

学位論文題名

曳縄漁具潜航板の振れ回り運動に関する研究

学位論文内容の要旨

【目的】

曳縄漁業は、小型の漁船を用いて、釣竿、道糸、擬餌針などから構成される漁具を高速で曳き回して行う釣漁業である。釣漁業の中では最も積極的な漁業であり、主としてマグロ、カツオ、ブリ、シイラなどの遊泳力のある回遊性魚類を対象として行われる。道糸と擬餌針の間に潜航板が取り付けられ、この運動が擬餌針の動きに重要な影響を及ぼしている。漁具の運動が定量的に把握されていないために、漁獲量に個人差が生じたり、漁獲時に魚体に損傷を与えたりするなどの問題が生じている。

そこで本研究では、曳縄漁具の漁獲メカニズムを解明することを目的として、国内で広く使用される先端が尖った船型の潜航板の運動を道糸結着点の運動と潜航板の回転運動に分け、回流水槽実験によって、結着点の運動軌跡の推定、潜航板の運動測定、流体力測定を行い、潜航板の振れ回り運動のメカニズムを考察した。さらに、操業時における潜航板の振れ回り運動を推定するために運動モデルを用いた理論的な解析を行った。

【結着点の運動軌跡の推定】

道糸の固定点を原点 C_1 とする固定座標系を $C_1-x_1y_1z_1$ 、潜航板の重心位置 G を原点とする回転座標系を $G-x_2y_2z_2$ とし、 x_2 、 y_2 、 z_2 軸まわりの回転角をそれぞれロール角 ϕ 、ピッチ角 θ 、ヨー角 ψ とした。回流水槽にて、潜航板（全長 31.5 cm）を使用し、道糸長さ 70 cm、流速 80 cm/s として、三分力計を用いて道糸張力 T_{C_1} の 3 軸成分(T_{x_1} 、 T_{y_1} 、 T_{z_1})をサンプリング周波数 100 Hz で測定した。道糸張力 T_{C_1} と T_{x_1} 、 T_{y_1} 、 T_{z_1} の比と道糸長さの関係から結着点 C_2 の運動軌跡を推定した。結着点 C_2 の運動軌跡の x_1 、 y_1 、 z_1 軸成分の振幅は 0.02 m、0.11 m、0.02 m、周期は 0.39 秒、0.78 秒、0.39 秒となった。結着点 C_2 の運動は 3 次元的に振れ回る運動を繰り返す、その変位量は y_1 軸

成分が最も大きく、8字のような軌跡を描くことが示された。

【潜航板の運動測定】

潜航板の拡大模型（全長 66.0 cm）を製作し、その中に運動計測ユニットを内蔵させ、 x_2 , y_2 軸方向の加速度(\dot{u}, \dot{v})、ロール角 ϕ 、ピッチ角 θ の回転角、ロール角 ϕ 、ピッチ角 θ 、ヨー角 ψ の角速度(p, q, r)を測定した。実験は回流水槽で行い、道糸長さを 2.5 m、流速を 1.10 m/s とした。加速度 \dot{u} , \dot{v} は正と負の値を交互に繰り返す、周期はそれぞれ約 0.71 秒、1.42 秒であった。加速度 \dot{v} は、加速度 \dot{u} の変化と比べて大きく、 $\pm 1.3 g$ (g : 重力加速度) で変化していた。加速度(\dot{u}, \dot{v})の結果を経過時間で積分することから、速度(u, v)を算出すると、速度 u はほぼ一定で約 0.91 m/s、速度 v は ± 0.32 m/s の範囲で変化しており、速度 v は速度 u と比較して約 3 分の 1 以下となっていた。角速度 p , r の周期は約 1.42 秒であり、それぞれ ± 183.7 deg/s, ± 210.2 deg/s の範囲で変化していた。角速度 q の周期は約 0.71 秒で、ロール角 ϕ 、ヨー角 ψ の角速度と比べて、周期が約半分で変化量が $-16.3 \sim 11.6$ deg/s で小さいことが示された。角速度(p, q, r)の結果を経過時間で積分することから、ロール角 ϕ 、ピッチ角 θ 、ヨー角 ψ を算出すると、それぞれ $\pm 42.6^\circ$, $-1.7^\circ \sim 1.4^\circ$, $\pm 42.2^\circ$ の範囲で周期的に変化し、周期はそれぞれ約 1.42 秒、0.71 秒、1.42 秒であった。運動中の潜航板のピッチ角 θ はほぼ 0° で、ロール角 ϕ 、ヨー角 ψ を変化させながら運動をしていることが示された。

【潜航板の流体力測定】

運動測定の結果をもとに、ロール角 ϕ を $-40^\circ \sim 0^\circ$ の範囲で 10° 毎に 5 段階に、ピッチ角 θ を $-10^\circ \sim 10^\circ$ の範囲で 10° 毎に 3 段階に、ヨー角 ψ を $0^\circ \sim 50^\circ$ の範囲で 10° 毎に 6 段階に変化させて、潜航板（全長 33.0 cm）に作用する x_1 , y_1 , z_1 軸方向の流体力 F_{x1} , F_{y1} , F_{z1} を三分力計で測定した。実験は回流水槽で行い、流速を 70 cm/s とした。 F_{y1} の大きさは、ピッチ角 θ が 0° でロール角 ϕ が $-20^\circ \sim 0^\circ$ のときに、ヨー角 ψ が大きくなるにつれて増加しており、ヨー角 ψ が 40° で最大となり 50° では減少した。ピッチ角 θ が 0° でロール角 ϕ が $-40^\circ \sim -30^\circ$ のときには、 F_{y1} の大きさは、ヨー角 ψ による変化が少なくほぼ一定となっていた。潜航板の運動と流体力を比較すると、潜航板の y_1 軸方向の往復運動において、結着点 C_2 が往復運動の端で折り返した直後は流体力が小さいが、端に来る直前では流体力が大きく作用していた。運動中の潜航板に作用する流体力は時々刻々と変動しており、潜航板の結着点 C_2 の運動は、

単振り子とは異なる性質を持つために、3次元的な振れ回り運動となり8字のような軌跡を描くことが明らかとなった。

【潜航板の運動モデルと運動推定】

水槽実験の結果、潜航板の結着点 C_2 の運動軌跡は、 y_1 軸方向の変化量が最も大きく、 z_1 軸方向の変化量は、 y_1 軸方向の変化量と比較して約5分の1程度となっていたことから、潜航板の3次元的な運動を2次元平面上での運動として運動モデルを構築した。漁船の速度を一定 $(U, 0, 0)$ とし、潜航板の x_2, y_2, z_2 軸方向の運動方程式を線形化した無次元化方程式で次式のように表した。

$$\left. \begin{aligned} (m' + m'_x)\dot{u}' &= X'_0 u'^2 + T'_S \\ (m' + m'_y)\dot{v}' &= Y'_v v' + \{Y'_r - (m' + m'_x)u'\}r' - T'_S(\alpha' + \psi') \\ (I'_{zz} + J'_{zz})\dot{r}' &= N'_v v' + N'_r r' - a'T'_S(\alpha' + \psi') \end{aligned} \right\} (1)$$

ここに、 m は潜航板の質量、 m_x, m_y は x_2 軸、 y_2 軸方向の付加質量、 X_0 は速度 u^2 による x_2 軸方向の抵抗係数、 T_S は道糸張力 T を x_1y_1 平面上へ投影した成分、 Y_v は速度 v による y_2 軸方向に作用する力の係数、 Y_r は角速度 r による y_2 軸方向に作用する力の係数、 I_{zz}, J_{zz} は z_2 軸回りの慣性モーメント、付加慣性モーメントの係数、 N_v は速度 v によるモーメントの係数、 N_r は角速度 r によるモーメントの係数であり、係数右肩のプライム'は無次元量を示している。

運動測定の結果、速度 u はほぼ一定であったことから、運動方程式は、次に示すような道糸の振れ角 α' 、潜航板のヨー角 ψ' に関する微分方程式で表される。

$$\left. \begin{aligned} T'_S &= -X'_0 \\ (m' + m'_y)\ell'_\lambda \ddot{\alpha}' - Y'_v \ell'_\lambda \dot{\alpha}' + T'_S \alpha' - (m' + m'_y)a' \ddot{\psi}' + (Y'_v a' - Y'_r + m'_x - m'_y)\dot{\psi}' + (Y'_v + T'_S)\psi' &= 0 \\ -N'_v \ell'_\lambda \dot{\alpha}' + a'T'_S \alpha' + (I'_{zz} + J'_{zz})\ddot{\psi}' + (N'_v a' - N'_r)\dot{\psi}' + (N'_v + a'T'_S)\psi' &= 0 \end{aligned} \right\} (2)$$

潜航板の流体力測定の結果から $X'_0 = -0.2090$ 、 $Y'_v = -0.6270$ 、 $T'_S = 0.2090$ となり、潜航板の形状から $m' = 0.2046$ 、 $m'_x = 0.0205$ 、 $m'_y = 0.1432$ 、 $I'_{zz} = 0.0134$ となり、拡大模型潜航板の運動測定の結果から $\ell'_\lambda = 3.6754$ 、 $Y'_r = 0.1526$ 、 $N'_v = -0.8827$ 、 $N'_r = -0.0117$

となった。

実物潜航板 (全長 $L: 33.0 \text{ cm}$, $m' = 0.1484$, $m'_x = 0.0148$, $m'_y = 0.1039$, $I'_{zz} = 0.0098$) と拡大模型潜航板の形状は同じであるため、流体力に関する微係数 (X'_o , Y'_o , T'_s , Y'_r , N'_v , N'_r) は拡大模型潜航板と同じ値を用いて、実際の操業時 (船速 4 ノット, 道糸長さ 20 m) における道糸の振れ角 α , 潜航板のヨー角 ψ を推定した。振れ角 α , ヨー角 ψ の推定値から潜航板後端の y_1 軸座標 C_{3y1} の振れ幅 (C_{3y1} の振幅の 2 倍と定義) を求めると、結着点の位置 C_2 が先端から $0.10L$ (L : 潜航板の全長) では振れ幅が 32.1 cm で、 $0.30L$ では 18.2 cm となり、結着点の位置 C_2 が先端から離れるにしたがって振れ幅は減少し、結着点の位置 C_2 によって振れ幅を制御できることが示された。結着点の位置 C_2 が先端から $0.27L$, 船速が 4 ノットでは、道糸長さが 5 m から 25 m の範囲で変化しても、潜航板後端の振れ幅はほぼ一定で約 20.2 cm となった。

本研究で得られた潜航板の運動の定量的な把握は、漁業者が長年の経験や勘を頼りに潜航板を用いていたことに科学的な根拠を与えるものであり、潜航板の使用がこれまでより容易になると考えられる。また、本研究で把握することができた潜航板の運動状態をもとに、潜航板の運動が擬餌針に与える影響を定量的に把握した上で、潜航板や擬餌針の漁具の運動と漁獲される魚種やサイズの関係性を明らかにできれば、対象魚種やサイズに適した漁具の制御方法を漁業者に対して提案できる可能性がある。さらに漁具の運動状態と漁獲の関係から、対象とする魚種やサイズの魚が好む運動状態を推定することができ、漁具の設計に取り入れることで、新たな漁具漁法の開発にも寄与できると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 山 本 勝 太 郎
副 査 教 授 三 浦 汀 介
副 査 教 授 芳 村 康 男
副 査 教 授 不 破 茂 (鹿 児 島 大 学)
副 査 助 教 授 平 石 智 徳

学 位 論 文 題 名

曳 縄 漁 具 潜 航 板 の 振 れ 回 り 運 動 に 関 す る 研 究

曳縄漁業は、小型の漁船を用いて、釣竿、道糸、擬餌針などから構成される漁具を高速で曳き回して行う釣漁業である。釣漁業の中では最も積極的な漁業であり、主としてマグロ、カツオ、ブリ、シイラなどの遊泳力のある回遊性魚類を対象として行われる。道糸と擬餌針の間には擬餌針に自然の魚に似せた運動を与えるために潜航板が取り付けられており、この潜航板の動きが漁獲を左右すると言われている。しかし、潜航板の運動が定量的に把握されていないために、漁獲量に個人差が生じたり、漁獲時に魚体に損傷を与えたりするなどの問題が生じている。

本研究は、曳縄漁具の漁獲メカニズムを解明することを目的として、国内で広く使用されている先端が尖った船型の潜航板の運動を道糸結着点の運動と潜航板の回転運動に分け、回流水槽実験によって、結着点の運動軌跡の推定、潜航板の運動測定、流体力測定を行い、潜航板の振れ回り運動のメカニズムを明らかにし、さらに、操業時における潜航板の振れ回り運動を推定するために運動モデルを用いた理論的な解析を行ったものである。得られた結果は以下のように要約される。

1) 実物の潜航板 (全長 31.5 cm) を使用して回流水槽実験を行い、三分力計を用いて道糸張力の3軸成分を測定し、道糸張力と3軸成分の比と道糸長さの関係から道糸と潜航板の結着点の運動軌跡を推定している。その結果、結着点の運動軌跡の振幅は左右方向成分が最も大きく、前後方向成分、上下方向成分は左右方向成分のほぼ1/5程度であること、また前後方向、左右方向、上下方向の運動周期の比は1:2:1であり、このため潜航板は左右方向に1往復運動する間に前後方向、左右方向には2往復分の運動を行い、結着点は3次的に振れ回る運動を繰り返しながら8字のような軌跡を描くことを明らかにしている。

2) 潜航板の拡大模型 (全長 66.0 cm) を製作し、その中に運動計測ユニットを内蔵させ、振れ回り運動における潜航板の前後方向、左右方向の加速度と運動姿勢を測定している。加速度から得られた左右方向の速度は前後方向の速度の約3分の1以下で、左右方向速度の変動周期は前後方向周期の2倍となっている。また、潜航板の重心軸回りの回転はピッチ角がほぼ 0° で、ロール角とヨー角は約 40° の振幅で変動

しており、主にこの2つの回転角の変化によって潜航板は流れに対する姿勢を時々刻々に変化させながら振れ回り運動をしていることを明らかにしている。

3) 運動姿勢測定の結果をもとに、ロール角を $-40^{\circ} \sim 0^{\circ}$ の範囲で 10° 毎に5段階に、ピッチ角を $-10^{\circ} \sim 10^{\circ}$ の範囲で 10° 毎に3段階に、ヨー角を $0^{\circ} \sim 50^{\circ}$ の範囲で 10° 毎に6段階に変化させて、潜航板に作用する流体力を三分力計で測定している。その結果、潜航板の左右の往復運動において、潜航板が往復運動の端で折り返した直後は流体力が小さく、端に来る直前では流体力が大きく作用している。このため潜航板が両端に向かって運動する時には外向きの流体力が作用し、一方道糸張力は常に内向きに作用するために潜航板を回転させるモーメントが発生し、潜航板の運動は3次元的な振れ回り運動となり8字のような軌跡を描くことを明らかにしている。

4) 次に、潜航板の重心位置における運動を剛体の6自由度運動方程式を基礎に、水槽実験における潜航板の運動計測結果から、潜航板の3次元的な運動を2次元平面上での運動として単純化した運動モデルを構築し、潜航板の運動を道糸の振れ角と潜航板のヨー角に関する無次元化した連立2階線形微分方程式で表している。そして、この運動方程式中の係数に運動計測によって得られた値と既知の値を代入して解き、実操業時(船速4ノット、道糸長さ20m)における道糸の振れ角と潜航板のヨー角を推定している。その結果、擬餌針の結着点となる潜航板後端の振れ幅は道糸の結着点先端から離れるにしたがって振れ幅は減少し、結着点の位置によって潜航板後端の振れ幅を制御できることを示している。

本研究で得られた潜航板の運動の定量的な把握は、漁業者が長年の経験や勘を頼りに潜航板を用いていたことに科学的な根拠を与えるものと高く評価できる。また、本研究で把握することができた潜航板の運動状態をもとに、潜航板の運動が擬餌針に与える影響を定量的に把握した上で、潜航板や擬餌針の運動と漁獲される魚種や魚体長の関係を明らかにできれば、対象魚種や魚体長に適した漁具の制御方法を漁業者に提案できる可能性がある。

よって、審査員一同は本論文が博士(水産科学)の学位を授与される資格のあるものと判定した。