

カッターの動特性に関する実験的研究 - I.*

静水中における抵抗特性について

橋本 市雄・貞包 弘之・高島 末夫

Some Experimental Studies on Dynamic Characteristics of a Cutter—I. Total Resistance of a Cutter in Still Water

By

Ichio HASHIMOTO, Hiroyuki SADAKANE,
and Suelo TAKASHIMA

On account of the fact that a cutter has a great deal in common with a life-boat used on usual ships, it is necessary to develop informations on the manoeuvring performance of the cutter. From the point of view, the authors has experimented on the manoeuvring performance of a standard type of cutter as lines are shown in Fig. 1.

The primary objects are to clear the relations between the conditions of a cutter and the total resistance except the wind resistance. In this paper, for measurements of the total resistance, a full scale boat was towed in the middle line of the boat by using another towing ship, and towrope resistance of each boat's conditions was measured.

The boat's conditions were varied by the following test programmes, i.e., (1) increasing the displacement in the range of displacement from 2150 kg to 4950 kg while the static trim setting at even keel was maintained constant with upright condition, (2) increasing the heeling angle in the range of angle from upright to 20 deg. while the static trim and the displacement were maintained constant, (3) changing in static trim in the range of trim from +5% to -5% while the displacement and upright condition were maintained constant.

The boat conditions were carefully set in a harbor and these experimental sea tests were carried out in calm water. In the measurements, however, any special regard

*水産大学校研究業績 第747号、1975年7月17日 受理。

Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No.747.

Received July 17, 1975.

was not paid to the effect of running trim and mean sinkage on total resistance, and to the effect of towrope tension on heeling angles and running trim.

Through the experimental sea tests the following has been made clear:

(1) The approximate values of the total resistance of a cutter are calculated as

$$R = \left(\frac{1.67w}{0.009 - 0.035w} + 63.67 \right) v + \left(\frac{-w}{0.013 - 0.053w} - 19.13 \right) v^2$$

where

R = Total resistance (kg)

W = Displacement (kg)

v = Speed (m/sec) $0 < v < 3.0$

$w = \frac{W}{2000}$ $2000 < W < 3000$

(2) Under usual boat's displacement, the total resistance showed a tendency to decrease with increasing the heel angle of a cutter.

In the case of, however, an extremely large displacement such as $W = 4950$ kg, the total resistance showed an inverse tendency above mentioned.

(3) Under usual boat's displacement, the total resistance showed the least resistance when the trim is $0 \sim -2\%$ of boat length. But the total resistance with a displacement of 4950 kg, did not show the tendencies of the least resistance.

1. 緒 言

カッターの操艇は緊急事態における救命艇に共通する重要な技術であり、海事関係の教育機関では衆知のとおり、古くから教育課程の1つとしてカッターを使用し、気象・海象を考慮しながら操艇の基礎訓練を行ない、海事知識の基礎を培ってきた。また大学関係のみで実施している全国大学カッターレースは、昭和48年度には参加校12大学、第17回に達し、全国的な大会として注目を浴びている。

カッターを1つの教育設備と考えるならば、ボート自体のいろいろな性質を、ある程度定量的に知る必要がある。カッターは全国的にほぼ統一した船型規格であるから、その性質も大略普遍的なものであるが、これに関する適当な資料は見当たらない。

幸いにして、本校では昭和48年度に3隻の同型カッターが代船建造された。これを機会に、カッターの動特性を明らかにする必要があると考え、第一段階として船体抵抗に関する2～3の項目について海上実験を繰り返し、その解析結果を得たので報告する。

2. カッターの船型と実験方法

カッターの構造、材質については年々多少の変化はあるが、船型については衆知のとおりほぼ一定の型に落ち着いている。今回の実験に用いたカッターの線図を第1図に示す。長さ11.2m、巾2.6m、深さ0.9mで5.08トン、22馬力の機動艇を曳船とし、直径6mmのクレモナロープでカッターを曳航しながら曳索にかかる張力を計測した。

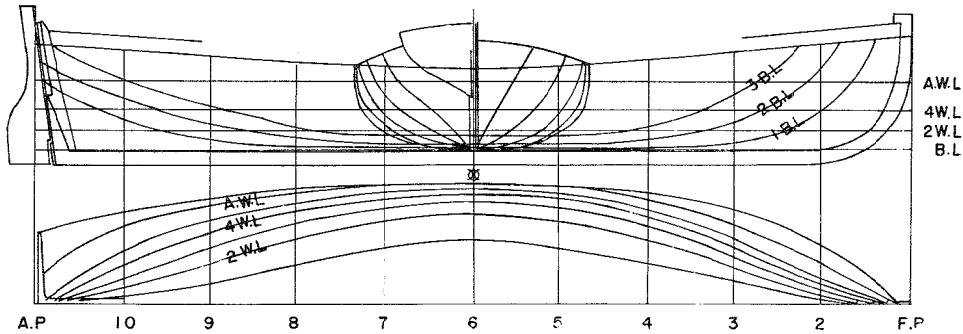


Fig. 1. Lines of a cutter.

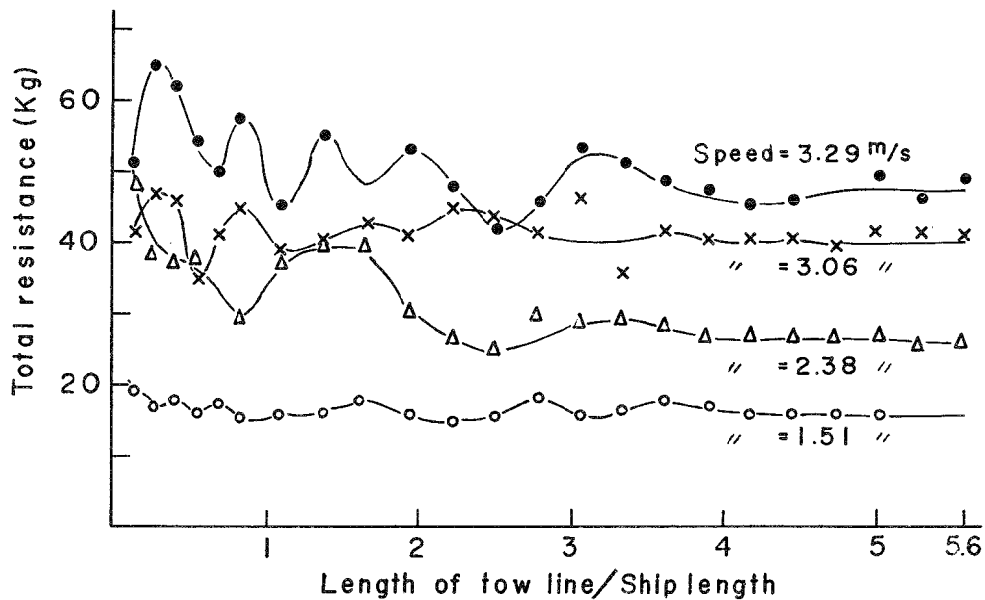


Fig. 2. Effect of the ratios tow line length to towing ship length on total resistance of a towed boat under constant speed.

張力は変換器を用いて歪計で測定、オシログラフに記録し、カッターの対水速力は電气流速計（東邦電探KK製GM-1A型）で、相対風速は熱線風速計（日本科学工業製アネモマスターAM-B11型）で計測した。

この方法で抵抗を計測する場合には、曳船の推進器後流が被曳船の抵抗に与える影響について十分注意する必要がある。この推進器後流の影響は、曳航速力と曳索長さ等に関係するが、今回の実験についてこの関係を調べるため、一定速力でカッターを曳航中、曳索長さを変化して抵抗を測った結果は第2図のようになった。この図から明らかなように、曳索長さが2~4L（L：曳船長さ）以下では、曳船の推進器後流およ

び曳船が発生する波の影響を大きく受けて被曳船の抵抗変化は大きいですが、曳索長さが5L以上になるとほぼ安定した値を示す。したがって今回の実験では、曳索長さを60m(5.6L)にして全ての実験を実施した。

実験は特に海上平穏な日を選び、水深十分にしてなおかつ一定水域で一定の曳航方向のもとで実験を行ない、極力風波等の外力の影響を受けないように考慮した。

もともとカッターの風圧抵抗の推定資料は数少ないため見出せないが、一般船型の場合は次式で推定されている¹⁾。

$$R_w = \frac{1}{2} \rho k(\theta) C_o A V^2$$

但し、A=水面上の船体正面の投影面積、V=相対風速、ρ=空気密度、C_o=空気抵抗係数、k(θ)=風向影響係数、θ=相対風向角である。

カッターのC_oについては不明であるが一般船型を考慮して一応C_o=0.60と仮定、k(θ)については造船協会試験水槽委員会で決定された標準曲線を採用することとする。このような数値を用い、カッターの軽荷排水量の場合の風圧抵抗を推定してみると第3図のようになる。一方海上でカッターをブイ係留し係留索を十分伸ばした状態で、安定した風向風圧を受けているときの風圧力を実測して第3図にプロットした。この図から明らかなように、カッターの風圧抵抗もこの方法である程度推定できるので、曳航実験中、計測した風向風速について風圧抵抗を推定して、全抵抗に修正を加えた。

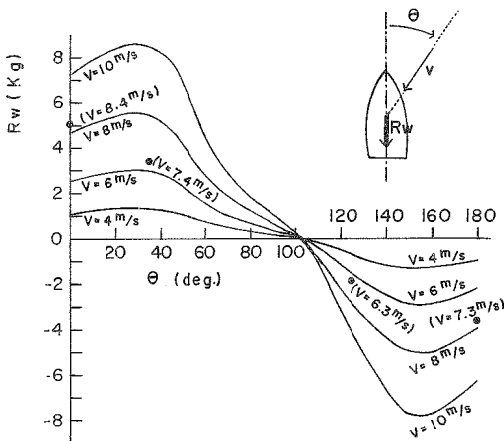


Fig. 3. Comparison of the calculated and observed of wind resistance, which recieved relative wind velocity from ahead.

Note R_w : Wind resistance (kg)
 V : Relative wind velocity (m/s)
 θ : Angle of relative wind from ahead (deg)
 ● : Observed
 — : Calculated

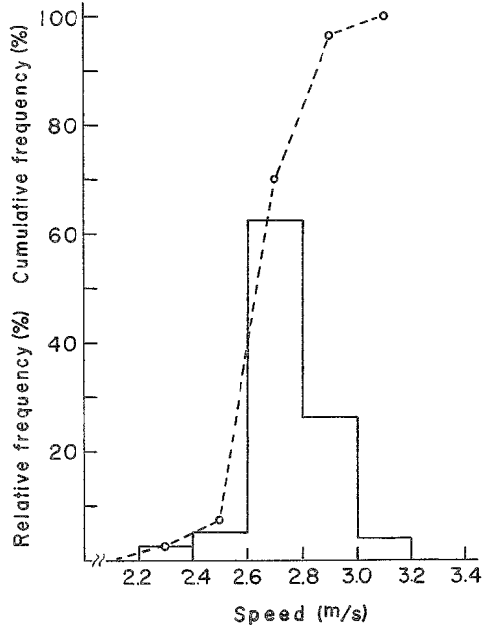


Fig. 4. Histogram of the speed on cutter race (Obtained from 80 boat's data).

カッターの排水量は基準状態を陸上にて歪計を用いて重量計測を行ない、その後積載したバラスト重量を加算することにより決定した。船底の汚れは抵抗に大きく影響するが、今回の実験中における船底状態は新造直後で、抵抗に与える汚れの影響はほとんど無いと考えられる。また実験中の当て舵量に対しては、毎回平均的な当て舵量を計測し、藤井氏の式²⁾によって抵抗成分を求め全抵抗に対して修正を加えた。

カッターの横傾斜角およびトリムは湾内にて設定した。したがって船の運動に伴う船体沈下、トリム変化の影響および曳索張力がカッターの横傾斜、トリムに与える影響については考慮していない。

実験の速力範囲を決めるに当り、過去14回にわたるカッターレースの速力（2kmの平均速力）分布を調べてみると第4図のようになる。そこでこの図を参考にして速力範囲は0～3.3m/secの範囲内で実験した。今回はカッターの抵抗特性を見出すのを目的としたため、次の項目の組合わせについて実験を行なった。

排水量(kg) : 2125, 2545, 3550, 4950
 横傾斜角(deg) : 0, 5, 10, 15, 20
 トリム(%) : +5, +3, +1, 0, -1, -3, -5

3. 結果および考察

3・1 排水量の影響

排水量4950kg、傾斜角零度で等喫水で浮んでいる場合の速力抵抗の実測値を第5図に示す。実測値はいくらかばらつきがあるが、フェアリング曲線の傾向は一般船舶の抵抗曲線とほぼ同じ傾向を示し、この排水量の場合は、速力が2.0m/sec以上になると抵抗は急激に増加するように思われる。

カッターの排水量は、艇員の体重により相当変化するのであるが、艇体を直立、等喫水の状態で排水量のみを変化させた場合の抵抗曲線を第6図に示した。またこの図から排水量ベースに一定速力抵抗の関係を示すと第7図のようになる。

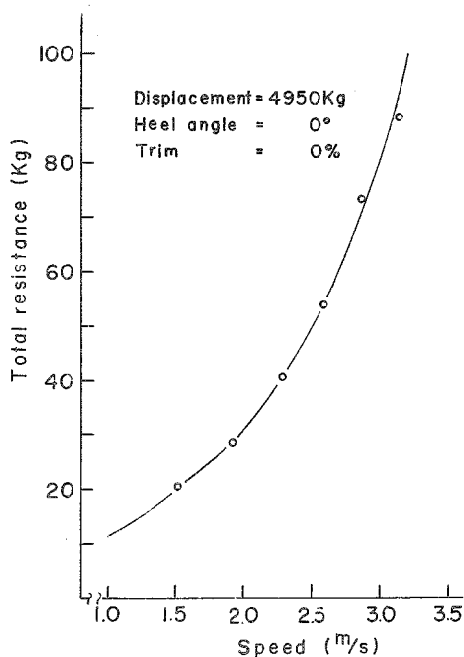


Fig. 5. An example of the observed total resistance and its faired curve.

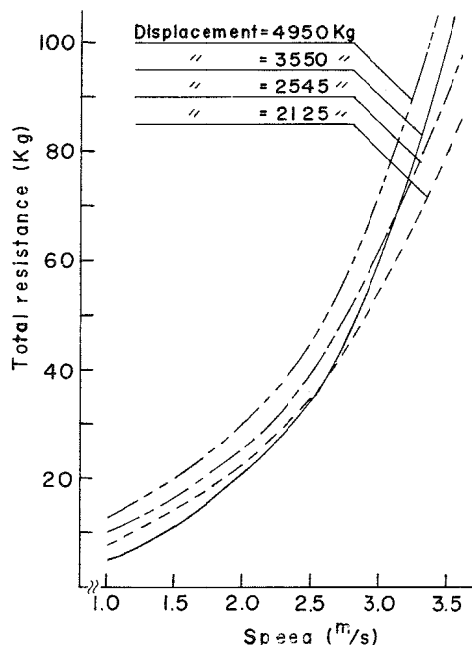


Fig. 6. Effect of changing displacement on total resistance.

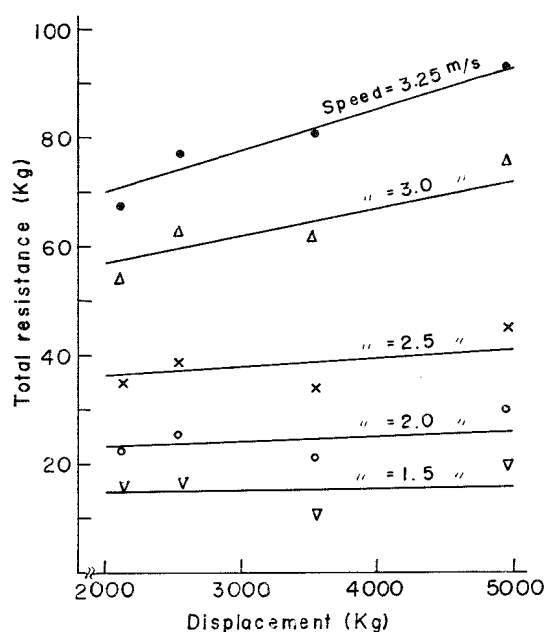


Fig. 7. Relation between total resistance and displacement. The plotted values shown in this figure are the values read from Fig. 6.

排水量3550kgの場合速力の小さい範囲の抵抗は、他の排水量の場合に比較して小さく計測され、いろいろ検討を加えたがこの原因は明らかでない。しかし一般的に排水量の増加に伴って抵抗は増加し、その傾向は速度が大きいほど顕著である。

通常カッターの排水量は装備品を含めて艇自体が約1500kgと、それに乗艇員重量が加算されるので全排水量は2000~3000kgとなる。そこで今回の実験で得られた資料をもとにして、カッターの排水量、速力と抵抗の関係を求めると次式が得られた。

$$R = \left(\frac{1.67w}{0.009 - 0.035w} + 63.77 \right) v + \left(\frac{-w}{0.013 - 0.053w} - 19.13 \right) v^2$$

$$w = \frac{W}{2000}$$

但し、 R (kg): 抵抗, v (m/sec): 速力, W (kg): 排水量, $2000 < W < 3000$, $0 < v < 3.0$

この式は、排水量、速力ともに大きさの制限があるが、実用的に差つかえない範囲で任意の排水量、速力における抵抗を推定できると思われる。

3・2 横傾斜の影響

カッターでプーリングをする場合は大きく横傾斜させて航走することはほとんど無いが、セーリングの場合には意識的に傾斜を付けて航走する場合もある。船が横傾斜をしているときの船体抵抗は興味のあることで、ヨットについては古くからこの種の資料も見られるが³⁾、カッターについては見当たらない。そこでカッターの横傾斜が抵抗に及ぼす影響をみるために、排水量を一定にして、横傾斜をした場合の速力抵抗曲線の実測例を第8図A, B, C, Dに示した。一般に横傾斜をするとトリム変化を生じるが、今回の実験では、

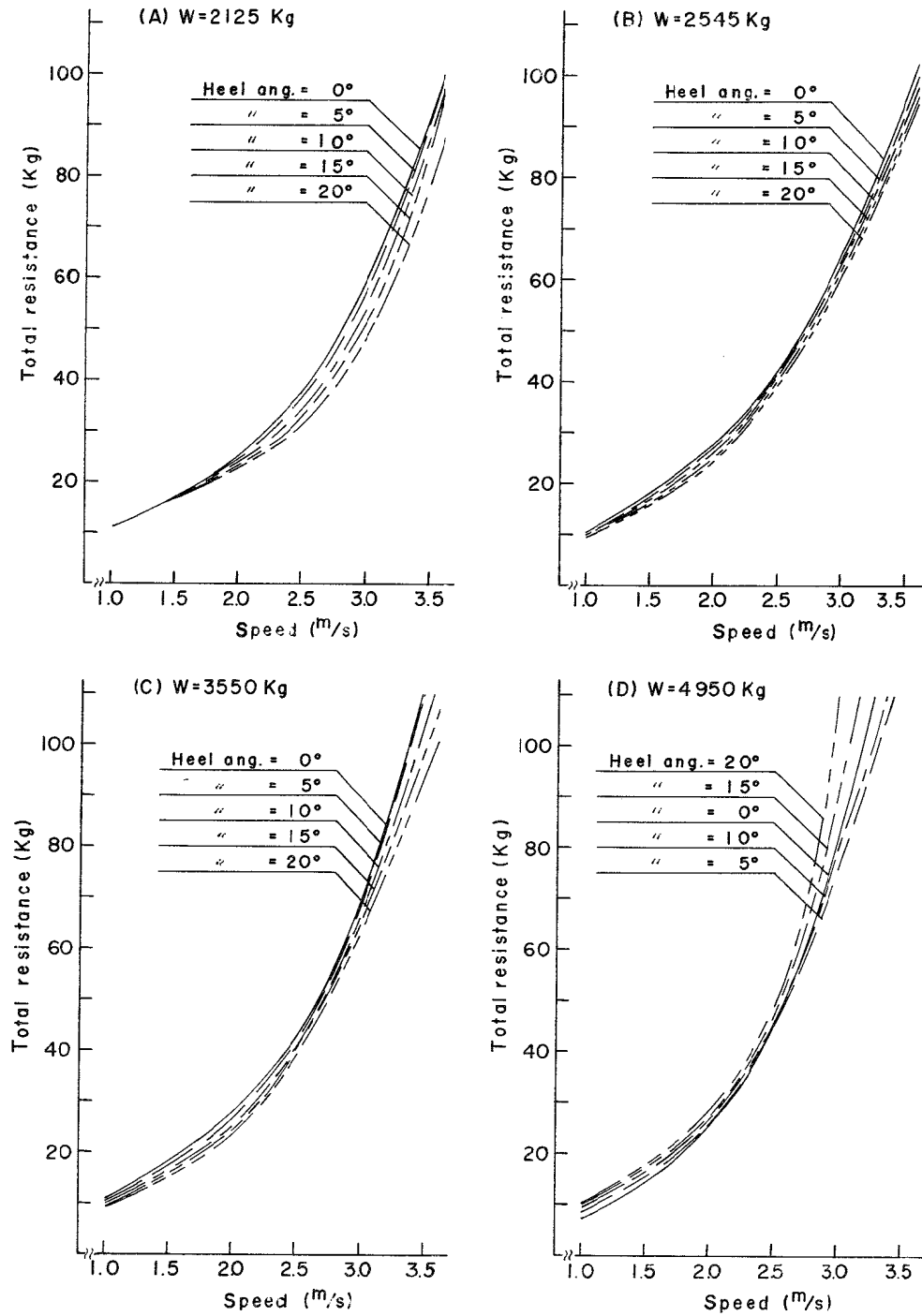


Fig. 8. Effect of heeling angle on total resistance.

艇内のバラスト移動により常に等喫水の状態で横傾斜のみ変化させた。また第8図から各排水量について、横傾斜角をベースに速力抵抗曲線を求めてみると第9図A, B, C, Dのようになる。

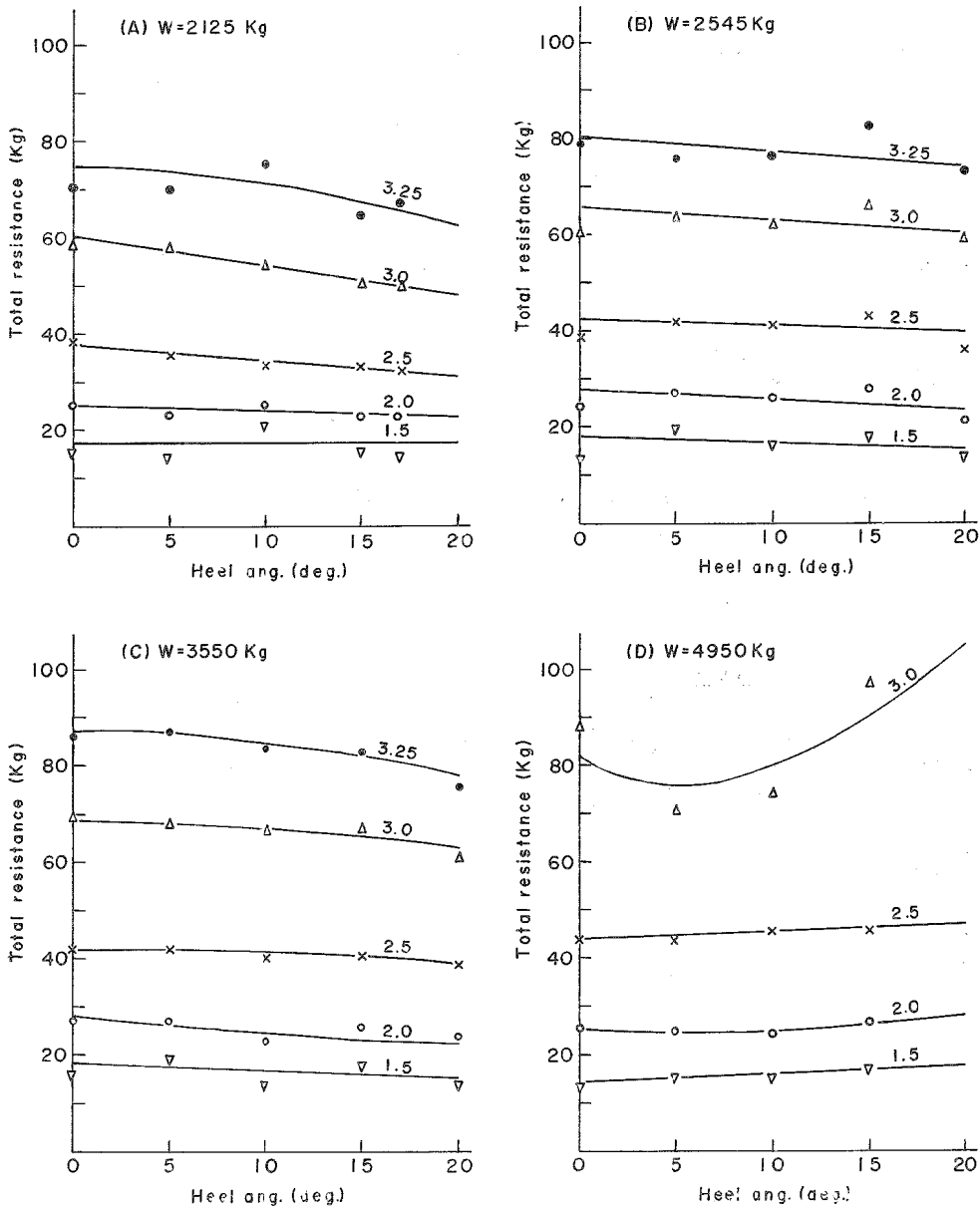


Fig. 9. Relation between total resistance and heeling angle. The plotted values are the values read from Fig. 8.

ヨットの実験例³⁾では、横傾斜角の増加に伴って船体抵抗は比例して増加している。しかし、第8図、第9図から明らかなように、カッターでは傾斜角を増せば必ずしも抵抗は大きくなり、排水量の変化によって多少傾向は異なるが、むしろ常用の排水量では抵抗が小さくなる傾向がみられる。例えば排水量が2125~2545kgで約20度横傾斜、速力3.0m/secで航走中の抵抗は、直立状態のときに比較して8~20%減少している。軽喫水、低速の場合は抵抗に与える横傾斜の影響は小さいが、排水量が大きくなると低速から横傾斜の影響が現われる。カッターの通常のプーリング等では排水量が4950kg程度になることは無いが、この程度の排水量になると、横傾斜が大きくなるに伴って抵抗は増加し、しかも速力が大きくなるにしたがってこの傾向は明確になる。今回の実験では、排水量4950kgの場合では速力3.0m/secにおいて直立時に比べて約30%の抵抗増となった。

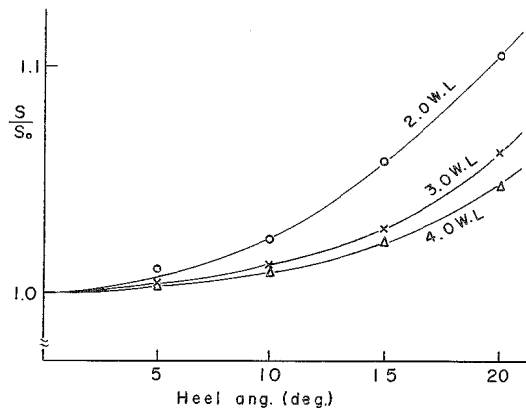


Fig. 10. Effect of heeling angle on increasing the wetted surface area of a cutter.

Note S_0 : Wetted surface area under upright condition

S : Wetted surface area under heeling condition

カッターの排水量変化および横傾斜角の増加に伴う浸水面積の変化を調べると第10図のようになる。この図から、横傾斜に伴う浸水面積の増加率は軽喫水即ち排水量の小さい場合ほど大きい。したがって摩擦抵抗だけを考えると、横傾斜に伴って抵抗は増加するわけである。しかし実験結果抵抗が減少する傾向を示しているのは、カッターの外板がClinker built方式であり、このため艇が傾斜すると船首船底部では外板の張られている線と水の流線とが一致して外板の渦抵抗が小さくなることや、水線面の形状変化に伴う造波抵抗の減少などが考えられる。十分な注意をして実験を実施したものの、船首部曳航という方法で抵抗計測をしたためかも判らない。一般の船舶が実施しているような模型による水槽抵抗試験が、カッターにも実施されることを望みたい。

3・3 トリムの影響

船体にトリムが付いていれば推進性能、操縦性能等に影響を及ぼすが、ここではカッターにトリムが付いている場合のトリムと抵抗の関係を実験的に調べた。すなわち排水量一定、直立状態で浮んでいる場合に、カッターのトリムをいろいろ変化させて抵抗を計測した。その結果得られた速力抵抗曲線を第11図A, B, C, Dに示す。またこの図からトリムベースに速力抵抗曲線を求めたものを第12図A, B, C, Dに示す。

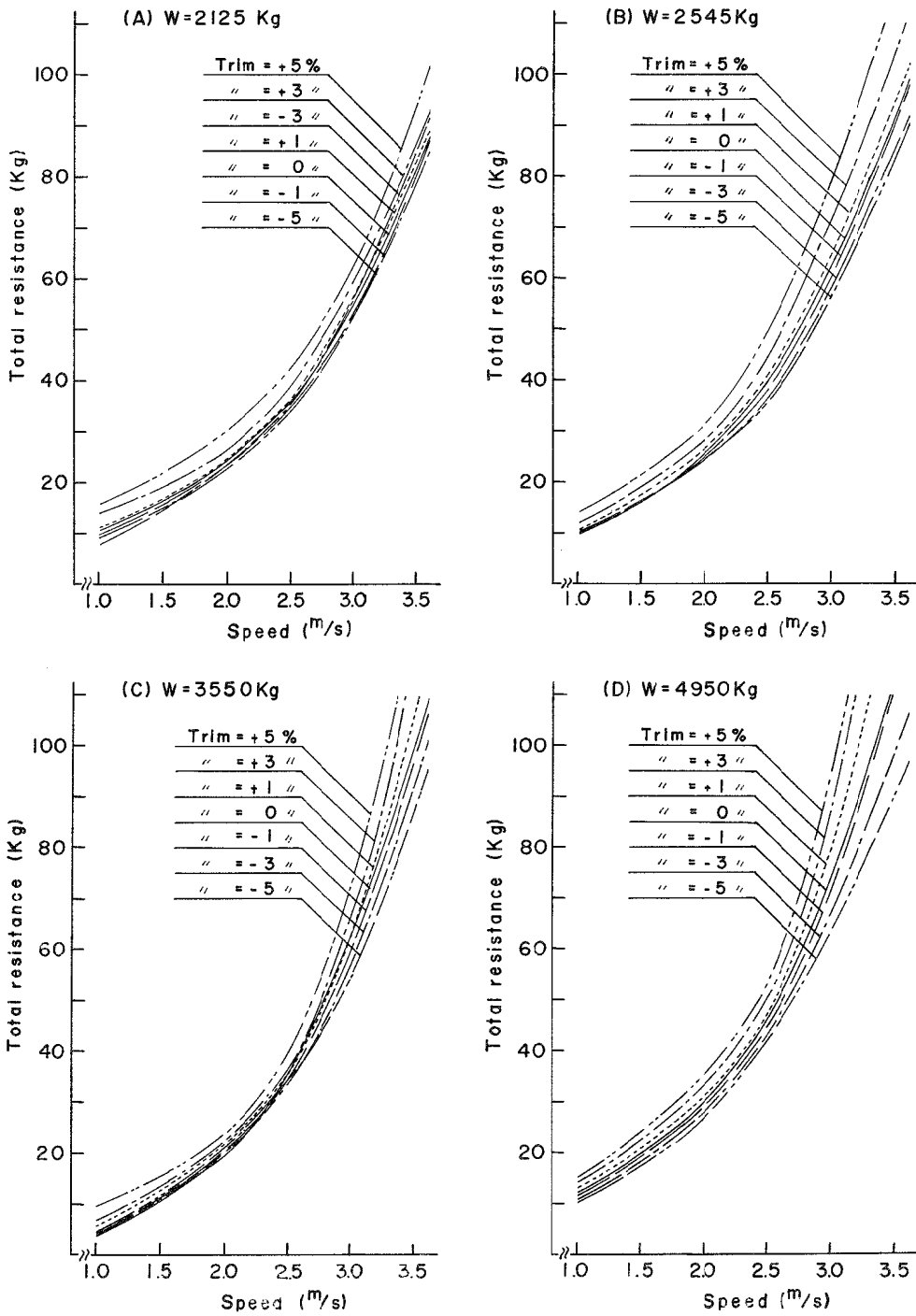


Fig.11. Effect of change in static trim on total resistance.

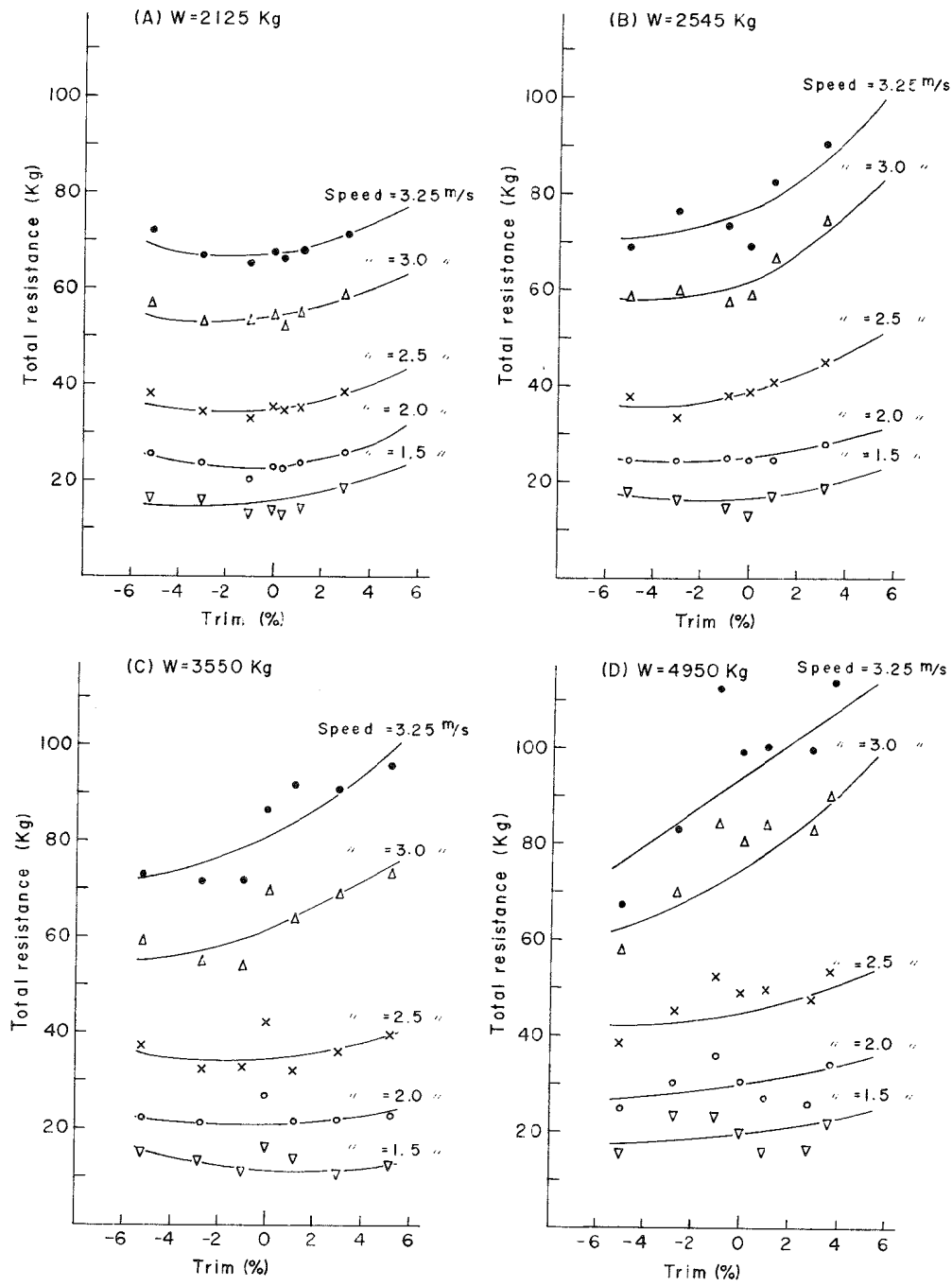


Fig. 12. Relation between total resistance and static trim with different displacement. The plotted values are the values read from Fig. 11.

これらの図から、トリムが抵抗に与える影響はカッターの排水量の大小によって違っているように思われる。すなわち排水量の小さい場合には、速力に関係なく0～-2%のトリムで抵抗が最小値となり、それ以外のトリムでは船首、船尾トリムともにトリムが大きくなると抵抗は増加する傾向がある。トリム変化と抵抗増加は排水量と速力によって違いはあるが、例えば排水量2125kg、直立状態で速力3.0m/secで航走中の抵抗を、船尾トリム2%の場合を基準にすると、船首トリム3%では約10%増加している。また同じトリムおよび速力ならば、船首トリムの方が抵抗は大きい。

しかし、あるトリム量るとき抵抗が最小となるような傾向は、排水量の増加と速力の増大に伴って見られなくなる。すなわち排水量4950kgの場合だと、船尾トリムから船首トリムになるに従って抵抗は一様に増加し、その増加率は速力が大きいほど大きくなっている。通常カッターは、船尾に2～3%のトリムを付けて航走しているが、この実験結果からみて適当なトリム量と思われる。

4. 結 論

ここでは、海上においてカッターを曳航する方法によって、その抵抗に関する2～3の性質を実験的に求めたが、その結果を要約すると次のようである。

(1) 直立状態にて排水量を増加すると、直進中の抵抗は次第に増加する。また常用の排水量、速力の範囲では実用上差しつかえない精度で抵抗を推定することができる近似式が得られた。

(2) 常用の排水量では、横傾斜の増加とともにカッターの直進抵抗は、直立状態の抵抗と比較して減少する傾向がある。しかし常用排水量の2倍以上の大きさとみられる排水量4950kgの状態では、逆に抵抗が増加した例もあるので、この傾向については精度のさらに良い他の実験方法にて確認する必要がある。

(3) 常用の排水量では、トリムを船首尾いずれにも付け過ぎると抵抗は大きくなり、0～2%船尾トリムの場合が抵抗は小さい。しかし、排水量が4950kgの状態では、船尾トリムから船首トリムに変化するに伴い抵抗は増加した。

文 献

- 1) 船舶工学便覧, 1960: 抵抗, 601～602.
- 2) 藤井 齋・津田達雄, 1961: 自航模型による舵特性の研究(2). 造船協会論文集, 110.
- 3) 造船協会雑纂, 1937: M. DAVIDSON, 快遊帆船の実験的研究, 316～326.