

(昭和 29 年 5 月 造船協会春季講演会に於て講演)

旋回中の船に働く見掛の力と 旋回初期運動について

正員 工学士 元 良 誠 三

Abstract.

On the Virtual Forces acting on Turning Ship, and the Initial Stage of the Turning Motion of Ships.

By Seizō Motora. *Kogakushi, Member.*

It has been believed that when a ship is steered, it will at first drift outward considerably, and then drawing the figure of an "S", cut the original course and will turn gradually inward as is shown in fig.5 A.1.

In fact, according to results of turning trials of actual ships, some of them drift outward as much as one-third of their length, and a majority of them seem to drift outward to a considerable amount.

On the other hand, according to records of the "Turning course recorder" or results of model experiments, it will be noticed, that there is no "drifting out" or such slight "drifting out" that ships seem to deviate tangentially from their original courses.

The Author has investigated into the difference between the results of turning trials of actual ships and that of model ships both theoretically and experimentally, and describes in this paper that the amount of "drifting out" is so small that it does not exceed one per-cent of the ship's length, and he mentions that the present method of measuring the ship's turning path on the turning trial is not sufficiently accurate.

The Author also proposes a method of obtaining more accurate turning path of actual ships.

§1. 緒 論

船が操舵すると先ず一旦原航路の外え相当量 drift out し、S 字型を画いて再び原航路と交わつて内方え曲つて行くと云われ、実際試運転の成績を見ると多いものは船の長さの 1/3 近くも drift out し、多少なりとも外え出ているものが多い。一方航跡自画器⁽¹⁾による記録⁽²⁾或いは模型実験等⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾の記録を見ると、何れもこの drift out が殆んど認められず、切線状にこの航路を外れて内方に向つている。

著者は最初船型又は舵の形状によつて多く drift out するものと少いものがあると考え、理論的及び実験的に考察した結果、如何なる場合にも drift out の量は極めて小さくせいぜい船の長さの 1% の以内である事、従つて事実上重心の航跡は殆んど原航路から切線状に内方に外れてゆくと云う結論に達した。

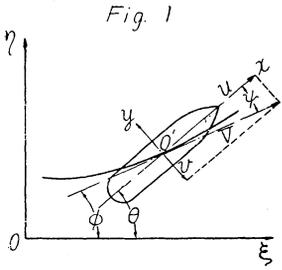
§2. 船の旋回運動中に生ずる見掛けの力

船の旋回運動を論ずるに當つて運動方程式の樹て方に二通り考えられる。その一つは航空力学でよく行われる様に重心の軌跡の切線方向と、法線方向及び垂直軸の回りの回転に分けて考える方法で、従来船の運動を取扱つた論文の大部分はこの方法を取つている。

他の一つは船の慣性主軸、即ち前後方向と幅方向及び垂直軸の回りの回転に分ける方法である。この二つの方程式は勿論互換性を有し、結果として同一航跡を得べき事は勿論であるが、著者は方程式の変換を行つた結果、第一の方程式には、見掛質量が前後及び幅方向で異なる為を生ずる見掛の力とも称すべきものを加えなければ正しい結果を示さない事に気が付いたので、その力の大きさ及び影響を考えて見た。

2.1 運動方程式

Fig. 1 に示す如く記号を定める。



- $\theta \cdots$ 船体中心線と ox の為す角
- $\phi \cdots$ 航跡の切線と ox の為す角
- $\psi \cdots$ 航跡の切線と船体中心線の為す角
- $V \cdots$ 切線方向速度
- $u \cdots$ x 方向速度
- $v \cdots$ y 方向速度
- $m_x \cdots$ x 方向見掛質量 (増加分)
- $m_y \cdots$ y 方向見掛質量 (増加分)
- $I' \cdots$ z 軸の周りの見掛慣性エネルギー
- $X \cdots$ x 方向の外力
- $Y \cdots$ y 方向の外力
- $T \cdots$ 推力
- $L \cdots$ 法線方向外力 (揚力)
- $D \cdots$ 切線方向外力 (抗力)
- $N \cdots$ z 軸の周りの外偶力

若し見掛質量が無ければ (真空中) 運動方程式は航跡の切線方向と、それに垂直な方向に分けて

$$\left. \begin{aligned} m \dot{V} &= T \cos \psi - D \\ m V \dot{\phi} &= L \\ I(\dot{\phi} + \dot{\psi}) &= N \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

の形に書く事が出来、見掛質量の影響の少い航空力学ではこの方法が多く用いられる。

船の運動に関してもこの形式が屢々用いられ、一般に

$$\left. \begin{aligned} m' \dot{V} &= T \cos \psi - D \\ m' V \dot{\phi} &= L \\ I(\dot{\phi} + \dot{\psi}) &= N \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

と云う形の式が用いられる。式中 m' 及び m'' は夫々切線方向及び法線方向の見掛質量で ψ の函数⁽⁹⁾である。

この様に m' , m'' が ψ の函数であるのを便宜上一定として方程式を解く点以外には一見この方程式は合理的に見える。

一方船体に固定した軸 $x'o'y'$ に関して運動方程式を樹てると、Lamb⁽⁷⁾ の方法によつて運動エネルギーより解くと次の如くなる⁽⁸⁾。

$$\left. \begin{aligned} (m + m_x) \dot{u} &= (m + m_y) v \dot{\theta} + X(u, v, \dot{\theta}) + T \\ (m + m_y) \dot{v} &= -(m + m_x) u \dot{\theta} + Y(u, v, \dot{\theta}) \\ (I + I') \dot{\theta} &= N(u, v, \dot{\theta}) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

但し N の中に不安定モーメント $(m_x - m_y) uv$ を含む。(3) 式は見掛質量の影響を厳密に考慮したもので、式中 $m=0$ とすると Lamb⁽⁷⁾ が求めた質量の無い物体の流体中の運動の方程式に一致する。

今 (3) 式を航跡の切線方向及び法線方向へ変換すると

$$\left. \begin{aligned} u &= V \cos \psi, & \dot{u} &= \dot{V} \cos \psi - V \sin \psi \dot{\psi} \\ v &= -V \sin \psi, & \dot{v} &= -\dot{V} \sin \psi - V \cos \psi \dot{\psi} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

を考慮して次式を得る。(z に関しては不変)

$$\left. \begin{aligned} (m + m_x \cos^2 \psi + m_y \sin^2 \psi) \dot{V} &= (m_x - m_y) \left(\frac{\dot{\phi}}{2} + \dot{\psi} \right) V \sin 2\psi + T \cos \psi - D \\ (m + m_x \cos^2 \psi + m_y \sin^2 \psi) V \dot{\phi} &= (m_y - m_x) \left\{ V \dot{\psi} \cos 2\psi + \frac{\dot{V}}{2} \sin 2\psi \right\} + L \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(5) 式と (2) 式とを較べて見ると

$$m' = m'' = m + m_x \cos^2 \psi + m_y \sin^2 \psi \quad (6)$$

となる外に、第一式に

$$(m_x - m_y) \left(\frac{\dot{\phi}}{2} + \dot{\psi} \right) V \sin 2\psi \quad (7)$$

第二式に

$$(m_y - m_x) \left(V\dot{\psi} \cos 2\psi + \frac{V}{2} \sin 2\psi \right) \quad (8)$$

なる項が余計に加わっている。

この余分な力は総て $m_x = m_y$, 即ち前後左右に対する見掛質量の等しい場合には0となり, (5) 式は (3) 式に一致する。従つて (7) 及び (8) の第一項は云わば見掛の遠心力とも云うべきものであり, (8) の第二項は切線方向の加速によつて法線方向に慣性力を生じる事を示す。この事は x, y 方向の見掛質量の異なる物体, 即ち細長い物体を斜めに加速すると, その慣性抵抗は加速度の方向と一致しない事実と同じ現象である。

2.2 見掛の力の影響

物体が外から全く力を受けず(見掛質量力は別として) z 軸の囲りに回転しつつ $x-y$ 平面上の或る方向へ初速を与えて放たれる場合を考える。

真空中では方程式 (1) によれば Fig. 2 (a) の如く回転しつつ重心は一直線上を動く。

然るに流体中では方程式 (2) によれば真空中と同じく一直線上を動くが, 方程式 (3) によれば Fig. 2 (b) の如く重心の軌跡は一直線とならない。

即ち物体は長手方向へ動く時は Fig. 2 (b) の B 点の如く ψ と ϕ とが同じ向きとなり, 旋回時について考えれば重心は旋回圏の内側へ曲げられる。この傾向は $m_y - m_x$ が大となればなる程, 即ち細長いもの程著しい。

同様な事を, 質量を持った船について計算すると Fig. 2 (c) の如くなる。

2.3 見掛の力の大きさ

Fig. 3 は長さ 128m の船の旋回試験成績である。之より θ, ψ, ϕ

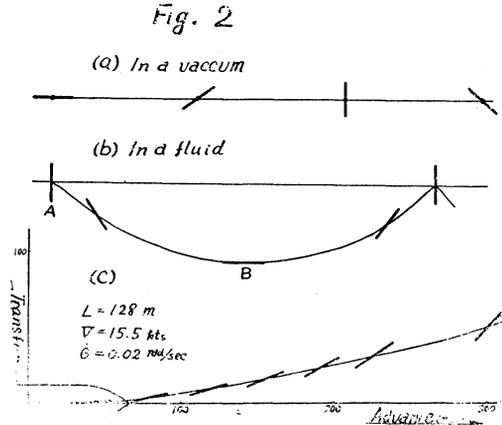
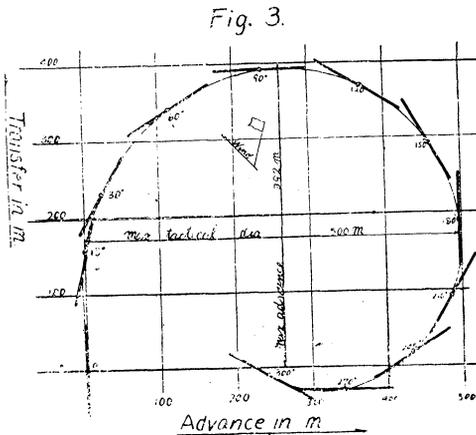
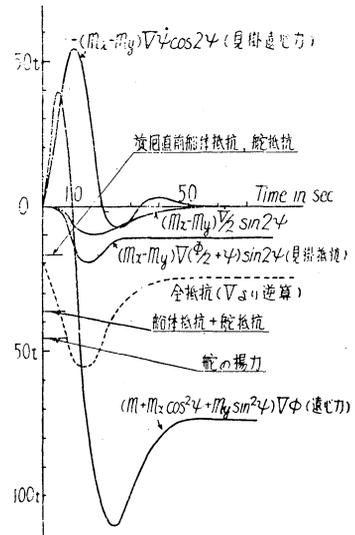


Fig. 4



等を取り, (5) 式に入れて見掛の力を計算すると Fig. 4 の如くなる。

最も大きいのは法線方向の $-(m_x - m_y)V\dot{\psi} \cos 2\psi$ であつて, 旋回の初期には極めて大きく, 舵の揚力に略々匹敵し, 船体自体の遠心力よりも大きい。

次に大きいのが切線方向の $(m_x - m_y)V\left(\frac{\dot{\phi}}{2} + \dot{\psi}\right) \sin 2\psi$ であつて, 略々直進時の船体抵抗に匹敵する。この力は定常旋回になつても存続するから, 定常旋回時の切線方向の力の釣合は船及び舵の抵抗の外にこの力による抵抗が加わるわけである。

定常旋回時の極めて大きな速度低下はこの力を考える事により説明出来る。

即ち旋回直前, 速度 15.5 kt, 馬力 3,400 HP に対し, 直進抵抗 $R_0 = 19.2 t$ (推進効率 = 0.6 として), 舵の抵

抗(舵角 35° に対し) 17 t とし, 定常旋回時, 旋回前と同じ速度とすると, $\phi=9^\circ$ 偏角に対し, 中島氏⁽⁹⁾の論文によると, 舵の抵抗を含め船体抵抗は直進時の約 1.5 倍となる。従つて抵抗は速力の二乗に比例すると考えると斜航抵抗 $= (19.2 + 17) \times (8.92/15.5)^2 = 13.6$ t。一方定常旋回時の全抵抗は馬力より逆算すると, SHP が 90% に落ち, 推進効率が斜流の為に 0.50 落ちたとして $R_s' = 24.9$ t となる。従つて差引き 11.3 t がこの見掛の力となるわけで, 計算値と大体一致する。

以上の数値から見て, 特に旋回初期に於てはこの見掛の力は省略出来ず, 旋回初期航跡に非常に大きな影響を及ぼす事が判る。

2.4 航路安定性及びその影響

(2) 式より直進時の安定条件を求めて見ると $\phi=0, \psi=0, \dot{V}=0$ より出発して $\phi=4\phi, \psi=4\psi$ になつた時の運動方程式は中島氏の論文⁽⁹⁾により

$$J'm'V\ddot{\psi} + \left\{ J \left(T + \frac{\partial L}{\partial \psi} \right) - m'V \frac{\partial N}{\partial \theta} \right\} \dot{\psi} - \left\{ \frac{\partial N}{\partial \theta} \left(T + \frac{\partial L}{\partial \psi} \right) + \frac{\partial N}{\partial \psi} \left(m'V - \frac{\partial L}{\partial \theta} \right) \right\} \psi = 0 \quad (9)$$

一方 (5) 式より

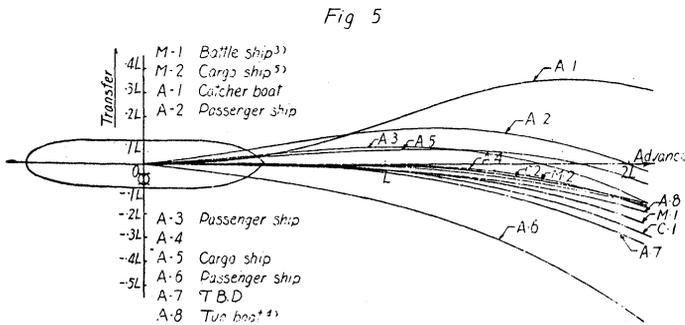
$$(I + I')(m + m_y)V\ddot{\psi} + \left\{ J \left(T + \frac{\partial L}{\partial \psi} \right) - (m + m_y)V \frac{\partial N}{\partial \theta} \right\} \dot{\psi} - \left\{ \frac{\partial N}{\partial \theta} \left(T + \frac{\partial L}{\partial \psi} \right) + \frac{\partial N}{\partial \psi} \left(m'V - \frac{\partial L}{\partial \theta} \right) \right\} \psi = 0 \quad (10)$$

安定条件は第 3 項の ψ の係数が正なる事であるから, 直進時の航路安定に関しては (2) 式を用いても誤りでなく, 航路から外れて後の運動を求める時に用いると初めて誤差を生ずるわけである。

§ 3. 旋回初期運動

3.1 初期航跡の例

Fig. 5 には実船の旋回試験成績より取つた初期航跡と数種の模型実験の結果を示してある。

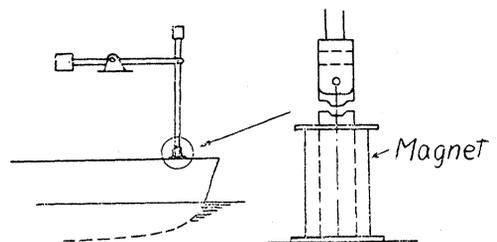


実船の計測結果は [A.4] の如く原航路から切線状に内方え向うものもあるが, [A.1], [A.2] の如く著しく drift out するものもあり, 又 [A.6] の如く急激に内方え曲つて居るものもある。

一方航跡自画器⁽¹⁾で測定した実船の航跡⁽²⁾ [A.7] では殆んど drift out が認められず, 又模型実験 [M.1], [M.2] 等でも何れも殆んど drift out が認められない。

尙, この内 [M.2], [A.8] は特にこの目的の爲に行われた実験で, [A.8]⁽⁴⁾は市川, 伊東, 上野, 中原の諸氏によつて実船について行われたもので, 曳船を用い, 其の船首, 船尾に目印の柱を立て, 之を略々正面から 16 ミリ映画に撮影しつつ旋回せしめたものであり, [M.2]⁽⁵⁾は今井, 小松両氏によつて行われたもので, 2.5m の白馬山丸模型を自航せしめ, その前後に Fig. 6 の如き電磁石を介したガイドを付け, 模型が一定速に達した後電磁石を切り少し直進してから操舵用のモーターによつて舵を取り, それを電車の上に組んだ檣の上から 16 ミリ

Fig. 6



映画に撮つて航跡を出したものである。

実験は舵の大きさを3種、船のトリムを3種、速度を2種変えて行つたが、何れの場合も drift out は極めて小さく、平均して船の長さの 0.25% 程度であつた。

この模型実験と実船成績の差異或いは実船間の計測方法による差異が計測の誤差によるものか、船型の相異其他の別な理由によるものかは極めて重大な事と考えられるので、以下に検討して見たい。

3.2 理論的考察

運動方程式 (3) を解いて $u, v, \dot{\theta}$ が決定されると固定座標 $\xi\eta$ に対する船の重心の座標は

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \int_0^t (u \cos \theta - v \sin \theta) dt \\ \eta &= \int_0^t (u \sin \theta + v \cos \theta) dt \\ \theta &= \int_0^t \dot{\theta} dt \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

によつて求められる。

其処で船の transfer η を決定するものは $u \sin \theta + v \cos \theta$ の積分値である。 $u \sin \theta$ は必ず旋回圏の内方を向くので、 $v \cos \theta$ が船を drift out せしめる原因となる。

この関係を Fig. 7 に示す。

v を生ずるのは結局 y 方向の外力 Y であるから、 Y の構成について検討して見ればよい。

i) 舵の力 舵の力は船尾舵ならば必ず旋回圏の外方に向う故 drift の原因となる。

ii) 遠心力 之は外向きであるが、元々遠心力は重心の軌跡を元の進行方向に保とうとする力であつて、この為元の航路より外に押出される事は無い。又見掛質量が存在する為真空中では予想されない様な傾向の遠心力を生ずるかも知れないと云う疑問については §2 で検討してあつて、むしろ重心を旋回圏の内方え曲げる方向に働く事が判つているので問題ない。

iii) 水圧力(船体の揚力) 船が外側え drift すれば揚力は必ず内方え働く故 drift に対しては抵抗となる。

iv) 渦及び摩擦抵抗 Fig. 8 の如く pivoting point が \times より前にあれば(船尾舵)内向きとなり、pivoting pt. が \times より前にあれば(船首舵)外向きとなる。

以上の事より考えて船を drift out せしめる原因としては舵の力以外にない。

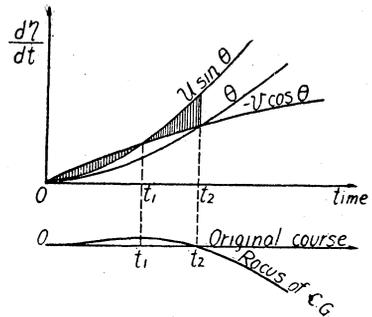


Fig. 7

Fig 8

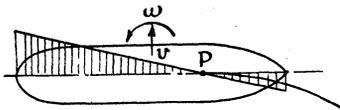
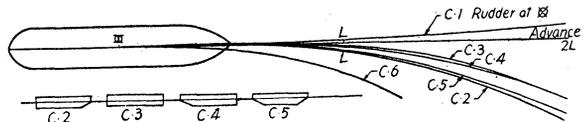


Fig. 9.



最も drift の大きな場合について考えて見ると、舵が \times にあつて、船は回転を起さずに横に押される場合であろう。之を通常の貨物船 (D.W. 10,000 t) について計算すると Fig. 9 C. 1 の如くなる。之が drift の限界であつて、初期の角速度等が無ければ之より絶対に外に出ない。

船首舵の船では勿論 drift は逆になる。

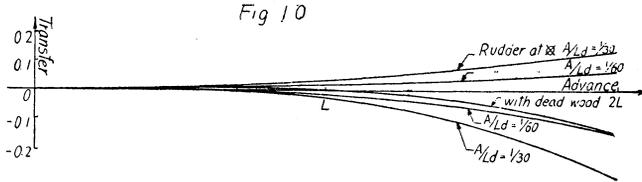
舵が \times より後に来るに従つて船は回転を起し、 $u \sin \theta$ によつて drift (η) が減じて来る。C. 2~C. 5 は縦載面形状の異なる船型について船尾に舵のある場合を舵角 35° として計算したもので、係数等は前論文⁽⁸⁾を用いた。これ等の係数の数値については今後実験等によつて改めらるべきものもあるが、定性的な検討には差支えないと思われる。

C. 6 は抵抗係数の違いによつてどの程度航跡が変化するかを見る為に、抵抗係数を 0 として計算したもので

ある。何れも drift out は極めて少く、船長の 0.5% 以下であり、約一船長進んだ所で原進路と交わつて内方え向く。

3.3 舵面積及び舵と dead wood との干渉の影響

舵面積と、船体縦断面積の比を変化した場合の航跡の変化を Fig. 10 に示す。舵が Ⅹ にあると考へた所謂 drift の限界線は舵面積が増大すると外え出て来るが、舵が大きくなるにつれて回転モーメントも増えるので、結局航跡は限界線が外え出る程には drift out しない。

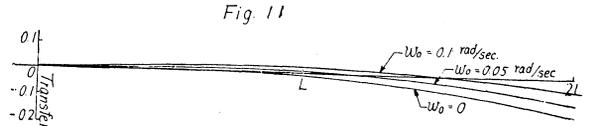


又双螺旋の船等で、舵が dead wood の直後にある場合には互に干渉して、舵の揚力は増加する代り、圧力中心は前に移つて旋回モーメントはさして変らない場合がある。この様な場合には幾分 drift が大きくなる事が予想される。この影響を同じく Fig. 10 に示してある。図では舵の揚力が単独の時の倍となり、旋回モーメントは変化しない場合が示してある。この場合には極く僅か drift が増してはいるがやはり殆んど切線状に出ている。

3.4 旋回試験計測結果との相異に対する考察

3.4.1 初期角速度の影響： 今迄は操舵直前迄船は直進すると考へて来たが、実際は直線進路を保つ為多少なり抵舵を取つているので、偶々旋回方向と逆に抵舵をして、船が反対側へ回転しつつある時、丁度操舵をすれば曲り難い事は確かである。

この影響を調べる為、初期角速度のある場合について計算した結果を Fig. 11 に示す。初期角速度の影響によつて確かに drift out は増すが、Fig. 5 の [A. 1] の程度迄外え曲げるには初期角速度約 0.4 rad/sec を要し、



この様な大きな角速度は、舵角一杯の時でも有り得ないから、初期角速度の影響はせいぜい少し曲り方が遅い程度にしか効いて来ないと考へられる。又初期の drift 及び抵抗の影響も同程度である。

3.4.2 浮標の移動： 海流がある場合には、浮標も船も一緒に流されるからさして問題とならないが、風がある場合には流される割合が、船と浮標では異なるので、両者間の相対運動が生ずる結果、特に風向きが原航路と直角の場合は誤差を生ずる可能性がある。

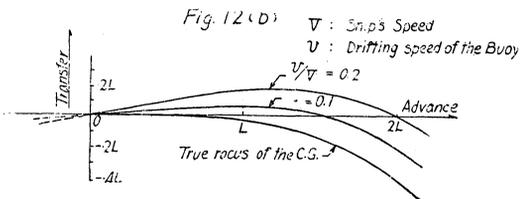
この相対速度は突風の時と定常風の時とで異り、突風の時は風圧面積に比し質量の大きな船は短時間に流され初めないが、軽い浮標は流されて、両者間には近接する様な相対速度が生ずる。

一方定常風の場合には水面上と水面下の形状によつて変り、一般に風による物体の漂流速度は次の式で表わされる。

$$u = 0.03 \times \sqrt{\frac{v_1}{v_2}} V_w \begin{cases} v_1 \dots\dots \text{水面上の容積} \\ v_2 \dots\dots \text{水面下の} // \\ V_w \dots\dots \text{風速} \end{cases}$$

従つて定常風或いは十分長く続いた風による流れ方は或いは船の方が大きい場合もある。そして又風が止むと浮標は比較的早く静止するのに對し船は流れ続けて、両者は遠ざかる様になる。この様に風による相対的な流れは複雑であつて、旋回試験成績を見ても、形が歪んでいたり初期の drift out が過大と思われるものは概して風の強い時が多いが、その方向との関係は必ずしも一定して居ない。

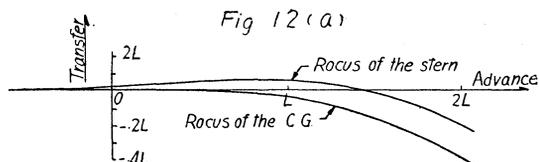
Fig. 12 (b) はこの相対流速のある場合の測定結果を示したもので、Fig. 5 のものと似た形が得られて居る。旋回試験成績の中には明らかに浮標の流れの影響と思われるものがかなりあり、又中には縦又は横



にひしやげた形となつているものもある。

3.4.3 錯覚：旋回試験の際船に乗つていると、船は確かに外方に drift するので、その時の船の方向が元の航路の方向より回転している事を忘れると、原航路より外へ drift out している様な錯覚を生ずる。実際は Fig. 7 に示した様に drift の速度と船が内方に向けて走る為の分速度とが略々相殺してしまうのである。又、今迄の議論は船の重心に対するものであるから、船尾は回転の結果之より外方に出る (Fig. 11 (a))。従つて航跡特に推進器後流を見ると、S 字型になつているので、船自体が drift out したかの如き感じを抱かせる。

これ等の事から重心航跡はかなり drift out するものであると云う先入感があり、一方旋回試験の計測の精度がかなり低くてどちらにも解釈出来る所から、Fig. 5 の如き成績が出る一つの原因となるのではあるまいか。

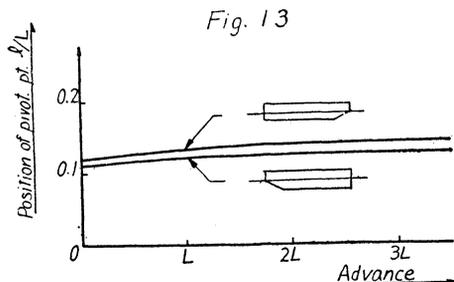


§ 4. より正確な旋回航跡の書き方

以上述べた如く、実測せる旋回航跡の精度は、現在の方式ではあまり高く無く、むしろ浮標の流れ等によつて著しく歪められる場合も考えられる。一方船の drift の量は以上検討された如くさして大きく無いので、むしろ船の方位と前進速度を経過時間と共に正確に測定して、pivoting point の位置を仮定して航跡を画いた方がより正確な結果を得られる様に思う。Pivoting point の位置を仮定する為の誤差は advance に表われ、前に見積れば advance を過大に、後に見積れば過少に求める事になるが、これ迄の測定方法の精度に較べれば問題とならない。

4.1 Pivoting point の位置

Pivoting point の位置は船の旋回角速度を w 、drift の速度を v とすると、重心より $l = -\frac{v}{w}$ 丈前にある。この位置は極く初期の加速度的存在する範囲では主として船の慣性に左右され、赤崎氏⁽²⁾の論文に示された如く舵の位置に対する撃心に相当し、 $\frac{1}{4}L$ の所にあり、定常状態に入つてからは、船体の揚力、回転抵抗等に左右されるが、Fig. 13 に一例を示す様に大して変化は無い。尙この事からも初期に drift out が殆んど無い事が説明出来る。即ち若し Fig. 5 A.1 の如く drift out する時は pivoting point は初期に無限遠の前方へ移動しなければならない。



今船の慣性能率 (垂直軸に対する) を I
 見掛の " を I'
 船の質量を m
 見掛質量を my

とし $m + my = 2m, \quad I + I' = m \left(\frac{L}{3 \sim 2.3} \right)^2$ 但し $\begin{cases} 3 \dots \dots \text{満載} \\ 2.3 \dots \dots \text{軽荷} \end{cases}$

とすると、撃心の関係から

$$l = \frac{L}{9 \sim 5.4} \quad L \dots \dots \text{船の長さ}$$

大体 $L/6$ 前後の値を用いおぼした誤差はない。

4.2 旋回航跡の書き方

計測すべきものは、操舵後の経過時間対回頭角度及び前進速度 u である。之を Fig. 14 の如く時間を base として書き、 $u \cos \theta$ 、 $u \sin \theta$ を計算する。之を積分すると $\xi = \int_0^t u \cos \theta dt$ 、 $\eta = \int_0^t u \sin \theta dt$ は pivoting point の座標を与える。之を Fig. 15 の如く plot し、其時々々の船体中心線の方向を記入して $\overline{PG} = l$ 丈後に重心を plot すると重心の航跡が得られる。之は新田氏⁽¹⁾の旋回圈自画器の機構を手で行う事になる。Fig. 14 は Fig. 15 の旋回航跡記録より取り、Fig. 15 の計算航跡は Fig. 14 を基として画いたものである。

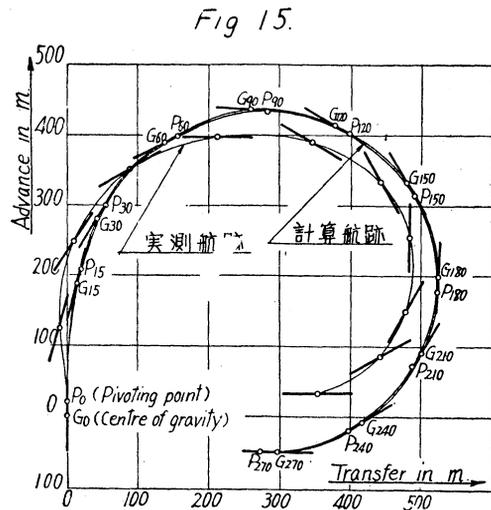
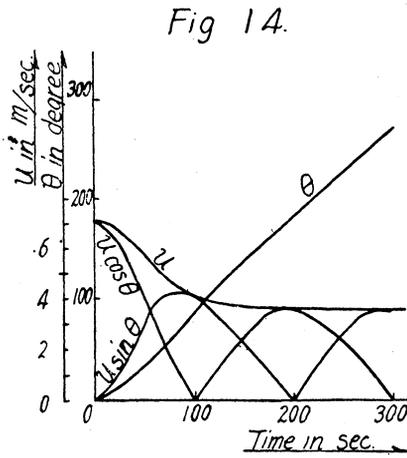


Fig. 14 の速度曲線は推定によつたもの故、Fig. 15 の計算航跡の大きさは多少不正確であるが、形としては大体典型的な一例と考えられる。

§5. 結 論

1. 船の旋回運動を論ずる際に、重心の航跡の切線方向及び法線方向に座標軸を取つて運動方程式を樹てる際には、揚力、抗力、遠心力の外に、或る見掛の力とも称すべき項を附加しなければならない。従つて一般に船体中心線及びそれに直角な方向に座標軸を取る方が簡単である。
2. 見掛の力の影響は、初期航跡を旋回圏の内方へ曲げる。即ち舵による drift を減ずると、定常旋回に入つてから前進抵抗が増すと云う形で現われる。
3. 船の旋回初期に於ける drift out (kick) は、如何なる場合にも極めて小さく、せいぜい船の長さの 1% 以内である。drift の量は操舵直前の角速度、或は舵の形状、寸法等によつて多少は異なるが、その差は上記の範囲内に止まる。
4. Pivoting point の位置は旋回運動の間を通じて殆んど変化しない。
5. 旋回試験成績で往々大きな drift out が求められるのは、主として風による浮標の移動等による計測の誤差によるものである。
6. 現在の様な計測の方法よりも、むしろ船の前進速度と回頭角度を経過時間と共に記録して §4 の方法によつて作図した方が正確な旋回航跡が得られる。(以上)

参 考 文 献

- (1) 新田重治：船の旋回力測定用綜合記録装置の新考案，造船協会々報第50号
- (2) 赤崎 繁：船の旋回に対する実験的研究，造船協会々報第61号
- (3) L. F. Hewin & W. P. Poop. "Model Steering Tests" T. S. N. A. & M. E. 1931, vol. 39.
- (4) 市川隆一，伊東史郎，上野陽一，中原盛綱：旋回初期運動に関する実験的研究，昭和25年，東京大学第二工学部卒業論文
- (5) 今井保穂，小松宜一郎：船の初期旋回に関する実験的研究，昭.26，東大第二工学部卒業論文
- (6) 赤崎繁：船の旋回性について，造船協会々報第66号
- (7) Lamb. H. : Hydrodynamics, 6th edition.
- (8) 元良誠三：航路安定性について，昭.21，(造船協会々報，第77号に掲載予定)
- (9) 中島康吉：鉄道連絡船の操舵性に及ぼす風の影響について，造船協会論文集第84号