

Title	Prediction of Vertical Bending Moment Using Measured and Computed Wave-Induced Pressure Distribution on Ship Hull
Author(s)	Waskito, Kurniawan Teguh
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/77505
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

Abstract of Thesis

Name (Kurniawan Teguh Waskito)

Title

Prediction of Vertical Bending Moment Using Measured and Computed Wave-Induced Pressure Distribution on Ship Hull
(船体表面での波浪変動圧力分布に関する計測値および計算値を用いた縦曲げモーメントの推定)

Abstract of Thesis

Precise prediction of wave loads on ships and floating structures is paramount in the structural design stage. A lot of reviews on the numerical and experimental studies have been reported so far for the assessment of wave loads on ships and offshore structures. Particularly in the experiment, the use of a segmented ship model is a common method to quantify the wave loads up to date, in which the wave loads could be measured only at segmented sections with load cell installed. However, we need to obtain the wave loads at any longitudinal position and to clarify nonlinear features in the wave loads more precisely; which can be realized by measuring the spatial unsteady-pressure distribution on the whole ship-hull surface and by properly integrating it in conjunction with the measurement of ship motions and time-variant wetted surface of a ship in waves.

The objective of the present study is the acquisition of the spatial distribution of wave-induced unsteady pressure with experimental measurement and to use obtained data for hydrodynamic study on the local quantities like the distribution of the vertical bending moment (VBM). The obtained data can also be used as the validation data for CFD methods, but more importantly in the present study, with CFD methods used as a guide in the analysis of measured data, we can establish a new experimental technique to see the details in the wave-load distribution and consequently enhance the level of our understanding of nonlinear and forward-speed effects on wave loads in terms of the experimental data obtained.

Chapter 1 describes the background, review of the related past researches, objective and outline of the present study. Subsequently, Chapter 2 describes a novel experiment using a bulk carrier model conducted to measure the spatial distribution of unsteady pressure by means of a large number (333 in total) of Fiber Bragg Gratings (FBG) pressure sensors affixed on the entire port side of ship-hull surface due to symmetry of the pressure field in head waves. The wave-induced ship motions and ship-side wave profile are measured at the same time.

In Chapter 3, the formulation and computational methods used in the present study are elucidated. Some computations are made with Rankine Panel Method (RPM) for the zero-speed case and Computational Fluid Dynamics (CFD) method for the forward-speed case. Ship-side wave analysis using Fourier-series expansion is described to synchronize the time histories of unsteady quantities measured in the experiment. An analysis for the pressure is described further to rectify physically unreasonable time histories attributed to the fact that some sensor positions repeat coming out and plunging into water. Then Chapter 4 describes integration of the obtained unsteady pressure and the inertia-force distribution throughout the ship's length to obtain the VBM acting on transverse sections.

In Chapter 5, the results of the experiment and their comparisons with computed results are discussed. Overall favorable agreement is attained for the pressure distribution and also for the resulting VBM between the results of the experiment and corresponding numerical computations. Validation of the measured pressure distribution has also been made through a comparison of the wave-exciting force and moment between the two independent results obtained by integration of the measured pressure over the entire wetted surface of a ship and by direct measurement using a dynamometer. A very good agreement is confirmed in this case as well. As another crucial validation for the proposed method, a comparative study is made with the benchmark test data of a 6750-TEU container ship used for the ITTC-ISSC joint workshop in 2014; which also demonstrates remarkable agreement.

In Chapter 6, obtained results and discussion in the present study are summarized.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Kurniawan Teguh Waskito)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授 柏 木 正
	副 査	教 授 藤久保 昌彦
	副 査	准教授 箕 浦 宗 彦
	副 査	特任教授 日 夏 宗 彦 (今治造船共同研究講座)

論文審査の結果の要旨

船舶や浮体構造物に働く波浪荷重を正確に予測することは、構造設計段階で大変重要である。そのため、船体に働く波浪荷重の予測・評価法に関してこれまでに行われてきた実験的および数値計算的研究について、多くのレビューが報告されている。特に船体の横断面における剪断力および曲げモーメント（これをここでは波浪荷重という）を実験的に求めるためには、船の分割模型を用いることがこれまで一般的な方法であるが、この方法では、波浪荷重は検力計を取り付けた分割模型の断面でしか計測することができない。しかしながら、船体長手方向の任意の位置における波浪荷重を取得し、波浪荷重分布の非線形特性や前進速度影響を明らかにすることが求められている。これを実現させる方法の一つは、船体表面全域にわたって非定常圧力の空間分布を計測し、その圧力分布の計測結果を波浪中での船体運動や船側波形の計測結果と適切に組み合わせ、時々刻々変化する船体没水表面上での積分によって波浪荷重分布を計算することである。

そこで本論文では、波浪による非定常圧力の空間分布を実験計測によって求める手法を提示し、その実験計測によって得られた波浪変動圧力分布を用いて局所的な物理量である縦曲げモーメントの船長方向分布を求め、それに関する流体力学的な考察を行っている。得られた波浪変動圧力分布のデータは数値流体力学（CFD）による計算結果の検証データとしても貴重であるが、本研究でより重要なことは、CFDによる計算値を実験計測データの解析における妥当性のガイドとして用い、船体に働く縦曲げモーメントを求める新しい実験手法を確立することにある。さらに、得られた実験計測データの解析結果から波浪荷重分布の詳細を知ることができ、それによって波浪荷重における非線形特性および前進速度影響に関する我々の理解のレベルを高めることができる。

第1章では、研究背景、関連する過去の研究のレビュー、ならびに本研究の目的と概要について述べている。

第2章では、船体表面に貼り付けられた多数（合計 333 個）の Fiber Bragg Gratings (FBG) 圧力センサ（光ファイバ内のコアに設置した微細回折格子からの反射波長の変化から圧力を求めるセンサ）を用いて、向い波中でのばら積み船模型に働く波浪変動圧力の空間分布を測定するための新しい実験について説明している。向い波中での実験なので、流場の対称性を考慮して FBG 圧力センサは船体の左舷側だけに貼り付けているが、片側だけで 333 個の圧力センサを取り付けた水槽実験は世界初である。実験計測では、比較検証のために船体右舷側には従来型の歪ゲージ式圧力センサも 19 個取り付けて圧力を計測し、さらに波浪中での船体運動と船側波形の計測も行っている。

第3章では、本研究で用いられる数値計算法とその定式化について述べている。前進速度無しの場合は線形ポテンシャル理論に基づく独自開発のランキンパネル法（RPM）を用いており、前進速度有りの場合は非線形性が顕著になるので CFD 手法による商用コード FINE/Marine を用いている。また、実験で計測された波浪中船体運動や変動圧力の時刻歴と船側波形の時刻歴を同期させるために、フーリエ級数展開を用いた実験解析法について述べている。非定常圧力の解析では、圧力センサの位置が水中から出たり入ったりすることを繰り返すことに起因して静止水面近くの幾つかの計測点での非定常圧力はパルス状の時刻歴となるが、船側波形の情報からセンサが空气中に在るにもかかわらず

圧力値がゼロでない場合に、圧力の時刻歴を補正する手法について説明している。続く第 4 章では、船長方向の任意の横断面に作用する縦曲げモーメントを取得するために、計測によって得られた非定常圧力分布と慣性力の分布を使って船長方向に積分する方法について述べている。

第 5 章では、実験解析から得られた結果とそれに対応する数値計算結果との比較をすることにより、実験値および数値計算結果の妥当性や精度について論じている。計測された波浪変動圧力分布の妥当性の検証は、船体運動を固定した diffraction 問題に対して行われており、船体の没水表面上での圧力の積分から得られた波浪強制力と検力計によって直接測定された波浪強制力が非常に良く一致していることを示している。また、縦曲げモーメントの船長方向分布に関しては、計測で得られた非定常圧力分布の積分から得られた値と対応する数値計算結果を比較している。前進速度が無いときの現象はほとんど線形であり、RPM による計算結果と良く一致している。また前進速度が有るときには、サギングモーメントがホギングモーメントより大きくなる非線形現象や縦曲げモーメントが最大となる横断面位置が船体中央より船首寄りになる前進速度影響などに関して、実験結果と CFD による計算値が定量的にも定性的にも非常に良く一致していることを示しており、その流体力学的考察も行っている。さらに縦曲げモーメントの数値計算法に関するもう一つの重要な検証として、2014 年の ITTC-ISSC 共同ワークショップで用いられたコンテナ船模型のベンチマークデータとの比較が行われている。これに関しても本論文での計算値と良い一致が確認されている。

第 6 章では、本研究で得られた結果と考察をまとめている。

本研究によって得られた主要な研究成果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 船体の左舷側表面に 333 個という非常に多くの FBG 圧力センサを貼り付け、向い波中で動揺している船体の没水表面上ほぼ全域にわたって波浪変動圧力の空間分布を実験的に求めている。また船体運動と船側波形も計測し、それらの時刻歴を波浪変動圧力の時刻歴と同期させることによって、時々刻々変化する船体に働く縦曲げモーメントを圧力積分によって求める方法を示している。これは世界初の試みである。
- (2) 前進速度無しの場合には線形ポテンシャル理論に基づく RPM を用い、また前進速度有りの場合には CFD 手法による非線形数値計算法を用いて実験に対応する数値計算を行っている。その数値計算結果が実験的に求めた圧力分布、縦曲げモーメントの船長方向分布と定量的にも非常に良い一致を示している。さらにそれらの結果から、前進速度が有るときには縦曲げモーメントにおける非線形性が顕著になること、また前進速度影響によって縦曲げモーメントの値が大きくなり、その値が最大となる船長方向位置が船体中央より船首寄りになることなどを示し、その流体力学的な理由を非定常圧力の空間分布特性によって論じている。実験結果によるこれらの知見は非常に重要である。

以上のように、本論文は、世界初の実験手法によって船体表面上での波浪変動圧力の空間分布を計測し、船側波形、船体運動の計測値と組み合わせることによって船体に働く縦曲げモーメントを求める手法を提示し、その妥当性ならびに流体力学的特性を数値計算結果との比較によって論じたものであり、船舶流体力学・構造力学の研究の発展に寄与する重要な成果であると評価される。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。