

縱規則波中에서 水深이 船體運動에 미치는 影響

黃 宗 屹* 李 承 俊**

The Finite Depth Effect on the Ship Motion in Longitudinal Regular Head Waves

by J. H. Hwang,* S. J. Lee**

Abstract

Recently, as the dimensions of energy carriers increase, especially in draft, a reliable prediction of the ship motions at finite depths of water becomes necessary. The purpose of this paper is to probe the effect of finite water depth on the hydrodynamic forces and ship motions, particularly heave and pitch, in longitudinal regular head waves, by comparing the experimental value of Freakes and Keay with the author's theoretical value obtained by applying the modified strip theory to the Mariner class ship.

It is confirmed that generally the hydrodynamic coefficients in the equations of motion increase with decreasing water depth, and the wave exciting forces and moments decrease with decreasing water depth. Amplitudes of heave and pitch in longitudinal regular head waves decrease as the water depth decreases in the range where the length of the incident wave is comparatively long.

The effects of Froude Number on the hydrodynamic coefficients increase with decreasing water depth and is more noticeable in the case of heave than pitch. In heave, generally the discrepancy between the experimental value and the theoretical value is relatively small in the case of $F_n=0$, but it is very large in the case of $F_n=0.2$. It is considered that the trend stems from the ignorance of the three dimensional effect and the other effects due to shallowness of water on the hydrodynamic coefficients in the theoretical calculation. An extension of methods for calculating the two dimensional hydrodynamic forces to include the effect of forward speed should be recommended. It is required that more experimental works in finite water depths will be carried out for correlation studies between the theoretical calculation, according to modified strip theory, and model experiments.

記 號

$a_f, b_f, c_f, d_f, e_f, h_f$: 有限水深에서의 上下動搖에 對한 運動方程式의 係數

$A_f, B_f, C_f, D_f, E_f, H_f$: 有限水深에서의 縱動搖에 對한 運動方程式의 係數

a_{Hf} : 各 斷面의 有限水深에서의 上下動搖에 對한 附加質量

F_{wf} : 有限水深에서의 波浪強制力의 振幅

F_n : Froude數(= V/\sqrt{gL})

g : 重力加速度

J : 船體의 質量慣性모멘트

h_0 : 水深

k : 無限水深에서의 波數(= $\frac{\omega^2}{g}$)

k_0 : 有限水深에서의 波數

L : 배의 길이(LPP)

m : 船體의 質量

M_{wf} : 有限水深에서의 波浪強制모멘트의 振幅

接受日誌 : 1975 年 11 月 25 日

* 正會員, 서울大學校 工科大学 ** 正會員, 서울大學校 大學院

- N_{HF} : 各 斷面의 有限水深에서의 上下動搖에 對한 波衰係數
- T : 吃水
- T_m : 各 斷面에서의 平均吃水
- V : 船體의 前進速度
- x, y, z : 船體固定座標
- X, Y, Z : 空間固定座標
- y_w : 水線面에서의 船幅
- z : 上下動搖의 變位
- z_a : 上下動搖의 振幅
- z_{ra} : 船首垂直變位振幅
- z_{va} : 船首垂直速度振幅
- z_{ca} : 船首垂直加速度振幅
- ϵ_{FF} : 有限水深에서의 波浪強制力과 入射波와의 位相差
- ϵ_{MF} : 有限水深에서의 波浪強制모우먼트와 入射波와의 位相差
- ϵ_z : 上下動搖와 入射波와의 位相差
- ϵ_θ : 縱動搖와 入射波와의 位相差
- θ : 縱動搖의 變位
- θ_a : 縱動搖의 振幅
- ζ_a : 入射波의 振幅
- ζ_f : 有限水深에서의 入射波의 波高
- λ : 入射波의 波長
- ρ : 流體의 密度
- ω : 入射波의 圓振動數
- ω_e : 週週圓振動數

1. 緒 論

船體運動의 理論의 取扱은 Kriloff의 假說 以來 많은 學者들에 依해 發展되어 왔다. 1953年 St. Denis와 Pierson의 論文, 1955年 Korvin-Kroukovsky의 Strip 理論, 1957年 Korvin-Kroukovsky와 Jacobs에 依해 發表된 修正 Strip理論, 1958年 Watanabe[1]에 依해 修正된 Korvin-Kroukovsky의 Strip理論, 1959年 Vossers의 論文, 1964年 Ogilvie의 實驗論文, 1967年 Gerritsma, Beukelman에 依해 發表된 Strip 理論等은 그中 重要한 論文들이며, 各種 船型에 對해 그에 알맞는 理論을 使用하고자 하는 努力을 繼續해 왔다[2]. 最近에 이르러 船舶의 大型化에 따라, 特히 吃水의 增加에 따라, 有限水深이 船體運動에 미치는 影響은 매우 實際的인 問題가 되었으며, 1968年 Kim[3]은 有限水深에 對한 計算을 Strip 理論을 使用하여 行한바 있다. 1975年 Sluijs等[4]은 Kim[3], [5]의 理論值와 Hooft[6] 및 Freakes, Keay[7]에 依한 實驗值를 比較한 바 있으나 그들이 理論과 實驗에 各各 使用한 模型은 同一 船型이 아니라

는 問題點이 있었다.

이에 本 論文은 Freakes, Keay가 實驗에 使用한 模型에 對해 Strip 理論에 立脚한 理論的인 計算을 遂行하여 水深이 縱規則波中에서의 船體運動에 미치는 影響을 比較, 考察하였다.

2. Strip 理論

2.1. 無限水深에서의 運動方程式

船體運動을 線型, 周期運動이라고 假定하면, Newton의 動力學의 法則으로부터 線型的으로 聯成된 6個의 二階微分方程式을 얻을 수 있으며, 船體에 作用하는 流體力은 入射波에 依한 強制力과 靜水中에서의 船體運動에 基因하는 힘의 線型的인 합으로 나타낼 수 있고, 또 問題를 線型的으로 생각하기 爲해서 運動振幅은 微小하다고 假定하면, 船體는 左右對稱이므로 上記 6個의 聯成方程式은 各各 前後, 上下, 縱動搖에 對한 組와 左右, 橫動搖 및 船首動搖에 對한 組의 聯成微分方程式으로 된다.

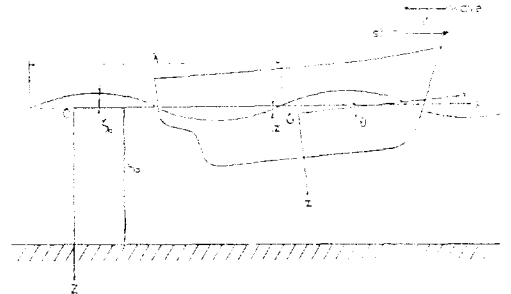


Fig. 1. Coordinate Systems

이기에서는 前後, 上下, 縱動搖에 對한 것만 다루기로 하고, 船體를 細長體라고 假定하면, 上下, 縱動搖에 對한 前後動搖의 影響은 無視할 수 있다. 座標系는 Fig. 1과 같이 設定하기로 한다. 即, 空間固定座標系 O-XYZ와 船體固定座標系 O'-xyz는 初期 瞬間에는 一致하는 右手系로 하고, O'는 船體의 中心에 있으며, O-XY平面은 靜水中의 自由表面과 同一하게 取한다.

또 上下, 縱動搖의 變位는 各各 z, θ 로 하여 z 는 下向을, θ 는 船尾沈下를 陽으로 참고, 表面에서의 入射波의 方程式을 다음과 같다고 하면,

$$\zeta = \zeta_a \cos(kx + \omega t) \tag{1}$$

上下, 縱動搖에 對한 運動方程式은 各各 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} (m+a)\ddot{z} + b\dot{z} + cz + a\ddot{\theta} + c\dot{\theta} + k\theta &= F_z \cos(\omega t + \epsilon_F) \\ (J+A)\ddot{\theta} + E\dot{\theta} + C\theta + D\ddot{z} + Ez + Hz &= M_z \cos(\omega t + \epsilon_M) \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

式(2)의 係數는

$$\begin{aligned}
 a &= \int a_H dx & A &= \int a_H x^2 dx \\
 b &= \int N_H dx & B &= \int N_H x^2 dx \\
 c &= \rho g \int y_w dx & C &= \rho g \int y_w x^2 dx + VE \\
 d &= - \int a_H x dx & D &= d \\
 e &= - \int N_H x dx - Va & E &= - \int N_H x dx - Va \\
 h &= - \rho g \int y_w x dx + Vb & H &= - \rho g \int y_w x dx
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

但, a_H : 各 斷面의 附加質量
 N_H : 各 斷面의 減衰係數
 波浪強制力과 波浪強制모우먼트는

$$\begin{aligned}
 F_a \begin{Bmatrix} \cos \varepsilon_F \\ \sin \varepsilon_F \end{Bmatrix} &= \omega \zeta_a (\omega + kV) \int \exp(-kT_m) a_H \\
 &\begin{Bmatrix} \cos kx \\ \sin kx \end{Bmatrix} dx - \rho g \zeta_a \int L \exp(-kT_m) y_w \begin{Bmatrix} \cos kx \\ \sin kx \end{Bmatrix} dx \\
 \pm \omega \zeta_a \int \exp(-kT_m) N_H &\begin{Bmatrix} \sin kx \\ \cos kx \end{Bmatrix} dx
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$$M_a \begin{Bmatrix} \cos \varepsilon_M \\ \sin \varepsilon_M \end{Bmatrix} = \zeta_a \int (\omega^2 a_H - \rho g y_w) \exp(-kT_m) x$$

$$\begin{aligned}
 F_{af} \begin{Bmatrix} \cos \varepsilon_{Ff} \\ \sin \varepsilon_{Ff} \end{Bmatrix} &= \omega \zeta_a (\omega + k_0 V) \int a_{Hf} \frac{\cosh k_0 (h_0 - T_m)}{\cosh k_0 h_0} \begin{Bmatrix} \cos k_0 x \\ \sin k_0 x \end{Bmatrix} dx \\
 &- \rho g \zeta_a \int y_w \frac{\cosh k_0 (h_0 - T_m)}{\cosh k_0 h_0} \begin{Bmatrix} \cos k_0 x \\ \sin k_0 x \end{Bmatrix} dx \\
 \pm \omega \zeta_a \int N_{Hf} &\frac{\cosh k_0 (h_0 - T_m)}{\cosh k_0 h_0} \begin{Bmatrix} \sin k_0 x \\ \cos k_0 x \end{Bmatrix} dx
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 M_{af} \begin{Bmatrix} \cos \varepsilon_{Mf} \\ \sin \varepsilon_{Mf} \end{Bmatrix} &= \zeta_a \int (\omega^2 a_{Hf} - \rho g y_w) \frac{\cosh k_0 (h_0 - T_m)}{\cosh k_0 h_0} x \begin{Bmatrix} \cos k_0 x \\ \sin k_0 x \end{Bmatrix} dx \\
 \pm \omega \zeta_a \int (N_{Hf} - V \frac{da_{Hf}}{dx}) &\frac{\cosh k_0 (h_0 - T_m)}{\cosh k_0 h_0} x \begin{Bmatrix} \sin k_0 x \\ \cos k_0 x \end{Bmatrix} dx
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

有限水深에 對한 運動方程式은 無限水深에 對한 그것과 同一한 形態를 가지나, 入射波의 式中 깊이에 依한 效果를 나타내는 部分과 波數에 關한式이 各各 無限水深에 對해서는 $\exp(-kx)$, $k = \frac{\omega^2}{g}$, 有限水深에 對해서는 $\frac{\cosh k_0 (h_0 - z)}{\cosh k_0 h_0}$, $\frac{\omega^2}{g} = k_0 \tanh k_0 h_0$ 가 되므로, 波浪強制力과 波浪強制모우먼트에 關한 項이 變化하며, 上記 有限水深에 對한 式들은 水深(h_0)이 無限히

$$\begin{Bmatrix} \cos kx \\ \sin kx \end{Bmatrix} dx \pm \omega \zeta_a \int (N_H - V \frac{da_H}{dx}) \exp(-kT_m) x \begin{Bmatrix} \sin kx \\ \cos kx \end{Bmatrix} dx
 \tag{5}$$

但, F_a, M_a : 各各 波浪強制力과 波浪強制모우먼트의 振幅
 $\varepsilon_F, \varepsilon_M$: 各各 入射波와 波浪強制力 및 波浪強制모우먼트와의 位相差

2.2. 有限水深에서의 運動方程式

有限水深에서의 入射波의 方程式은 Potential論에 依해 다음과 같이 쓸 수 있으며,

$$\zeta_f = \zeta_a \frac{\cosh k_0 (h_0 - z)}{\cosh k_0 h_0} \cos(k_0 x + \omega t)
 \tag{6}$$

$$\frac{\omega^2}{g} = k_0 \tanh k_0 h_0
 \tag{7}$$

縱規則波中에서의 船體運動方程式은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 (m + a_f) \ddot{z} + b_f \dot{z} + c_f z &+ d_f \ddot{\theta} + e_f \dot{\theta} + h_f \theta = F_{af} \cos(\omega t + \varepsilon_{Ff}) \\
 (J + A_f) \ddot{\theta} + B_f \dot{\theta} + C_f \theta &+ D_f \ddot{z} + E_f \dot{z} + H_f z = M_{af} \cos(\omega t + \varepsilon_{Mf})
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

式(8)의 係數는 無限水深에 對한 것과 完全히 같으나, 各 斷面에 對한 流體動力學的인 係數는 有限水深에 對한 값들이어야 한다.

波浪強制力과 波浪強制 모우먼트는

커지던 無限水深에 對한 式들과 完全히 一致하게 된다.

3. 數值計算

3.1. 計算에 使用된 船型

1966年 Freares, Keay는 上下, 縱動搖의 流體動力學的 parameter에 미치는 有限水深의 影響에 對한 實驗을 Mariner級 船型을 模型으로 擇하여 遂行한바 있으며[7], 本 論文에서는 이와의 比較目的으로 同一船型

에 대한 計算을 行하였다.

이 模型의 主要要目은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of the model	
Length Between Perpendiculars:	5.28 ft
Displacement	: 47 lb
Draft	: 0.283 ft
Beam	: 0.76 ft
Block Coefficient	: 0.6125
Radius of Gyration	: 1.26 ft
Scale Ratio	: 100:1

3.2. 數值計算 및 結果

模型을 길이 方向으로 10等分하고, 各 斷面의 二次元的 附加質量과 減衰係數는 서울大學校에서 開發한 特異點分布方法을 使用하여 計算하였으며 縱規則波中에서의 船體應答의 計算은 前章의 有限水深에 對한 Strip 理論에 따라시 遂行하였다.

運動方程式의 流體動力學的 係數에 關한 計算結果는 Freakes, Keay의 實驗値와 함께 Fig. 2~Fig. 11에 圖示하였으며, 縱規則波中에서의 波浪強制力, 波浪強制모우먼트 및 船體應答의 計算은 $Fn=0.2$ 일때 水深/吃水比(h_o/T)가 1.5, 2.5, ∞ (以下에서는 各各 1.5H, 2.5H, ∞ 로 表示한다.)인 各 경우에 對하여 $\lambda/L=0.4, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6$ 에 對해서 遂行하고, 그 結果를 Fig. 12~Fig.20에 圖示하였다.

本 計算에 包含된 物理量은 다음과 같이 無次元化하였다.

h_o/T	: 無次元水深
$\omega_e \sqrt{L/g}$: 無次元振動數
$(m+a)/\rho L^3$: 無次元假想質量($m'+a'$)
$b/\rho \sqrt{gL^5}$: 無次元減衰係數(b')
$(J+A)/\rho L^5$: 無次元假想慣性모우먼트($J'+A'$)
$B/\rho \sqrt{gL^9}$: 無次元減衰모우먼트(B')
Z_{oa}/ζ_a	: 無次元上下動搖振幅
$\theta_{oa}/k\zeta_a$: 無次元縱動搖振幅
$F_a/\rho g \zeta_a L^2$: 無次元波浪強制力
$M_a/\rho g \zeta_a L^3$: 無次元波浪強制모우먼트
Z_{ra}/ζ_a	: 無次元相對垂直變位(船首)
$Z_{va}/\sqrt{g/L}\zeta_a$: 無次元相對垂直速度(船首)
$Z_{aa}/\zeta_a g/L$: 無次元相對垂直加速度(船首)

4. 考 察

4.1. 流體動力學的 係數

4.1.1. 假想質量

Freakes, Keay[7]의 實驗値와 比較하기 爲하여 船體質量과 附加質量의 合인 假想質量($m+a$)의 計算結果

를 無次元振動數($\omega_e \sqrt{L/g}$)에 對해서 나타낸 것이 Fig. 2, Fig. 3이다.

Fig.2는 $Fn=0$ 일 때의 값이며, 計算値와 實驗値 共히 水深의 減少에 따라시 增加한다. 計算値는 2.5H와 ∞ 에 對한 값에서 別 差異를 나타내지 않으나, 1.5H에 對한 값은 ∞ 에 對한 값보다 大體의으로 20%程度 높은 값을 나타내고 있으며, 實驗値도 같은 傾向을 나타내고 있다.

實驗値는 無次元振動數 3.5~4.3을 除外하고는 모든 h_o/T 의 경우에 對해서 理論値보다 높은 傾向을 나타내며, 1.5H에서의 그 差가 가장 크며, 最大 16%程度 높다.

$Fn=0.2$ 에 對한 Freakes, Keay의 實驗値는 $Fn=0$ 에 對한 計算値와 더불어 Fig. 3에 圖示하였다. 實驗値는 2.5H와 ∞ 에 對한 값에서 別 差異를 나타내지 않으나 1.5H에 對한 값은 ∞ 에 對한 값에 比해 宏壯한 增加를 나타낸다. 1.5H에 對한 實驗値는 無次元振動數 4.0에서 理論値의 約 3倍를 나타내고 있으며, 2.5H와 ∞ 에 對한 實驗値는 理論値보다 약간 높은 傾向을 나타내고 있다.

따라시 水深이 增加하면 前進速度의 影響은 別로 나타나지 않으며, 水深이 얇으면 前進速度의 影響은 增大하여 實驗値와 理論値사이엔 큰 差異를 나타내게 한다. 이러한 傾向은 Fn 가 增加함에 따라 더욱 甚해될 것으로 期待되며 이와 같은 實驗値와 理論値의 差異는 二次元的 流體動力學的 係數의 計算時, 前進速度의 影響을 考慮할 수 없는 點과 實驗時, 前進速度에 依한 流體擾亂이 水深의 減少에 따라 더욱 甚해지는 點으로부터 緣由된다고 생각 되어 진다.

船體의 길이 方向에 따르는 附加質量의 分布는 Fig. 10에 圖示하였다. 船體全體의 附加質量의 값은 水深 2.5H와 ∞ 의 경우에는 別 差異가 없으며, 길이 方向의 分布는 $\lambda/L=1.0, 1.6$ 의 경우에는 差異가 그다지 나타나고 있지 않으나, 짧은 入射波의 경우에는 多少의 差異를 나타내고 있다. 한편 水深 1.5H에서는 無限깊이에 對한 값보다 附加質量이 훨씬 커지고 있으며 船體附加質量은 水深이 淺아짐에 따라시 增加하는 傾向이 있는 것을 確認할 수 있다.

4.1.2. 減衰係數

$Fn=0$ 일때의 減衰係數의 값을 Fig. 4에 圖示하였다. 이 結果로부터 計算値와 實驗値 共히 水深의 減少에 따라 增加하는 것을 알 수 있다. 計算値는 無次元振動數 4.0에서 1.5H, 2.5H에 對한 값이 ∞ 에 對한 값보다 各各 76%, 18%의 增加를 나타내고 있으며, 實驗値도 비슷한 傾向을 나타내고 있다. 實驗値는 無次元

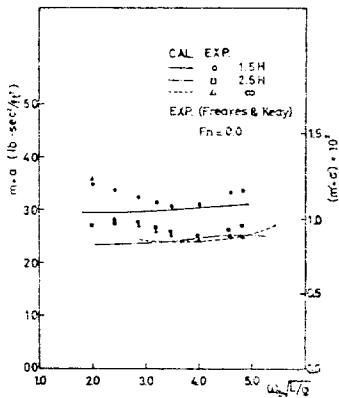


Fig. 2 Comparison between Calculated and Measured Virtual Mass at various Water Depths

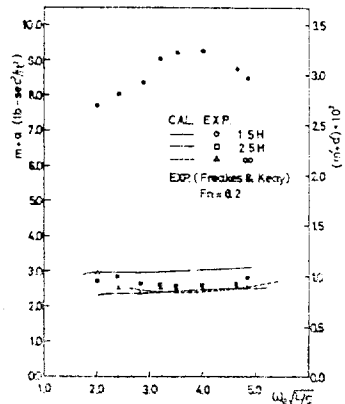


Fig. 3 Comparison between Calculated and Measured Virtual Mass at various Water Depths

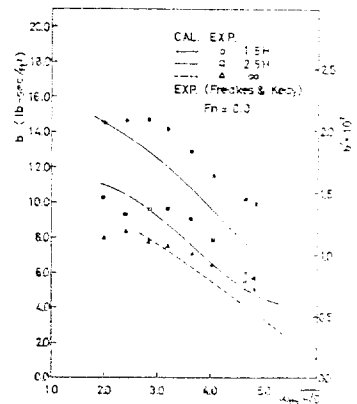


Fig. 4 Comparison between Calculated and Measured Heave Damping at various Water Depths

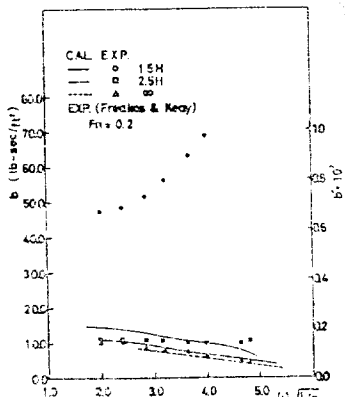


Fig. 5 Comparison between Calculated and Measured Heave Damping at various Water Depths

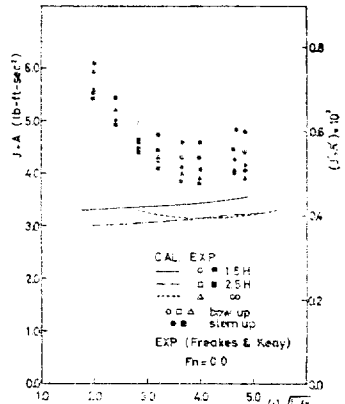


Fig. 6 Comparison between Calculated and Measured Virtual Inertia at various Water Depths

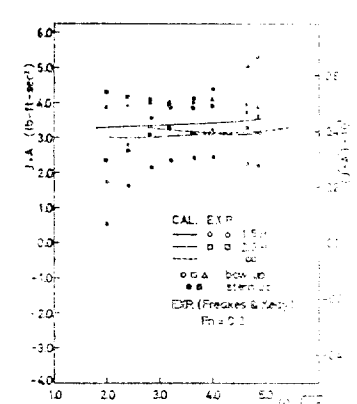


Fig. 7 Comparison between Calculated and Measured Virtual Inertia at various Water Depths

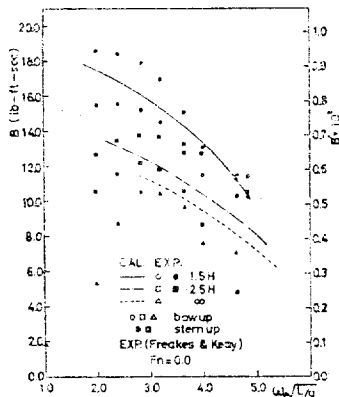


Fig. 8 Comparison between Calculated and Measured Pitch Damping at various Water Depths

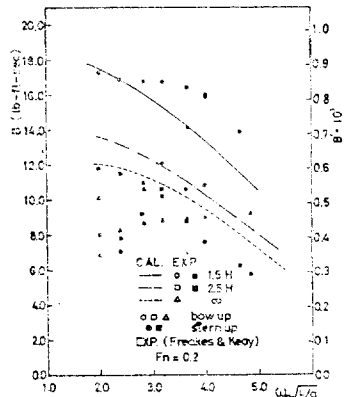


Fig. 9 Comparison between Calculated and Measured Pitch Damping at various Water Depths

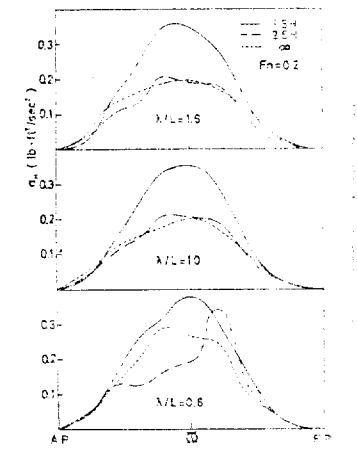


Fig. 10 Distribution of Added Mass over the Length of the Model at various Depths

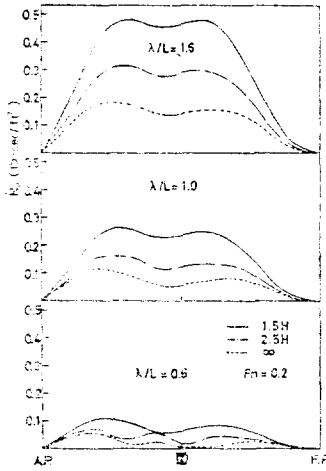


Fig. 11 Distribution of Heave Drift over the Length over the Model at various Depths

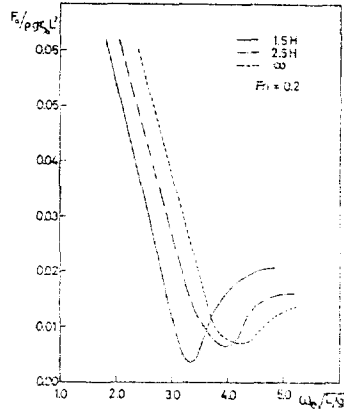


Fig. 12 Effect of Water Depth on Wave Exciting Force in Head Waves

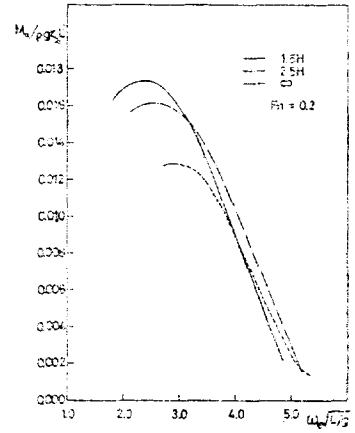


Fig. 13 Effect of Water Depth on Wave Exciting Moment in Head Waves

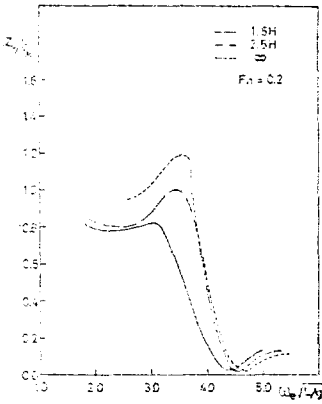


Fig. 14 Effect of Water Depth on Heave in Head Waves

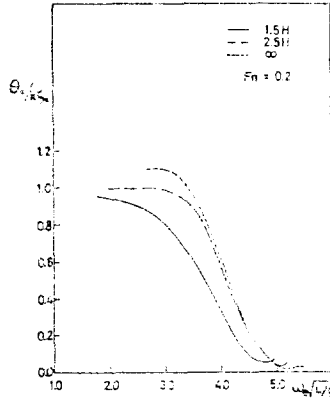


Fig. 15 Effect of Water Depth on Pitch in Head Waves

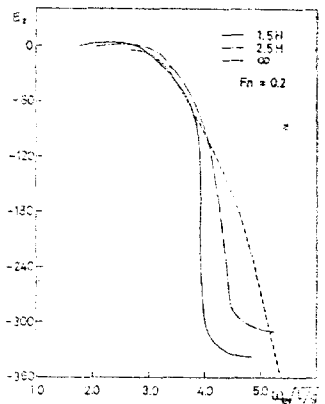


Fig. 16 Effect of Water Depth on Heave Phase

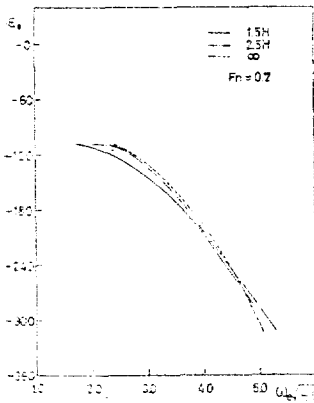


Fig. 17 Effect of Water Depth on Pitch Phase

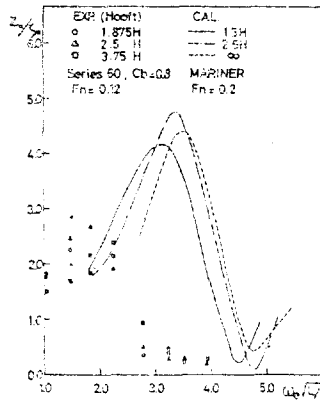


Fig. 18 Effect of Water Depth on Relative Vertical Displacement at the Bow in Head Waves

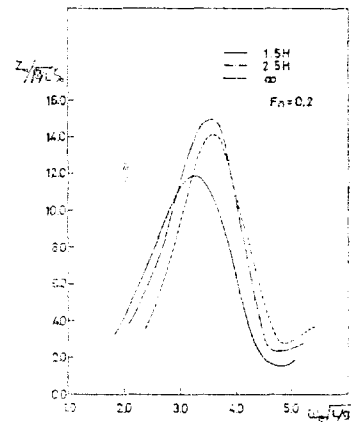


Fig. 19 Effect of Water Depth on Relative Vertical Velocity at the Bow in Head Waves

振動數 3.0以上에서는 모든 h_0/T 의 경우에 對해서 理論值보다 높은 傾向을 나타내며, $1.5H, 2.5H, \infty$ 에서 各各 最大 20%, 20%, 34%씩 높다.

$Fn=0.2$ 에 對한 實驗值를 $Fn=0$ 에 對한 理論值와 더불어 Fig. 5에 圖示하였다. 實驗值는 $2.5H$ 와 ∞ 에 對한 값에서 큰 差異를 나타내지 않으나, $1.5H$ 에 對한 값은 ∞ 에 對한 값의 最大 14倍 程度를 나타내고 있다. $1.5H$ 에 對한 實驗值는 無次元振動數 4.0에서 理論值의 約 7倍를 나타내며, $2.5H$ 와 ∞ 에 對한 實驗值는 理論值보다 약간 높은 傾向을 나타내고 있다. 이와같은 減衰係數의 傾向은 附加質量에 對한 傾向과 類似하며, 同一한 理由로부터 基因하는 것으로 생각된다.

船體의 길이 方向에 따르는 減衰係數의 分布를 Fig. 11에 圖示하였다. 船體의 減衰係數는 水深 $2.5H$ 에서도 無限水深의 경우보다 높은 값을 나타내고 있으며 附加質量의 경우보다 水深의 影響을 더욱 크게 받고 있다는 것을 알 수 있다.

4.1.3. 假想慣性모우먼트와 減衰모우먼트

Fig. 6, Fig. 7에 船體의 慣性모우먼트와 附加慣性모우먼트를 합한 假想慣性모우먼트($J+A$)에 關한 Freakes, Keay의 實驗結果와 計算值를 함께 圖示하였다.

Freakes, Keay의 縱動搖에 關한 實驗은 上下動搖를 固定시키고, 初期狀態에 船首浮上된 것과 船尾浮上된 것의 2가지 경우에 對해서 行해진 것이며, 2경우의 實驗值는 큰 差異를 나타내고 있으며 恒常 船尾浮上의 경우가 船首浮上의 경우보다 높다.

Fig.6은 $Fn=0$ 일때의 結果이며, 理論值와 實驗值에는 큰 差異가 있으며, 實驗值가 恒常 理論值보다 높고 實驗值에서는 水深이 얇을수록 假想慣性모우먼트가 높게 나타나 있는데, 計算值에서는 水深 $1.5H$ 에 對한 값이 가장 높지만 $2.5H$ 에서는 無次元振動數 4.0보다 작은 範圍에서는 無限水深에 對한 값보다 낮아지 一定한 傾向을 찾아 볼 수가 없다. 한편 $Fn=0.2$ 에서는 前進速度가 零인 경우와는 달리, 實驗值에서도 水深의 影響에 關한 一定한 傾向을 나타내고 있지 않다. 異常하게도 $Fn=0$ 인 때의 計算值가 各 水深에 있어서 初期狀態에 船首浮上, 船尾浮上된 경우에 對한 實驗值의 中間值를 取하고 있다. 前進速度가 없는 경우의 實驗值보다 前進速度가 있는 경우에 對한 實驗值가 前進速度가 없는 경우에 對한 計算值와 잘 맞는다는 것은 그 理由를 찾기가 어려우며, 附加慣性모우먼트에 關한 水深의 影響에 對해서는 더욱 많은 實驗을 하여 究明하여야 할 餘地가 있는 것으로 생각된다. 한편 減衰모우먼트에 關해서는, $Fn=0$ 일 때가 假想慣性모우먼트의 $Fn=0.2$ 일 때의 水深에 依한 影響과 類似한 傾向을 보여

주고 있으며(Fig. 8), $Fn=0.2$ 일 때에는 비슷한 傾向은 보여주나 規則性이 없다(Fig. 9).

4.2. 波浪強制力과 波浪強制모우먼트

各 水深의 경우에 對한 波浪強制力과 波浪強制모우먼트의 計算值를 各各 Fig.12와 Fig.13에 圖示하였다. 이 計算結果로 부터 Mariner級 船型은 無次元振動數 約 3.7까지의 入射波에 對해서는 水深이 얇아 질수록 波浪強制力이 작아지며 그 範圍를 넘으면 反對로 커지는 傾向을 나타내고 있다.

한편 波浪強制모우먼트는 낮은 振動數의 入射波에 對해서는 水深이 얇을수록 커지며, 높은 振動數의 入射波에 對해서는 一定한 傾向을 나타내지 않는다.

波浪強制力에 關해서는 Kim[3]의 Series 60, $CB=0.7$ 에 對한 計算結果를 再編성한 Sluijs等[4]의 結果와 같은 傾向은 보여 주고 있으므로, 一般 商船 船型에 對해서는 一般의 結果라고 보여진다. 그러나 波浪強制모우먼트에 對해서는 앞으로 더욱 調査, 檢討할 必要가 있다.

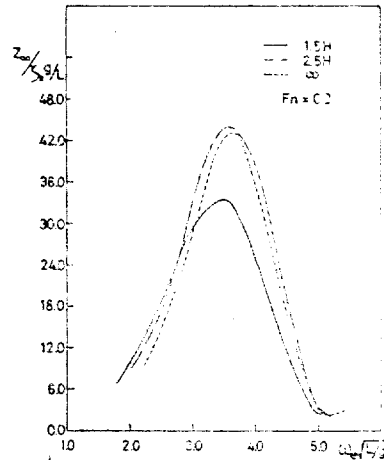


Fig.20 Effect of Water Depth on Relative Vertical Acceleration at the Bow in Head Waves

4.3. 縱規則波中에서의 船體應答

4.3.1. 上下動搖와 縱動搖

Fig. 14, Fig. 15의 結果에 따르면, Mariner級 船型은 無次元振動數가 4.5보다 낮은 範圍, 即 $\lambda/L > 0.7$ 에서는 上下 및 縱動搖의 振幅은 水深의 減少에 따라서 減少한다. 水深 $2.5H$ 에 對한 값은 無次元振動數 3.7以上에서는 水深 ∞ 에 對한 값과 別 差異가 없으나, 3.7以下에서는 差異를 나타내고 있으며, 無次元振動數 3.7에서 ∞ 에 對한 값의 50% 程度를 나타내고 있어, 水深이 얇아짐에 따라 上下 및 縱動搖는 크게 減少한다. 縱規則波中에서의 船體應答은 h_0/T 가 4를 넘으면 無限水深에 對한 船體應答值와의 差異가 거의 없다는 Sluijs

等[4]의 결론은 本報의 結果로 부터도 推測은 되나 確認은 하지 못하였다.

上下 및 縱動搖와 入射波와의 位相差에 미치는 水深의 影響은 Fig.16, Fig.17의 結果로부터, 無次元振動數가 3.7보다 낮은 範圍, 即 $\lambda/L > 0.8$ 에서는 거의 없으나, 이보다 높은 範圍에서는 上下動搖의 경우에는 어느 程度의 影響을 끼치는 것으로 보인다.

水深이 얇아짐에 따라서 船體의 附加質量과 減衰係數는 增加하며, 波浪強制力은 減少하는데, 이 中, 附加質量의 增加는 上下動搖의 振幅을 增大시키는 役割을 하고, 減衰係數의 增加와 波浪強制力의 減少는 上下動搖의 振幅을 減少시키는 役割을 한다. 이와 같은 性質은 縱規則波中에서의 船體應答에 對한 水深의 影響을 나타내는 Fig.14의 結果에 符合된다.

4.3.2. 船首運動

各 水深에 對한 縱規則波中에서의 Mariner級 船型의 船首垂直變位振幅의 Strip 理論에 依한 計算值를 Fig. 18에 Series 60, $C_B=0.8$ 에 對한 Hooft[6]의 實驗值와 함께 圖示하였다. 작은 振動數의 範圍, 即 긴 波長의 入射波에 對해서는 Sluijs等[4]의 計算結果와 同一한 傾向을 나타내며, 水深이 얇을수록 船首垂直變位振幅은 增加한다. Sluijs等은 流體動力學의 係數를 無限깊이에 對한 計算值를 使用하고 波浪強制力과 波浪強制모우먼트는 Kim[3]의 結果를 利用, 修正하여 Strip 理論에 依해서 計算하고 긴 入射波에 對해서 Hooft의 實驗結果와 같은 傾向을 갖는다고 主張하고, Hooft의 實驗值가 散亂되어 있다고 主張하고 있는데, 그와 같은 傾向은 어느 程度 있는 것으로 보이나, 이것은 Sluijs等의 計算에 있어서 流體動力學의 係數를 無限水深에 對한 값을 使用한 데 잘못이 있다고 생각된다. 本 計算結果는 Hooft의 實驗結果와 傾向이 比較的 잘 一致하고 있다.

Fig.19, Fig.20에 各 各 Mariner級 船型의 船首垂直速度振幅과 船首垂直加速度振幅의 計算值를 圖示하였는데, 水深의 變化에 따른 船首垂直速度振幅과 船首垂直加速度振幅의 變化傾向은 大概 船首垂直變位振幅의 경우와 類似하다.

5. 結 論

本 研究를 통하여 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다

- (1) 附加質量, 減衰係數 등 運動方程式의 流體動力學의 係數는 水深이 얇아짐에 따라서 增加하고, 波浪強制力은 水深이 얇아질수록 減少하는 傾向을 갖는다.
- (2) 附加慣性모우먼트와 波浪強制모우먼트에 關해서는 水深의 影響에 對한 一定한 性質을 發見하기가

어렵다.

- (3) 前進速度가 零일때의 流體動力學의 係數는 計算值와 實驗值의 差異가 그다지 크지 않으나, 前進速度가 있을 때에는 實驗值와의 差異가 크므로 前進速度가 있는 경우에 對한 流體動力學의 係數의 計算方法을 開發하여야 하겠다.
- (4) 特히 Froude數가 0.2, 水深/吃水 比가 極히 작을 때에는 附加質量과 減衰係數의 實驗值가 急激히 增加하는데, 이것은 實際의 流體流動이 亂流化 하는 것으로 부터 基因된다고 생각된다.
- (5) 比較的 긴 波長의 縱規則波에 對해서는 上下動搖와 縱動搖의 振幅은 水深의 減少에 따라 減少한다는 從前의 研究結果는 다양하다.
- (6) 船首의 垂直變位, 垂直速度 및 垂直加速度 振幅은 比較的 긴 入射波에 對해서는 水深이 얇아짐에 따라 增加한다.

參 考 文 獻

- [1] 渡邊惠弘, “船의 上下動および 縱動搖의 理論에 就て”, 九州大學工學集報, 第3卷, 第1號, 1958.
- [2] 權寧中, 黃宗屹, “船體運動에 關한 Strip Method의 一考察”, 大韓造船學會誌, 第8卷, 第1號, 1971.
- [3] Kim, C.H., “The Influence of Water Depth on the Heaving and Pitching Motions of a Ship Moving in Longitudinal Regular Head Waves”, Chalmers University of Technology, Division of Ship Hydromechanics Report No. 44, 1968.
- [4] van Sluijs M.F., Tan Seng Gie, “The Effect of Water Depth on Ship Motions”, *Proceeding of 14th I.T.T.C.*, 1975.
- [5] Kim, C.H., “The Influence of Water Depth on the Midship Bending Moments of a Ship Moving in Longitudinal Regular Head Waves”, Chalmers University of Technology, Division of Ship Hydromechanics Report No. 45, 1968.
- [6] Hooft, J.P., “The Behaviour of a Ship in Head Waves at Restricted Water Depths”, Netherlands Ship Research Centre TNO, Report No. 188S, 1974.
- [7] Freakes, W., Keay, K.L., “Effects of Shallow Water on Ship Motion Parameters in Pitch and Heave”, M.I.T., Report No. 66-7, 1966.