

## PS-2 実船の操縦運動推定に対する波漂流力の影響に関する一考察

流体性能評価系 \* 鈴木 良介, 塚田 吉昭, 上野 道雄

### 1. はじめに

波浪中の船の操縦運動を推定する簡便な手法として、平水中のモデル<sup>例え<sup>1</sup></sup>に波の影響として波漂流力(操縦運動に伴いゆっくり変化する波力成分)のみを考慮した計算法が提案されている<sup>例え<sup>2</sup></sup>。その場合、波漂流力は停止時や直進時の値で代表されることが殆どである。安川は、自由航走模型試験との比較からこの計算法の妥当性を明らかにした<sup>2)</sup>。

他方、この波漂流力は船の横流れ(斜航角)や旋回角速度によっても変化することが、実験的にも理論的にも報告されている<sup>3)</sup>。尺度影響により実船の舵効きは通常模型船のそれよりも悪い<sup>4)</sup>ため、同じ波浪場でも実船の方が波の影響を受けやすくなることを考慮すれば、上記計算法が実船の操縦運動推定にも適用可能とは必ずしも言い切れない。

このような背景から本研究では、まずタンカーを対象に波漂流力の斜航影響について実験的に調査した。第二に、実験で得られた波漂流力を用いた上記計算法を基に、斜航に伴う波漂流力の変化が実船の操縦運動に与える影響について調査した。また、過去に著者が提案した実船の操縦運動を直接推定する手法を用いた自由航走試験結果<sup>4,5)</sup>との比較により、計算結果の検証をした。その結果、実船の操縦運動推定には、波漂流力の斜航影響が無視できないことを明らかにした。

### 2. 拘束模型試験

#### 2.1 実験方法

波漂流力計測のための拘束模型試験は、海上技術安全研究所の実海域再現水槽で実施した。対象船は垂線間長 320m のタンカー-KVLCC1<sup>1)</sup>とし、模型試験には縮尺 1/110 の模型(舵付、プロペラ無)を用いた。模型船に働く力の計測には文献 3, 5) に示す装置を用いた。

波は波高船長比  $H_w/L=1/58.18$ 、波長船長比  $\lambda/L=0.4$  の規則波とした。曳航状態は、停止時と設計速力 0.76m/s で斜航角のない直進状態に加えて、船速  $V$  と斜航角  $\beta$  を 5 節で示す自由航走試験結果に一致させた状態<sup>5)</sup>でも実施した。ここでは、同曳航状態における波浪中と平水中で船体に働く力の計測値の時間平均値の差を、波漂流力と定義した。

#### 2.2 波漂流力計測結果

曳航状態の違いによる波漂流力計測結果の無次元値の違いを、横軸に船首方位を基準とした波向き  $\chi$  (正面向波 0deg, 時計回りを正) をとって、図-1 に示す。なお、回頭モーメントは重心周りの値である。本図より、自由航走試験対応状態(FRMT)の前後力と回頭モーメントは、概ね停止時から設計船速での直進時の計測結果の範囲内にあるため、船体の斜航角  $\beta$  の影響は小さいことが分かる。他方、自由航走試験対応状

態(FRMT)の横力は、斜向波から横波付近では、停止時や直進時と比べて、波下方向への斜航角  $\beta$  が大きくなるにつれてその絶対値が小さくなっていることが確認できる。この結果には船速の違いも含まれるが、船速一定で斜航角のみを変化させた上野らの実験結果<sup>3)</sup>の傾向と一致しているため、上記横力の変化は主に船体の斜航によるものと判断できる。

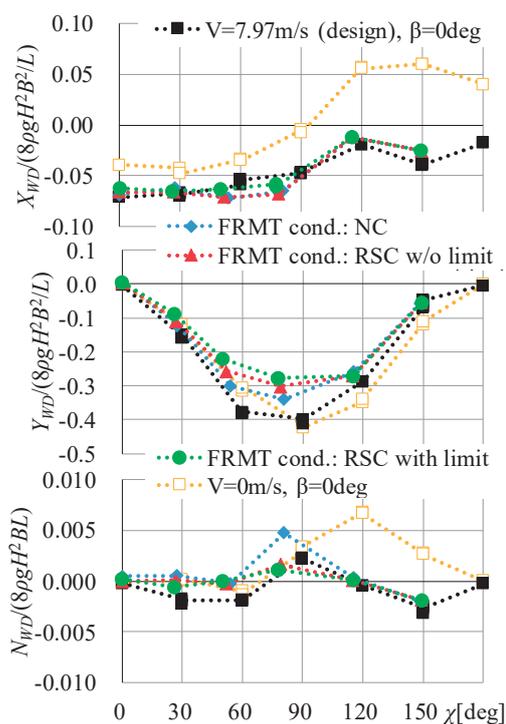


図-1 波漂流力計測結果 ( $H_w/L=1/58.18$ ,  $\lambda/L=0.4$ )

### 3. 自由航走模型試験

操縦運動推定計算検証のための自由航走模型試験も、同タンカー模型 KVLCC1<sup>1)</sup>を用いて実海域再現水槽で実施した。拘束模型試験と同じ規則波中を波向きが一定となるように自動操舵で模型船を保針航行させ、周期的定常状態に達したときの平均的な船速低下・斜航角  $\beta$ ・当て舵  $\delta$  を計測した。舵効き状態は従来の模型船の自航点(NC)と、過去に著者らが提案した試験法を採用した実船の対応点(RSC)<sup>4)</sup>とし、更に RSC では平水中をプロペラ回転数一定で航行する実船に文献 5) に示す主機の連続運転の制限を考慮した状態<sup>5)</sup>としない状態で実験を行った。具体的な試験手順は、文献 4, 5) に従った。

### 4. 数値計算法

計算に用いた運動方程式は、船体重心周りで定義される前後・左右・回頭の 3 自由度の平水中の操縦運動推定モデル(MMG

モデル)<sup>1)</sup>に、波の影響として波漂流力のみを考慮した式(4.1)である。

$$\begin{cases} (m+m_x)\dot{u} - mvr - mx_G r^2 \\ = R + X_H + X_P + X_R + T_A + X_{W.D.} \\ (m+m_y)\dot{v} + mx_G \dot{r} + mur \\ = Y_H + Y_R + Y_{W.D.} \\ (I_{ZZ} + J_{ZZ})\dot{r} \\ = N_H + N_R - x_G(Y_H + Y_R) + N_{W.D.} \end{cases} \quad (4.1)$$

計算は全て自由航走模型試験対応の模型尺度で実施した。各舵効き状態での補助推力  $T_A$  とプロペラ回転数  $nm$  は、図-2 に従って与えた。波漂流力(下添え字  $W.D.$ )は図-1の実験結果を用いることになるが、ここでは波漂流力の斜航影響を無視した場合①と考慮した場合②の2条件で計算を実施した。具体的には、①では、停止時と設計船速での計測結果を内挿して与え、②では各舵効き状態に対応する斜航角ありの計測結果を波向き毎に与えた。その他の変数の定義ならびに外力項の計算法、計算に必要な変数は全て文献5)に従った。

式(4.1)にPD制御による自動操舵を加えて、これらを前後・左右の船速( $u,v$ )、回頭角速度  $r$ 、舵角  $\delta$  について解いた。計算は(角)加速度が0になる定常状態に達するまで繰り返した。

5. 数値計算と自由航走模型試験結果

各舵効き状態における波浪中保針航行時の定常状態の船速比  $V/V_0$ 、斜航角  $\beta$ 、舵角  $\delta$  の平均値を、自由航走試験と数値計算とで比較して、図-3に示す。本図より、実験結果・両計算結果ともに、RSC またそれに主機の制限を考慮した状態では、向波～横波において船速比が小さくなり、斜航角と当て舵の絶対値が大きくなる事が確認できる。これは、同じ波浪場でもプロペラ回転数の違いにより、プロペラや舵の制御力が相対的に小さくなったためである。

NC では、波漂流力の与え方によらず計算結果は自由航走試験結果によく一致していることが確認できる。これは、模型船の波浪中操縦運動を計算する場合、波漂流力を直進時の値で代表できることを意味しており、安川が示した結果<sup>2)</sup>に一致する。一方、RSC またそれに主機の制限を考慮した状態では、波漂流力を直進時の実験結果で代表した計算では、船速比と斜航角は概ね自由航走試験結果に一致するものの、斜航角の大きくなる横波付近で当て舵を過大評価している。また、波漂流力に斜航影響を考慮した計算では、当て舵も自由航走試験結果によく一致している。両数値計算法の違いは、波漂流力の取扱いのみであるため、この推定の差は、2節で示した波漂流力の斜航影響によるものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、第一に拘束模型試験により、波漂流力の斜航影響として、波下側の斜航では主に波漂流横力が直進時と比

較して小さくなる事が分かった。第二に、従来の波浪中操縦運動計算法に波漂流力計測結果を用いた計算により、過去に著者が提案した実船舵効き状態での自由航走試験と比較した。その結果、上記波漂流力の斜航影響を無視した場合、斜航角の大きくなる横波中では、実船の保針航行に必要な当て舵を過大評価することが明らかとなった。本論文で示された結果は1波条件に対する結果であるため、不規則波を含む他の波条件で同様の検討をすることが今後の課題である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 J15H04219 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) Yoshimura Y. et al.: Analysis of steady hydrodynamic force component and prediction of manoeuvring ship motion with KVLCC1, KVLCC2 and KCS, Proc. of SIMMAN2008 (2008), pp. E80-E86.
- 2) 安川宏紀: 波浪中における船の操縦運動シミュレーション(第1報: 旋回運動), J. of JASNAOE 第4号 (2006), pp.127-136.
- 3) 上野道雄ほか: 短波長波中を操縦運動する船に働く定常流体力について, 日造学論文集 第188号 (2001), pp.163-172.
- 4) Ueno M. et al.: Rudder effectiveness and speed correction in practice at tank test, Ocean Eng. 145 (2017), pp.124-137.
- 5) Suzuki R. et al: Estimation of full-scale ship manoeuvring motions from free-running model test with consideration of the operational limit of an engine, Ocean Eng. 172 (2019), pp.697-711.

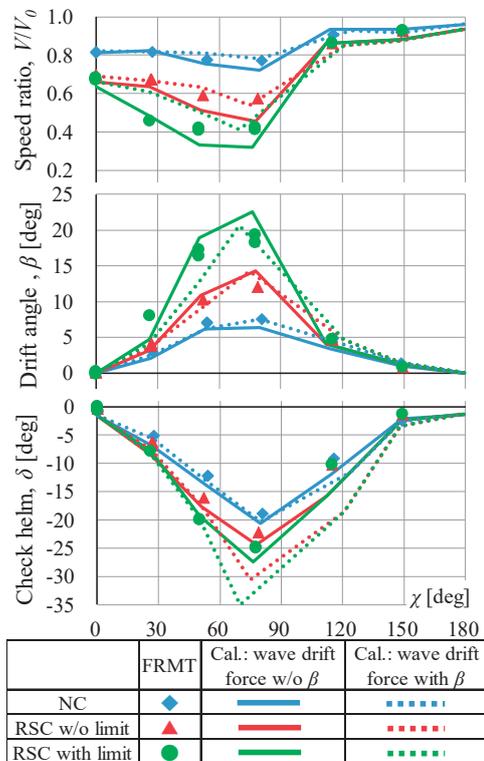


図-2 規則波中保針航行時の船速比  $V/V_0$ 、斜航角  $\beta$ 、舵角  $\delta$  の平均値 ( $H_w/L=1/58.18, \lambda/L=0.4$ )