

Title	Development of Coupled CFD-FEA Method for Ship Structural Load and Its Application to Extreme Value Prediction by FORM
Author(s)	高見, 朋希
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72414
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (高見 朋 希)

論文題名

Development of Coupled CFD-FEA Method for Ship Structural Load and Its Application to Extreme Value Prediction by FORM
(船体構造荷重のためのCFD-FEA連成解析法の開発とFORMによる極値推定への応用)

論文内容の要旨

極限海象中を航行する船体では、スラミング衝撃荷重に伴う流力弾性振動成分（ホイッピング振動）が波浪縦曲げモーメントに重畳し、構造荷重を増加させる。特に近年大型化が進むコンテナ船ではホイッピング振動が顕著で、その定量的評価の必要性が指摘されている。2013年6月には、大型コンテナ船が波浪中で折損する事故があった。この事故の調査報告では、ホイッピング振動に加えて、コンテナ船の二重底に作用する局所的な曲げが船体の梁としての強度を低減させていた可能性も指摘されている。そこで、極限海象中における波浪縦曲げモーメント、ホイッピング振動、及び二重底曲げモーメントからなる複合荷重の極値を精度よく一貫して評価する手法の確立を本研究の目的とした。ホイッピングはスラミング衝撃圧を含む流体现象と構造変形が連成して生じる振動問題である。まず、数値流体力学（CFD; Computational Fluid Dynamics）と有限要素解析（FEA; Finite Element Analysis）を連成させた解析法を開発した。次に、開発されたCFD-FEA連成解析法により、与えられた短期海象における複合荷重の極値予測を行った。直接的なCFD-FEA連成解析法による極値予測では膨大な時間を要するために、一次信頼性評価法（FORM; First Order Reliability Method）を用いて、極値を生じさせる波浪を決定論的に予め定めておくことで、実用的な解析時間内で精度の高い荷重の極値分布を求めた。

本論文は、以下の8章で構成される。

第1章では、本研究の着想に至った社会的背景及び関連する先行研究のレビューを行い、技術的課題点を抽出した。

第2章では、本研究で用いるCFDとFEAの基本的な定式化と数値モデルを示した。さらに船体荷重及びその構造応答を評価するためのCFDとFEAの片方向連成手法及び双方方向連成手法を提案した。

第3章では、本論文で解析対象とする実スケールのコンテナ船の概要を示した。また、検証のための水槽試験に供する縮尺模型、水槽試験の概要、計測方法、及び計測項目を述べた。

第4章では、第2章で提案したCFD-FEA連成解析法の検証を行った。そのために、船体運動、局部衝撃水圧、及びホイッピング振動の観点から、非線形ストリップ法及び3次元パネル法に基づく数値計算法及び既存の水槽試験結果とのベンチマークを実施し、提案手法が妥当な結果を与えることを示した。次に、検証されたCFD-FEA連成解析法を実スケールコンテナ船に適用し、縦曲げ応答と同時に局所的な二重底曲げ応答を評価し、手法の有効性を明らかにした。

第5章では、極限的な短期海象における極値を予測するためのFORM手法の理論的背景を示した。この方法は低次元化したモデルによって、決定論的に不規則波浪の時系列を予め絞り込むPredictor Stepと、絞り込まれた波浪時系列の下での応答をCFD-FEA連成解析法により精度高く推定するCorrector Stepからなる。従来手法ではPredictor Stepで非線形ストリップ法を用いていたが、低次元化モデルの精度低下に伴う極値の推定精度の低下が指摘されていた。そこで、CFD-FEA連成解析法と等価となる、伝達関数と一自由度振動問題の解に基づく新たな低次元化モデルを提案した。

第6章では、FORM手法を用いて縦曲げモーメント及び二重底曲げモーメントを含む複合荷重の極値を予測した結果を示した。Predictor Stepでは、従来法で用いられている非線形ストリップ法を用いた。この一連の方法が、波浪縦曲げモーメント及び二重底曲げモーメントの複合荷重下における極値予測の際に有効であることを示した。一方で、ホイッピングを含む複合荷重には適用が困難であることを確認した。

第7章では、第5章で提案した新しい低次元化モデルをPredictor Stepで用いるときのFORM手法の有効性を示した。同手法により、波浪縦曲げモーメント、二重底曲げモーメント及びホイッピング振動からなる複合荷重の極値分布を求めた。提案した手法は水槽試験で計測される不規則波中の荷重の極値分布の特徴を良く捉えることを明らかにした。

第8章では、本研究で得られた研究成果を総括し、結論とした。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (高 見 朋 希)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	飯 島 一 博
	副 査	教授	藤久保 昌 彦
	副 査	准教授	牧 敦 生

論文審査の結果の要旨

極限海象中を航行する船体では、スラミング衝撃荷重に伴う流力弾性振動成分（ホイッピング振動）が波浪縦曲げモーメントに重畳し、構造荷重を増加させることが知られている。特に近年大型化が進むコンテナ船ではホイッピング振動が顕著で、その定量的評価の必要性が指摘されている。2013年6月には、大型コンテナ船が波浪中で折損する事故があった。この事故の調査報告では、ホイッピング振動に加えて、コンテナ船の二重底に作用する局所的な曲げが船体の梁としての強度を低減させていた可能性も指摘されている。

そこで本研究では、極限海象中における波浪縦曲げモーメント、ホイッピング振動、及び二重底曲げモーメントからなる複合荷重の極値を精度よく一貫して評価する手法の確立を目的としている。まず、数値流体力学（CFD; Computational Fluid Dynamics）と有限要素解析（FEA; Finite Element Analysis）を連成させた解析法を開発している。次に、開発されたCFD-FEA連成解析法により、与えられた短期海象における複合荷重の極値予測を行っている。直接的なCFD-FEA連成解析法による極値予測では膨大な時間を要するために、一次信頼性評価法（FORM; First Order Reliability Method）を用いて、極値を生じさせる波浪を決定論的に予め定めておくことで、実用的な解析時間内で精度の高い荷重の極値分布を求めている。本論文は、以下の8章で構成されている。

第1章では、本研究の着想に至った社会的背景と技術的課題点を抽出した上で本研究の目的と意義を示している。

第2章では、本研究で用いるCFDとFEAの基本的な定式化と数値モデルを示している。船体荷重及びその構造応答を評価するためのCFDとFEAの片方向連成手法及び双方向連成手法を提案している。

第3章では、本論文で解析対象とする実スケールのコンテナ船の概要をまとめている。また、検証のための水槽試験に供する縮尺模型、水槽試験の概要、計測方法、及び計測項目を述べている。

第4章では、第2章で提案したCFD-FEA連成解析法の検証を行っている。そのために、船体運動、局部衝撃水圧、及びホイッピング振動の観点から、非線形ストリップ法及び3次元パネル法に基づく数値計算法及び既存の水槽試験結果とのベンチマークを実施し、提案手法が妥当な結果を与えることを示している。次に、検証されたCFD-FEA連成解析法を実スケールコンテナ船に適用し、縦曲げ応答と同時に局所的な二重底曲げ応答を評価し、手法の有効性を明らかにしている。

第5章では、極限的な短期海象における極値を予測するためのFORM手法の理論を示している。この方法は低次元化したモデルによって、決定論的に不規則波浪の時系列を予め絞り込むPredictor Stepと、絞り込まれた波浪時系列の下での応答をCFD-FEA連成解析法により精度高く推定するCorrector Stepからなっている。従来手法ではPredictor Stepにおいて、非線形ストリップ法を用いていたが、低次元化モデルの精度低下に伴う極値の推定精度の欠点が指摘されていた。そこで、CFD-FEA連成解析法と等価となる、伝達関数と一自由度振動問題の解に基づく新たな低次元化モデルを提案している。

第6章では、FORM手法を用いて縦曲げモーメント及び二重底曲げモーメントを含む複合荷重の極値を予測した結果を示している。Predictor Stepでは、従来法で用いられている非線形ストリップ法を用いている。この一連の方法が、波浪縦曲げモーメント及び二重底曲げモーメントの複合荷重の極値予測の際に有効であることを示し、一方で、ホイッピングを含む複合荷重には適用が困難であることを確認している。

第7章では、第5章で提案した新しい低次元化モデルをPredictor Stepで用いるときのFORM手法の有効性を示している。同手法により、波浪縦曲げモーメント、二重底曲げモーメント及びホイッピング振動からなる複合荷重の極値分布を求めている。提案した手法は水槽試験で計測される不規則波中の荷重の極値分布の特徴を良く捉え得ることを明らかにしている。

第8章では、本研究で得られた研究成果を総括し、結論を述べている。

以上のように、本論文は、CFDとFEAの連成に基づき、スラミング衝撃荷重に伴う流力弾性振動成分を含む、極限海象中の船体構造荷重の解析法を提案し、ついでFORMを応用して船体に作用する複合荷重の極値を効率よく推定する手法を提案している。さらに、縮尺模型を用いた検証実験により提案手法の有効性を確認している。これらによって、極限海象中における船体に作用する複合荷重の極値を解析するための、実用的かつ高精度な手法を確立している。今後の船体構造設計の合理化に資する研究である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。