定常旋回直径の計算図表について

杉原 喜義*

On the Nomogram for finding the Final Diameter of a Turning Circle

K. Sugihara

Abstract

The final diameter of a turning circle is calculable by the following non-dimensional equation:

$$D' = 1.03 k V_0 / m'$$

where $D' = D/L$ diameter length ratio
 $V_0' = V_0 / \sqrt{L}$ initial speed length ratio
 $k = V_1 / V_0$ speed decreasing ratio
 $m' = m \sqrt{L}$ m : angular velocity

The factors k and m' in the equation are expressed by the following relations that were shown in our previous paper:

$$k = 1 - 0.8 C_b \cdot \frac{A}{Ld} \cdot \alpha + 4.5 \left(\frac{t}{L} \right)$$

$$m' = (0.46 V_0' - 0.36) \sin \alpha + 0.11$$

For easy estimation of the final diameter basing on the equation proposed here, the nomogram using the following five factors is shown in this paper..... rudder area ratio $\frac{A}{Ld}$, block coefficient C_b , trim ratio t/L , initial speed V_0 and helm angle α .

1. ま え が き

さきに著者は模型艇による旋回実験および実船の旋回公試の結果から、旋回中の分速度に対する実験式を求め、これらを積分することによつて最大縦距および最大横距に対する計算式を求めた〔1〕,〔2〕。

しかし、この計算においては、まず舵角、速力、船型、トリムなどの実際的要因を含む係数を求め、さらにこれらの係数を組み合わせた数値計算を行わねばならないので、かなりの手数と時間を必要とすることはやむを得なかつた。

そこで著者はさきに求めた計算式を基にして、旋回圏の基礎となる定常旋回直径に対し、舵面積比、舵角、方形係数、トリム長さ比および速度長さ比の5要因の変化による計算図表を作製した。これによつて自船の旋回性能を簡単に判定することができ、また船体設計の当初においては、所要の旋回圏に対する舵面積決定の一資料になるものと思ひ、ここに諸賢のご批判を仰ぐ次第である。

*水産大学校（下関市吉見永田本町1944）

2. 算定式およびそのノモグラム

定常旋回中の旋回半径を $R(m)$, 回転角速度を m (rad./sec.), 周速度を v_1 (m/sec) とすると周知のように次の簡単な式が成立する。

$$R = \frac{v_1}{m} \dots\dots\dots (1)$$

上式で

$$R = \frac{D}{2} \dots\dots D : \text{旋回直径}$$

$$v_1 = k v_0 \dots\dots \text{ただし } v_0 : \text{直進中の速力}$$

$$k : \text{旋回中と直進中との速力比}$$

とおき, さらにこの式を船の長さ L に対する無次元の形式で表わすと

$$\frac{D}{L} = \frac{1.03}{m'} \frac{k V_0'}{\sqrt{L}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{ただし } V_0' = V_0 / \sqrt{L} \quad (\text{knot, m単位})$$

$$m' = m \sqrt{L}$$

NOMOGRAM FOR FINDING THE FINAL DIAMETER OF A TURNING CIRCLE

Formulae

$$\frac{D}{L} = \frac{1.03 k V_0'}{m'} \dots\dots \text{Ratio of Final Dia. to Ship's Length}$$

$$k = 1 - 0.8 C_b \frac{A}{Ld} \alpha + 4.5 \left(\frac{t}{L} \right) \dots\dots \text{Speed Decreasing Ratio}$$

$$m' = (0.46 V_0' - 0.36) \sin \alpha + 0.11$$

$$= m \sqrt{L} \dots\dots m : \text{Angular Velocity in Steady Turning (rad./sec.)}$$

Symbols

D : Final Diameter (m)

L : Length between P.P. (m)

$V_0' = V_0 / \sqrt{L}$ Initial Speed Length Ratio (knot, m)

$C_b = W / (1.025 L B d)$ Block Coefficient

W : Displacement (t)

B : Breadth (m)

d : Mean Draft (m)

A : Rudder Area (m²)

t : Trim (m)

α : Helm Angle (degree)

Example

第 1 図

次に(2)式の k および m' の値として, さきに著者が求めた次の実験式〔2〕を用いる

$$k = 1 - 0.8 C_b \cdot \frac{A}{Ld} \cdot \alpha + 4.5 \left(\frac{t}{L} \right) \dots\dots\dots (3)$$

$$m' = (0.46V_0' - 0.36)\sin\alpha + 0.11 \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし C_b : 方形係数

A : 実際の舵面積 (m^2) ..... 平均喫水線下

d : 平均喫水 (m)

t : トリム (m)   船尾トリム (+)

船首トリム (-)

α : 実際舵角 (度)

(2), (3), (4)式を組み合わせ、舵面積比 $\frac{A}{Ld}$, 舵角 α , 方形係数 C_b , トリム比 $\frac{t}{L}$, 速度比 V_0' および定常旋回直径比 $\frac{D}{L}$ の6変数に対するノモグラムを作製したものが第1図である。

3. ノモグラムの使用法およびその応用

3.1 使用法

第1図のノモグラムを用いるためには前に述べた5個の要因が必要であつて、このためには与えられた船について次の値を知る必要がある。

a) 船首, 船尾の喫水

これによつて平均喫水 d およびトリム比 t/L を求めることができ、また排水量等の曲線図からこの d に対する方形係数 C_b を読みとるか、または次の式で計算する。

$$C_b = \frac{W}{1.025LBd}$$

b) 直進中の速力

転舵前の前進速力 V_0 (knot) を知つて、その速度長さ比 $V_0' = V_0/\sqrt{L}$ を計算する。

c) 舵面積および舵角

喫水線下の実舵面積を知つて、その舵面積比 A/Ld を計算する。

舵角は舵頭における実際値が望ましい。

以上の諸因数を基とし、次の順序でノモグラム上の D/L の値を読みとる。

i) 図の左端の A/Ld 尺度上に必要な値を求め、その点と α 尺度上の所要舵角に対する点を結び、これを延長して補助尺 (I) で交わせ、次にはこの点と C_b 尺度上の所要値とを結び、補助尺 (II) で交わせる。

同様に (II) 尺上の点と t/L 尺度上の必要値とを結び、 k 尺度上の交点を求めると、この値が速力減少比である。さらに k 尺上の点と V_0' 尺度上の所要値を結んで、補助尺 (III) の点を求めておく。

ii) 右端の V_0' 尺より始めて左方へ前と同じ操作を行い m' 尺上の点を求めると、この値が旋回中の角速度係数である。

iii) 次に i) で求めた (III) 尺上の点と ii) で求めた m' 尺上の点を結び、 D/L 尺度上の交点を読みとれば、これが求める定常旋回直径比の値である。

3.2 応用

3.2.1 旋回径および旋回縦距

上によつて定常旋回直径 D が求まると、次の関係によつて旋回径 D_T のだいたいの値を知ることができる。

$$D/D_T = 0.8 \sim 0.9$$

旋回縦距 D_A については、船型のほか、風、波浪などの自然条件を受けやすいので判定が困難であるが、 D との関係は第2図〔3〕のような傾向にあるから、これによって概略値がわかる。

第 2 図

算することができ、したがって転舵始めからの時間、たとえば180°旋回所要時間 t_π' は

$$t_\pi' = t_0' + \frac{\pi}{m'}$$

ただし t_0' は操舵所要時間 t_0 を無次元形式で表わしたもので、近似的には次式〔2〕で計算できる。

$$t_0' = (1.8 - 0.05\sqrt{L}) \frac{\alpha}{35}$$

3.2.3 定常旋回中の速度

ノモグラムより k の値を読みとれば次式で定常旋回中の速度 V_1 (knot) を知ることができる。

$$V_1 = kV_0$$

3.2.4 定常旋角中の傾斜角

上によつて D および V_1 を知れば、周知のように次の実用算式から旋回中の横傾斜角 ϕ が計算できる。

$$\tan \phi = \frac{(0.515V_1)^2 BG}{g \cdot R \cdot GM}$$

4. 算定値と実測値との比較

船体の形状、大きさおよび舵角、船速などを異にした数隻の船を例にとつて、定常旋回直径と180°旋回時間に対し、その実測値と算定値とを次表に比較して結びとする。(ただし実測の定常旋回円は旋回圏図によつて近似的に求めたもので、舵角、旋回時間とともに左右の平均値である)

表の算定例でも知られるように、このノモグラムの尺度(補助尺を含めて)で算定できる範囲では、実測値との誤差は大きくとも20%程度以内である。

3.2.2 旋回時間

角速度の関係より

$$m' = \frac{d\theta}{dt'} \cdots \cdots \text{ただし } t' = \frac{t}{\sqrt{L}}$$

θ : 旋回角

t : 旋回時間

ところが旋回中の角速度は転舵終了後は一定と仮定〔4〕したので

$$m' = \frac{\theta}{t'} \quad \therefore t' = \frac{\theta}{m'}$$

ノモグラムによつて m' の値を求めると

上の関係から転舵後の旋回時間を簡単に計

船種 項目	貨物船 ^[5]		航海練習船 進徳丸		漁業練習船 耕洋丸		捕鯨船 第8文丸		かつお、 まぐろ漁船 第6日之出丸	
$L_{p.p.}$	128.11m		90.0		64.9		45.5		29.8	
W	5960.0 t		3035.0		1205.0		660.7		184.6	
d	3.833m		4.01		3.148		3.587		1.795	
C_b	0.665		0.563		0.515		0.520		0.560	
t/L	0.023		0.011		0.043		0.034		0.053	
α	35°		45		36.5		34		15	
V_0	12.0kt		12.0		14.8		16.0		9.4	
V_0'	1.063		1.27		1.84		2.37		1.71	
A/Ld	1/36.3		1/48.5		1/27.8		1/24.3		1/22	
m'	実測	算定	実測	算定	実測	算定	実測	算定	実測	算定
		0.200		0.292		0.398		0.513		0.222
k		0.593		0.635		0.662		0.585		0.926
t_0		12.8''		16.1	12.1	11.8		9.9		3.6
t_π	183.2''	181.0''	145.2	118.5	84.0	75.5	46.5	50.8	87.0	81.0
D/L	3.48	3.23	3.20	2.88	3.53	3.15	2.26	2.80	6.44	7.3

参考文献

- [1] 杉原喜義：旋回圏の算定式について（第2報 模型実験による算定係数）日本航海学会誌第18号 昭和33年6月
- [2] 杉原，橋本： "（第3報 実船に対する実用算定式） " 第21号 昭和34年9月
- [3] 造船協会：改訂船舶工学便覧（第1分冊） P. 693
- [4] 杉原喜義：旋回圏の算定式について 日本航海学会誌第16号 昭和32年6月
- [5] 大串雅信：理論船舶工学（下巻） P. 250