

## 論文の内容の要旨

論文題目 不規則波中抵抗増加の長周期変動に関する研究

氏 名 黒田 麻利子

### 1. はじめに

船舶の実海域性能については、従来平水中からのマージンとして考慮されることが多かったが、近年の船載型モニタリングシステムの開発に伴い、詳細な実船データが入手できるようになり、推定についても確度の高い評価が求められてきている。実海域中を航行する船舶に働く波風による抵抗増加の割合を平水中抵抗に対する比で表した計算例をFig. 1に示す。ここから、実海域性能推定において波による抵抗増加（波浪中抵抗増加）が重要な成分であることが分かる。波浪中抵抗増加は、現状、短波頂不規則波中抵抗増加として、波スペクトラムを用いて平均値として評価されているが、不規則波中では、入射波の周期に応じた変動に加えて成分波の周波数差により長周期変動が生じる。長周期変動は船体運動などの変動に与える影響が大きく、船速やプロペラ負荷などへの各種変動にも影響するが、航行船舶を対象に不規則波中抵抗増加の長周期変動を推定する方法について検討された例はない。また国際規制に関連しても、実海域性能を取り扱う場面が出てきている。例えば、EEDI規制に関連するガイドラインである試運転解析法<sup>[2]</sup>においても、平均値として波浪中抵抗増加を評価しているが、限られた航走区間では波浪の精度に任意性があり、通常用いられている標準波スペクトラムの使用が適切かは不明確である。また、同じくEEDI規制に関係する最低出力ガイドライン<sup>[3]</sup>においても、平均値として波浪中抵抗増加を評価するが、変動を考慮し抵抗が最大となる状況で必要となる出力を判定するべきである。これらの課題を解決するためには、不規則波中抵抗増加の長周期変動を推定する方法が必要であり、このために理論的・実験的検討を行うこととした。

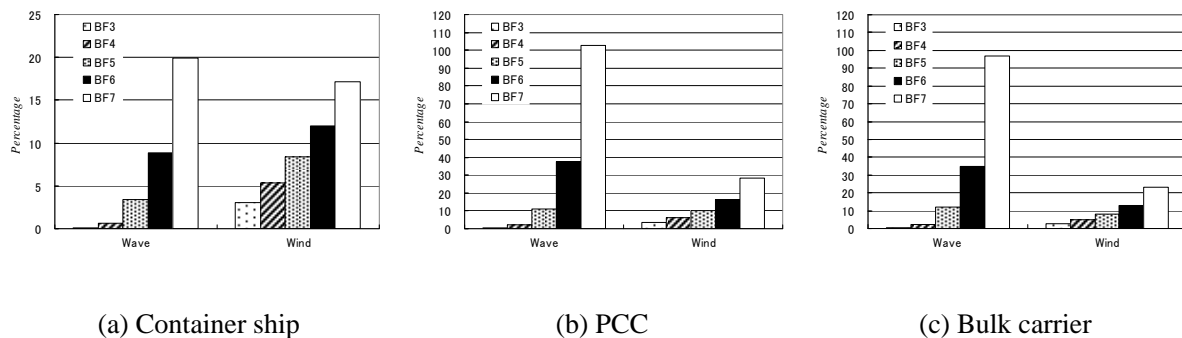


Fig. 1 Percentage of resistance components<sup>[1]</sup>.

### 2. 波浪中抵抗増加の推定法

不規則波中抵抗増加の長周期変動を検討するに当たり、EEDI規制に関する試運転解析法に記載され

ている方法で、規則波中抵抗増加の推定を行った。この方法は、丸尾の理論をベースに、短波長域の補正のため水槽試験から得られるパラメータを導入する方法<sup>[4]</sup>であり、複数の船種・船速・波向で実験結果と一致することが確認されている。不規則波中抵抗増加の長周期変動を推定する方法については、海洋構造物で使用されているNewman近似<sup>[5]</sup>を航行船舶に適用させて定式化した。この時、不規則波中抵抗増加の長周期変動 $\Delta R$ は(1)式により表される。ここで、 $t$  は時間であり、 $A_m^r$  はランダム位相を含む複素振幅、 $\omega_{em}$  は出会い角周波数で、それぞれ不規則波の $m$  次成分の規則波に対応する。

$$\Delta R(t) \cong \text{Re} \sum_m \sum_n A_m^r A_n^{r*} M_{mm}^{(2-)}(\omega_{em}) e^{i(\omega_{em} - \omega_{en})t} \quad (1)$$

この手法により、規則波中抵抗増加の周波数応答を用いて不規則波中抵抗増加の長周期変動が推定される。自動車運搬船を対象とした試算から、変動時系列を平均した値と、従来の波スペクトラムとの重ね合わせ法による短期予測値は、波スペクトラムを設定した区間においては差がないが、それより短い期間を対象とした場合、差を生じることを示した。また、水槽試験により波浪中抵抗増加を計測する際、向波中の場合は、Fig. 2に示す計測システムを用いるが、不規則波中抵抗増加を計測する場合、模型船に付加する線形ばね力の設定が、検力計による計測値に影響を及ぼす。この影響については、慣性力の補正を行うことで修正できると考えられることを示した。

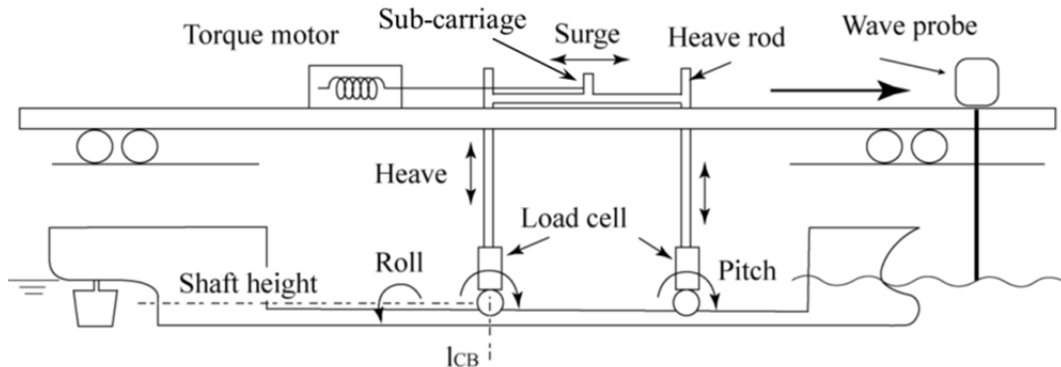


Fig. 2 Measurement system for tests in head waves<sup>[6]</sup>.

### 3. 不規則波中抵抗増加の計測と推定値の比較

不規則波中抵抗増加の長周期変動推定法の妥当性の確認と、水槽試験における慣性力補正による検力計計測値の解析法についての確認を目的に、長波頂不規則波中抵抗増加試験を行った。タンカー及び自動車運搬船を対象に、向波長波頂不規則波中抵抗増加変動成分の計測及び推定を行った。計測の結果、長周期成分は、前後変位及び前後力に生じること、模型船に付加する線形ばね力の影響は、VLCCの場合、前後変位の長周期変動に現れ、PCCの場合、前後変位及び前後力の長周期変動に現れることが分かった。検力計により計測された前後力で見られた長周期変動における線形ばね力による差について、慣性力項で補正を行うことにより計測値から得られる不規則波中抵抗増加の長周期変動においては、差が小さくなることを示した。また、計測値との比較により、Newman近似を用いた推定法により

長波頂不規則波中抵抗増加の長周期変動が表現できることを示した。さらに、波エネルギーの卓越する短波長域で規則波中抵抗増加に波高影響が見られたVLCCについて、変動推定法において遭遇波浪の包絡線に従って波高影響を考慮した結果、波高影響を考慮しない場合から、不規則波中抵抗増加の平均値の推定結果が約10%異なることを示した。不規則波中抵抗増加の長周期変動についての比較をFig. 3, 4に示す。

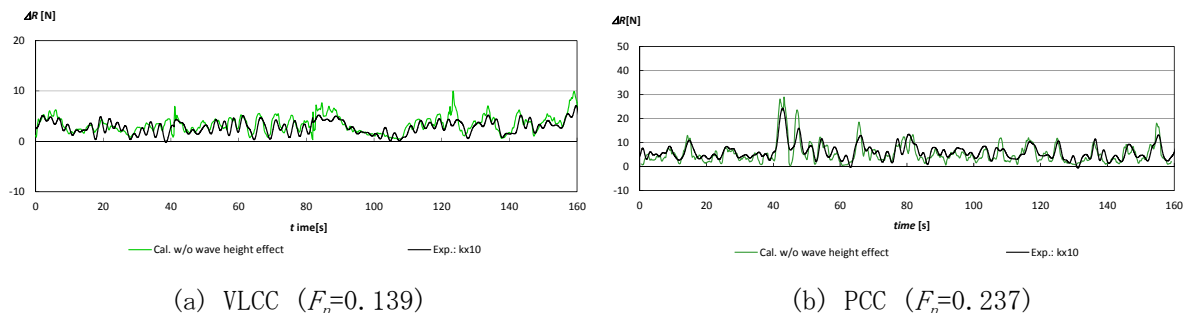


Fig. 3 Comparison between experimental results and calculated results for added resistance in long-crested irregular waves (head waves).

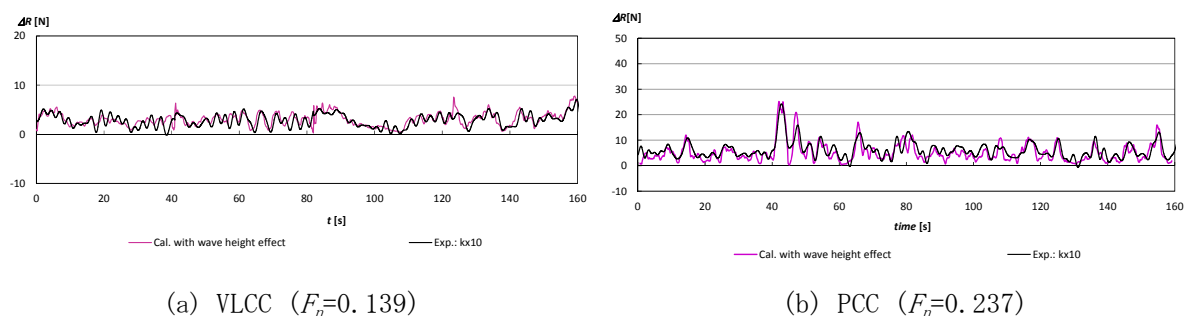


Fig. 4 Effect of wave height on calculation of added resistance long crested irregular waves.

#### 4. 3次以上の高次波成分の影響

実験結果で示された波高影響を不規則波中抵抗増加の長周期変動に取り入れる方法を理論的に検討するため、非線形応答の表現を用い、従来の計算法では検討されていない、3次以上の高次応答を考慮した波浪中抵抗増規則波中抵抗増加の波高影響を、不規則波中抵抗増加の長周期変動において反映させる方法について検討を行い、高次波成分の影響を波浪の4次成分で表現した。また、高次波成分の影響を水面上形状の違いによる波高影響として規則波中抵抗増加の計算式に反映する方法を提案し、静止水面上形状の異なるコンテナ船の水槽試験結果で示された違いを、表現できることを示した。規則波の場合に準じて、不規則波中抵抗増加の長周期変動についても、高次波成分の影響について定式化を行い、規則波中抵抗増加の4次の応答を用いた計算式を示した。これを用いて、水槽試験で波高影響が現れたタンカーを対象に、水槽試験で得られた規則波中抵抗増加の波高影響を4次応答成分として長周期変動の計算を行い、4次応答の考慮により推定値が実験値に近づくことを示した。静止水面上形状の異なるコンテナ船について、有義波高3.5 m、平均波周期7.7sの長波頂不規則波中抵抗増加の長周期変動を計算し、静止水面上形状の違いにより、長波頂不規則波中抵抗増加が時間平均で約26%異なり、

これは、出力一定下での船速低下量の違いで約0.33 knotとなり、実海域性能評価において考慮すべき要素であることを示した。

## 5. 結論

今回の研究により、航行船舶の不規則波中抵抗増加の長周期変動が、前進速度を持たない海洋構造物を対象に用いられている近似法により、おおよそ捉えられることを示した。また、波高影響について4次応答としてとらえ、定性的に考慮できることを示した。

不規則波中抵抗増加の長周期変動の推定法により、これまで波スペクトラムを用いた短期予測値として評価していた不規則波中抵抗増加が用いられてきた試運転解析や最低出力判定においては、より適切な評価が可能となる。試運転解析における波浪修正では、目視の有義波高、平均波周期などのパラメータから標準波スペクトラムを仮定して波による抵抗増加が計算されることが一般的であるが、試運転では航走距離から決まる限られた期間を対象としているため、標準波スペクトラムの適用が正確でない場合も想定される。変動を推定し、直接時間平均をとることで波による抵抗増加を評価することにより、限られた期間における抵抗増加を正確に評価することが可能となる。最低出力判定においては、本来であれば、抵抗が最も厳しくなる状態で担保すべき出力を評価する必要があるが、現状は、不規則波中抵抗増加の変動は考慮されず、波スペクトラムを設定する期間の平均として評価されている。変動評価法により、設定波スペクトラムを持つ複数の遭遇波時系列における波浪中抵抗増加の変動が計算でき、抵抗が最大となる状態で保持すべき出力を計算することが可能となる。

## 参考文献

- [1] Tsujimoto, M., Kuroda, M., Shibata, K., Sogihara, N. and Takagi, K.: On a Calculation of Decrease of Ship Speed in Actual Seas, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, vol.9, 2009, pp. 79-85.
- [2] ISO15016-2015: Ships and marine technology - Guidelines for the assessment of speed and power performance by analysis of speed trial data, 2015.
- [3] MEPC.1/Circ.850: 2013 Interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions (Resolution MEPC.232(65)), as amended by Resolution MEPC.255(657), 2014.
- [4] Tsujimoto, M., Shibata, K., Kuroda, M. and Takagi, K.: A Practical Correction Method for Added Resistance in Waves, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 8, 2008, pp. 177-184.
- [5] Newman, J. N.: Second-order slowly-varying forces on vessels in irregular waves, Proceedings of the Symposium on the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, 1974, pp.182-186.
- [6] 辻本勝, 折原秀夫: 実海域性能推定法とモニタリング解析, 運動性能研究会シンポジウム 実海域における実船性能モニタリング, 日本船舶海洋工学会, 2015, pp. 77-154.