HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	漁船の船舶操縦性流体力に関する実験的研究(4)：漂流流体力の数学モデル
Author(s)	烏野, 慶一; 蛇沼, 俊二; 米田, 国三郎
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 39(1), 45-52
Issue Date	1988-02
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23986
Type	bulletin (article)
File Information	39(1)_P45-52.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
39(1), 45-52. 1988.

漁船の船舶操縦性流体力に関する実験的研究 (4)
——漂流流体力の数学モデル——

烏野　慶一*・蛇沼　俊二*・米田国三郎**

Experimental Studies on Hydrodynamic Forces and Moment for Maneuvering Motions of Fishing Vessels (4)
On mathematical model of ship hydrodynamic force and moment while drifting

Keiichi KARASUNO*, Syunji JYANUMA*
and Kunisaburo YONETA**

Abstract

Lateral hydrodynamic force (Y) and yaw moment (N) for the maneuvering motions of fishing vessels under slow speed conditions are expressed simply as:

$$Y = Y_{uv}^* \cdot u \cdot v + 0.5\rho \int C_{D90} \cdot |\sin\beta| \cdot v \cdot |v| \cdot d \cdot dx$$

and;

$$N = N_{uv} \cdot u \cdot v - N_{uv}^* \frac{1}{U^2} \cdot u \cdot v^3 + 0.5\rho \int C_{D90} \cdot |\sin\beta| \cdot v \cdot |v| x \cdot d \cdot dx$$

Where

$$u = U\cos\beta \qquad v = -U\sin\beta$$

U : ships' speed

β : drift angle

d : ships' draft

x : longitudinal position of ships' section from ⊠

Y_{uv}^*, N_{uv}^* : Coefficients of viscous lift effect

C_{D90} : Coefficient of cross flow drag at drift angle 90°

N_{uv} : coefficient of ideal hydrodynamic force and viscous lift effect

The authors have researched hydrodynamic force and yaw moment using a 1/21.5 scale model of a 225G.T. fish carrier boat, and analysed the experimental values with these formulae.

These new mathematical models have been found well fitted for experimental values of hydrodynamic force and yaw moment.

* 北海道大学水産学部漁船工学講座
(*Division of Fishing Boat Engineering, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)
** 北海道大学水産学部漁業航海学講座
(*Laboratory of Fishing Navigation, Faculty of fisheries, Hokkaido University*)

1. はじめに

漁船が停止に近い状態で操船または漂流するような状況は，港湾内での入出港時ばかりではなく，操業時や漁具を投入してから船内に収納開始するまでの間，頻繁に出現する。また小型漁船の機関故障による漂流事故も珍しくはない。この様な状況では船は前進速度に対して横流れ速度が顕著に大きくなり通常の操縦運動等の範囲から大きく逸脱するが，この場合に於いて通常の操縦運動の延長線上にあるものとして運動方程式なり，流体力の数学モデルが記述出来ることが望ましい。またそれによって運動シュミレーションの簡易化や流れモデルの連続的変化の理解の一助となるであろうし，漁船の漂流量，漂流姿勢の解析にも役立つものと考える。著者らはこれまで漁船の操縦性流体力について研究を行い，横流れ角，船速，吃水等の変化と操縦性微係数との関係を調べてきた[1-3]が，前述の観点から本研究は，低速時の操縦運動に焦点をあて，相対的に外力や制御力が大きくなったために生じる大きな横流れ運動までを含む操縦性流体力の新しい数学モデルを検討するものである。

2. 新しい数学モデル

近年操縦運動においてMMG数学モデル[4]が発表され，一般化している。その中で横力，回頭モーメントの表現として3次形，2次形，クロスフロー形等種々のものが提案されている。更に最近では低速時の数学モデルとして横流れ角βによるフーリエ級数展開による方法[5]，クロスフローモデルの改良による方法[6]，揚力，抗力影響を分離した方法[7]その他の方法[8,9]等が発表されている。

本研究の基本的考えはOltmann[7]と同じ揚力，抗力等の分離方法をとるが，それに比べると非常に簡単な数式となっている。即ち次の考えの下で構成する。

1) 理想流体中の運動による流体力を最優先に考える。
2) 粘性に基づく揚力を加え，揚力の発生しない状況では零になるようにする。
3) クロスフロー抗力を加える。クロスフロー抗力係数は横流れ角$\beta=90°$のものC_{D90}を用いる。

図1に示す流体力モデルに基づき構成する。先ず定常速度で斜航する時の横力Yは理想流体中では力が働かないので次のように表現することが出来る（*は粘性影響を示す）

$$Y = Y_{uv}^{*} \cdot u \cdot v + 0.5\rho \int C_D \cdot v \cdot |v| \cdot d \cdot dx \qquad (1)$$

右辺第1項は粘性揚力，また第2項はクロスフロー抗力である。ここに

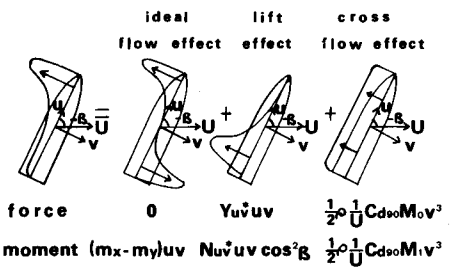


Fig. 1. New mathematical model expressing the values of hydrodynamic force and yaw moment.
$u = U\cos\beta$, $v = -U\sin\beta$,
U = ships' speed, β = drift angle
m_x, m_y : added mass coefficients of surge and sway motion
Y_{uv}^{*}, N_{uv}^{*} : coefficients of viscous lift effect
C_{D90} : coefficient of cross flow drag at drift angle 90°
M : 0 or 1st moment of ships' profile about ⊠

Y_{uv}^*：$v=0$ に於ける横力 Y の微係数 $\frac{\partial Y}{\partial v}$　　U：船速

u：前後速力 $(=U\cos\beta)$　　v：横速力 $(=-U\sin\beta)$

C_D：船体横断面の抗力係数　　d：横断面の吃水

ここで実験結果の原点傾斜より Y_{uv}^* を定め，C_D を Const. とおいて，$\beta=0°\sim180°$ の範囲で横流れ角 β 毎に C_D 値を算出すると $C_D=C_{D90}|\sin\beta|$ と大略近似出来る。従って (1) 式は

$$\begin{aligned} Y &= Y_{uv}^*\cdot u\cdot v+0.5\rho\int C_{D90}\cdot|\sin\beta|\cdot v\cdot|v|\cdot d\cdot dx \\ &= Y_{uv}^*\cdot u\cdot v+0.5\rho(1/U)C_{D90}\cdot\int v^3\cdot d\cdot dx \\ &= Y_{uv}^*\cdot u\cdot v+0.5\rho(1/U)C_{D90}\cdot M_0\cdot v^3 \end{aligned} \tag{2}$$

（ここに M_0 は船体 Profil の⊗に関する 0 次モーメント）となる。これは $u\fallingdotseq U$ の場合，v に関する 3 次式となり，微係数 Y_{uv}^* 及び $0.5\rho\ (1/U)\ C_{D90}\cdot M_0$ はそれぞれ MMG 数学モデルの中で Y_v 及び Y_{vvv} と対応して実験値によく近似する 3 次式モデルになっている。

一方ヨーモメントについてはムンクモーメントを使って

$$\begin{aligned} N &= (m_x-m_y)u\cdot v+N_{uv}^*\cdot u\cdot v+0.5\rho\int C_D\cdot v\cdot|v|x\cdot d\cdot dx \\ &= (m_x+m_y+N_{uv}^*)u\cdot v+0.5\rho\int C_D\cdot v\cdot|v|\cdot x\cdot d\cdot dx \end{aligned} \tag{3}$$

と表現することができる。(3) 式の右辺第 1 項は理想流体でのムンクモーメント，第 2 項は粘性揚力による修正項，第 3 項はクロスフロー抗力によるものである。ここに，$(m_x-m_y+N_{uv}^*)$ は $\beta=0$ におけるヨーモーメント N の微係数 $\frac{\partial N}{\partial v}$ であり，また横力の結果から $C_D=C_{D90}|\sin\beta|$ とおくことが出来る。ここで (3) 式に於て実験結果 (N－β 図) の原点傾斜より $N_{uv}=(m_x-m_y+N_{uv}^*)$ を定め，C_{D90} を用いて残差 $N-(m_x-m_y+N_{uv}^*)u\cdot v-0.5\rho\ C_{D90}\cdot\int v^3\cdot x\cdot d\cdot dx$ を算出すると，$\beta=0°\sim180°$ の範囲でほぼ $\cos\beta\sin^3\beta$ に比例する大きな残差が生ずる。そこで斜航角 β の小さい範囲に於いても流体圧力中心 (N/Y) が大きく変化する事実 (一般船型では船首から船尾方向に移動) を考慮して，その原因は揚力にあることを考え，$N_{uv}^*\cdot u\cdot v$ を $N_{uv}^*\cdot u\cdot v\cdot\cos^2\beta$ と置き換えて

$$\begin{aligned} N &= (m_x-m_y)u\cdot v+N_{uv}^*\cdot u\cdot v\cdot\cos^2\beta \\ &\quad +0.5\rho\int C_D\cdot v\cdot|v|\cdot x\cdot d\cdot dx \\ &= (m_x-m_y+N_{uv}^*)\ \mathrm{u\cdot v\text{-}N_{uv}^*\cdot u\cdot v\cdot\sin^2}\beta \\ &\quad +0.5\rho\int C_D\cdot v\cdot|v|\cdot x\cdot d\cdot dx \\ &= N_{uv}\cdot u\cdot v-N_{uv}^*(1/U^2)u\cdot v^3 \\ &\quad +0.5\rho\ (1/U)\ C_{D90}\cdot M_1\cdot v^3 \end{aligned} \tag{4}$$

（ここに M_1 は船体 Profile の⊗に関する 1 次モーメントである）と置くことが出来よう。この式も $u\fallingdotseq U$ の場合 v に関する 3 次式となり，微係数 $m_x-m_y+N_{uv}^*$ 及び $-N_{uv}^*\ (1/U^2)$ と $0.5\rho\ (1/U)$ $C_{D90}\cdot M_1$ はそれぞれ MMG 数学モデルで検討された N_v 及び N_{vvv} と対応して (4) 式は実験値に良く合うモデルになっている。

3. 供試模型船と実験装置

モデル式を検討するために北大水産学部大型水理実験水槽を用いて模型船による斜航実験を行った。供試船は 225G.T. の旋網運搬漁船 ($L_{pp}\times B\times D=43.0\ m\times8.4\ m\times4.0\ m$) 縮尺 1/21.5 である。その主要目，実験状態を表 1，図 2 に示す。本実験は PMM 装置を用い，流体力は船体の前部

Table 1. Principal dimensions and test conditions of the model ship

Principal dimensions

	Model	Ship
Scale	1/21.5	1/1
Gross Tonnage		225 ton
L_{pp}	2.000 m	43.00 m
B	0.391 m	8.40 m
D	0.186 m	4.00 m

Conditions

Displacement	86.5 Kg	881.148 ton
d_f (from B.L.)	0.176 m	3.784 m
d_a (from B.L.)	0.153 m	3.290 m
d_m (from B.L.)	0.165 m	3.548 m
Trim (from B.L.)	−0.023 m	−0.495 m
d_f (from K.L.)	0.165 m	3.798 m
d_a (from K.L.)	0.165 m	3.298 m
d_m (from K.L.)	0.165 m	3.548 m
Trim (from K.L.)	0 m	0 m
⊗B	0.007 m	0.151 m
C_b	0.651	0.651
Area of profile	0.3203 m^2	148.056 m^2
Velocity of drift	0.6 m/s	5.41 knot

with stad at S.S. 9 1/2 and F.P.

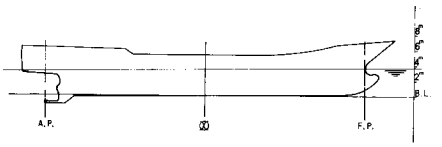


Fig. 2. Test conditions of the model 225G.T. fish carrier boat.

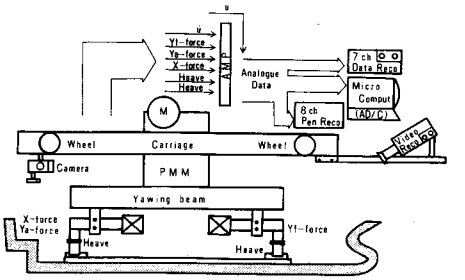


Fig. 3. Measuring system of hydrodynamic force and yaw moment for oblique tow tests of the model ship.

に取り付けた横力 (Y_F) の 1 分力検力計と後部に付けた前後力 (X) 横力 (Y_A) の 2 分力検力計により測定した。計測データは増幅器を経て AD 変換し計算機に取り込む方法を取り，その場で CRT 図形表示を行って時系列データを確認し，最も安定している計測状態の区間の時間平均値を解析計測データとした。計測システムを図 3 に示す。斜航試験は模型船の斜航角 β を船首から±

180° まで行い，0° と ±180° の前後 10° の間は 2.5° 間隔で，それ以外は 10° 間隔で行った。斜航速度は直進全抵抗係数 C_t がほぼ最小であった 0.6 m/s で行った。

4. 解析結果および考察

横力（Y）は Y_F+Y_A から，モーメント（N）は $1/4\ L_{pp}(Y_F-Y_A)$ から求め，X, Y, N を次式により無次元化した。

$$X'=X/(0.5\rho\cdot L_{pp}\cdot dm\cdot U^2)$$
$$Y'=Y/(0.5\rho\cdot L_{pp}\cdot dm\cdot U^2)$$
$$N'=N/(0.5\rho\cdot L_{pp}{}^2\cdot dm\cdot U^2)$$

ρ：清水密度　　L_{pp}：垂線間長

dm：船体中央吃水　　U：斜航速度

従って前述した数学モデルは

$$Y'=Y_{uv}{}'^{*}\cdot u'\cdot v'+C_{D90}\cdot M_0'\cdot v'^3 \tag{5}$$
$$N'=N_{uv}'\cdot u'\cdot v'-N_{uv}'{}^{*}\cdot u'\cdot v'^3+C_{D90}\cdot M_1'\cdot v'^3 \tag{6}$$

と無次元表示される。

$Y_{uv}'{}^{*}$, $N_{uv}'{}^{*}$：粘性揚力に関する微係数

N_{uv}'：理想流体力と粘性揚力による微係数

$u'=\cos\beta$　　$v'=-\sin\beta$

$M_0'=A_y/(Lpp\cdot dm)$　　$M_1'=A_y\cdot x_0/(Lpp^2\cdot dm)$

A_y：横投影面積　　x_0：⊗からの横投影面積中心までの距離

ここで横力（Y）において，最初に C_{D90} を求め，次に $Y_{uv}'{}^{*}$ を求めるが船型が前後非対称であることにより斜航角 $\beta=\pm90°$ を境にして 0° および 180° の原点傾斜よりそれぞれ $Y_{uv}'{}^{*}$ を定める。ここで得た C_{D90}, $Y_{uv}'{}^{*}$ を用いて，(5) 式に代入して Y' を再計算した。またモーメント（N'）においては横力と同様実験結果の原点傾斜より N_{uv}' を求め更に Y' の C_{D90} を用いて残差 $N'-N_{uv}'\cdot u'\cdot v'-C_{D90}\cdot M_1'\cdot v^3$ を算出し，この値を $-N_{uv}{}'^{*}\cdot u'\cdot v'^3$ で同定する。船の前後非対称性から

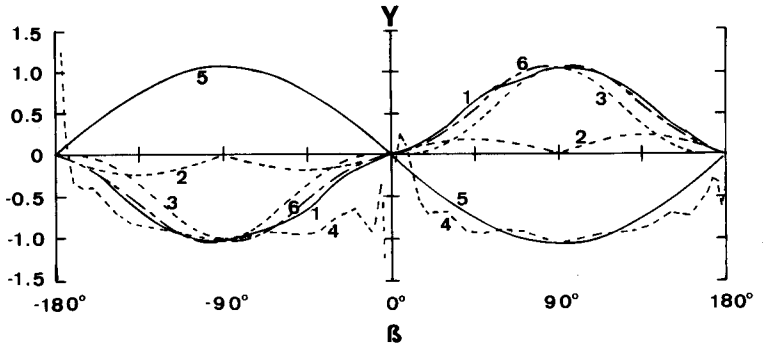


Fig. 4. Measured value and calculated values of lateral hydrodynamic force for model ship.
1: measured value, 2: $Y_{uv}{}'^{*}u'v'$, 3: $C_{D90}M_0'v'^3$, 4: C_D, 5: $C_{D90}\cdot\sin\beta$,
6: calculate value Y′

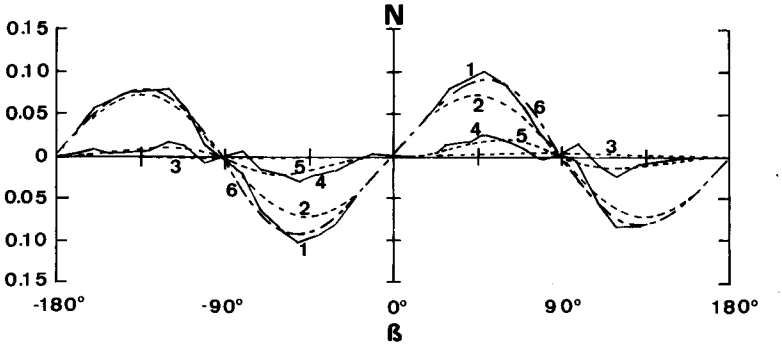


Fig. 5. Measured values and calculated value of yaw moment for model ship.
1: measured value, 2: $N_{uv}'u'v'$, 3: $C_{D90}M_1'v'^3$, 4: $N'-N_{uv}'u'v'-C_{D90}M_1'v'^3$, 5: $-N_{uv}'^*u'v'^3$, 6: calculated value N'

Table 2. Coefficients of hydrodynamic force and yaw moment.

C_{D90}	-1.0655 ($\beta=$ 90°)	$N_{uv}'^*$	0.0402 (90°$<\beta<$ 180°)
	-1.0309 ($\beta=$ −90°)		0.0624 (0°$<\beta<$ 90°)
$Y_{uv}'^*$	-0.4827 ($\beta=$ 0°)		0.0706 (−90°$<\beta<$ 0°)
	0.3572 ($\beta=\pm$180°)		0.0300 (−180°$<\beta<$−90°)
N_{uv}'	-0.1458 ($\beta=$ 0°)		
	-0.1466 ($\beta=\pm$180°)		

同定範囲を $|\beta|<90°$ と $|\beta|>90°$ とに分けて行い最小自乗法により微係数 $N_{uv}'^*$ を定める。Y' と同様得た微係数を (6) 式に代入し N' の計算値を求めた。

図4に旋網運搬漁船の無次元化した横力 Y' について，横軸に斜航角 β をとり，各項毎に示した。図中の数字1は実験値，6は (5) 式による計算値，2, 3は (5) 式の右辺第1項と第2項を表している。Y' 絶対値の最大値は±90° でほぼ1である。実験と計算の結果を比較すると，その絶対値は±90° 付近で計算値が大きく，0°, 180° 付近では実験値が大きい。しかし全体的には実験値をよく近似していると言える。またモーメント N' に関して図5に各項毎に示した。±120° と±50° 付近で最大となり，±90° を狭んだ前後 45° 位まで計算値と実験値が交錯している。これは図でも判るように $N_{uv}'^*\cdot u'\cdot v'^3$ の項と残差とがこの部分で合わなくなっているためである。その原因が他の項に問題があるのか，$N_{uv}'^*\cdot u'\cdot v'^3$ にあるのかは現時点では明らかではないが，(5), (6) 式において揚力項にしろ揚力モーメント項にしろ失速角を過ぎてまでもそれらを存続させているのが実験値との不一致の原因と考える。しかし基本的にはモデル式は実験値をよく近似していると言えよう。表2に Y' と N' に関する各微係数を示した。C_{D90} は±共にほぼ−1.0である。Y_{uv}' は船型が前後非対称のため 0° と 180° とは値が幾分違ってきている。N_{uv}' は 0° と 180° とほぼ一致している。$N_{uv}'^*$ は斜航角 $|\beta|<90°$ の時が $|\beta|>90°$ の時より大きい値を示した。

なお斜航試験による $\beta=0\sim360$ 度の操縦性流体力の v' ($=-\sin\beta$) 表示実験結果を付図1に示し，前進および後進の全抵抗値 R_t と全抵抗係数 C_t を付図2, 3に示した。

ここでは新しい数学モデルが実験値をどの程度表現出来るかが大きな課題であり，その点については概ね良好な結果が得られたと考えるが，仔細にわたっては改良の余地はあると言えよう。例

えば，横力 Y において，新しく揚力の非線形項 $Y_{uv}'^{*}\cdot u'\cdot v'\cdot \sin^2\beta$ ($\fallingdotseq Y_{uv}'^{*}\cdot u'\cdot v'^3$) を考慮して揚力モーメントの非線形項 $N_{uv}'^{*}\cdot u'\cdot v'\cdot \sin^2\beta$ ($\fallingdotseq N_{uv}'^{*}u'\cdot v'^3$) と対応させて検討する余地等を残していると言えよう。

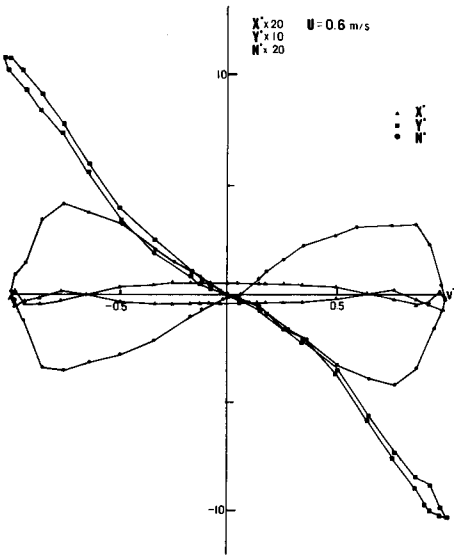
5. 結　　言

低速時における操縦性流体力の新しい数学モデルを理想流体力，粘性にもとずく揚力，及び抵抗係数を $C_{D90}|\sin\beta|$ で表現するクロスフロー抗力の3成分に分離した形で導入した。そして模型船を用いて斜航実験を行い，測定した横力 (Y) とモーメント (N) について，この新しい数学モデルで解析した。その結果実験値と計算値は概ね一致すると考えられ，新しいモデル式は斜航運動の全域にわたって流体力をよく近似する事が出来たと言えよう。しかし模型船の載貨状態を大きく変化させたり，さらに異なる船型での実験を行い本数学モデルの適合性を調査しておく必要があろう。また揚力モーメントの非線形項 $N_{uv}^{*}\cdot u\cdot v\cdot\sin^2\beta$ に対応した揚力の非線形項 $Y_{uv}^{*}\cdot u\cdot v\cdot\sin^2\beta$ の追加や微係数の算定方法も数種考えられるので，これについても検討を加えたいと考えている。この手法は曳航水槽における船体水線下部の流体力の解析が目的であるが，風洞実験などによる船体水線上部に対する風圧流体力の解析にも応用できるものと考えており，今後の課題としたい。

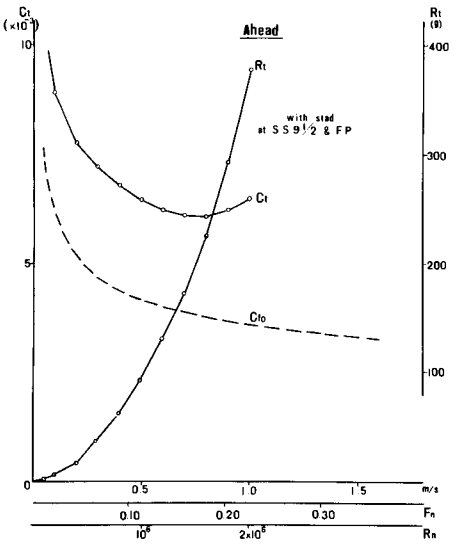
なお本研究は文部省科学研究補助金の交付を受けたものであり，また研究の遂行にあたり日本造船学会運動性能研究委員会の低速・浅水域操縦数学モデル検討専門委員会委員各位からの有益な討論に深く謝意を表します。終わりに本研究遂行にあたり曳航水槽における斜航試験に直接関与し協力を惜しまれなかった漁船工学講座研究生木村司氏，4年目学生粉川聡，柴本一成，白木国広，鈴木勲，丹田貢，松島章，宮下俊彦諸氏に感謝します。

文　　献

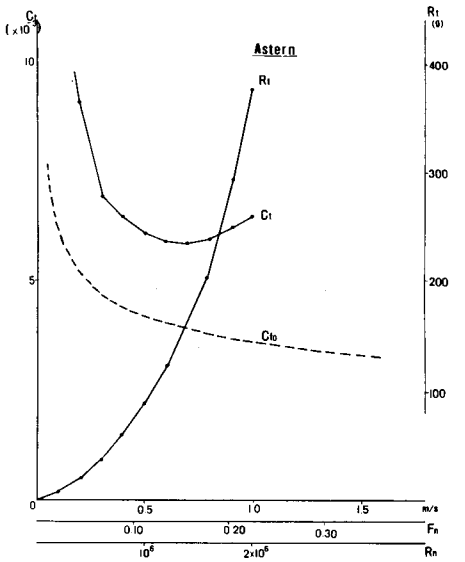
1) 烏野慶一・稲葉恭人 (1984). 漁船の船舶操縦性流体力に関する実験的研究 (1)，北海道大学水産学部研究彙報．**35**, 117-131.
2) 烏野慶一・稲葉恭人・蛇沼俊二 (1986). 漁船の船舶操縦性流体力に関する実験的研究 (2)，北海道大学水産学部研究彙報．**37**, 50-57.
3) 烏野慶一・稲葉恭人・蛇沼俊二 (1986). 漁般の般舶操縦性流体力に関する実験的研究 (3)，北海道大学水産学部研究彙報．**37**, 207-221.
4) 日本造船学会操縦性能推定専門委員会 (1985).「船の操縦性能の推定」特集，日本造船学会誌．668号
5) 高品純志 (1986). タグによる操縦運動とその計算方法について，日本造船学会論文集．160, 93-102.
6) 芳村康男 (1987). 浅水域の操縦運動数学モデルの検討 (続報)，関西造船学会秋期講演会
7) Oltmann, P. and Sharma, S. (1984). Simulation of combined engine and rudder maneuvres using an improved model of hull-propeller-rudder interactions, 15th Synposium Naval Hydrodynamics.
8) 小瀬邦治・日当博喜・橋詰泰久・二川栄二郎 (1984). 低速で航行する時の操縦運動モデルについて，日本造船学会論文集．**155**, 132-138.
9) 小保方　準・佐々木紀雄・永島実郎 (1981). 模型試験による船体に働く潮流力の推定，関西造船協会誌．**180**, 47-57.



Appendix 1 Longitudinal force X', lateral force Y' and yaw moment N' with $\beta=0°\sim360°$ in ahead and astern motions. $X'=X/(0.5\rho L_{pp}dmU^2)$ $Y'=Y/(0.5\rho L_{pp}dmU^2)$ $(N'=N/(0.5\rho L_{pp}^2dmU^2)$



Appendix 2 Dimensional total resistance Rt and non-dimensional coefficient of one: Ct for the model ship moving ahead ($\beta=0°$) by means of straight tow test.



Appendix 3 Dimensional total resistance Rt and non-dimensional coefficient of one: Ct for the model ship moving astern ($\beta=180°$) by means of straight tow test.