

平行導標線을 利用한 旋回圈의 實船試驗

孫 景 浩

Full-scale Test of Turning Circle Employing Two Parallel Alignment Lines

Son Kyoung-Ho

目 次	
1. 序 論	3.1 試驗船 한바다호의 概要
2. 計算方法	3.2 試驗의 概況
2.1 測定의 原理	4. 試驗結果에 對한 考察
2.2 바람과 潮流의 影響	5. 結 論
2.3 回頭角速度 및 位相角	參考文獻
2.4 偏角 및 旋回半徑	附 錄
3. 實船試驗	

Abstract

This paper reports a new test method of ship's turning circle employing two parallel alignment lines, or transit lines in nautical terms.

Taking only two series of data, namely time points of transits with a stop watch and ship's headings with a gyro-compass, while the actual ship being under steady turning motion, we can determine turning characteristics: angular velocity, turning radius, tangent speed, drift angle, reach and advance, all of which are necessary for analyzing the ship's turning motion or maneuvering performance.

This test method of turning circle has several advantages as follows. It is easier than conventional methods to carry out full-scale experiments and we do not have to draw figures.

The author carried out full-scale experiments with the 3500 GT type training ship of Korea Merchant Marine College, M. V. "HANBADA" and determined all characteristics mentioned above analyzing the results of experiments.

1. 序 論

實船의 旋回運動이나 操縱性能을 解析하는 데는 運動方程式中的 旋回角速度, 接線速力 등 여러가지 特性值가 必要하게 된다. 實際로 船舶을 操縱하는 立場에서 볼 때 操縱性能의 評價에는 다음의 3가지 性能을 必要로 한다. 즉

- ① 針路保持性能
- ② 針路變更性能
- ③ 緊急回避性能

이들 各各의 性能을 把握하기 爲해서는 그 目的에 適合한 試驗을 行하여야 한다.

操縱性에 關한 研究의 初期段階에서는 旋回試驗의 結果만을 가지고 操縱性能을 評價했었으나 1960年頃부터 Kempf氏가 Z-操縱試驗의 結果를 解析하여 操縱性指數를 定義함으로써 그 性能을 더욱 明確히 表現할 수 있었다. 또 方向安定性を 判別하는 데는 Spiral 試驗이 提案되었고 最近에는 方向安定성이 좋지 못한 船型에 對해서도 容易하게 實施할 수 있는 逆 Spiral 試驗, 變形Z-操縱試驗 등도 行하여 지고 있다.

本論文에서는 쉽게 測定이 可能하고, 船體周邊의 伴波의 影響을 받지 않으며, 作圖의 必要性이 없는 平行導標線(平行重視線)에 依한 旋回試驗法을 紹介하고 韓國海洋大學 練習船 한바다호를 利用하여 試驗을 實施하였다. 즉 試驗船 한바다호의 船橋에서 地上物標의 重視線을 觀測하여 施回中の 航跡를 幾何學的으로 解析하고 最小自乘法을 써서 角速度, 施回半徑, 接線速力, 偏角, Reach 및 Advance 등 操縱性能을 解析하는 데 必要한 諸特性值를 算出하였으며 그 結果를 分析 考察하였다.

2. 計算方法

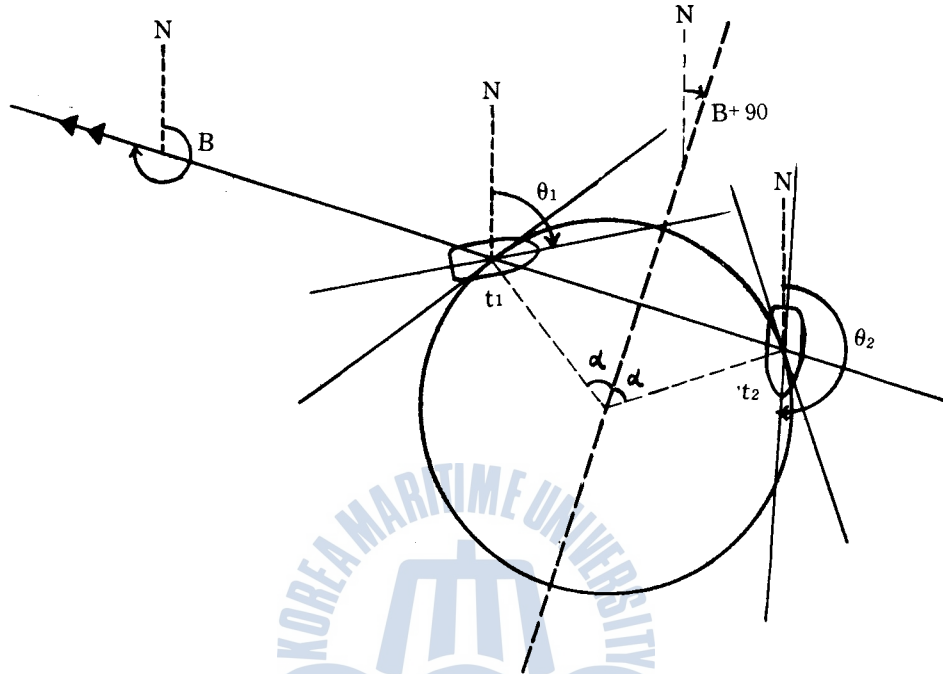
2.1 測定の原理

〈그림 1〉과 같이 두개의 物標 ▲▲, 즉 重視線의 眞方位를 B라 하고 船舶의 定常施回圈이 이 重視線과 만나는 時刻을 t_1, t_2 , 그 때의 船首方位를 θ_1, θ_2 라 한다. 바람과 潮流의 影響을 無視하면 時刻 t_1, t_2 에서의 旋回圈의 接線方位는 $B+90-\alpha+90$ 및 $B+90+\alpha+90$ 이고 그 平均은 $B\pm 180$ 이 된다. 따라서 船上觀測者位置에서의 偏角을 β_0 라 하면 β_0 는 다음의 (1)式으로 주어진다.

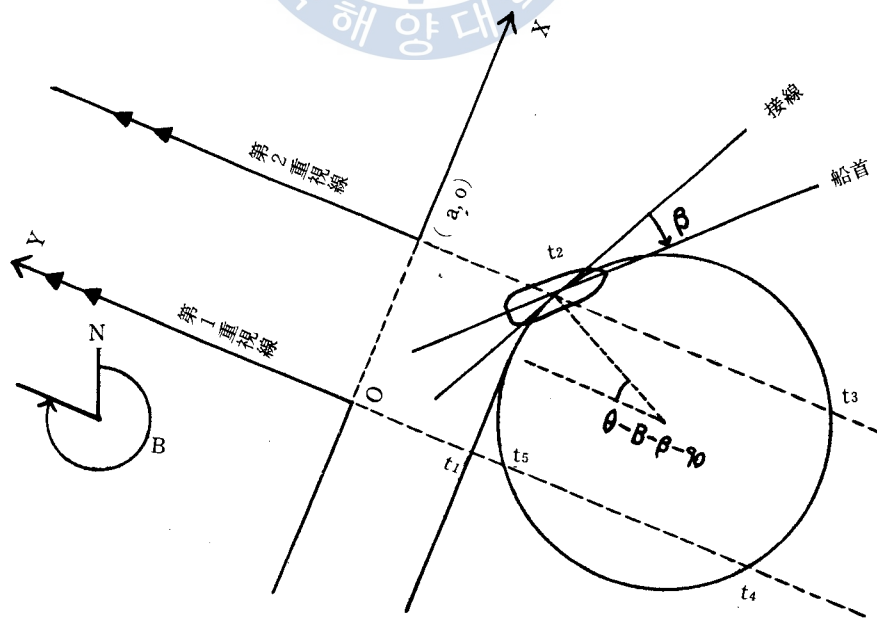
$$\beta_0 = \frac{(\theta_1 + \theta_2)}{2} - (B \pm 180) \dots \dots \dots (1)$$

2.2 바람과 潮流의 影響

海上에서 實船試驗을 할 경우에는 바람과 潮流의 影響을 避할 수는 없다. 本試驗法에서는 時刻과 方位角과 重視線間의 距離가 測定되는데 이들로부터 바람과 潮流의 影響을 單獨으로 決定하여 除去할 수는 없다. 따라서 바람이나 潮流의 影響으로 因한 偏流는 旋回試驗中 場所, 時刻



<그림 1>



<그림 2>

에 關係없이 一定하다고 假定하고 計算에 依해서 分離될 수 있도록 試驗式을 만들어 놓는다. 또 바람에 依한 回頭모멘트는 一旋回中에 平均하면 0이 된다고 假定하고 試驗式에는 考慮하지 않는다.

〈그림 2〉와 같이 第1重視線을 Y軸으로 取하고 이것과 直角으로 X軸을 取한다. Y軸을 基準으로 하여 船首까지 眞角, 즉 船舶의 回頭角을 φ_i 라 하면

$$\varphi_i = \theta_i - B \dots\dots\dots (2)$$

여기서 i 는 測定番號, θ 는 船首方位, B 는 重視線의 眞方位

한편 定常旋回中の 回頭角은 時間에 對해서 直線으로 表示되므로

$$\varphi_i = \omega t_i + \phi \dots\dots\dots (3)$$

여기서 ω 는 回頭角速度, ϕ 는 位相角

또 旋回圈의 接線方位는 $\theta_i - \beta$ 이고 Y軸, 즉 基準方位로부터의 回頭角으로 表示하면 $\varphi_i - \beta$ 이다. 潮流에 依한 X方向의 偏流의 速度成分을 u 라 하면 旋回中の 航跡의 X座標는 다음의 (4)式으로 주어진다.

$$X_i = \bar{X}_0 + ut_i - R \cos(\varphi_i - \beta) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 \bar{X}_0 는 $t_i = 0$ 인 때의 旋回中心의 X座標, R 는 旋回半徑

2.3 回頭角速度 및 位相角

θ_i 의 測定에는 誤差가 包含되어 있다고 看做하고 그 誤差를 ϵ_i 로 表示하면 (3)式으로부터

$$\epsilon_i = \varphi_i - (\omega t_i + \phi) \quad (i = m, m+1, \dots, n-1, n)$$

여기서 m 는 定常旋回에 들어간 最初의 測定番號, n 는 最後의 測定番號

ω, ϕ 를 最小自乘法(least square method)으로 풀이하면

$$\sum \epsilon_i^2 = \sum (\varphi_i - \omega t_i - \phi)^2$$

$$\frac{\partial}{\partial \omega} \sum \epsilon_i^2 = 0, \quad \frac{\partial}{\partial \phi} \sum \epsilon_i^2 = 0$$

따라서 上式을 풀이한 最終方程式은

$$\left. \begin{aligned} \omega \sum t_i^2 + \phi \sum t_i &= \sum \varphi_i t_i \\ \omega \sum t_i + \phi (n - m + 1) &= \sum \varphi_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

2.4 偏角 및 旋回半徑

定常旋回中の 試驗船上 觀測者位置에서의 偏角 및 旋回半徑을 各各 β_0, R_0 라 하면 (4)式으로부터

$$X_i = \bar{X}_0 + ut_i - R_0 \cos(\varphi_i - \beta_0)$$

上式을 線型化하면

$$X_i = \bar{X}_0 + ut_i - R_0 \cos \beta_0 \cos \varphi_i - R_0 \sin \beta_0 \sin \varphi_i \dots\dots\dots (6)$$

(6)式에서 測定值 X_i 에는 誤差가 包含되어 있다고 看做하고 最小自乘法에 依해서 $\bar{X}_0, u, R_0 \cos \beta_0, R_0 \sin \beta_0$ 를 決定한다. (6)式을 最小自乘法으로 풀이한 最終方程式은

$$\begin{pmatrix} (n-m+1) & \sum t_i & \sum \cos\varphi_i & \sum \sin\varphi_i \\ \sum t_i & \sum t_i^2 & \sum t_i \cos\varphi_i & \sum t_i \sin\varphi_i \\ \sum \cos\varphi_i & \sum t_i \cos\varphi_i & \sum \cos^2\varphi_i & \frac{1}{2} \sum \sin 2\varphi_i \\ \sum \sin\varphi_i & \sum t_i \sin\varphi_i & \frac{1}{2} \sum \sin 2\varphi_i & \sum \sin^2\varphi_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{x}_o \\ u \\ -R_o \cos\beta_o \\ -R_o \sin\beta_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum X_i \\ \sum t_i X_i \\ \sum X_i \cos\varphi_i \\ \sum X_i \sin\varphi_i \end{pmatrix} \dots\dots (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \beta_o &= \tan^{-1}(R_o \sin\beta_o / R_o \cos\beta_o) \\ R_o &= \sqrt{(R_o \sin\beta_o)^2 + (R_o \cos\beta_o)^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

旋回中の 接線速度를 V라 하면

$$V = R_o \omega \pi / 180 \dots\dots\dots (9)$$

3. 實船試驗

3.1 試驗船 한바다호의 概要

한바다호의 要目은 <표 1>과 같다.

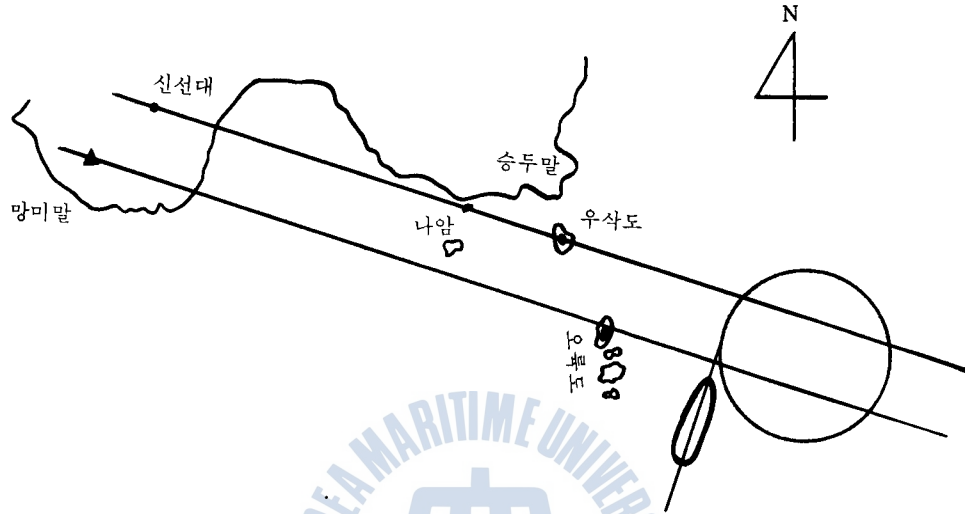
<표 1> 한바다호의 要目

Kind of ship	Training ship
Length(L. O. A.)	99.8m
Breadth(Mld.)	14.5m
Depth(to Shelter deck)	9.5m
Full load draught	5.2m
Full load displacement	4230.35 t
Dead weight	2169.15 t
Gross tonnage	3491.77 t
Net tonnage	1515.78 t
Main engine	Diesel 3800 H. P. (230 rpm)
Max. speed at sea trial	16.556 kt
Rudder type	Stream lined ballanced
Rudder area	9.31m ²
Area ratio	1/49.3

3.2 試驗의 概況

試驗時의 狀態는 <표 2>와 같고 平行導線으로 選定한 陸上物標 및 試驗場所의 概略圖는 <그림 3>과 같다.

試驗은 平行導線에 直角으로 進入하여 第1重視線을 通過時에 轉舵命令을 내리고 同時에 Stop watch를 作動시킨다. 곧이어서 船舶이 旋回하면 계속해서 重視線을 通過할 때마다 그 순간의 船首方位와 時刻을 記錄해 나간다. 本試驗에서는 右旋回(+×進入) 및 左旋回(-×速入) 各各 舵角 35°, 20°, 8°, 인 경우를 試驗했으며 旋回는 各 3回씩 行하였다.



〈그림 3〉 平行導標線과 試驗場所

〈표 2〉 試驗時的 狀態

年 月 日	1976. 9. 15
海 域	釜山港入口 (Lat 35°-05'N, Long 128°-08'E)
水 深	45m
風 向	NE
風 力	3 (Beaufort Scale)
平行導標線間距離	315m
平行導標線의 方位	286°.5
進入速度	7m/sec(rpm180)
進入方向	±×進入(重視線에 直角)
吃 水	F 3m-10cm, A 4m-30cm
觀測位置	船橋
排 水 量	2,900 t

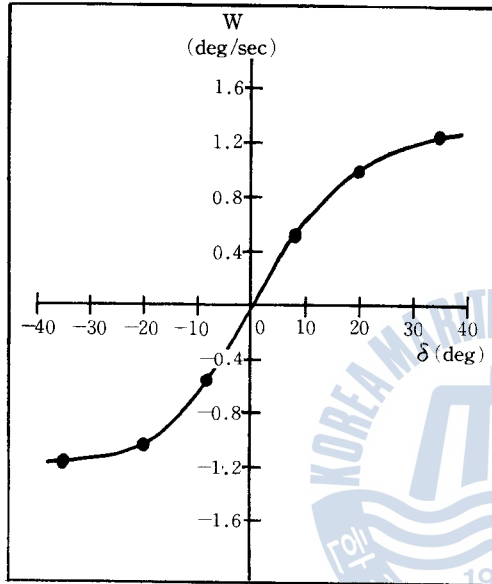
4. 試驗結果에 對한 考察

試驗에 依해서 얻은 資料(附錄參照), 즉 船首方位(θ) 및 時刻(t)을 式(5), (7), (8), (9)에 代入하여 方程式을 풀이하면 必要한 諸特性值를 求할 수 있다.

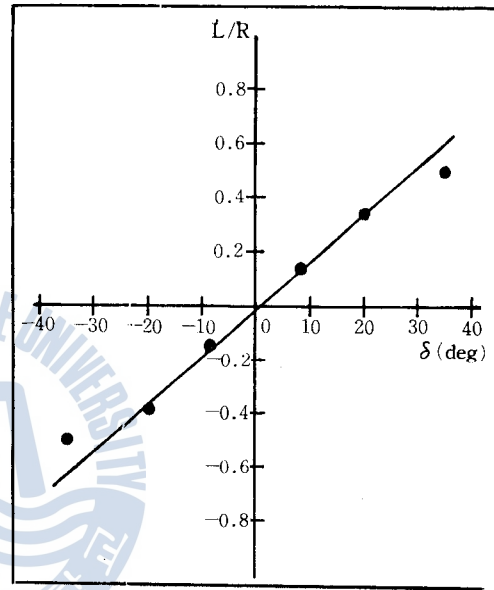
〈그림 4〉는 船橋에서의 回頭角速度 (ω)와 舵角(δ)와의 關係를 表示하고 있다. 이 關係는 Z-

試驗結果로도 알 수 있으나 左右舵角에 對한 非對稱을 檢出하는 데는 旋回試驗이 더 明確하다.

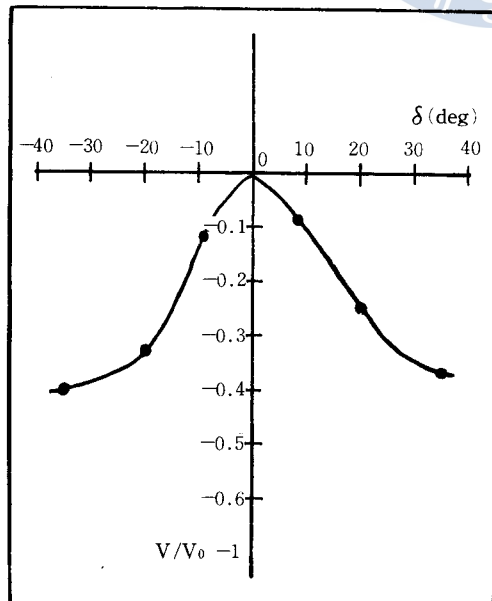
〈그림 5〉는 船橋에서의 旋回半徑과 舵角과의 關係를 表示하고 있다. 여기서 L 는 船體의 길이를 나타낸다. 이 graph에서도 左右舵角에 對한 非對稱이 조금 나타나고 있다. 그리고 舵角 35° 인 경우 한바다호의 公試運轉時의 結果値와 差異가 나는 것은 進入速力 및 旋回回數가 다른 理由일 것이다.



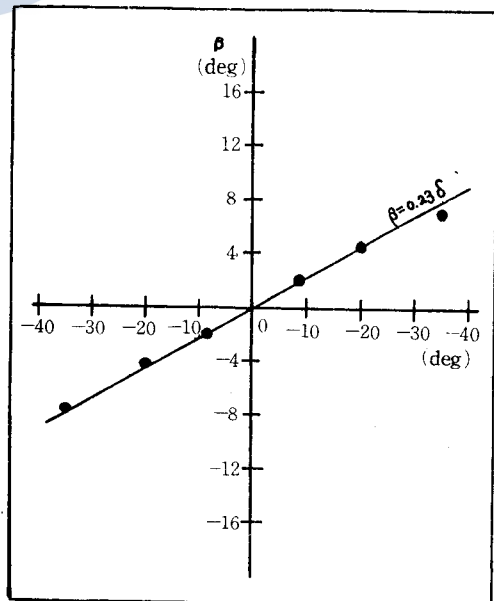
〈그림 4〉 舵角對回頭角速度



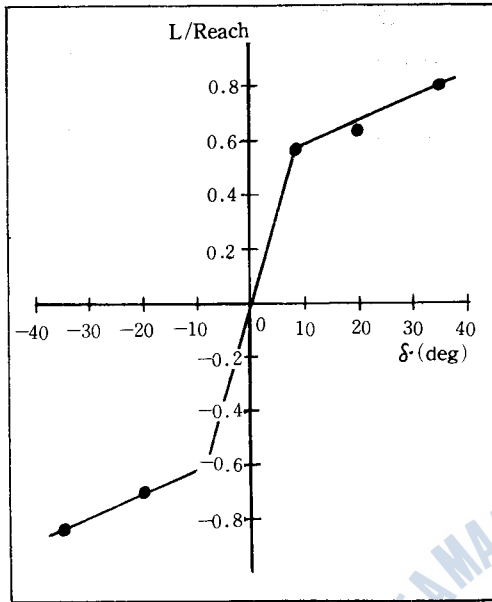
〈그림 5〉 舵角對旋回半徑



〈그림 6〉 舵角對速力低下



〈그림 7〉 舵角對偏角



〈그림 8〉 舵角對 Reach

本論文에서 紹介한 計算方法 및 한바다호 實船 試驗을 通해서 定常旋回中の 偏角, 角速度, 旋回 半徑, Reach 및 接線速力 等 諸特性值를 算出할 수 있었고 舵角의 變化에 對한 이들 값의 變化 量을 比較 檢討 할 수 있었다.

한바다호의 試驗結果를 要約하면 左右舵角에 對한 比對稱影響은 조금밖에 없으며, 舵効가 좋 고, 偏角(β)과 舵角(δ)은 $\beta=0.23\delta$ 의 比例式이 成立된다.

그리고 앞으로 두개의 重視線만이 아니라 多數의 重視線을 利用하고 Radar 等 다른 航海計器 를 併用하는 試驗方法으로 改良하면 더욱 正確한 값들을 求할 수 있고 定常旋回中の 性能뿐만 아니라 操舵發令直後의 過渡狀態의 測定도 可能하게 될 것으로 믿는다.

參 考 文 獻

- (1) 廣田 實, “新らしい旋回圈試驗法とその實船實驗”, 日本造船學會論文集 第129號, June 1971.
- (2) 藤井 齊, 野本謙作. “操縱性試驗法”, 第2回操縱性シンポジウム, 日本造船學會, Nov. 1970.
- (3) Prof. Dr. S. Motora, “Maneuverability, State of the Art”, 未發表
- (4) 尹点東 著, “船舶運用的 理論과 實務”, 韓國海洋大學海事圖書出版部, 1975.
- (5) 大串雅信 著, “理論船舶工學(下卷)”, 海文堂, 昭和 50年
- (6) 한바다호關係靑寫眞
- (7) 海圖 201番 大韓民國 수로국 발행, 1971년 9월.

〈그림 6〉은 船橋에서 測定된 旋回中の 速力低下 이다. 여기서 V_0 는 進入時의 速力이다. 特記 할 事項은 舵角이 작은 경우라도 速力低下가 顯著함 을 알 수 있다. 이것은 한바다호의 舵効가 좋다는 것을 의미한다.

〈그림 7〉은 船橋에서의 偏角과 舵角과의 關係를 表示하고 있다. 偏角과 舵角은 正比例하며 거의 $\beta=0.23\delta$ 의 直線으로 表示된다.

〈그림 8〉은 船橋에서 測定된 Reach와 舵角과 의 關係를 表示하고 있다. 旋回惰力係數는 1.2~ 1.7 이며 한바다호의 舵効가 좋기 때문에 일적 定 常旋回에 達함을 알 수 있다.

5. 結 論

本論文에서 紹介한 計算方法 및 한바다호 實船 試驗을 通해서 定常旋回中の 偏角, 角速度, 旋回

半徑, Reach 및 接線速力 等 諸特性值를 算出할 수 있었고 舵角의 變化에 對한 이들 값의 變化 量을 比較 檢討 할 수 있었다.

한바다호의 試驗結果를 要約하면 左右舵角에 對한 比對稱影響은 조금밖에 없으며, 舵効가 좋 고, 偏角(β)과 舵角(δ)은 $\beta=0.23\delta$ 의 比例式이 成立된다.

그리고 앞으로 두개의 重視線만이 아니라 多數의 重視線을 利用하고 Radar 等 다른 航海計器 를 併用하는 試驗方法으로 改良하면 더욱 正確한 값들을 求할 수 있고 定常旋回中の 性能뿐만 아니라 操舵發令直後의 過渡狀態의 測定도 可能하게 될 것으로 믿는다.

附 錄

時刻(t), 船首方位(θ) 및 重視線間距離(a)의 測定值

(1) $+ \times$ 進入, 舵角 $\delta = 35^\circ$, 基準方位 $B = 286^\circ.5$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t	0	058.5	089.0	171.5	234.0	334.5	366.5	461.0	510.5	628.5	646.5	752.0	798.5
θ	016.5	095.0	136.0	244.0	324.5	447.5	486.0	609.0	673.0	817.5	841.0	978.0	1037.0
a	0	315	315	0	0	315	315	0	0	315	315	0	0

(2) $+ \times$ 進入, 舵角 $\delta = 20^\circ$, 基準方位 $B = 286^\circ.5$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t	0	051.0	165.5	233.0	329.5	393.5	520.0	586.5	671.0	739.5	874.5	942.0	1010.5
θ	016.5	051.0	171.5	241.0	340.0	403.0	535.0	605.0	692.0	759.5	900.5	972.0	1044.0
a	0	315	315	0	0	315	315	0	0	315	315	0	0

(3) $+ \times$ 進入, 舵角 $\delta = 8^\circ$, 基準方位 $B = 286^\circ.5$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t	0	046.0	315.0	367.0	637.0	707.5	1022.5	1072.5	1311.5	1363.5	1713.0	1771.5	1949.0
θ	016.5	035.0	182.5	210.0	359.5	385.0	555.5	582.5	709.0	737.0	928.0	960.0	1053.0
a	0	315	315	0	0	315	315	0	0	315	315	0	0

(4) $- \times$ 進入, 舵角 $\delta = 35^\circ$, 基準方位 $B = 286^\circ.5$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t	0	078.0	102.0	191.0	278.0	401.0	420.0	502.0	599.0	695.5	715.0	810.5	910.5
θ	196.5	111.5	084.5	-020.5	-123.0	-261.0	-282.0	-378.5	-493.5	-602.5	-624.0	-738.0	-856.5
a	315	0	0	315	315	0	0	315	315	0	0	315	315

(5) \rightarrow 進入, 舵角 $\delta=20^\circ$, 基準方位 $B=286^\circ.5$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t	0	054.0	147.5	212.0	303.0	379.0	479.5	548.0	630.5	707.5	811.0	881.5	960.5
θ	196.5	148.5	049.0	-025.5	-127.5	-207.5	-313.5	-393.5	-485.0	-568.5	-676.5	-757.5	-844.5
a	315	0	0	315	315	0	0	315	315	0	0	315	315

(6) \rightarrow 進入, 舵角 $\delta=8^\circ$, 基準方位 $B=286^\circ.5$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t	0	048.5	304.0	350.5	615.5	668.0	911.0	956.0	1248.0	1303.0	1513.5	1561.0	1888.5
θ	196.5	174.5	-029.0	0	-155.0	-189.5	-324.0	-351.5	-527.0	-557.5	-674.0	-702.0	-898.5
a	315	0	0	315	315	0	0	315	315	0	0	315	315

