



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 漁船の船舶操縦性流体力に関する実験的研究 - . : 載貨状態の影響について  |
| Author(s)        | 烏野, 慶一; 稲葉, 恭人; 蛇沼, 俊二  |
| Citation         | 北海道大學水産學部研究彙報, 37(3), 207-221   |
| Issue Date       | 1986-08   |
| Doc URL          | <a href="http://hdl.handle.net/2115/23922">http://hdl.handle.net/2115/23922</a> |
| Type             | bulletin (article)  |
| File Information | 37(3)_P207-221.pdf  |



[Instructions for use](#)

漁船の船舶操縦性流体力に関する実験的研究 — III.

載貨状態の影響について

烏野 慶一\*・稲葉 恭人\*\*・蛇沼 俊二\*

**Experimental Studies on Hydrodynamic Forces  
and Moment for Maneuvering Motions  
of Fishing Vessels — III.**

On the effects of ship loading conditions

Keiichi KARASUNO\*, Yasuhito INABA\*\* and Syunji JYANUMA\*

**Abstract**

The authors have studied the hydrodynamic forces and moment for maneuvering motions of small-sized fishing boats. The lateral force and yaw moment of three kinds of fishing vessels, effects of ship speed on nondimensional force and moment at low speeds and comparisons of experimental results with calculated ones using Inoue's formula were reported in previous papers.

This paper describes the effects of ship loading conditions on the forces and moment using a 1/6.5 scaled model of the 6.5 GT. fishing boat, and furthermore the results with large drift angles in ahead and astern motions.

**緒 言**

著者らはこれまで漁船の船舶操縦性流体力の特徴について、漁船模型を用いた一連の実験的研究を行ってきたが<sup>1,2)</sup>、前報告<sup>2)</sup>では小型漁船 ( $L_{pp} \times B \times D = 11.5 \text{ m} \times 2.90 \text{ m} \times 0.95 \text{ m}$ ) の模型実験結果から、主に船速と無次元操縦性微係数の関係について述べた。これにより模型実験では低速時 ( $Fn = 0.1$  程度まで) においても無次元操縦性微係数は船速の影響を受けること (Appendix 9)、また特に横流れ角  $\beta$  が大きい斜航時に無次元ヨーモーメント  $N'$  の値は船速によって著しく異なることなどが分かった。

ところで漁船はその使用状態に伴って排水量の大きな変化があり、特に一連の実験に用いている本漁船船型は長いトランソム船尾部を持っているので、トリムなどの船体の吃水状態が変化したとき本漁船の操縦性は大きく変化すると予想される。したがって、今回この漁船模型を用いて、トランソム船尾部の影響を調べるために、吃水の変化と操縦性微係数の関係について調査するため斜航試験を行った。本論文ではこの結果について一部前報告<sup>2)</sup>の結果も含めて報告する。

\* 北海道大学漁船工学講座 (Division of Fishing Boat Engineering, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

\*\* 北海道大学漁船運用手講座 (Laboratory of Fishing Boat Semanship, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

供試模型船の実験状態について

実験に用いた模型船, 実験システム, 実験水槽, およびデータの解析方法は前報告<sup>2)</sup>のものと同じである。

実験時の各状態を表 1 に示す。この模型船のトランソム下端は実船寸法でキールラインから 0.52 m の高さであり, 船尾吃水が 0.52 m を境にして船体の水面下の形状は大きく異なる。この様子について, 実験時の水面下状態を水線面形状と側面図でもって図 1 に示す。本模型船と同じようなハードチェーン, 長いトランソム船尾をもつ一般の小型漁船では, 通常の運航においてほぼこのトランソム下端付近に吃水があることがよく観測されることであるが, 今回の実験では, この図に示されるように異なった吃水状態についての前進抵抗  $R_t$  と操縦性流体力  $X, Y, N$  を計測し比較を行った。本実験では実船の型吃水が 0.715 m, 0.585 m, 0.455 m に対してそれぞれ Conditions 1, 2, 3 とした。なお Condition 1 は文献<sup>2)</sup>で報告した船体状態に相当する。さらに層流影響をみるために, 乱流促進装置としてトリッピングワイヤーを船首 SS. 9.1/2 の位置で船体を巻くよう

Table 1. Principal dimensions of a fishing vessel

|   |       |             |             |             |             |
|---|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Gross tonnage                             | (ton) | 6.5         |             |             |             |
| $L_{pp}$                                  | (m)   | 11.5        |             |             |             |
| B   | (m)   | 2.9         |             |             |             |
| D   | (m)   | 0.95        |             |             |             |
| Bar keel height at midship                | (m)   | 0.15        |             |             |             |
| Initial trim                              | (m)   | 0.43        |             |             |             |
| Condition                                 |       | Condition 1 | Condition 2 | Condition 3 | Condition 4 |
| Displacement                              | (ton) | 17.25       | 12.96       | 8.95        | 8.95        |
| $d_a^*$                                   | (m)   | 0.715       | 0.585       | 0.455       | 0.455       |
| $d_f^*$                                   | (m)   | "           | "           | "           | "           |
| $d_m^*$                                   | (m)   | "           | "           | "           | "           |
| $d_a^{**}$                                | (m)   | 1.080       | 0.950       | 0.820       | 0.820       |
| $d_f^{**}$                                | (m)   | 0.650       | 0.520       | 0.390       | 0.390       |
| $d_m^{**}$                                | (m)   | 0.865       | 0.735       | 0.605       | 0.605       |
| $C_b^*$                                   |       | 0.683       | 0.642       | 0.576       | 0.576       |
| $C_b^{**}$                                |       | 0.565       | 0.511       | 0.433       | 0.433       |
| Area of wetted surface                    | (m)   | 47.21       | 43.67       | 35.49       | 35.49       |
| Projected area of the profile under water | (m)   | 10.17       | 8.40        | 6.71        | 6.71        |
| Area of water plane                       | (m)   | 33.19       | 32.52       | 26.86       | 26.86       |
| Tripping wire                             |       | without     | without     | without     | with        |
| $d_m^*/L_{pp}$                            |       | 0.0622      | 0.0509      | 0.0396      | 0.0396      |
| $(d_a^{**}-d_f^{**})/d_m^{**}$            |       | 0.497       | 0.585       | 0.711       | 0.711       |

\*: from base line

\*\*: from bottom of bar keel

に 0.7 mm のハンダ線を接着して設け、Condition 3 に等しい船体状態 (Condition 4 とする) で、前進抵抗について実験を行い、Condition 3 の場合と比較した。

### 実験結果と考察

#### 1. 直進抵抗

図 2 に前進時の船体全抵抗および全抵抗係数を示した。Condition 2 と Condition 1 はほぼ等しい値となった。Conditions 1, 2 においての全抵抗係数と Hughes の摩擦抵抗係数の曲線を比較してみるとフルード数が 0.1 以下の低速では両者の形状は比較的良く一致し、摩擦抵抗に対する船体抵抗の三次元影響が明確に現われている。

一方、AP. 以後の長い船尾部分がほぼ全体にわたって水面上に露出している Condition 3 の場合、低速時全抵抗係数にはバラツキがあるが、これは図 1 に示した水面下の船体形状の違いによる影響で、低速時の船体直進抵抗の時系列計測値に大きな変動があり、その平均化の誤差が大きいためである。また乱流促進装置をつけた Condition 4 の低速時全抵抗係数は Condition 3

と比べそのバラツキは少なく、かつフルード数が 0.1 以上の上記両状態の全抵抗係数の値がほぼ等しいことから乱流促進装置を付けることにより模型船抵抗の計測精度が高まっていると言える。Conditions 1, 2 および 3 の後進時の全抵抗および全抵抗係数を図 3 に示す。

以上の結果をみると、前進抵抗においては、いずれの Condition においても  $Fn=0.1$  あたりから高速で造波影響が見られる。それより低速域では前報告<sup>2)</sup>でも述べたように、粘性の影響が大きく、低速域の操縦性実験には十分な配慮がいると思われる。また、Condition の違いは、トランソム船尾部の没水程度によって形状抵抗に大きな差を生じ、Condition 1 と Condition 2, 3 とには顕著な差がある。一方、後進抵抗においてもやはり、トランソムの影響によって Condition 1 と Conditions 2, 3 との間に顕著な差があり、形状抵抗の差の他に、特に造波影響が Condition 1 のみに顕われている。これは、Condition 2, 3 の船尾水面下形状がやせていることにより、造波影響が顕わに出てこなかったからである。

#### 2. 斜航時の流体力 (横流れ角が小さい時)

図 4, 5 および 6 ではそれぞれ Conditions 1, 2 および 3 の前進時 (左図), 後進時 (右図) について、横流れ角  $\beta = -7.5 \sim 20.0$  度 ( $v' = 0.131 \sim -0.342$ ) の無次元流体力とモーメント  $X', Y', N'$  を示した ( $Fn=0.1$ )。各図の破線、実線、一点鎖線はそれぞれ Condition 1 における  $X', Y', N'$  の実験点近似曲線である。 $X', Y', N'$  とともに Condition 1 よりも Condition 2, 3 の方が小さい値を示している。この 3 つの図のなかで図 6 すなわち Condition 3 の前進斜航時の  $N'$  の値が大きな特徴を示している。マイナスの  $v'$  において他の Condition とは逆のマイナスのモーメント (○印) を示

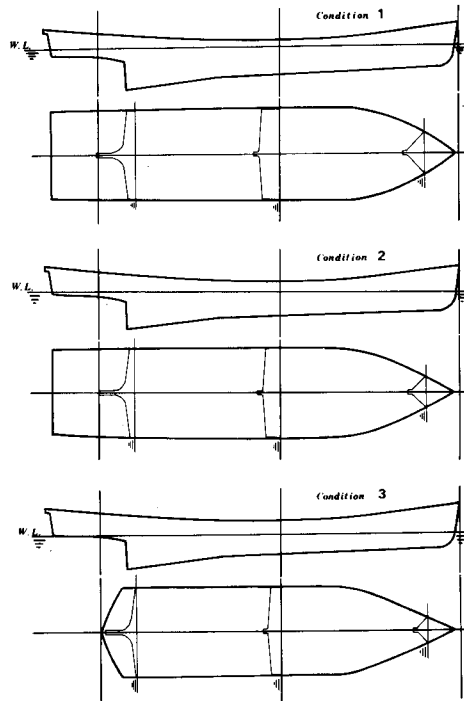


Fig. 1. Profiles, water plane and section of experimental conditions of model ship.

Ahead

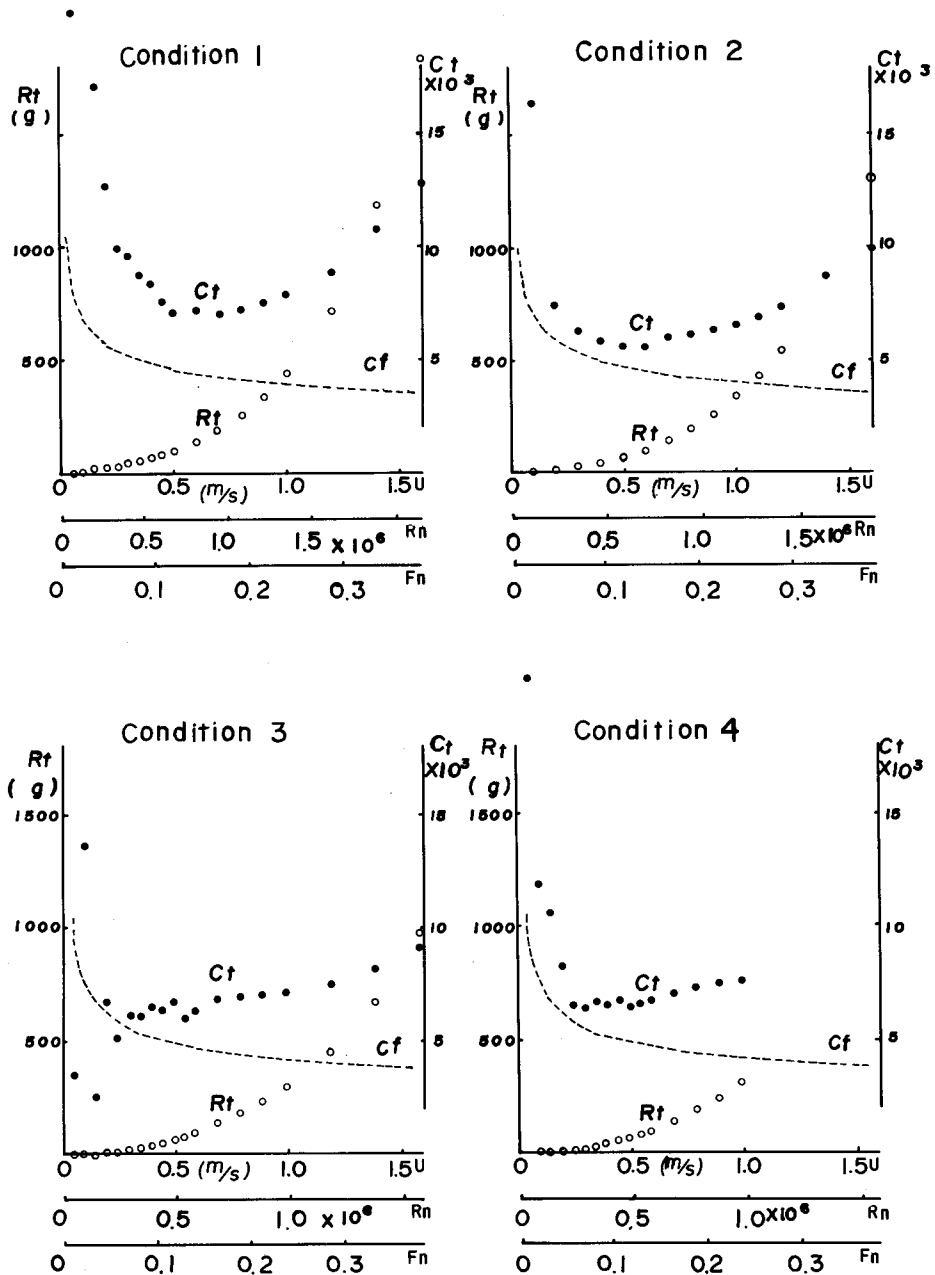


Fig. 2. Ahead resistance in ship loading conditions 1, 2, 3 ( $C_t = R_t / (0.5\rho S_w U^2)$ ).

Astern

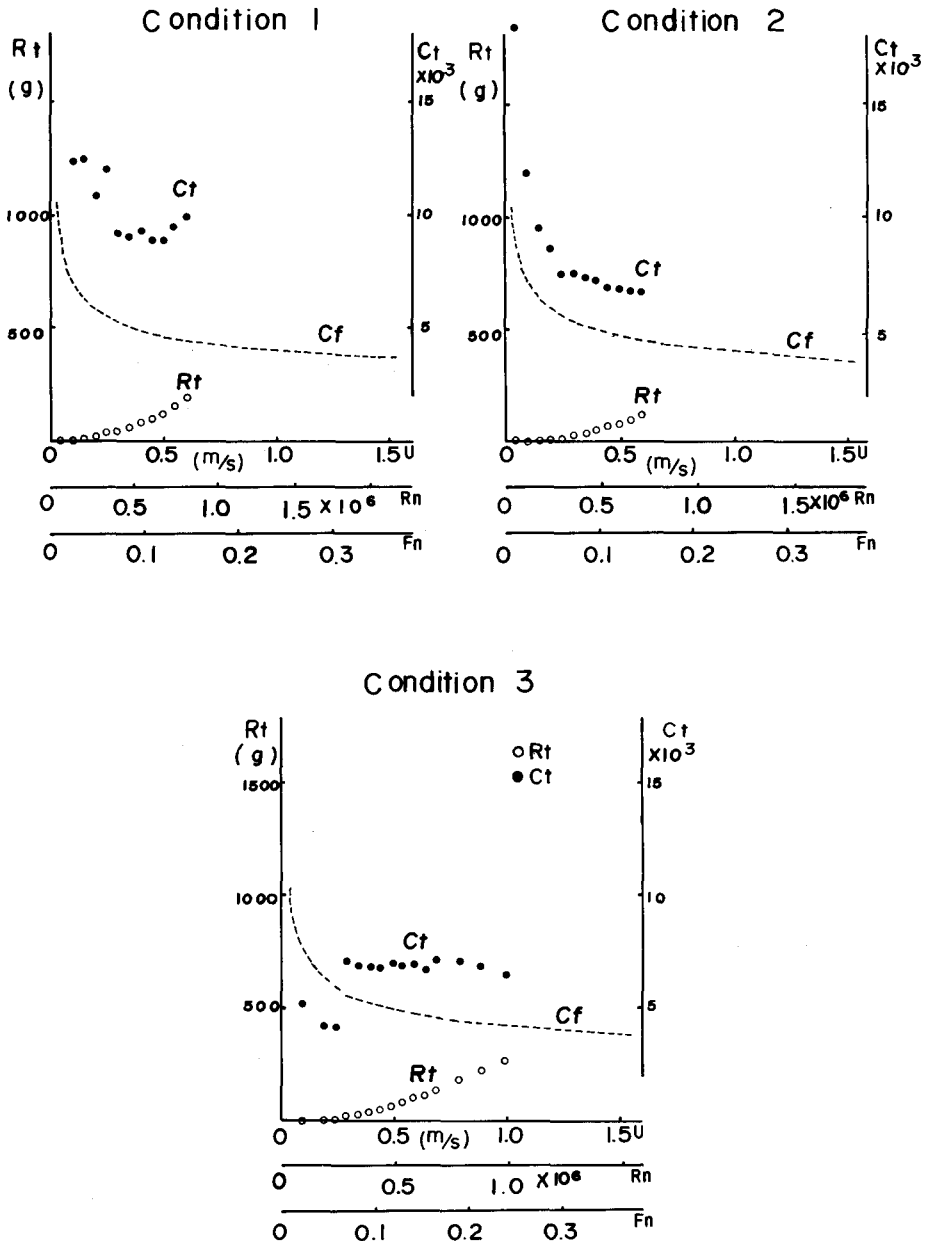


Fig. 3. Astern resistance in ship loading conditions 1, 2, 3 ( $C_t = R_t / (0.5 \rho S_w U^2)$ ).

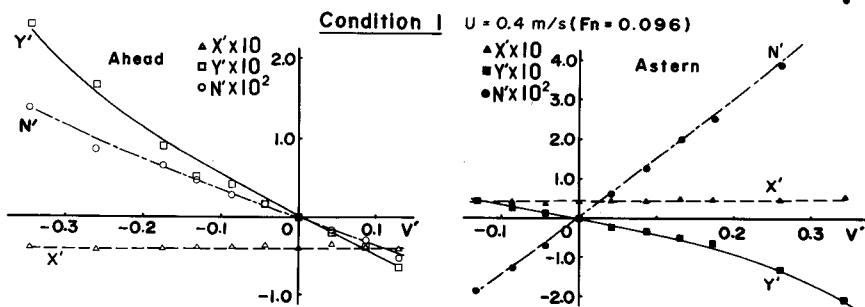


Fig. 4. Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with small drift angles in ahead and astern motions (Condition 1).

$$X' = X / (0.5 \rho L d U^2), Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2), N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$$

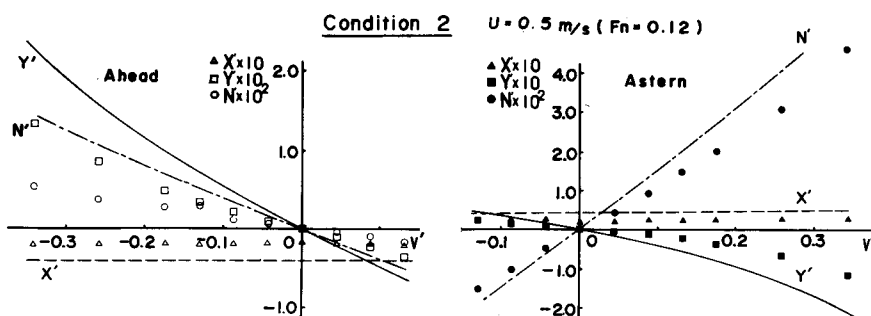


Fig. 5. Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with small drift angles in ahead and astern motions (Condition 2).

$$X' = X / (0.5 \rho L d U^2), Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2), N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$$

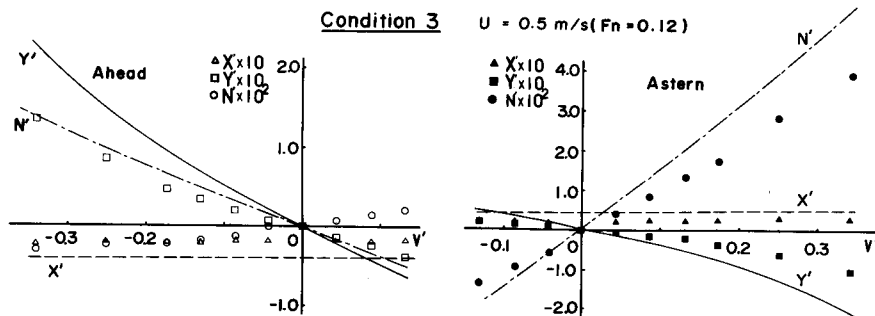


Fig. 6. Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with small drift angles in ahead and astern motions (Condition 3).

$$X' = X / (0.5 \rho L d U^2), Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2), N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$$

している。この時  $Y'$  (□印) は比較的大きなプラスの値であることから、側圧力中心が船体中央より船尾側に位置していることが分かる。これは、水面下側面積の平均吃水の割には、船尾トリムが大きく、また船尾スケグ部分の fin 効果が大きく働いた所為である。このように Condition の違いは水面下船体形状の縦アスペクト比等を変え横力  $Y'$  を変化させているが、その変化はトランソム船尾部の没水程度によって (これが原因となるかは別として)、大きな違いがある。すなわち  $Y'$  において、Condition 1 と Condition 2, 3 とには大きな差があるが、Condition 2 と 3 の差は少ない。この傾向は前後力  $X'$ 、ヨーモーメント  $N'$  においても同様である。ただし、前進時の Conditions 2, 3 の  $N'$  の変化は大きい。その理由は前述した通りである。したがって、トランソム部分の流体力への影響は Condition 1 と Conditions 2, 3 の結果の変化の様子から見て大きいと言えるであろう。また、各 Condition における前後進の違いは、 $X'$ ,  $Y'$  にはさほど大きくはないが、ヨーモーメント  $N'$  には大きく顕われ、船尾トリムと船尾スケグ部分の効果により後進時の  $N'$  は前進時より大分大きくなっている。ここに示した以外に 0.1 m/s, 0.3 m/s の船速においても実験を行って、同様の特徴の確認を得ている (Appendix 1-4)。

### 3. 斜航時の流体力 (横流れ角が大きい時)

本模型船について横流れ角が大きい時の船体に働く流体力を調べるために、 $\beta$  を 0 度から 90 度 (前進)、および 180 度から 270 度 (後進) について斜航試験を行った。これについて図 7, 8 および 9 にそれぞれ Conditions 1, 2 および 3 の結果を示した。なおここでは船体の右舷と左舷に働く流体力は同じであるとして、 $\beta=0\sim 360$  度の広い範囲について操縦性流体力を図示した。 $Y'$  (□印)

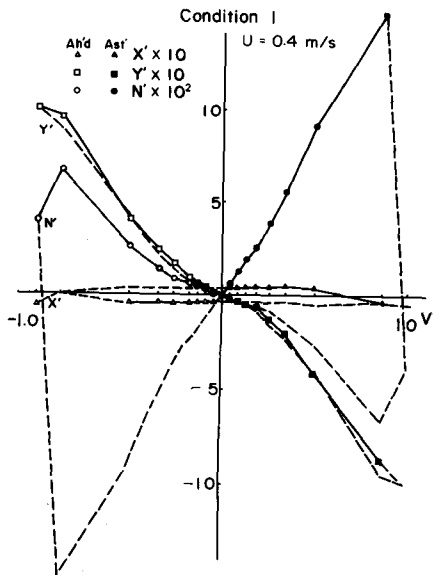


Fig. 7. Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with large drift angles in ahead and astern motions (Condition 1).

$$X' = X / (0.5 \rho L d U^2), \quad Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2), \quad N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$$

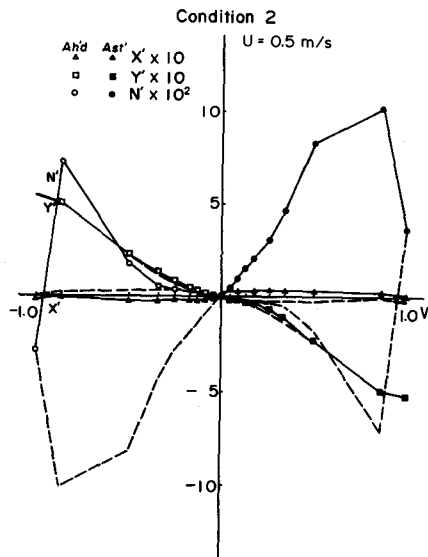


Fig. 8. Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with large drift angles in ahead and astern motions (Condition 2).

$$X' = X / (0.5 \rho L d U^2), \quad Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2), \quad N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$$



では Condition 1 が他の状態よりも明らかに大きい値を示すが、Condition 2 と 3 では明確な差は見られなかった。N' では横流れ角が小さい時に各 Condition に大きな差があることは前述した通りで、この場合においても同様であるが、 $\beta$  が 60 度 ( $\nu' = -0.866$ ) のときは各 Condition とほとんど等しい値となっている。また  $\beta$  が 240 度 ( $\beta = 60$  度で後進,  $\nu' = 0.866$ ) において各 Condition の N' に大きな差が見られた。このようにトランソム船尾部の没水程度による Condition の違いは、大角度の横流れにおいても流体力に大きな差をもたらす、小角度の横流れの場合の延長として考えることが出来る。X' においては、大きな  $\beta$  のところで符号が反転する現象が現われているが、これについては今後さらに詳細に調査、検討する必要がある。また Condition 2, 3 の船速 0.1 m/s, 0.3 m/s における実験結果を Appendix 5-8 に示した。

4. 横流れ角による側圧力中心の変化

斜航時に模型船に働く側圧力の中心について船首尾方向の前後位置を次式によって求めた。

$$lp = N' / Y' \text{ (midship から船首側を正とする。)}$$

この結果を図 10 に示した。図の左側 3 つのグラフは前進時、右側は後進時のものである。Condition 1 の前進時、側圧中心は  $\beta$  が大きくなってもあまり大きな変化がなく、 $\beta = 60^\circ$  を超えるあたりから船尾に移動している。しかし、Condition 3 では前進時、側圧力中心は  $\beta$  が大きくなるにしたがって船尾側より船体中央に移動している。 $\beta$  が約 25 度付近で船体中央より船首側に移り、 $\beta$  が 90 度において再び船尾よりに位置する。このように側圧力中心の位置が複雑に変化する現象は本実験では Condition 3 の前進時だけに見られるものであったが、図 10 には Condition 1 から 3 への変化に伴って側圧力中心が順次、船首から船尾へ変化してゆく様子がよく現われている。Condition の変化は前後進とも小横流れ角における側圧力中心の大きな変化をもたらした。

5. 井上式との比較

これまでに述べた Condition 変化の実験からは、船体縦アスペクト比等の変化のために直接トランソム船尾部の影響を云々することは難しい。しかし、Condition 1 と Conditions 2, 3 の実験結果での大きな違い、特に Y', X' における相違を考えるとトランソム船尾部は Y' を大きくし、さらに X' では前後非対称力をも大きくすると見てよいであろう。また、N' においては影響力のあるトリム効果のために Condition 2 と Condition 3 との間に大きな差が生じ、Condition 1 と Condition 3 の間にはトランソム船尾部による明確な区別をつけ難く、その影響をつかめない結果となった。

アスペクト比等の影響を考慮した以上の事柄を、理論から定性的に把握することを考えて、本実験の小型漁船の船型に対し井上式で流体力等を計算するために、 $\tau$  (トリム),  $d_m$ ,  $C_o$  の影響について検討し実験結果と比較した。井上式は一般に商船船型に適用されるものであるから、これ

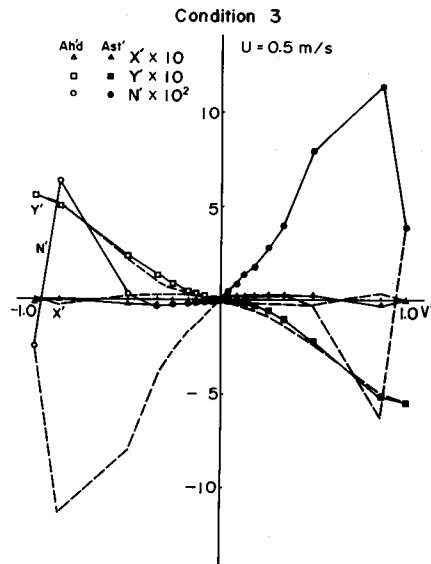


Fig. 9. Longitudinal force X', lateral force Y' and yaw moment N' with large drift angles in ahead and astern motions (Condition 3).

$$X' = X / (0.5 \rho L d U^2), \quad Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2), \quad N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$$

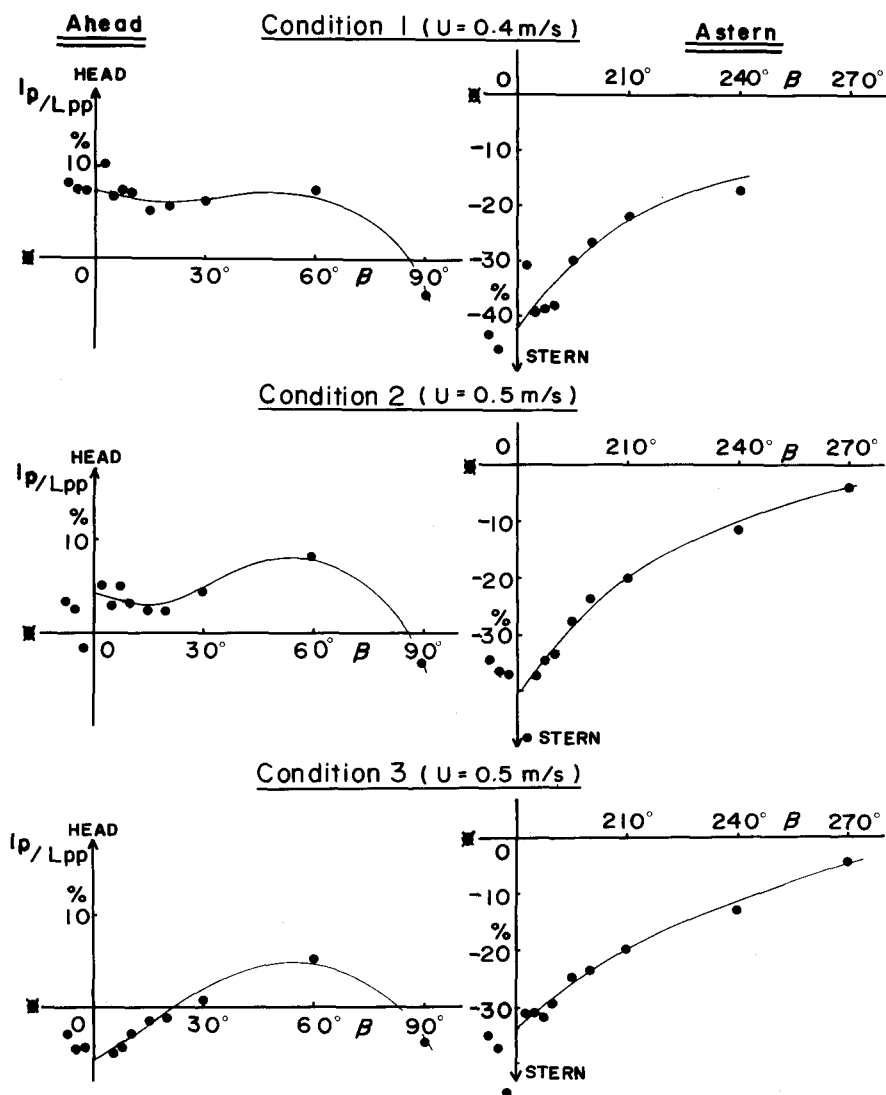


Fig. 10. Longitudinal center of hydrodynamic lateral force  $l_p$  vs. drift angle  $\beta$  in ahead and astern motion.

に用いられる  $d_m$  および  $C_b$  はベースラインに対応するものであるが、表 1 および図 1 に示すように、本模型船は大きなバークールを持ち初期トリムを有しているので、式で用いる  $d_m, C_b$  の値はキールボトムからのものとベースラインからの 2 種類が考えられる。またトリムについても初期トリムを含むものとそうでないものの 2 種類がある。したがってここでは  $d_m, C_b$  と  $\tau$  について各々 2 つの値の組み合わせた 4 つの場合で井上式より  $Y', N'$  を求め、それぞれの Condition の実験値と比較した。この結果を図 11, 12, 13 に Condition 別に示した。各図の左側のグラフが  $Y'$  についての比較であり、右側は  $N'$  についてのものである。吃水とトリムのそれぞれの組み合わせによって得られた井上式による値と実験値との近似の良さについての評価を表 2 にまとめた。○印

は実験値に最も近い値を示した組み合わせであり、×印は実験値から最も掛け離れた値を示したものである。この表によると  $Y'$ ,  $N'$  のどちらにおいても、ベースラインからの吃水を用いた推定値 ( $Y'$  においては一点鎖線,  $N'$  においては二点鎖線) が実験値により近い値であり、船体縦横比としてはパーキールを無視した形状のものが良いようである。またトリムについては、特に  $N'$  の推定において初期トリムを含むもの (二点鎖線) が実験値の推定に有効である。なお、ここでパーキールの効果については今後調査検討して行く必要があると思われる。

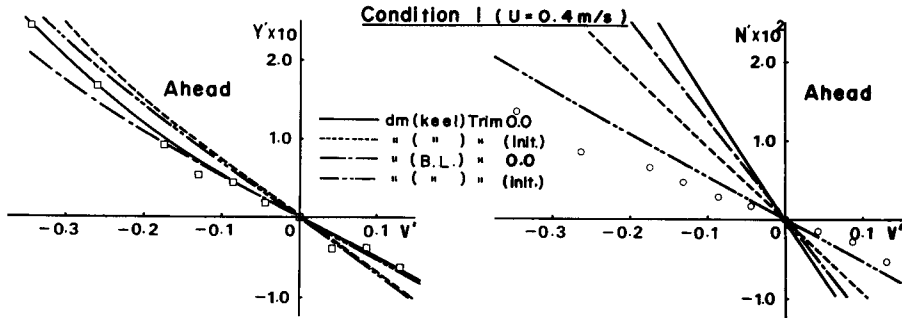


Fig. 11. Experimental results compared with calculated  $Y'$ ,  $N'$  by means of Inoue's formula (Condition 1).

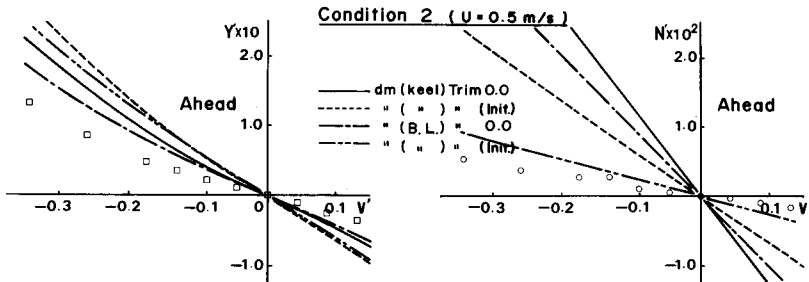


Fig. 12. Experimental results compared with calculated  $Y'$ ,  $N'$  by means of Inoue's formula (Condition 2).

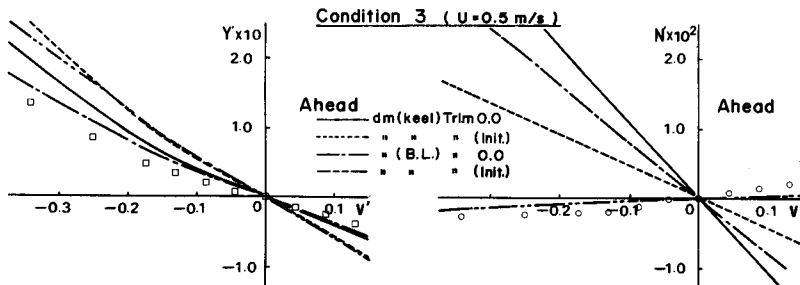


Fig. 13. Experimental results compared with calculated  $Y'$ ,  $N'$  by means of Inoue's formula (Condition 3).

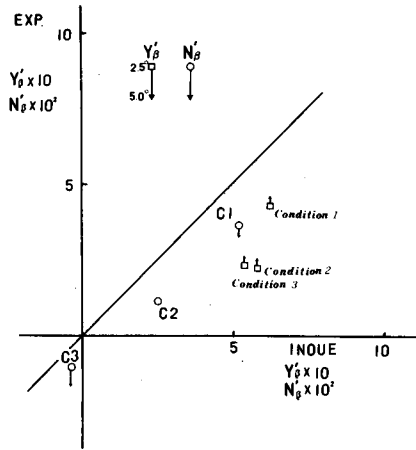


Fig. 14. Comparisons of nondimensional derivatives  $Y'_\beta$  and  $N'_\beta$  between experiments and Inoue's estimation using moulded draft and trim.

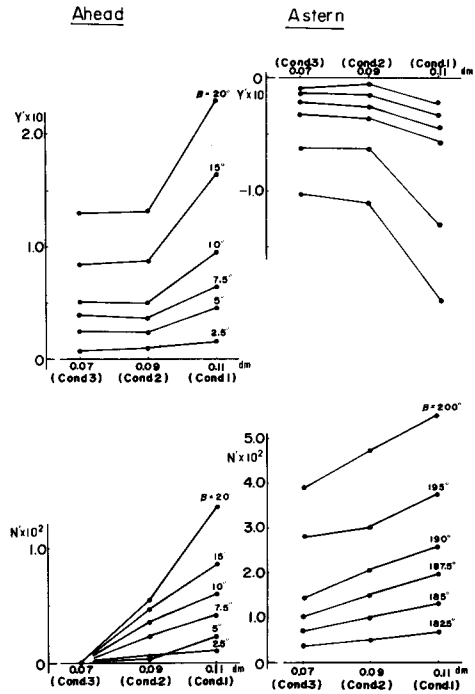


Fig. 15. The effects of ship conditions on nondimensional force  $Y'$  and moment  $N'$  at small drift angles.

Table 2. Estimation of the effects of  $dm$  and trim on calculated results using of Inoue's formula.

○ ; good      × ; bad

|              |              | 実験値 (前進時) |    |         |    |         |    |
|--------------|--------------|-----------|----|---------|----|---------|----|
|              |              | Cond. 1   |    | Cond. 2 |    | Cond. 3 |    |
|              |              | Y'        | N' | Y'      | N' | Y'      | N' |
| $d_m$ (keel) | Trim 0       |           | ×  |         | ×  |         | ×  |
| $d_m$ (keel) | Trim (Init.) | ×         |    | ×       |    | ×       |    |
| $d_m$ (B.L.) | Trim 0       | ○         |    | ○       |    | ○       |    |
| $d_m$ (B.L.) | Trim (Init.) |           | ○  |         | ○  |         | ○  |

以上のことから、流体力を大きく左右するのは、主船体の縦アスペクト比とトリムであると言ふことができ、井上の推定値と実験値との差からは、トランソム船尾部の影響を直接言及することは出来ないが、Condition 1 と Conditions 2, 3 の比較から、トランソム船尾部は付加的ではあるが、かなり大きな程度で作用していると考えてよいであろう。

ま と め

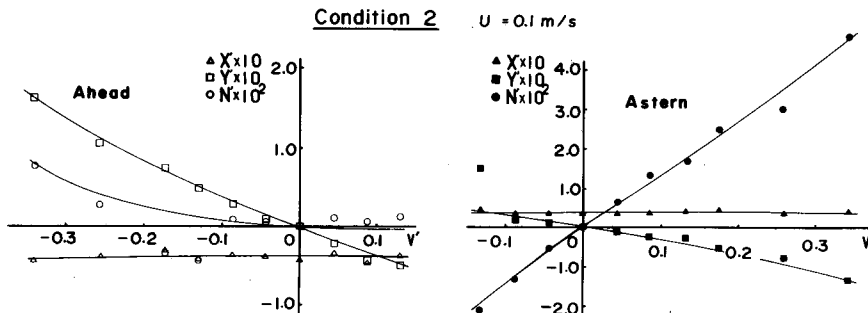
1. 模型船に取りつけた乱流促進装置は摩擦抵抗係数の実験解析効果を変えることなく、その値のバラツキを少なくするうえで大きな効果があった。
2. 本漁船は吃水が浅くなりトランソム船尾部の没水程度を左右する吃水状態によって流体力  $X'$ ,  $Y'$ ,  $N'$  が大きく変わる。
3. 本漁船は吃水によって水面下の船体形状が著しく変化して、吃水が浅くなるに従って側圧力中心が大きく船尾側に移動する。
4. 本漁船の船型ではパーキール部を無視した (ベースラインからの) 吃水で井上式を用いた推定値がよりよく実験値に適合した。
5. トランソム船尾部は船体主部の形状に匹敵する程の影響を  $Y'$ ,  $N'$  に与えないが、特に後進ではその影響を無視することは出来ない。

謝 辞

本実験を遂行するにあたって、計測器の貸与に快く御協力頂いた漁具設計学講座および研究船うしお丸の関係各位に感謝します。また水槽実験の実施に直接関与して協力を惜しまれなかった漁業学科4年目学生香山祐司、深川喜一、平佐浩司、田沢宏武諸氏に心から感謝の意を表すとともに、実験の検討に際し御討論頂いた日本造船学会の運動性能研究委員会及び低速・浅水域操縦数学モデル検討専門委員会の各位に感謝いたします。

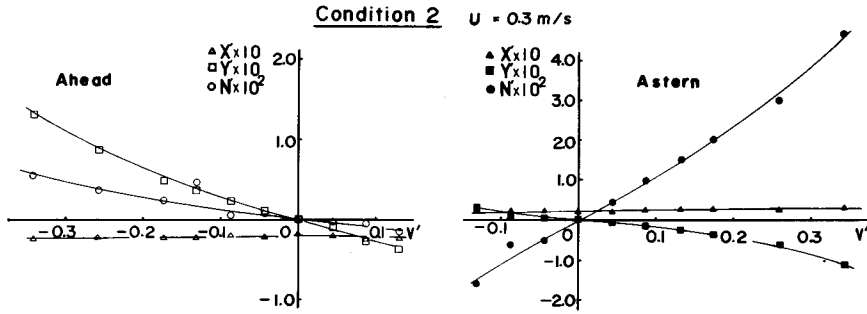
文 献

- 1) 鳥野慶一・稲葉恭人 (1984). 漁船の船舶操縦性流体力に関する実験的研究 (1). 北海道大学水産学部研究彙報, Vol. 35, No. 2, pp. 117-131.
- 2) 鳥野慶一・稲葉恭人・蛇沼俊二 (1985). 漁船の船舶操縦性流体力に関する実験的研究 (2). 北海道大学水産学部研究彙報, Vol. 37, No. 1, pp. 50-57.
- 3) 井上正祐・平野雅祥・向井一浩 (1979). 操縦時船体に働く横力・モーメントの非線型項について西部造船学会会報 58.

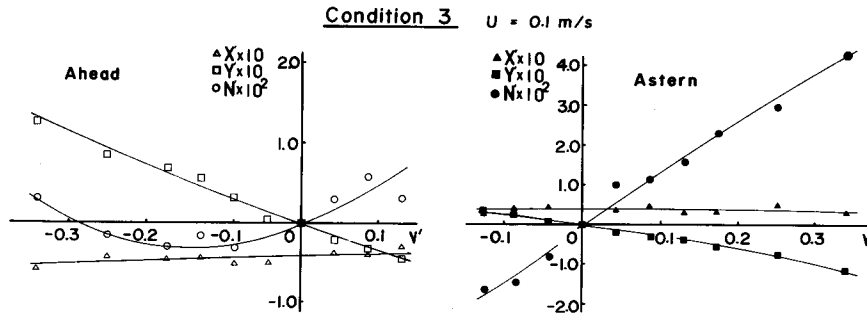


Appendix 1 Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with small drift angles in ahead and astern motions (Condition 2  $U=0.1 \text{ m/s}$ ).

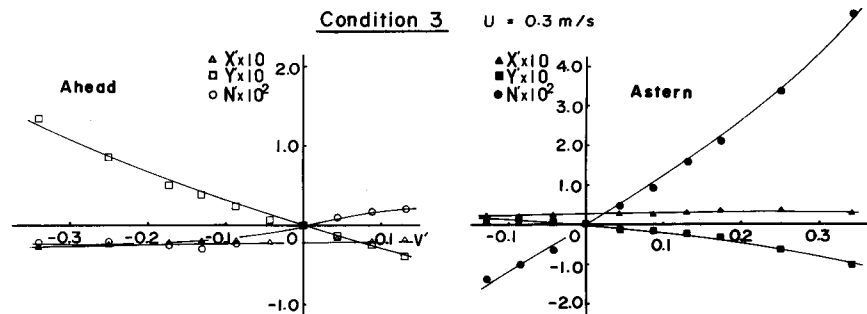
$$X' = X / (0.5 \rho L d U^2), Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2), N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$$



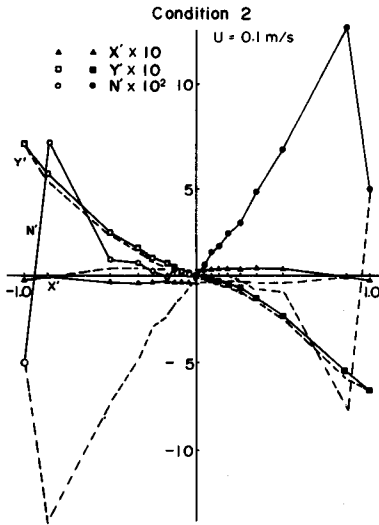
Appendix 2 Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with small drift angles in ahead and astern motions (Condition 2  $U=0.3 \text{ m/s}$ ).  
 $X' = X / (0.5 \rho L d U^2)$ ,  $Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2)$ ,  $N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$



Appendix 3 Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with small drift angles in ahead and astern motions (Condition 3  $U=0.1 \text{ m/s}$ ).  
 $X' = X / (0.5 \rho L d V^2)$ ,  $Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2)$ ,  $N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$

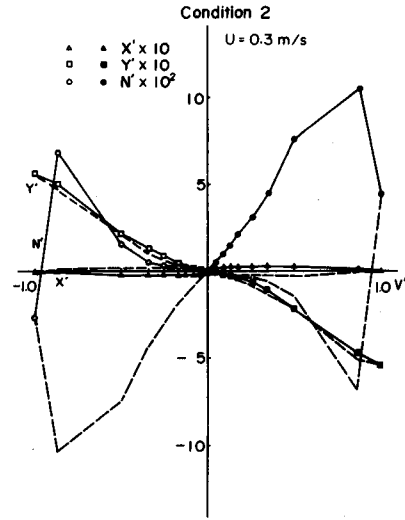


Appendix 4 Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with small drift angles in ahead and astern motions (Condition 3  $U=0.3 \text{ m/s}$ ).  
 $X' = X / (0.5 \rho L d U^2)$ ,  $Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2)$ ,  $N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$



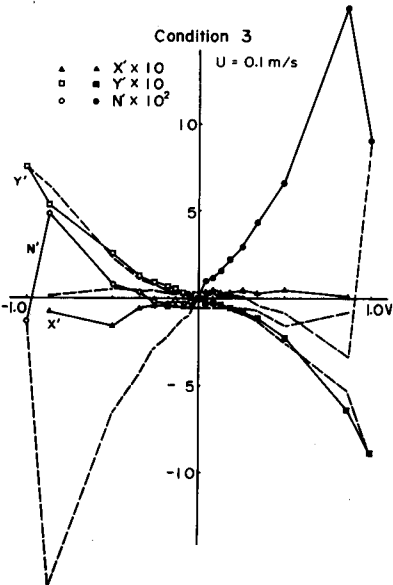
Appendix 5 Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with large drift angles in ahead and astern motions (Condition 2).

$$X' = X / (0.5 \rho L d U^2), \quad Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2), \quad N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$$



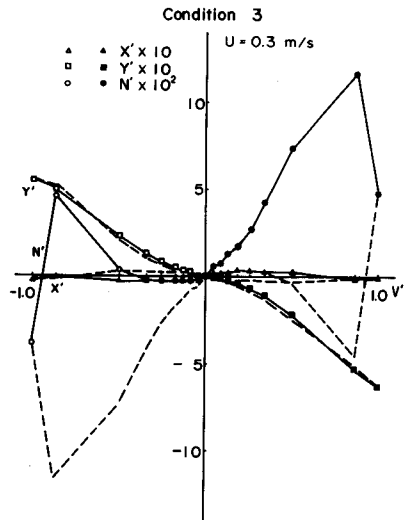
Appendix 6 Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with large drift angles in ahead and astern motions (Condition 2).

$$X' = X / (0.5 \rho L d U^2), \quad Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2), \quad N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$$



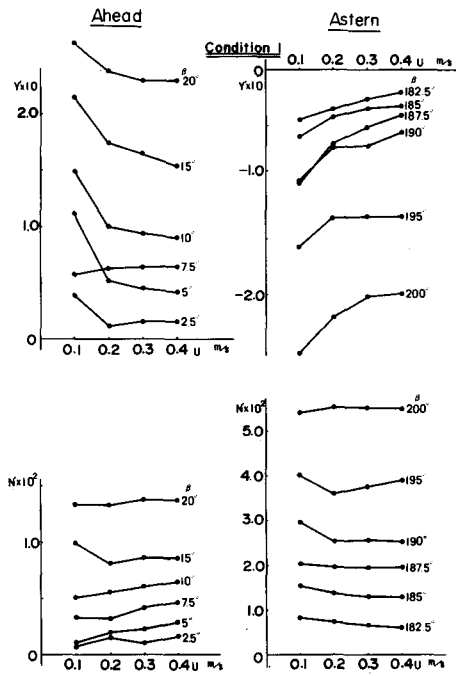
Appendix 7 Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with large drift angles in ahead and astern motions (Condition 3).

$$X' = X / (0.5 \rho L d U^2), \quad Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2), \quad N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$$



Appendix 8 Longitudinal force  $X'$ , lateral force  $Y'$  and yaw moment  $N'$  with large drift angles in ahead and astern motions (Condition 3).

$$X' = X / (0.5 \rho L d U^2), \quad Y' = Y / (0.5 \rho L d U^2), \quad N' = N / (0.5 \rho L^2 d U^2)$$



Appendix 9 The effects of ship speed on nondimensional force  $Y'$  and moment  $N'$  at small drift angles (Condition 1).