

VII. 操縦性研究の船舶設計に対する応用

野本謙作* 元良誠三**

目 次	
1. 緒 論.....	151
2. 舵面積の選定——特に大型タンカーを 中心として——.....	152
2.1 肥大船型における舵の作用	152
2.2 旋回抵抗に重点をおいた舵面積の 決定法	155
2.3 舵面積の諸基準および計算式とそ の比較検討	156
3. 船尾アベンデーチおよび推進器の配置.....	160
3.1 スケグおよびフィン	160
3.2 二軸一舵と二軸二舵	163
4. 操舵速度と操縦性.....	165
参 考 文 献.....	167

1. 緒 論

船は交通運搬の手段であるから、それは単に走ればよいのではなくて、望む方向に走れなければならない。操縦性の問題は船の歴史と共に古い。それにもかかわらず操縦性が船の設計の中心的課題になることはまずなかったし、また、それが大きい問題となる場合においてさえも、知識や資料の不足も手伝って、設計段階で操縦性に十分な考慮が払われることはまれであった。この十数年、この分野の研究はずい分盛んになったけれども、まだその成果が設計のルティンとして取入れられるには至っていない。この章の目的は、できるだけ、このギャップを埋め、操縦性に関する新しい知識の船舶設計への応用を開くことである。

まず、若干の基本的な視点を述べよう。

1. 操縦性の良い船とは容易に操縦できる船のことである。直進する時は希望のコースを困難なく保つことができ、方向転換の必要が起これば直ちに、必要な強さの回頭運動を起こし、また、それを止めようとすれば直ちに制動が効いて、新しい針路の直進に入る、このような船は操縦性のすぐれた船である。

2. 船体主要目を操縦性に対する考慮から決めることは合理的でない。操縦性に関する設計上の問題は、操縦性以外の要因から決められた主船体に、その船の使用目的上、必要とされる操縦性を与えるべき舵、スケグ、その他の可動または固定のコントロール・サーフェイスとその制御方法を決定することである。

主船体の計画に当ってはすでに多くの、そしてしばしば相矛盾する要素がある。その上に操縦性に関する考慮を割りこませることは徒に困難を増すであろう。幸にして操縦性はコントロール・サーフェイスの形状、配置、また、その制御方法によって大幅に変えることができるものである。したがって操縦性以外の要素、すなわち速力と馬力、デッドウェイトと船殻重量、建造面の考慮、それらを総合した経済性、港湾や運河の地理的制約などから最適である主船体をまず決めてもらい、操縦性におけるしわよせは舵を始めとするコントロール・サーフェイスとその制御で解決するのが合理的な手順であろう。

3. ここにいう“制御”の重要性は強調されるべきである。良く制御された小さい舵が不都合な動きをする大きい舵を凌ぐことは大いにあり得る。船の操縦性は船体や舵の回りの流れの模様支配されるのと同程度に、自動操舵装置のリレーの動きや、操舵員の神経筋肉系の信号の伝わり方にも支配される。船の運動が誘起する水の圧力がより集まって船に作用する力も、船の運動の函数として制御される舵が発生する力も、ひとしく船の運動の函数として船に作用する力であって、船の運動の立場から見ればこれを区別する理由はない。

4. 操縦運動に関与する基本的な物理量は船の慣性、運動によって誘起される流体力(旋回抵抗)、操舵によって誘起される流体力(旋回力)、この三者である。旋回抵抗は船体および舵に作用し、一般には旋回を妨げる方向に働くが、逆方向になることもある。旋回力は主として舵に作用する。

* 広島大学・大阪大学

** 東京大学

旋回性能は旋回力と旋回抵抗のバランスで決まり、旋回力/旋回抵抗の比率が大きいほど、旋回性能はすぐれている。すなわち旋回半径は小さく、定常旋回角速度は大きい。一方、針路安定性ならびに操舵に対する追従のはやさは、慣性/旋回抵抗の比率に支配され、この値が大きいほど、一旦加えられた旋回運動が減衰する時間が長く（針路安定性が悪い）、同時にまた、操舵後、対応する定常旋回運動に整定するのに長い時間がかかる（追従がおそい）¹⁾。

上記三箇の基本的物理量のうち、慣性は船体主要部の形状寸法でほぼ、決ってしまう。一般に C_B の大きい船、 L/B の小さい船は相対的に慣性が大きく、 $C_B/(L/B) \equiv \rho/L^3 d$ なる船の肥大度を表わす係数が操縦運動を支配する慣性を表わすものと考えてよい。ところですでに述べたように、主船体の形状寸法を操縦性に関する考慮から左右することは実際的でないので、この慣性は操縦性とは別の要素から決められるものと考えねばならない。

したがって操縦性に関する設計の要点は、この与えられた慣性に対して必要にして十分な慣性/旋回抵抗の比率を与えて、針路安定性と追従のはやさを確保するような舵・ステグその他のコントロール・サーフェイスの形状、寸法とその制御方法を求めることが第一段階となる。コントロール・サーフェイスの形状や制御方法は船の慣性を大幅に変えることはできないが、船に作用する流体力には大きい変化を与えることができるから、与えられた主船体の慣性に適応する旋回抵抗を作り出して必要な針路安定性を確保することができる。このことは次の旋回力についてもあてはまる。このことから、主船体は所与のものとして受取り、操縦性は舵その他のコントロール・サーフェイスで調整するという前述の方針の根拠が理解される。

さて、操縦性設計の第二段階は上述のように決められた旋回抵抗に対して必要かつ十分な旋回力/旋回抵抗の比率を与えて所要の旋回性能を確保するに足る旋回力を作り出すことである。

普通の船ではコントロール・サーフェイスの主役は舵であるが、舵は旋回力と旋回抵抗の両方に大きい貢献をするので、ここに述べた二つのステップは独立でなく、相互に関係し合う。しかも多くの場合、旋回性能と針路安定性の両者を同時に必要かつ十分にすることはできず、どちらかを必要最少限に確保する舵面積は他方を必要以上によいものにすることが多い。船尾のカット・アップやステグなどを自由に選ぶことができ、または、船の運動の函数として自動制御される操舵が十分自由なものならば、両者を同時に必要かつ十分にすることが原理的には可能であるが、これらの条件は現在の商船では満たされていない。

2. 航面積の選定——特に大型タンカーを中心として——

2.1 肥大船型における舵の作用

近年、驚異的な発達を遂げた大型タンカーは $L/B=6$ 、 $C_B=0.82$ というような肥大船型を生み出した。すでに述べたように小さい L/B と大きい C_B は相対的に船の慣性を大きくし、同じ旋回抵抗であっても針路安定性は悪くなる。そのうえ、タンカー船型についての多くの実験結果によると、タンカーの小さい L/B と大きい C_B は旋回抵抗をまた、大幅に減少させることがわかった²⁾。両々相俟って大型タンカーは従来の商船に較べて、はるかに進路安定のわるい船となった。タンカーにおける操縦性の問題は、いかにしてよく旋回させるかではなくて、いかにして旋回にブレーキをかけるかであるといつてよい位である。

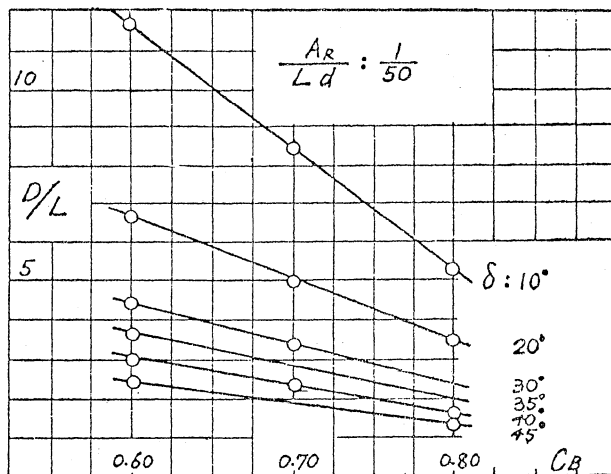


Fig. 1 C_B が旋回直径におよぼす影響

(注) 詳しくいうと旋回抵抗は純粋に流体力だけでなく、慣性力（遠心力の横抵抗成分）が関係しており、大きい慣性はこの関係を介して旋回抵抗を減少させる効果がある。このことは横方向運動方程式と安定性指数の構成に着目すれば理解できる。

$L/B : 7.3$
 $B/d : 2.5$
 $C_B : 0.8$

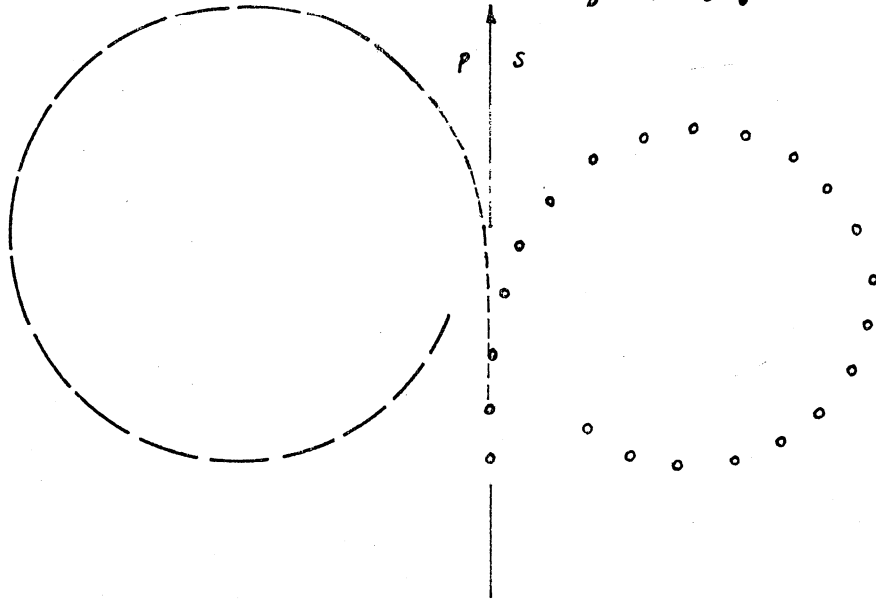


Fig. 2 肥大船型模型船の‘舵なし旋回’

Fig. 1 は L, B, d と舵面積は同じで C_B を変えた三隻の模型船の旋回半径を示す²⁾。 $C_B=0.8$ の船の強い旋回は一目瞭然であるが、舵面積比は同じだから舵の旋回力にこんな大差があるとは考え難い。事実、模型船で舵に作用する力を測ってみても、 $C_B=0.8$ の船の強い旋回を舵にはたらく力の差で説明することはできない。そうすると答は一つ、 $C_B=0.8$ の肥大船型は旋回抵抗が大変小さいから同じ舵角で強い旋回をするということである。

Fig. 2 は同じ $C_B=0.8$ の模型船の舵を全く取り外してしまつて自走させた航跡である。静止から静かに発進させると小円で示す航跡を辿り、舵がないにもかかわらず相当強い右旋回を続ける³⁾。この船に舵をつけ、右舵 25° を取った時と同程度の旋回である。

さらに、見落してはならない現象がある。この模型船をやはり舵なしで自走させるが、今度は発進時に外力を加えて左旋回をさせながら発進させて見る。航跡は図中の破線のように相当強い左旋回に整定する。この例では -15° 相当位の運動である。最後に、発進時に右旋回を与えてみると、さきと同じ 25° 相当の右旋回に落着く。

以上の一見不思議な現象は次のように説明される。舵なしのこの船は、一旦右旋回を始めると、ますます右旋回を強くする力が働き、左旋回を始めると今度はますます左旋回を強くする力が働く。この傾向は舵をつけた時の舵角 20° 相当位の強い旋回に達するまで続き、そこで運動が落着く。

それに付加えて、この船の右回り単螺旋推進器は若干の右旋回モーメントを発生する。そのため静かに発進させると、この効果によって始め緩かな右旋が起り、一旦右旋が始まると上述の次第で舵角 25° 相当の右旋まで発達する。右回り推進器の右旋力があまり大きいものではないことは、発進時にある程度の左旋を与えるとも左旋が発達することからわかる。整定する左旋が舵角にして -15° 相当、右旋が 25° 相当と差があるのは、この単螺旋推進器の右旋力の他に、舵をつけた時、右舵と左舵で旋回力に差があることも影響している。

ここに述べた現象は多かれ少なかれ、肥大船型に共通のもので、これこそ操縦性における肥大船型の特徴を端的に示すものだといつてよい。すなわち、右旋回するとますます、右旋回を強くする流体力が船体に働き、左旋回すると、今度は逆に、左旋回を強くする流体力が働く、これを‘負の旋回抵抗’と呼ぶが、この負の旋回抵抗が肥大船型を特徴づけるのである。

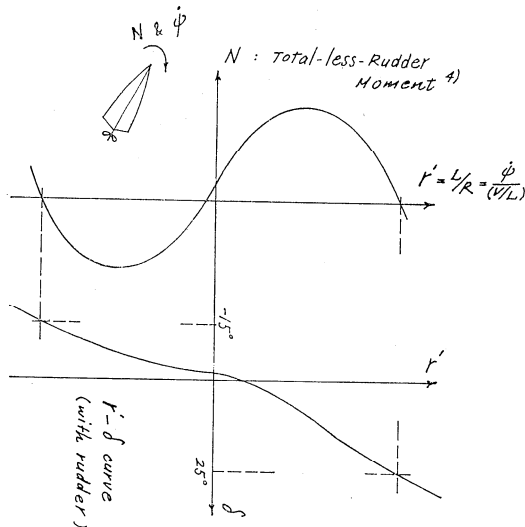


Fig. 3 ‘舵なし旋回’中、船体に働くモーメント

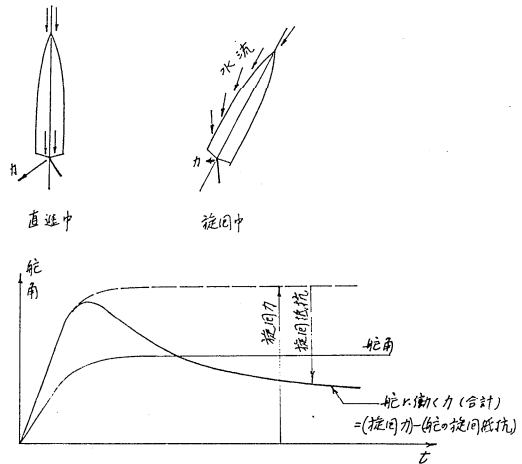


Fig. 4 舵の作用——舵の旋回力と舵の旋回抵抗

ここに例にとった船型について、旋回中の船体（舵なし）に働く流体力を図示すると Fig. 3 のようになる。直進時は単螺旋のため若干の右旋力があり、右旋回が強くなるに従って右旋力が増加、そのうち右旋力の増加は頭打ちになるが、舵角 25° 相当の右旋回になるまで右旋力は続く。そこでちょうど流体力は零になり、それより弱い旋回では右旋力、強い旋回では左旋力となるから、この強さの旋回に落着く。左旋回についても全く同様である。

ここで舵の効果、特に、今取扱っている所の、負の旋回抵抗をもつ船体に取付けられた舵の効果について考えてみよう。

今、右舵を取ると舵の右舷側から水が流入し、左向きの力を発生、これは右旋回を越えす力である。しばらくして右旋回が発達すると、船尾へ流入する水流は左舷側から、斜めに流れこむようになる。これはもちろん、舵への流入角を減少し、舵に働いている左向きの力、すなわち右旋力を減少する。(Fig. 4 参照)。ここで旋回力と旋回抵抗の定義を振り返ってみよう。操舵に応じて働く流体力が旋回力であり、船の運動に応じて働く流体力が旋回抵抗である。この定義を今の場合に適用すると、次のようにいうことができる。舵には舵角に応ずる旋回力の他に、船の運動に応ずる旋回抵抗が働いており、両者の代数和が実際に舵に働く力である。(Fig. 4 参照)。なお、舵中央のままでも外力によって船が旋回させられる時、舵に働く力が旋回抵抗だけであることはいうまでもない。

このように舵は旋回力の他に、一旦旋回が起こるとそれに抵抗する方向の力を発生するものである。この点は舵の効果を理解し、また、タンカーのように針路安定の悪い船型の舵面積を決める上に最も重要なところである。

すでに示したようにタンカーのような肥大船型の船体は負の旋回抵抗をもつ。放置すれば右か左かはきっかけ次第だが、とにかくどちらかへ旋回しようとする。これに舵をつけると、たとえ舵中央に固定したままでも、舵の発生する正の旋回抵抗は船体の負抵抗を減じ、または打消してしまつて、上記の傾向、いわゆる‘針路不安定’の程度を軽くし、または安定化することができる。これに加えて常に船の運動を減衰させるように舵を動かせばさらに有効であることは想像に難くない。

肥大船型の船体は、もともと、右か左かはきっかけ次第、どちらかへ旋回しようとする傾向をもつ。この傾向を舵で抑えて直進するのだから、旋回させるには舵のブレーキを外してやればよい。舵を取るとは、まず、望む方向への旋回力を与えて、その方向の旋回のをきかけを作ることであるが、それから後の舵の作用は船を旋回させる原動力を供給するというよりは、今まで掛けていた旋回に対するブレーキを外したというに近い。さきほどの例を再び引用すれば、この船は舵なしで右舵 25° または左舵 15° の旋回をする。今右舵 25° を取った場合を考えよう。操舵直後は舵の右舷側に水が当り右旋力を発生、右旋回が起る。一旦右旋回が起れば船体に働く負の旋回抵抗で右旋は大きく発達する。舵への水流は左舷側に偏し、遂には水流が舵に平行になって舵に力が働か

なくなる。この状態がすなわち 25° 旋回である。舵があってもなくても同じ運動になるのだから、この時舵に働く力がないことは当然である。左 15° も全く同様である。

次にこの船で右 10° を取る。操舵直後、右旋力がまず発生すること、以後、船体の負抵抗で右旋が発達することは同じである。そのうちに舵への水流は舵の反対側（左舷側）からくるようになり、舵には右旋回に抵抗する力が働くようになる。この抵抗と、船体に働く負抵抗が釣合っている定常旋回が 10° 旋回である。この船は舵なしで右 25° 相当の旋回をするのだから、それより緩い右 10° 旋回中は船体には右旋力が働いており、したがって舵は右に取られているにもかかわらず左旋力を発生して船体の右旋力に釣合っているに違いない。このように肥大船型では操舵して旋回中でさえも、舵はブレーキ役をしていることが多いのである。そうしなければ回りすぎて困るから、舵でブレーキをかけながら所要の強さの旋回を行なっているわけである。この例では 25° を超える強い旋回が要求される時、始めて舵はブレーキからアクセルにその役目を変えることになる。

2.2 旋回抵抗に重点をおいた舵面積の決定法

舵面積の選定は操縦性に関する設計の中心的課題であろう。船の長さをベースに多くの資料をプロットしたものの⁹⁾、旋回圏を普通の船と同程度に抑えることを条件に舵面積を決める方法などがあり、また一部の船級協会では舵面積比の推奨規程をもつ所もある。これらについては 2.3 で述べることとし、この節では、旋回抵抗の小さい肥大船型に適度の旋回抵抗を確保して良好な保針性、操舵に対する追従性を与えることを条件に舵面積を決める方法について考えてみる。前節に述べた所からして、大型タンカーの舵面積を決める第一条件はおそらくこの条件である。この条件を満たした上で、その他の条件を考慮して総合的な判断を行なうのが合理的な手順と考えられる。

この方法においては旋回抵抗の大小を表わす尺度として $A_R/Ld \cdot K'$ なる量を使う。 A_R/Ld は舵面積比、 K' は 10°_z 試験から得た無次元の K 指数である。この量を舵面積比 A_R/Ld を横軸に、肥大度 $C_B/(L/B)$ や B/d その他の船型要素を副変数にプロットした図表がこの方法の基となる。この形の図表は第一回操縦性シンポジウム¹⁾に含まれているが、最近、大型タンカーに関する多数の資料をこの形に整理し、舵面積決定に便利な形に纏めたものが作られた⁷⁾。

Fig. 5 は $B/d=2.6$ 前後の船に対する図表である。舵面積の減少と共に旋回抵抗 ($A_R/Ld \cdot K'$ で表わされる) が減少すること、 $C_B/(L/B)$ の大きいほど、旋回抵抗は小さいこと、舵なし ($A_R/Ld=0$) では旋回抵抗は負であることなどが明らかである。

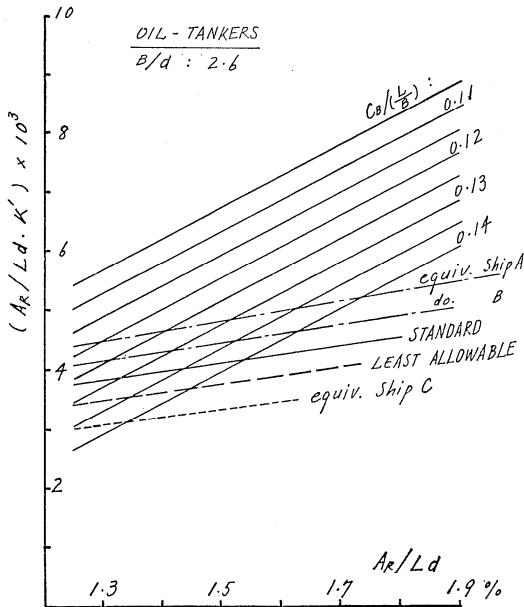


Fig. 5 船型・舵面積と旋回抵抗

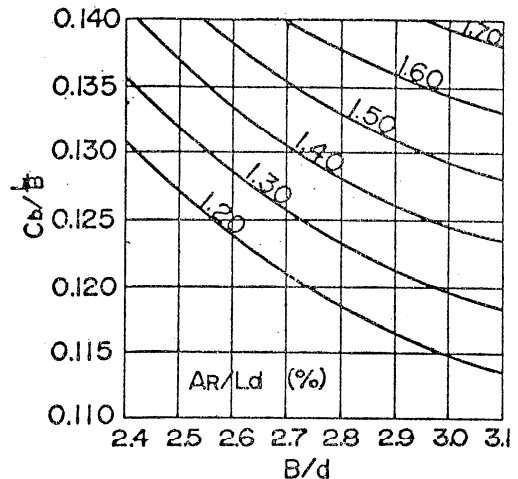


Fig. 6 山田の舵面積決定図表

この図表の縦軸が旋回抵抗の大小を表わし、一方、船の慣性は $C_B/(L/B)$ で表わされる。針路安定性は慣性と旋回抵抗の比によって決まり、この比が大きいほどわるい。したがってこの図表の上で針路安定性コンスタントの点は、鎖線で示す左下りの線上に沿うことになる。図中 equiv. A とあるのは母集団中、特に保針性、追従性にすぐれていたA船と同等の慣性/旋回抵抗の比をもつ点を連ねるもの、標準とあるのが母集団の平均的なところ、許容限界とあるのが、これ以下の安定性では不都合があると思われる慣性/抵抗の比に対応する。

同様の図表を若干の B/d に対して作り、標準と目される慣性/旋回抵抗の比——換言すれば針路安定性——を与えるべき A_R/Ld を $C_B/(L/B)$ および B/d の関数の形で描き出したものが Fig. 6 である⁷⁾。この図表により C_B , L/B , B/d 三者が決まれば、今考えている条件による舵面積を決めることができる。

この方法の信頼度は、 $10^\circ z$ 試験で得られた K' 指数の信頼性、ならびに K 指数と船型要素の関係を $C_B/(L/B)$ と B/d だけで表わすことの当否に係っている。 $C_B/(L/B)$, B/d , A_R/Ld の三者を操縦性に関する三大船型要素と考えることには多くの根拠がある。しかし、肥大船型の場合には船尾付近の粘性支配の強い流れの場がフレーム・ライン形状の変化に対して複雑で微妙な影響を受けるようで、このことは操縦運動をする船体に働く流体力にも少なからぬ影響を与える。この影響については未だ十分解明されていないが、同じ C_B と L/B の船体でありながら、一方は若干の正の旋回抵抗を、他は負抵抗を示すごとき事例は確かに存在するようである。そのため、上記資料の母集団中にも、計測誤差では説明できないバラツキを示す船がある。従ってフレーム・ライン形状によっては、この方法から期待されるよりも相当不安定側に出る場合もあり得ることは注意すべきである。

2.3 舵面積の諸基準および計算式とその比較検討

舵面積に対する基準は、今の所 NV が定めているだけで、法規で規制している所はない。最近 IMCO の設計、設備小委員会でも、大型タンカーの防災に関連して、操縦性に対する規制をすべきではないかとの議論が持ち上がったが、結局船長に対し、その船の正確な操縦性の資料を与えることの方が大切であるということに落ちついたようである。

またNKでは舵に対する反応の遅い大型船で、小型船なみの操舵速度で舵を取っても意味がなく、むしろその馬力を舵面積の増加に振り向けられるようにすべきであるという見地から、ある限度の舵面積より舵面積が大きい場合には、操舵速度を現行の28秒より長くすることを認めるという方向で現行規則を改正することを計画し、委員会で一応の案を作成した⁸⁾。

この案は操舵速度を規定しようとするものであるが、操舵速度を現行の28秒と置けば、それに対応する舵面積が出るので、間接的には舵面積を規定したことになるが、未だ規則の改正には踏み切っていない。

この外舵面積の決定法としては、各造船所でそれぞれ独自の方法があると思われるが、一般的な形で発表されているのは村橋・山田⁹⁾ および山田⁷⁾ の方法のみである。

本節ではこれらの基準または計算式の特徴を比較し、それぞれの方法で求めた舵面積の比較を行なって見る。

2.3.1 NV 規則

NVは1964年のルールで、次式により舵面積を規定している。

$$\frac{A_R}{Ld} = \frac{1}{100} \left\{ 1 + 25 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right\} \dots\dots(1)$$

この式では B/L が増加すると、要求される舵面積も大きくなっている。 B/L が大きいことは N'_r の減少をきたし、また B/L が大きくなればそれにつれて d/L が小さくなるので Y'_β も減少し、共に針路安定の低下を招くので、(1) 式は B/L の増大に伴う針路安定の低下を考慮して定められたものと考えられる。

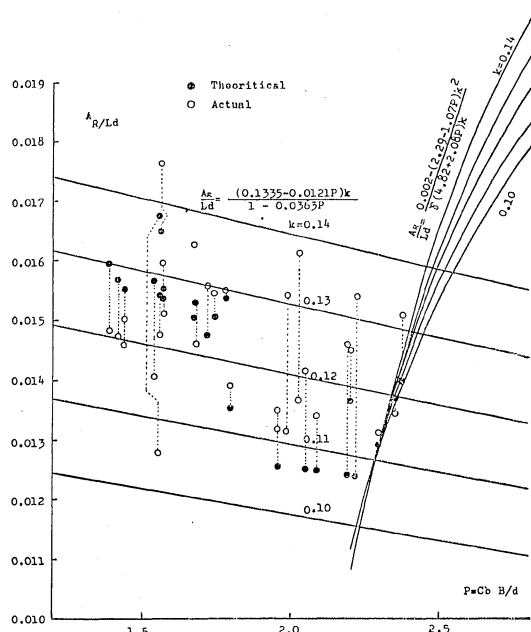


Fig. 7 村橋・山田図表の基礎資料

この式で与えられる舵面積はかなり大き目になるようである。(Table 1 および Fig. 9 参照)

2.3.2 村橋, 山田の方法⁹⁾

この方法は村橋, 山田両氏により昭和 41 年に発表されたもので旋回性および針路安定性の二つの見地から舵面積を決めようとするユニークな方法である。

まず針路安定の見地からは, 無次元の安定判定式 (Ⅲを参照) を 0.002 以上 (すなわち針路安定) に保つために必要な舵面積比を, 最も影響の大きいと思われる船型要素 $p = \frac{BC_B}{d}$, $k = \frac{2d}{L}$ を用いて次式のように与える。

$$\frac{A_R}{L_a} = \frac{0.002 - (1.07p - 2.29)k^2}{(4.82 + 2.08p)k \cdot \gamma} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし, γ は舵に当る水流の整流係数¹⁰⁾

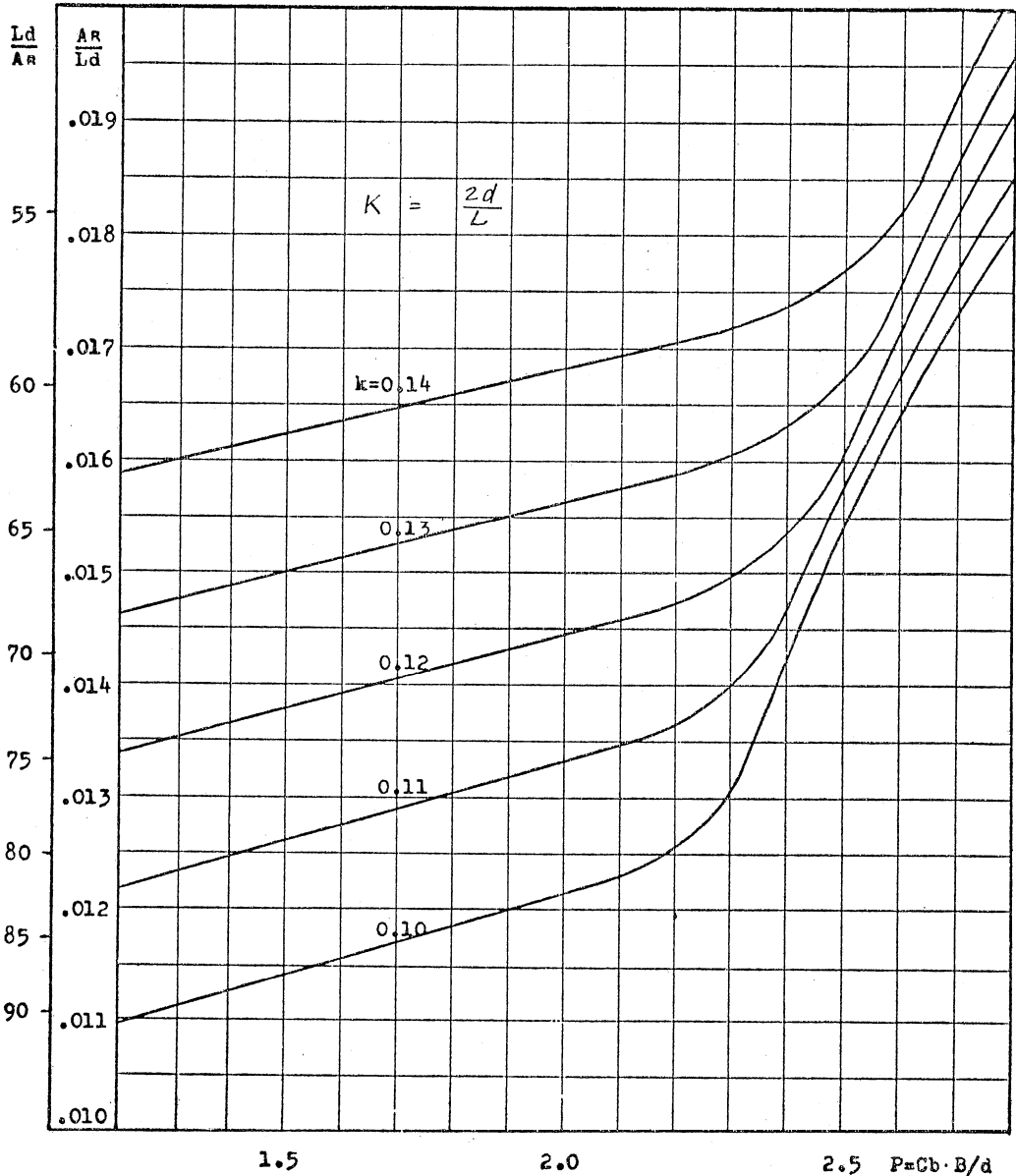


Fig. 8 村橋・山田の舵面積決定図表

次に旋回性の面から要求される舵面積としては、3船長進む間に60°の変針を行なう性能を持つようなものとして次の式で与えている。

$$\frac{A_R}{L_a} = \frac{(0.1335 - 0.0121p)k}{1 - 0.0363p} \dots\dots\dots(3)$$

この二つの式を p を横軸にし、 k をパラメーターとして表示すると Fig. 7 のようになる。

これを実際のデータにより修正を行なって Fig. 8 のようなチャートが最終的に与えられている。

このチャートにより $p = C_b B/d$ と $k = 2d/L$ を変数として舵面積を決定することができる。

2.3.3 山田の方法⁷⁾

すでに 2.2 で述べた方法で、特に旋回抵抗に重点がおかれ、したがって L/B が直接入っているのが特徴である。

2.3.4 NK 試案

舵に対する反応の時定数が小型船の数倍以上におよぶ巨大船で、小型船と同じ操舵時間で舵を取るのは無駄であり、もっとゆっくり操舵をしても何等操縦性には悪影響を及ぼさないのではないかということはかなり前からいわれてきた。しかしながら潜在的に危険を孕んでいる大型タンカーの操舵時間を悪影響がほとんどないからといって延長するには問題があると見られていた。所が海難防止協会の操舵設備小委員会の研究¹⁸⁾によって船の衝突回避性能の一つの要素としてアドバンスを考え、アドバンスを小さく保つために操舵機の馬力一定という条件の下で操舵速度との関連を求めて見ると、ある操舵速度のときアドバンスは極小値を生じ、この極小値を生ずる操舵速度は 100m 程度の船で現行の 35°-30°/28 秒程度であり、それより大きい船ではもっと操舵時間の長い所でアドバンスの極小値を生ずることが判明したことは 4 で述べるとおりである。

一方村橋、山田および山田の両方法でも示されているように、肥大化した大型船では進路安定を保持するために大きな舵面積を必要とする。

そこで大型船では現行の操舵速度に固執せずもっとゆっくり操舵し、そのため生じた操舵機の馬力を舵面積を増すことに振り向けられるようにすべきではないかという見地から、NKでは現行ルールの改正を目標として昭和 42, 43 両年度に亘って操舵速度小委員会を設けて検討を行ない、一つの試案を作成した⁸⁾。

この試案では現行ルールはそのままとし、付則として、ある限度以上の舵面積を持つ船では、操舵時間を舵面積に応じて与えられる値まで延長してもよいという形で示されている。

同試案(提案)を転載すると

(1) 客船以外の船舶について、操舵時間を次の算式により算定される値を越えない限度で長くすることを認める規定を規則に採用すること。

$$t = 7.22 \frac{L}{V} \left(\frac{1 - \frac{Ld}{Ae} \cdot \frac{BC_b}{L}}{13.3 - \frac{R}{L}} \right) \text{ 秒} \dots\dots\dots(4)$$

上式において

L = 船の長さ (m)

V = 船の速力 (kt)

d = 船の満載喫水 (m)

B = 船の幅 (m)

C_b = 方形係数

$$A_e = \frac{A_R \left(0.6 + 0.4 \frac{D}{h} \right)}{0.45 + 0.675 \frac{1}{\lambda}} \dots\dots\dots(5)$$

A_R = 舵の可動部分の側面積 (m²)

D = プロペラ直径 (m)

h = 舵の可動部分の平均の高さ (m)

λ = 舵のアスペクト比 (舵の平均の高さと平均の幅の比)

$\frac{R}{L}$ = 次の二つの算式により算定される値のうちいずれか大きい値

$$3.0 \left(\frac{B}{d} + 5 \right) \frac{Ld}{Ae} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (6)$$

$$4.2 \left(\frac{L}{BC_b} \right)^2 \cdot \left(3 \frac{B}{d} - 1 \right) \frac{Ld}{Ae} \times 10^{-5} \dots\dots\dots (7)$$

(2) 2軸1舵, 1軸2舵の場合および特殊な舵の場合については, 前(1)号の算式をそのまま適用することに問題があると考えられるから, 別途処理する必要がある。

ただしマリナー型の舵および2軸2舵については, 当分の間前1号の算式により処理して差しつかえないものと認める。

この試案の基本的な態度として, 衝突回避性能について次のように考えている。すなわち, アドバンスや旋回半径が小さいことが必ずしも衝突回避性能が高いことは意味しない。たとえば自動車の回転半径を全部1割縮めたからといって事故が減少するとは限らない。むしろ, 船はその大きさによって揃った操縦性を持ち, かつ操舵したときの反応が確実に予期したものとなることが大切である。

極端に針路不安定な船は直線航走中の針路の分散が大きく, このことは初期条件の乱れを介して操舵に対する反応に不確定要素を介在させる。避けることが望ましいわけである。この意味からも極端な針路不安定は好まし

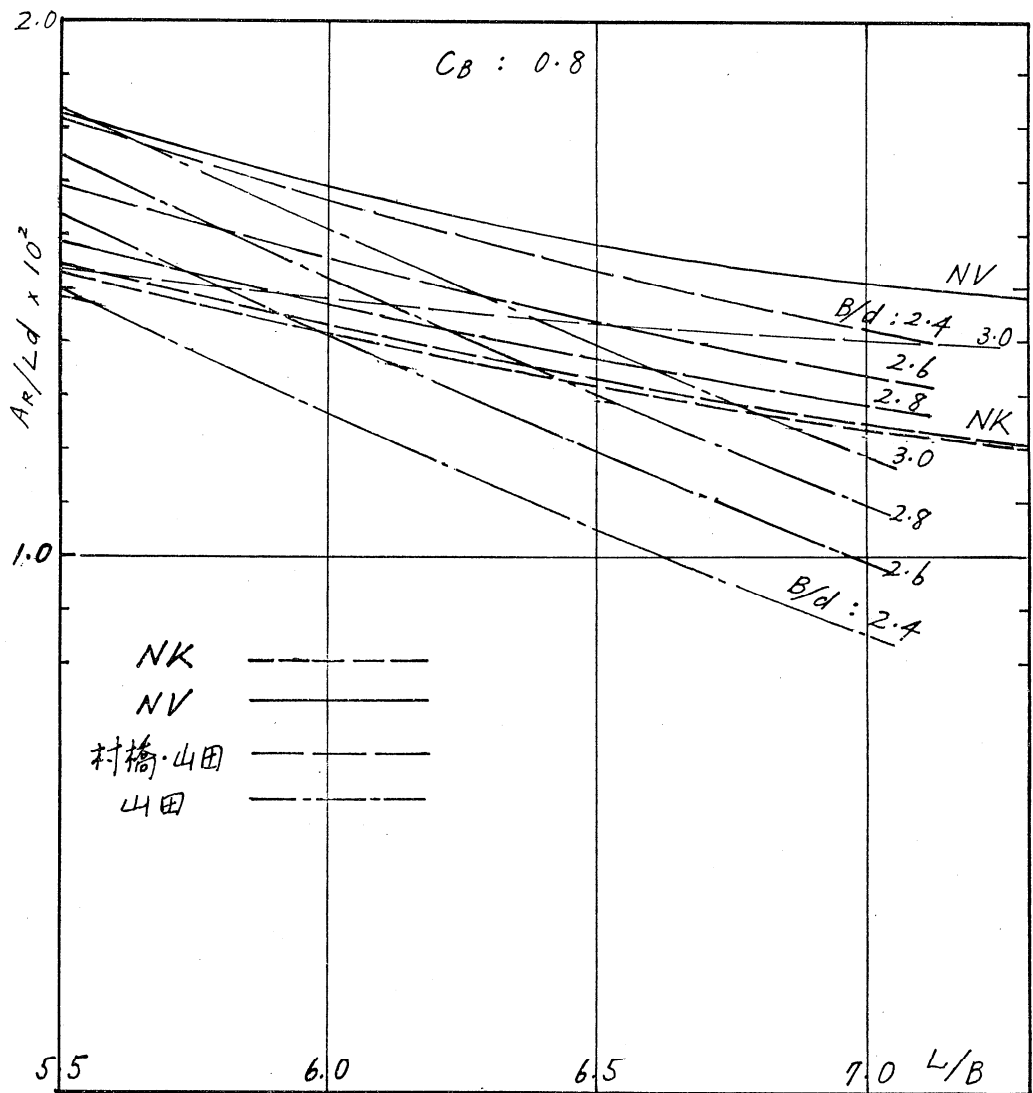


Fig. 9 舵面積比計算式の比較

いものでない。

このような見地から船の舵に対する反応、いわゆる舵効きを目安として操舵時間および舵面積を定めている。舵効きの目安としては Norrbin の p 指数¹¹⁾ が 0.2 程度になるように選んである。

$$P = K'(1 - T' + T'e^{-1/T'}) \div \frac{K'}{2T'} \quad \dots\dots\dots (8)$$

この方法で前二者と変っているのは L/V の項が入っていることで、同じ船型で、同じ大きさでも速力が大きいと大きな舵面積が要求され、又、同じ船型で同一速力でも小型の船ほど大きな舵面積比が要求されることである。

また舵面積は有効舵面積 Ae の形で与えられ、プロペラ径の比較的小さいディーゼル船の方が数%大きな舵面積を要求される。

この試案はある程度以上の舵面積をもつ船に対する操舵速度の緩和規程であり、これにより大きな船面積を取るように奨励しようとするものであるが、(4)式で操舵時間を 28 秒と置けば一応基準と考えられる舵面積が得られる。巨大船では R/L はほとんど (6) 式を使うことになるので (6) 式を (4) 式に代入し、 $t=28$ 秒に対応する舵面積比を求めると次式のようになる。

$$\frac{Ae}{Ld} = \frac{1}{13.3} \left\{ \frac{BC_b}{L} \frac{1}{\left(1 - \frac{t}{7.22 \frac{L}{V}}\right)} + \left(\frac{B}{d} + 5\right) 0.003 \right\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

または

$$\frac{Ae}{Ld} = \frac{1}{13.3} \left[\left\{ \frac{k}{2 \left(1 - \frac{t}{7.22 \frac{L}{V}}\right)} + \frac{0.003}{C_b} \right\} p + 0.015 \right] \quad \dots\dots\dots (10)$$

2.3.5 各計算法の比較

Fig. 9 は大型タンカーを対象として $L/B=5.5\sim 7.0$, $B/d=2.4\sim 3.0$, $C_B=0.8$ の範囲に対し、以上の各法により求めた舵面積を比較したものである。NV 規則が大きめの面積を与えることがよく窺われる。また、NV 規則では全然、また、NK 規則でもほとんど B/d の影響が出ないが、村橋・山田および山田の方法では B/d による差が明らかである。ここで注目すべきことは、むしろ回頭能力に重点をおいた村橋・山田の方法と、旋回抵抗ないし安定性に重点をおいた山田の方法では B/d の効き方が逆になっていることである。もっとも村橋・山田法では $B/d=3$ になると針路安定性に対する補正が急に効いて山田法と同じく、大きい舵面積を要求する。

大型タンカーの平均的な $B/d=2.8$ 程度で見ると、 $L/B=6.0\sim 6.5$ 位では NK, 村橋・山田, 山田の三者はほぼ一致するが、 L/B が 6 を割るあたりから、旋回抵抗に重点をおく山田の線が大きい舵面積を要求するに至ることは興味がある。一方 $L/B > 6.5$ では旋回抵抗の条件のみでは過小な舵面積を与えることになるようである。

Table 1 は 26 隻の実例について各方法で求めた舵面積を実績とならべて示す。

3. 船尾アペンデージおよび推進器の配置

3.1 スケグおよびフィン

現在、ほとんどすべての商船においてコントロール・サーフェイスと見るべきものは、もっぱら舵である。これを同じ商業輸送機関である旅客機と比較するとき、コントロール・サーフェイスの寸法のみならず、その多様さにおいても格段の相違に気付くであろう。後者の運動の自由度の多いこと、操縦性が直接安全につながることで、一回の航行時間が短かく陸上整備の組織が整っているため、多様な機構を導入してもメンテナンス上の不安がないことなど、条件の差は大きい。しかし一方、造船屋も十年一日どころか何百年一日の舵だけに頼る必要もないであろう。コントロール・サーフェイスの多様さにおいては、むしろ帆船時代の方が進んでいた位である。また、魚のもつ多彩なコントロール・サーフェイスを想起することもできよう。

2.1 で述べた所の、肥大船型における舵の作用の重点は、その旋回力ではなくて、その旋回抵抗であった。旋回力を発生するためのコントロール・サーフェイスは可動である必要があるが、旋回抵抗の方なら可動の必要は

Table 1

No.								$A_R/Ld \times 10^3$				
	L	B	d	C_B	L/B	B/d	$C_B/L/B$	Actual	NV	村橋・山田	NK案	山田
1	326	49.80	17.65	0.828	6.55	2.82	0.126	1.661	1.584	1.400	1.440	1.37
2	310	47.16	16.42	0.841	6.56	2.87	0.128	1.482	1.579	1.465	1.340	1.44
3	310	48.15	19.18	0.845	6.44	2.51	0.131	1.346	1.603	1.500	1.330	1.27
4	290	47.50	16.00	0.805	6.10	2.97	0.132	1.536	1.671	1.475	1.476	1.52
5	260	43.50	16.00	0.810	5.96	2.72	0.136	1.684	1.700	1.515	1.740	1.50
6	240	40.00	12.15	0.817	6.00	3.29	0.136	1.541	1.694	1.725	1.531	1.69
7	200	30.00	11.40	0.824	6.67	2.63	0.1235	1.517	1.563	1.400	1.562	1.22
8	223	37.20	12.19	0.816	5.99	3.05	0.136	1.607	1.696	1.565	1.598	1.64
9	273	38.50	15.04	0.822	7.09	2.56	0.116	1.500	1.497	1.350	1.307	—
10	221	33.22	12.19	0.820	6.65	2.73	0.123	1.361	1.565	1.375	1.327	1.26
11	256	42.50	14.90	0.810	6.01	2.85	0.135	1.491	1.689	1.430	1.488	1.54
12	285	48.20	16.30	0.810	5.91	2.96	0.137	1.767	1.715	1.495	1.533	1.63
13	252	38.00	15.40	0.825	6.63	2.46	0.124	1.370	1.568	1.475	1.328	1.12
14	236.2	31.85	12.65	0.8305	7.42	2.52	0.112	1.312	1.455	1.310	1.225	—
15	216.4	31.09	11.89	0.817	6.97	2.62	0.117	1.274	1.516	1.350	1.267	—
16	215	32.20	12.20	0.817	6.68	2.64	0.122	1.325	1.561	1.395	1.306	1.17
17	213.4	31.09	11.13	0.816	6.86	2.79	0.119	1.334	1.531	1.330	1.231	1.21
18	204	30.00	11.50	0.810	6.80	2.61	0.119	1.490	1.541	1.380	1.314	1.11
19	310.3	48.08	16.46	0.836	6.46	2.92	0.129	1.318	1.600	1.500	1.380	1.47
20	300	50.00	19.00	0.830	6.00	2.63	0.138	1.620	1.695	1.540	1.485	1.52
21	270	44.00	17.80	0.828	6.14	2.47	0.135	1.535	1.664	1.585	1.568	1.34
22	320	51.80	20.55	0.841	6.18	2.52	0.136	1.515	1.655	1.560	1.544	1.39
23	265	44.20	16.50	0.810	5.99	2.68	0.135	1.542	1.696	1.520	1.524	1.48
24	313	48.20	19.30	0.840	6.50	2.50	0.129	1.508	1.593	1.500	1.447	1.24
25	307	48.20	19.35	0.850	6.37	2.49	0.133	1.450	1.616	1.560	1.394	1.31
26	251	40.80	14.60	0.821	6.16	2.79	0.133	1.499	1.661	1.455	1.509	1.50

ない。舵の旋回抵抗の由来を考えればわかることだが、旋回抵抗については舵中央に固定していても、ある大きさの舵角をとっていても大差はない。

このことは舵の一部だけを可動にして、残りの相当部分を旋回抵抗専用の固定部分にする着想を生む。そのすれば操舵機の馬力をもっと小さくできるであろう。また、少し立場を変えて論ずると、配置上許し得る限りのスペースを舵にさいても、それだけではまだ旋回抵抗が不足する場合、どこか適当な場所に固定のサーフェイスを装備して、旋回抵抗を補うという着想ともなる。

スケグとかフィンとか呼ばれる、この種の固定のコントロール・サーフェイスの設計の要点は直進中の推進性能を損ずることなく、有効に旋回抵抗を発生するような寸法・形状・配置を決めることである。推進性能については船体回りの流れと交又する形はなるべく避けて、フィンの抵抗を摩擦抵抗だけに止めると共に、推進器後流に入るものについては推力減少率の形で表われるフィンの抵抗または推力にも留意する必要がある。さらに肥大船型の船尾付近に装備されるフィンの類は、粘性支配の大きい、この部分の流れに影響をあたえ、推進、操縦両性能とも著しい変化を受けることがある。

これらの考慮の下に適当なスケグ、フィンなどを見つけるためには模型試験がほとんど必要不可欠であろう。

現在のところ、この問題についての包括的な研究結果はないようであるが、種々のフィンやスケグに関する結果は相当数公表されているので、それらについて簡単に紹介する。

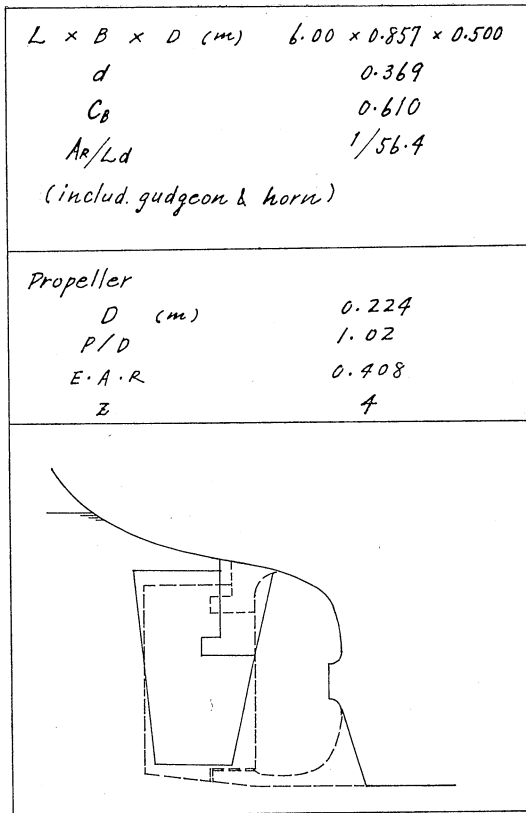


Fig. 10 マリナー船尾供試船要目

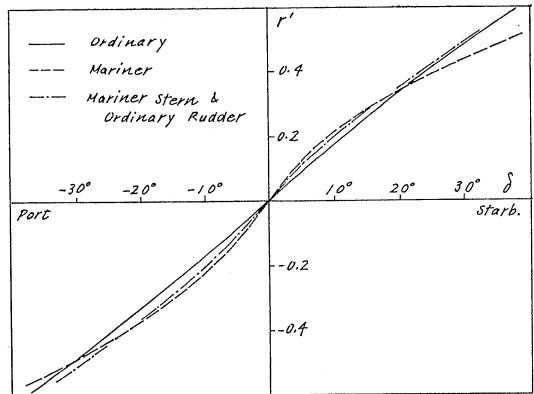


Fig. 11 マリナー船尾の影響, $r' - \delta$

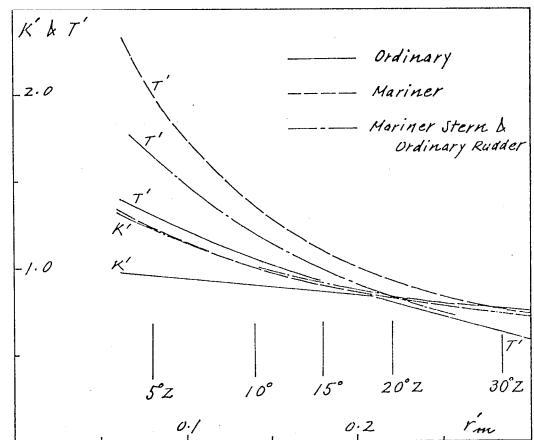


Fig. 12 マリナー船尾の影響, K', T', z 試験

Fig. 10~12 に示す結果は SR 45 部会参考資料として提出されたもので、高速貨物船におけるマリナー型船尾の影響を示している。これによれば竜骨船尾端付近の dead-wood を三角形に切り落とすことの効果は予想以上に大きい。この例では直進付近の緩かな運動では船体の旋回抵抗は約 1/4 に減じ、舵角 15° のジグザク操舵程度の運動でも約 1/2 に減少している。その結果、元来、旋回抵抗は大きく、慣性は小で針路安定性にすぐれ、旋回圏が大きい嫌のある瘠型船型であるにもかかわらず、針路安定は船尾カット・アップにより普通程度になっている。その割に大舵角の旋回性能が良くないのは、カット・アップによる旋回抵抗の減少が、運動の緩かな所では著しいが運動が強くなるに従ってあまり顕著でなくなることと、マリナー舵の旋回力が普通舵より少し小さいことによっている。ところで瘠型船では元来旋回抵抗が大きいからマリナー型のカット・アップは意味がある。たとえこの例のように操縦性上はあまり利益はなくても、推進性能、振動、軸配置など、他の場面で利益があれば、その採用は賢明であろう。

ところがタンカーでは話が違って来る。肥大船型は元来、船体の旋回抵抗が小さく、往々にして負になる。その上旋回抵抗を減らすことは有害無益といわねばならない。瘠型船は回り難いから船尾をカットして旋回抵抗を小さくする。肥大船は回り過ぎて困る船型だから話は反対になる。他の理由から、どうしてもカットアップしなければならぬならば、舵を大きくするか、別にフィンなどを付けて旋回抵抗の減少を補わねばならない。

タンカー船型でマリナー型のカット・アップをした船型についての模型試験結果では、この例ほどの著しい旋回抵抗の減少はないようである。おそらく肥大船型に見られる大きい船体伴流がこの部分もある程度、包みこんで瘠型船型ほどの大きい効果が表われないのであろう。それにしても、程度は小さいとはいえ、旋回抵抗が減少することは変りないので上の結論も変らない。

Fig. 13 はタンカー船型で舵の上縁と船体間の空所をフィンで埋めて旋回抵抗の増加を狙ったものである

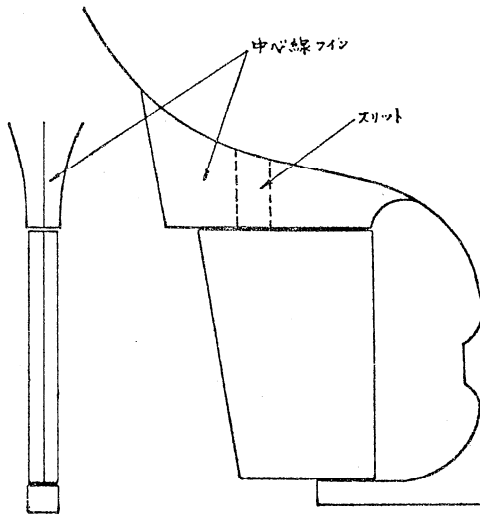


Fig. 13 大型タンカー船尾の中心線フィン

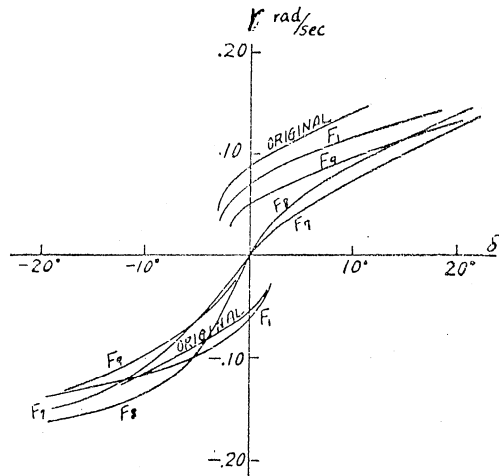


Fig. 15 小型貨物船の針路不安定改善例

が、船体伴流がほとんど100%の場所なので、ほとんど効果はないと見てよいようである¹²⁾。

Fig. 14, 15 はタンカーではないが、幅広の肥大船型をもつ小型貨物船で針路不安定のためほとんど運航不能に陥った例について、船尾左右一對のフィンを装着して改善を図った結果を示す¹³⁾。この程度のフィンになると推進性能を全く害しないことは困難であるが、あまり問題にならない抵抗増加で大幅な安定改善は可能である。Fig. 16, 17 は二軸の小型タンカーで船尾を大きくカット・アップしたため、針路不安定で操船困難を来した船にスケグをつけて安定性を改善した例を示す。¹⁴⁾

3.2 二軸一舵と二軸二舵

タンカーの大型化と共にその二軸化がよく問題になる。二軸大型タンカーの操縦性上の中心問題は二軸一舵か二舵かであろう。この問題は、2.2 の舵面積決定と同様、本来負の旋回抵抗をもつタンカーの船体に装着して、適度の旋回抵抗を与える舵を設計することに帰する。

$$L=24.0m \quad L/B=3.94 \quad B/d=2.54 \quad C_b=0.778 \quad A_r/Ld=1/33.8$$

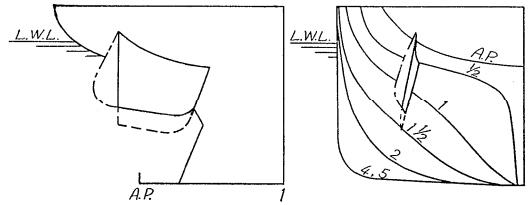


Fig. 14 針路不安定改善例の小型貨物船要目

$L_{wl} \times B$	42.7 x 7.80 m
d	3.06 m
C_b	0.69
Prop. RPM	400
$D \times p$	1.38 x 0.92 m
No. Blade	3
No. propeller	2
HP	200 x 2
A_r/Ld	1/36.2
SKEG Area/Ld	1/45

Fig. 16 小型タンカー要目 (cf. Fig. 17)

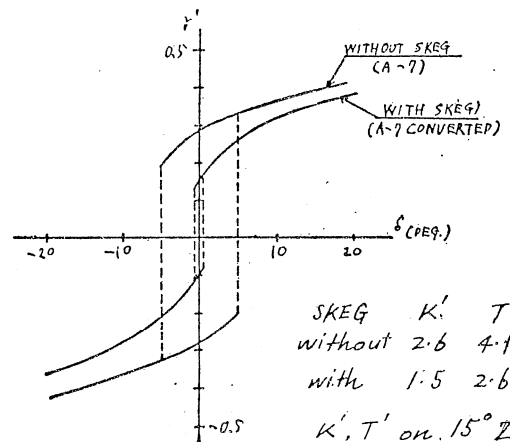


Fig. 17 小型タンカー針路安定改善例

TYPE	A1	A3	A5
REMARKS	SINGLE R. ☉-SKEG	TWIN R. NO-SKEG	TWIN R. TWIN-SKEG
$\frac{a}{\frac{1}{2}d}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{4.5}$	$\frac{1}{4.5}$
$\frac{1}{b}$		5.38	
C_a		0.82	
$\frac{b}{d}$		2.97	

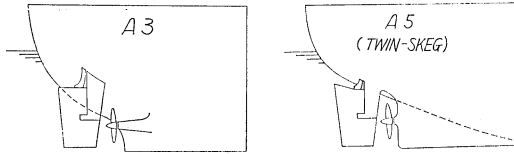


Fig. 18 二軸大型タンカー供試船要目

一舵と二舵の差は、一舵が推進器後流を外してしかも最も伴流の強い所におかれるのに対し、二舵は後流を受けるので、面積当りの直圧力に差があることが基本である。その他、二舵はアスペクト比を大きくできること、舵トルクは二舵合計でも一舵より小さくできること、一方、舵の支持方法では二舵には若干の困難があることなどが挙げられる。

一舵と二舵の有効さの違いは旋回力のみならず、旋回抵抗にも成り立つ。したがって、一つの簡単な考え方は二軸二舵は一軸一舵の普通の配置と同等に扱い、二軸一舵は実際の舵面積に、有効度の減少率 0.4~0.5 を乗じたものを舵面積と見なして、一軸一舵と同様に扱うことである。こうすれば 2.2, 2.3 の手順による舵面積の決定、宝田図表¹⁾ による旋回圏推定などが二軸船に対しても一応できることになる。

この方法はしかし一応の見当であって、さらに詳細な検討には模型試験が有用である。唯、すでに述べたところの肥大船型船尾付近の流れの複雑な機構は実船、模型間の対応を特に悪くすることがあり、模型試験結果の実船適用に当っては注意を払う必要がある。

二軸タンカー船型の操縦性模型試験としては SR 41, SR 98 両部会の旋回試験およびスパイラル試験結果がある^{15,16)}。いずれも二軸一舵の有効度が著しく低く、旋回、針路安定両性能とも一軸一舵ならびに二軸二舵に比べて大幅に劣ることが示されている。

Fig. 18~20 は最近行なわれた二軸タンカー模型の旋回、スパイラル、 z 各試験の結果を示す。 z 試験から得られた K, T 指数は $1/K', 1/T'$ のように逆数表示されている。この逆数表示は旋回抵抗の大小を示すことになるので、特に針路安定性に重点をおいた検討を行なう場合に便利である。

この例で二軸一舵は際立って針路安定がわるく、 $20^\circ, 15^\circ$ の z 試験はできるが、 $10^\circ, 5^\circ$ は運動が発散して不可能であった。このことは相当広い運動の範囲にわたって、この船が針路不安定であることを示す。事実、 $15^\circ, 20^\circ$ の z 試験を解析して得た $1/K', 1/T'$ は運動が緩かになると共に急に減少し、 $10^\circ z$ 相当位の運動では、負の値——負の旋回抵抗——になる傾向が明らかである。

この配置の針路安定のわるさは $r'-\delta$ 特性でも明らかで全幅 20° 近い '不安定ループ' が見られる。

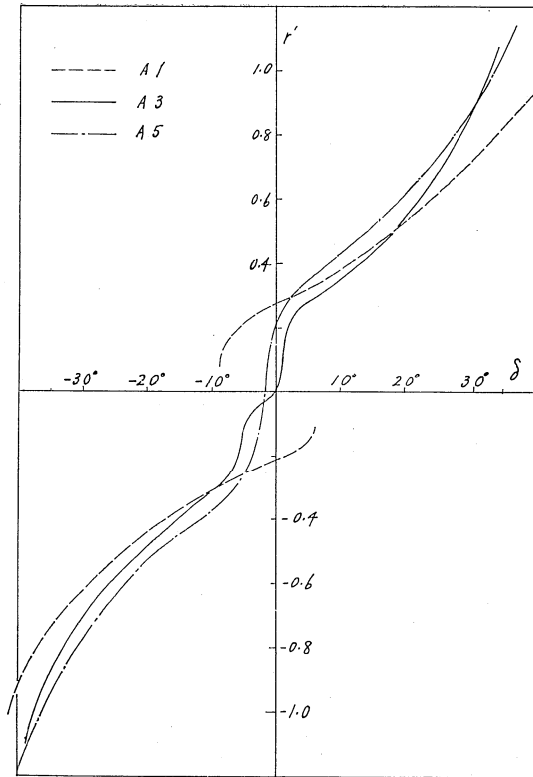


Fig. 19 二軸大型タンカー, $r' = \delta$, 旋回とスパイラル試験

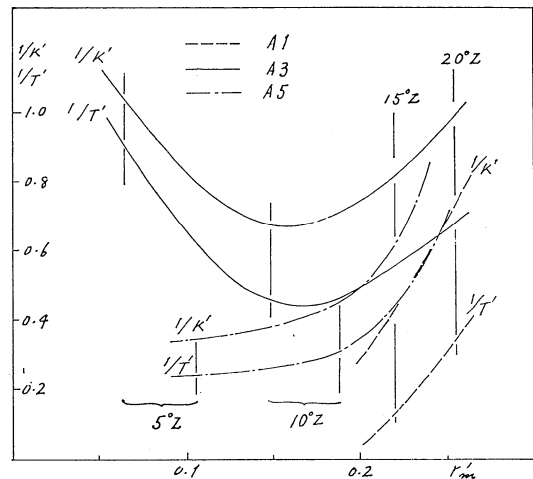


Fig. 20 二軸大型タンカー, $K-T, z$ 試験

これだけ旋回抵抗が小さいにもかかわらず、舵角 20° 以上の旋回になると二軸二舵の方がよく旋回することになるが、これは二軸一舵が旋回抵抗のみならず、旋回力においても大きく劣っていることを物語る。この例の結果を解析すると一舵の有効度は二舵の $1/2$ 弱であることが推定される。

そのため、この例ではスペースの許す限り大きい舵をつけても、二軸一舵では一軸一舵の普通配置と同等の保針性を与えることは覚束ない。

ついでながら A3 型の強い旋回抵抗は 2.3 の末尾で触れた所の、肥大船尾の複雑な流れの機構と関連があるものと考えられる (I 章 5.3 参照)。A5 のツイン・ステグ型では流れの状態がまた異なるらしく、そのため期待に反して A3 よりは旋回抵抗が小さくなっている (Fig. 20)。

4. 操舵速度と操縦性

現在、各船級協会、各国政府規程とも操舵速度について 35° から反対舷 30° を 28 秒以内に動かせることを要求しているが、この値は船の大小、速力に関せず一律である。これが合理的かどうか、検討の価値はありそうである。

線型運動方程式を使って操舵後の船の運動を計算すると

$$\phi = K\delta_0 \left\{ t - (T_1 + T_2 - T_3) - \frac{t_1}{2} + \frac{(T_1 - T_3)T_1^2}{(T_1 - T_2)t_1} (e^{t/T_1} - 1) - \frac{(T_2 - T_3)T_2^2}{(T_1 - T_2)t_1} (e^{t/T_2} - 1) \right\}$$

となる。ここに ϕ : 回頭角, δ_0 : 舵角, K, T_1, T_2, T_3 : 船型・舵などで決まる特性常数, t_1 : 操舵に費した時間である。時間が十分経った所で考えると船の運動は

$$\phi = K\delta_0 \left\{ t - (T_1 + T_2 - T_3) - \frac{t_1}{2} \right\}$$

となる。運動のおくれが全くないならば、

$$\phi = K\delta_0 t$$

となることから、船の回頭運動が起こる時間おくれは

$$(T_1 + T_2 - T_3) + \frac{t_1}{2} \equiv T + \frac{t_1}{2}$$

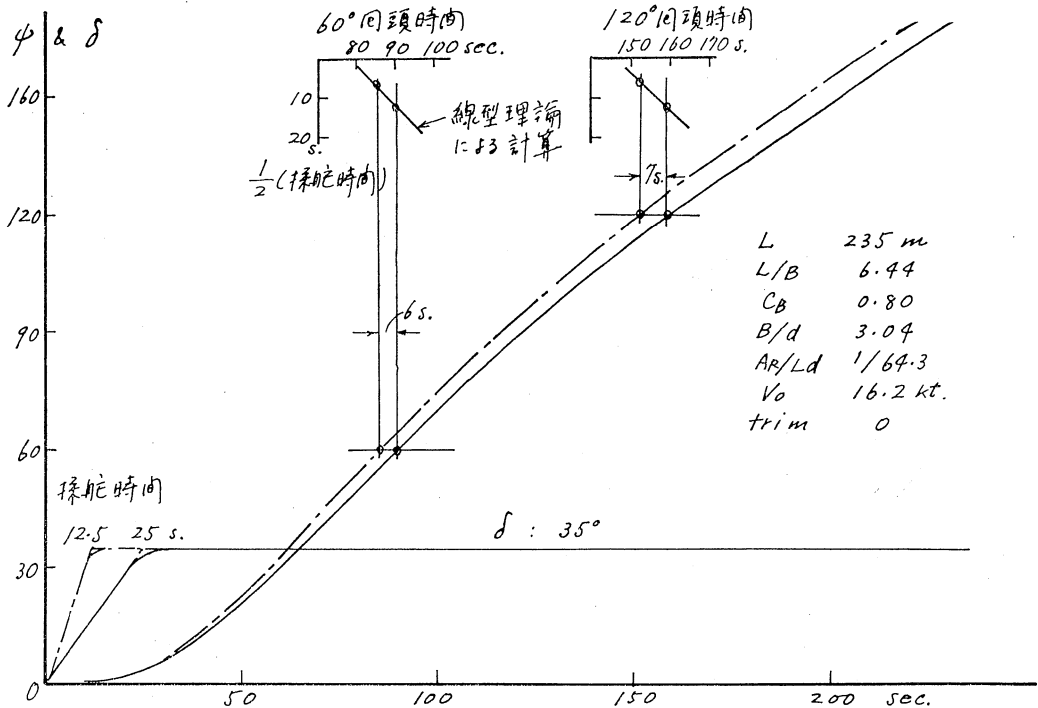


Fig. 21 操舵時間の回頭運動のおくれ (タンカー実船実験)

だと見なすことができる。そして T が船自身の運動おくれ、 $t_1/2$ が操舵機のおくれと考えてよい。

そうすると操舵時間を長くすると、その時間の半分だけ船の運動がおくれることになる。

文献 18) ではまず、この点が正しいかどうか、実船、模型船について検討され、確かにそう考えてよいことがわかった (Fig. 21 参照)。

そこで次のような考えが生れる。操舵発令後、船が十分の回頭運動に達するまでのおくれ時間は、操舵機のおくれプラス船の運動おくれである。大型船は船のおくれが大きいから、全体のおくれの中で操舵機のおくれの占める割合はわずかである。したがってもっとゆっくり操舵しても全体のおくれにはほとんど差がない。一方、小型船ではその逆で、もっと速く舵を動かせば、操舵発令後の回頭おくれは相当短くできるはずである。どちらにせよ、操舵時間は船の運動おくれ、換言すれば船の大小、速力、などによって最適の値があるはずで、大型船では不必要に舵を速く動かして操舵馬力を上げている可能性があるし、小型船ではもっと速い操舵速度をもつことが、安全航行上有益かも知れない。

文献 17) はこの着想の下に解析を進め、 35° から反対舷 30° までの操舵時間 $= 0.96 T$ 、 T は船の回頭おくれ (いわゆる T 指数) なる標準を与えている。0.96 なる数値はさらに、いろいろな観点から検討すべきであろうが、この着想は注目すべきである。

文献 18) は同じ問題を少し異なった立場から取扱っている。すなわち、操舵機馬力を一定に抑えて舵面積と操舵速度を変えることを考える。舵面積の増加はその 1.5 乗の割合で舵トルクを増し、その分だけ操舵速度の減少を招く。舵面積の増加は船の運動おくれを減じ、操舵速度の減少は操舵機のおくれを増す。したがって、操舵馬力一定の条件下に、全体の回頭おくれを最小にする舵面積と操舵速度の組合わせがあるはずである。また、衝突回避などに大きい関連をもつと見られるアドヴァンスを取り、上記の回頭おくれ最小の代りにアドヴァンス最小の舵面積、操舵速度の組合わせを求めることもできる。

Fig. 22 はその結果¹⁸⁾である。これによると $L=100\text{m}$ 程度の貨物船では現行の操舵速度が最小のアドヴァンスを与えるが、大型船では操舵速度をおそくしてその分だけ舵を大きくする方がアドヴァンスは却って小さくなる。もっとも大型船の方では、この利得は図で見るとおりあまり著しいものではない。一方、いわゆる小型鋼船の類では、舵面積を小さくしてでも、操舵速度を現状より高める方が、アドヴァンスを小さくすることができる。

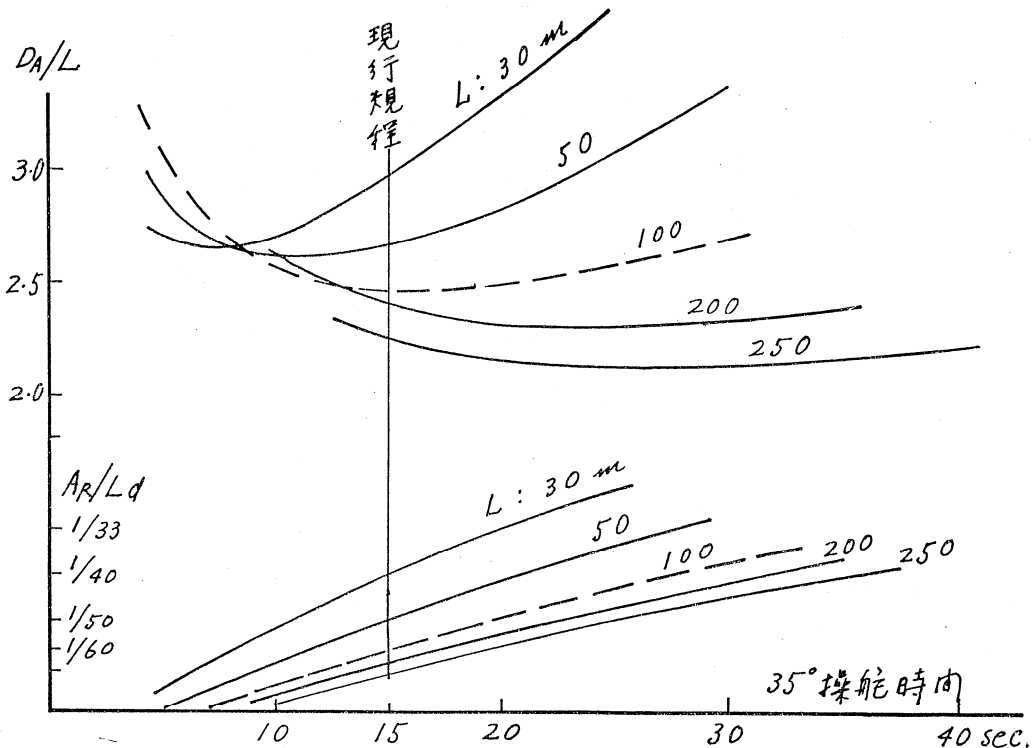


Fig. 22 操舵機馬力一定で操舵時間とアドヴァンス

この結果について注意すべきことがある。この計算は現状の操舵機馬力——すなわち舵面積と操舵速度の積——を前提としている。その前提の下に、現状よりも合理的な舵面積と操舵速度の組合わせを求めたわけである。ところが前提となった現状の操舵馬力が最適かどうか、この点については別問題である。たとえば小型船の操舵馬力は現状おそらく過小であって、もっと馬力を上げて操舵速度を早くすることが安全航行上望ましいのではないかと思われるが、このような問題を明確にするためには文献 17) の類の研究がさらに多くの部面にわたって行なわれる必要がある。

参 考 文 献

- 1) 第一回操縦性シンポジウム・テキスト 2 章 1.3 節, 2.3 節, 2.5 節
- 2) 志波・水野・富田・江田: 模型船による最適舵面積の研究, 造船協会論文集 105, 昭 34 年
- 3) H. Shiba: Model Experiments about the Maneuverability and Turning of Ships, Discussion Fig. 2. DTMB Report 1461, 1960
- 4) K. Davidson & L. Schiff: Turning and Course-Keeping Qualities of Ships, SNAME 1946
- 5) 元良・小山: 自動操縦による操縦性能の向上について, 造船協会論文集 116, 昭 39 年
- 6) 関西造船協会設計便覧 3 編 8.3.1, 昭 43 年
- 7) 山田: 大型船の操縦性判定と舵面積の決定, 関西造船協会誌 134, 昭 44
- 8) 日本海事協会: 操舵速度研究小委員会報告書(案) 昭 45
- 9) 村橋・山田: 操縦性より見た舵面積決定法, 西部造船会会報 32, 昭 41
- 10) 藤井・津田: 自航模型による舵特性の研究, 造船協会論文集 110, 昭
- 11) N. Norvin:
- 12) 川重造船設計部: 肥大タンカー船型の操縦性について, 船の科学 18-7, 昭 40
- 13) 村田・多田納: 小型鋼船の進路不安定とその対策, 関西造船協会誌 113, 昭 39
- 14) 川野: ある進路不安定船におけるスケグおよび舵数の効果について, 造船学会論文集 126, 昭 44
- 15) 日本造船研究協会: 第 41 研究部会報告, 昭 35
- 16) 日本造船研究協会: 第 98 研究部会報告, 昭 43
- 17) 山本: 船の操舵機力量決定の一指針, 造船協会論文集 121, 昭 42
- 18) 日本海難防止協会: 航海設備等の基準および改善に関する研究, 操舵設備編