

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01544

研究課題名（和文）実船モニタリングに基づく船体構造損傷防止のための操船判断支援に関する研究

研究課題名（英文）A study on navigation decision support to prevent structural failure of ships based on hull stress monitoring

研究代表者

岡田 哲男（Okada, Tetsuo）

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：10753048

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は大型コンテナ船の設計条件や運航・海象等がホイッピングや船体構造応答に及ぼす影響を定量的に評価し、効果的な設計・操船に資することを目的としている。この目的を達成するため、まず実船計測データからのホイッピング抽出手法に関する研究を行った。スラミングが既存の振動を減衰させる現象も含めて、応答波形からスラミングの発生を同定する方法を確立した。さらに実船計測データを用いた遭遇方向波スペクトル推定技術の精度向上に関する研究を行い、操船や保船を支援する手法を検討した。推定した方向波スペクトルを10分ずつシフトした時刻歴を刻々ベイズ更新し、現在遭遇している波浪を精度よく再現できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、コンテナ船の大型化に伴い、荒天に伴う過大波浪荷重やホイッピングによる船体損傷が懸念されている。また、それらを予見し適切な対策を効果的に行うための手法として、デジタルツインの概念が注目されている。本研究は実際に船上で計測されたデータを用いてホイッピング発生と同定や遭遇している方向波スペクトルの推定を精度よく行うものであり、これの実現により船体の様々な部位に発生している応力をサイバー空間のデジタルツイン上に精度よく再構築し、構造損傷を発生させないための操船や保船を効率的に支援することができるようになる。これにより船舶のより安全で合理的な運航が可能となると期待される。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to contribute to the effective design and operation of large container ships by quantitatively evaluating the effects of design conditions, operational and sea conditions on whipping and hull structural response. In order to achieve this objective, a study on a whipping detection method from actual ship measurement data was first conducted. We established a method to identify the slamming event from stress response time series, including the phenomenon that slamming cancels existing vibration. We also studied the accuracy improvement of the encountered wave estimation technique using actual ship measurement data, and examined the method to support ship operation and maintenance. The Bayesian updating of the estimated directional wave spectra proved sufficiently accurate reconstruction of the history of the wave which the ship encountered.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：コンテナ船 ホイッピング モニタリング 操船支援 波浪スペクトル

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、コンテナ船の大型化に伴い、荒天に伴う過大波浪荷重やホイッピングによる船体損傷が懸念されており、実際 2007 年と 2013 年に荒天下での大型コンテナ船の折損事故が発生している。また、それらを予見し適切な対策を効果的に行うための手法として、デジタルツインの概念が注目されている。船体構造安全性の実現のためには実際に船上で計測されたデータを活用して船体構造に発生している事象を詳細にサイバー空間上に再現し、様々なシミュレーションを可能とすることが重要であり、これらの技術で操船や保船の効率的な支援を行うことによって、より安全で合理的な船舶の運航が可能となると期待される。

2. 研究の目的

本研究は、大型コンテナ船をはじめとする船舶の安全運航実現のため、実船計測データを用いて船体構造の荷重・応答履歴を把握し、シミュレーションにより累積疲労被害度や現海況下での損傷確率などを把握することで最適な船舶の保守や荒天下での操船支援などに資する技術を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では大きく 2 つのテーマを扱った。

まず、ホイッピングの検出においては、膨大な実船計測データを解析し、船体振動の振幅・位相の変化量から衝撃起振、すなわちスラミングの大きさを逆算し、その大きさによりホイッピングを検出する新たな手法を開発する。また、それをもとにホイッピングの発生頻度と大きさの確率分布を検討した。

次に、実船計測で得られた応力のスペクトルから遭遇している方向波スペクトルを推定する技術を確立することで、その波浪の元での船体応答をサイバー空間上に完全再現する手法について検討した。波浪推定手法そのものの精度向上のため、自由な形状の方向波スペクトルを少ないパラメータで表現する手法として、主成分分析(PCA)や Autoencoder の適用を検討する。また、船上で刻々計測されるモニタリングデータから船がまさに遭遇している海象における方向波スペクトルを推定し、その波浪パラメータの確率分布を時系列でベイズ更新していく手法を開発する。

4. 研究成果

8,600 TEU コンテナ船の実船計測で得られた時系列応力データを用いて、開発した新しい手法を適用してホイッピングの検出を実施した。また、その手法を従来の手法と比較し、本手法により大きい衝撃起振の発生をホイッピングとして検出できること、その結果、単に弾性振動が大きいというだけではなく、既存振動の振幅や位相が衝撃荷重により変化する場合も検出できることを示した。さらに短期海象中のホイッピング強度を指標として海象・操船状態との関係を調べ、有義波高、平均波周期、船速と正の相関がみられること、相対波向きが追波から向波になるにつれてホイッピング強度が大きくなることを示した。[1]

波浪推定精度の向上については、PCA[2]や Autoencoder[3]により方向波スペクトルデータの次元数を削減し、効率良く精度の高い波浪推定を行う手法について検討した。その結果、高周波域の波浪推定精度などに若干の問題は残るものの、全般的には良い精度の推定ができることを示した。この手法では、スペクトルの形状を仮定せず、任意の形状の方向波スペクトルが推定可能で、高い汎用性が期待できる。

また、船上で刻々計測されるモニタリングデータから推定される方向波スペクトルの波浪パラメータのベイズ更新を行うことにより、船上でまさに遭遇している波浪の確率分布を高い精度で追跡可能であることを示した。本研究では現在遭遇しているここ 2~3 時間の短期海象を推定するため、時間経過に伴い仮想データ個数を漸減させていくベイズ更新モデルを開発し、短期海象の推移を表現することに成功した[4]。これらは、損傷確率評価、減速・変針等の操船判断に伴う将来の応答変化予測などを含む総合的な船上での操船判断支援のための基礎技術として期待される。

参考文献

[1] 古舘恵太, 岡田哲男, 川村恭己, 早川銀河: 大型コンテナ船の実船計測に基づくホイッピング抽出法の提案, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 34(0), 399-406, 2022 年 5 月

[2] Akira Imai, Tetsuo Okada, Xi Chen, Yasumi Kawamura, Ginga Hayakawa, Taiga Mitsuyuki: Estimation of directional wave spectra of arbitrary shape based on measured ship stress - dimensional reduction by principal component analysis, 36th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM2023), Busan, Korea, 114-121, 2023 年 10 月

[3] Shigetatsu Betchaku, Yasumi Kawamura, Tetsuo Okada, Ginga Hayakawa, Taiga

Mitsuyuki: Dimensionality reduction of 2D directional wave spectrum using autoencoder, 36th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM2023), Busan, Korea, 106-113, 2023 年 10 月

[4] Hiromi Kubo, Tetsuo Okada, Xi Chen, Yasumi Kawamura, Taiga Mitsuyuki, Ginga Hayakawa: Bayesian updating of estimated parameters representing multi-modal directional wave spectrum using measured hull stress, Proceedings of the ASME 2023 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2023), OMAE2023-104224, 2023 年 6 月

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 古舘 恵太、岡田 哲男、川村 恭己、早川 銀河	4. 巻 34
2. 論文標題 2022S-GS8-1 大型コンテナ船の実船計測に基づくホイッピング抽出法の提案	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 399 ~ 406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14856/conf.34.0_399	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kubo Hiromi, Okada Tetsuo, Chen Xi, Kawamura Yasumi, Mitsuyuki Taiga, Hayakawa Ginga	4. 巻 Volume 2
2. 論文標題 Bayesian Updating of Estimated Parameters Representing Multi-Modal Directional Wave Spectrum Using Measured Ship Hull Stresses	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the ASME 2023 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Melbourne, Australia. June 11-16, 2023	6. 最初と最後の頁 No. 104224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/OMAE2023-104224	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 古舘恵太
2. 発表標題 大型コンテナ船の実船計測に基づくホイッピング抽出法の提案
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会春季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田 哲男
2. 発表標題 Bayesian Updating of Estimated Parameters Representing Multi-Modal Directional Wave Spectrum Using Measured Ship Hull Stresses
3. 学会等名 The ASME 2023 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE 2023), June 11-16, 2023, Melbourne, Australia (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今井輝
2. 発表標題 Estimation of directional wave spectra of arbitrary shape based on measured ship stress - Dimensional reduction by principal component analysis
3. 学会等名 36th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 別役重卓
2. 発表標題 Dimensionality reduction of 2D wave spectrum using autoencoder
3. 学会等名 36th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	川村 恭己 (Kawamura Yasumi) (50262407)	横浜国立大学・大学院工学研究院・教授 (12701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------