

---

 論 文
 

---

大韓造船學會誌  
 第24卷 第1號 1987年 3月  
 Journal of the Society of  
 Naval Architects of Korea  
 Vol. 24, No. 1, March 1987

## 反射波의 附加低抗에 관한 研究

權 寧 中\*

## A Research on the Added Resistance Due to Wave Reflection

Y.J. Kwon\*

**Abstract**

An approximate method for calculating added resistance due to regular wave reflection has been established. In order to confirm the applicability of this method, an experimental work was carried out using a Series 60 model with oscillations in the 6-degrees of freedom restricted. Particular attention was paid to the case of the shorter wavelength range where the effect of wave reflection is dominant compared to the effects of the ship's motions ( $\lambda/H=10.6-101.0$ ,  $\lambda/L=0.23-1.18$ ,  $F_n=0.10-0.25$ ). When comparing the measured and the computed resistance due to wave reflection in a head sea, good agreement is shown.

This paper is based on research done by the Author as a member of the Ship Performance Group in the Department of Naval Architecture and Shipbuilding of the University of Newcastle-upon-Tyne in England, under the supervision of Dr. R.L. Townsin.

## 記 號 說 明

$a$  : 物體形狀에 따른 係數  
 $A_i$  : 水線面形狀의 數式化에 따른 係數  
 $A.P.$  : 船尾垂線  
 $B$  : 船舶의 幅  
 $C_{AWR}$  : 規則波에서 反射波에 基因된 附加低抗係數;  
 $= (R_{AWR} \cdot L) / (\rho \cdot g \cdot B^2 \cdot \zeta_a^2)$   
 $C_b$  : 方形係數  
 $C_d$  : 船舶의 有限깊이에 따른 修正係數  
 $C_v$  : 船舶速力에 따른 修正係數  
 $d$  : 船舶의 吃水  
 $F_n$  : 후류드數

$F.P.$  : 船首垂線  
 $g$  : 重力加速度  
 $H$  : 波高  
 $k$  : 波數  
 $L$  : 船舶의 길이  
 $R_{AIW}$  : 不規則波에 基因된 附加低抗  
 $R_{AWR}$  : 規則波에서 反射波에 基因된 附加低抗  
 $S_r$  : 物體의 反射區域  
 $V$  : 船速  
 $\beta$  : 波浪과 船舶方向과의 角度  
 $\zeta$  : 波浪에서 等壓線의 높이  
 $\zeta_a$  : 表面波의 振幅  
 $\lambda$  : 波長  
 $\rho$  : 流體의 密度  
 $\omega$  : 波浪의 圓振動數

接受日字: 1986年 8月 6日, 再接受日字: 1987年 1月 23日

\* 正會員, 蔚山大學校 造船海洋工學科

1. 序 言

波浪附加低抗을 算定하기 爲한 既存의 線形化된 理論들은 깊이 方向의 境界條件을 無視하는 관계로 反射波나 屈折波의 影響을 大部分 考慮치 못하기 때문에 實測值와의 誤차가 問題視되고 있는 實情이라 하겠다 (Fig. 1 참조). 이러한 問題는 波長이 船長보다 짧은 경우라던지 뚝뚝한 船首形의 배에서 더욱 심각하게 나타나고 있다. 이들 영향에 基因된 附加低抗을 便宜上 反射波의 附加低抗이라고 일컫는 경우가 많으며[1~3], 이들 영향은 船舶試運轉 結果解析때나 船舶서비스 動力마진 算定때 無視될 수 없는 것으로 強調되고 있다[1, 4, 5]. 따라서 最近에 많은 研究자들이 이에 觀心을 갖고 究研하고 있는 實情이라 하겠다[2, 6~8]. 하지만 이들의 方法들이 特히 船舶의 前進速度 및 뚝뚝한 船首影響들의 考慮法과 關聯하여 많은 問題點을 內包하고 있다고 하겠다[1]. 이에 本 論文에서 反射波 附加低抗 算定을 爲한 略算法을 提案하고, 模型實驗을 通하여 本法의 正確度를 檢討하였다.

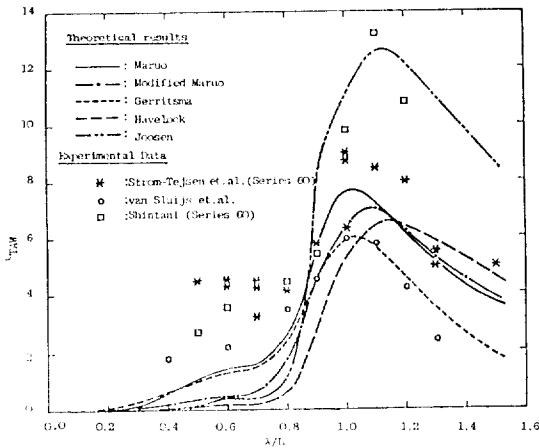


Fig. 1 Comparison of measured and computed added resistance coefficients using available theories in regular head waves ( $C_B=0.8, F_n=0.15$ ) (From Nakamura et al. (1977), Strom-Tejsten et al. (1973) and Shintani (1971))

2. 反射波 附加低抗算定을 爲한 略算法

波長이 매우 작은 경우에는 波浪포텐셜의  $e^{kz}$  때문에 流體運動이 自由表面 近處의 얇은 膜에만 存在한다고 假定할 수 있겠다. 뿐만아니라 이 경우에는 波浪壓力도

매우 작을 것이므로 船體는 無限의 垂直壁처럼 作用하고, 前進速度는 거의 없는 것으로 일단 假定하여서 反射波의 附加低抗을 算定하고, 實際경우를 위하여 아래와 같이 修正하므로써 略算法을 求하였다.

即

$$R_{AWR} = C_v \cdot C_s \cdot C_\alpha \cdot \frac{1}{2} \rho g V_a^2 \int_s \left( \frac{\partial y}{\partial s} \right)^2 ds$$

여기서

$$\frac{1}{2} \rho g V_a^2 \int_s \left( \frac{\partial y}{\partial s} \right)^2 ds : \text{High frequency wave에 基}$$

인된 漂流力을 나타내는 式으로서 Bessho가 提案한[9]式이다.

$y$ : 船舶 水線面의 形狀이며, 다음과 같은 式과 Minimax Polynomial法을 利用하여 電算化 하였다. 本 電算프로그램의 精度는 Table 1-a 및 1-b에서 實船의 오프셋과 比較하였다.

$$y = A_1 + A_2x + A_3x^2 + A_4x^3 + A_5x^4$$

$C_s$ : Jones 및 Whitham이 提案한[10] Wave Scattering Coefficient를 利用해서 다음과 같이 表示되는 係數이다.

$$C_s = 1 - \frac{0.985(ka)^{-2/3}}{2}$$

$C_\alpha$ : 有限吃水에 對한 補正係數로서, 깊이에 따른 減殺效果를 利用하여  $1 - 2^{-2kd}$ 로 表示하였다.

$C_v$ : 前進速度의 補正係數로서, Fujii의 實驗結果[2]와 encounter frequency의 개념을 利用하여 아래와 같이 表示하였다.

$$\text{船首} \cdot \text{尾波경우} : C_v = \left( 1 \pm \frac{2\omega}{g} V \right)^2,$$

Table 1-a and b Comparison of the result of present computer program and input offset for D.L. W.L. (Series 60,  $C_B=0.8$ ) <Half-breadths of water line given as fraction of max. beam>

Table 1-a Bow only (for head sea)

Station	Input breadth	Present program	Absolute error(%)
F. P.	0.000	-0.005	—
0.5	0.286	0.293	2.447
1.0	0.522	0.525	0.574
1.5	0.700	0.699	0.142
2.0	0.830	0.825	0.602
3.0	0.964	0.964	0.000
4.0	0.999	1.005	0.500
5.0	1.000	1.005	0.500

\* Mean absolute error neglecting end point=0.680%

**Table 1-b** Complete W.L. (for oblique sea)

Station	Input breadth	Present program	Absolute error(%)
20.0	0.000	-0.057	—
19.5	0.353	0.328	7.082
19.0	0.503	0.504	0.198
18.5	0.617	0.646	4.700
18.0	0.712	0.758	6.460
17.0	0.851	0.909	6.815
16.0	0.941	0.983	4.463
15.0	0.988	1.007	1.923
14.0	1.000	1.000	0.000
13.0	1.000	0.980	2.000
12.0	1.000	0.959	4.100
11.0	1.000	0.946	5.400
10.0	1.000	0.947	5.300
9.0	1.000	0.963	3.700
8.0	1.000	0.990	1.000
7.0	1.000	1.024	2.400
6.0	1.000	1.053	5.300
5.0	1.000	1.063	6.300
4.0	0.999	1.037	3.803
3.0	0.964	0.952	1.244
2.0	0.830	0.783	5.662
1.5	0.700	0.657	6.142
1.0	0.522	0.499	4.406
0.5	0.286	0.304	6.293
F. P.	0.000	0.068	—

\* Mean absolute error neglecting end points = 4.304%

傾斜波의 경우 :

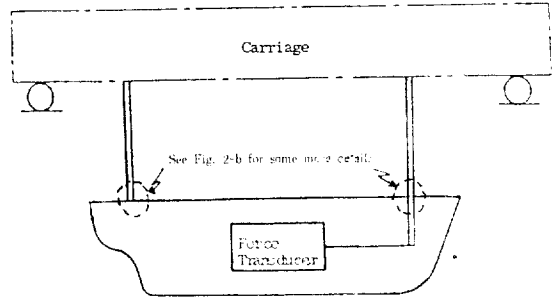
$$C_v = \left(1 \pm \frac{2\omega}{g} V \cos\beta\right)^2 / (36\beta/\pi)$$

以上에서 본 바와 같이 標流力을 利用하여 反射波低

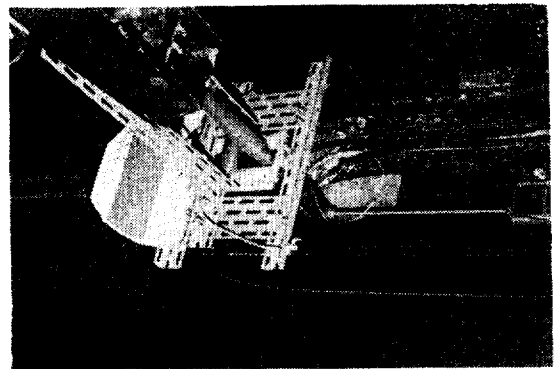
抗을 求할 수 있겠다는 假定은 Fujii-Takahashi法[2]과 같으며, 本 著者法과의 主된 差異點은 Table 2와 같다고 하겠다.

**3. 模型實驗**

이제까지 많은 研究家들이 模型實驗을 해 왔으나, 反射波影響이 主流가 되는 短波경우의 實驗結果는 거의 없는 것으로 判斷된다. 이에 本 實驗에서는 波浪中



(Fig. 2-a)



(Fig. 2-b)

**Fig. 2-a, b** Schematic diagram-connection of model and carriage

**Table 2** Comparison of the Author's method with Fujii-Takahashi's

法 區 分	Fujii-Takahashi法	本 著 者 法
內容要約		
短波(全反射 가정)경우의 Drifting Force 計算法 考慮하는 船體形狀	Havelock法[Proc. Royal Soc., Series A175, 1940] 사용 水線面の 船首端部(Entrance)	Bessho法[9] 使用 水線面の 全體形狀—Minimax Polynomial法에 依한 電算數式化
Wave Scattering 영향 고려법	Wehausen-Laiton [Enc. Physics, Vol. 9, 1960]의 反射係數利用	Jones-Whitham의 Scattering Coeff. [10]이용
有限吃水 영향고려법 (※ 標流力 計算에 無限吃水로 假定)	反射係數 算定에 考慮된 것으로 간주	깊이에 따른 감쇄효과( $e^{-kz}$ )를 利用
前進速度 영향 考慮法	모형 실험결과 및 encounter freq. 개념 이용	左 同

에서 船體運動의 영향을 除外한 波浪附加低抗의 測定에 重點을 맞추어서, high frequency wave의 實驗에 重點을 두었다.

3.1. 主要 測定裝置

Force transducer는 Uni Measure/80, P-2를 使用했으며, 本 測定器의 最大 測定荷重은  $\pm 17.8\text{N}$ 이고 精度는  $\pm 0.044\text{N}$ 인 것으로 알려져 있다. 한편 造波機는 Rolling Seal 12-modules를 使用하였다. 또한 潮流의 測定을 爲해서는 Current Measuring Float을 使用하였다.

模型船과 Carriage와의 연결 때는 Fig. 2-a, b에서와 같이 船體運動을 制限하였다.

3.2. 使用 模型船

波浪附加低抗 實驗에 關한 限 大型模型을 使用할 必要가 없다는 實驗結果에 따라서 [11, 12], 아래와 같은 特性을 가진 Series 60의 小型 Wax 模型을 使用하였다.

$$L = 1.524\text{m}, \quad B = 0.234\text{m}$$

$$d = 0.094\text{m}, \quad C_B = 0.80$$

3.3. 實驗條件 및 結果

實驗條件은 아래와 같으며, 結果는 Fig. 3-a부터 4-d

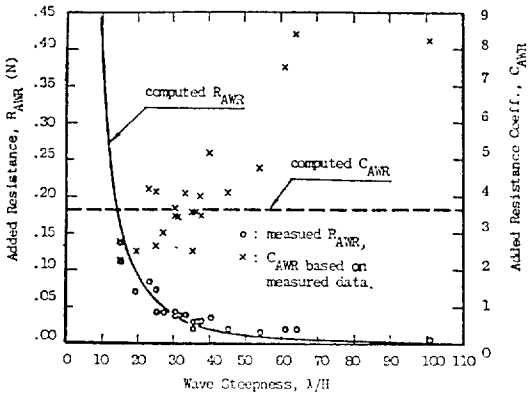


Fig. 3-a  $\lambda/L=0.23$

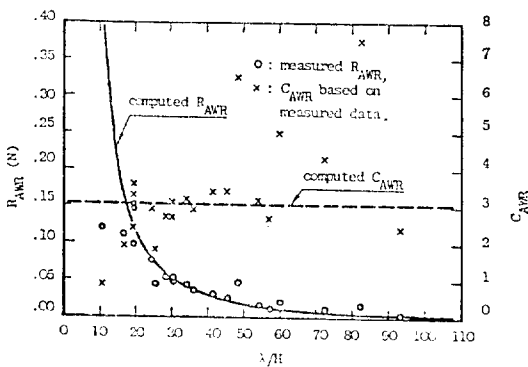


Fig. 3-b  $\lambda/L=0.28$

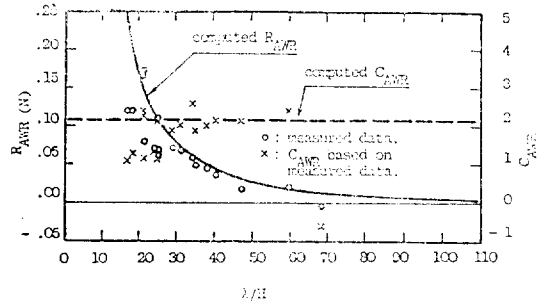


Fig. 3-c  $\lambda/L=0.40$

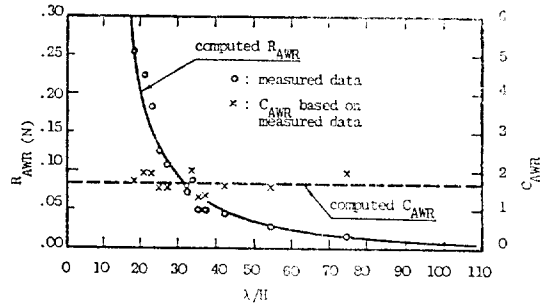


Fig. 3-d  $\lambda/L=0.50$

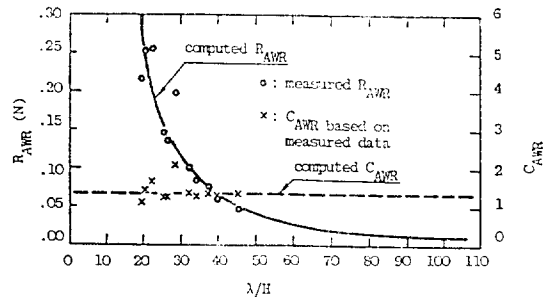


Fig. 3-e  $\lambda/L=0.62$

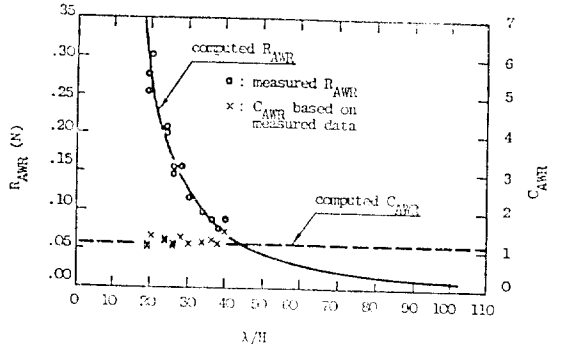


Fig. 3-f  $\lambda/L=0.70$

Fig. 3-a to f Comparison of Author's method results and experimental data, presented as resistance  $R_{AWR}$  and as coefficient  $C_{AWR}$  (Series 60,  $C_B=0.8$ ,  $F_n=1.5$ )

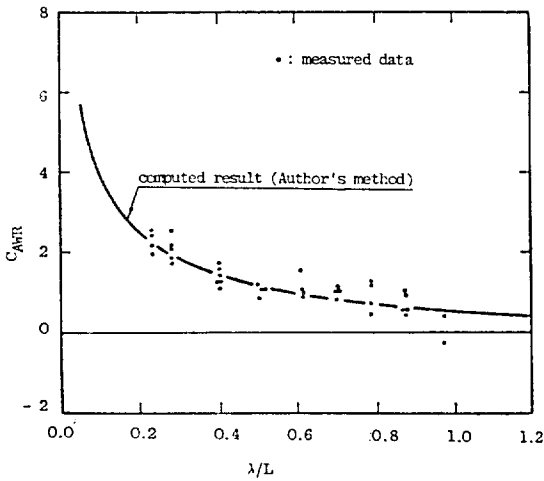


Fig. 4-a  $F_n=0.10$

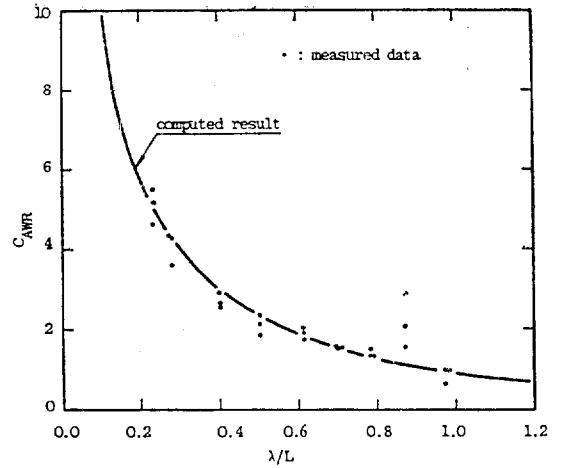


Fig. 4-c  $F_n=0.20$

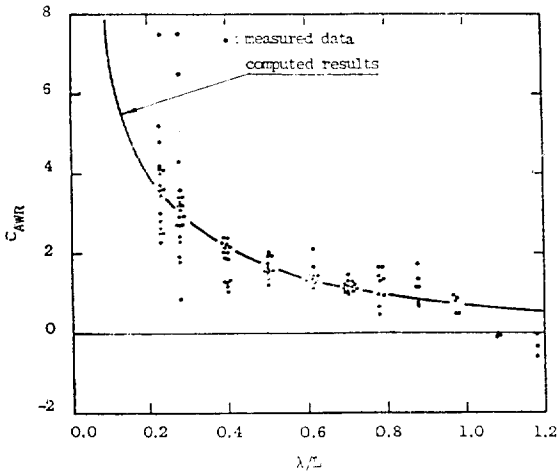


Fig. 4-b  $F_n=0.15$

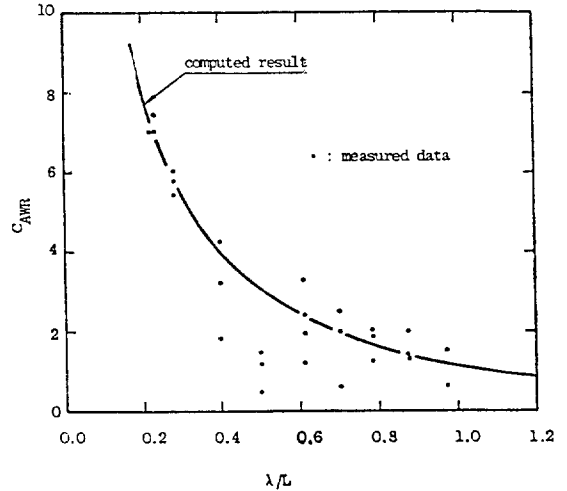


Fig. 4-d  $F_n=0.25$

Fig. 4-a to d Computed and measured  $C_{AWR}$  vs  $\lambda/L$  (Series 60,  $C_B=0.8$ )

에 수록하였다.

- $\lambda/H=10.6\sim 101.0$  주로  $20\sim 60$
- $\lambda/L=0.23, 0.28, 0.40, 0.50, 0.62, 0.70, 0.78,$   
 $0.88, 0.97, 1.08, 1.18$
- $F_n=0.10, 0.15, 0.20, 0.25$

#### 4. 檢 討

本論文 2章에서 提案된 理論結果와 模型實驗값과의 比較로부터 아래와 같은 現象을 感知할 수 있겠다.

(1) 反射波 附加低抗( $R_{AWR}$ ) 경우는 略算法結果가 模型實驗値와 比較的 잘 一致함(Fig. 3-a 부터 3-f).

(2) 反射波 附加低抗係數( $C_{AWR}$ ) 경우는 理論結果와 測定値를 利用한 係數가 아래와 같은 경우에만 잘 一致함(Fig. 3-a부터 3-f).

- $20 < \lambda/H < 60$  및  $0.7 \geq \lambda/L \geq 0.5$
- $30 < \lambda/H < 40$  및  $0.23 \leq \lambda/L < 0.5$

(3) 앞 2項의 波浪條件에서도  $F_n=0.1\sim 0.20$ 의 速度에서는 本 略算法結果로부터 算出된 附加低抗係數가 測定값으로 부터 計算된 값과 比較的 잘 一致함을 보여 주지만(Fig. 4-a부터 4-c),  $F_n=0.25$  경우에는 측정값으로 부터 求한 係數가 흐트러지는 現象때문에(Fig. 4-d) 理論結果와 相當한 誤차를 보이고 있다.

以上の 現象으로 부터  $R_{AWR} \propto \zeta^2$  (: linear spectrum

method에서 사용되는 假定)인 關係는 前 2項의 波浪 條件 및  $F_n=0.10\sim 0.20$  경우에 가장 理想的으로 適用 될 수 있다고 思料된다. 이와 有似한 結論을  $\lambda/L > 0.7$  경우의 波浪全體附加低抗에 關한 Sibul의 實驗[13~17] 에서도 發見할 수 있다. 卽 Sibul은 波浪의 全體附加低抗( $R_{TAW}$ )이 振幅의 제곱에 比例한다는 假定이  $\lambda/H < 60$  및  $F_n \leq 0.20$ 에서 가장 잘 맞으며, 그 以外의 波浪條件 이나 高速船에서는 相當한 誤差를 發見한 바 있다. 하지만 現在로서는 線形化된 스펙트럼法을 使用하지 않고는 海上 不規則波의 附加低抗( $R_{AIW}$ )을 算出할 수 없기 때문에 本 假定을  $R_{AIW}$  算定에 利用하는 수 밖에 없을 것으로 믿어진다.

Fig. 4-a 및 4-b 경우에 陰(一)의 附加低抗이 測定 된 바 있는 데, 이는 Huse가 指摘한 可能性처럼[18] 粘性影響일 수도 있으며 또는 測定の 誤差일 수도 있겠으나 이를 뒷바침할 充分한 資料의 不足으로 現在 는 判斷하기 어렵다고 하겠다.

한편 Table 1-a 및 1-b로 부터 水線面 形狀의 數式 化를 爲한 컴퓨터프로그램의 精度를 檢討할 수 있겠다. 卽 船首·尾의 끝점을 無視하면 船首波에 使用될 形狀 境遇는 本 프로그램結果와 오프셀과의 絶對誤差가 0.680%인 反面에, 全體形狀이 利用되는 斜波境遇는 4.304%로 增加됨을 알 수 있다. 하지만 本 誤差는 測定誤差의 範疇안에 屬하는 것으로 思料되므로(例, Fig. 1) 實用化의 可能性을 感知할 수 있겠다.

## 5. 結 論

前章의 檢討로부터 아래와 같은 結論을 얻을 수 있겠다.

(1) 本 論文의 2章에서 提案된 略算法이 精度面에서 實用化 可能性이 있는 것으로 思料된다.

(2) 波長이 船舶길이의 0.7倍以下인 짧은 波浪 境遇에 反射波의 附加低抗이 波浪振幅의 제곱에 比例해서 增加한다는 假定은 다음 條件에서 가장 잘 맞는다.

$$0.7 \geq \lambda/L \geq 0.5 \text{ 경우는 } 20 < \lambda/H < 60$$

$$0.23 \leq \lambda/L < 0.5 \text{ 경우는 } 30 < \lambda/H < 40$$

$$F_n = 0.10 \sim 0.20$$

따라서 波高가 위의 條件보다 작던지 높은 境遇 및  $F_n$ 數가 0.20以上으로 커지는 경우는 本 假定의 誤差가 增加할 것으로 思料된다.

## 參 考 文 獻

- [1] Kwon, Y.J., "The Effect of Weather, Particularly Short Sea Waves on Ship Speed Performance", Ph.D. Thesis, University of Newcastle upon Tyne, 1982.
- [2] Fujii, H., Takahashi, T. "Experimental Study on the Resistance Increase of a Ship in Regular Oblique Waves", Proc. the 14th I.T.T.C., 1975.
- [3] Nakamura, S., Fujii, H., "Nominal Speed Loss of Ships in Waves", PRADS, 1977, Oct.
- [4] I.T.T.C., "Reports of the Seakeeping and the Performance Committees", 1978.
- [5] I.T.T.C., "Reports of the Seakeeping and the Performance Committees", 1981.
- [6] Nakamura, S. et al., "Diffraction Problems of a Slender Ship with a Blunt Bow Advancing in Head Sea", Proc. of the 13th O.N.R., 1981.
- [7] Faltinsen, O.M. et al., "Prediction of Resistance and Propulsion of a Ship in a Seaway", Proc. of the 13th O.N.R., 1981.
- [8] Faltinsen, O.M., Minsaas, K.J., "Added Resistance in Waves", Centenary Conference, NEC, May 1984.
- [9] Bessho, M., "On the Wave Pressure Acting on a Fixed Cylindrical Body", *J. Zosen Kiokai*, 103, 1958.
- [10] Jones, D.C., Whitham, G.B., "An Approximate Treatment of High Frequency Scattering", Proc. Camb. Phil. Soc., Vol. 53, 1957.
- [11] Strom-Tejsen, J., et al., "Added Resistance in Waves", *Trans. SNAME*, Vol. 81, 1973.
- [12] Sibul, O.J., "Measurements and Calculations of Ship Resistance in Waves (Part II)", Univ. Calif., Rep. N.A. 71-3, 1971.
- [13] Sibul, O.J., "Ship Resistance in Uniform Waves as a Function of Wave Steepness and Beam of the Ship", Univ. Calif., IRE Report Series 61, Issue 18, 1959.
- [14] Sibul, O.J., "Ship Resistance and Motions in Uniform Waves as a Function of Block Coefficient", Univ. Calif., IRE Report, Series 61, Issue 19, 1961.

- [15] Sibul, O.J., "Ship Resistance in Uniform Waves", Univ. Calif., Report NA 64-1, 1964.
- [16] Sibul, O.J., "An Experimental Study of Ship Resistance and Motion in Waves—A Test for Linear Superposition", Univ. Calif., Report NA 66-3, 1966.
- [17] Sibul, O.J., "Measurements and Calculations of Ship Resistance in Waves", Univ. Calif., Report NA 71-2, 1971.
- [18] Huse, W., "Wave Induced Mean Force on Platforms in Direction Opposite to Wave Propagation", Univ. of Trondheim, Report R-45-76, 1976.