

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：32410

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560271

研究課題名(和文)新しいモード実験解析と摂動法をベースとした音振動の革新的最適化解析技術の開発

研究課題名(英文) Development of innovative optimization analysis technology of the new mode experiment analysis and perturbation method for sound vibration

研究代表者

趙 希祿 (ZHAO, XILU)

埼玉工業大学・工学部・教授

研究者番号：30610307

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、リバースエンジニアリングを併用した実験モード解析で実物の対象部位のFEMと同じ形式のマトリクスを求め、実験モード解析部分と理論モード解析部分の得た結果を組み合わせて、全体的な統合解析モデルを構築し、その固有モード解析および振動応答解析を高精度に行うことができた。また独自に提案した補正付き摂動法を利用した新しい構造振動特性の最適化法を開発して、これまでの感度解析ベースの小刻みな変更幅の最適化法に対して、大幅に構造を変更しても安定的な最適解を得ることが実現できた。さらにトラスコア軽量化パネルと洋上プラントの振動特性解析及び振動低減研究に適用し、本研究の提案した解析手法の有用性を示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the matrix of the same type as the FEM of real structure in the experimental modal analysis by using reverse engineering was determined. By combining the results obtained in the experimental modal analysis and the theoretical modal analysis, the integrated analysis model was constructed and it can execute the structure eigen modal analysis and vibration response analysis. And developed a new optimization method of the structural vibration characteristics using the perturbation method with complementary term, in contrast to the optimization method of the sensitivity analysis based small increments change width was significantly changing the structure can be realized to obtain a stable optimal solution. Using the results of applying the vibration characteristic analysis and vibration reduction studies of truss core lightweight panels and offshore plants, the usefulness of the proposed analysis method of the present study have been validated.

研究分野：機械工学

キーワード：振動噪音解析 実験モード解析 補正付き摂動法 構成同定技術 最適化手法

1. 研究開始当初の背景

従来、商品性に大きく影響する振動騒音に関する研究は産業界などで重要視されている。高精度の振動騒音解析を実施するため、有限要素法(FEM)または境界要素法(BEM)が利用されるが、実際の構造物は必ずしも設計した CAD データ通りに造られないことがあり、解析に正確性を欠くことがある。

そこで、Klosterman らは BBA と称される実験モード解析と理論モード解析の融合法を提唱し、エンジンなど CAD データの通りの製造が困難な部位に対して実験で特性を求めることで解析精度と計算効率の向上が図れることから活発な研究活動が行われている。しかし、この手法では実験で求められた部位は構造変更したとき、どのような特性になるかは解析で求めることができない。従って、実験で構造特性を得ると同時に、FEM と同じ形式のマトリクスが得られれば、これまでの BBA の精度と効率を格段に向上させることが可能となる。

一方、振動騒音解析において、現行モデルから更に優れた構造を求めるためのパラメータスタディや多目的最適化解析など多くの繰返し解析を必要とする構造変更解析には多大な計算時間を要し、これを効率化する新しい解析手法が渴望されている。

これらを踏まえて、実験モード解析において、リーバスエンジアリング技術を援用し、FEM と同形式の特性マトリクスが求められる新しい手法を開発し、さらに補正付き摂動法を活かした高精度かつ高効率の構造変更解析および最適化解析システムを構築するための基盤技術を開発するのが本研究の着想したものである。

2. 研究の目的

製品開発と品質向上のための振動騒音解析は非常に重要であるが、大規模な振動騒音解析の精度と構造変更解析の効率などがまだ十分ではなく、実際の設計業務に有効に利用されていないのが現状である。これを打開するための重要な課題としては、実験モード解析で品質の良い FEM マトリクスの生成、大幅な構造変更時の動特性の予測精度の改善、設計感度を用いた小刻み幅の最適化法を変える効率の良い新しい最適化法の導出などがあげられる。本研究は、これらの基盤技術を開発し、詳細な検討を行うことを研究目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、課題を達成するために、下記の手順で検討を行った。

(1) 近傍点群の共分散行列の固有ベクトルを用いた特徴線抽出手法をベースにし、異なる視点から計測された点群データの自動位置合わせ技術を確立して RE 技術の高度化を図る。また、解析メッシュの粗密を自在に制御できる手法を開発してメッシュ自動生成

アルゴリズムの高度化を図り、実験データで同定された FEM モデルを生成する手法を検討する。

(2) 加振実験による実験モード解析において RE で得られる構造再構成データを基に FEM モデル作成し加振実験で得た固有モードの結果データを用い同定を行う。

(3) 実験モード解析で得られる FEM 形式の特性マトリクスを使い動解析を行い、その結果を実験結果と比較し、本法の解析精度と計算効率を確認し検討を行う。

(4) 補正付き摂動法の汎用化を図り、通常の摂動法では、構造変更量が大きい場合、格段に解析精度が落ちる問題があるが、これに対し補正項を加えることにより計算効率および解析精度の向上を図る。時に補正項の算出に多くの計算時間を要したり計算不能になったりするケースがあるが、これらの問題を解決する検討が必要である。

(5) 大幅に構造を変更しても、振動特性の高精度かつ高効率の変更予測が可能である補正付き摂動法の特長を活かして、大刻み幅の構造変更に適用できる最適化手法を開発する。

(6) 以上で得た実験モード解析で求められる特性マトリクスを利用した振動騒音解析手法と大刻み幅の構造変更に対応できる最適化手法を組み合わせる新しい振動騒音解析および構造最適化システムを構築する。

4. 研究成果

本研究では、新しい実験モード解析と補正付き摂動法をベースとした振動騒音の最適化解析を中心とし各種の検討を行い、下記の成果を得た。

(1) 複雑な形状を持つ構造物を対し CCD カメラなどで計測する場合、計測範囲に制限があるため、数多くの計測した点群データを位置合わせて構造全体の点群データを生成する必要がある。そこで、たくさんの 3次元曲面から構成され、明確な特徴線が少ない部品の位置合わせ問題はまだ十分に解決していない。これを解決するため、近傍点群データの共分散行列の固有ベクトルを用いてサブ点群毎に新しい特徴パラメータを定義し、それらを利用することによって、複雑な曲面構造に対しても正確かつ迅速に位置合わせが実現できた。

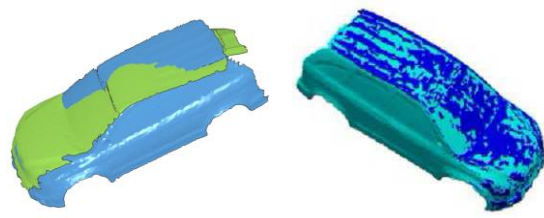


図 1. 複雑曲面構造の位置合わせ

(2) 加振実験により実験モード解析で特性マトリクスを求め、その特性マトリクスを用いて振動解析を行い、更に振動実験の結果と比較して本法の妥当性を検証する。ここで、トラスコアパネルの振動特性解析を実用例として検討を行い、トラスコアパネルとは折紙工学から得た知見を活かして開発している比強度・比剛性の高い軽量化パネルであり、その振動特性を分析するために、本研究で提案した解析法を適用し、振動実験の測定結果と比較して、十分な精度を有する解析結果が得られている。

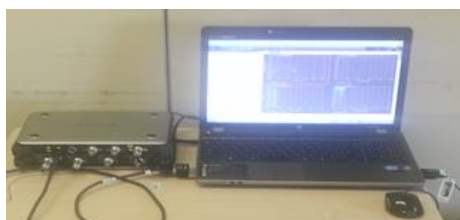


図 2. 加振実験による固有モード解析

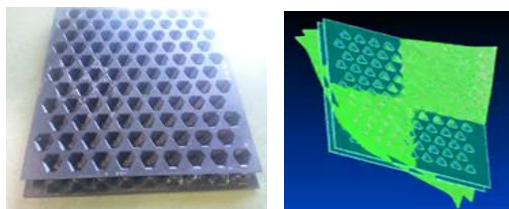


図 3. トラスコアパネルと解析結果

(3) 実験モード解析の結果により、トラスコアパネルの剛性の弱い変形モードを推測し、それを使い衝突圧潰モード形状をコントロールすることによって、トラスコアパネルからなる軽量化構造の衝突エネルギー吸収性能の向上問題を解析し、衝突エネルギー吸収量を最大化とした軽量化パネルの最適な構造構成が求められた。

(4) 補正付き摂動法を用い構造変更後の動特性予測を行うとき、時に補正項の算出に多くの計算時間が要したり解析精度が大きく落ちたりする問題を解決するため、類似な補正ベクトルを省く方法を追加し振動解析の安定性が向上することと、構造変更量を考慮せずに補正ベクトルを直接に算出する方法を追加し計算効率が大幅に向上することを開発することによって、補正付き摂動法の汎用化に一歩前進した。

(5) 構造と流体の連成問題が特徴となる洋上プラントの制振問題を取扱い、加振実験の結果をベースに構造全体の特性マトリクスを作成し振動解析を行い、更に洋上プラントの振動を低減するために導入する TMD (Tuned Mass Damper) 動吸振器の最適化問題を解析して最適なパラメータ構成が得られた。また洋上プラントの振動モデルに対する地震荷重での加振実験を行い、実際の洋上プラントの振動低減効果が期待通りに示しており、本研究の提案した解析法の妥当性と実用性を確認することができた。

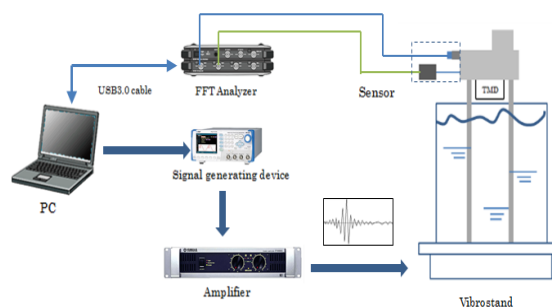


図 4. 洋上プラントの加振実験システム

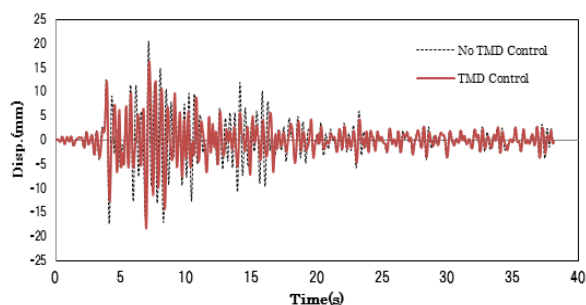


図 5. 時系列の変位の比較結果

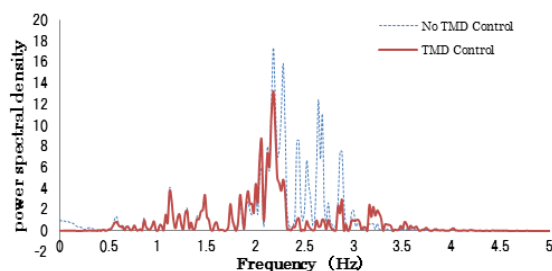


図 6. 変位の周波数スペクトルの比較結果

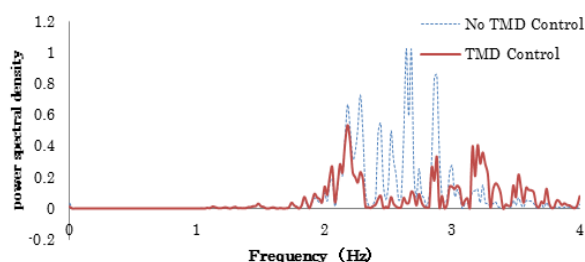


図 7. 加速度の周波数スペクトルの比較結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ①徐放、趙希祿、萩原一郎、多記述子点群モデルによる高速自動位置合わせに関する研究、日本機械学会論文集C編、査読有、Vol. 78、No. 787、pp. 783-798、2012
- ②Xilu ZHAO、Teppei TERANE、Hyunjin SHIN、Ichiro HAGIWARA、High Efficiency of Optimization of Response Surface Method for Structure Dynamic Characteristics by Using Perturbation Method with Complementary Term、Journal of System Design and Dynamics、Vol. 6、No. 2、pp. 158-169、2012
- ③西山浩司、井上亜友子、今田大介、長谷陽夫、戸倉直、篠田淳、趙希祿、大島修造、萩原一郎、玉軸受の攪拌抵抗解析のための動解析、日本機械学会論文集C編、査読有、Vol. 78、No. 789、pp. 1663-1669、2012
- ④楊陽、趙希祿、戸倉直、萩原一郎、トラスコアパネルからなる軽量化構造の衝突エネルギー吸収性能向上、日本機械学会論文集、査読有、Vol. 80、No. 815、2014
- ⑤石田祥子、内田博志、萩原一郎、折り畳み可能な構造の非線形ばね特性を利用した防振機構、日本機械学会論文集、査読有、Vol. 80、No. 820、2014

[学会発表] (計 21 件)

- ①Yang Yang、Zhizhen Xia、Xilu Zhao、Sunao Tokura、Ichiro Hagiwara、Comprehensive Optimization for Raised Floor Structure Using Origami Engineering、Asia Simulation & the International Conference on System Simulation and Scientific Computing AsiaSim & ICSC 2012、(Shanghai China)、2012
- ②Sachiko Ishida、Xilu Zhao、Ichiro Hagiwara、Development of New Perturbation Method with Complementary Terms、International Conference on Modeling and Simulation Technology JSST2013、(Tokyo Japan)、2013
- ③趙希祿、萩原一郎、補正付き摂動法による板構造振動解析の高効率化、日本機械学会機械力学計測制御 D&D' 12 講演会、慶應大学、2012
- ④趙希祿、石田祥子、萩原一郎、補正付き摂動法と応答曲面法を組合せた振動特性の最適化手法、日本機械学会 2012 年度計算力学部門講演会、兵庫県立大学、2012
- ⑤趙希祿、徐放、萩原一郎、点群データ分類と自動位置合わせの高速化、日本機械学会 2012 年度計算力学部門講演会、兵庫県立大学、

2012

- ⑥石田祥子、趙希祿、萩原一郎、補正付き摂動法の改良と汎用化に関する検討、日本機械学会 2012 年度計算力学部門講演会、兵庫県立大学、2012
- ⑦呉琮、崔蘊博、王俊、雷康斌、趙希祿、洋上プラントの振動特性に関する研究、日本計算工学会 2014 年度講演会、広島国際平和会議場、2014
- ⑧崔蘊博、胡月、王俊、笹島学、内田善照、趙希祿、トラスコアパネルの振動と遮音効果の実験検討、日本計算工学会 2014 年度講演会、広島国際平和会議場、2014
- ⑨呉琮、崔蘊博、福井義人、皆川佳祐、趙希祿、振動台実験による洋上プラントの振動特性検討、埼玉工業大学第 12 回若手研究フォーラム、埼玉工業大学、2014
- ⑩崔蘊博、胡月、呉琮、趙希祿、振動台実験によるトラスコアパネルの振動特性の検討、埼玉工業大学第 12 回若手研究フォーラム、埼玉工業大学、2014

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

趙希祿 (ZHAO XILU)
埼玉工業大学 工学部 教授
研究者番号：30610307

(2) 研究分担者

萩原一郎 (HAGIWARA ICHIROU)
明治大学 公私立大学の部局 教授
研究者番号：50282843

(3) 連携研究者

なし