

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420869

研究課題名(和文)ポッド推進船の運動性能に関する研究

研究課題名(英文)On the Manoeuvring Performance of a Podded Propulsion Ship

研究代表者

茨木 洋 (Ibaragi, Hiroshi)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：20274508

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：499型内航貨物船を対象として、従来のプロペラ推進型とポッド推進器1基装備型の2船型について拘束模型試験を実施した。流体力試験により、ポッド推進型船型が針路不安定な傾向である事を確認し、針路安定性の改善策としてスケグおよびフィン装備の効果を検討した。離着岸操船に伴う大きな斜航角および大きな旋回角速度における船体流体力の計測、また、プロペラを装備しない状態のポッド推進器単独流体力の計測結果をもとに、ポッド推進船の運動性能の推定計算が可能となる。

研究成果の概要(英文)：Using the model ships of conventional 499GT coastwise ship and 499GT coastwise ship with a POD propulsion unit, captive model tests were carried out to measure hydrodynamic forces acting on hulls. By the measured hydrodynamic forces, a tendency of course instability for ship with a POD was evaluated, and to improve the course stability, the effect of skeg and fin were considered. Based on the hydrodynamic forces for the hull with large drift angle and large heading angle in the case of berthing or unberthing, and based on the measured forces for the POD unit, estimated calculation is available for manoeuvring performance of 499 GT coastwise ship with a POD propulsion unit.

研究分野：船舶運動制御工学

キーワード：ポッド 流体力 模型試験 針路安定性 運動性 操縦性 内航貨物船

1. 研究開始当初の背景

ポッド推進器とは、水平方向に360度回転するポッドにプロペラを装備した推進装置であり、固定軸プロペラと舵による一般的な推進装置とは異なり、任意方向への移動や位置保持が容易となる。ポッド推進器を装備したポッド推進船は優れた操船性能や静粛性、船尾設計の自由度が高い等の利点がある反面、保針性能については通常の船舶に比べて針路不安定となる傾向があることが指摘されている。特にタンカー等の肥大船にポッド推進器を採用する場合には、船尾のカットアップが針路不安定な傾向を助長するために注意が必要である。例えば、(独)海上技術安全研究所のスーパーエコシッププロジェクトで開発されたポッド推進船では針路不安定となる問題が生じ、ポッド推進器と一体となったフラップ等の補助的な制御面を付加することにより問題の解決が図られた(佐々木,「ポッド推進システム」,第5回プロペラに関するシンポジウムテキスト,日本船舶海洋工学会,2005年12月)。また,日本中小型造船工業会によるポッド推進船のプロジェクトでも同様の問題が発生し,針路安定性の改善策として,船尾中央にスケグを装備する方法や船尾をスターンバルブ形状とする方法が検討された。さらに,ポッド推進器の推進システムが多様(トラクター型/プッシャー型,通常プロペラとのハイブリッド型,FPP/ CPP,装備基数等)であるため,改善策も多岐にわたっている。

以上のように,ポッド推進船については様々なプロジェクトや実験的・理論的な研究が行なわれているが,運動性能について公表されたデータは限られている。また,近年,ポッド推進器を装備した大型クルーズ船が国内港湾に入港する機会が増えているが,操縦特性に関する情報が特殊であるため,港内操船や支援船の操船において具体的な指針が必要となってきた。従って,ポッド推進船の運動特性について,一層の知見を得ることが必要である。

研究代表者らは,これまでにタンカー,ばら積み貨物船,コンテナ船等を対象として,九州大学船舶運動性能試験水槽において,拘束模型試験による船体流体力の計測,ならびに自由航走模型試験による操縦運動の計測等を行ってきた。これら従来の舵・プロペラモデルで蓄積されたデータを基礎として,ポッド推進船を対象とした流体力試験から操縦性能を明らかにすることにより,ポッド推進船の普及の可能性を広げることができると考えられるため,本研究課題を着想するに至った。

2. 研究の目的

499型内航貨物船について,従来通りの舵とプロペラを装備した船型とポッド推進船型の2船型を対象に拘束模型試験を実施し,両船型の流体力特性の違いを明らかにする。

そのために,まず両船型の裸殻船体に作用する流体力を計測することにより基本的な運動特性を把握し,次いで舵またはポッド推進器を装備した状態で流体力の計測を行ない,舵およびポッド推進器が針路安定性に与える影響を検討する。この際,ポッド推進器装備船の針路安定性が劣ることが予想されるため,流体力特性の解析結果に基づいて針路不安定な傾向が発生するメカニズムを明らかにするとともに,スケグやフィンの装備等による針路安定性の改善策について検討する。ポッド推進船の運動特性を表現する際の数学モデルについては,従来船の操縦性能推定に使われてきたMMGモデルの考え方に基づいて検討を行なう。ポッド推進器の特性については,推進器単独の流体力に船体との相互干渉影響を考慮したモデルを作ることによって表現する予定である。ポッド推進船に作用する流体力特性を明らかにするとともに,運動性能の推定モデルを構築することにより,ポッド推進船の操縦安全性の向上および一層の普及に寄与することができる。

3. 研究の方法

(1) 裸殻船体の操縦性能の把握を目的として,拘束模型試験(旋回試験・斜航試験)を実施し,船体に作用する流体力(横力 Y_H ,回頭モーメント N_H)の計測を行なう。供試船としては,表1に示す499型内航貨物船について,従来通りの舵とプロペラを装備した船型とポッド推進船型の2船型を用いる。実験パラメータとしては,図1に示す座標系において,斜航角 β ,旋回角速度の無次元値 r' を設定し,ポッド推進船特有の操船に伴う大きな運動状態についても計測を行なう。

表1 供試模型船の主要目

| 船種 | 499型内航貨物船 | |
|------------|-----------|-------|
| | 従来型 | ポッド型 |
| 船長 L (m) | 2.500 | |
| 船幅 B (m) | 0.435 | |
| 喫水 d (m) | 0.157 | |
| 方形係数 C_b | 0.731 | 0.737 |

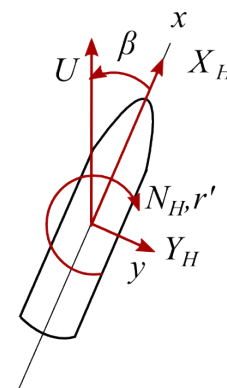


図1 座標系

(2) 舵装備またはポッド推進器装備が針路安定性に及ぼす影響が大きいと考えられるため、両船型について、それらを装備した状態で拘束模型試験を行なう。得られた流体力の計測結果に基づき、旋回性能と針路安定性について大まかな傾向を把握する。

(3) ポッド推進船型は針路不安定な傾向となることが予想されるため、そのメカニズムについて考察し、改善策としてフィンやスケグ等の付加物を追加した状態で拘束試験を行なうことにより、それらが針路安定性に及ぼす影響について検討する。

(4) 流体力試験結果と比較することにより、各パラメータが及ぼす影響の特徴を明らかにするとともに、ポッド推進船の操縦運動を推定するための流体力を表現する数学モデルについて検討を行なう。

4. 研究成果

(1) 表 1 に示した 499 型内航貨物船について、従来通りの舵とプロペラを装備した船型とポッド推進船型の 2 船型を対象として、旋回試験と斜航試験を実施し、船体に作用する横力 Y_H および回頭モーメント N_H の計測を行なった。計測時の船速 U は 0.3m/s (Froude

数 $F_n = 0.061$) と設定した。旋回角速度の無次元値 $r (= rL/U)$ については、0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8 とし、斜航角 β については $r'=0$ の場合に $\beta = -10^\circ \sim 180^\circ$ 、それ以外の場合に $\beta = -10^\circ \sim 30^\circ$ と設定し、計測した流体力については無次元化を行なった。計測された横力の無次元値 Y_H' と回頭モーメントの無次元値 N_H' の一例として、図 2 にポッド推進船型の裸殻状態における試験結果を示す。従来船型の裸殻状態における試験結果と比較したところ、横力の無次元値 Y_H' については、斜航角 β が $-10^\circ \sim 10^\circ$ の範囲では両船型の差は小さかったが、回頭モーメントの無次元値 N_H' については、斜航角 β と旋回角速度の無次元値 r' が大きい範囲において両船型の差が大きくなることを確認した。

(2) 舵またはポッド推進器が針路安定性に及ぼす影響を明らかにするために、それらを装備した状態で拘束試験を行なった。499 型内航貨物船を対象として、従来船型には舵を装備し、ポッド船型にはポッド推進器を装備して船体に作用する流体力を計測した。ただし、両船型ともプロペラは未装着である。旋回角速度の無次元値 r' については、0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8 とし、斜航角 β については $r'=0$ の場合に $\beta = -10^\circ \sim 30^\circ$ 、それ以外の場合

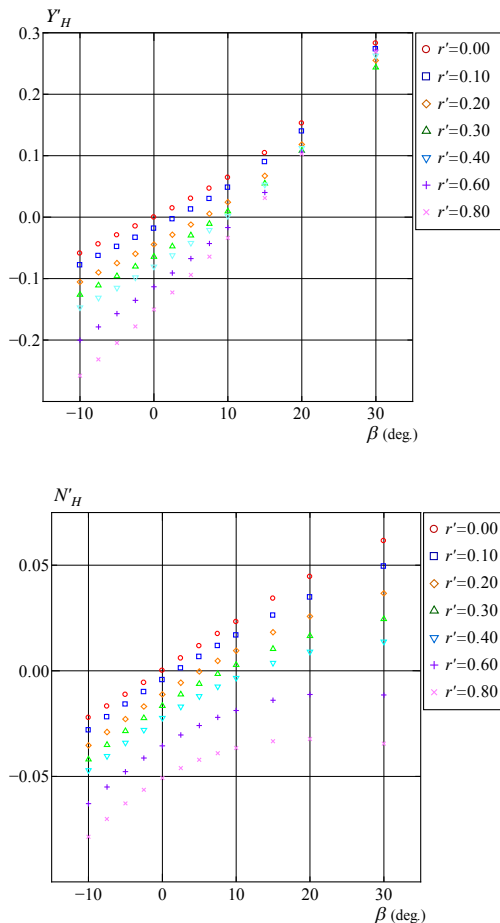


図 2 499 型内航貨物船 (ポッド型) の裸殻船体に作用する流体力

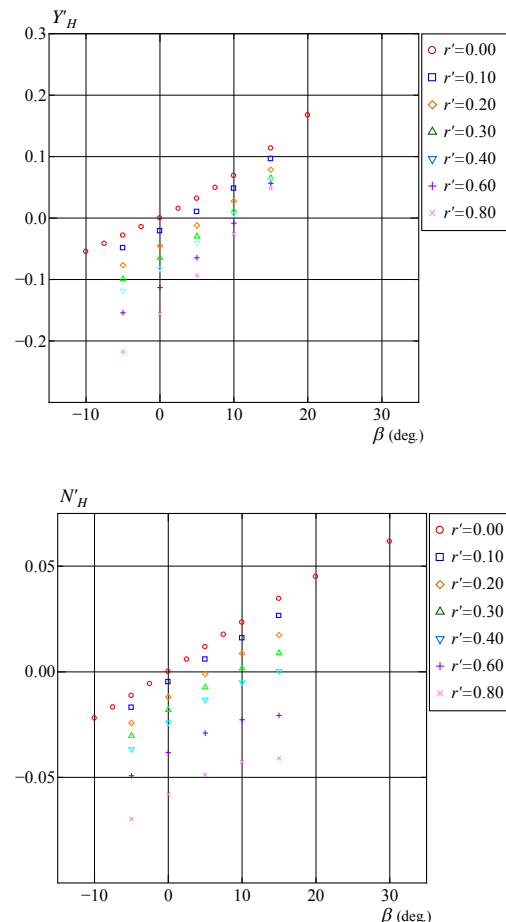


図 3 499 型内航貨物船 (ポッド型) のポッド装備状態の船体に作用する流体力

合に $\beta = -5^\circ \sim 15^\circ$ と設定した。計測された横力の無次元値 Y_H' と回頭モーメントの無次元値 N_H' の一例として、図 3 にポッド推進船型のポッド推進器装備状態における試験結果を示す。裸殻状態における試験結果である図 2 と比較すると、運動の小さい範囲では、横力の無次元値 Y_H' と回頭モーメントの無次元値 N_H' に及ぼすポッド推進器の影響は小さいことを確認した。これに対して、従来船型では舵を装備する事により、横力の無次元値 Y_H' と回頭モーメントの無次元値 N_H' に対して、影響が大きく現れた。

(3)(1)~(2)で得られた流体力について、次式に従って解析を行ない、操縦流体力微係数を求めた。

$$\left. \begin{aligned} Y'_H &= Y'_\beta \beta + (Y'_r - m' - m'_x) r' + Y'_{\beta\beta} \beta |\beta| \\ &\quad + Y'_{rr} r' |r'| + (Y'_{\beta\beta r} \beta + Y'_{\beta r r} r') \beta r' \\ N'_H &= N'_\beta \beta + (N'_r - x'_G m') r' + N'_{\beta\beta} \beta |\beta| \\ &\quad + N'_{rr} r' |r'| + (N'_{\beta\beta r} \beta + N'_{\beta r r} r') \beta r' \end{aligned} \right\}$$

さらに、得られた線形微係数を用いて、次式による針路安定性指数 Δ を計算した。

$$\Delta = Y'_\beta N'_r - \{Y'_r - (m' + m'_x)\} N'_\beta$$

上式は、 Δ の値が正の場合に針路不安定、負の場合に針路不安定な傾向であることを意味する。499 型内航貨物船について、各状態における針路安定性指数を表 2 および図 4 に示す。

表 2 針路安定性指数

| 付加 | 従来型 | | ポッド型 | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | - | 舵 | - | ポッド | フィン |
| Δ | 0.012 | 0.003 | 0.016 | 0.015 | 0.015 |
| Y'_β | 0.376 | 0.334 | 0.304 | 0.324 | 0.345 |
| Y'_r | -0.247 | -0.211 | -0.230 | -0.245 | -0.245 |
| N'_β | 0.132 | 0.123 | 0.138 | 0.136 | 0.138 |
| N'_r | -0.054 | -0.067 | -0.050 | -0.055 | -0.053 |

裸殻状態では、従来船型とポッド船型のどちらも針路不安定であるが、ポッド船型の方が針路不安定な傾向が大きいことを確認した。付加物の影響については、従来船型では、舵により針路不安定な傾向が大幅に減少した。これに対して、ポッド船型では、ポッド推進器が針路安定性へ及ぼす影響はごく僅かであった。そこで、ポッド船型の針路安定性の改善を目的として、センタースケグを延長させるとともにポッド推進器ストラット後方にフィンを追加し、(2)と同様の流体力計測試験を行なった。図 5 に追加スケグおよびフィンの取り付け状態を示す。しかしながら、

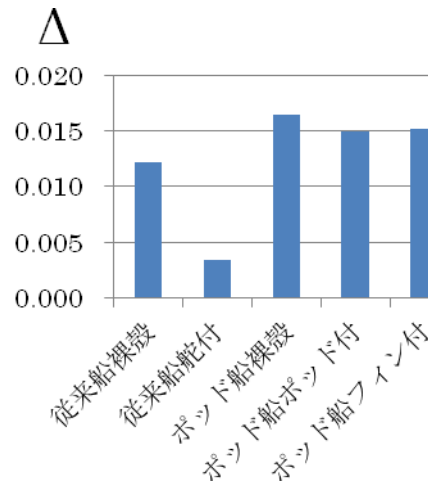


図 4 針路安定性指数

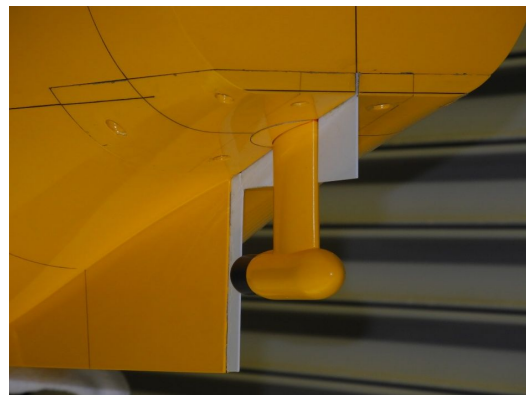


図 5 追加スケグおよびフィンの取り付け状態

針路安定性指数 Δ には、ほとんど改善が見られなかった(表 2 および図 4)。

(4) 針路安定性 Δ に及ぼす各流体力の物理的な意味を検討するために、着点までの距離を比較する。針路安定性指数 Δ を表す式は、次式の様に変形される。

$$\frac{\Delta}{Y'_\beta \{Y'_r - (m' - m'_x)\}} = \frac{N'_r}{\{Y'_r - (m' + m'_x)\}} - \frac{N'_\beta}{Y'_\beta} = l'_r - l'_\beta$$

$$l'_r - l'_\beta > 0 \quad : \quad \text{針路安定}$$

$$l'_r - l'_\beta < 0 \quad : \quad \text{針路不安定}$$

つまり、ヨー減衰力の着点の位置である l'_r とスウェイ減衰力の着点の位置である l'_β により針路安定性を考察することが可能になる。499 型内航貨物船について、各状態における着点の位置を図 6 に示す。従来船型については、舵を装備する事によりヨー減衰力の着点の位置 l'_r が大きく変化し、スウェイ減衰力の着点の位置 l'_β との距離が小さ

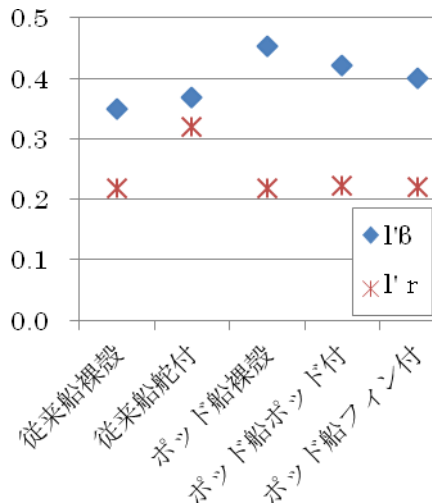


図6 スウェイおよびヨー減衰力の着点の位置 l'_β , l'_r

くなるために針路安定性が向上する事がわかった。これに対してポッド船型については、ポッド推進器やフィンを装備してもヨー減衰力の着点の位置 l'_r はほとんど変化せず、スウェイ減衰力の着点の位置 l'_β の変化も小さいため、針路安定性向上にあまり寄与しないことがわかった。従来船型では針路安定性の向上には、舵装備によるヨー減衰力の着点の位置 l'_r の変化の寄与が大きいことから、ポッド船型についてもヨー減衰力の着点の位置を大きく変化させるような改善策が必要であると考えられる。

ポッド推進船の操縦運動を推定するためには、本研究で計測した流体力データにより、MMG 数学モデルに基づいた方法で簡易的に計算する事が可能である。しかしながら、ポッド推進器のプロペラ作動による推力および舵力の変化や船体との相互干渉による流体力の変化については、プロペラ駆動装置と操舵装置を使用した計測が必要である。また、針路安定性の改善方法としては、フィン等の追加だけではなく船尾形状について更なる検討が必要である。ポッド推進船に関する精度の高い操縦運動推定法および針路安定性の改善方法については、今後も研究を継続する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

該当なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

茨木 洋 (IBARAGI, Hiroshi)

九州大学大学院工学研究院・助教

研究者番号：20274508

(2)研究分担者

古川 芳孝 (FURUKAWA, Yoshitaka)

九州大学大学院工学研究院・教授

研究者番号：90253492

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

名切 恭昭 (NAKIRI, Yasuaki)

九州大学大学院工学府・技術職員