HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	6.5トン型沿岸漁船の系統模型抵抗試験
Author(s)	浅野, 一彦
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 36(1), 35-49
Issue Date	1985-02
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23872
Type	bulletin (article)
File Information	36(1)_P35-49.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北 大 水 産 彙 報
36(1), 35-49. 1985.

6.5 トン型沿岸漁船の系統模型抵抗試験

浅 野 一 彦*

Systematic Model Experiments on the 6.5 GT Coastal Fishing Boat

Kazuhiko ASANO*

Abstract

I wish to report on systematic model experiments on the 6.5GT coastal fishing boat. The systematic model ships that are scaled down to 1/6.5 of the actual boatsize and are about 2 m in length include a mother ship, two model ships, each with different bow lines and two model ships each with a different L/B value.

A summary of the results is as follows;

1. A noticeable improvement of a ship's resistance to water cannot be obtained simply by making a small change in the bow line and L/B.
2. On M-1 model ship with 58 kg, the relation of the ship's horsepewer, weight and velocity is:

$$BHP=(7.9\times10^{-4})\times\triangle\times V^4$$

Where $\triangle$ is weight (in toons), and V is velocity (in knots).

It is a general principle that a ship's horsepower is in proportion to the velocity cubed, but for the small boats used in these systematic model experiments, it is true that the horsepower is in proportion to the forth power of the velocity.

There are many problems which must be solved so that this relation between the ship's horsepower and velocity can be applied to other ships.

緒　　言

石油ショック以後，船舶の省エネルギー対策がたてられ，船型，機関効率などの改善が進められてきた。

漁船においても，まぐろ漁船を中心として，船型の改良や冷凍技術，漁労作業等を含めた総合的な省エネルギー対策が進められている。しかし，沿岸漁船では研究体制の不備や対象漁船の多種多様性のため，基本的な性能すら確実には把握されていない。

小型漁船の推進，抵抗に関しては日本小型船舶工業会より「小型 FRP 船型用馬力推定図表」[1]，「小型 FRP 船型用高速域馬力推定図表」[2] が作製されている。ただし，実際の漁船の計画に際し，これらの図表の計算が繁雑な事（多くの小規模造船所ではそう感じられている。）と計画される漁船が図表の適用範囲外となることが多いため，あまり使用されていないのが現状である。

また，個々の沿岸漁船の船型改良を計る時，先の図表だけでは不足である。

沿岸漁船の船型改良に関し，各研究機関で研究が進められているが，沿岸漁船の船型の多種多様性より多くのデータ集積が必要となっている。[3]

* 北海道大学水産学部　漁船工学講座
(*Laboratory of Engineering of Fishing Boat, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

ここでは，著者は北海道渡島地方で使用されている6.5GTの沿岸漁船を母型とし，船首部の肥せきとL/Bの比を変えた2系統の模型船の抵抗試験を行ない，沿岸漁船の船型改良を考察した。

母型の選定

系統模型抵抗試験を行なうに際し，その母型の選定が重要となる。

今回の系統模型抵抗試験の母型を選ぶに当り，船型に大きく影響する船体材質，総トン数，対象漁業などを考慮して決定した。

船体材質は沿岸漁船のFRP化が進み，新造船の多くがFRP船であることよりFRP漁船とした。

総トン数は近年の沿岸漁業の不振により，北海道渡島地区での10GT未満のFRP漁船の建造は図1に示す様に8～9GTクラスが落ち込み，一段下のクラスへ移行している。このことより，対象総トン数を6.5GTとした。

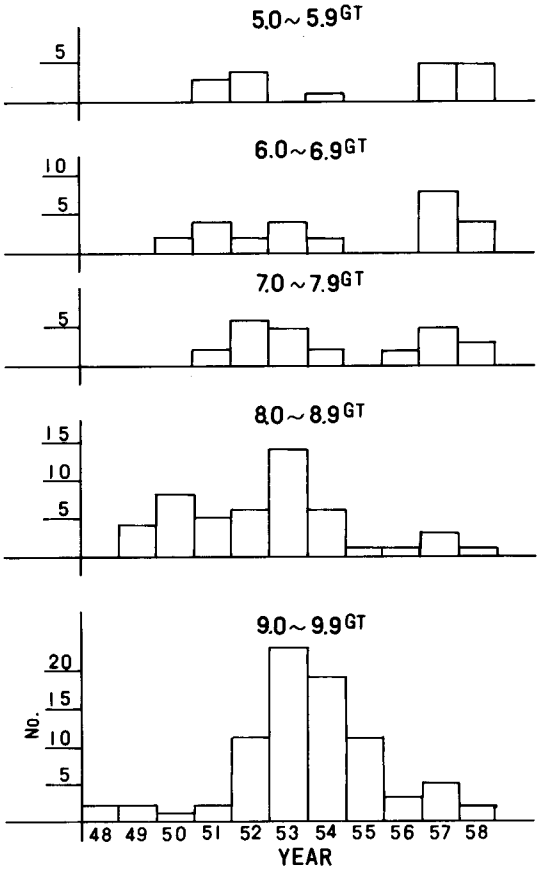
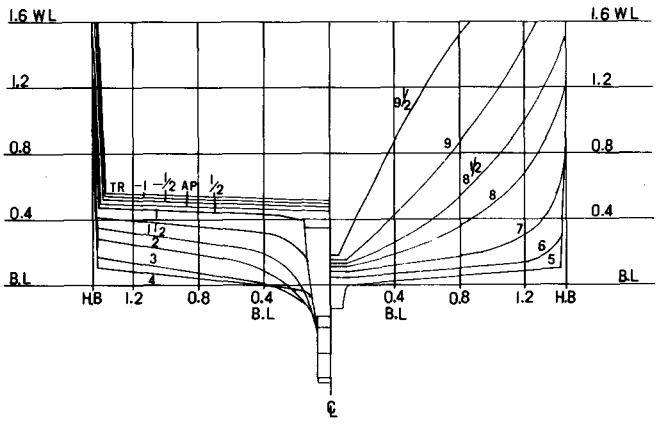


Fig. 1. Number of FRP coastal fishing boats built at OSHIMA.



PRINCIPAL PARTICULARS	
LENGTH (REG.)	11.50 M
BREADTH	2.90
DEPTH	0.95
RISE OF FLOOR	0.10
NORMAL TRIM	0.36

Fig. 2. Body plan of mother ship.

対象漁業は隻数も多く使用範囲の広い一本釣り，刺網漁船とした。

また，沿岸漁船の多くの船型は高速化と建造作業の面から高速艇用船型であるハードチャイン型となっているが，当学部の曳航水槽の能力より実船換算で 10 ノット位までの抵抗試験しか出来ないため，低速域では有利とされる排水量型とした。

以上より，母型は函館市の H 造船所で昭和 58 年に建造された FRP 製 6.5GT 一本釣り，刺網漁船とした。母型（M-1）の線図を図 2 に示す。

系統模型群

沿岸漁船において船舶としての諸性能がおおよそ満足されている時，積載量（乾舷），トリム，波浪中の運動性能などの改良を行なおうとする時は船首部の船型変更で済すことが多い。船首部を肥らせることは船首部の浮力の増加となり，乾舷の増加や波浪中での浮き上りが早くなるなどの利点がある反面，船体抵抗の増加につながり速力の低下を招くことが多い。

本実験では船首部の肥せきによる船体抵抗の影響を見るため，母型の船首部（船体中央より前部）を肥らせた模型船（H-2）とやせた模型船（H-1）を作製し，これと母型を合せて第 1 群とした。ここで，船型の変更は船首部だけで，主要寸法，船体後部の船型変更は行なっていない。表 1 に第 1 群の船型変更による同一吃水における排水量の変化状態を示す。

次に，一般に船舶では船の長さ（L）と幅（B）の比 L/B の値の大きな船型の方が速力が出るとされている。しかし，安全性の面からは L/B の値の小さな船型の方が有利とされている。このため，船舶が小型になるにしたがい L/B の値が小さくなる傾向がある。（水産庁の漁船の性能基準では漁船の種類，総トン数などにより L/B の最大値が決められている。）

Table 1. Specifications for ships with changed bow lines. Draught is 0.6 m.

MODEL	Δ (T)	⊗B (m)	$\overline{\otimes B}$ (m)	$\overline{\otimes B}/L_R$	Cb	Cp
M-1	12.78	aft 0.66	—	—	0.639	0.693
H-1	12.43	aft 0.76	+0.10	+0.84%	0.621	0.674
H-2	13.14	aft 0.54	−0.12	−1.04%	0.657	0.713

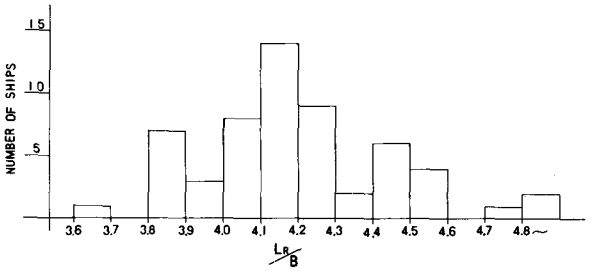


Fig. 3. Value of L_R/B and building number of 5.0-7.9 GT FRP coastal fishing boats during the last ten years.

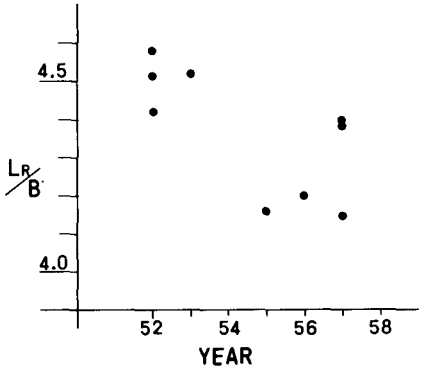


Fig. 4. Change of value of L_R/B on 9.9 GT FRP boats that are built by the Certain Shipbuilding Yard at OSHIMA.

Table 2. Specifications for ships with changed value of L/B. Draught is 0.6 m.

MODEL	L_R (m)	B (m)	L_R/B	Δ (T)	⊗B (m)	⊗B/LR	Cb	Cp
M-1	11.5	2.9	3.96	12.78	aft 0.66	5.74%	0.639	0.693
L-1	12.0	2.8	4.29	12.98	aft 0.67	5.58%	0.644	0.696
L-2	11.0	3.0	3.67	12.65	aft 0.64	5.82%	0.639	0.690

渡島地区における昭和48～58年に建造された5.0～7.9GTのFRP一本釣り漁船の登録長さ(L_R)と幅の比L_R/Bの値を図3に示す。図3より母型のL_R/Bの値は小さい方であるが，沿岸漁船の漁労作業の機械化による重心の上昇や高速艇ではL/Bの値が小さい方が浮力が生じやすいことより，年々，L_R/Bの値が小さくなる傾向がある。この一例として，図4に北海道松前町のM造船所で建造された9.9GT型FRP一本釣り漁船のL_R/Bの値の変化を示す。

以上より，母型(L_R/B≒4.0)に対し，L_R/B≒4.3の模型船(L-1)とL_R/B≒3.7の模型船(L-2)を作製し，これを第2群とした。

なお，L_R/Bの値を変えるにあたり，小型漁船での相乗積(長さ×幅×深さ)は総トン数決定上の主要目であるため，各船共にL_R×B＝一定となる様にL_RとBを決めた。また，船型はL-1, L-2船共に各オーデネイトにおける断面形状が母型と大きく変らない様に，さらに，抵抗試験時の吃水の変化の少なくなる様に設計を行なった。表2に第2群の主要寸法，同一吃水における排水量等の値を示す。

模型船の縮尺

模型船の抵抗試験で曳航水槽の側壁及び水深の影響が無視できる大きさは模型船の長さに対し，水槽の幅で約 1.5 倍以上，水深で約 3/4～1 倍以上とされている。[4]

また，使用する曳航水槽の最大曳航速力は 2 m/s であり，模型船の縮率 n より得られる実船の最大対応速力 V は

$$V=2\times\sqrt{n}\times1.944\ (\text{ノット}) \tag{1}$$

となる。

以上より，曳航水槽の規模や実船の対応速力より模型船の縮率大きな方が有利である。

しかし，模型船の縮率を大きくし，小さな模型船で抵抗試験を行なうことは試験の精度や流体力学的な問題を生ずる。

タンカーや貨物船などで大型化，肥大化に伴いその抵抗試験における模型船の縮率が大きくなり，抵抗試験に対する信頼性が失なわれつつあるとさえ言われている。[5]

また，模型船自体の大きさにも大きな問題がある。模型船が小さい時，抵抗試験時のレイノルズ数が小さくなり船体抵抗に層流の影響が出やすく，また，水の表面張力などの影響も大きくなる。[6),7]

以上の理由等により，漁船の抵抗試験では水線長 (L_{WL}) 1.8～2 m の模型船を使用することが多い。[3),8]

今回の抵抗試験用模型船を作製するにあたり，沿岸漁船の高速化が進む現在，10 ノット以上の試験結果が欲しいところであるが，試験の精度，信頼性などより他の漁船の抵抗試験と同様の L_{WL}≒2 m とした。

また，一般に系統模型抵抗試験ではフルード数で抵抗の比較，考察がなされるため，実船の船長にかかわらず模型船の長さを統一することが多い。

今回の抵抗試験では模型船の長さを統一すると L/B を変化させた模型船群では縮尺が変り，その影響が出る恐れがある。さらに，小型船舶の抵抗試験では排水容積を基にしたフルード数を使用することが多いことにより，模型船の長さではなく縮尺を 1/6.5 に統一した。

この様に，模型船の縮尺を統一すると，抵抗試験の速力に対する実船速力が各模型船ともに等しくなり，実船の対応速力で抵抗を比較する時などに好都合となる。

模型船の作製

各模型船の材質は FRP 製で船体表面は実船と同様にゲルコートで仕上げている。

今回の抵抗試験は船型の変更による抵抗の比較が目的のため，ラーダー，スラブキール，バルジ等の附加物はつけていない。

模型船は現図（原寸大の線図）を基に作製された。現図より，各オーディネイトや必要に応じ中間点の船体断面を作製し，これを基板上に立て（図 5），断面間を発泡スチロール，石こう等で埋め（図 6），これを削り出し，オス型（図 7）を作製した。さらに，このオス型を基にメス型（図 8）を作製し，このメス型より模型船（図 8, 図 9）が完成される。

なお，各模型船は函館市の服部造船所で作製された。

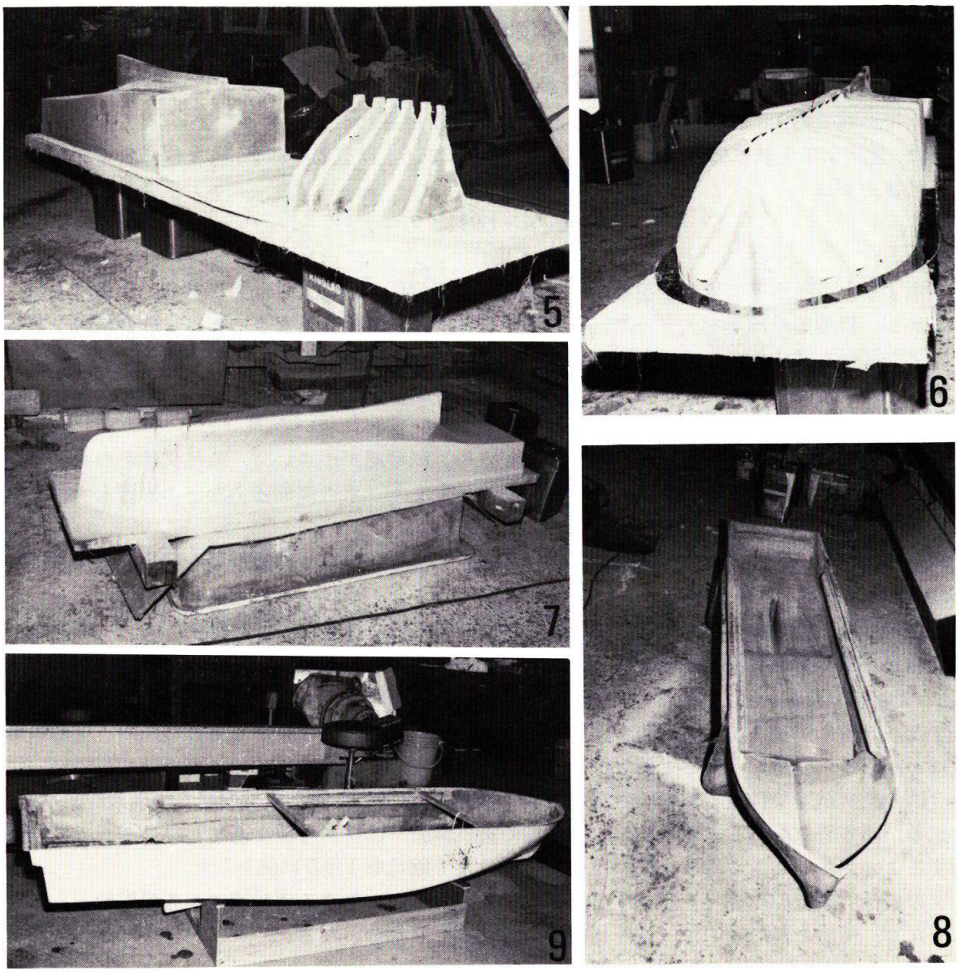


Fig. 5. Stages in construction of model ship. No. 1.
Fig. 6. Stages in construction of model ship. No. 2.
Fig. 7. Stages in construction of model ship. No. 3 (male mold).
Fig. 8. Stages in construction of model ship. No. 4 (female mold).
Fig. 9. Completed model ship.

抵抗試験方法

今回の抵抗試験では模型船は図 10 の様に固定されている。この状態でトリムの変化のみが固定金具の回転軸により自由となっている。ただし，今回の抵抗試験では走航中のトリム変化は計測していない。

模型船の曳航点は各船共に浮心位置（lcb）で走航中のトリム変化の中心は lcb 上のほぼ水線の位置である。

抵抗試験は M-1 船で船体重量 60.84, 58, 53, 48 kg の 4 状態と他の模型船は共に 58, 48 kg の 2

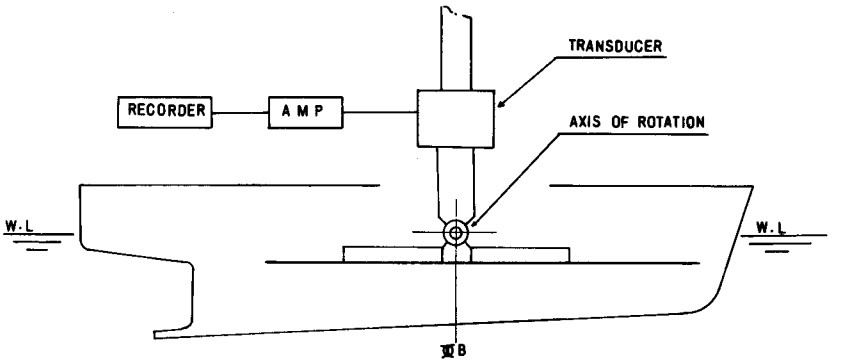


Fig. 10. Arrangement of instrument set on model ship.

状態で行なった。

各試験状態共にトリムはベースラインに対し平行（0 m）とし，試験速力は 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0 m/s で行なった。

走航中の抵抗値は図 10 の張力計より増巾器をへてペン書き記録計で記録された。

曳航速力は曳航水槽の台車制御装置の速力表示（デジタル）と台車用速度計からの信号の記録より求めた。

また，抵抗値の解析にあたり，摩擦抵抗はシェンヘルの式（1962 年）により摩擦抵抗係数を求めている。水温は海水温度 15°C, 模型船では各抵抗試験時の水温修正を行なっている。

さらに，上記抵抗試験の外に M-1 船の 60.84 kg 状態で乱流促進法も試みている。

乱流促進法

模型船の抵抗試験の乱流促進法として，トリップ・ワイヤー，植込ピン，鉛直棒などの方法がある。

今回の実験では船体前部にワイヤーやピンを取りつける方法は船型的変動が生じる恐れがあると考え，比較的その影響度の割合が各模型船共に等しいと思われる鉛直棒による方法とした。

実験は M-1 船の 60.84 kg の状態で直径 1 cm の丸棒を船首の前方 10 cm および 30 cm に立て乱流を生じさせた。

その結果は図 11 の様に丸棒による造波影響が大きく，抵抗値は各速力共に乱流促進時の方が 10% ほど低い値を示した。

一般に抵抗試験で層流の影響が現れるのは低速時で，漁船ではフルード数が 0.25 以上の時は層流の影響を考える必要はない様である。[8)]

以上より，今回の他の抵抗試験では乱流促進法を強いて用いないこととした。

船首部の肥せきの影響

母型の船首部の肥せきを変化させた時の馬力の変化を図 12 に示す。ここで，BHP を求めるにあたり推進効率（pc）＝0.4 で計算している。

船首部を肥らせた船型（H-2）の馬力は母型に比べ約 10% の増加となっている。船首部をやせさせた船型（H-1）では馬力は減少せずにほぼ母型と等しい値となった。

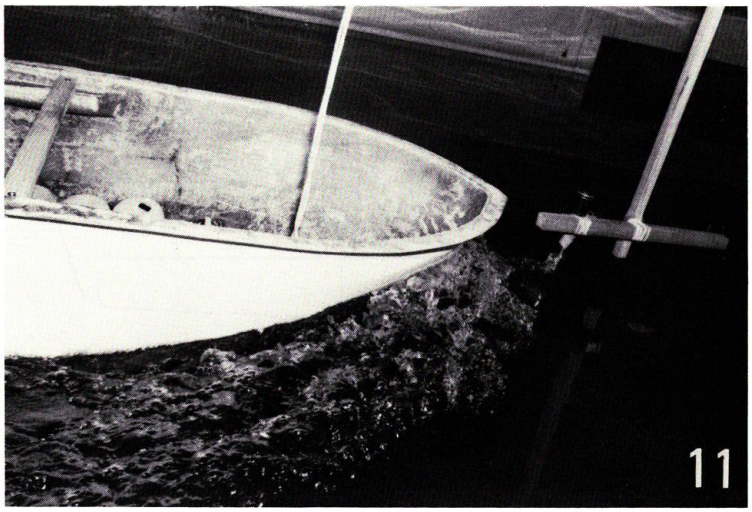


Fig. 11. Wave created by rounded bar.

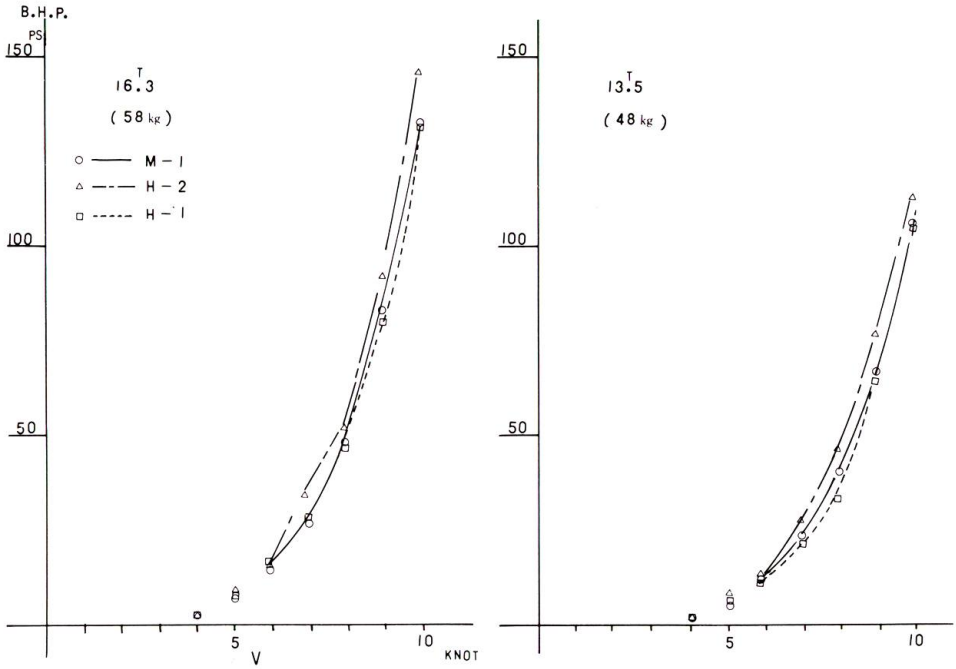


Fig. 12. Result of test with changed the bow lines.

この系統群の設計では図 13 に示す様に H-2 船の水線は母型に比べかなり肥らせたつもりであったが，排水量等の諸値の変化は表 1 に示される様にさほど大きくなかった。この様な船首部の船型の変更での馬力の変化は 10% 位であり，速力に換算するとわずか 2～3% 位にしかならない。

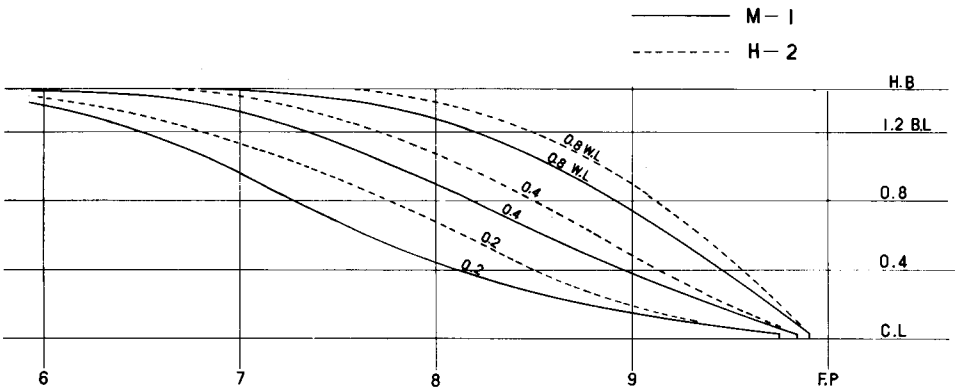


Fig. 13. Water lines of bow of M-1 and H-2 model ship.

また，船首部をやせさせたのにもかかわらず抵抗が減少しなかったのは母型の船型がファインであったためと考えられる。ファインな船型の船首部分をやせさせても抵抗上さほど効果は出ず，逆に船体中央断面の関係上，肩の張った船型となるなどの悪影響が出ることが考えられる。

以上より，小型漁船で大巾な抵抗減少を計る時は排水量等の諸性能が大きく変化するほどやせさせる必要があり，単に船首部だけの変更では大きな効果は期待できない様である。さらに，船首部を極端にやせさせることは逆効果となる恐れがあることも注意しなければならない。

L/B の変化

L_R/B の値を変えた時の馬力の変化を図 14 に示す。

一般に船舶では L/B の値の大きな船ほど速力が出る（抵抗が小さい）と言われている。しかし，今回の実験では L-2 船は母型に比べ約 10% の抵抗増加となっているが，L-1 船では抵抗は減少せず，ほぼ母型と等しくなっている。

漁船の L/B と抵抗の関係については，L/B＝4.5～5.0 の範囲では有効馬力にほとんど相異が見られないとの試験結果[3]や，逆に L/B の値が小さな方（今回の系統群と異なり船体断面形状の変化を伴う）が抵抗は減少する試験結果が報告されている。[9),10)]

以上，L/B と抵抗の関係はいまだ不明なことも多く，漁船の設計において L/B の大きな方が抵抗上有利とは言えない。

船体重量と速力

M-1 船の船体重量を微変化させた時の馬力を図 15 に示す。

図 15 で示される様に，船体重量の減少に伴い馬力も減少し，両者に比例関係が見られる。

ここで，船体重量と馬力の関係を速力の項を加えて考えてみる。

一般に船の馬力は速力の 3 乗に比例すると言われている。

この関係を式で表すと，

$$\mathrm{BHP(EHP)} = \alpha V^3 \qquad (2)$$

α 定数，V 船速

となる。

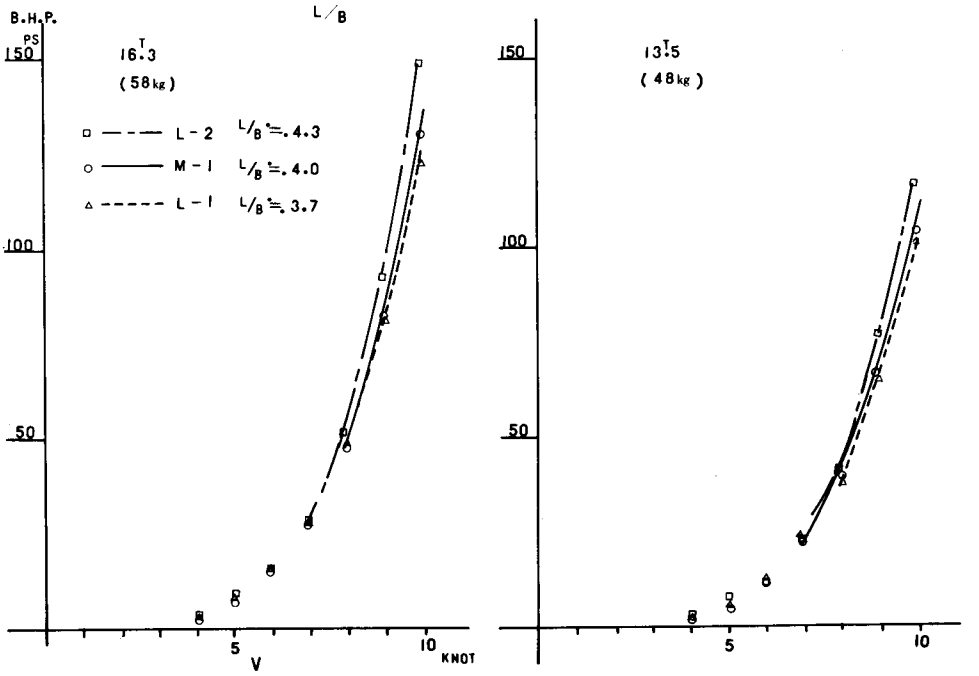


Fig. 14. Result of test with changed value L/B.

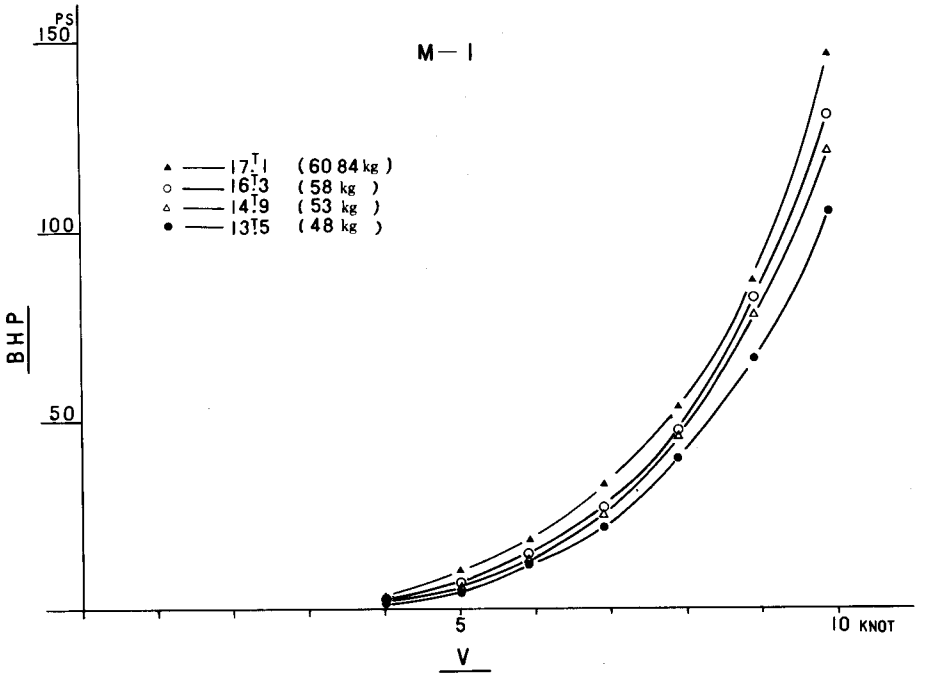


Fig. 15. Result of test with changed weight of M-1 model ship.

Table 3. Values of α_3 and α_4 on test of M-1 model ship. $\alpha_3 = \mathrm{BHP}/\Delta \cdot V^3$, $\alpha_4 = \mathrm{BHP}/\Delta \cdot V^4$.

V (knot)	Fn ($V/\sqrt{L \cdot g}$)	$\Delta = 17^{T}1$		$\Delta = 16^{T}3$		$\Delta = 14^{T}9$		$\Delta = 13^{T}5$	
		α_3	α_4	α_3	α_4	α_3	α_4	α_3	α_4
5.0	0.22	4.68×10^{-3}	9.36×10^{-4}	3.44×10^{-3}	6.87×10^{-4}	3.22×10^{-3}	6.44×10^{-4}	2.96×10^{-3}	5.93×10^{-4}
5.9	0.27	5.13	8.69	4.49	7.59	4.25	7.20	4.34	7.34
6.9	0.31	5.87	8.51	5.04	7.31	5.11	7.40	4.95	7.19
7.9	0.36	6.29	7.96	5.85	7.40	6.26	7.93	6.01	7.61
8.9	0.40	7.13	8.02	7.14	8.02	7.43	8.34	6.93	7.79
9.9	0.45	8.80	8.89	8.22	8.30	8.37	8.46	8.02	8.10

Table 4. Horsepower by test and calculation. M-1 model ship.

V (knot)	Fn ($V/\sqrt{L \cdot g}$)	$\Delta = 17^{T}1$		$\Delta = 16^{T}3$		14T9		$\Delta = 13^{T}5$	
		BHB by TEST	BHP by CAL.	BHB by TEST	BHP by CAL.	BHB by TEST	BHP by CAL.	BHB by TEST	BHP by CAL.
4.0	0.18	4^{PS}	3^{PS}	3^{PS}	3	2^{PS}	3^{PS}	2^{PS}	3^{PS}
5.0	0.22	10	8	7	8	6	7	5	7
5.9	0.27	18	16	15	16	13	14	12	13
6.9	0.31	33	31	27	29	25	27	22	24
7.9	0.36	53	52	47	50	45	46	40	42
8.9	0.40	86	85	82	81	78	74	66	67
9.9	0.45	146	130	130	124	121	113	105	102

いま，図 15 の船体重量（△）と抵抗の関係を単に一次の比例関係とすると (2) 式は，

$$\mathrm{BHP} = \alpha_3 \cdot \triangle \cdot V^3 \tag{3}$$

で表される。

ここで，図 15 の各試験結果より α_3 を求めたのが表 3 である。各 α_3 の値は速力に応じ増加し，その変化量も大きく，α_3＝定数として (3) 式より馬力を求めることは無理である。

次に，α_3 をさらに V で除した値を α_4 として表 3 に示す。ここで，α_4 はほぼ一定で，5.9 ノット以上の α_4 の平均値は 7.90×10^{-4}，標準偏差は 0.516×10^{-4} となる。すなわち，この抵抗試験の馬力と速力，船体重量の関係は，

$$\begin{aligned} \mathrm{BHP} &= \alpha_4 \cdot \triangle \cdot V^4 \\ &= (7.90 \times 10^{-4}) \cdot \triangle \cdot V^4 \end{aligned} \tag{4}$$

△　トン，V　ノット

として表される。この (4) 式の計算値と抵抗試験の馬力を表 4 に示す。

さらに，「FRP 漁船」96 号に発表された 14.9 トン型漁船の抵抗試験結果[11] を同様の手法で解析すると，

$$\mathrm{EHP} = (2.06 \times 10^{-4}) \cdot \triangle \cdot V^4 \tag{5}$$

が得られた。（各排水量状態共にトリム 1.108 m の値を使用）

表 5 に (5) 式の計算値と抵抗試験の馬力を示す。

表 4, 5 の様に抵抗試験結果と計算値は良く合う。各々の馬力の最大誤差は 10% 位で，これを速力に換算すると最大誤差は 2～3% となる。

Table 5. Horsepower by test and calculation. 14.9GT fishing boat.

V (knot)	$\Delta=30^T$		$\Delta=40^T$		$\Delta=40^T$	
	EHP by TEST	EHP by CAL.	EHP by TEST	EHP by CAL.	EHP by TEST	EHP by CKL.
7	13^{PS}	15^{PS}	19^{PS}	20^{PS}	23^{PS}	25^{PS}
8	25	25	32	34	40	42
9	41	41	53	54	71	68
10	73	62	86	82	113	103

Table 6. Values of α_3 and α_4. $\alpha_3=\mathrm{BHP}/V^3$, $\alpha_4=\mathrm{BHP}/V^4$.

No. 1 GENPUKLI MARU 135GT				No. 88 IYO MARU 238GT			
V (knot)	BHP	α_3	α_4	V (knot)	BHP	α_3	α_4
10.56	585	0.497	4.70×10^{-2}	11.06	580	0.429	3.88×10^{-2}
11.64	878	0.557	4.78	12.07	880	0.500	4.15
12.48	1170	0.602	4.82	13.07	1180	0.529	4.04
12.80	1287	0.614	4.79	13.28	1330	0.568	4.28
KBGOSIMA MARU 1293GT				TANKAI MARU 157GT			
V (lnot)	BHP	α_3	α_4	V (knot)	BHP	α_3	α_4
11.68	1050	0.659	5.64×10^{-2}	10.50	420	0.363	3.46×10^{-2}
13.47	1820	0.745	5.53	11.99	630	0.365	3.05
13.87	2150	0.806	5.81	12.78	870	0.417	3.26
14.07	2340	0.840	5.97	13.05	970	0.436	3.34

この様に，小型漁船では馬力は速力の4乗に比例するとした方が良い様である。

さらに，馬力は速力の4乗に比例することは小型漁船だけでなく中，大型漁船にも当てはまる様である。表6に「漁船」で発表された公試データ[12~15]の解析結果を示す。ここでの α_3, α_4 はデータが軽荷状態だけのため船体重量の項を除き，

$$\alpha_3=\mathrm{BHP}/V^3$$
$$\alpha_4=\mathrm{BHP}/V^4 \tag{6}$$

として求めている。

表6の α_3, α_4 も表9と同様の傾向を示しており，漁船の馬力は速力の3乗ではなく，4乗に比例するとした方が適当と考える。

この漁船の馬力は速力の $(3+\alpha)$ 乗に比例するとの考えは，これまでに発表されている抵抗試験結果からも類推できる。

多くの小型漁船の全抵抗係数は図16の様にフルード数 (Fn) 0.25附近より速力に応じ増加し，$Fn>0.4\sim0.5$ で半滑走（滑走）状態となり転ずる傾向を示す。

ここで，排水量型小型漁船の常用速力範囲(約 $0.25<Fn<$ 約0.4)でのフルード数と全抵抗係数 C の関係を一次の比例関係とすると，

$$C=nC\cdot Fn=nC\cdot V/\sqrt{L\cdot g} \tag{7}$$

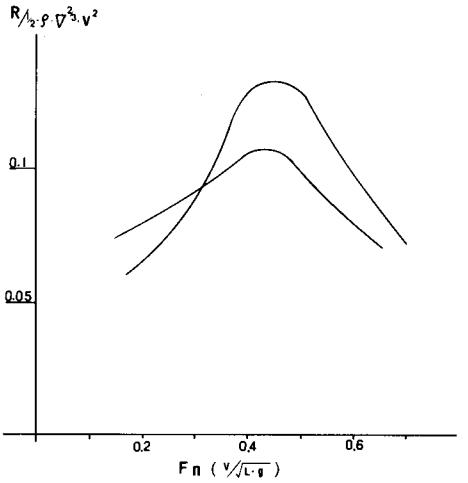


Fig. 16. Inclination of total resistance coefficients of small fishing boat.

nC　新抵抗係数（直線の傾き），L　船長，g　重力加速度

なる式が得られる。よって，船の全抵抗 R は

$$R=C\cdot 1/2\cdot\rho\cdot\nabla^{2/3}\cdot V^2$$
$$=\frac{nC\cdot(\rho\cdot\nabla^{2/3})\cdot V^3}{2\cdot\sqrt{L\cdot g}}$$
$$=\frac{nC\cdot\rho^{1/3}\cdot\triangle^{2/3}\cdot V^3}{2\cdot\sqrt{L\cdot g}} \qquad (8)$$

∇　排水容積，ρ　流体の密度（kg 単位，一定）

となる。さらに，馬力は，

$$\mathrm{EHP}=R\times V/75$$
$$=\frac{nC\cdot\rho^{1/3}\cdot\triangle^{2/3}\cdot V^4}{150\cdot\sqrt{L\cdot g}} \qquad (9)$$

となる。ここで，

$$\alpha_4=\frac{nC\cdot\rho^{1/3}}{150\cdot\sqrt{L\cdot g}} \qquad (10)$$

とおき，$\sqrt{L\cdot g}$≒一定とすると，α_4≒一定となり

$$\mathrm{EHP}=\alpha_4\cdot\triangle^{2/3}\cdot V^4 \qquad (11)$$

の式が得られる。

(3), (4) 式では (11) 式の$\triangle^{2/3}$ の変りに△としており，この時の α_4 は

$$\alpha_4=\frac{nC}{150\cdot\sqrt{L\cdot g}\cdot\nabla^{1/3}} \qquad (12)$$

であり，小型漁船での排水量の変化は小さいとして，$\nabla^{1/3}$≒一定として，α_4≒一定と考えている。

ここで，V の乗数が $(3+\alpha)=4$ 乗で良いかなどの問題もあるが，実用上は表 4, 5 に示される様に 4 乗で良いと考える。

ただし，新しい全抵抗係数中の $\sqrt{L\cdot g}$ の項については全抵抗係数を無次元化するためと，フルードの比較法則成立のために入れたもので，理論的にどの様な意味を持つかは現時点では完全に説明できない。

次に，剰余抵抗について考察する。

今回の実験の内，M-1 船の 58 kg 状態の抵抗試験の剰余抵抗係数 Cr を V の 1.0～2.0 乗で除した値を表 7 に示す。ここで，Cr は

$$Cr=\frac{Rr}{1/2\cdot\rho\cdot\nabla^{2/3}\cdot V^2} \qquad (13)$$

Rr　剰余抵抗

で表される。

他の実験状態でも表 7 と同様に $V^{1.5}$ 近辺で除した値が一定となる。すなわち，剰余抵抗は V の約 3.5 乗に比例し，馬力に換算すると V の 4.5 乗に比例することになる。

また，摩擦抵抗は模型船，実船共にシェンヘルの摩擦抵抗係数より求めており，馬力換算で速力の 3 乗弱に比例する。ここで，上記の剰余抵抗の 4.5 乗と摩擦抵抗の 3 乗の合成により全抵抗では馬力は速力の 4 乗に比例することになる。

ただし，高速になるに従い剰余抵抗の全抵抗に占める割合いが増大し，V の乗数が 4 以上とな

Table 7. Values of $Cr/V^{1\sim2}$

V (m/s)	Cr Cr×100	Cr×100/V	$/V^{1.1}$	$/V^{1.2}$	$/V^{1.3}$
1.0	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08
1.2	3.83	3.19	3.13	3.08	3.02
1.4	4.65	3.32	3.21	3.11	3.00
1.6	5.69	3.56	3.39	3.24	2.09
1.8	7.15	3.97	3.75	3.53	3.33
2.0	8.40	4.20	3.92	3.66	3.41

る様で，表4,5でも速力の増加に伴い計算値が低く出ている。

以上より，今回の実験の馬力と速力の関係は剰余抵抗を速力の4.5乗に比例するとして計算した方が実験値に合うが，一般的に馬力と速力の関係を表す場合や実用上の精度の点からも，単に馬力は速力の4乗に比例するとしても問題はないと考える。

この様に，これまで船のは速力の3乗に比例すると言われてきたが，これは船速が遅かった時代のことで，高速商船や漁船の様に $Fn>0.25$ 以上の船舶ではこの概念を変える必要があろう。(漁船でも $Fn<0.25$ では全抵抗係数の変動は小さく馬力は速力の3乗に比例すると言える様である。)

結　　言

今回の6.5トン型FRP漁船の系統模型抵抗試験では単に船首部の船型変更と言う小さな改良では大きな船体抵抗の減少は望めないことが示された。さらに，船型によってはその効果が表れないばかりか，反対に船体抵抗増加の恐れがあることも示され，小型漁船の船型改良が困難であることが新ためて認識された。

ただし，船体重量を軽減することは確実に船体抵抗の減少となり，その関係はほぼ比例する様である。このため，漁船の建造では出来るだけ船体重量の軽減を計り，操業時なども不用な物は積まないことが省エネルギーにつながる。

また，速力については馬力は速力の4乗に比例し，これまで3乗に比例すると言われていた以上に減速による燃料節約の効果は大きい。

この馬力は速力の4乗に比例するとの関係はこれまでの常識と異なり，この関係を漁船全体や他の船舶に適応させるには今後の研究が必要である。

謝　　辞

今回の実験にあたり，資料収集でお世話になった北海道渡島支庁水産課の方々と，模型作製，資料提供などに協力していただいた服部造船所の吉田悟郎氏および造船所の方々，並びに吉田設計の吉田好博氏に感謝いたします。

また，系統模型群の実験方法等に助言をいただいた漁船運用学講座の川島利兵衛教授，天下井講師，並びに船体重量と速力の項に関して助言をいただいた水産工学研究所の小林務氏に感謝いたします。

なお，抵抗実験では講座学生　小野崎洋，山田哲夫の両君の協力を得たことを記して謝辞とす

on M-1 model ship with 58 kg.

$/V^{1.4}$	$/V^{1.5}$	$/V^{1.6}$	$/V^{1.7}$	$/V^{1.8}$	$/V^{1.9}$	$Cr \times 100/V^{2.0}$
3.08	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08
2.97	2.91	2.86	2.81	2.76	2.71	2.66
2.90	2.81	2.71	2.62	2.54	2.45	2.37
2.95	2.81	2.68	2.56	2.44	2.33	2.22
3.14	2.96	2.79	2.63	2.48	2.34	2.21
3.18	2.97	2.77	2.59	2.41	2.25	2.10

る。

文　　献

1) 日本小型船舶工業会（1976）．小型 FRP 船型用馬力推定図表．51 p.
2) 日本小型船舶工業会（1982）．小型 FRP 船型用高速域馬力推定図表．78 p.
3) 小林　務（1984）．高速沿岸漁船の速力性能に関する研究．水産工学研究所報告 **5**, 97-184.
4) 山県昌夫（1951）．船型学（抵抗編）．167 p. 天然社，東京．
5) 瀬尾敏一・須藤正信・成田秀明・山口誠之・仲渡道夫・川上善郎（1977）．試験船だいおうによる抵抗推進性能の実験．日本造船学会論文集 **142**, 8-20.
6) 山県昌夫（1942）．試験水槽に於ける抵抗測定試験に対する最小レイノルヅ数．造船協会雑纂 **249**, 1-16.
7) 鈴木四郎・小林　務（1980）．模型船の抵抗の尺度影響に関する一考察．水産工学研究所報告 **1**, 55-68.
8) 中村　彰（1949）．系統的模型試験による漁船の船型に関する研究．日本造船学会論文集 **142**, 8-20.
9) W. Graff und E. Heckscher (1941). Widerstands- und Stabilitatsversuche mit drei Fishdampfermodellen. Werft・Reederei・Haafen **15**, 115-120.
10) 小林　務（1984）．14.9 トン型底曳網漁船の調査研究について（その 3）—改良型の標準設計について．FRP 漁船 **94**, 26-46.
11) 小林　務（1984）．14.9 トン型底曳網漁船の調査研究について（その 4）—改良型の模型船水槽試験について．同誌 **96**, 11-19.
12) 向井与八（1984）．鋼製 135 トン型まき網漁船“第 1 源福丸”．漁船 **250**, 69-73.
13) 三宅忠治（1984）．鋼製 238 トン型まき網附属漁船（運搬船）“第 88 伊予丸”．同誌 **250**, 82-88.
14) 長島徳雄・竹内賢士（1982）．水産庁漁業調査船“探海丸”．同誌 **240**, 132-141.
15) 植田総一（1982）．鹿児島大学漁業練習船“かごしま丸”．同誌 **238**, 1-16.