

補助事業番号 2018M-132

補助事業名 平成30年度 SEAを用いた制振材料の適正配置の最適構造に関する研究
開発の 補助事業

補助事業者名 長崎総合科学大学 工学部工学科 振動音響工学研究室 黒田勝彦

1 研究の概要

機械構造物の振動・騒音を低減するための構造最適化に関する研究であり、次の3つの特徴がある。①これまでの周波数応答関数による離散的な周波数での振動騒音対策ではなく、統計的エネルギー解析法をベースとした周波数帯域を目的関数としたロバスト性の高い振動騒音対策が行える。②制振材料の配置を設計変数としており、現実的な構造変更が行いやすい構造最適化である。③リアル実験に実証試験を含んでおり、さらに複雑な構造への展開が期待できる。

そこで、本事業内容は、次の3点である。(1) 制振材料の配置の有無を設計変数とした複数の周波数帯域のSEAパラメータが目的関数となるプログラムの作成。(2) 1, 2要素系による最適化解析の検討。(3) 実験による解析結果の検証。

本事業を実現するにあたり、FFT増設、加振器とアンプの購入、SEAソフトウェアVA1のリースが不可欠である。

2 研究の目的と背景

実機の製品には個体差によるばらつき問題があり、個々の製品の変動を考慮した振動騒音設計が必要である。そこで、統計的エネルギー解析法 (SEA) は空間と周波数平均する方法であり、このような問題に有効であると考えられる。その特徴を活かし、制振材の適正配置による現実的な構造最適化を提案、数値解析による検討の後、提案法の有効性を実機による実験で検証することが本事業の目的である。

3 研究内容 http://www.mech.nias.ac.jp/blog_main/sb.cgi?eid=114

(1) 制振材料の配置の有無を設計変数とした複数の周波数帯域のSEAパラメータが目的関数となるプログラムの作成

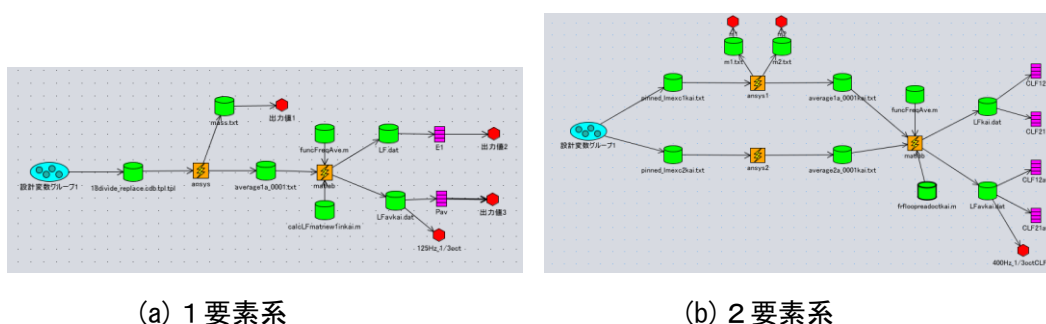
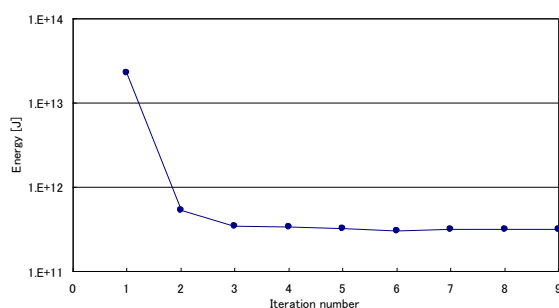


図 1. OPTIMUS 上の解析フロー図

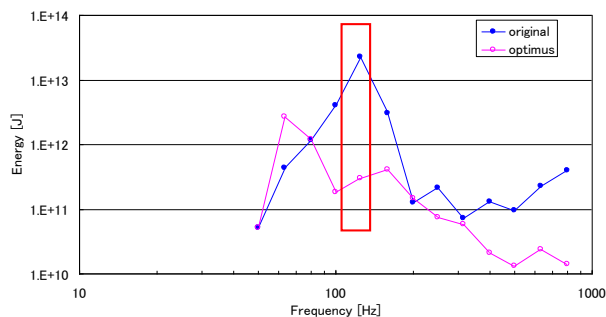
これまで検討してきた2要素系で複数節点の入力 (rain-on-the-roof加振のモデル (以下rofモデル))と複数節点の応答を計算する最適計算プログラムを1枚板を対象としラージマス加振が行えるアンシスのAPDLプログラムの大幅書き換え, また統合・最適化ソフトウェアOPTIMUS上で繰り返し計算ができるよう図1(a)のように修正した. 1要素系と同様, これまで作成した2要素系のrofモデルで最適計算するプログラムを2枚板を対象としラージマス加振が行えるプログラムへ大幅に書き換え, 統合・最適化ソフトウェアOPTIMUS上で繰り返し計算ができるよう図1(b)のように修正した.

(2) 1, 2要素系による最適化解析の検討

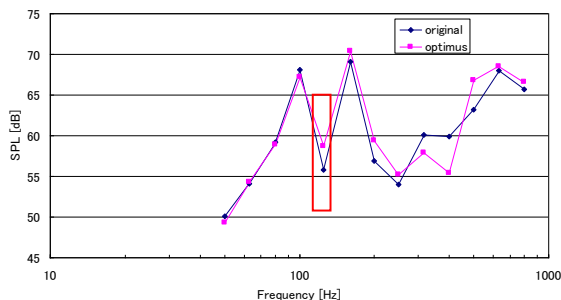
1要素系において対象は板厚が1.6mm, 長さ0.6m×幅0.3mの鋼製の平板で図2(d)で示す18エリアに等分割した1k Hzまで対応可能なFEモデルを作成した. ヤング率は同じ値 (2.1×10^{11} Pa) で, 生板 (密度7542kg/m³, ILF0.01%) と制振材 (密度9651kg/m³, ILF1%) の物性値が2択できる設計変数は入力箇所を除く17のエリア, 制約関数が質量 (上限の制振材の数は4枚), 目的関数が各節点を加算平均した振動エネルギーとし, 図2(b)のように最大値を示した125Hz帯域の値を最小化させるプログラムを実行させている. 最適化アルゴリズムはSelf adaptive evolution (大域最適化) で最適化し9回の繰り返しで打ち切った結果 (図2(a)), 6回目で最小値となり質量は上限に達し振動エネルギーを初期値の1.3%まで減少させることができた. 一方, VA-Oneを用いた最適構造の高さ0.2mにおける単位入力による音圧結果においては, 図2(c)で示すように対象の周波数帯域で約2.9dB悪化している.



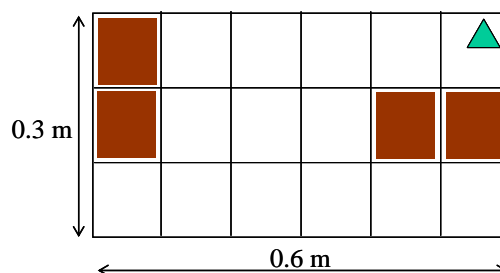
(a) 繰り返し計算の推移結果



(b) 振動エネルギーの結果



(c) 音圧レベルの結果



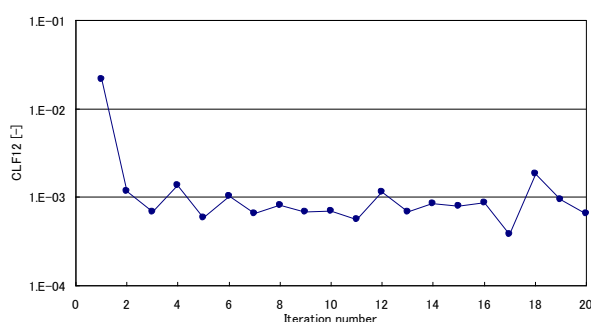
(d) 制振材 (□) と加振点 (△) の位置

図2. 1枚平板を対象とした数値解析による振動エネルギー最小化を目指した結果

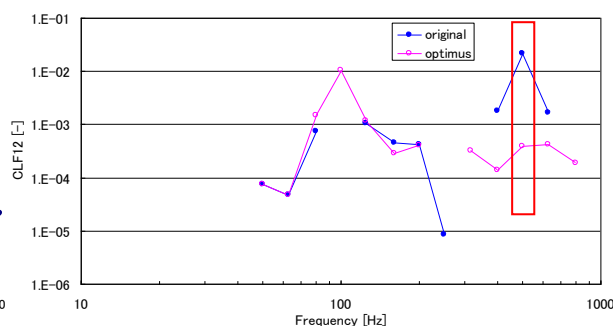
2要素系において対象は板厚が1.6mm、長さ0.5m（要素1）と長さ0.3m（要素2）で結合長は0.6mの鋼製のL型平板で30（要素1）と18エリア（要素2）とに等分割した1kHzまで対応可能なFEモデルを作成した。1枚板と同様、生板と制振材の物性値が2択できる設計変数は入力箇所を除く29エリア（要素1）と17エリア（要素2）で、制約関数がそれぞれの要素の質量（上限の制振材の数は7枚と4枚）、目的関数は結合損失率のCLF12とし、図3(b)のように最大値を示した500Hz帯域の値を最小化させるプログラムを実行させている。最適化アルゴリズムはSelf adaptive evolution（大域最適化）で最適化し20回の繰り返しで打ち切った結果（図3(a)）、17回目で最小値となり質量は上限に達し初期値の1.8%まで減少させることができた。

(3) 実験による解析結果の検証

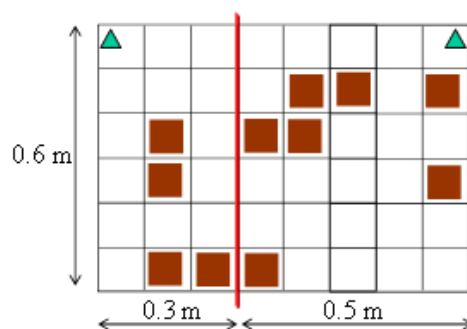
実験では、FFT（小野測器 DS3200）のチャンネル数（16個）の制約があり加速度計（PCB352A24）と騒音計（NL52）による応答点数が限定される。また、解析では平板への入力に基礎励振であるラージマス解析を実施したが、実験ではインパルスハンマー（DYTRAN5800SL）による力の点加振による入力となる。実験では5回のパワースペクトル加算平均を矩形窓関数で0-2kHzまでの1.25Hz刻みの離散周波数で計測した。



(a) 繰り返し計算の推移結果

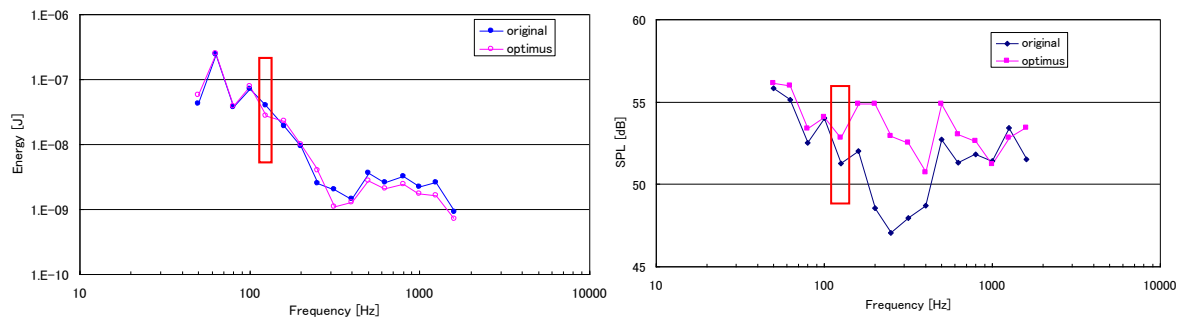


(b) CLF12 の結果



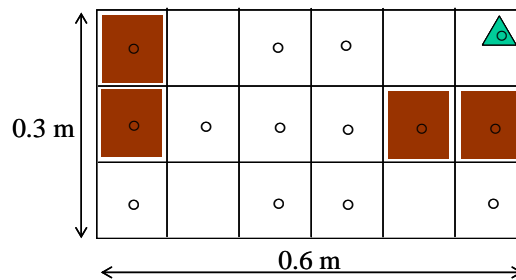
(c) L型の展開図、制振材（□）と加振点（△）の位置

図3. L型平板を対象とした数値解析によるCLF最小化を目指した結果



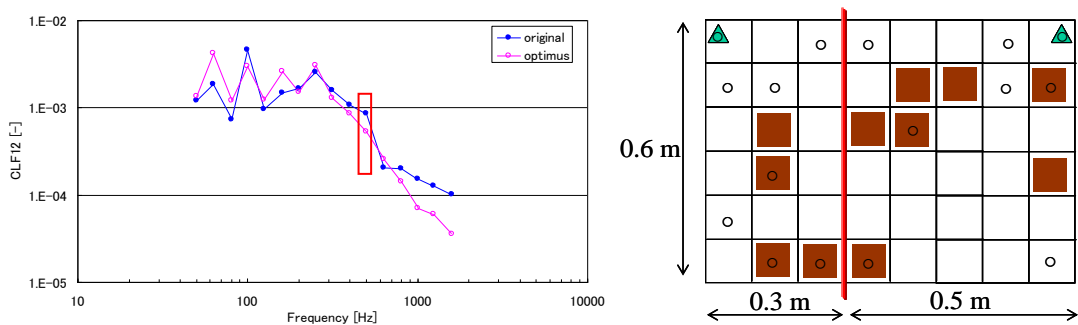
(a) 振動エネルギーの結果

(b) 音圧レベルの結果



(c) 制振材 (□) , 加振点 (△) と応答点 (○) の位置

図 4. 1 枚平板を対象とした実験による結果



(a) CLF12 の結果 (b) L 型の展開図, 制振材 (□) , 加振点 (△) と応答点 (○) の位置

図 5. L 型平板を対象とした実験による結果

1要素系では、図4(c)で示す13個の応答位置を平均した振動エネルギーと板の重心で高さ0.2mにおける音圧を比較した結果、振動エネルギーは初期値の約68%に減少し125Hz以上の帯域では160から250Hzを除いたすべての周波数帯域で小さな値となり解析結果と定性的に一致している。一方音圧レベルは、約1.6dB解析と同様に悪化している。

2要素系では、図5(b)で示す要素辺り7個の応答位置を平均した振動エネルギーと加振点の入力パワーを求めMATLABでILFとCLFを算出した。CLF12は初期値の約63%に減少し315Hz以上の帯域では630Hzを除いたすべての周波数帯域で小さな値となり解析結果と定性的に一致している。

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

これまで、様々な製品の振動騒音問題において、振動・騒音の低減のために、固有振動数やFRFベースの離散周波数をベースとした振動騒音の予測や低減が検討されてきた。本研究では、それらとは異なる、周波数と空間平均したエネルギーベースのSEAを用いていることから、高精度で高ロバスト性を両立した新しい振動・騒音予測手法を創生することが可能であり、今後様々な機械構造物への適用や実験による報告がなされると思われる。また、現在は単純な1要素や2要素系の薄板構造物による検討であるが、実機の自動車構造や厚板構造物である船舶分野への適用検討も進められると思われる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

SEA法を研究ベースとして、他の動力学問題を解く手法との比較や比較を通じたSEA法の優位性をメインとした研究活動を行っている。今回の研究によって、現実的な制振材料を用いた適正配置に関する最適構造の議論を進めることができ、大変有益な研究が実施できた。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【学会発表】

- ①K.Kuroda, and S.Namikawa, Finite-element-based experimental statistical energy analysis of a mechanical structure subjected to base excitation, Proceedings of 25th International Congress on Sound and Vibration in Hiroshima, 738.pdf, 2018-7
- ②黒田勝彦, 並川修平, 基礎励振による構造SEAモデルの自動車パネルへの適用, 日本機械学会Dynamics and Design Conference 2018, 315.pdf (東京, 2018-8)
- ③黒田勝彦, 井上朝陽, SEAによる振動入力パワーの変動を考慮した自動車パネル振動の予測, 日本機械学会年次大会(No.18-1), G1000601.pdf (大阪, 2018-9)
- ④K.Kuroda, A Structural Design Process for Reducing Structure-Borne Sound using Variation of Vibration Input Power, FISITA2018, F2018-NVB-072, 2018-10(Chennai)
- ⑤黒田勝彦, 基礎励振による構造実験SEAモデルの構築とSEAパラメータの適正化, PUCA2018, E23.pdf (東京, 2018-11.16)
- ⑥黒田勝彦, 湯浅那央斗, 構造の伝達特性に着目した振動促進のための構造変更に関する研究, 日本機械学会九州支部第72期講演会, No.198-1, A11.pdf, (北九州, 2019-3)

(予定)

- ①K.Kuroda, Study on proper arrangement of damping material with SEA parameters as objective function, Proceedings of Inter-Noise 2019, 2019-6 (Madrid)
- ②黒田勝彦, FEMベースのSEAを用いた減衰材の適正配置の構造最適化に関する研究, 機械学会環境工学総合シンポジウム2019 (沖縄, 2019-6)

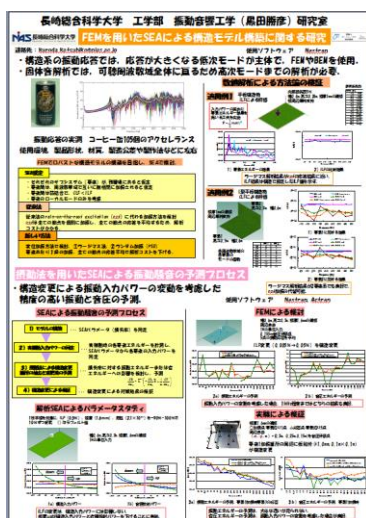
③K.Kuroda, STRUCTURAL OPTIMIZATION OF SEA SUBSYSTEMS BY ARRANGEMENT OF DAMPING MATERIAL, Proceedings of 26th International Congress on Sound and Vibration in Montreal, 2019-7

【論文】(予定)

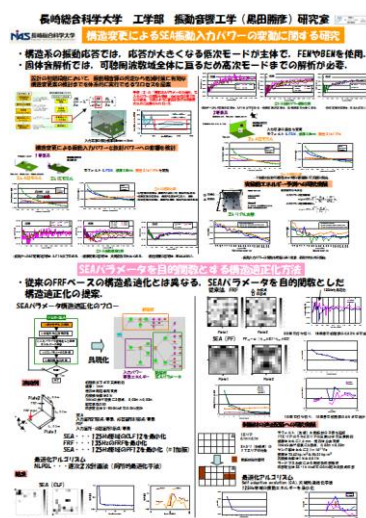
- ①黒田勝彦, L型平板を対象に結合損失率を目的関数とした制振材の適性配置に関する研究, 長崎総合科学大学紀要第59巻
- ②黒田勝彦, 一枚平板を対象に振動エネルギー最小化を目指した制振材の適正配置に関する研究, 長崎総合科学大学大学院新技術創成研究所所報, 第14号

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの



MSC Software 2018 Users Conference



自動車技術秋季大会

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 長崎総合科学大学 工学部工学科 振動音響工学研究室
(ナガサキソウゴウカガクダイガク コウガクブ コウガクカ
シンドウオンキョウコウガクケンキュウシツ)
住 所: 〒851-0193
長崎県長崎市網場町536
担 当 者 教授 黒田勝彦 (クロダカツヒコ)
E - m a i l: kuroda_katsuhiko@nias.ac.jp
U R L: http://www.mech.nias.ac.jp/blog_main/sb.cgi?eid=114