

船型이 船體運動에 미치는 影響에 關한 研究

金 辰 安*

The Effect of Forebody Forms on the Ship Motion in Regular Head Waves

by

Jin Ahn Kim*

Abstract

The effect of the bow shape on the ship motion response among longitudinal regular waves, is investigated employing the strip theory.

The two dimensional hydrodynamic forces such as added mass and damping are calculated by the integral equation method for arbitrary sections.

Nine ship models are selected for investigation. They are U, UV and V bow ship forms of different block coefficient of 0.6, 0.7 and 0.8 with constant after body.

The heave amplitude of the V bow ship is smaller than that of the U bow ship in the whole range of wave length except extremely short wave as were stated by the earlier investigators.

This result holds also in the case of bow vertical motions such as vertical relative displacement, velocity and acceralation. As to the pitch amplitudes, the V bow ship gives smaller value in long waves but larger value in short waves.

However, heave and pitch phase angles are practically not influenced by the form of the fore body sections. In the bow motions, a little difference in phase angle is appeared in the vicinity of the wave which has same ship length.

With respect to the wave exiting force and moment unfavourable effects could be expected in V bow ships. And these tendency hold also in the wave bending moment.

1. 序 論

1953년에 St. Denis와 Pierson [1]이 不規則波中에 있어서의 船體運動理論을 提唱한 論文을 發表한 것을 基點으로 하여 現代의 船體運動論의 새로운 歷史가 시작되었다.

그 後에 船型이 船體運動性能에 미치는 影響에 關한 研究가 여러 研究者에 依해서 시작되었으나 近年에 이르기까지는 實驗的 研究가 主流을 이루고 왔다.

이들 實驗的 研究를 살펴보면 1955년에 E.V Lewis [2]는 Series 60 船型에 있어서 同一한 船尾 形狀으로 하고 다만 船首의 形狀을 極端的인 U船首型으로부터 極端的인 V船首型으로 바꾼 各船型에 對하여 波浪中

에서 模型實驗을 하여 大體로 V船首型의 船型이 短波長의 波를 除外한 波浪中에서는 運動性能이 優秀하다는 結論을 얻었다.

이와 같은 實驗은 Ochi [3], Swaan과 Vossors [4], Bengtsson [5]에 依해서도 行하여졌으며 大略 一致된 結果를 提示하고 있다.

한편 1957년에 Korvin-Kroukovsky와 Jacobs [6]는 Munk [7]의 飛行船에 關한 strip理論을 縱規則 波中에서의 上下動搖와 縱動搖의 聯成運動에 擴張한 strip理論을 提案하게 됨으로써 船體運動에 對한 理論的인 計算이 可能하게 되었다.

그러나 初期에 있어서의 Korvin-Kroukovsky의 strip理論은 여러가지 不備點이 있었으며 同年에 Watanabe

授受日字 : 1975年 4月 15日

* 正會員, 釜山大學校 工科大學

[8]에 의하여 修正確立되었고 그後 여러사람들의 研究에 의하여 補完되어, 1966년에는 Gerritsma와 Beukelman [9]에 의하여 strip 理論에 의한 計算値의 精度가 一般商船船型에 對해서는 매우 좋다는 것이 實驗에 의하여 立證되었다.

이와 같은 過程을 거쳐 上記한 船型의 船體運動에 미치는 影響에 關한 理論的인 研究가 可能하게 되었으며, 1971년에 Yourkov [10]는 이에 對하여 처음으로 理論的인 計算을 하였다.

即 同一한 船尾形狀을 가지고 船首形狀이 다른 U, UV, 및 V船首의 各各 肥瘠係數를 달리하는 9種의 船型에 對하여, Korvin-Kroukovsky의 strip 理論에 立脚한 Gerritsma-Beukelman version에 依據하여, 船體運動中에서 가장 重視되는 上下動搖와 縱動搖의 聯成運動에 關한 船體中央部에서의 應答만을 計算하였다.

이 밖에 strip 理論을 利用한 船型과 船體應答에 關한 基礎的인 研究로서 Gerritsma等 [11]의 1974년에 報告된 船幅이 船體의 動力學的 特性에 미치는 影響에 關한 論文이 있다.

現在 縱規則波中에서의 船體의 運動을 計算하는 Korvin-Kroukovsky의 元來의 線型 strip 理論을 補正한 여러식들이 있는데 그것들은 本質的으로는 同一한 것으로서 前進速度의 取扱이 다를 뿐이며 그 影響은 高速의 경우에 있어서만 意味를 갖는다.

또 聯成運動方程式의 動流體力學的인 係數의 計算에 關聯된 2次元斷面의 動流體力의 計算에 對하여서도 主로 Ursell의 理論 [12]을 Lewis 斷面に 擴張한 Tasai [13]의 計算法이 使用되어 왔으며 그 計算에 依한 係數를 使用하는 Ordinary Strip Method (OSM)에 依해서 船體運動應答를 計算하고 있는 것이 習慣化되고 있다.

그러나 OSM은 各斷面의 半幅比와 斷面積係數가 同一한 Lewis form로 各斷面을 近似시키고 있으므로 船尾의 一部斷面に 對한 近似에 있어서 매우 좋지 않다.

이와 같은 缺點을 補完하기 위하여 Frank [14]와 Maeda [15]는 斷面에 特異點을 分布시켜 積分方程式法에 依해서 任意斷面의 柱狀體가 靜水面에서 強制上下動搖를 할 때의 附加質量과 減衰力을 計算하는 方法을 確立하였다.

本論文에서는 積分方程式法에 依據하여 各斷面의 附加質量 및 減衰力을 嚴密하게 計算하고 縱規則波中에서의 船體의 上下動搖, 縱動搖, 船首運動과 靑波의 影響等을 OSM에서 使用하는 것과 同一한 strip 理論에 따라서 計算하여 船首部의 極端的인 U型 船型과 極端的인 V型 船型의 縱規則波中에서의 船體運動應答에 對

한 影響을 研究하였다.

2. Strip 理論

2.1 Strip 理論의 假定

縱規則波中에서의 船體의 上下動搖, 縱動搖 및 船首運動等에 對한 船體應答의 振幅과 位相差等을 計算하는데 使用되는 理論은 앞에서 言及된바와 같이 前進速度의 影響을 補完한 Korvin-Kroukovsky의 線型 strip 理論이다.

前進速度의 寄與項은 研究者에 따라서 差異가 많으며 그것은 多分히 經驗論的으로 導入된 것으로서 嚴密性이 缺如되어 있다. 그러나 이와 같은 것은 極히 高速인 船舶의 경우에 있어서는 그 影響이 크고, 一般商船에 있어서는 그다지 問題가 되지 않는다.

一般商船에 對해서는 strip 理論에 依한 規則波中에서의 船體應答의 計算値와 實驗値는 一般的으로 滿足할 만한 結果를 나타내고 있으며 [9],[16] 이에 따라 最近 船體 應答은 主로 計算에 依하여 處理하겠금 되었다.

Strip 理論은 다음과 같은 主要한 假定에 따라서 세워진 理論이며 이들 假定은 一般的으로 받아들여지고 있다[16].

- (1) 船體에 對한 入射波, 船體가 生成하는 波等은 微小波高의 波이며, 船體의 運動도 平衡位置로 부터의 微小攪亂이다. (線型理論으로서의 假定)
- (2) 流體의 粘性은 無視한다.
- (3) 船體의 長이는 幅과 吃水에 比하여 매우 크며 따라서 各斷面은 斷面相互間에 干涉을 받지 않은 2次元 strip으로 取扱한다.

2.2 運動方程式

船體는 一定速度 V 로 移動하는 座標系의 近傍에서 微小定常周期運動을 하고 있다고 假定하고 座標系를 Fig. 1과 같이 設定한다. 即

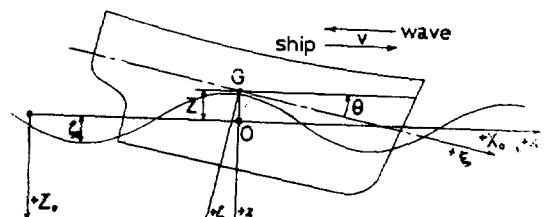


Fig.1 Coordinate Systems

靜止空間座標을 $O_0 - X_0 Y_0 Z_0$, 靜水中의 自由表面에 原點을 둔 移動空間座標을 $O - xyz$, 原點을 重心 G에 둔 船體空間座標을 $O - \xi \eta \zeta$ 라 하고 Z_0, z, ζ 는 下向을 陽으로 잡는다.

座標系를 위와 같이 取하면 縱規則波中에서의 船體의 上下動搖 및 縱動搖의 聯成運動의 運動方程式은 다음과 같다.

$$(m+a)\ddot{z}+b\ddot{z}+c\dot{z}+d\ddot{\theta}+e\dot{\theta}+h\theta = F_c \cos \omega_c t - F_s \sin \omega_c t \quad (1)$$

$$(J_0+A)\ddot{\theta}+B\dot{\theta}+C\theta+D\ddot{z}+E\dot{z}+Hz = -M_c \cos \omega_c t - M_s \sin \omega_c t \quad (2)$$

(1)(2)式的 係數는

$$\left. \begin{aligned} a &= \int a_n d\xi & A &= \int a_n \xi^2 d\xi \\ b &= \int b_n d\xi & B &= \int b_n \xi^2 d\xi \\ c &= \int c_n d\xi & C &= \int c_n \xi^2 d\xi + UE \\ d &= - \int a_n \xi d\xi & D &= d \\ e &= - \int b_n \xi d\xi & E &= - \int b_n \xi d\xi - Ua \\ h &= - \int c_n \xi d\xi + Ub & H &= - \int c_n \xi d\xi \end{aligned} \right\} (3)$$

波浪強制力은

$$\left. \begin{aligned} F_c &= \xi_a \int [(c_n - \omega \omega_n a_n) \exp(-KT_m) \cos(K\xi) - \omega \exp(-KT_m) b_n \sin(K\xi)] d\xi \\ F_s &= \xi_a \int [\omega \exp(-KT_m) b_n \cos(K\xi) + (c_n - \omega \omega_n a_n) \exp(-KT_m) \sin(K\xi)] d\xi \end{aligned} \right\} (4)$$

波浪強制 moment 는

$$\left. \begin{aligned} M_c &= -\xi_a \int [(\xi \omega b_n + U \omega a_n) \exp(-KT_m) \sin(K\xi) - (c_n \xi - \xi \omega \omega_n a_n) \exp(-KT_m) \cos(K\xi)] d\xi \\ M_s &= -\xi_a \int [(c_n \xi - \xi \omega \omega_n a_n) \exp(-KT_m) \sin(K\xi) - (\xi \omega b_n - U \omega a_n) \exp(-KT_m) \cos(K\xi)] d\xi \end{aligned} \right\} (5)$$

但 m 은 船體의 質量, J_0 은 船體의 質量慣性 moment 이며 a_n, b_n, c_n 은 各斷面의 값으로서 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} a_n &= \frac{1}{2} \pi \cdot b^2 \cdot (\text{added mass coeff.}) \\ b_n &= \frac{g^2}{\omega_c^3} \bar{A}^2 \\ c_n &= 2gb \end{aligned} \right\} (6)$$

여기서 b 는 各斷面의 半幅이며, \bar{A} 는 進行波振幅比이다.

上記의 各係數를 無次元化하면

$$\left. \begin{aligned} a' &= a/L^3, & A' &= A/L^5 \\ b' &= b/g^{0.5} L^{2.5}, & B' &= B/g^{0.5} L^{4.5} \\ c' &= c/gL, & C' &= C/gL^4 \\ d' &= d/gL^4, & D' &= d' \\ e' &= e/g^{0.5} L^{3.5}, & E' &= E/g^{0.5} L^{3.5} \\ h' &= h/gL^3, & H' &= H/gL^3 \\ a'' &= \tau/L^3 + a', & A'' &= \tau/L^3 (K'_{yy})^2 + A' \end{aligned} \right\} (7)$$

$$\left. \begin{aligned} F'_c &= F_c/g\zeta_c L^2, & M'_c &= M_c/g\zeta_c L^3 \\ F'_s &= F_s/g\zeta_c L^2, & M'_s &= M_s/g\zeta_c L^3 \end{aligned} \right\} (8)$$

2.3 上下動搖와 縱動搖

上下動搖와 縱動搖의 聯成運動方程式의 解는

$$\left. \begin{aligned} z' &= z'_c \cos \omega_c t - z'_s \sin \omega_c t = z'_c \cos(\omega_c t + \varepsilon_z) \\ \theta' &= \theta'_c \cos \omega_c t - \theta'_s \sin \omega_c t = \theta'_c \cos(\omega_c t + \varepsilon_\theta) \end{aligned} \right\} (9)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但 } z'_c &= z'_c \cos \varepsilon_z = \frac{R \cdot \bar{P} + \bar{S} \cdot \bar{Q}}{R^2 + \bar{S}^2} \\ z'_s &= z'_s \sin \varepsilon_z = \frac{R \cdot \bar{Q} - \bar{S} \cdot \bar{P}}{R^2 + \bar{S}^2} \\ \theta'_c &= \theta'_c \cos \varepsilon_\theta = \frac{R \cdot \bar{P}' + \bar{S} \cdot \bar{Q}'}{R^2 + \bar{S}^2} \\ \theta'_s &= \theta'_s \sin \varepsilon_\theta = \frac{R \cdot \bar{Q}' - \bar{S} \cdot \bar{P}'}{R^2 + \bar{S}^2} \end{aligned} \right\} (10)$$

이 때 $\bar{P}, \bar{Q}, R, \bar{S}, \bar{P}', \bar{Q}'$ 는

$$\left. \begin{aligned} \bar{P} &= -(C' - A'' \omega_1^2) \left(\frac{F'_c}{F'_s} \right) \pm B' \omega_1 \left(\frac{F'_c}{F'_s} \right) \\ &\quad + (h' - d' \omega_1^2) \left(\frac{M'_c}{M'_s} \right) \mp e' \omega_1 \left(\frac{M'_c}{M'_s} \right) \\ \bar{P}' &= -(C' - a' \omega_1^2) \left(\frac{M'_c}{M'_s} \right) \pm b' \omega_1 \left(\frac{M'_c}{M'_s} \right) \\ &\quad + (H' - D' \omega_1^2) \left(\frac{F'_c}{F'_s} \right) \mp E' \omega_1 \left(\frac{F'_c}{F'_s} \right) \\ R &= -(c' - a' \omega_1^2) (C' - A'' \omega_1^2) \\ &\quad + (h' - d' \omega_1^2) (H' - D' \omega_1^2) - b' B' \omega_1^2 - c' E' \omega_1^2 \\ \bar{S} &= -b' \omega_1 (C' - A'' \omega_1^2) - B' \omega_1 (c' - a' \omega_1^2) \\ &\quad + e' \omega_1 (H' - D' \omega_1^2) + E' \omega_1 (h' - d' \omega_1^2) \end{aligned} \right\} (11)$$

여기서 ω_1 은 ω_c 를 $\sqrt{g/L}$ 로 無次元化한 값이다.

上下動搖와 縱動搖의 振幅과 位相差는 各各 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} z'_c &= \frac{\bar{z}'_c}{\zeta_c} = \sqrt{z_c'^2 + z_s'^2}, & \varepsilon_z &= \tan^{-1} \frac{z'_s}{z'_c} \\ \theta'_c &= \frac{\theta'_c}{K'_{yy}} = \sqrt{\theta_c'^2 + \theta_s'^2}, & \varepsilon_\theta &= \tan^{-1} \frac{\theta'_s}{\theta'_c} \end{aligned} \right\} (12)$$

2.4 船首運動

船首部에서의 上下動搖와 縱動搖의 聯成運動時의 加速度的 振幅과 位相差는 上下變位 $z(\xi) = z - \xi\theta$ 에서

$$\left. \begin{aligned} \alpha'_a &= \frac{\alpha_a}{\zeta_c g/L} \parallel \sqrt{\alpha_c'^2 + \alpha_s'^2} \\ \varepsilon_a &= \tan^{-1} \frac{\alpha'_s}{\alpha'_c} \end{aligned} \right\} (13)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但 } \alpha'_c &= z'_c - \left(\frac{\xi'_0}{2} - \xi'_s \right) \theta'_c - \omega_1^2 \\ \alpha'_s &= z'_s - \left(\frac{\xi'_0}{2} - \xi'_s \right) \theta'_s - \omega_1^2 \end{aligned} \right\}$$

여기서 ξ'_0 는 ∞ 에서 船首까지의 距離를 $\frac{1}{2} L$ 로써 無次元化한 값이며 ξ'_s 는 重心 G 의 ∞ 로 부터의 水平距離를 L 로써 無次元化한 값이다.

船首部의 入射波의 波面에 對한 相對變位の 振幅과 位相差는

$$\left. \begin{aligned} z'_{ra} &= \frac{z_{ra}}{\zeta_a} = \sqrt{z_{rc}'^2 + z_{rs}'^2} \\ \varepsilon_a &= \tan^{-1} \frac{z_{rs}'}{z_{rc}'} \\ \text{但 } z_{rc}' &= z_c' - \left(\frac{\xi_0'}{2} - \xi_{\varepsilon'} \right) \theta_s' - \cos(\tau \xi_0') \\ z_{rs}' &= z_s' - \left(\frac{\xi_0'}{2} - \xi_{\varepsilon'} \right) \theta_s' - \sin(\tau \xi_0') \end{aligned} \right\} (14)$$

(14)式에서 τ 는 $\frac{1}{2}(\omega/\sqrt{g/L})^2$ 이다.

다음에 船首부의 入射波의 波面에 對한 相對速度의 振幅과 位相差는

$$\left. \begin{aligned} z_{rs}' &= \frac{z_{rs}}{\zeta_a \sqrt{g/L}} = \sqrt{z_{rc}'^2 + z_{rs}'^2} \\ \varepsilon_s &= \tan^{-1} \frac{z_{rs}'}{z_{rc}'} \\ \text{但 } z_{rc}' &= \left[z_c' - \left(\frac{\xi_0'}{2} - \xi_{\varepsilon'} \right) \theta_s' \right] \omega_1 - F_n \theta_c' \\ &\quad - \cos(\tau \xi_0') \omega_0 \\ z_{rs}' &= - \left[z_c' - \left(\frac{\xi_0'}{2} - \xi_{\varepsilon'} \right) \theta_s' \right] \omega_1 - F_n \theta_s' \\ &\quad + \cos(\tau \xi_0') \omega_0 \end{aligned} \right\} (15)$$

(15)式에서 $\omega_0 = \omega/\sqrt{g/L}$ 이다.

2.5 波浪彎曲 moment

縱規則波中에서의 船體의 中央橫斷面에 作用하는 波浪彎曲 moment M_m 는 다음式으로 주어진다.

$$M_m = M_A \cos(\omega_e t + \varepsilon_m) \quad (16)$$

로 놓으면

$$\left. \begin{aligned} M_A &= \left[\left\{ (-M_1 \omega_e^2 \cos \varepsilon_\theta - M_2 \omega_e \sin \varepsilon_\theta + M_3 \cos \varepsilon_\theta) \theta_a \right. \right. \\ &\quad + (-M_4 \omega_e^2 \cos \varepsilon_2 - M_5 \omega_e \sin \varepsilon_2 + M_6 \cos \varepsilon_2) Z_a \\ &\quad + (M_7 + M_8 \omega + M_{11} \omega^2) \zeta_a \left. \right\}^2 \\ &\quad + \left\{ (M_1 \omega_e^2 \sin \varepsilon_\theta - M_2 \omega_e \cos \varepsilon_\theta - M_3 \sin \varepsilon_\theta) \theta_a \right. \\ &\quad + (M_4 \omega_e^2 \sin \varepsilon_2 - M_5 \omega_e \cos \varepsilon_2 - M_6 \sin \varepsilon_2) Z_a \\ &\quad \left. \left. + (M_8 + M_{10} \omega + M_{12} \omega^2) \zeta_a \right\}^2 \right]^{1/2} \end{aligned} \right\} (17)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但 } M_1 &= \int \left(-\frac{U}{\omega_e^2} b_n + \xi a_n + \frac{\xi}{g} \right) \xi d\xi \\ M_2 &= \int \left(\xi^2 b_n + \frac{U^2}{\omega_e^2} b_n \right) d\xi \\ M_3 &= - \int U (-\xi b_n + U a_n + B_n \xi^2) d\xi \\ M_4 &= - \int \left(b_n + \frac{\omega}{g} \right) \xi d\xi \\ M_5 &= - \int (\xi b_n + U a_n) d\xi \\ M_6 &= \int (-U b_n - g B_n \xi) d\xi \\ M_7 &= \int \left[-\frac{\cos K \xi}{\sin K \xi} \left(g B_n + U \frac{\omega}{\omega_e} b_n \right) \right. \\ &\quad \left. \exp(-K T_m) d\xi \right] \\ M_8 &= \int \left[\frac{\cos K \xi}{\sin K \xi} \right] (b_n \xi + U a_n) \exp(-K T_m) d\xi \\ M_{10} &= \int \left[\frac{-\cos K \xi}{\sin K \xi} \right] \frac{\omega_e}{\omega} \exp(-K T_m) b_n \xi d\xi \\ M_{11} &= \int \left[\frac{-\cos K \xi}{\sin K \xi} \right] \frac{\omega_e}{\omega} \exp(-K T_m) b_n \xi d\xi \\ M_{12} &= \int \left[\frac{-\cos K \xi}{\sin K \xi} \right] \frac{\omega_e}{\omega} \exp(-K T_m) b_n \xi d\xi \end{aligned} \right\} (18)$$

M_A 를 $\rho g \zeta_a L^3$ 으로써 無次元化한 것을 M_A' 라고 하면

$$M_A' = \frac{M_A}{\rho g \zeta_a L^3} \quad (19)$$

積分은 船首에서 中央斷面까지 한다.

3. Deck wetness

船體가 靜水中을 航走할 때 生成되는 波, 船首沈下, 및 trim 等에 因한 水面의 相對的 上昇量을 f_s , 그 位置의 乾舷을 f , 有効乾舷을 f' 라고 하면

$$f' = f - f_s \quad (20)$$

Tasaki의 實驗 [17] 結果에 依하면

$$f_s = 0.75 \frac{B \cdot L}{L_e} F_n^2 \quad (21)$$

여기서 L_e 는 水線面의 entrance 길이이다.

따라서 $f' = f - 0.75 \frac{B \cdot L}{L_e} F_n^2$

波浪中을 航走할 때 船體運動에 따라 생긴 波의 動의 水位上昇量을 h_d , 그 位置에서의 波面에 對한 相對變位를 s , 波浪中에서의 相對乾舷을 h' 라고 하고 船體가 規則波를 攪亂하지 않는다면

$$h' = f' - h_d + s \quad (22)$$

Tasaki는 模型實驗의 結果

$$\left. \begin{aligned} h_d &= \bar{k}_d \cdot \omega_e \cdot s \\ k_d &= \frac{1}{3} (c_b - 0.45) \sqrt{L/g}, \\ &0.60 \leq c_b \leq 0.80 \end{aligned} \right\} (23)$$

를 얻고 있으며, Tasai [18]도 그 斷面의 h_d 를 2次元理論으로 計算하여 大略一致된 結果를 얻고 있다.

따라서 $h' = f' + (1 + \bar{k}_d \omega_e) s$ (24)

이 式에서 shipping water가 생기는 條件은

$$h' < 0$$

即 $f' < -(1 + \bar{k}_d \omega_e) s$ (25)

4. 數值計算

4.1 供試船型

本計算에 使用한 船型은 Table 1에 明示된 바와 같이 同一한 肥瘠係數(c_b)에 對하여 船尾部는 同一하고 船首斷面形狀만을 달리하는 U型, UV型, V型의 3種의 船型으로서 C_b 가 各各 0.6, 0.7, 0.8인 9個의 船型이며 그 線圖는 Fig. 2에 나타낸 것과 같다.

이때 U, UV, V型의 L, B, d 는 不變으로하고 또한 縱方向의 環動半徑은 船體의 長이의 25%로 하였고, 一定한 C_b 를 가진 船型에 있어서는 어느것이나 同一橫斷面積係數를 가지고 있다.

Table 1. Model dimensions and Particulars.

model designation and condition		U-bow	JV-bow	V-bow	U-bow	UV-bow	V-bow	U-bow	UV-bow	V-bow
Displacement	kg ∇	57.095	57.095	57.095	66.480	66.480	66.480	75.946	75.946	75.946
Length between perpendiculars	m L	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26
Breadth	m B	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323
Draught	m T	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129
Block coefficient	C_b	0.600	0.600	0.600	0.700	0.700	0.700	0.800	0.800	0.800
Midship section coefficient	C_m	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976
Prismatic coefficient, afterbody	C_{PA}	0.791	0.791	0.791	0.835	0.835	0.835	0.863	0.863	0.863
Prismatic coefficient, forebody	C_{PF}	0.907	0.857	0.817	0.952	0.908	0.870	0.957	0.926	0.903
Prismatic coefficient, total hull	C_p	0.849	0.824	0.804	0.893	0.871	0.852	0.910	0.894	0.883
Waterplane coefficient afterbody	C_{WA}	0.808	0.808	0.808	0.829	0.829	0.829	0.886	0.886	0.886
Waterplane coefficient forebody	C_{WF}	0.636	0.674	0.706	0.763	0.795	0.833	0.892	0.920	0.942
Waterplane coefficient total hull	C_w	0.722	0.742	0.757	0.796	0.812	0.831	0.889	0.903	0.914
Longitudinal radius of gyration	K_{yy}/L	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Center of buoyancy	m	-0.037	-0.037	-0.037	0.012	0.012	0.012	0.0440	0.0440	0.0440

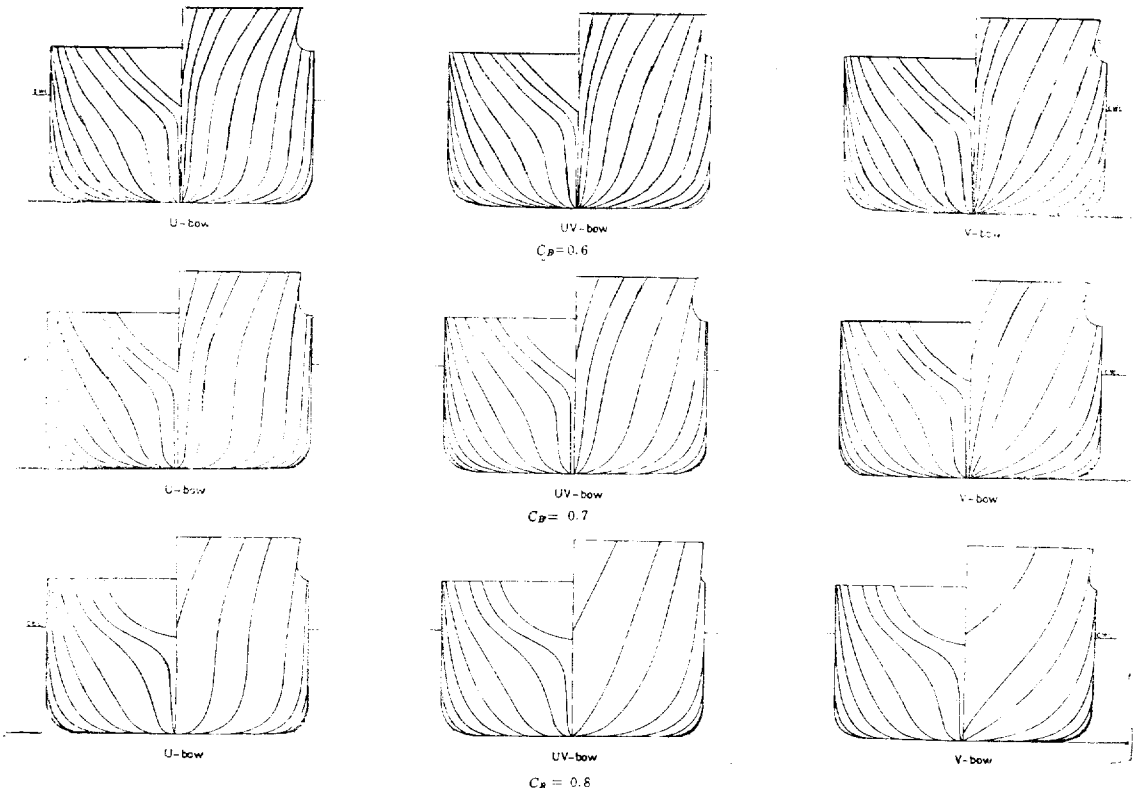


Fig. 2 BODY PLANS OF THE INVESTIGATED MODELS.

4.2 數值計算

4.2.1. 2次元 附加質量과 減衰力의 計算

各 strip이 靜水中에서 上下動搖를 할 때의 그 strip에 作用하는 附加質量 및 減衰力 等の 流體力의 計算을 正確하게 하지 않으면 運動方程式의 係數가 正確하게 얻어지지 않으며 그 結果 strip 方法에 依한 船體應答의 精度가 떨어지는 것은 明白한 일이다.

序論에서 言及한 바와 같이 OSM은 船體의 各 斷面을 半幅吃水比와 斷面積係數가 同一한 等價 Lewis form로 近似시켜 2次元 流體力의 計算을 Ursell-Tasai 方法에 依해서 遂行한 結果를 使用하고 있는데 Fig. 3에서 보는바와 같이 船尾部의 一部斷面은 Lewis 近似가 不可能하다[19].

Fig. 3의 Lewis 斷面의 有效範圍를 나타내는 σ_{max} , σ_{min} 은 von Kerczek와 Tuck [20] 및 文獻 [19]에 주어져 있다. 이와 同一한 背骨斷面의 有效 斷面에 關한 研究로서는 金 [21]의 論文이 있으며 同斷面에 關한 流體力의 計算에는 黃 等 [22]의 研究가 있다.

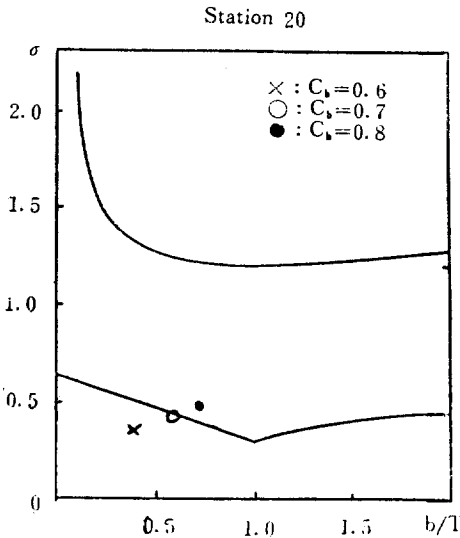


Fig. 3 Permissible range in Lewis form

本計算의 供試船型에 對해서는 Fig. 3에서 보는바와 같이 Station 20은 C_b 가 0.8인 肥大船에 對해서는 Lewis form 近似가 可能하나 C_b 가 0.6과 0.7인 경우에는 有效範圍를 벗어난다.

Lewis form 近似를 하는 경우 이와 같이 範圍 밖에 있는 斷面에 對해서는 그에 가까운 限界의 σ_{max} 또는 σ_{min} 의 값을 取하는 것이 慣習으로 되어 있다[19]. 그런 경우에는 2次元 流體力의 값에 對하여 誤差가 커

진다.

本研究에서는 船型의 變化가 船體應答에 미치는 影響을 調査하는 것이 目的인 만큼 Lewis form 近似를 避하고 斷面에 特異點을 分布시키는 積分方程式에 依해서 2次元 流體力의 計算을 遂行하였다.

各斷面의 2次元 流體力의 計算에 있어서 斷面의 表面에 分布시킨 特異點의 數는 Fig. 4에 表示된 것과

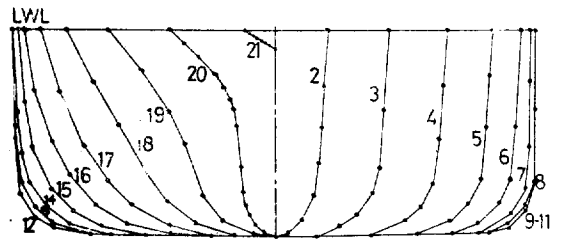


Fig.4 Representation of U-bow model $C_b=0.7$

같이 船尾의 Station 20에 對해서는 特異點의 數를 15個, 그 밖의 斷面에 對해서는 8個를 取하고 各 點間은 直線으로 取하였으며 그 線分上에서 湧出點의 強度가 一定하다고 假定하였다.

Radiation potential은 Laplace 方程式을 自由表面條件, 無限 깊이의 水底條件, 無限遠에서의 放射條件等을 滿足하도록 풀어서 求하여야 한다.

流體中의 任意點 $P(x, y)$ 에 있어서의 上記의 條件을 滿足하는 radiation potential은 다음과 같이 얻어진다.

$$\phi(P) = \int_c \sigma(Q)G(P, Q)ds(Q) \tag{26}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但 } r_1^2 &= (x-x')^2 + (y-y')^2 \\ r_2^2 &= (x-x')^2 + (y+y')^2 \end{aligned} \right\} \tag{27}$$

$$G(P, Q) = \log r_1 - \log r_2 - 2 \lim_{\mu \rightarrow 0} \int_0^\infty \frac{e^{-\mu(y+y')} \cos u(x-x')}{u-k+i\mu} du \tag{28}$$

上式에서 $\sigma(Q)$ 는 物體表面上의 點 $Q(x', y')$ 에서의 湧出點線密度이며 $ds(Q)$ 는 點 Q 에서의 斷面의 線素이고 c 는 斷面의 外廓線을 나타낸다.

다음에 斷面의 境界條件에 依해서 얻어지는

$$\psi(P) \Big|_{\sigma=c} = \int_c \sigma(Q) \cdot S(P, Q)ds(Q) \tag{29}$$

$$\text{但 } \psi(P) \Big|_{\sigma=c} = x \tag{30}$$

$$S(P, Q) = \tan^{-1} \frac{y-y'}{x-x'} - \tan^{-1} \frac{y+y'}{x-x'} - 2 \lim_{\mu \rightarrow 0} \int_0^\infty \frac{e^{-\mu(y+y')} \sin u(x-x')}{u-k+i\mu} du \tag{31}$$

와 같은 積分方程式을 풀어 物體表面上의 Q 點에서의 湧出點, 線密度 $\sigma(Q)$ 가 計算된다.

$\sigma(Q)$ 를 計算한 後 radiation potential $\phi(P)$ 를 (26)式에 依해서 計算하였다.

積分方程式 (29) 式의 解는 船型이 左右對稱이기 때문에 簡單하게 피며 數値解法에 依하여 處理하였다.

Radiation potential을 求한 다음 線型化된 Bernoulli 方程式에 依해서 動壓力를 計算하고, 斷面의 沒水部에 對해서 그것을 積分 항으로서 附加質量과 減衰力을 計算하였다.

特異點의 分布를 Fig. 4에서와 같이 20 또는 8個로 取한 것은 各斷面에 對한 流體力의 計算值의 收斂精度를 考慮하여 定한 것이다.

4.2.2 船體應答計算의 精度

前項의 Fig. 4에서 나타낸 $C_b=0.7$ 의 U型 船型은 Series 60의 船型이며, Fig. 4와 같이 同船型의 斷面에 特異點分布를 시켜 積分方程式法에 依해서 Froude 數 (F_n) 0.2의 경우에 對하여 여러가지의 $\sqrt{L/\lambda}$ 值를 取하여, 縱規則波中에서의 同船型의 上下動搖와 縱動搖의 應答탄을 2節의 strip 理論에 따라서 計算하여, 그 結果를 Fig. 5에 플로트 하였다.

이 計算은 서울大學校의 船體運動에 關한 프로그램을 써서 遂行 되었다.

그리고 이 結果를 Fig. 5에서 同一船型에 對한 Gerritsma와 Beukelman의 模型實驗結果 [9] 및 第11回 ITTC에서 報告 [23, 24, 25]된 各 研究所의 實驗點의 群(斜線을 친 部分)과 比較하였다.

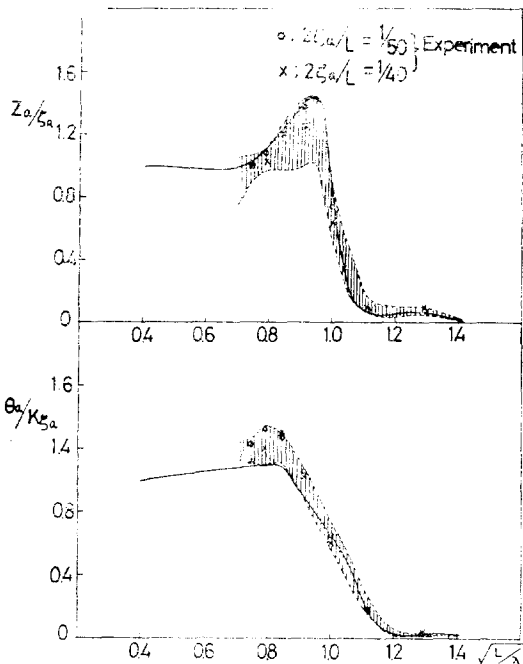


Fig.5 Comparison of the calculated results with the experiments, Series 60, $C_b=0.7, F_n=0.2$

Fig. 5 Comparison of the calculated results with the experiments, Series 60, $C_b=0.7, F_n=0.2$

Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 實驗結果도 幅이 넓고, 研究所에 따라서 結果值이 差가 많다. 實驗結果로서는 Gerritsma의 實驗이 가장 精密한 것으로 알려져 있으며 同實驗結果와 著者의 計算結果를 比較할 때 上下動搖는 잘 一致하는 것을 볼 수 있으며, 縱動搖에 있어서는 $\sqrt{L/\lambda}$ 가 0.9 以上에서는 잘 맞으나 0.7~0.9의 範圍의 波에 對해서는 著者의 값이 多少 낮다.

이것으로부터 著者의 計算의 精度는 許容될 수 있는 範圍內의 것으로 看做할 수 있으며, 特히 本研究의 目的은 本計算法으로서 充分하다고 생각할 수 있겠다.

4.3 計算 結果

4.3.1 縱規則波中의 船體應答의 計算結果

Fig. 6~Fig. 11은 供試船型(U, UV, V)에 對하여, 縱規則波中에서의 上下動搖와 縱動搖의 振幅 Z_0 및 θ_0 를 無次元化한 Z_0/ζ_a 및 $\theta_0/\kappa\zeta_a$ 의 計算結果值을 F_n 別, C_b 別로 $\sqrt{L/\lambda}$ 에 對하여 表示한 것이며, 各 船型間의 比較를 한 것이다.

Fig. 12~Fig. 17은 上記의 各 경우에 對하여, 無次元化된 船首部의 加速度 $a_x/(\zeta_a g/L)$, 相對速度 $Z_{0x}/(\zeta_a \sqrt{g/L})$, 및 相對變位 Z_{0y}/ζ_a 의 計算結果를 플로트 하여 相互比較한 것이다.

또 Fig. 18, Fig. 19는 $C_b=0.70, F_n=0.2$ 의 경우의 位相差 $\varepsilon_z, \varepsilon_\theta, \varepsilon_a, \varepsilon_v$ 및 ε_d 의 計算結果를 表示하는 曲線을 그려 比較하도록 한 것이다.

Fig. 20은 上記의 것들 中에서 特히 $C_b=0.7$ 이고 $F_n=0.2$ 인 경우에 있어서 各 船型의 波浪強制力과 波浪強制 moment의 無次元值 $F_0/g\zeta_a L^2$ 및 $M_0/g\zeta_a L^2$ 을 亦是 $\sqrt{L/\lambda}$ 의 函數로하여 計算結果를 表示한 것이다.

Fig. 21은 船體中央斷面에 있어서의 波浪에 依한 彎曲 moment의 크기를 $\rho g\zeta_a L^3$ 으로써 無次元化한 값과 그 位相差 ε_m 을 計算한 結果를 $\sqrt{L/\lambda}$ 의 變化에 따라 表示한 것이다.

4.3.2 船首部의 deck wetness에 對한 結果

船首部의 deck wetness의 發生은 shipping water에 因한 것으로 볼 수 있으며 이것은 窮極의으로는 船首部乾舷과 密接한 關係를 가진다.

Fig. 22, Fig. 23, Fig. 24는 船體가 $F_n=0.15, 0.2$ 로써 縱規則波中을 航行할 때 U, UV, V 船型에서 나타나는 deck wetness에 對한 影響을 考察키 위하여, 動의 水位上昇 등을 考慮에 두고, $F_n, C_b, \sqrt{L/\lambda}$ 및 ζ_a/λ 를 parameter로 하는 相對乾舷의 無次元值 f'/ζ_a 또는 f''/λ 를 表示한 그림이다.

5. 考 察

Yourkov [10]은 U, UV, V型 船型에 對하여 上下動搖와 縱動搖에 對해서만 調査하였고 船首運動과 波

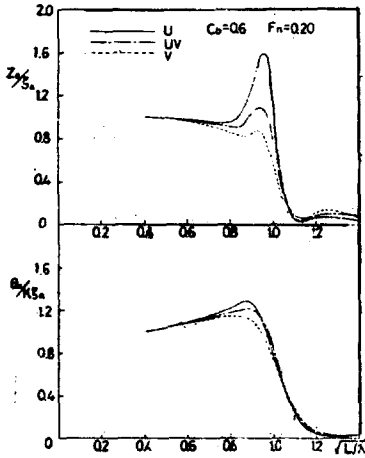


Fig. 6 Heave and pitch amplitudes $C_b=0.6, F_n=0.20$

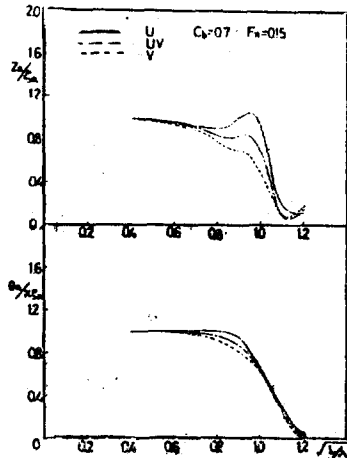


Fig. 7 Heave and pitch amplitudes $C_b=0.7, F_n=0.15$

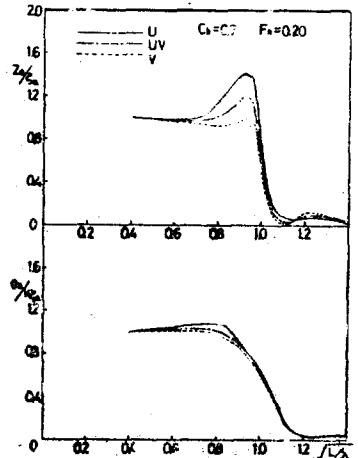


Fig. 8 Heave and pitch amplitudes $C_b=0.7, F_n=0.20$

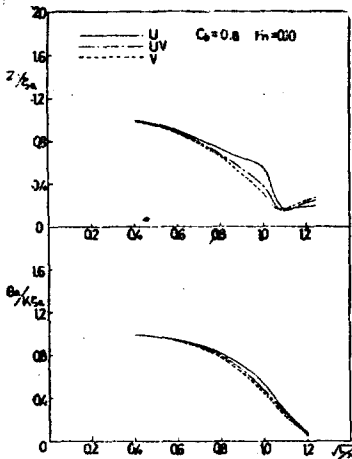


Fig. 9 Heave and pitch amplitudes $C_b=0.8, F_n=0.10$

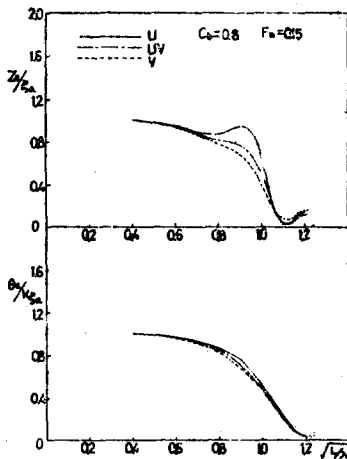


Fig. 10 Heave and pitch amplitudes $C_b=0.8, F_n=0.15$

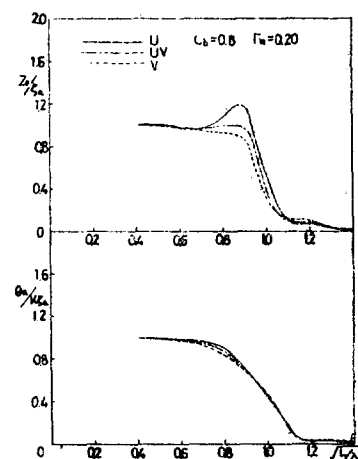


Fig. 11 Heave and pitch amplitudes $C_b=0.8, F_n=0.20$

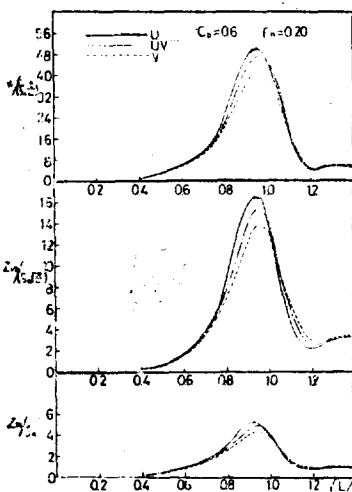


Fig. 12 Vertical acceleration, velocity and displacement amplitudes (Bow motion) $C_b=0.6, F_n=0.20$

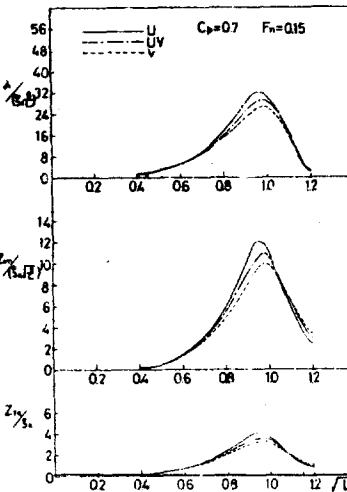


Fig. 13 Vertical acceleration, velocity and displacement amplitudes (Bow motion) $C_b=0.7, F_n=0.15$

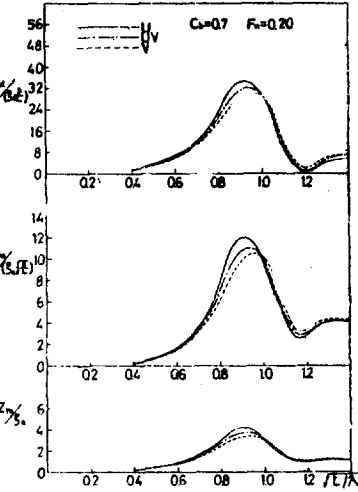


Fig. 14 Vertical acceleration, velocity and displacement amplitudes (Bow motion) $C_b=0.7, F_n=0.20$

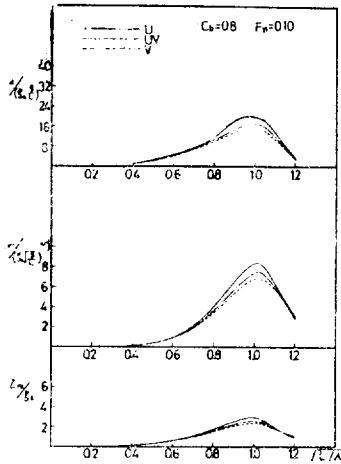


Fig 15 Vertical acceleration, velocity and displacement amplitudes (Bow motion) $C_s=0.8, F_w=0.10$

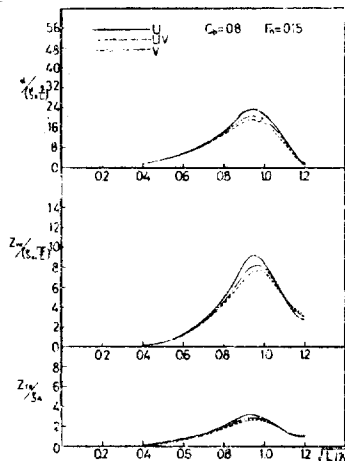


Fig 16 Vertical acceleration, velocity and displacement amplitudes (Bow motion) $C_s=0.8, F_w=0.15$

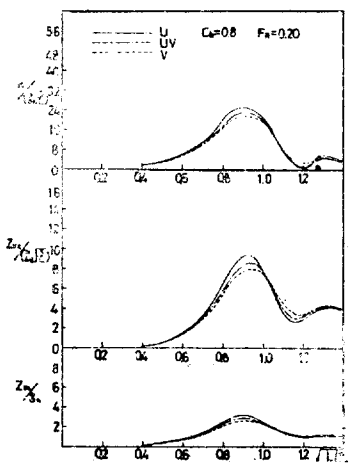


Fig 17 Vertical acceleration, velocity and displacement amplitudes (Bow motion) $C_s=0.8, F_w=0.20$

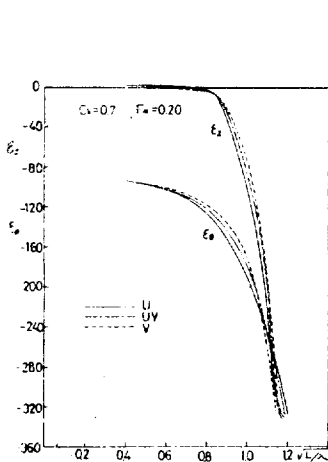


Fig 18 Heave and pitch phase. $C_s=0.7, F_w=0.20$

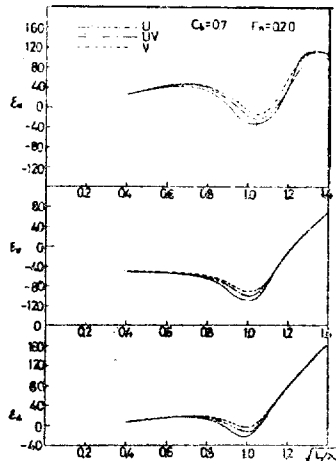


Fig 19 Vertical acceleration, velocity and displacement phases (Bow motion) $C_s=0.7, F_w=0.20$

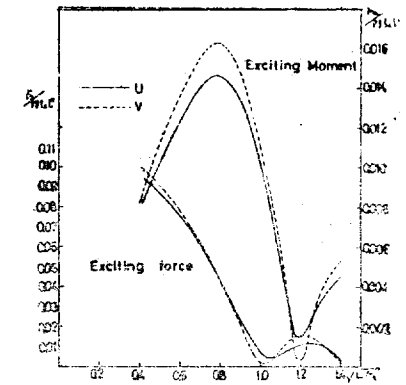


Fig 20 Wave exciting force and moment amplitudes $C_s=0.7, F_w=0.20$

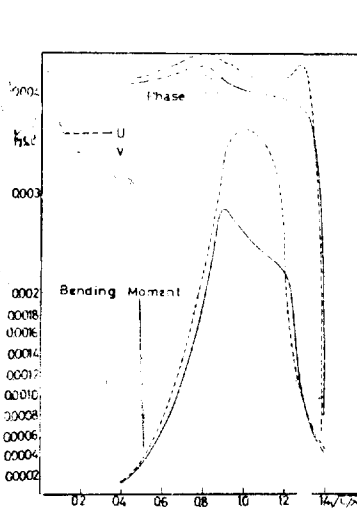


Fig 21 Wave bending moment at mid-ship section $C_s=0.7, F_w=0.20$

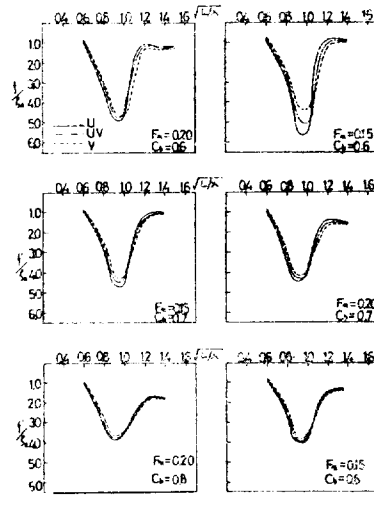


Fig 22 Relative freeboard at FP VS. F/L

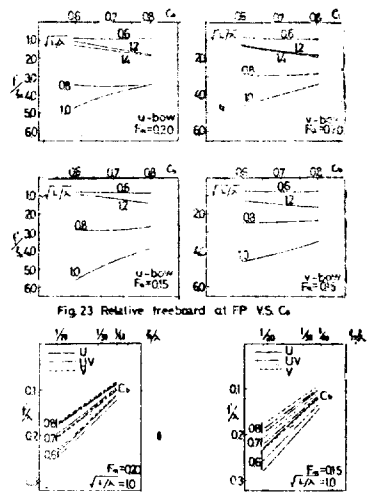


Fig 23 Relative freeboard at FP VS. C_s

Fig 24 Relative freeboard at FP VS. F/L

浪彎曲 moment 에 對한 調査를 하지 않았다.

Yourkov 가 調査한 結果와 著者의 結果는 一般의 으로 잘 一致하며, 一部 F_n 에 對해서는 船體應答值에 多少의 差異가 있으며 著者의 것 보다 좀 높은 값으로 되어 있다. 그것은 Yourkov 가 使用한 strip 理論이 多少 다르기 때문인 것으로 생각된다.

Yourkov 가 使用한 strip 理論은 Gerritsma-Beukelman Version 의 strip 理論이며 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 a &= \int a_n d\xi \\
 b &= \int b_n d\xi - U \int \frac{da_n}{d\xi} d\xi \\
 c &= \rho g A_w \\
 d &= \int a_n \xi d\xi + \frac{U}{\omega_s^2} \int b_n d\xi - \frac{U^2}{\omega_s^2} \int \frac{da_n}{d\xi} d\xi \\
 e &= \int b_n \xi d\xi - 2U \int a_n d\xi - U \int \frac{da_n}{d\xi} \xi d\xi \\
 h &= \rho g S_w \\
 A &= \int a_n \xi^2 d\xi + \frac{U}{\omega_s^2} \int b_n \xi d\xi - \frac{U^2}{\omega_s^2} \int \frac{da_n}{d\xi} \xi d\xi \\
 B &= \int b_n \xi^2 d\xi - U \int \frac{da_n}{d\xi} \xi^2 d\xi - 2U \int a_n \xi d\xi \\
 C &= \rho g I_w \\
 D &= \int a_n \xi d\xi \\
 E &= \int b_n \xi d\xi - U \int \frac{da_n}{d\xi} d\xi \\
 H &= \rho g S_w
 \end{aligned} \tag{32}$$

以下 各項에 따라 차례로 그 特性을 考察해보면

(1) 上下動搖의 振幅 Z_w/ζ_w 는 Fig. 6~Fig. 11 에서와 같이 $\sqrt{L/\lambda} < 1.1 \sim 1.15$ 範圍에 對하여 U型은 UV型보다, UV型은 V型보다 크며, $\sqrt{L/\lambda} > 1.1 \sim 1.15$ 範圍에서는 逆의 關係가 있다.

同一 F_n 에 있어서는 C_b 가 작은 경우 일수록 U, V型에 對한 影響이 明確히 나타난다.

또한 同一船型 및 C_b 에서는 F_n 이 增加할 수록 上下動搖의 振幅의 peak 값이 增加하며, $\sqrt{L/\lambda} > 1.4$ 가 되면 大體로 1에 接近한다.

또한 同一 F_n 에서 보면 peak 部分의 振幅의 帶域은 작은 C_b 의 경우일수록 狹高하며 大體로 $\sqrt{L/\lambda} = 0.87 \sim 0.95$ 附近에서 높은 peak 가 생긴다.

(2) 船首部の 相對變位 Z_{ra}/ζ_w 의 값은 Fig. 12~Fig. 17 에서 보는 바와 같이 $\sqrt{L/\lambda}$ 의 거의 모든 範圍에 對하여 $U > UV > V$ 의 차례로 減少한다.

同一 F_n 에 있어서 작은 C_b 의 경우일수록 U, V船型的 差가 많으며, 또한 比較의 높은 값을 가지고, 大體로 $\sqrt{L/\lambda} = 0.9 \sim 0.98$ 에서 peak 가 생긴다.

同一 C_b 에서는 F_n 가 增加할수록 큰 값을 가진다.

(3) 縱動搖의 振幅 $\theta_w/k\zeta_w$ 를 Fig. 6~Fig. 11 에서 보면 U, UV, V型 相互間에는 큰 差異가 없으나 大體로 모든 경우에 그 값이 $U > UV > V$ 로 되어 있다.

同一한 F_n 에서는 C_b 가 작을수록 縱動搖應答이 크며, 同一한 C_b 에서는 F_n 가 增加할 수록 若干 큰 값을 나타낸다.

(4) 모든 位相角 ϵ_u, ϵ_v 등은 U, UV, V型的 變化에 따라 그다지 큰 影響을 받지 않고 있다.

(5) 相對速度 및 加速度 $Z_{ra}/\zeta_w \sqrt{g/L}$, $\alpha_w/\zeta_w (g/L)$ 의 값은 Fig. 12~Fig. 17 에서와 같이 一般의 으로 $\sqrt{L/\lambda} < 1.0$ 에서 $U > UV > V$ 의 順序로, $\sqrt{L/\lambda} > 1.0$ 에서 逆의 順序로 된다.

Peak 값은 $\sqrt{L/\lambda} = 0.9 \sim 0.95$ 사이에서 생기며 同一한 F_n 에서 볼 때 작은 C_b 의 경우일 수록 큰 값을 가진다.

同一한 C_b 에서는 F_n 의 增加에 따라 增大한다.

(6) 船首部の deck wetness 에 對하여 考察하면 Fig. 22~Fig. 24 로 부터 一定한 F_n 와 C_b 에 있어서, $\sqrt{L/\lambda} < 1.0 \sim 1.1$ 에 對한 f'/ζ_w 의 값은 역시 $U > UV > V$ 의 차례로 되고, $\sqrt{L/\lambda} > 1.0 \sim 1.1$ 에 對하여는 逆으로 된다.

$\sqrt{L/\lambda} < 0.6$ 의 長波의 경우에서나 또는 $\sqrt{L/\lambda} > 1.2$ 의 短波의 경우에 있어서는 U, UV, V型에 對한 船首部甲板의 wetness 은 相對乾舷이 波高의 半程度가 될 때 부터 생긴다.

6. 結 論

前述한 數值計算에 對한 結果 및 考察로 부터 다음과 같은 結論을 내릴 수 있다.

- (1) 斷面上的의 特異點 分布에 依한 積分方程式法으로 計算한 2次元流體力學을 使用하고 式(3)의 strip 理論에서 얻은 U, UV, V型的 船體應答은 Yourkov 가 計算한 Gerritsma-Beukelman 의 strip 理論에 依한 값 보다 若干 작은 값으로 얻어진다.
- (2) V型은 斷面附加質量 및 減衰力의 船首尾方向의 分布의 特性 때문에 大體로 U型보다 上下動搖와 縱動搖의 振幅이 작으며 이것은 過去의 研究者의 結論과 一致한다.

이와 마찬가지로 著者가 船首부의 運動을 解析한 結果에 依하면 船首의 垂直相對變位, 相對速度 및 加速度에 對하여는 V型이 約 $0.8 < \sqrt{L/\lambda} < 1.0$ 인 範圍에서 U型보다 좋은 應答을 나타내고 있다. 船體中央部에서의 波浪 彎曲 moment 는 위와 反對로 V型的 應答이 크다.

(3) $\sqrt{L/\lambda}$ 가 약 1.0 보다 작은 範圍에서는 V型이 U型 보다 相對乾舷이 적게 나타나므로 比較的 작은 乾舷으로 할 수 있는 特徵을 가지고 있다. 이 事實은 V型的 船體應答이 比較的 작은 값으로 주어진다는 理由에서 妥當하다.

또 靑波에 對한 큰 값은 大體로 $\sqrt{L/\lambda} = 0.85 \sim 1.05$ 에서 생긴다.

그리고 $\sqrt{L/\lambda} > 1.2$ 의 範圍의 短波에서는 f'/ω 가 1.5 로 볼 수 있다.

後 記

本論文을 作成함에 있어서 始終一貫 指導를 해주신 서울大學校 工科大学의 黃宗屹教授에 深甚한 感謝를 드리며 아울러 本論文의 計算을 遂行함에 있어서 助力해 준 서울大學校 大學院生 李起杓, 梁永淳, 李承俊 君에게 謝意를 表한다.

끝으로 서울大學校 工科大学의 IBM 1130 電子計算組織을 使用한 것을 附記한다.

參 考 文 獻

[1] St. Denis, M and Pierson, W.J. "On the Motion of Ships in Confused Seas," *Trans. SNAME*, 1953.

[2] Lewis, E.V., "Ship Speeds in Irregular Seas," *Trans. SNAME*, 1955.

[3] Ochi, K., "Investigation on the Influence of Ship Form upon the Strength of Ships going in Waves," *J. SNAJ*, 1957.

[4] Swaan, W.A. and Vossers, G., "The Effect of the Forebody Section Shape on Ship Behaviour in Waves," *ISP*, Vol.8, No.83 1961.

[5] Bengtsson, B.G., "Influence of Vaid U shaped Forebody Sections on Motions and Propulsion of Ships in Waves", *Publications of SSPA*, No.49 1962

[6] Korvin-Kroukovsky, B.V. and Jacobs, W.R., "Pitching and Heaving Motions of a Ship in Regular Waves," *Trans. SNAME*, 1957

[7] Munk M.M., "Fundamentals of Fluid Dynamics for Aircraft Designer," *Ronald Press Comp.*, New York, 1929

[8] 渡邊恵弘, "船の上下動 および 縦揺れの理論に就て", 九州大學 工學集報, 第31卷, 第1號 1958

[9] Gerritsma, J. and Beukelman, W., "Comparision of Calculated and Measured Heaving and

Pitching Motions of a series 60, Cb=0.70 Ship Model in Regular Longitudinal Waves," 11th *ITTC*, 1966

[10] Yourkov, N., "Vertical Motions of ships with Different Form of Forebody," *Laboratorium Voor Scheeps bouwkunde, Technische Hogeschool Delft, Report* No.316, 1971

[11] Gerritsma, J., Beukelman, W. and Glansdorp, C.C., "The Effects of Beam on the Hydrodynamic Characteristics of Ship Hulls," 10th *Symposium on Naval Hydrodynamics, MIT*, 1974

[12] Ursell, F., "On the Heaving Motion of a Circular Cylinder on the Surface of a Fluid." *Q.J.M. and A.M.*, Vol. II 1949

[13] 田 戈福造, "船の上下動搖ならびに縦動搖における減衰力および附加質量について", 造船協會論文集, 第10號, 1959

[14] Frank, W., "Oscillation of Cylinders in or below the Free Surface of Deep Fluids," *NSRDC Report* 2357, 1967

[15] 前田久明, "任意船型におよぼす波の強制力について", 日本造船學會論文集, 第126號, 1969

[16] Frank, W. and Salvensen, N., "The Frank Close-Fit Ship-Motion Computer Program," *NSRDC Report* 3289, 1970

[17] 田崎亮, "向い波中における甲板への海水の打込みについて", 造船報告, Vol.11, No.8, 1961

[18] 田 戈福造, "船舶の甲板上への海水打込みに關する一考察", 九大應研所報 第18號, 1961

[19] 任尙鎖外, "전자계산기에 의한 조선설계법개발에 관한 연구", 과학기술처, R-73-13, 1973

[20] von Kerczek, C. and Tuck, E.O., "The Representation of Ship Hulls by Conformal Mapping Functions," *J. of Ship Research*, Vol.13, No.4, 1969

[21] Kim, K.C., "Added Mass for both Vertical and Horizontal Vibration of Two-Dimensional Cylinders of Curvilinear-Element Sections with Chines in a Free Surface," *J. of the S.N.A.K. Vol.6, No.1*, 1969

[22] Hwang, J.H. and Kim, Y.H., "On the Added Mass and Damping of Chine Section in Heaving Oscillation," *J. of the S.N.A.K. Vol.10 No.1*, 1973

[23] Nakamura, S., "Comparison of Measured Ship

- Motions and Thrust Increase of Series 60 Ship Models in Regular Head Waves," *11th ITTC*, 1966
- [24] 高木又男外, "細長船に對する波浪中船體運動方程式の検討" 日本造船學會論文集 第125號, 1968
- [25] 田戈福造, 高木又男, "規則波中の應答理論および計算法" 耐航性に關するシンポジウム, 日本造船學會, 1969