

令和元年6月12日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04603

研究課題名(和文) 船体構造と騒音伝達経路の關係の解明と騒音レベルを低減する構造の創生に関する研究

研究課題名(英文) Study on relationship between ship structure and noise transmission route and research on creation of structure to reduce noise level

研究代表者

北村 充 (Kitamura, Mitsuru)

広島大学・工学研究科・教授

研究者番号：40195293

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,600,000円

研究成果の概要(和文)：大骨と小骨が接合された板組構造という船体構造の特徴を理解・利用して、要求される騒音レベルの解析に必要な振動モードを少ない要素数で近似できる新しい有限要素を開発した。従来の計算量では得ることができない高次な振動モードを精度よく求めることが可能となった。船内騒音レベルを低減する中空ラティス構造の創生と吸音材の配置による静音効果を検討した。船内騒音レベルを低減する構造の特徴を明らかにするとともに、トポロジー最適化手法を用いて吸音材の適切な設置場所を確定する方法を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高次振動を精度良くするためには、非常に多くの要素を用いた有限要素法解析が必要になる。また、このためのモデル生成は極めて高い労働負荷を与える。本研究で開発した新しい有限要素は、少ない要素数でも高い振動モードを追跡できる。また、通常の船体構造解析に用いる解析モデルから自動的に解析モデルを生成できるため、労働負荷が大きく低減される。また、今までに検討されていない中空ラティス構造と吸音材の配置も検討された。このように、本研究は高い学術的意義と社会的意義を有する。

研究成果の概要(英文)：A new finite element method has been developed that can approximate the vibration mode required for the given noise level with a small number of elements by understanding and utilizing the characteristics of the ship structure called plate structure in which large and small bones are joined. It has become possible to accurately obtain high-order vibration modes that can not be obtained with conventional FEM. We investigated the creation of hollow lattice structure to reduce the noise level in the ship and the noise reduction effect by the placement of sound absorbing material. We clarified the feature of the structure to reduce the noise level in the ship and established a method to determine the appropriate installation site.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：船体構造 高周波振動 有限要素法 面内振動・面外振動 中空ラティス構造 吸音材

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

平成26年7月1日以降に建造契約が結ばれる総トン数1600トン以上の船舶に騒音規制が義務付けられた。各造船所では、設計段階においては、実船の騒音レベルについての予測と対策要否判断、対策の立案をスムーズに行えることが、建造後においては、騒音レベルが規制値を超えた際の対策を短時間で立案できることが必要になった。このような背景から、中国地区船舶関係技術懇談会は船内騒音に関する調査研究部会を平成26年度に立ち上げ、研究代表者と研究分担者が参加して、2年の期間において、実船による騒音計測とSEA法(統計的エネルギー解析法)による数値シミュレーションを行った。SEA法は、対象とする構造物を比較的大きな区画に分けて、各区画の内部に多くの波数を存在させることにより、安定した解析結果を得る方法である。したがって、大規模な構造変更による騒音レベルの変化を予測することを得意とするが、小規模な構造変更による騒音低減効果を予測することは困難である。現在の造船設計は、構造強度の要求や使用の利便性の観点から、現在の設計案から大きく逸脱できなく、したがって、SEA法の利用は不向きである。他の騒音レベル予測手法としてFEM(有限要素法)が考えられる。船内騒音解析は200Hz~8000Hzの振動を取り扱うため、通常のFEMで精度よく解析するには、1要素サイズを100mm以下にする必要があるが、このような細分割モデルを用いた振動・騒音解析は現実的でない。

船内騒音レベルを精度良く予測できたとしても、どのような構造変更を行うことが騒音低減に効果的であるかは非常に困難である。現時点では、遮音効果を持つ材料の設置、板の増厚などの事後の対策が講じられる程度であり、根本的な解決策は得られていない。

2. 研究の目的

研究代表者は有限要素解析の誤差評価と解析精度向上に関する研究を行っている。また、接合部近傍の応力集中を評価可能な新たなシェル要素を提案している。このような研究成果に基づいて、粗い要素分割を用いながら、数千ヘルツの周波数を精度良く解析できる新しい有限要素の開発を目的とする。

研究代表者と研究分担者は、寸法・形状・トポロジー最適化に関する研究を行ってきた。この研究成果を用いることにより、騒音低減を実現可能な構造を設計段階から検討・創生できると考えた。例えば、騒音の伝播経路を断ち切る空間、部材、吸音材の配置、中空ラティス構造などにより、従来では使用されなかったことがない新しい構造を検討する。

3. 研究の方法

上記の目的達成のため、以下の3項目を中心として研究を進めた。

(1) 船体構造の高次振動モードを表現できる有限要素の開発

効率よく振動モードを表現できる三角関数を用いた有限要素と少ない節点でも内部の変形を高次関数で表現できるセレンディピティー要素を開発する。また、少ない労力で解析モデルを生成する方法についても検討する。

(2) 高次振動と騒音レベルを低減する構造の創生

構造の剛性強化による振幅の抑制が考えられるが、重量増加が見込まれる。そのような問題を回避しながら、振動振幅を低減する構造の立案を検討する。振動モードと構造物の特徴を考慮することにより、振幅の低減を狙う。周波数応答解析を用いて提案構造の効果を確認する。

(3) 最適な吸音材の配置決定

騒音低減のためには車室内での吸音材の利用が効果的であるが、過剰な設置はコスト及び重量の増加に繋がる。そのため、最小限の材料を適切な配置で使用する必要がある。ここでは、トポロジー最適化手法を用いて、音圧低減のため吸音材の最適配置法を検討する。

4. 研究成果

上記の研究項目に対し以下の研究成果を得た。

(1) 船体構造の高次振動モードを表現できる有限要素の開発

要素境界状上のみならず節点を有する16節点セレンディピティー要素と、要素中央に1点を加えた17節点セレンディピティー要素を用いることにより、従来の構造解析用FEMモデルを流用した高次振動解析を効率よく行うことを検討した。両解析に用いる総要素数に変化はないため、通常に構造解析用データから振動解析用メッシュを生成することが可能になる。従来の4節点要素により得られた振動モードを図1に示し、16節点セレンディピティー要素による振動モードを図2に示す。高い振動数になると、従来方法はあまり重要ではない極局所的な振動モードしか表現できないが(図1)、提案手法では、構造物全体に発生する重要な振動モードを得ることができている(図2)。また、図3に示されるように、数千ヘルツの高次な固有振動数を容易に得ることができた。

三角関数は構造物の振動モードを精度よく表現することができるため、補強材を有する平板の振動を効率よく求めることが可能である。しかし、この場合、平板同士の結合条件を満足することに難がある。接合するパネル間に適切な制約条件を付加することにより、この問題を解決できるが、計算が煩雑になることが判明したため、適切な方法ではないと判断した。

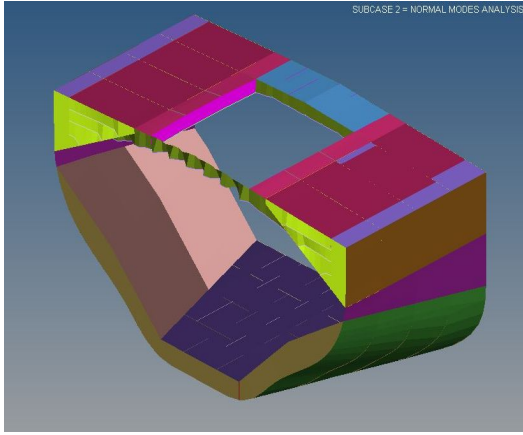


図 1 従来の FEM 結果 (振動モード)

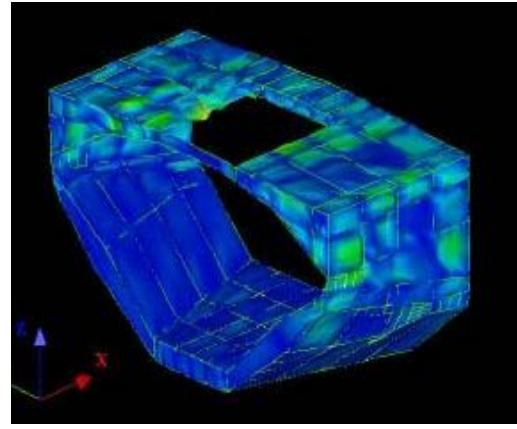


図 2 開発した有限要素法 (振動モード)

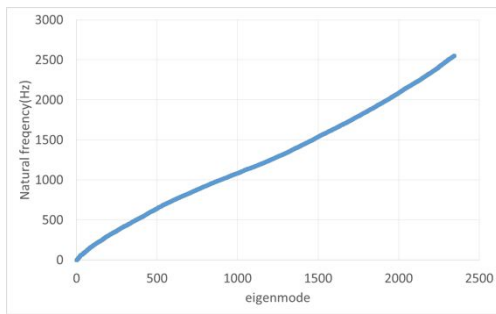


図 3 得られた数千ヘルツの固有振動数

(2) 高次振動と騒音レベルを低減する構造の創生

サンドイッチ構造 (格子状) においてスティフナーの配置による最大変位を比較し、区画の面積が大きい部分をはじめに大きく共振するため、スティフナーは均等に配置する方が振幅を抑えることができることが判明した。

また、三角形・四角形のサンドイッチ構造を用いた場合の振動低減効果を検討した。周波数応答解析による振動振幅を比較し、三角形より四角形の方が振動低減効果が高いことを求めた(図 4, 図 5 参照)

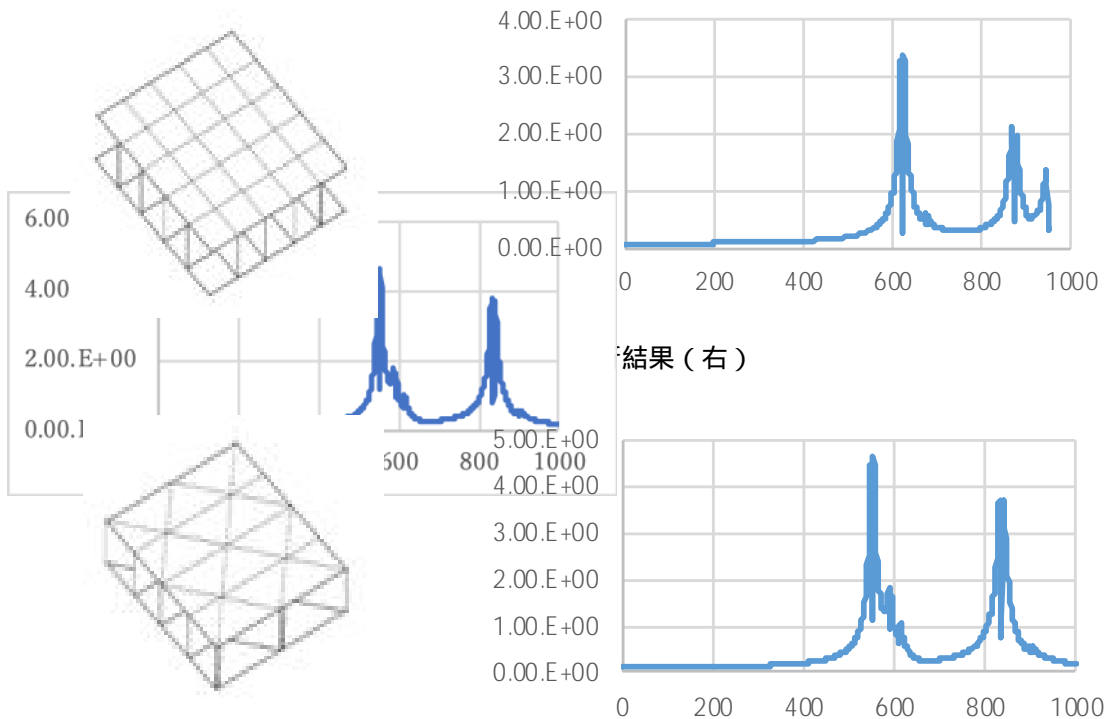


図 5 三角形配置 (左) と周波数応答解析結果 (右)

(3)最適な吸音材の配置決定

居住区を囲む壁を設計領域として、その領域内に配置される吸音材の密度を設計変数とするトポロジー最適化を検討した(図6参照)。音源を与えた場合の居住区内の音響複素コンプライアンスを目的関数として定めた。目的関数の虚部の最大化により、減衰によるエネルギー散逸を図ることができる。居住区内には音響解析のためのFEMメッシュを施した(図7参照)。設計領域の面積の40%まで吸音材を配置できる条件の下でトポロジー最適化を実行し、得られた吸音材の配置(密度分布)を図8に示す。黒い部分が吸音材の配置を意味している。その際の居住区の圧力分布を図9に示す。トポロジー最適化により音圧が減少していることが図10に示されている。これにより、音圧レベルを最小にする吸音材の配置を決定する方法を確立できた。

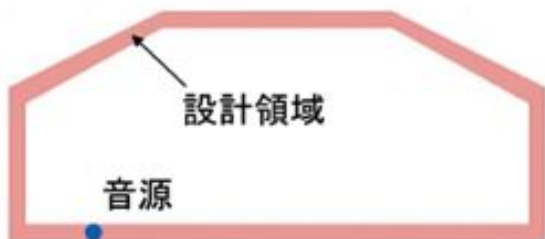


図6 設計領域と音源位置

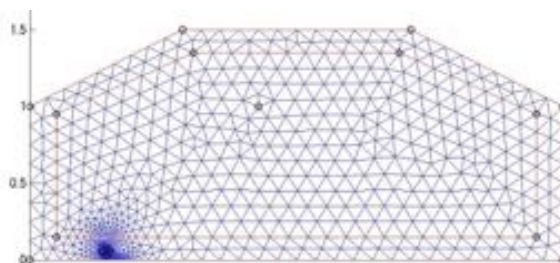


図7 居住区内のFEMメッシュ



図8 吸音材の分布密度

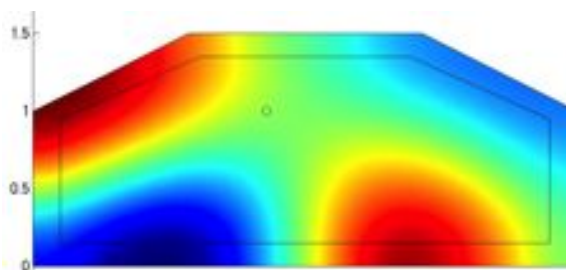


図9 居住区の圧力分布

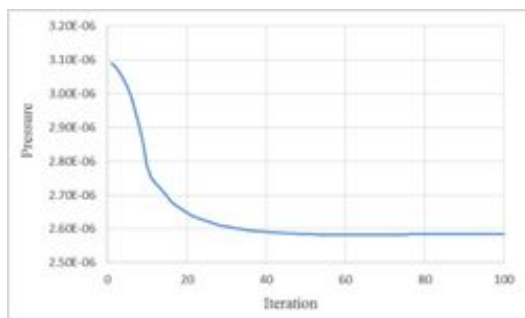


図10 最適化過程における音圧の変化

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

G.Putra, M.Kitamura, A.Takezawa, Structural optimization of stiffener layout for stiffened plate using hybrid GA, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 査読あり, 印刷中, 2019

A.Takezawa, T.Yamamoto, X.Zhang, K.Yamakawa, S.Nakano, M.Kitamura, An objective function for the topology optimization of sound-absorbing materials, JOURNAL OF SOUND AND VIBRATION, 査読あり, 433巻, 2019, 804-819

S.Sadamoto, M.Ozdemir, S.Tanaka, K.Taniguchi, T.T.Yu, T.Q.Bui, An effective meshfree reproducing kernel method for buckling analysis of cylindrical shells with and without cutouts, Computational Mechanics, 査読あり, 59巻, 2017, 919-932

S.Sadamoto, M.Ozdemir, S.Tanaka, K.Taniguchi, T.T.Yu, T.Q.Bui, An effective meshfree reproducing kernel method for buckling analysis of cylindrical shells with and without

cutouts, Computational Mechanics, 査読あり, 59 巻, 2017, 919-932

〔学会発表〕(計 3 件)

荒木惟弘, 北村充, 竹澤晃弘, A study on high-frequency vibration analysis of ship hull structures, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2017 年 11 月

田中義和, 三笠健太, 柳原大輔, 硬質ウレタンコア GFRP サンドイッチパネルの強度に関する研究, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2017 年 11 月

田中義和, 小田純平, 岩下英嗣, 安澤幸隆, 末吉誠, 縮尺模型実験による洋上風力発電用浮体の構造応答の検討, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2017 年 11 月

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 竹澤 晃弘

ローマ字氏名: (Takezawa Akihiro)

所属研究機関名: 広島大学

部局名: 工学研究科

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 10452608

研究分担者氏名: 田中 義和

ローマ字氏名: (Tanaka Yoshikazu)

所属研究機関名: 広島大学

部局名: 工学研究科

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 00335704

研究分担者氏名: 田中 智行

ローマ字氏名: (Tanaka Satoyuki)

所属研究機関名: 広島大学

部局名: 工学研究科

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 20452609

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 中森 隆一

ローマ字氏名: (Nakamori Takakazu)

研究協力者氏名: 平川 真一

ローマ字氏名: (Hirakawa Shinichi)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。