

CRP ポッド型推進器を装備した船舶の操縦性能推定法

輸送高度化研究領域 *原口 富博、塚田吉昭
エコシップ PT 梶野 純

1. はじめに

海上技術安全研究所において、平成13年度から国土交通省からの委託を受け、環境負荷低減及び労務負荷低減が可能な次世代内航船の研究開発を実施している。本プロジェクトでは、二重反転プロペラ型ポッド推進器や高効率な電気推進システム等の実現を目指している。この一環として本プロジェクトでは、造船技術センター等の協力の下、CRP ポッド推進器を装備した船舶の開発を行い、その中でCRP ポッド推進器1基を装備しその直後に補助舵を装備した船舶について検討を行った。その際、自由航走模型試験によりその船の操縦性能の調査を行うとともに、この船の操縦性能を表すモデル化を試みた。ここでは模型試験結果およびそのモデルによる推定法の妥当性について報告する。

2. 操縦性能推定法

ポッド型推進器を装備した船舶の性能を評価するために、シミュレーションによる性能確認を行う必要があるが、そのためにはその数学モデルを構築する必要がある。当初CRPポッドと補助舵をそれぞれ1台ずつ装備した船舶が検討されたため、ここではこの船型のモデルについて述べる。

座標系は図1に示す様に水平面内に空間固定座

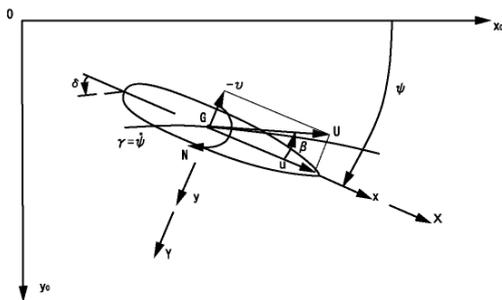


図1 座標系

標 $0-x_0y_0$ をとる。また、船の重心Gに原点を置き、船首方向にx軸、水平面内の船幅方向にy軸を、鉛直下方にz軸をとった船体固定座標G-xyzを考える。と船の運動方程式は次の様に表される。

$$\begin{aligned} \text{縦運動: } & m(\dot{u} - vr) = X \\ \text{横運動: } & m(\dot{v} + ur) = Y \\ \text{回頭運動: } & I_{zz} \dot{r} = N \end{aligned} \quad (1)$$

ここでm; 船体質量、 I_{zz} ; 回転慣性モーメントである。右辺のX, Y, Nは外力としての流体力を表す項である。この項をポッド型船舶では次のように表すこととする。

$$\begin{aligned} X &= X_H + X_{PD} + X_R \\ Y &= Y_H + Y_{PD} + Y_R \\ N &= N_H + N_{PD} + N_R \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、添え字 H, PD, Rを付した項はそれぞれ主船体(裸殻)に働く流体力、ポッド全体(ストラット、フェアリングカバーを含む)により船体に誘起される流体力、舵により船体に誘起される流体力を表している。

図2に示すように、ポッドシステム上に固定した座標系を $o' -x_p' y_p' z_p'$ とする。この時、ポッドへの固定座標系でポッドシステム全体に働く力をそれぞれ X_{PS}, Y_{PS}, N_{PS} とすると、ポッドより

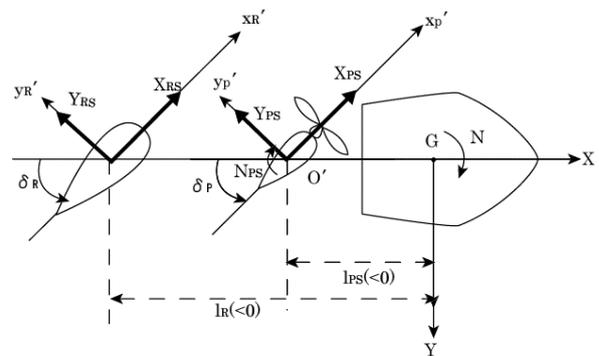


図2 ポッド型船舶のモデルの概念図

船体に働く力は次式で表す。なお X_{PS} としてはプロペラ単独による推力を、 Y_{PS} としてはストラット等に働く力を考慮する。

$$\begin{aligned} X_{PD} &= X_{PS} \cos \delta_P - Y_{PS} \sin \delta_P \\ Y_{PD} &= -X_{PS} \sin \delta_P - Y_{PS} \cos \delta_P \\ N_{PD} &= N_{PS} - Y_{PD} L_{PS} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 δ_P はPOD角、 L_{PS} ($=-L/2$) は船体重心からポッドシステムの着点までの距離である。さらにポッドと同様に舵の固定座標系で舵に働く力をそれぞれ X_{RS}, Y_{RS}, N_{RS} とすると、舵より船体に働く力は次式で表す。

$$\begin{aligned} X_R &= X_{RS} \cos \delta_R - Y_{RS} \sin \delta_R \\ Y_R &= -X_{RS} \sin \delta_R - Y_{RS} \cos \delta_R \\ N_R &= N_{RS} - Y_R L_{RS} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 δ_R は舵角であり、 L_{RS} ($=-L/2$) は船体重心から舵の着点までの距離である。

3. 模型試験結果との比較

3.1 模型船

今回自由航走試験で用いた模型船の概観図を図3に、主要目等を表1に示す。ポッド下にはフィンがついており、フィンの面積を変えた試験も行ったが、ここでは最も小さい標準サイズのフィンをつけた場合のみ結果を示す。

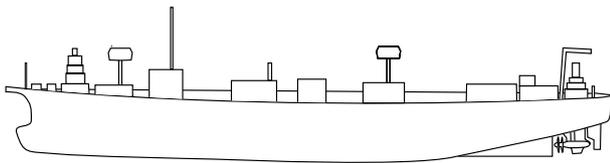


図3 模型船

表1 試験状態

	SHIP	MODEL
Lpp(m)	97.500	3.980
Ldwl(m)	102.000	4.163
B (m)	16.500	0.673
D (m)	8.500	0.347
d (m)	6.200	0.253
GM(m)	1.776	0.073
κ	0.246	0.246
α	24.500	
AR/Ld	1/79	

3.2 模型試験結果との比較

ここでは1軸CRPポッド1舵の船型に対する実験結果と推定結果の比較を示す。

図4には舵単独での無次元旋回角速度およびZ操縦試験結果を示す。横軸は舵角であり、縦軸はそれぞれ無次元旋回角速度($r' = rL/U$ 、ここで r は旋回角速度、 L は船長、 U は船速)、偏角(β)および速度低下(U/U_0 、ここで U_0 はアプローチ速度)を表している。無次元旋回角速度、偏角および速度低下は、どれも実験値と推定値は一致している。不安定ループ幅も実験値約 13.6° に対して推定値では 12.3° でほぼ一致している。さらにZ操縦試験のオーバーシュート角も推定値と実験値は一致している。推定計算で用いている操縦微係数はPMM試験で求めた値であるが、舵単独の場合はこの解析に用いたモデルに極めて近いと、自由航走時の運動とよく一致するものと考えられる。

図5にはポッド単独での無次元旋回角速度およびZ操縦試験結果を示す。無次元旋回角速度は大きなポッド角で推定値はやや小さめだが実験値とほぼ一致している。不安定ループ幅は実験値約 18.6° に対して推定値では 15.2° でやや小さい。一方、Z操縦試験のオーバーシュート角に対しては、推定値と実験値がほぼ合っている。

図6にはポッドと舵を同じ方向に同じ角度だけ操作した場合の無次元旋回角速度を示す。無次元旋回角速度は推定値と実験値は良く一致しており、不安定ループ幅も実験値約 8.8° に対して推定値が 8.9° で良く一致している。

図7にはポッド角に対して舵を同じ方向に半分の角度だけ操作した場合の無次元旋回角速度を示す。これも図6の場合と同様に計算値と実験値の一致は良好である。

図8にはポッド角に対して舵を同じ方向に2倍の角度だけ操作した場合の無次元旋回角速度を示す。この場合、ポッド角で 20° および舵角は 40° まで計算している。実際には舵角は 35° が最大となると考えられるので、あくまで参考値である。これも図6の場合と同様に推定値と実験値の一致は良好である。

図9にはポッドによる 10° Zおよび 20° Z操縦試験で、舵力が常に旋回抵抗となる様に舵角 5°

操舵した場合のオーバーシュート角を示している。 $10^\circ Z$ および $20^\circ Z$ いずれもファーストオーバーシュート角は実験値とほぼ合っており、この例では操縦性基準の基準値をも満足している。しかし、セカンドオーバーシュート角の計算値はいずれもファーストオーバーシュート角より大きくなる。特に $10^\circ Z$ の場合はかなり大きくなり、操縦性基準を満足できていない。この場合実験値がないので真偽のほどはわからないが、基準値を満足できないのが事実だとすれば、基準値を満足する制御方法を再考する必要がある。

また初期旋回性能については、旋回角速度の発達が遅いためポッド角を切り返すまでの時間が大きくなり、その結果操縦性基準の基準値を満足できていない。この点は今後の課題である。

4. おわりに

今回開発した1軸CRPポッド1舵の船型に対するシミュレーションモデルは、旋回運動およびZ操縦運動に対しては実験で計測された値をほぼ説明している。特にポッドと舵を操作するとポッド角に対して不安定ループ幅が小さくなるため、計算値と実験値の一致が良い。反面ポッド単独の場合は不安定ループ幅が広く他の例と比べると推定精度がやや劣る。

今後は、初期旋回性能およびZ操縦試験に関する全ての操縦性基準を満足できる様な制御法の検討と今回開発したシミュレーションモデルを船幅が少し異なる別の船型に適用できるかどうかの検討を行う予定である。

最後に、本研究についてご支援頂いた国土交通省海事局及び造船技術センター武隈技監他関係者に感謝する。

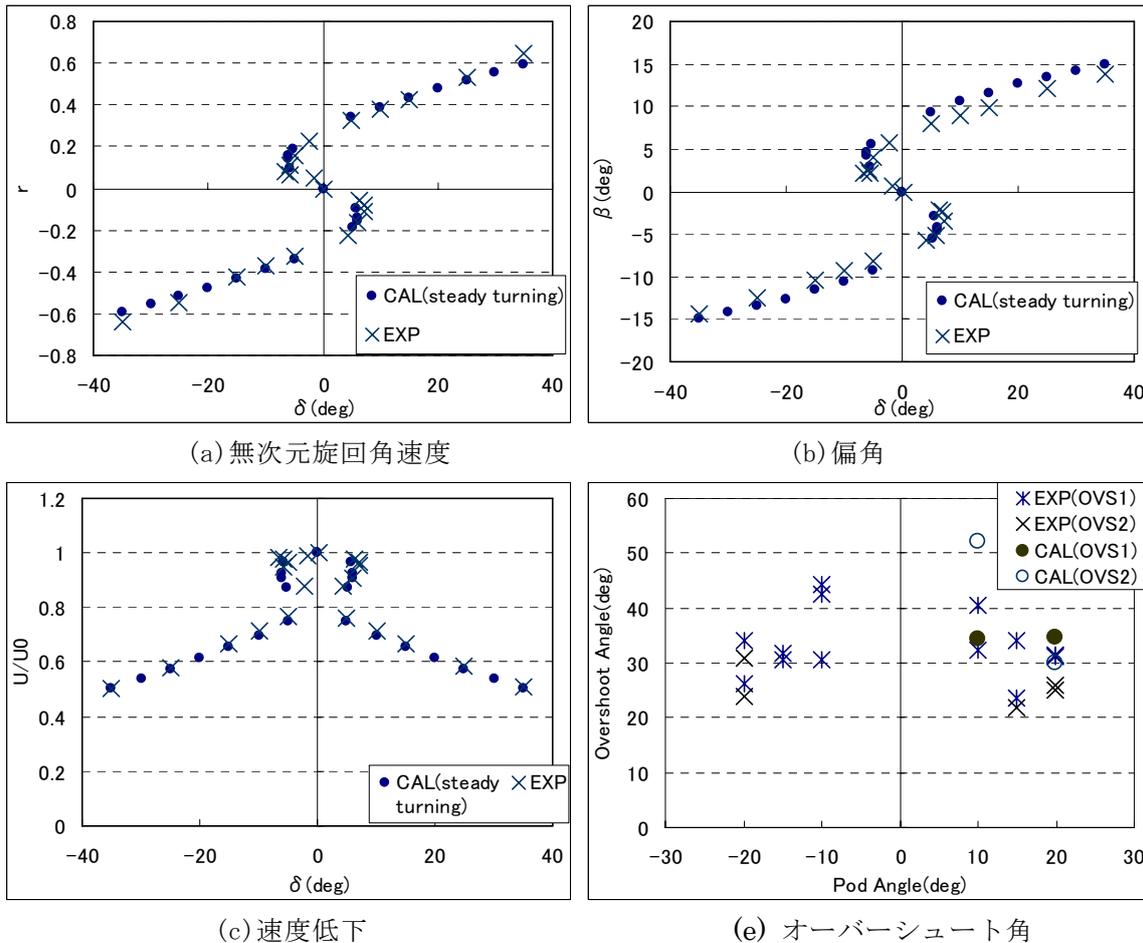


図4 舵単独でのスパイラル特性およびZ操縦試験におけるオーバーシュート角

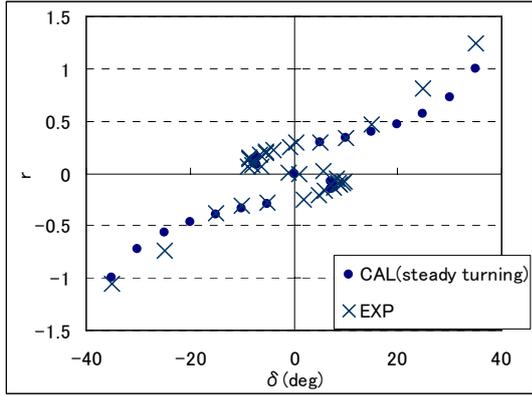
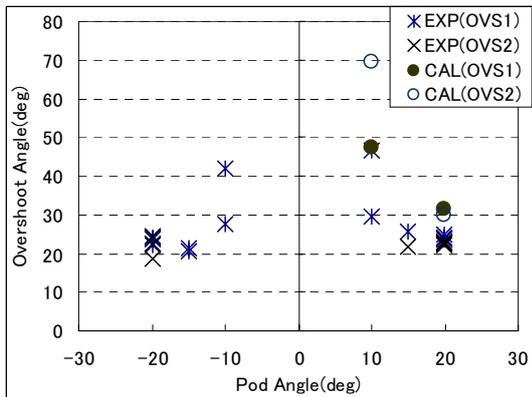


図6 無次元旋回角速度(ポッド角：舵角=1:1)



(b) オーバーシュート角

図5 ポッド単独でのスパイラル特性およびZ操縦試験におけるオーバーシュート角

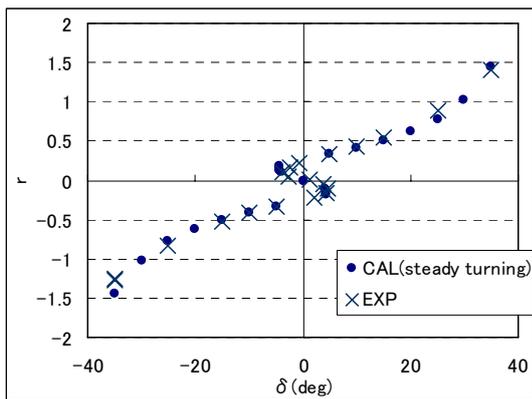


図6 無次元旋回角速度(ポッド角：舵角=1:1)

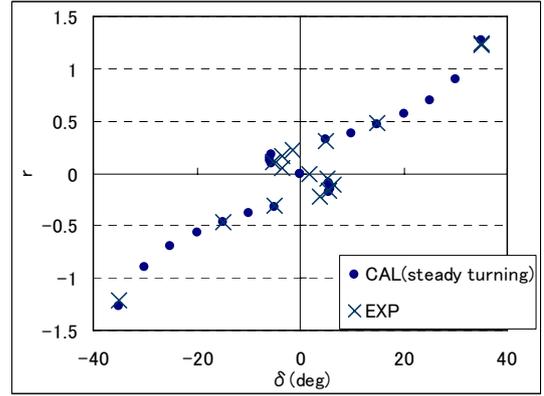


図7 無次元旋回角速度(ポッド角：舵角=1:1/2)

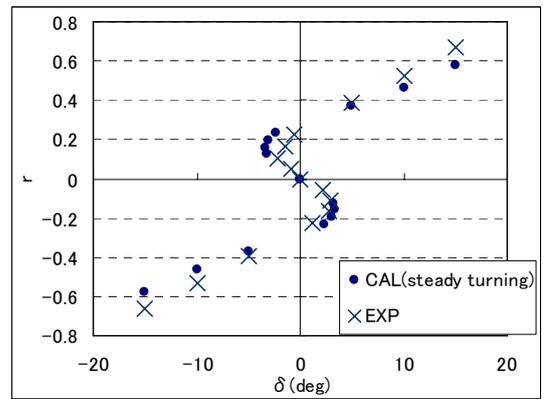


図8 無次元旋回角速度(ポッド角：舵角=1:2)

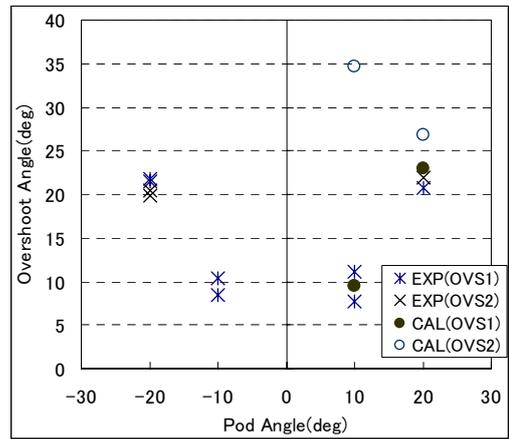


図9 ポッドと舵によるZ操縦試験におけるオーバーシュート角