

PS-4 荒天下の操縦干渉流体力と操船性能

流体性能評価系 * 鈴木 良介、塚田 吉昭、上野 道雄

1. はじめに

MMG モデル¹⁾は船舶操縦運動予測モデルの一つである。本モデルの操縦運動に関する干渉流体力の微係数は、簡略化のために数値計算で一定値とみなされることが多い。一方、この微係数は運動の状態(プロペラ荷重度や斜航角)によって変化する²⁾ことが知られており、荒天下中の極度の高プロペラ荷重度および大斜航状態ではその変化が特に大きくなると推測される。しかし、そのような状態での微係数の変化やその変化が操縦運動におよぼす影響について調べた研究は多くない。

本研究では、荒天下中の船を考えるにあたって、波および波による船体動揺等の出会い波周期で変動する現象ではなく、波風による船速低下と斜航など時間平均的現象、特に荒天下中の高プロペラ荷重度と大斜航角の影響に着目する。

第一にタンカー模型を用いて高プロペラ荷重度および大斜航状態における拘束模型試験を平水中で実施し、荒天下中の微係数の変化を調査した。第二に、その結果を用いて荒天下中の定常航行状態の推定をおこない、微係数の変化が荒天下中の操縦運動におよぼす影響を調べた。

2. 拘束模型試験による操縦干渉流体力微係数の解析

2. 1. 試験方法

拘束模型試験は海上技術安全研究所の曳航水槽(長さ150m)で実施した。荒天下中の船舶の状態を想定し、高プロペラ荷重度と大斜航角を含む範囲の試験を平水中でおこなった。任意のプロペラ回転数 N_P 、合成船速 V と舵角 δ において模型船に定常な斜航角 β ($=\sin^{-1}(v/V)$) を与えた状態で曳航し、その時に船体と舵、プロペラに働く流体力を計測した。本試験では船体の上下・縦・横運動は自由とした。

模型船は実船尺度で長さ 320m の縮尺 1/110(模型尺度 2.91m)の満載状態のタンカー(KVLCC1)とした。主要目は文献³⁾の通りである。模型船の GM は 13.3cm と大きいため斜航中の横傾斜角は大きくない。

2. 2. 試験結果

主に文献¹⁾の方法に従い MMG モデルの操縦干渉流体力微係数と斜航流体力微係数を曳航試験結果から解析した。

船体前進率 $J_H (=u/N_P D)$ に対する直進中の船体と舵の干渉係数 $1-t_R$, a_H , a_{HXH} の変化を図-1に示す。 N_P が実船自航点(S.P.)と S.P.の 80%の 2 状態で試験をした。本図より、 $1-t_R$ は J_H の減少に伴いわずかに増加していることが確認できる。一方 a_H と a_{HXH} の絶対値は J_H の減少に伴い減少している。また、これらの変化は N_P によらないことがわかる。

操舵によって生じる船体横力 Y_R と回頭モーメント N_R の J_H による違いを図-2に示す。本図に示す点は実験値であ

り、直線は図-1 に示した干渉微係数等により再度 MMG モデルで推定した値を意味する。本図の傾きがそれぞれ $(1+a_H)$ と $(-L/2 + a_{HXH})$ に一致する。本図より、実験値と解析された微係数から再推定した値がほぼ一致していることから、図-1 に示す微係数の解析結果が妥当であることがわかった。また、 J_H によるわずかな傾斜の違いも確認できた。

無次元斜航流体横力・回頭モーメント Y_H' , N_H' の β に対する変化を図-3に示す。図中の点は実験値、破線は実験値を Kang のモデル⁴⁾で近似した曲線、一点鎖線は Kang の回帰分析による微係数推定法⁴⁾を用いて計算した値を示す。本図より、 Y_H' , N_H' は N_P によってほぼ変化しないことがわかる。また、 $|\beta| > 45\text{deg}$ の範囲でわずかに誤差はあるものの、Kang's の回帰分析による微係数推定法の Y_H' , N_H' は実験値と概ね近い傾向と値になることが確認できる。

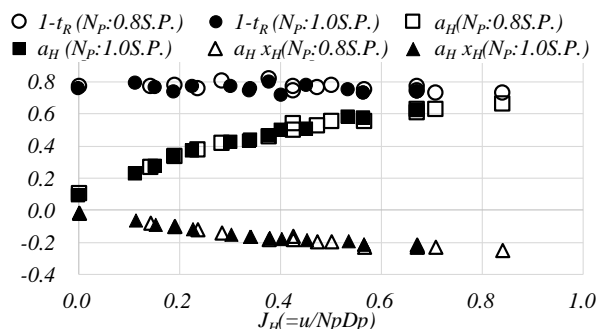


図-1 J_H に対する $1-t_R$, a_H , a_{HXH} の変化

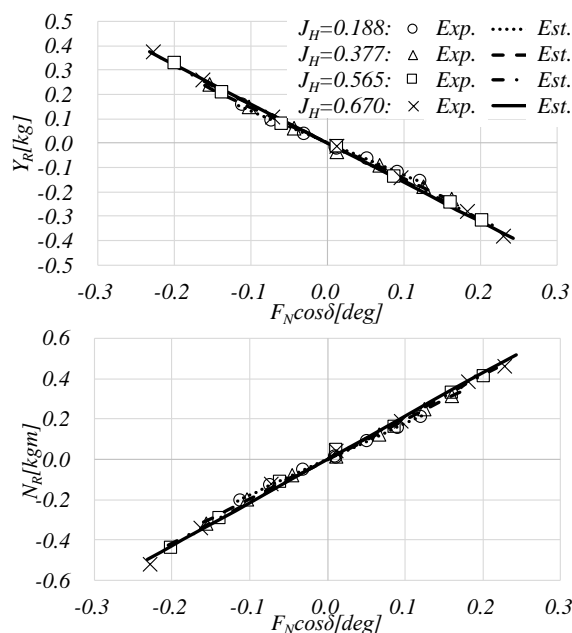


図-2 舵角に対する Y_R と N_R の変化

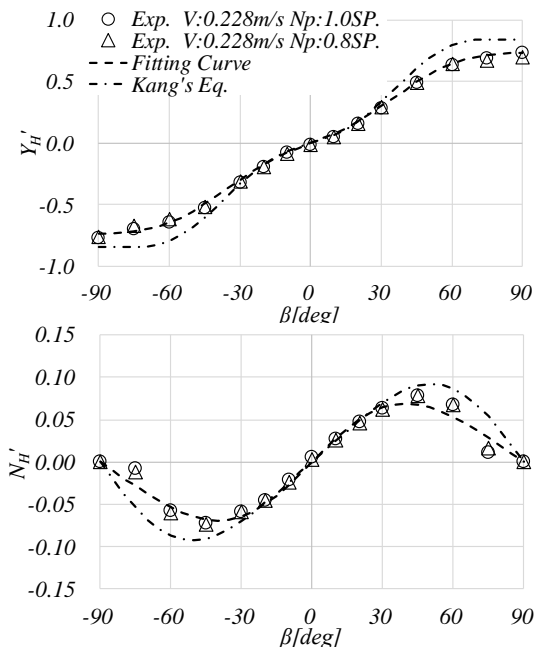


図-3 大斜航角中の Y_H , N_H の変化

3. 荒天下の定常航行状態の計算

3. 1. 計算法

船体中央での前後・左右・回頭方向の力とモーメントの外乱下定常釣り合い方程式⁴⁾を V , β , δ に関して Newton 法を用いて解き、荒天下の定常航行状態を推定した。対象船は同じくタンカー船型(KVLCC1³⁾)で、実船尺度で計算した。尺度影響の考慮と斜航流体力、波漂流力、風圧力の計算、座標系は文献 5)に従う。干渉流体力微係数は実船自航点での拘束模型試験値で一定にした場合と、図-1に加え自航要素($1-w_R$, $1-t_p$)およびプロペラと舵の干渉係数(γ_R , ε , κ)の全てを J_H と β の関数として与えた場合の2状態で計算した。後者の状態では、任意の J_H と β に対する微係数を実験結果から線形補間で求めた。

3. 2. 計算結果

ビューフォート風力階級 11 相当(有義波高 11.5m, 平均波周期 13.1sec, 一様風速 30.6 m/s)の短波頂不規則波(ISSC-cos2 型)中における定常航行状態の計算結果を図-4に示す。横軸 θ_w は波および風との出会う角度で 180 度が正面向波向風であり、時計回りを正の角度とした。本図より、実船自航点の値で干渉流体力微係数を一定とすると、それらを J_H と β の変数と見なした場合より船速比が向波中で最大約 4 割小さくなるのがわかる。これに伴い斜向波中で β は最大で約 6 度大きくなっている。一方、 δ は微係数を一定と仮定した場合に斜向波中で最大で約 12 度小さくなっている。これは微係数を一定と見なした場合に当舵が過小評価されることを示唆している。

4. まとめ

タンカー模型を用いて高プロペラ荷重度および大斜航状態における拘束模型試験を実施し、船体・プロペラ・舵周りの干渉流体力の荒天下の時間平均的現象による変化を調べ

た。その結果を用いて荒天下の定常航行状態の推定をした結果、干渉流体力微係数の特性を通常航行時の値で代表すると当舵量が危険側に過小評価されることがわかった。

謝辞

本研究は科研費(26820385)の助成を受けたものである。

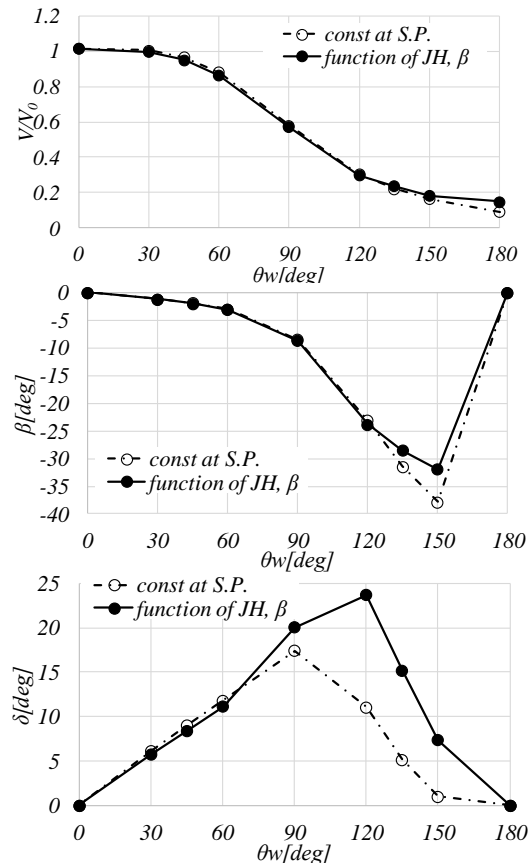


図-4 短波頂不規則波(BF11)中の定常航行状態計算結果

参考文献

- 1) 安川宏紀ほか：船舶操縦性予測モデルの標準化に関する研究委員会 報告書, pp.1-102, 2012.
- 2) 小瀬邦治ほか：操縦運動の数学モデルの具体化-船体・プロペラ・舵の相互干渉とその表現, 日本造船学会 第3回操縦性シンポジウム, pp.27-80, 1981.
- 3) Stern F. *et. al.*: Comparison of Results for Free Manoeuvre Simulations - Systems and CFD Based Methods, Proc. of Workshop on Verification and Validation of Ship Manoeuvring Simulation Methods, Part G, 2008.
- 4) D. Kang. *et. al.*: Prediction method of hydrodynamic forces acting on the hull of blunt-body ship in the even keel condition, JMST(2007) 12, pp.1-14, 2007.
- 5) Suzuki R. *et. al.*: A Numerical Study on Maneuverability under Steady Equilibrium Condition in Waves for Free-running Model Ships, Proc. of 14th ISSW, pp.167-173, 2014.