曳網中の船体運動とワープ張力の応答特性について

天下井 清・川島 利兵衛

(1984 年 5 月 28 日受理)

Dynamical Response Characteristic of Warp Tension and Ship's Motions while Towing a Trawl Net

Kiyoshi AMAGAI* and Rihei KAWASHIMA*

The authors considered the towing system of a trawler as consisting of the ship body, towing warp, trawl net and otter boards. In order to effectively control this system, it is necessary to know the characteristics of its dynamical response to waves, based on the dynamical relation between the ship's motions and the warp tension. For this purpose, experiments were performed using a self-propelled model of a 124 GT trawler 2 meters long and two kinds of fishing gear.

The results were analyzed and discussed. It was noticed that the dynamical relation between the ship's motions and the warp tension was the most important factor in relation to the towing system of a trawler engaged in a fishing operation.

曳網中における船体運動と漁具との関係について、ダイナミック曳網システムとしてとらえ、実船における曳網システムに対する諸要素の計測データについて統計的解析を試みてきた。^{1,2)} 漁具の破断による流失防止や漁具の正常な展開を確保するには、漁具自体の強度に関する問題と船体の運動によって漁具に生じる変動張力の特性の問題とがある。本文では曳網システムの周波数領域における動的応答特性の把握を目的として、漁船船型模型船および漁具モデルについて規則波による波浪中実験を行った。

試験体および実験方法

供試模型船 実験には、Fig. 1 に船体線図を示す 124 トン型沖合底びき網漁船の 2 m 模型船を使用した。実験時の状態は Table 1 に示す通りであるが、同船の建造時の重心重量計算書に従って漁場発状態を選び、その船体状態に近づけた。

供試漁具モデル 124 トン型底びき網漁船は沖合底びき網漁船として、かけまわし漁法による操業が主流であるが、本実験ではトロール漁具モデルを Fig. 2 のように設定した。使用材料はプラスチックを接着被覆した鋼鉄パイプ 27 mm ϕ 2 m, 1 m, 0.5 m, 各一本および 1.2 mm ϕ ステンレスワイヤーである。ワープの展開角は、北大練習船おしよる丸におけるトロール操業時の実測で曳網速度 3.2~4 ノットで $\alpha=7\sim10$ 度、 $\beta=64\sim69$ 度であったことから、本実験においては、 $\alpha=10$ 度、 $\beta=66$

度となるようにした。パイプの総重量は漁具の全抵抗が 4.65 トン (実船) および漁獲が相当あった場合の二種を考え鉄棒を付加した。漁具モデルについては Table 2 に示した。

実験施設および装置 実験は北海道大学水産学部大型水理実験水槽において行った。水槽は長さ 50 m, 幅 3.5 m, 深さ 1.8 m の長水槽で、その両側即ち造波側に 6 $\times$ 6 m, 消波側に 7 $\times$ 8 m の消波ポンドを有している。造波装置はフラップタイプで、モーター軸に取り付けられたアーム長さと同転数を調整することにより、波高 1.5 cm~32 cm, 波長 0.5 m~8.5 m の範囲の波を造ることができる。曳引台車は 0.01 m/s~2.0 m/s の速度範囲で任意の速度が選択でき、0.06 G の加速で設定速度に達し等速走行に移行し、自動制御装置が働いて停止することのできるものである。上下揺れ (± 10 cm), 縦揺れ ($\pm 30^\circ$), 横揺れ ($\pm 30^\circ$) の計測はポテンシオメータによった。模型船の重心位置にジンバル継手のフランジを固定した。ワープ張力の計測は抵抗検力計 (5 kg) を用いて水平成分の測定を行った。波高の計測には容量式波高計を用いた。曳引台車の前方に 30 cm の間隔をあけて 2 台設置し、出会波高および波長を測定した。

実験方法 規則波中の曳網実験を行うに際して、実船の曳網速度は 3.5 ノットとした。従ってモデルスケールは 1/15.1 であるので模型船の速度は 0.45 m/s ($F_n=0.102$) である。模型船には直流モーターを搭載し自航させ、予じめ所定の速度になるように電圧調整を行ってお

* 北海道大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Minato-3, Hakodate 041, Japan).

Fig. 1. The lines of a 124 GT trawler

Table 1. Main particulars and experimental conditions of a 124 GT trawler

	Model	Full
Lpp	2.00 m	30.20 m
B	0.47 m	7.155 m
D	0.175 m	2.650 m
Disp.	115.25 kg	406.6 ton
df	10.76 cm	1.625 m
da	24.53 cm	3.705 m
dm	17.64 cm	2.080 m
GM	8.5 cm	1.283 m
KG	10.7 cm	1.617 m
Kyy/Lpp		0.300

Model scale 1/15.1

Fig. 2. Schematic diagram of a fishing gear model.

き、運動計測装置に固定し、曳引台車を 0.45 m/s で走行させて測定した。実験時の水深は 1.27 m、ワープの長さは 3.81 m とした。実験時の波は船長 L と波長 λ 比の平方根 $\sqrt{L/\lambda}$ が 0.5~1.5 の範囲となるように選択した。実験は先づ非曳網時の船体のみの規則波中の応答を測定し、そして曳網中の実験を漁具モデル 2 種を用いて行った。さらにトップローラーの位置による船体運動、ワープ張力への影響を知るために Fig. 3 に示す A

Table 2. Weight of fishing gear models

	Model			Full
	on air	in water	in water	
F. Gear Model A	1.75 kg	1.35 kg	4.65 ton	
F. Gear Model B	3.40 kg	2.75 kg	9.47 ton	

Position of Top roller

Fig. 3. Position of a top roller.

Table 3. Kinds of experiment

Exp. No.	Position of Top roller	Fishing Gear Model	
Exp. 1			not trawl
Exp. 2	A	A	in trawl
Exp. 3	B	A	—
Exp. 4	C	A	—
Exp. 5	D	A	—
Exp. 6	A	B	—

～D 点にトップローラー位置を移して実験を行った。実験の種類を Table 3 に示す。

実験結果と考察

規則波中の底びき漁船の縦揺れ応答 Fig. 4, 5 は実験時の船体状態において、124 トン型底びき網漁船の非曳網時、即ち船体のみの規則波中の縦揺れ、上下揺れの応答特性で実験値と計算値との比較を示した。図中実線は O.S.M.^{3,4)} による数値計算結果を示した。横軸は $\sqrt{L/\lambda}$ をとり、縦軸には縦揺れ角度 θ と波傾斜角度 $K\zeta_a$ の比および上下揺れ変位（船体重心の上下動変位） Z_0 と波高 ζ_a の比をとっている。縦揺れについては、実験値は計算値よりも $\sqrt{L/\lambda}$ が 1 より小さな範囲で 20% 程度小さな値を示しているが、大体その傾向は一致している。上下揺れの実験値は、ほぼ計算値と一致しているが $\sqrt{L/\lambda}$ が 0.7 より小さな範囲でやや大きめの値を示した。曳網による船体運動への影響をここに示した非曳網時の実験値を基準として比較する。

曳網中の縦揺れ応答 波浪中曳網時縦揺れの応答特性を Fig. 6 に、上下揺れの応答特性を Fig. 7 に示した。○印は漁具モデル A における実験値であり、●印は漁具モデル A よりも重い漁具モデル B を曳いた時の実験値である。実線は Fig. 4, 5 に示した非曳網時の O.S.M. による計算結果を併記した。○-○印は実験値の散らば

Fig. 4. Response function of pitch in not trawling at $F_n=0.102$.

Fig. 5. Response function of heave in not trawling at $F_n=0.102$.

Fig. 6. Response function of pitch in trawling at $F_n=0.102$.

Fig. 7. Response function of heave in trawling at $Fn=0.102$. Fig. 8. Non-dimensional amplitudes of pitch.
 θ : Pitch angle in trawling. θ_0 : Pitch angle in not trawling. Fig. 9. Non-dimensional amplitudes of heave.
 Z_G : Heaving displacement in trawling
 Z_{G0} : Heaving displacement in not trawling.

 Fig. 10. Response function of tension at $F_n=0.102$.

 T : Horizontal component of warp tension.

 Z_0 : Heaving displacement.

 ξ_a : Wave height.

 ω : Circular frequency.

Fig. 11. Maximum and minimum values of warp tension.
 T_H : Horizontal component of warp tension in wave.
 T_{H0} : Horizontal component of warp tension in calm water.

Fig. 12. Relation between encounter angle and pitching motion.

Fig. 13. Relation between encounter angle and heaving motion.

りを示す。

1) 曳網抵抗と船体運動 Fig. 6, 7 に示すように漁具モデル A を曳いた時よりも、重い漁具モデル B を曳いた時の方が縦揺れ、上下揺れともに $\sqrt{L/\lambda}$ がそれぞれ 0.7, 0.9 よりも小さい範囲で大きな応答を示している。このことは漁船の縦揺れ、上下揺れが曳網することによって大きくなること、さらに曳網の全抵抗荷重の違いによっても変わることを示している。Fig. 8, 9 は非曳網時の縦揺れ θ_0 、上下揺れ Z_{g0} に対する曳網時の縦揺れ θ 、上下揺れ Z_g の比を示したものであるが、いずれも $\sqrt{L/\lambda}$ が 0.9 近くで最も高くなっている。 $\sqrt{L/\lambda}$ が 1.1 以上では値が散らばっているが、運動そのものが小さいため問題とはならない。曳網による影響は $\sqrt{L/\lambda} \approx 0.9$ で最も大きく、非曳網時の 1.5 倍程度に及んでい

る。

2) トップローラー位置と船体運動 本実験では曳網する際、トップローラーの位置を船尾ガントリーの上部 (Fig. 3, A 点, Exp. 2) の場合と船尾ブルワーク高さ位置 (Fig. 3, B 点, Exp. 3) および船体中央部付近の縦方向重心位置の両舷のブルワーク高さ位置 (Fig. 3, C 点, Exp. 4)、重心位置付近 (Fig. 3, D 点, Exp. 5) の 4 ケ所に変えて実験を行った。その結果、Fig. 8, 9 に示した通り、顕著ではないが、 $\sqrt{L/\lambda}$ が 0.9 より小さい範囲で Exp. 2, 3 の方が Exp. 4, 5 より大きな値を示している。従ってトップローラー位置が重心近くにあった方が曳網による船体運動への影響が少ないことがうかがえる。

ワープ張力変動の応答 波浪中曳網時のワープ張力変動の応答特性を Fig. 10 に示した。横軸には船長 L と波長 λ 比の平方根 $\sqrt{L/\lambda}$ をとり、縦軸にはワープ張力変動 T と波高 ζ_a と円周波数 ω の 2 乗との積の比 $T/\zeta_a \omega^2$ および T と船体重心位置の上下揺れ変位 Z_g と ω^2 との積との比 $T/Z_g \omega^2$ をとっている。

1) 曳網抵抗とワープ張力 Fig. 10 のワープ張力変動の応答の比較によって明らかなように、荷重の大きい漁具モデル B を曳いた時の方が応答特性は高く、特に $\sqrt{L/\lambda}$ が 0.9 近くで最も高くなっている。

2) トップローラー位置とワープ張力 トップローラーの位置とワープ張力変動との関係について Fig. 10 に示した $T/Z_g \omega^2$ の値をみるとその特徴がはっきり分る。トップローラー位置が船体重心付近 C 点にあるより船尾ガントリー位置 A 点にある方が応答特性は $\sqrt{L/\lambda}$ が 0.9 付近で 5 倍も大きくなる。またガントリーの上部と下部では上部の方が応答特性は $\sqrt{L/\lambda}$ が 0.9 付近で 30% 程度大きい。

ワープ張力の変動 漁具モデル A, B およびトップローラーの位置を変えて行った曳網実験において、ワープ張力の変動現象の特性を知ることが曳網システムの安全性の保証を得るために重要な問題であり、本実験の目的の一つである。曳網実験は波周期 0.74~2.20 s、波高 1.4~5.8 cm の正弦波で行った。規則波による各波浪中実験を行う前に、平水中における曳網実験を行い、ワープ張力を測定した。この平水中における船体運動のない時のワープ張力の水平成分を T_{H0} とする。規則波中のワープ張力の水平成分を T_H とし、その変動の極大値、極小値と初期張力 T_{H0} との比を横軸に $\sqrt{L/\lambda}$ をとって図示し、Fig. 11 に示す。図中実線は、波高 2.5 cm, 4 cm, 5 cm の時の値をつないだ推定曲線である。曳網によるワープ張力の振幅の極大値は $\sqrt{L/\lambda} \approx 0.9$ 付近で最大となり、極小値は $\sqrt{L/\lambda} \approx 0.8 \sim 0.9$ で最小となる。また波高が高くなる程、極大値は大きく、極小値

は小さくなる。即ちワープ張力の変動が増大することを示している。

1) 曳網抵抗と張力変動 漁具モデルAおよびBによる曳網時のワープ張力の極大値の変化は Fig. 11, Exp. 2 および Exp. 6 となる。曳網抵抗が大きくなると、即ちワープの初期張力 T_{H0} が大きくなると、ワープ張力の極大値は大きくなり波高 5 cm において初期張力の 3 倍にも達する。ワープ張力の極小値が 0 に近づくということは、ワープ張力の変化量が初期張力に等しくなりワープ張力が 0 に近づくということである。 $\sqrt{L/\lambda} \approx 0.8 \sim 0.9$ で変動は著しく、それ以上では急激に減少する。

2) トップローラー位置と張力変動 Fig. 11 にみるように、ワープ張力の変動は Exp. 2 と 3 では違いは見られないが、Exp. 2, 3 と Exp. 4, 5 とでは明らかに相違を示している。トップローラーの位置つまりワープの船体に対する取付位置が船尾側よりも縦方向重心に近い程、ワープ張力の変動が小さい。このことはワープ張力の変動が上下揺れに加えて、縦揺れの影響を受けていることを示している。ワープの船体に対する取付点であるトップローラーの位置が、上下揺れに加えて、船尾側においては縦揺れによる垂直変位が加算され船尾における見掛けの上下揺れが大となっている。

論 議

曳網中の運動 模型実験による規則波中船体の縦揺れ、上下揺れの応答特性から、波浪中の船体縦揺れ、上下揺れの応答は曳網することによって大きくなり、特に $\sqrt{L/\lambda} \approx 0.9$ で最も大きいことが示された。このことは、曳網システムの出力としてのワープ張力変動が船体運動系へ、正のフィードバックしていることに起因していると考えられる。従って曳網システムの保全のためにワープ張力変動を制御することが重要なこととして示唆された。

曳網中のワープ張力の変動の制御 曳網中のワープ張力の変動は、ワープの初期張力が大きい程、波高が高い

程増幅され、 $\sqrt{L/\lambda} \approx 0.8 \sim 0.9$ で最大となり、初期張力の 3 倍にも達するが、トップローラーの位置を縦揺れの影響の少ない縦方向重心付近に移すか、縦揺れ並びに上下揺れの影響を吸収する機械系をトップローラー位置に組み入れることによってワープ張力の変動を制御できる可能性が示された。

曳網針路と曳網中の運動 Fig. 12, 13 は本実験に用いた 124 トン型底びき網漁船の実験状態における非曳網時の O.S.M. によって計算した波方向別の船体の縦揺れおよび上下揺れ応答特性である。波の進行方向と船首方向とのなす角が 180 度のときを向波とし、45 度毎に 0 度（追波）までの縦揺れと上下揺れの応答が示されている。 $0.6 < \sqrt{L/\lambda} < 1.0$ の範囲で縦揺れ応答は向波、斜向波、追波、斜追波の順に大きく、上下揺れ応答は横波、斜向波、斜追波、向波、追波の順に大きい。従って、曳網中の船体運動についても、向波実験のように非曳網時の応答特性と同様の傾向にあると推定されることから、曳網針路は縦揺れ、上下揺れの比較的小となる追波状態が望ましい。

文 献

- 1) 川島利兵衛・天下井 清：日本航海学会論文集，**54**，93-98 (1976)。
- 2) 天下井 清・川島利兵衛：日水誌，**50**，1487-1494 (1984)。
- 3) 田才福造・高木又男：規則波中の応答理論および計算法，耐航性に関するシンポジウム，1-52，日本造船学会 (1969)。
- 4) 高石敬史・黒井昌明：波浪中船体運動の実用計算法，第 2 回耐航性に関するシンポジウム，109-134，日本造船学会 (1977)。
- 5) 梶原寿郎・小寺山 亘・田才福造・肥山 央・渡辺邦夫：日本造船学会論文集，**148**，128-137 (1980)。
- 6) 庄司邦昭：日本造船学会論文集，**138**，233-246 (1975)。
- 7) 吉田宏一郎・米家卓也・岡 徳昭：日本造船学会論文集，**146**，195-205 (1979)。