

(昭和 35 年 5 月造船協会春季講演会において講演)

電動油圧操舵機の先進角と船の操縦性について

正員 山 本 平 弥*

On the Wheel Advance Angle of Electro-Hydraulic Steering
Gears and its Effect upon Steering Qualities of Ships.

By Heiya Yamamoto, *Member*

Abstract

Steering quality of a ship is affected by a time constant T_E of her steering gear. The time constant T_E depends upon the wheel advance angle of the steering gear. By reducing the wheel advance angle, the time constant T_E is decreased and steering quality of a ship may be improved.

This paper deals with the improvement of steering quality by reducing the time constant T_E . The results obtained are as follows ;

- (1) For small boats which have small time constant in steering, the effect of reducing the wheel advance angle may be remarkable.
- (2) If the wheel advance angle is zero, starting angular acceleration of a rudder is abnormally large.
- (3) For the conventional wheel advance angle $5\sim 10^\circ$, calculated values of starting torques acting upon steering gears are very small compared with designed maximum torques of steering gears. From the viewpoint of the starting torque, the conventional wheel advance angle may be considered too small.
- (4) Adequate reduction of the wheel advance angle compared with the conventional one does not result abnormal overload of a driving motor of a steering gear.

緒 言

電動油圧操舵機は船橋の舵輪角度と実際の舵角との差に応ずる速さで、舵を取るようになっている。そしてこの差がある値以上になつたとき、ポンプは最大吐出量を発揮し最大の速さで操舵が行なわれるのである。この差を先進角と呼んでいる¹⁾。この先進角の値は必ずしも一定ではないが、現在では $5\sim 10^\circ$ の範囲内で適当に決められており、旧海軍では 7.5° に一定していたようである。

ところで、先進角が大であれば操舵機の時定数は大となり、小さければ時定数は小となる。したがって舵輪の一定速度操舵に対し、先進角の値が大であれば舵角の遅れは大きくなり、小さければ小さい程遅れは少なくて済み先進角の大きさは船全体の操縦特性に影響を与えることになる。そしてその値が小さい程操縦性はよくなる。大型船では船の時定数が操舵機時定数に比べ、かなり大きいので、先進角を減少することにより操舵機時定数を小さくしても船の操縦性に与える効果は少いが、小型船の場合船の時定数が比較的小さいので先進角を減少するとその効果は顕著に現れて来る。このように先進角は操舵機および船の特性上重要なものであるにもかかわらず、従来までの所漠然としている点が多いので筆者はこの問題を解析してここに報告する。

1. 電動油圧操舵機の動特性の解析

電動油圧操舵機に使用されている可変吐出ポンプとしては、ヘルショウポンプとジャンネポンプの 2 つがあ

原稿受付 昭和 35 年 1 月 9 日

* 海上保安大学校

¹⁾ 最近 “Theoretical pump opening” (ポンプの理論的開き度)⁽¹⁾なる言葉が使用されているが、この言葉の意味はポンプを全開から全閉にするまでのラムの移動量が、全移動量の何分の一になるかを示したもので先進角と同じことを意味している。

る。ヘルショウではポンプの外部より偏心腕によつて遊動環を左右に偏心することにより、その吐出量を変化させることができ、またジャンネポンプでは傾転管を管制腕によつて傾斜させることにより吐出量を変化させることができる。構造は異なるが両ポンプ共、操舵機に使用された場合には、原理的に同じであるので一例としてヘルショウポンプをとつてみる。

ポンプの容積効率油圧により変化するけれどもその程度は数%にすぎず、またテレモーターの遊び⁽²⁾は導管の大きさや長さにより多少異なるけれども、初圧を 4 kg/cm^2 程度にかけておけば、小型船では遊びは $0.5\sim 1^\circ$ 位である。今油圧ポンプの容積効率を一定とし、テレモーターの遊び及び遅れを無視し油圧筒の漏洩をないものとする。ここで記号を次のごとく決める。

$\delta^*(t)$: 舵輪の指令角度 deg. or rad, $\delta(t)$: 舵角 deg. or rad.

α : 先進角 deg. or rad,

$X_0(t)$: ラム変位 cm.

$Q_p(t)$: ポンプ毎秒吐出量 cm^3/sec ,

η_p : 油圧ポンプ容積効率

$Q_{p\max}$: ポンプ最大吐出量 cm^3/sec ,

A : ラム断面積 cm^2

R : 舵柄半径 cm,

b : 最大偏心量 cm

$X(t)$: ポンプの偏心腕変位 cm,

k_1 : ポンプの偏心腕と舵輪ならびに舵柄間の比例定数 $k_1 = b/\alpha$ cm/rad

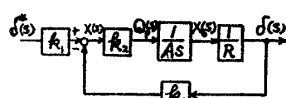
k_2 : 単位偏心量に対する吐出量 $k_2 = Q_{p\max}\eta_p/b$ cm^2/sec

ポンプ流量は $Q_p(t) = k_2 X(t)$ (1)

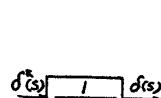
ラムの移動速度は $\frac{dX_0(t)}{dt} = \frac{Q_p(t)}{A}$ (2)

また舵角 δ とラムの移動量の関係は、舵柄機構がラブソンスライド型なら $X_0(t) = R \tan \delta(t)$

トランクピストン型なら $X_0(t) = R \sin \delta(t)$



第1図



第2図

であるが、 δ の小さな範囲内では

$$X_0(t) = R\delta(t) \quad (3)$$

と考えてよい。(1), (2), (3) 式を Laplace 変換しこの系をブロックダイアグラムに書けば第1図となる。第1図を簡単化すれば第2図となる。これを運動方程式の形に書けば

$$T_E \frac{d\delta}{dt} + \delta = \delta^* \quad (4)$$

ここで

$$T_E = \frac{AR}{k_1 k_2} = \frac{AR}{Q_{p\max} \eta_p} \alpha \quad (5)$$

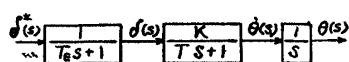
は舵取機の時定数である。この時定数は油圧ポンプ、ラム、舵柄が定まれば先進角の函数である。そしてこの時定数は舵輪に単位入力舵角を瞬間的に与えた場合、舵が始動の瞬間の速度を持続したと考えたとき、その指定舵角に達するまでの時間である。先進角を小さくすればする程、舵は短時間に指定舵角は達する。

2. 先進角減少が船の操縦性に与える効果

このように先進角と操舵機時定数との関係が求まったので、この時定数の変化が船全体の操縦特性にどのように影響しているかを調べてみよう。油圧ポンプ、ラム、舵柄等をそのままとし、先進角のみを変えれば操舵機の時定数は(5)式により変化する。先進角を減少すれば時定数は小さくなり、舵の角速度が早くその最終値に近づくのである。

船体の運動は次に示すごとく1次系近似のことができることが示されている⁽³⁾。

$$T \frac{d\dot{\theta}}{dt} + \dot{\theta} = K\delta \quad (6)$$



第3図

ここで T : 船の時定数 sec, K : 旋回力係数 1/sec

δ : 舵角 deg,

$\dot{\theta}$: 船体旋回角速度 deg/sec

ポンプが飽和しない場合、船の操縦系全体のブロックダイアグラムは第3図

²⁾ (6) 式並びに $T_E \frac{d\delta(t)}{dt} + \delta(t) = \delta^*(t)$ および $\theta(t) = \int \dot{\theta}(t) dt$ を Laplace 変換すれば第3図になる。

³⁾ $\frac{\delta_0^*}{t_1} t$ の Laplace 変換は $\frac{\delta_0^*}{t_1 s^2}$ である。

の通りである²⁾。系の伝達関数は(7)式となる。

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{\delta^*(s)} = \frac{K}{s(T_E s + 1)(Ts + 1)} \quad (7)$$

この系の一定速度入力 $\delta^*(t) = \frac{\delta_0^*}{t_1} t$ に対する旋回角速度 $\dot{\theta}(t)$ および旋回角 $\theta(t)$ はそれぞれ次の通りである³⁾。

$$\begin{aligned} \dot{\theta}(t) &= \mathcal{L}^{-1} \left[\frac{K}{(T_E s + 1)(Ts + 1)} \frac{\delta_0^*}{t_1 s^2} \right] & 0 < t < t_1 \\ &= \frac{\delta_0^*}{t_1} K \left[t - T - T_E - \frac{1}{T - T_E} \{ T_E^2 e^{-(t/T_E)} - T^2 e^{-(t/T)} \} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \mathcal{L}^{-1} \left[\frac{K}{s(T_E s + 1)(Ts + 1)} \frac{\delta_0^*}{t_1 s^2} \right] & 0 < t < t_1 \\ &= \frac{\delta_0^*}{t_1} K \left[\frac{1}{2} t^2 - (T + T_E) t - \frac{1}{T - T_E} \{ T_E^3 (1 - e^{-(t/T_E)}) - T^3 (1 - e^{-(t/T)}) \} \right] \end{aligned} \quad (9)$$

ただし t_1 は舵輪をとり終り停止した時刻である。そして舵輪を δ_0^* とつたとすれば、舵輪停止後は次式となる。

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \delta_0^* K (t - t_1) - \left\{ \delta_0^* K - \dot{\theta}_1 + \frac{KT_E}{T - T_E} (\delta_0^* - \delta_1) \right\} T (1 - e^{-(t-t_1)/T}) \\ &\quad + \frac{KT_E^2}{T - T_E} (\delta_0^* - \delta_1) (1 - e^{-(t-t_1)/T_E}) + \theta_1, \quad t > t_1, \end{aligned} \quad (10)$$

ここで $\delta_1, \dot{\theta}_1, \theta_1$ はそれぞれ t_1 における舵角、旋回角速度、旋回角である。更にポンプが飽和した場合、系は非線形となり飽和時刻を t_2 、舵輪の停止時刻を t_3 とせば、 $t_3 \geq t \geq t_2$ に対し

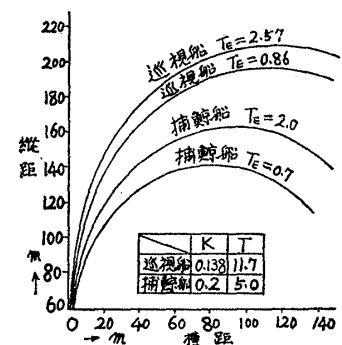
$$\dot{\theta}(t) = UK(t - T) + \{ \dot{\theta}_2 - UK(t_2 - T) \} e^{-(t-t_2)/T} \quad (11)$$

$$\theta(t) = \theta_2 + \frac{UK}{2} \{ t^2 - t_2^2 - 2T(t - t_2) \} + T \{ \dot{\theta}_2 - UK(t_2 - T) \} (1 - e^{-(t-t_2)/T}) \quad (12)$$

ただし $\dot{\theta}_2$ および θ_2 は t_2 における旋回角速度および旋回角であり、 U は飽和時の最大舵角速度である。通常 $T > T_E$ であるので、 $T \gg T_E$ の場合は $\theta(t)$ は T に大きく影響されるが、 T が次第に小さくなり T_E に近づくにしたがつて T_E の影響は無視できなくなることが(9)式からわかる。 T_E は普通2秒前後であるが、 T は小は捕鯨船の5秒位から大は大型タンカーの100秒位までである⁸⁾。捕鯨船のように時定数の小さな船に対しては、操舵機時定数にしたがつて先進角の影響は大きく、先進角を小さくして運動性能の向上をはかることが可能となる。

ポンプ飽和後は直接的には T_E の影響はなく、 U のみが効いて来ることが(12)式からわかる。したがって先進角減少による効果はむしろ、ポンプを飽和せずに用いた場合に顕著に現れて来る。

第4図は450トン巡視船⁴⁾および捕鯨船につき、 $35^\circ/12.55$ 秒の舵輪速度を与えポンプを飽和させずに用いた場合の旋回角 θ である。ただし転舵後の船の速度の減少と強い旋回に基づく旋回係数の減少を考慮してないので、旋回圏は相当大きくなり、実際のものはこれよりかなり小さくなる筈であるが、ここでは両者の差を明らかにすればよいわけであるからこれらは考えなかつた。この図から T_E に比べ T が大きく且つ K の小さな巡視船よりも、 T_E と T が接近し且つ K の大きな捕鯨船の方が、操舵機時定数の影響をより明かに示していることがわかる。そしてこの曲線より、小型船では操舵装置の他の部分はそのままとし、先進角のみを変えることによつて旋回圏をかなり小さくできることを知る。



第4図

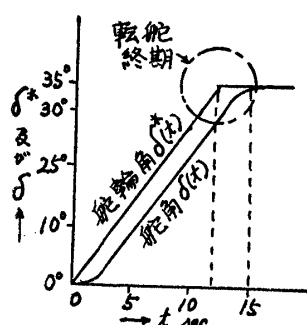
3. 先進角減少に伴う問題点

先進角減少に伴ない考慮しなければならない点は、舵始動時の角加速度の増加と、大舵角における電動機の負荷のいかに主なるものである。舵始動時の角加速度については、あとで先進角の限界値の項で述べるので、ここでは大舵角における電動機の負荷と先進角との関係のみを述べる。

舵軸の振りモーメントは操舵速度の影響により定常状態のものより大きくなることが指摘されているので⁵⁾、このことを考慮しなければならないのであるが、その影響は普通の操舵速度では余り大きくないので、ここでは

Jössel-Beaufoy の式に基づいて先進角と馬力との関係を考えてみる。

現在使用されている電動油圧操舵機用電動機は、大舵角において瞬間的には 150~200% 過負荷になるように



第5図

あらかじめ設計されている。油圧ポンプ駆動電動機の馬力は、舵振力率と舵角速度の積で表わされるので、いかに大舵角での振力率が大であつてもそのときの角速度が小であれば、馬力は小さく過負荷になるおそれはない。したがつて第5図に示す舵輪終期の追従作用により角速度を落して馬力の減少を計ることは、定性的には得策であると言ひ得るが、その効果はどの程度であらうか。この効果を把握するために先ず舵振力率の舵角に対する関係を明らかにする必要がある。J-Bの式は

$$F = 0.0156 A_R V^2 \sin \delta \quad (13)$$

$$x = B(0.195 + 0.305 \sin \delta) \quad (14)$$

ただし F : 舵に加わる直圧力 ton

x : 舵前縁より圧力中心までの距離 m

A_R : 舵の水没水面積 m^2

V : 流速 (船速×失脚係数) K_t

B : 舵の幅 m, δ : 舵角 deg.

さらに a : 舵前縁より舵軸中心までの距離 m

T_R : 舵振力率 ton-m, $r = x - a$ とせば

$$T_R = Fr \quad (15)$$

この振力率は舵の平衡、不平衡にもよるが、舵角が大きくなるにしたがつて増加し、35°で最大となる。第6図はJ-B式による値を基とした舵角トルク曲線の計算例である。一方舵角速度は、油圧ポンプ最大吐出量とラム断面積とによつて定まる最大角速度以内すなわちポンプが飽和しない範囲内では、先進角および舵輪速度によつて左右される。そこで先進角 α および舵輪速度を変えた場合の舵角 δ および舵角速度 $\dot{\delta}$ を求めてみる。規則で操舵時間は 70°を 30秒で取るように定められているので、一定時間に操舵を完了させるためには、操舵機の時定数が大きいと舵輪停止後の追従に要する時間が多くかかり、したがつて舵輪速度を大にしなければならず、時定数が小さい時は逆に舵輪速度を小さくしてよい。

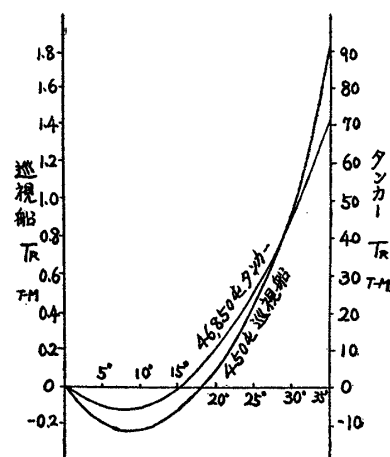
舵輪を 35°取り終り停止した後の舵角は、次の方程式で現される。

$$T_E \frac{d\delta}{dt} + \delta = 35^\circ \quad t > t_1 \quad (16)$$

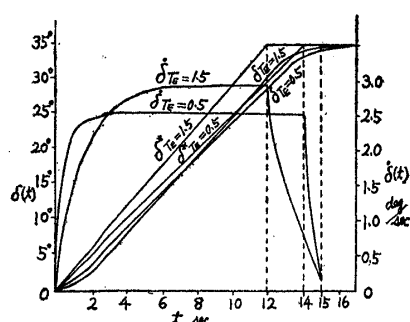
舵輪停止時刻の舵角を δ_1 とすれば舵角は

$$\delta(t) = 35^\circ (1 - e^{-(t-t_1)/T_E}) + \delta_1 e^{-(t-t_1)/T_E} \quad (17)$$

理論的にはこの式から $t \rightarrow \infty$ でなければ舵角は 35°に一致しないが、設計上は追従時間を $2T_E \sim 4T_E$ とみなせばよいとされている⁽⁶⁾。すなわち舵輪停止後 $2T_E \sim 4T_E$ で舵輪指示と舵角指示とがほとんど一致すると見



第6図



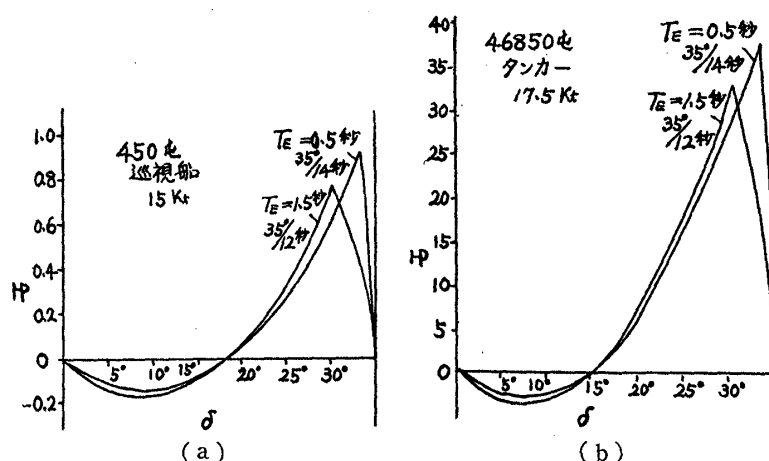
第7図

なしてよい。そこで今追従時間を $2T_E$ と仮定し、35°を 15秒で操舵完了の場合、 $T_E = 1.5$ 秒と $T_E = 0.5$ 秒の2つをとつてみる。この2つの場合につき、 $\delta^*(t)$, $\delta(t)$, $\dot{\delta}(t)$ を示したものが第7図である。第7図は次のことを表わしている。

T_E の小さい場合は舵輪初期で急速に舵角速度が上昇し舵角も早く大となるが、間もなく T_E の大なる方が舵角速度が大となり中頃になつて舵角も追い越し、終期では舵角も速度も共に大となる。しかしながら 12秒以後 T_E の大なる方は追従動作が始まり角速度は減少するに反し、 T_E の小なる方は 14秒まで δ_0^*/t_1 の角速度で行くため、この差が馬力に影響を与えて来ることになる。第6図の舵トルクと第7図の舵角速度

とから馬力を計算したものが第8図である。第8図から、先進角を小さくすると舵輪速度を落してもなお大舵角

において馬力はある程度増加するのをまぬかれないことが判る。この見地からすれば、先進角の減少は好ましくないように見えるが、これまではトルクの所で drift angle を考慮に入れてなかつたので、これを入れれば結果は異なつて来ることもあり得る。船が旋回し始めると、舵に対する水流の入射角は舵角と drift angle との差と考えられるので、実際の入射角は δ よりかなり小さい筈である。そして drift angle のつき方は (6) 式の T の order で考えられるので、小型船では転舵終了時



第 8 図

には既に定常状態の drift angle がついている筈である⁽⁷⁾。また大型船でもかなりの drift angle のついていることが、舵軸トルクの実測の結果示されている⁽⁸⁾。したがつて大舵角における舵トルクは、小型船では J-B 式によるものよりも小さく、そして 30° 前後では flat な curve に近いものであらうと思われる。よつて 30° 前後から追従動作で舵角速度を落して馬力上昇を防ぐ必要はなく、むしろ先進角を小さくし且つ舵輪速度を小さくした方が馬力を少くし得ることも考えられる。それには、小型船の舵軸トルクを明確に把握する必要があり今後の研究に待たねばならない。

4. 先進角の限界値

先進角は操縦性の見地からすれば小さい程好ましいが、その限度は舵始動時の角加速度による限界およびリンク機構製作上の限界の2つにより自ら定まつて来る。

4.1 舵始動時の角加速度

先進角の大きさは、船の種類、大きさ、舵取機械の型式等によつて多少異なるが、経験的に大体次のように定められている。

ラプソン スライド型	6.5°
トランク ピストン型	9.5°
小型船 (漁船, キャッチャーボート等)	5°~5.5°

今、第1図の系に第5図に示すような一定速度入力 $\delta^*(t) = \frac{\delta_0^*}{t_1} t$ を加えてみる。ただし舵輪回転速度は液圧式テレモーターでは、できるだけ速く舵輪を廻そうとすれば、普通の操舵員の力では 35° を 5 秒位でとることはできるが、ポンプの最大吐出量とラム断面積とによつて定まる最大ラム速度に対する舵角速度以上に舵輪角速度を増しても、第10図に示す如き復原リンクにある緩衝バネを圧するのみでポンプは一杯すなわち飽和し、もはや舵速度は舵輪速度に比例しなくなる。ここではポンプの飽和しない範囲内で考えるものとする。

出力舵角 $\delta(t)$ は Laplace 逆変換により

$$\begin{aligned}\delta(t) &= L^{-1} \left\{ \frac{1}{T_E s + 1} \frac{\delta_0^*}{t_1 s^2} \right\} \\ &= \frac{\delta_0^*}{t_1} T_E \left(e^{-t/T_E} + \frac{t}{T_E} - 1 \right)\end{aligned}\quad (18)$$

舵角速度は

$$\dot{\delta}(t) = \frac{\delta_0^*}{t_1} (1 - e^{-t/T_E}) \quad (19)$$

舵角加速度は

$$\ddot{\delta}(t) = \frac{\delta_0^*}{t_1 T_E} e^{-t/T_E} \quad (20)$$

したがつて始動時の角加速度は (20) 式で $t=0$ とおけば $\ddot{\delta}(0) = \delta_0^*/t_1 T_E$ であるから、時定数したがつて (5)

式により先進角 α を 0 にすると計算上加速度は無限大となる。ただし実際にはポンプの漏洩により無限大とはならず、非常に大きい油圧が瞬間的に現れることになる筈である。

つぎに舵の運動部分の慣性抵抗モーメントは、舵の角加速度と舵軸中心に対する舵の慣性能率との積 $I\ddot{\delta}(t)$ で表わされるが、この値が計画最大振りモーメントを超過すれば油圧の異状上昇を来し、各部に重大な支障を生

第1表

船種	舵面積 (m^2)	舵金比	$I_0(kg-m^2)$	$\alpha(rad)$	$\dot{\delta}_{max}(\frac{deg}{s})$	$A(dm^2)$	$R(cm)$	$\dot{\delta}_0^*(\frac{rad}{s})$	$T_m(T-M)$
450 ⁶	3.26	2.02	39.2	0.25(=7.15°)	2/2	154	26	0.051	2.6
17000 ⁶	20.40	2.52	2787.0	0.113(=6.5°)	20/90	572	56	0.061	48.6
46850 ⁶	32.82	2.79	6685.2	0.113(=6.5°)	66/50	660×2	75	0.061	114.0

表中 I_0 は舵と共に動く水を考慮して舵自身の I を 100% 増しにしたものであり、また α は先進角、 A はラム断面積、 R は舵柄半径を示し、 $\dot{\delta}_0^*/t_1$ はそれぞれ 35° を 13 秒、10 秒で操舵したときの舵輪の角速度を示す。さらに T_{max} は計画最大振りモーメントである。以上の 3 隻につきポンプの容積効率を 98% と仮定した場合、時定数したがって先進角を 1/10 に減少したときの舵の慣性抵抗モーメントの変化の模様を第 9 図に示す。第 9 図と第 1 表の T_{max} とを比較して、いかに始動時の慣性抵抗モーメントが小さいかがわかり、先進角を 1/10 に減少してもなお問題にならないのである。したがって始動時の角加速度に関する限り、先進角は零にはできないが現在の値より遙かに小さくしても支障がないと言ひ得る。

4.2 製作上の限界

今第 10 図のヘルショウポンプにおいて

y : テレモーター受動筒変位 cm

k' : 舵輪とテレモーター受動筒間比例定数 cm/rad

とし、 $r_1, r_2, r_3, r_4, r', l, l_1, l_2$ を図示の長さとするれば、 $y = k'\delta^*(t)$ で、偏心量 $X(t)$ に関してテレモーター受動筒よりポンプまでのリンクに対し次式が成立する。

$$X(t) = \frac{l_2 r_4 r_2}{l r_3 r_1} k' \delta^*(t) \quad 0 < \delta^*(t) \leq \alpha \quad (21)$$

同様に舵柄からポンプまでのリンクに対しては

$$X(t) = \frac{l_1}{l} r' \delta(t) \quad 0 < \delta(t) \leq \alpha \quad (22)$$

また $\delta^*(t)$ あるいは $\delta(t)$ が α に等しいときは (21), (22) 式はそれぞれ

$$b = k' \frac{l_2 r_4 r_2}{l r_3 r_1} \alpha \quad (23)$$

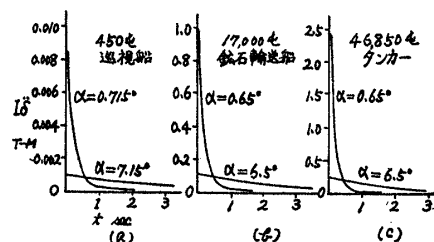
$$b = r' \frac{l_1}{l} \alpha \quad (24)$$

テレモーターの遊びを無視すれば最終的には $\delta^*(t) = \delta(t)$ であり、 $l_1 = l_2$ であるから

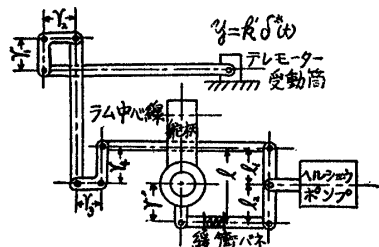
$$r' = k' \frac{r_2 r_4}{r_1 r_3} \quad (25)$$

リンク機構を一定とすれば、 α の減少は b の減少を意味し、この場合最大吐出量を一定に保つためには、油圧ポンプピストン数を増すかあるいはピストン直径を大きくしなければならない、この点にも限界がある。ポンプの最大偏心量 b を一定とすれば、 α を小さくする程 r' および $k' r_2 r_4 / r_1 r_3$ を大きくしなければならない。若し b を一定とし α を 1/10 に減少しようとするれば、バルクランクの腕の長さや復原リンク取付点と舵軸中心との距離を 10 倍にしなければならない、狭い操舵機室では設計上困難がある。先進角零と言うことは舵輪角度と舵角との差が零であつても、すなわち舵輪に微小回転を与えたとき、ポンプの最大偏心量に対する移動量だけ復原リンクの他端が動かなければならぬことになり、拡大率は無限大となつてこのような機構は実現困難である。

また舵輪角速度を舵角速度以上に速く廻したとき、両者の角度差が先進角以上になるとその分だけ緩衝バネが伸縮するのであるが、先進角を極度に減少するとバネの伸縮量が極めて大きくなるように設計する必要が生じ、この点にも限界がある。



第9図



第10図

さらに先進角を減少して始動時の舵角速度を増加させると、油圧系中の油が同時に加速されなければならない。ある程度 α を減少させると油圧ポンプ吸入側の油の加速が間に合わず、吸入側に真空ができ、oil vapour あるいは油中の空気が気泡となつて発生し、これらが吐出側に出た瞬間圧潰し異状音響を発することになる。この対策として吸入側に 2 kg/cm^2 程度の圧力をかけておくと音響は発生しなくなる。なお先進角を減少し舵運動部分の慣性抵抗モーメントの影響が明確に現れる程 T_E を減少したときは、舵角の行き過ぎが起りハンテングを生じ操舵機の安定性が問題となつて来る。

以上先進角に対し幾つかの制限が考えられるが、実際的にはリンク機構の製作上の限界にしばられて来るものと考えられ、この点に関しては今後の研究に待たねばならないが、大体在来の値の $1/2 \sim 1/3$ 程度が限度であろう。

5. 結 言

(1) 先進角したがって操舵機時定数の影響は、船の時定数が小さい船程、顕著に現れる。操舵機時定数は大体2秒位であるので、船の時定数が10秒前後の小型船、捕鯨船、巡視船等は、操舵装置の他の部分はそのままとし先進角のみを減少することにより、船の運動性能を改善することができる。

(2) 舵の慣性能率が余り大きくはないので、現在用いられている先進角の値 $5^\circ \sim 10^\circ$ では、舵運動部分による始動時の慣性抵抗モーメントは舵の計画最大振りモーメントの数百分の一にすぎない。この見地からすれば先進角は $5^\circ \sim 10^\circ$ よりも遙かに小さくしてもよい。

(3) 船の drift angle を考慮に入れば、小型船の場合先進角をつけて転舵終期の舵角速度を減少して電動機負荷を軽減する必要はない。

(4) 電動油圧操舵機の先進角を零にすると、舵の始動時の角加速度が非常に大きくなるので零にはできない。先進角減少の限界は、テレモーター受動筒～ポンプ間ならびに舵柄～ポンプ間のリンク機構と緩衝パネの設計にある。最小値は今後の研究に待たねばならないが、現在の $5^\circ \sim 10^\circ$ の $1/2 \sim 1/3$ 位が限度のようである。

最後にこの研究に関し終始懇篤な指導を与えられた大阪大学野本助教授に対し厚く感謝の意を表したい。また有益な助言を賜った広島大学浜本教授、資料の提供を初め多くの援助を与えられた川崎重工造機設計部ならびに呉造船造機設計部に対し感謝の意を表する。さらに有益な助言を戴いた海上保安大学校の各位に謝意を表する。

引 用 文 献

- (1) 米国造船造機学会編、米原令敏訳：船用機関工学 第5分冊
- (2) 樋口道之助：“操舵テレモーターの起動筒と受動筒との行程差について” 造船協会誌 第346号
- (3) 野本謙作、田口賢士：“船の操縦性について”(2) 造船協会論文集, No. 101, 1957.
- (4) 元良誠三：“船の操縦性指数について” 造船協会論文集, No. 104, 1958.
- (5) 岡田正次郎：“舵性能に及ぼす操舵速度の影響について” 造船協会論文集, No. 103, 1958.
- (6) ARCHE M. NICKERSON, VERNON A. OLSON：“Steering Gears and Their Selection” 1952.
- (7) 志波久光：“模型試験による舵の研究” 昭和34年11月造船協会秋期講演会
- (8) 舵軸トルク測定小委員会：“実船における舵軸トルク測定について” 造船協会誌, 第348号