

PS-9 自由航走模型船のプロペラトルクを実船相似にする方法

流体性能評価系 *上野 道雄、塚田 吉昭

1. はじめに

著者らは自由航走模型船のための補助推力装置を開発¹⁾し、これを用いて自由航走模型船で実船相似の操縦運動を実現するための舵効き船速修正を提案²⁾した。本報告では、舵効き船速修正を特徴付ける連立方程式の1つをプロペラトルクの相似を確保するための方程式に置き換えることによって、模型船のプロペラトルクと船速を同時に実船相似にするための制御手法を示す。

2. 舵効き船速修正の概要

舵効き船速修正では次の連立方程式を満足する補助推力係数 f_{TA} ²⁾と模型プロペラ回転数 n_m の船速依存性を求め、これに従って模型船を制御することで平水中および外乱下の操縦運動を実船相似にする。

$$\begin{cases} (1-t_m)T_m' - (1-f_{TA})T_{SFC}' = (1-t_s)T_s' \\ u_{Rm}' = u_{Rs}' \quad (\text{for } u' = u_m' = u_s') \end{cases} \quad (1)$$

ここで $1-t$ は推力減少係数、 T はプロペラ推力、 u_R は舵有効流入速度の前後方向成分、 u は船速の前後方向成分を表す。添え字の m と s はそれぞれ模型と実船の値であることを表す。 T_{SFC} はいわゆる摩擦修正に必要な力を表す。変数右肩の「'」は重力加速度と水の密度と船の長さの組み合わせによる無次元値を表す。(1)式の上式は船速の相似を、下式は舵効きの相似を表す。

実船長さ320m、模型船縮尺1/110のタンカー²⁾を対象に、舵効き船速修正(RSC)と舵効き修正(REC)²⁾、摩擦修正(SFC)、補助推力なしの通常の模型船(NC)ならびに実船を比較した左10°Z操舵のシミュレーション計算結果を図-1に示す。RSCとRECの差は小さいもののRSCが最も実船推定値に近い値を与えることがわかる。

3. プロペラトルクの相似

直線運動で外乱が左右対称である場合は(1)式の下式が意味する舵効きの相似は重要でなくなる。一定の割合で面積を小さくした舵を用いる方法や舵角を一定割合で減らす方法で舵効きの相似を近似的に確保する場合³⁾は(1)式は必要なくなる。

上記の場合、方程式は(1)式上式1つで模型船を制御する変数は f_{TA} と n_m の2つになるため、別の拘束条件を1つ加えることができる。ここでは次式で表されるプロペラトルクを実船と相似にする条件式を考える。

$$Q_m' = Q_s' \quad (2)$$

(1)式上式と(2)式を連立させることで模型船の船速とプロペラトルクを同時に実船相似にするために必要な f_{TA} と n_m の特性を知ることができる。

図-2に上記 f_{TA} と n_m の特性、ならびにこの特性に従って模型船を制御した場合の補助推力 $T_A (=f_{TA} T_{SFC})$ とプロペラ推力 T_m 、プロペラトルク Q_m 、プロペラ出力 P_m を「 $Q_m' = Q_s'$ 」の線で示す。図-2中の「 $u_{Rm}' = u_{Rs}'$ 」は(1)式上下式の解すなわちRSCに対応する。「(w/o AT)」は補助推力を用いない模型船($f_{TA} = 0$)で n_m のみを制御して(1)式上式、すなわち船速の相似のみを実現した場合を表す。船速が0に近づいて f_{TA} が発散傾向にあっても T_{SFC} が0に漸近するため T_A は0に漸近する。

図-2から n_m のみを制御して船速のみを相似にした場合と補助推力装置を使って船速と同時に舵効きの相似、プロペラトルクの相似を実現する場合に必要な制御特性の違いが確認できる。

4. まとめ

自由航走模型試験で外乱が左右対称か舵効きの相似が補助推力以外の手段で確保できる場合、プロペラ推力と船速を同時に実船相似にすることができる可能性を示し、そのために必要な補助推力とプロペラ回転数の制御特性を明らかにした。

謝辞

本研究は科研費(23246152)の助成を受けました。

参考文献

- 1) 塚田吉昭ほか：自由航走模型船のための補助推力装置の開発：日本船舶海洋工学会講演会論文集，第16号，2013。
- 2) 上野道雄，塚田吉昭：自由航走模型試験における舵効きと船速の修正について：日本船舶海洋工学会講演会論文集，第18号，2014。
- 3) 上野道雄，塚田吉昭：模型船で実船の操縦運動を実現する方法に関する比較計算，海上技術安全研究所研究発表会講演集，13号，2013。

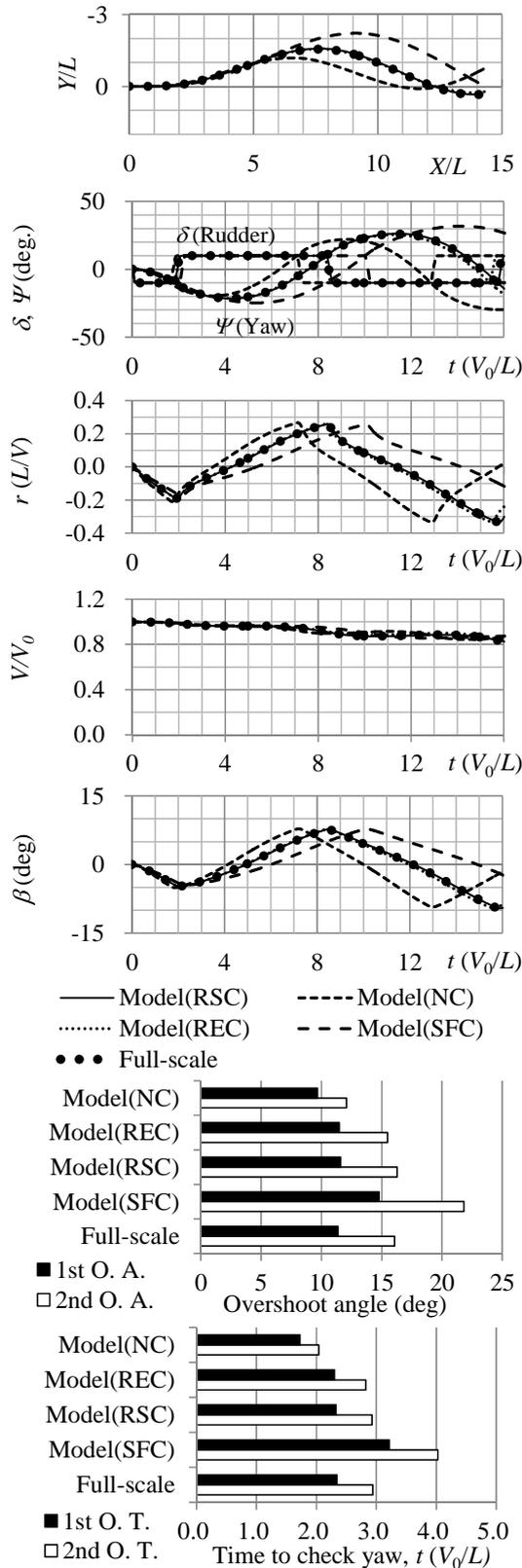


図-1 左 10度 Z 操舵の航跡と舵角 δ 、船首方位 ψ 、回頭角速度 r 、船速 V 、斜航角 β 、第1および第2行き過ぎ角(O.A.)、これらに至る時間(O.T.)のシミュレーション計算結果(NC 補助推力なし、REC 舵効き修正、RSC 舵効き船速修正、SFC 摩擦修正、Full-scale 実船)

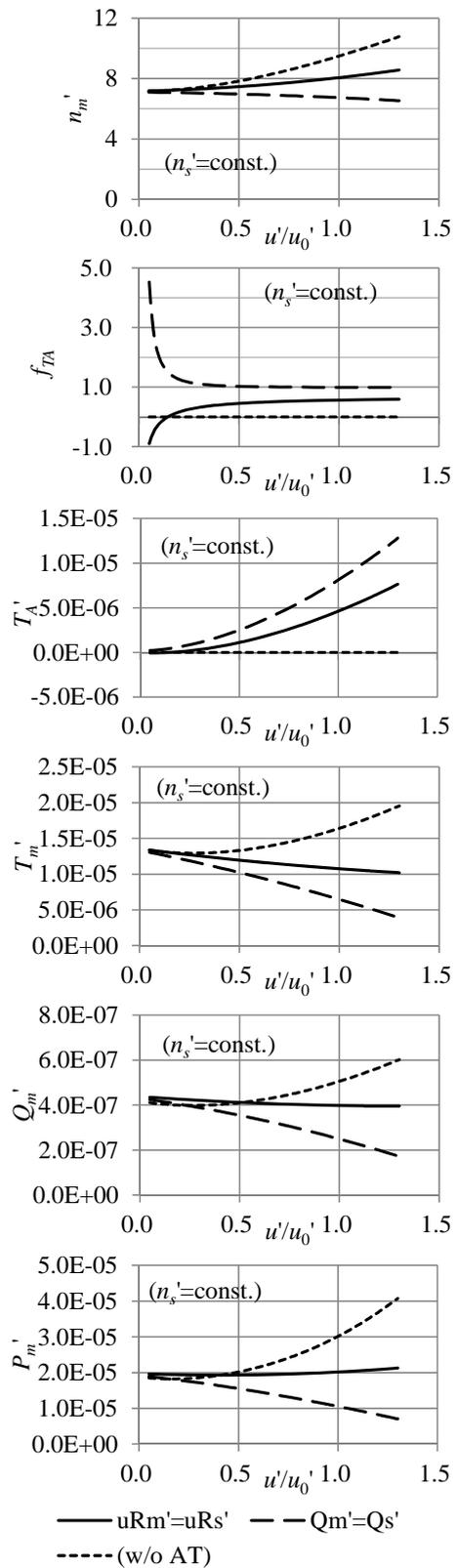


図-2 プロペラ回転数一定の実船とプロペラトルクを相似にするために必要な模型船のプロペラ回転数 n_m' と補助推力係数 f_{TA} の制御特性ならびにこのときの模型船の補助推力 T_A' とプロペラ推力 T_m' 、プロペラトルク Q_m' 、プロペラ出力 P_m' の船速依存性