

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656531

研究課題名(和文) 回転翼を利用しないダクト型推力発生装置の試作

研究課題名(英文) Model experiments on unconventional ducted propulsor without rotating blades

研究代表者

鈴木 和夫 (Suzuki, Kazuo)

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号：80111699

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：回転翼を利用しないダクト型推力発生装置について提案し、風洞や回流水槽での基礎的実験を実施してきているので、本研究ではそれらの研究成果に基づき適切なダクト内径、べーン角度、ボス直径、突起形状等のパラメータについて検討し、精度の高い回流水槽実験用の模型を製作した。回流水槽で、流体力(抗力、推力およびトルク)の計測、流れの可視化等の実験を実施し、効率等の検討を行った。実際に推力が発生していることが確認され、さらに改良を施して効率向上という結果が得られたが、本研究で提案している推進器の性能は、従来のスクリュープローペラにはまだまだ及ばない。効率向上に関する研究を引き続き実施していく必要がある。

研究成果の概要(英文)：A conventional screw propeller has large rotating blades to get effective thrust force, and the respective blades advance in water as screws. In the present study, an unconventional ducted propulsor is proposed. It has a duct, a rotating boss and vanes with screw surfaces installed on the duct inner surface. Viscous rotational flows caused by rotating motion of boss are curved by the vanes along the duct inner surface. According to this inner flow, suction flows at the front side and accelerated blowing flows at the rear side can be induced.

Experimental studies on performances of this new propulsor are carried out. Original models and their improved models based on the various design parameters are investigated. As results of the experiments, thrust forces caused by the new propulsor are confirmed, however, propeller efficiencies are lower than those of conventional screw propeller. For this new type duct-shaped propulsor, more practical improvements will be expected.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：推力発生装置 ダクト 回転翼 ボス

1. 研究開始当初の背景

本研究は従来のスクリーンプロペラとは全く異なる原理に基づいて流体の推力を発生させる装置についての研究である。本研究で提案する新形式ダクト型推進装置の原理概念図を Fig. 1 に示す。基本アイデアは既に流体推力発生装置(特開 2008-100628)として出願されており、回転翼を利用する従来の推進器であるスクリーンプロペラに対して、回転するボスにより生じる回転流をダクトとダクト内面に螺旋状に配置したベーンにより直進方向に誘導して噴出し推力を得る。従来の推進器では後方への回転流が無駄になっていたが、本装置では回転流を積極的に利用している。

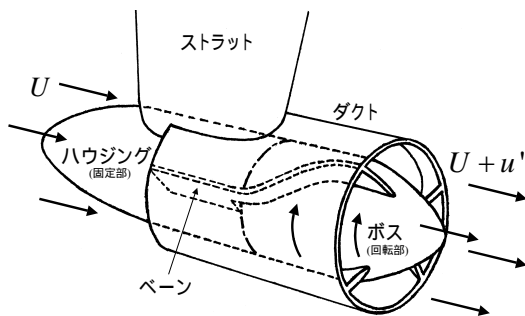


Fig. 1 新形式ダクト型推進装置の概念図

スクリーンプロペラは翼面積の大きな翼を回転させるため大きなトルクを要し、振動や騒音が大きい。これに対し、本装置は回転翼を利用しないので、振動や騒音もほとんど発生しないと予想される。また、推力発生機構のほぼ全ての部分がダクトに覆われているため構造上頑健であり、砕氷船用推進装置として安全、浅水域を航行する場合に水棲動植物を傷つけず低環境負荷、ダクトを前後可動式にすればボス部分の回転数を変え、ことなく推力の制御が可能、といった従来の推進器にない利点があると期待される。さらに、本研究の場合には 2010～2011 年度の挑戦的萌芽研究(課題番号 22656198、螺旋内面を持つダクト型発電用風車・水車の研究)の成果を利用できる。その研究では、本研究と同様な回転翼を利用しないダクト型水車の研究が実施されているが、推進器と水車の流力特性は表裏の関係にあり、水車として効率の悪い形状は推進器として効率が高い可能性がある。得られた知見を無駄にすることなく本研究に活かすことができる。

従来の推進器はいずれも低速・低前進係数で効率があまり高くない、いわば効率のニッチスペースがある。また、スクリーンプロペラは最も利用され効率も高いが、高効率の範囲は比較的狭い。本研究で提案する推進器は従来と原理が全く異なるので、効率の特性も異なってくると予想される。

2. 研究の目的

本装置については、既に自主研究の成果と

して、基礎的な実験により送風状態を生じさせベーンの有効性を確認するとともに、本装置の推進器としての利用が可能であることを確認している。さらに、実際に水中での実験を回流水槽で実施し、流速測定実験により水流の加速と運動量の増加を確認している。しかしながら解決すべき課題として、ボス形状、ダクト形状、ベーン形状、ベーンの設定傾斜角度等、本装置については多くの設計パラメータが関係するので、実証化に当たってはこれらの組合せについてさらに詳細な実験等を実施する必要がある。

本研究では、回転翼を利用しないダクト型推力発生装置模型の試作を行い、回流水槽実験を実施して、その流体力学的特性について検討する。ただし、回転流を強める手段として、突起付きボスを有する装置とする。本研究では、このような新形式の推進器について実証化への基礎的知見を得ることを目的に研究を実施する。

3. 研究の方法

本研究では提案原理に基づくダクト型推進器模型について、幾つかのケースの回流水槽実験を実施する。実験計測項目としては、ボスの回転数、装置が発生する推力およびボスのトルクであり、その他に可視化実験等を実施する。

実験に使用した回流水槽「V2-15AD」の概要を以下に示す。

形式：2 インペラ方式垂直循環型

最大流速：1.0m/s

観測部：長さ 2.50m×幅 1.20m×水深 0.60m

回流水槽はインペラを回転させることによって水槽内の水を回流させるものである。絞りノズル天井、表面流速を調整する表面加速装置、整流装置、定在波の発生を抑制する制波板等により、観測部を流れる流体の流速が一樣になるように設計されている。ダクト型推進器模型および実験ケースについては後述するが、回流水槽に模型を設置した場合の例を Photo. 2 に示す。

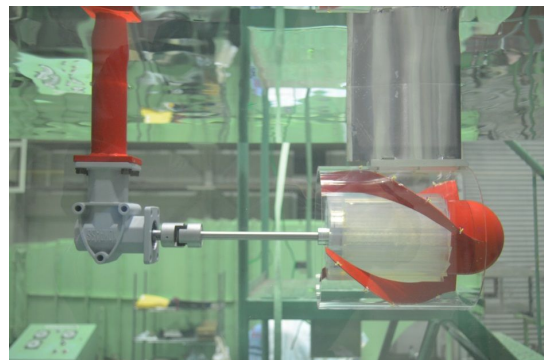


Photo. 1 回流水槽に設置した推進器模型 (上流：右側)

先に述べたように回流水槽実験において、ボスの回転数、推力およびトルクを計測する

が、それらの計測法ないし推定法について下記する。

ダクト型推進器はボスが回転することにより推力を得る。ボスは Photo. 1 のようにモータからベベルギア、シャフトを介して回転している。回転数はモータの取り付けパイプを介して、デジタルタコメータで計測する。ただし、ベベルギアのギア比が 2:1 になっているので注意を要する。ダクトはロードセルと固定支柱によりつながっている。従って、ダクトにかかる流体力(抗力、推力)を直接計測することができる。

トルクの計測については工夫を要する。回転数、推力のようにボスのトルクを直接測定しようとする、トルクメータを用いなければならないが、廉価な装置ではないので、今回は次のような手法によってトルクを簡易推定している。すなわち、あらかじめトルクと入力電流の較正図を作成し、電流を測定することによりトルクの推定をするという手法を本研究では採用する。

以上の実験結果について、従来のスクリープロペラ単独性能試験の場合と同様に、次のような係数を使って解析を行う。

$$\text{前進係数: } J_T = \frac{U}{nD}$$

$$\text{推力係数: } K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

$$\text{トルク係数: } K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

$$\text{プロペラ効率: } \eta_0 = \frac{J_T K_T}{2\pi K_Q}$$

ただし、 U は推進器への流入流速、 T は推力、 Q はトルク、 n はボス回転数、 D はボス外径、 ρ は流体密度である。

4. 研究成果

(1) 初期模型の製作および性能評価

模型の主要部分は Fig. 1 および Photo. 1 に見られるとおり、ダクト、ダクト内面に設置されたベーン、内部で回転するボスで構成されており、ボスはシャフト、ベベルギアを介してモータにより回転する。要目を Table 1 に示す。

以上のような初期模型について、Table 2 に示す 6 ケースの実験を実施する。推進器はベーン枚数が 3 枚、4 枚、5 枚と 2 種類のボス形状 A, B の計 6 ケースである。ボス形状の違いは突起が直線状か螺旋状かという違いであり、A, B の形状を Photo. 2 に示す。なお、このような複雑なボス形状については光造形(3D プリンタ)を利用して成型している。これらの 6 ケースについては、結果として Case 1 の時に一番高い性能が得られる。Case 1 の解析結果を Fig. 2 に示すが、効率等の特性は従来の推進器とかなり異なっている。Case 1

はベーン枚数が最も少ない 3 枚かつ突起が直線状のボス形状 A の場合である。これは、ベーン枚数が増加すると、ダクト後方の死水領域が大きくなり効率が低下することが一因であると考えられる。また、ボス形状 B のような螺旋状突起は先に述べたダクト型水車の研究では良い結果が得られているが、本研究の推進器の場合には良い結果が得られない。予想したように、水車と推進器の効率が表裏の関係になるため、ボス形状 B については良い結果が得られないものと考えられる。

Table 1 ダクト型推進器要目

部品	寸法等	材質等
ダクト	外径 200mm 内径 190mm 長さ 205mm	アクリルパイプ
キャップ上部(半球)	外径 104mm	ケミカルウッド
ベーン	厚さ 1mm 高さ 31.5mm 螺旋状ベーン ダクト内面設置 角 $\pi/4$ rad.	SS41
ボス	外径 124mm 長さ 160mm 突起本数 16 突起高さ 10mm	樹脂(光造形)
シャフト	径 12mm	SUS
ダクト固定支柱	厚さ 34mm 長さ 160mm 断面 翼型 NACA65(4)-202	HFS5-2060 アルミ

Table 2 実験ケース

実験ケース	ダクト	ベーン枚数	ボス形状	フェアリング
Case 1	テーパ- 無	3	A	無
Case 2			B	
Case 3		4	A	
Case 4			B	
Case 5		5	A	
Case 6			B	



Photo. 2 ボス形状 A(左)および B(右)
(A:直線状突起、B:螺旋状突起(設置角 $\pi/4$ rad.))

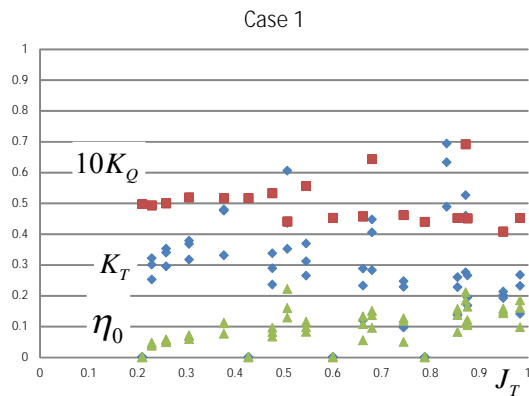


Fig. 2 単独性能試験結果 Case 1

(2) 改良模型の製作および性能評価

初期模型は以上のように効率が低く、改良の余地があると考えられる。まず、ダクト後方には大きな死水領域が発生していると考えられるので、死水領域を減らすためにボス後部にフェアリングを付加する。ダクトについても、ダクト断面が一定ではなく、ダクト前方、つまりダクト入口を大きくしたテーパ付のダクトを製作する。ただし、ベーン枚数については3枚のみとし、ベーンとダクトを光造形により一体成型している。Photo. 3のダクト後方の黄色の部分フェアリングであり、Photo. 4にテーパ付ダクトを示す。また、Table 2にフェアリングとテーパ付ダクトの要目を示す。これらの改良を施した推進器模型に関する実験ケースをTable 4に示す。全てフェアリング有の状態であり、計8ケースの実験を実施する。

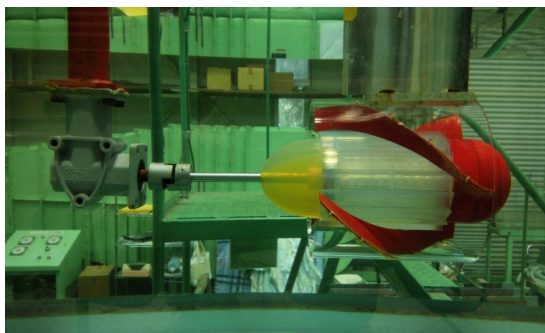


Photo. 3 後部フェアリング付推進器

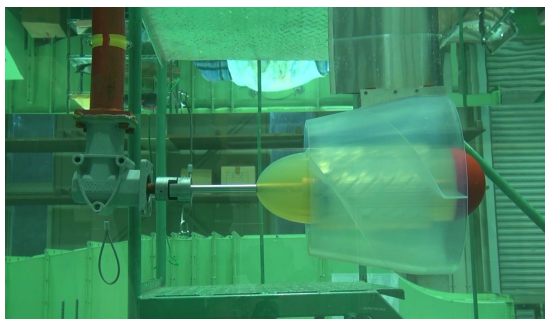


Photo. 4 テーパー付ダクト

Table 3 ダクト型推進器改良部要目

部品	寸法等	材質等
テーパ付ダクト	前方外径 250mm 後方外径 200mm 厚さ 5mm 長さ 200mm	樹脂 (光造形： ベーン一体成型)
フェアリング	ボス接続部外径 124mm 長さ 81mm	樹脂 (光造形)

Table 4 実験ケース

実験ケース	ダクト	ベーン枚数	ボス形状	フェアリング
Case 7	テーパ無	3	A	有
Case 8			B	
Case 9		4	A	
Case 10			B	
Case 11		5	A	
Case 12			B	
Case 13	テーパ有	3	A	
Case 14			B	

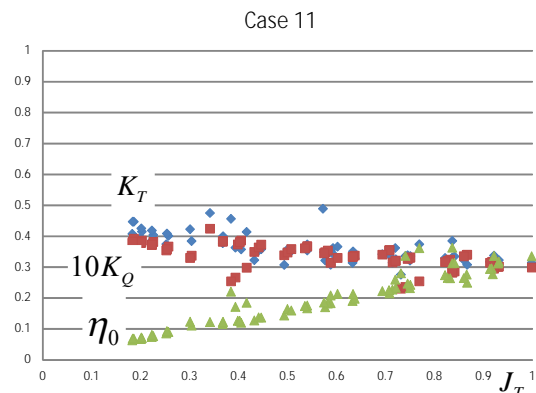


Fig. 3 単独性能試験結果 Case 11

これらの8ケース全体を通して、フェアリングの効果がある、という結果が得られている。特にベーンが5枚のときに、フェアリングの効果は大きく、初期模型も含め全ての実験ケースの中で最も効率が高かったケースはCase 11である。Case 11の単独性能の解析結果をFig. 3に示す。ベーン5枚の場合のダクト後方の流れは特に乱れており、フェアリングによる死水領域低減効果が高かったのではないかと考えられる。ただし、効率の数値としては最大でも0.35程度であるので、性能としては従来のスクリーブローペラにまだまだ及ばない。

テーパ付ダクトに関しては、若干の効果が確認されているが、顕著な改善結果が得られたというわけではない。流入側の径を大きくしたことにより流入流量が増え、推力が上昇したという効果はあったものと考えられる。ただし、今回実施しているテーパ付ダ

クトの実験ケースはペーン枚数3枚のみであるので、ペーン枚数を増やせばより流体を加速させ、推力が高くなるという可能性はあると予想している。このダクト型推進器については、まだまだ未知の部分が多く、効率向上の余地は多いと考えられる。

(3) 結言

本研究で提案している回転翼を利用しないダクト型推力発生装置については、本助成による研究以前に自主研究として風洞実験や回流水槽での基礎的実験を実施してきたが、本研究ではそれらの研究結果を参照して、さらに適切なダクト内径、ペーン角度、ボス直径、突起形状等のパラメータについて検討し、精度の高い回流水槽実験用の模型を製作した。複雑な形状のボスやテーパ付ダクトの製作には光造形(3Dプリンタ)を利用した。

回流水槽で、流体力(抗力、推力およびトルク)の計測、流れの可視化等の実験を実施し、効率等の検討を行った。実際に推力が発生していることが確認されたが、初期模型では十分な効率が得られなかったため、その改良としてボス後部の死水領域低減のためのフェアリング付加、およびテーパ付ダクトについて検討した。それらの改良により効率向上という結果は得られたが、本研究で提案したダクト型推進器の性能は、従来のスクリュープロペラにはまだまだ及ばない。挑戦的萌芽研究としての成果は十分に達成したと考えているが、効率向上に関する研究を引き続き実施していく必要がある。

本研究について、科研費助成期間中の実験を卒業研究の一部として担当していただいた、大路、笠原両卒業生に感謝します。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計1件)

鈴木和夫、横田剛、Proposal and Fundamental Experiments on Unconventional Ducted Propulsor without Rotating Blades, Proceedings of 3rd International Symposium on Marine Propulsors, (SMP'13), pp.156-160, Tasmania, (平成25年5月)(2013)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木和夫(SUZUKI KAZUO)

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号: 80111699

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者