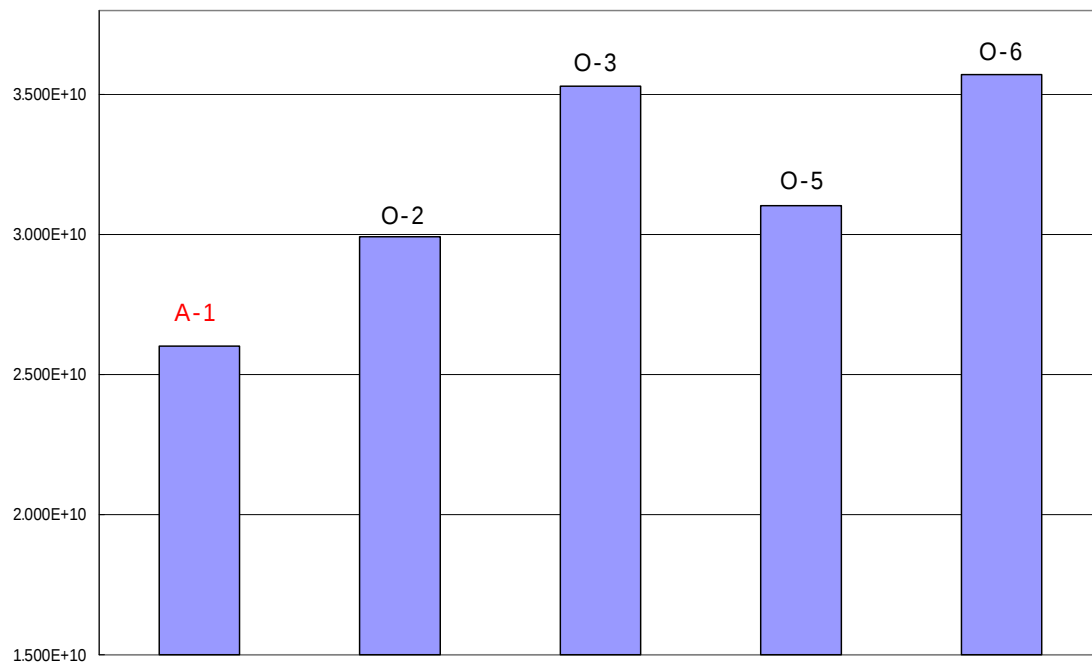


図 31 後方部のヤング率比較

図 31 は後方部分のヤング率の比較図である。A-1 が他の板に比べ柔らかいの
が一目瞭然である。つまり、A-1 の板の剛性は他の板に比べ、前方部はそれほど
変わらないが、中央部が硬く、後方部が柔らかいという構造を持っていること
が分かる。そして、後方部の減衰比が他の板に比べ高く、柔らかく、振動が収
まりやすいという構造を有していることが分かる。

第 6 節 前方部の振動試験

6-1 実験方法

A-1 の構造の違いを明確にするために、後方部分の固定振動試験と同様に前方部の固定振動試験を行った。この実験によって前方部分の減衰の違いを見極める。実験装置は後方部試験と同様のものを使用した。



写真 24 前方部分の固定振動試験



写真 25 前方部分の固定振動試験

6-2 実験結果

その結果を以下に載せる。

	固有振動数 (Hz)	減衰比 (%)
A-1	15.24	0.576
O-2	16.37	0.449
O-3	15.59	0.429
O-5	16.03	0.404
O-6	16.09	0.433

表 7 前方部分の振動試験の結果

6-3 考察

結果として、後方部分の振動試験と同様に A-1 の減衰比が一番高くなった。
したがって、A-1 の構造として、

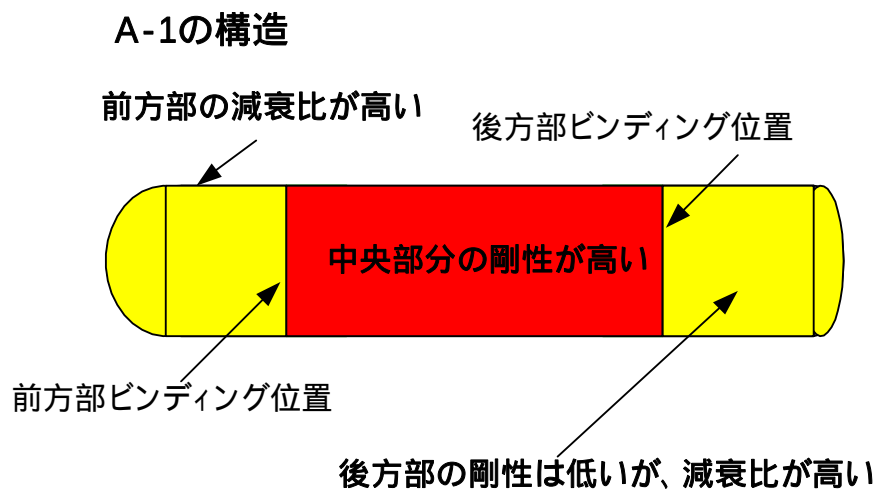


図 32 A-1 の構造

上図の様な構造を考えることができる。中央部の剛性が高く、後方部は低い。
減衰比は前後に関して高く、滑走時には、後方部の固有振動数が他の板よりも低くなっている。

その他の板に関しては、5 章の考察内の構造であると考えられる。

第 3 章 結論

今回、5枚のスノーボードを振動実験、曲げ試験、滑走試験で得られたデータを比較することによって性能のよいとされる A-1 の板の特性の解析を行ってきた。そして得られた結論としては以下の通りである。

1. 実験モード解析を行うことによって、スノーボードの板それぞれの振動特性を同定することができた。
2. スノーボードのブレ振動には、搭乗者、ビンディング、ブーツ、雪面の状況などの非線形システムの影響を大きく受けることが確認できた。とくに、実際の滑走の状況で実験すると、減衰比に関して大きな違いが表れた。
3. 曲げ試験により A-1 の形状自体に違いがあることがわかった。小さな違いではあるが、ヤング率を算出する際に、断面二次モーメントに大きな違いとなり、A-1 の板が単位面積あたりの剛性が最も強いことがわかった。
4. 板のテール部(後方部)ではA-1のスノーボードが最も減衰比が大きいことがわかった。さらに、後方ビンディング部分を固定し、実際の滑走時と同じような固定をすると、A-1 の曲げ振動が他の 4 枚の板よりも振動が収まりやすいことがわかった。これはブレ振動を発生させにくいという A-1 の性能に当てはまると思われる。

5. 実走試験を行い、まだまだ精度が悪いと思われるが、滑走中にスノーボードが受ける加速度を測定することができた。特徴としては A-1 のスノーボードは地面から受ける加速度が多少大きくなっている。スノーボードの前後で比べると、後方部分の方が地面からの加速度をより大きく受けていることが分かった。
6. 実走試験を行うことによって、今まで得ることのできなかった A-1 のスノーボードの、後方部の固有振動数が一番低いという最大の特徴を得ることができた。
7. 後方部分と同様に、前方部分をビンディング固定部で固定し、振動試験を行うと A-1 の減衰比が高くなった。
8. 固有振動数が低い、剛性が高いという一見矛盾した結果から A-1 の設計指針を発見することができた。A-1 は振動を減衰によって抑えようとしている。その他の板は、全体的な剛性を上げることにより振動を減らそうとしているが、減衰が A-1 よりも低く、この差が A-1 と他の板の違いとして現れた。

謝辞

本研究を行うにあたって、研究の場を与えて頂いた担当教授である長松昭男教授に、研究材料を提供して頂いた(株)小賀坂スキー製作所 山田義人様に、ともにスノーボードの研究を行ってくれた同長松研究室、谷口大樹君、内満大輔君、酷寒の中、滑走試験を手伝ってくれた栗原祥吾君、金松祐介君、森田健太郎君、西川卓君、そしてなにより、親身に研究の助言、実験方法、理論を教えて下さった岩原光男助手に感謝の意を捧げます。

参考文献

- 1) 長松昭男, "モード解析入門", (2001), コロナ社
- 2) JIS S 7019-1987, アルペンスキー試験方法
- 3) 清家政一郎, "工業基礎材料力学", (2000), 共立出版社
- 4) 小林一行, "MATLAB ハンドブック", (2004), 秀和システム
- 5) "Ski and Snowboard Vibration"
Bard Glenne, Anthony Derocco, Gary Foss
Sound and Vibration, Jan. 1999.
- 6) "Better Snowboards by Design"
E. Blair Sutton