

薄い船の抵抗成分分離の実験的研究

足達 宏之*・日夏 宗彦*・神蔵 輝男*

On experimental separation of ship resistance for thin ship

By

Hiroyuki ADACHI, Munehiko HINATSU, and Teruo KAMIKURA

Abstract

The synthesized tests on a Wigley model ($L=4m$) are performed. These tests are composed of

- 1) Resistance Test
- 2) Wave Analysis
- 3) Wake Survey
- 4) Hull Pressure Distribution Measurement.

Resistance test and wave analysis are done under the free (heave, trim are free) and fixed (heave, trim are fixed) conditions. Furthermore, in the wave analysis, the influence of the distance between wave height meter and ship is investigated. Also, the separation of ship resistance is performed by using the results of the above tests.

On the other hand, an attempt for the computational resistance separation is made. The wave resistance is calculated by Guilloton's method, and using these results, the frictional resistance is estimated by the Tanaka-Himeno's first approximation for the turbulent boundary layer theory.

Both of the results, computational separation method and experimental one, show a good agreement.

目 次

1. まえがき	4-2-1 実験(E)
2. 模型船	4-2-2 実験(F)
3. 試験状態	4-3 後流計測
4. 試験方法	4-4 圧力分布計測
4-1 抵抗試験	5. 試験結果及び考察
4-1-1 実験(A)	5-1 抵抗試験
4-1-2 実験(B)	5-2 波形解析
4-1-3 実験(C)	5-3 後流計測
4-1-4 実験(D)	5-4 圧力分布計測
4-2 波形解析	6. 抵抗分離とその考察
* 推進性能部	7. あとがき
原稿受付：昭和56年9月16日	8. 参考文献
	Appendix 1 計算による数値抵抗成分分離

Appendix 2 船体の拘束条件による抵抗変化

1. ま え が き

近年、電子計算機の大形化に伴い、船体の流体力学的特性が計算によりかなり求められつつあるが、自由表面の持つ非線形性や、Navier-Stokes の方程式が持つ非線形性のため、理論計算のみによる諸特性の解明には今後の研究に待たねばならないところが多い。一方 Froude による抵抗分離の概念を用いた実船抵抗の推算の成功により水槽試験の有効性が認められて以来、船体の流体力学的特性を解明する上で水槽試験の持つ意味は非常に重要なものになった。

理論研究の発展と実験設備の発達、実験機器の機能の向上に伴い、初期の抵抗、自航試験に比べると、波形解析、後流計測、圧力分布計測あるいは摩擦応力計測等と水槽試験の種類も多種多様となり、計測データも大量化しかつ高精度化が要求されるようになって、ある船型に対して上記のような一連の水槽試験を実施するには非常な労力を要するようになってきた。これらを解決するにはマイクロコンピュータを導入したデータの即時処理を主としたシステムの構成をする必要があり、今後の水槽試験には不可欠のものと考えられる。

今回、I. T. T. C. Resistance Committee において Wigley model を用いた Geosim Test が提起され、船舶技術研究所において 4 m model を用いた自航試験を除く一連の水槽試験、即ち、抵抗試験、波形解析、後流計測、それに圧力分布計測を実施する機会を

得ることができたので、上記の理由に基づきマイクロコンピュータを用いた即時解析システムを作って実験することにした。

一方、船体の流体力学的特性を明らかにする上で抵抗分離の概念が非常に重要であるという認識から、得られた実験値を用いて抵抗分離を行った。今後、一つの船型に対して一連の実験が要求される事情が増えるものと考え、今回得られた試験結果が役に立つのではないかと考えたので、資料として示すことにした。

なお、理論計算により数値抵抗分離を行い、また、姿勢変化と抵抗の関係を調べ、実験とよい一致が見られたのでこれらを Appendix として示すことにした。

2. 模 型 船

供試模型は $L_{pp}=4\text{m}$, $B=0.4\text{m}$, $d=0.125\text{m}$ の Wigley 船型であり、船体表面は次式で表わされる。

$$y = -\frac{B}{2} \left\{ 1 - \left[\frac{x}{(L/2)} \right]^2 \right\} \left\{ 1 - \left(\frac{z}{d} \right)^2 \right\}$$

座標系は Fig. 1 に示したものを採用する。この模型の Body plan を Fig. 2 に示す。また模型船の製作精度を Table 1 に示す。模型船は木製であり、S. S. 9 $\frac{1}{2}$ のところに乱流促進用の台形スタッドが 1 cm 間隔で植えられている。スタッドの高さは 1 mm と 3 mm の 2 つの場合について実験を行っている。

3. 試 験 状 態

試験の状態は、dipping および trim を許した、

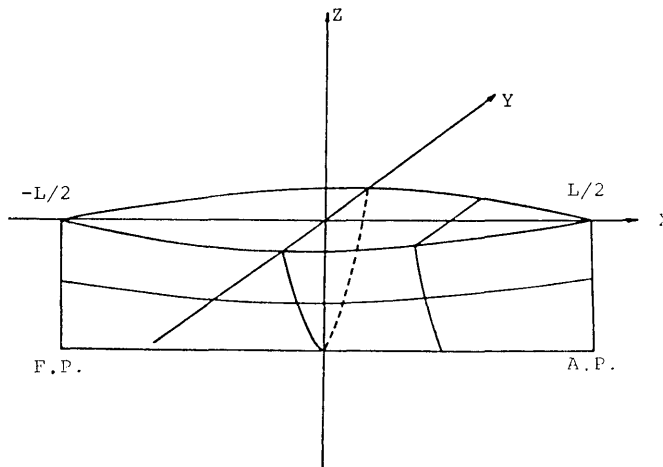


Fig. 1 Coordinate system

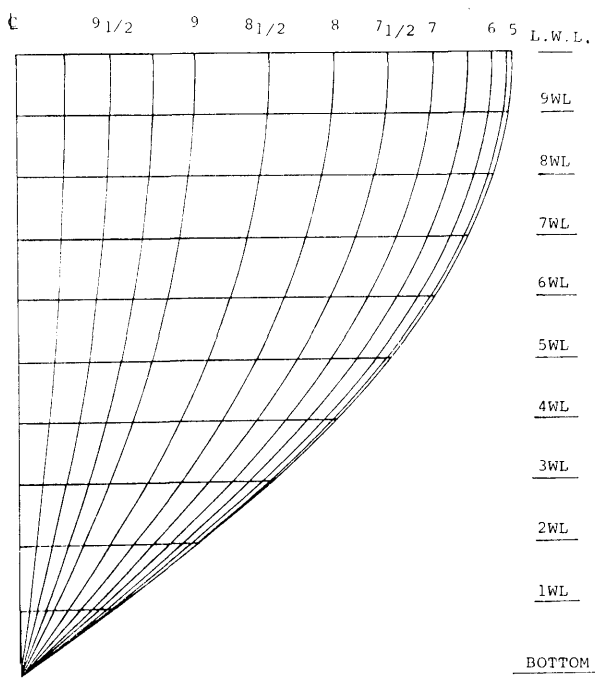


Fig. 2 Body plan of Wigley model

Table 1 Accuracy of manufacture of Wigley model

Z \ S. S.	1/4	1/2	3/4	1	2	3	4
L. W. L.	.010 .004	.012 .004	.012 .003	.012 .002	.006 0.0	.010 .001	.004 .004
7 W. L.	.007 .003	.008 .004	.008 .002	.007 .002	.003 .001	.005 0.0	.003 .002
4 W. L.	.004 0.0	.001 .001	.005 .001	.004 0.0	0.0 .002	.002 0.0	.002 .002
Z \ S. S.	5	6	7	8	9	9 1/4	9 3/4
L. W. L.	.003 .004	.001 0.0	.005 .004	.001 .004	.008 .004	.011 .001	.015 .003
7 W. L.	.001 .003	.002 .001	.004 .004	.002 .002	.007 0.0	.011 .003	.014 .004
4 W. L.	.005 .003	.003 0.0	.001 .002	.002 .002	.005 .001	.007 0.0	.011 .002

y : 設計値 y_m : 計測値 B/2 : 半幅

$$\frac{|y - y_m|}{B/2} \times 100$$

S
P

Table 2 Experimental conditions

	DATE	W. TEMP.	REMARKS
Resistance test (A)	Jan. 12. '81	11.8 (deg)	Stud height 1mm, Free Condition With Velocimeter $F_n=0.08-0.40$
Resistance test (B)	Jan. 14. '81	11.8 (deg)	Stud height 1mm, Free Condition Without Velocimeter $F_n=0.08-0.40$
Resistance test (C)	Feb. 12. '81	10.6 (deg)	Stud height 3mm, Free Condition Without Velocimeter $F_n=0.08-0.40$
Resistance test (D)	May 8. '81	15.5 (deg)	Stud height 3mm, Fixed Condition Without Velocimeter $F_n=0.08-0.40$
Wave Analysis (E)	Jan. 13. '81	11.8 (deg)	Stud height 1mm, Free Condition Without Velocimeter $F_n=0.21-0.40$, $Y=L/2$
Wave Analysis (F)	~ May 13. '81 May 14. '81	15.5 (deg)	Stud height 3mm, Fixed Condition Without Velocimeter $F_n=0.21-0.40$ $Y=0.729L$, $0.5L$, $0.833L$
Wake Survey	~ Feb. 3. '81 Feb. 10. '81	10.6 (deg)	Without Velocimeter Free Condition, 1%L AFT, 50%L AFT $F_n=0.250$, 0.267 , 0.289 , 0.316
Pressure Distribution	Mar. 26. '81	10.6 (deg)	Without Velocimeter Free Condition $F_n=0.250$, 0.267 , 0.289 , 0.316

free condition とそれらを許さない fixed condition の2つの場合について、抵抗試験と波形解析を行った。しかし、後流計測と圧力分布計測は free condition の場合のみ行った。試験状態をまとめて Table 2 に示す。なお試験は全て、三鷹第2試験水槽(400 m水槽)で行われた。

4. 試験方法

実施した試験の方法について、以下に順を追って述べる。

4-1 抵抗試験

抵抗試験は、Table 2 に示す状態で行われた。以下便利のために、日付順でそれぞれ実験(A), (B), (C)及び(D)と呼ぶことにする。

4-1-1 実験(A)

計測状態は free condition であり、抵抗動力計による抵抗値、トリム計による船首尾沈下量、それに翼車型流速計による対水流速について計測を行った。また乱流促進用のスタッドは $9\frac{1}{2}$ に 1 cm 間隔で高さ 1 mm とした。

4-1-2 実験(B)

実験(A)の状態から流速計を除いたもので速度は対地速度とした。他は全て実験(A)と同一である。実験状態図を Fig. 3 に示す。

4-1-3 実験(C)

この実験では、乱流促進用のスタッドの高さ 3 mm をとした。これは低速域 ($F_n < 0.2$) 付近の抵抗値のパラッキの改善を目指したもので、以後の実験は全て

スタッドの高さを 3 mm とした。

4-1-1 実験(D)

この実験では、模型が静水面で静止している状態を 2つの 3分力計を用いて曳引車に固定し、拘束状態の抵抗値と上下力を計測した。実験概略図を Fig. 4 に示す。

4-2 波形解析

波形解析は Table 2 に示す状態で行われた。これ

についても日付順で実験(E), (F)と呼ぶことにする。

4-2-1 実験(E)

模型状態は、実験(A), (B)と同じで流速計は除いてある。波形計測位置は船体中央線より半船長離れた船の進行方向と平行な線上とした。航走状態は free condition である。計測は容量型波高計により行い、longitudinal cut 法を用いて解析した。波形記録の基準点は F. P. とし、基準点の設定には光電式合図マ

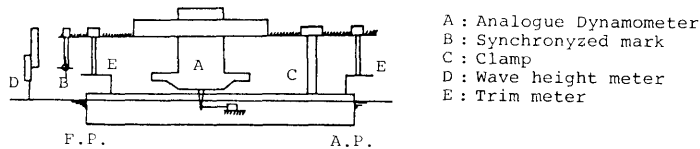


Fig. 3 Experimental apparatus of resistance test and wave analysis (free condition)

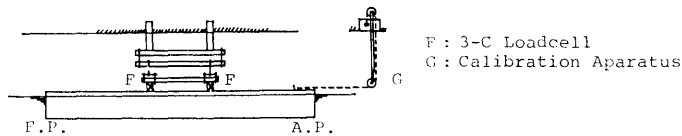


Fig. 4 Experimental apparatus of resistance test and wave analysis (fixed condition)

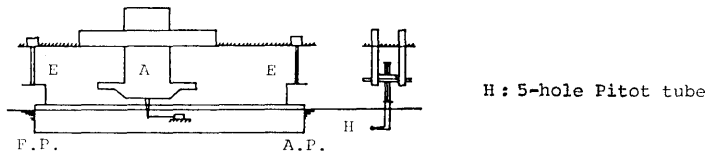


Fig. 5 Experimental apparatus of wake survey

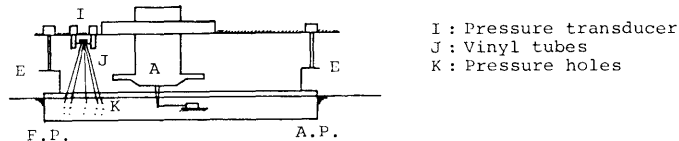


Fig. 6 Experimental apparatus of measurement of hull surface pressure

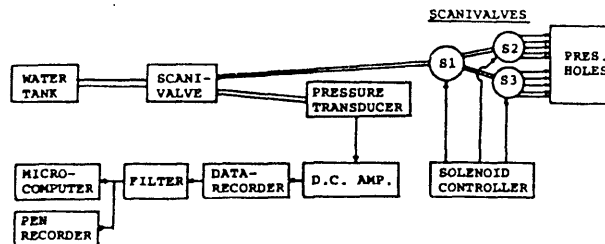


Fig. 7 Block diagram of pressure measurement system

Table 3 Results of resistance test unde free condition

$$\begin{aligned}
 LPP &= 4.000 \text{ m} & \nabla &= 0.1777 \text{ m}^3 \\
 \text{Temp.} &= 15.5 \text{ }^\circ\text{C} & \rho &= 101.860 \text{ kg}\cdot\text{sec}^2/\text{m}^4 \\
 K &= 0.095 & \gamma &= 1.1243 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}
 \end{aligned}$$

No.	U (m/s)	Fn	Rn $\times 10^6$	Rt (kg)	Ct $\times 10^3$	Cw $\times 10^3$
1	0.501	0.080	1.560	0.138	4.5334	0.1348
2	0.563	0.090	1.753	0.169	4.3963	0.0921
3	0.626	0.100	1.949	0.204	4.2924	0.0674
4	0.689	0.110	2.145	0.242	4.2034	0.0565
5	0.720	0.115	2.242	0.257	4.0878	-0.0254
6	0.751	0.120	2.338	0.287	4.1959	0.1141
7	0.783	0.125	2.438	0.298	4.0078	-0.0445
8	0.814	0.130	2.534	0.333	4.1439	0.1186
9	0.845	0.135	2.631	0.342	3.9494	-0.0487
10	0.877	0.140	2.731	0.372	3.9881	0.0159
11	0.908	0.145	2.827	0.393	3.9304	-0.0167
12	0.939	0.150	2.924	0.421	3.9370	0.0137
13	0.970	0.155	3.020	0.448	3.9260	0.0254
14	1.002	0.160	3.120	0.477	3.9174	0.0375
15	1.033	0.165	3.216	0.508	3.9254	0.0671
16	1.064	0.170	3.313	0.543	3.9549	0.1151
17	1.096	0.175	3.413	0.568	3.8989	0.0786
18	1.096	0.175	3.413	0.569	3.9058	0.0855
19	1.096	0.175	3.413	0.571	3.9195	0.0992
20	1.127	0.180	3.509	0.612	3.9730	0.1734
21	1.158	0.185	3.606	0.642	3.9476	0.1664
22	1.158	0.185	3.606	0.639	3.9292	0.1480
23	1.190	0.190	3.705	0.686	3.9944	0.2294
24	1.221	0.195	3.802	0.708	3.9158	0.1682
25	1.221	0.195	3.802	0.708	3.9158	0.1682
26	1.252	0.200	3.898	0.762	4.0083	0.2770
27	1.284	0.205	3.998	0.802	4.0111	0.2971
28	1.284	0.205	3.998	0.800	4.0011	0.2871
29	1.315	0.210	4.094	0.854	4.0722	0.3734
30	1.377	0.220	4.288	0.932	4.0529	0.3845
31	1.440	0.230	4.484	1.038	4.1275	0.4874
32	1.503	0.240	4.680	1.176	4.2925	0.6783
33	1.565	0.250	4.873	1.300	4.3766	0.7874
34	1.628	0.260	5.069	1.385	4.3088	0.7435
35	1.690	0.270	5.262	1.499	4.3276	0.7851
36	1.753	0.280	5.458	1.673	4.4890	0.9682
37	1.816	0.290	5.655	1.883	4.7080	1.2089
38	1.878	0.300	5.848	2.126	4.9704	1.4908
39	1.941	0.310	6.044	2.338	5.1170	1.6569
40	2.004	0.320	6.240	2.500	5.1329	1.6913
41	2.066	0.330	6.433	2.608	5.0381	1.6138
42	2.129	0.340	6.629	2.733	4.9717	1.5637
43	2.191	0.350	6.822	2.876	4.9400	1.5493
44	2.254	0.360	7.019	3.060	4.9663	1.5920
45	2.317	0.370	7.215	3.318	5.0962	1.7370
46	2.379	0.380	7.408	3.657	5.3279	1.9839
47	2.442	0.390	7.604	4.053	5.6041	2.2753
48	2.504	0.400	7.797	4.463	5.8692	2.5534

Table 4 Results of resistance test under fixed condition

$$\begin{aligned}
 LPP &= 4.000 \text{ m} & \nabla &= 0.1777 \text{ m}^3 \\
 Temp. &= 10.6 \text{ }^\circ\text{C} & \rho &= 101.930 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^4 \\
 K &= 0.085 & \nu &= 1.2845 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{sec}
 \end{aligned}$$

No.	U (m/s)	Fn	Rn $\times 10^6$	Rt (kg)	Ct $\times 10^3$	Cw $\times 10^3$
1	0.501	0.080	1.782	0.137	4.5036	0.1718
2	0.563	0.090	2.003	0.167	4.3473	0.1031
3	0.626	0.100	2.227	0.199	4.1901	0.0345
4	0.689	0.110	2.451	0.235	4.0846	-0.0019
5	0.751	0.120	2.671	0.277	4.0524	0.0283
6	0.814	0.130	2.896	0.320	3.9849	0.0177
7	0.877	0.140	3.120	0.367	3.9372	0.0214
8	0.939	0.150	3.340	0.415	3.8836	0.0139
9	1.002	0.160	3.564	0.474	3.8955	0.0706
10	1.064	0.170	3.785	0.530	3.8629	0.0774
11	1.127	0.180	4.009	0.601	3.9043	0.1572
12	1.190	0.190	4.233	0.669	3.8981	0.1871
13	1.252	0.200	4.454	0.742	3.9058	0.2277
14	1.315	0.210	4.678	0.836	3.9891	0.3416
15	1.377	0.220	4.899	0.907	3.9469	0.3279
16	1.440	0.230	5.123	1.021	4.0627	0.4711
17	1.503	0.240	5.347	1.151	4.2041	0.6388
18	1.565	0.250	5.567	1.241	4.1808	0.6396
19	1.565	0.250	5.567	1.263	4.2549	0.7137
20	1.628	0.260	5.792	1.352	4.2091	0.6908
21	1.673	0.267	5.952	1.418	4.1802	0.6784
22	1.673	0.267	5.952	1.402	4.1331	0.6313
23	1.690	0.270	6.012	1.448	4.1832	0.6891
24	1.722	0.275	6.126	1.503	4.1822	0.6980
25	1.753	0.280	6.236	1.611	4.3256	0.8523
26	1.807	0.288	6.428	1.757	4.4399	0.9830
27	1.816	0.290	6.460	1.809	4.5261	1.0725
28	1.878	0.300	6.681	2.009	4.7001	1.2662
29	1.878	0.300	6.681	2.035	4.7609	1.3270
30	1.910	0.305	6.795	2.119	4.7927	1.3687
31	1.941	0.310	6.905	2.220	4.8621	1.4467
32	1.980	0.316	7.044	2.309	4.8597	1.4565
33	1.980	0.316	7.044	2.305	4.8513	1.4480
34	2.004	0.320	7.129	2.380	4.8899	1.4932
35	2.066	0.330	7.350	2.468	4.7709	1.3907
36	2.129	0.340	7.574	2.589	4.7130	1.3503
37	2.191	0.350	7.795	2.707	4.6529	1.3066
38	2.254	0.360	8.019	2.887	4.6887	1.3578
39	2.317	0.370	8.243	3.125	4.8030	1.4863
40	2.317	0.370	8.243	3.103	4.7692	1.4525
41	2.379	0.380	8.463	3.384	4.9335	1.6321
42	2.379	0.380	8.463	3.427	4.9962	1.6948
43	2.504	0.400	8.908	4.128	5.4324	2.1572
44	2.504	0.400	8.908	4.090	5.3824	2.1072

ーク装置が用いられた。

4-2-2 実験(F)

この実験は、実験(D)と同じであり、fixed condition に対する計測を行った。計測位置は船体中央線より、

半船長、5/3×半船長、1.75/1.2×半船長離れた3種類 の longitudinal cut line とした。計測システムは 実験(E)と同じである。

4-3 後流計測

後流計測は Table 2 に示す状態で 球型 5 孔管 (12 mmφ) を用いて行った。計測点の x 座標は $L/100$ 後方, $L/2$ 後方の 2 つであり, (y, z) 座標は Table 5, 又は Table 9 に示した位置であり, $z=0$ は静止水面を, $y=0$ は船体中央線を表わす。半船長後方のデータから Total Head Loss の分布を求めこれを積分して粘性抵抗を求めた。また $L/100$ 後方のデータからは渦度成分を求め Wigley 模型のような平底を持たない薄い船の縦渦成分を調べた, 実験概略図 Fig. 5 を示す。

4-4 圧力分布計測

圧力分布は, 船体表面に 132 点の圧力孔を設けスキヤニバルブ及び, 半導体型圧力変換器を介して計測された。スキヤニバルブと応答の早い圧力変換器を用いることで 4 回の航走で 1 状態の計測が可能となった。また得られた圧力分布から, 圧力抵抗と船側波形を求めた。実験概略図を Fig. 6, Fig. 7 に示す。

5. 試験結果及び考察

5.1 抵抗試験

抵抗試験の結果を実験(A), (B), (C), (D)の順に, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11 に示す。また(D), (C)に対して結果を Table 3, Table 4 に示す。

Fig. 8, Fig. 9 を比較すると流速計を設置したときは, それがないときに比べ抵抗曲線が高速域になるに従って低くでているのがわかる。これは船が流速計の Wake 中を航走していることに起因するものと思われる。また, 流速計による対水速度と対地速度の差がわずかであったことや, 流速計で計測した対水速度と流速計の後流中を走っている船の実際の対水速度とが必ずしも一致しないであろうと考えられることなどから, 以後の実験では全て流速計を除いた対地速度で行った。今回の様な薄い船に対しては, 後流の影響は無視できないであろうし, また波形解析においては流速計を除いた対地速度を用いていることを考えるとこの方が一貫性があるものと考えられる。

Fig. 8, Fig. 9 に共通して見られるのは, $F_n \geq 0.2$ における抵抗値のバラツキである。この再現性の悪さの原因の一つとして, スタッドによる層流-乱流の遷移点の固定が十分でないことが考えられたので, 実験(C), (D)についてはスタッドの高さを 3 mm として抵抗試験を行った。Fig. 10, Fig. 11 にその結果を示す。この結果, $F_n \leq 0.2$ でのバラツキはなくなり再現性は改善され, スタッドの遷移点固定作用が抵抗試験の再現性に重要な役割を果たしていることが推定される。なお, これらスタッド自身の固有抵抗の変化分は考慮

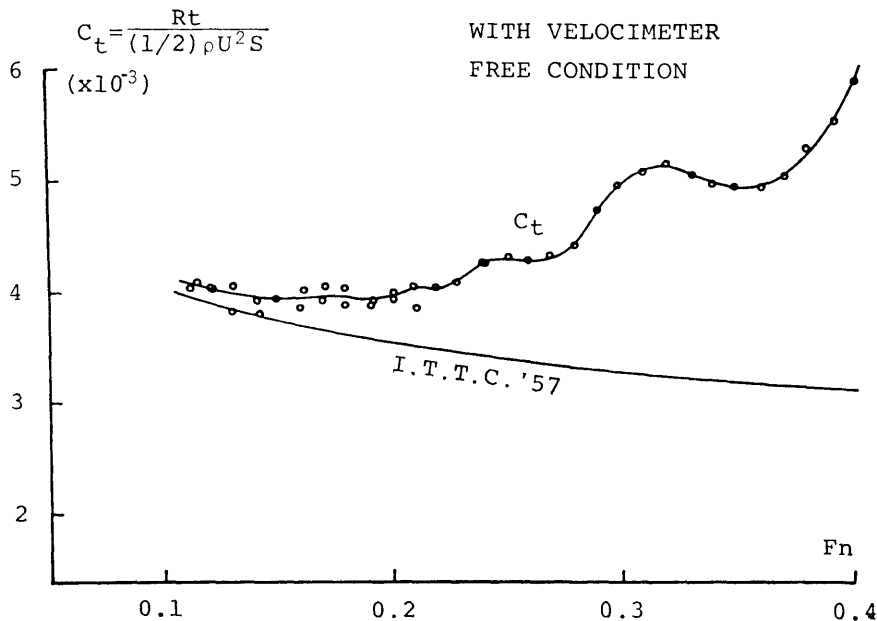


Fig. 8 Resistance curve

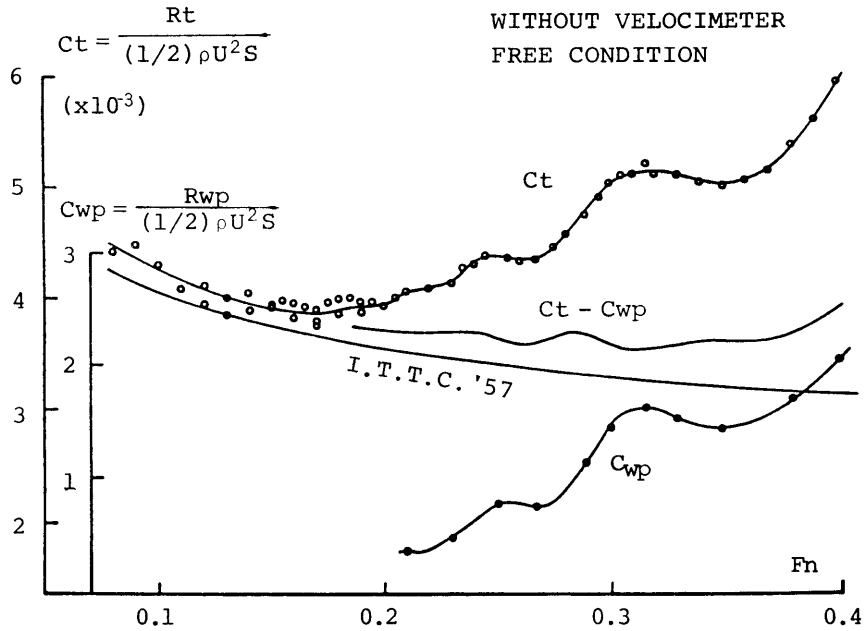


Fig. 9 Resistance curves

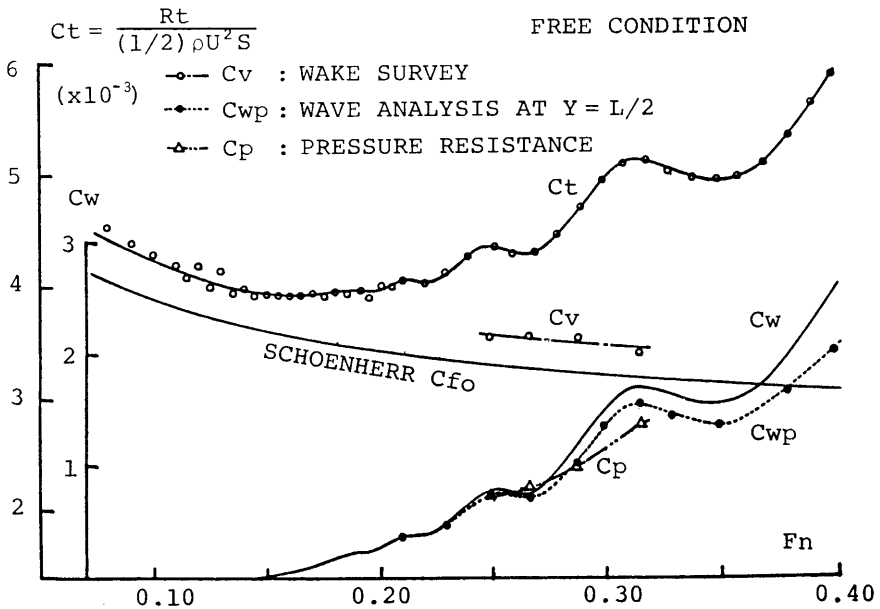


Fig. 10 Resistance components

していない。

Fig. 10, Fig. 11 に free, fixed の両 condition における造波抵抗係数 C_w を示した。 C_w は、平板

の摩擦抵抗式として Schoenherr の式を採用した 3 次元外挿法により求めた。このとき形状係数 K は free のとき 0.085, fixed のとき 0.095 であった。Free と

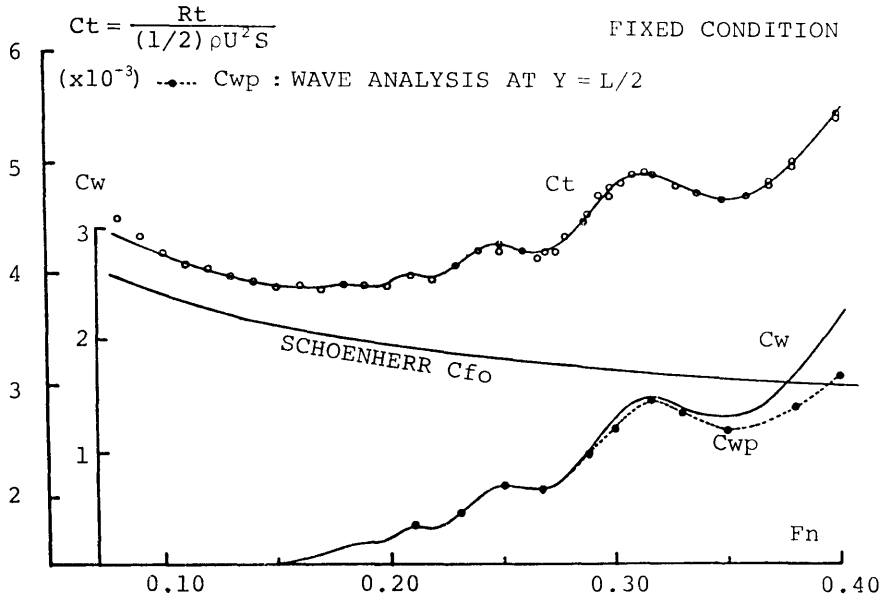


Fig. 11 Resistance components

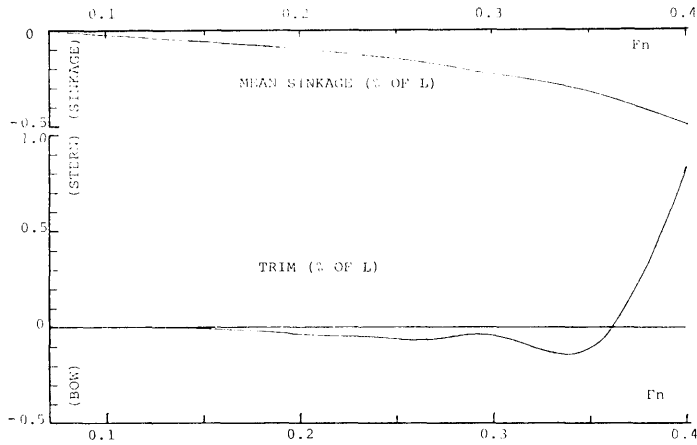


Fig. 12 Trim and mean sinkage curves

fixed のときの全抵抗の差はほとんど造波抵抗の差によるものであり摩擦抵抗の差による寄与は大きくない。摩擦抵抗 R_f は $R_f = 1/2 \rho V^2 S \cdot C_f$ (C_f : 摩擦抵抗係数) の関係から、同一速度では浸水面積 S に比例する量であることを考えると、姿勢変化による摩擦抵抗変化分は次の様にして推算することが可能である。即ち、今、free condition で航走しているときの平均沈下量に相当する量だけ fixed condition の時は浅喫水になったと考えると、Fig. 12 に示したよ

うに平均沈下量は、 $F_n = 0.4$ で $0.5\%L$ であることがわかる。これより free condition のときの浸水表面積が $S_{FR} \propto Ld$ (S_{FR} は free condition 航走時の浸水表面積、 d は喫水) に対し、fixed condition では $S_{FX} \propto L(d - 0.005L)$ 程度 (S_{FX} は fixed condition 航走時の浸水表面積) であることが言え、さらに $d = 0.125(L/2)$ であることから結局 $S_{FR} \propto 0.0625L^2$ に対して $S_{FX} \propto 0.0575L^2$ となり $F_n = 0.4$ で S_{FX} は S_{FR} の 8% 減となる。平均沈下量は速度と共に増加

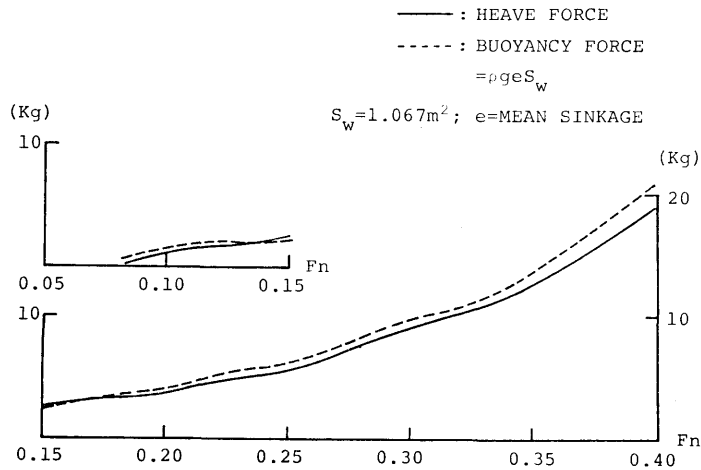


Fig. 13 Comprison between heave force and buoyancy force

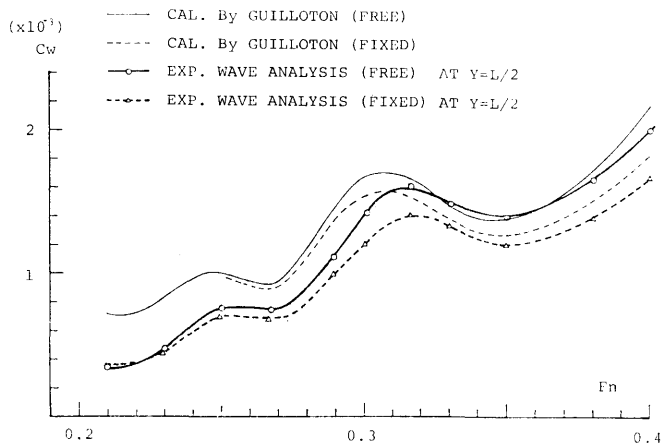


Fig. 14 Comparison of wave pattern resistance

するので $F_n \leq 0.4$ では数%の減少となることから、摩擦抵抗の差はそれほど大きくないことが言える。

一方、造波抵抗は船体形状の微分的素因が効いてくるため、わずかな姿勢変化で Fig. 10, Fig. 11 に見られる抵抗差を生じるものと考えられる。この事を計算で確認し、結果を Appendix 2 に示した。

Fig. 13 には、fixed condition で計測された上下力と free condition で計測された平均沈下量に水線面積と水の比重量を乗じた力を比較してある。両者はよく一致しており、fixed condition で計測された上下力は主に船体が運動することにより生じる圧力低下がもたらす船体近傍の水位低下による静的浮力減少では説明され、流水圧変化による吸引力による寄与は

相対的に小さいものと考えられることができる。

5-2 波形解析

Longitudinal cut method により求めた波形造波抵抗を free condition と fixed condition のそれぞれに対して Fig. 10, Fig. 11 に、また比較のために Fig. 14 に重ねて書いたものを示す。これから、波形造波抵抗 C_{wp} においても free, fixed の差が、3次元外挿で求めた C_w と同様に現われているのがわかる。3次元外挿で求めた C_w と C_{wp} を比べると、free, fixed 両 condition とともに高速域で $C_w > C_{wp}$ となっている。また、差 $C_w - C_{wp}$ が F_n に対して大略、直線的になっている。

Free と fixed condition における振幅関数を F_n

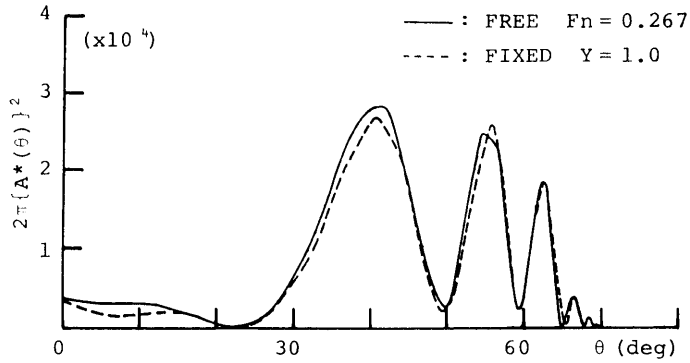


Fig. 15 Comparison of amplitude functions between free and fixed conditions

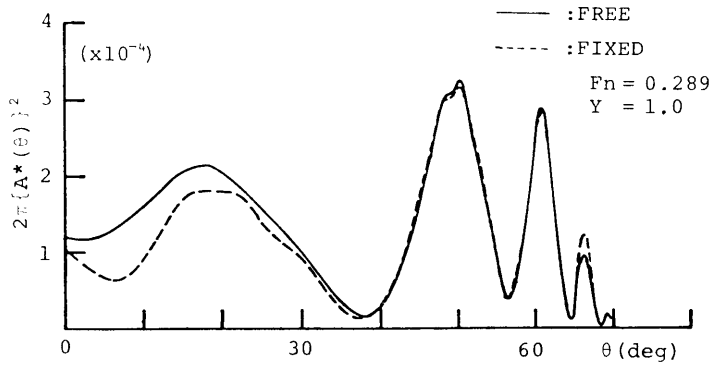


Fig. 16 Comparison of amplitude functions between free and fixed conditions

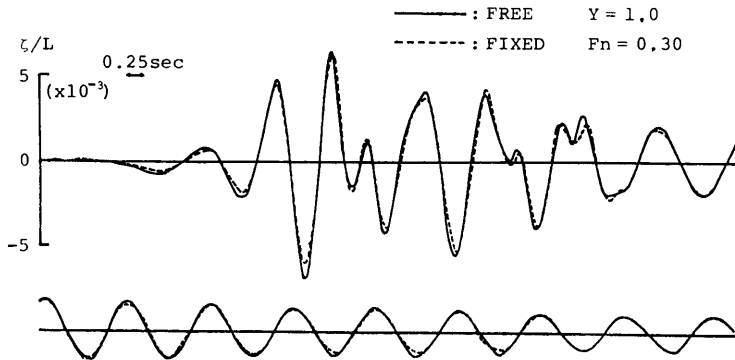


Fig. 17 Comparison of wave patterns between free and fixed condition

=0.267, 0.289 に対してそれぞれ Fig. 15 及び Fig. 16 に示した。低速では、両者はほとんど一致しているが、高速になると θ が小さいところで fixed condition の振幅関数の値が free condition より低めに出

ており、これが造波抵抗の差になって現われてきている。このことは理論計算においても同様な結果が得られた。(Appendix 2) Fig. 17 には無次元後続波形の比較の一例を示した。これで見ると両者とも波形状

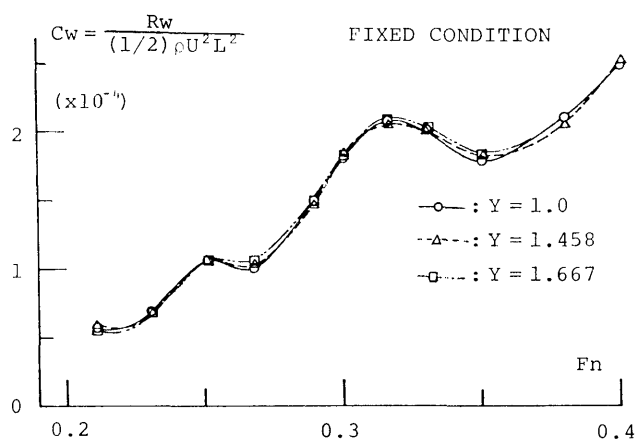


Fig. 18 Comparison of wave pattern resistances at different Y values

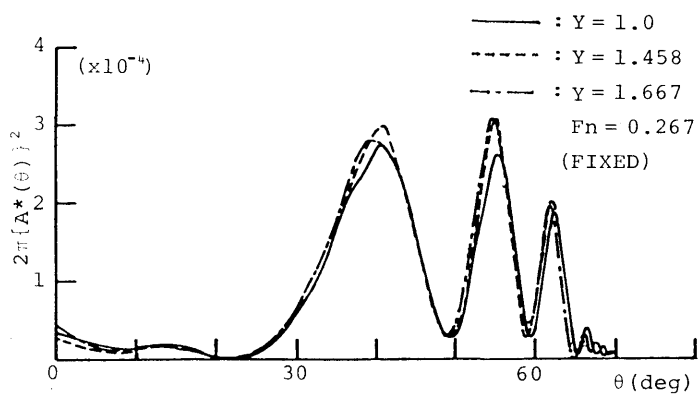


Fig. 19 Comparison of amplitude functions at different Y values

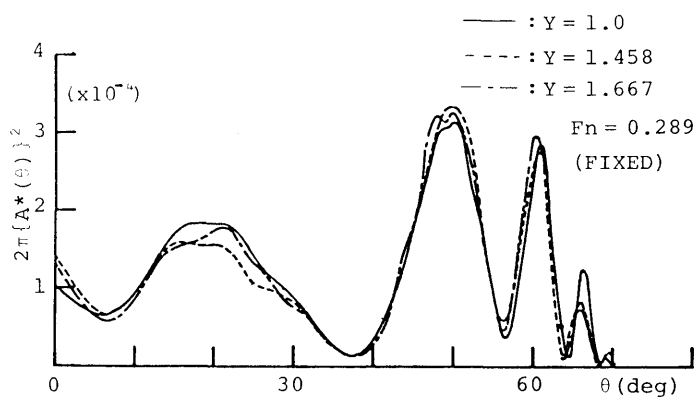


Fig. 20 Comparison of amplitude functions at different Y values

状及び位相差はほとんど一致しているが、振幅がわずかに fixed condition の方が小さくこの差が造波抵抗の差となってきたのがわかる。次に、波高計測の

位置を変化させたときの造波抵抗値を Fig. 18 に、振幅関数の比較を Fig. 19, Fig. 20 に示す、造波抵抗値は波高計測位置によってはほとんど変わらず三者の

Table 5 Results of wake survey ($F_n=0.25$, $L_{pp}/2$ aft)

		y (mm)										
z \ y	-40	-20	0	20	40	60	80	100	120	140	160	
-20	22.2 .909	29.7 .862	38.0 .834	38.0 .853	29.7 .859	16.1 .926	7.0 .961	4.1 .980	1.5 .985	1.0 .991	0.2 .997	
-40	24.2 .901	33.2 .859	39.6 .828	38.0 .852	29.3 .883	21.2 .901	11.3 .945	3.6 0.969	0.8 .986	0.6 .978	-0.2 .990	
-60	29.2 .876	40.0 .834	44.4 .820	44.1 .824	36.2 .877	22.1 .963	10.5 .923	2.2 .990	0.6 .999	0.2 1.001	— —	
-80	34.5 .788	41.7 .810	47.9 .775	46.9 .792	37.4 .853	25.0 .898	13.2 .939	3.6 .968	0.6 .982	-0.2 .988	0 .985	
-100	31.8 .869	43.7 .818	49.4 .799	46.8 .802	38.4 .853	24.5 .905	12.4 .939	4.1 .968	0.3 .984	0 .986	-0.4 .995	
-140	26.1 .882	39.2 .834	47.0 .804	43.2 .851	30.3 .928	20.1 .918	6.8 .969	0.6 1.001	0 .997	0 .989	0 .989	
-180	19.3 .877	32.6 .857	37.6 .825	36.4 .841	21.3 .943	8.8 .970	1.4 .984	0.3 .980	0 .977	0 .972	0 .977	
-220	8.8 .934	20.9 .936	32.3 .865	28.2 .930	17.6 .957	4.2 .993	0.8 .997	0.1 1.001	0 .996	0 .996	0 .996	
-260	-1.0 1.005	7.5 .969	17.3 .933	14.6 .959	5.8 .982	-0.2 1.009	0.1 1.004	0 1.007	0 1.007	— —	— —	
-290	— —	0.4 .998	2.3 .990	1.1 .991	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	T. H. L (mm) u/U_∞

 z (mm)

結果は、ほぼ一本の線に載っている。

振幅関数はピークの位相はどれも良い一致を見ている。 θ が高くなるほど、 $Y=1.0$ 、即ち船体に一番近い所で計測した結果による振幅関数が他に比べて小さく出ているのが見受けられる。この Y の位置によるスペクトルの違いは著者の一人により考察されており、それによると θ が大きいくところでは Y が小さい方が理論値に近く、 Y が大きくなるほど理論値から離れていくことが示されている。

5-3 後流計測

後流計測により得られたデータを Table 5~12 に示した。後流計測結果の一例として $F_n=0.316$ に対して Fig. 21~Fig. 27 に示す。Fig. 21, 22, 23, 24にはそれぞれ $L_{pp}/100$ 後方で計測した主流方向速度分布、総圧欠損、総圧欠損クロスカーブ、それに面内速度分布が示してある。Fig. 24 には更に無次元渦

度分布も示してある。その他の速度についても全体の傾向はここで示した例とほとんど変わらない。Fig. 21, 22から、総圧欠損と流速分布はよく似た形状をしており、流速がおそくなっているところほど総圧欠損が大きいのがわかる。また水面下 -60mm あたりには、等速度線において横幅のふくらみがみられ、境界層がこの付近で最も厚くなっているものと考えられる。Fig. 23 のクロスカーブはピラミッド状になっているが $L_{pp}/100$ 後方という船体直後での計測であることから、船尾造波による圧力影響もかなり入っているものと思われる、これから直接に抵抗成分分離の手掛りは得られそうにない。Fig. 24 に面内速度分布及びそれから求めた渦度分布を示した。面内速度は大略、船体中心線と水面に向う流れでありその大きさはだいたい主流の一割程度である。渦度分布は船体中心線に沿って水面から船底位置付近まで分布している。水面

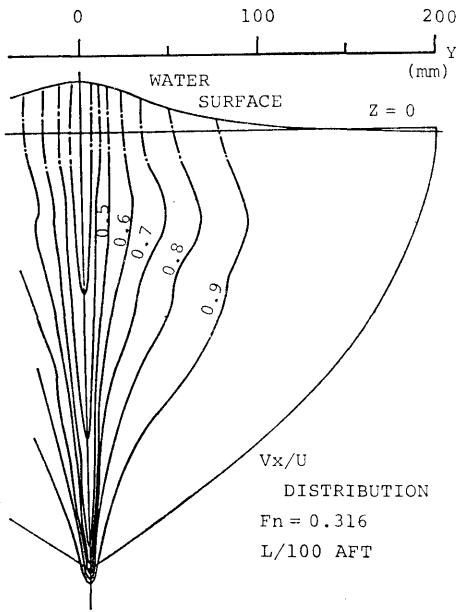


Fig. 21 Contour curves of velocity V_x/U

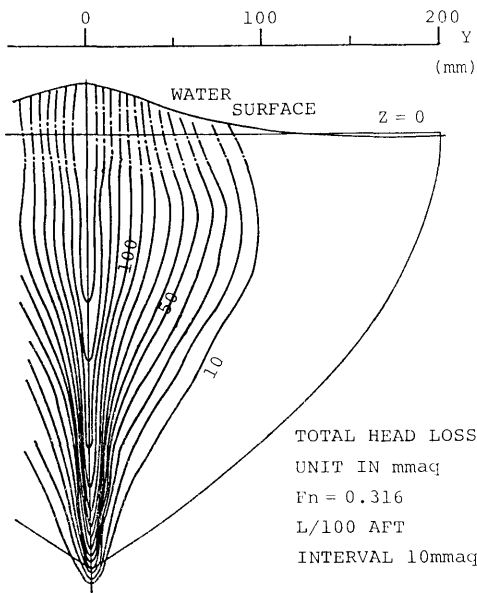


Fig. 22 Contour curves of total head loss

付近には船尾跳水渦²⁾と思われる渦分布が、船底付近にはいわゆる船尾縦渦が分布している。しかしながらそれらの大きさは微弱であり、例えばSR138における高速コンテナ船の縦渦強さの1/6程度、また肥大タ

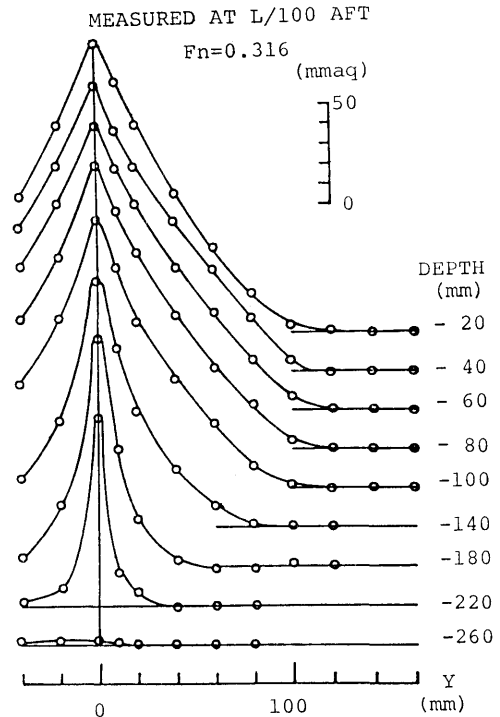


Fig. 23 Distributions of total head loss

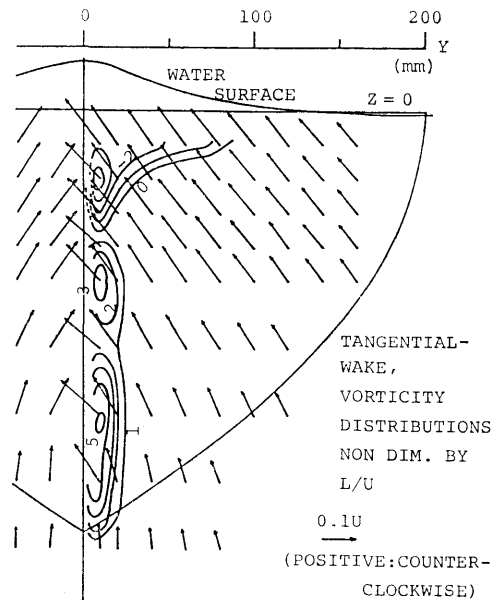


Fig. 24 Tangential wake distribution and Contour curves of vorticity

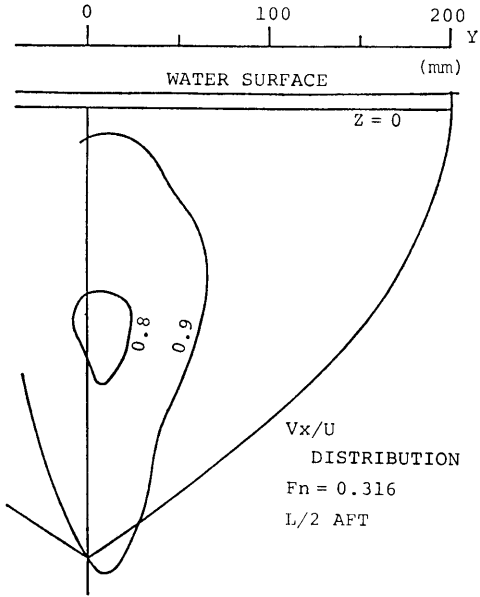


Fig. 25 Contour curves of velocity V_x/U

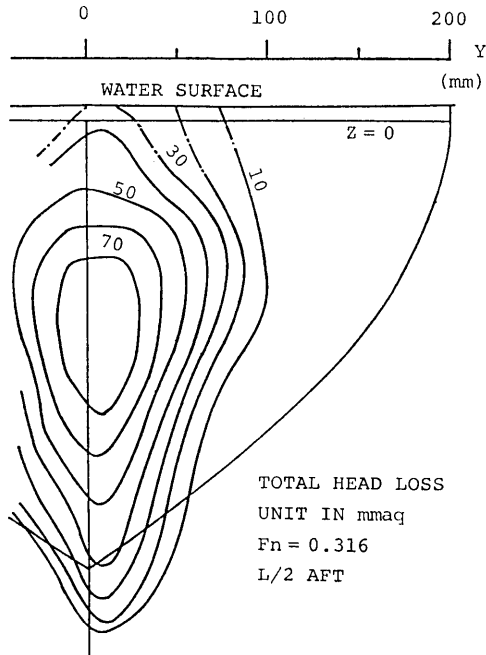


Fig. 26 Contour curves of total head loss

ンカー船型の1/10程度である。

Fig. 25 に、 $L_{pp}/2$ 後方で計測した主流方向速度分布、Fig. 26 に総圧欠損、Fig. 27 にそのクロスカー

(28)

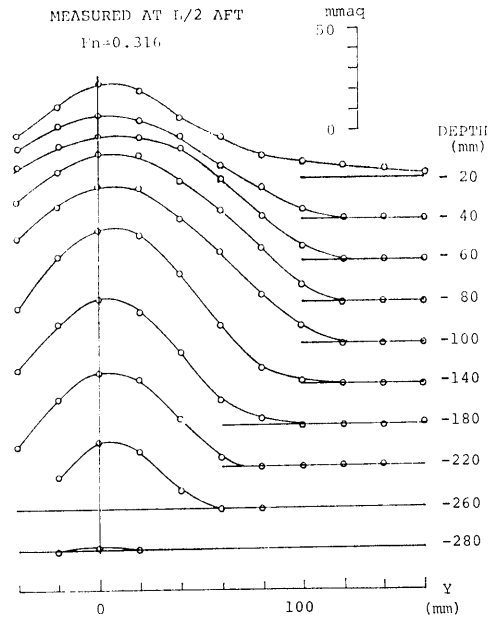


Fig. 27 Distributions of total head loss

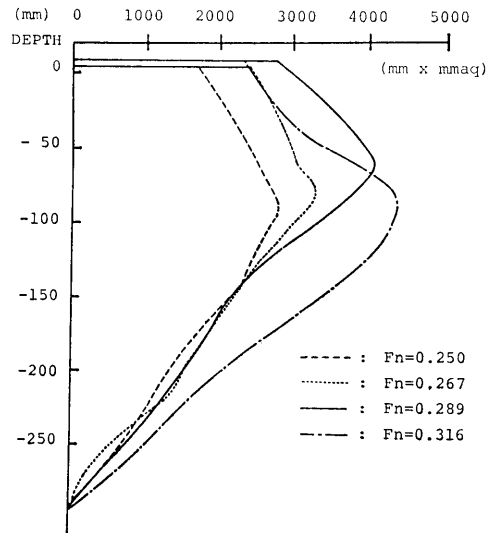


Fig. 28 Depthwise distributions of $\int (H_0 - H) dy$

ブを示す。これらより半船長後方の伴流の拡散領域は船の半幅程度で一見 $L_{pp}/100$ 後方のそれと変わらない。しかし船体直後の計測値は造波による圧力成分がかなりあり、直接比較はできないと考えられる。この Wigley 船型の伴流には縦渦成分が非常に弱い

Table 6 Results of wake survey ($F_n=0.267$, $L_{pp}/2$ agt)

		y (mm)									
z \ y	-40	-20	0	20	40	60	80	100	120	140	160
-20	27.0 .872	39.3 .871	46.7 .839	44.9 .842	32.9 .897	22.6 .910	12.2 .937	6.0 .965	1.6 .984	0 .990	0.3 .986
-40	33.7 .870	43.1 .844	49.9 .819	48.4 .817	35.6 .880	25.4 .903	14.0 .939	5.5 .971	0.6 .995	0 .999	0 1.018
-60	32.6 .874	45.7 .822	53.1 .781	50.4 .823	41.6 .850	26.8 .891	15.6 .921	4.6 .956	0.2 .984	0 .982	-0.4 .982
-80	37.1 .927	49.9 .804	57.0 .756	53.7 .751	43.5 .809	29.7 .854	15.5 .909	4.6 .943	0.4 .967	0.4 .990	-0.2 .991
-100	34.4 .856	45.7 .824	55.5 .767	55.0 .777	42.1 .841	27.7 .889	13.4 .925	4.5 .967	0.9 .982	0.6 .986	0.6 .988
-140	23.8 .902	40.7 .882	49.2 .835	47.2 .838	34.0 .882	18.6 .933	5.0 .989	0.2 1.004	-0.6 1.01	-0.4 1.006	0 1.000
-180	16.3 .955	33.8 .902	41.0 .875	38.9 .836	26.8 .905	10.7 .958	2.6 .987	0.5 1.003	0.7 .997	0.1 1.001	0.1 1.001
-220	7.8 .959	24.1 .906	34.7 .887	34.1 .882	20.8 .921	6.3 .972	0.4 .994	— —	— —	— —	— —
-260	— —	— —	21.3 .934	7.1 .971	1.0 .997	1.0 .994	0.4 .994	— —	— —	— —	— —
-290	— —	1.5 .986	3.6 .962	0.3 .980	— —	— —	— —	— —	— —	— —	T. H. L (mm) u/U_∞

 z (mm)

に、強い縦渦を伴う伴流が下流に行くに従って下がって行く現象はほとんど見られない。総圧欠損を幅方向に積分した量の深さ方向の分布図が Fig. 28 である。Fig. 28 の面積が粘性抵抗を表わす。これで見ると粘性抵抗成分の深さ方向の分布は速度により幾分異なるが、だいたい水面下80mm前後にピークを持っていることがわかり、これは総圧欠損分布図の最大幅をもつ位置と一致している。

5-4 圧力分布計測

圧力分布計測結果を Table 11~Table 14 に示す。それらより図化した一例として、 $F_n=0.316$ における圧力分布を Fig. 29 に、等圧力線を Fig. 30 に示す。また圧力分布から船側波形を求め、これを Fig. 31, 32に示した。同図には fixed condition の場合に船側波形写真から読み取った船側波形も示してあり、これは、free, fixed 両 condition における波形の比較

となっている。

圧力分布図において F. P. (A. P.) の値を示していないのは、F. P. (A. P.) の計測孔が小さすぎたため ($\phi=0.6\text{mm}$) にうまく計測されなかったからである。圧力分布曲線と船側波形はどれもほぼ相似であり、圧力がほとんど造波成分によるものと思われる。また等圧力線図も frame line にほぼ平行になっている。

圧力分布図を各水線面で積分し、深さ方向にそれらの積分値を書いたものが Fig. 33 である。これをもう一度積分すると圧力抵抗が得られる。各速度に対して分布形状は大略一致しており、また $F_n=0.25$ と $F_n=0.289$ が水面下130mm付近で圧力抵抗分布に山があるのがわかる。 $F_n=0.316$ と $F_n=0.267$ はそれぞれハンプ、ホローに対応するが Fig. 33 ではそれによる差異や特徴はみられない。

Table 7 Results of wake survey ($F_n=0.289$, $L_{pp}/2$ aft)

		y (mm)									
z \ y	-40	-20	0	20	40	60	80	100	120	140	160
-20	38.6 .843	45.8 .822	55.7 .795	53.9 .784	45.2 .822	34.2 .862	19.6 .911	7.5 .955	2.8 .971	0.4 .980	-0.2 .981
-40	42.6 .837	52.5 .797	59.8 .772	59.0 .764	49.5 .798	37.2 .852	21.8 .894	7.8 .944	1.3 .965	0 .973	-0.4 .977
-60	45.6 .810	58.6 .756	64.2 .725	62.1 .734	50.0 .783	38.9 .821	23.1 .876	8.9 .919	1.1 .955	0.3 .958	-0.1 .963
-80	40.7 .821	55.8 .765	62.0 .755	58.1 .763	50.1 .780	33.7 .848	17.8 .906	6.9 .933	0.8 .961	-0.2 .966	0 .965
-100	37.3 .843	53.2 .789	60.3 .766	58.0 .759	45.1 .811	32.5 .844	14.6 .910	3.5 .945	0.8 .953	0.2 .959	0.4 .957
-140	25.6 .895	42.4 .835	50.6 .799	49.1 .795	35.9 .840	17.9 .911	4.7 .943	0.5 .956	-0.3 .960	0.1 .961	0.3 .960
-180	18.3 .929	34.3 .867	42.2 .831	38.6 .860	22.2 .894	8.0 .930	-0.4 .966	-0.2 .962	0.2 .959	0.4 .959	0.2 .959
-220	8.6 .955	24.7 .906	34.2 .876	31.0 .871	18.0 .906	3.7 .960	-0.2 .968	-0.2 .966	0.8 .965	0.8 .963	—
-260	— —	7.9 .932	22.2 .890	17.4 .908	5.5 .943	0.1 .957	0.3 .952	— —	— —	— —	— —
-290	— —	0 .965	2.3 .946	2.3 .948	— —	— —	— —	— —	— —	— —	T. H. L (mm) u/U_∞

z (mm)

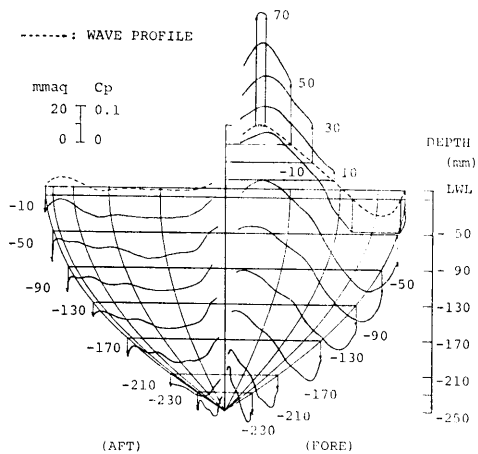


Fig. 29 Distributions of hull surface pressure

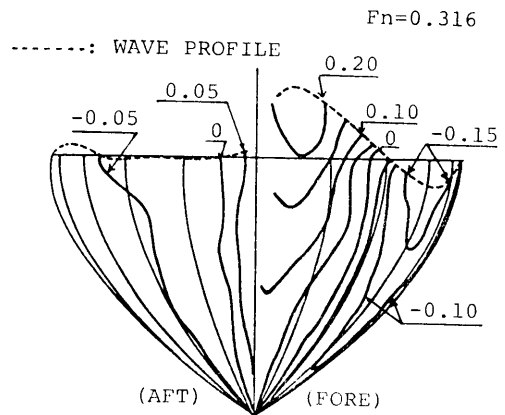


Fig. 30 Contour curves of hull surface pressure

Table 8 Results of wake survey ($F_n=0.316$, $L_{pp}/2$ aft)

		y (mm)									
z \ y	-40	-20	0	20	40	60	80	100	120	140	160
-20	19.8 .949	33.3 .901	44.3 .887	40.9 .879	27.5 .917	18.1 .942	8.8 .972	5.9 .987	4.0 .992	2.4 .997	0 1.008
-40	34.2 .913	45.8 .894	50.8 .888	47.9 .891	40.3 .894	25.9 .942	15.8 .970	4.5 .939	0.5 1.02	0.5 1.02	-0.2 1.02
-60	46.7 .892	56.4 .873	61.4 .882	60.8 .882	55.5 .876	40.6 .912	22.2 .959	7.5 .999	0.7 1.02	0.3 1.02	0.3 1.03
-80	49.1 .884	63.9 .847	72.7 .831	71.9 .815	59.5 .856	45.1 .890	26.6 .936	8.2 .986	0.4 1.01	0 1.01	0.2 1.01
-100	51.2 .869	66.9 .831	76.8 .819	75.9 .814	60.7 .842	44.3 .888	23.9 .945	8.7 .991	-0.4 1.01	-0.4 1.01	-0.2 1.01
-140	37.8 .904	62.8 .837	75.5 .803	73.4 .802	54.0 .858	29.1 .932	8.0 .986	1.7 1.01	0 1.01	0 1.01	0 1.01
-180	27.4 .936	49.9 .880	61.7 .848	56.0 .856	36.0 .907	12.4 .978	20.3 1.00	0 1.01	0 1.01	0 1.00	— —
-220	10.1 .979	32.7 .910	45.3 .883	42.1 .870	23.0 .922	4.2 .973	-0.4 .982	-0.2 .982	0.2 .978	0.8 .973	— —
-260	— —	15.4 .932	32.2 .901	27.4 .906	8.8 .956	0 .981	0 .983	— —	— —	— —	— —
-290	— —	0 .978	1.9 .974	0.9 .971	— —	— —	— —	— —	— —	— —	T. H. L. (mm) u/U_∞

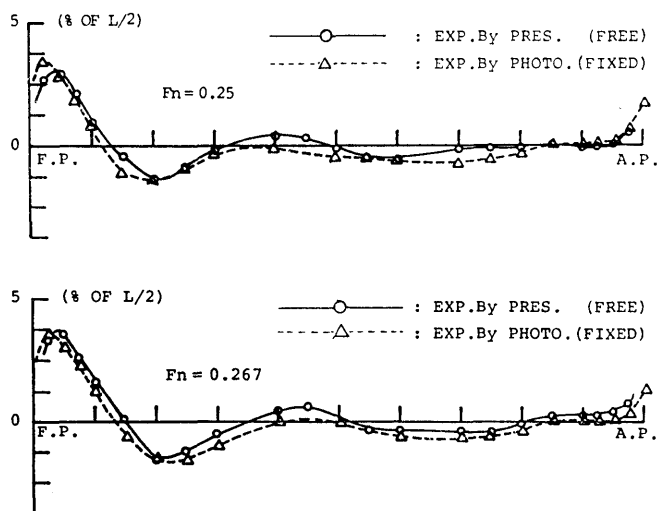
 z (mm)

Fig. 31 Comparisons of wave patterns along ship hull

Table 9 Results of wake survey ($F_n=0.25$, $L_{pp}/100$ aft)

		y (mm)											
z	y	-40	-20	0	10	20	40	60	80	100	120	140	160
-20		51.9	72.9	92.2	85.0	73.5	53.0	34.9	16.7	5.4	-0.1	0.1	-0.1
		.612	.460	.168	.319	.442	.605	.722	.837	.891	.931	.933	.941
		.050	—	-.014	-.101	-.094	-.073	-.071	-.081	-.080	-.070	-.071	-.068
		.070	—	.050	.044	.051	.071	.090	.096	.092	.083	.077	.070
-40		51.9	73.2	92.5	84.6	73.7	55.0	35.7	17.9	5.5	-0.1	0.1	0.5
		.632	.464	.189	.349	.454	.606	.733	.835	.901	.873	.936	.937
		.054	.065	-.064	-.117	-.100	-.076	-.079	-.080	-.078	-.070	-.065	-.063
		.070	.057	.040	.039	.050	.072	.079	.084	.080	.073	.069	.065
-60		49.6	69.3	91.1	83.1	71.2	51.0	33.4	17.5	3.4	0.1	-0.1	0.3
		.651	.501	.247	.361	.483	.632	.745	.834	.912	.927	.936	.937
		.056	.070	.003	-.105	-.093	-.079	-.079	-.076	-.073	-.060	-.059	-.058
		.074	.057	.030	.055	.058	.072	.077	.080	.072	.063	.060	.058
-80		44.4	65.3	90.3	81.8	67.6	45.2	28.6	13.3	2.4	0.5	0.6	1.2
		.675	.519	.250	.354	.487	.660	.752	.843	.900	.913	.919	.920
		.050	.064	-.049	-.117	-.099	-.082	-.088	-.080	-.072	-.060	-.059	-.058
		.078	.069	.046	.053	.064	.082	.082	.079	.073	.066	.063	.061
-100		36.6	56.9	86.7	76.0	59.2	37.9	21.5	8.9	0.3	-0.1	0.3	0.6
		.715	.598	.257	.439	.578	.701	.803	.863	.914	.919	.923	.926
		.048	.065	-.018	-.111	-.093	-.076	-.077	-.073	-.063	-.056	-.055	-.053
		.083	.077	.040	.060	.069	.085	.085	.076	.067	.063	.061	.058
-140		16.9	36.6	80.2	64.0	39.7	20.3	7.1	0.3	-0.3	0.1	—	—
		.831	.719	.321	.526	.699	.807	.874	.922	.918	.925	—	—
		.033	.062	.038	-.126	-.098	-.072	-.068	-.058	-.051	-.047	—	—
		.089	.089	.023	.067	.086	.086	.080	.061	.062	.062	—	—
-180		5.5	24.8	73.9	45.4	19.8	3.2	-0.3	-1.4	1.8	1.3	—	—
		.912	.794	.411	.675	.809	.905	.925	.933	.921	.928	—	—
		.021	.041	.076	-.131	-.084	-.049	-.041	-.038	-.042	-.041	—	—
		.080	.096	.036	.080	.087	.079	.067	.058	.063	.058	—	—
-220		1.6	4.7	59.8	14.6	3.9	-1.6	-0.5	-0.5	—	—	—	—
		.934	.915	.524	.861	.903	.935	.931	.933	—	—	—	—
		.001	.005	—	-.111	-.039	-.027	-.029	-.033	—	—	—	—
		.074	.091	—	.098	.085	.063	.060	.056	—	—	—	—
-260		0.9	0.7	0.7	2.4	0.3	-0.1	0.9	0.7	—	—	—	—
		.947	.943	.945	.929	.938	.941	.935	.938	—	—	—	—
		.008	.003	-.001	-.017	-.012	-.018	-.023	-.025	—	—	—	—
		.065	.068	.077	.072	.066	.061	.056	.052	—	—	—	—

 z (mm)

T. H. L. (mm)
u/U_∞
v/U_∞
w/U_∞

Table 10 Results of wake Survey ($F_n=0.267$, $L_{pp}/100$ aft)

		y (mm)											
z	y	-40	-20	0	10	20	40	60	80	100	120	140	160
	-20		57.5 .612 .054 .076	80.8 .438 .067 .062	103.6 .084 .004 .057	91.1 .318 -.077 .103	81.6 .423 -.092 .070	60.8 .578 -.081 .082	39.5 .701 -.087 .097	21.8 .800 -.093 .090	6.1 .874 -.095 .082	0.2 .903 -.088 .074	0 .909 -.086 .065
-40		55.4 .623 .057 .079	80.1 .432 .074 .066	102.1 .126 .064 .057	91.7 .290 -.074 .133	78.9 .454 -.101 .075	59.1 .581 -.090 .085	38.4 .710 -.089 .085	20.6 .797 -.092 .083	6.9 .865 -.092 .076	0 .900 -.081 .067	0 .904 -.079 .062	0.2 .908 -.077 .055
-60		53.2 .651 .054 .072	76.1 .496 .070 .066	101.3 .203 -.016 .035	90.6 .321 -.075 .133	78.0 .466 -.096 .052	54.5 .634 -.090 .070	37.1 .736 -.082 .077	18.2 .822 -.088 .073	4.6 .882 -.083 .068	0 .907 -.074 .059	0.2 .910 -.072 .054	0.4 .914 -.070 .050
-80		44.7 .693 .057 .076	69.8 .540 .071 .069	98.7 .229 .003 .025	86.7 .347 -.087 .151	72.7 .500 -.104 .060	49.1 .653 -.087 .073	30.6 .752 -.084 .077	15.9 .822 -.083 .066	2.9 .888 -.078 .062	0 .895 -.067 .053	0 .904 -.067 .049	0.4 .904 -.065 .045
-100		34.8 .759 .047 .083	60.6 .601 .076 .079	96.8 .280 -.001 .033	83.7 .398 -.092 .154	64.8 .577 -.098 .068	41.7 .711 -.085 .081	23.1 .804 -.080 .078	9.4 .868 -.079 .072	0.4 .907 -.070 .061	-0.2 .916 -.067 .056	0 .916 -.063 .053	0.4 .921 -.061 .049
-140		13.9 .856 .053 .087	37.9 .743 .085 .085	88.8 .361 .036 .019	63.1 .525 -.106 .130	42.7 .705 -.076 .079	18.5 .837 -.046 .087	5.3 .905 -.037 .076	0 .927 -.032 .066	-0.2 .932 -.029 .058	.03 .933 -.027 .056	— — — —	— — — —
-180		7.6 .897 .018 .055	28.4 .803 .018 .059	84.8 .409 -.013 .051	46.5 .664 -.107 .116	19.2 .857 -.013 .059	2.1 .941 -.015 .072	-0.6 .956 -.013 .059	-1.9 .966 -.013 .051	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —
-220		4.4 .932 .022 .066	7.8 .918 .016 .081	71.1 .523 — —	15.5 .873 -.082 .116	6.5 .924 -.009 .080	-0.6 .967 .001 .056	0.2 .967 -.002 .051	0.8 .966 -.003 .048	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —
-260		-3.2 .947 .005 .057	2.4 .949 .001 .059	2.2 .957 .004 .070	4.0 .933 -.011 .083	1.5 .964 -.014 .056	1.5 .967 .010 .052	0.9 .970 .007 .048	0.5 .975 .005 .045	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —

z (mm)

T. H. L. (mm)
u/U_∞
v/U_∞
w/U_∞

Table 11 Results of wake survey ($F_n=0.289$, $L_{pp}/100$ aft)

		y (mm)											
z	y	-40	-20	0	10	20	40	60	80	100	120	140	160
-20		72.4	97.0	121.6	111.7	100.5	75.3	51.3	29.9	9.9	0.6	0	0.2
		.585	.415	—	.300	.366	.542	.669	.771	.854	.892	.898	.900
		.064	.084	—	-.085	-.087	-.058	-.050	-.051	-.057	-.050	-.049	-.050
		.077	.086	—	.069	.073	.068	.070	.081	.082	.075	.068	.059
-40		67.8	96.2	119.4	111.1	94.5	69.1	47.8	29.1	11.0	1.0	0.7	0.3
		.627	.440	.174	.334	.441	.598	.708	.794	.864	.903	.908	.913
		.060	.083	.002	-.077	-.078	-.061	-.057	-.056	-.055	-.044	-.045	-.041
		.080	.074	.077	.050	.068	.075	.075	.074	.073	.065	.061	.055
-60		59.3	89.6	117.0	105.0	89.4	63.5	42.1	23.8	7.0	0.7	0	0.2
		.655	.459	.188	.373	.465	.620	.723	.809	.874	.900	.903	.906
		.064	.083	.006	-.085	-.076	-.061	-.055	-.054	-.051	-.043	-.039	-.037
		.084	.081	.051	.066	.058	.073	.072	.065	.063	.055	.051	.047
-80		50.9	78.9	114.4	98.0	80.6	54.9	34.9	17.9	4.4	0.7	0.2	0
		.705	.543	.238	.430	.528	.679	.770	.841	.892	.907	.915	.919
		.058	.079	.002	-.089	-.087	-.063	-.054	-.054	-.051	-.039	-.036	-.035
		.092	.087	.051	.065	.077	.084	.078	.075	.066	.059	.056	.053
-100		38.8	67.9	109.1	92.7	72.3	42.9	25.4	1.3	1.2	-0.1	0.2	0
		.758	.610	.287	.461	.580	.728	.806	.861	.902	.907	.910	.914
		.057	.076	-.007	-.093	-.078	-.062	-.055	-.051	-.042	-.036	-.034	-.031
		.096	.087	.040	.069	.075	.082	.081	.071	.060	.054	.051	.047
-140		13.9	41.8	100.5	73.0	45.6	22.3	6.9	0.6	0	0.4	—	—
		.848	.734	.345	.585	.715	.813	.878	.905	.908	.909	—	—
		.055	.081	.028	-.101	-.076	-.048	-.043	-.034	-.030	-.024	—	—
		.098	.096	.029	.059	.088	.088	.079	.066	.059	.056	—	—
-180		8.0	29.6	97.3	54.8	20.1	2.1	-1.1	-2.3	—	—	—	—
		.900	.810	.401	.700	.858	.929	.945	.958	—	—	—	—
		.033	.052	.016	-.110	-.062	-.026	-.022	-.023	—	—	—	—
		.080	.093	.040	.088	.093	.082	.070	.064	—	—	—	—
-220		4.3	8.5	84.5	19.0	7.1	-0.3	-0.1	1.0	—	—	—	—
		.927	.909	.450	.876	.905	.954	.960	.956	—	—	—	—
		.015	.011	—	-.081	-.014	-.008	-.010	-.011	—	—	—	—
		.072	.085	—	.101	.080	.071	.064	.060	—	—	—	—
-260		3.2	2.7	4.6	3.6	1.9	1.1	0.8	-0.2	—	—	—	—
		.934	.938	.958	.937	.950	.953	1.014	.961	—	—	—	—
		-.001	.007	0	0	-.009	.002	—	.004	—	—	—	—
		.062	.065	.119	.072	.066	.061	—	.053	—	—	—	—

 z (mm)

T. H. L. (mm)
u/U_∞
v/U_∞
w/U_∞

Table 12 Results of wake survey ($F_n=0.316$, $L_{pp}/100$ aft) y (mm)

$z \backslash y$	-40	-20	0	10	20	40	60	80	100	120	140	160
-20	70.8 .710 .071 .113	106.7 .283 — —	148.2 .242 .002 .129	128.6 .384 -.107 .136	106.9 .537 -.080 .118	71.6 .707 -.074 .110	44.1 .809 -.087 .116	20.7 .890 -.091 .111	3.7 .952 -.072 .094	1.1 .943 -.079 .002	0.1 .955 -.068 .081	-0.1 .956 -.062 .071
-40	75.0 .692 .069 .106	106.1 .552 .074 .104	146.7 .241 -.013 .115	124.0 .443 -.105 .107	105.7 .542 -.079 .109	78.3 .669 -.073 .105	53.7 .773 -.076 .104	27.8 1.012 -.075 .090	5.8 .928 -.078 .091	-0.3 .950 -.066 .081	-0.1 .951 -.062 .073	-0.3 .954 -.058 .066
-60	75.6 .688 .069 .104	107.9 .463 .075 .100	147.0 .269 .005 .102	125.1 .450 -.101 .104	107.2 .542 -.088 .105	74.6 .688 -.083 .110	51.1 .774 -.085 .107	26.6 .862 -.084 .105	7.2 .923 -.080 .094	0.6 .946 -.068 .084	0.4 .948 -.064 .082	0 .955 -.060 .075
-80	67.8 .725 .067 .106	99.9 .591 .078 .106	146.6 .278 .012 .093	123.6 .464 -.107 .092	101.7 .584 -.082 .106	69.7 .726 -.075 .105	42.5 .824 -.077 .102	23.4 .887 -.075 .096	4.6 .944 -.071 .085	0.7 .956 -.060 .078	-0.1 .963 -.057 .073	0.7 .964 -.053 .070
-100	55.4 .759 .066 .111	88.8 .622 .081 .115	140.2 .314 -.040 .083	114.4 .506 -.102 .106	86.8 .784 -.080 .113	57.6 .755 -.073 .110	34.0 .842 -.072 .105	12.7 .907 -.072 .095	2.3 .941 -.063 .084	0.5 .950 -.055 .078	1.5 .952 -.051 .073	0.7 .957 -.049 .070
-140	26.3 .859 .052 .112	55.8 .759 .072 .114	128.3 .367 .026 .063	93.0 .608 -.111 .090	60.3 .734 -.083 .111	30.6 .846 -.062 .111	11.3 .905 -.062 .105	1.3 .941 -.055 .086	0.5 .945 -.050 .080	0.3 .951 -.046 .075	— — — —	— — — —
-180	7.5 .931 .032 .104	34.1 .844 .056 .111	120.8 .409 .028 .057	62.6 .738 -.118 .104	26.4 .865 -.068 .116	5.2 .934 -.043 .100	0.6 .952 -.038 .087	0.2 .961 -.038 .079	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —
-220	2.3 .944 .014 .091	9.4 .960 .006 .107	97.4 .951 — —	17.1 .888 -.076 .115	6.9 .933 -.031 .103	-1.0 .521 -.019 .085	-0.2 .924 -.022 .077	-0.2 .952 -.026 .069	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —
-260	2.6 .936 .002 .068	2.4 .939 .007 .073	2.6 .958 -.013 .105	1.5 .951 -.005 .084	0.5 .941 -.001 .072	0.7 .946 -.007 .068	0.1 .951 -.012 .064	0.7 .949 -.016 .060	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —

 z (mm)

T. H. L. (mm)
u/U_∞
v/U_∞
w/U_∞

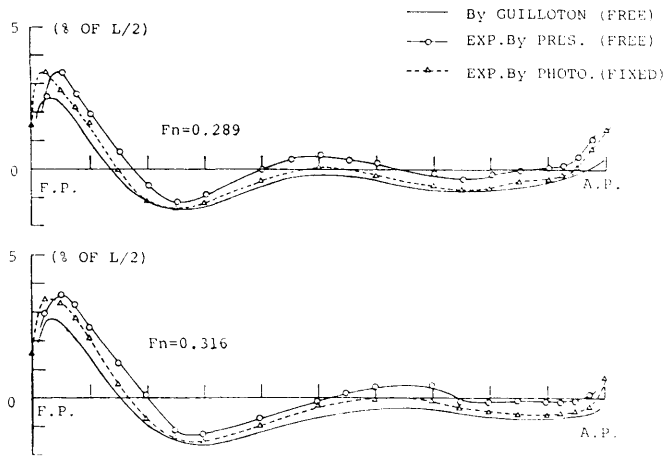


Fig. 32 Comparisons of wave patterns along ship hull

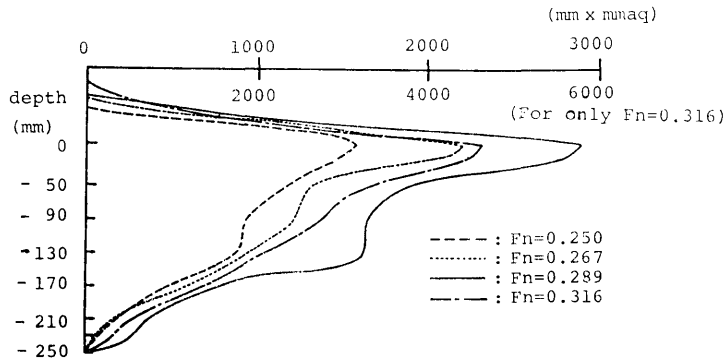


Fig. 33 Depthwise distributions of $\int_s p/\rho g dy$ (S: Body plan)

6. 抵抗分離とその考察

以上行った実験結果を用いて抵抗分離を行った。造波抵抗 C_w は抵抗試験の3次元外挿から、波形造波抵抗 C_{wp} は波形解析から、圧力抵抗 C_p は圧力分布計測から、そして粘性抵抗 C_v は後流計測からそれぞれ分離される。Fig. 10 にそれぞれ分離した抵抗成分を示してある。

粘性抵抗 C_v はほぼ Schoenherr line に平行となっており Wigley 船型のように薄い船に対してはいわゆる form frctor を用いた分離法

$$C_T = (1+K)C_{F0} + C_w$$

で大体、表現されるようである。

圧力抵抗は、造波圧力抵抗と粘性圧力抵抗に大別できると考えられる。今回のような薄い船型では、肥大

船型に顕著に見られる複雑な3次元剥離を伴う縦渦を含んだ伴流ではないので、粘性圧力抵抗は造波圧力抵抗に比べて十分小さいことが期待される。こう考えると圧力分布計測から得られる圧力抵抗は造波抵抗曲線に近い形状をなすことが期待される。Fig. 10 には圧力抵抗と造波抵抗の両曲線を示してあるが、これから、両者は同程度の大きさとは言えても C_p 曲線が C_w 曲線の特徴をよく追従しているとは言い難い。この原因として、F.P., A.P. 近傍で圧力が精度良く計測されなかったことがあげられよう。

Fig. 34 は棒グラフの形で全抵抗と各抵抗成分の和を比較したものである。これから、全抵抗はほぼ後流計測による粘性抵抗と波形解析による波形造波抵抗の和で表わされることがわかる。Wigley 船型のような薄い船で、顕著な波くずれが起きない状態では、後流

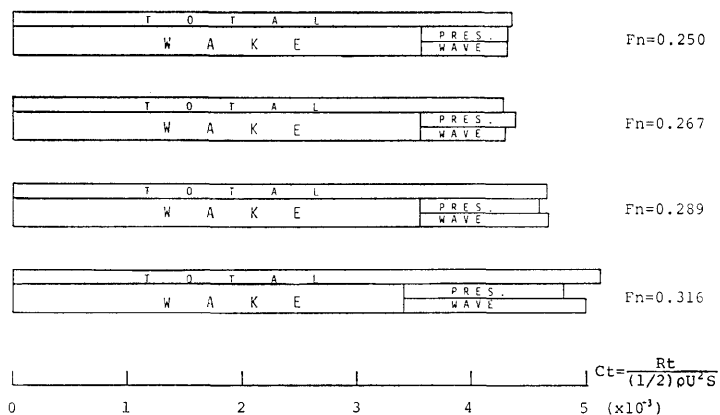


Fig. 34 Components of resistance

計測と波形解析により粘性抵抗と造波抵抗に実験的に成分分離が十分行えることが確かめられた。

7. あとがき

Wigley 船型を用いた、最初に述べた様な一連の水槽試験を行い、抵抗分離結果を含む諸結果を示した。現在まで一つの船型に対して総合的水槽試験が公表された例はあまりないが、以前、著者の一人が高速コンテナ船を用いて同様な試験を行っている⁵⁾。本研究も上記研究と同主旨のものであり、船の推進性能の研究において貴重なデータが得られたものと考えている。

- 1) 足達宏之；非常に長い中央平行部を持つ船型の波形解析について，船研報告第10巻4号
- 2) 種子田定俊；物体まわりの粘性流の観察，粘性抵抗シンポジウム，昭和48年
- 3) Gadd, G. E. ; Wave Resistance calculation by Guilloton's method T,R.I.N.A. Vol. 115, 1973
- 4) 田中一朗，姫野洋司；3次元乱流境界層理論とその応用，日本造船学会論文集，第138号
- 5) 足達宏之，塩沢政夫，不破健；高速コンテナ船型の総合的船型試験，船研報告，第12巻第1号
- 6) ADACHI, H, HINATSU, M ; On methods of the Separation of Resistance Components of Thin Ships, Jour. of the Kansai Society of Naval Arch., Japan Vol.183, 1981

参考文献

Appendix 1 計算による数値抵抗成分分離⁶⁾

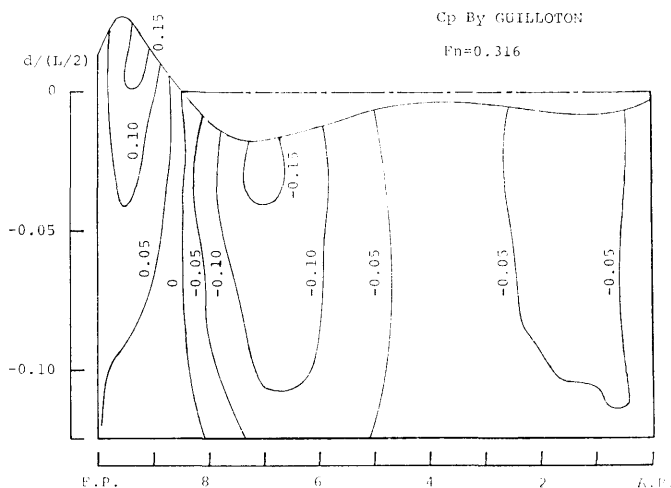


Fig. 35 Calculated pressure distribution

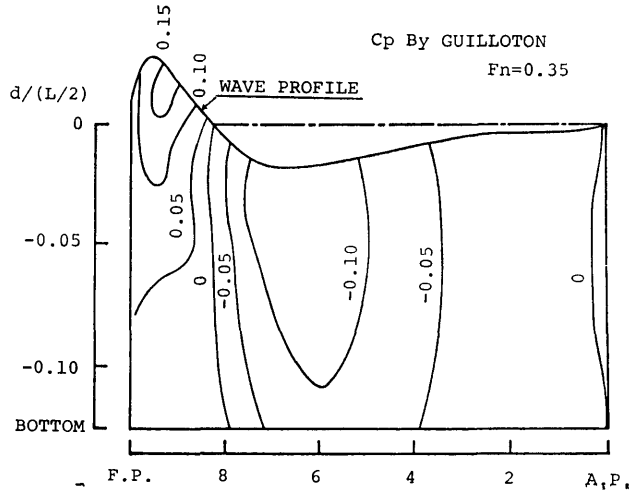


Fig. 36 Calculated pressure distribution

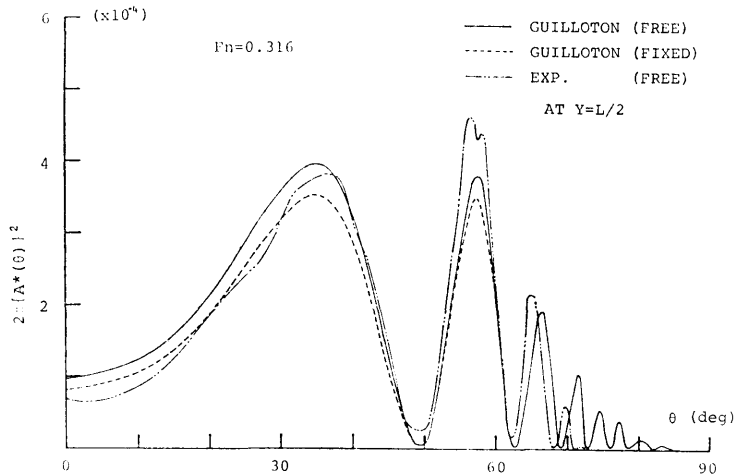


Fig. 37 Comparison of amplitude functions

実験で行った抵抗成分分離を理論的に計算により行い比較した。数値計算により船体に働く抵抗を求めるには、原理的には非線型自由表面条件をもつ船体まわりの流場に対して Navier-Stokes の方程式を数値的に解いて圧力と分布摩擦応力分布を計算すれば求まるはずである。しかしながら実際には船体まわりの流場が乱流であることから Reynolds 応力の仮定等、様々な問題に直面し、これも容易なことではない。また直接、支配方程式を解いて求める方法は、各抵抗成分の性質や、船型との関係等を調べる上ではあまり得策とは考えられず、各抵抗成分をとり出してそれぞれ

理論的考察を加える方がより重要な方法であると思われる。

今回、造波抵抗を求めるに当り、Guilloton 法³⁾を用いることにした。これは自由表面条件の非線型性が考慮されており従来の Michell 近似と比べるとかなり改善された計算法であることが示されている。粘性抵抗は摩擦抵抗のみ考えることにし、この摩擦抵抗を 3次元乱流境界層理論を用いて計算した。用いた手法は積分法であり、中でも最も簡便な田中・姫野の第一近似理論⁴⁾を用いることにした。境界層計算に用いる外部流れとして、先に述べた Guilloton 法により求

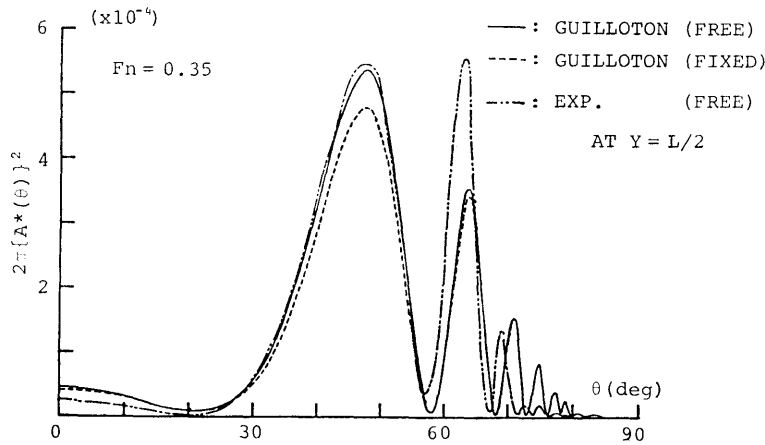


Fig. 38 Comparison of amplitude functions

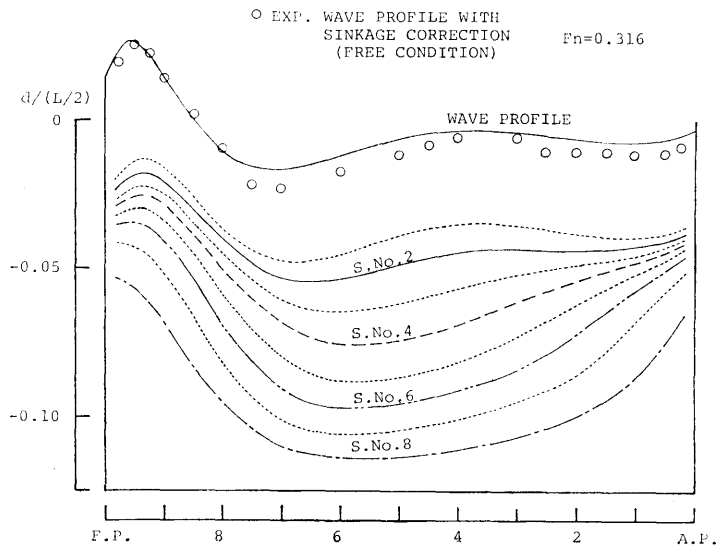


Fig. 39 Stream lines

められた流場を使い, F_n の影響を考慮した摩擦抵抗を求めたということができる。

計算結果は $F_n=0.316$, $F_n=0.35$ の2状態について図示し, $F_n=0.316$ がハンプ, $F_n=0.35$ がホローになるという2つの異なる特徴を持った状態の比較を行った。Fig. 35, 36 に $F_n=0.316$, 0.35 に対する圧力分布を, Fig. 37, 38 にはそれぞれにおける振幅関数を示した。計算された圧力分布と実験値との対応は非常によく, 造波圧力成分が大部分を占めていることがわかる。振幅関数について見ると, まず free, fixed condition の差は θ の小さい所で fixed condition

の方が小さくなっていることがわかり, 両者の造波抵抗の差がここに帰因しているのがわかる。また計算値は実験値と比べ, θ の小さいところでは過大評価, θ が大きくなるにつれて過小評価になる傾向があるようである。また位相も θ が大きくなるにつれてずれが目立つようになる。波形解析で求めた波形抵抗値と Guilloton 法により求めた造波抵抗値を比較したものが Fig. 14 である。これで見ると高速域ではかなりよく一致しているが, 低速域では計算は過大評価となっている。これは Thin Ship theory を基とした理論計算値にみられる傾向である。

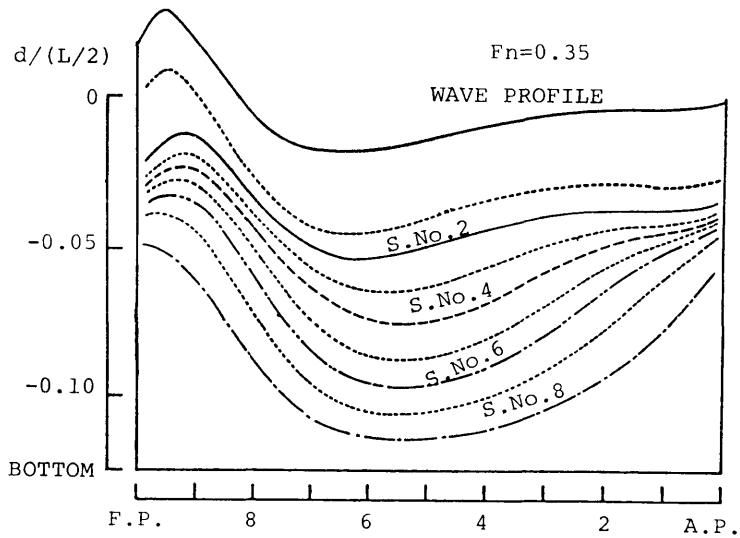


Fig. 40 Stream lines

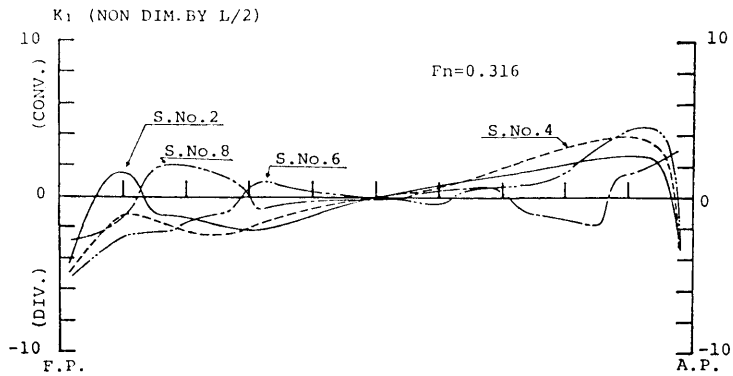


Fig. 41 Stream line convergence K_1

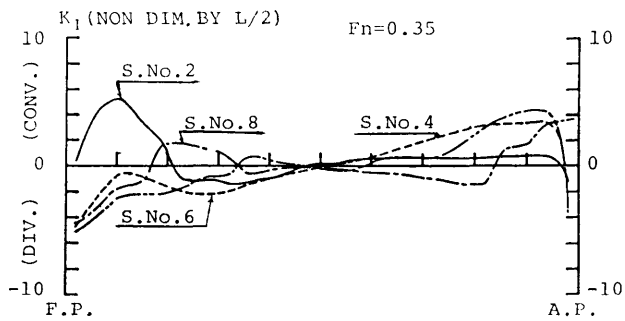


Fig. 42 Stream line convergence K_1

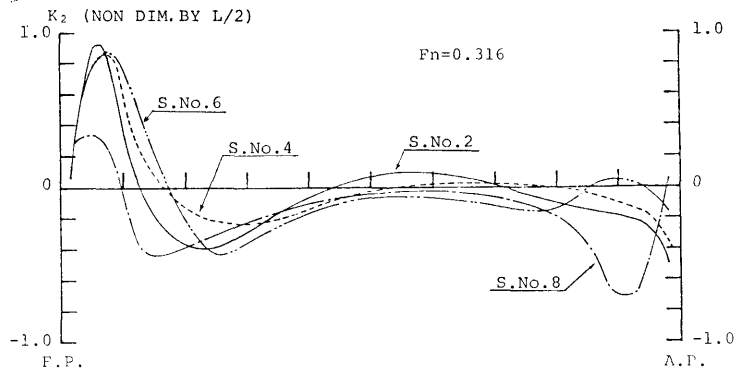


Fig. 43 Geodestic curvature K_2

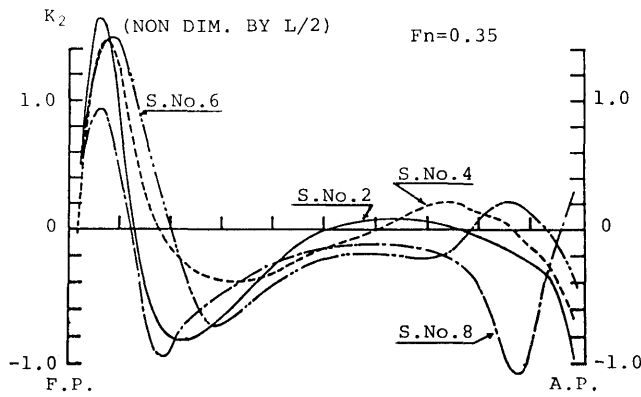


Fig. 44 Geodestic curvature K_2

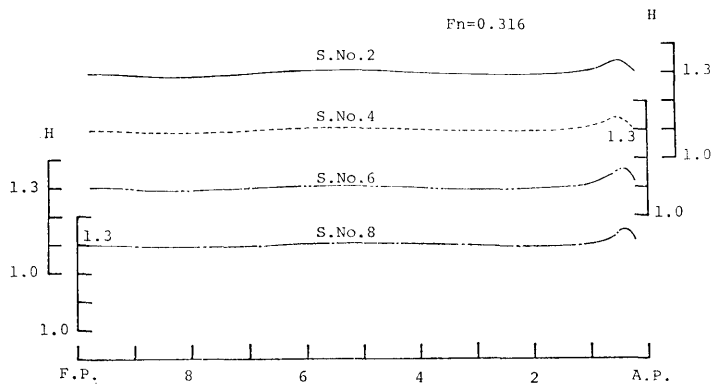


Fig. 45 Shape factor H

波の影響を考慮したポテンシャル流を用いて境界層計算を行った結果を示す。Fig. 39, 40 には Runge-Kutta-Gill 法を用いて船体表面上の流速を積分する

ことで得られた流線が示されている。船側波形と各流線を比べてとき、船底付近以外はほぼ相似となっており、流線が波の影響を受けていることがわかる。これ

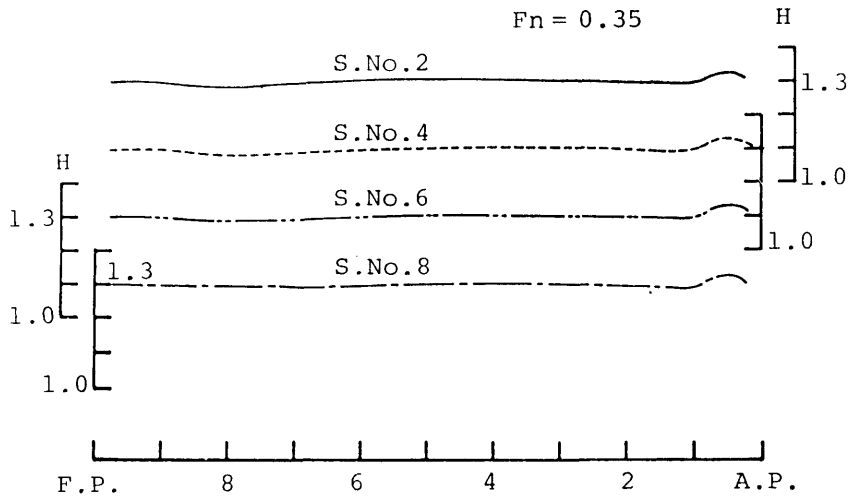


Fig. 46 Shape factor H

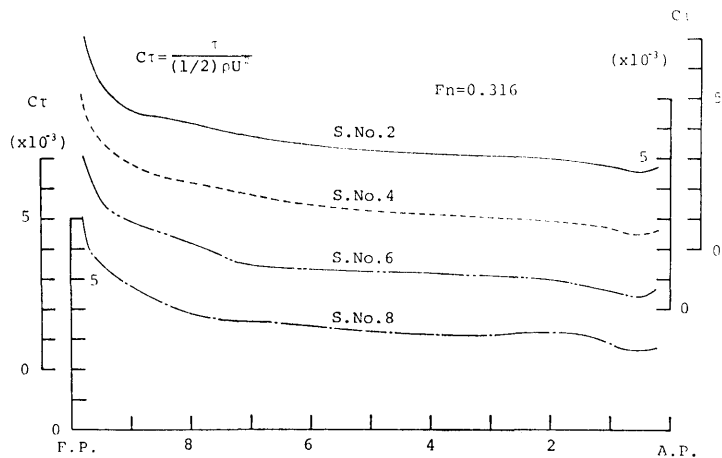


Fig. 47 Local skin friction C_τ

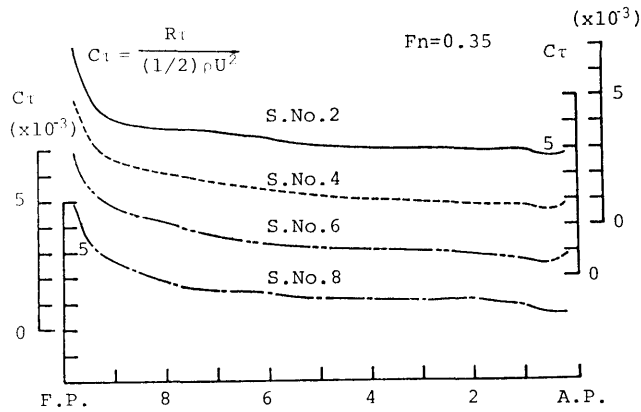
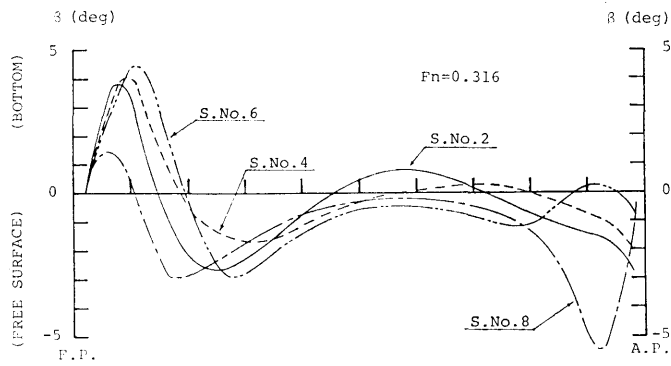
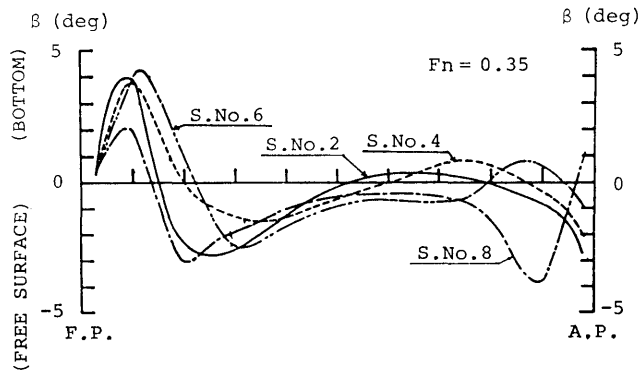
らの図やあるいは Fig. 41, 42 に示した各流線の convergence を示す K_1 と比べてみても明らかなように、F.P. から船体中央部まではひろがり、それから後半はせばまりになっているのがわかる。田中一姫野によると、運動量厚さの第1近似解は、 K_1 の流線距離に関するモーメント項が含まれていることや、2次流れ角は測地的曲率と流線距離の関数で表現されることが示されており、3次元境界層計算における K_1 , K_2 の役割は重要である。 K_2 を $F_n=0.316, 0.35$ に対してそれぞれ Fig. 43, 44 に示した。

Fig. 45, 46 に各速度における形状係数 H を、Fig.

47, 48 には局所摩擦力係数 C_τ の分布を示したが、両速度とも顕著な相違は見られない。今回、 H の初期値を 1.3 として計算したが、これが 4 m 模型に対して適当であったかどうか議論の余地があると思われる。

Fig. 49, 50 に 2 次流れ角の分布を示した。2 次流れ角も両速度間での相違は余り見られない。共通して言えることは船首付近で bottom 側に偏るが船尾へ行くにつれて水面方向に向くことである。

船体表面上に微小要素をとり、そこでの流向、2 次流れ角を考慮した方向に局所摩擦力が均一に作用するとして航走時における浸水面積で面積分し摩擦抵抗を

Fig. 48 Local skin friction C_f Fig. 49 Cross flow angle β Fig. 50 Cross flow angle β

求めた。このようにして求めた摩擦抵抗係数を Fig. 51に示す。計算された摩擦抵抗係数は Schoenherr line にほぼ沿っているが、 Fn に対するわずかな振動が認められ Shape factor H の Fn 依存性を思わせ

る。Fig. 51 には Guilloton 法により求めた造波抵抗値と摩擦抵抗値の和と実験より求めた全抵抗との比較も示している。これより全抵抗は、低速域で過大評価、高速域で過小評価になっているのがわかる。

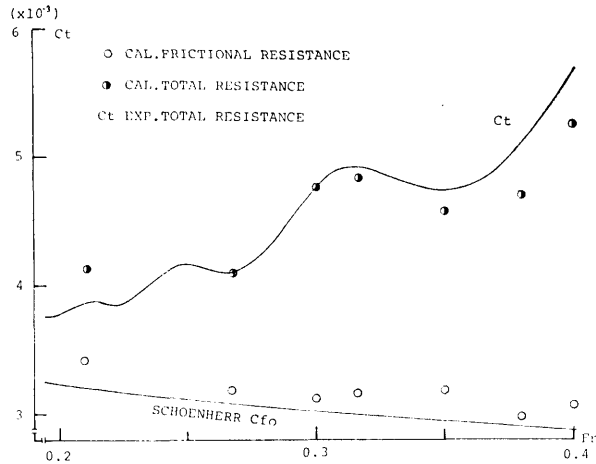


Fig. 51 Comparison of resistances between calculated and experimental results

Guilotton 法による C_w と波形解析による C_{wp} が $F_n=0.4$ 付近で良い一致を示していることを考えると、この差は Fig. 10 における C_w と C_{wp} の差、それと $(1+K)C_{F0}$ line と摩擦抵抗計算値を比べたときに認められる過小評価等が原因となって生じていると考えられる。

Appendix 2 船体の拘束条件による抵抗変化⁶⁾

5-1, あるいは5-2で考察したように船体を拘束して航走すると、抵抗値は小さくなりほぼそれが造波抵抗の差に等しいことが示されている。これを計算で確認するために次のように考えた。

Free condition においては、航走による圧力低下から生じる船体近傍の水位低下と船体の平均沈下量はほぼ等しく、静止時船体位置と運動時船体位置を同一とした理論計算で求まると考える。一方、fixed con-

dition においては水位低下のみ生じ、船体は沈下しないので水位低下分、即ち free condition 航走における同速度の船体沈下量だけ軽荷状態になっていると考え、これに対応する船型に対し計算されるものと考えた。このことは、Fig. 31, 32 に示した船側波形図を比較したとき、船側波形の形状は free, fixed 両 condition でほとんど違いがなく、fixed condition の方が free condition に比べて平均沈下量にほぼ等しい量だけ低く出ていることから十分正しい仮定であると考えられる。以上の考えのもとに free, fixed condition に対応する造波抵抗を計算し、求まったそれぞれの造波抵抗曲線と波形解析より求まった波形抵抗曲線を Fig. 14 に示す。これより、free, fixed 両 condition の差が計算でよく表現されており、以上の仮定が十分正しかったものと考えられる。