

時間一周波数分析を用いた ヴァイオリン駒構造振動伝搬モデルの検討

山崎 徹* 中村 弘毅** 伊東 圭昌*** 田中 俊光***

Modelling for Vibration Transmission through Violin Bridge from String to Body by using Time-Frequency Analysis

Toru YAMAZAKI* Hiroki NAKAMURA** Yoshiaki ITOH*** Toshimitsu TANAKA***

1. プロジェクト研究の概要

現実の物理現象には必ず何かしらの非線形性が含まれていると言えるが、機械製品の設計など非線形性を考慮せずに便宜上線形として扱うことが多い。そのような場合においても、どのような、どの程度の非線形性が含まれているかを把握しておくことは重要である。各種現象把握のためには、測定を行い、測定データを周波数分析することが多い。周波数分析技術として、FFT（高速フーリエ変換）が主に用いられる。しかしFFTは時間平均結果となるため、特に衝撃的な現象などの分析には注意が必要である。瞬時的な現象の分析には、ウェーブレット解析やフィルタ処理技術が有効であり、著者らはデジタルフィルタを用いた三次元周波数分析（時間一周波数分析）手法を開発し、それに基づく振動モデル化法の開発、疾病診断のための心電波形分析、などへの応用について検討を行っている⁽¹⁻³⁾。

これまで、デジタルフィルタを用いた時間一周波数分析技術の開発として、線形振動⁽¹⁾、非線形振動⁽²⁾の時間一周波数分析結果の捉え方、FFTやウェーブレットなどその他の信号処理手法との比較を行い、開発手法の優位性

を確認、検証してきた。また、機械にまつわる各種の振動・音響分析を実施し、対象機械の現象把握、特性の評価、モデル化などへの活用、心電波形の基礎的な検討⁽³⁾を行ってきた。そこで本報告では、別途の研究⁽⁴⁾で明らかにしたヴァイオリンの駒構造の振動伝搬特性が一方となっていることのみならず、メカニズム解明に時間一周波数分析技術を活用した事例を紹介する。

2. ヴァイオリン駒構造の振動伝搬メカニズムの解明

2.1 ヴァイオリン構造

図1にヴァイオリンの全体と断面模式図を示す。表板、裏板と側板で構成され、駒と表板は弦によって押しつけるように設置されている。また表板には一本の力木が長手方向に設置され、裏板との間に魂柱が挿入されている。

2.2 振動伝搬性状

弦から駒を介して本体へ伝わる振動伝搬を調べると、振動入力と応答の相反定理が成立しない周波数域を確認した（図2）。このことと振動エネルギー伝搬解析手法の実験SEAを用いた検討結果（駒を介して表板へ入力される振動入力パワーは無限系への入力パワーと周波数分布が類似する）から、何らかの非線形性によって一方の振動伝搬となっていることと推測した。

2.3 時間一周波数分析によるメカニズムの仮説の導出

非線形現象の詳細検討として、駒の弦と接する箇所をインパルスハンマで打撃し、そのときの表板の応答を加

*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

**助手 機械工学科

Research Associate, Dept. of Mechanical Engineering

***客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

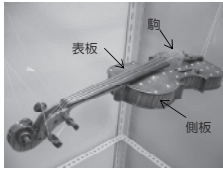


図1 ヴァイオリン構造

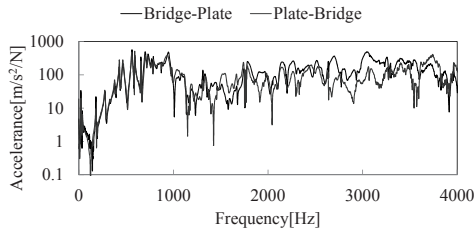


図2 ヴァイオリンの駒と表板の振動応答例

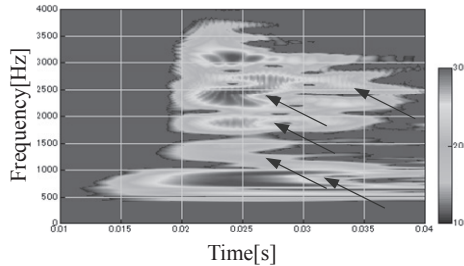


図3 ヴァイオリンの振動応答の時間一周波数分析結果

速度により測定した。その時刻歴波形を開発した時間一周波数分析を行った結果を図3に示す。応答が線形の場合には、時間によって図のz軸の値が大きなピークの周波数が一定となるのに対し、図3の結果では図中に矢印で示すところなどで、時間による周波数の変化、すなわち、非線形性が確認できる。別途の検討と共に、ヴァイオリンの駒構造を介した振動伝搬は、振幅依存の非線形性を有することと言える。

3. 簡易試験体による検討

振幅依存の非線形性であること、そもそも駒と表板は接着されていないことから、衝撃による現象であることと思われた。そこで、二つのブロックを押しつけ固定した試験体(図4)を用いた検討を実施した。図2と同様に相反定理が不成立となること、図3と同様に時間一周波数分析による時間による周波数の変化を確認した。また、ブロック間の瞬時振動インテンシティの測定結果(図5)から、衝突時は負の値を示し、その後は常に正の値、すなわち、一方向へのエネルギー伝達であることを見出

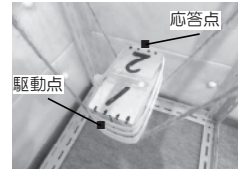


図4 簡易試験体(二つのブロックをひも留め)

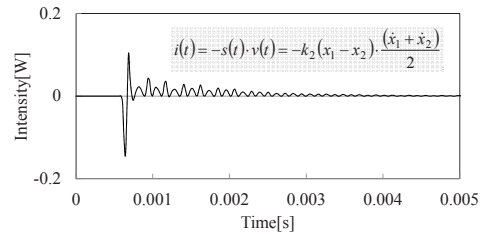


図5 簡易試験体の一方向振動伝搬測定結果例

した。このことから、駒構造を介する振動伝搬特性は、接触状態の衝突現象による振幅依存の非線形現象であると言える。この振動伝搬は一方向のみへのエネルギー伝搬特性を有する。各種機械の振動伝搬制御への駒構造の活用が期待できる。

4. おわりに

本報告では、時間一周波数分析技術を用いて、ヴァイオリンの駒構造の振動伝搬メカニズムを考察し、今後のモデル化および機械製品の低振動・低騒音化へ有益な知見を得ることができた。また、振動特性をFFTで評価すると時間平均結果となることから、衝撃応答の正しい評価、非線形現象の抽出ができない。このことを理解した上で、一度は測定データを時間一周波数分析し、そのうえでFFTを用いることが望ましいと言える。

今後は、時間一周波数分析技術を種々の現象解明に役立てると共に、各種の従来手法でFFTの代替とすることで新たな発展を目指す。

参考文献

- (1) 伊東圭昌, 山口尚人, 山崎徹, “デジタルフィルタによる時間一周波数分析を用いた振動解析に関する基礎的検討”, 日本機械学会論文集C編, 79巻801号, pp.1633-1646, 2013-5
- (2) Y.Itoh, T.Imazu, H.Nakamura, T.Yamazaki, “TIME-FREQUENCY ANALYSIS WITH DIGITAL FILTER FOR NONLINEAR SYSTEM CHARACTERIZATION IN MECHANICAL VIBRATIONS”, Proc. of The 22th International Congress on Sound and Vibration, 1009, 2015-7
- (3) 伊東圭昌, 山崎徹, 永井基, 藤井智恵子, “デジタルフィルタを用いた時間一周波数分析による心電波形の可視化”, 可視化情報全国講演会講演論文, D210, 2015-10 (発表予定)
- (4) 伊東圭昌, 今津卓, 中村弘毅, 山崎徹, “ヴァイオリンの駒構造から学ぶ機械の静穏化技術の開発”, 日本機械学会[No.15-7] Dynamics and Design Conference 2015 USB 論文集, 529.pdf, 2015-8