

FRPバットの打撃時におけるしびれと振動の関係

山田, 弘晃 / YAMADA, Hiroaki

(発行年 / Year)

2012-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2012-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

2011 年度 修士論文

FRP バットの打撃時における
しびれと振動の関係

The relation of numbness and vibration at batting of
FRP bats

指導教員

長松 昭男

岩原 光男

新井 和吉

法政大学大学院工学研究科

機械工学専攻修士課程

10R1147 山田 弘晃

Hiroaki YAMADA

目次

1 緒論	3
1.1 研究背景・目的	4
1.2 研究対象	5
1.3 研究方法	6
2 実験モード解析	7
2.1 概要	8
2.2 使用機器	9
2.3 支持条件	11
2.3.1 自由支持	11
2.3.1.1 実験結果	13
2.3.1.2 考察	15
2.3.1.3 節の位置の確認	16
2.3.2 人の手による支持	17
2.3.2.1 実験結果	18
2.3.2.2 考察	25
2.3.3 シリコングリップによる支持	26
2.3.3.1 シリコングリップの作製	26
2.3.3.1 実験結果	29
2.3.3.2 他の支持条件との比較	30
2.3.3.3 考察	32
3 打撃中心の算出	35
3.1 目的	36
3.2 定義と算出式	36
3.2.1 重心の位置の特定	38
3.3 二本吊り試験	39
3.4 使用機器	42
3.5 実験精度の検証	43
3.5.1 打撃中心位置付近の確認	45
3.6 考察	46
4 理論モード解析	47
4.1 概要	48
4.2 内部構造の調査	49

4.3 FEM モデルの作成.....	51
4.4 実験モード解析の結果と理論モード解析の比較.....	54
4.4.1 重りの有無について.....	57
4.4.2 支持状態の検討.....	58
4.5 考察.....	62
5 実打試験.....	63
5.1 目的.....	64
5.1.1 試験方法.....	64
5.1.2 使用機器.....	66
5.1.3 実験結果.....	68
5.1.4 平均結果による比較.....	73
5.1.5 考察.....	77
5.2 実打アンケート.....	78
5.2.1 アンケート項目.....	78
5.2.2 アンケート結果.....	79
5.2.3 考察.....	79
6.結論.....	80
7.今後の課題.....	82
参考文献.....	83
謝辞.....	84

1 緒論

1.1 研究背景・目的

野球やソフトボールの打撃の際、打点が打撃に適している範囲を外れたとき手にしびれを感じることもある。特に強い打撃の際には、手の骨を骨折することもあるのでしびれというよりは痛みに近いものである。近年では金属製バットよりも軽量で飛距離が伸びやすく、打撃に適した範囲が広いこともありゲーム性向上への期待から注目されているFRP製バットが普及し始めているが、問題点の一つとして上述のしびれが強いと言われている。そのためこのしびれをなくすことは重要な課題となっている。しかし、現在このFRP製バットは職人の経験と勘で作られており、しびれるバットかしびれないバットかは作ってみなければわからない。

上述のことから本研究では、しびれの強さの違う三種類のFRP製ソフトボール用バットにおいて主に実験モード解析¹⁾を行うことにより、振動学の観点からしびれのメカニズムを解明し、しびれないバットの条件を明らかにすることによって改善方法を見つけることを目的とする。

1.2 研究対象

本研究で対象としたのは MIZUNO 製の FRP 製ソフトボール用バット三種類である。この三種類の FRP 製バットはしびれの強さが弱いほうから順に SY14・AL・M と名称が付けられており、図 1.1 に実物の写真，表 1.1 に寸法諸元を示す。

また，製作メーカーによるしびれの強さの調査方法は，ピッチングマシンとの距離及びボールの速度を固定し，被験者にバットを持たせ，同じ箇所を複数回ボールを当てることによって得られたアンケート調査の結果である。



図 1.FRP 製ソフトボール用バット

表 1 バットの寸法

Bat	Numbness	Length [mm]	Diameter Grip [mm]	Diameter Head [mm]	Mass [g]
SY14	Low	836	20.7	56.7	641
AL	Middle	835	21.6	56.8	645
M	High	837	21.4	57.0	654

1.3 研究方法

本研究が行ったのは初めに自由支持状態における状態で打撃加振試験を行い、固有振動数・モード減衰比・周波数応答関数・モード形状の同定を行った。続いて支持条件を「人の手による支持」に変更して加振試験を行い、モード特性の変化の確認を行った。「人の手による支持」では個人差によるバラつきが見られたのでシリコーンによるグリップの作製を行い、一定の支持条件の下で打撃加振試験を行った。続いて「打撃中心」の同定を行ったが求めるために必要となる慣性モーメントを「二本吊り」という試験方法を用いて同定を行った。続いて有限要素法を用いてバットモデルの作製を行い、モード形状の確認を行った。最後に野球経験者に協力を求め実打試験を行い、実際に打つ事によって得られる結果の同定を行った。また、しびれに関するアンケートの実施を行った。

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。本研究では前者の実験モード解析を主に用いた。

2 実験モード解析

2.1 概要

実験モード解析とは振動試験によって得られた周波数応答関数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 言語を使用して作成した実験モード解析システムを使用する。

実験および実験モード解析の手順を図 2-1 に示す。設定した加振点をインパルスハンマで加振し、グリップエンドに取り付けた加速度ピックアップで応答を取る。得られた加振・応答データを FFT アナライザー及びノートパソコンを使用してフーリエ変換及びデータ収録を行い、MATLAB 言語を使用して作成された実験モード解析システムを使用してモード特性を同定する。本研究では「自由支持」「人の手による支持」「シリコングリップによる支持」の 3 つの支持条件で行った。加振点の数などの詳細はそれぞれ後述する。

ここでは、ノイズによる影響を下げるために同加振点における加振回数を 5 回ずつ行い、それを平均したものを結果としている。

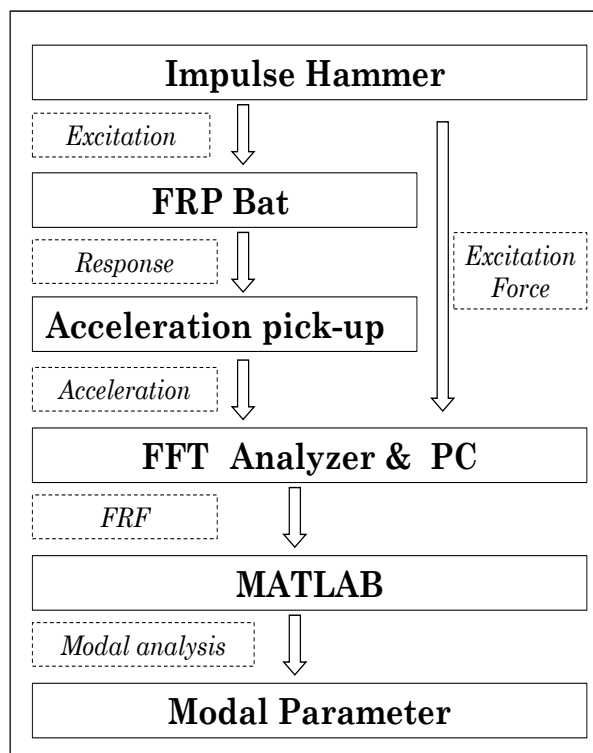


図 2-1 実験モード解析の流れ

2.2 使用機器

本項目で実験に使用した機器を図 2-2～2-5 に示す.



図 2-2 Lenovo 社製ノート PC



図 2-3 RION 社製 SA-01 分析処理機



図 2-4 小野測器社製インパルスハンマ



図 2-5 PCB 社製加速度ピックアップ

2.3 支持条件

2.3.1 自由支持

まず初めに自由支持状態での加振試験を行った。図 2-6 は試験の様子である。ゴムチューブにバットの 2 箇所を吊るし、グリップエンドにピックアップを装着し加振点を 35 点，応答点を 1 点で行った。自由支持における加振試験から得られた実験結果を用いてしびれの強さの異なるバットの比較を行った。

また，本研究では最も人の手に伝わりやすいと考えられる 1 次モードに着目して比較・検討を行っている。

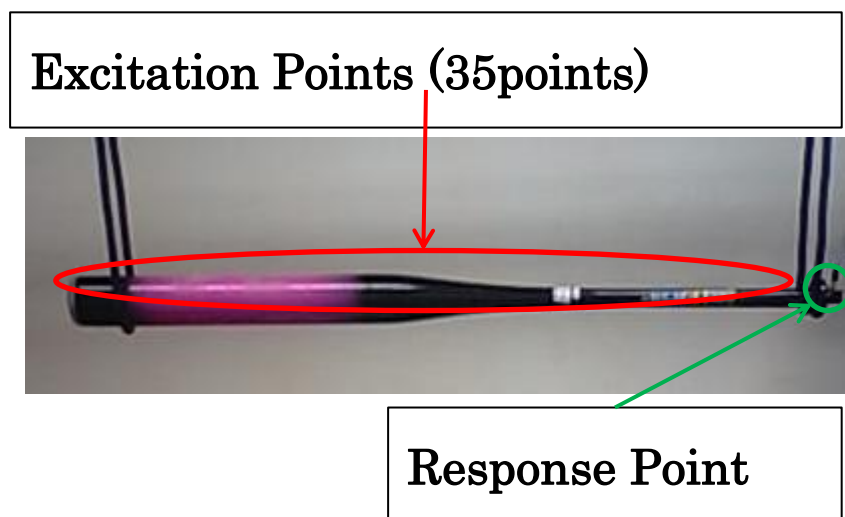


図 2-6 自由支持試験

実験の試験点を図 2-7 に示す. 長手方向を軸として 1 点目 (グリップエンドから 15mm) の箇所を基準とし, 28 点目までは 20mm 間, 28 点目から 34 点目までは 40mm 間, 35 点目はバットとキャップの境目で 34 点目とは 30mm の間隔で試験点を設定した.

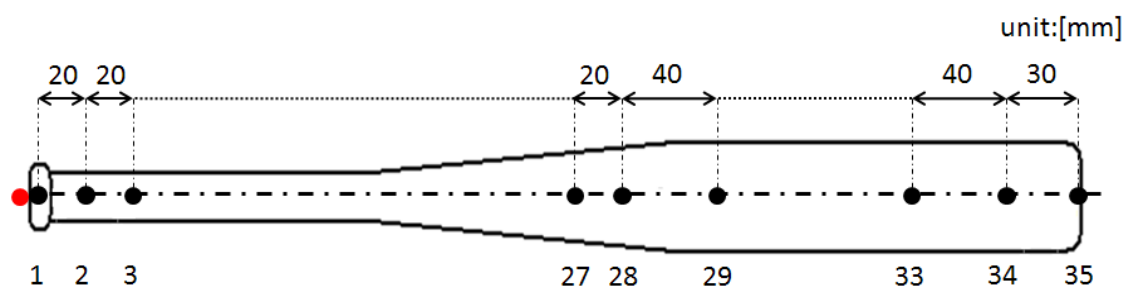


図 2-7 自由支持の加振点

グリップエンド端に応答点を固定し, ハンマを移動させる加振点移動する手法で実験を行った. 加振点である 35 点を面に対して加振を行った.

2.3.1.1 実験結果

自由支持の周波数応答関数の結果を図 2-8 および表 2-1 に示す。

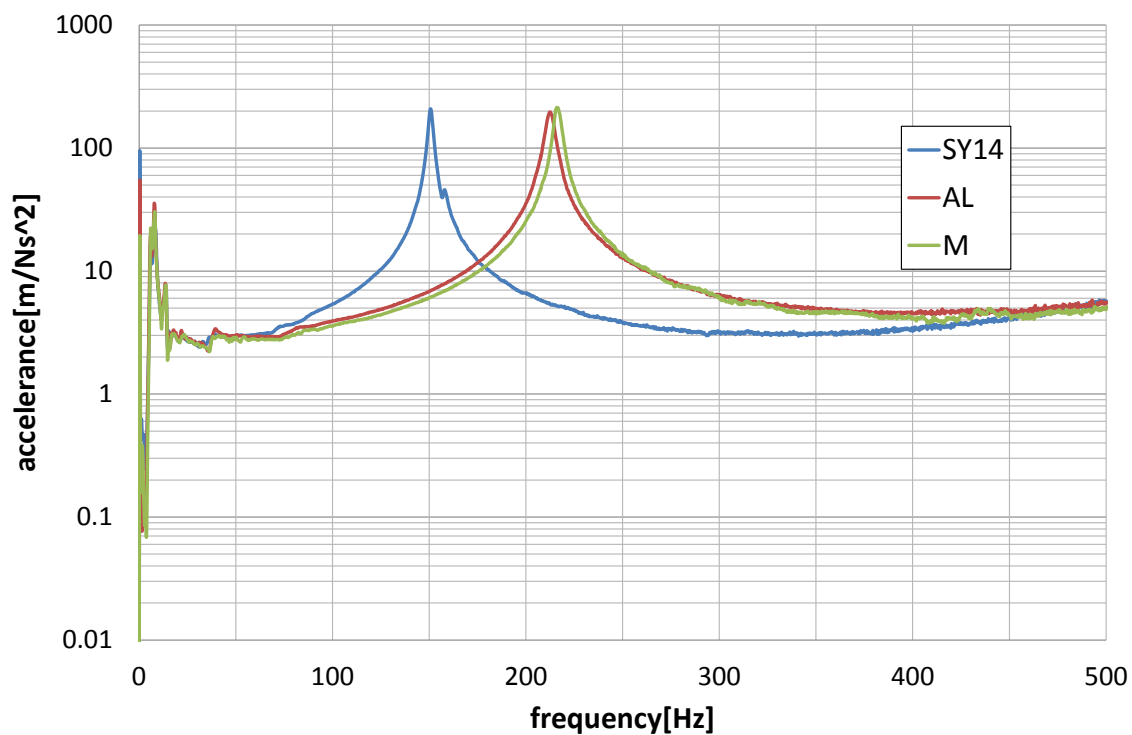


図 2-8 自由支持の周波数応答関数

表 2-1 自由支持の数値結果

Bat	Natural Frequency[Hz]	Modal Damping Ratio[%]
SY14	150.7	0.842
AL	212.6	1.076
M	216.4	1.015

打撃試験によって得られた一次モード形状を図 2-9 に示す.

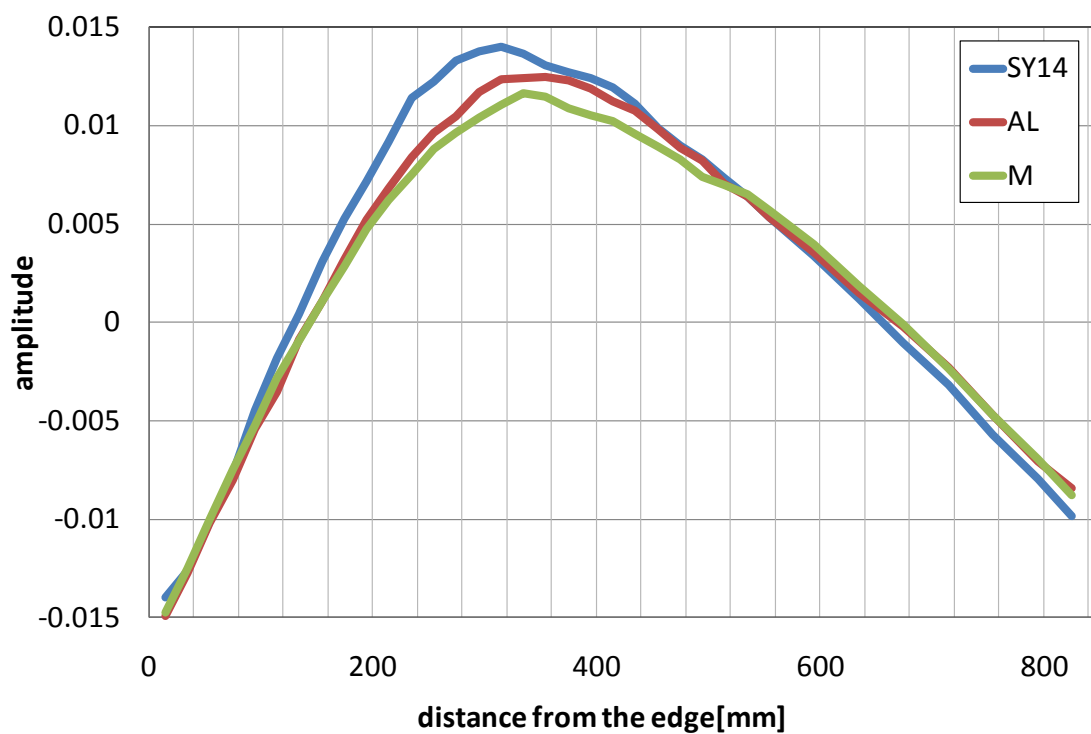


図 2-9 自由支持のモード形状

2.3.1.2 考察

図 2-8 の一次における固有振動数の結果を見るとしびれが小さいと言われている SY14 が他のバットと比べて約 60Hz 小さくなる結果となった。また振幅の大きさではバットによる差異が見られなかった。このことからバットのしびれは振幅ではなく固有振動数が影響するのではないかと考えられる。

減衰系での固有振動数 f は

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \dots (1)$$

と表すことが出来る。(m はモード質量, k はモード剛性)

バットの質量差は最大でも 13g(SY14 と M)なので固有振動数の差は剛性が大きく影響しているのではないかと考えられる。

また図 2-9 のモード形状の比較では、3 種類のバットの一次固有モードはどのバットも一次曲げモードを示しており、モード形状による大きな違いは見る事が出来なかった。またモード形状の振幅では、しびれの強さと振幅の大きさは逆の関係になりしびれの強さと振幅の大きさは関連性があまりないのではと考えられる。

2.3.1.3 節の位置の確認

図 2-9 のモード形状で示す節の位置の確認を行った。どのバットも 30 点目(635mm)から 31 点目(675mm)の間に節があるのでその間に特化して加振試験を行い節の位置を特定した。加振点は 5mm おきの計 9 点で行った。図 2-10 および表 2-2 に結果を示す。

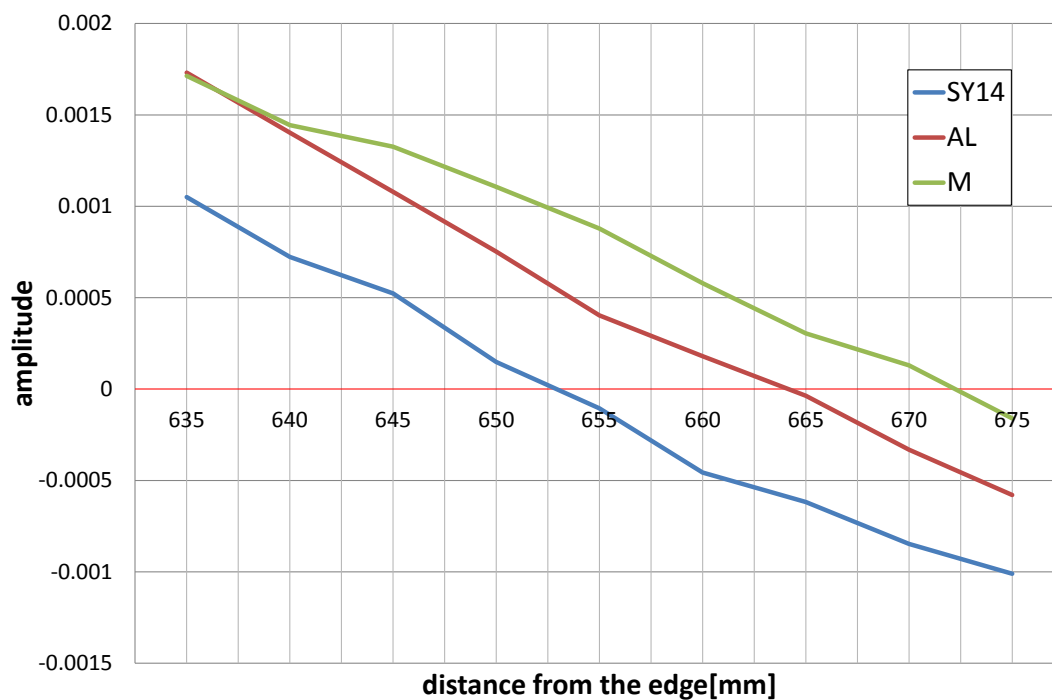


図 2-10 節の位置

表 2-2 数値による節の位置

Bat	Node Point[mm]
SY14	653
AL	664
M	672

2.3.2 人の手による支持

モード特性の同定は前項の自由支持状態で行って得られたが、実際にバットの使用は図 2-11 のように両手を持った状態で支持をする。本項では自由支持状態と人の手に持った状態でどのような変化が生じるかの考察を行った。支持条件を自由支持から人の手による支持に変更し、前項と同様に加振試験を行いモード特性の比較を行った。自由支持状態での加振点は 35 点で試験を行ったが、人の手による支持では持ち手の負担を考慮し、図 2-12 に示すように加振点を 12 点に減らして行った。応答点は引き続きグリップエンドに設置する。また人の手による個人差を考慮し、複数人の持ち手で加振試験を行った。今回は 5 人にそれぞれ持ってもらい、それぞれ Hand①～⑤と示す。



図 2-11 人の手による支持試験

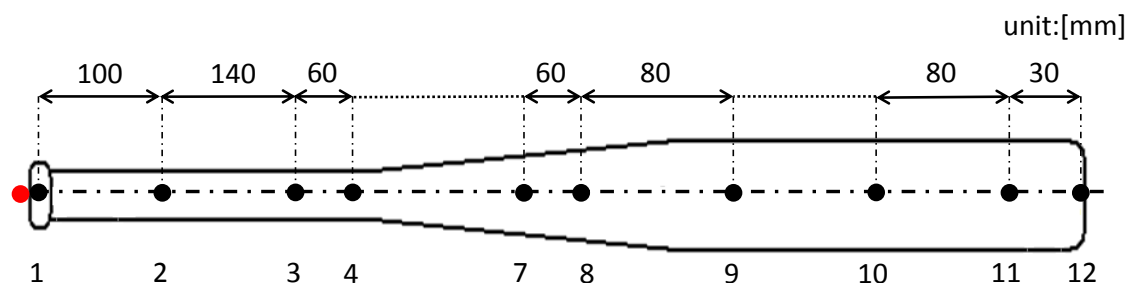


図 2-12 人の手支持の加振点

2.3.2.1 実験結果

各 Hand の周波数応答関数の結果を図 2-13～2-17 に示す.

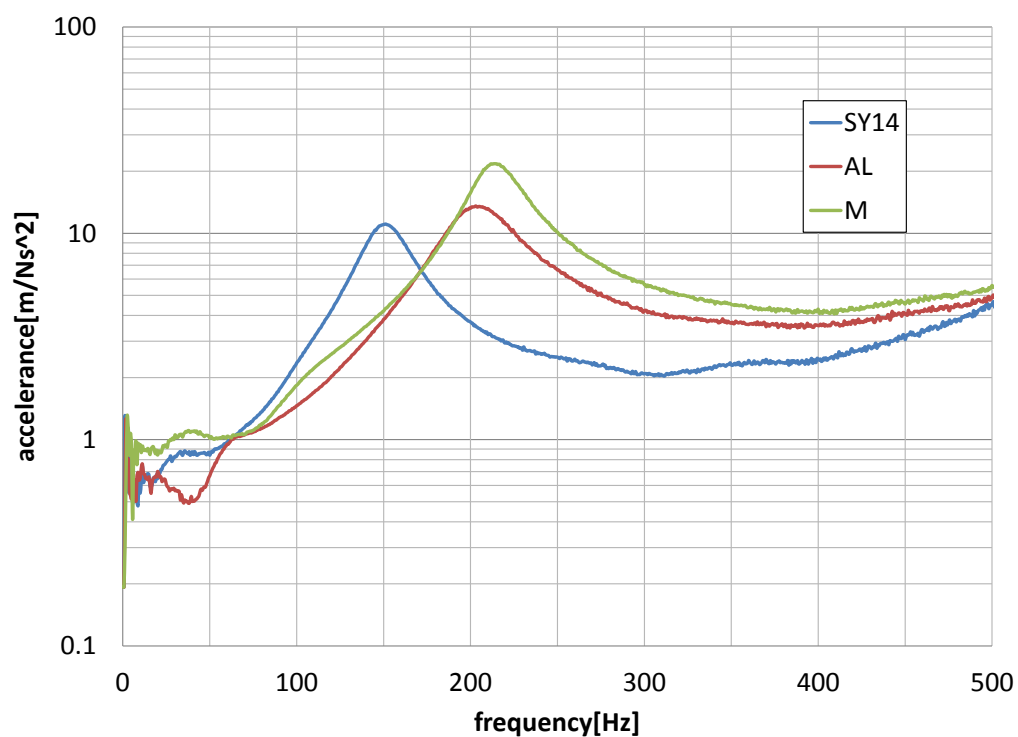


図 2-13 Hand①における周波数応答関数

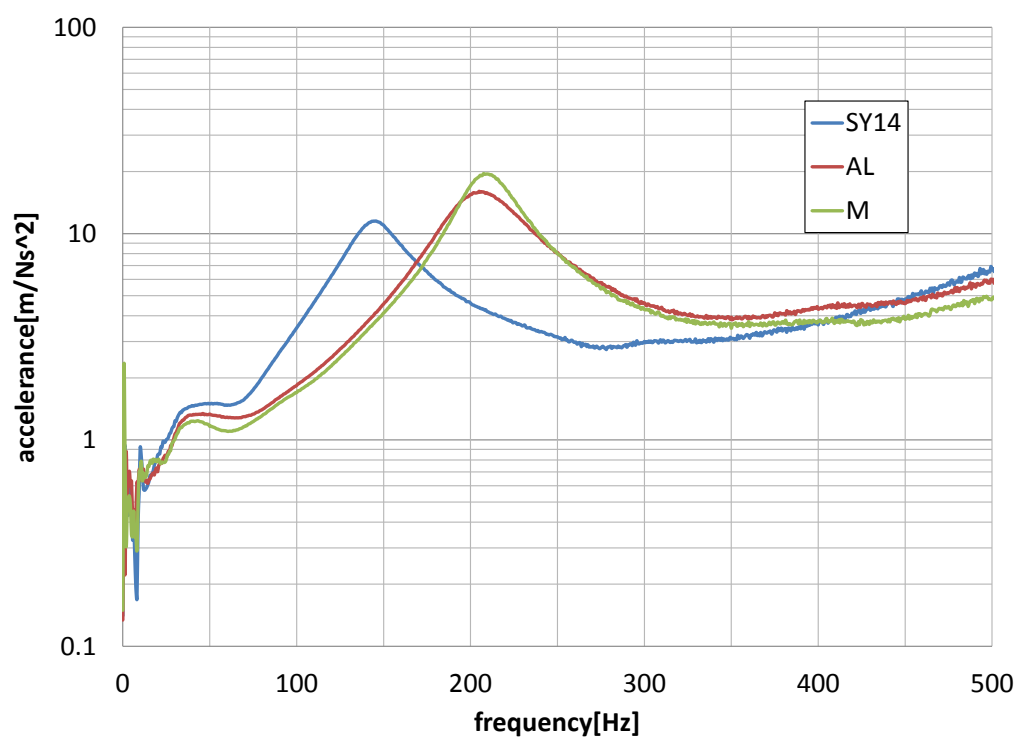


図 2-14 Hand②における周波数応答関数

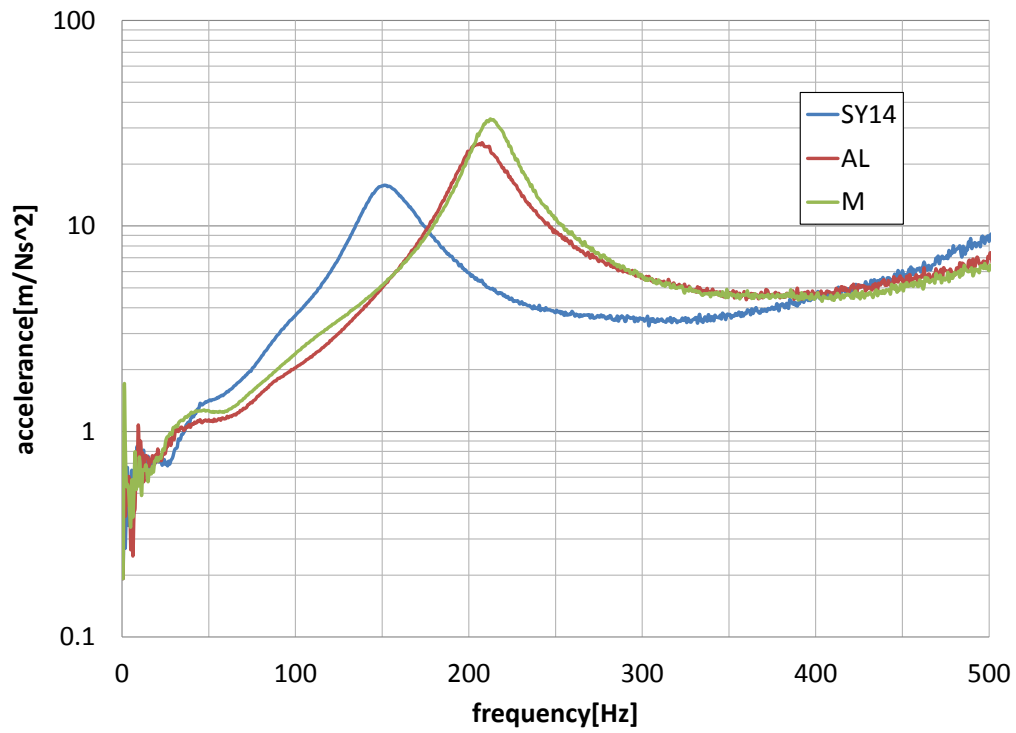


図 2-15 Hand③における周波数応答関数

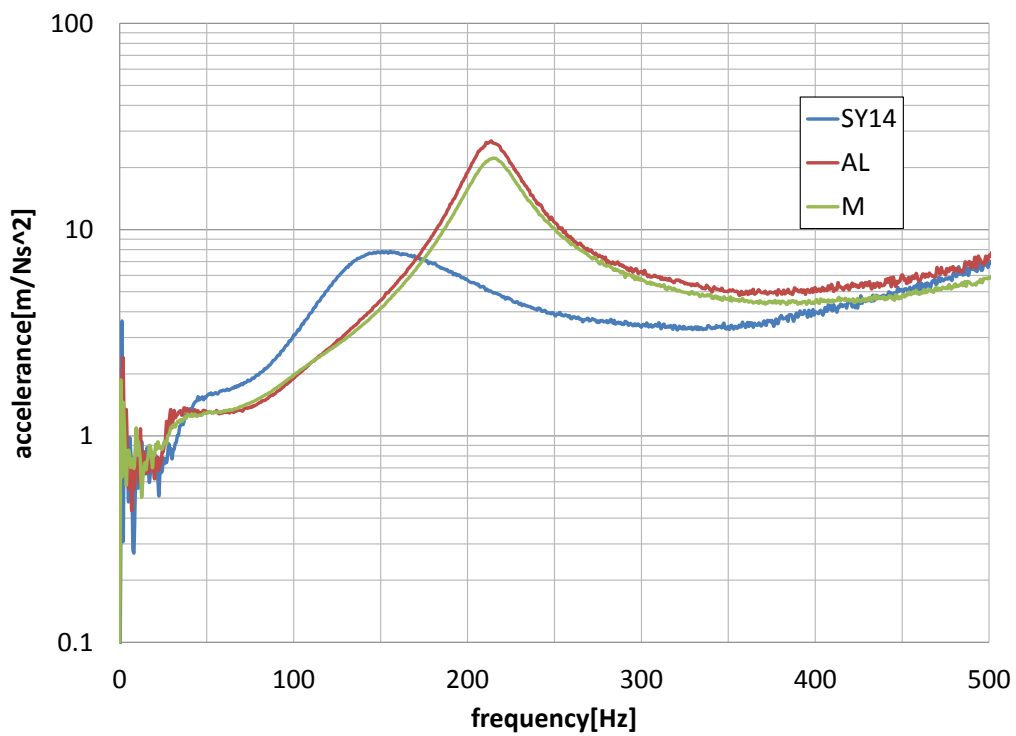


図 2-16 Hand④における周波数応答関数

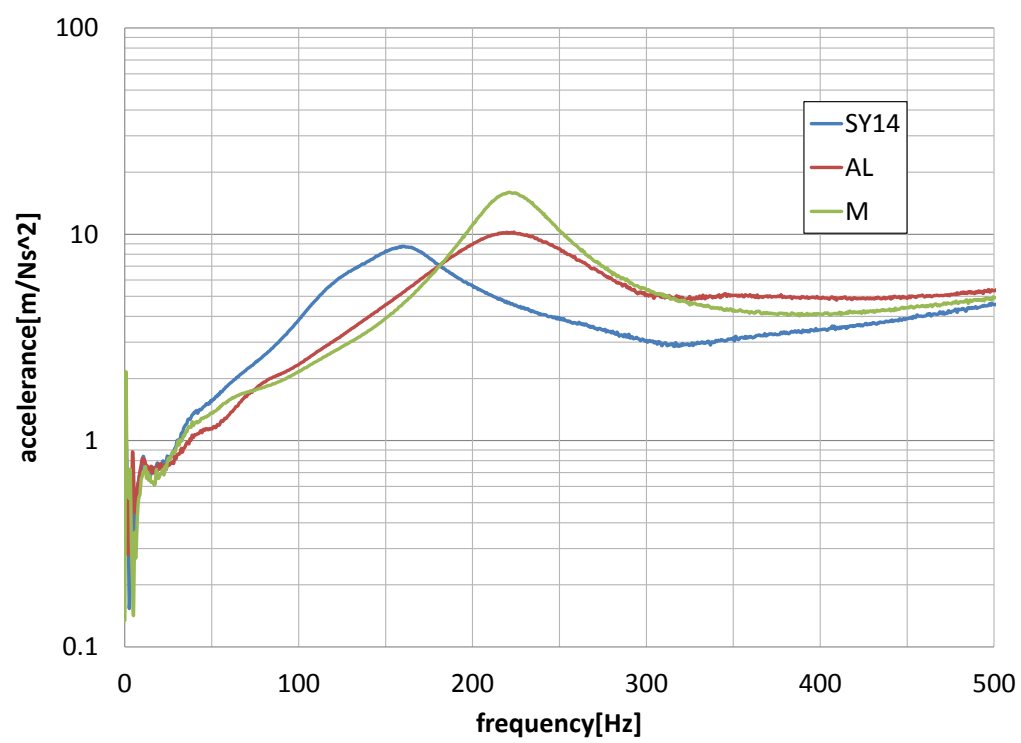


図 2-17 Hand⑤における周波数応答関数

各 Hand の一次のモード形状の結果を図 2-18～2-22 に示す.

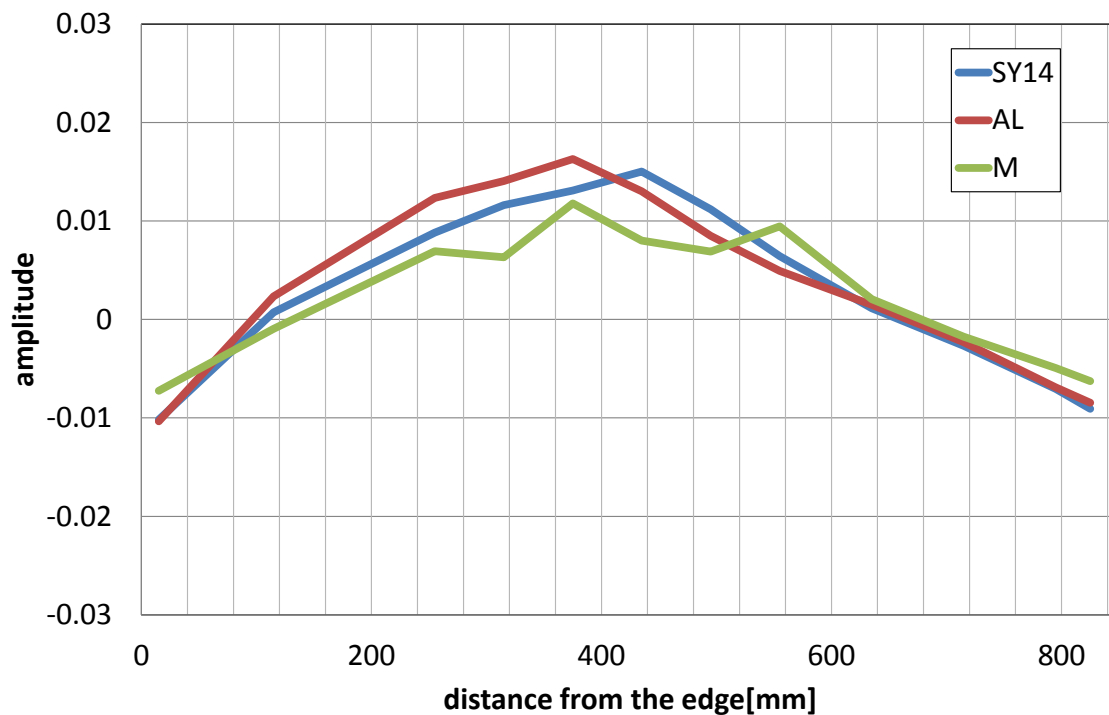


図 2-18 Hand①におけるモード形状

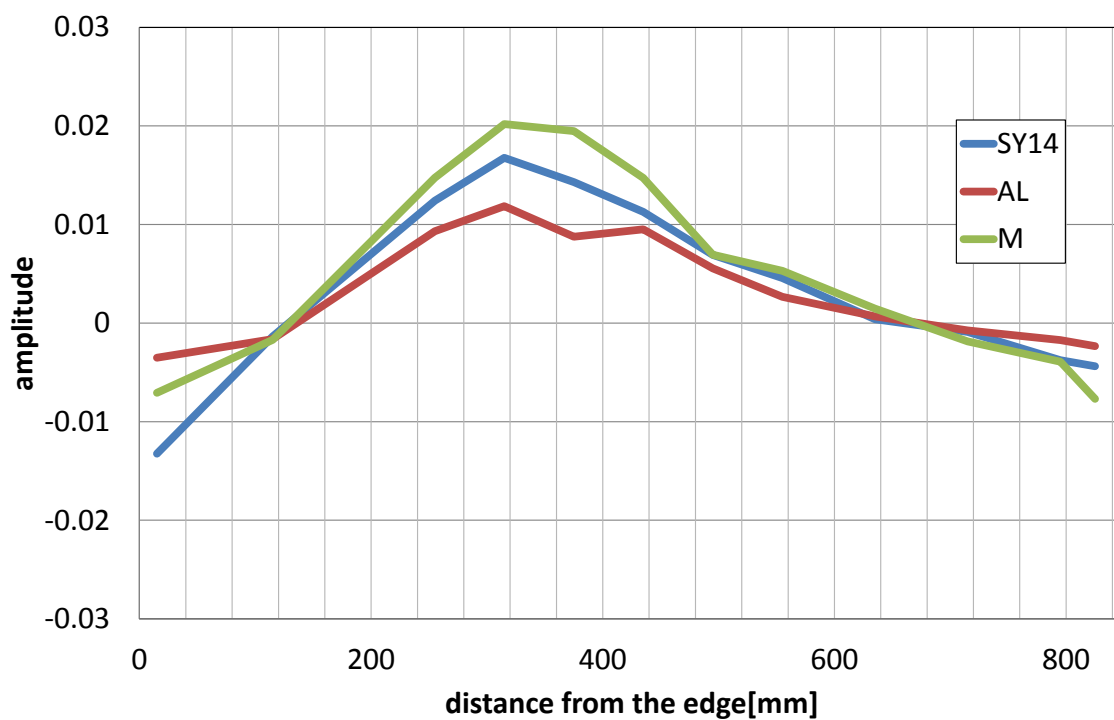


図 2-19 Hand②におけるモード形状

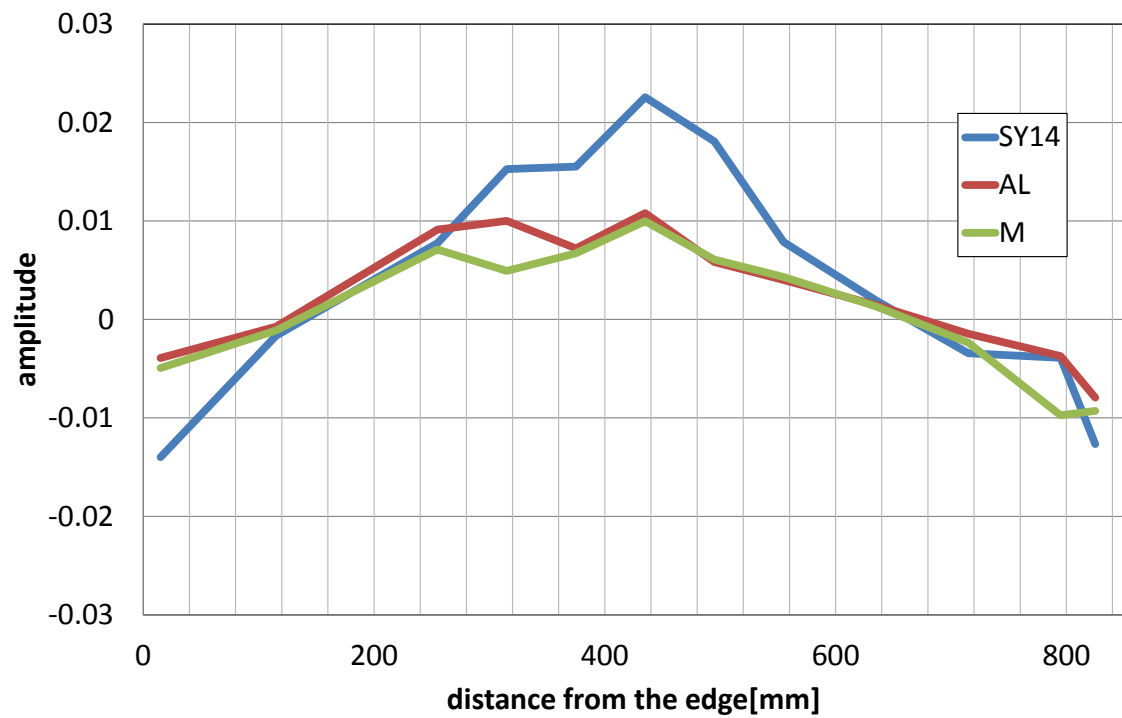


図 2-20 Hand③におけるモード形状

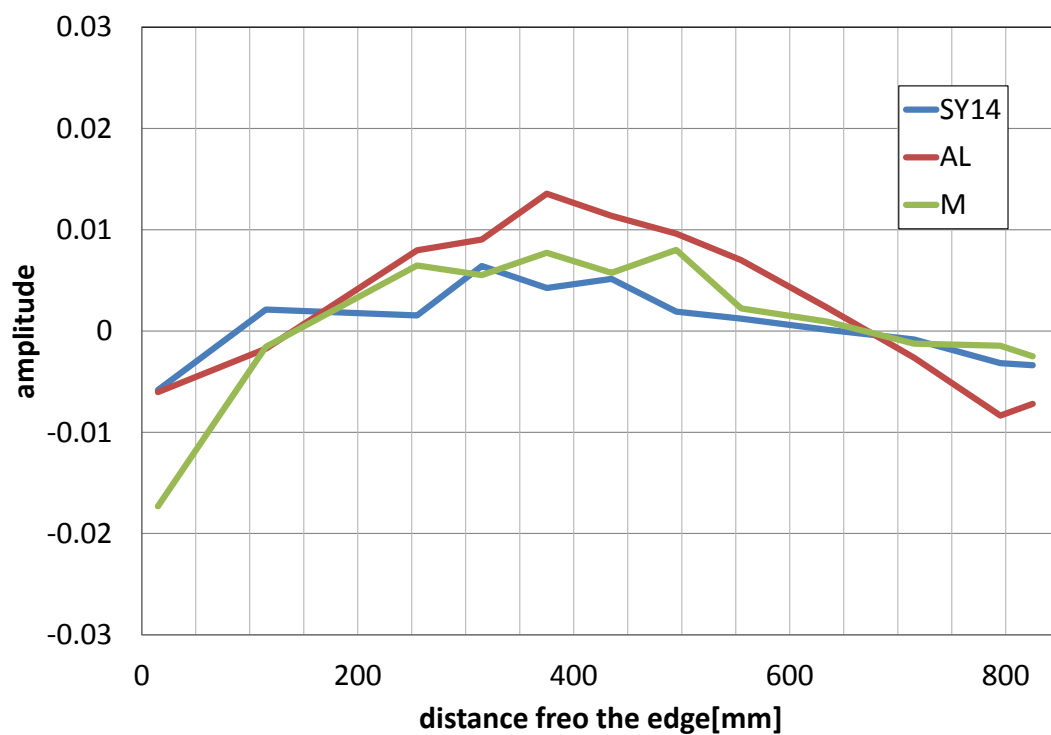


図 2-21 Hand④におけるモード形状

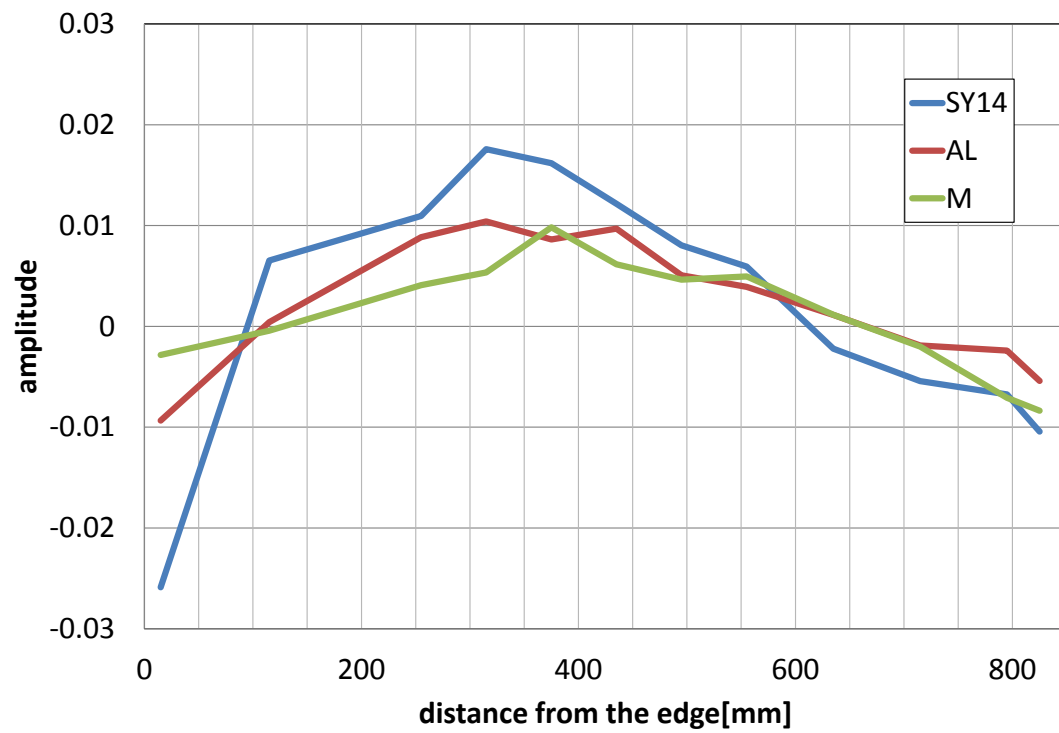


図 2-22 Hand⑤におけるモード形状

自由支持との周波数応答関数およびモード形状の比較結果を図 2-23, 2-24 に示す.

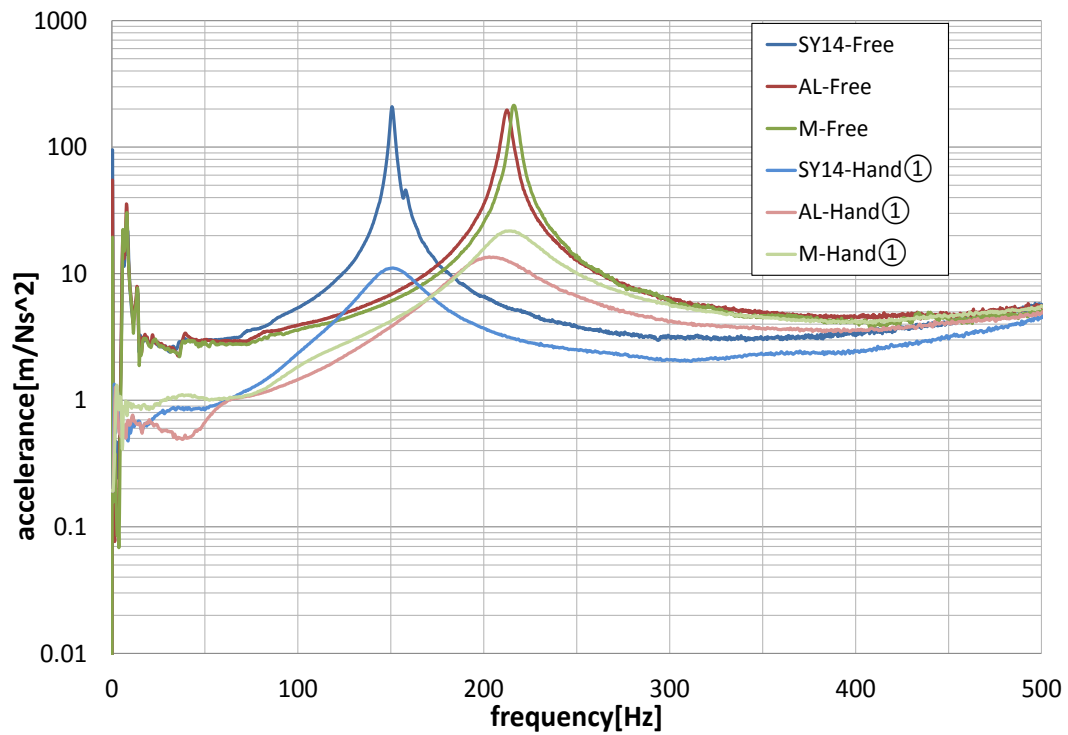


図 2-23 自由支持と Hand①における周波数応答関数の比較

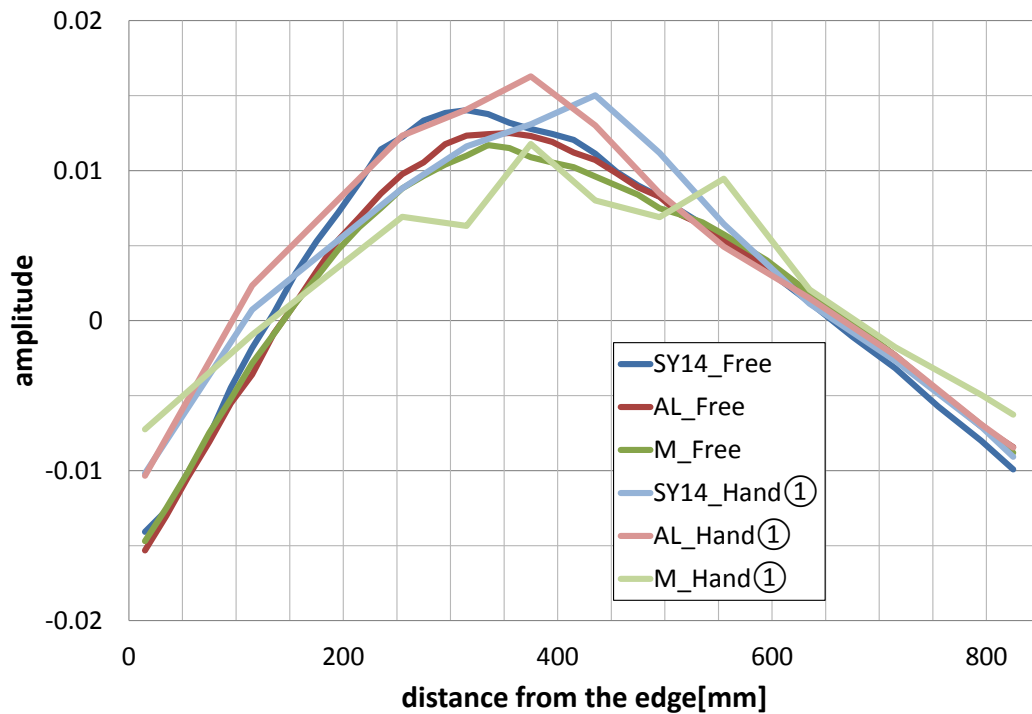


図 2-24 自由支持と Hand①におけるモード形状の比較

2.3.2.2 考察

まず周波数応答関数の結果では持ち手やバットの違いに関わらず、図 2-23 の自由支持と人の手の支持の周波数応答関数による比較が示すようにアクセランスの値が減少していると同時に共振峰が自由支持と比べてなだらかな傾斜になっている。すなわちバットは人の手に握られることによって減衰が加わり、影響を受けていることが分かる。またバットごとに比較すると Hand④の結果を除き SY14 の値が一番小さくなり、M の値が一番大きいという結果が得られた。

続いてモード形状の結果だが自由支持と同じく一次曲げの形状が得られたが持ち手によって形状に大きなバラつきが出てしまった。この原因として考えられることは支持しているのがあくまで人の手であるために常に一定の力でバットを握り続けることを維持することが不可能であることが考えられる。

表 2-3、2-4 に各支持状態での固有振動数及びモード減衰比の結果を示す。固有振動数は持ち手に関わらず大きな差異は見られなかった。しかしながらモード減衰比においては大きなバラつきが見られる結果となった。特に SY14 の減衰の増加は他の 2 本と比べて大きくなりやすい傾向が見られた。

人の手による支持条件で加振試験を行ったが同一人物でも 3 本のバットを常に一定の力で握り続けることは困難である。常に同じ力でバットを支持し、一定条件下で加振試験を行うためにシリコングリップによる支持を行った。

表 2-3 自由支持と人の手による支持の固有振動数[Hz]

Bat	Free	Hand①	Hand②	Hand③	Hand④	Hand⑤
SY14	150.7	150.5	144.8	150.8	155.2	135.5
AL	212.6	201.6	205.3	206.5	211.7	218.6
M	216.4	215.2	209.1	212.5	213.6	220.9

表 2-4 自由支持と人の手による支持のモード減衰比[%]

Bat	Free	Hand①	Hand②	Hand③	Hand④	Hand⑤
SY14	0.84	11.37	9.65	11.65	16.24	23.12
AL	1.08	11.58	8.13	7.13	7.57	15.05
M	1.02	7.30	8.59	6.00	6.08	11.89

2.3.3 シリコングリップによる支持

2.3.3.1 シリコングリップの作製

前項で行った人の手による支持では結果に個人差によるバラつきが見られたため、一定の条件下でバットを支持した状態での実験結果を得ることを目的に固定具の製作を行い、同様の加振試験を行った。

初めに持ち手を固定するためのシリコングリップの製作を行った。作製したシリコングリップの形状及び寸法諸元を図 2-25、表 2-5 に示す。用いたシリコンの材料は旭化成ワッカーシリコン株式会社製の RTV-2 VP7550 であり、マネキンの製作などに用いられるシリコンである。シリコングリップの径は、外形は治具の隙間が出来ないように埋まるように、内径は各バットのグリップの径にそれぞれ合わせている。

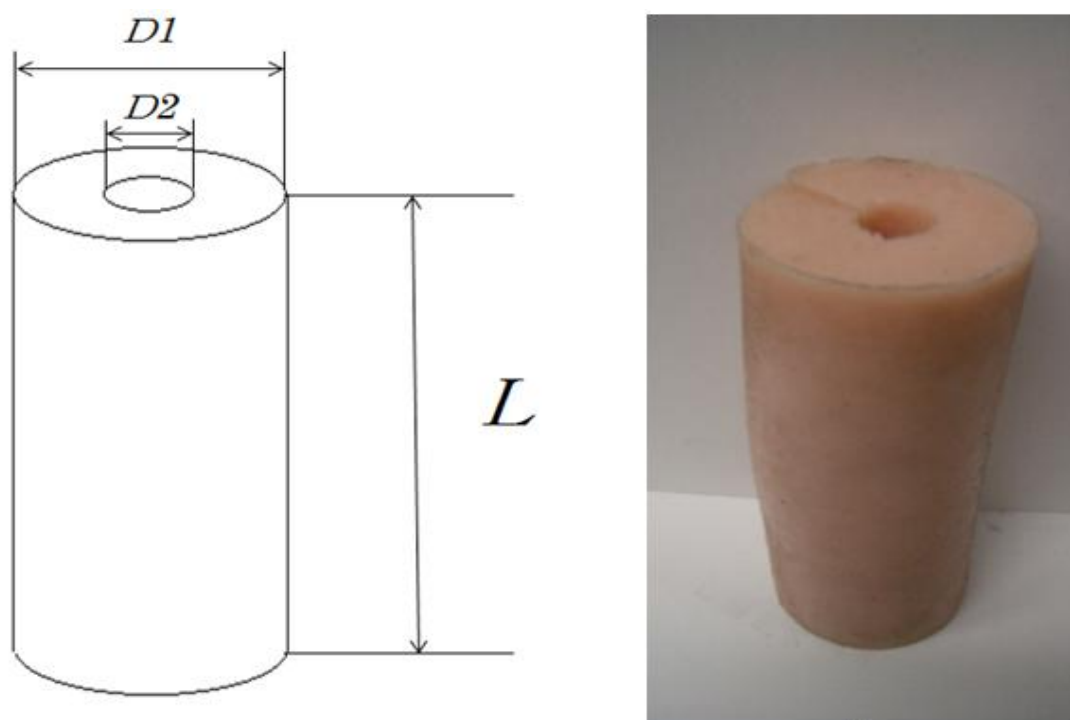


図 2-25 シリコングリップ

表 2-5 シリコングリップの寸法

Bat	L[mm]	D1[mm]	D2[mm]
SY14	200	76	20.7
AL			21.6
M			21.4

シリコーングリップだけでは固定が出来ないので図 2-26 のような治具を用いた。これは過去、金属バットの実験に用いられたもので治具の中にグリップを入れ、その上に蓋を乗せ 4 箇所をボルトで止めて固定する必要がある。今回のボルトの固定にはトルクレンチを用いて全て 10Nm の力で締め付けを行った。この固定具の質量は約 32kg とバットの質量と比較して圧倒的に重いのでバットのモード特性に影響を与えないものと考えることが可能である。

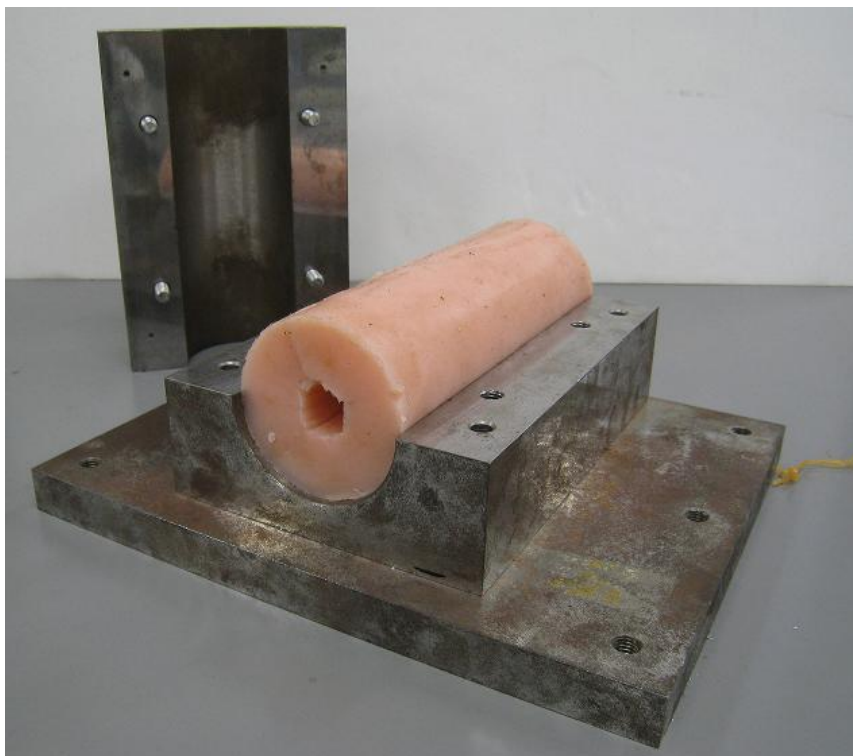


図 2-26 固定具

応答点は引き続きグリップエンドの 1 点で行い, 固定具の大きさの都合上で加振点は人の手による支持から固定具と重なる 1 点を減らした 11 点で行った.

図 2-27 に実際の試験の様子, 図 2-28 に加振点及び間隔を示す.

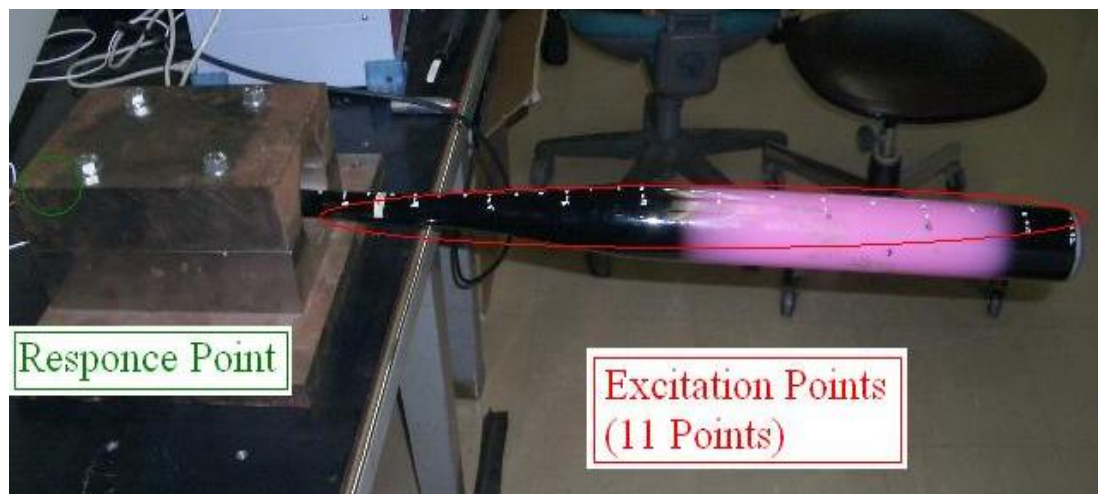


図 2-27 シリコングリップによる支持試験

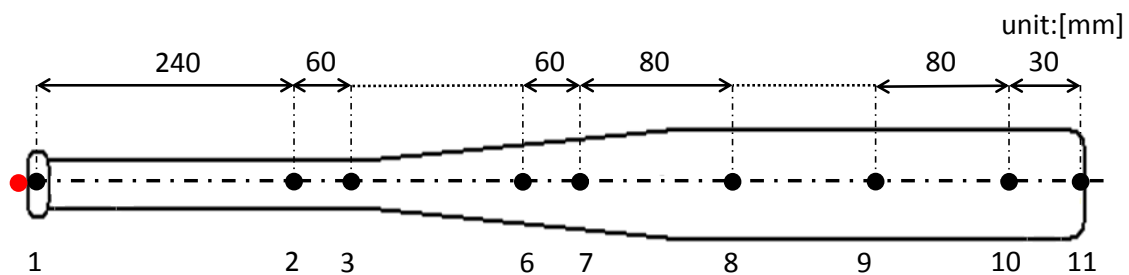


図 2-28 シリコングリップ支持の加振点

2.3.3.1 実験結果

シリコングリップによる周波数応答関数およびモード形状の結果を図 2-29, 30 に示す。

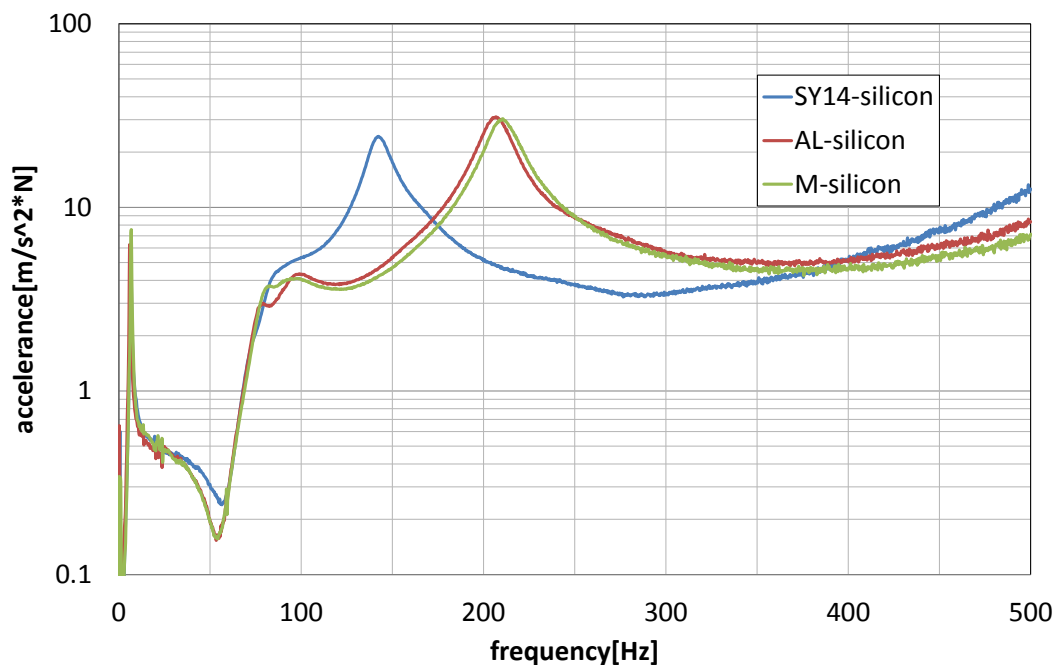


図 2-29 シリコングリップにおける周波数応答関数

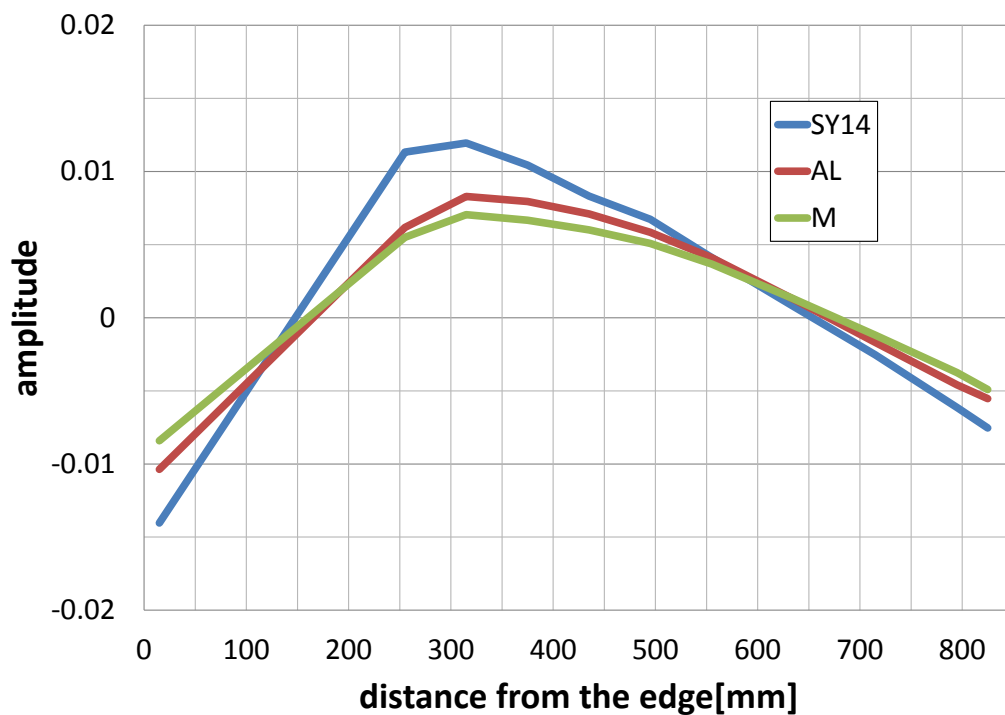


図 2-30 シリコングリップにおけるモード形状

2.3.3.2 他の支持条件との比較

シリコングリップと他の支持状態の周波数応答関数の比較結果を図 2-31, 32 に示す.

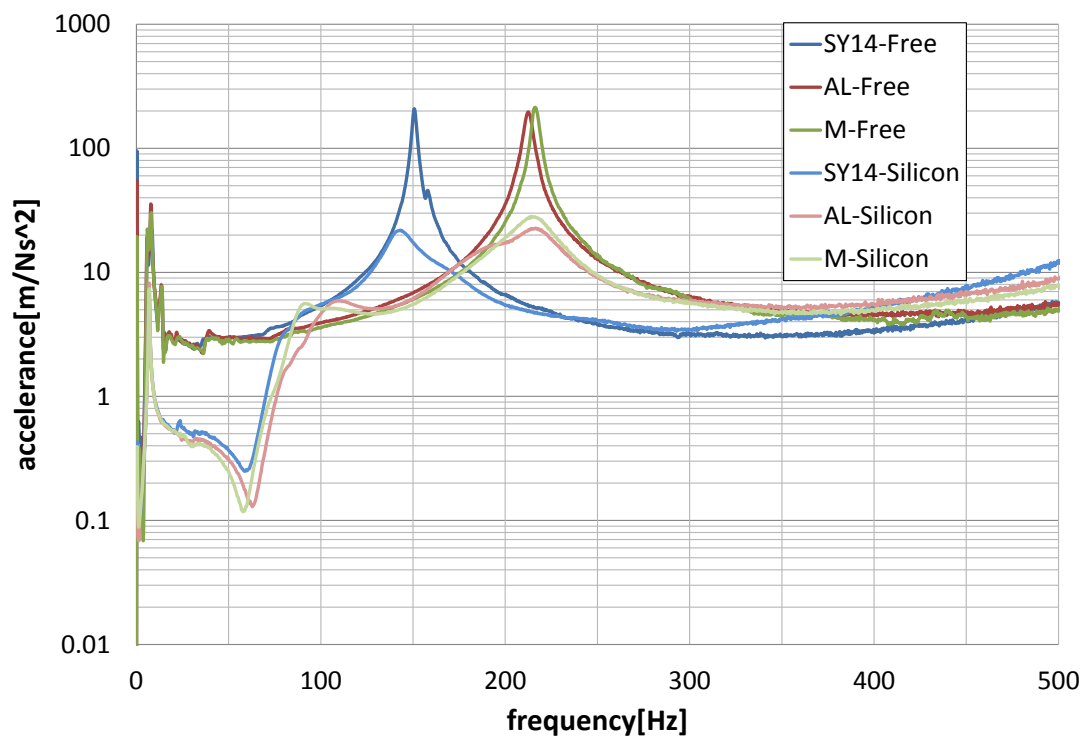


図 2-31 自由支持とシリコングリップの支持における周波数応答関数の比較

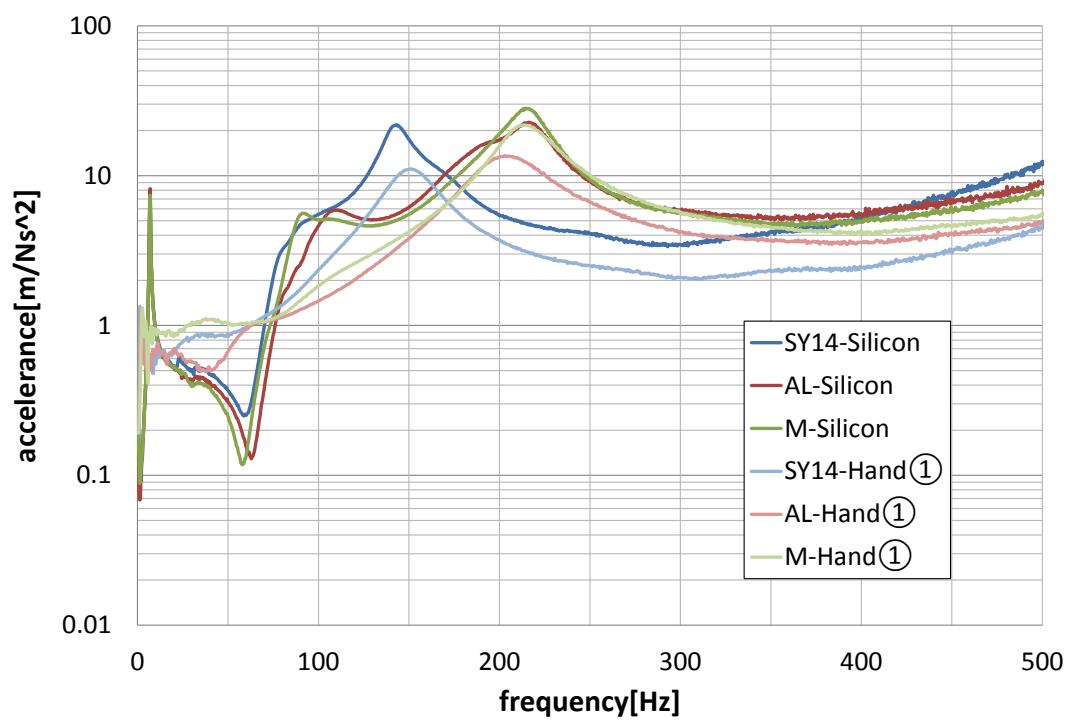


図 2-32 人の手支持とシリコングリップの支持における周波数応答関数の比較

シリコングリップと他の支持状態のモード形状の比較を図 2-33, 34 に示す。

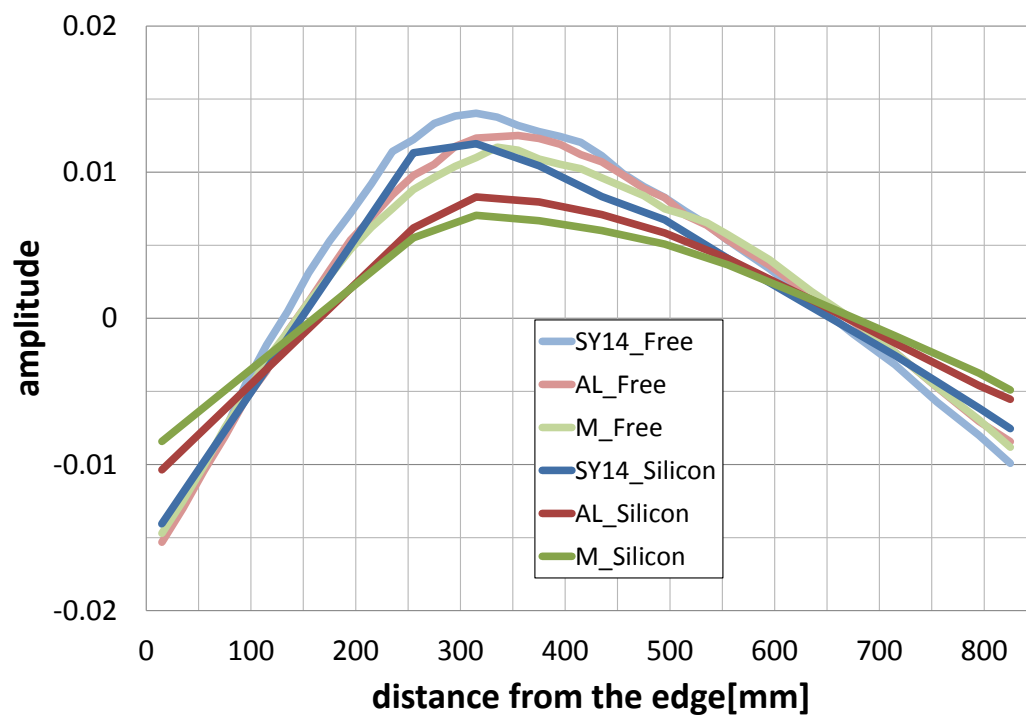


図 2-33 自由支持とシリコングリップ支持によるモード形状の比較

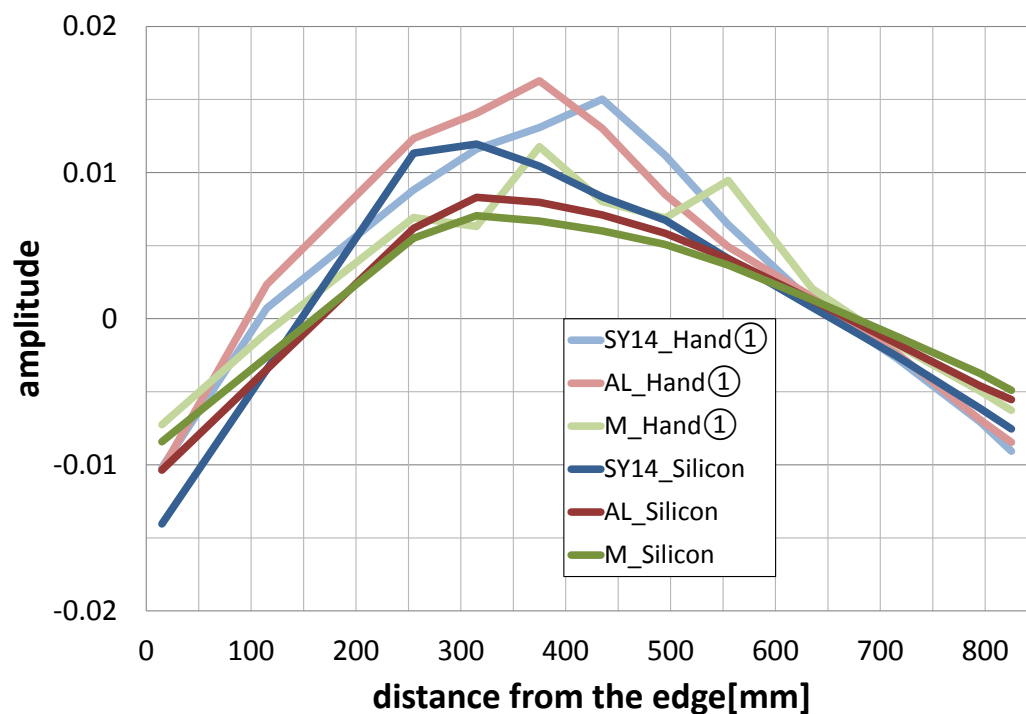


図 2-34 人の手支持とシリコングリップ支持によるモード形状の比較

2.3.3.3 考察

一定条件下による加振試験を行うという目的に関しては達成されたと言える。周波数応答関数による人の手による支持と比較すると 50Hz から 100Hz 付近で出なかった反共振が出た。これはシリコングリップの形状や剛性などの物性が影響したと考えられる。固定具は 32kg とバットと比較してかなりの重さがあるため影響は考えにくい。

またモード形状では SY14 が他の 2 本と比べて振幅が大きくなった。シリコングリップの影響を受けているとすれば SY14 は他のバットよりも固有振動数がシリコングリップの固有振動数に近いから影響したと考えられる。

表 2-6 シリコングリップ支持による結果

Bat	Natural Frequency[Hz]	Modal Damping Ratio[%]
SY14	142.3	4.89
AL	204.2	10.46
M	205.6	9.91

2.4 加振試験の結果

各支持状態の固有振動数の結果を図 2-35 および表 2-7 に示す。

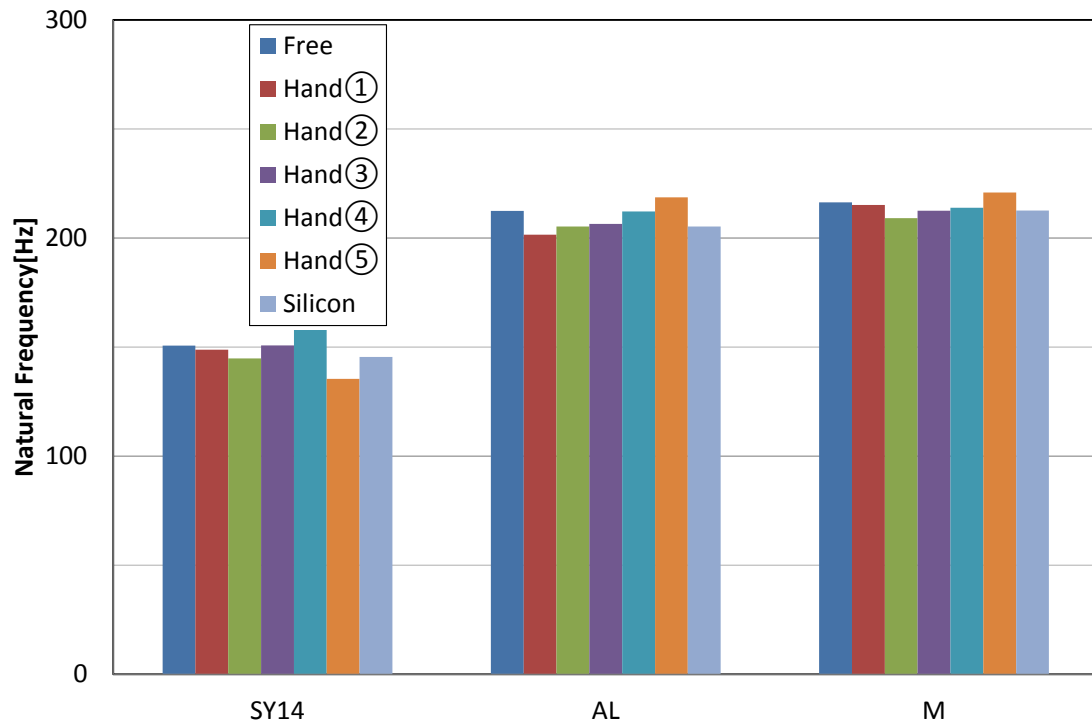


図 2-35 固有振動数の結果

表 2-7 固有振動数の数値結果[Hz]

Bat	Free	Hand①	Hand②	Hand③	Hand④	Hand⑤	Silicon
SY14	150.7	150.5	144.8	150.8	155.2	135.5	142.3
AL	212.6	201.6	205.3	206.5	211.7	218.6	204.2
M	216.4	215.2	209.1	212.5	213.6	220.9	205.6

各支持状態のモード減衰比の結果を図 2-36 および表 2-8 に示す。

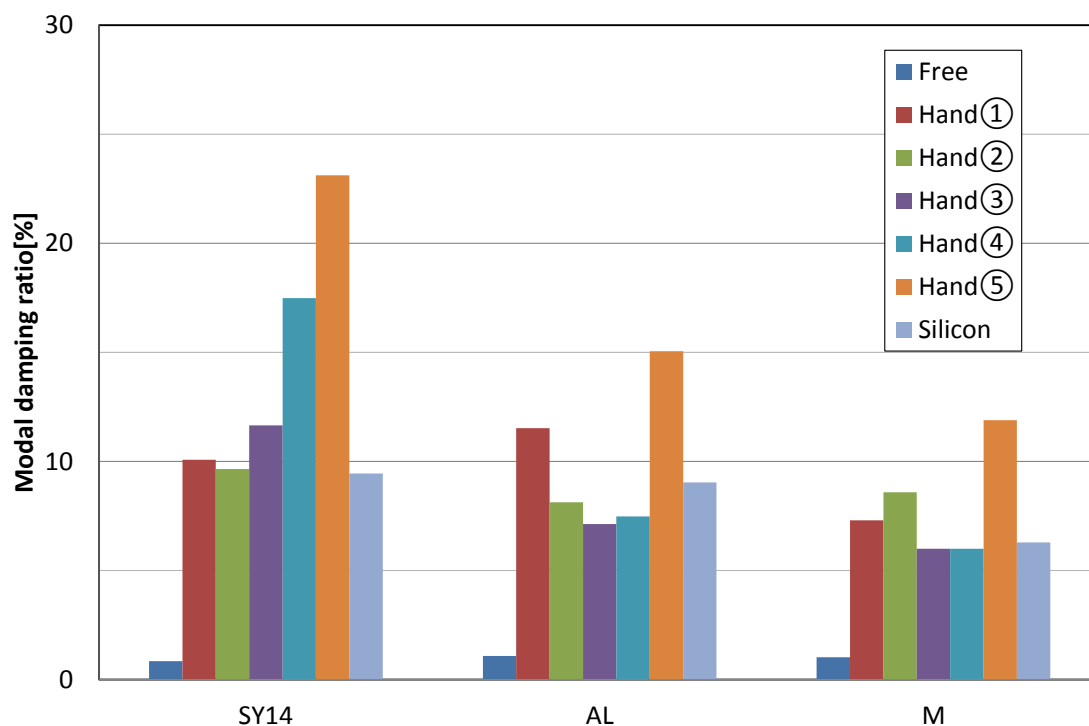


図 2-36 モード減衰比の結果

表 2-8 モード減衰比の数値結果[%]

Bat	Free	Hand①	Hand②	Hand③	Hand④	Hand⑤	Silicon
SY14	0.84	11.37	9.65	11.65	16.24	23.12	4.89
AL	1.08	11.58	8.13	7.13	7.57	15.05	10.46
M	1.02	7.30	8.59	6.00	6.08	11.89	9.91

表 2-7 の結果が示す通り，固有振動数の数値には支持条件による影響によっても大きな差異は見られなかったが表 2-8 のモード減衰比では同じバットでも持ち手が変わるとかなりのバラつきが見られた．特に一番しびれが少ないと言われている SY14 では支持条件で減衰の影響を受けやすいという結果となった．

3 打撃中心の算出

3.1 目的

打撃に適した範囲（スイートスポット）の定義の一つである打撃中心がしびれと関係しているのではないかと考え、打撃中心の同定を行うことにした。

3.2 定義と算出式

まず打撃中心の定義だが、ボールとバットが衝突する際、バットは回転運動と並進運動を行う。その中で回転と並進が打ち消しあいグリップエンド端が動かない点が存在する。この点を不動点といい、この不動点に対する打点が打撃中心である。本研究では打撃中心を求めるために以下の算出式を用いた。図 3-1 に打撃中心の概要と表 3-1 に各パラメータを示す。

並進運動

$$F = M_t \dot{V}_t \quad \dots (2)$$

回転運動

$$T = I_t \dot{\omega}_t \quad \dots (3)$$

(3) 式の両辺を衝突部重心間距離で除し

$$\frac{T}{L_f} = \frac{I_t}{L_f} \dot{\omega}_t \quad \dots (4)$$

(4) 式の左辺は F に置き換えることができるので

(2) 式より

$$M_t \dot{V}_t - \frac{I_t}{L_f} \dot{\omega}_t = 0 \quad \dots (5)$$

定義から回転によるグリップエンド端の速度と重心の並進の速度は、進行方向逆で同じ値となるため

$$L_r \cdot \dot{\omega}_t - \dot{V}_t = 0$$
$$\dot{\omega}_t = \frac{\dot{V}_t}{L_r} \quad \dots (6)$$

となり、(5) 式に (6) 式を代入し $\dot{V}_t$ でくくると

$$\dot{V}_t \left(M_t - \frac{I_t}{L_f L_r} \right) = 0 \quad \dots (7)$$

(7) の左辺が 0 になるためには

$$M_t - \frac{I_t}{L_f L_r} = 0$$

よって

$$L_f = \frac{I_t}{M_t L_r} \quad \dots (8)$$

(8)式の L_f は重心から打撃中心までの距離であり， L_r はグリップエンドから重心までの距離， M_t はバットの質量， I_t はバットの重心周りの慣性モーメントである．

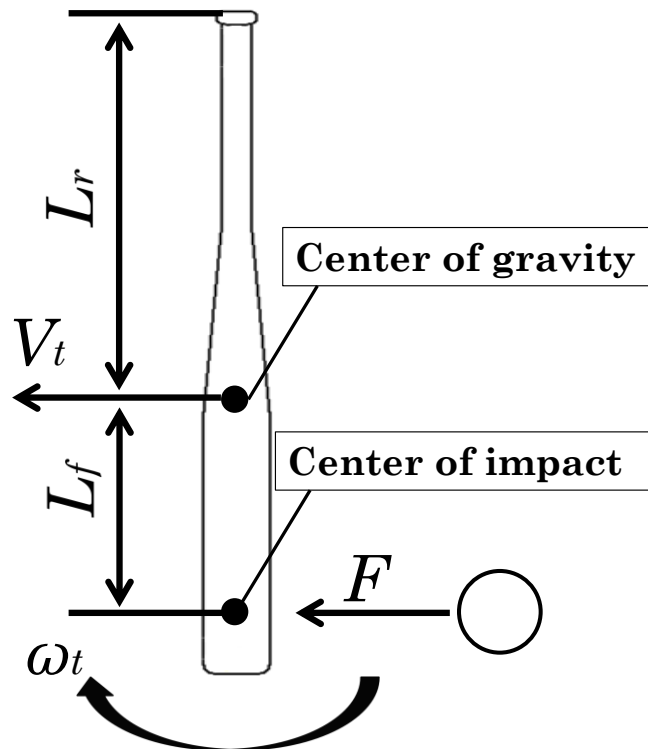


図 3-1 打撃中心

表 3-1 打撃中心のパラメータ

F	<i>Force by collision of ball</i>
T	<i>Torque around center of gravity axis of bat</i>
M_t	<i>Mass of bat</i>
I_t	<i>Moment of inertia</i>
V_t	<i>Velocity after bat collides</i>
ω_t	<i>Velocity of rotation of bat</i>
L_f	<i>Distance from center of gravity to collision part</i>
L_r	<i>Distance from center of gravity to axis edge</i>

3.2.1 重心の位置の特定

前項で述べた通り打撃中心は(8)式から求めることが可能だが，そのためには重心周りの慣性モーメント I_t 及び，重心までの距離 L_r が必要であり3本のバットそれぞれの特定を行った．まず，バットの重心の位置だがカッターの刃や針といったものの上に対象物であるバットを乗せてバランスが取れる位置を探し求めた．表は重心位置の結果である．

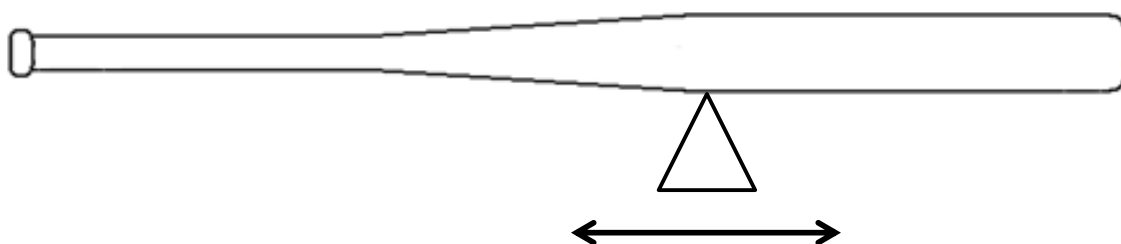


図 3-2 重心位置の特定方法

表 3-2 重心の位置結果

Bat	L_r [mm]
SY14	519
AL	549
M	523

3.3 二本吊り試験

続いて重心周りの慣性モーメントだが本研究では、二本吊りという試験方法を用いての同定を行った。二本吊りとは対象物の2箇所を天井から吊るし重心が回転中心となるように微小角度で揺らし、そこから周期を求め、重心周りの慣性モーメントを同定する方法である。実験の概略およびパラメータを図 3-3、表 3-3 に示す。

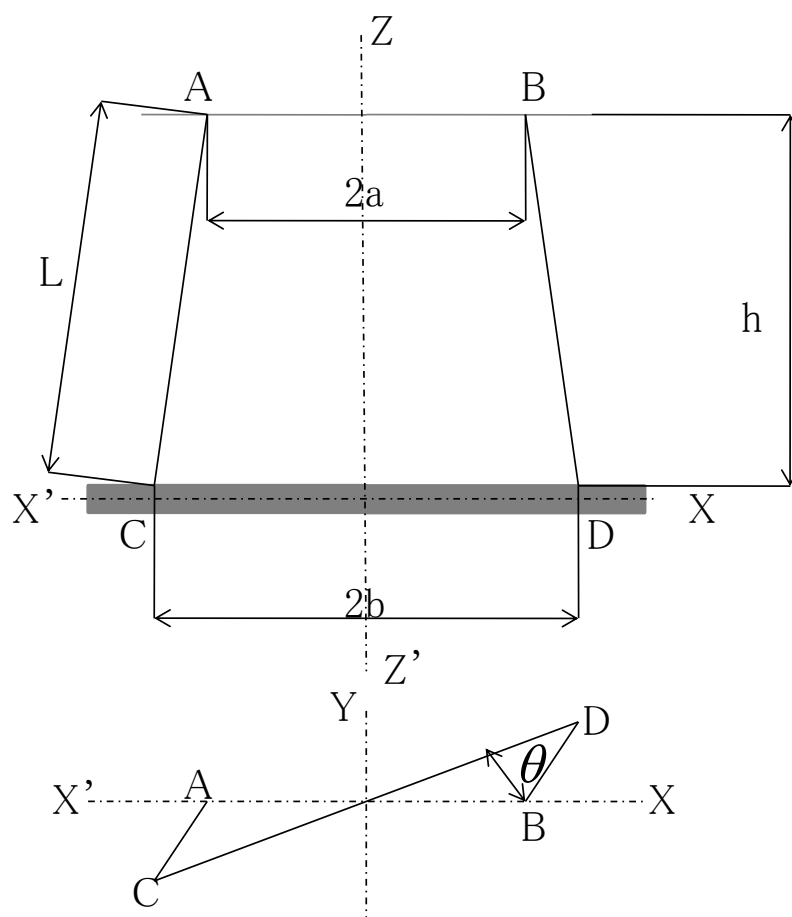


図 3-3 二本吊り試験

表 3-3 二本吊り試験におけるパラメータ

2a	Spacing between points in the ceiling
2b	Spacing between points in the object point
h	Distance of the object from the ceiling
L	The length of the yarn

算出式

まず、回転と上下方向への並進運動を行う物体の運動エネルギーは

$$T = \frac{1}{2}I_t\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}M_t\dot{z}^2 \quad \dots (9)$$

(9) 式におい水平方向に微小角度だけ回転させるので上下方向の変位は微小として

第二項は 0 として

$$T \cong \frac{1}{2}I_t\dot{\theta}^2 \quad \dots (10)$$

次に位置エネルギーは

$$U = -M_t g \sqrt{L^2 - (a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta)} \quad \dots (11)$$

ここでラグランジュの方程式

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}}\right) - \frac{\partial T}{\partial \theta} + \frac{\partial U}{\partial \theta} = 0 \quad \dots (12)$$

(12) 式に (10), (11) 式を代入し

$$I_t\ddot{\theta} + \frac{M_t g ab \sin\theta}{\sqrt{L^2 - (a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta)}} = 0 \quad \dots (13)$$

ここで θ は微小なので $\sin\theta \cong \theta, \cos\theta \cong 1$ と、近似して

$$I_t\ddot{\theta} + \frac{M_t g ab \theta}{\sqrt{L^2 - (b-a)^2}} = 0 \quad \dots (14)$$

この運動方程式である (14) 式を解くと水平方向への回転運動の角速度 ω は

$$\omega = \sqrt{\frac{M_t g ab}{I_t \sqrt{L^2 - (b-a)^2}}} \quad \dots (15)$$

(15) 式より周期 t は

$$t = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I_t \sqrt{L^2 - (b-a)^2}}{M_t g ab}} \quad \dots (16)$$

ここで、ピタゴラスの定理よりつりさげた時の高さ h は

$$h = \sqrt{L^2 - (b-a)^2} \quad \dots (17)$$

よって (16) 式は

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{I_t h}{M_t g a b}} \quad \cdot \cdot \cdot (18)$$

と表すことができる.

よって慣性モーメント I_t は

$$I_t = \frac{M_t g a b t^2}{4\pi^2 h} \quad \cdot \cdot \cdot (19)$$

となる.

ただし, g は重力加速度である.

今回は $L=h$ にするため, AC と BD が平行になるように糸を吊るして試験を行った.

3.4 使用機器

本研究では周期を測定するために以下の機器を用いた。

周期の測定にはレーザー変位計を用いて測定した。

Lenovo 社製ノートパソコン

RION 社製 SA-01 分析処理機

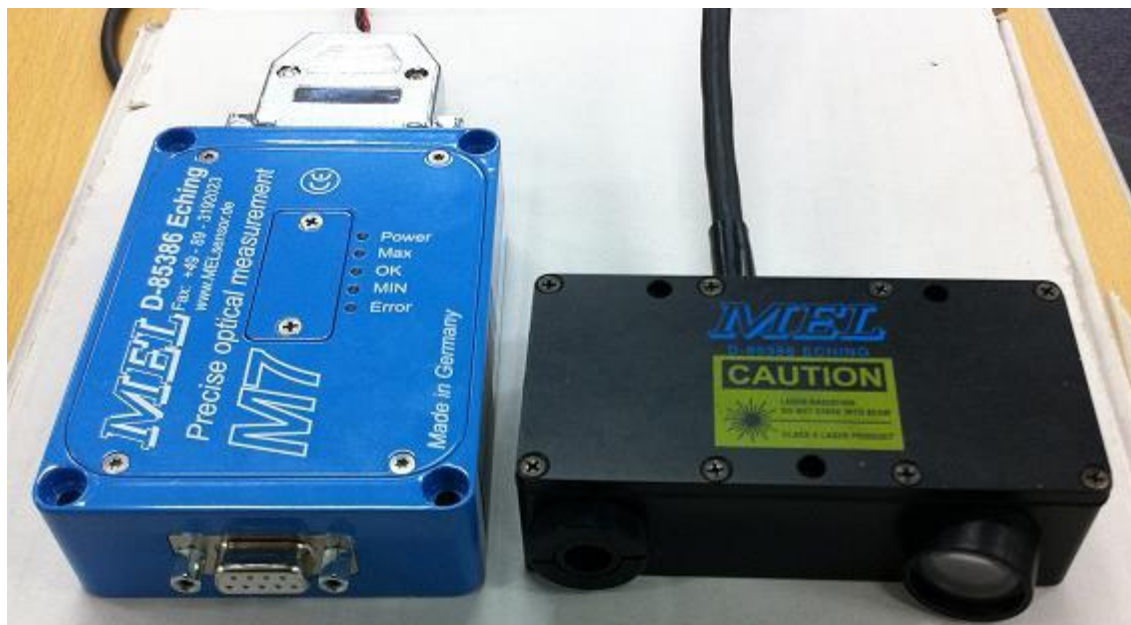


図 3-4 MEL 社製レーザー変位計



図 3-5 Sunhayato 社製直流電源装置

3.5 実験精度の検証

二本吊り試験をバットで行う前に、この試験の信頼性を確認するために検証を行った。検証に用いたのはアルミニウム製の円柱丸棒(以降 Rod①)と段付き丸棒(以降 Rod②)でありそれぞれの概要を図 3-6, 3-7, 表 3-4, 3-5 に示す。重心の位置である CoG(Center of Gravity)は図の左端からの距離である。

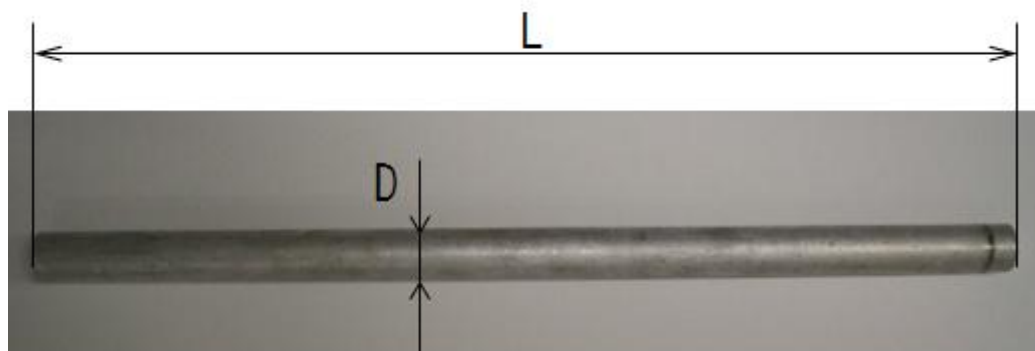


図 3-6 Rod①

表 3-4 Rod①の寸法

Material	Weight[g]	L[mm]	D[mm]	CoG[mm]
Aluminum	1117	589	30	294.5

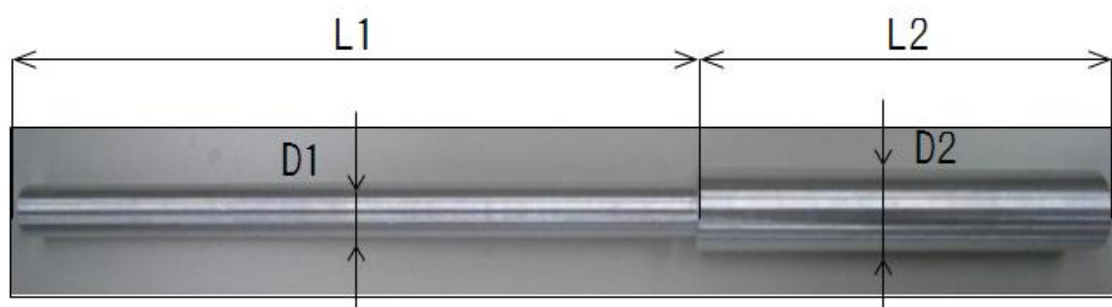


図 3-7 Rod②

表 3-5 Rod②の寸法

Material	Weight [g]	L1[mm]	L2[mm]	CoG [mm]
		250	150	
Aluminum	487.6	D1[mm]	D2[mm]	240
		20	30	

丸棒の寸法から計算によって算出した慣性モーメントと、二本吊り試験によって得られた結果から求めた慣性モーメントの比較結果を表 3-6 に示す. 表の通り Rod①も Rod ②も誤差率は約 1%と小さく、二本吊り試験は信頼できると考えることが出来る.

表 3-6 各丸棒の慣性モーメントの誤差

	Cycle [s]	Calculated [10 ⁷ gmm ²]	Experiment [10 ⁷ gmm ²]	Error [%]
Rod①	2.04	3.23	3.21	0.6
Rod②	2.40	0.637	0.631	1.06

バットでの二本吊り試験によって得られた周期から求められた各バットの重心周りの慣性モーメントとそこから求められたグリップエンドから打撃中心までの距離の結果を表 3-7 に示す. 表の結果の通り AL が他の 2 本と比べて打撃中心位置が先端側にあることが分かった.

表 3-7 バットの打撃中心位置

Bat	t Cycle [s]	I_t Moment of Inertia [10 ⁷ gmm ²]	L_r CoI from gravity [mm]	L CoI from grip [mm]
SY14	2.93	3.90	117	636
AL	2.76	3.48	98	647
M	2.86	3.80	111	634

また節の位置と打撃中心の位置の距離を図に示す. 打撃中心と節の位置には若干ながら違う位置に存在することが分かった.

表 3-8 節位置と打撃中心位置の距離

Bat	Node Point[mm]	CoI from grip[mm]	Distance[mm]
SY14	653	636	17
AL	664	647	17
M	672	634	38

3.5.1 打撃中心位置付近の確認

二本吊り試験によって打撃中心位置を求めることが出来たが、その前後付近がどのように変化しているのか確認を行った。

図 3-8 に概要を示す。試験方法はバットを糸で天井から吊るした状態での加振試験である。加振点は打撃中心を基準(0)としたグリップ寄り 4 点(-), ヘッド寄り 4 点(+)の計 9 点で行った。間隔は 10mm ごとにとっている。

実験結果を図 3-9 に示す。

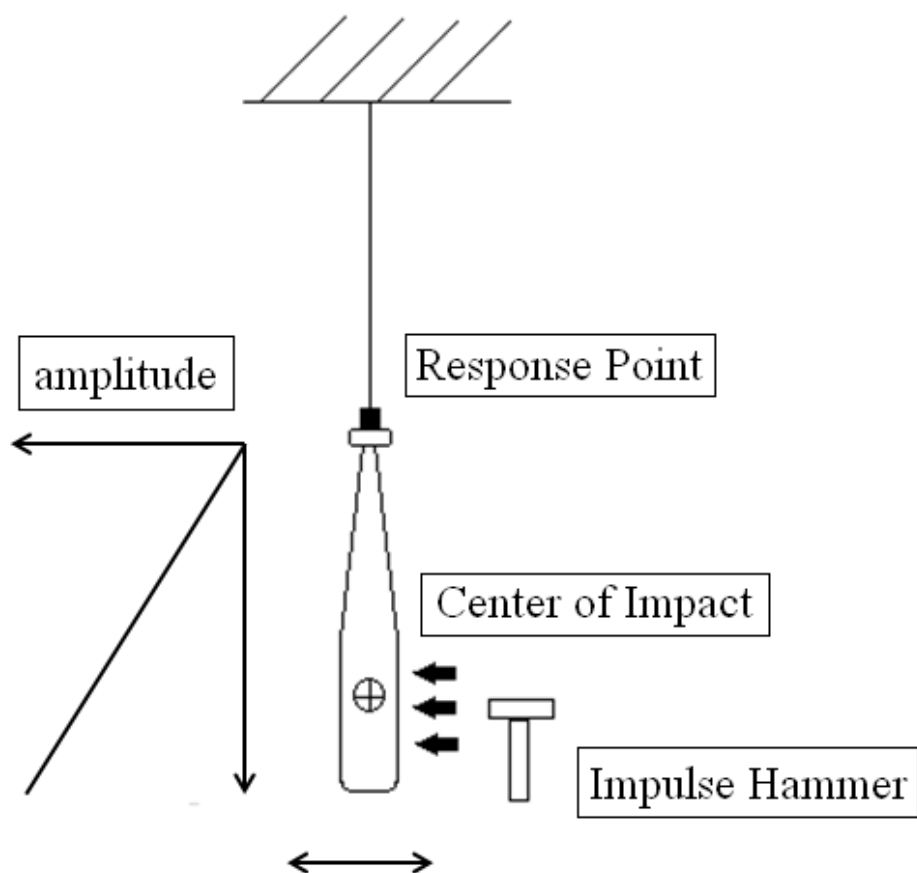


図 3-8 打撃中心付近の確認

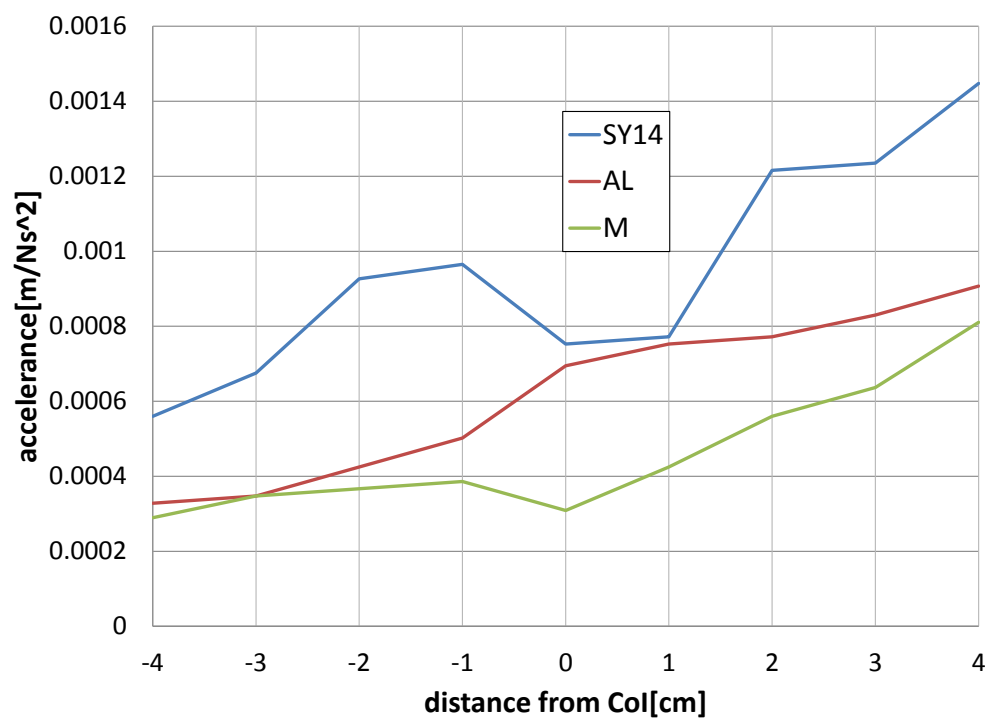


図 3-9 打撃中心付近の結果

3.6 考察

「二本吊り試験」により各バットの重心周りの慣性モーメントおよび打撃中心を同定することが出来た。周期の測定に関しては「振り子試験」によっても測定可能なため、そちらの方面からも慣性モーメント及び打撃中心の算出を行い、「二本吊り」との比較を行っていく必要があると考えられる。また、打撃中心と節の位置には違いが見られたためこの2点を含めた周辺を調べていく必要があると考えられる。

4 理論モード解析

4.1 概要

理論モード解析とは、モデル化によって対象物の自由度を決めて物理モデルを作成し、力の釣り合いやエネルギー原理によって数学モデルに変換することにより得られた式を理論解析や数値解析によって解き、固有振動数と固有モードを求めることをいう。本研究では、最も広く使われている有限要素法を使用し、モード特性を求める。モデル作成には 3 次元 CAD ソフト Solid Works とプリ処理ソフト Altair / Hyper Mesh を、ポスト処理ソフト Altair / Hyper View を、有限要素法解析には MSC / NASTRAN を使用した。表 4-1 に手順を示す。対象物の形状を作製し、物性値・拘束条件・要素数を決めていき計算を行う。計算結果を実験結果と比較し、さらに条件を変えて再度計算を行っていく。

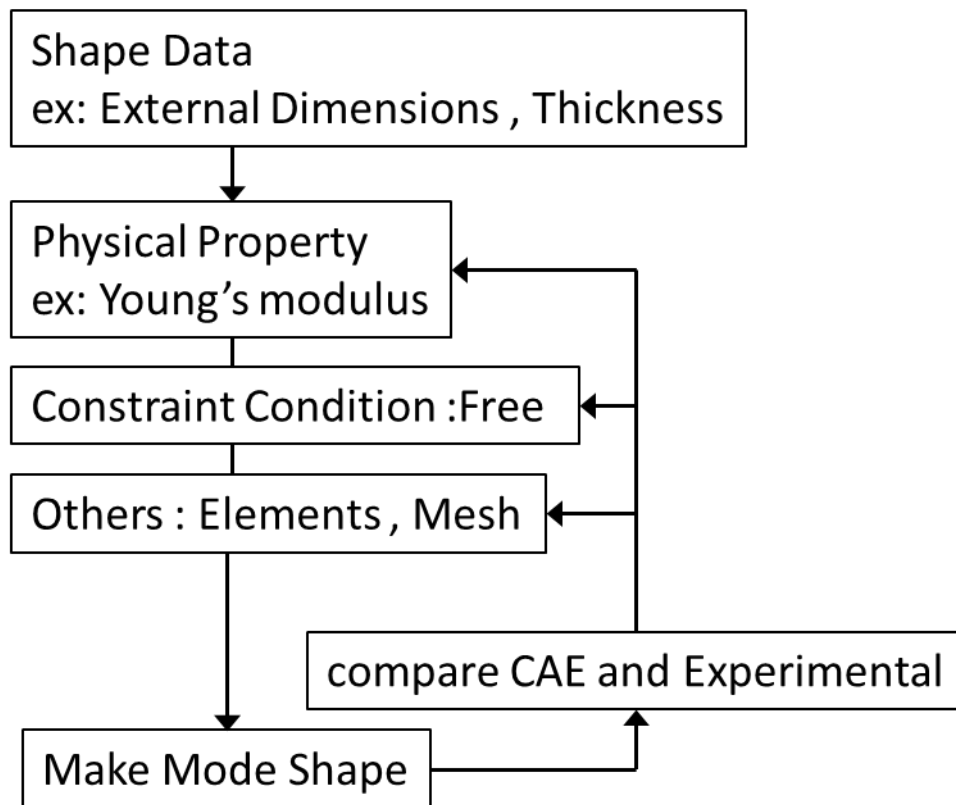


図 4-1 理論モード解析の流れ

4.2 内部構造の調査

計算モード解析を行うため有限要素(FEM)モデル作成にあたり、各バットの特徴を知るためにバットを縦方向に切断しバットの内部構造の調査を行った。バットの内部構造の特徴を簡易的にまとめたのを図 4-2、表 4-1 に示す。切断したバットの断面図の写真の上部を図 4-3、下部を図 4-4 に示す。

内部構造の詳細であるが

- ①はキャップにある金属板であり、どのバットからも確認することが出来た。
 - ②は打撃面の内径と外径の間に存在する別の層で AL には金属板が, M には別の樹脂材料が確認でき, SY14 からは何も確認できなかった。
 - ③はグリップエンド部に手のしびれを軽減させるための制振材がすべてのバットから確認することが出来たが大きさはバットによって違いがあった。
 - ④はグリップ付近の金属の重りであり, SY14 の 1 本のみ確認することが出来た。またこの金属の重りは磁性を持たない材料であることも確認した。
- また, グリップ部の樹脂材の詰まり具合は多い順に SY14>M>AL となっている。

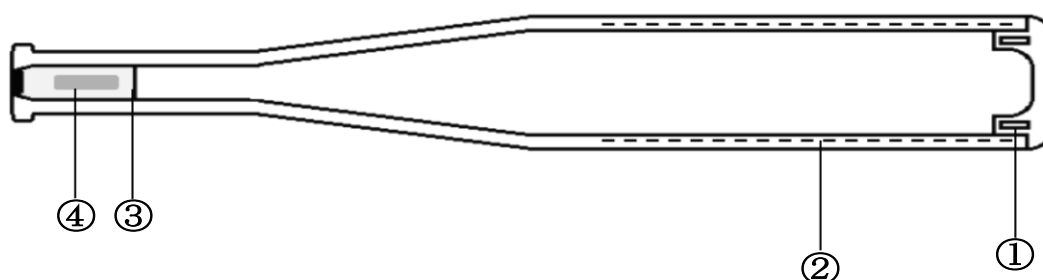


図 4-2 バットの内部構造

表 4-1 内部構造の詳細の有無

Bat	① metal plate	② plate	③ damping materials	④ weight
SY14	○	×	○	○
AL	○	○	○	×
M	○	○	○	×



図 4-3 バットヘッド部の内部構造



図 4-4 バットグリップ部の内部構造

4.3 FEM モデルの作成

切断したバットの断面の寸法を測定し，Solid Works で三次元 CAD モデルを作成し各バットの FEM モデルの作製を行った．

寸法の測定方法は図 4-5 に示す．今回は図 4-6 のようにバットのキャップ部とバット部に分けてそれぞれ作成した．バット部の測定は切断したバットの断面から行った．グリップ部とバット部の境目を 1 点目としグリップエンドの箇所まで 10mm 間の計 84～85 点を内径と外径をそれぞれノギスで測定し，Solid Works で作成した．

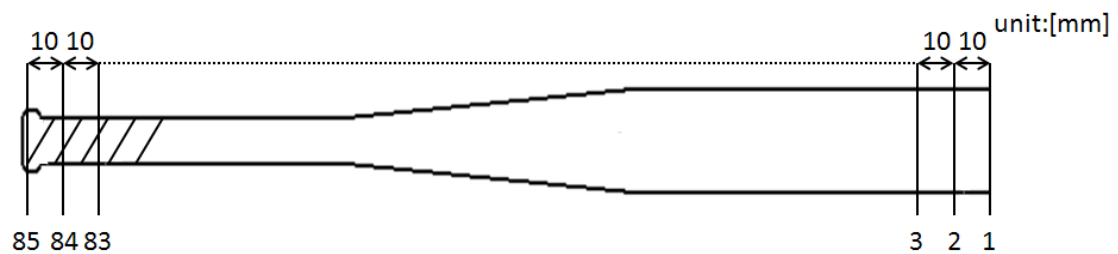


図 4-5 モデル作成のためのバットの測定点および間隔

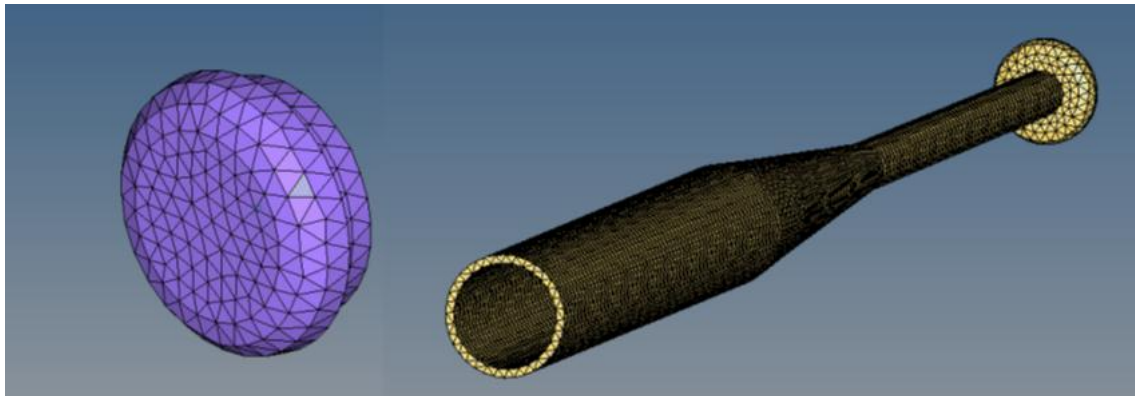


図 4-6 バット部とキャップ部の FEM モデル

作成した各バットの FEM モデルおよび接点数, 四面体要素数を図 4-7, 表 4-2 に示す.

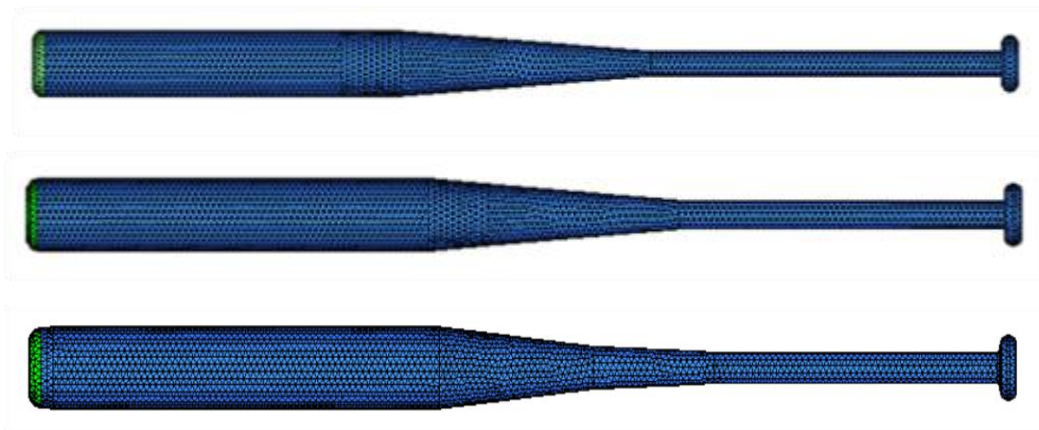


図 4-7 各バットの FEM モデル

表 4-2 各バットの接点数および四面体要素数

Bat	Grid Points	Tetra Elements
SY14	47415	23812
AL	49861	25114
M	48372	24603

作製したモデルを MSC/NASTRAN で計算することによって得られた各バットの一次のモード形状を図 4-8～4-10 に示す。赤が一番大きく、濃い青が一番小さい値である。

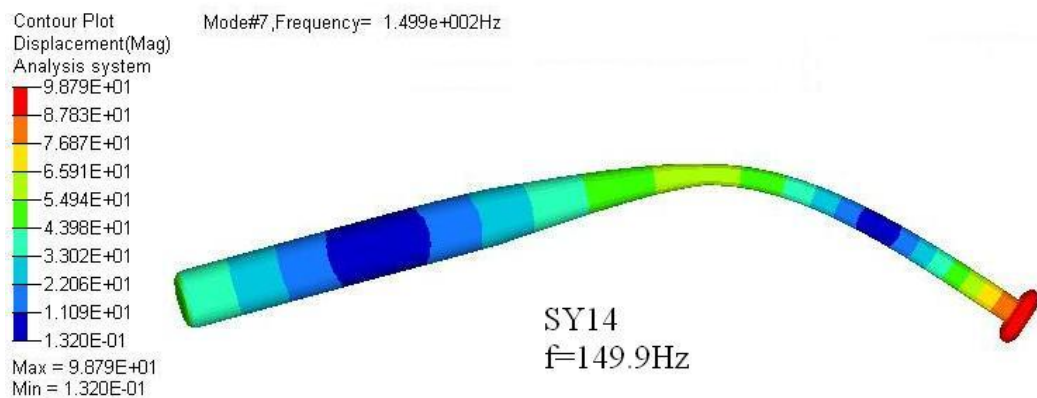


図 4-8 SY14 の計算による一次曲げモード形状

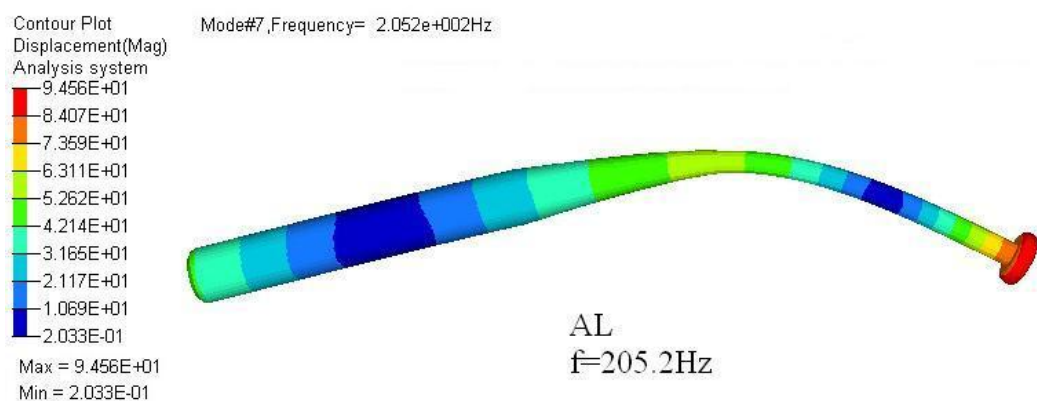


図 4-9 AL の計算による一次曲げモード形状

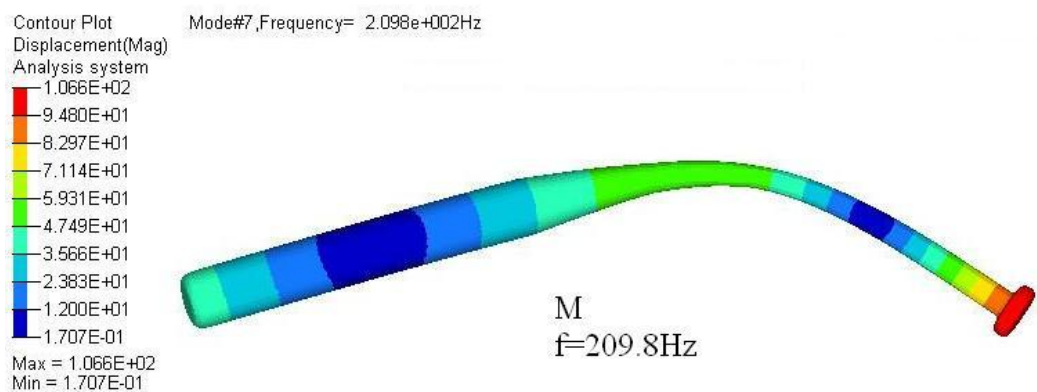


図 4-10 M の計算による一次曲げモード形状

4.4 実験モード解析の結果と理論モード解析の比較

理論モード解析の計算によって得られた結果および自由支持による実験モード解析の結果の比較を行った．図 4-11 および表 4-3 に理論モード解析の結果を示す．

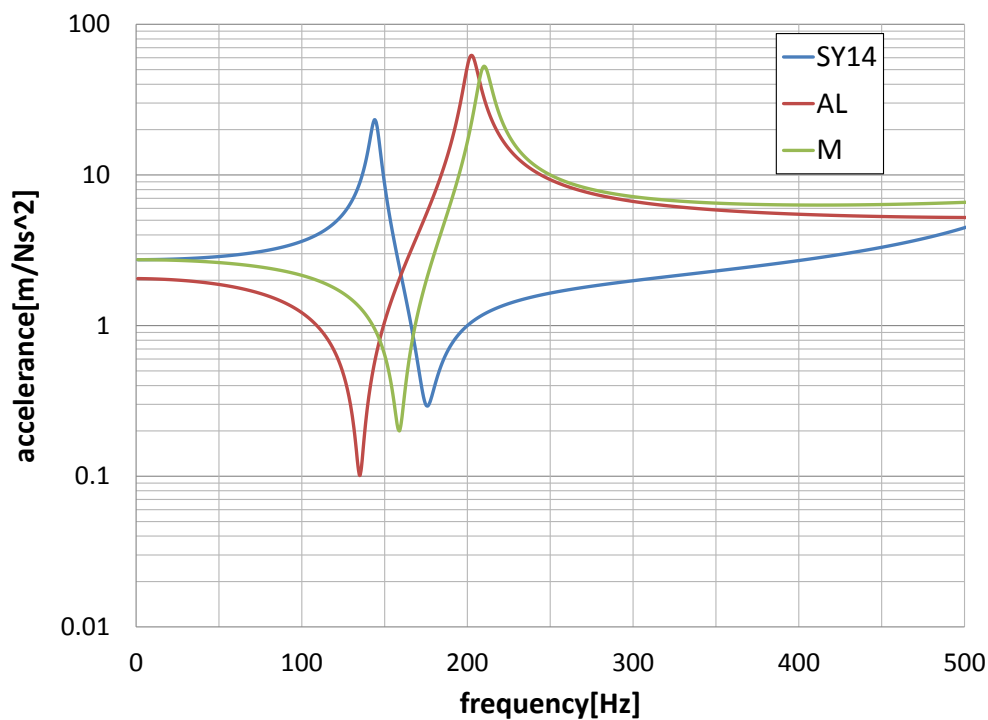


図 4-11 理論モード解析による周波数応答関数の結果

表 4-3 理論モード解析による結果

Bat	Natural Frequency[Hz]	Calculated Weight[g]
SY14	149.9	646.7
AL	205.2	642.0
M	209.8	644.6

実験モード解析によって得られた結果との比較を行った。質量の比較を表 4-4 に、固有振動数の比較を表 4-5 に示す。

表 4-4 質量の数値比較

Bat	Actual Weight[g]	Calculated Weight[g]	Error[%]
SY14	641.0	646.7	0.89
AL	645.0	642.0	-0.46
M	654.5	644.6	-1.51

表 4-5 固有振動数の数値結果の比較

Bat	Experiment Frequency[Hz]	Calculated Frequency[Hz]	Error[%]
SY14	150.7	149.9	-0.53
AL	212.6	205.2	-3.48
M	216.4	209.8	-3.05

図 4-5, 4-6 に示すように質量・固有振動数共に理論モード解析の結果が実験の値と非常に近い結果を得ることが出来た。

実験モード解析と理論モード解析の比較を図 4-12 に示す。

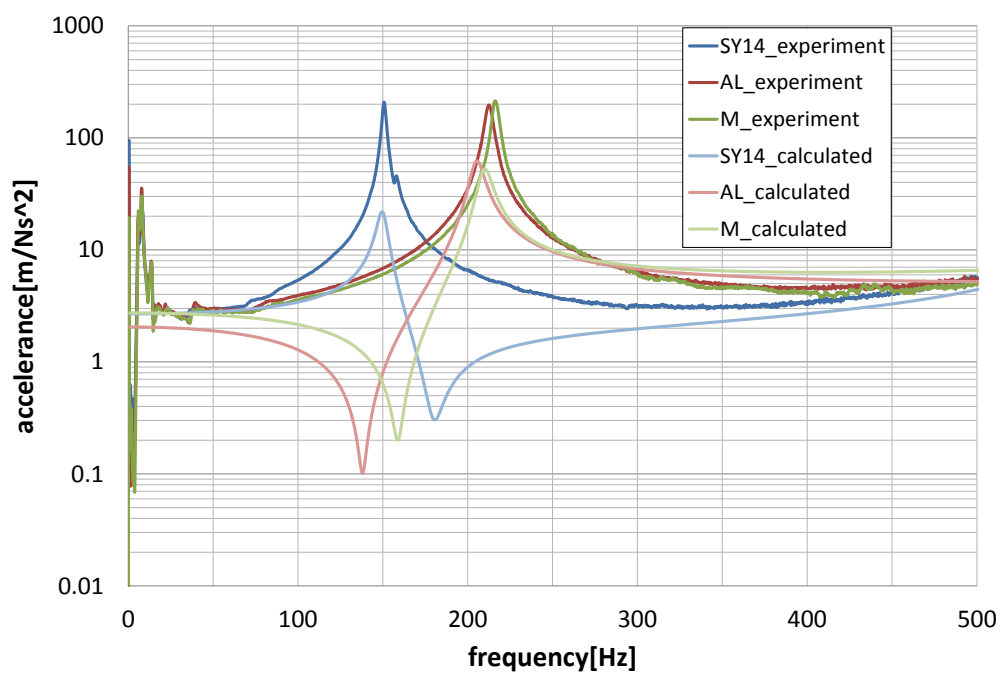


図 4-12 実験と計算モード解析における周波数応答関数の比較

図 4-12 の示す通りアクセランスの値が実験値に比べて下がったことが分かる。また計算結果では反共振溝が見られた。また実験モード解析の自由支持はゴムチューブによる影響と思われる結果が 0～50Hz にあるが理論モード解析では見られなくなった。

4.4.1 重りの有無について

SY14 は他の 2 本と異なりグリップ部に重りが存在する．前項では重りなしで SY14 のモデルを作成し計算をした結果だったが，重りを付けたことによりどのように変化するか確認を行った．重りは鉛として扱い再度計算を行った．SY14 の重り有無の比較結果を図 4-13 に固有振動数の比較を表 4-6 に示す．

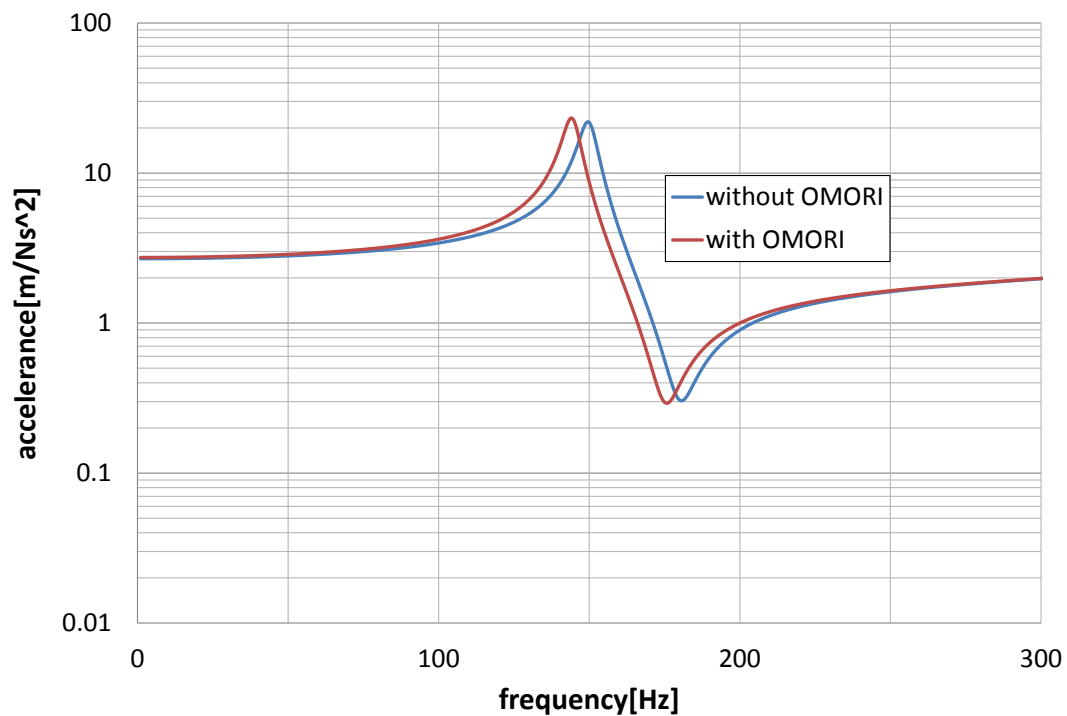


図 4-13 重りの有無による SY14 の周波数応答関数の比較

表 4-6 重りの有無による SY14 の固有振動数の比較

	without OMORI[Hz]	with OMORI[Hz]	Change[%]
SY14	149.9	144.4	-3.67

図 4-13 に示すように重り「あり」の方が「なし」より固有振動数が低くなった．これは式(1)に示すように質量が大きくなればなるほど固有振動数は低くなるのでその結果となった．また，重りの位置も実際の位置に近づけるのかまたはモード形状の節の部分に近づけるのかによってどのように影響するか比較するべきである．

4.4.2 支持状態の検討

2.3.2 人の手による支持でも述べたが実際にバットは人の手で持った状態で支持をする．そこで計算モード解析でも人の手の簡易的モデルを支持条件に加えて計算を行った．図 4-14 に手の簡易的モデルを示す．重り M ，ばね k ，ダンパー c を用いた 4 自由度モデルである．表 4-7 に M のパラメータについて示す．表 4-8 に各物性値を示す．本研究ではダンパーを除いて計算している．

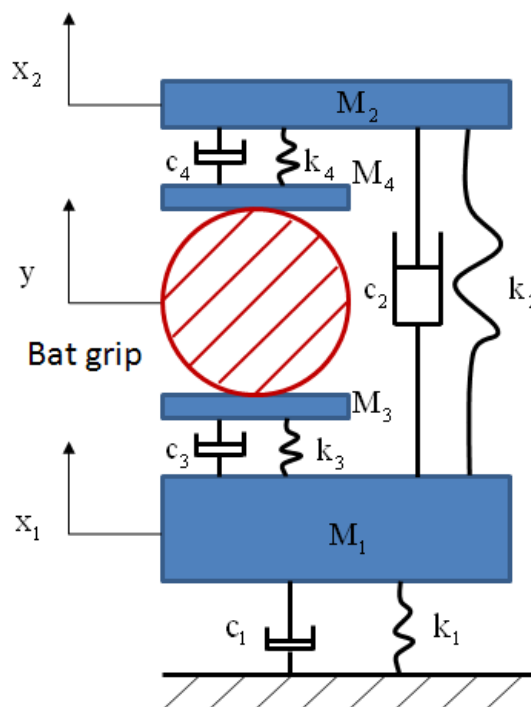


図 4-14 手の簡易的モデル

表 4-7 手のモデルの質量 M の各パラメータ

M_1	Palm-hand back-wrist-arm
M_2	Fingers
M_3	Palm skin tightly in contact with the Bat grip
M_4	Finger skin tightly in contact with the Bat grip

表 4-8 各パラメータの値

	$M[\text{kg}]$	$k[\text{N/m}]$	$C[\text{Ns/m}]$
Parameter.1	1.4329	3377	50.6
Parameter.2	0.0897	12710	35.2
Parameter.3	0.0230	29906	74.5
Parameter.4	0.0147	190041	127.6

自由支持の計算結果との比較を図 4-15 に示す。

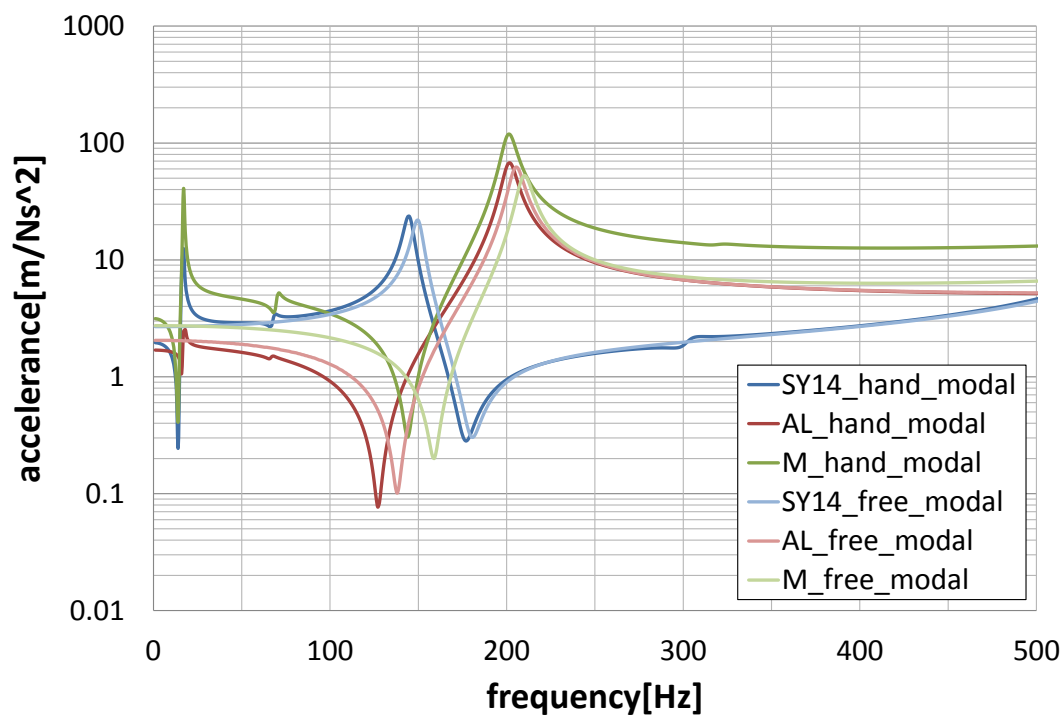


図 4-15 理論モード解析による自由支持とモデル支持の比較結果

図 4-15 に示すように 0~100Hz にかけて変化が見られた。また、アクセラランスのピークであるが若干、位置が左側にずれ値も増加している。これは拘束条件の変更によってバットが受けた影響によるものだと考えられる。

続いてモード減衰比を変更して計算を行った．今回の使用した減衰比の値は一律 10% で使用した．

計算結果の比較を図 4-16 に示す．

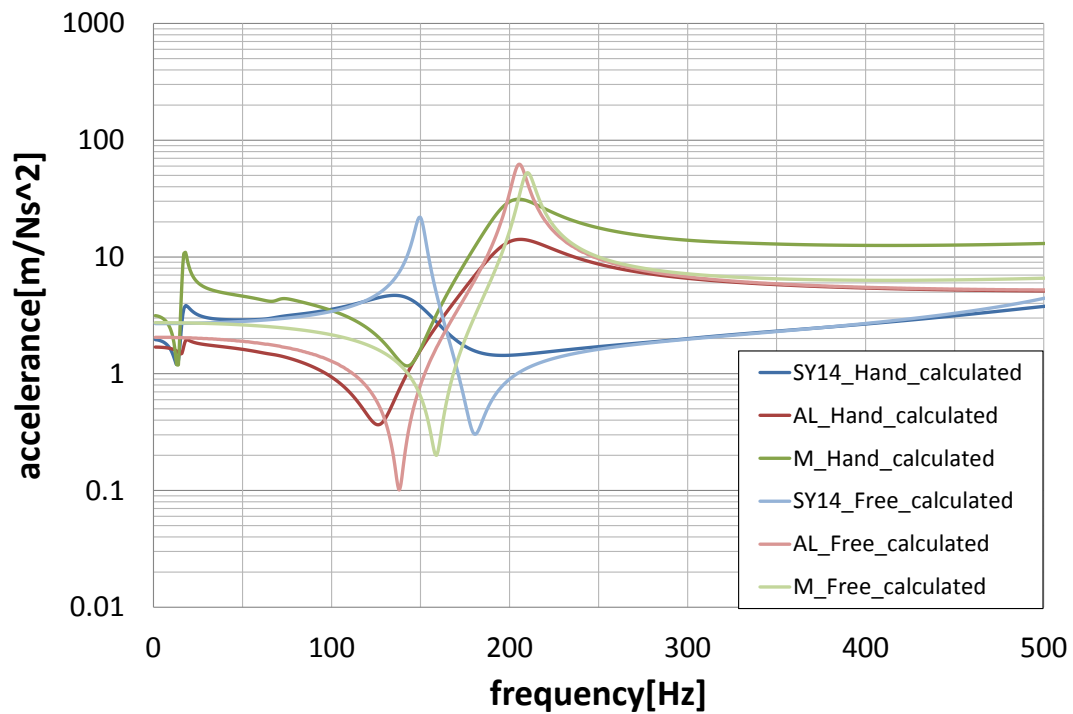


図 4-16 減衰変更による 4 自由度モデルの比較結果

実験モード解析の「自由支持」と「人の手の支持」のように減衰が変わることによってピークが下がり，共振峰がなだらかになった．自由状態の AL と M ではアクセラランスのピークによる値が AL の方が若干大きかったが減衰によって AL の下がり具合が大きくなる結果となった．

最後に Hand①との比較結果を図 4-17 に示す.

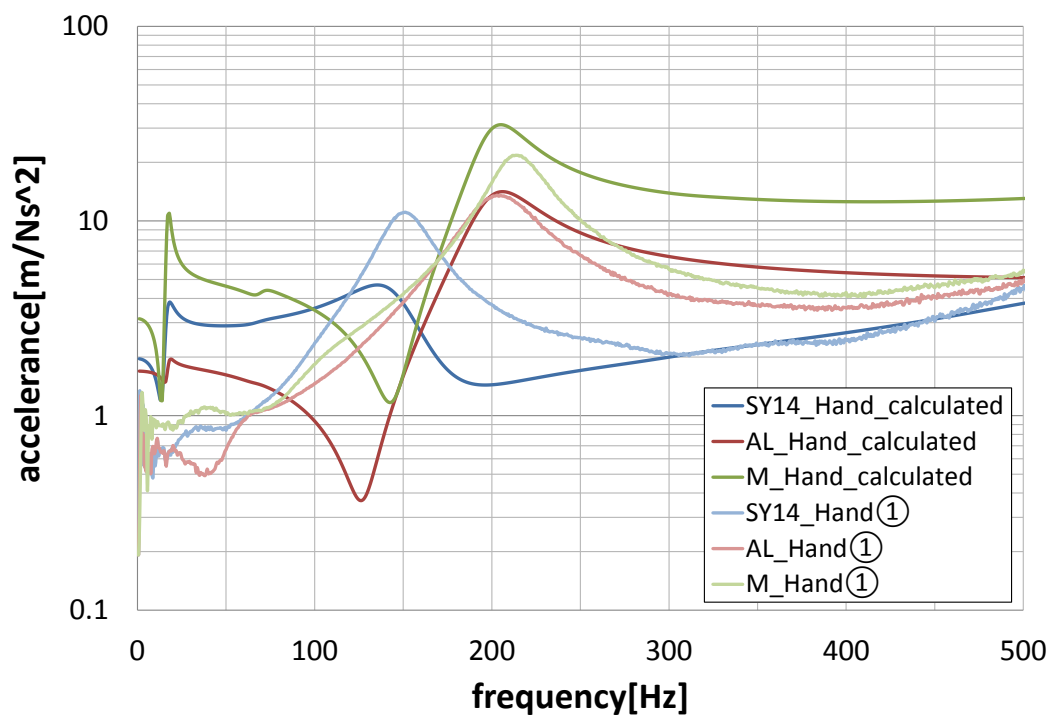


図 4-17 Hand①と 4 自由度モデル支持による比較結果

AL, M とアクセランスのピーク値・共振峰と非常に近い形状が得られたが SY14 が実験の値と比べて下がった. Hand①の減衰比は 11.37%と解析の減衰比より大きな値だが理論モード解析では SY14 の減衰は他の 2 本と比べて小さい値であると考えられる.

4.5 考察

FEM モデルの製作の結果、1 次固有モード形状は実際の 1 次曲げモードの節と同じ位置に節が見られた。

質量・固有振動数の誤差は 5%以内に収まっているが図で見るようにアクセランスの値に違いが見られた。原因として考えられるのは実際の繊維強化型プラスチック製バットは多重構層で出来ており異方性材料だが本研究での FEM モデルでは等方性材料として製作している点、物性値に関する調査が不十分だった点、金属板・制振材などの内部の条件を省きキャップ部とバット部に分けてのみで製作を行った点が考えられる。

また、計算結果では実験の自由支持の結果では見られなかった反共振溝が見られた。SY14 では最初は重りを考慮しないで計算を行ったが、重りを考慮した状態でも計算を行った。周波数応答関数の形は変わらないが質量が少し増えたため固有振動数の値が下がった。重りの位置が手で持つグリップの位置および節の位置付近に存在していたので重りの位置を少し変えて計算して比較を行ってみる必要があると考えられる。

人の手の簡易的モデルによる支持では図 4-15 に示す通り 0~100Hz の間に自由支持の計算結果とは違う変化が出てきた。これはモデルによる支持状態の影響を受けていると考えることが出来る。しかしながら自由支持状態と比べアクセランスが高くなる結果が出た。これについてはバンパーを除いてモデルを作製したことや、解析の際の減衰比の値を自由支持と同じ数値で解析を行ったことが要因として考えられる。また、減衰比についても考えていく必要がある。

5 実打試験

5.1 目的

手による支持条件の結果でも分かるように自由支持と手による支持条件の結果は大きく異なるため実際に打つことによってどのような傾向が出るかを見るために野球経験者にバッティングを行ってもらい、データ収録を行った。また、実打試験の結果との関連性を見るために硬式野球部に協力してもらいしびれに関するアンケートも行った。

5.1.1 試験方法

実打試験の試験方法はトスバッティングによる打点位置の打ち分け方式である。今回はバット3本を図5-1に示すようにそれぞれ「節(Node)」の位置を基準とし、「節より内側(Grip)」 「節より外側(Head)」の3箇所の計9箇所を各5回ずつ打ってもらった。加振試験と同様にグリップエンドに加速度ピックアップを接着している。トスバッティングを選択した理由について打ち手側が打撃位置の調整が行いやすいという点で採用した。なお打撃試験では加振力の測定が出来ないのでアクセラランスによる比較ではなく加速度による比較を行っている。実験の様子を図5-2に示す。

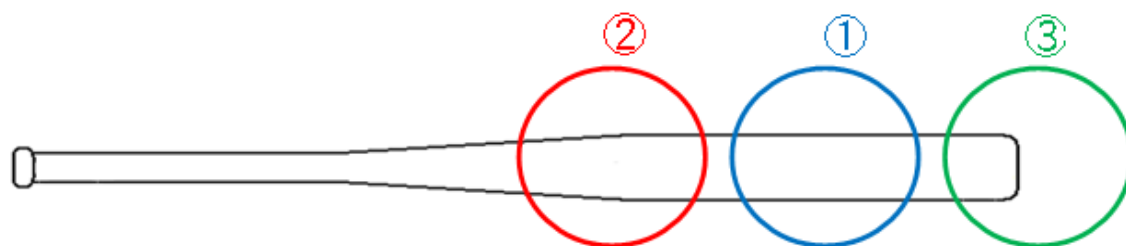


図 5-1 実打試験の打撃点



図 5-2 実打試験の様子

5.1.2 使用機器

本項目で実験に使用した機器を図 5-3～5-5 示す.

Lenovo 社製ノートパソコン



図 5-3 RION 社製 SA-02 分析処理機



図 5-4 PCB 社製加速度ピックアップ



図 5-5 競技用ソフトボール

5.1.3 実験結果

各バットの各打撃位置での 5 回の打撃結果を図 5-6～5-14 に示す。

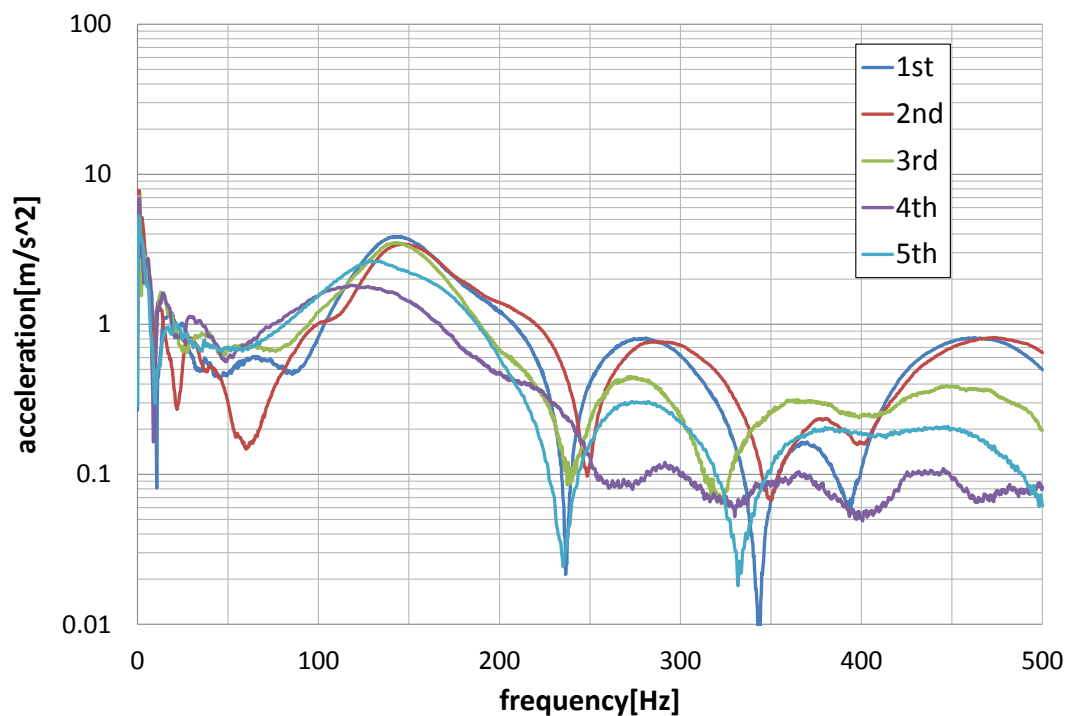


図 5-6 SY14 節の周波数応答関数

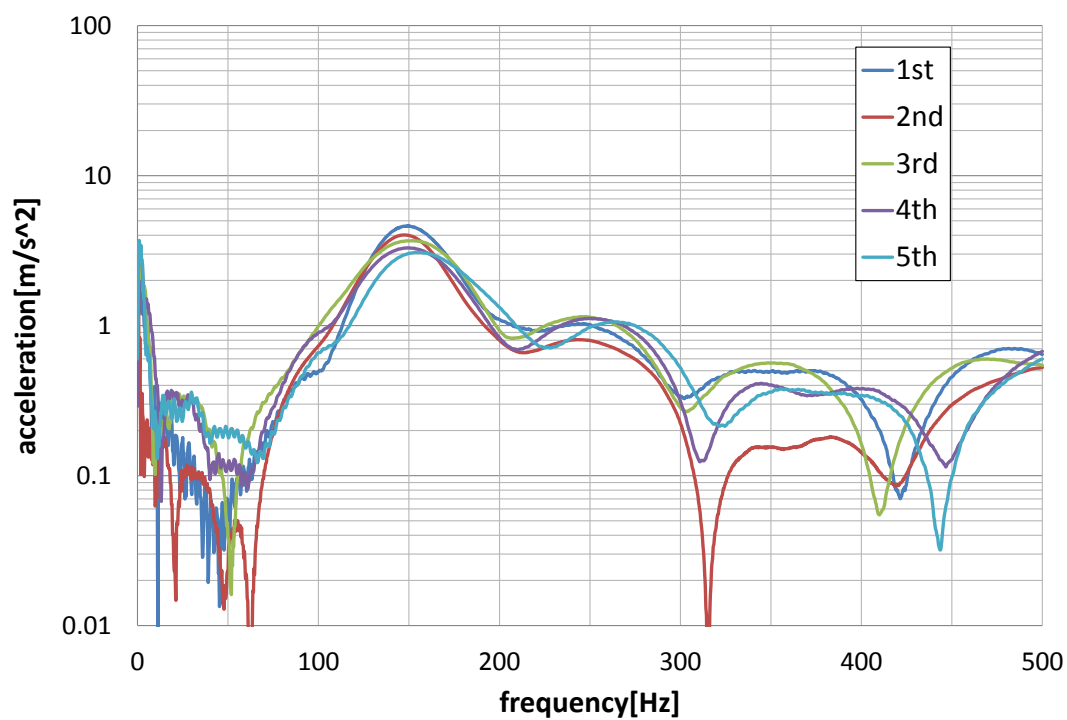


図 5-7 SY14 内側の周波数応答関数

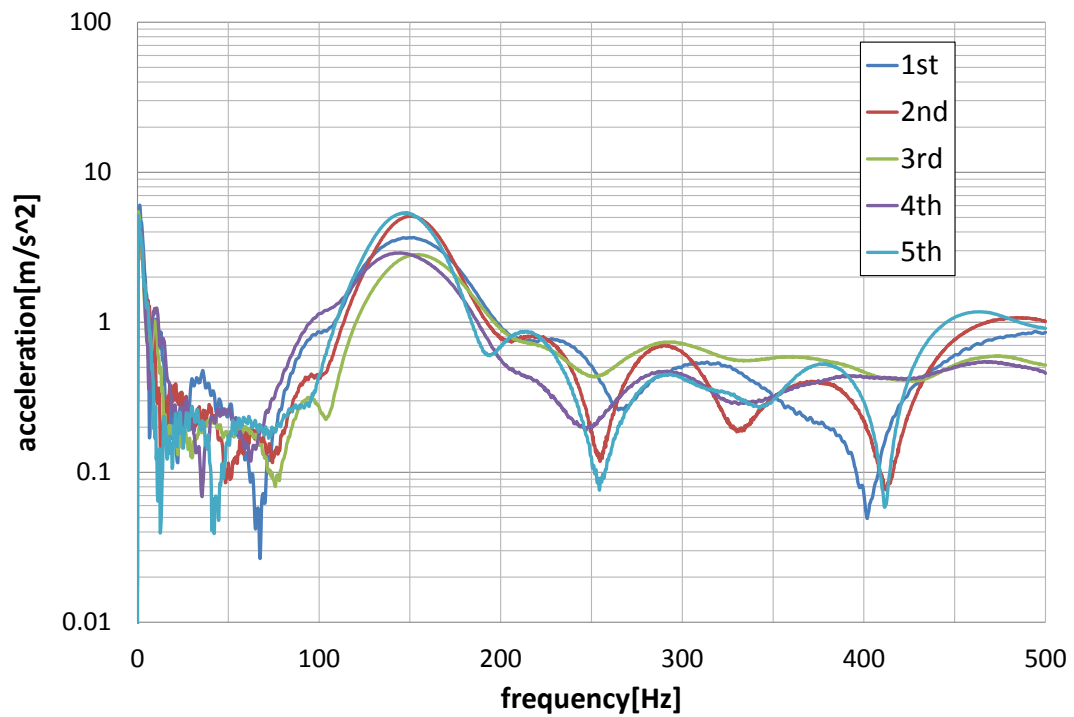


図 5-8 SY14 外側の周波数応答関数

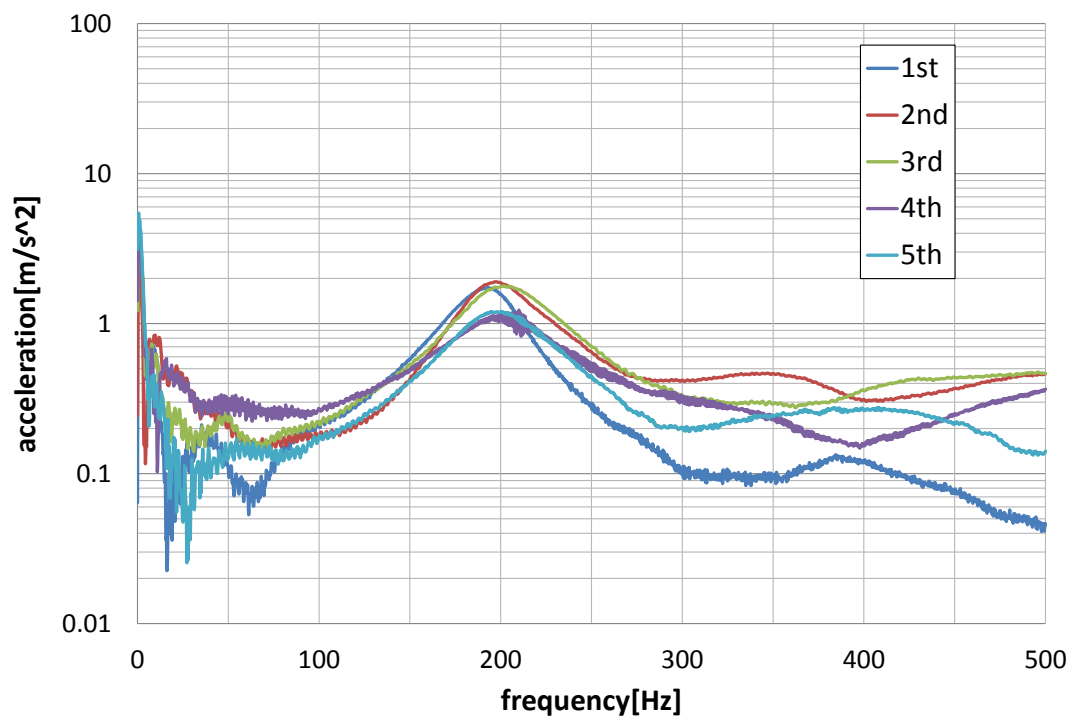


図 5-9 AL 節の周波数応答関数

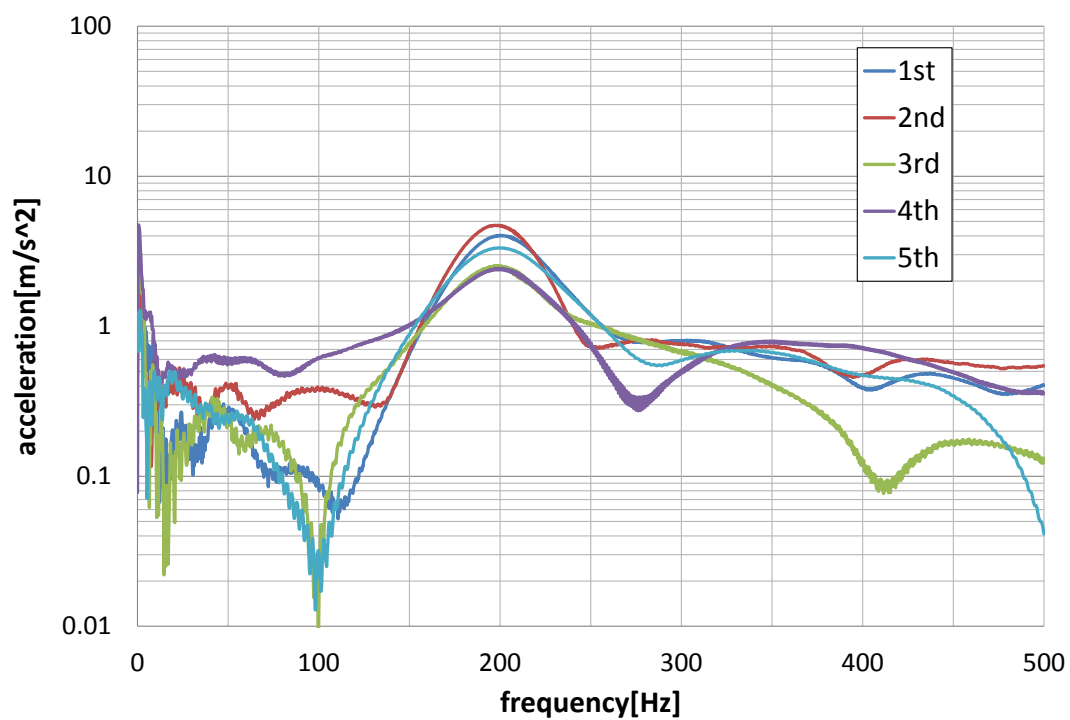


図 5-10 AL 内側の周波数応答関数

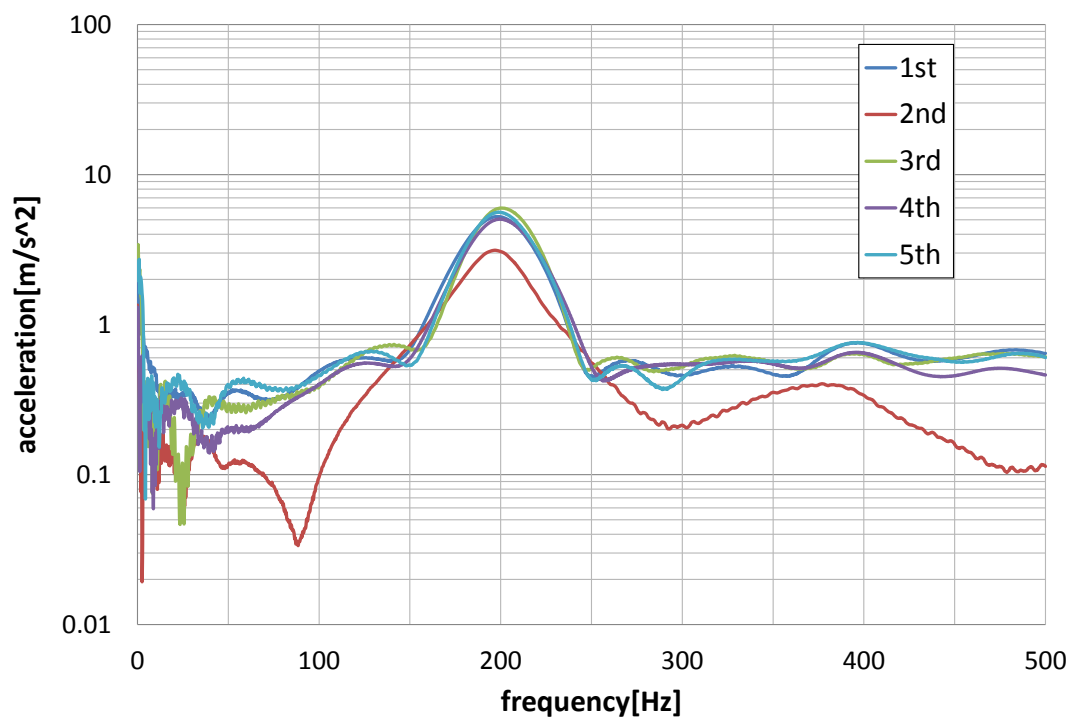


図 5-11 AL 外側の周波数応答関数

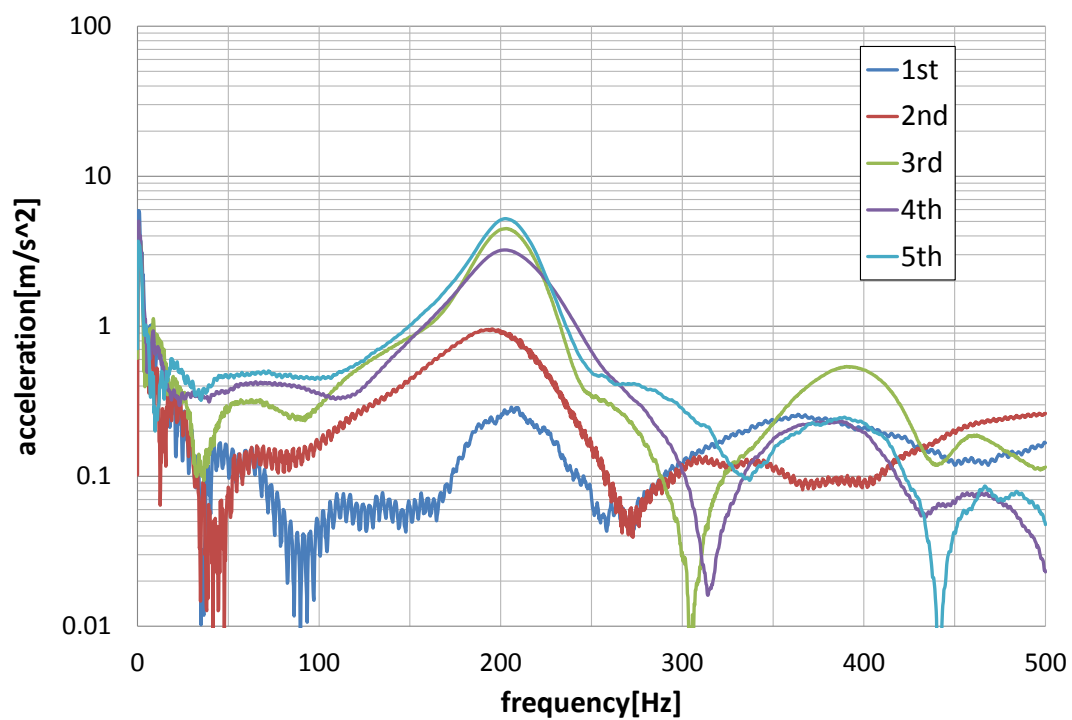


図 5-12 M 節の周波数応答関数

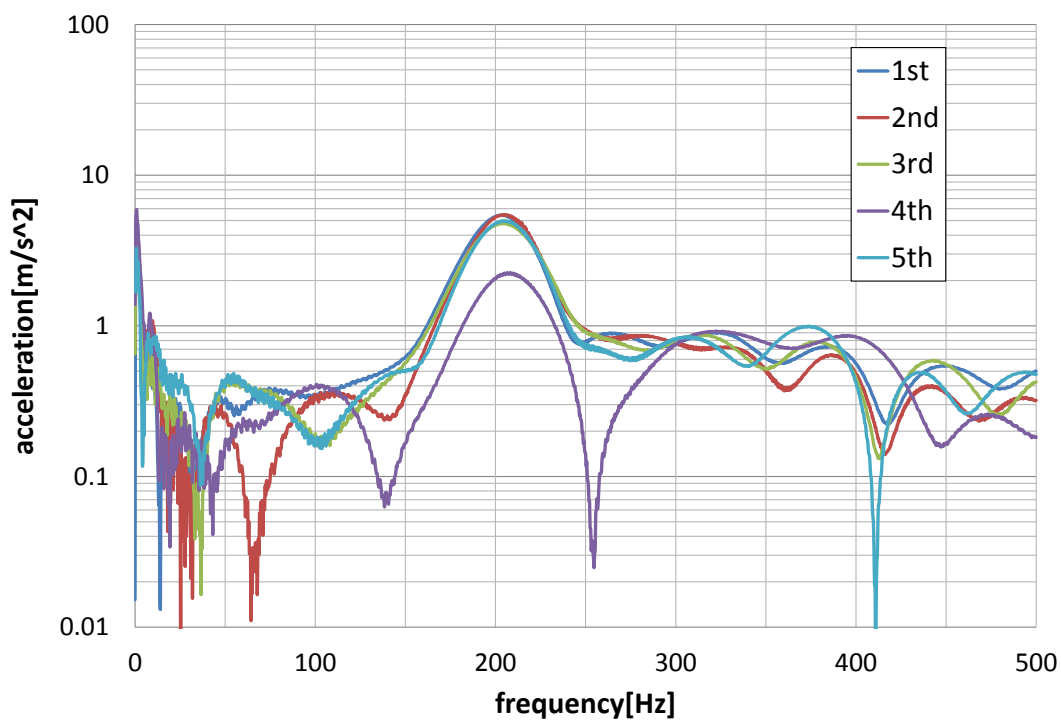


図 5-13 M 内側の周波数応答関数

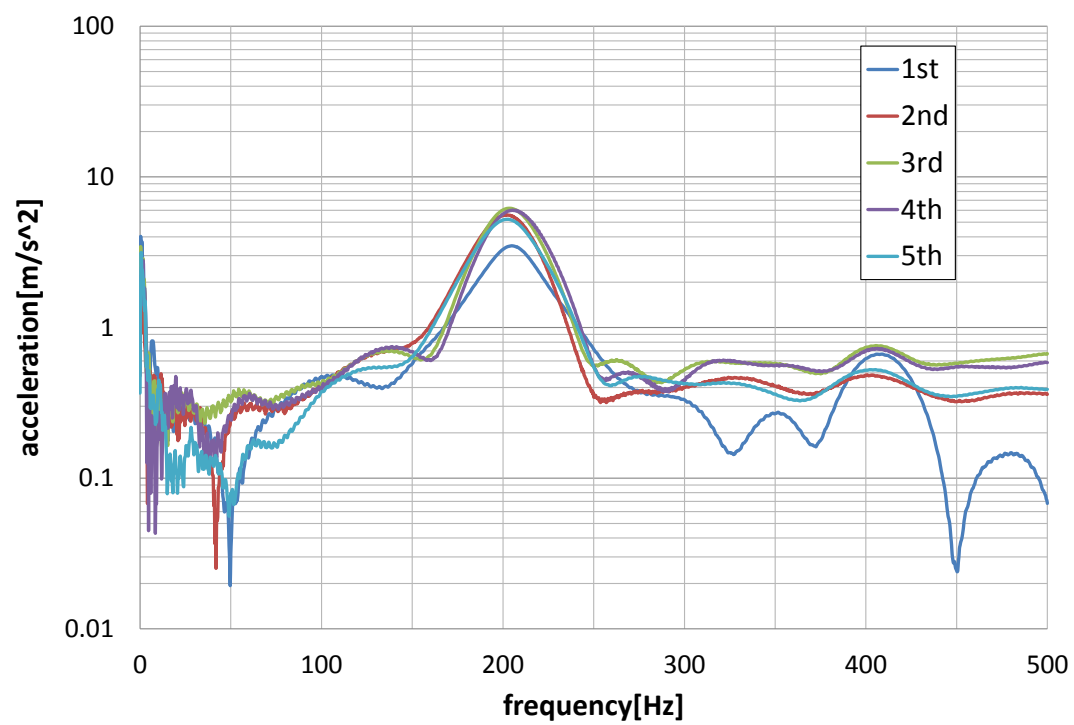


図 5-14 M 外側の周波数応答関数

5.1.4 平均結果による比較

5.1.3 で実験結果を示したが打点位置ごとの比較，バットごとの比較を行うため 5 回平均しての比較をそれぞれ行った。

まずは同じバットで異なる打撃点による比較を図 5.15～5.17 に示す。

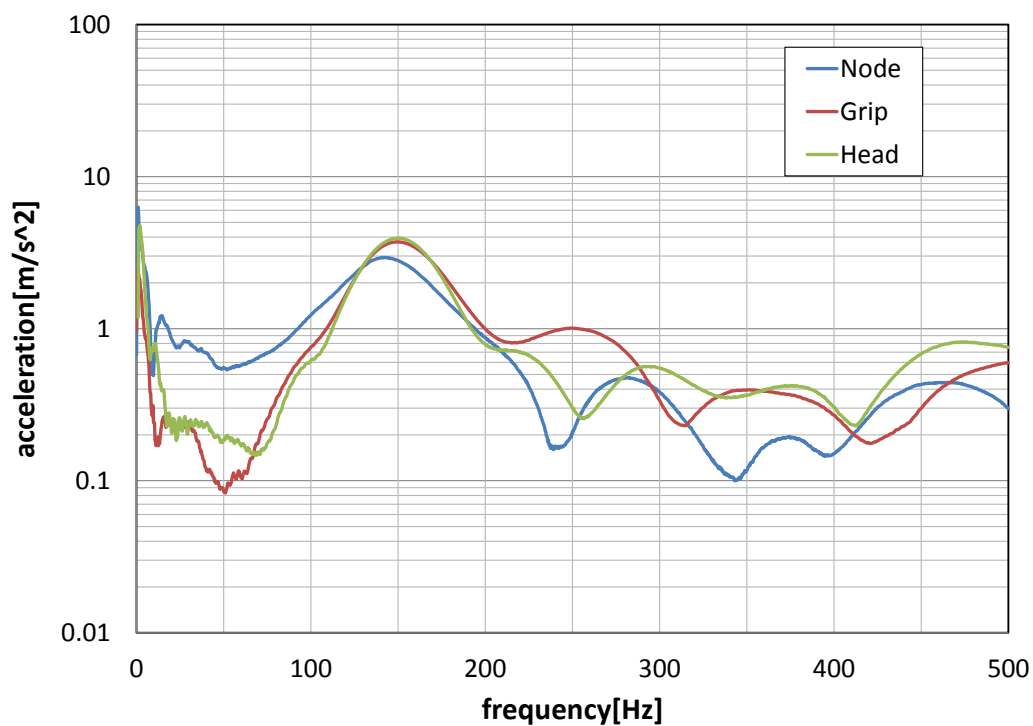


図 5-15 SY14 の打撃点による周波数応答関数の比較

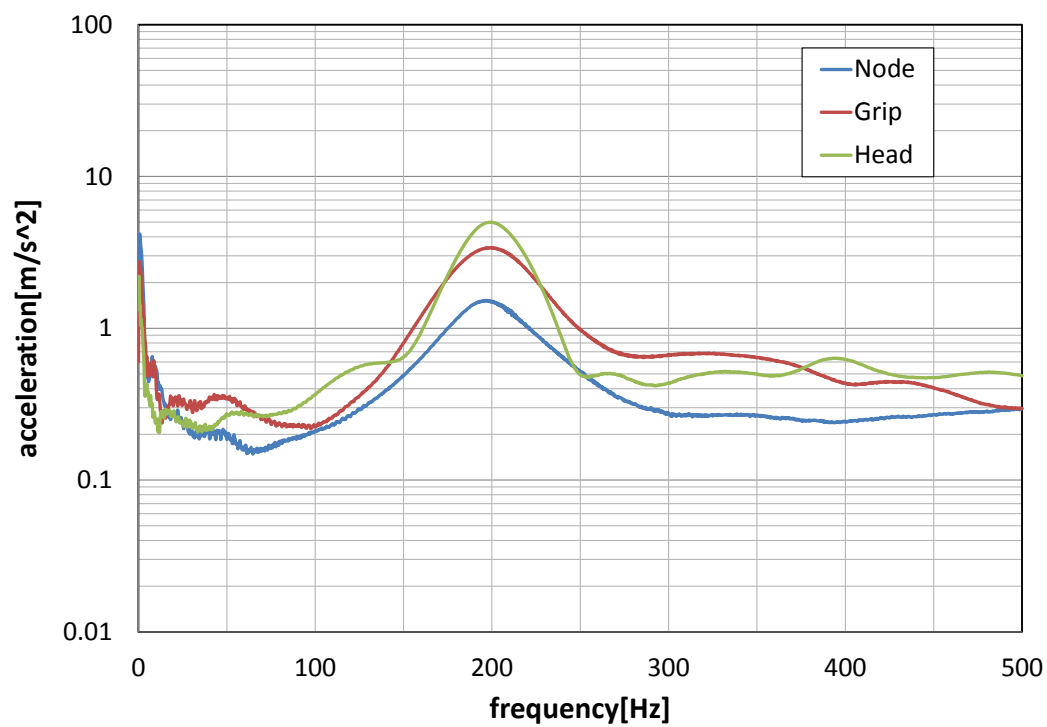


図 5-16 AL の打撃点による周波数応答関数の比較

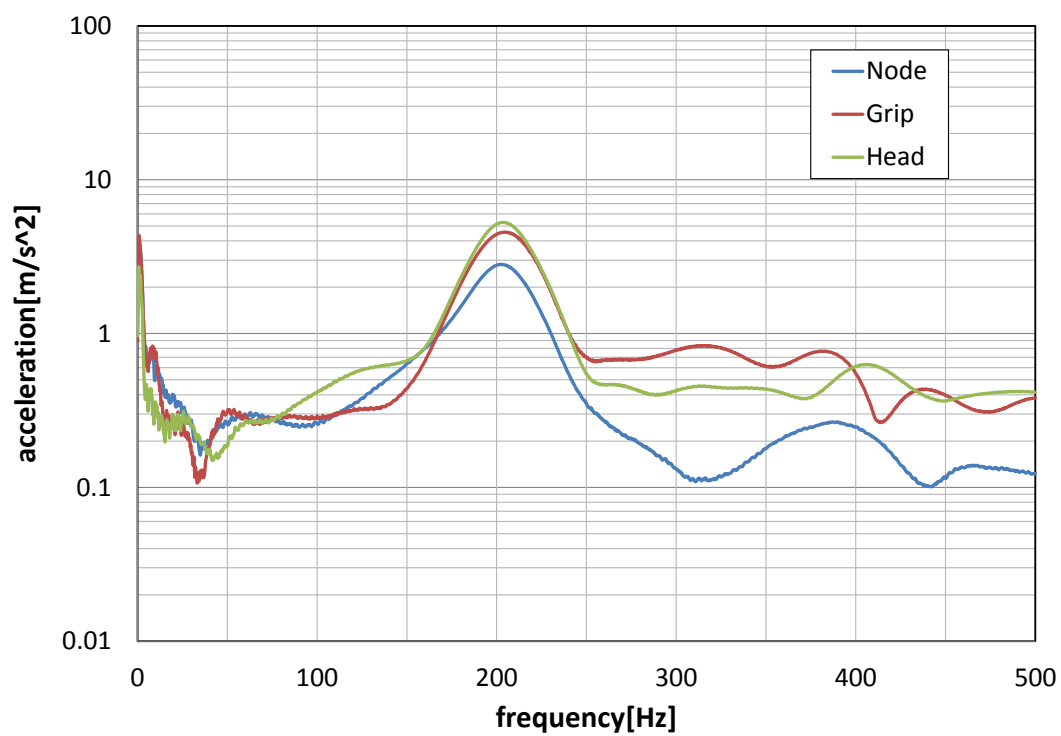


図 5-17 M の打撃点による周波数応答関数の比較

続いては同じ打撃点で異なるバットによる比較を図 5-18～5.20 に示す。

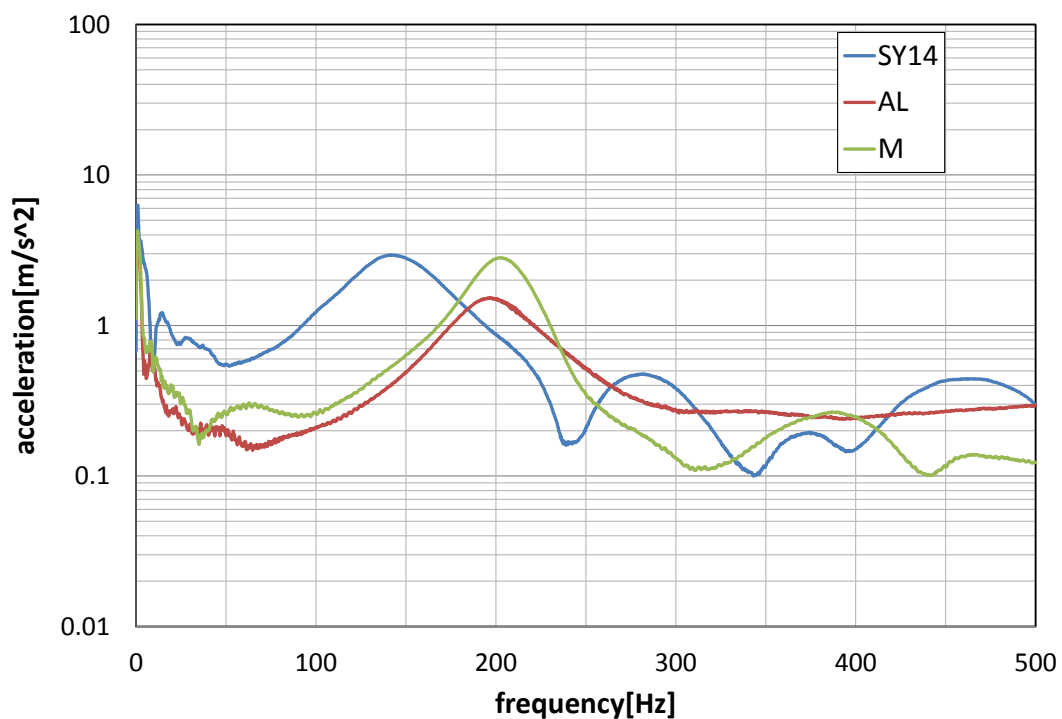


図 5-18 節のバットごとによる周波数応答関数の比較

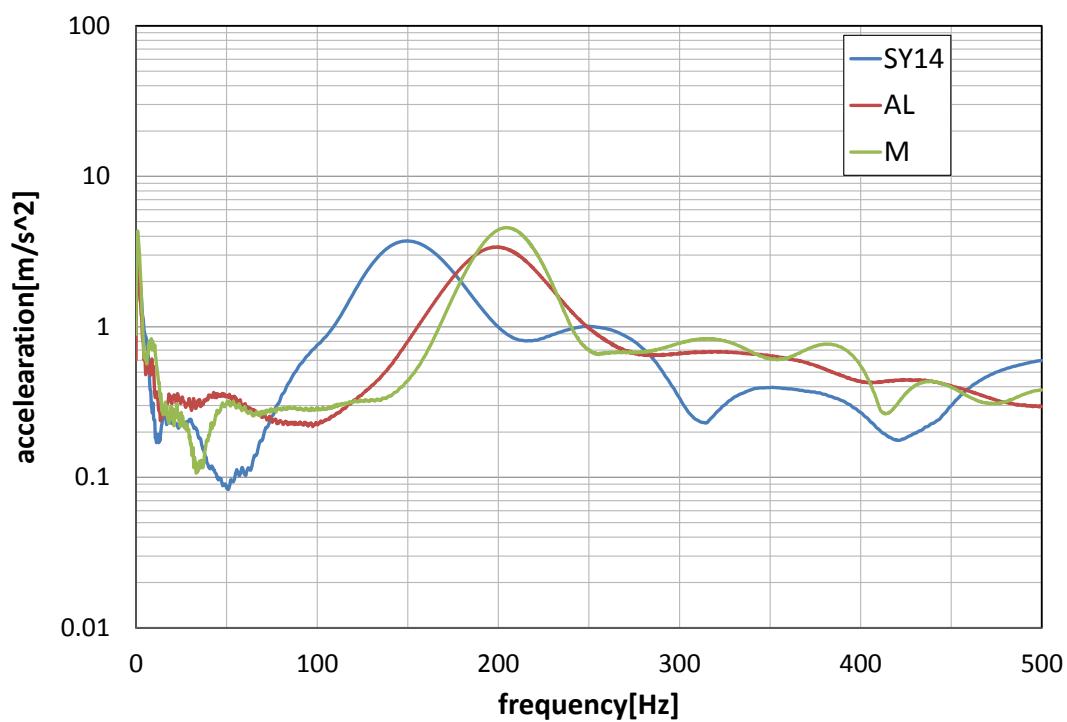


図 5-19 内側のバットごとによる周波数応答関数の比較

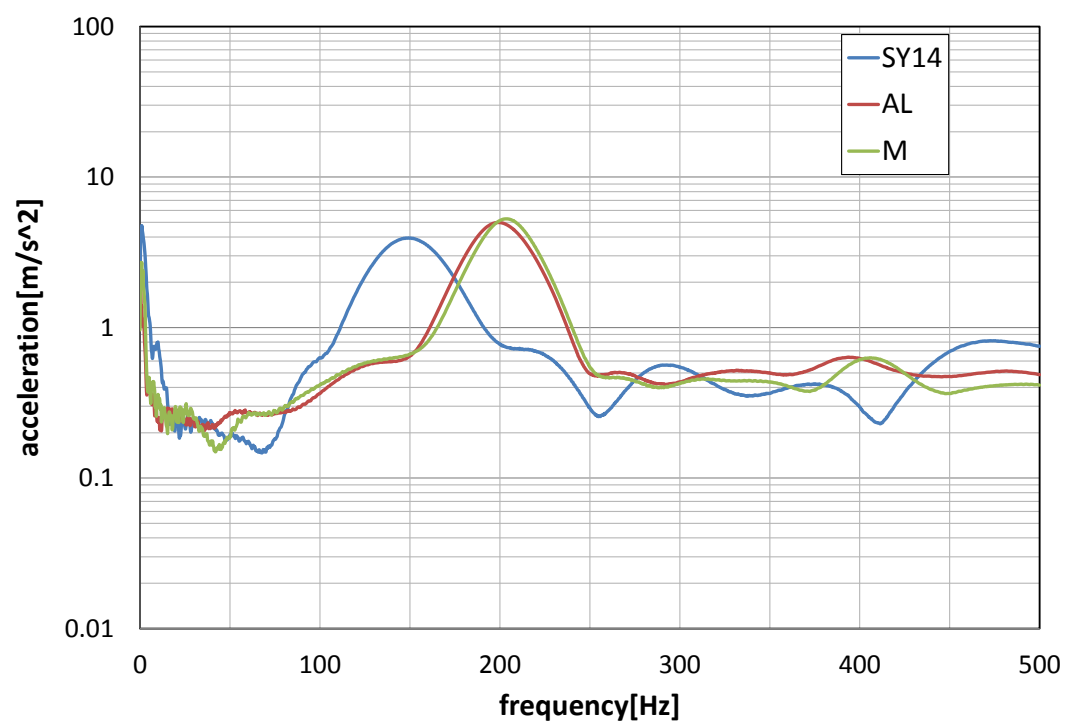


図 5-20 先端による周波数応答関数の比較

5.1.5 考察

平均結果で比較を行ったが、バットでの比較では加速度の大きさは節が他の 2 箇所と比べて低くなる結果となったが、打撃点の比較をするとバットのしびれの強さと加速度の大きさにはバラつきが見られた。

この要因として考えられるのは、実験モード解析では単位力あたりの加速度であるアクセラランスによる比較だったが実打試験では加速度による比較を行ったこと、また打ち手の打つ時の力、トスを上げる人の加減といった常に一定とは言い難い要因が考えられる。特に Grip, Head の打撃位置はあくまで芯より内側・外側かという基準のみなので実験の正当性としてどの打点で打ったかを確認していく必要があると考えられる。

また、周波数の位置に関しては他の支持条件と似た箇所に共振峰を確認することが出来た。このため実験モード解析で行った加振試験に関しては信頼できると考えられる。

5.2 実打アンケート

今回の実打試験によって得られたデータと実際に打ったことによって得られる感覚（フィーリング）が関連しているかを確認するために野球部員 20 人程度からアンケートを実施した。試験方法は実打試験と同じくソフトボールを使用し、トスバッティング方式・打撃点は各バット(A・AL, B・SY14, C・M), 3箇所（ア・根元, イ・節, ウ・先端）の計9点を打ってもらった。どのバットがしびれやすいかは伏せてある状態で各自が感じたしびれを5点評価（最大5点, 最低1点）でそれぞれ評価してもらった。

5.2.1 アンケート項目

アンケートの質問事項は以下の通りである。

「ソフトボール用バットのしびれに関するアンケート」

I. 各バット(A, B, C)の各点(ア, イ, ウ)について

1 ; 全くしびれなかった ～ 5 ; 非常に強くしびれた

として, 5段階評価で表に記入してください。

(同程度と感じた場合, 同じ評価を何度しても構いません。)

II. それぞれのバット, あなたが最もしびれが強いと感じた点の中で, しびれの大きい順に並べてください。(例 : A・ア > C・ウ > B・イ)

III. 全体を通して, しびれが強いと思う順に A, B, C を並べてください。

IV. 実験を通して「バットによってしびれの種類が違った」, 「打点によって痛みを感じる手が違った」など気づいたことがあれば, どんなことでも良いので具体的に書いてください。

5.2.2 アンケート結果

アンケートによって得られた結果を図 5-21 および表 5-1 に示す。

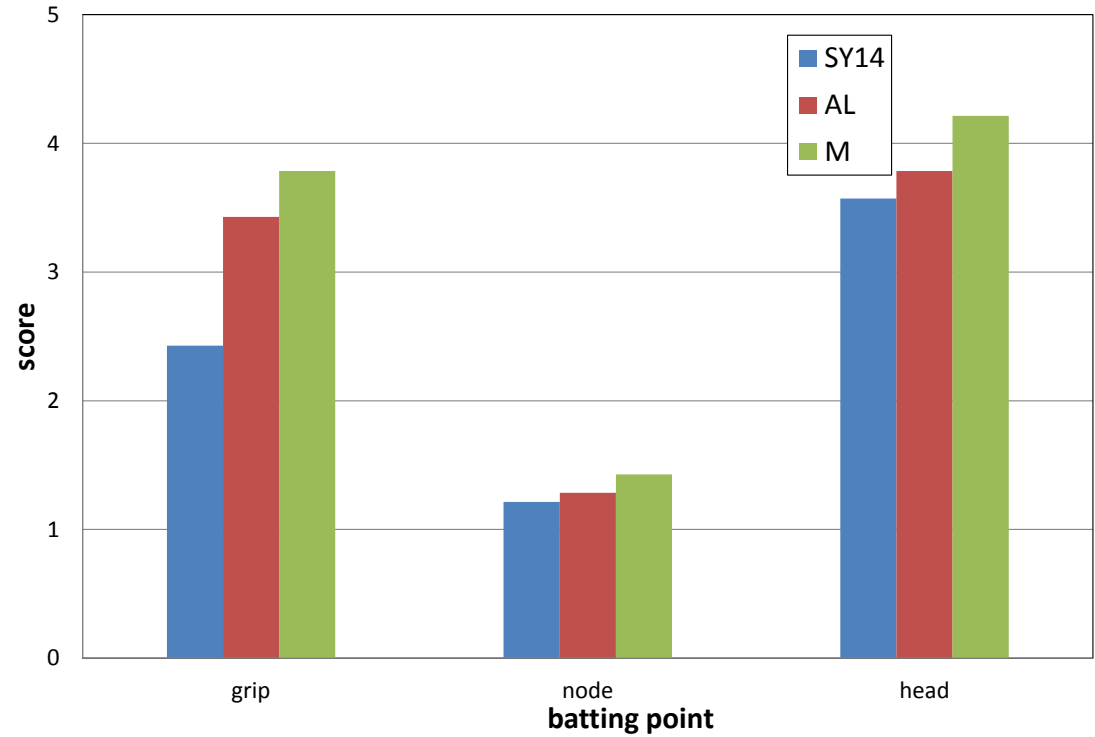


図 5-21 実打アンケートの結果

表 5-1 アンケートの点数

Bat	Grip	Node	Head
SY14	2.46	1.23	3.54
AL	3.46	1.31	3.77
M	3.77	1.46	4.15

5.2.3 考察

表の結果ではどのバットでも Head>Grip>Node というアンケート結果が得られた。また、打撃点の評価でも M の Head 部分が一番しびれると回答する人が多かった。

「節の位置付近はどのバットにも関わらずしびれなかった」という意見は共通しており、しびれる箇所についてはバットのモード形状で腹に最も近い Grip の詰まる感覚よりも Head の引っ掛ける方が手にしびれたという意見が圧倒的に多かった。

6. 結論

本研究で分かったことをまとめる。

(1) 実験モード解析

「自由支持」での周波数応答関数の結果ではアクセラランスの最大値は同じであったが固有振動数の大きさはしびれの強さと同じ順番となった。しびれと固有振動数には関連性があると考えられる。特に SY14 は他の 2 本と比べて固有振動数が 60Hz も小さくなり結果となった。減衰系の固有振動数は式(1)で表記したがバットの質量は最大でも 13g と質量に影響がほとんどない、つまり剛性の強さが固有振動数およびしびれの強さに影響していると考えられる。また、一次のモード形状の結果では 3 本ともほぼ同じ形状が見られた。これに関してはしびれの強さと関連性はあまりない結果となった。

「人の手による支持」によって人の違いに関わらず「自由支持」と比べて共振峰が下がりなだらかな形状となった。これはバットが人の手によって減衰された結果となった。特に SY14 は他の 2 本と比べて山の高さが下がりやすい結果が得られた。また、モード形状においては一次の形状を得ることが出来たが振幅の大きさ・順番とかなりのバラつきがある結果となった。自由支持との比較では固有振動数の結果では大きな違いはなかったがモード減衰比には大きなバラつきが出た。特に SY14 の減衰の増える割合は他の 2 本と比べて大きくなった。減衰比のバラつきの要因として考えられるのは持ち手による手の厚さなどの個人差や同じ持ち手でも常に同じ力で握り続けることが困難であるからといった点が考えられる。

「シリコングリップによる支持」では固定具によって一定の条件下で加振試験をすることができたが周波数応答関数では人の手支持と比べて 50Hz から 100Hz にかけて違う形状が得られた。これはシリコン本体の固有振動数が影響を及ぼしたと考えることが出来る。一定の条件下で加振試験を行うという目的は達成することが出来たが人の手による支持の完全なる再現とはいかなかった。

(2) 打撃中心

二本吊り試験法によって各バットの周期を測定し、そこからバットの重心周りの慣性モーメントの同定を行い、打撃中心の同定ができた。自由支持状態での節の位置と打撃中心の位置を比較すると SY14, AL は 17mm, M は 34mm と節の位置とは別に存在することが分かった。また、打撃中心付近の確認を行ったが SY14, M は打撃中心で一旦アクセラランスが下がり上がっていくが AL のみ一旦上がっていく別の形状が得られた。これは打撃中心の位置が他の 2 本と比べて一番グリップエンドから離れていることが要因として考えられる。

(3) 計算モード解析

各バットの計算モデルの固有振動数およびモード減衰比の同定ができた。実験におけるモード解析との比較を行ったがいずれもアクセランスの高さが実際の結果と比べて低くなった。この原因として考えられるのは実際の繊維強化型プラスチックは異方性であるのに対して、本研究で作成したモデルは一様な等方性材料として作成したことや内部構造で調査した際に分かった制振材や金属板などの要素を抜かしてキャップ部とバット部の大まかな2つに分けて計算したことである。また、SY14ではグリップ部に重りが唯一存在するので重りの有無による比較を行ったが固有振動数が減少した。これは減衰系の固有振動数で示すように質量が増えれば固有振動数の減少する結果である。また、重りの位置についてもグリップ部に存在する節との影響を考慮すべきである。4自由度モデルについては自由支持での計算結果よりもアクセランスが高くなる結果となった。これについてはダンパーを除いてモデルを作製したこと、計算に用いた減衰比が自由支持のものと同じ数値を用いたなどの理由が考えられる。減衰比を人の手支持状態の平均値を用いて計算すると実験モード解析のように減衰が大きくなることによってピークが下がり、共振峰がなだらかになった。自由状態のALとMではアクセランスのピークによる値がALの方が若干大きかったが減衰によってALの下がり具合が大きくなる結果となった。

(4) 実打試験

各バットの各設定打点の5回の実打試験を行い平均結果の比較を行ったがバットごとの比較ではどのバットも加速度の大きさが $\text{Head} \geq \text{Grip} > \text{Node}$ となる結果が得られたが打点位置ごとの比較ではしびれの強さである $\text{SY14} < \text{A} \leq \text{M}$ という結果が得られなかった。これは要因としてトスの上げ方、バッターのボールの捕え方、打点位置のバラつきなどが考えられるが、実験モード解析とは違いアクセランス（単位力あたりの加速度）ではなく加速度による比較を行っている点が最大の要因である。これによりバットがボールを捕えた時の力にバラつきがあったことが考えられる。

またアンケートの結果では、バットの種類によらず $\text{Head} > \text{Grip} > \text{Node}$ の結果となった。意見としては「詰まる」よりも「引っ掛ける」方が痛いと感じた人が多い結果となった。

7. 今後の課題

今後の課題は以下の通りである.

(1) 実験モード解析では「人の手による支持」の持ち手の数を増やし人の手のデータを多く得ること, 「シリコングリップによる支持」ではシリコングリップの固有振動数や剛性など要因を考えていく必要がある. 硬さの異なるシリコングリップを作製し, 結果の比較を行っていきたい. また, 人間工学による人間の簡易的モデルではハンドグリップ部の固有振動数は $50\sim 200\text{Hz}$ と考えられているのでそれを参考に影響を考えていく必要がある.

(2) 打撃中心に関しては二本吊りによって求められた周期から同定が出来たが, 別の周期を求める方法で同じ結果が得られるか調査を行っていきたい. また打撃中心付近の加振試験の結果ではALのみ他の2本と異なる結果が出たのでその原因を見つける必要がある.

(3) 理論モード解析ではバットの FEM モデルの改善が必要である. 異方性材料だが等方性材料として作製している点, 制振材, グリップ部の重りや樹脂材による条件を考慮していない点など計算をすることが出来たがモデルとして改善していく必要がある. また, 計算モードでは自由支持で計算を行っているが支持条件を変えることによってどのように影響するか比較していきたい. 本研究では「重り」「ばね」「ダンパー」を用いることで人の手のモデルを検討したが今回は「ダンパー」を用いずに計算を行った. 4 自由度系のモデルではダンパーを用いて再度計算を行うこと, また計算に用いる減衰比, 4 自由度モデルを付ける位置等改善の余地がある.

(4) 実打試験では加速度による比較に関しての妥当性を評価する必要がある. 実験モード解析では単位力あたりの加速度による比較を行っていたが, 実打試験ではハンマを使わないため加速度による比較で行った. 「トスのスピード」「バットのスイングスピード」「ポイントの捕え方」によってボールに当たった瞬間の力に差異があった可能性もあるため, 試験条件の検討も必要である. また, アンケートによってしびれやすいポイント, しびれにくいポイントが得られたため実験結果とフィーリングが関連付けられるようにしたい.

(5) ボールがバットに衝突した瞬間に手がしびれるとすれば当たった直後, どれだけボールがバットに残るかによってしびれ方に違いが生じる可能性がある. そのためバットの反発係数としびれの強さが関係しているか確認を行いたい.

参考文献

- 1) 長松昭男,モード解析入門, コロナ社, pp.229-374, 1998
- 2) 鳴尾丈史, FRP 製バットの打撃時のしびれに関する研究, スポーツ産業学研究 Vol3 No.1, pp.27-33, 1993
- 3) 渡辺敬人, 日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集 Vol.12th, pp.497-498, 2006
- 4) 日本機械学会編,機械工学便覧 測定法自動制御改定第 6 版, pp.6-14, 1976
- 5) 谷口大樹, 日本機械学会スポーツ工学シンポジウム・シンポジウムヒューマン・ダイナミクス講演論文集 Vol.2007, pp.27-30, 2007
- 6) Gary C Foss, Bard Glenne,Reducing On-Snow Vibrations of Skis and Snowboards, Sound and Vibration, Vol.41 NO-20, pp.22-27, 2007
- 7) Ren G. Dong, Jennie H. Dong , John Z. Wu , Subhash Rakheja ,Modeling of biodynamic responses distributed at the fingers and the palm of the human hand-arm system
- 8) 佐藤方彦, 人間工学基準数値数式便覧, 技法堂出版, p377-p378, 1992

謝辞

このたび、本研究を行う環境を与えて頂いた株式会社ミズノ 寺西様に、お忙しいなか振動学をはじめ、様々な事柄に関して御指導・御鞭撻を頂いた法政大学理工学部機械工学科 岩原光男先生に、研究全般にわたり数多く御指導・御鞭撻を頂いた法政大学大学院工学研究科機械工学専攻教授 新井和吉先生に、学部4年の時、振動・音響研究室にて数多く御指導・御鞭撻を頂いた法政大学大学院工学研究科機械工学専攻元教授 長松昭男先生に、本研究に御協力頂いた岩原研究室及び新井研究室的皆様に、実打実験に御協力頂いた法政大学硬式野球部の皆様に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。