荒天時での波浪中抵抗増加推定法について

海上安全研究領域 耐航・復原性能研究グループ 小川 剛孝、*石田 茂資、沢田 博史、 田口 晴邦、南 佳成

輸送高度化研究領域 水槽試験研究グループ 塚田 吉昭

1.まえがき

実海域性能を考慮した船型設計を行うためには、 波浪中での性能評価についても考慮する必要があ る。とりわけ長期の性能評価を考える場合、荒天 中での波浪中抵抗増加の高精度な推定が必要とさ れる。この事は、精度の向上もさることながら水 線面上の形状が船舶の性能に及ぼす影響を知る上 で重要な事である。

そのため本研究では、運動推定法の高精度化と 平行して、荒天中での船体運動及び波浪中抵抗増 加の実用的な推定法について開発を行なっている。 その結果、時々刻々の水面下形状及びスラミング による衝撃荷重を考慮した計算法による船体運動 を入力とする波浪中抵抗増加推定法を開発した。 また、旅客フェリーを用いた模型実験を実施して、 本計算法の検証を行った。その結果、波高の影響 を合理的に考慮することで荒天中での波浪中抵抗 増加の推定精度が向上することを明らかにした。

2.抵抗增加推定法

波浪中抵抗増加の推定手法は、大別すると2つ に分けられる。1つは、船体の遠方での波動場か ら波浪中抵抗増加を計算する方法、もう1つは、 船体表面上の圧力を積分する事で計算する方法で ある。前者の方法としては、丸尾の理論¹⁾が良く 知られている。これまでに提案された計算手法は 全てこの理論をもとに構成されており、遠方での 波動場の計算法がそれぞれ異なる。後者の方法は、 抵抗増加を直接船体に作用する力として認識する ことができるため直感的で判り易いと言える。近 年、三次元計算法により前進速度がある場合の船 体表面の圧力を高次のオーダーまで計算する取り 組みが積極的に行われている²⁾。しかしながら、 荒天中での計算等検証すべき課題が残されている ため十分に確立されたとは言いがたい。このよう な観点から、本研究では前者の方法により荒天中 での波浪中抵抗増加を計算する事を考える。

丸尾³⁾らは、フーリエ積分定理を用いて丸尾の 抵抗増加理論式を以下のように波浪中抵抗増加 R_{AMO}を表した。

$$R_{AW0} = 8\pi^{2}\rho \int_{-L/2}^{L/2} \left[i\sigma^{*} \frac{\partial\sigma}{\partial x} - k |\sigma|^{2} \cos\chi \right] dx + 8\pi^{2}\rho \int_{-L/2}^{L/2} \frac{\omega_{e}^{2}}{g} \left[i\mu^{*} \frac{\partial\mu}{\partial x} - k |\mu|^{2} \cos\chi \right] dx$$
(1)

ここで、 は流体の密度、i は虚数単位、 及び µは船体縦中心面上を前後に貫く直線上に分布す る吹出し及び二重吹出し、 '及びµ'は共役複素 数、k は出会い波波数、 は出会い波方位、 。は 出会い波角周波数、x は船長方向の座標、L/2 及び -L/2 は F.P.及び A.P.の x 座標を表す。この式は、 コチン関数の計算を不要にしただけでなく、船長 方向に緩やかに変化する関数を非積分関数として 用いる事で精度よい計算を可能にしているのが大 きな特徴である。本研究では、丸尾ら³⁾⁴⁾にならい 吹出し及び二重吹出し強さ 及びµは、以下の式 を用いる。

$$\sigma(\mathbf{x}) = \frac{-\mathrm{ig}}{4\pi\omega_{e}^{2}} \overline{A}_{\mathrm{H}} \exp\{\mathrm{i}\varepsilon_{\mathrm{H}}\} \times \frac{1}{\mathrm{B}(\mathbf{x})} \left(\mathrm{i}\omega_{e} - \mathrm{V}\frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}\right) \times \left[\mathrm{B}(\mathbf{x})(Z_{\mathrm{G}} - \mathrm{x}\theta) - \mathrm{B}(\mathbf{x})\varsigma_{\mathrm{W}}\right]$$
(2)

$$\begin{split} \mu(x) &= \frac{-ig^2}{8\pi\omega_e^4} \overline{A}_s \exp\{i\epsilon_s(x)\} \times \frac{1}{B(x)} \left(i\omega_e - V\frac{\partial}{\partial x}\right) \\ &\times \left[B(x) \left(Y_G - x\psi - \left|l_W\right|\phi\right) - B(x)\varsigma_W\right] \end{split}$$

(3)

ここで、gは重力加速度、Ā_H及びĀ_sは各船体横断 面での上下揺及び左右揺による進行波振幅比、 B(x)は各船体横断面の水線幅、V は船体の前進速 度、 _H及び _sは上下揺及び左右揺の位相差、Z₆ は上下揺、 は縦揺、 _Wは入射波の上下方向変位、 Y₆は左右揺、 は船首揺、 は横揺、I_wは横揺の モーメントレバーを表す。

本研究では、時々刻々の水面下形状及びスラミ ングによる衝撃荷重を考慮した時間領域の計算手 法⁵⁾も開発した。(1)式の入力である船体運動につ いては、この手法により推定した。これにより波 高の非線形影響を取り入れた波浪中抵抗増加を推 定する。

これらの計算において、各船体横断面の時々 刻々の流体力係数は、積分方程式法により計算し た。イレギュラー周波数については、大松の方法 ⁶⁾にならい断面の内部に吹出し及び二重吹出しを 分布させることで取り除いた。

本手法ではストリップ法の考え方に基づく船体 運動の計算値を用いているので、船首部の反射波 による抵抗増加は考慮されていない。そこで、こ の抵抗増加 R_{AW}については藤井・高橋⁷⁾の式を用 いて別途計算を行った。この際のブラントネス係 数は、静止時の水線面形状について求めた。以下 に示す波浪中抵抗増加の計算結果は(1)式による 抵抗増加との和(=R_{AWO}+ R_{AW})である。

3.模型実験

旅客フェリー模型を用いた波浪中試験を海上技 術安全研究所中水槽(長さ×幅×深さ:150×7.5 ×3.5m)において行った。模型船の主要目を表 - 1 に示す。 $C_B=0.483$ とかなりやせ型の船型である。

模型船をガイド装置に取り付けて波浪中を曳航 した。この際、左右揺と船首揺は拘束した。本実 験では、抵抗増加だけでなく船体運動及び上下加 速度の計測も行った。上下揺、縦揺、前後揺の船 体運動は、ポテンショメーターにより変位と回転 の計測を行った。また、加速度計を用いて S.S.8 での上下加速度を計測した。

実験は正面向波(=180°)規則波中で計測した。船速は、航海速力 31.9kt(フルード数 Fn=0.383)とした。波高と波周期が抵抗増加に及ぼす影響について調べるため、波長船長比は/L=0.3,0.5,0.8,1.0,1.2,1.5,2.0の7状態、波高は 2.91m(約 L/64)4.16m(約 L/45)の2 状態を設定した。

	Ship	Model
Lpp(m)	187.0	4.5
B(m)	28.0	0.7
d(m)	7.0	0.2
D(m)	11.0	0.3
Disp.(m ³)	17712.0	0.2
Block coef. [:] C _B	0.483	0.483
Longitudinal gyration(ĸy/Lpp)	0.243	0.243

表-1 旅客フェリー主要目

4.実験結果と計算との比較

4.1.船体運動

荒天中での波浪中抵抗増加を精度よく推定する ためには、入力となる船体運動の振幅及び位相を 精度よく推定する必要がある。そこで、はじめに 船体運動及び上下加速度について検討を行った。

正面向波中で計測した上下揺と縦揺の周波数応 答関数を波高毎に整理して図 - 1 及び図 - 2 に示 す。縦軸は、フーリエ解析して求めた 1 次成分の 上下揺振幅 Z 及び縦揺振幅 を波振幅 及び最大 波傾斜 k でそれぞれ無次元化した値を表す。こ こで k は波数を表す。横軸は波長船長比 /L を表 す。同じく図中には本計算手法の結果を実線及び 点線で示す。さらに、比較のために Lewis Form 断面を用いたストリップ法(NSM)の計算結果も同 じく図中に点線で示す。

また、縦揺に対する上下揺の位相差を図 - 3 に 示す。位相差は、縦揺は船首下げを正、上下揺は 鉛直上向きを正として計算した。

振幅は波高が大きくなるにつれて振幅の無次元 値が小さくなっており、波高による非線形影響が 現れていることが分かる。位相差は、振幅に比べ て波高の非線形影響が小さいことが分かる。

本手法による計算値は、波高の非線形影響を捉

えている事及びストリップ法による計算結果より もよく実験値と一致している事が分かる。



図 2 縦揺の周波数応答関数 (正面向波、Fn=0.383)

1.0

λ/L 1.5

2.0

2.5

0.5

0.0





4 . 2 . 上下加速度

正面向波中で計測した上下加速度(S.S.8)の周 波数応答関数を波高毎に整理して図 - 4 に示す。 縦軸は、フーリエ解析して求めた1次成分の加速 度の振幅a。を船長Lと波振幅の比L/で無次元 化した値を表す。また、縦揺に対する上下加速度 の位相差を図 - 5 に示す。位相差は、縦揺は船首 下げを正、上下加速度は鉛直上向きを正として計 算した。

船体運動と同様に、振幅には波高による非線形 影響が現れていること及び位相差は波高の非線形 影響が小さいことが分かる。また、本計算手法に よる計算値は、ストリップ法よりも実験値をよく 説明している事が分かる。





図 - 5 上下加速度の位相差の周波数応答関数 (S.S.8、正面向波、Fn=0.383)

4.3.波浪中抵抗增加

正面向波中での波浪中抵抗増加の周波数応答関数 を波高毎に整理して図 - 6に示す。縦軸は、波浪中抵 抗増加を gB²H²/Lで無次元化した値を表す。ここで H^Wは波高を表す。全体的に波高が大きくなるにつれ て抵抗増加の無次元値が小さくなっており、波高に よる非線形影響が現れていることが分かる。

本計算手法による計算値は、ストリップ法に比べ ると実験値をよく説明しており、波高による非線形 影響を捉えている事が分かる。しかしながら、長波 長域での実験との一致度は良くない。本手法で用い た吹き出し強さは、導出の過程で短波長を仮定した ものである。この事に加えて、旅客フェリーがやせ 型で高速船であるために、誤差が大きくなったと考 えられる。この事については更に検討を進め、その 結果をもとに改良を行う予定である。

さらに、SR108船型についても計算を行った。この 船型の波浪中抵抗増加については、これまでに実験 及び計算の双方から数多くの研究が実施されている。 そのため本研究でもこの船型を用いて計算を行った。

結果の一例を図-7に示す。図中には中村⁸⁾らによ り実施された実験結果を印で、本計算手法の結果を 実線で表す。先に示した結果と同様に本手法は実験 値をよく説明できていることがわかる。



図 - 6 波浪中抵抗増加の周波数応答関数 (正面向波、Fn=0.383)

5.まとめ

荒天時における波浪中抵抗増加の実用的な推定法 を開発した。また、高速フェリーを用いた波浪中で の模型実験により船体運動、上下加速度、波浪中抵 抗増加を計測した。これらの結果を比較して検討を 行ったところ以下のことがわかった。

- (1) 船体運動や上下加速度の振幅には波高による非 線形影響が見られる。その一方、位相差は振幅 ほど波高の影響を受けない。
- (2)時々刻々の水面下形状を考慮することで荒天下 での船体運動及び上下加速度を精度よく推定す ることができる。
- (3)本研究で示した波浪中抵抗増加の計算は、実験 値をうまく説明しており、荒天中での波浪中抵 抗増加推定法として有用である。

荒天中での性能評価を考える上で、プロペラレー シングの影響を考慮する必要がある。また、海水打 ち込みが船体運動ひいては船速低下に及ぼす影響に ついても検討しておく必要がある。前者については 実用的観点から検討を進めている。後者については、 すでに海水打ち込みによる甲板荷重の影響を考慮し た船体運動推定法を開発して、検証を行っていると ころである。これらの検討結果を加える事で荒天中 での性能評価の一層の精度向上を図る予定である。



図-7 波浪中抵抗増加の周波数応答関数 (SR108 船型、正面向波、Hw=3.5m、Fn=0.20)

参考文献

- 1) 丸尾孟: 波浪中の船体抵抗増加に関する研 究(第1報及び第2報)、日本造船学会論文集 第101 及び108 号、1957 及び1960
- 2)例えば、高木健: Rankine Source による波 浪中抵抗増加の計算、関西造船協会誌第 214 号、1990
- 3)丸尾孟他:簡易化公式による向い波中抵抗増 加の計算、日本造船学会論文集第 140 号、 1976
- 4) 丸尾孟他:斜波における抵抗増加の計算、日本造船学会論文集第147号、1980
- 5)藤野正隆他:大波高波浪による船体の波浪荷
 重に関する研究(第1報)、日本造船学会論文
 集第156号、1984
- 6) Ohmatsu, S.:On the irregular frequencies in the theory of oscillating bodies in a free surface , Papers of Ship Research Institute Vol.48 , 1975
- 7)藤井斉他:肥大船の波浪中抵抗増加に関する 実験的研究、日本造船学会論文集第 137 号、 1975
- 8) 中村彰一他:コンテナ船の波浪中推進性能に
 関する研究(第1報) 関西造船協会誌第156
 号、1977