

の値を最小ならしめる爲に種々の場所に於て種々の軍艦の入渠から入渠迄の日数の適当な数字を見出す事であつた。

20. 結 論

(a) 大部分の塗料の面は抵抗に關してパラフィンやニスと同様に滑かである。

(b) 實船の摩擦抵抗は出渠後近似的に温帯水域で1日につき1/4%, 熱帯水域で1/2%の割合で増加する。

(c) 伴流は出渠後の日數と共に増加するが、推力減少率は殆ど變らない。

(d) 滑かな實船面に對するものを外挿によつて求めた結果によれば、實船に對する伴流率は模型に對するものにより約6.5%小さく(本論文に考えた5隻の異つた型の模型の平均として)、推力減少率は實船と模型とに於て本質的に同一である。

(e) 實船面への外挿を検査する爲には、伴流成分の調査研究をしなければならぬ。

(f) 海生生物は初期の性質のものであるが、出渠後3ヶ月後に於て汚損の割合は水面近くの植物的生物及び下面の種々の型の動物で強められる。

(g) 船體表面上の海生生物は非常に澤山で種類が多く、運航状態に對して非常に敏感である。而も船底塗料の毒性に抵抗する適應性を持つて居る事が特徴である。

(h) 粗面の抵抗は粒の大きさによるよりも面の性質によつて居り、繁茂せる生物の悪影響は模型で試験した細かい砂や類似の粗面に基くものと同程度の大きさにすぎない。

(i) Prandtl の「粒の大きさの係數」は新しく塗料を塗つた船の速度試運轉結果に一致しない。(横尾幸一)

旋回性に關する實驗 (第一部)

R. W. L. Gawn R. C. N. C. Member of Council
T. I. N. A 1943 p. 35.

1. 緒 論

この論文は、Hasler の海軍試験水槽で行われて來た旋回性に關する實驗に就いて述べたもので第1部では主として舵板の性能と、曳航實驗と、自航力を持たない模型を曳航して行つて途中で離して慣性で旋回させる dumb model の實驗について述べてあり、第2部では自航試験の結果が述べられる筈であるが、第2部は未だ

發表されて居ない様である。

第1部の内容には次の様な事が述べられている。

1) 軍艦の曳航模型について、舵の直壓力と舵頭材の圍りの偶力、及び初期旋回偶力を前進、後進兩方で行つた結果

2) 船體の舵に及ぼす影響や、推進器後流の舵に及ぼす影響を舵や船體の形を變化して求めた結果

3) 驅逐艦の模型による burbling の臨界點の實驗

4) 飛行機の風洞模型實驗との比較

5) 舵の直壓力と偶力の近似式の提案

6) dumb model と實船の旋回試験結果との比較

7) 船體や舵の形の變化による旋回航跡の變化

英國海軍で旋回の實驗が行われたのは巡洋艦 Ajax について 1885 年、Torquay で行われたのが初めて其後 1898 年に驅逐艦 Terrible と Kent の模型について推進器による旋回の實驗が行われ、1902年には當時の新鋭艦である Formidable Class 戦艦が建造されたが、その航海報告によると、保針性がよくなかつたので Sir Phillip Watt は有名な William Froude に二ヶ月内に次の建造豫定艦たる King Edward VII に對する改良案を造る様に依頼して居り、Froude は 14.5 呎の模型について實驗を行つて居る。

同年代に巡洋艦 Cressy の旋回性に對する豫想が實際の試運轉の結果に照らして大幅に違ふ事が判り、1/32の模型を作つて舵の偶力を測定した。

これ以後必要に応じてその都度旋回實驗が行われ、1912年には船の船尾に於ける偏力を測れる様になり、其後更に改良されて、船の前後二ヶ所で偏力を測ると同時に舵の直壓力と偶力とを測る様になつて現在に至つて居る。

現在 Hasler で行われている實驗の種類について述べると、

- a) 曳航模型實驗
- b) 自航試験
- c) 實船の試運轉、旋回航跡及び舵の偶力測定等で、第1部では a) に關して述べられている。

2. 曳航模型實驗

20呎のパラフィン模型を直線的に曳航し舵の力、偶力及び船體の偏力を前後兩端で測つて居る。舵角は 35° 迄取られる。通常偏角は取らずに行うが、定常旋回時に船に掛る力を推定する爲に一定の偏角を取る事もあり、その時の偏角は定常旋回時の値から取つて居る。

舵の力は Fig. 4, Fig 5 に示す様な動力計を用いて

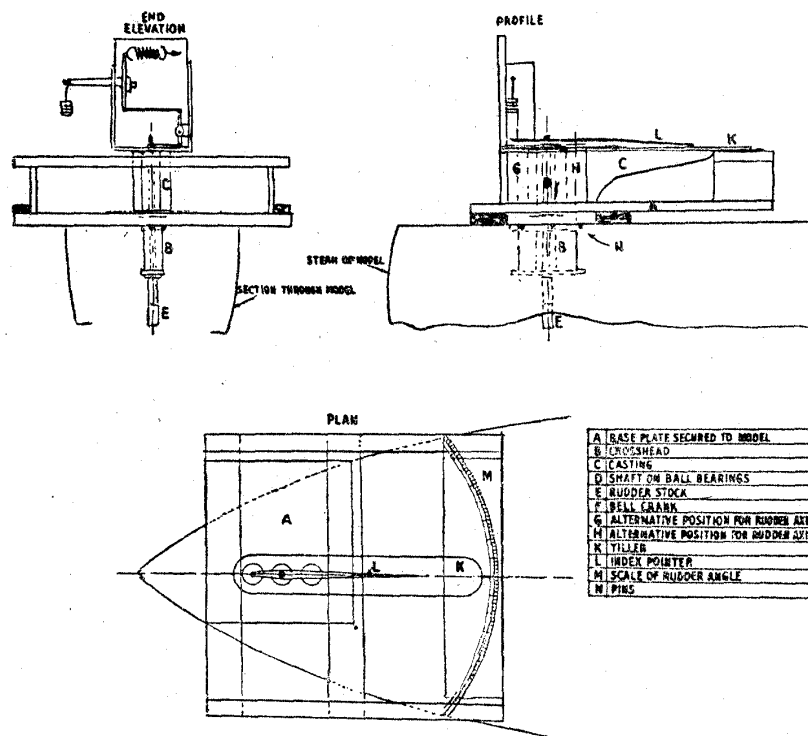


FIG. 4.—RUDDER DYNAMOMETER, MARK II

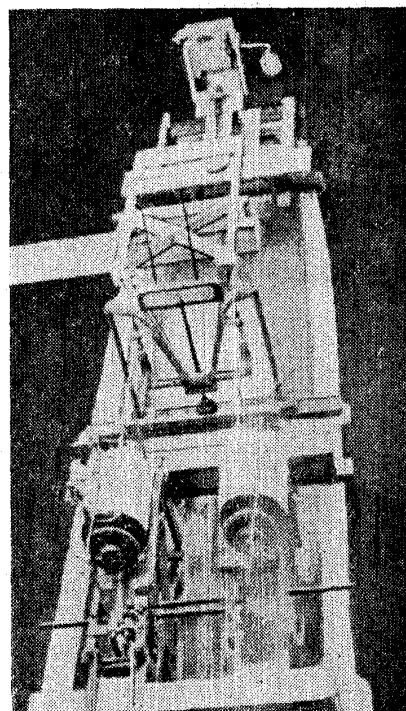


FIG. 7.—LATERAL FORCE GUIDER, MARK III

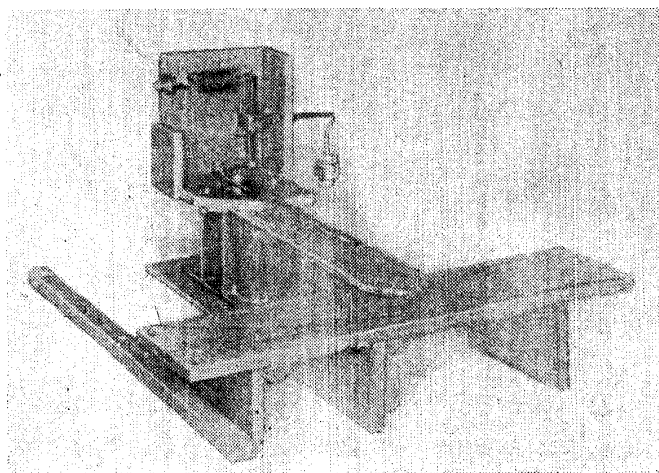


FIG. 5.—RUDDER DYNAMOMETER, MARK II

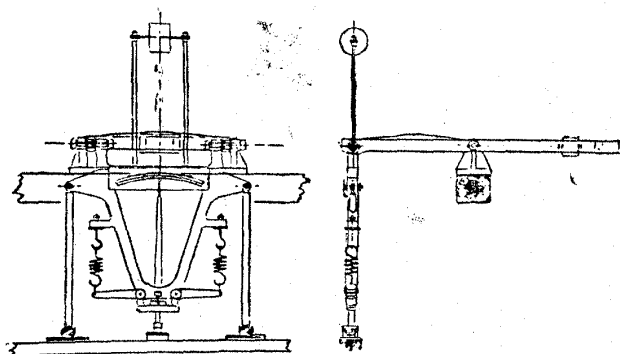


FIG. 6.—LATERAL FORCE GUIDER, MARK III

測定される。之は三つの平行な軸の圍りの偶力の測定する事により、舵の直壓力と、舵軸の圍りの偶力を求める

様になつている。

船の旋回偶力と偏力とは Fig 6, Fig 7 に示す様な偏力計によつて前後二點の偏力を測る事によつて求められる。

これらの計器によつて測られた力と偶力は、船の速度を横軸として置點されるが、之を無次元表示する度に次の係数が用いられている。

- V 船速
- A 舵又は平板の面積
- θ 舵又は平板の角度
- P 舵又は平板の直壓力
- T 舵又は平板の横方向の成分
- F " 前後方向の成分
- M 初期旋回偶力
- L 船の垂線間長の半分
- C_L 舵又は平板の揚力係數
- C_D " 抗力係數
- C_P ? 直壓力係數
- ρ 水の密度
- g 重力の加速度

とすると

$$C_L = \frac{T}{\frac{\rho}{2g} AV^2} \qquad C_P = \frac{P}{\frac{\rho}{2g} AV^2}$$

$$C_D = \frac{F}{\frac{\rho}{2g} AV^2} \qquad C_M = \frac{M}{\frac{\rho}{2g} LAV^2}$$

次に個々の実験の結果を述べる。

3. 舵の力

前述の様な曳航実験は船の旋回と種々の點で相異があるけれども、舵の力を測定する事は、舵の輪郭や断面の形の影響や、船の強度の推定に役立つし、偶力の測定は、流體力學的な意義の外に、stuffing box の摩擦による偶力を算出して操舵機の馬力を推定するにも役立つ。

Fig. 8 は模型 W 及び Y に對する舵の直壓力の実験結果である。舵は半釣合舵で船體中心線上にある。

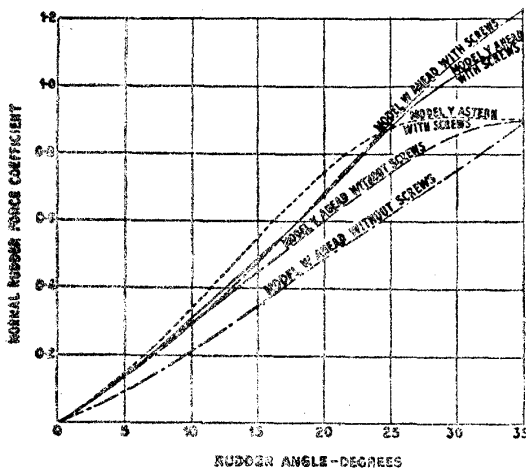


FIG. 8.—NORMAL RUDDER FORCE COEFFICIENT Models W and Y

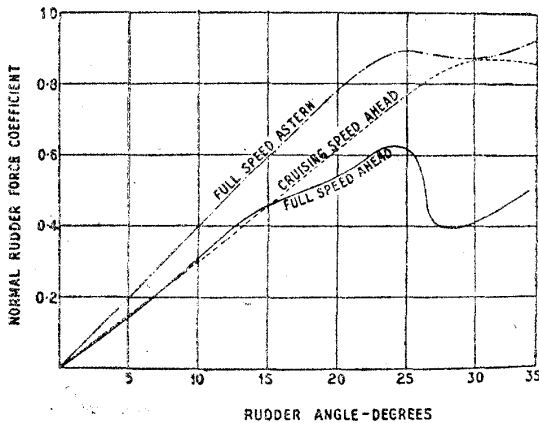


FIG. 9.—NORMAL RUDDER FORCE COEFFICIENT Destroyer model

大抵の船では舵角が 35° に達すると直壓力は頭打ちの状態となる。W の最大 C_D は Y のそれより約 10% 程大きいのが、推進器を取り去ると反対になる。之は一部は W 艦の船尾の fullness によるものである。

然し乍ら大部分は推進器後流の影響であつて、三軸である W 艦は舵が推進器直後にある爲、後流によつて舵角 35° で 42% の増加があるのに較べ 4 軸である Y 艦では 26% の増加しかなく、若し Y 艦でも双舵を用いたら一層有利であらう。

又 Y 艦の後進の際の C_D は前進時よりも大きいのは之は伴流が無い爲である。この種の船型（共に戦艦）では舵の力は殆んど速度の二乗に比例するので、係数はどの速度に對しても大體一定値となる。

Fig. 9 は駆逐艦に對する実験である。巡航速度では Fig. 8 の場合と略々同様の傾向になるが高速では明らかに burbling を起して、 $\theta = 35^\circ$ で 60% も C_D が落ちる。

4. 舵單獨の場合

ここでは 40 年前に R. E. Froude が行つた楕圓型の平板に關する実験の結果が引合に出されているが紙面の都合上省略して、但その結論について二、三述べると

- $\theta < 10^\circ$ 縦横比の大きなものは C_L は θ に比例する。縦横比が 1 より小さいものはずつと傾斜がゆるく α^2 に比例して来る。
- $10^\circ < \theta < 60^\circ$ この間に burbling (空氣力學の失速に相當) を起して C_L は急落する。

縦横比の大きなもの程、初期の C_L は大きい代りに早く burbling を起す。故に $15^\circ \sim 20^\circ$ 以上ではむしろ縦横比 1:1 のものがよい。但し之でも 30° 以上では burbling は免れない。舵角を 35° に限るのもこの爲である。又 15° 以上では C_L/C_D は殆んど $\cot \theta$ に等しくなる。之は舵の力が殆んど面に垂直である事を示している。

6. 舵の圍りの偶力

Fig. 17 に 4 軸單舵の軍艦の舵の偶力を速度の全範圍に亘つて示してある。大抵の模型では舵の偶力は速度の二乗に比例しているが、舵角によつては臨界點がある。

Fig. 17 を見ると、小舵角では壓力中心が前方に寄る爲に Over balance となり舵は操舵機を強制的に動かすが、 $23\frac{1}{2}^\circ$ で反轉して Under balance となる。後進の際には除々に偶力が増加し、それ以上では一定となる。

これらの模型実験の結果を實船に適用する際に、特に大型の模型では Scale effect を考える必要はない様に思われる。但しこの方法では完全に實際通りではなく、舵は一杯に取りられたが船は未だ直進している状態であるから、小舵角の時は船の回頭速度が小さいからよいが大舵角では操舵瞬間の状態とは云い難い。船が定常旋回に入ると舵の圍りの流れは曳航模型の場合とかなり違つて来る。

後進の場合、釣合舵では、前進に較べて速度が低いにも拘らず偶力が大きい事は注目に値する。操舵器の馬力

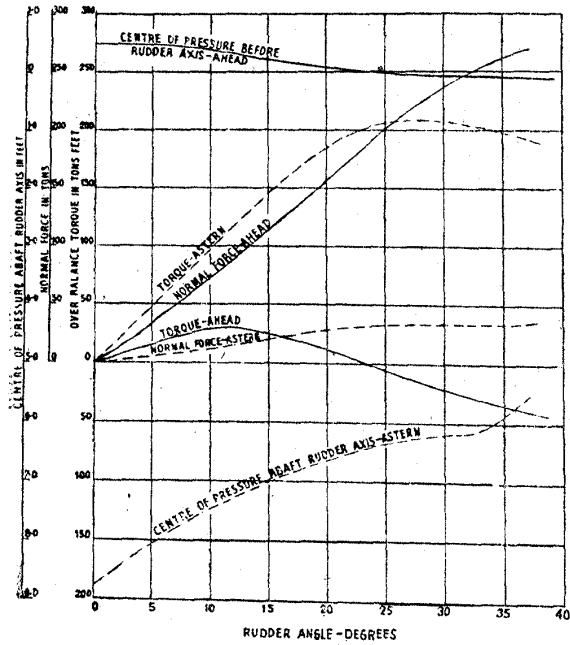


FIG. 17.—CURVES OF NORMAL FORCE, TORQUE AND CENTRE OF PRESSURE

を決定する際に、この事を注意しなければならない。

前述の理由による模型と實船に於ける相異の内、大切なのは、舵の位置に於ける水流の方向である。即ち曳航模型では船體中心線の方向で、従つて舵角がその儘迎角になるのに反し、實際は船尾に於ける水流の方向が斜めとなり、有効の舵角が減るわけである。

實船の試験によると、舵の位置に於ける 偏角は舵角 35° で最大 20° 位である。之が直ちに有効舵角の減少の値となるわけではないが次の事は大體云えると思う。即ち模型で Fig. 17 の様な最大偶力を式舵角で生じて居るが、實船でやはり同様の最大偶力がもう少し大きな舵角で得られたとすると、この二つの舵角の差が大體有効舵角の減少を示すと考えられる。

次に興味のあるのは偏角を持たせつつ曳航する實驗である。

Fig. 20 に實船の旋回中の速度、偏角、回轉數、等を測定した結果が示してあるが、之より速度を取り、偏角を 7° とし、回轉數を直進時の 93% として斜航實驗を

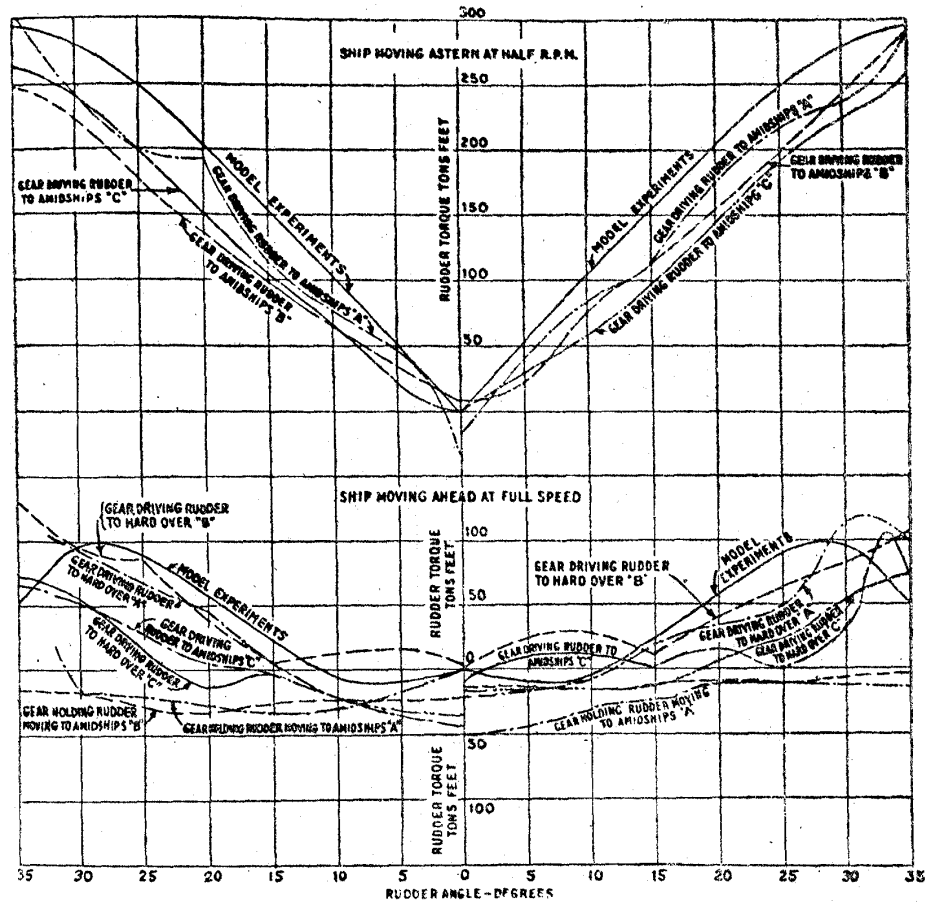


FIG. 18.—CURVES OF RUDDER TORQUES ON SHIP AND MODEL

Note 1—Curves for model deduced from experiments of a models of a quadruple screw warship with Gnomon shaped rudder on middle line.

Note 2—Curves for ships A, B and C respectively deduced from contractors trials of the respective ships of the class.

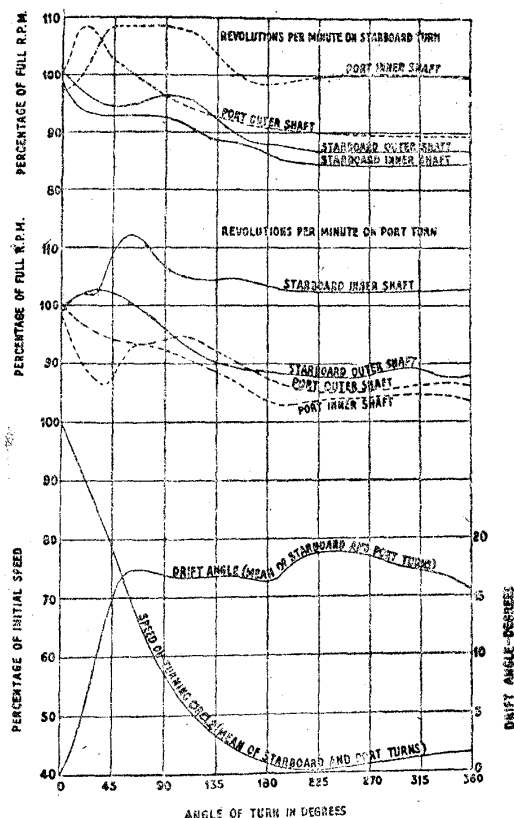


FIG. 20.—CHANGE OF SPEED, R.P.M. AND DRIFT ANGLE WHEN TURNING
Rudder angle 35 degrees full speed.

行つた結果が Fig. 21 である。

舵角 35° で實船の結果とよく一致しているが、この方法は當然近似的にしか合う筈はないので 15% 位の誤差は止むを得ない。この誤差は安全側に出ると見られる。

7. 壓力中心

舵板の壓力中心は舵角が大きくなると共に後に寄る傾向が一般的に見られる。

半釣合舵の壓力中心は dead wood の直後にある部分では前から幅の 3/8 の所、それ以下の部分では前から 1/3 の所にあるとして計算して大體妥當な値が得られる。

8. 初期旋回偶力

舵を取ると舵そのものの力の外に、船體の圍りの流れの模様も必然的に變つて偏力と、旋回偶力を生ずる。この力の横成分は Fig. 3, 4 で示した装置によつて、船體の前後二ヶ所で測つて偏力と、初期旋回偶力とを求めている。船尾の力は舵の力の方向と同一方向となるが、船首のは多くは反對方向である。

尙初期旋回偶力の大きさはどの程度旋回性の判断の指

針になり得るかを考えて見ると、同じ船體で舵を變えた時は初期偶力は旋回初期の傾向ばかりでなく、旋回圈の大きさをも大體示すが、船體の方を變化した場合、特に船尾の形を變化させた場合には初期偶力は大きく變らないのに旋回圈は大きく變化すると云ふ様な事もあり得る。

又この偶力の偏角に対する Tangent は保針性を論ずるのに必要な量である。

Fig. 23 は舵角によつて初期偶力の變化する模様を示してあるが、この中には舵の力のみによる偶力も併記してある。前進の時は、舵の作る偶力と、船全體の偶力とは同じ傾向にあるが、船全體の方が 35° で約 32% 程大きい。之が舵により船體の圍りの水流が變化して生ずる旋回偶力の増加分である。

Fig. 24 は 3 軸 1 枚舵である Y 艦に對する初期偶力で

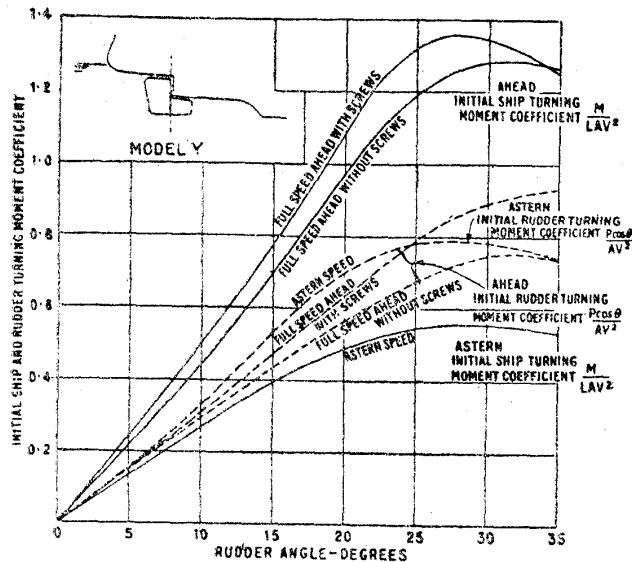


Fig. 23.—INITIAL SHIP TURNING MOMENT COEFFICIENT. Model Y

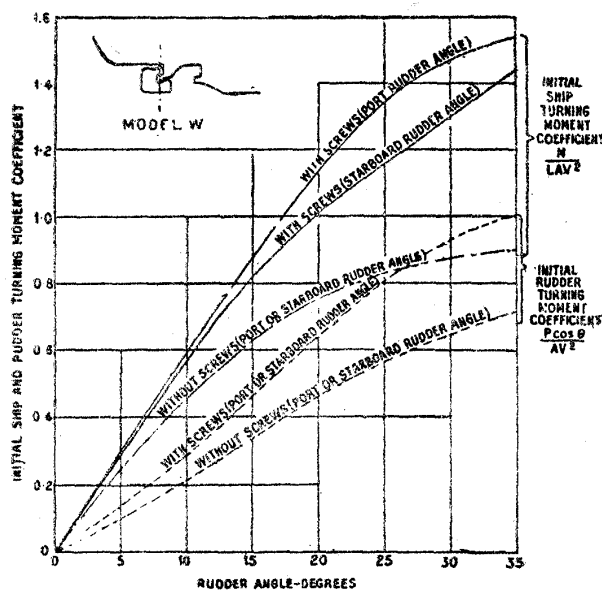


Fig. 24.—INITIAL SHIP TURNING MOMENT COEFFICIENT. Model W

あるが、推進器による舵の力の増加は65%で之は Fig. 23 のY艦の数%に較べて非常に大きい。

又船體による旋回偶力の増加分は50%に達している。

従つて推進器の無い時はYよりWの方が偶力係数が低いにも拘らず推進器が作動するとYの方が大きくなつてゐる。又Wでは推進器の回轉による左右不釣一の流れと直進時の抵舵の爲に左旋回の時の方が偶力係数が大きくなつてゐる。

後進の際は旋回偶力係数は約半分となり、旋回圏は約倍となつてゐるが、之は船體の干渉による偶力の増加が無いからである。

驅逐艦では船體による旋回偶力の増加が無いが之は船尾が平らで舵と干渉を起さないからである。burblingが起るのは平らな船尾により鏡像効果を生じて舵の縦横比が大きくなる爲であると云う事で説明が出来る。従つて舵の形を變えて、縦横比を小さくする事により或程度はburblingを避ける事が出来る。

Y艦で舵の大きさを變えた實驗を行つた例では、Fig. 23 の舵より面積を40%増した所、 C_D は7%増したが旋回偶力係数は4%減じた。之は前の舵では船體との干渉によつて偶力に53%の増加があつたのに較べて、大きな舵では38%しか増加が無かつた爲である。この事からも判る様に旋回圏を小さくするのに舵を大きくする事は決して決定的な効果を發揮するものではない。

9. Dumb model による實驗

自航試驗模型を作つて實驗を行う事は理想的ではある

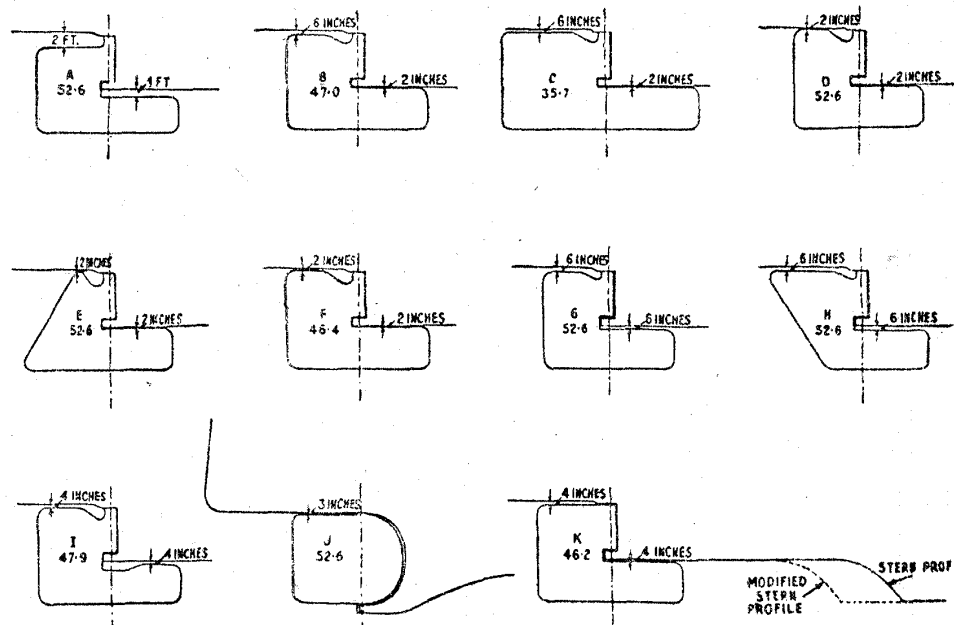


Fig. 28

が大掛りとなつて期間も掛るので設計の初期に旋回性能を簡単に知る目的として dumb model が使われている。之は小型の動力を持たない模型で、幅40呎の水槽に trigger で加速して操舵時の状態で放し、以後の旋回の航跡を水槽の上方から測定するものである。この方法では明らかに種々の點で實際の旋回と異り、

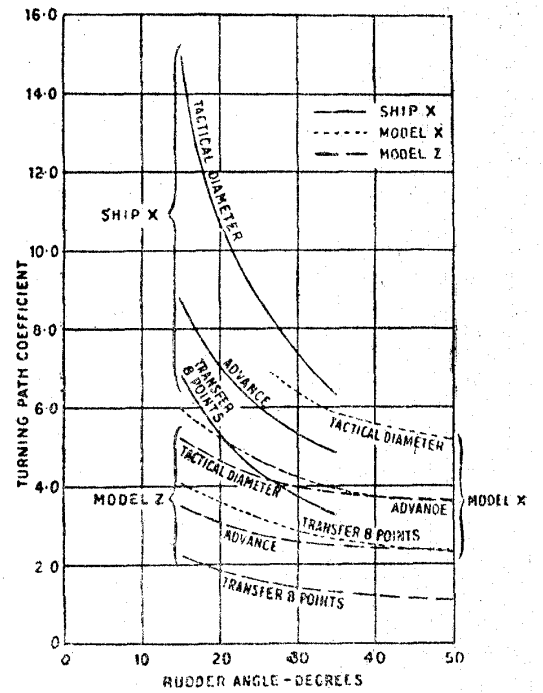


FIG. 27.—VARIATION OF TURNING CHARACTERISTICS WITH RUDDER ANGLE

Note.—Tactical diameter, advance and transfer at 8 points are divided by wetted length.

- 1) 速度が減衰する。
- 2) 模型が小さい爲摩擦伴流が大きくなり舵の力が小さくなる。
- 3) 推進器後流による舵力の増加が無い。
- 4) 舵が瞬間的に取られた事になる。

其他表面張力の影響も考えられる。

然し、速度の低下は、舵力も船に働く力も速度の二乗に比例する事を考えるとさして大きな影響を與えない。

實際、實船の試運轉結果と較べると、かなりよく合う事が判り、平均の誤差は 10% 程度であつた。

dumb model による實驗結果を二、三擧げて見ると、

a) Fig. 27 には X 艦について行つた實驗中、舵角が旋回圏に及ぼす影響を示してある。舵角 35° 以下では模型に較べて實船の方が舵角の減少と共に旋回圏が増大する割合が大きい。

b) Fig. 28 に示す様な 11 種の舵について面積を變えて實驗したもので Fig. 29 に示す。

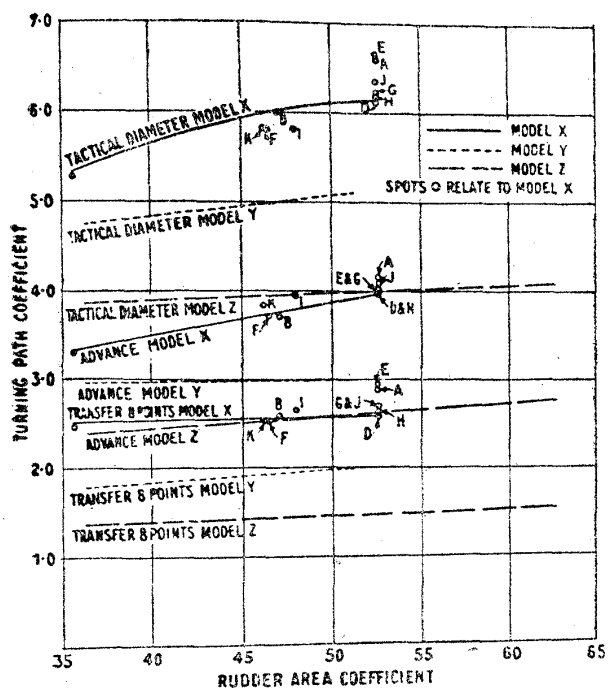


FIG. 29.—VARIATION OF TURNING PATH COEFFICIENT WITH SIZE AND SHAPE OF RUDDER

Note.—Tactical diameter, advance and transfer at 8 points are divided by wetted length.

一般に舵と船體の間隙を少なくする事と舵の幅の廣い部分を船體に近ずける (Fig. 28 E と H) 方が有利な事が判る。この間隙を少なくする事による旋回圏の縮小は、主として舵との干涉によつて船體に生ずる偏力とその偶力であつて、舵そのものの力は、間隙には殆んど無關係な

のは面白い事である。旋回圏を小さくする手段として舵の面積を増す事は最も安易な方法であるが、舵面積を 50% 増しても X 艦で 14% Y 艦で 8% しか小さくならず、Z 艦では 75% 面積を増しても旋回圏の縮小は 6% である。しかも舵面積を増す爲には必然的に船尾の Cut-up を大きくするので、上の数字は舵面積の増加によつて得られたものと云うよりむしろ Cut-up が大きくなつた爲であらう。Fig. 28 の K の様に dead wood を少し大きくすると旋回半径は 10% 増すが、逆に同量丈餘計に切り缺いても旋回半径の減少はわずかであつて、Cut-up の大きさが旋回圏の縮小に役立つ範圍に限度がある事を示している。

c) トリムの影響を Fig. 30 に示してある。船尾トリムを生ずると旋回上不利となる事が判るが、之は dead wood の増加として説明がつく事である。

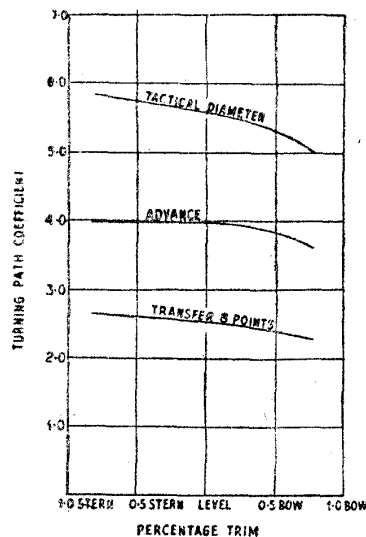


FIG. 30.—VARIATION OF TURNING CHARACTERISTICS WITH TRIM Model X

Note.—Tactical diameter, advance and transfer at 8 points are divided by wetted length.

d) 前進時と後進時の旋回圏の比較を Table 1 に示す。後進の旋回圏は前進に較べて非常に大きく、横距で數倍、縦距で 25~50% 大きくなつてゐる。

Table 1.

Model	Rudder Area Coefficient	Transfer Coefficient (8 points)		Advance Coefficient	
		Ahead	Astern	Ahead	Astern
Y	51.2	2.0	4.1	3.0	4.8
Y	36.4	1.7	3.0	2.8	3.5
Z	36.4	1.5	3.0	2.4	3.5

後進の時は dead wood の影響が大して無く、又前進の時と違って舵面積を大きくすれば旋回圏は小さくなる。

10. 結 論

以上述べて来た事を纏めて見ると、

a) 大型の曳航模型による実験は舵の力、偶力、初期旋回性能、保針性等の指針となり得る。

b) 舵の船後試験や、平板の open test より同一面積で最大の直圧力を発生するのは正方形に近い形のものである事が判つた。

c) 2 及び 4 軸の船の中心線舵の直圧力は舵角では近似的に $0.03 AV^2\theta$ で舵や船の型によつて、10% 位の違いがある。

d) 壓力中心位置は近似的に

前に何も無い後前より $0.31l$ (l …舵のその部分の幅)

dead wood の直後で $0.35l$ として求められる。

e) c) と d) より舵の偶力が求められる。

f) 初期旋回偶力は船體と舵の干渉によつて、舵丈の時より 50% も大きくなる事がある。

g) 縦横比の大きなものは、小さなものに較べて、小迎角で C_L が大きく大迎角では逆に小さくなる。

h) 舵の形の差は、船體との干渉や推進器との干渉と云う点から見てのみ意味がある。

i) 直壓力、舵偶力、旋回偶力等は近似的に V^2 に比例する。驅逐艦のみは burbling の爲に全速で舵角 $20^\circ \sim 25^\circ$ で C_L 曲線に段を生ずる。この burbling は船の長さや、舵の没水状態に關係しつつ船速が或臨界點を超と起る。

j) 舵の厚さを實用の範圍で變えても性能に大して變化はない。

k) 自航試験は完全な方法であるが、dumb model でも非常によい指針が得られる。dumb model の舵跡は多くの場合實船と大體相似であるが、驅逐艦の全速時では實艦の方が遙かに大きい。

l) 舵面積を大きくする事は、保針性の助けにはなるが旋回圏を小さくするのは大して役立たない。

m) 一般に dead wood を切り取る事は、舵面積を大きくするよりも旋回性を向上させるのに有効であるが、後進に對して役立たない。

n) 船首トリムをすると旋回圏は小さくなり船尾トリムで大きくなる。又吃水の増加によつてわずかに大きく

なる。

o) 船體と舵の間隙を埋めると旋回圏は小さくなる。舵角は 50° 迄は大きくすればする丈旋回圏は縮まる。

p) 後進の旋回徑は前進の時の約倍となる。之は後進の旋回初期偶力が前進のそれに較べて約半分である事實と一致する。(元良誠三)

鋼構造開孔部の溶接補強

“Welded Reinforcement of Openings in Structural Steel Members.” By D. Vasarhelyi and R. A. Hechtman, Welding J., April 1952, p. 169-s~183-s.

本報告は鋼構造開孔部の溶接補強に關する研究の一部である。セミキルド構造用鋼製の開孔を有する試験片を室溫 (76°F) ならびに -20°F で抗張試験を行い、塑性變形を生じている部分も含めて變形エネルギー及び眞應力の分布を求めた。試験片の破壊型式は、室溫のものは剪斷型、 -20°F のものは脆性型破壊であつた。

八面體剪斷應力説による塑性域の歪エネルギー決定法

A. Nadai 氏により始めて揚唱されたごとく、塑性域においては歪エネルギー (U) と八面體剪斷應力 (τ) 八面體剪斷歪 (γ) の間には (1) 式の關係がある。

$$U = \frac{3}{2} \int \tau d\gamma \quad (1)$$

ただし τ と γ は、

$$\tau = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2} \quad (2)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{8}{3}} \sqrt{\epsilon_x^2 + \epsilon_y^2 + \epsilon_z^2} \quad (3)$$

これらの式を使つて塑性變形の問題をとくには、まず小型試験片による引張または壓縮試験を行つて簡單な 1 次元應力のもとにおける (2), (3) 式の τ と γ の關係を求めておき、次に問題としている試験片について歪 ϵ_x 等

1) 溶接補強を附した開孔部の強度に關する實驗の詳細は、本論文と同題の報告 (Welding J., April, 1951) 参照。