

吃水變化에 따른 造波抵抗의 變化

馬 淳 一* · 林 永 培

Change of Wave-Making Resistance Depending on Varying Draft

by

S. I. Ma and Y. B. Yim

Abstract

In 1925 Havelock compared theoretical wave resistance with experimental one varying draft, in which the two ship's forms were different from each other. So, in this paper theoretical wave resistance was compared with the experimental one on the ship of the same form.

And, though Havelock calculated theoretical wave resistance by mathematical artifice, in this paper it was calculated by computer using the method of numerical integration.

In Havelock's paper, the increment of wave resistance decreased when the draft increased. But in this paper the conclusion is changed: the increment of wave resistance increases when the draft increases. The reason is supposed by the effect of the displacement of the ship.

1. 序 論

船體의 造波抵抗을 理論的으로 解析하려는 努力은 오래前부터 많이 행해져 왔다. 그러던 中 1898年 J.H. Michell⁽¹⁾은 船體表面의 壓力分布狀態를 求해서 그것의 船首尾方向의 成分을 船體全體에 걸쳐 積分함으로써 波의 造波抵抗을 求할 수 있었다.

그 다음으로 T.H. Havelock는 여러가지 方法으로 造波抵抗을 理論的으로 求해서 發表했다. 中 한가지 方法은 船體의 中央縱斷面에 複湧出點을 分布시켜 造波抵抗을 理論的으로 計算한 것이다. 그리고 그는 이 方法으로 中央平行部를 變化시켜 造波抵抗의 變化⁽²⁾를 관찰했고, 또 吃水를 變化시켜 造波抵抗의 變化⁽³⁾를 理論的으로 計算했다.

參考문헌⁽³⁾에 依하면 等水線面을 가지는 2次式船型의 d/L (L :船體의 길이, d :吃水)가 各各 0.05, 0.1, 無限大인 경우에 對해서 조사했는데 그 結果는 어떤 一定한 速度에서 吃水가 增加함에 따라 造波抵抗의 增加분이 감소했다. 그리고 特히 吃水가 無限大인 경우의 造波抵抗이 有限值로 나왔다.

本論文에서는 等水線面이 아닌 2次式船型에 對한 造波抵抗을 理論的으로 計算하여 吃水變化에 따른 造波抵抗의 變化와 船首와 船尾에 依해서 發生하는 波들의 간섭효과를 관찰하고 또 理論值와 實驗值, 그리고 數式船型은 서로 다르지만 Havelock의 理論值와도 比較, 檢討하였다.

2. 船體 造波抵抗에 對한 理論展開

靜止된 自由水表面을 $x-y$ 平面으로 잡고, x 軸을 軸上方向으로 取한다. 단, x 軸은 船體의 進行方向을 陽의 軸으로 하고 y 는 船體幅方向이며, x, y, z 는 右手系 直角座標系를 構成한다. 그리고 ζ 를 水面上昇量이라 하고, ρ, Φ_0 를 各各 流體의 密度, 충격이 加해지는 순간의 初期 速度포텐셜이라고 한다. 그럴때 原點에 對해서 대칭인 初期 충격력 $\rho\Phi_0$ 가

$$\rho\Phi_0 = F(w), \quad (w^2 = x^2 + y^2)$$

로 주어질때의 임의 速度포텐셜 Φ 와 ζ 는 Lamb⁽⁴⁾에 依해서

$$\Phi = \frac{1}{\rho} \int_0^{\infty} H(k) e^{kz} J_0(kw) \cos(kVt) k dk \quad (1)$$

接受日字: 1976年 11月 25日

*正會員: 釜山大學校 工科大學

$$\zeta = -\frac{1}{g\rho} \int_0^{\infty} H(k) J_0(kw) \sin(kVt) k^2 V dk \quad (2)$$

로 주어진다. 여기서

$$H(k) = \int_0^{\infty} F(\alpha) J_0(k\alpha) \alpha d\alpha \quad (3)$$

$$F(w) = \int_0^{\infty} J_0(kw) k dk \int_0^{\infty} F(\alpha) J_0(k\alpha) \alpha d\alpha \quad (4)$$

이고

g : 重力加速度

V : 波의 進行速度

$k = g/V^2$

J_0 : zero order의 Bessel 函數

이다.

그런데 이 初期충격력 $\rho\Phi_0$ 가 x 軸의 陽의 方向으로 速度 c 로 움직일때 Φ 와 ζ 는 (1), (2)式의 t 대신에 u 를, x 대신에 $x+cu$ 를 각각 代入하면 된다.

그리하여

$$\rho\Phi = \int_0^{\infty} e^{-i\mu u} du \int_0^{\infty} H(k) e^{kz} J_0[k\{(x+cu)^2 + y^2\}^{\frac{1}{2}}] \times \cos(kVu) k dk \quad (5)$$

$$g\rho\zeta = -\int_0^{\infty} e^{-i\mu u} du \int_0^{\infty} H(k) J_0[k\{(x+cu)^2 + y^2\}^{\frac{1}{2}}] \times \sin(kVu) k^2 V dk \quad (6)$$

이 된다. 여기서 $\exp(\frac{1}{2}\mu u)$ 는 단순히 積分值를 有限值로 만들기 위한 것이며, μ 를 無限小로 하면 된다. 주어진 壓力分布가 $F(w)$ 이고 表面上昇量이 ζ 일때 ζ 의 기울기가 작다면 造波抵抗 R 은

$$R = \int F(w) \frac{\partial \zeta}{\partial x} ds \quad (7)$$

이므로 壓力分布 $F(w)$ 가 주어지면 造波抵抗 R 은 (3), (5), (6), (7)式에 依하여 求할 수 있게 된다. 여기서 ds 는 水表面全體에 걸친 積分이다. 만일

$$\rho\Phi_0 = F(w) = \frac{Af}{(f^2 + w^2)^{\frac{1}{2}}}, \quad (A, f; \text{상수}) \quad (8)$$

로 주어지면 造波抵抗 R 은 Havelock에 依해서

$$R = \frac{4\pi A^2 k_0^3}{g\rho} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sec^5 \phi \cdot e^{-2k_0 f \sec^2 \phi} d\phi \quad (9)$$

이고, 여기서

$k_0 = g/c^2$

π : 원주율

이다. 그런데 $\rho\Phi_0 = F(w)$ 가 (8)式과 같이 주어지면 (3)式에 依해서 $H(k)$ 는

$$H(k) = Ae^{-kf}$$

이므로 (9)式은 다시

$$\begin{aligned} R &= \frac{64\rho B^2 g^2}{\pi c^2 L^4} \int_0^{\frac{\pi}{2}} df \int_0^{\frac{\pi}{2}} df' \int_{-\infty}^{\infty} dh \int_{-\infty}^{\infty} dh' \int_0^{\frac{\pi}{2}} h \left\{ 1 - \left(\frac{f+f_0}{T} \right)^2 \right\} \cdot h' \left\{ 1 - \left(\frac{f'+f_0}{T} \right)^2 \right\} \sec^3 \phi \cdot e^{-\{g(f+f')/c^2\} \sec^2 \phi} \\ &\quad \times \cos \left[\{g(h-h')/c^2\} \sec \phi \right] d\phi \\ &= \frac{64\rho B^2 g^2}{\pi c^2 L^4} \int_0^{\frac{\pi}{2}} df \int_0^{\frac{\pi}{2}} df' \int_{-\infty}^{\infty} dh \int_{-\infty}^{\infty} dh' \int_0^{\frac{\pi}{2}} h \left\{ 1 - \left(\frac{f+f_0}{T} \right)^2 \right\} \cdot h' \left\{ 1 - \left(\frac{f'+f_0}{T} \right)^2 \right\} \sec^3 \phi \cdot e^{-\{g(f+f')/c^2\} \sec^2 \phi} \end{aligned}$$

$$R = \frac{4\pi k_0^3}{g\rho} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sec^5 \phi \{H(k_0 \sec^2 \phi)\}^2 d\phi \quad (10)$$

로 된다. Lamb⁽⁴⁾에 依하면 이것은 水深 f 에 半徑 a 인 球가 速度 c 로 움직일때의 造波抵抗과 같다. Lamb는 半徑 a 인 球를 모멘트가 $ca^3/2$ 이고 軸이 x 軸의 陽의 方向인 複湧出點으로 대치시켰다. 상수 A 와 半徑 a 는

$$a^3 = \frac{A}{g\rho}$$

인 關係를 만족한다.

이와같은 事實은 확장해서 $y=0$ 인 平面에 單位面積 當 모멘트가 $\phi(h, f)$ 인 複湧出點이 分布되어 x 軸의 陽의 方向으로 速度 c 로써 달릴때의 造波抵抗 R 은

$$\begin{aligned} R &= 16\pi g^2 \rho c^{-4} \int_0^{\frac{\pi}{2}} df \int_0^{\frac{\pi}{2}} df' \int_{-\infty}^{\infty} dh \int_{-\infty}^{\infty} dh' \int_0^{\frac{\pi}{2}} \\ &\quad \times \frac{\partial \phi}{\partial h} \cdot \frac{\partial \phi'}{\partial h'} \cdot \sec^3 \phi \cdot e^{-\{g(f+f')/c^2\} \sec^2 \phi} \\ &\quad \times \cos \left[\{g(h-h')/c^2\} \sec \phi \right] d\phi \quad (11) \end{aligned}$$

이다. 이것은 船體를 複湧出點으로 대치시킨 結果이다. (11)式이 Havelock^{(2), (5)}에 依하여 얻어진 것이다.

여기서

f : 水深 즉 $-z$,

h : $x=0$ 平面으로 부터 船體表面까지의 거리 즉 x 이다.

3. 數式船型에 對한 理論

船體表面의 方程式이

$$y = G(x, z)$$

일때 船體表面과 複湧出點과의 關係식은 Havelock⁽³⁾에 依해서

$$2\pi \frac{\partial \phi}{\partial h} = c \frac{\partial G}{\partial h} \quad (12)$$

이다. 그러므로 本論文에서 조사하고자 하는 數式船型

$$y = \frac{B}{2} \left\{ 1 - \left(\frac{2x}{L} \right)^2 \right\} \left\{ 1 - \left(\frac{z-f_0}{T} \right)^2 \right\}$$

은 (12)式에 代入하면

$$\frac{\partial \phi}{\partial h} = -\frac{2cBh}{\pi L^2} \left\{ 1 - \left(\frac{f+f_0}{T} \right)^2 \right\} \quad (13)$$

여기서

L : 배의 길이

B : 배의 幅

T : 吃水

f_0 : 艀현 (free board)

를 表示한다. (13)式을 (11)式에 代入하면

$$\times \left(\cos \frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h \cdot \cos \frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h' + \sin \frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h \cdot \sin \frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h' \right) d\phi \tag{14}$$

이다. 여기서 이 積分을 h, h' 에 對해서 먼저 積分해 보면

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h \cdot h' \left(\cos \frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h \cdot \cos \frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h' + \sin \frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h \cdot \sin \frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h' \right) dh dh' \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} h \cos \left(\frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h \right) dh \int_{-\infty}^{\infty} h' \cos \left(\frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h' \right) dh' + \int_{-\infty}^{\infty} h \sin \left(\frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h \right) dh \int_{-\infty}^{\infty} h' \sin \left(\frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h' \right) dh' \end{aligned} \tag{15}$$

이다. 그런데 제1항은 奇函數이므로 그 積分値는 零이 된다. 그러므로 造波抵抗 R 은

$$\begin{aligned} R &= \frac{64\rho B^2 g^2}{\pi c^2 L^4} \int_0^{\pi} df \int_0^{\pi} df' \int_{-\infty}^{\infty} dh \int_{-\infty}^{\infty} dh' \int_0^{\frac{\pi}{2}} hh' \left\{ 1 - \left(\frac{f+f_0}{T} \right)^2 \right\} \left\{ 1 - \left(\frac{f'+f_0}{T} \right)^2 \right\} \sec^3 \phi \cdot e^{-\{g(f+f')/c^2\} \sec^2 \phi} \\ &\quad \times \sin \left(\frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h \right) \cdot \sin \left(\frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h' \right) d\phi \end{aligned} \tag{16}$$

이다. 그리고 積分구간은

$$h, h' \text{에 對해서 } (-\infty, \infty) \text{는 } \left[-\frac{L}{2}, \frac{L}{2} \right] \text{ 이고,}$$

$$f, f' \text{에 對해서 } [0, \infty) \text{는 } [0, T-f_0]$$

로 된다. 이것을 (16)에 代入하면

$$\begin{aligned} R &= \frac{64\rho B^2 g^2}{\pi c^2 L^4} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sec^3 \phi \left[\int_0^{T-f_0} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} h \left\{ 1 - \left(\frac{f+f_0}{T} \right)^2 \right\} e^{-\{g \cdot \sec^2 \phi / c^2\} f} \cdot \sin \left(\frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h \right) df dh \cdot \int_0^{T-f_0} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} h' \right. \\ &\quad \left. \times \left\{ 1 - \left(\frac{f'+f_0}{T} \right)^2 \right\} e^{-\{g \cdot \sec^2 \phi / c^2\} f'} \cdot \sin \left(\frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h' \right) df' dh' \right] d\phi \\ &= \frac{64\rho B^2 g^2}{\pi c^2 L^4} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[\int_0^{T-f_0} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} h \left\{ 1 - \left(\frac{f+f_0}{T} \right)^2 \right\} e^{-\{g \cdot \sec^2 \phi / c^2\} f} \cdot \sin \left(\frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h \right) df dh \right]^2 \sec^3 \phi d\phi \end{aligned} \tag{17}$$

이다. 여기서 다시 h, f 에 對한 積分만 생각하면

$$\begin{aligned} & \int_0^{T-f_0} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} h \left\{ 1 - \left(\frac{f+f_0}{T} \right)^2 \right\} e^{-\{g \cdot \sec^2 \phi / c^2\} f} \cdot \sin \left(\frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h \right) df dh \\ &= \int_0^{T-f_0} \left\{ 1 - \left(\frac{f+f_0}{T} \right)^2 \right\} e^{-\{g \cdot \sec^2 \phi / c^2\} f} df \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} h \cdot \sin \left(\frac{g \cdot \sec \phi}{c^2} h \right) dh \\ &= \left\{ \frac{2c^4}{g^2} \cos^2 \phi \sin \left(\frac{gL}{2c^2} \sec \phi \right) - \frac{c^2 L}{g} \cos \phi \cos \left(\frac{gL}{2c^2} \sec \phi \right) \right\} \left\{ \left(1 - \frac{f_0^2}{T^2} \right) \frac{c^2}{g} \cos^2 \phi - \frac{2f_0 c^4}{T^2 g^2} \cos^4 \phi - \frac{2c^6}{T^2 g^3} \cos^6 \phi \right. \\ &\quad \left. + \frac{2c^2}{T^2 g} \cos^2 \phi \left(\frac{c^4}{g^2} \cos^4 \phi + \frac{Tc^2}{g} \cos^2 \phi \right) e^{-(T-f_0)g \cdot \sec^2 \phi / c^2} \right\} \end{aligned}$$

이다.

그러므로 구하고자 하는 造波抵抗 R 은 뒷式을(17)式에 代入하여

$$\begin{aligned} R &= \frac{64\rho B^2 g^2}{\pi c^2 L^4} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left\{ \frac{2c^4}{g^2} \cos^2 \phi \sin \left(\frac{gL}{2c^2} \sec \phi \right) - \frac{c^2 L}{g} \cos \phi \cos \left(\frac{gL}{2c^2} \sec \phi \right) \right\}^2 \left\{ \left(1 - \frac{f_0^2}{T^2} \right) \frac{c^2}{g} \cos^2 \phi - \frac{2f_0 c^4}{T^2 g^2} \cos^4 \phi - \frac{2c^6}{T^2 g^3} \cos^6 \phi \right. \\ &\quad \left. + \frac{2c^4}{T^2 g^2} \cos^2 \phi \left(1 + \frac{c^2}{Tg} \cos^2 \phi \right) e^{-(T-f_0)g \cdot \sec^2 \phi / c^2} \right\} \cos^3 \phi d\phi \end{aligned} \tag{18}$$

이다. 本論文中에서 조사한 數式船型이 주요치수는

$$L=3m$$

$$B=0.3m$$

$$T=0.25m$$

이다. 그리고 吃水 11.5cm, 15cm, 18.5cm. 즉 艀線은 13.5cm, 10cm, 6.5cm의 3가지 경우에 對해서(18)式을 使用하여 造波抵抗을 計算했다.

그런데 Havelock⁽³⁾가 使用한 數式船型은

$$y = \frac{B}{2} \left\{ 1 - \left(\frac{2x}{L} \right)^2 \right\}$$

이며, Fig. 1에 Havelock에 依한 理論과 實驗結果를 圖示한다.

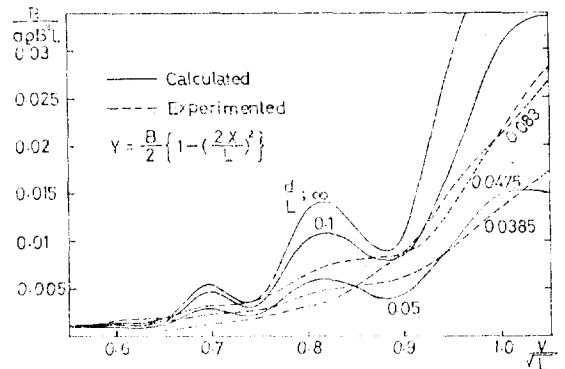


Fig. 1

4. 數值計算 및 實驗

(1) 數值計算

數值計算에서는 심프슨(Simpson)公式를 使用하였고 ϕ 의 數值計算 구간을 90等分하였으며 計算에 使用된 常數들은 각각

- $\pi=3.14159265$
- $\rho=1000$
- $g=9.780490$
- $L=3$
- $B=0.3$
- $T=0.25$

이다. 이것을 전현 0.065, 0.1, 0.135에 對해서 각각 計算하여 그결과를 Fig. 2에 實線으로 圖示하였다. 造波抵抗 計算에 使用된 전자계산기는 韓國科學技術研究所(K.I.S.T)에 있는 CYBER-73-18이었다. 數值計算에 使用된 프로그램은 부록을참조하기 바란다.

(2) 實驗

實驗은 釜山大學校 工科大學 船型試驗水槽에서 實施하고 여기서 使用된 모형은 數值計算에서 使用되었던 2次式 數式船型

$$y = \frac{B}{2} \left\{ 1 - \left(\frac{2x}{L} \right)^2 \right\} \left\{ 1 - \left(\frac{z}{T} \right)^2 \right\}$$

이다. 實驗에 使用된 배의 주요킷수는

- $L=3m$
- $B=0.3m$
- $T=0.25m$

이고 吃次는 각각 15cm, 18.5cm에 對해서 實驗했다. 한 速度에 對해서 3회씩 예인하여 그것의 平均値를 取했다. 그리고 1회예인한 結果는 hollow와 hump을 각각 5개씩 읽어 平均하였다. 모형의 材質은 F.R.P였고 난류속진장치로서는 1cm간격으로 9½ Station에 못을 박

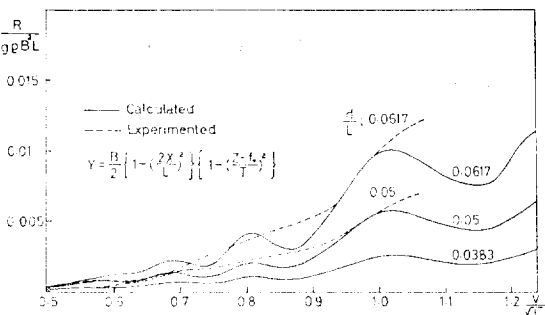


Fig. 2

5. 檢計 및 考察

Havelock⁽³⁾가 계산한 결과에 依하면 어떤 一定한 速度에서 $\Delta R/\Delta d$ 의 값이 吃水가 增加함에 따라 減少하는 傾向이 있는데 本論文에서는 $\Delta R/\Delta d$ 의 값이 吃水가 增加함에 따라 增加했다. 이는 Havelock가 使用한 數式船型이 等水線面 船型인데 本論文에서 考察한 船型은 吃水가 增加함에 따라 水線面積이 增加하기 때문인 것 같다. 그리고 吃水가 無限大인 경우에 내해서는 本論文에서 使用된 數式船型을 가지고 解析하기는 곤란하다. 本論文에서 使用된 數式船型은 吃水가 無限大인 경우에 對하여 고려할 수 없는데, 그 問題에 對해서는 다음 기회로 미루겠다.

抵抗의 極大極小 값이 똑같은 速度에서 나타나는데 이 事實은 Havelock⁽³⁾와 잘 일치할 뿐만 아니라 球를 水深을 變化시키면서 等速으로 예인하는 경우에 나타나는 結果와도 一致한다. 즉 船首波와 船尾波의 간섭은 똑같은 速度에서 일어남을 알 수 있다. 또 吃水가 작을 때에는 船首波와 船尾波의 간섭이 작게 나타난다.

實驗値와 理論値를 比較해 보면 Havelock가 比較한 것보다는 더욱더 一致함을 보여 주는데, 그 이유는 Havelock는 단지 d/L 가 비슷한 배의 實驗値를 使用한 때 반해서 本論文에서는 實驗에 使用한 船型과 理論에 使用한 船型이 똑같이 때문이다.

理論値에서 造波抵抗의 極大極小値의 差가 현저하게 나타나는 것은 中央縱斷面에 復湧出點을 分布시켜 船體와 대응시켰으므로 나타나는 根本的인 問題이다. 그리고 Havelock는 그의 論文⁽³⁾에서 部分的으로는 使用된 船型이 等水線面을 가졌기 때문이라고 지적한 바 있다. 그런데 本論文에서 使用된 船型은 等水線面이 아니므로 造波抵抗의 極大極小値의 差가 현저하게 減少되었다. 全般的으로 造波抵抗이 Havelock의 理論値보다 작게 나타난 것은 배의 배수량이 Havelock가 使用한 船型보다 줄어들었기 때문인 것으로 안다.

6. 結 論

以上の 조사에 依하여 다음과 같은 結論이 얻어진다.
1) 어떤 一定한 速度에서 吃水가 增加함에 따라 ΔR

/Δd값이 增加한다.

2) 造波抵抗의 極大極小値의 差는 低速에서는 적지만 高速에서는 커지고, 또 吃水가 增加함에 따라 그차가 커진다.

3) 船首波와 船尾波의 간섭효과는 吃水에 관계없이 同一速度에서 일어난다.

4) 中央縱斷面에 復湧出點을 分布시켜 造波抵抗을 理論的으로 求하는 方法은 實驗結果와 比較할때 精確한 造波抵抗 값은 求하지 못하지만 變動 傾向은 거의 一致함을 안다.

參 考 文 獻

[1] J.H. Michell. "The Wave Resistance of a ship."

Phil. Mag. S.S. Vol, 45, 1898

[2] T.H. Havelock. "Studies in Wave Resistance: the Effect of Parallel Middle Body." *Proc. Roy. Soc. A. Vol, 108, 1925*

[3] T.H. Havelock. "Wave Resistance: the Effect of Varying Draft." *Proc. Roy. Soc. A. Vol, 108, 1925*

[4] H. Lamb. "*Hydrodynamics.*" Cambridge University Press. 6th Edn, 1932

[5] T.H. Havelock. "Wave Resistance: Some cases of Three-dimensional Fluid Motion." *Proc. Roy. Soc. A, 95, 1918*

Appendix

```

PROGRAM SIMPS(INPUT,OUTPUT,TAPE5=INPUT,TAPE6=OUTPUT)
C *** THIS PROGRAM SOLVE SIMPSON'S RULE
C
C *****
COMMON FO(100),CI(100),COSINE(100),SINE(100),SECU(100),
1 RESULT(100,100),
2 PIF,SAVE,PB664,IC,IF0,NO,P,G,L,B,T,ERLIM,CCHA,C11,CIN,FO0,
3 DELTAU,PIECL,C42G2,GL2C,C2LG,C2GMT,FC4TG2,C6TG23,C42TG2,
4 C2TG,TFGC2,AREA,ISAVE,RAD,RADD,DIV,IM,REMAIN,EXPT,SMULTI
C
C *****
C *** INPUT SPEED INTERVAL NUMBER(IC),DRAFT(IF0),INTERGRATION STEP(N0).
C
C READ 5000,IC,IF0,NO
C
C *****
C *** INPUT DENSITY OF SEA WATER(P),ACCELATION OF GRAVITY(G),
C *** LENGTH OF SHIP(L),BRADTH OF SHIP(B),MAXIMUM DRAFT(T),
C *** ERROR LIMIT(ERLIM).
C
C READ 5100,P,G,L,B,T,ERLIM
C
C *****
C *** INPUT DRAFT.
C
C READ 5200,(FO(I),I=1,IF0)
C READ 5300,CCHA,CHA,DIV
C PIF=3.1415926536
C PRG64=64.*P*H*B*6*6
C
C *****
C *** CALCULATE SPEED INTERVAL.
C
C CIN=0.0
C DO 100 I=1,IC
C CIN=CIN+CCHA
C CI(I)=CIN
    
```

```

100 CONTINUE
HAD=PIE/180.
CHA=90./FLOAT(NO)
ISAVE=0
C
C *** CALCULATE THE COSINE,SIN AND SEC OF INTERGRATION STEP.
C
DO 200 I=ISAVE,NO
J=J+1
SETHAP=SETHAP+CHA
IF (I.FQ.0)SETHAP=0.0
RADD=RAD*SETHAP
COSINE(J)=COS(HADD)
SINE(J)=SIN(HADD)
SECU(J)=1./COSINE(J)
200 CONTINUE
C
C *** OUTPUTING INPUT DATA AND ALL COMPUTED DATA.
C
PRINT 5400,IC,IF0
DFLTAU=(PIE/2.)/FLOAT(NO)
PRINT 5500,P,G,L,H,T
PRINT 5500,PIE,DFLTAU,ERLIN
PRINT 5700,(I,COSINE(I),I=1,NO)
PRINT 5800,(I,SINE(I),I=1,NO)
PRINT 5900,(I,SECU(I),I=1,NO)
C
C *** COMPUTE THE INTEGRAND OF SPEED INTERVAL NO.(IC).
C
DO 3500 KI=1,IC
CI1=C1(KI)
PIECL=PIE*CI1**2*L**4
C42G2=2.*CI1**4/G**2
GL2C=G*L/(2.*CI1**2)
C2IG=CI1**2*L/G
C6TG23=(2.*CI1**6)/(T**2*G**3)
C42TG2=(2.*CI1**4)/(T*G**2)
C2TG=CI1**2/(T*G)
DO 3400 IT=1,IF0
F00=F0(IT)
C2GMFT=(1.-F00**2/T**2)*CI1**2/G
FC4TG2=(2.*F00*CI1**4)/(T**2*G**2)
TFGC2=-(T-F00)*G/CI1**2
C
C *** SUBROUTINE SIMPSON'S RULE.
C
CALL SIMPSN
RESULT(KI,IT)=ARFA
3400 CONTINUE
3500 CONTINUE
PRINT 6000,(F0(I),I=1,IF0)
KEY=0
DO 4200 MP=1,IC
IF (MP.GT.60)GO TO 4100
GO TO 4150
4100 IF (KEY.GT.0)GO TO 4150
KEY=1
PRINT 6000,(F0(I),I=1,IF0)
4150 PRINT 6100,(MP,C1(MP),(RESULT(MP,MO),MO=1,IF0))
4200 CONTINUE
5000 FORMAT(40I2)
5100 FORMAT(6F13.5)
5200 FORMAT(8F10.5)
5300 FORMAT(8F10.3)

```

```

5400 FORMAT(1H1,/,/,10X,"*****",/,
1      10X,"* INPUT DATA *",/,
2      10X,"*****",/,
3      10X,"STEP OF CALCULATION (C) =",I3,
4      5X,"STEP OF CALCULATION (F0) =",I3)
5500 FORMAT(1H0,9X,"* P =",E13.7,5X,"* G =",E13.7,5X,"* L =",E13.7,
1      10X,"* B =",E13.7,5X,"* T =",E13.7)
5600 FORMAT(1H0,9X,"* PIE =",E15.9,3X,"* STEP OF INTEGRATION =",E15.9,
1      10X,"* ERROR LIMIT =",E15.9)
5700 FORMAT(1H0,11X,"VALUE OF COSINE FOR INTEGRATION",/,
1      (6X,6("(",I2,")",E17.8)))
5800 FORMAT(1H0,11X,"VALUE OF SINE FOR INTEGRATION",/,
1      (6X,6("(",I2,")",E17.8)))
5900 FORMAT(1H0,11X,"VALUE OF SEC FOR INTEGRATION",/,
1      (6X,6("(",I2,")",E17.8)))
6000 FORMAT(1H1,11X,"** OUTPUT DATA **",/,
1      5X,"NO. VALUE OF C",3(7X,"F0(",E11.5,")",3X))
6100 FORMAT(5X,I2,5X,F7.5,1X,3(E21.8,4X))

```

```

SUBROUTINE SIMPSN
C *** SUBPROGRAM FOR EVALUATION OF INTEGRAL BY SIMPSON'S RULE
REAL L
COMMON F0(10),C1(100),COSINE(100),SINE(100),SECU(100),
1      RESULT(100,100),
2      PIE,SAVE,PB664,IC,IF0,NO,P,G,L,B,T,ER_LIM,CCHA,C11,CIN,F00,
3      DEI_TAU,PIECL,C42G2,GL2C,C2LG,C2GMFT,FC4TG2,C6TG23,C42TG2,
4      C2TG,TFGC2,AREA,ISAVE,RAD,RADD,DIV,IM,REMAIN,EXPT,SMULTI
DO 8000 IS=1,NO
DIV=ABS(PIV)
GROUPA=C42G2*COSINE(IS)**2*SIN(GL2C*SECU(IS))
GROUPB=C2LG*COSINE(IS)*COS(GL2C*SECU(IS))
GROUPD=FC4TG2*COSINE(IS)**2
GROUPE=C6TG23*COSINE(IS)**4
GROUPF=C42TG2*COSINE(IS)**2*(1.+C2TG*COSINE(IS)**2)
POWER=1.
EXPT=TFGC2*SECU(IS)**2
IM=ABS(EXPT/DIV)
IF(EXPT.LT.0.0)DIV=-DIV
IF(IM.GT.0)GO TO 6950
REMAIN=EXPT
GO TO 6980
6950 DO 6970 IP=1,IM
EXPON=EXP(DIV)
PCWFR=POWER*EXPON
6970 CONTINUE
SMULTI=FLOAT(IM)*DIV
REMAIN=EXPT-SMULTI
6980 EXPON=EXP(REMAIN)
POWER=POWER*EXPON
PARENA=(GROUPA-GROUPB)**2
PARFNA=(C2GMFT-GROUPE)-GROUPE+GROUPF*POWER)**2
ALLPAR=PARENA*PARENA*COSINE(IS)
IF(IS.EQ.1)GO TO 7500
GO TO(7000,7250)LOVE

```

```
C
C *** EVEN. CALCULATE
C
7000 AREA=AREA+4.0*ALLPAR
      LOVE=2
      GO TO 8000
C
C *** ODD CALCULATE
C
7250 AREA=AREA+2.0*ALLPAR
      LOVE=1
      GO TO 8000
7500 AREA=ALLPAR
      LOVE=1
8000 CONTINUE
      AREA=PBG64/PIECL*(AREA*DELTAU/3.0)
      RETURN
      END
```