

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：82627

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14516

研究課題名(和文) 船底汚損スマートメンテナンスのための基盤技術の確立

研究課題名(英文) Development of detection method for hull biofouling by ultrasonic

研究代表者

藤本 修平 (Fujimoto, Shuhei)

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：フジツボ等が船体に付着して移動し本来の生息地から離れた場所で剥落する「生物越境」が問題視されている。こうした問題を未然に防ぐため、船体内部から生物付着を検知する手法の開発を目的とした。9mm厚の鋼板を実海域に1カ月程度浸漬し、フジツボを表面に付着させた試験片を作成した。試験片のフジツボが付着していない面から付着面に向けて超音波を照射し、反射エコーの変化によりフジツボ付着の有無を判定する手法を検討した。検討の結果、反射エコーの増大に着目することでフジツボ付着を検知する方法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Biofouling on ship's hull causes increase of frictional resistance and fuel cost. In addition the fouling on ship's hull may cause cross-border transfer of alien organism. To avoid such consequences, simple and low cost inspection technique to quantify the fouling is needed. We conducted feasibility study on detection method for adhesion of marine organisms such as barnacle by using ultrasonic testing. A test piece was prepared by immersion in actual seawater. Adhesion of barnacle was detected by increase of ultrasonic echo. We concluded that the monitoring system might be feasible.

研究分野：応用力学

キーワード：生物付着 フジツボ 超音波 エコー 保守管理 スマートメンテナンス

1. 研究開始当初の背景

船体表面にフジツボ等の海洋生物が付着すると船体抵抗が著しく増大する(渡辺, 関西造船協会誌, 1969; Schultz, Biofouling, 2000; Weinell, Biofouling, 2013). 船体の抵抗増加は運航上きわめて大きな問題であるため, これまでに多くの基礎研究が行われてきた. 例えば, 最近では付着生物による乱流境界層の変化の計測(Walker, Exp. Fluids, 2013)が行われ, 抵抗増大のメカニズムの解明が進んでいる.

また, 報告者らも実際の船底観測から着想を得て船体各部位ごとの生物の付着しやすさ/しにくさに着目し, モデル実験により周囲の流れが生物付着に及ぼす影響について, 科研費の助成(挑戦的萌芽研究 26630462)を受けて基礎的な研究を実施してきた.

一方で, 実際の船舶のメンテナンス現場に目を向けると, これらの基礎研究から得られた知見はほとんど活かされていないことがわかる. その要因は, 船底の生物付着状況をモニタリングする適切な方法が存在しない点にあると報告者は考えた.

現状, 船底への生物付着に関するメンテナンスは, もっぱら規則で定められた一定期間ごとの定期入渠(ドック入り)の際に行われる. 従って, 通常, ドック入り期間以外には船底への生物付着状況が観測できない(ダイバーによる船底観測等は可能ではあるが, コストも高く潜水作業に伴う制限等も多いため, 頻繁な観測は現実的ではない). 船底には生物の付着を防止するための「防汚塗料」が塗装されるが, その効力は時間経過とともに減少していく. その減少の割合は, 船の航行海域(海水温や海中のプランクトン量等)や停泊日数等, 航行状況に強い影響を受ける.

実際に報告者も停泊期間が当初想定よりも長期化したため入渠時にフジツボが大量に付着していた事例に立ち会った経験を有し, 本研究の着想につながる問題意識を持つに至った.

2. 研究の目的

本研究の目的は, 前節で述べたメンテナンスの不備を回避するための比較的簡易かつ安価なシステムとして, 船舶内壁面に超音波プローブを設置して超音波エコーの変化により外壁面への生物付着を検知する手法の確立を目指し, その基盤となる技術を開発することである.

具体的には, 3次元形状計測等により(1)生物付着度を定量的に評価した上で, (2)生物付着による超音波エコーの変化を解明し, (3)超音波センサを利用した生物付着検知システムの試設計を行う.

図1は本研究が目指す超音波による生物付着検出技術の概念図である. 船体内部から外部に向けて超音波を照射し, 船体外表面からの反射エコーの解析により生物付着の有無を判定する. 本研究では, 代表的な付着生物としてフジツボを対象として計測を行った.

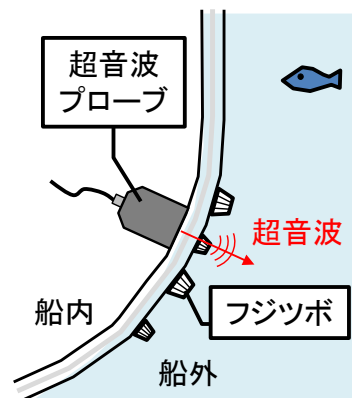


図1 超音波による生物付着検出

3. 研究の方法

まず超音波計測用の試験片を作成した. 試験片には, 高さ 200 mm, 幅 190 mm, 板厚 9 mm の一般構造用鋼 (SS400) を用いた(図 2 (a)). 浸漬時には試験片を海中で吊り下げて保持するためφ8 mm の穴を4隅に開けた. また, 試験片の上下左右の位置を特定するため, 4つの角のうちの1つに切り欠きを設けた. 上述の寸法・形状の鋼片の両面にスチールショットによるブラスト処理を施して素地グレード Sa2.5 程度に調整した後, 防食塗料(NKM コーティングス エポマリン AC (M)) をスプレー塗装し試験片を作成した. 塗装膜厚は 250 μm (125 μm を 2 回塗り) とした.

また, 試験片の片面は, 超音波プローブを接触させて計測するためフジツボ等の付着を防止する必要がある. そこで, 浸漬時には図 2 (b)に示す様に試験片の片面にプラスチック板(塩化ビニル)を貼付し, 引き揚げ後にプラスチック板を取り外すことで超音波計測用の生物が付着していない面を確保した. 試験片とプラスチック板の接着は, 防水性ならびに容易に除去できることを考慮し, コーキング材を塗布することにより実施した.

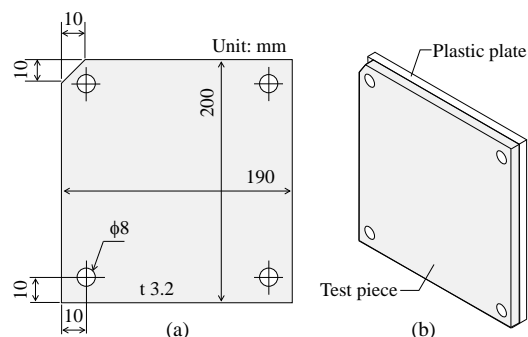


図2 試験片の寸法

作成した試験片を用いて実海域での浸漬(海水中に長時間浸漬し, 試験片に生物を付着させる)を実施した. 2017年6月26日-7月25日の約29日間, 館山港(千葉県館山市)

内において海水中に試験片を浸漬した後に引き揚げ、回収した。図 3(a)に示すように試験片を架台に取り付け、架台ごと海水中に浸漬した。図 3(b)に浸漬後の試験片の外観を示す。浸漬により、試験片表面に多数のサンカクフジツボが付着した。フジツボ付着後、試験片を引き揚げて（接着に使用した）コーキング材を除去しプラスチック板を取り除いて超音波計測用の試験片とした。

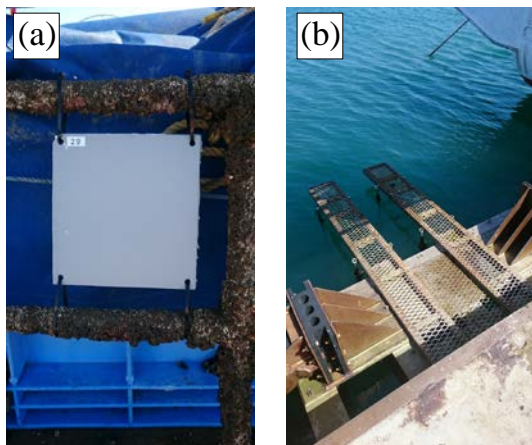


図 3 浸漬試験の方法

なお、2016 年にも浸漬試験を実施して試験片を作成したが、その際は浸漬期間が 2 ヶ月程度（浸漬期間：2016 年 4 月 26 日 - 6 月 28 日の 63 日間）と長かったため、試験片のほぼ全面にフジツボが付着した。図 4 の (a) が 2016 年に作成した試験片の外観、(b) が 2017 年に作成した試験片の外観である。図 4 (a) の様に全面にフジツボが付着した状態よりも (b) の様にまばらに付着した状態の方が超音波による計測の検討がしやすい（まばらな状態の方が、フジツボが付着している箇所／付着していない箇所が明確であるため、計測点を選びやすい）。このため、超音波計測では 2017 年に作成した図 4 (b) の試験片を主に用いた。

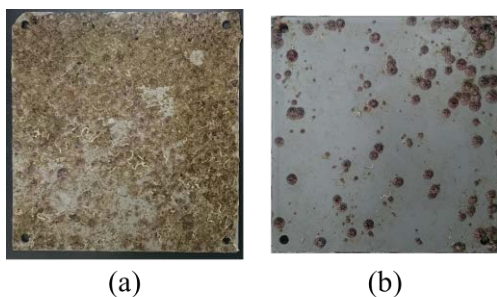


図 4 浸漬時期・期間の差異によるフジツボ付着程度の変化

以上の手順で作成したフジツボ付着試験片を実験室に持ち帰り、フジツボの個数・大きさ（フジツボ底板の大きさ）の測定や 3 次

元形状計測を実施した。フジツボの個数・大きさは試験片を撮影した画像を専用ソフトで解析することにより、3 次元形状はパターン投影法（+画像解析）による形状計測装置によりそれぞれ実施した。

作成した試験片を完全に没水させた状態で計測する「水浸探傷」を用いた（図 5）。図 6 が計測システムの概要である。水浸探傷用の超音波プローブ（Panametrics 製 縦波 5 MHz）を用い、反射エコーの波形をパルサーレシーバ（JSR DPR300）からデジタルオシロスコープ（Iwatsu Waverunner）を介してノートパソコンに取り込んだ。航行中の船体内部からの計測を想定し、試験片の生物が付着した面を水面に接触させた状態で計測を行うため、上記の通りに水浸探傷を採用した。

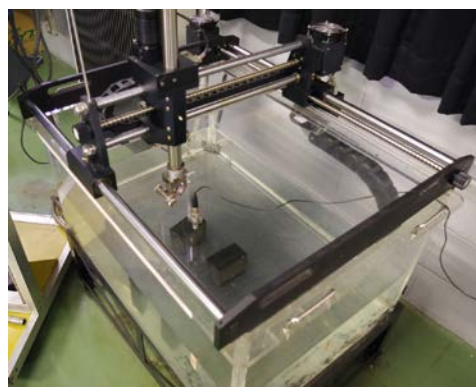


図 5 水浸探傷装置の外観

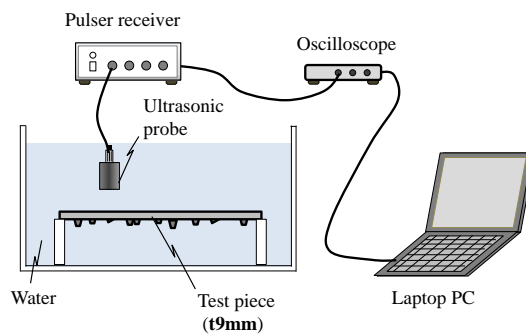


図 6 計測システムの概要

4. 研究成果

図 7 に超音波エコーの計測結果の一例を示す。図 7 (a), (b) はそれぞれフジツボ付着箇所、非付着箇所で計測した超音波エコーである。グラフの横軸は時間軸（単位：ns）、縦軸は電圧（単位：mV）である。グラフ中の破線で囲んだ領域が試験片裏面（フジツボが付着している面）からの反射エコーを表す。フジツボ付着の有無により、この裏面からのエコーに差異が生じると考えた。図 8 は試験片裏面からのエコーを拡大したものである。フジツボあり（赤線）とフジツボなし（青線）を比較すると、初期には双方のエコーがほぼ同一の強度であるが、ある時刻以降はエコーの強

度および位相に差が生じている。

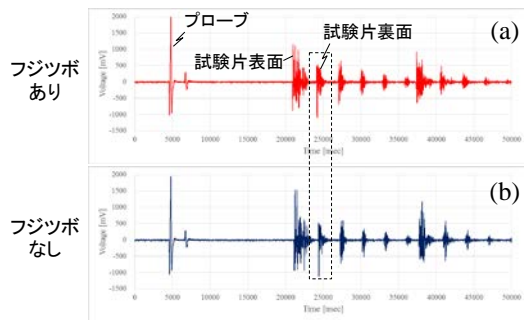


図7 超音波エコーの計測結果例

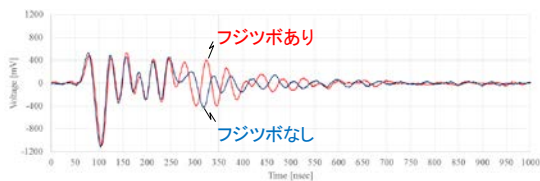


図8 フジツボ付着の有無によるエコー変化

図8に示したフジツボ付着の有無によるエコーの強度および位相の変化の原因として図9の様なモデルを考えた。超音波は異なる物質の境界面で反射する。図9の上はフジツボ付着時のモデルであり、超音波の反射が発生する境界面は、鋼-塗膜、塗膜-フジツボ、フジツボ-水の3つである。一方、フジツボが付着していない場合の境界面は、鋼-塗膜、塗膜-水の2つである。つまり、フジツボが付着することにより超音波を反射する境界面が1つ増える。このためにエコーの強度が変化（フジツボ付着で境界面が増えるため、返ってくるエコーが増加）し、位相もずれたものとする。例えば、図8の2つのエコー強度について（絶対値の）積分値を算出すると、フジツボ付着時は非付着時よりもその値が増大する。新造時等のフジツボが付着していない状態でのエコーを計測しておき、同一箇所定期的に同様の計測を行って前記積分値を算出し、その値の増大が認められたときフジツボが付着していると判定する、といった手法が考えられる。

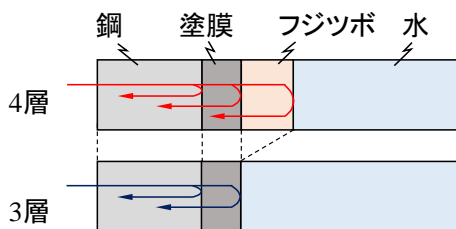


図9 超音波反射のモデル

以上の実験室内での検討に加え、実船内での超音波計測も試みた。ドック入り直前の船

舶内に計測機器一式を持ち込み、エンジンルームの壁面に超音波プローブを押し当ててエコーを計測した(図10)。今回計測した船舶においては船体外板にはほとんど生物が付着しておらず、実船舶での超音波による生物付着計測の妥当性の確認はできなかった。一方で、船体外表面からの反射エコーが明確に計測されたことから、実船舶においても本手法が適用できると考える。

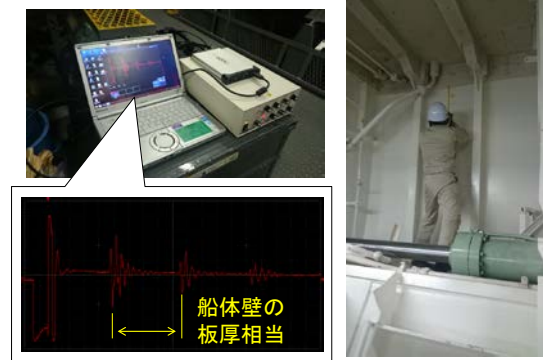


図10 実船での超音波計測

上述の実船計測時の機器構成を基に、計測システムの試設計を実施した。主要な機器はパルサーレシーバ、USB オシロスコープ、ノート PC、超音波探触子、BNC ケーブルであり、これら一式の購入を考慮して実船での計測システムは約 140 万円程度で構築できる。

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)

[雑誌論文] (計 件)

[学会発表] (計 4 件)

(1) 藤本修平, 亀山道弘, 宮田修, 金川哲也, 島田道男, 「超音波による船体付着生物検出システムの基礎検討」, 日本機械学会 関東支部第 23 期講演会, 2017 年 3 月 17 日, 東京理科大学 (東京都葛飾区)。

(2) 藤本修平, 亀山道弘, 宮田修, 金川哲也, 島田道男, 「超音波エコー解析による鋼板へのフジツボ付着の検出」, 日本機械学会 2017 年度年次大会, 2017 年 9 月 5 日, 埼玉大学 (埼玉県さいたま市)。

(3) 藤本修平, 亀山道弘, 宮田修, 島田道男, 金川哲也, 「超音波エコーによる船体へのフジツボ付着検知技術の検討」, 日本非破壊検査協会 第 25 回超音波による非破壊評価シンポジウム, 2018 年 1 月 25 日, 東京都立産業技術研究センター (東京都江東区)。

(4) 藤本修平, 亀山道弘, 谷口智之, 島田道男, 「振動センサによる船体付着生物モニタ

リングシステムの基礎検討」, 日本機械学会
関東支部第 24 期講演会, 2018 年 3 月 18 日,
電気通信大学 (東京都調布市).

(4) 研究協力者
()

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 修平 (FUJIMOTO Shuhei)

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

(2) 研究分担者

亀山 道弘 (KAMEYAMA Michihiro)

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 : 40373427

宮田 修 (MIYATA Osamu)

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 : 10450678

金川 哲也 (KANAGAWA Tetsuya)

筑波大学・システム情報工学研究科・助教
研究者番号 : 80726307

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :