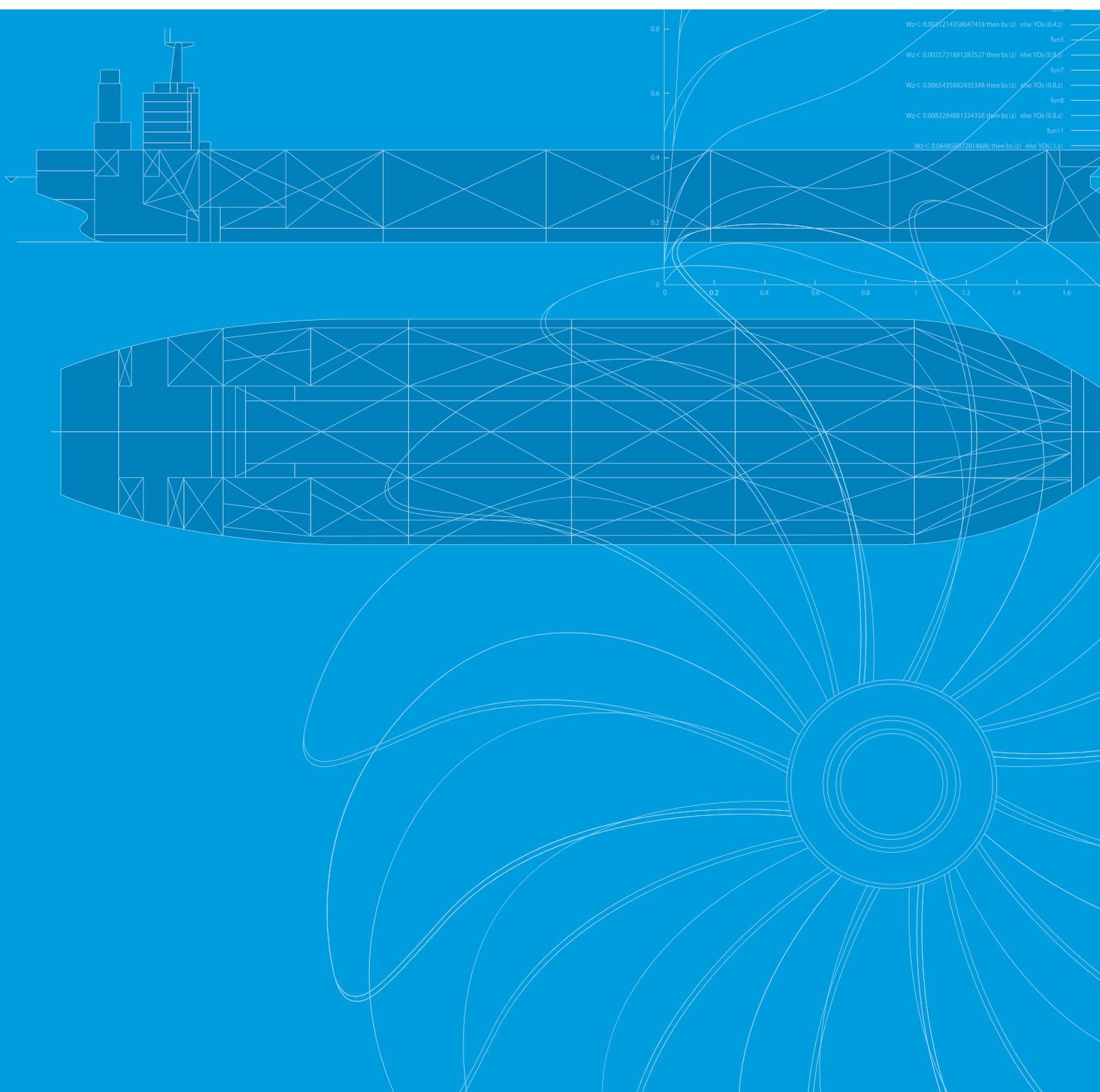


造船の最先端を見つめる技術情報誌

SRC NEWS

Shipbuilding Research Centre of Japan

No.113
DEC. 2023



CONTENTS



実船の船体表面圧力計測への挑戦

3



2023年度 JICA

「海事行政における検査能力強化を通じた船舶安全の確保」研修コース

9



2023年度東京 MOU

「ポートステートコントロール検査官一般研修 (GTC11)」の実施支援

11



シリーズ シリーズ キャビテーション試験の解説 (その2)
キャビテーション水槽～観察

12



当センターは東日本大震災復興キャンペーンを応援しています。

試験等の申し込み、問い合わせは下記までご連絡をお願いいたします。



申し込みの受付

〒180-0003 東京都武蔵野市吉祥寺南町1丁目6番1号
吉祥寺スバルビル3階

TEL 0422-40-2820 FAX0422-40-2827

今後も皆様のお役に立てるような最新情報を積極的に発信してまいりますので、SRCのウェブサイトを活用してご利用いただけますようお願い申し上げます。



<https://www.srcj.or.jp/>



実船の船体表面圧力計測への挑戦

1. 何故圧力を計測するのか

理想の船とはどのようなものでしょうか？たくさんの荷物を積み、丈夫で少ないエネルギーで速く走れて揺れない船。そんな船があれば理想でしょう。ではこのような船を作るために、船の設計者が知らなければいけない情報はなんでしょうか？船体構造の各部分にかかる力、抵抗力に打ち勝って前に進むのに必要な力、船を揺らす波の力、等々、流体から受ける力を知ることがまず必要になります。

船のまわりの流体の状態は、流速ベクトルと圧力により表現されます。実験、理論計算により得られるこれらの情報から、船型設計者は船体のどの部分にどのような力が加わっているかを推定し、それが望ましい分布になるように船型を決定します。この際、流速ベクトルから力を推定することは難しいですが、圧力が分かればそれを積分することにより力を推定することができます。定常的な圧力の分布は抵抗力や推力となり、圧力変動は船体運動や船体振動として現れます。このため船型設計者にとって、船体まわりの圧力をより簡単な方法で速やかに把握することは長い間の課題でした。

それに応えたのは、各種の理論計算手法です。模型船レベルの船体表面圧力の計算は、コンピュータの発達とともに、今では数時間で結果を得ることが可能です。一方、実験により船体表面圧力を確認することは、後述の通り、時間、コストの上で現在でも困難な課題です。このため計算により得られた船体表面圧力の精度を評価することは容易ではありません。他方、流速ベクトルの計測は、五孔管、超音波流速計、LDV、PIVなど、コストパフォーマンスに優れた計測機器が次々に開発され、計測が容易になりました。このため理論計算の精度を検証するためには、流速ベクトルを使用することが主流になっています。

しかし前述のように、流速ベクトルから力を直接推定することはできません。圧力分布を容易に精度よく計測する手法の開発は、いまだに大きな課題として残されています。模型船・実船の船体表面圧力を計測し、それを船型設計、CFDの改良に役立てることは、ゼロエミッション船の実現の上で、基盤となる技術の一つと考えられます。

2. 圧力計測の方法

実験的に圧力を知る試みは以前から行われています。歪ゲージ式の圧力センサを使用する方法が、最も一般的な方法です。船体表面に多数の圧力孔を開け、圧力孔と圧力センサの組み合わせを切り替えるスキャニバルブまで導圧管により圧力を導き、計測を行います。この方法であれば、少数の圧力センサで多点の圧力を計測することが可能です。図1に過去にSRCで行われた圧力孔-スキャニバルブ方式の船体表面圧力計測システムの模式図を、図2に船体表面に設ける圧力孔の模式図を示します。

しかしこの方法による船体表面圧力計測は、次のような理由により容易な試験ではありません。

- 多数の圧力孔の設置工事
- 多数の導圧管の接続とそのエア抜き
- 航走回数

航走回数は圧力孔の数とスキャニバルブの仕様に依存します。例えば、SRCで使用していたスキャニバルブは6個のセンサの接続が可能で、計測点が100点であった場合、1速度の計測に17航走、単純計算でまる1日必要です。試験に要する日数は、圧力孔の設置に1週間、導圧管の接続とエア抜きに2~3日、1速度の計測に1~2日。準備から計測まで約2週間を掛けてやっと1速度の船体表面圧力を得ることができる程度です。

このため、船体表面圧力計測は水槽試験で一般的に行われる計測とはならず、船体表面圧力計測をルーチンワークとして気軽に行える試験とするためには、何らかのブレイクスルーが必要でした。

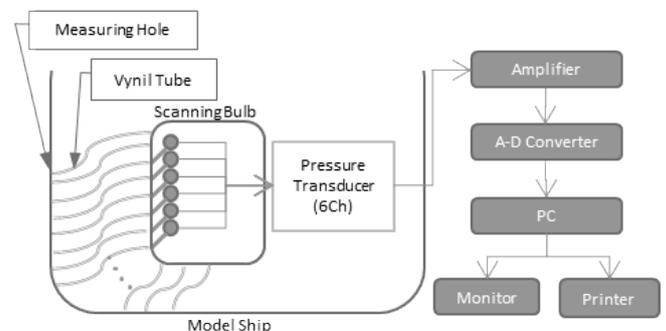


図1 圧力孔-スキャニバルブ方式による船体表面圧力計測システム

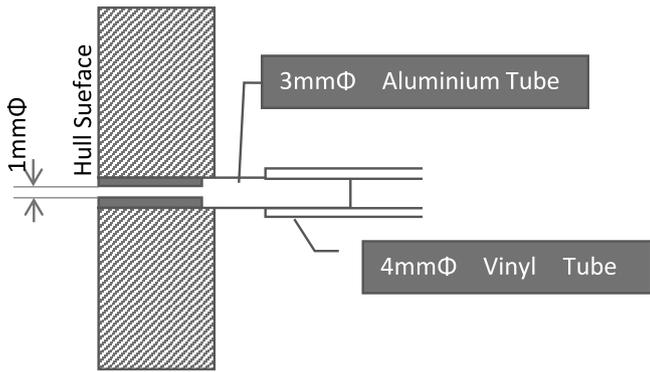


図2 圧力孔の構造

3. FBG 圧力センサの特徴と原理

FBGとはFiber Bragg Gratingsの略称で、電気を使わない光センシング技術を利用した全く新しいタイプの歪センサです。FBGセンサは図3のように、光ファイバの中に微細な回折格子をレーザーで焼き付けたものです。入射した光は回折格子の格子幅に沿った特定の波長だけが反射され、回折格子を透過した光はその波長が欠けたようなスペクトルを示します(図3上段)。この光ファイバに何らかの力が加わり回折格子が変形し格子幅が変化すると、回折格子で反射される波長はわずかに変化し、透過光の波長分布も、図3下段のようにわずかに異なります。この波長分布の変化を計測し、歪量を特定するのがFBGによる歪計測の原理です。

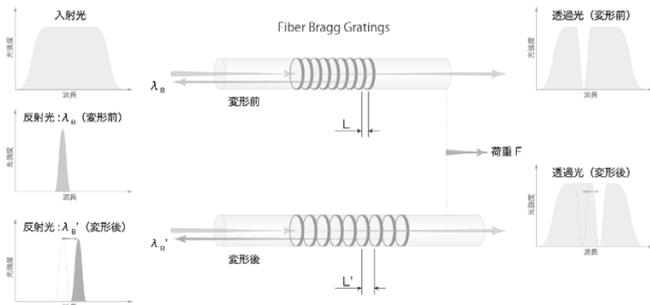


図3 FBGによる歪計測の原理

図4はFBGセンサを一つの光ファイバ上に複数設置した例を示しています。それぞれのFBGの回折格子幅は異なった波長の光($\lambda_1 \sim \lambda_5$)を反射するように適宜に調整してあります。この時FBG2に力が加わり歪が生じると、 λ_2 のみ波長がわずかに変化し λ_2' となります。

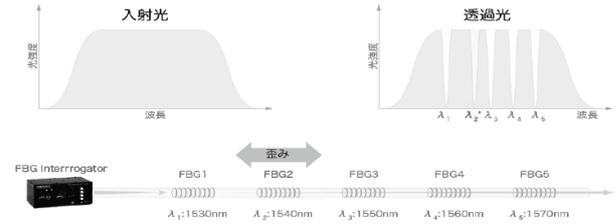


図4 FBGによる多点計測の原理

この波長の変化を捉えれば、どのセンサにどの程度の歪が生じたかを特定することが可能で、一つのファイバ上での多点計測が可能となります。また、光ファイバの直径が0.15mmと非常に小さいため、そこに焼き付けられたFBGセンサもごく小さいものです。これにより、計測対象に孔を開けたり、掘りこんだりする必要がなく、貼り付けるだけで容易に設置が可能なセンサとすることができます。以上で説明したFBGセンサの優れた特徴をまとめると以下ようになります。

- ① 容易な設置工事
- ② 同時多点計測が容易に可能
- ③ 非引火性、防爆性、耐雷性、耐磁気ノイズ性
- ④ 高い長期信頼性

③、④は電気を使用しないこと、ガラスという塑性変形が少なく耐蝕性がある素材を使用していることによるメリットです。

このような優れた特徴をもつFBGセンサを圧力計測に応用したものが、FBG圧力センサです。FBG圧力センサの構造を図5に示します。

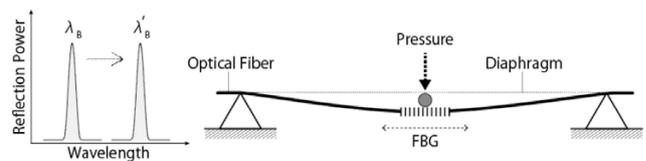


図5 FBG圧力センサの構造

圧力感知するダイアフラムとFBGの間にスペーサを設け、ダイアフラムに加わる圧力を歪の形でFBGに伝え、圧力を計測します。FBGの使用によりセンサの厚みを1mm以下とすることが可能となりました。これにより流場に与える影響を小さくすることができます²⁾。

4. 模型船の船体表面圧力計測

FBG圧力センサの開発と水槽試験への応用の検討は、SRCと(株)シミウスにより、センサの開発を(株)シミウスが、その精度検

証と水槽試験法の開発をSRCが担当するという分担で2006年より行われてきました^{1)~6)}。この成果として開発されたセンサを、図6に示します。全長15mm、幅9mm、厚さ0.7mmと極めて薄いセンサで、物体表面に接着剤や両面テープ等で容易に設置することが可能です。

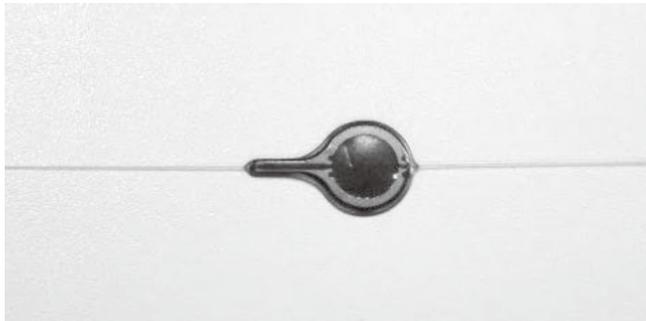


図6 FBG 圧力センサ (PS1000-V7)

このセンサを用いて省エネデバイス (ESD; Energy Saving Device) まわりの圧力計測を行った例を紹介します。図7、図8にESD (船尾水平フィン) まわりに設置した54点のFBG 圧力センサの配置を示します。

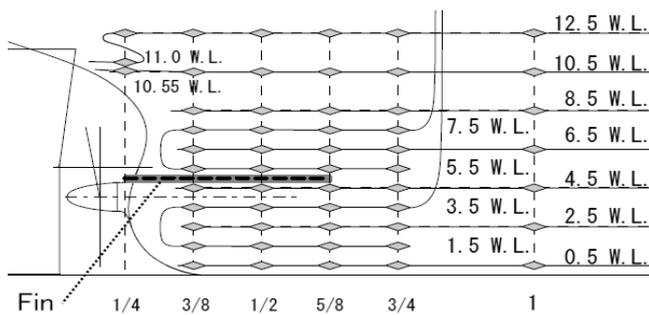


図7 船尾水平フィンとFBG 圧力センサの配置

センサの設置には2名で約5時間を要しました。また、54点の圧力を一度に計測することが可能であるため、抵抗カーブと同等の速度範囲の圧力計測が1日で可能となり、準備も含め従来の手法に比べ格段に効率的であることがわかります。



図8 センサ設置状況

抵抗・自航状態で船尾フィン有無の船体表面圧力を計測、比較しました。図9に船尾フィン有無での船体表面圧力の差を示します。左は抵抗状態での船尾フィン有無の圧力の差です。フィンが存在するとフィン上部で圧力が高くなり、これが抵抗低減に寄与していることが分かります。右の自航状態では、プロペラ作動により船尾フィン上部の圧力差はさらに増加し、1-の改善に寄与する結果が得られています。

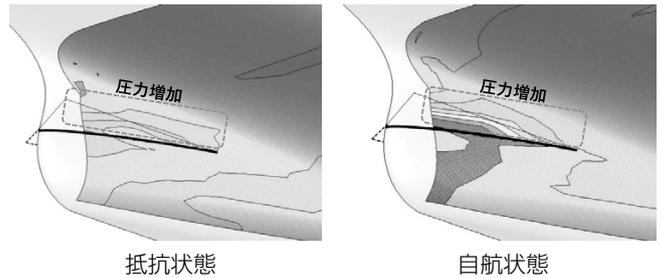


図9 船尾フィン有り無しでの船体表面圧力の差

このように船体表面圧力を計測することによりESDによる性能改善効果をより詳細に解析することが可能で、抵抗・自航試験により試行錯誤でESD設計を行うのに比べ、効率的にESDの改良を行うことができます。

SRCではこの他にも衝撃圧力の計測⁷⁾、波浪中抵抗増加の解析等にもFBGによる船体表面圧力計測を利用しています。

5. 実船船体表面圧力計測への挑戦

水槽において船体表面圧力を効率的に計測できる手法が確立できたことは、実船の船体表面圧力計測へのこの技術の応用が期待できます。

実船まわりの圧力計測の試みは非常に少ないのですが、これは従来の圧力計測法では船体に圧力計測孔を開ける工事が不可欠であり、実船では日程や後処理、費用の面で困難であったためと考えられます。FBG 圧力センサであれば、船体の開孔、溶接、開孔の閉鎖などの作業が不要となり、実船圧力計測の実施はより容易になります。

ここではナカシマプロペラ殿のご依頼で、SRCと(株)シミウスが共同で行った、北日本造船殿建造のケミカルタンカーによる実船船体表面圧力計測について紹介します。

5.1 実船圧力計測の概要

実船計測の対象は、北日本造船殿建造のケミカルタンカーです。本船はナカシマプロペラ殿設計のプロペラと省エネダクト(ネイバーダクト)を装備しています。船体表面圧力計測は省エネダクトおよびその周囲とプロペラ上部の船体表面、計54点で計画しました。これによって模型船スケールの低レイノルズ数(Rn数)でのCFD計算では把握できない、実船スケールの高Rn数での流場情報を取得し、実船で最も効果を発揮するESD、プロペラ設計につなげることを目的としています。

5.2 実船用FBG 圧力センサ

実船計測に使用したセンサを図10に示します。実船計測用

圧力センサには、設置、取り外しが容易であること、100kPa～300kPaでの計測が安定して可能であること、長期にわたって安定した計測ができること、などが要求されます。今回使用したセンサは、PS1000-V7（図6に示した模型船用圧力センサの改良版）の計測容量を実船用に大きくしたPS1000-V7-RSです。

Thickness=0.6mm

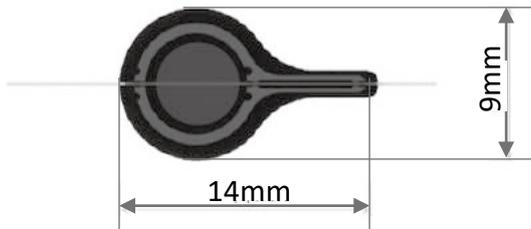


図10 実船用圧力センサ PS1000-V7-RS

ダイアフラムの変更により実船相当の圧力に耐えられるような改良が行われていますが、図のとおり形状、大きさともPS1000-V7と変わりません。

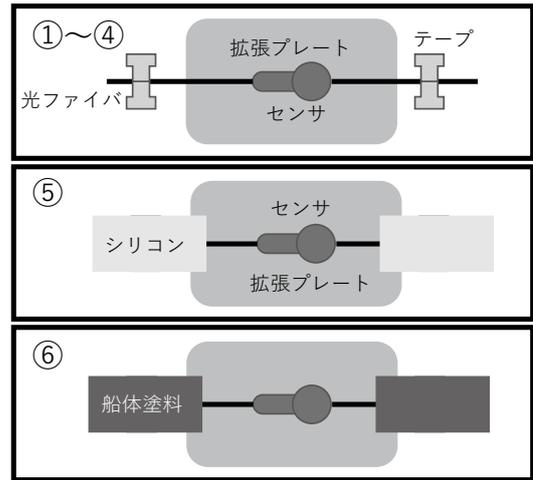


図11 センサ設置の方法

5.3 船体への設置方法

このセンサを塗装が完了した船体表面に次の方法で設置しました（図11参照）。

- ① 塗面の下地処理（サンディングによる平滑化）
- ② センサに拡張プレートを設置し、接着面を広げる
- ③ 拡張プレートを両面テープで船体表面に貼付

		12	1	2	3	4
事前調査	12/1	★				
計測計画		←→				
センサ・配線施工	1/5~1/14		←→			
注水	1/17~1/18		◆			
試運転前準備	4/11~4/13					◆
試運転	4/14~4/15					◆
撤収	4/17~4/18					◆
塗装/溶接/機装/他		←→				

表1 実船圧力計測スケジュール

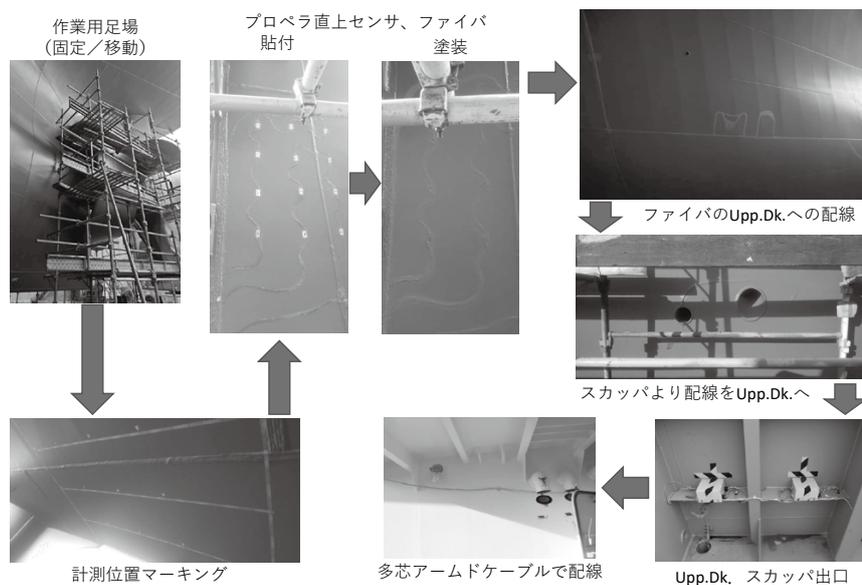


図12 センサ設置工事

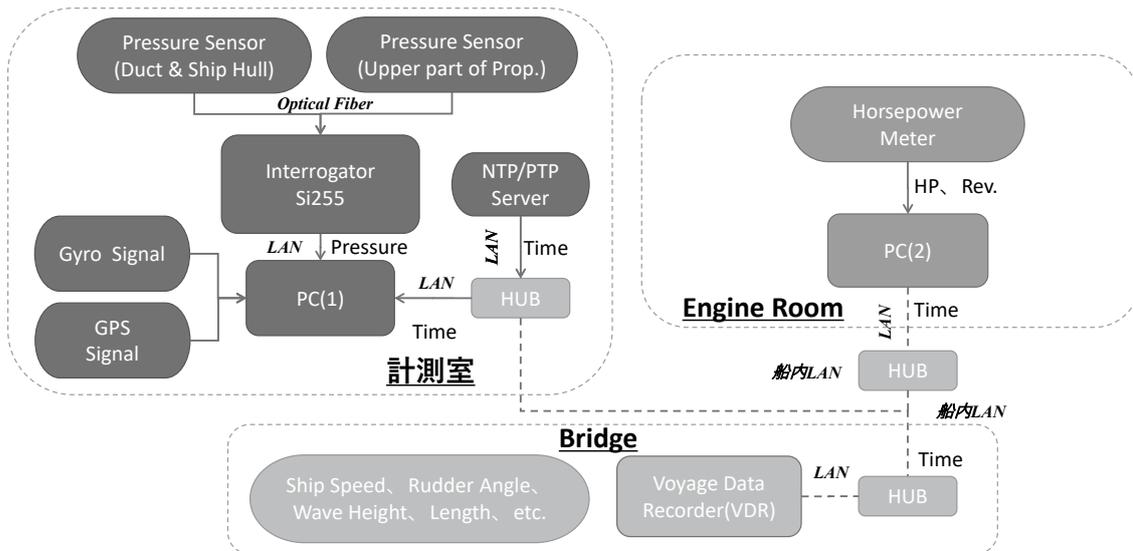


図13 計測システム

- ④ 光ファイバを船体表面にテープで仮止め
- ⑤ 船体に貼付した光ファイバ、センサにシリコンを塗布（約20mm幅）
- ⑥ シリコン部分に船体塗料を塗布

光ファイバおよびセンサはこの工法では船体表面とほぼ一体化してしまいます。設置工事後の配線は、溶接ビードより低く目立ちません。また、防汚塗料上に施工しているため、防汚塗料の自己研磨による溶融によりその上に施工されたセンサは長期的には自然に脱落し、撤去工事の必要がなくなることも期待しています。

実船船体表面圧力計測は表1のスケジュールで行われました。建造工程の関係から、事前調査から設置完了、ドックへの注水まで年末年始を挟んで1ヶ月半ほど非常にタイトなスケジュールでした。センサの設置は船体塗装、上部構造物の溶接作業と並行してドック内で行われました。北日本造船殿の協力でセンサ設置のための固定足場と移動足場を船尾ダクトおよびプロペラ周囲に組み、そのうえで設置作業を行いました（図12参照）。

5.4 計測システム

計測に使用したシステムの構成を図13に示します。船体各部に貼り付けたセンサと光波長計測器（Hyperion Si255）により船体表面圧力を計測し、PC（1）に収録します。圧力の解析にはVDRに収録された対水ログの船速を使用しました。また解析の参考、補正に使用するため、船体姿勢（Gyro）、船体位置情報（GPS）、も同時に収録しました。別途機関室内で、軸馬力計により軸馬力、回転数も同時に計測し、PC（2）に収録し

ました。軸馬力計より得られるプロペラ回転の同期信号は、プロペラ変動圧力の解析に使用しました。

5.5 計測および解析

実船船体表面圧力計測は、計画満載状態において2023年4月14日、15日の両日、供試船の試運転に合わせて行いました。速力試運転は試運転スケジュールの最後、4月15日の夜に行われました。圧力計測は、試運転出航前の岸壁での静定時から計測を開始し、試運転終了後帰港して岸壁で静定するまで、常時計測を続けました。その間、計測システムの都合等で何回か中断することはありましたが、試運転航海の種々の状態の圧力をできるだけ詳細に記録し、後日の解析に備えました。

図14、図15に計測の一例を示します。

図14は、ダクト右舷内・外の無次元圧力の平均値を示しています。ダクト前縁側でダクト内側の無次元圧力が大きく低下していること、ダクト外側の無次元圧力は主機出力を変更しても大きく変わらないが、ダクト内側では主機出力が高くなると徐々に無次元圧力が低下していることがわかります。

図15はプロペラ上部船体表面で計測した圧力をFFT解析したものです。主機出力は100%（N=102.9rpm）であり、4翼プロペラの翼周波数成分（6.86Hz、13.72Hz、20.58Hz・・・）のピークがとらえられています。

以上により、今回行った実船の船体表面圧力計測は、定性的に良好な結果が得られているものと考えています。また今回採用した設置工事法により、設置後3ヵ月という長期間にわたり計測系が支障なく機能することが分かったことも成果の一つです。これにより、建造工程の中でのセンサ設置工事のスケジュール的な自由度が増し、実船計測を計画するうえでの障害を軽減

することができることが分かりました。

一方、以下のような課題も明らかになりました。

① 試運転期間中、船体静定時の圧力を計測する機会が非常に少なく、速力試運転解析時の基準圧力をどうするかに課題が残った。

② 喫水変更時に圧力を計測しセンサの較正を行う予定であったが、計測環境が整わず不十分に終わった。

今後は以上の課題も含め、より詳細な検討を進め計測された船体表面圧力の定量的な評価を行い、実船の船体表面圧力計測法、解析法の確立に努めたいと考えています。

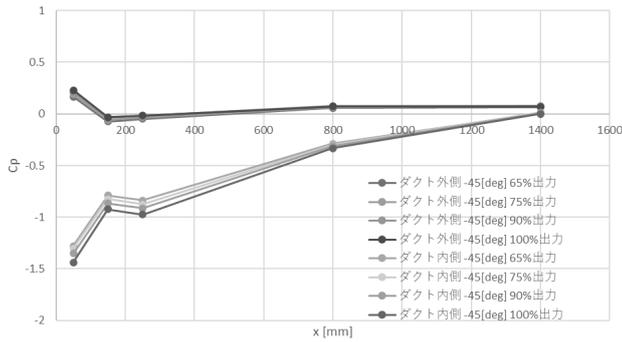


図 14 ダクト右舷下側圧力圧力(平均値)の比較

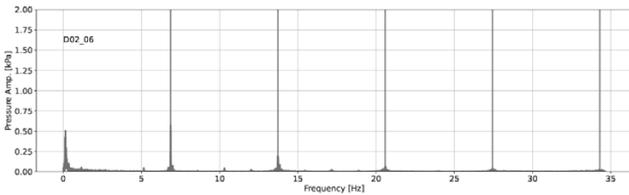


図 15 プロペラ上部圧力 FFT 解析結果

の実船計測は実現しませんでした。また、いち早く実船圧力計測の意義をご理解いただき、依頼試験として実船圧力計測に取り組んでいただいたナカシマプロペラ殿にも厚く御礼申し上げます。最後に、FBG 圧力センサの開発を主導し、船体表面圧力計測法の開発をハードの面から支えていただいた(株)シミウス殿に感謝し、本稿を結びたいと思います。

参考文献

- 1) 若原正人, 中島円, 深沢塔一:FBG を用いた表面貼付型多点圧力センサの開発, 日本船舶海洋工学会論文集, 第7号, pp.1-7, 2008.
- 2) 若原正人, 谷上明彦, 新郷将司, 中島円, 深沢塔一, 金井健:FBG を用いた表面貼付型多点圧力センサの開発, 日本船舶海洋工学会論文集, 第7号, pp.9-14, 2008.
- 3) 福島寛司, 若原正人, 西川達雄, 深沢塔一, 金井健:FBG を用いた表面貼付型多点圧力センサによる船体表面圧力計測, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第21号, pp.327-332, 2015.
- 4) 福島寛司, 若原正人, 金井健:改良型FBG 圧力センサの性能確認とその活用, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第25号, pp.143-148, 2017.
- 5) H. Fukushima, M. Wakahara, T. Kanai, "Hull Surface Pressure Measurement of the Affix-Type Multipoint Pressure Sensor Using Fiber Bragg Gratings", Proceedings of the 14th International Symposium, PRADS 2019, September 22-26, 2019, Yokohama, Japan- Volume I, pp. 368-383.
- 6) 廣田匡俊, 若原正人, 大滝琢矢, 金井健, 実船計測に向けた大容量FBG 圧力センサの開発と性能評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第33号, pp.83-89, 2021.
- 7) 柴田和也, 前田智紀, 馬場禎男, 金井健, 三段階の双方向重合粒子による可変解像度粒子法を用いた船舶に加わる波浪荷重の数値解析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第32号, 2021

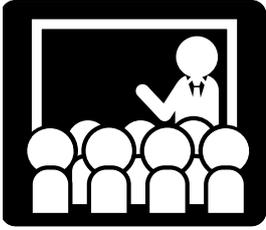
(試験センター 金井 健)

6. 終わりに

本稿では、FBG 圧力センサの原理を簡単に説明するとともに、これまでSRC と(株)シミウスが取り組んできたFBG 圧力センサを用いた船体表面圧力計測について概観し、その成果をもとに挑戦した実船船体表面圧力計測について紹介しました。

ゼロエミッション船の実現に向けて、新燃料利用等の開発と併せ、推進性能の向上は必須の課題となります。今回ご紹介した実船の船体表面圧力計測が普及し、実船の推進性能を直接検討することができるようになれば、ゼロエミッション船の実現への大きなブレークスルーになるのではないかと期待しています。

最後に、実船の船体表面圧力計測の際、建造船の使用をお許しいただいた船主殿、北日本造船殿に厚く感謝いたします。北日本造船殿には厳しい建造工程の中でセンサ設置作業の時間を調整していただきました。北日本造船殿のご協力が無ければこ



2023年度JICA 「海事行政における検査能力強化を 通じた船舶安全の確保」研修コース

新型コロナウイルスについては、本年5月、世界保健機構（WHO）がパンデミックの終了を宣言し、わが国においても、5月8日より感染症法上の位置付けが「新型インフルエンザ等感染症（2類相当）」から「5類感染症」となり、法律に基づき行政が様々な要請・関与をしていくこれまでの仕組みから、個人の選択を尊重し、個人や各事業者の自主的な取組をベースとした対応に変わりました。

これに伴い、空港での水際規制も解除され、国際協力機構（JICA）では、2019年度以来見送られてきた課題別研修「船舶安全」コースを復活させ、3年ぶりに研修員を日本に招へいして、従来通りの対面型研修を実施しました。

当センターでは、我が国が実施する政府開発援助（ODA）の一環として、発展途上国における船舶の建造と保守に必要な安全（環境関連を含む）検査に関わる人的育成を支援するため、JICAから「海事国際条約及び船舶安全検査」研修コースの実施を委託され、2000年から2004年までの第1期コース、2005年から2009年までの第2期コース、2010年から2012年までの第3期コース、2013年から2015年までの第4期コース、その後、コース名を「船舶安全 Ship Safety」と改め、2016年から2018年までの第5期コース、そして、2019年から2021年まで第6期コースを実施しました。しかしながら、2020年初頭の新型コロナ緊急事態宣言の発令以後、各国が厳しい水際規制をとる中で研修員を日本に招へいしての対面型研修の実施が困難となり、止む無く、2020年度は通信教育教材の作成、2021年はインターネットによるリモート研修を開催しましたが、2022年度は開催そのものが見送られました。

一方、本年2023年度からは、コース名を「海事行政における検査能力強化を通じた船舶安全の確保」、英名「Strengthening Surveys and Inspections for Ship Safety」と変更し開催することになりました。

本研修は、国土交通省によるご指導のもと、海上保安庁、横浜市港湾局などの行政機関のみならず、多くの事業者の方々のご協力を頂き、実施されております。この場を借りて、ご支援頂いた関係の皆さまに改めてお礼申し上げます。

2023年度は、フィジー（1名）、インドネシア（2名）、フィリピン（2名）、パプアニューギニア（2名）、東チモール（1名）の合計8名の研修員を受け入れました。

各研修員の出身国における事情は様々ですが、研修員は各国の派遣元組織の期待を一身に背負っており、日々の研修でもその熱意が伝わります。

研修期間は、6月6日から8月2日の間で、初日のカントリーレポート（自国の検査制度や海難発生状況等の紹介）、座学6週間、実習および造船所や船用機器メーカー等の関連施設の視察を適宜2週間、最終日のアクションプラン（帰国後、当研修で学んだ知見を活かしての各自の行動計画）の発表を行い、合計2か月間です。

船舶は、国連海洋法条約（UNCLOS）の規定するところ、国籍を定め、当該国（旗国）が制定する国内法令の規定に従うこととされています。

旗国政府は、自国が批准した各種条約の規定に基づき国内法を制定し、登録船舶には、建造時、これら国内法の基準への適合性を確認するため検査を執行し、その適合性が確認された場合、その証拠書類として証書を発給し、就航後は、定期的に法定検査により基準適合性を確認（維持）することが求められます。



研修員と関係者の皆さん（練習船：青雲丸にて）

座学では、主に海上人命安全条約、海洋汚染防止条約、満載喫水線条約、バラスト水管理条約、船員の訓練及び資格証明等に関する国際条約、ILO 海事労働条約等の国際条約と、これらの基準に基づいた新造船及び既存船の安全検査要領（旗国検査）、外国船舶に対する検査（ポートステートコントロール：PSC^{（注1）}）の要領と、条約の適用のない内航船の安全を確保するための諸制度（第4期コースから追加）についても、講義を行っています。

また、本研修は、国際海事機関（IMO）との共催となっており、コロナ禍においては、今や珍しくなくなりましたが、ロンドンのIMO本部とJICA横浜センターをインターネットで結び、リモート講義も行います。IMOが取組む課題や最近のホットなトピックにつき、IMO本部担当職員が、直接、講義を行ない、講義後は質疑応答やディスカッションにより相互交流を深める良い機会になっています。今年度は、特にIMOで構築された既存の人材育成プログラムに焦点をあてて紹介され、将来のプログラム参加を希望する研修員からは積極的な質問が相次ぎました。



かもめプロペラにて

これらの講義の大半は当センター内部講師が担当していますが、国土交通省海事局、関東運輸局、東京MOU事務局^(注2)、日本海事協会、日本海事検定協会等の専門家にもお願いしています。

本研修では、講義の理解度を深めるため工場見学及び実習も実施しています。船舶の安全検査の実習として、今治市の造船所2か所（株式会社山中造船、株式会社矢野造船及び同社関連会社工場）を訪問し、船体及び舵・プロペラシャフト、熱交換器、ウインチ等の製造について、現場実習（見学）を行うとともに、ヤママーエンジニアリング株式会社テクニカルトレーニングスクール（尼崎校・塚口校）において、内燃機関の製造過程、運転、解放検査の実習を行いました。

なお、これらの技術研修に加え、日本の文化にも可能な限り触れることを目的として、実習旅行の合間に今治城と大阪の道頓堀、そして、帰路には、京都の文化遺産（鹿苑寺や三十三間堂）にも立ち寄りしました。

また、横浜市港湾局のご協力により、クルーズ船を利用し、横浜港の歴史、港湾係留施設等の実態について担当者から説明を受けつつ、海上から実地見学をすることが出来ました。

続いて、ポートステートコントロール関連では関東運輸局

の外国船舶監督官が実施するPSC検査に同行して船上実習を行ない、内航船プログラムでは同局船舶検査官とともに海技教育機構所属練習船「青雲丸」にて、機器の取扱いや検査要領の説明を受けました。

さらに、かもめプロペラ株式会社（プロペラ製造：横浜市）、信真造船所（救命艇製造：堺市）、マリン・インターナショナル（救命いかだ整備：横浜市）、兵神機械工業株式会社（油水分離器製造：兵庫県加古郡）、古野電気株式会社（船用電子機器メーカー：西宮市）等、本研修に深く関わりのある事業所や、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所、東京湾海上交通センター（海上保安庁）、海上災害防止センター（横須賀市）での施設見学及び実習も行いました。

当センターの実施する本研修の履修者は、IMO本部を初め各国の海事当局においてさまざまな分野で活躍されており、本研修は各方面から高い評価を受けています。今後も、研修を受講した研修員が学んだ知識と経験を活かし、海上安全の促進に貢献されることを願っています。

（注1）ポートステートコントロール：PSC

寄港国が自国に入港した外国船舶に対し、人命の安全や環境の保全を目的とした立入検査により各種国際条約に基づく基準適合性を確認する制度で、重大な欠陥が確認された場合には出港前にこれを是正させるなど旗国政府の機能を補完するもの。

（注2）東京MOU事務局

（公益財団法人東京エムオウユウ事務局）

欧州地域でのポートステートコントロール（PSC）の協調の実施のため1982年に締結されたParis MoUの成功を踏まえ、アジア太平洋地域においても同様の取り組みを行うべく日本政府が主導して1993年12月に日本を含む18のアジア太平洋地域の海事当局により「アジア太平洋地域におけるPSCに関する覚書」が東京にて締結され、東京MOUと呼ばれている。同覚書に基づき同地域でPSCに関する協力的な取り組みが行われており事務局は東京に置かれている。

（研修・技術支援室 能田 卓二）



2023年度東京MOU

「ポートステートコントロール検査官一般研修 (GTC11)」の実施支援



当センターでは、東京MOU事務局（前項注2）からの委託を受け、PSC検査官の一般研修（General Training Course）の実施支援業務を行っています。本研修は、PSC検査官の能力向上や検査手順の調和を図るため、PSC職員が最低限有すべき知識に関する座学および実船訓練を内容とし、3週間、実施するものです。この度は、8月16日から9月7日までの間、東京MOU域内の14か国（地区）（中国、フィジー、香港（中国）、インドネシア、韓国、マレーシア、パナマ、パプアニューギニア、ペルー、フィリピン、ソロモン諸島、タイ、バヌアツ、ベトナム）と、IMOの技術協力プログラム等を通じて世界中のMOUから派遣された8か国（アンゴラ、トルコ、セントルシア、ケニア、南アフリカ、チュニジア、バーレン及びメキシコ）のPSC検査官に、オブザーバーとして、パリMOUの研修担当者1名を加え、合計23名が参加しました。

各研修員は、事前に、PSC関連条約の規則について、東京MOU事務局が締約国の協力を得て作成したDLP（Distance Learning Program）モジュールによる事前学習プログラムを修了して参加していることから、来日後の対面研修では、可能な限り検査の現場に即した内容にするため、実際のPSC検査で確認（報告）された欠陥事例を紹介し、併せて関係規則やその是正方法等について、講義を行うこととしました。

前半の1週間は、横浜にて、国土交通省の外国船舶監督官、東京MOU事務局および当センター内部講師による講義を行うとともに、救命いかだおよび無線機器の整備認定事業場マリン・インターナショナル（横浜市）での技術視察と本研修への経済的支援

を頂いている（公財）日本財団への表敬訪問、そして、後半の2週間は各地方運輸局に移動し、現地の外国船舶監督官が実施するPSC検査に同行する形で現場実習を行いました。

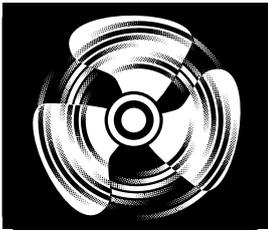


マリンインターナショナル（救命筏SS）にて

また、研修最終日には、研修員より各地方局で実施した現場実習のプレゼンテーションを行うとともに、地方運輸局の外国船舶監督官も交えて、確認した欠陥の内容や是正の方法等について、ディスカッションを行いました。

海上における安全と環境保全のため、サブスタンダード船の撲滅を目的とするPSCの社会的意義は益々高まっており、今後も、当センターは東京MOU事務局及び国土交通省とともに効果的なPSC検査官の研修を実施して行きたいと考えています。本研修を受講されたPSC検査官の益々の活躍が期待されます。

（研修・技術支援室 能田 卓二）



シリーズ キャビテーション試験の解説 (その2)

キャビテーション水槽～観察

1. はじめに

今回はキャビテーションの概要について紹介しました。今回はキャビテーション試験の実施に必要な準備と実際の試験内容について説明します。

2. 試験施設

模型船・プロペラに関する性能の水槽試験は、曳航水槽と呼ばれる長大な水槽が使われます。一方、キャビテーション試験にはキャビテーション水槽と呼ばれる専用の水槽が使われます。キャビテーション水槽は、模型プロペラを設置し、キャビテーション性能を測定および観察するための観測部が上部に配置され、底部には内部の流速を制御するためのインペラが備えられています。回流水槽と同様の構造を持ちますが、特筆すべき特徴は内部の圧力を調整できることです。詳しくは後で述べますが、キャビテーション水槽はプロペラの様々な作動状態を想定し再現するため、内部圧力が制御可能である必要があります。

SRCでは(国研)海上・港湾・航空技術安全研究所 海上技術安全研究所殿の大型キャビテーション水槽(図1)を借用し、試験を実施しています。このキャビテーション水槽は、計測断面が直径750mm、水槽全体の高さは10m以上と国内で最大級のもので、実際に試験をする観測部は図中の丸で囲った部分であり、観測部に対して水槽が非常に大きいと感じられるかもしれません。このような構造になっている目的は、高低差をすることにより、水圧で水槽下部の圧力を大きくすることです。この圧力は、インペラでのキャビテーションの発生抑制や、観測部

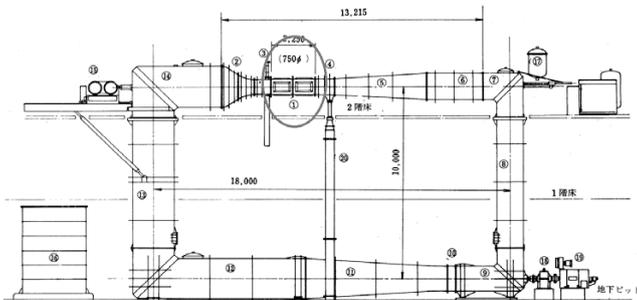


図1 大型キャビテーション水槽

出典(船舶技術研究所報告第14巻第1号研究報告大型キャビテーション試験水槽の建設について)

で発生したキャビテーションの気泡が循環して、計測部に戻ることがないように消滅させたりする望ましい効果があります。観測部での観察や計測がしやすい安定した環境を整えるため、このように高低差のある構造となっています。

3. ワイヤーマッシュスクリーン法

前号のSRC Newsにてプロペラは船体伴流中で作動するため、キャビテーションが様々な様相を呈することを紹介しました。そのため、キャビテーション試験においても、伴流を再現し、その中でプロペラを作動させる必要があります。SRCでは、伴流を再現するために「ワイヤーマッシュスクリーン法」と呼ばれる方法を採用しています。

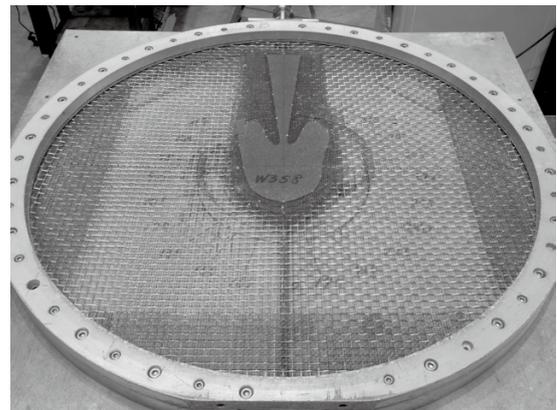


図2 ワイヤーマッシュ (HRC 提供)

この方法は網目の大きさが異なる真鍮網を貼り重ねることで流れを阻害し、流れの速い箇所、遅い箇所を作り出すことにより伴流を模擬した流れを作ります。完成まで真鍮網を切り貼りしては流れ場を計測し、目的の流れ場になるまで微調整を繰り返す試行錯誤の作業となるため、習熟には時間を要します。図2に完成したワイヤーマッシュを示します。SRCでは海上技術安全研究所殿の協力により、ワイヤーマッシュの形状をPC上で作成しCFDで流れ場をシミュレートするシステム(図3)を開発しました。このシステムでは流れ場を完全に再現できていないのですが、実際のワイヤーマッシュの切り貼りに先だっただけのメッシュ初期形状の検討やメッシュ調整の練習に活用しています。

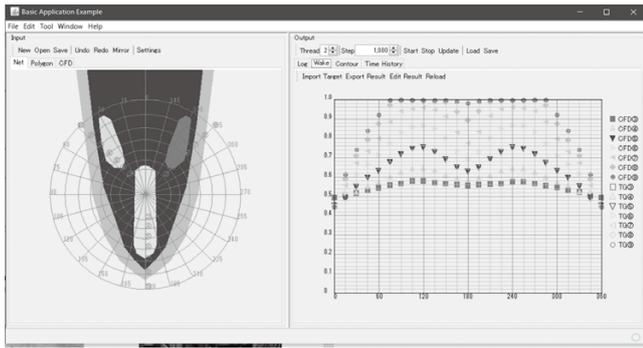


図3 CFDによるワイヤメッシュ伴流推定

4. 水槽水質管理、ラフネス

キャビテーション試験では水槽内の空気含有量が現象に影響を与えます。そのため、空気含有量の値に何かしらの基準を設ける必要があります。空気含有量は多すぎると、減圧時に気泡が析出し過ぎ、キャビテーション観察が難しくなります。一方で少なすぎるとキャビテーションの発生が不安定になり、発生範囲やパターンの特定が困難となります。各試験施設によって値は異なるかと思いますが、SRCでは空気含有量は飽和溶解量に対し33%を標準として試験を実施し、空気含有量の違いによるキャビテーションへの影響を抑えています。

また、SRCではキャビテーションの安定化のため、プロペラにラフネス(粗度)を付けています(図4)。ラフネスにはカーボランダム(研磨用として市販の炭化ケイ素粒子)の150番を使用し、前縁に一定のルールに基づいて塗布しています。これによりプロペラ表面流れの乱流促進およびキャビテーション安定化の両方を図っています。

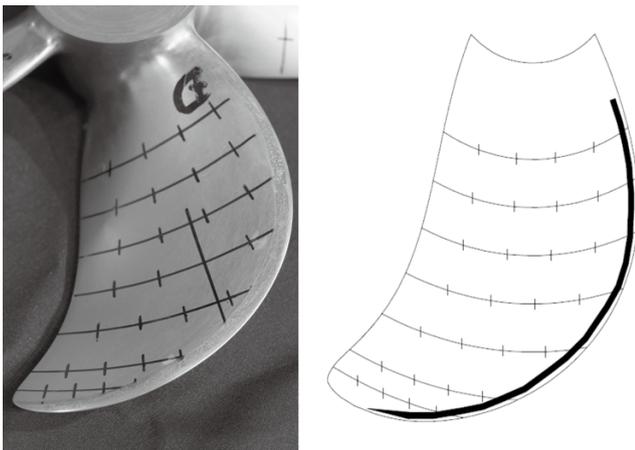


図4 (左) ラフネスを塗布したプロペラ翼 (HRC提供)
(右) ラフネス塗布範囲の模式図

5. キャビテーション試験

以上のように伴流分布の準備、水槽水の環境を整えた状態でキャビテーション試験を実施します。試験の際は、プロペラのスラスト係数およびキャビテーション数を実機相当に合わせます。ここで、スラスト係数が同じということはプロペラ翼面上の圧力分布が同じ、キャビテーション数が同じということはキャビテーションの発生のしやすさが同じ、という意味を持ちます。キャビテーション数は、細かい数式は割愛しますが次の関係で表されるパラメータです。

$$\text{キャビテーション数} = ((\text{静圧}) - (\text{蒸気圧})) / (\text{動圧})$$

蒸気圧は水温によって決まるので、実機で考えればキャビテーション数は(静圧)プロペラ没水深度と、(動圧)プロペラの回転速度の比で表されます。一方、模型試験ではプロペラ回転数は調整できますが、没水深度は変更できません。その代わりに水槽内の圧力を調整することでキャビテーション数を合わせます。先述のキャビテーション水槽に圧力調整機能が必要であるのはこのためです。また、スラスト係数は水槽内流速によって合わせます、こうしてスラスト係数とキャビテーション数を実機に合わせた状態で種々の試験を実施します。

●キャビテーション観察

模型プロペラは、実際のプロペラの作動条件に合わせるために18～30回転/秒という高速で回転しています。この速さでは、肉眼で直接観察することはできません。しかし、ストロボスコープ(以下、ストロボ)を使用することで、観察が可能になります。

ストロボをプロペラの回転に合わせて発光させることにより、錯覚を利用してプロペラが回転していないかのように見ることが出来ます(図5)。さらに、発光のタイミングを調整することで、プロペラがゆっくり回転しているかのように見せることもできます。

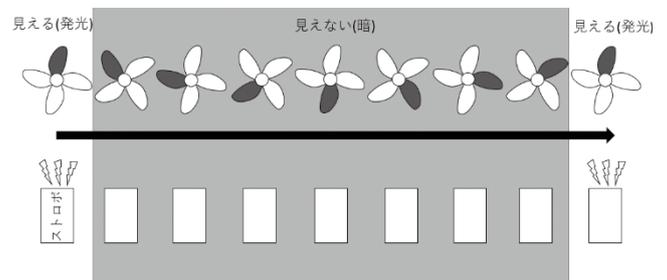


図5 ストロボによる観察の仕組み

(色がついたプロペラ翼が0時の角度の時のみストロボが発光するとその角度でプロペラが止まって見える)

ストロボにより、目視でキャビテーションパターンとその発生範囲の観察が可能となりました。観察ではまず、プロペラ翼がどの位置にある時にどのようなキャビテーションが発生しているかを確認します。また、プロペラ翼の観察位置を固定して、その位置におけるキャビテーションの平均的な発生範囲と最大の発生範囲をスケッチします(図6)。スケッチは観察者の手作業によりますが、ストロボとカメラを同期させることにより、キャビテーション現象の瞬間的な記録をとることが可能です。一方で写真では、突発的な現象は撮影時になかなかとらえられません。このような場合はスケッチが役立ちます。

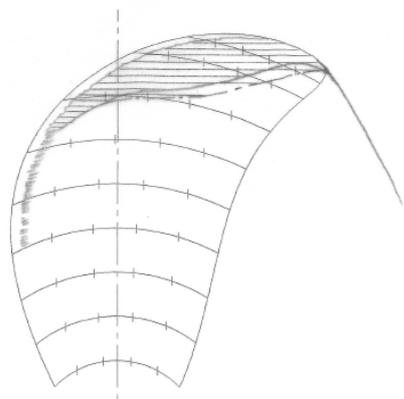


図6 キャビテーションのスケッチの例

●高速ビデオ撮影

ストロボを利用したキャビテーション観察は各瞬間のパターンの記録です。キャビテーションの発達・消滅を詳細に分析するには連続的な変化をとらえるのが一番です。

このためにSRCでは、高速ビデオ(HSV:High Speed Video)を使用して、毎秒10,000コマの解像度の動画で観察を行います。HSVによりストロボでは観察ができなかった、プロペラが回転する間のキャビテーションの連続的な変化を観察し、急激な成長や、プロペラ翼にダメージを与えるような崩壊はしていないか等の確認をします。さらに、今年度、SRCではHSVを更新し、以前よりも現象をより鮮明に撮影できるようになりました。ぜひご依頼いただき、ご確認ください。

●フェイス・キャビテーション観察

キャビテーションは通常、プロペラバック面(プロペラが船に取り付けられている時、船側をバック面、舵側をフェイス面と呼びます)に発生しますが、作動条件によってはフェイス面に発生することがあります。これはフェイス・キャビテーションと呼ばれ、エロージョンのリスクがあると考えられています。

そのため、試験ではフェイス・キャビテーションの有無を確認し、発生していなければどのような条件でフェイス・キャビ

テーションが発生するかを確認します。具体的にはキャビテーション数は一定にしたまま、流速を上げる(スラスト係数を下げる)ことにより、プロペラ断面に流入する角度を減少させます。それにより強制的にフェイス・キャビテーションを発生させ、スラスト係数がどの程度下がった時にフェイス・キャビテーションが発生するかを知ることにより、発生までの余裕(マージン)を確認します。

6. まとめ

今回は試験施設やキャビテーション試験の準備、観察について説明しました。試験内容については本稿だけでは足りないため、変動圧力計測やエロージョンのリスクを評価するペイント試験等については次回紹介させていただきます。

(試験センター技術部計測課 滝口 祥大)

当センターは、11月16日(木)広島市内において、「令和5年度 一般財団法人 日本造船技術センター 技術セミナー」を開催し、全国各地の造船会社、船用機器メーカー、海運会社などから、100人を超える方々にご参加頂きました。

本年のセミナーでは、外部講師の方々に以下のおりご講演いただきました。また、当センターからは、SRCの船舶技術支援の最新動向についてご紹介致しました。

(1) 国際海運のGHG排出削減に係るIMO等の動向 ～ GHG排出削減規制等の動向と海事産業への影響～

国土交通省 海事局 海洋・環境政策課 環境渉外室長 …………… 塩入 隆志

(2) カーボンニュートラル/ゼロエミッションに向けた技術開発 ～中高速4ストロークエンジンへの新燃料適用～

ヤンマーパワーテクノロジー株式会社 特機事業部 開発部 中形エンジン技術部 専任課長 …………… 小林 悠樹

(3) カーボンニュートラル社会実現に向けたトヨタの水素・燃料電池の取り組み ～水素で未来を変えていこう～

トヨタ自動車株式会社 水素ファクトリー

水素製品開発部 水素製品開発室 ユニット・システム外販グループ長/担当部長 …………… 日置 健太郎

(4) 船舶IoTコネクテッドベッセル ～デジタルツインプラットフォームとアプリケーション～

JRCS株式会社 執行役員/Chief Digital Officer …………… 空 篤司

(5) 自動運航船の実現に向けて ～航海機器メーカーの取り組み～

古野電気株式会社 船用機器事業部 開発統括部 自律航行システム開発部 市場開発室長 …………… 荻野 市也

4年ぶりの開催にもかかわらず多くの方にご参加頂き、参加者の皆様方におかれましては講演に熱心に耳を傾け、質疑応答にも積極的にご参加頂き、盛況裡にセミナーを終了することができましたこと感謝申し上げます。更に、本セミナーの開催にあたり、ご多忙中にもかかわらず、ご講演頂きました講師の皆様方、そして、ご協力を賜りました中国運輸局殿に心より感謝申し上げます。

(企画室 平川 貴光)



委員会等の記録

第33回理事会(通常)	2023年 6月 6日
第22回評議員会(定時)	2023年 6月21日
第34回理事会(臨時)	2023年 6月21日
第162回HRC	2023年 7月13日
第6期第7回SPCG (Basic Group)	2023年 7月14日
第6期第5回SPCG (Advanced Group)	2023年 7月14日
第163回HRC	2023年10月 3日
第6期第8回SPCG (Basic Group)	2023年10月11日

※HRC:Hull form Research Committee

SPCG:Ship Performance Calculation Group

編集後記

TOPICSにもありますように、コロナ禍で令和2年から中止を余儀なくされていたSRC技術セミナーですが、4年ぶりに広島で開催することができました。今ではweb会議が普通になりましたが、対面での会議が復活してくると、やはり皆様と直接お話しできることの大切さや有難さをあらためて感じます。

今後ともweb会議は一定の役割を担い、活用され、ある組織にとっては、既に日常の業務として同化しているとも思います。SRCとしては、web会議の利便性を活用しながらも、皆様との直接的なコミュニケーションも大事にしていきたいと考えています。

来年のSRC技術セミナーにもぜひ皆様にお越しいただき、直接お話しできることを楽しみにしております。



Shipbuilding Research Centre of Japan
一般財団法人 日本造船技術センター

<https://www.srcj.or.jp/>