上部構造の効きに関する研究 (第 4 報)

(上部構造側壁部の開口の影響)

正員 寺 沢 一 雄*

正員 八 木 順 吉**

The Effect of Superstructure on the Strength of Ship (Report No.4)

(The Effect of Openings in the Wall on the Stress Distribution of Superstructure)

By Kazuo Terazawa, *Member*

and Junkichi Yagi, *Member*

Abstract

In the previous reports, No.2 and No.3, the authors presented the methods for the bending calculation of deckhouse and superstructure, but in their calculations, the effect of openings in the wall of superstructure was not considered.

In this paper, to investigate the effect of openings on the longitudinal stress distribution of superstructure, the effective cross sectional area and the effective moment of inertia of the superstructure were determined taking into consideration of the deformation of the openings, and using these, the experimental results were analysed.

1. 緒 言

第 2 報¹⁾ 及び第 3 報²⁾ に於いて上部構造の Shear Lag Effect を考慮した曲げ計算法を導いた。処がこれ等の計算では上部構造の側壁部に設けられた開口の影響は考慮されて居らないので、本報に於いては更に実船に近い構造に対する計算法を導くため、側壁部の開口の影響を考慮して上部構造の有効断面積及び有効慣性能率等を求め、これ等の値を用いて、模型試験結果を解析し、本計算法の妥当性を検討すると共に、開口が上部構造の縦応力分布に及ぼす影響を調査した。

2. 上部構造の曲げ計算法

上部構造の側壁部に開口が設けられている場合でも、その影響を考慮した上部構造の各断面に於ける有効断面積及び有効慣性能率等が求められると、第 2 報及び第 3 報で述べられた方法によつて上部構造の曲げ計算を行う事が出来る。従つて以下側壁部に設けられた多くの窓による、窓より上部と下部との水平迂りを考慮して上部構造の有効断面積及び有効慣性能率等を求める。

2-1 窓部の迂り係数

第 1 図に示される如く窓自体の深さを h_2 とし、窓枠に作用する水平方向の剪断力を F 、窓枠の上下端の水平方向の相対変位を δ とし、窓枠の上下端は完全に固定されて居り、その部の角変化はないものと仮定すれば、 δ は次式で与えられる。

$$\delta = F \left[\frac{h_2^3}{12 EI_w} + \frac{kh_2}{GA_w} \right] \quad (1)$$

第 1 図 窓枠の迂り係数

原稿受付. 1 月 11 日

* 大阪大学教授

** 大阪大学助教授

- 1) 寺沢一雄, 八木順吉: 上部構造の効きに関する研究 (第 2 報), 造船協会論文集, 第 101 号
- 2) 寺沢一雄, 八木順吉: 上部構造の効きに関する研究 (第 3 報), 造船協会論文集, 第 102 号

但し E = 窓枠部の材料の弾性係数

G = 窓枠部の材料の剛性率

I_w = 窓枠部の水平断面の慣性能率

A_w = 窓枠部の水平断面積

k = 窓枠部の水平断面内での剪断応力の分布に関する修正係数

今同じ寸法の窓が s なる間隔で規則正しく並んでいるものとし、窓枠部のりり剛性をその間隔で除したりり剛性を持つ弾性体が、窓枠の代りに連続して存在するものと仮定すれば、左右両側壁についての窓部のりり係数 D_w は次の如く表わされる。

$$D_w = 2F/(\delta \cdot s) = f/\delta \quad (2)$$

但し f = 窓部に作用する両側壁についての単位長さ当りの水平剪断力

2-2 上部構造が引張作用を受ける場合の窓部のりり

上部構造の下縁に水平剪断力が働き、その部が引張作用を受ける場合について考えると、窓が存在しない場合でも上部構造の側壁並びに甲板を構成する各水平層は互に水平りりを生じて、引張応力は断面内に一樣に分布しない。処が窓部のりり和其他の部のりりを同時に考慮して、窓部のりりを計算する事は困難であるから、窓部のりりを計算する場合には簡単のために、他の部分は全く水平りりを生ずる事なく、窓より上部及び下部での引張歪の分布状態は第2図に示される如く夫々均一であると仮定する。今前報で仮定された如く、上部構造の下縁での強制引張歪は長さ方向に一定値 ε_0 を有するものとし、各部は曲げ変形を起さないものと仮定すれば、窓より上部と下部との引張歪の差は次のように表わされる。

第2 引張作用を受ける場合の窓部のりり

$$\frac{d\delta}{dx} = \varepsilon_0 - \varepsilon_w \quad (3)$$

但し ε_w = 窓より上部の横断面での縦歪。

ε_0 = 窓より下部の上部構造の横断面での縦歪で長さ方向に一定とする。

処が窓部に作用する剪断力 f は、窓より上部の断面での水平方向の力の釣合より次の如く書く事が出来る。

$$f = -E_1 A_{s1} \frac{d\varepsilon_w}{dx} \quad (4)$$

但し E_1 = 上部構造を構成する材料の弾性係数

A_{s1} = 窓より上部の横断面積

(2), (3) 及び (4) 式より

$$-\frac{d^2\varepsilon_w}{dx^2} + \omega^2\varepsilon_w = \omega^2\varepsilon_0 \quad (5)$$

但し $\omega^2 = D_w/(E_1 A_{s1})$

(5) 式を解き上部構造の歪分布が中央部 ($x=0$) に関して対称である事を考慮すれば、 ε_w は次の如くなる。

$$\varepsilon_w = \varepsilon_0(1 - \cosh \omega x / \cosh \omega l) \quad (6)$$

但し l = 上部構造の半長

2-3 上部構造が曲げ作用を受ける場合の窓部のりり

窓枠の垂直方向の伸縮を無視すれば、窓より上部と下部とは同じ曲率を持つことになる。今上部構造の曲率 ρ が長さ方向に一定であるような曲げ作用を受けるものとし、前節と同様に窓部以外での Shear Lag を無視すれば、

窓部の上下縁間のりり歪は次のように表わされる。

第3図 曲げを受ける場合の窓部のりり

$$\frac{d\delta}{dx} = \left(\varepsilon_{t2} + \varepsilon_{b2} + \frac{h_2}{\rho} \right) - (\varepsilon_{t1} + \varepsilon_{b1}) \quad (7)$$

但し ε_{t1} = 窓より上部の構造の引張歪

e_{b1} = 窓より上部の構造の下縁での曲げ歪

e_{t2} = 窓より下部の上部構造の引張歪

e_{b2} = 窓より下部の上部構造の上縁での曲げ歪

ρ = 上部構造の曲率で長さ方向に一定とする

廻がこれ等の歪成分は次の如く書き代える事が出来る。

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varepsilon_{t1}}{dx} &= -\frac{D_w \delta}{E_1 A_{s1}}, & \varepsilon_{b1} &= -\frac{e_{s1}}{\rho} \\ \frac{d\varepsilon_{t2}}{dx} &= \frac{D_w \delta}{E_1 A_{s2}}, & \varepsilon_{b2} &= \frac{e_{s2}}{\rho} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

但し A_{s2} = 窓より下部の上部構造の横断面積

e_{s1} = 窓より上部の構造の中性軸と下縁との距離

e_{s2} = 窓より下部の上部構造の中性軸と上縁との距離

(7) 及び (8) 式から ε を消去すれば

$$\frac{d^2 \delta}{dx^2} - \nu^2 \delta = 0 \quad (9)$$

$$\text{但し } \nu^2 = \frac{D_w}{E_1} \left(\frac{A_{s1} + A_{s2}}{A_{s1} A_{s2}} \right)$$

(9) 式を解き δ が上部構造の中央部に関して反対称である事を考慮して奇函数のみをとれば

$$\delta = C \sinh \nu x \quad (10)$$

C なる常数は上部構造端に於いて

$$\left(\frac{d\delta}{dx} \right)_{x=l} = -\frac{e_{s1} + e_{s2} + h_2}{\rho}$$

なる条件より次の如く定められる。

$$C = \frac{e_{s1} + e_{s2} + h_2}{\rho} \cdot \frac{1}{\nu \cosh \nu l} \quad (11)$$

各部の引張歪は δ が定まると、(8) 式を積分し、上部の構造の端部では引張歪が存在しないという条件より次の如く求められる。

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{t1} &= \frac{A_{s2}}{A_s} \cdot \frac{e_s + h_2}{\rho} \left(1 - \frac{\cosh \nu x}{\cosh \nu l} \right) \\ \varepsilon_{t2} &= -\frac{A_{s1}}{A_s} \cdot \frac{e_s + h_2}{\rho} \left(1 - \frac{\cosh \nu x}{\cosh \nu l} \right) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

但し $A_s = A_{s1} + A_{s2}$

$$e_s = e_{s1} + e_{s2}$$

2-4 上部構造の有効断面積並びにその図心

前節では窓部以外での Shear Lag を無視して窓部の迂りを求めたが、その結果と第2報で述べられた窓の存在しない場合の各水平層の迂りを考慮して得られた結果とを組合わせて、近似的に窓の存在する場合の上部構造の引張作用に対する応力分布を求める。

窓の迂りのみを考慮した場合の応力分布は第4図(b)の如くなり、窓より上部での縦応力 σ_w と窓より下部での縦応力 σ_0 との比は(6)式より次の如く表わされる。

第4図 引張作用を受ける上部構造の縦応力分布

$$\frac{\sigma_w}{\sigma_0} = 1 - \frac{\cosh \omega x}{\cosh \omega l} \quad (13)$$

また窓のない場合の縦応力分布は図 (c) の如くなり、第2報によれば次の如く表わされる。

$$\sigma_s = \sigma_0 + \{(y/B)^2 - 1\} s_2(x) + \{(y/B)^{10} - 1\} s_3(x) \quad (14)$$

但し B = 上部構造の高さと上部構造の甲板の半幅との和

x = 上部構造の中央断面より長さ方向にとつた座標

y = 上部構造の甲板の中心線より横断面に沿つてとつた座標

$$s_2(x) = \frac{\sigma_0}{\rho_1 - \rho_2} \left[\frac{\cosh(\xi x/B)}{\cosh(\xi l/B)} - \frac{\cosh(\eta x/B)}{\cosh(\eta l/B)} \right]$$

$$s_3(x) = \frac{\sigma_0}{\rho_1 - \rho_2} \left[\rho_1 \frac{\cosh(\xi x/B)}{\cosh(\xi l/B)} - \rho_2 \frac{\cosh(\eta x/B)}{\cosh(\eta l/B)} \right]$$

$$\rho_1 = -0.8257, \quad \rho_2 = -0.08968$$

$$\xi = 3.236, \quad \eta = 0.9742$$

次に窓部の迂り並びに他の部での迂りを共に考慮した場合の縦応力分布を求めるのであるが、簡単のために窓より上部での応力分布は第4図 (d) に示される如く窓の迂りを考慮しない場合のそれと全く相似であり、その絶対値はその部の下縁での応力が、窓の迂りを考慮しない時の窓より下部の構造の上縁での応力 σ_1 に σ_w/σ_0 の比を乗じた値になるものと仮定すれば、窓より上部での縦応力 σ_{sw} は次式で与えられる。

$$\sigma_{sw} = \left[\sigma_s \cdot \frac{(\sigma_s)_{y=B-h_3}}{(\sigma_s)_{y=b+h_1}} \cdot \left(1 - \frac{\cosh \omega x}{\cosh \omega l} \right) \right] \quad (15)$$

但し h_1 = 窓の上縁と上部構造の甲板との距離

h_3 = 窓の下縁と上部構造下縁との距離

b = 上部構造の甲板の半幅

窓より下部の応力分布はそれより上部の構造の見掛けの引張剛性が低下すれば、当然その影響を受ける筈であるが、簡単のためにその影響を無視して (14) 式で与えられるものとする。このようにして上部構造の縦応力分布が定められると、上部構造の有効断面積 A_E 及びその図心と上部構造下縁との距離 a_E は次の如く求められる。

上部構造の引張応力分布

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_0 [1 + Y_1(y) \cosh(\xi x/B) + Y_2(y) \cosh(\eta x/B)] X(x) & 0 \leq y \leq b + h_1 \\ \sigma_x &= \sigma_0 [1 + Y_1(y) \cosh(\xi x/B) + Y_2(y) \cosh(\eta x/B)] & B - h_3 \leq y \leq B \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

上部構造の有効断面積

$$A_E = 2t \left[\int_0^{b+h_1} \frac{\sigma_x}{\sigma_0} dy + \int_{B-h_3}^B \frac{\sigma_x}{\sigma_0} dy \right] = 2t B_E \quad (17)$$

$$\begin{aligned} B_E &= (b+h_1) [1 + Y_3(b+h_1) \cosh(\xi x/B) + Y_4(b+h_1) \cosh(\eta x/B)] X(x) \\ &\quad + B [1 + Y_3(B) \cosh(\xi x/B) + Y_4(B) \cosh(\eta x/B)] \\ &\quad - (B-h_3) [1 + Y_3(B-h_3) \cosh(\xi x/B) + Y_4(B-h_3) \cosh(\eta x/B)] \end{aligned} \quad (18)$$

有効断面積の図心と上部構造下縁との距離

$$\begin{aligned} a_E &= \frac{1}{\sigma_0 B_E} \left[\int_0^b \sigma_x (B-b) dy + \int_b^{b+h_1} \sigma_x (B-y) dy + \int_{B-h_3}^B \sigma_x (B-y) dy \right] \\ &= B - b^2 [1 + Y_3(b) \cosh(\xi x/B) + Y_4(b) \cosh(\eta x/B)] X(x) / B_E \\ &\quad - (b+h_1)^2 [1 + Y_5(b+h_1) \cosh(\xi x/B) + Y_6(b+h_1) \cosh(\eta x/B)] X(x) / (2 B_E) \\ &\quad + b^2 [1 + Y_5(b) \cosh(\xi x/B) + Y_6(b) \cosh(\eta x/B)] X(x) / (2 B_E) \\ &\quad - B^2 [1 + Y_5(B) \cosh(\xi x/B) + Y_6(B) \cosh(\eta x/B)] / (2 B_E) \\ &\quad + (B-h_3)^2 [1 + Y_5(B-h_3) \cosh(\xi x/B) + Y_6(B-h_3) \cosh(\eta x/B)] / (2 B_E) \end{aligned} \quad (19)$$

但し B_E = 上部構造の有効幅の半幅

t = 上部構造の板厚

$$X(x) = \frac{(\sigma_s)_{y=B-h_3}}{(\sigma_s)_{y=b+h_1}} \cdot \left(1 - \frac{\cosh \omega x}{\cosh \omega l} \right)$$

$$Y_1(y) = \left[\left(\frac{y}{B} \right)^2 - 1 + \rho_1 \left\{ \left(\frac{y}{B} \right)^{10} - 1 \right\} \right] / [(\rho_1 - \rho_2) \cosh(\xi l/B)]$$

$$\begin{aligned}
Y_2(y) &= - \left[\left(\frac{y}{B} \right)^2 - 1 + \rho_2 \left\{ \left(\frac{y}{B} \right)^{10} - 1 \right\} \right] / [(\rho_1 - \rho_2) \cosh(\eta l/B)] \\
Y_3(y) &= \left[\frac{1}{3} \left(\frac{y}{B} \right)^2 - 1 + \rho_1 \left\{ \frac{1}{11} \left(\frac{y}{B} \right)^{10} - 1 \right\} \right] / [(\rho_1 - \rho_2) \cosh(\xi l/B)] \\
Y_4(y) &= - \left[\frac{1}{3} \left(\frac{y}{B} \right)^2 - 1 + \rho_2 \left\{ \frac{1}{11} \left(\frac{y}{B} \right)^{10} - 1 \right\} \right] / [(\rho_1 - \rho_2) \cosh(\eta l/B)] \\
Y_5(y) &= \left[\frac{1}{2} \left(\frac{y}{B} \right)^2 - 1 + \rho_1 \left\{ \frac{1}{6} \left(\frac{y}{B} \right)^{10} - 1 \right\} \right] / [(\rho_1 - \rho_2) \cosh(\xi l/B)] \\
Y_6(y) &= - \left[\frac{1}{2} \left(\frac{y}{B} \right)^2 - 1 + \rho_2 \left\{ \frac{1}{6} \left(\frac{y}{B} \right)^{10} - 1 \right\} \right] / [(\rho_1 - \rho_2) \cosh(\eta l/B)]
\end{aligned}$$

2-5 上部構造の有効慣性能率並びにその中性軸

2-3 節に於いて上部構造が曲げ作用を受ける場合の窓部の迂りを考慮した曲げ応力分布を求めた。その場合は

上部構造の甲板の引張応力分布は断面内に均一であると仮定したが、ここでは甲板部に於ける Shear Lag Effect を考慮し、第 2 報で述べられた如く、甲板の幅は有効幅 $2b_E$ を持つものと仮定する。第 5 図に示される如く上部構造に M_1 なる曲げモーメントが作用する場合、窓より上部及び下部に働く曲げモーメント M_{s1} 及び M_{s2} 並びにこれ等の部分に働く引張力 N_s に分解して考えると、モーメントの平衡条件より次式が成立しなければならない。

第 5 図 曲げ作用を受ける上部構造の縦応力分布

$$M_1 = M_{s1} + M_{s2} + N_{s1}(e_{sE} + e_{s2} + h_2) \quad (20)$$

但し M_1 = 上部構造に働く曲げモーメント

M_{s1} = 窓より上部の構造に働く曲げモーメント

M_{s2} = 窓より下部の上部構造に働く曲げモーメント

N_{s1} = 窓より上部の構造に働く引張力

e_{sE} = 窓より上部の構造の有効断面積の図心と窓の上縁との距離

但しこれ等の各曲げモーメントは梁理論により次の如く表わされる。

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= E_1 I_E / \rho \\ M_{s1} &= E_1 I_{sE} / \rho \\ M_{s2} &= E_1 I_{s2} / \rho \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

但し I_E = 上部構造全断面についての有効慣性能率

I_{sE} = 窓より上部の構造の有効慣性能率

$$= \frac{th_1^3}{6} \cdot \frac{1 + 4b_E/h_1}{1 + b_E/h_1}$$

I_{s2} = 窓より下部の上部構造の有効慣性能率

$$b_E = b \left[\frac{1 + Y_3(b) \cosh(\xi x/B) + Y_4(b) \cosh(\eta x/B)}{1 + Y_1(b) \cosh(\xi x/B) + Y_2(b) \cosh(\eta x/B)} \right]$$

また (12) 式により N_{s1} は次の如く表わされる。

$$N_{s1} = E_1 A_{sE} \cdot \frac{A_{s2}}{A_s} \cdot \frac{e_s + h_2}{\rho} \cdot \left(1 - \frac{\cosh vx}{\cosh vl} \right) \quad (22)$$

但し $A_{sE} = 2b_E t$

(21) 及び (22) 式を (20) 式に代入すれば上部構造の有効慣性能率 I_E は次の如く求められる。

$$I_E = I_{sE} + I_{s2} + \frac{A_{sE}A_{s2}}{A_s} (e_{sE} + e_{s2} + h_2) (e_s + h_2) \left(1 - \frac{\cosh vx}{\cosh vl} \right) \quad (23)$$

又 I_E に対応する中性軸と上部構造下縁との距離 e_E は第5図(b)に示される如く、曲げ応力が0となる下方の点を中性軸の位置と定義すれば次の如くなる。

$$e_E = \frac{h_3}{2} + \frac{A_{sE}}{A_s} (e_s + h_2) \left(1 - \frac{\cosh vx}{\cosh vl} \right) \quad (24)$$

2-6 上部構造の曲げ略算法

上部構造の有効断面積並びに有効慣性能率等が定められると、第2報で述べられた如く逐次近似計算法によって上部構造の曲げ計算を行う事が出来る。処が第3報で述べられた如く Parameter u が大なる ($u > 2.5$) 場合には上部構造と主構造との曲率が等しいと仮定した略算法によつて近似的に上部構造の中央部分での縦応力を求める事が出来る。それで今上部構造と主構造との曲率が等しいものと仮定して船全体を一本の梁と見做した場合の有効慣性能率 I を考えると、前節で述べられた方法と全く同様な考え方により次の如く求められる。

$$I = I_2 + \lambda I_E + A_2 \zeta (e_2 + a_E) \quad (25)$$

但し I_2 = 主構造の慣性能率

A_2 = 主構造の断面積

$$\zeta = \frac{\lambda A_E}{\lambda A_E + A_2} (e_2 + e_E)$$

$\lambda = E_1/E_2$ = 上部構造の材料の弾性係数と主構造のそれとの比

e_2 = 主構造の中性軸と主構造の上縁との距離

船全体の慣性能率が求まれば、船体各部の曲率が定まり主構造での縦応力 σ_{x2} は次式で与えられる。

$$\sigma_{x2} = M(y_2 - \zeta)/I \quad (26)$$

但し y_2 = 主構造の中性軸より上方にとつた座標

M = 船体に働く曲げモーメント

主構造での縦応力が求まると、その部に働く曲げモーメント及び引張力が計算出来る故、上部構造に働く曲げモーメント及び引張力はモーメント及び力の平衡条件により容易に求める事が出来る。

3. 箱型船体模型試験結果と計算値との比較

以上述べられた計算法による値と実験値とを比較するため、第3報で述べられた長さ 1,500 mm の Aluminium Superstructure Model の両側壁部に等間隔に夫々 14 個の窓を設け、窓の深さ及び幅を 30 mm × 30 mm, 30 mm × 60 mm 及び 30 mm × 90 mm の三種に変えて均一曲げ試験を実施し、各断面の縦歪分布を計測し、計算結果と比較した。計測された断面は上部構造の中央断面、端部近傍の断面、及び上部構造の半長を約三等分する中間の二断面であり、又窓部の迂りに対しては最末端の窓枠の剛性が最も大きな影響を与えと考えられるので、各模型共最末端部の窓の幅は他の部の窓の幅より広げて、図に示されるように最末端部の窓枠の幅を他の窓枠の幅に等しくするようにした。

本模型は側壁に開口を有しない場合は、前報で述べられた如く、上部構造と主構造との相対的曲げ変形を表わす量 u の大きさが約 5.5 であり、上部構造の中央部半長間の曲率は主構造のそれとほぼ相等しく、その部に対しては上部構造と主構造を一本の梁と見做した略算法を適用する事が出来た。処がこの模型の側壁に開口を設けた場合は、上部構造の有効断面積及び有効慣性能率は、開口を有しない場合よりも小さくなるので、 u の値は更に大きくなり、上部構造と主構造との曲率がほぼ合致する範囲が更に拡大されると考えられるので、本報に於いてはすべての場合に対して 2-6 節で述べられた略算法を用いて各部の縦歪分布を求めた。

第6図～第8図は各模型に対する各断面の縦歪の実験値と計算値とを比較したものである。第6図は窓の大きさが 30 mm × 30 mm の模型に対するものであり、十印は窓を有する場合の実験値であり、○印は参考のために窓を有しない場合の実験値を示したものである。又実線は略算法による計算値を示すもので、上部構造では各断面共計算値の方が少し大きくなつて居る。端から上部構造の半長の約 1/4 離れた断面では、この模型に於いても u の値が窓を有しない場合と余り異ならないので、両構造の曲率は一致して居らず、略算式による値は実験値よりも可成り大きくなつて居るが、他の断面では余り大きな差異は認められない。第7図は 30 mm × 60 mm の窓を有する場合で、実験値と理論値はほぼ合致していると見做す事が出来る。また第8図は 30 mm × 90 mm の窓

を有する場合で、この場合は窓が大きいため、窓枠の変形が大きく、上部構造の有効断面積及び有効慣性能率は非常に小さくなり、そのため u の値が大きくなるので、両構造の曲率が合致する範囲が広くなつて居り、すべての断面で実験値と理論値とは良く合致しているようである。以上の結果を見れば略算法を適用し難い断面では、実験値と計算値とは可成りの相異が認められるが、他の断面ではそれ程の差異はなく、窓部の迂りを考慮した本計算法は、窓を有する場合の構造を近似的に解析し得るものと認められる。尚 u の値が小さい場合は略算

第 6 図

第 7 図

第 8 図

法によらず、前報で述べられた逐次近似法によらねばならない事は当然である。

各図に開口を有しない場合の実験値が同時に示されているが、第6図に示された模型では開口の影響は非常に小さく、第7図に於いても余り大きな影響は認められない。処が第8図に示された最も大きな開口を有する模型では甲板の縦歪は非常に小さくなって居る。開口の影響は主として $\omega l = l_v / D_w / (E_1 A_{s1})$ の大きさに支配され、その値は第6図、第7図及び第8図の模型では夫々 3.87, 2.80 及び 0.82 であつた。一般に $\omega l > 4$ であれば、開口の影響は殆ど無く、その場合は窓部の迂りを無視して差支えない。

また理論値は特に開口の小さい場合は、実験値よりも大きく出ているが、この理由については未だ検討中ではつきりした事は云えないが、窓枠の曲げ剛性が大なる時は、窓枠上下端での固着度が完全な固着状態でなく、その部に傾斜を持つ可能性があると考えられるのも一原因だろうと思われる。

4. 結 言

以上、上部構造の側壁に規則正しく設けられた開口の影響を考慮して、上部構造の有効断面積及び有効慣性性能等を求め、これ等の値を用いて開口を有する三種の箱型船体模型の曲げ試験結果を解析し、一応満足す可き結果が得られた。また開口が存在していても $l_v / D_w / (E_1 A_{s1}) > 4$ であれば、開口の影響は無視する事が出来る事が判つた。

終りに本理論の数値計算を担当された大学院学生、安川 度君及び井谷充男君に、また模型試験に協力された助手、福岡広行君及び上田幸雄君に深く感謝する。