

振動騒音低減のための二段階設計

山崎 徹* 三山 壮** 中村 弘毅*** 田中 俊光**** 石濱 正男**** 伊東 圭昌***** 菊地 通*****

Two-Step Structural Design for Reducing Vibration and Noise on Machinery

Toru YAMAZAKI* Takeshi MIYAMA** Hiroki NAKAMURA*** Toshimitsu TANAKA**** Masao ISHIHAMA****
Yoshiaki ITOH***** Toru KIKUCHI*****

1. 緒言

機械製品の静粛性は重要な製品価値であり、今後の更なる電動化などにより対処すべき周波数帯は高く、広がってきている。振動騒音問題の解決は共振回避を基本とするが、広帯域の問題には工夫が必要となる。

いま例として、図1に示す両端単純支持はりの駆動点アクセラランスを運動方程式に基づき算出した結果（EOM，細線）と無限系はりの波動解析により算出した結果（Infinite，太線）を考える。振動騒音の低減はピーク値を下げることであり、そのためには“ピークを下げる・ピーク周波数を移動させる”という考えと，“全体的に下げる（平均を下げる）”という考えがあり得る^[1]。共振回避は前者の考えに属し、固有振動数や減衰といった固有振動視点のもので、単一のピーク問題に有効である。後者の考えは、一自由度振動系に基づく剛性コントロールや質量コントロールといった考えを含み、構造境界などによる反射の無い波動伝搬視点のもので、広帯域の問題に有効と思われる。

このような背景の下、著者らは、広帯域の振動騒音問題を対象に、伝搬視点と固有振動視点を組み合わせた二段階設計を考えている^{[2][3]}。第一段階設計（大局設計）は、平均的挙動に着目し主として伝搬視点によるロバスト性の高い“素性のよい設計”を意図する。第二段階設計（詳細設計）は、ピーク挙動に着目し主として固有振動視点によって低振動化のみならず、音質などを考慮したピークコントロールを行う“味付け設計”を意図する。

ここでは、この二段階設計の実例として、簡易平板構造物（図2）を例に、第一段階設計に解析SEA（解析式に基づく統計的エネルギー解析法）^[4]、第二段階設計に振動インテンシティ^{[5][6]}のFEM解析を用いることで、低振動化設計ができることを示す。

2. 第一段階設計

図1の対象物を図中に数字で示す8個の要素からなる系と考え、要素1と2への振動入力時の要素3と4の振動の低減を、解析SEAと最適化を用いた第一段階設計で実施する。

本対象のSEA基礎式は $P = \omega LE$ であり、 ω は角振動数、 P は入力パワーベクトル、 E は要素エネルギーベクトル、 L は損失率マトリクスで、要素減衰と要素間伝達のパラメータで構成される。これらのパラメータを数式で評価する解析SEAでは、パラメータに含まれる板厚などを設計変数に、目的関数を要素3と4の要素エネルギーとし、その最小化最適問題を容易に解くことができる。

板厚を設計変数とした最適化の結果は、要素5から8は薄く、要素3と4は厚くするというものであった。この結果の振動低減効果を確認するために、図3に、初期構造（Initial）、最適化後の構造（1st step）のFEMによる要素3の応答比較を示す。Initialに比べ1st stepの応答は多くの振動数域で低減されていることが確認できる。しかしながら、40Hzや130Hz近傍では増大されていることもわかる。

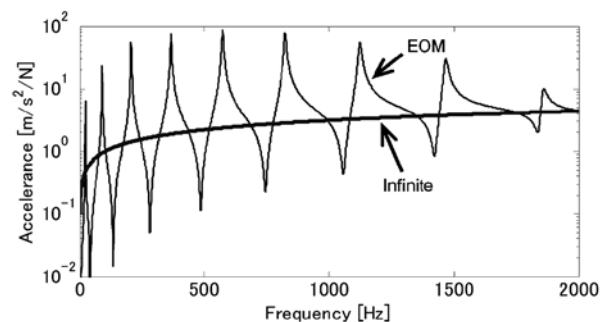


図1 両端単純支持はりの駆動点アクセラランスの算出例

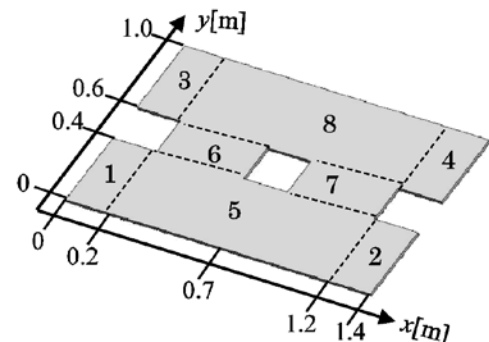


図2 対象平板構造物（8要素）

*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

**大学院（博士前期課程）機械工学専攻

Graduate (M.C.), Dept. of Mechanical Engineering

***助教 機械工学科

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

****客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

*****客員研究員 工学研究所

Guest Researcher, Research Institute for Engineering

*****特別研究員 工学研究所

Researcher, Research Institute for Engineering

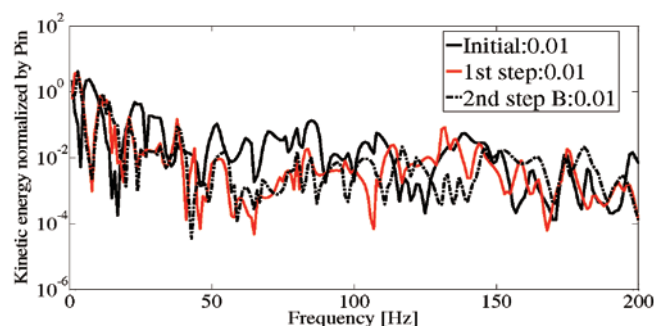
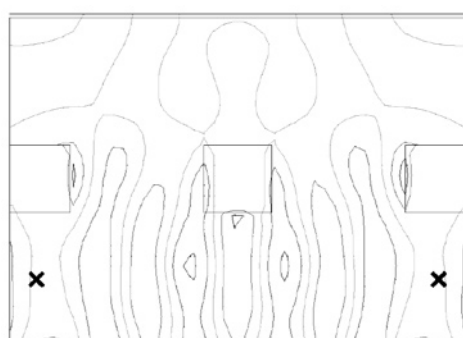
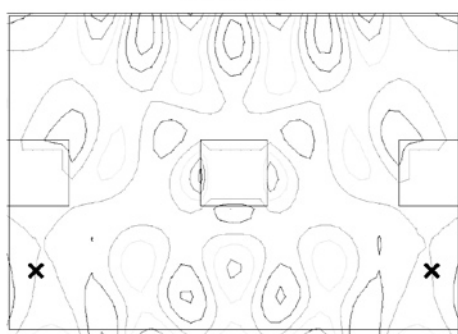


図3 対象平板構造物 (8要素)



(a) 131 Hz



(b) 135Hz

図4 130Hz 付近の固有モード例 (4Hz の違いで大きな違い)

3. 第二段階設計

ここでは、第一段階設計で振動低減効果がなかった130Hz 付近を対象に、振動インテンシティ (SI) に基づく第二段階設計を行う。

130Hz 近傍には複数の固有モードが存在し、わずか4Hz の違いで図4に示すように振動分布は大きく異なる。一方、SI 分布 (減衰を大きくしたとき) は、この振動数域では共通して、図5のように要素5を横切り要素3と4に伝わる流れが主要となっている。そのため、この主要な流れを阻害するように図6に四角で示す箇所の板厚を初期状態に戻し、要素3と4へのエネルギー伝搬を抑制することを第二段階設計として考えた。

第二段階設計による振動低減効果を確認するため、前章と同様に、FEM による要素3の応答 (2nd step) を図3に示す。着目した130Hz 付近において振動の低減ができていないこと、その他の振動数域の多くで第一段階設計時の特性を悪化させていないことが分かる。ただし、180Hz 付近では悪化していることも分かる。

本報では、SI 分布に基づき部分的な構造変更を論じたが、主要

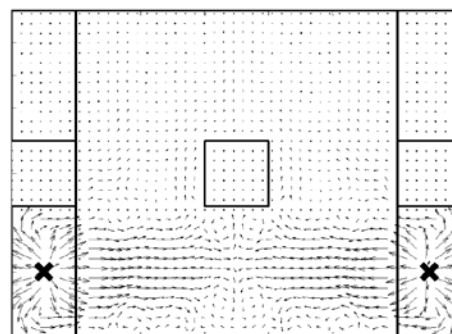


図5 SI の進行波成分

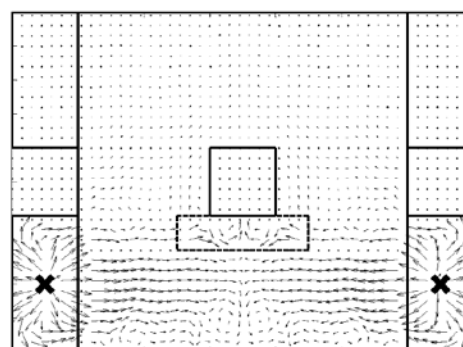


図6 第二段階設計

な伝搬部のなかで効率的な変更箇所の特定、どの程度の構造変更が必要であるか、着目した周波数を挟むどの程度の帯域で振動低減が期待できるのかなど、今後、明らかにしていく。

4. 結言

ここでは、広帯域の振動問題に対する低振動構造の二段階設計を紹介した。第一段階設計には解析 SEA を使用し、第二段階設計には振動インテンシティの FEM 解析を用いた。いずれの設計においても、流れを阻害する、流れを滞留させる、ということで振動を低減できるといえる結果である。

参考文献

- [1] 山崎徹：日本機械学会設計工学・システム部門 No.16-168講習会、1DCAE 概念に基づくものづくり設計教育 (第八弾)：1DCAE によるものづくりの革新、音振動設計の1DCAE (2016)
- [2] 山崎徹、三山壮、中村弘毅、宮崎敦子：モードと波動の両視点による機械構造物の振動低減設計、自動車技術会論文集, Vol.47, No.6, pp.1373-1379 (2016)
- [3] 三山壮、宮崎敦子、中村弘毅、山崎徹：振動エネルギー流れの促進と抑制に基づく低振動構造設計、自動車技術会2017年春季大会学術講演会講演予稿集, 20175061, pp.336-341 (2017)
- [4] 山崎徹、黒田勝彦、固体音解析における解析 SEA パラメータの FEM による検証、日本機械学会論文集 C 編, 74巻744号, pp.1963-1970 (2008)
- [5] 沼田臨、村上雄太、山崎徹：振動エネルギー流れを考慮した低騒音構造設計に向けた新たな指針の提案：日本機械学会論文集 C 編, 78巻788号, pp.1072-1084 (2012)