

肥大船의 航走中の 姿勢變化와 形狀影響係數에 關하여

洪 性 完*

An Experimental Study on Mean Sinkage and Trim Change in Run, and Form Factor of Full Hull Form

by

Sung-Wan Hong*

Abstract

In order to study the problem on form factor of full hull form, towing test of a full ship model was carried out for different initial trims under both full and half load conditions. The results were fully discussed on the mutual relations among initial trim, mean sinkage and trim change in run, and form factor.

There exists optimum initial trim in regard to form factor.

Mean sinkage and trim change in run can be expressed in a uninominal approximation in the form of $k_i \cdot F_n^{2.2}$. The coefficients of this approximation are related linearly with the initial trim.

Form factor changes according to Froude number. It is considered that the trim change in run is a main reason of the fact.

記 號

- | | | | |
|------------|------------------------------|-----------------|---|
| L_{PP} | : 垂線間 길이 | $i=4 \dots$ | 船體 trim 變化係數 |
| I_{CB} | : 浮心位置(船體中央을 原點, 船首方向을 正) | F_n | : Froude 數 |
| t | : 水槽內의 水溫 ($^{\circ}C$) | R_n | : Reynolds 數 |
| ρ | : 清水의 密度 | $C_T, C_{T(F)}$ | : 自由 guide 를 使用한 抵抗試驗에서 얻은 全抵抗係數 |
| S | : 浸水面積 | $C_{T(H)}$ | : 水平 guide 를 使用한 抵抗試驗에서 얻은 全抵抗係數 |
| V | : 排水量容積 | C_V | : 粘性抵抗係數 |
| U | : 棹의 速力 | C_W | : 造波抵抗係數 |
| D_F, D_A | : 航走中の 船首 및 船尾部の 鉛直變位 | C_{T0} | : C_T 曲線上的 最低 C_T 값 |
| d_i | : 航走中の 棹의 姿勢變化量(% L_{PP}) | F_{n0} | : C_{T0} 點의 R_n 數 |
| | 但, $i=1 \dots$ 船首部の 鉛直變位 | R_{n0} | : C_{T0} 點의 F_n 數 |
| | $i=2 \dots$ 船尾部の 鉛直變位 | C_{FO} | : 對應平板의 摩擦抵抗係數 |
| | $i=3 \dots$ 船體平均沈下量 | K | : 形狀影響係數 |
| | $i=4 \dots$ 船體의 trim變化量 | K_0 | : Hughes의 最低 C_T 點法에 依한 形狀影響係數 |
| d_0 | : 初期 trim (% L_{PP}) | $K_{0(H)}$ | : $C_{T(H)}$ 에서 求한 K_0 |
| k_i | : 航走中の 棹의 姿勢變化係數 | $K_{0(F)}$ | : $C_{T(F)}$ 에서 求한 K_0 |
| | 但, $i=1 \dots$ 船首部の 鉛直變位係數 | n | : C_W 를 F_n 數의 單項近似하였을 棹의 F_n 數의 次數 |
| | $i=2 \dots$ 船尾部の 鉛直變位係數 | | |
| | $i=3 \dots$ 船體平均沈下量係數 | | |

接受日字 1971年 5月 5日.

*正會員, 仁荷工科學

1. 序 論

最近, 船型이 急激히 大型化, 肥大化해가는 世界的 추세에 따라 船體의 形狀影響을 한층더 正確히 規定해야 하는 問題가 큰 關心事 中 하나로 되고있다.

本論에서는 肥大船의 形狀影響係數와 航走中의 배의 姿勢와의 關係를 調査하기 위하여 肥大船의 單獨模型을 여러 初期 trim 狀態에 對하여 水槽試驗을 하고, 이 結果를 考察하였다.

W. Froude가 船型水槽試驗을 시작한 以來 近一世紀 동안, 模型船의 全抵抗에서 實船의 全抵抗을 推定하는 데는 一般的으로 Froude의 方法이 使用되어 왔다. 即 배의 全抵抗을 對應平板의 摩擦抵抗과 剩餘抵抗의 합으로 보고, 여기에 適當한 表面粗度修正量을 考慮해 주면 大過없이 模型實驗에서 實船의 速力性能을 推定할 수 있었다. 그러나 近年에 들어서 船型이 急激히 大型化, 肥大化되어 감에 따라, 推定值가 實船成績보다 커지므로, 實際적으로는 負의 表面粗度修正量을 採用하지 않을수 없는 不合理한 事態가 이어나게 되었고, 粘性抵抗과 模型試驗結果의 外挿法에 關한 再檢討를 촉구하게 되어, 粘性抵抗에 關한 形狀影響, 即 三次元外挿法이라는 思考方法이 생겨나게 되었다. 이것은, 배의 粘性抵抗은 對應平板의 摩擦抵抗을 基本으로 하고, 여기에 船型의 三次元的影響을 加算해야 한다는 것이다. 即 對應平板의 摩擦抵抗의 어떤 定數倍를 形狀影響이라고 보는 方法이고, 이 定數는 船體의 形狀諸要素에 從屬으로 決定되는 것으로서, 이것을 形狀影響係數(form factor)라고 부른다.

이 方法은 近年에 들어서 널리 採用되어왔고, 現在는 거의 定說이 되어졌다고 하여도 過言이 아니다. 水上模型의 水槽試驗을 通하여 三次元外挿法으로 形狀影響係數를 求하는데는 다음 3가지 方法이 있다.

- (1) 抵抗成分 即 粘性抵抗과 造波抵抗의 直接測定에 依한 方法.
- (2) 相似模型群(geosim series)의 抵抗試驗에 依한 方法.
- (3) 單獨模型의 抵抗試驗結果에서 推定하는 方法.

여기에서 (1) 및 (2)는 現在까지 研究用으로 使用되고 있을뿐이고, 實用하기에는 不適當한 方法이다.

(3)은 이가운데서 가장 簡便한 方法이고, 現在 널리 實用되고 있으나, 역시 이나름대로 若干의 不確實한 點을 內包하고있다. 한편, 形狀影響係數는 速力에 따라서 變하는 것이고, 이것의 主原因은 航走中의 배의 姿勢變化라고 말하고 있다[1, 2, 3, 4].

따라서 形狀影響係數와 速力과의 關係를 正確히 알려면, (1)或은 (2)의 方法을 使用해야겠지만, 實用性爲 主로 생각한다면 (3)의 方法만으로 必要한 形狀影響係數를 推定할수 있으면 便利할 것이다.

(3)의 方法中 代表的인 것이 G. Hughes의 方法이다. Hughes의 在來法[5]에서는 造波抵抗係數 $C_w \approx 0$ 로 볼수 있는 低速力域에서 全抵抗係數 C_T 와 對應平板의 摩擦抵抗係數 C_{F0} 의 比로부터 形狀影響係數를 定하게 된다. 그러나 $C_w \approx 0$ 로 볼수 있는 低速域에서는 C_T 의 試驗值가 고르지 못하다.

더욱, 球狀船首(bulbous bow)를 붙인 肥大船은 低 F_n 數域에서도 $C_w \approx 0$ 이 되지 않는 경우도 있으므로 이 方法을 直接 適用하지 못할 때도 있게 된다.

이와 같이 低 F_n 數域을 基準으로 삼아야 하는 點이 Hughes의 在來法의 가장 큰 難點이다.

Hughes의 再提案[6], 最低 C_T 點法에 依하면 이러한 難點은 어느 程度 避할 수 있고, 作業者의 個人差있이 比較的容易하게 形狀影響係數를 決定할수 있다.

그러나, 이러한 方法으로 正確한 形狀影響係數를 決定했다고 하더라도, 이것은 역시 低速域의 것이고, 궁극적으로 要求되는 것은 設計速力附近의 形狀影響係數인 것이다.

本論에서는 위에서 말한 바와 같이 問題點들이 많은 肥大船을 對象으로 하여 船體抵抗과 航走中의 배의 姿勢變化에 關한 水槽試驗을 하고, 이 結果로부터 形狀影響係數와 初期 trim 과의 關係를 考察하였고, 한편 形狀影響係數와 F_n 數와의 關係를 單獨模型의 抵抗試驗만으로 調査한다는 것은 原理上 無理지만, trim 단을 拘束할수 있는 水平 guide 와 一般的으로 使用되는 自由 guide 와의 兩者를 使用한 抵抗試驗結果를 組合함으로써 航走中의 배의 姿勢變化와 形狀影響係數와의 關係도 함께 考察하였다.

2. 實 驗

肥大船의 航走中의 姿勢變化를 調査하고, 이것과 形狀影響係數와의 關係를 究明할 目的으로 單獨供試模型을 數種의 初期 trim 에 對하여 自由 guide 와 水平 guide 와의 2種의 guide 를 써서 抵抗試驗을 하였고, 抵抗試驗時 배의 姿勢變化等의 諸資料들도 同時에 計測 或은 撮影하여 解析資料로 活用할 수 있게 하였다.

試驗은 東京大學船型試驗水槽의 諸般施設을 使用하여 遂行하였다.

Table 1 Particulars of M.S. 80×NB

Model No.	M.S. 80×NB	M.S. 80×NB
No. of Screw	Single	Single
Condition	Full Load	50% Load
L_{PP}	2.800 m	2.800 m
L_{WL}	2.856 m	
B	0.5091 m	0.5091 m
D	0.1664 m	0.867 m
T	0.1664 m	0.867 m
V	0.18989 m ³	0.94945 m ³
S	1.9825 m ²	1.5110 m ²
C_p	0.806	0.806
C_b	0.802	0.768
C_m	0.995	0.995
L_{CB}	2.232 %	3.050 %
L_{PP}/B	5.5	5.5

2·1. 抵抗試驗

供試模型 :

肥大船研究用船型中의 1種인 方形肥曆係數 $C_b=0.80$ 인 船型을 供試模型으로 選定하고, 球狀船首의 影響에 依한 複雜性을 避하기 爲해 球狀船首를 부치지 않은 原型을 採用하였다. 이 船型을 M.S. 80×NB라 부르기로 한다. 이 模型의 主要目을 Table 1에 表示하였다.

試驗狀態 :

實驗은 滿載와 50%輕荷兩狀態에 對하여 初期 trim 狀態를 바꾸어서 施實했으며, 各狀態에 對하여 surging, heaving 및 trim 이 自由로운 自由 guide 와 trim 만을 拘束한 水平 guide 와의 2種의 guide 를 併用하여 Table 2에 表示한 바와 같은 狀態에 對해 抵抗試驗을 實施하였다.

亂流促進法 :

T. Tagori [7]의 方法에 따라서 다음과 같은 plate stud를 採用하였다.

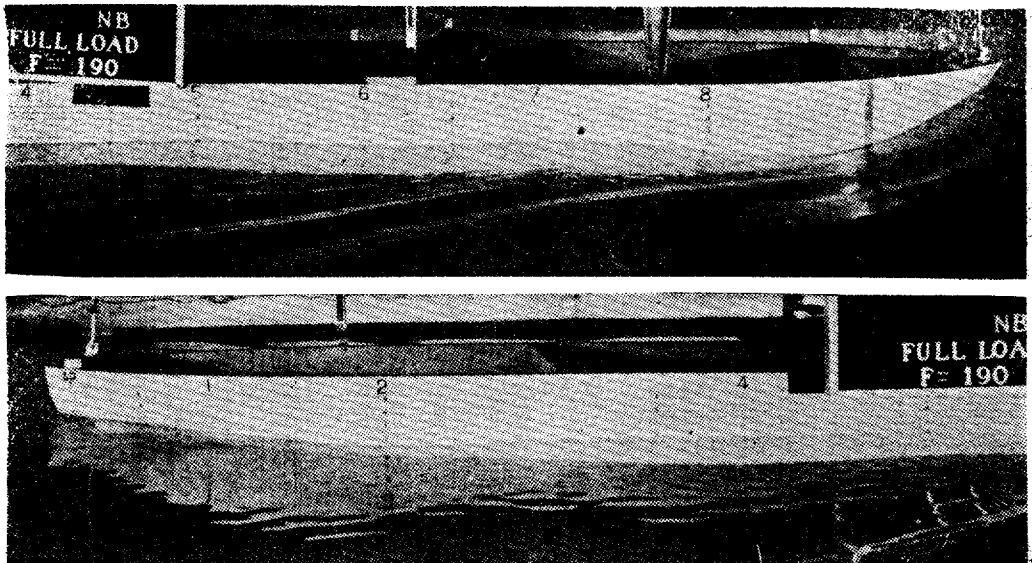


Fig. 1 Photographs of Wave Profile

取附位置 : 9 1/2 Station 에 1列

斷 面 : 2.3~2.5 mm × 1.5 mm × 1.5 mm 의 梯形

높 이 : 1.2mm

간 격 : 10.0mm

Table 2 Conditions of Experiment (M.S.80×NB)

1st Experiment (by free guide)								
Cond (% VF)	trim (%LPP)	Draft (m)			Dispt. F(m ³)	W.S. Area S(m ²)	W. Temp °C	Date
		A.P.	M.S.	F.P.				
Full	0		0.1664		0.18989	1.9825	21.5	68. 6.18
"	0		"		"	"	21.4	" 6.19
"	1.0	0.1527	0.1667	0.1807	"	1.9807	22.2	" 7.12
"	2.0	0.1384	0.1664	0.1944	"	1.9735	22.4	" 7.13
"	-1.0	0.1808	0.1668	0.1528	"	1.9908	21.9	" 7. 9
"	-2.0	0.1946	0.1666	0.1386	"	1.9735	22.3	" 7.10
"	-3.0	0.2086	0.1665	0.1245	"	2.0001	23.6	" 7.11
50%	0		0.0867		0.09495	1.5110	21.1	68. 7. 3
"	1.0	0.0722	0.0862	0.1002	0.09495	1.5039	21.0	" 7. 4
"	2.0	0.0571	0.0851	1.1131	"	1.4973	21.5	" 7. 5
"	-0.5	0.0951	0.0881	0.0811	"	1.5133	20.8	" 6.26
"	-1.5	0.1080	0.0870	0.0660	"	1.4833	20.6	" 6.20
"	-1.5	"	"	"	"	"	20.7	" 6.21
"	-2.5	0.1228	0.0878	0.0528	"	1.5237	20.7	" 6.24
"	-2.5	"	"	"	"	"	21.8	" 6.25
2nd Experiment (by horizontal guide)								
Full	1.0	0.1527	0.1667	0.1807	0.18989	1.7807	9.4	69. 1. 9
"	0.5	0.1598	0.1668	0.1938	"	1.9816	9.8	" 1.10
"	0		0.1664		"	1.9825	13.5	" 12.27
"	-1.0	0.1808	0.1668	0.1528	"	1.9908	9.5	" 1.13
"	-2.0	0.1946	0.1666	0.1386	"	1.9970	9.3	" 1. 4
50%	0		0.0867		0.09495	1.5110	14.6	68.12.19
"	-0.5	0.0942	0.0872	0.0802	"	1.5133	13.8	" 12.20
"	-1.0	0.1015	0.0875	0.0735	"	1.5148	14.0	" 12.23
"	-1.5	0.1093	0.0883	0.0673	"	1.5206	13.8	" 12.24
3rd Experiment (by free guide)								
Full	2.0	0.1384	0.1664	0.1944	0.18989	1.9735	11.5	69. 3.31
"	1.0	0.1527	0.1667	0.1807	"	1.9807	12.8	" 3.28
"	0		0.1664		"	1.9825	12.4	" 3.27
"	-1.0	0.1808	0.1668	0.1528	"	1.9908	10.2	" 3.25
"	-2.0	0.1949	0.1666	0.1386	"	1.9735	11.9	" 3.26

2.2. 船側波形

廣角렌즈의 카메라 2臺를 曳引電車の 下部側面에 裝置하여 船側波形을 撮影하고, Fig. 1에 例示한 바와같이 隻當 2枚의 사진으로 波形을 解析하였다.

2.3. 航走中の 姿勢變化量

船首와 船尾部 두곳에 姿勢測定機를 取附하여 曳引中の 船首 및 船尾部的 鉛直變位量 D_F 및 D_A 를 計測하고, 이것으로부터 船體平均沈下量과 trim 變化量을 얻었다.

2.4. 實驗結果의 解析法

2.4.1. 姿勢變化量 및 抵抗係數

航走中の 배의 諸姿勢變化量은 배의 길이 L_{PP} 로 無次元化하여 다음과 같이 定義한다.

船首尾의 鉛直變位 : $d_1 = \frac{D_F}{L_{PP}} \times 100, d_2 = \frac{D_A}{L_{PP}} \times 100$ (1)

但, 沈下를 正, 浮上을 負로 한다.

船體平均沈下量 : $d_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{D_F + D_A}{L_{PP}} \right) \times 100 = \frac{1}{2} (d_1 + d_2)$ (2)

Trim 變化量 : $d_4 = \frac{D_F - D_A}{L_{PP}} \times 100 = d_1 - d_2$ (3)

抵抗係數 : $C_T = R_T / \frac{1}{2} \rho S U^2$ (4)

摩擦抵抗係數 : Shoenherr 式 或은 이의 近似式을 使用하였다.

$\frac{0.242}{\sqrt{C_{FO}}} = \log(R_n \cdot C_{FO})$ (5.1)

FULL LOAD CONDITION, BY FREE GUIDE									
MODEL SHIP	DATE	TP/M (% Lpp)	DRAFT (m)			DISPT. V (m³)	WETTED S.A S (m²)	WATER TEMP C	MARKS
			A.P.	M.S.	F.P.				
M.S. 80xNB	68.7.13	2.0	0.1384	0.1664	0.1944	0.18989	1.9735	22.4	▽
"	68.7.12	1.0	0.1327	0.1667	0.1801	"	1.9807	22.2	⊙
"	68.7.9	-1.0	0.1808	0.1668	0.1528	"	1.9808	21.9	○
"	68.7.10	-2.0	0.1946	0.1666	0.1386	"	1.9735	22.3	△
"	68.7.11	-3.0	0.2085	0.1665	0.1245	"	2.0001	22.6	□
"	68.6.18	0	0.1664			0.18989	1.9825	21.5	*

$d_i = k_i \cdot F_n^{2.2}$

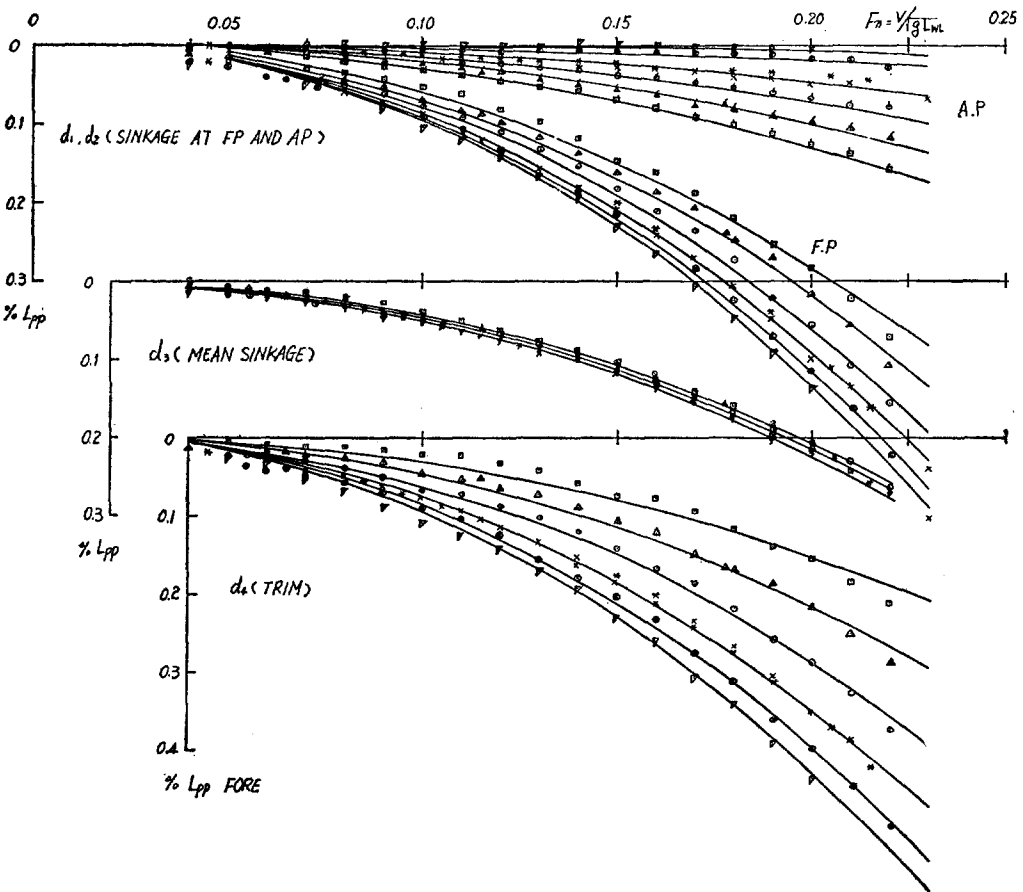


Fig. 2.1 Mean Sinkage and Trim Change (Full Load Condition)

或은 $C_{FO} = 0.4631 (\log R_n)^{-2.6}$, (近似式) (5.2)

2.4.2. 形狀影響係數의 決定法

形狀影響係數는 Hughes 의 最低 C_T 點法 [6]에 依하여 決定하되 文獻 [9]에 따라서 滿載狀態에는 $n=6$, 輕荷狀態에는 $n=4$ 를 適用하였다.

形狀影響係數값은 對應平板摩擦係數式에 따라서 變化하게 되지만, 本論에서는 Hughes 式과 같은 形式으로 變形시킨 Shoenherr 式의 近似式인 (5.2)式을 使用하였다.

50% LOAD CONDITION, BY FREE GUIDE									
MODEL SHIP	DATE	TRIM (% Lpp)	DRAFT (M)			DISPT V (M ³)	WETTED SA S (M ²)	WATER TEMP. C	MARKS
			A.P.	M.S.	F.P.				
M.S. BOXNB	6.8.7.3	0	0.0722	0.0887	0.0945	1.5110	21.1	X	
"	6.8.7.4	1.0	0.0722	0.0882	0.1002	1.5030	21.0	●	
"	6.8.7.5	2.0	0.0570	0.0851	0.1131	1.4973	21.5	▽	
"	6.8.6.26	-0.5	0.0951	0.0881	0.0811	1.5133	20.8	○	
"	6.8.6.20	-1.5	0.108	0.087	0.066	1.4833	20.6	△	
"	6.8.6.24	-2.5	0.1228	0.0878	0.0538	1.5237	20.7	□	

$d_i = k_i F_n^{1.2}$

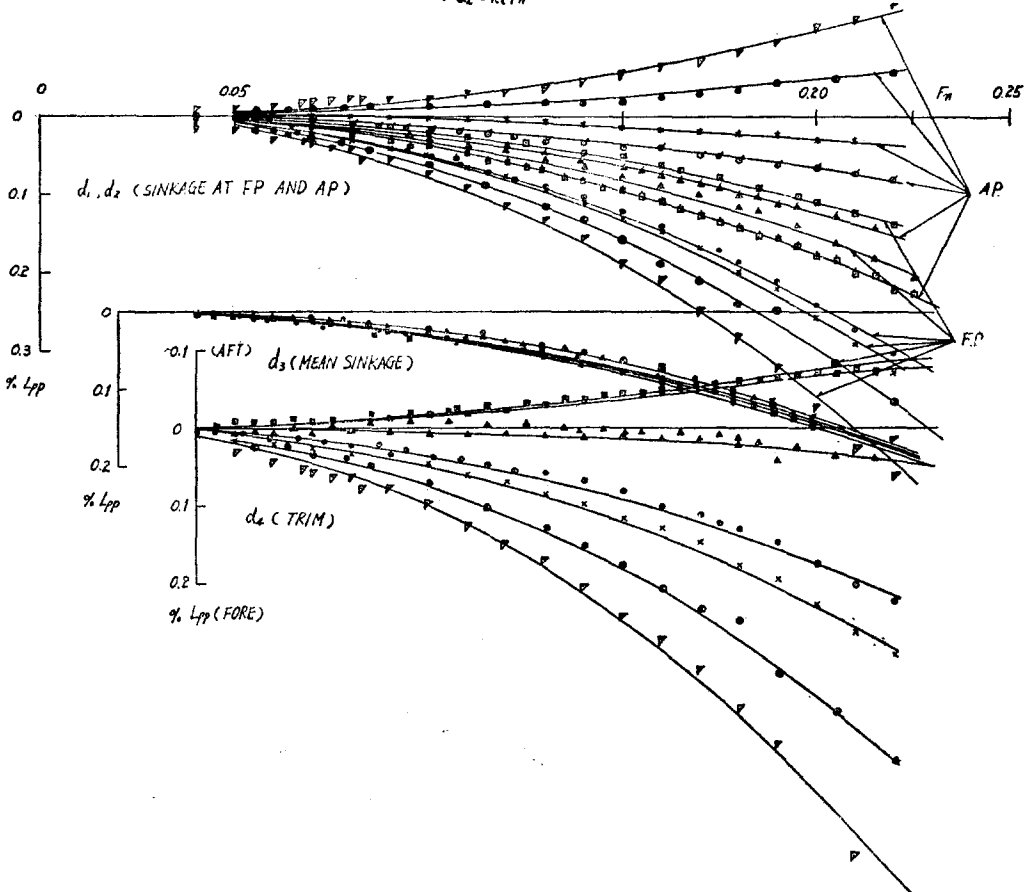


Fig. 2.2 Mean Sinkage and Trim Change (50% Load Condition)

3. 實驗結果 및 考察

3.1. 實驗結果

航走中の 배의 姿勢에 關한 實驗結果는 Fig. 2 에 表示하였다. 여기서 記號로 表示된 것은 實驗點들이고, 實曲線은 後述하는 바와 같은 F_n 數의 單項으로 近似化한 曲線들이다. 抵抗曲線들은 水槽內的 溫度差가 極甚한 여름과 겨울 兩期에 걸쳐서 試驗한 것이므로 摩擦抵抗係數曲線間的 差가 크다. 따라서 이것들은 直接 比較하

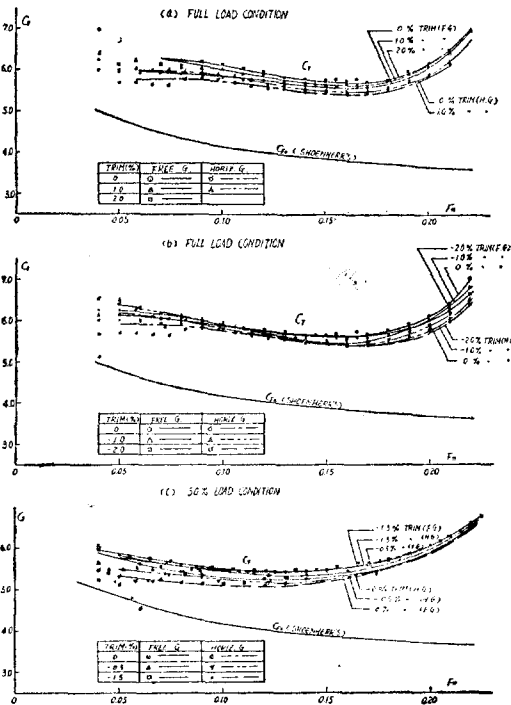


Fig. 3 Resistance Curves of M.S. 80xNB ($t=15^{\circ}\text{C}$)

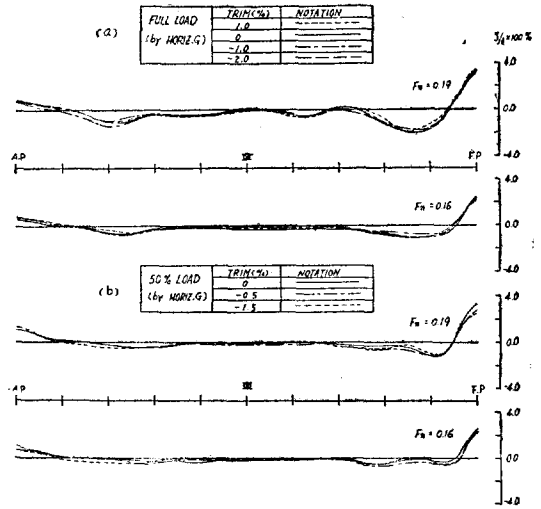


Fig. 4 Wave Profiles of M.S.80xNB

기는 困難하므로, 比較하기 便利하도록 各抵抗曲線을 同一水溫 $t=15^{\circ}\text{C}$ 의 狀態로 換算하여 이 結果를 Fig. 3 에 表示하였고, Fig. 4 에는 滿載 및 輕荷狀態의 船側波形을 例示하였다.

3.2. 初期 Trim 과 形狀影響係數

本實驗結果에다 Hughes 의 最低 C_T 點法을 適用해서 얻은 形狀影響係數 K_0 값과 Sasajima 式 [10] 및 Tsuda 式 [11]에 依한 形狀影響係數의 計算值를 初期 trim 에 對하여 함께 表示한 것이 Table 3 및 Fig. 5 이다.

Fig 5 에서 注目되는 點은 滿載時의 形狀影響係數 K_0 보다 輕荷時의 값이 작다는 것이고, 自由 guide를 使用한 抵抗值 $C_{T(F)}$ 로부터 求해진 $K_{O(F)}$ 와, 水平 guide 를 使用하였을 때의 $C_{T(H)}$ 에서 求한 $K_{O(H)}$ 값間의 差量이다. 이것은 全體의으로 $K_{O(F)} > K_{O(H)}$ 이고 特히 滿載狀態에서는 全初期 trim 狀態에 걸쳐서 $K_{O(F)}$ 와 $K_{O(H)}$ 間의 差가 거의 一定하고, 輕荷狀態에서는 航走中에 trim 變化가 거의없는 -1.5% trim 狀態附近에서는 $K_{O(H)}$ 값이 $K_{O(F)}$ 값에 接近하고 있다는 點들이다. 여기에서 $K_{O(F)}$ 와 $K_{O(H)}$ 와의 差量은 單純히 航走中의 trim 變化의 影響만에 依한 것은 아니고, 이 中에는 抵抗試驗時의 實驗誤差等도 包含되어 있을 것으로 여겨지므로, 本節에서는 普遍的

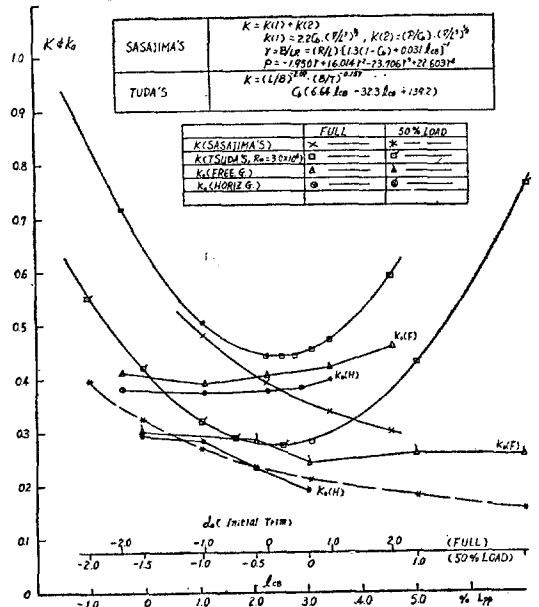


Fig.5 Form Factors and Initial Trim of M.S.80xNB

Table 3 Form Factor K_O of M.S. 80×NB

Trim (% L_{pp})	Full Load		50 % Load	
	F. G	H. G	F. G	H. G
2.0	0.460		0.261	
1.0	0.421	0.396	0.260	
0.5		0.381		
0	0.404	0.377	0.244	0.205
-0.5			0.278	0.245
-1.0	0.391	0.374		0.283
-1.5			0.297	0.294
-2.0	0.412	0.381		
-2.5			0.309	

로 사용되고 있는 자유 guide 에 의한 試驗値에서 求한 $K_{O(F)}$ 를 基準으로 삼아서 이것을 考察하고, $K_{O(H)}$ 는 定性的으로만 取扱하기로 하였다.

Fig. 5 에 依하면 K_O 값은 全初期 trim 狀態에 걸쳐서 最大 5%程度의 微小한 範圍內에서 變化하고 있다. 그러나 滿載狀態에서는 -1.0% 初期 trim 狀態에서 $K_O=0.391$, 輕荷狀態에서는 even keel 狀態에서 $K_O=0.244$ 로 最低値를 나타내고 있다. 따라서 初期 trim 에 對한 K_O 값의 變化는 微微하나 船體의 形狀影響에 對한 最適初期 trim 狀態가 存在한다는 것을 알 수있다.

Fig. 5 에 表示된 Sasajima 및 Tsuda 式에 依한 形狀影響係數 K 는, 本試驗의 各 trim 狀態의 浮心位置 l_{CB} 를 適用하여 計算한 값들이다. 但 Tsuda 式은 Hughes의 摩擦抵抗式을 使用한 것이므로, 여기에는 $R_n=3.0 \times 10^6$ 배의 Shoenherr의 式으로 換算한 값을 表示하였다.

Tsuda 式은 tanker 船型의 二重模型의 風洞試驗結果를 最少自乘法으로 處理해서 얻은 近似式이고, Sasajima 式은 NACA의 2次元 翼의 實驗結果에 3元修正을 加해서 얻은 形狀影響係數의 推定式이다. 이 式들은 極端의 trim 狀態까지 擴張하여 適用하면 無理를 수반하게 될 것으로 豫想되나, even keel 을 中心으로하는 實用範圍內의 定性的考察에는 有効할 것으로 여긴다. Tsuda 式은 初期 trim 에 對한 極値를 갖는 點에서는 本實驗結果와 一致한다. 壓力抵抗見地에서 생각하면 Sasajima 式과 같이 正方向 trim 이 커질수록 K 값이 減少할것으로 여겨지나 實驗結果는 even keel附近에서 最低이고, 正方向 trim 이 커질수록 K_O 값이 增大하는 傾向을 나타내고 있다. 이것은 Hughes의 最低 C_T 點法을 適用할 때, 이미 어느 程度의 파도가 發生하게 될 F_n 數域인 $F_n=0.14 \sim 0.16$ (滿載), $F_n=0.12 \sim 0.14$ (輕荷)에서 最低 C_T 點을 取하고 있고, 또한 本供試模型은 船首가 極端의 肥鈍한 船型이므로 正方向 trim으로 因한 船首形狀의 變化에 수반되는 碎波現象 [12]의 影響이 현저히 作用되는 것 같다.

3.3. 航走中の 배의 姿勢變化和 形狀影響係數

Horn [13]은 航走中の 船體平均沈下量이 速力의 自乘에 比例하는 것으로 보고, 이것에 依한 抵抗의 増分을 求하는 近似式을 提案한 바 있고, Havelock [14]은 Horn의 式을 檢討하여 이것은 定性的目的에는 有効하다는 것을 밝혔다. Havelock [15]은 또한 航走中の 배의 Trim 變化를 線型理論으로 計算한 結果가 實驗値와 比較的 잘맞는다는 것을 指摘하고있다.

이와 같이 船體平均沈下量은 模型船周邊의 平均流速의 增加와 密接한 關係가 있고, 航走中の trim 變化는 船首와 船尾部의 壓力의 不均衡과 關係가 있는 것으로 여겨진다. 따라서 前者는 Sasajim 式의 K 의 第1項 $K(1)=2.2C_B \cdot (A/L^3)^{1/2}$ 과, 後者는 同式의 第2項 $K(2)=(P/C_B) \cdot (V/L^3)^{1/2}$ 과 各各 어떤 關係가 맺어질 수 있을 것이다.

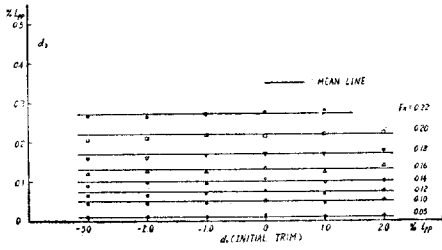


Fig. 6.1 d_1, d_2 , and Initial Trim (M.S.80×NB, Full Load)

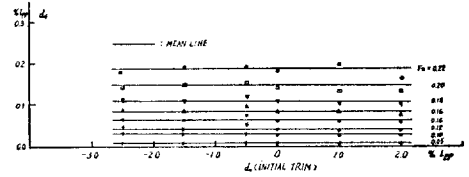


Fig. 6.2 d_1, d_2 and Initial Trim (M.S.80×NB 50% Load)

이와 같은 見地에서, 本實驗結果로부터 初期 trim, 航走中の 배의 姿勢變化 및 形狀影響係數間의 關係를 考察코자 한다.

3.3.1. 航走中の 배의 姿勢變化와 初期 trim

航走中の 배의 姿勢變化는 Fig. 2 에서 보는 바와같이 計測點들이 大端히 圓滑한 曲線狀을 이루고 있다. Fig. 6 은 各初期 trim 狀態에 對한 船首와 船尾部의 鉛直變位 d_1 및 d_2 의 變化를 F_n 數를 媒介로 表示한

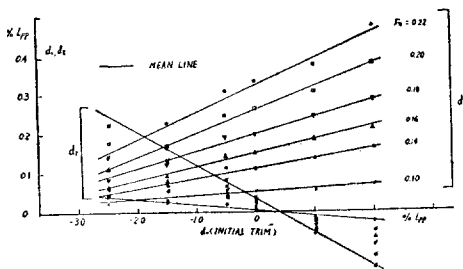


Fig. 7.1 Mean Sinkage in Run and Initial Trim (M.S. 80×NB, Full Load)

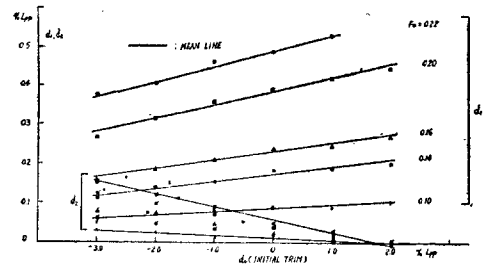


Fig. 7.2 Mean Sinkage in Run and Initial Trim (M.S. 80×NB, 50% Load)

것이고, Fig. 7 은 船體平均沈下量 d_3 의 變化를, Fig. 8 은 航走中の trim 變化量 d_4 의 變化를 各各 같은 方法으로 表示한 것이다.

이 그림들을 考察컨데 航走中の 배의 姿勢變化는 初期 Trim 에 對하여 一般의으로 直線變化를 하고 있음을 알 수 있다. Fig. 7 에 依하면 滿載狀態에서는 初期 trim $d_0 \approx 2.0$ 附近, 輕荷狀態에서는 $d_0 \approx 0.5$ 附近에서

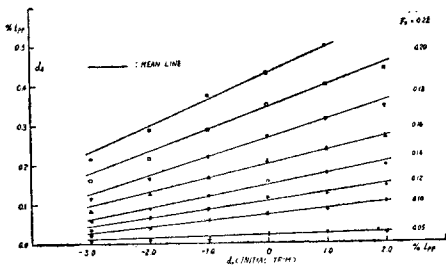


Fig. 8.1 Trim Change in Run and Initial Trim (M.S. 80×NB, Full Load)

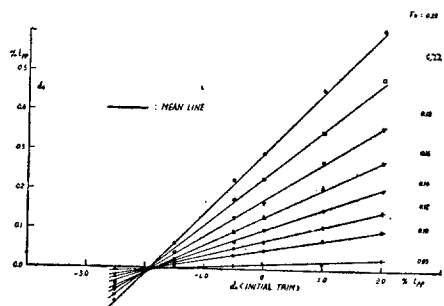


Fig. 8.2 Trim Change in Run and Initial Trim (M.S. 80×NB, 50% Load)

航走中の 船尾部の 變位方向이 變換된다.

船體平均沈下量 d_3 는 初期 trim 에는 無關하게 거의 一定值를 갖는다.

航走中の trim 變化量 d_4 는 輕荷狀態의 $d_4 \approx -2.0$ 附近에서 trim 의 方向을 變換한다. 即 이 狀態에서는 航走中 trim 變化가 이리나지 않는다.

文獻 [13,14]에서는 船體平均沈下量은 速力의 自乘에 比例하는 것으로 取扱하고 있고, 한편 航走中の 船體平均沈下量 및 Trim 變化量은 船首尾의 鉛直變位 d_1 과 d_2 의 單純한 合 및 差의 꼴로 주어진다는 것을 생각할 때, 航走中の 姿勢變化量들은 F_n 數의 單項近似가 可能한 것으로 豫想되므로

$$d_i = k_i \cdot F_n^n, \quad (i=1,2,3,4) \tag{6}$$

의 꼴로 近似를 試圖하였다.

Table 4. Values of d_i and k_i ($d_i = k_i \cdot F_n^{2.2}$)

Cond.	Initial Trim(%)	d_1 (%)	d_2 (%)	k_1	k_2	k_3	k_4
Full Load	2.0	0.433	0.006	14.941	0.207	7.574	14.734
	1.0	0.418	0.002	14.424	0.690	7.557	13.733
	0	0.392	0.005	13.527	1.553	7.540	11.974
	-1.0	0.361	0.072	12.457	2.484	7.471	9.972
	-2.0	0.318	0.1	10.973	3.451	7.212	7.522
	-3.0	0.280	0.127	9.662	4.382	7.022	5.280
50% Load	2.0	0.36	-0.108	12.422	-3.727	4.348	16.149
	1.0	0.297	-0.048	0.248	-1.656	4.296	11.905
	0	0.257	0.027	8.868	0.932	4.800	7.937
	-0.5	0.242	0.068	8.351	2.346	5.348	6.004
	-1.5	0.115	0.125	5.349	4.313	4.831	1.035
	-2.5	0.11	0.178	3.796	6.142	4.969	-2.346

Standard Point: $F_n=0.20$, Fore: +, Aft: -

$n=2.2$ 로 잡고, $F_n=0.20$ 點의 實測值로부터 k_i 를 定하여 計算한 結果, 이 近似曲線은 Fig. 2 에서 보는 바와 같이 滿載, 輕荷狀態 모두 豫想以上으로 實測值와 잘 一致하고 있다. 이와 같이 求한 各初期 trim 에 對한 諸 姿勢變化의 近似曲線式의 係數 k_i 자들을 Table 4 및 Fig. 9 에 表示하였다. 以後, k_i 를 船體姿勢變化係數라 부르기로 한다.

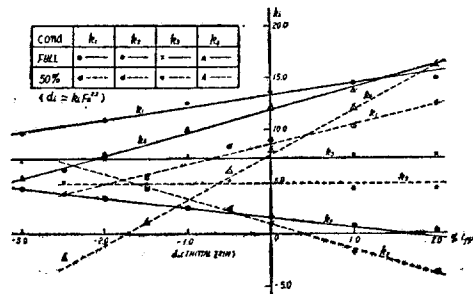


Fig. 9. k_i and Initial Trim

Fig. 9 에 依하면 航走中の 船의 姿勢變化를 一目瞭然하게 볼 수 있고, k_i 의 變化는 역시 滿載, 輕荷狀態 모두 初期 trim 에 對하여 直線의 變化를 하고 있다.

3.3.2. 船體平均沈下量의 影響

船體平均沈下量은 $F_n^{2.2}$ 꼴로 單項近似하면 實測值와 잘 一致한다는 것은 이미 確認하였으나, 本試驗外의 tanker 에 關한 資料에 對하여 $F_n^{2.0}$ 꼴로 單項近似한 例는 文獻 [8] 에 서 볼 수 있다.

船體平均沈下量係數 k_3 는 船體周圍의 平均의 流速增加의 特性을 나타내는 파라메터로 볼 수 있으므로 Sasajima 式의 第1項 $K(1)$ 과 關係가 있을 것이다.

文獻 [8]은 Sasajima 式 $K=K(1)+K(2)$ 에 對하여 $K(1)^*=K_0$ (試驗值)- $K(2)$ (計算值)로 놓았을 때, $K(1)^*$ 와 船體沈下量係數 k_3 는 서로 比例關係가 있다는 것을 보여 주고 있다. 다시 Fig. 9 에 依하면 同一船型의 初期 trim 變化에 對해서는 k_3 는 全 trim 狀態에 걸쳐서 거의 一定한 값을 갖는다. 이것을 Sasajima 의 表現

을 인용해서 換言하면, $K(1)^*$ 값 或은 더 近似的으로 取扱해서 $K(1)$ 값이 거의 一定하다고 볼 수 있을 것이다. 따라서 初期 trim 에 對한 形狀影響係數值의 變化에는 $K(1)$ 의 影響, 即 船體平均沈下量의 影響은 作用되지 않고, $K(2)$ 에 對應되는 trim 變化가 이의 主役을 맡고있는 것으로 여겨진다.

3.3.3. 航走中の trim 變化的 影響

Fig. 4 에 依하면 滿載 및 輕荷狀態 모다 $C_{T(F)} > C_{T(H)}$ 이나, 兩者의 差 ΔC_T 는 微小한 값으로서, 形狀影響係數로 고치면 最大 7%(滿載狀態, $F_n=0.21$ 에서)를 表示한다.

$C_{T(F)}$ 와 $C_{T(H)}$ 와의 差 ΔC_T 에는 實驗誤差도 包含되어 있을 것으로 여기지만, 이것을 默認한다면, 이 外에 造波影響, 船體平均沈下量에 依한 影響, 航走中の trim 變化의 影響 등이 包含되어 있을 것으로 생각된다. 따라서 ΔC_T 의 原因을 明白히 抽出하기는 困難하다.

그러나 Fig. 4 에 依하면 trim 變化에 따른 船側波形的 變化는 極히 微少한 것임을 알 수 있고, 船體平均沈下量은 Fig. 9 에서 보는 바와 같이 trim 變化에 關係없이 거의 一定하므로, 造波影響과 船體平均沈下量의 影響을 考慮에서 除外하면, 航走中の trim 變化만이 ΔC_T 를 나타내게 하는 主役으로 남게 된다.

여기에서 ΔC_T 는 F_n 數에 對하여 一定한 값이 아니고, 또한 形狀影響係數의 變化量 ΔK_0 로 곧 고칠 수 있는 量이다. 그러므로 形狀影響係數는 F_n 數에 따라서 變하는 것이고, 航走中の trim 變化가 이의 主要 原因中的의 하나라고 換言할 수 있다. 그러나 ΔK_0 는 最大 7%를 넘지 못하는 작은 값을 나타내고 있다.

航走中の trim 變化和 形狀影響係數間의 關係에 對해서는, 文獻 [1]은 航走中の 正方向 trim 變化가 形狀影響係數 $K=K(F_n)$ 값을 減小시키는 主要原因이라고 하였고, 文獻 [3], [12]는 이와 反對의 傾向을 보여 주고 있으므로, 어느 것이 定說이라고 잘라 말하기는 어려우나, 本實驗에서는 一般的으로 航走中の trim 變化가 正方向의 變化를 할 때 $K=K(F_n)$ 값을 增大시키는 傾向을 갖는 것으로 判斷된다.

4. 結 論

肥大船의 單獨模型에 關한 試驗結果로부터 初期 trim, 航走中の 배의 姿勢變化 및 形狀影響係數間의 關係를 考察한 結果를 綜合하면 아래와 같다.

1. 本試驗에서는, 形狀影響係數 K_0 값은 滿載 및 輕荷狀態모다 even keel 狀態附近에서 極值를 갖는다. 即 形狀影響에 對한 最適初期 trim 이 存在한다.

2. 航走中の 배의 諸姿勢變化量, 即 船首尾의 鉛直變位, 船體平均沈下量 및 trim 變化量에 關한 考察을 綜合하면 다음과 같다.

i) 航走中の 배의 諸姿勢變化量은 初期 trim 에 對하여 거의 直線的으로 變化한다. 特히 船體平均沈下量은 全初期 trim 에 걸쳐서 거의 一定值를 갖는다.

ii) 航走中の trim 變化方向이 變換되는 初期 trim 狀態가 있다.

輕荷狀態의 -2.0% trim 狀態는 이 變換點이고, 이 狀態에서는 航走中 trim 變化를 수반하지 않는다.

iii) 航走中の 배의 姿勢變化에 關한 諸曲線은 $F_n^{2.2}$ 꼴의 單項近似

$$d_i = k_i \cdot F_n^{2.2}, (i=1, 2, 3, 4)$$

가 可能하고, 이 姿勢變化係數 k_i 는 모두 初期 trim 에 對하여 거의 直線變化를 한다.

3. 形狀影響係數는 F_n 數에 따라서 變하고, 航走中の trim 變化가 이의 主要原因인 것으로 推察된다.

本試驗에서는 이 變化量은 全狀態를 通하여 最大 7% 以內의 작은 값이고, 形狀影響係數 $K=K(F_n)$ 값은 一般的으로 航走中の trim 變化가 正方向의 變化를 할 때 增大되는 傾向을 갖는다.

後 記

이 研究를 하는동안 始終 變함없이 激勵해 주고, 物心兩面으로 協力해 준 東京大學船型試驗水槽의 여러분들과, 特히 30 餘回의 抵抗試驗을 施行하는 동안 한결같이 수고해 준 Nobukuni, Eguchi 兩氏에게 깊이 感謝드린다. 또한 圖面作成에 수고해 준 朴魯植 助教와 金仁炯君에게 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

- [1] K. Daniguchi: "Study on Scale Effect of Propulsive Performance by Use of Geosims of a Tanker", 日本造船協會論文集, 120號, 1966.
- [2] K. Yokoo: "Scale Effect Experiments on Some Ship Forms", 日本造船協會論文集, 106號, 1960.
- [3] K. Yokoo: "Effect of Sinkage and Trim on Form Factor of Resistance," 日本造船協會論文集, 108號, 1960.
- [4] Jin Wu and L. Landweber: "Variation of Viscous Drag with Froude Number", *Proc.*, 10th *ITTC*, 1963.
- [5] G. Hughes: "Friction and Form Resistance in Turbulent Flow and a Proposed Formulation for Use in Model and Ship Correlation", *TINA*, 1952.
- [6] G. Hughes: "The Influence of Form and Scale on Model and Ship Resistance", *Proc.*, 10th *ITTC*, 1963.
- [7] T. Tagori: "A Study of the Turbulence Stimulation Device in the Model Experiment on Ship Form", *Proc.*, 10th *ITTC*, 1963.
- [8] 大串 雅信: "理論船舶工學", 下卷, p.95.
- [9] 乾崇天: "抵抗成分の分離", 抵抗推進シンポジウム, 日本造船學會, 1968.
- [10] H. Sasajima: "Form Effects on Viscous Resistance and Their Estimation for Full Ships", *Proc.*, 10th *ITTC*, 1963.
- [11] 津田 達雄: "風洞試験による摩擦抵抗係数の系統的計測", 日本造船三學會連合講演會, 1968.
- [12] Eiich Baba: "A New Component of Viscous Resistance of Ships", 日本造船學會論文集, 125號, 1969.
- [13] F. Horn: "Einfluss der Form auf den Reibungswiderstand", *Proc.*, 4th *ITTC*, 1937, Berlin
- [14] T.H. Havelock: "Note on the Sinkage of a Ship at Low Speeds", *Z. Angew. Math. Mech. Bd.*, 1939.
- [15] T.H. Havelock: "Some Calculation of Ship Trim at High Speeds", *Hydrodynamics*, p.520.