

PS-18 屈折率整合法を用いた内部流場計測に関する研究

—ダクト型省エネ付加物単体の流場計測—

流体設計系 * 濱田 達也, 大場 弘樹 (研究当時)

1. はじめに

船舶の省エネ化のため、推進性能向上を目的としたダクト型省エネ付加物(例えば WAD, USTD¹⁾)の開発が行われている。今後、これまで以上に EEDI(エネルギー効率設計指標: Energy Efficiency Design Index)および GHG (Greenhouse Gas) 排出規制が強化されるため^{2), 3)}, これまで開発してきた省エネ付加物の効果向上がより一層必要になる。

ダクト型省エネ付加物の効果向上を目的とした性能評価のため、PIV(Particle Image Velocimetry)によるダクト周辺の流場計測が行われているが⁴⁾, ダクト内部はダクト本体の影となりレーザ光が届かないため計測が困難である。このような物体の影となる場所の可視化法として、透明性が高く水(清水)の屈折率($n_D = 1.333$)と等しい材料で歪の少ない模型を製作することにより水中で模型を見えなくすることができる屈折率整合法⁵⁾がある。

著者らは、屈折率整合法を船舶水槽試験に応用して、ダクト型省エネ付加物内部の流場計測を行う手法の開発を行っている。これまでの研究により、水の屈折率に非常に近い CYTOP($n_D = 1.34$)で製作された半円柱模型背面の流場計測を行い、CYTOP 模型が水との屈折率整合に利用できることを確認した⁶⁾。本研究では、ダクト内部の流場を調査することを目的として、1/4 周が CYTOP のダクト模型を製作し、小型回流水槽にダクト単体を設置して、ダクト上半分の内部流場を計測した。その結果より、ダクト内部の主流方向速度の変化を実験より確認できたため報告する。

2. 試験方法

2.1 CYTOP ダクト模型の製作方法

CYTOP は厚さ数十 μm のシートを製作することを目的とした材料であるため、ダクト模型のような大きい模型を製作した実績が少ない。アクリル($n_D = 1.49$)のような一般的な材料の場合はブロックを削ることによりダクトを製作することができるが、CYTOP は材料費が高価であるためブロックを削ることは現実的ではない。そのため、CYTOP 平板に曲げ加工を行うことによりダクト形状に加工する方法を検討した。また、CYTOP にてダクト 1 個を製作するには材料費が膨大になるため、ダクト内部上半分の流場計測が可能である 1/4 周のダクトを平板に展開した扇型の平板に曲げ加工を行うことによりダクト形状に加工する方法を検討した。図-1(a)に 1/4 周ダクトを平面に展開した扇形平板を示す。これに再度熱をかけて金属製の治具により曲げ加工を行い、図-1(b)に示す

1/4 周 CYTOP ダクト模型を製作した。曲げ加工は模型内部に歪が残らないようにするため温度変更を緩やかに行った。ダクト模型は、図-2 に示すとおり 1/4 周 CYTOP ダクト模型と 3D プリンターで製作した 3/4 周ダクト模型を組み合わせることで試験に使用した。ダクト模型の主要目を表-1 に示す。

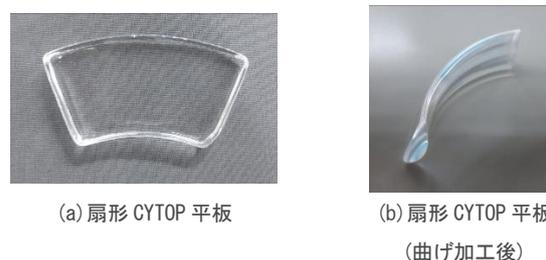


図-1 扇形 CYTOP 平板

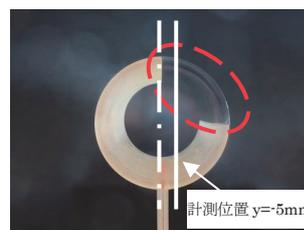


図-2 1/4 周 CYTOP ダクト模型

表-1 ダクト模型の主要目

流入口直径	71mm
流出口直径	49mm
ダクト長さ	28mm
翼断面形状	NACA4420
迎角	23°

2.2 試験方法

PIV 計測は、小型回流水槽(計測部:長さ 680mm×幅 300mm×水深 200mm, 最大流速 0.8m/s)にダクト模型を設置し、ダクト内部上半分の流場を CCD カメラで計測した。

計測範囲は、ダクト模型の上半分が面角に入るように幅 70mm×高さ 52mm とした。レーザシートは CYTOP 部からダクト内部に透過するため、小型回流水槽の上から鉛直下向きに照射し、主流方向(x 軸)と鉛直上向きを正とした方向(z 軸)を軸とした面を計測範囲にした。ダクト模型を小型回流水槽に設置した際に、水面に造波が発生する可能性があるため、水面には制波板を設置した。また、レーザシートは図-2 に示すとおり小型回流水槽の幅方向中央を $y=0\text{mm}$ としたとき $y=-5\text{mm}$ の位置で照射した(y は上流を見て右向きを正とした)。ダクト模型は、ダクト前縁および中心位置が $x=323\text{mm}$, $z=100\text{mm}$ の個所に設置した。図-3 に水中のダクトの様子を示す。座標の原点は、 x 軸は小型回流水槽計測部の上流端、 z 軸は計測部の底面とした。主流方向速度 u の正の向きを図-3 に示す。

計測に用いた CCD カメラは VGA サイズの画像 (640px × 480px) を毎秒 200 フレーム撮影することができる。また、レーザ光源には出力 2W のグリーン光 (波長 532nm) の連続発振レーザを使用し、光ファイバーを通してプローブ先端からレーザシートを照射している。

3. 試験結果

3.1 試験条件

計測は、流速 0.24m/s にて行った。流速は小型翼車式流速計を用いて、 $x=100\text{mm}$, $z=100\text{mm}$ の位置を計測し、基準速度 (V_∞) とした。また、計測に使用した流体は水の場合に加え、流体の屈折率が CYTOP の屈折率と一致するように水に砂糖を投入した。濃度を 4.7% にすることにより流体の屈折率を 1.340 に調整し、流体と模型の屈折率が完全一致したときの流場計測も実施した。なお、計測は 60 秒間撮影し、12000 枚の画像を取得している。

3.2 試験結果

流体に水を使用した際のダクト外部および内部の u/V_∞ の速度分布を図-4 に示す。 u/V_∞ は、主流方向速度 u を基準速度 V_∞ で無次元化した。図内でダクト内部の速度分布は破線の内側である。ダクト流入口の主流方向速度は、基準速度より 2 割程度遅くなっており、ダクト内部で加速し、流出口では基準速度より 1 割程度遅くなっている。流体に砂糖水を使用した際の u/V_∞ の速度分布を図-5 に示す。ダクト内部の主流方向速度は、流体が水のとくと同様に、ダクト流入口では遅く、ダクト内部で加速し、ダクト流出口では基準速度より速くなっている。図-6 に $z=104\text{mm}$ での u/V_∞ を示す。流体が

水と砂糖水ではダクト内部の u/V_∞ は、ダクト前端部を除くと、最大 1.4% の差がある。

4. まとめ

ダクト内部の流場を調査することを目的として、1/4 周 CYTOP ダクト模型の製作方法を考案し、製作を行った。製作したダクト模型を小型回流水槽に単体で設置し、ダクト上半分の内部流場を計測した。

その結果より、以下のことがわかった。

- ① ダクト流入口では、主流方向速度が基準速度より 2 割程度遅くなるということがわかった。
- ② ダクト流入口で遅くなった主流方向速度は、ダクト内部で加速し、ダクト流出口では主流方向速度が基準速度より 1 割程度速くなるということがわかった。
- ③ 流体が水と砂糖水ではダクト内部の u/V_∞ の差は、ダクト前端部を除くと最大 1.4% であることがわかった。
- ④ CYTOP 平板を再加熱して曲げ加工を行うことにより 1/4 周ダクト模型を製作できること、および製作したダクトを用いて内部流場計測が可能であることがわかった。

参考文献

- 1) 川島英幹, 一ノ瀬康雄, 笠原良和, 久米健一, 金子杏実, 深澤良平, 田原裕介: 実海域省エネデバイスの開発に関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第 17-1 号, pp. 73-86, 2017.
- 2) 一般財団法人日本海事協会 EEDI 室: EEDI の概要及び認証について, 日本船舶海洋工学会誌, 第 53 号, pp. 12-20, 2014.
- 3) 辻本勝: 流体分野の GHG 削減—今後の対応と技術—: 海上技術安全研究所報告, 第 19 巻別冊, pp. 9-14, 2019.
- 4) 松村直也, 池田剛大, 岸本隆: 省エネダクト装備船の自航要素に対する尺度影響調査, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 26 号, pp. 155-158, 2018.
- 5) 江藤他: 水流の可視化に必要な関連技術の開発—比重整合・屈折率整合・多波長計測—, 土木学会論文集 No. 533/II-34, pp. 87-106, 1996.
- 6) 濱田達也, 大場弘樹, 辻本勝: 屈折率整合法を利用した流場計測—船舶試験水槽での利用の基礎検討—, 可視化情報シンポジウム, 第 47 回, 2019.

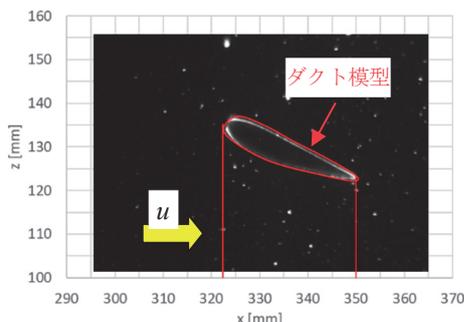


図-3 水中のダクト模型の様子

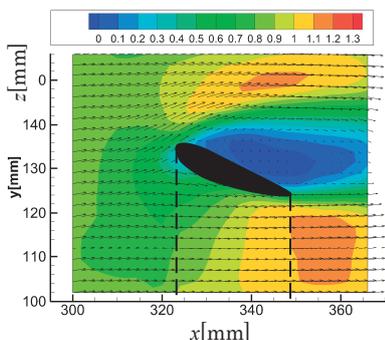


図-4 u/V_∞ の速度分布
(流体: $n_D=1.333$, $y=-5\text{mm}$)

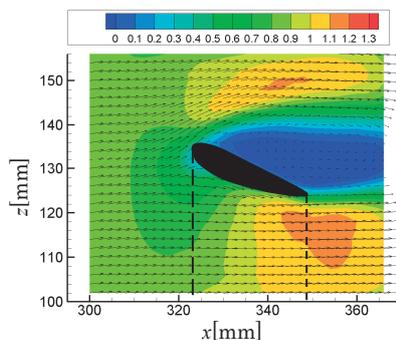


図-5 u/V_∞ の速度分布
(流体: $n_D=1.340$, $y=-5\text{mm}$)

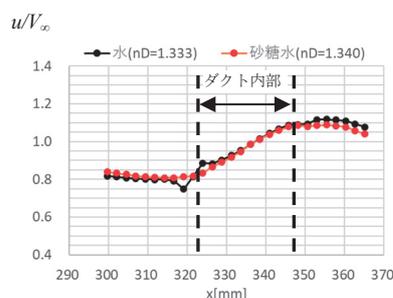


図-6 u/V_∞ の比較
($y=-5\text{mm}$, $z=104\text{mm}$)