

PS-2 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—

流体設計系 * 濱田 達也、星野 邦弘、川並 康剛

1. はじめに

船舶の省エネルギー化は、船体形状の改良による方法が限界に近づいているため、これに代わって船体やプロペラ周辺に装置や省エネ付加物を取付ける方法が考案されている。船舶の省エネ付加物としては様々な原理や方式のものが考案されているが基本的には粘性抵抗の低減や推進効率の向上を狙ったものが多い。実際の省エネ付加物の省エネ原理と効果を確認し、その高効率化を目指すためには付加物による流れの変化を詳細に知る必要がある。

また、CFD の高精度化、高度化により船体・プロペラ・舵一体での流れのシミュレーションも行われている¹⁾が詳細な流場の実験的検証は未だ不十分である。船尾複雑流れの実験的アプローチによる解析は、レーザドップラー流速計 (LDV) を用いた非接触での詳細な流場計測によってその信頼性は飛躍的に向上した。しかしながら、レーザ光の届かない場所での LDV 計測は未だ困難である。レーザ光の届かない場所の 1 例として、省エネ効果を目的とした船体付加物の 1 つであるダクトの内側があげられる。

本研究では、水と屈折率整合が可能な透明材料を用いて、省エネ付加物の 1 つであるダクト外部および内部 (本来レーザ光が届かない場所) の詳細な流場を計測する技術の開発を行っている。

今回、本研究で調査した水の屈折率に非常に近い透明材料と屈折率整合技術の水槽試験への応用例を紹介する。

2. 屈折率整合について

屈折率整合とは透明性が高く、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ため、光は水と模型の境界で屈折することなく直進し模型に遮られることなく模型の向こう側を可視化することができる技術である。LDV・PIV のような光学計測に使用するトレーサの動きも屈折率整合を行った模型を通して可視化することが可能である。

これまで屈折率整合技術を用いた流場計測は、水と屈折率が等しい透明材料がなかったため一般的な透明材料の屈折率 (アクリルなど) に作用流体 (ヨウ化ナトリウム水溶液など) の屈折率を近づけることで計測が行われてきた。表・1 および 2 に Budwing²⁾ がま

とめた透明材料と作用流体の屈折率を示す。

しかしながら、水に屈折率調整用の薬品を加えると密度・粘性等が変化することや屈折率整合に用いられるヨウ化ナトリウム水溶液に毒性があるなどの問題点がある。また、屈折率調整を行なった流体を曳航水槽等の大型水槽施設に満たして実験することは安全性や費用の面から困難である。このため、本研究では水の屈折率に非常に近い透明模型を製作し水中で模型を見えなくするために、水の屈折率に近い透明材料の調査を行った。

表-1 透明材料の屈折率

透明材料	屈折率
バイレックスガラス	1.47-1.49
アクリル	1.49-1.53
エポキシ	1.56
ウレタン	1.49
シリコンゴム	1.43

表-2 作用流体の屈折率

作用流体	屈折率
グリセリン水溶液	1.33-1.47
ヨウ化亜鉛水溶液	1.33-1.62
ヨウ化ナトリウム水溶液	1.5
鉱物油	1.48

3. 低屈折率透明材料

屈折率が水に等しい透明材料の調査は以前からされており、当時江藤ら²⁾が純水の屈折率 1.333 に等しい透明材料に関する文献調査を行ったが実用性の高い材料は見つからなかった。このたび本研究で調査したところ、一般的な透明材料より屈折率が非常に低い熱可塑性樹脂および UV 硬化型樹脂があることがわかった。

表-3 低屈折率透明材料

	住友 3M	DIC	AGC
製品名	THV	OP-3801	CYTOP
屈折率	1.36	1.378	1.34
光透過率	85~90%	94.4%	95%
硬化方法	熱可塑性	UV 硬化	熱可塑性

表-3 に調査した透明材料を示す。表-1 の一般的な透明材料と比較して水の屈折率に非常に近い透明材料があることがわかった。光透過率もフィルムの厚さではあるが 90%程度あり高い透明性を有している。図-2 に THV のチューブを通して格子を観察した様子を示す。事前に THV 2 mm厚の平板の屈折率を計測し、肉厚にしたときの屈折率を調査した。2 mm厚の平板の屈折率は $nD=1.362$ と若干大きくなっていて、作用流体は砂糖水の濃度により屈折率整合の調整を行った。水温は 20℃に調整している。図-2 (a)は砂糖水の濃度 (Brix) が 0% [屈折率 $nD=1.333$]、(b)は 20% [$nD=1.364$]、(c)は 24.2% [$nD=1.371$]である。(a)と(c)のときは屈折率整合ができていないので格子が歪んで見える。(b)のときには歪が完全になくなった。本来 Brix 19% [$nD=1.362$]で屈折率が一致するはずであるが、これはショ糖ではなく食用の砂糖を使用したためと思われる。

4. 水槽試験への応用について

船体まわり特にプロペラ・舵周辺は、流れを計測したい箇所がいくつもあるがプロペラ・舵・付加物自体が壁となってしまう可視化をすることが困難である。しかし、屈折率整合を用いれば図-1 に示す箇所も曳航水槽などの大型施設でも流場計測が可能である。ダクトの内側外側、舵まわり、回転しているプロペラ面内、その他ダクトプロペラのプロペラ面、船体・ボスキャップ・舵に取付けたフィンまわりもレーザ装置の配置を変えることなくレーザ光が届くため PIV または

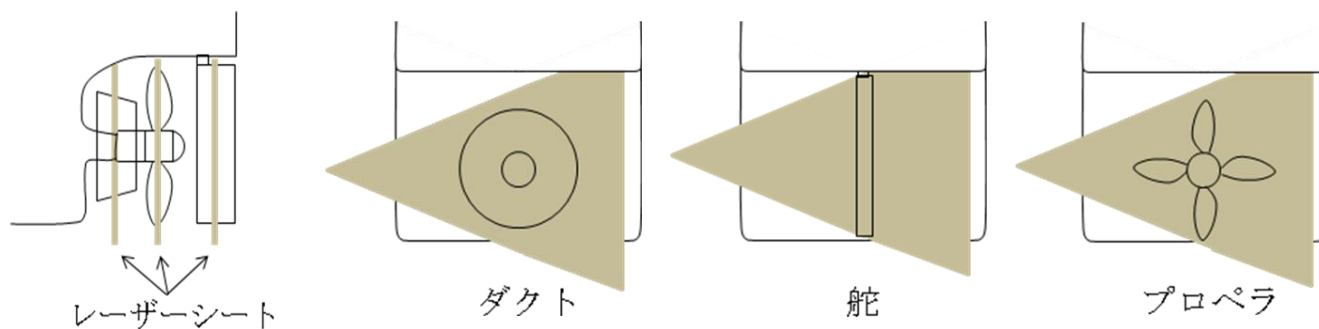
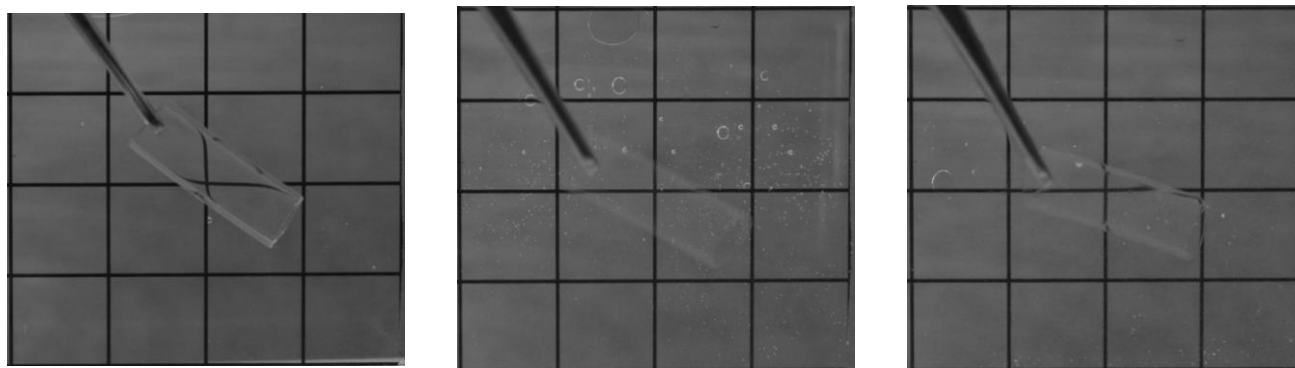


図-1 水槽試験への応用例



(a) Brix 0% [$nD=1.333$]

(b) Brix 20% [$nD=1.364$]

(c) Brix 24.2% [$nD=1.371$]

図-2 THV チューブと砂糖水の屈折率整合

LDV により流場を計測することが可能である。

5. おわりに

水の屈折率に非常に近い透明材料と屈折率整合技術の水槽試験への応用例を紹介した。屈折率整合は本来見えない箇所を可視化する方法として最適である。屈折率整合を用いれば付加物まわりの定性的および定量的な可視化を曳航水槽などでも実施することができる。今後材料の技術の進歩により複雑な模型を製作できる透明材料ができれば水槽試験技術は飛躍的に向上すると思われる。その際には流場計測の結果とともに報告したい。

謝辞

本研究は、科研費 25420878 の助成を受け実施しました。関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Hino, T., Ohashi, K. and Ukon, Y.: Flow Computations around a Ship with Appendages by an Unstructured Grid Based NS Solver, Proc. of 8th International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Busan, 2003.
- 2) Budwig, R., 1994, Refractive index matching methods for liquid flow investigations, Experiments in Fluids, Vol. 17, 1994.
- 3) 江藤他, 1996.2, 土木学会論文集 No.533/II-34, pp.87-106