

PS-4 屈折率整合技術の水槽試験への応用

－省エネダクト内部の詳細流場計測法の開発－

流体設計系 * 濱田 達也、大場 弘樹、辻本 勝

1. はじめに

船舶の省エネ化のために、プロペラ前方に取付けるダクト型省エネ付加物(WAD、USTAD)の開発が行われている¹⁾。ダクト型省エネ効果のさらなる向上を目指すためには、ダクト周辺(外部および内部)の詳細な流場を把握する必要がある。しかし、ダクト内部は模型の影となりレーザ光が届かないため非接触計測であるPIV(Particle Image Velocimetry)でさえ計測が困難である。このような物体の影となる場所の可視化法として、透明性が高く水の屈折率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技術²⁾がある。

船舶試験水槽で屈折率整合技術を用いるため、水の屈折率(屈折率 n_D : 1.333)に合う透明な模型材料を調査³⁾したところ、水の屈折率に非常に近い材料(サイトップ: 旭硝子株式会社製)があることがわかった。

今回、サイトップ(屈折率: 1.34)が水との屈折率整合を用いた水槽試験に実用できるかを検証するため、サイトップで製作された模型と同形状の亚克力模型を用いてPIVによる模型背面(模型を見通した先)の流場計測を実施し、水槽試験への実用性について調査したので報告する。

2. 実験方法

PIV計測は、小型回流水槽(バソタン、計測部: 長さ 680mm × 幅 300mm × 水深 200mm、最大流速 0.8m/s)にサイトップ模型および亚克力模型を設置し、模型を見通した先のバソタン中央の流場を CCD カメラで計測した。図-1 に計測装置の全体構成を示す。また、比較のため逆側から CCD カメラで撮影することで模型を見通さない流場計測を行った。図-1(a) に示す通りカメラ A からは模型を見通した先の流場を計測し、カメラ B からは模型を見通さない流場の計測を行った。図-1(b)の計測範囲は模型設置①②のときに模型が画角に入るように 130mm × 80mm とした。また、模型を見通した先の流場計測を行うためレーザシートをバソタンの下から鉛直上向きに照射し、主流方向と水深方向を軸とした面を計測範囲にしている。使用したサイトップ模型と亚克力模型の写真を図-2 に示す。サイトップ模型と亚克力模型は同形状である。各模型寸法は幅 33mm、縦 15mm、高さ 75.5mm、各模型間の中心距離は 55mm である。形状は半円柱の 2 次元形状ではなく、高さ方向の中央部分が細くなっており、背面には四角いくぼみがある。これは屈折率の差による影響をわかりやすくするためである。なお、亚克力の屈折率は 1.5 程度である。本計測に用いた 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。

レンズは焦点距離 12mm を使用した。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。

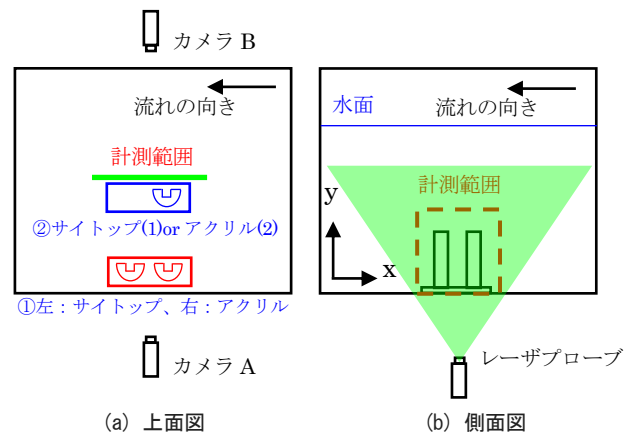


図-1 計測装置の全体構成

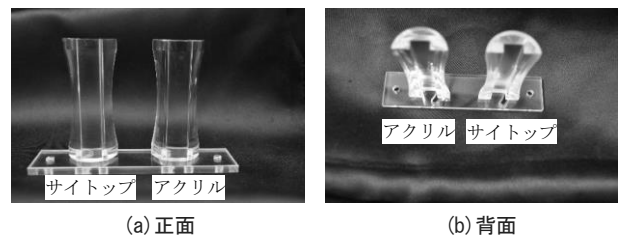


図-2 サイトップ模型および亚克力模型

3. 実験結果

3. 1 実験条件

計測は 4 つの流速を行うため、バソタンのインペラ回転数を 5.5rps、8.5rps、11.5rps、14.0rps に設定し、計測を行った。また、屈折率の差による影響は計測位置と模型(水と模型の境界位置)の距離の大きさに伴うため、模型の設置位置を計測位置から遠い条件(図-1(a)の①)と計測位置から近い条件(図-1(a)の②)で計測を行った。計測位置から近い条件のときはサイトップ模型と亚克力模型を一緒に配置すると各模型背面の流場が異なるため、各模型を単独で設置して流場計測を実施した。さらに、サイトップの屈折率は水の屈折率に非常に近いが 0.52% と微小な差があるため、水に砂糖を投入し、濃度を 4.7% にすることにより流体の屈折率をサイトップと同じ 1.34 に調整し、屈折率が完全一致したときの流場計測も実施した。なお各計測では、30 秒間撮影し、6000 枚の画像を取得している。

3. 2 実験結果

座標の原点を x 軸はパソタン計測部の下流端、 y 軸は計測部の底面とする。また、 x 軸、 y 軸および主流速度 u の正の向きは図-1 に示すとおりである。

模型設置①および水の屈折率 1.333 で模型を見通した状態で計測した主流速度 u の速度分布を図-3(a)に、模型設置①および流体の屈折率 1.34 で模型を見通した状態で計測した主流速度 u の速度分布を図-3(b)に示す。また、模型設置②サイトップおよび水の屈折率 1.333 で模型を見通した状態で計測した主流速度 u の速度分布を図-3(c)に、模型設置②サイトップおよび水の屈折率 1.333 で模型を見通さない状態で計測した主流速度 u の速度分布を図-3(d)に示す。点線はサイトップ、実線はアクリル模型の設置位置を示す。なお、インペラ回転数は全て 8.5rps(およそ 0.2m/s)である。サイトップ模型背面の計測結果と比較して、アクリル模型背面の流場は屈折率の差による影響により計測できていないことがわかる。

図-4 にカメラ A、B で計測したある 1 点の座標の主流速度 u をプロットしたグラフを示す。座標は図-3 の◎で示す ($x=240\text{mm}$, $y=70\text{ mm}$) および ($x=305\text{mm}$, $y=70\text{ mm}$) である。横軸にカメラ B で計測した主流速度 u 、縦軸にカメラ A で計測した主流速度 u をとっている。グラフ内の対角線に近いほど模型を見通して計測した速度と模型を見通さず計測した速度が近いことを示す。また、流体の屈折率を 1.34 に調整したときの同座標の主流速度 u を一緒にプロットする。アクリル模型を見通したときの主流速度 u は、アクリルと流体の屈折率の差が大きすぎるため、模型の設置位置および流体の屈折率の違いに限らず、模型を見通さない計測結果と異なった。これに対して、サイトップ模型を見通したときの主流速

度 u は、全ての計測条件において、模型を見通さない計測結果と良く一致しており、主流速度 u の差は 2.5%以内であることがわかる。

4. 結論

屈折率整合技術を船舶試験水槽の試験に用いるため、水の屈折率に非常に近い材料が水槽試験に実用できるかを、模型を見通した先の流場計測より検証した。今回の実験条件の場合、サイトップ模型を見通したときの主流速度 u と模型を見通さずに計測した結果は 2.5%以内の差であり、サイトップが十分に利用できることがわかった。

謝辞

本研究で使用したサイトップ模型およびアクリル模型は、ニイガタ株式会社より貸与いただきました。関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 川島他：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。
- 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。
- 濱田他：屈折率整合技術の水槽試験への応用-水槽の中で模型を見えなくする-、平成 27 年度国立研究開発法人海上技術安全研究所研究発表会講演集、第 15 巻、pp. 190-191、2015。

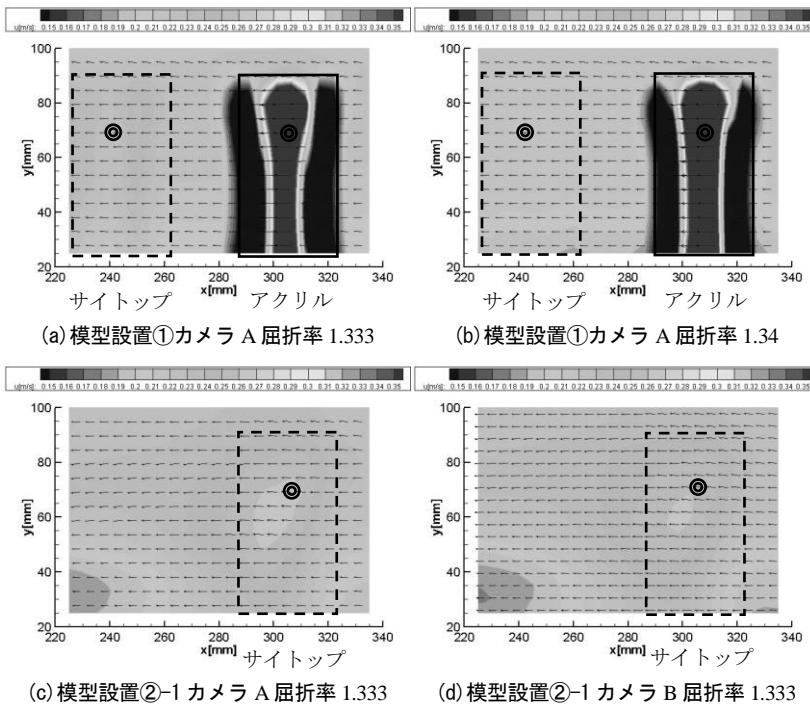


図-3 主流速度 u の速度分布(インペラ回転数 8.5rps)

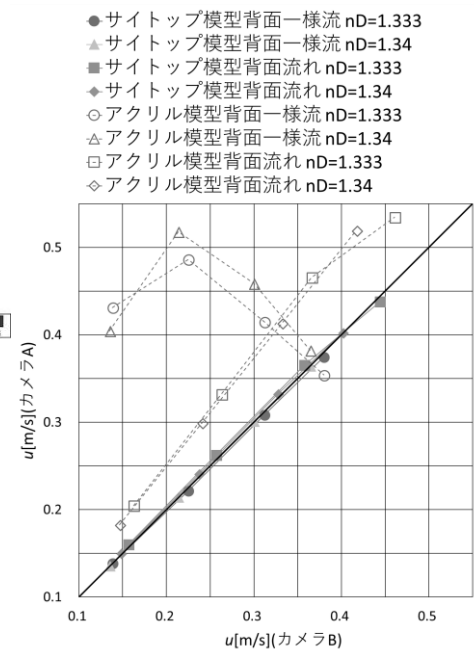


図-4 カメラ A と B の主流速度 u の比較