

オッター式底曳トロール漁具の設計と制御に関する研究

著者	尤 ?星
学位名	博士(海洋科学)
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2020
学位授与番号	12614博甲第561号
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00002002/

博士学位論文要約
Summary

専攻 Major	応用生命科学専攻	氏名 Name	尤 鑫星
論文題目 Title	オッター式底曳トロール漁具の設計と制御に関する研究		

海面漁業における重要な漁業種の一つである底曳網漁業は、これまで日本国内外において沿岸から遠洋まで広く利用されてきた。しかし、国や地域による多様な漁獲対象種や漁場環境に応じた省力、省エネルギー的な漁具と漁獲技術の研究が充分に行われたとは言えない。特に、近年ではオッターボードを開口装置として用いられるオッター式底曳トロール網漁業について、漁具（オッターボード）と海底との接触による海底環境への影響が世界的に注目されており、漁具の軽量化や海底との非接触化の技術開発が望まれている。このような背景において、本研究では、オッター式底曳トロール漁具を対象として取り上げ、小型で取り扱いやすい高揚力オッターボードと低抵抗型トロール網の開発を行い、トロール漁具が海底を擦る面積をできる限り減らす—「漁具と海底との接触面積の低減」、海底を圧す力を減少させる—「漁具の軽量化」の技術開発を行うとともに、漁業者の経験と勘に頼ってきた従来の底曳トロール操業に、海底環境を保全する目的で AI 技術を活用したオッターボードの海底との非接触制御の実現を目指して、ワープ張力による漁場底質の識別手法および曳網中のオッターボードの姿勢推定法を構築した。さらに、ワープの出し入れを行うウィンチ速度をファジィ制御するコンピュータシミュレーションを実施し、底曳トロール網操業におけるオッターボードの海底との非接触制御に関する一連の基礎研究を行った。

1. 高揚力オッターボードの形状最適化と性能試験

これまでの研究で縦横比 1.0 の正方形高揚力オッターボード (HLTD: Hyper-Lift Trawl Door) および縦横比 0.5 の補助翼付き横型高揚力オッターボード (S-HLTD) が開発され、優れた拵網性能を有することが現場試験で実証されている。

る。ここでは、これらのオッターボードの特徴を活かしつつ、高揚力かつ高揚抗比が得られるオッターボードを設計するための形状最適化手法を提案した。まず、オッターボードの断面二次元形状をベジエ曲線による五つの座標で表現し、実験計画法に基づいて設計した縦横比 2.0 で反り比が 10-20%の 25 個のモデルの流体力を、流速 100cm/s と迎角 20°の条件で CFD を利用して計算した。次に、得られた CFD 解析結果を教師データとして、BP ニューラルネットワークによる応答曲面を構築し、多目的遺伝アルゴリズムにより揚力係数が最大化、抗力係数が最小化することを目的とした最適化モデルを求めた。得られた最適化モデルの内、高揚抗比モデルでは同じ縦横比で反り比 20%の HLTD と同等な最大揚力係数と常用迎角において 4.0 を超える揚抗比を有することが確認された。さらに、モデルの流体力計測およびモデル周りの流れに関する PIV(Particle image velocimetry method)検証実験を行い、形状最適化設計手法の妥当性も確かめられた。

2. 低抵抗軽量型底曳トロール網の設計と模型試験

六枚型の底曳トロール網を原型として、田内模型相似則によって縮尺比 1/18、目合比 1/5 のナイロンマルチ模型網を基準網として製作した。その基準網に対して、袖網、天井網および脇網の前半部に、目合を基準網のほぼ倍に拡大したダイニーマ網地を使用したダイニーマ網、および網糸直径が基準網の半分程度で目合を約 1.5 倍に拡大したナイロンモノフィラメント網地を用いたナイロンモノフィラメント模型網をそれぞれ製作し、これらの模型網の漁具特性を回流水槽実験で調べた。流速が 40-90cm/s の範囲における三つの模型網の網口高さには大きな差が見られなかったが、ナイロンマルチ網の抵抗に比べて、ダイニーマ網とナイロンモノフィラメント網の抵抗は網糸面積の減少割合とほぼ同じく約 30%減少した。一方、ヘッドロープに浮子が使用されたトロール網では、流速が 40cm/s から 90cm/s まで増加するに従い、網口高さが約 40%減少したことに対して、浮子の代わりにカイトを用いた場合の網口高さは流速の変化によらずほぼ一定であり、底曳トロール網にもカイトの有効性が確かめられた。

3. ワープ張力による漁場底質の識別手法の開発

底曳トロール網操業において、オッターボードの海底非接触制御を行うために、オッターボードが通過した場所の漁場底質を識別する必要がある。ここでは、ニチモウ株式会社所有の曳航水槽（長さ 100m, 水路幅 5m, 水深 1.5m）を利用した模型曳網実験を行い、ワープ張力による底質の識別を試みた。実験では、水槽コンクリート底面の 30m から 10m 間隔で、長さ 10m, 厚さ 10cm 程度の砂地（粒径：0.4-0.6 mm）、小石（粒径：5-15 mm）と大石（粒径：40-50 mm, 実物の岩礁海底に相当する）を敷設して、曳航点のワープ先端に小型張力計を取り付けて、曳網速度 50, 60, 70cm/s のそれぞれにおいて左右舷のワープ張力を計測した。周波数 25Hz で計測された 5 秒間のワープ張力の時系列データから抽出した平均値, 標準偏差およびウェーブレットの変換値等の計 30 個特徴量を時系列データの特徴量ベクトルとした。取得した特徴量ベクトルを教師なし学習の SOM ニューラルネットワークの入力層とし、140 個の集団を用意した底質のクラスターを行い、DBI(Davies-bouldin index)指標値の結果から四種類の底質があると判定できた。さらに、判定された底質の種類を出力層とした教師付き学習 LVQ3 ニューラルネットワークによるパターン識別を行った結果、実験底質のコンクリート、砂地、小石、大石の識別正解率は 80%以上であり、ワープ張力による簡便な漁場底質の識別手法の有効性が確認された。

4. 模型実験による曳網状態見える化の試み

漁場底質の識別とともに、曳網中の漁具の状態（網とオッターボードの開き、オッターボードの姿勢など）もオッターボードの海底非接触制御に欠かせない情報である。これまでの研究で得た知見および実験時の観測結果から、水深に対するワープ長の比が一定な場合、曳網中のオッターボードの内外傾斜姿勢が網とオッターボードの開きに大きな影響を及ぼす。ここでは、前章と同じくワープ張力からオッターボードの内外傾斜姿勢を推定し、得られた結果から網の開き状態を予測した。ニチモウ株式会社の曳航水槽において、水深に対するワープ長の比を 2.8 から 13.5 倍まで変えて曳網速度 50, 60, 70cm/s のそれぞれにおいて曳網実験を行い、曳航点のワープ張力とともに、オッターボードの傾斜

角度を小型傾斜計で、袖先間隔とオッターボードの間隔を目視で計測した。ワープ張力の時系列データから取得した特徴量ベクトルを RBF ニューラルネットワークの入力層とし、オッターボードの内外傾斜角度を出力層とした応答曲面を作成し、得られた結果から 73.8%に当たる 620 個のデータで曳網中のオッターボードの内外傾斜角度を誤差 $\pm 5^\circ$ 以内の精度で推定できた。推定されたオッターボードの傾斜角度と設定迎角から求められたオッターボード間隔と袖先間隔は実験観測値との誤差が 5%程度であった。

5. ファジィ制御によるオッターボードの離底曳網シミュレーション

上述した AI 技術による漁場底質の識別とオッターボードの曳網姿勢の推定結果に基づき、ここでは 2 種類の制御方法によるオッターボードの離底曳網シミュレーションを行った。方法 1 ではウィンチ速度が一定で、底質とオッターボードの姿勢情報からオッターボードの離底距離を決め、トロールシステムの運動方程式からワープ長の調整量を計算し、得られたワープの繰り出し（または巻き上げ）調整量をコマンド値としてウィンチへ送信して操作制御を行う；方法 2 ではオッターボードの離底距離をコマンド値として、ある時刻の離底距離との差および距離差の変化率を複数段階に分けて、ファジィ制御器のルールに従い、次の時刻のウィンチ速度を計算し、ウィンチへ送信して操作制御を行う。前者のウィンチ速度一定の制御方法では、オッターボードの深度変化にオーバーシュートが避けられず、制御の整定時間も長い結果となった。一方、ウィンチ速度をファジィ制御した場合には、オッターボードの深度変化にオーバーシュートがなく、整定時間も短くなる。また、ワープ張力のピーク値も小さく抑えられることが確かめられた。

以上のように、本研究では形状最適化手法を用いた高揚力オッターボードの開発と低抵抗で軽量型底曳トロール網の設計を行うとともに、ワープ張力による漁場底質の識別手法およびオッターボードの姿勢推定方法を提案した。一連の研究成果は、オッター式底曳トロール網操業における省力・省エネの実現と、AI 技術を利用したオッターボードの海底非接触制御に役立つと考えている。今

後は現場操業への実用を目指して、風や波、漁船の針路など多くの外部情報、およびオッターボードの海底接触有無（海底環境保全）と漁獲量（経済性）の関係性を取り込んだ深層学習によるオッター式底曳トロール網操業の AI 制御研究を続けていきたい。