

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420835

研究課題名(和文) 船舶水面上形状影響を考慮した不規則波中抵抗評価法の開発

研究課題名(英文) Development of Estimation Method for Resistance in Irregular Waves with Consideration of Hull Form above the Waterline

研究代表者

黒田 麻利子 (KURODA, Mariko)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：40462874

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：実海域を航行する船舶に係る主要な外力の一つである波による抵抗増加について、現状の評価手法で考慮されない不規則波中の長周期変動について検討を行った。海洋構造物分野で漂流力の長周期変動の推定に用いられている方法を、航行する船舶に係る波浪中抵抗増加の推定に適用し、水槽試験結果との比較から、この方法により不規則波中の長周期変動が表現できることを示した。また、不規則波中では遭遇する一波一波の振幅が異なるため、長周期変動の推定においては、波高影響を考慮する必要があることを示した。

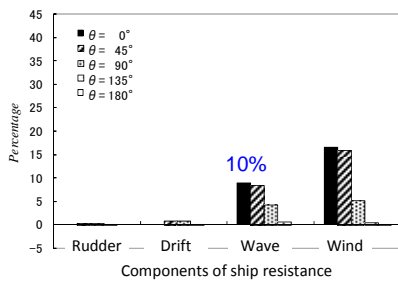
研究成果の概要(英文)：The long-period component of added resistance in irregular waves, which had not been considered by the conventional method for added resistance due to waves, has been studied. The estimation method for long-period component of drift force to offshore structure has been applied to added resistance in waves on a running ship. As a result of the comparison with tank test results, it has been shown that the long-period component of added resistance in irregular waves could be expressed by the method. In addition, it has been shown that the wave height effect should be considered for the estimation of the long-period component since the amplitude of encountered irregular waves varies with respect to each half-wave.

研究分野：船舶海洋工学 実海域性能 波浪中抵抗増加

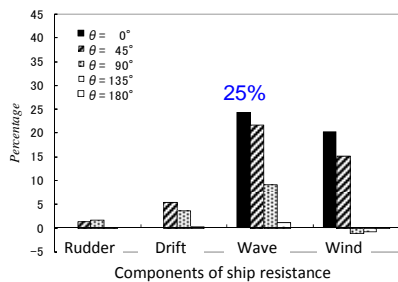
キーワード：不規則波中抵抗増加 長周期変動 波高影響

1. 研究開始当初の背景

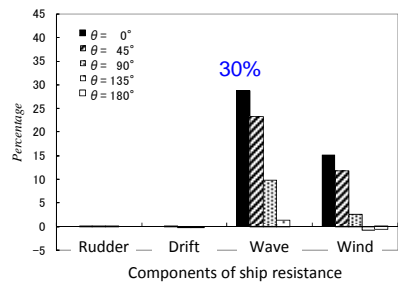
国際海事機関(IMO)では、船舶の設計段階でのトンマイルあたりのCO₂排出量を示すエネルギー効率設計指標(EEDI)が開発されており、2013年からEEDIの規制が開始されるなど、造船海運業界においても、他の業界と同様に、CO₂排出量削減の必要性が増している。船舶は通常、波や風のある実海域で運航するため、実際のCO₂排出量の評価には、波や風の影響を考慮する必要がある。図1に、ビューフォート風力階級6 (BF6:有義波高3m, 平均風速12.6m/s, 平均波周期6.7s)の実海域中を走行する船舶に働く外力割合の試算例を示す。ここで、Rudderは当て舵による抵抗増加、Driftは斜航による抵抗増加、Waveは波による抵抗増加、Windは風による抵抗増加であり、 θ は波向風向(向波向風0 deg.)である。ここに示すように、波浪中抵抗増加は、船種にかかわらず実海域性能に影響を及ぼす重要な要素の一つであり、船舶の実海域性能を向上させるためには、実運航時の波浪中抵抗増加を正しく評価し、波浪中抵抗増加の低減・省エネ船型開発へとつなげることが重要である。



(a)コンテナ船 (船長 300m)



(b)PCC (船長 190m)



(c)バルカー (船長 217m)

図1 実海域中で船舶に働く外力の試算 (平水中抵抗を100%とする)

波浪中抵抗増加は、船舶の静止水面下の形

状だけでなく、船舶の静止水面上の形状(以下、水面上形状と記す)の影響も受けることが確認されている。過去に行われた水面上形状のみ異なるコンテナ船模型を用いた規則波中抵抗増加試験結果からは、船体運動の大きい波長域においてだけでなく、船体運動のほとんどない短波長域でも水面上形状の影響があることが確認されている。水面上形状の改良により、波浪中抵抗増加を低減させる試みもなされており、実船にも採用されている。

このような中、水面上形状の影響を考慮した波浪中抵抗増加計算法として、短波長域の抵抗増加への水面上形状影響を実験的に計算に取り入れる方法が、近年開発された。この手法は、短波長域の水面上形状を評価できる手法となっているが、船体運動の大きい中長波長域での水面上形状影響は考慮されない。

実海域の波は不規則性を有し、工学的には方向分布を持った規則波の重ね合わせで表現され、短波頂不規則波として扱われる。実海域で船舶が受ける抵抗を正しく評価し、船舶の省エネルギー化を促すためには、不規則波中抵抗評価において、水面上形状影響を反映させることが不可欠である。不規則波中抵抗増加については、実用性の観点から規則波中抵抗増加の線形重ね合わせで表現されることが多いが、水槽試験技術の問題から、不規則波中における抵抗増加試験法そのものが確立されておらず、水面上形状の影響を表現する上での妥当性についてはほとんど検討されていない。

2. 研究の目的

水面上形状影響を考慮した不規則波中抵抗評価法の開発を、水槽試験と理論計算の面から行う。

波浪中の水槽試験では、復原力を持たない運動モードについて、変位に比例する力(バネ力)を模型船に付加する。不規則波中の試験では、このバネ力が前後方向の力の計測値に影響するため、試験法が確立されていない。そのため、バネ力の影響を考慮した、水槽試験による不規則波中抵抗評価法の開発を目的に、検討を行う。

また、理論計算における不規則波中抵抗増加評価法について、従来方法では、規則波中抵抗増加が波高の二乗に比例すると考え、波高影響や水面上形状影響を考慮していないが、これを考慮した評価法の開発を目的に、検討を行う。ここで、従来方法では、不規則波中抵抗増加を波スペクトラムを用いて短期予測するため、変動については考慮されていない。不規則波中抵抗増加の変動を評価する方法の開発を目的に検討を行う。

3. 研究の方法

水槽試験については、模型船に付加するバネ力の影響を調査するため、バネ力を変えて

不規則波中試験を行う。また、波高を変えた規則波中抵抗増加試験を行い、現状考慮していない波高影響、水面上形状影響を調査する。

理論計算については、船舶の不規則波中抵抗増加の長周期変動についての検討例が見当たらないため、海洋構造物についての漂流力の長周期変動の推定で用いられている方法をベースに検討を行う。

4. 研究成果

(1)不規則波中抵抗増加の計測

VLCC (実船船長 324 m, 模型船長 4.16 m) と PCC (実船船長 190 m, 模型船長 4.675 m) を対象に、向波長波頂不規則波中抵抗増加試験を行い、模型船に付加する前後方向変位に比例する力の影響を調べた。模型船は図 2 に示すキャリッジに搭載され、前後方向変位について、トルクモータにより変位に比例するバネ力が与えられる。模型船に付加するバネ力の変位に対する係数 (バネ係数 k_x) を変えて試験を行い、それぞれのバネ係数において、計測システムの固有角周波数が、遭遇する不規則波の波スペクトラムに重ならないことを確認して試験を実施した。バネ係数の設定は、VLCC の場合、 k_{x3} : 225 N/m, k_{x5} : 382 N/m, k_{x10} : 833 N/m の 3 種類とし、PCC の場合、 k_{x1} : 81 N/m, k_{x3} : 225 N/m, k_{x5} : 382 N/m, k_{x7} : 570 N/m, k_{x10} : 833 N/m の 5 種類とした。波浪条件は、実船スケールの有義波高・平均波周期において、VLCC の場合、約 5.2 m, 約 9.1 s, PCC の場合、約 3.9 m, 約 7.6 s とした。

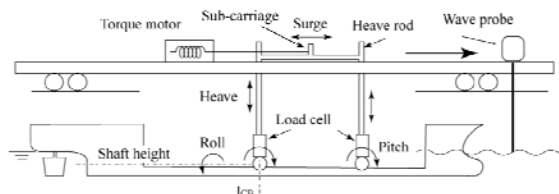
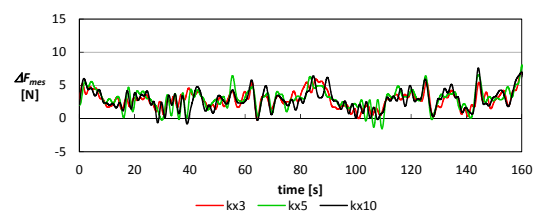


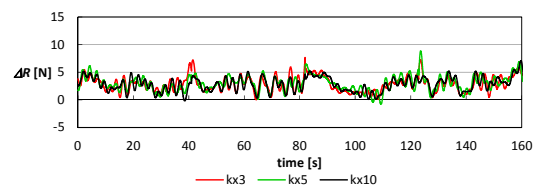
図 2 波浪中試験の計測システム

図 2 より、検力計 (Load cell) により計測される値が、前後方向に付加するバネ力に対応する力であること、バネ係数の設定の影響を受けることが分かる。ここで、模型船には、波による抵抗、慣性力、減衰力、バネ力が働く。規則波中の試験では、1 周期平均を評価するため、計測値であるバネ力から波による抵抗増加を評価できる。一方、不規則波中抵抗増加の長周期変動の評価においては、変動に関係する慣性力、減衰力を考慮する必要があるため、計測値であるバネ力に補正を施し、波による抵抗増加を得た。ここで、速度変化が微小であったため、減衰力項については考慮せず、慣性力項について補正を行った。結果を図 3、図 4 に示す。検力計計測値で見られたバネ係数の設定による影響が、計測値を補正して得られる抵抗の変動においてはほとんどなくなっており、慣性力項の補正により、模型船に付加する前後方向変位に比例す

るバネ力の影響を除いて波浪中抵抗増加の長周期変動を評価できることを確認した。

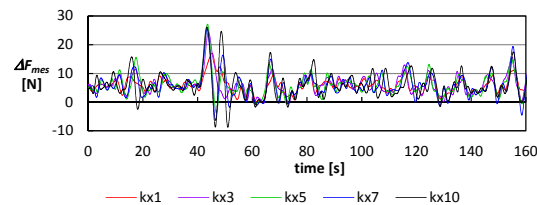


(a) 計測値 ΔF_{mes}

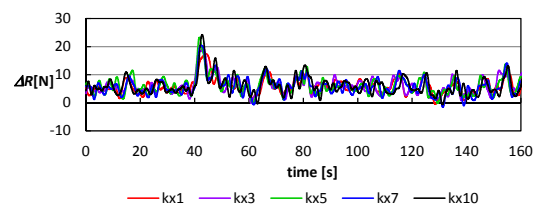


(b) 補正值 ΔR

図 3 不規則波中抵抗増加の長周期変動の計測値 (VLCC)



(a) 計測値 ΔF_{mes}



(b) 補正值 ΔR

図 4 不規則波中抵抗増加の長周期変動の計測値 (PCC)

平均値について、従来の波スペクトラムを用いた短期予測結果 (superposition) と試験結果を比較した。ここで、試験結果については、バネ力の設定で差が見られたため、平均値 (exp.(ave)) と最もバネ力を強く設定した場合 (exp.(k_{x10})) の結果を、図 5 に示す。ここで、 R_{AWL} は長波頂不規則波中抵抗増加の平均値、 ρ は流体密度、 g は重力加速度、 $H_{1/3}$ は有義波高、 B は船幅、 L_{pp} は船長である。PCC については大きな差はみれなかったが、VLCC については、短期予測結果は実験値を 10% 以上大きく評価している。

PCC について、有義波高約 3.5m、平均波周期約 8.1s の斜波長波頂不規則波中 (波向 0 deg (向波), 30deg., 60deg.) 及び短波頂不規則波中 (主波向 0 deg.) でも抵抗試験を行い、試

験結果から得られる平均値と短期予測結果を比較した。結果を図6に示す。ここで、実験値についてはバネ力設定についての平均値であり、 K_{AWL} は長波頂不規則波中抵抗増加係数、 K_{AWC} は短波頂不規則波中抵抗増加係数である。向波中については、図5と同様に大きな差はみられないが、斜向波(30 deg.)の場合及び短波頂不規則波において差が見られた。

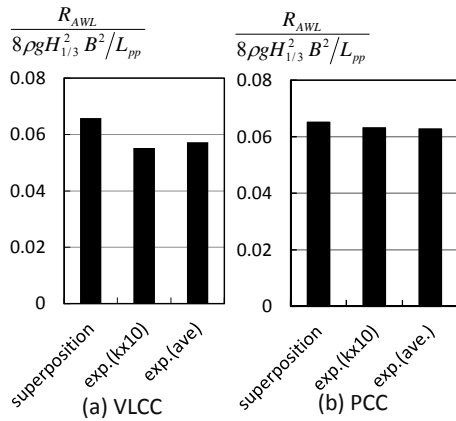


図5 長波頂不規則波中抵抗増加の平均値

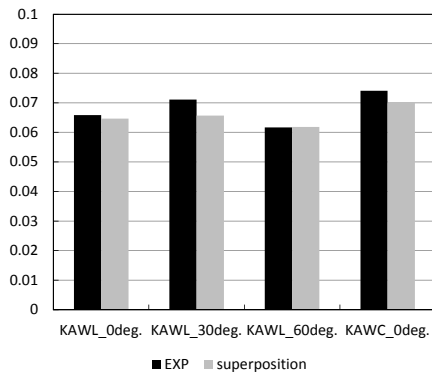


図6 不規則波中抵抗増加の平均値 (PCC)

(2)規則波中抵抗増加の波高影響・水面上形状影響の調査

規則波中抵抗増加の水面上形状影響、波高影響を調査するため、不規則波中試験を行った VLCC, PCC の模型船を用い、波高を変化させて規則波中抵抗増加試験を行った。結果を図7に示す。ここで、横軸は模型スケールの波高であり、 R_{AW} は規則波中抵抗増加、 ζ_a は波振幅であり、Cal.は規則波中抵抗増加の計算結果である。波長船長比に関わらず、波高が高くなると規則波中抵抗増加係数が小さくなる傾向にあるが、その量は船型・波長により異なることが分かる。

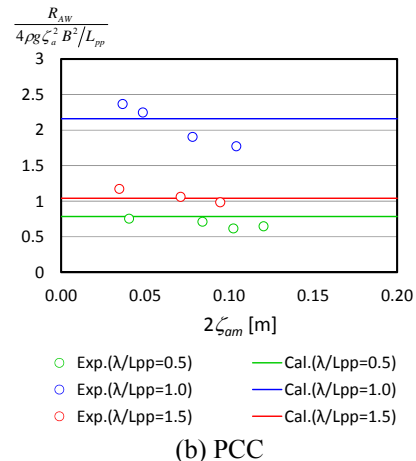
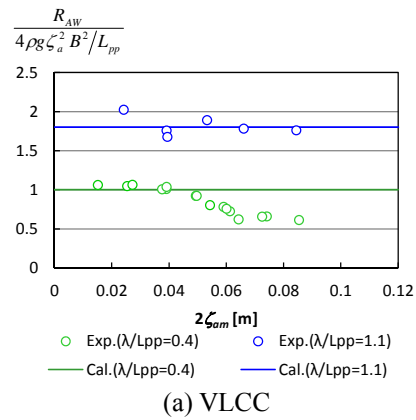
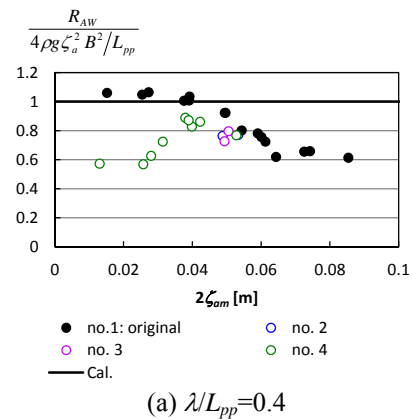
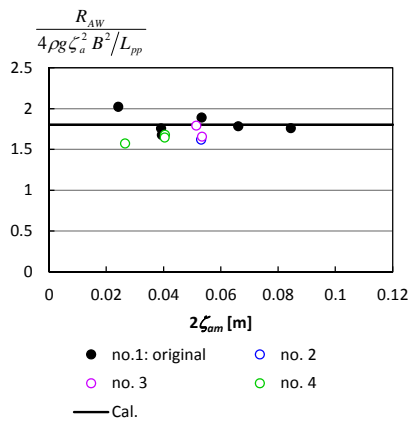


図7 規則波中抵抗増加の波高影響

VLCC については、水面上形状のみ異なる模型船を作成し、オリジナルとの違いを水槽試験により調べ、波高影響だけでなく、水面上形状によっても差があることを確認した。比較結果を図8に示す。ここで、no.1: originalは原型、no.2~4が水面上形状のみ異なる船型で、no.2の場合は、船首部水面上のフレームラインを内方にいったん傾斜させたフレア形状、no.3はno.2と同様に一旦傾斜させてから直立とした形状、no.4はno.2をベースにステムラインに沿った船首端の水切り角を鋭くした形状である。図8より、水面上形状により、規則波中抵抗増加に差があることが分かる。今回、船首部水面上形状を変更したが、その影響は波の反射による抵抗増加が主要な短波長($\lambda/L_{pp}=0.4$)の方が、運動による成分が主要な長波長($\lambda/L_{pp}=1.1$)より、大きいことが分かった。



(a) $\lambda/L_{pp}=0.4$



(b) $\lambda/L_{pp}=1.1$

図8 規則波中抵抗増加の水面上形状影響

(3)不規則波中抵抗増加の推定

海洋構造物の分野で漂流力の長周期変動の推定に用いられている Newman の方法により、船舶に働く不規則波中抵抗増加を推定した。Newman の方法により、不規則波中抵抗増加の長周期変動は、規則波中抵抗増加の周波数応答と不規則波を構成する成分波の振幅と位相から計算される。ここで、水面上形状影響、波高影響を考慮するため、水槽試験から得られた波高影響を用い、遭遇する不規則波の半波ごとの振幅に応じて計算に用いる規則波中抵抗増加の周波数応答を調整した。

不規則波中水槽試験を行った VLCC, PCC について、水槽試験と計算結果の比較を図9に示す。ここから、不規則波中抵抗増加の長周期変動が、Newman の方法をベースに波高影響を組み込んだ方法により、表現できることが分かる。

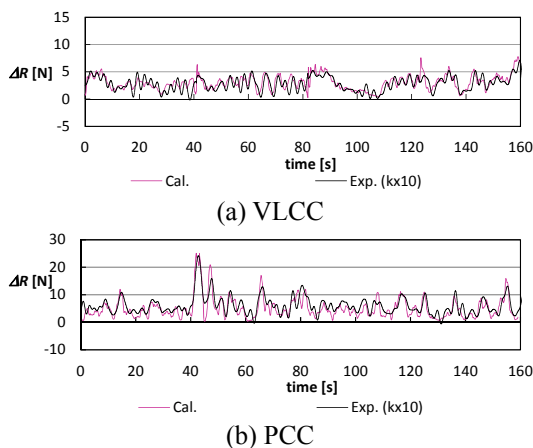


図9 不規則波中抵抗増加の長周期変動の推定

波スペクトラムを用いた短期予測結果 (superposition)、長周期変動の推定値から求められる時間平均値 (Cal.)、水槽試験から得られる時間平均値 (exp.(ave)) を比較して図10に示す。PCC については、実験値と波スペクトラムを用いた短期予測結果、長周期変動から求めた平均値の差は小さいが、VLCC

については、従来の波スペクトラムを用いた短期予測結果と実験値・長周期変動から求めた平均値に差がみられた。従来の計算法では、波浪中抵抗増加は波高の二乗に比例すると考え、波高影響・水面上形状が考慮されないため、波高影響がより見られた VLCC では、推定値と実験値の差が 10%以上あるものと考えられる。一方、長周期変動から算出した結果は実験値に近く、波高影響を考慮して評価できていることが分かる。

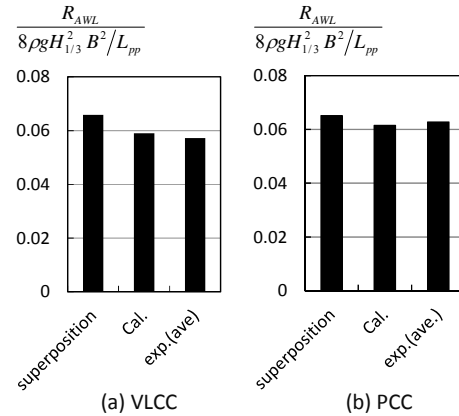


図10 長波頂不規則波中抵抗増加の平均値 (波高影響の考慮)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計1件)

- ①黒田麻利子、高木健、辻本勝、藤沢純一、不規則波中抵抗増加の計測と長周期変動の推定、日本船舶海洋工学会論文集、査読有、24巻、2016、181-188
DOI:10.2534/jjasnaoe.24.181

〔学会発表〕 (計3件)

- ①黒田麻利子、高木健
波浪中抵抗増加に関わる水面上形状影響の評価、日本船舶海洋工学会春季講演会、2017
- ②黒田麻利子、高木健、辻本勝、藤沢純一、水槽試験による長波頂不規則波中抵抗増加の評価、日本船舶海洋工学会春季講演会、2016
- ③黒田麻利子、高木健、辻本勝、藤沢純一、櫻田顕子、長波頂不規則波中抵抗増加試験において付加する前後方向復原力の影響についての考察、日本船舶海洋工学会秋季講演会、2015

〔図書〕 (計0)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

〔その他〕
特になし。

6. 研究組織

(1)研究代表者

黒田 麻利子 (Mariko Kuroda)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研
究所 その他部局等 研究員

研究者番号：40462874