

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420833

研究課題名(和文) 流体-構造連成解析システムを用いた船用高揚力複合帆の解析法の開発

研究課題名(英文) Development of analytical method on high-lift composite sail by using fluid-structure interaction system

研究代表者

高見 朋希 (Takami, Tomoki)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：50586683

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではレイノルズ平均ナビエストークス方程式法CFD (RANS-CFD)と非線形有限要素法(NL-FEM)の連成システムを提案し、船用高揚力複合帆の軟帆変形を考慮した性能評価法を構築した。同時に、軟帆の変形計測手法として画像解析法による3次元形状復元手法を適用し、縮尺模型を用いた風洞試験により、その計測精度検証を行った。単体帆については、開発した連成システムにより流体力及び弾性変形に関して精度の良い推定結果を得ることが確認でき、さらに複合帆の模型試験により、複数帆問題への適用についての課題点も明確にされた。

研究成果の概要(英文)：A coupling system composed of the Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)-based CFD and non-linear FEM is proposed to establish an evaluation method on the performance of high-lift composite sails accounting for the elastic deformation of the soft sail. Besides, a three dimensional shape reproducing method by using the imagery analysis method is adopted in measuring the deformation of the soft sail, while it is validated by comparing with the wind-tunnel experiment with a scaled sail model. It turned out that the developed coupling system is able to estimate the hydrodynamic forces and the elastic deformation with a good accuracy. Further tasks regarding its application to the multi-sail are also turned out through the wind-tunnel test with a multi-sail model.

研究分野：船体構造力学

キーワード：流体構造連成 高揚力複合帆 画像解析法

1. 研究開始当初の背景

近年環境負荷の低減、とりわけ地球温暖化ガス排出量の削減を目的として、次世代型帆装船の研究開発が進められている。これに伴い、優れた推進性能を有する船用高揚力複合帆の設計が要求され、その技術開発も実施されている。翼型硬帆・スラット・軟帆を併せ持つ船用高揚力帆は軟帆部が風力により変形した状態(フライングシェープ)で推進性能を有する。この船用高揚力帆の性能評価法としては、模型を用いた風洞実験が有効な手段であるが、模型製作や実験実施の金銭的・時間的コストは大きく、また高性能かつ強度上安全な最適な高揚力帆の設計は困難である。セーリングヨットに用いられる帆の性能評価には、広くポテンシャル法 CFD (PF-CFD) と有限要素法 (FEM) を連成させた計算手法が開発されているが、PF-CFD では風下帆走時やアビーム帆走(風に向かって直角に帆走)時等で起こる大迎角時の剥離流の計算精度が低いため、計算結果にも難点があるとされている。船用高揚力帆に上記手法を適用する場合、帆の変形を考慮すると同時に、全方位で正確に流場を計算するための流体粘性影響を考慮した評価法の確立が必須である。

2. 研究の目的

本研究ではレイノルズ平均ナビエストークス方程式法 CFD (RANS-CFD) と幾何学的非線形性を考慮した非線形有限要素法 (NL-FEM) をネットワーク透過型で自動制御が可能なシステムを提案する。オートメシヤには海上技術安全研究所で開発した重合格子生成・重合情報計算法 GTOOL (Version 1) を用い、RANS-CFD 法に同研究所で開発したマルチブロック・重合格子対応型 CFD (NAGISA V.β) を用いることにより、実機搭載を視野に入れた場合に発生する複数帆配置問題に対応可能なシステムを構築する。一方で、開発するシステムは、システムのインターフェースの改良による解析精度・安定性の向上が必要であるため、風洞試験による帆の変形量の検証を行う必要がある。高揚力帆の変形量測定には一般的にレーザースキャナを用いた 3D 計測が有効であるが、本研究ではデジタルカメラにより撮影した数枚の画像から 3D 形状を復元する手法を風洞試験に適用し、安価かつ簡易な帆の変形量計測を可能とする。

3. 研究の方法

本研究の実施方法は、大別して以下の 3 点である。

① 連成解析システムの構築

連成解析システムは、帆の CAD データを元に GT.V1 を用いてメッシュを作成し、CFD メッシュと FE メッシュに同じメッシュを用いて NAGISA 計算と NL-FEM 計算を繰り返し実行する。一方でメッシュのアスペクト比が大き

い場合は FE 解析の精度が落ちるため、NAGISA 及び FEM 計算それぞれに最適なメッシュを用いるように構築する必要がある。開発するシステムは変形前の帆の FE メッシュデータをあらかじめ用意しておくことで、Nagisa 計算後の CFD 格子のリメッシュ及び荷重の再分配を可能とする。変形した帆の FE メッシュデータは保存しておき、次の FE 解析前のリメッシュに適用する。また、FE 解析後の CFD メッシュの再生成は、FE 解析前の CFD メッシュと FE メッシュの相関関係を自動的に記録させておくことで可能とさせる。

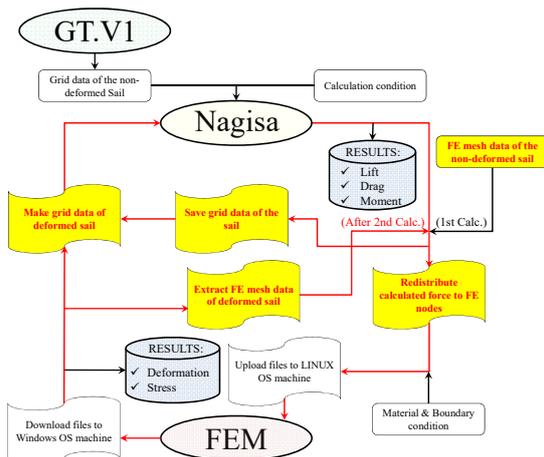


図1 開発する連成解析システム

② 高揚力複合帆の風洞試験の実施

海上技術安全研究所の変動風水洞において、高揚力複合帆模型の風洞試験を行う。軟帆の材料にはナイロンを使用し、風力による変形、変形による流体変化を計測する。風洞試験における変形の計測方法は、後述する SFM 及び MVS のための写真群撮影、及び比較として 3D スキャナによる形状計測を行う。また、最終年度には複数帆模型の風洞試験も実施する。

③ 画像解析法の検証と連成解析システムの検証

②の風洞試験結果と比較することで、開発した連成解析システムの検証・計算パラメータの精査を行う。画像解析法としては、画像群からカメラ位置の逆推定を行って特徴点の抽出を行う Structure from Motion (SFM) 法、及び得られたカメラ位置等のパラメータから高密度の点群を生成する手法である Patch-based Multi View Stereo (PMVS) 法を用いた。SFM/PMVS の実行はフリーソフトウェアである VisualSFM を使用し、点群データを取得後はポスト処理として不要な点群データを削除し、軟帆部だけの点群データを抽出した。図 2 に全計測方法についての全体フローを示す。

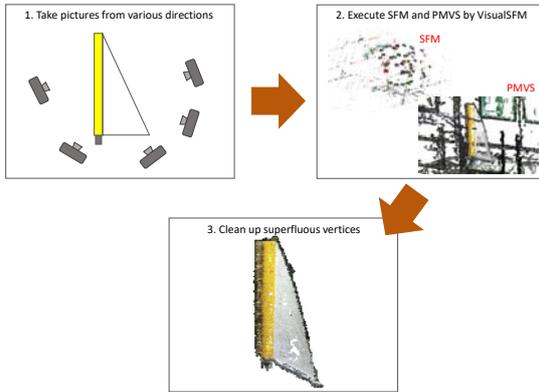


図2 画像解析法による3次元形状復元ワークフロー

4. 研究成果

(1) SFM/PMVS法の検証結果

3D スキャナと SFM/PMVS による軟帆の変形計測結果を比較した。図3に両者の面外変形コンター図を示す。3D スキャナは範囲誤差±2mm の性能のものを用いており、変形計測精度は高いことが予想される。図3(b)より、SFM/PMVS による計測結果も3D スキャナとほぼ同精度を有していることが確認できる。このことから、本手法により、従来の3D スキャナやレーザー計測法と比較して十分な精度を有する一方で、計測に要する工数及び必要機器の調達コストの削減が見込まれる。

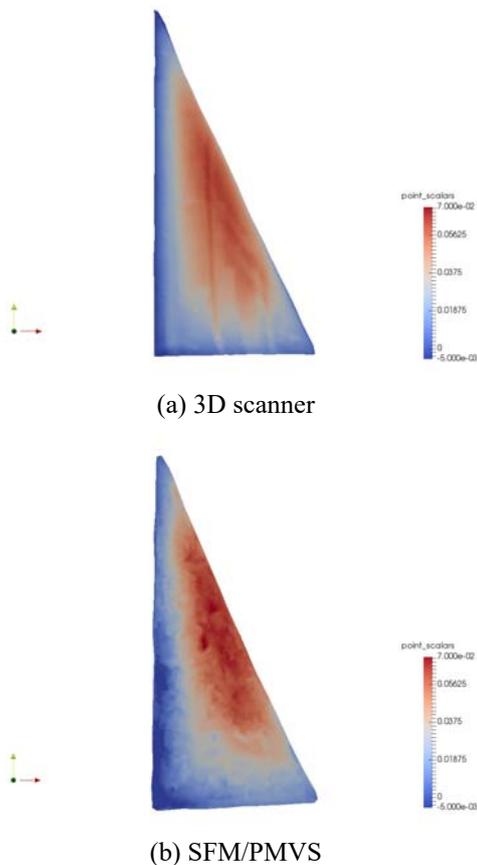


図3 三角帆の変形計測結果

(2) 連成解析システムの検証結果

図4に揚力係数CL及び抗力係数CDの風洞試験結果との比較を、変形前のCFD計算結果 ($_{initial}$)、SFM/PMVSをフィードバックしたCFD計算結果 ($_{SFM/PMVS}$)、及び連成解析システムによる計算結果 ($_{FSI}$) について示す。図4より、揚力係数CLについて着目すると、 CD_{FSI} 、 $CD_{SFM/PMVS}$ の値と $CD_{initial}$ の値に変化が現れており、空力弾性影響が大きく現れていることが確認できる。また、変形を考慮していない場合のCFD計算結果は風洞試験結果と比較して低い値を算出している一方で、SFM/PMVS計測結果をフィードバックして軟帆変形を考慮したCFD解析結果は実験値に近い値を示していると同時に、CFD-FEM連成計算もSFM/PMVSのフィードバック結果と同程度の値を算出できることが確認された。

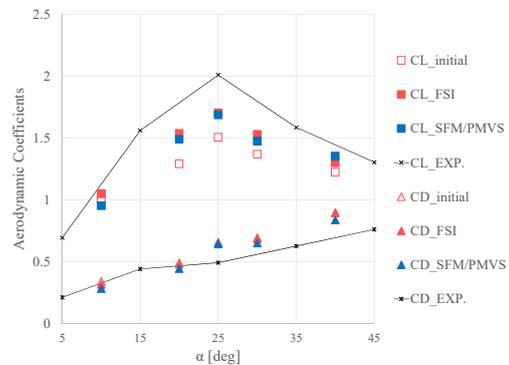
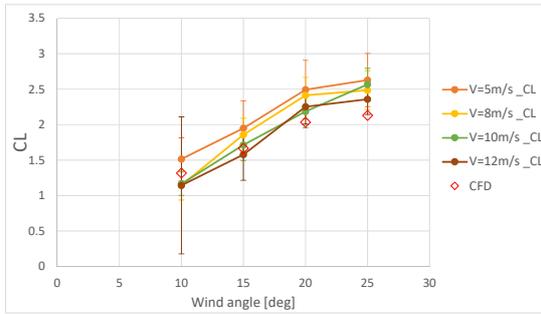


図4 空力係数の比較

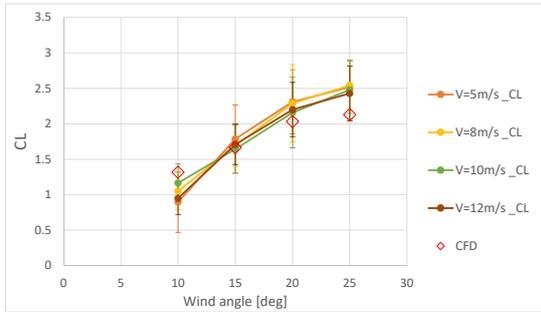
(1) 及び(2)より、本研究で提案する計測手法(SFM/PMVS)及び連成解析システムの有効性が示された。

(3) 複数帆模型の風洞試験

実船搭載を想定し、2機の三角帆を有する高揚力帆試験体の風洞試験を行い、空力係数を計測した。図5には計測結果とCFDによる推定値をプロットしている。図5中、Dは2機の帆の間隔、Lは帆の高さである。図5より、 $D/L=0.6$ の場合には風速による空力係数の変化は小さいが、帆の間隔の狭い $D/L=0.3$ の場合には空力係数の風速依存性が高く、また分散値も大きくなっている。これは風速が上がるにつれて、または帆の間隔が近くなるにつれて干渉影響が大きくなり、レイノルズ相似則の範囲内では推定が困難な領域が現れることを示している。また、分散値の上昇は帆の非定常な変形現象(Flapping)によるものである。実船搭載に向けてはこれらの影響を定量的に評価し、予測することが課題点であると考えられる。



(a) D/L=0.3



(b) D/L=0.6

図5 空力係数の比較 (複数帆)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

①高見朋希、藤本修平、田原裕介、瀧本忠教：帆走システムに関する流体構造連成解析法の開発 (第2報：風洞試験)、日本船舶海洋工学会講演会論文集第18号、2014

②高見朋希、藤本修平、田原裕介：画像解析法を用いた高揚力複合帆の計測と空力弾性影響に関する研究日本船舶海洋工学会講演会論文集第23号、2016

③高見朋希、藤本修平、田原裕介：画像解析法を用いた高揚力複合帆の計測と空力弾性評価、第17回海上技術安全研究所研究発表会講演集、2017 (予定)

[その他]

プログラム登録：1件

機関：一般財団法人 ソフトウェア情報センター

著作物の題号：流体構造連成評価のためのNAGISA~LS-DYNA 連成プログラム (Ver. 1：高揚力複合帆)

登録の目的：創作年月日の登録

登録番号：P第10547号-1

登録年月日：平成27年11月27日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高見 朋希 (TAKAMI TOMOKI)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：50586683

(2) 研究分担者

田原 裕介 (TAHARA YUSUKE)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：10264805

瀧本 忠教 (TAKIMOTO TADANORI)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：20466238

藤本 修平 (FUJIMOTO SYUHEI)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：80586686