

船體水平振動에 있어서의 附加質量 3次元修正係數

金 極 天* · 柳 炳 健**

Three Dimensional Correction Factors for the Added Mass in the Horizontal Vibration of Ships

by

K. C. Kim*, B. K. Yoo**

Abstract

To contribute towards more accurate estimation of the virtual inertia coefficient for the horizontal vibration of ships, three dimensional correction factors J_H for the added mass of finitely long elliptic prismatic bars in horizontal vibration in a free surface of an ideal fluid are calculated. In the problem formulation Dr. T. Kumai's quasi-finite length concept [1, 11, 12]** is employed. Now that, in Dr. Kumai's work [1] for the horizontal vibration the mathematical model was a circular cylinder, the principal aim of the authors' work is to investigate the influence of the beam-draft ratio B/T on J_H .

The numerical results of this work are shown in Fig. 3 graphically, from which we may recognize that the influence of B/T on J_H is remarkable as much as that of the length-draft ratio L/T (refer to Fig. 1 also). In Fig. 3 the curves for $B/T=2.00$ are of those based on Dr. Kumai's results [1].

On the other hand, the experimental data obtained by Burrell et al. [9] for the horizontal vibration of finitely long prismatic bars of various cross-section shapes are compared with the theoretical added mass coefficients defined by combination of the authors' J_H from Fig. 3 and two dimensional coefficients C_H obtained by Lewis form approximation for the corresponding sections. They are in reasonable correspondence with each other as shown in Fig. 2.

Finally, considering that the longitudinal profile of full-form ship's hull is well resembled to that of an elliptic cylinder and that the influences of other factors such as the sectional area coefficient and the shape of section contour itself can be well merged in the two dimensional added mass coefficient, the authors recommend that the data given in Fig. 3 may be successfully adopted for the three dimensional correction factor for the added mass in the horizontal vibration of full-form ships.

1. 緒 論

船體水平振動의 解析에 있어서 假想附加慣性係數 τ 를 2次元의 假想附加慣性係數 τ_1 를 基準으로 해서 그에 3次元形狀(水線面)修正值 θ_1 , 附加回轉慣性修正值 μ , 3次元運動修正值 J_H 를 곱한 값, 即 $\tau = \theta_1 \cdot \mu \cdot J_H \cdot \tau_1$ 으로 算定함이 妥當하다는 見解下에 이들 修正值에 對하여 T. Kumai 教授[1]가 昭詳히 研究한 바 있다. 同 研究結果에 依하면 $\theta_1 \cdot \mu$ 의 값은 배와 같은 形狀의 보에서 1에 매우 가깝다. 結局 重要한 것은 3次元運動修正值이다.

前記 Kumai 教授의 研究에서는 J_H 를 有限長圓柱에 대하여 理論적으로 計算했으며, 이것이 J.L. Taylor [2]가 無限長圓柱를 振動節數에 該當하는 振動波形 만 큼씩 잘라내는 概念下에 計算한 값보다 훨씬 實際이 가깝다는 것을 確認하고 있다. 그 理由는 柱狀體端部에서의 境界條件이 Kumai 教授의 數學的 模型쪽이 훨씬 事實에 가깝기 때문이다. 한편, L. Landweber et al. [3]이 回轉橢圓體의 無節(zero node)水平振動에 對한 附加質量計算을 했는데, 그 理論을 擴張하여 回轉橢圓體의 有節彈性振動에 대한 附加質量計算으로부터 J_H 를 얻어 이를 배에 應用하는 方法도 생각할 수

* 正會員, 서울大學校 工科學
 ** (前) 서울大 大學院生
 *** [] 내 數字는 參考文獻의 番號인

도 있다. 이 경우 數理的으로 正解를 얻을 수는 있겠으나, 吃水가 길이 方向으로 變化하기 때문에 船體水平振動에 應用하기에는 좀 不適하리라는 것이 豫想된다.

결국 有限長柱狀體를 數學的 模型으로 擇하는 것이 바람직하다는 結論인데, 圓柱로서는 斷面의 形狀, 特別 幅·吃水比 B/T 의 影響을 反映시킬 수 없음이 خوب이다.

그래서 本研究에서는 有限長 橢圓斷面柱狀體를 數學的 模型으로 擇하여 J_H 를 計算하고 이를 檢討함과 아울러 J_H 에 關한 資料를 提示한다. 船體水平振動에 대한 2次元的 附加質量計算에 關해서는 J.L. Taylor[2, 4], L. Landweber et al.[5], K.C. Kim[6] 등의 研究가 있다.

한편, 有限長 橢圓斷面柱狀體를 數學的模型으로 擇하여 附加質量 3次元修正係數를 調査한 研究로서는 Kumai의 上下振動에 대한 것[11] 및 비틀振動에 대한 것[12]이 있다.

2. 理論計算

半無限水域의 自由水面에서 길이 L 인 半沒橢圓斷面柱狀體가 高振動數로 彈性水平振動을 한다고 생각하자. 물은 理想流體인 것으로 假定한다. 이 경우 J_H 는 柱狀體를 둘러싼 流體의 3次元的 運動에너지와 2次元的 運動에너지의 比로서 定義된다.

柱狀體의 左端斷面의 圓心을 原點으로 해서 水面과 一致하는 長軸方向을 x 軸으로 하는 cartesian座標系 (x, y, z) 를 取하면 이 座標系와 橢圓柱座標系 (ξ, η, z) 사이에는 다음 變換式이 成立한다.

$$\left. \begin{aligned} x &= h \cosh \xi \cdot \cos \eta \\ y &= h \sinh \xi \cdot \sin \eta \\ z &= z \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

但, $2h$ =橢圓斷面의 焦點間 거리.

(1)式에서 $\eta=0$ 및 π 가 自由水面이고, $\xi \rightarrow 0$ 에서 幅 $2h$ 인 薄板, $\xi \rightarrow \infty$ 에서는 無限半徑의 圓柱가 된다.

이 橢圓柱座標系에서 hyperbolic arc length ds_1 과 elliptic arc length ds_2 는 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} ds_1 &= l_1 d\xi \\ ds_2 &= l_1 d\eta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

단, $l_1 = \frac{h}{\sqrt{2}} \sqrt{\cosh 2\xi - \cos 2\eta}$

또 $\xi = \xi_0$ 인 橢圓에 對해서 船型幾何學의 寸수, 寸수比 등을 定義하면

$$\left. \begin{aligned} B &= 2h \cosh \xi_0 \\ T &= h \sinh \xi_0 \\ B/T &= 2 \coth \xi_0 > 2.00 \\ \sigma &= \frac{\pi}{4} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

와 같다. 但, σ 는 斷面積係數이다.

柱狀體 周圍의 流體의 3次元 速度potential ϕ 에 대한 Laplace 方程式 $\nabla^2 \phi = 0$ 는 橢圓柱座標系에서 다음과 같이 表示된다.

$$\frac{2}{h^2(\cosh 2\xi - \cos 2\eta)} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial \eta^2} \right) + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (4)$$

한편, 境界條件들은 다음과 같다.

- i) 自由水面 即, $\eta=0$ 및 π 때 $\phi=0$ (5-1)
- ii) 無限遠方 即, $\xi \rightarrow \infty$ 때 $\phi=0$ (5-2)
- iii) 兩端 即, $z=0$ 및 L 때 Kumai教授[1]의 準有 限長 概念에 立脚하여 $\phi=0$ (5-3)
- iv) 柱狀體 接水面 即, $\xi = \xi_0$ 때 柱狀體의 水平振動 波形을 cosine mode로 假定하면, 同速度 $U e^{i\omega t}$ 의 接水面에 대한 法線方向成分 U_n 의 分布는

$$U_n = U \cos \frac{s\pi z}{L} \cdot \left(\frac{\partial x}{\partial s_1} \right)_{\xi=\xi_0} e^{i\omega t} \\ = Uh \sinh \xi_0 \cdot \left(\frac{1}{l_1} \right)_{\xi=\xi_0} \cos \frac{s\pi z}{L} \cdot \cos \eta \cdot e^{i\omega t} \quad (a)$$

로 表示된다. 但, s 는 振動節數이다.

$\eta=0$ 및 π , $z=0$ 및 L 에 對한 條件은 이미 決定하였으므로, $\cos \frac{s\pi z}{L}$ 및 $\cos \eta$ 를 각기 區間 $0 < z < L$ 및 $0 < \eta < \pi$ 에서 Fourier sine級數로 展開하여 가지고 接水面에서의 流體의 法線方向 速度成分이 柱狀體의 振動 速度 U_n 와 같다는 條件으로 부터, 결국 境界條件

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial l_1 \partial \xi} \right)_{\xi=\xi_0} = U_n \\ \text{即, } \left(\frac{\partial \phi}{\partial \xi} \right)_{\xi=\xi_0} = U \frac{16}{\pi^2} (h \sinh \xi_0) \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{m}{m^2 - s^2} \right) \sin k_m z \\ \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{2n}{4n^2 - 1} \right) \sin 2n\eta \cdot e^{i\omega t} \quad (5-4)$$

但, $k_m = \frac{m\pi}{L}$
 $m = \begin{cases} 1, 3, 5, \dots & \text{for } s=0, 2, 4, \dots \text{ (nodes)} \\ 2, 4, 6, \dots & \text{for } s=1, 3, 5, \dots \text{ (nodes)} \end{cases}$
 $n = 1, 2, 3, \dots$

을 얻는다.

이제 速度potential ϕ 를

$$\phi(\xi, \eta, z, t) = \phi_1(\xi) \phi_2(\eta) \phi_3(z) e^{i\omega t} \quad (b)$$

로 놓되, $\phi_3(z)$ 는 境界條件 (5-3)과 U_n 의 z 方向의 分布를 고려하여

$$\phi_3(z) = \sum_{m=1}^{\infty} C_m \sin k_m z \quad (6)$$

로 取한다. 이를 (4)式에 代入하면 a 를 分離常數로 해서 m 의 주어진 값에 대하여

$$\frac{d^2 \phi_{2m}}{d\eta^2} + \{a - 2(-q_m) \cos 2\eta\} \phi_{2m} = 0 \quad (c)$$

$$\frac{d^2 \phi_{1m}}{d\xi^2} - \{a - 2(-q_m) \cosh 2\xi\} \phi_{1m} = 0 \quad (d)$$

但, $q_m = \left(\frac{h k_m}{2} \right)^2$

을 얻게 되는데, (c), (d)는 차례로 Mathieu equation

및 modified Mathieu equation이다[7]*. 따라서 $\tilde{\phi}_m = \phi_{1m} \cdot \phi_{2m}$ 은 a 및 q_m 의 같은 값에 대한 (c) 및 (d)의 해의 相乘積으로 構成된다. 주어진 問題의 性格으로부터 이들의 解中에서 γ 에 對해서는 周期 π 인 周期解, ξ 에 대해서는 非周期解를 取하되, ξ 에 대한 非周期解는 다시 modified Bessel function I, K 의 相乘積의 級數로 주어지는 解를 選擇하면 $\tilde{\phi}_m$ 는 다음과 같다.

$$\tilde{\phi}_m = \sum_{r=0}^{\infty} E_{2r} \cdot Fek_{2r}(\xi, -q_m) \cdot ce_{2r}(\gamma, -q_m) + \sum_{r=1}^{\infty} F_{2r} \cdot Gek_{2r}(\xi, -q_m) \cdot se_{2r}(\gamma, -q_m) \quad (e)$$

自由水面의 境界條件 (5-1)式으로부터 (e)式에서 $E_{2r}=0$ 이어야 하기의, 結局 ϕ 는

$$\phi = \sum_m \sum_{r=1}^{\infty} D_{m,2r} \cdot Gek_{2r}(\xi, -q_m) \cdot se_{2r}(\gamma, -q_m) \cdot \sin k_m z \cdot e^{i\omega t} \quad (f)$$

와 같이 取하게 된다. (f)식이 境界條件 (5-1), (5-2), (5-3)을 滿足함은 自明하다.

이제 境界條件 (5-4)를 利用하여 $D_{m,2r}$ 을 결정하자. 이 일을 위하여서는 (5-4)式 右邊의 $\sin 2n\eta$ 를 $se_{2r}(\gamma, -q_m)$ 의 級數꼴로 展開할 必要가 있다. 즉

$$\sin 2n\eta = (-1)^{n-1} \sum_{r=1}^{\infty} (-1)^{r-1} B_{2n}^{(2r)} \cdot se_{2r}(\gamma, -q_m) \quad (g)$$

여기서 $B_{2n}^{(2r)} = B_{2n}^{(2r)}(q_m)$ 는 $se_{2r}(\gamma, q_m)$ 의 Fourier sine series의 係數 即,

$$se_{2r}(\gamma, q_m) = \sum_{n=1}^{\infty} B_{2n}^{(2r)} \sin 2n\eta \quad (h)$$

에 依해 定義되는 係數인데, normalized 係數 即,

$$\sum_{n=1}^{\infty} [B_{2n}^{(2r)}]^2 = \sum_{r=1}^{\infty} [B_{2n}^{(2r)}]^2 = 1 \quad (i)$$

을 滿足하는 係數이다. (f)식을 (5-4)式的 左邊에 代入하고, 한편 (g)式的 右邊을 (5-4)式 右邊의 $\sin 2n\eta$ 에 代入하므로써

$$D_{m,2r} = \frac{U \frac{16}{\pi^2} (h \sinh \xi_0) \left(\frac{m}{m^2 - s^2} \right) (-1)^{r-1}}{Gek'_{2r}(\xi_0, -q_m)} \cdot \left[\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \left(\frac{2n}{4n^2 - 1} \right) B_{2n}^{(2r)} \right] \quad (j)$$

$$\text{단, } Gek'_{2r}(\xi_0, -q_m) = \left[\frac{\partial}{\partial \xi} Gek_{2r}(\xi, -q_m) \right]_{\xi=\xi_0}$$

를 얻게 된다.

故로 求하는 速度 potential ϕ 는

$$\phi = \sum_m \sum_{r=1}^{\infty} U \frac{16}{\pi^2} (h \sinh \xi_0) \left(\frac{m}{m^2 - s^2} \right) (-1)^{r-1} \cdot \left[\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \left(\frac{2n}{4n^2 - 1} \right) B_{2n}^{(2r)} \right] \frac{Gek_{2r}(\xi, -q_m)}{Gek'_{2r}(\xi_0, -q_m)} \cdot se_{2r}(\gamma, -q_m) \cdot \sin k_m z \cdot e^{i\omega t} \quad (7)$$

이다.

柱狀體 周圍의 流體의 3次元 運動에너지 T_3 은

$$2T_3 = -\rho \int_0^L \int_0^{\pi} \left(\phi \frac{\partial \phi}{\partial \xi} \right)_{\xi=\xi_0} (l_1)_{\xi=\xi_0} d\gamma \cdot dz \quad (8)$$

로 주어지는 데, (8)式에 (7)式을 代入하여 演算하되 $se_{2r}(\gamma, -q_m)$, $\sin k_m z$ 의 直交性을 고려하면 곧

$$2T_{3max} = -\rho \frac{\pi}{2} \frac{L}{2} \sum_m \sum_{r=1}^{\infty} U^2 \left(\frac{16}{\pi^2} \right)^2 (h \sinh \xi_0)^2 \cdot \left(\frac{m}{m^2 - s^2} \right)^2 \left[\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \left(\frac{2n}{4n^2 - 1} \right) B_{2n}^{(2r)} \right]^2 \cdot \frac{Gek_{2r}(\xi_0, -q_m)}{Gek'_{2r}(\xi_0, -q_m)} \quad (9)$$

을 얻을 수 있다. 한편 2次元 運動에너지 T_2 는 橢圓斷面의 2次元 附加質量係數 $C_H = \frac{4}{\pi^2}$ 이므로 다음과 같다.

$$2T_{2max} = U^2 \frac{\rho L}{\pi} (h \sinh \xi_0)^2 \quad (10)$$

故로 3次元 修正係數 J_H 는 T_2 의 T_3 에 대한 比를 取하여

$$J_H = -\frac{64}{\pi^2} \sum_m \sum_{r=1}^{\infty} \left(\frac{m}{m^2 - s^2} \right)^2 \left[\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \left(\frac{2n}{4n^2 - 1} \right) \cdot B_{2n}^{(2r)} \right]^2 \frac{Gek_{2r}(\xi_0, -q_m)}{Gek'_{2r}(\xi_0, -q_m)} \quad (11)$$

와 같이 算定된다. 但, $s=0$ 때는 2次元 運動에너지가 (10)式的 2倍가 되므로 이때의 J_H 는 (11)式 右邊의 $\frac{1}{2}$ 倍이다.

(11)式은 橢圓斷面의 長軸이 自由水面과 一致한 경우 즉, $B/T > 2.00$ 에 대하여 얻은 결과이다. $B/T < 2.00$ 일 경우 卽, 短軸이 自由水面과 一致하는 경우에는 $\eta = \frac{\pi}{2}$ 및 $\frac{3\pi}{2}$ 가 自由水面에 該當하는 데, 이때의 J_H 算式도 (11)式과 같아진다. 다만 그 內容의 있어서 船型幾何學의 寸수 및 寸수比가

$$\left. \begin{aligned} B &= 2h \sinh \xi_0 \\ T &= h \cosh \xi_0 \\ B/T &= 2 \tanh \xi_0 < 2.00 \end{aligned} \right\} \quad (3')$$

와 같이 定義된다.

따라서 振動節數 s_0 가 같은 데 $B/T = p > 2.00$, $L/T = l$ 에 대한 J_H 의 값을 $J_{Hs_0}(p, l)$ 로 표시하면

$$J_{Hs_0}(p, l) \equiv J_{Hs_0}(4/p, 2l/p) \quad (k)$$

인 關係가 있다.

$B/T = 2.00$ 는 橢圓座標系에서는 $\xi \rightarrow \infty$ 에 該當하는 데, 이 경우에는 Kumai 教授[1]의 有限長圓柱에 대한 計算結果를 사용할 수 있다.

3. 數值計算

J_H 의 算式 즉, (11)式을 使用하여 數值計算을 할 때 船型幾何學의 寸수比 B/T , L/T 는 $B/T > 2.00$ 때

$$\xi_0 = \frac{1}{2} \{ \ln(B/T+2) - \ln(B/T-2) \} \quad (12)$$

* 이 報文中에서 Mathieu function에 關하여 사용된 記號들은 이 冊에서 使用된 記號 卽, McLachlan의 記號와 같다.

$$q_m = \left(\frac{hk_m}{2}\right)^2 = \left[\frac{m\pi}{2 \sinh \xi_0} \left(\frac{T}{L}\right)\right]^2 \quad (13)$$

에 의하여 反映된다.

또 振動節數는 s 및 m 에 의하여 反映되는 데, s 와 m 의 關係는 (5-4) 式의 但書와 같다.

數值計算을 위해서는 $Gek_{2r}(\xi, -q_m)$ 를 modified Bessel function I, K 의 product series

$$Gek_{2r}(\xi, -q_m) = \left(\frac{s'_{2r}}{\pi B_{2r}^{(2r)}}\right) \sum_{n=1}^{\infty} B_{2n}^{(2r)} \cdot \{I_{n-1}(u_m)K_{n-1}(v_m) - I_{n+1}(u_m)K_{n+1}(v_m)\} \quad (1)$$

단, $u_m = \sqrt{q_m} e^{-\xi}$, $v_m = \sqrt{q_m} e^{\xi}$

로 展開하여 좀더 따듬어 놓는것이 편리하다. 卽 (11) 式에 (1) 式을 代入하고, 다시 I, K 에 대한 漸化式을 利用하여 一連의 演算을 수행하면

$$J_H = \frac{64}{\pi^2} \sum_m \sum_{r=1}^{\infty} \left(\frac{m}{m^2 - s^2}\right)^2 \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \left(\frac{2n}{4n^2 - 1}\right) \cdot B_{2n}^{(2r)} \right\}^2 \cdot \frac{\sum_{n=1}^{\infty} B_{2n}^{(2r)} \{I_{n-1}(u_m)K_{n+1}(v_m) - I_{n+1}(u_m)K_{n-1}(v_m)\}}{\sum_{n=1}^{\infty} B_{2n}^{(2r)} \cdot 2n \{I_{n-1}(u_m)K_{n+1}(v_m) + I_{n+1}(u_m)K_{n-1}(v_m)\} + \left(\frac{u_m}{v_m} + \frac{v_m}{u_m}\right) I_n(u_m)K_n(v_m)} \quad (14)$$

단, $u_m = \sqrt{q_m} e^{-\xi}$, $v_m = \sqrt{q_m} e^{\xi}$

이 報文에 收錄된 資料의 數值計算 範圍는 다음과 같다.

s (node 數) = 2, 3, 4, 5, 6, 7

B/T = 1.00, $\frac{4}{3}$, 2.00, 3.00, 4.00.

L/T = 8, 10, …………… 32

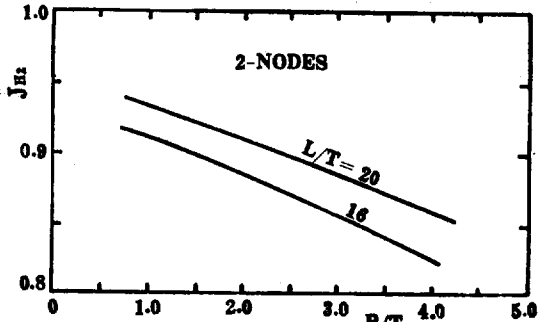


Fig.1 An example of three dimensional correction factors versus beam-draft ratios

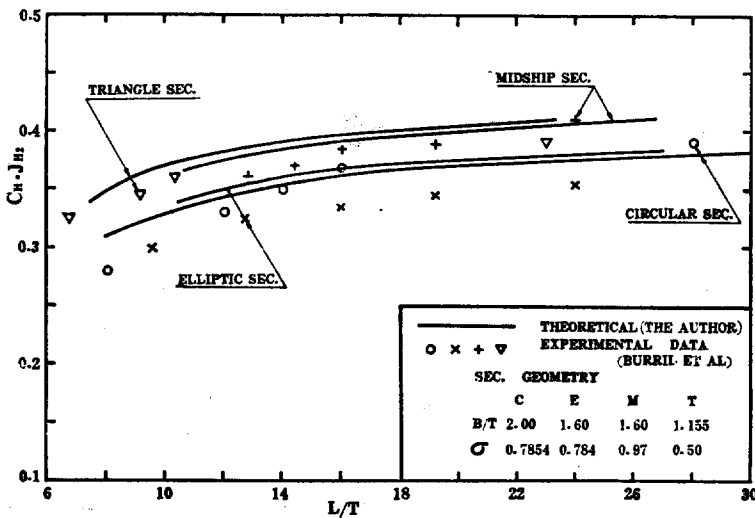
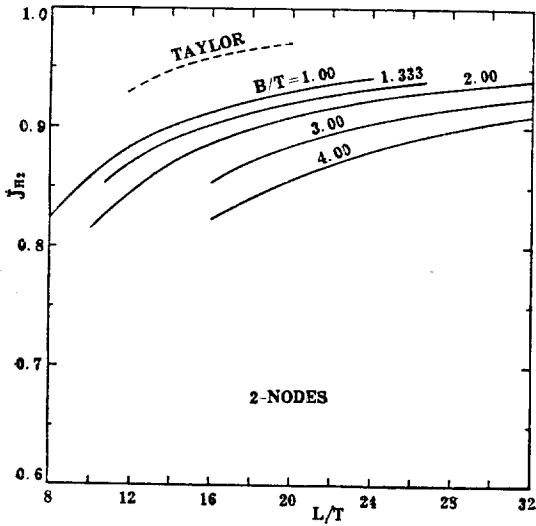
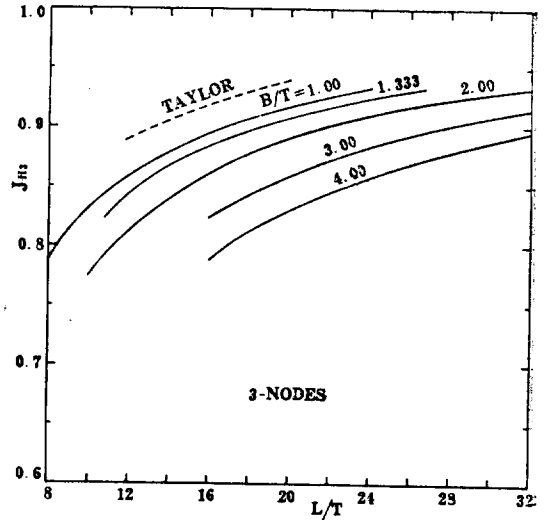


Fig.2 Comparison of experimental added mass coefficients $C_H J_{H2}$ by Burril et al. [9] with theoretical $C_H J_{H2}$ calculated by combination of the authors' J_{H2} from Fig. 3 and two dimensional added mass coefficients C_H obtained by Lewis form approximation for the corresponding models.



(a)



(b)

Fig. 3 Three dimensional correction factors for horizontal vibration versus length-draft ratios with beam-draft ratios as parameters.

但, $B/T=2.00$ (圓斷面)에 對해서는 앞에서 言及한 바와 같이 Kumai 教授[1]의 算式

$$J_H = \frac{64}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{2n}{4n^2-1}\right)^2 \left(\frac{m}{m^2-s^2}\right)^2}{2n+k_m T \frac{K_{2n-1}(k_m T)}{K_{2n}(k_m T)}} \quad (m)$$

이 사용되었다.

(14)式中 係數 $B_{2n}^{(2r)}(q_m)$ 는 數表 [8]로 부터 읽었는데, 同 數表에는 $2r=2, 4, \dots, 14$, $q_m=0 \sim 25$ 에 대한 값들이 주어져 있다. 級數의 收斂性을 試算의 由로 檢討해 본 結果는 $2r=14$, $q_m \approx 25$ 까지의 計算으로서 誤差는 $O(10^{-3})$ 未滿임이 확인되었는데, 이 정도면 實用的 目的으로 無妨하다고 判斷된다. 한편 (m)式의 計算은 $n=100$, $m \approx 100$ 까지 計算했다.

緒論에서 이 研究의 核心은 B/T 의 J_H 에 미치는 영향을 살피는 일이라고 했는데, 振動節數 및 L/T 가 주어졌을 때 J_H 와 B/T 의 關係는 거의 直線的이며, B/T 가 增加함에 따라 J_H 가 현저히 減少하는 傾向이다. 一例로 Fig.1에 $s=2$ 때 $L/T=16$ 및 20에 대한 J_H 對 B/T 曲線을 例示했다. 그래서 B/T 에 대하여서는 2點插問法 사용이 無妨하다고 생각하고, 計算結果는 振動節數別로 B/T 를 徑數로 해서 J_H 對 L/T 曲線 形式으로 編成하여 Fig.3에 提示했다.

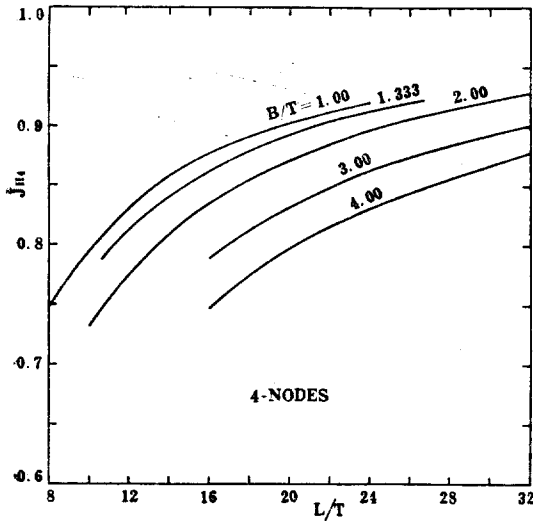
Fig.3에서 node 數 2, 3에 대해서는 參考로 J.Lockwood Taylor[2]의 無限長圓柱에 대한 J_H 值를 點線으로 表示해 두었다.

4. 考 察

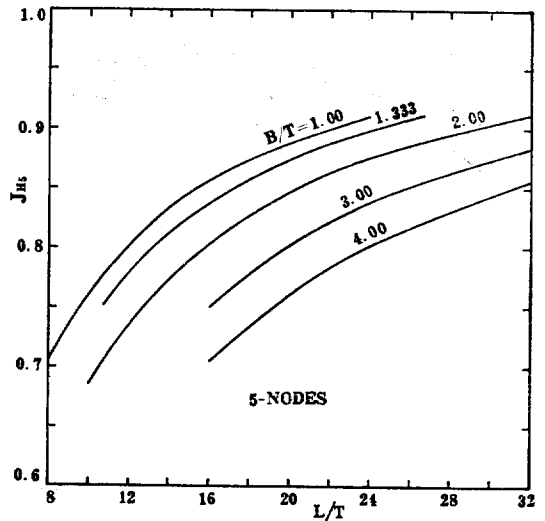
豫想했던대로 B/T 의 J_H 에 미치는 영향은 L/T 의 영향 못지않게 현저하다.

여기서 中급한 일은 (1) B/T 가 같을 때 section contour나 斷面積係數가 J_H 에 미치는 영향, 및 (2) 理論計算值의 實際值에 대한 deviation 정도 등이다. 그래서, 직접 實驗은 못했으나 Burril et al.[9]이 몇 가지 斷面形狀의 柱狀體에 대하여 行한 2節 水平振動의 實驗結果와 比較했다(Fig.2 參照).

Burril et al.는 斷面形狀이 圓斷面($B/T=2.00$, $\sigma = \frac{\pi}{4}$), 準橢圓斷面($B/T=1.60$, $\sigma=0.784$), 船體中央斷面($B/T=1.60$, $\sigma=0.970$), 三角形斷面($B/T=1.155$, $\sigma=0.50$)인 柱狀體에 대한 實驗 結果를 그의 報文의 Fig. 14에 $(C J_2)_{2,3}$ 對 L/B 形式으로 提示했다. 그런데 이 C 는 $\left(\frac{\pi}{4}\right)_0 T^2$ 을 基準으로 한 係數이므로, 現금의 關係대로 $\left(\frac{\pi}{2}\right)_0 T^2$ 을 基準으로 하는 係數 C_H 를 使用하



(c)



(d)

Fig. 3 Cont'd. Three dimensional correction factors for horizontal vibration versus length-draft ratios with beam-draft ratios as parameters.

여 환산하면

$$\frac{1}{2}(C J_2)_{exp.} = (C_H J_{H2})_{exp.}$$

로對應된다. 이 값을 L/B 대신 L/T 에 대해 plot 한 것이 Fig.2의 Burril 實驗値이다.

한편, Fig.2의 理論曲線은 前記 斷面에 對하여 Lewis form 近似로서의 C_H (앞에서 記述한 斷面의 順序대로 각기 0.4053, 0.4053, 0.4368, 0.4343)와 本報 文에 記述한 J_{H2} 理論値 卽, Fig.3에 주어진 값을 組合하여 얻은 $C_H J_{H2}$ 값이다.

Fig.2에서 보던 理論値와 實驗値가 大體로 近似한 셈 이기는하나 橢圓斷面에서, 또 全體의으로 L/T 가 작아 짐에 따라 deviation이 甚한 것이 눈에 뜨인다. L/T 가 작아짐에 따라 deviation이 큰 것은 같은 크기의 斷面으로서 振動波形의 波長이 짧아질수록 附加質量의 回轉慣性影響이 大단가 또는 물의 길이 方向의 흐름이 더욱 세져서 理論計算에서의 兩端境界條件과 實際와의 差가 더 強調되리라는 點등으로 說明될 수 있겠으나, 같은 L/T 에서 橢圓斷面쪽의 deviation이 더 큰 것은 뜻밖이다. 著者[10]가 앞서 여러가지 斷面形狀의 柱狀體에 대하여 上下振動에서의 3次元 修正係數에 관한 實驗을 行했을 때는 橢圓柱狀體에서 實驗値와 理論値

의 deviation이 가장 적었었다.

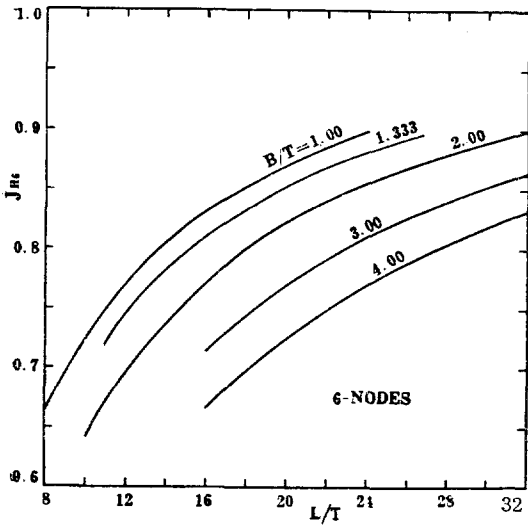
5. 結 論

船體水平振動에 있어서의 附加質量 3次元修正係數를 좀더 正確히 推定하는데 寄與하기 위하여 理論上 有限長 橢圓斷面柱狀體를 數學的模型으로 擇하는 일은 特히 B/T 의 影響을 反映시킬 수 있어 從來 提示되었던 몇가지 경우보다 그 有用性이 더 높음이 認定되리 라고 믿는다.

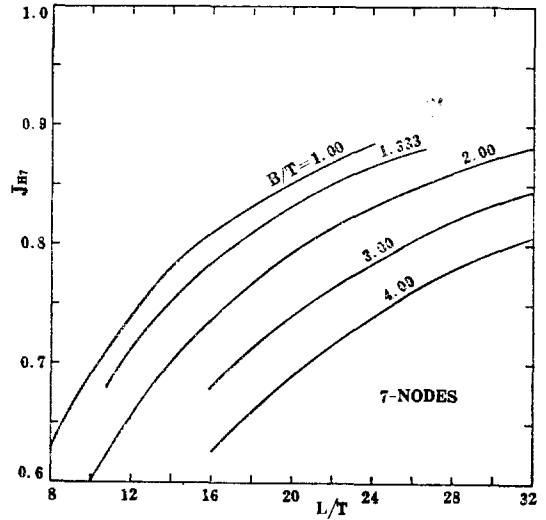
그러나 이 경우에도 兩端에서의 境界條件 등 몇가지 問題點은 남아있다. 그런데 多幸히 Burril et al.의 實驗結果와 비교한 結果로부터 實際的應用에서 받아들일 만 하다는 것이 確認되었다. 故로 提示된 資料 Fig.3은 實船에 대하여 有用하게 活用될 수 있으리라 고 믿는다.

謝 辭

이 研究는 文敎部 學術研究 助成費(1973年度)의 支給을 받아 遂行하였다. 또 數值計算에는 서울大 工大 電子計算組織 (IBM 1130)이 利用되었다. 이 기회에 關係者諸位에게 甚深한 謝意를 表한다.



(e)



(f)

Fig. 3 Cont'd. Three dimensional correction factors for horizontal vibration versus length-draft ratios with beam-draft ratios as parameters.

또 數值計算을 위한 入力data의 準備, 原稿整理를 위한 그림作成을 獻身的으로 助力해 준 서울大 工大 1973學年度 卒業生 李 準烈, 金 斗均 兩君의 勞苦에 感謝한다.

參 考 文 獻

1. T. Kumai, "Some Correction Factors for the Virtual Inertia Coefficient for the Horizontal Vibration of a Ship", *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, Vol. 108, 1960. Also, *European Shipbuilding*, No.4, Oslo, 1960.
2. J. Lockwood Taylor, "Vibration of Ship", *Trans. of RINA*, 1930.
3. L. Landweber and M.C. de Macagno, "Added Mass of a Rigid Prolate Spheroid Oscillating Horizontally in a Free Surface", *Journal of Ship Research*, Vol.3, No.4, SNAME, Mar., 1960.
4. J. Lockwood Taylor, "Some Hydrodynamic Inertia Coefficients," *Phil. Mag.*, Vol. IV, 7th Series, 1930.
5. L. Landweber and M.C. de Macagno, "Added Mass of Two-dimensional Forms Oscillating in a Free Surface", *Journal of Ship Research*, Vol.1, No.3. SNAME, 1957.
6. K.C. Kim, "Added Mass for both Vertical and Horizontal Vibration of Two Dimensional Cylinders of Curvilinear-element Sections with Chines in a Free Surface", *Journal of the Society of Naval Architects of Korea.*, Vol.6, No.1, 1969.
7. N.W. McLachlan, *Theory and Application of Mathieu Functions*, Dover Publications, New York, 1964.
8. The National Applied Mathematic Lab., National Bureau of Standard, U.S.A., *Tables Relating to Mathieu Functions*, Columbia University Press, New York, 1951.
9. L.C. Burril, W. Robson and R.L. Townsin, "Ship Vibration; Entrained Water Experiments", *Trans. of RINA*, Vol. 104, p.425, 1962.
10. 金 極天, 金 正濟, "Chine 型船의 上下振動에 對

한 假想慣性係數에 關하여”, 大韓造船學會誌, 第 9 卷, 第 1 號, 1972.

11. T. Kumai, “On the Three-dimensional Correction Factor for the Virtual Inertia Coefficient in the Vertical Vibration of Ships I (J-value of elliptic cylinder)”, *Journal of the Society of Naval*

Architects of Japan, Vol. 112, 1962.

12. T. Kumai, “On the Three-dimensional Correction Factor for Virtual Inertia Coefficient on the Torsional Vibration of a Ship”, *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, Vol. 108, 1960.