OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Short-term Predictions of Added Resistance in Waves Considering Wave Steepness Nonlinearity with Probability Density Function Method
Author(s)	Jawa, Sahil
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92967
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name (JAWA SAHIL)	
Title	Short-term Predictions of Added Resistance in Waves Considering Wave Steepness Nonlinearity with Probability Density Function Method (波岨度影響を考慮した確率密度関数法による波浪中抵抗増加の短期予測)

Abstract of Thesis :

Commercial ships frequently operate under irregular sea conditions. Hence, their performance must be estimated through simulations in a more realistic environment. As ships becomes larger, the influence of short wavelength region increases, and it tends to have higher wave steepness. According to linear theory, the added resistance in waves is proportional to square of the wave height, but in reality, it deviates from linear theory and linear superposition principal cannot be applied. In particular, the added resistance in waves is greatly affected by the hydrodynamic force acting near the waterline at the bow, but the hull form above the waterline is not considered in the linear theory. So, this approach does not reflect wave-body interactions above the waterline, an important aspect in considering nonlinear hydrodynamic effects. Since the conventional spectrum method is not applicable for nonlinear responses that can include nonlinearities that occur due to wave height. Therefore, the author proposes and validates a new mathematical model based on stochastic theory named “PDF method” in which the wave height is explicitly considered so that the effect of wave steepness nonlinearity can be taken into account when calculating added resistance in actual seas. This thesis consists of the following 8 chapters.

Chapter 1 reviews the history of wave steepness nonlinearity on added resistance calculations and recent research and key findings. Discusses the objectives and methodology. It also contains brief outline of all chapters.

Chapter 2 elaborates the motion free tank experiments using the RIOS containership conducted at Osaka University. It is performed for 3 degrees of freedom of ship motions (surge, heave, pitch) to estimate the added resistance in regular and irregular head waves to validate the proposed probabilistic short term prediction model.

Chapter 3 describes the wave height effect (wave steepness non-linearity) on the added resistance in waves investigated in head and oblique regular waves by the RANSE based CFD method. That effect is shown as a ratio of added resistance at higher wave heights to linear condition at smaller wave heights. The non-linearity with respect to wave height squared is empirically expressed as a "correction coefficient $C(s)$" and is more pronounced in the short wavelength region and can be incorporated into short-term predictions of added resistance.

Chapter 4 elucidates the direct estimation of added resistance in irregular head and oblique seas using CFD numerical modeling equivalent to towing tank experiments using RIOS containership model to validate the proposed stochastic model.

Chapter 5 describes the mathematical formulation of joint probability density function for wave height and wave period based on Longuet-Higgins model and compares with the numerical simulation model for the given wave spectrum. It shows a discrepancy in the peak of the distribution. Hence various improvements are introduced in the original Longuet-Higgins model. One is the replacing the asymptotic wave period (mean wave period) in the probability distribution to the wave spectrum peak period and other is the reduction in the width of the distribution spreading in the larger wave period range.

Chapter 6 describes the multivariate joint probability occurrence of a single wave encountered under stationary sea conditions and the ship's response to the wave. The joint probability density function of the wave height and heave motion height was verified by the numerical analysis.

Chapter 7 shows the establishment of method for estimating the added resistance in irregular waves by combining the nonlinearity of added resistance due to wave height in regular waves with the encounter irregular wave statistics. The proposed PDF method is compared by tank experiments and CFD results in irregular head and oblique bow waves. Comparison shows the scope of further improvement in the PDF method.

Chapter 8 summarizes the thesis with general conclusions and discussion.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　JAWA　SAHIL　）

	（職）	氏　名
論文審査担当者		
主 査	教授	箕浦 宗彦
副 査	教授	鈴木 博善
副 査	教授	牧　敦生

論文審査の結果の要旨

船舶の実海域推進性能を正しく推定することは，船舶の経済性や安全性を高めるうえで重要である．本論文は実海域推進性能のうち，波浪中抵抗増加の推定に関して波岨度（急峻度）に起因する非線形性を考慮できる確率的手法を提案し，数値計算と模型試験の結果から，その妥当性を示している．線形理論に基づけば，船舶の波浪中抵抗増加は波高の2乗に比例し，波浪中抵抗増加の周波数成分が既知であれば，その線形重ね合わせの原理により不規則波中の波浪中抵抗増加が求められる．これをスペクトル法と呼ぶ．一方，船舶は大型化するほど短波長領域の影響が相対的に大きくなる．物理的には波が急峻となり，線形理論から乖離する傾向にある．すなわち，スペクトル法では正確な推定が難しくなる．提案の確率的手法は，波高と波長の発生確率を明示することで波岨度による非線形性を適用できるようにしている．この手法を確率密度関数法（PDF 法）と呼ぶことにする．本論文はこの取り組みを次の内容で説明している．

第 1 章では，波浪中抵抗増加の推定に関するこれまでの波岨度に対する取り組みと最新の研究成果を概説し，その目的と方法論が述べられている．

第 2 章では，PDF 法の検証データとして，大阪大学の船舶海洋試験水槽で行われた RIOS（The Research Initiative of Oceangoing Shipping）コンテナ船型を使用した波浪中曳航実験について詳説している．波浪条件は，向かい波規則波および不規則波であり，抵抗増加と船体運動（前後揺，上下揺，縦揺）のデータがまとめられている．

第 3 章では，RANSE ベースの CFD によって向かい波と斜め波の条件における規則波中抵抗増加が波岨度により変化する様子を明らかにしている．その変化を線形領域（小さい波岨度）に対する比としてまとめ，それを非線形性の「補正係数」として関数フィッティングしている．これにより，波浪中抵抗増加推定のための確率モデルへの組み込みを実現している．

第 4 章では，PDF 法の検証データとして，波浪中曳航実験と同等の CFD モデリングを使用して，向かい波規則波および不規則波での抵抗増加と船体運動（前後揺，上下揺，縦揺）のデータがまとめられている．

第 5 章では，Longuet-Higgins モデルに基づく短期海象中の波高と波周期の同時発現確率密度関数の数学的定式化について説明し，波の数値シミュレーションの結果の比較から，その確率密度関数には波高 - 波周期の密度分布のピークに不一致があることが示されている．これを改善するために，確率分布の漸近波周期（平均波周期）を波スペクトルのピーク周期に置き換え，長周期側では分布幅を縮小する数学的手法が提案されている．

第 6 章では，前章で示した波高と波周期の同時発現確率密度関数と船体応答の関係を理論的・数値的に示している．

第 7 章では，第 5 章の波高 - 波周期の同時発現確率密度関数と第 3 章の補正係数と線形理論による周波数ベースの波浪中抵抗増加関数と組み合わせることで PDF 法を構築し，模型実験データと CFD データとの比較検証を経て，その妥当性と，問題点が示されている．

第 8 章は，総合的な結論と考察の要約である．

以上のように，本論文では実海域推進性能の推定に関して波岨度に起因する非線形性を考慮できる確率的手法を提案し，その妥当性を数値計算と水槽実験により詳細に示しているという点で，工学的に新規性・有用性が高い．

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める．