

## 論 文

大韓造船學會誌  
第 17 卷 第 2 號 1980 年 6 月  
Journal of the Society of  
Naval Architects of Korea  
Vol. 17, No. 2, June 1980

### 特殊船 設計에 관한 研究

——油槽船의 淺水中에서의 波浪荷重——

金在瑾\* · 黃宗屹\* · 金曉哲\* · 柳在文\*\*

On the Wave Load of Tanker Model in a Shallow Water

Z.G. Kim\*, J.H. Hwang\*, H. Kim\* and J.M. Yoo\*\*

#### Abstract

The shearing forces and bending moments acting on the tanker model [1] of  $C_B$  0.82 in regular oblique waves of shallow water are investigated by numerical calculations. The new strip method was adopted.

It is concluded that in the shallow water the wave shearing forces and the bending moments acting on the tanker model are higher than those of deep water waves by the present numerical investigations.

The wave bending moment at the midship section is roughly twice of deep water value in the shallow of  $H/T$  less than 2. in this calculation

#### 1. 緒 言

淺水の 規則斜波中에서의 油槽船 船型에 作用하는 波浪剪斷力과 彎曲 모우먼트等の 波浪荷重을 new strip 理論을 써서 計算에 의하여 調査 研究하였다.

淺水中에서의 波浪荷重에 關係서는 아직껏 系統的으로 研究되고 있는 것이 없으며 實際的 研究는 전혀 이루어지지 않고 있다. 附加質量과 減衰力係數가 물이 얇아짐에 따라서 增加하며, 그로 인하여 淺水에서는 深水에서의 規則波中에서 보다 運動應答이 작아진다는 것은 1970年代에 여러 研究者 [1]~[4]에 의하여 알려져 있으나 비록 運動應答이 작더라도 油槽船이 大型化 되어 말레카 海峽과 같은 얇은 水深의 海域을 航海할 때에는 坐礁의 危險性이 增大하므로 研究의 必要性이 強調되고 있다.

더욱 淺水の 規則波中에서는 深水의 경우에 비해 波

浪彎曲 moment가 增加하는 것 같다는 報告[5]가 있어 strip 理論에 立脚한 計算을 試圖하게 되었다.

#### 2. 淺水中에서의 垂直波浪荷重

##### 2.1. 垂直剪斷力

波浪剪斷力은 船體가 波浪으로부터 받는 流體力과 船體의 inertia에 의한 垂直力으로 이루어진다. 따라서 各 스트립에 作用하는 全 힘을 船尾端( $x = l_0$ )으로 부터 임의의 斷面( $x = x'$ )까지 積分을 遂行함으로써 그 斷面에서의 垂直波浪剪斷力을 얻을 수 있다.

즉 垂直波浪剪斷力을  $V(x')$ 라고 하면

$$V(x') = \int_{l_0}^{x'} \{ I_x \} dx$$

$$\text{단, } I_x = \frac{dF_s}{dx} + \frac{dF_{rz}}{dx} + \frac{dF_{FK}}{dx} + \frac{dF_{dz}}{dx} + \frac{dF_I}{dx} \quad (1)$$

여기서  $\frac{dF_I}{dx}$ 는 單位 길이당 船體에 作用하는 inertia

\*서울대학교 工科大学

\*\*서울대학교 大學院

force이며

$$\frac{dF_I}{dx} = \frac{w(x)}{g} (-\ddot{z}_G + x\ddot{\theta}) \quad (2)$$

와 같고, 나머지 항의 項은 文獻 [1]에서의 同一하다. (1)은

$$V(x') = F_A \cos(\omega_e t + \varepsilon_F) \quad (3)$$

$$F_A = \sqrt{V_e^2 + V_s^2}, \quad \varepsilon_F = \tan^{-1}(-V_s/V_e) \quad (4)$$

와 같이 정리되며 波浪剪斷力의 cosine 및 sine 成分은 각각 다음과 같이 나타내진다.

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{V_c}{V_s} \right\} &= \left\{ \frac{Z_c}{Z_s} \right\} (x' \omega_e^2 - c') + \left\{ \frac{Z_s}{Z_c} \right\} b \omega_e \\ &+ \left\{ \begin{matrix} \theta_c \\ -\theta_s \end{matrix} \right\} (g_1 \omega_e^2 - d) + \left\{ \begin{matrix} \theta_s \\ \theta_c \end{matrix} \right\} e \omega_e \\ &+ \omega_e^2 \left\{ \left\{ \frac{Z_c}{Z_s} \right\} \int_{l_a}^{x'} \frac{w(x)}{g} dx - \left\{ \begin{matrix} \theta_c \\ -\theta_s \end{matrix} \right\} \right\} \\ &\times \left[ \int_{l_a}^{x'} \frac{w(x)}{g} \cdot x \cdot dx \right] + \omega_e \zeta_a \frac{\sinh k_0(h-T_m)}{\sinh k_0 h} \\ &\times \left[ \pm \int_{l_a}^{x'} N_H[S] dx - \omega_e \int_{l_a}^{x'} M_H[C] dx \right. \\ &\mp V \left[ M_H[S] \right]_{l_a}^{x'} - \frac{V}{\omega_e} \left[ N_H[C] \right]_{l_a}^{x'} \\ &\left. \pm 2\rho g \zeta_a \int_{l_a}^{x'} [C] \right. \\ &\left. \times \int_0^b \frac{\cosh k_0(h-T_m)}{\cosh k_0 h} \cdot \cos(k_0 y \sin \mu) dy dx \right] \quad (5) \end{aligned}$$

$$\text{단 } [C] = \begin{Bmatrix} \cos \\ \sin \end{Bmatrix} (k_0 x \cos \mu)$$

$$[S] = \begin{Bmatrix} \sin \\ \cos \end{Bmatrix} (k_0 x \cos \mu)$$

여기서  $Z_c, Z_s$ 는 각각 上下動搖의 cosine成分과 sine成分이며  $\theta_c, \theta_s$ 는 각각 縱動搖의 cosine成分과 sine成分이다. 또 流體動力學의 係數에 prime이 붙은 것은 船尾端( $x=l_a$ )로부터의 積分을 뜻한다.

2.2. 垂直 굽힘모우먼트

임의의 斷面에 작용하는 垂直波浪 굽힘모우먼트를  $M(x')$ 라 하면

$$M(x') = \int_{l_a}^{x'} \left\{ I_x \right\} (x-x') dx \quad (6)$$

變形하면

$$M(x') = \int_{l_a}^{x'} \left\{ I_x \right\} x dx - x' V(x') \quad (7)$$

(7)은 다음과 같이 整理할 수 있다.

$$M(x') = M_A \cos(\omega_e t + \varepsilon_m) \quad (8)$$

$$M_A = \sqrt{M_{1c}^2 + M_{1s}^2}, \quad \varepsilon_m = \tan^{-1}(-M_{1s}/M_{1c}) \quad (9)$$

(7)의 第1項을  $M_b(x')$ 라 하고

$$M_b(x') = M_V \cos(\omega_e t + \varepsilon_{mv}) \quad (10)$$

$$M_V = \sqrt{M_{bc}^2 + M_{bs}^2}, \quad \varepsilon_{mv} = \tan^{-1}(-M_{bs}/M_{bc}) \quad (11)$$

로 나타내면

$$\begin{Bmatrix} M_{bc} \\ M_{bs} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \theta_c \\ -\theta_s \end{Bmatrix} (C' - A' \omega_e^2) - \begin{Bmatrix} \theta_s \\ \theta_c \end{Bmatrix} B' \omega_e$$

$$\begin{aligned} &+ \left\{ \begin{matrix} Z_c \\ -Z_s \end{matrix} \right\} (G_1' - D' \omega_e^2) - \left\{ \begin{matrix} Z_s \\ Z_c \end{matrix} \right\} E \omega_e \\ &+ \omega_e^2 \left\{ \left\{ \begin{matrix} Z_c \\ -Z_s \end{matrix} \right\} \int_{l_a}^{x'} x \cdot \frac{w(x)}{g} dx \right. \\ &\left. - \left\{ \begin{matrix} \theta_c \\ -\theta_s \end{matrix} \right\} \int_{l_a}^{x'} \frac{w(x)}{g} x^2 dx \right\} \\ &\pm \omega_e \zeta_a \frac{\sinh k_0(h-T_m)}{\sinh k_0 h} \\ &\times \left[ \int_{l_a}^{x'} N_H x[S] dx + \omega_e \int_{l_a}^{x'} M_H x[C] dx \right. \\ &\mp V \int_{l_a}^{x'} M_H[S] dx \pm \frac{V}{\omega_e} \int_{l_a}^{x'} N_H[S] dx \\ &\left. \pm V \left[ M_H x[S] \right]_{l_a}^{x'} + \frac{V}{\omega_e} \left[ N_H x[C] \right]_{l_a}^{x'} \right] \\ &\mp 2\rho g \zeta_a \int_{l_a}^{x'} x [C] \\ &\times \int_0^b \frac{\cosh k_0(h-T_m)}{\cosh k_0 h} \cos(k_0 y \sin \mu) dy dx \quad (12) \end{aligned}$$

와 같다.

(7)~(11)로부터 波浪 굽힘모우먼트의 cosine成分과 sine成分은 다음과 같이 된다.

$$\begin{Bmatrix} M_{1c} \\ M_{1s} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} M_{bc} \\ M_{bs} \end{Bmatrix} - x' \begin{Bmatrix} V_c \\ V_s \end{Bmatrix} \quad (13)$$

3. 計 算

計算에 활용한 船型은 文獻[1], [4]에서 採했던 船型과 동일한 方形係數 0.82의 油槽船이며, 重量分布曲線은 文獻 [6]을 參考하여 Fig. 1과 같이 假定하였다. 縱慣性半徑은 運動應答計算에 對해서 Takaki가 使用했던 0.239  $L_{pp}$ 를 使用하지 않고 0.2615  $L_{pp}$ 를 취하였다.

計算은 new strip method에 따랐으며 剪斷力과 굽힘모우먼트는  $F_A/\rho g \zeta_a L^2$ ,  $M_A/\rho g \zeta_a L^3$ 과 같이 無次元化하였다. 規則波中에서의 運動應答의 計算結果는 圖

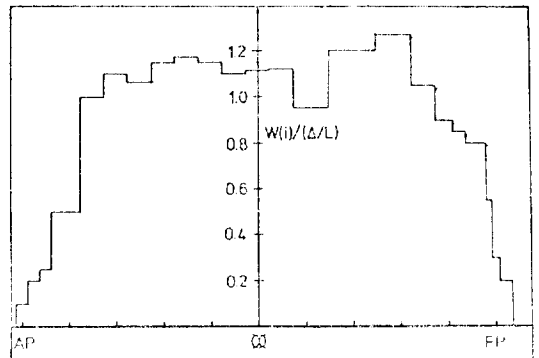


Fig. 1. Weight distribution of tanker model

1]의 結果를 利用하였으며 波浪荷重計算은  $F_n = 0.05$ ,  $H/T = 1.5, 2.1, \infty$ ,  $\omega_e^2/g \cdot T = 0.1 \sim 0.9$  (0.1 간격), 入射波( $\mu$ ) =  $0^\circ, 135^\circ, 180^\circ$ 에 대해서 수행하였다.

4. 考 察

4.1. 波浪斷剪力

물의 깊이  $H/T=1.5$ , 배의 速力  $F_n = 0.5$ , head sea의 경우에 있어서 波浪斷剪力의 計算值를 배의 길이에 따라서 Fig. 2에 圖示했다.

이에 따르면 波浪斷剪力은  $\omega_e^2/g \cdot T$ 가 0.1에서 0.3까지의 入射波에 對해서는  $\omega_e^2/g \cdot T$ 가 클수록 크다.

Fig. 2에는 나타나지 않았으나  $\omega_e^2/g \cdot T$ 가 대략 0.4를 넘으면 波浪斷剪力이 다시 減少하는 경향을 나타낸다.

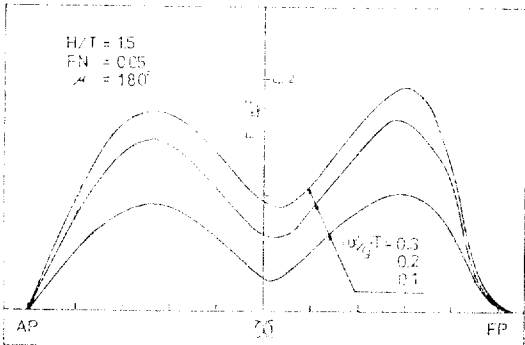


Fig. 2. Wave shearing forces along the ship length (Variable encounter frequencies)

$F_n=0.05$ ,  $\omega_e^2/g \cdot T=0.2$ , head sea에 對해서 水深이  $H/T=1.5, 2.1, \infty$  일때의 波浪斷剪力의 計算值를 배의 길이에 따라서 Fig. 3에 圖示하였다. 이에 따르면 水深이 낮을수록 波浪斷剪力이 增大하고 있는 것을 알 수 있다. 一般의으로 水深이 낮을수록 規則波中에서의 運動應答은 작아지는 것이 알려져 있는데 波浪斷剪力은 그와 反對인데 注目하여야 하겠다.

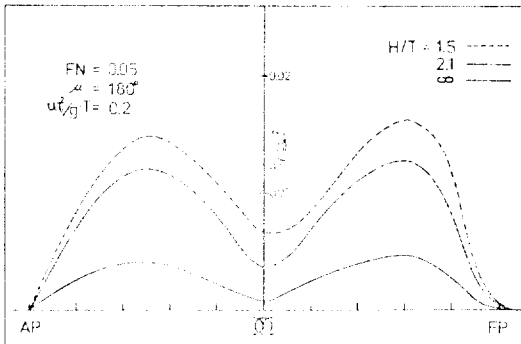


Fig. 3. Wave shearing forces along the ship length (Variable water depths)

Fig. 4에  $H/T=1.5$ ,  $F_n=0.05$ ,  $\omega_e^2/g \cdot T=0.2$ 에 對하여 heading angle  $\mu = 0^\circ, 135^\circ, 180^\circ$  일때의 波浪斷剪力의 計算值를 圖示하였다.

이에 따르면 following sea의 경우에 波浪斷剪力이 大韓造船學會誌 第17卷 第2號 1980年 6月

head sea의 경우보다 크다.

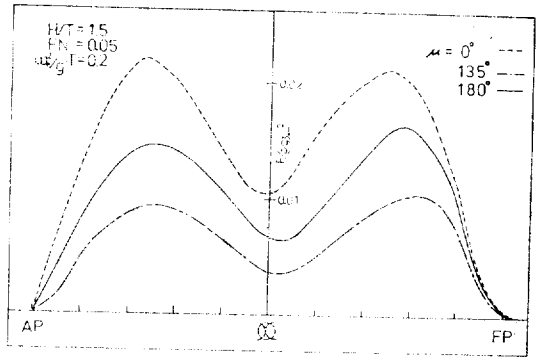


Fig. 4. Wave shearing forces along the ship length (Variable heading angles)

4.2. 波浪 굽힘 모우먼트

물의 깊이  $H/T=1.5$ , 배의 速力  $F_n=0.05$ , head sea의 경우에 있어서 波浪굽힘모우먼트의 計算值를 배의 길이에 따라서 Fig. 5에 圖示했다.

이에 따르면 波浪굽힘 모우먼트는  $\omega_e^2/g \cdot T$ 가 0.1에서 0.3까지의 入射波에 對해서는  $\omega_e^2/g \cdot T$ 가 클수록 크다.

Fig. 5에는 나타나지 않았으나  $\omega_e^2/g \cdot T$ 가 대략 0.4를 넘으면 波浪굽힘모우먼트가 다시 감소하는 경향을 나타낸다.

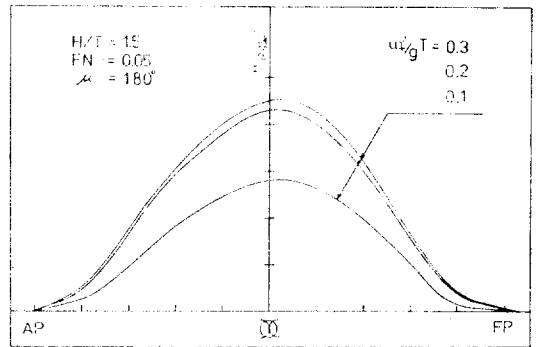


Fig. 5. Wave bending moments along the ship length (Variable encounter frequencies)

$F_n = 0.05$ ,  $\omega_e^2/g \cdot T = 0.2$ , head sea에 對해서 水深이  $H/T = 1.5, 2.1, \infty$  일때의 波浪굽힘모우먼트의 計算值를 배의 길이에 따라서 Fig. 6에 圖示하였다.

이에 따르면 水深이 낮을수록 波浪굽힘모우먼트가 增大하고 있는 것을 알 수 있다. 一般의으로 水深이 낮을수록 規則波中에서의 運動應答은 작아지는 것이 알려져 있는데 波浪굽힘모우먼트는 그와 反對인데 注目하여야 하겠다.

Fig. 7에  $H/T = 1.5$ ,  $F_n = 0.05$ ,  $\omega_e^2/g \cdot T = 0.2$ 에

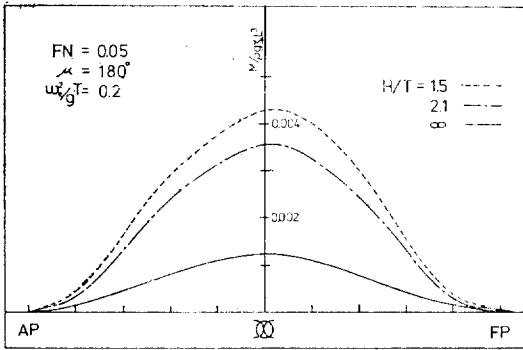


Fig. 6. Wave bending moments along the ship length (Variable water depths)

對하여 heading angle  $\mu = 0^\circ, 135^\circ, 180^\circ$  일 때의 波浪 굽힘 모우먼트의 計算值를 圖示하였다.

이에 따르면 following sea의 경우에 波浪 굽힘 모우먼트가 head sea의 경우보다 크다.

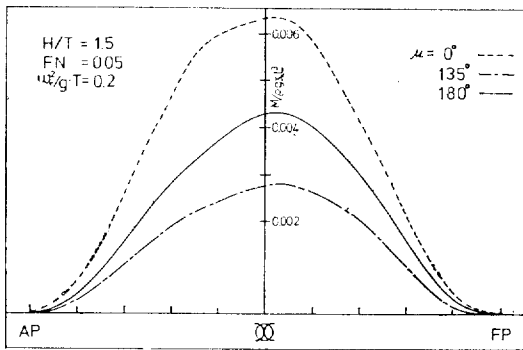


Fig. 7. Wave bending moments along the ship length (Variable heading angles)

Fig. 8에  $F_n = 0.05$ ,  $\mu = 180^\circ$ 에 대하여水深  $H/T = 1.5, 2.1, \infty$  일때의 midship에서의 波浪 굽힘 모우먼트를  $\omega_e^2/g \cdot T$ 의 값을 0.1에서 0.95까지의 범위를 잡고 計算한 값을 圖示하였다. 이에 의하면 中央斷面에 作用하는 波浪 굽힘 모우먼트가 水深이 낮은 경우가 무한수심의 경우보다 커진다는 것은 문헌 [5]에서 이미 지적되고 있으며 本 計算에서 재확인되었다. 水深이 배의 吃水보다 2倍以下가 되는 淺水에서는 中央斷面에서의 波浪 굽힘 모우먼트가 深水의 경우의 값의 2倍程度가 되는 것 같다.

5. 結 論

Strip method에 의한 規則波中에서의 油槽船 船型의 波浪荷重 計算結果 다음 結論을 얻었다.

1) 迎波의 경우 水深이 吃水の 1.5倍가 되는 淺水에

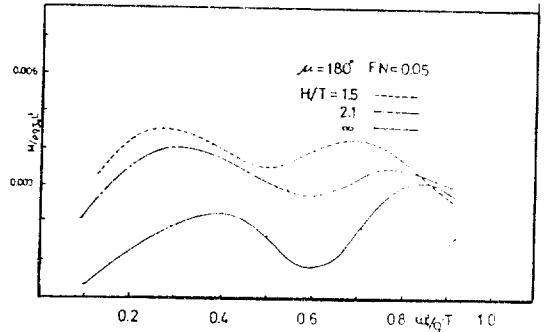


Fig. 8. Variation of wave bending moments at midship

서는 低週波數의 規則波의 範圍에서 波浪剪斷力과 波浪 굽힘 모우먼트는  $\omega_e^2/g \cdot T$ 가 클수록 커진다.

2) 迎波에 대해서는 물이 얕아질수록 波浪剪斷力과 波浪 굽힘 모우먼트는 深水의 경우보다 커지며 中央斷面에서의 波浪 굽힘 모우먼트는 淺水의 경우가 深水의 경우의 2倍程度가 된다.

3) 低週波數의 規則波의 範圍에서는 追波의 경우가 迎波의 경우보다 波浪荷重이 크게 나타난다.

後 記

本 研究는 1979年度 文教部 學術研究助成費에 의해 遂行되었음을 밝힙니다.

參 考 文 獻

1. 黃宗屹, 李起杓, 柳在文, “淺水中에서의 波浪強制力과 船體應答에 關하여”, 大韓造船學會誌 第17卷 第3號, 1980. (掲載豫定)
2. 黃宗屹, 李承俊, “縱規則波中에서 水深이 船體運動에 미치는 影響”, 大韓造船學會誌, 第12卷第2號, 1975.
3. 黃宗屹, 李起杓, “有限깊이의 물에서의 船體運動” 大韓造船學會誌, 第13卷第1號, 1976.
4. Takaki, M., “On the Ship Motions in Shallow Water”, *Reports of Research Institute for Applied Mechanics*, Vol. XXV, No. 80, 1978.
5. Report of Committee 1.2, *Proc. of the Seventh ISSC*, Paris, 1979.
6. “船舶의 經濟性 向上에 關する 調査” 日本造船研究協會, 第90研究部會.