

21202 反共振点移動理論を用いた構造最適化 (振動・騒音(1))

SUZUKI, Kaoru / NAGAMATSU, Akio / 長松, 昭男 / IWAHARA,
Mitsuo / ODATE, Jun / 大館, 淳 / 岩原, 光男 / 鈴木, 芳

(出版者 / Publisher)

日本機械学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集

(号 / Number)

11

(開始ページ / Start Page)

425

(終了ページ / End Page)

426

(発行年 / Year)

2005-03-17

21202 反共振点移動理論を用いた構造最適化

The research on vibration characteristic of tennis racket by the modal analysis

○大舘 淳(法政大院) 岩原 光男(法政大)
鈴木 芳(法政大) 長松 昭男(法政大)

Jun ODATE, Hosei University Graduate school, Kajinotyo3-7-2 Koganei-si Tokyo
Mitsuo IWAHARA, Hosei University
Kaoru SUZUKI, Hosei University
Akio NAGAMATSU, Hosei University

The purpose of this research is that clarifies and improves the vibration characteristic by experiment and calculation in order to do the countermeasure of the vibration problem by predicting in the design development and to shorten the development time. This study compares and examines the vibration in the case in which the ball was struck actually and was dropped with the experimental mode analysis using familiarly used tennis racket. It was proven that most large vibration had been generated at the first mode. It was possible to make the excitation response point to be a knot at the mode by the structural optimization of plate thickness and the mass given to the circumference.

Keyword: Vibration, Modal Analysis, Anti-Resonance point, Structural Optimization

1. 緒言

快適性や環境との調和がますます重要視される今日では、自動車や電化製品などの開発において、工業製品の発生する振動・騒音の人体に与える身体的、心理的影響を考慮することが必要不可欠である。

振動問題を解決するには、対象物の振動特性を正確に把握する必要がある。このためには有限要素法等の理論解析とともに振動実験を実施することが不可欠である。振動実験において最近発展を遂げているのが、実験モード解析である。

現在は数多くの製品がエンジニアの経験と勘により設計され、試作と実験を繰り返すことにより開発されている。今後さらに厳しくなる設計条件を満たし、振動問題を設計開発の段階で予知して対策するため、および開発時間を短縮するために、実験と計算により振動特性を解明し向上させることを目的としている。

今回は身近に使われているテニスラケットを使用し、振動特性が人に与える影響を研究する。まず、実際に球を打った際の振動を実測する。次に、ボール落下実験を行い、実打時の現象を再現した。この実験では実打より詳細にデータを取得することができる。実験モード解析を2種類のテニスラケットに適用し、固有振動数・固有モード・モード減衰比を求め、上記の実験結果を説明する。次に固有モードの節位置が重要な要因であることを示し、節位置移動の検討を行う。模型テニスラケットとしてアルミの単純板を用い、反共振点理論を使って汎用有限要素法プログラムにより反共振点を算出する。また、単純板の板厚とその周囲につけた質量に対して構造最適化をおこなった。

2. テニスラケットの実打試験

2.1 実験方法

人間がラケットを持ち実際にボールを打ったときの振動を計測する。加速度ピックアップは人体に影響する場所としてグリップエンドに接着し、テニスラケットは初心者用

と上級者用を比較した。その振動を測定しFFTアナライザを使用し信号処理を行った。

2.2 実験結果

初心者用ラケットでは150Hz付近に振動のピークがあり、370Hz付近ではsweet spotをはずして打ったときにのみピークがある。上級者用ラケットでは、どちらで打った場合の振動も130Hz、340Hz付近にピークが見られた。

3. ボールの落下試験

3.1 実験方法

まず図1のようにやわらかいスポンジにラケットをはさみ自由支持状態を作る。そして、①～⑤の5ヶ所に面の上から30cmの高さからボールを落とし、そのときに起こった振動をFFTアナライザを使用して信号処理を行い、グラフ化した。

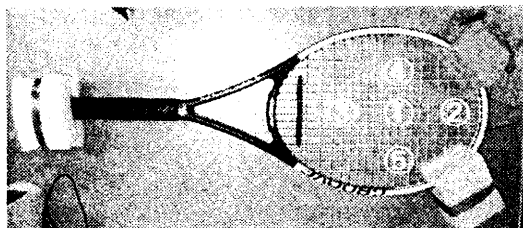


Fig.1 Experiment of dropping ball

3.2 実験結果

初心者用ラケットではどの場所でも150Hz、370Hz付近に大きなピークを見ることができた。150Hz付近では①④⑤が小さく②③で大きな振動が得られ、370Hz付近では①②③で小さく④⑤で大きな振動が得られた。

同様に上級者用ラケットでは130Hz付近と360Hz付近に大きなピークが現れた。

4. 実験モード解析

4.1 実験方法

テニスラケットを細い糸で吊るすことにより自由支持状

態を作った。打撃試験は、加速度ピックアップを固定しインパルス・ハンマを移動して計49点加振し、FFTアナライザを用いて応答を得るといふ加振点移動で行った。試験は5回平均で行い、3軸の加速度ピックアップによって3方向に応答を測定した。

4. 2 実験結果

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出来る。初心者用の1次モードは150Hz、2次モードは370Hzに、上級者用の1次モードは130Hz、2次モードは360Hzに固有振動数があり、1次、2次それぞれ初心者用と上級者用では同じモード形状が見られた。

ボールの落下試験からは初心者用、上級者用共に実験モード解析で得られた固有モードと一致する振動が起きていた。実験モード解析で得られた固有モード振幅の小さい場所ほどグリップエンドの振動が小さくなる傾向がある。

5. 反共振点移動理論を用いた構造最適化

反共振点移動理論とは反共振点を共振点に近づけることにより、モードの節位置を変化させることができるという理論である。

5. 1 共振点・反共振点の計算

テニスラケットは様々な材料が混ざり合っていており、また、複雑な形状をしているために正確なモデル化が困難である。そこで模型テニスラケットとしてテニスラケットと同じ一次の固有振動数を持った単純板を用いてモデル化し、NASTRANによる計算から共振点と反共振点を求める。

図2に今回得ることができた反共振点を示す。

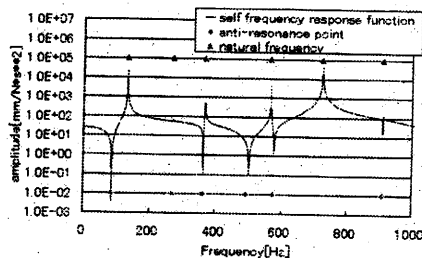


Fig.2 Calculation result of the anti-resonance point

今回、MSC/NASTRANによる計算で自己周波数応答関数と一致する反共振点の計算結果を得ることができた。

5. 2 質量の構造最適化

アルミ板の周囲36ヶ所に1.0gの質量を付け、その質量を変えていくことで実験によって最も振動が大きいことがわかった第1次モードにおいて加振応答点を節にすることにした。図3に構造最適化した質量の分布を示す

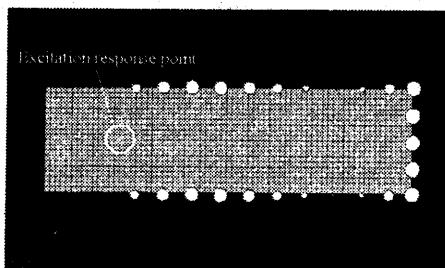


Fig.3 Mass distribution

円の面積の大きい部分が質量の大きいことを表し、構造最適化後の質量は最大で42.9g、計635gとなった。モデルの質量が4.24kgなので、これは約15%の質量となった。

また、構造最適化を行う際に計算から得られた変化量をそのまま使用すると誤差が大きくなってしまふので補正値を

かけ繰り返し計算した。そのときの周波数応答関数を図4に示す。

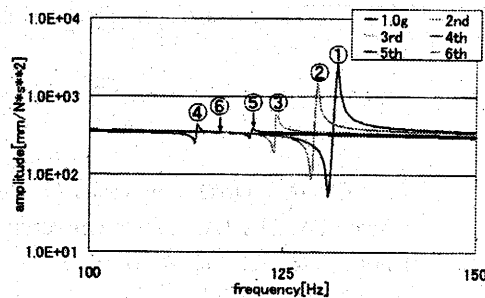


Fig.4 Frequency response function of mass change

今回の計算では3回目から4回目が離れているが、これは前述の補正値が大きく、求めたい周波数を過ぎてしまったためと考えられ、補正値を小さくしたところ5回目のようになり6回目の計算でほぼピークを消すことができた。

5. 3 板厚の構造最適化

次に板厚に対して構造最適化を行った。図5に構造最適化の結果を示す。最も厚い部分が14.11mm、最も薄い部分が9.45mmとなりその違いを色の濃淡で7段階に表した。

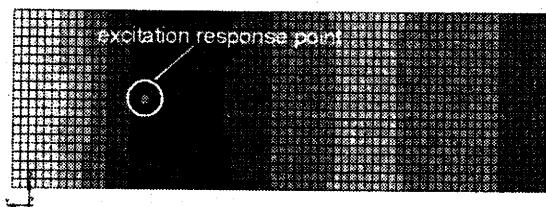


Fig.5 Thickness distribution of the model

計算で得られた周波数応答関数を図6に示す。

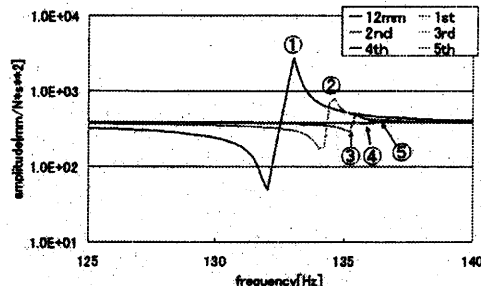


Fig.6 Frequency response function which changed thickness

6. 結論

1. テニスラケットの実打試験から初心者用、上級者用共にsweet spotから外れて打った場合の第1次モードの振動が最も大きいことがわかった。
2. ボールの落下試験ではラケットの面のそれぞれの場所で振動の大きさが異なり、実験モード解析の結果とも一致する振動が得られた。
3. NASTRANにより反共振点の計算が可能となり、自己周波数応答関数とも一致することが確認できた。
4. ある1点の加振応答点に対して、第1次モードを節にするという構造最適化をアルミ板周囲の質量とその板厚に対し行うことができた。

参考文献

- 1) 長松昭男, 「モード解析入門」, 1993年, コロナ社.
- 2) 梶原・ほか3名, 機論, 54-505, C (昭63), 2084.