

令和 3 年 4 月 28 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01639

研究課題名（和文）船舶耐航性能分野における革新的EFD技術と高解像度3次元理論推定法の開発

研究課題名（英文）Development of an Innovative EFD Technology and a High-resolution 3D Theoretical Estimation Method in Ship Seakeeping

研究代表者

岩下 英嗣 (Iwashita, Hidetsugu)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授

研究者番号：60223393

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：波浪中を航走する船舶の船体表面に作用する圧力を面分布として計測するための圧力センサーとそれを用いた計測法およびデータ解析技術を開発した。圧力センサーは光センシング技術の中のFBG技術を用いた貼付型センサーであり多点同時計測ができる。また、開発した圧力センサーを供試模型片舷に330点ほど貼り付け、正面向い波（規則波）中の色々な波長における圧力分布を計測することで、圧力センサーと計測・解析法の確認を行った。更に得られた結果を、CFDを含む既存の理論計算法のベンチマークテストに供することで本計測データの有用性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

船舶を含めた輸送機器の開発や設計において、その表面の圧力分布を知ることは、流体解析に引き続き行われる構造解析にも関連して究極的に重要である。しかし、これまで波浪中を航走する船舶の圧力の面分布計測は困難であった。本研究では、光センシング技術を用いた新しい圧力センサーを用いることでこの計測を可能とすると共に、その計測精度や有用性を明らかにすることができた。実用上の波浪荷重等構造設計に直接的に利用できるだけでなく、学術的には数値計算法の詳細な検証用データとして利用することができ、非常に意義深くインパクトの強い成果であると言える。

研究成果の概要（英文）：We have developed a pressure sensor for measuring the pressure distribution acting on the hull surface of a ship advancing in waves, and a measurement method and data analysis technology using it. The pressure sensor is an affix-type sensor that uses FBG technology, which is one of the optical sensing technologies, and can measure multiple points at the same time. In addition, the developed pressure sensor is attached to one side of the test model at about 330 points, and the pressure distribution at various wavelengths in the head wave (regular wave) is measured to confirm the pressure sensor and measurement / analysis method. Furthermore, the usefulness of this measurement data was confirmed by subjecting the obtained results to a benchmark test of existing theoretical calculation methods including CFD.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：FBG圧力センサー 非定常圧力 Added pressure 簡易結合法

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

波浪中を航走する船舶の性能、すなわち耐航性能を推定する理論的な方法として、従来から用いられて来たストリップ法、細長船理論、境界要素法などのポテンシャル理論に加えて CFD(数値流体力学)を用いた手法が散見されるようになって来ていた。一方、それら手法による推定結果を検証するための EFD(実験流体力学)に関しては、船体に作用する流体力、運動の計測や、時に歪式圧力センサーを用いた特定断面での圧力計測が行われているに留まっており、CFD を精緻に評価できるような計測データの取得法の構築が切望されていた。

2. 研究の目的

上記の背景を受け、本研究では、昨今開発が進められている光センシング技術を用いた新しい圧力センサーによる船体表面全域での高精度圧力計測法という革新的な EFD 手法を開発することを目的とした。加えて、ポテンシャル理論に基づく三次元の計算計算法に改良を加えて圧力場の推定精度を向上させると共に、他の既存の計算法による結果も含めて実験で得られた圧力場との比較を行うことで、各種計算法の問題点などを明らかにする。そうした計算法のベンチマークテストも目的に含めている。

3. 研究の方法

本研究は下記の 3 つの内容で遂行した。

- (1) 光センシング技術の中の FBG 技術を用いた貼り付け型の圧力センサーをメーカーと共に開発し、実際に供試験模型片舷に 330 点ほどのセンサーを貼りつけて正面向かい波中での運動、圧力、抵抗増加の計測を実施することでデータ解析法等を構築する。
- (2) 三次元計算法の一種であるランキンパネル法に改良を加え、圧力場の高精度推定を行う。
- (3) (2)を含む既存の各種計算法と、(1)で取得した圧力データを比較することで、既存の計算法のベンチマークテストを行う。これは新しい手法で取得した圧力データの有用性を示すことにもなる。

4. 研究成果

以下、得られた研究成果を項目に分けて示す。

(1) FBG 圧力センサーの開発と計測・解析技術の構築

FBG 技術を用いた FBG 圧力センサーについては、先行研究においてその基礎技術は構築していたが、計測精度に関して問題があった。そこで、研究期間中、毎年改良を施した圧力センサーを製作し、水槽試験による計測に供して性能の確認を行ってきた。その結果、最終的には ver. 7 という圧力センサーが完成し、計測精度が飛躍的に向上していることが確認された。図 1 は圧力センサーの概略図を、図 2 にそれを供試模型表面に貼り付けた様子を示している。

船体表面の時々刻々の圧力を正確に捕獲するためには、ゲージ圧力がゼロとなる位置を知る必要があり、そのために船側波形の計測も行う必要がある。そこで、図 3 に示すように、各圧力計測断面に沿って容量線とアース線を貼り付け、波浪中での計測を実施した。この計測は圧力計測に使用する供試模型(サンモジュール製)とは別な模型(ウレタン製)を用いて行い、得られた船側波形のデータは入射の振幅で無次元化してフーリエ係数の形でストアしておく。

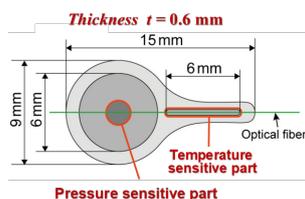


図 1: センサー寸法

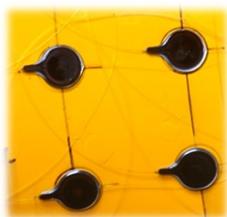


図 2: センサーの貼り付け



図 3: 船側波形の計測



図 4: FBG 圧力センサーの貼付箇所



図 5: 船首尾への貼付の様子

図 5 には、圧力計測用模型に FBG 圧力センサーを添付した様子を示している。水面上も含めて

左舷側に 333 点という膨大な数のセンサーを添付している。一方、右舷側の 3 断面には歪式圧力センサーも埋め込み、左舷側で計測された FBG 圧力センサーとの比較を行うことで計測精度の検証が行えるようにしている。

これまで FBG 圧力センサーは温度干渉影響が強いという問題があり、計測時の水温と室温の関係に留意する必要があった。この問題を改善すべくセンサーの改良を繰り返し、最終的には図 6 右に示すように温度干渉影響がほとんどないセンサーを完成させている。図 6 は、 $F_n=0.18$, $\lambda/L=0.9$ の正面向い波中(規則波)で計測・解析された ord. 8.5 の断面の定常ゲージ圧および非定常圧力の振幅・位相を示している。

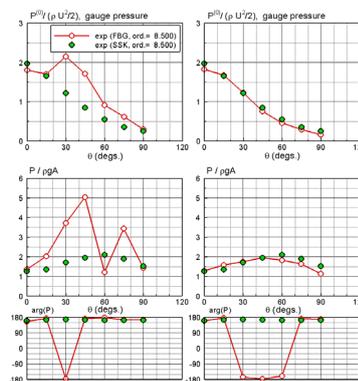


図 6: 温度干渉影響の改善 (左: ver.6, 右: ver.7)

(2) 三次元理論計算法の改良とベンチマークテスト

三次元理論計算法の一つであるランキンパネル法を改良し、圧力レベルの推定精度の向上を図った。図 7 に得られた船体表面の非定常圧力分布を計測結果と比較して示している ($F_n=0.18$, $\lambda/L=0.8$, 正面向い波)。ランキンパネル法は線形理論に基づいているため静水面下の圧力しか推定できないが、計測結果と概ね良好な一致を示している。計測値と比べて船首部の圧力に若干の相違があるが、これは船体運動の推定精度が不十分なことに起因している。計測された圧力の面分布を用いることで、こうした計算法の不十分な点等が明確となること自体、本研究により達成された圧力の面分布計測の有用性を示していると言える。

図 8 には、歪ゲージにより計測された抵抗増加の値、圧力計測により得られた圧力の面分布を積分することにより得られた抵抗増加の値、および各波長における added pressure の面分布を示している。Added pressure の面積分が抵抗増加に寄与することになるが、その寄与が大きい領域は、ord. 8 より船首部の定常波面に沿った近傍であることが明白となっている。こうした知見は本研究により初めて明らかになったことであり、最も重要な成果の一つである。また、計測圧力の積分から得られた抵抗増加と歪ゲージから直接計測された抵抗増加が良く一致していることから、FBG 圧力センサーの精度と計測圧力の解析法の妥当性を裏付けている。加えて、細長船理論の一種である EUT と CFD(FINE/Marine)による計算結果と計測値との比較から、CFD は特に短波長領域で合理的に抵抗増加を推定できていることも分かる。このように、本研究で取得可能となった圧力の面分布データは、今後、各種理論推定法の検証用データとして広く用いられるであろうことが容易に期待される。

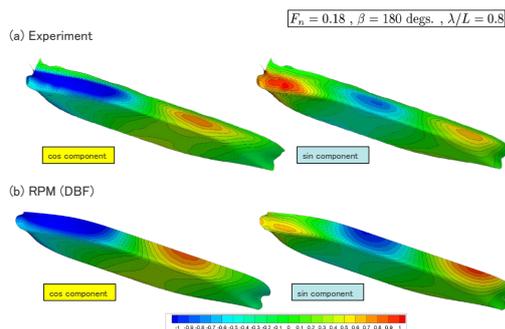


図 7: 非定常圧力分布による計算法のベンチマークテスト

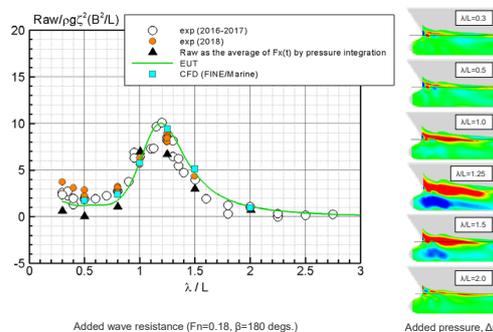


図 8: Added pressure と抵抗増加

本研究を通じて得られた結果の一部は論文として投稿すると共に、国際会議等で広く開示している。特に当該分野において高名な下記国際会議における招待講演は本研究の重要性と世界の着目度を示すものである。

Hidetsugu Iwashita: Innovative Measurement of Unsteady Pressure Distribution on Ship-Hull Surface and Its Use for Hydrodynamic Study on Seakeeping, Invited-Speaker Lecture No.4, The 33rd Symposium on Naval Hydrodynamics, 19-23 October, 2020 (Online)

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Waskito Kurniawan T., Kashiwagi Masashi, Iwashita Hidetsugu, Hinatsu Munehiko	4. 巻 101
2. 論文標題 Prediction of nonlinear vertical bending moment using measured pressure distribution on ship hull	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Ocean Research	6. 最初と最後の頁 102261 ~ 102261
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apor.2020.102261	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yang Kyung-Kyu, Kim Beom-Soo, Kim Yonghwan, Kashiwagi Masashi, Iwashita Hidetsugu	4. 巻 9
2. 論文標題 Numerical Study on Unsteady Pressure Distribution on Bulk Carrier in Head Waves with Forward Speed	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Processes	6. 最初と最後の頁 171 ~ 171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/pr9010171	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件/うち国際学会 10件）

1. 発表者名 T. Fukumoto, H. Iwashita, M. Kashiwagi, S. Miura, M. Wakahara
2. 発表標題 Estimation of Hydrodynamic Forces with Measured Unsteady-Pressure Distribution on a Ship Advancing in Waves
3. 学会等名 Proc. of the Workshop on Environmental Technologies in Naval Architecture and Ocean Engineering 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Fukumoto, H. Iwashita, M. Kashiwagi, S. Miura, M. Wakahara
2. 発表標題 Estimation of Hydrodynamic Forces by Integrating Unsteady-Pressure Distribution Measured with FBG Pressure Sensors
3. 学会等名 Proc. of International Symposium on Novel Computational and Experimental Methods for Complicated Fluid-Structure Interaction (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kurniawan Waskito, Masashi Kashiwagi, Hidetsugu Iwashita, Munehiko Hinatsu
2. 発表標題 Prediction of Nonlinear Wave Loads Using Measured Pressure Distribution on Ship Hull
3. 学会等名 Proc. of International Symposium on Novel Computational and Experimental Methods for Complicated Fluid-Structure Interaction (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩下英嗣
2. 発表標題 FBG圧力センサーを用いた波浪中を航走する船舶の非定常圧力面分布計測
3. 学会等名 2020年電気情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masashi Kashiwagi, Hidetsugu Iwashita, Kurniawan T. Waskito, Munehiko Hinatsu
2. 発表標題 Prediction of Wave Loads with Measured Unsteady Pressure Distribution on Ship-Hull Surface
3. 学会等名 Proc. of the 35th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Iwashita, M. Kashiwagi
2. 発表標題 An Innovative EFD for Studying Ship Seakeeping
3. 学会等名 The 33rd Intl Workshop on Water Waves and Floating Bodies (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Ohnishi, H. Iwashita, M. Kashiwagi, Y. Ito, M. Wakahara
2 . 発表標題 Visualization of the Unsteady Wave Field on Ship Hull Advancing in Waves
3 . 学会等名 Workshop on Environmental Technologies in Naval Architecture and Ocean Engineering (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Ohnishi, H. Iwashita, M. Kashiwagi, Y. Ito
2 . 発表標題 Visualization of the Unsteady Wave Field on Ship Hull by means of an Advanced EFD Technology
3 . 学会等名 International RIAM Symposium on Ocean renewable Energy Technologies and Related Computational and Experimental Researches (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Kashiwagi, H. Iwashita, S. Miura, M. Hinatsu
2 . 発表標題 Study on Added Resistance with Measured Unsteady Pressure Distribution on Ship-hull Surface
3 . 学会等名 The 34th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Hidetsugu Iwashita
2 . 発表標題 Innovative Measurement of Unsteady Pressure Distribution on Ship-Hull Surface and Its Use for Hydrodynamic Study on Seakeeping
3 . 学会等名 Invited-Speaker Lecture No.4, The 33rd Symposium on Naval Hydrodynamics (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Yang K.K., Kim B.S., Kim Y., Kashiwagi M., Iwashita H.
2. 発表標題 Numerical analysis of wave-induced unsteady pressure on ship-hull surface
3. 学会等名 Proc. of 36th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies (国際学会)
4. 発表年 2021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

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