(昭和 32 年 5 月造船協会春季講演会に於て講演)

上部構造の効きに関する研究 (第 2 報)

(上部構造の曲げに関する一近似計算法, その一 Deckhouse)

正 員 寺 沢 一 雄*

正 員 八 木 順 吉**

The Effect of Superstructure on the Strength of Ship (Report No. 2)

(An Approximate Method for the Bending Calculation of Superstructure)

—Part 1, Deckhouse—

By Kazuo Terazawa, *Member*

and Junkichi Yagi, *Member*

Abstract

In the first report, the authors presented a bending theory of the superstructure with consideration of shear lag effects, and the calculated values by the theory were compared with the experimental results obtained by the bending test of the box-typed ship models with a good agreement, even in the case of comparatively shorter deckhouse.

This theory can be easily applied to the simple structure which has constant cross section and constant stiffness factor of the upper deck, but it is difficult to apply it to the actual ship structure whose cross section and stiffness factor of the deck vary irregularly along the length, therefore, to find the method which can be easily applied to the actual ship, we determined the effective cross sectional area and the effective moment of inertia of the simple superstructure, and using these values, we introduced an approximate method for the bending calculation of the superstructure and its numerical values were compared with the experimental results.

§ 1. 緒 言

第 1 報に於いては上部構造の Shear Lag Effect を考慮せる曲げ理論式¹⁾を導き、実験結果と比較して可成り短い Deckhouse の場合に於いても良く一致する事を確めた。処がこの理論は各断面形状が一定であり、而も上甲板の Stiffness Factor が長さ方向に一定の値を有するような簡単な構造に対しては比較的容易に適用し得るが、実船の如く各断面形状が一定でなく、甲板の Stiffness が不規則に変化するような場合にはそのままでは適用困難である。従つて実船の上部構造の曲げ計算にも適用し易いような方法を見出すため、先ず第一段階として Shear Lag Effect を考慮した簡単な上部構造の引張又は圧縮及び曲げに対する有効断面積並びに有効慣性率等を求め、是等を用いての近似計算法を導き、それによる計算値と各種の箱型船体模型の曲げ試験結果とを比較して可成り良く一致する事を確認した。

§ 2. 上部構造の有効断面積及び有効慣性率

2-1 有効断面積

一般に上部構造は主構造との結合部に於いて水平方向の剪断力並びに垂直方向の力を受け、引張又は圧縮及び曲げ作用を受けるが、今一応引張及び曲げを別個に分離して考え、引張或は圧縮作用のみに着目する事にする。

原稿受付. 1 月 8 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 1 報), 昭和 31 年 11 月造船協会秋季講演会に於て発表

此の場合は上部構造の各断面内に生ずる引張応力分布は非常に長い上部構造の中央部以外では Shear Lag Effect により各断面内で一様でなく全断面積が完全に有効に作用して居らない。従つてその影響を考慮した計算法を導くため有効断面積について考察する。有効断面積は構造の各寸法比に関係するのみでなく荷重の分布状態にも左右されるものであるが、代表的な場合として船体が均一曲げ荷重を受ける場合を対象として考える。上部構造の主構造に及ぼす影響は各断面によつて異なるが、一般に上部構造の曲げ剛性は主構造のそれに比べて小であるため、船体が均一曲げ荷重を受ける場合には上部構造の存在する間でも主構造の曲率はほぼ一定であると考えられる。その場合には上部構造はその下縁に於いて長さ方向に一定の大きさの縦歪を強制される事になるがその歪は一般に引張歪と曲げ歪との和である。曲げ歪の大きさは上部構造の長さ、それを支持する甲板の剛性、上部構造と主構造の曲げ剛性の比或は考慮している断面の位置等によつて相違するものであり、船体各部の応力分布が定まらなければ判らないものである。従つて残りの引張歪の分布状態も今の段階では明確に予想する事は出来ないが簡単のために次のような理由によつて上部構造の下縁に強制される引張歪は近似的に長さ方向に一定の大きさであると仮定する。即ち Shear Lag Effect が顕著であるのは上部構造の端部近傍であり、又短い上部構造程著しい。一方上部構造に作用する曲げモーメントは端で 0 である故端部附近の曲げモーメントは中央部のものに比べて小であり、又短い上部構造では曲げ作用は引張作用に比較して微小となる。従つて Shear Lag が問題となるような部分では一般に曲げ歪は引張歪に比べて小であると考えられるから有効断面積を算定する場合には上部構造の下縁に強制される引張歪の大きさは近似的に長さ方向に一定であると見做す事とする。

以上の如き仮定を用い、最も簡単な場合として一定断面を有する一層の上部構造を考えると、その側壁と甲板との板厚が等しい場合には有効断面積は有効巾に板厚を乗じたものとなり、附録に述べられる如く E. Reissner の方法²⁾を用いて各断面での有効巾と全巾との比を求めると次の如くなる。

第 1 図

$$\frac{B_E}{B} = 1 - \left[K_1 \frac{\cosh(\xi x/B)}{\cosh(\xi l/B)} + K_2 \frac{\cosh(\eta x/B)}{\cosh(\eta l/B)} \right] \quad (1)$$

但し B_E = 有効巾の半巾

$$B = b + h$$

b = 上部構造の甲板の半巾

h = 側壁の高さ

l = 上部構造の半長

x = 上部構造の中央断面より長さ方向にとつた座標

$$K_1 = 0.11407$$

$$K_2 = 0.79502$$

$$\xi = 3.23603$$

$$\eta = 0.97423$$

上部構造の中央断面に於ける有効巾比 ($[B_E]_x/B$) を l/B を横軸にとつて画けば第 1 図の実線の如くなり、又半無限長さの上部構造に対し端から x_1 なる位置に於ける断面での有効巾比 ($[B_E]_{x_1}/B$) を x_1/B を横軸にとつて示せば同図の鎖線の如くなる。是等の結果をみると有効巾比は何れの場合も上部構造の端からその半巾 B の 4 倍離れた断面では 95% を越し、5 倍離れると殆ど 100% に達している。即ち全断面が殆ど完全に有効に働くようになるのは上部構造の端から $4B \sim 5B$ 離れた断面である

2) E. Reissner: "Least Work Solution of Shear Lag Problems" Journal of Aeronautical Science, Vol. 8, No. 7, 1941, May

事が判る。此の結果は W. Muckle が Aluminum Superstructure の船型模型の曲げ試験で得た結果³⁾ 並びに Muckle が同論文で引用している処の Bruhn の実験結果ともほぼ一致している。

尚同図に於いて $l/B = x_1/B = 0$ に於いても有効巾が有限の値をとっているのは、端部での縦応力分布の形状を 10 次の拋物線状と仮定した為の誤差であるから、同図の点線に示されている如く端で 0 になるように延長した方が実際に近いと思われる。

有効巾が定まると有効断面積 A_E は次の如く表わされる。

$$A_E = 2t \cdot B_E \quad (2)$$

但し t = 上部構造の側壁及び甲板の板厚

2-2 有効慣性能率

上部構造の縦曲げに対する有効慣性能率を求めるため先ず側壁部については簡単のために近似的に梁理論を適用し得るものと仮定し、断面は変形後も平面で残るものとする。実際には端部近傍では梁理論は成立せず曲げ剛性は低下している筈であるが、前述の如く端部附近では曲げモーメントは微小であるから実用上は大差を生じないものと思われる。上部構造の甲板部は側壁の曲げ変形によつて引張或は圧縮作用を受けるが、この部に対しては Shear Lag Effect を考慮して有効断面積を求める。この場合も同様に甲板の両縁での縦歪の分布状態は今の段階では予測する事は困難であるから簡単のために次の如く仮定する。即ち前節で上部構造はその下縁に於いて一定の大きさの縦歪を強制されるものと仮定して有効巾を求めたが、その場合に側壁の上縁に生じている縦歪分布と相似の歪分布が甲板の両縁に強制されるものと仮定する。斯様にすればその分布状態は端部では殆ど 0 であり、中央部に進むに従つて徐々に増大する傾向を有し、一般的には余り無理はないように考えられる。

この様な仮定のもとに甲板の有効巾比を算定すれば、前節と同様な方法により次の如く求められる。

$$\frac{b_E}{b} = \frac{1 + K_3 \cosh(\xi x/B) + K_4 \cosh(\eta x/B)}{1 + K_5 \cosh(\xi x/B) + K_6 \cosh(\eta x/B)} \quad (3)$$

但し b_E = 甲板の有効巾の半巾

$$\begin{aligned} K_3 &= \left[\frac{1}{3} \left(\frac{b}{B} \right)^2 - 1 + \left\{ \frac{1}{11} \left(\frac{b}{B} \right)^{10} - 1 \right\} \rho_1 \right] / [(\rho_1 - \rho_2) \cosh(\xi l/B)] \\ K_4 &= - \left[\frac{1}{3} \left(\frac{b}{B} \right)^2 - 1 + \left\{ \frac{1}{11} \left(\frac{b}{B} \right)^{10} - 1 \right\} \rho_2 \right] / [(\rho_1 - \rho_2) \cosh(\eta l/B)] \\ K_5 &= \left[\left(\frac{b}{B} \right)^2 - 1 + \left\{ \left(\frac{b}{B} \right)^{10} - 1 \right\} \rho_1 \right] / [(\rho_1 - \rho_2) \cosh(\xi l/B)] \\ K_6 &= - \left[\left(\frac{b}{B} \right)^2 - 1 + \left\{ \left(\frac{b}{B} \right)^{10} - 1 \right\} \rho_2 \right] / [(\rho_1 - \rho_2) \cosh(\eta l/B)] \\ \rho_1 &= -0.82569, \quad \rho_2 = -0.089680 \end{aligned}$$

甲板の有効巾が定まつたから側壁は梁理論を適用し得るものとすれば、上部構造の縦曲げに対する有効慣性能率 I_E は次の如く与えられる。

$$I_E = \frac{t h^3}{6} \cdot \frac{1 + 4 b_E/h}{1 + b_E/h} \quad (4)$$

2-3 有効断面積の図心並びに有効慣性能率の中性軸

上部構造の有効断面積の図心の位置はその断面の縦応力分布から次の如く求められる。

$$a_E = \frac{B^2}{B_E} \left[\frac{1}{2} \left\{ 1 - \left(\frac{b}{B} \right)^2 \right\} + K_7 \frac{\cosh(\xi x/B)}{\cosh(\xi l/B)} + K_8 \frac{\cosh(\eta x/B)}{\cosh(\eta l/B)} \right] \quad (5)$$

但し a_E = 有効断面積の図心と上甲板との距離

$$\begin{aligned} K_7 &= - \frac{1}{132(\rho_1 - \rho_2)} \left[11 \left\{ \left(\frac{b}{B} \right)^4 - 6 \left(\frac{b}{B} \right)^2 + 5 \right\} + \rho_1 \left\{ \left(\frac{b}{B} \right)^{12} - 66 \left(\frac{b}{B} \right)^2 + 65 \right\} \right] \\ K_8 &= \frac{1}{132(\rho_1 - \rho_2)} \left[11 \left\{ \left(\frac{b}{B} \right)^4 - 6 \left(\frac{b}{B} \right)^2 + 5 \right\} + \rho_2 \left\{ \left(\frac{b}{B} \right)^{12} - 66 \left(\frac{b}{B} \right)^2 + 65 \right\} \right] \end{aligned}$$

又有効慣性能率の中性軸と上甲板との距離は甲板の有効巾を用いて次の如く表わされる。

3) W. Muckle : "The Influence of Proportions on the Behaviour of Partial Superstructures Constructed of Aluminum Alloy", TINA, Vol. 97, 1955

$$e_E = \frac{h}{2} \cdot \frac{1+2b_E/h}{1+b_E/h} \quad (6)$$

但し e_E = 有効慣性能率の中性軸と上甲板との距離

§ 3. 上部構造の曲げに関する近似計算法

第 2 図

用する場合について考えると、水平方向の力の平衡並びにモーメントの平衡条件から次の関係が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{N}_1(x) &= -\bar{N}_2(x) = T(x) \\ \bar{M}_1(x) &= -a_E \bar{T}(x), \quad \bar{M}_2(x) = M_x - e_2 \bar{T}(x) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

但し M_x = 船体に作用する External Hogging Moment

e_2 = 主構造の断面の図心と上甲板との距離

又上部構造と主構造との結合部に於ける縦歪の連続条件より次式が導かれる。

$$\frac{\bar{N}_1(x)}{E_1 A_E} - \frac{\bar{M}_1(x)}{E_1 I_E} \cdot e_E = \frac{\bar{N}_2(x)}{E_2 A_2} + \frac{\bar{M}_2(x)}{E_2 I_2} \cdot e_2 \quad (8)$$

但し A_2 = 主構造の断面積

I_2 = 主構造の縦曲げに対する慣性能率

E_1 = 上部構造を構成する材料の弾性係数

E_2 = 主構造を構成する材料の弾性係数

(7) 及び (8) 式より各部に作用する Moment 及び Tensile Force を求めると次の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{N}_1(x) &= -\bar{N}_2(x) = [L(x)/a_E] \cdot M_x \\ \bar{M}_1(x) &= -L(x) \cdot M_x, \quad \bar{M}_2(x) = [1 - e_2 L(x)/a_E] \cdot M_x \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

但し

$$L(x) = \frac{a_E e_2 I_E}{E_2} \left/ \left[\frac{I_E I_2}{E_1 A_E} + \frac{I_E I_2}{E_2 A_2} + \frac{a_E e_E I_2}{E_1} + \frac{e_2^2 I_E}{E_2} \right] \right.$$

是等の Moment を用いて上部構造及び主構造の撓みの差を求めると次のようになる。

$$\bar{y}_1(x) - \bar{y}_2(x) = \iint \left[\frac{\bar{M}_1(x)}{E_1 I_E} - \frac{\bar{M}_2(x)}{E_2 I_2} \right] dx^2 + C_1 + C_2 x \quad (10)$$

上式中の常数 C_1 及び C_2 は隔壁の位置に於いて両構造の撓みが等しいと仮定すればその点 x_1 及び x_2 に於いて撓みの差が 0 であるという条件から定められ、隔壁が存在しない場合には (10) 式の撓みによつて生ずる甲板の反力 $\bar{q}(x)$ の合力が 0 及びそれによる Moment が 0 という事から決定される。即ち

$$\int_{-l}^l \bar{q}(x) dx = 0, \quad \int_{-l}^l \bar{q}(x) \cdot x dx = 0 \quad (11)$$

但し $\bar{q}(x) = K(x) [\bar{y}_1(x) - \bar{y}_2(x)]$

次に第 3 図に示される如く、External Moment は作用して居らず $q_0(x)$ なる甲板の反力及び隔壁の反力 Q_{10} 及び Q_{20} が作用する場合を考える。此の場合 $q_0(x)$ なる反力の分布状態は今の段階では推定する事は困難であるから、先ず第 1 近似として次の様な 2 次の拋物線状であると仮定する。

$$q_0(x) = q_0 + q_1x + q_2x^2 \quad (12)$$

但し $q_i = \text{常数}$

q_1 及び q_2 なる常数は隔壁の位置に於いて甲板の撓みが 0 であるから

$$q_0(x_1) = 0, \quad q_0(x_2) = 0 \quad (13)$$

なる条件で定められ、隔壁の反力 Q_{10} 及び Q_{20} は垂直方向の力の平衡条件並びにモーメントの平衡条件から決定される。即ち

$$Q_{10} + Q_{20} + \int_{-l}^l q_0(x) dx = 0, \quad Q_{10}x_1 + Q_{20}x_2 + \int_{-l}^l q_0(x) \cdot x dx = 0 \quad (14)$$

隔壁の存在しない場合は $q_0(x)$ 自身の平衡条件即ち (11) 式と同様な条件で q_1 及び q_2 が定められる。従つて残りの常数 q_0 が定まればすべての外力が決定される事になるが、 q_0 の値は次に述べる方法によつて定める。 $q_0(x)$ 及び Q_{10} , Q_{20} なる力が作用する場合について解けば前と同様にして次の如く各部に働く Moment 及び Tensile Force が求められる。

$$\left. \begin{aligned} N_{11}(x) &= -N_{21}(x) = [R(x)/a_E] \cdot m(x) \\ M_{11}(x) &= -[1 + R(x)] \cdot m(x) \quad M_{21}(x) = [1 - e_2 R(x)/a_E] \cdot m(x) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

但し

$$R(x) = \left[\frac{a_E e_2 I_E}{E_2} - \frac{a_E e_E I_2}{E_1} \right] \left/ \left[\frac{I_E I_2}{E_1 A_E} + \frac{I_E I_2}{E_2 A_2} + \frac{a_E e_E I_2}{E_1} + \frac{e_2^2 I_E}{E_2} \right] \right.$$

$$m(x) = \int_{-l}^x q_0(x_j)(x - x_j) dx_j + \sum Q_{i0}(x - x_i)$$

$$x > x_i$$

又両構造の撓みの差は次の如く表わされる。

$$y_{11}(x) - y_{21}(x) = \iint \left[\frac{M_{11}(x)}{E_1 I_E} - \frac{M_{21}(x)}{E_2 I_2} \right] dx^2 + C_1 + C_2 x \quad (16)$$

C_1 及び C_2 なる常数は (10) 式中のそれと全く同じ条件で決定されるものである。

次に今求められた解と前に求められた解とを加えて両構造の撓みの差を求め、それに甲板の Stiffness Factor を乗じて甲板の反力 $q_1(x)$ を求めると次の如くなる。

$$q_1(x) = K(x) [\{ \bar{y}_1(x) - \bar{y}_2(x) \} + \{ y_{11}(x) - y_{21}(x) \}] \quad (17)$$

ここで最初仮定した甲板の反力 $q_0(x)$ が正確なものであれば (17) 式によつて求められる反力 $q_1(x)$ は完全に $q_0(x)$ に一致する筈であるが、一般に完全には一致しないから任意の点例えば $|\bar{y}_1(x) - \bar{y}_2(x)|$ が最大値をとる位置 x_0 に於て $q_1(x_0) = q_0(x_0)$ となるように q_0 の値を定める。そうすれば (15) 式によつて $N_{11}(x)$ 及び $M_{11}(x)$ 等の値が求められ各部に働く Moment 及び Force の第 1 近似値として (9) 式及び (15) 式の和が得られる。処が $q_1(x)$ と $q_0(x)$ とは x_0 なる点に於いてのみ一致して居り、他の点では一般に一致して居らないから、次に $q_0(x)$ の代りに $q_1(x)$ に相似な甲板の反力の分布を仮定して全く同じ操作を行うと第 2 近似値が得られる。以下同じ操作を繰返す事によつて $q_{n-1}(x) - q_n(x)$ を次第に 0 に近づける事が出来、順次精度の高い解が求められる事となる。即ち第 n 近似解として次の如く表わされる。

$$\left. \begin{aligned} N_1(x) &= -N_2(x) = \bar{N}_1(x) + N_{1n}(x) \\ M_1(x) &= \bar{M}_1(x) + M_{1n}(x), \quad M_2(x) = \bar{M}_2(x) + M_{2n}(x) \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

3-2 Deckhouse を支持する甲板下に存在する横隔壁が 3 枚以上の場合 隔壁が 3 枚以上存在する場合にはその反力 Q_i は前述の如く Statical Condition のみによつて決定する事は出来ないから次の如き方法を用いて是等を定める。

一般に第 4 図に示される如く Deckhouse の下に n 個の隔壁が存在する場合を考える。先ず最初に任意の 2 個処の隔壁、例えば x_1 及び x_n なる位置にある処の両側の隔壁のみを考慮して、前と同様に甲板の反力を無視し、 M_E なる External Moment が作用する場合に対して解き、他の隔壁の位置に於ける両構造の撓みの差 $\bar{\delta}_i$ を計算する。次に今求められた隔壁での甲板の撓み $\bar{\delta}_i$ を 0 にするような各隔壁の反力 $\bar{Q}_i$ を決定する。そのた

第 3 図

第4図

めに以下に述べられるような方法を用いて各隔壁の反力 Q_i に対する Influence Coefficient を求める。即ち前と同じく甲板の反力を無視し、任意の1個の隔壁の反力 Q_i のみが作用する場合について、前に選ばれた2個の隔壁の位置で両構造の撓みが等しいという条件の下に解き、 Q_i なる反力によつて生ずる各隔壁の位置での両構造の撓みの差 δ_{ij} を計算し、次式で与えられるような Influence Coefficient a_{ij} を求める。即ち

$$a_{ij} = \delta_{ij} / Q_i \quad (19)$$

但し $j=2, 3, \dots, n-1$

同様に他の隔壁の反力に関する Influence Coefficient を求めて、次の関係を満足するような力 $\bar{Q}_i$ を決定すれば是等が船体に M_x なる Moment が作用した時に、甲板の反力を無視した場合の各隔壁の反力となるものである。

$$\sum_{i=1}^n \bar{Q}_i = 0, \quad \sum_{i=1}^n \bar{Q}_i \cdot x_i = 0, \quad \delta_j + \sum_{i=2}^{n-1} a_{ij} \bar{Q}_i = 0 \quad (20)$$

更に是等の反力が作用する時の解と、是等を無視し M_x のみを考慮して得られた前の解とを加え合わす事によつて 3-1 で述べられた $\bar{N}(x)$ 及び $\bar{M}(x)$ に相当する Force 及び Moment が求められる。

次に甲板の反力 $q(x)$ を考慮するわけであるが、此の場合も $q(x)$ の正確な分布状態は今の段階では不明であるから、今得られた Moment, $\bar{M}(x)$ によつて生ずる両構造の撓みの差に甲板の Stiffness Factor を乗じたものと全く相似な分布を有する反力 $q_0(x)$ なるものを仮定して解き、前項で述べられた方法を用いて $q_0(x)$ の大きさを決定する。此の場合も最初仮定した反力 $q_0(x)$ と、それを考慮して計算して得られた反力 $q_1(x)$ とは一般に完全にすべての点では一致しないから、仮定した反力とそれを用いて求められた反力との差が無視し得る Order になるまで逐次近似法を繰返す事によつて正解に近い値を得る事が出来る。

3-3 Superstructure の場合 以上述べられたものは側壁が外板面から入り込んでいる処の Deckhouse に対するものであるが、Superstructure の如くその側壁が外板と連続しているような場合にはその曲げ変形には上甲板の Stiffness 及び上甲板下の隔壁は直接影響を及ぼさないと考えられる。又 Superstructure の長さが大なる場合には中央部でのその曲率は主構造のそれと等しいと見做し得るが、その端部は自由辺であるからその近傍では主構造の曲率と全く同じ曲率を持たない。従つて Superstructure の場合でも是を主構造と完全に一体のものとして見做して全体を一本の梁と考える事は少くともその端部附近では不適当である。それ故此の場合に於いても Deckhouse と同様な取扱ひ方をする事にする。そうすれば Deckhouse の場合に於ける上甲板の Stiffness Factor に相当するものが外板及び側壁の垂直方向の剛性から定められると、是を用いて 3-1 の場合と全く同様な方法によつて曲げ計算を行う事が出来る。

尚 Superstructure の場合の Stiffness Factor の評価に関しては現在研究中であり、是に関しては次報に於いて述べる予定である。

§4. 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1報で示された長さ 1000mm の Deckhouse を有する箱型模型の均一曲げ試験結果並びに日本造船研究協会、第11研究部会に於いて実施された処の長さ 1500mm の Deckhouse を有し、House の両端部に於いて上甲板下に横隔壁が取付けられた模型の中央集中荷重による曲げ試験結果⁴⁾ と本計算法による値とを比較した。第5図は長さ 1000mm の Deckhouse を有する模型の実験結果と計算値とを示すもので、第6図は長さ 1500mm の Deckhouse を有する模型の場合である。第5図に示された模型に於いては船側外板には図に示されている如く山型鋼が取付けられていた為、甲板の横方向の曲げ剛性は船側のそれに比べて非常に小であつたので第1報で述べられた如く、甲板は近似的に両端固定の梁

4) 上部構造の効きに関する研究、日本造船研究協会報告、第11研究部会 昭和30年9月

と見做してその Stiffness Factor, K の値を算定し、第 6 図に示されている模型では船側部には山型鋼が取り付けられて居なかつたので甲板の曲げ剛性は船側部のそれに比較して余り小ではない故に、船側部の下端に於いて 50% 固著と見做した門型構造を考へて K の値を求めた。又有効断面積と原断面積との比並びに有効慣性能率と原慣性能率の比の算定には便宜上 Bridge Deck の Side Wall より外側部は省略した。第 7 図に長さ 1500m の Deckhouse の有効断面積比及び慣性能率比を示す。同図の実線は (2) 及び (4) 式を用いて求められたものであるが、是等の計算式では端部での縦応力分布を 10 次の拋物線状であると仮定しているため、何れも端部で幾らかの誤差が生じているから、同図の点線の如く有効断面積は端で 0 に、有効慣性能率は端で側壁のみの値となるように延長し、その分布状態を計算に用いた。更に又近似計算法によつて直接求められる Deckhouse の応力は各断面での平均化された値であるが、有効巾を考慮して是等の値を元の応力分布に還元して図示した。第 5 図及び第 6 図を見れば、何れも実験値と計算値とは模型全体に亘つてほぼ一致している。又ここで用いられた有効断面積等は何れも船体が均一曲げ荷重を受ける場合を対象として求められたものであるが、中央集中荷重を受ける場合に適用しても余り大きな誤差は認められないようである。

尚本近似計算法の収斂度は、最初の甲板の反力 $q_0(x)$ の与え方に左右されるが、 $q_0(x)$ を本文に示された如く 2 次の拋物線状と仮定する事によつて、例えば隔壁を有する模型に対しては第 2 近似解で充分な精度が得られた。因みに此の場合の $[q_1(x) - q_2(x)]/q_1(x_0)$ の平均値は約 1% 程度であつた。

§ 5. 結 言

以上 Shear Lag Effect を考慮して簡単な上部構造の有効断面積並びに有効慣性能率等を求めると共に、上甲板の Stiffness Factor が場所によつて変化し、而も上部構造を支持する甲板下に多くの隔壁が存在し、又断面積及び慣性能率等が長さ方向に変化するような一般的な場合に対する上部構造の曲げに対する一近似計算法を導き、箱型船体模型の曲げ試験結果と計算値とを比較してほぼ合致する事を確認した。

処が Superstructure の場合の Stiffness Factor の値を如何にして評価す可きか、又二層以上の上部構造に対しては有効断面積及び有効慣性能率等是如何程となるか、更に亦側壁の窓や甲板の開口の影響は如何なる方法で考慮す可きか、実船の甲板の Stiffness Factor は如何にして算定す可きか等の多くの問題が残されているが、是等に関しては引続き順次研究を行う予定である。

終りに本理論の数値計算を担当された大学院学生、上田幸雄君並びに福井隆雄君の労を深く感謝する。

附 録

第 8 図に示される如く上部構造の側壁及び甲板を平面に展開した板を考へ、その両縁に長さ方向に一定の大きさの縦歪 ε_0 が与えられた場合について考へる。上部構造の長さ及び全巾を夫々 $2l$ 及び $2B$ としその中央に原点をとり長さ方向に x 軸、横方向に y 軸をとる。Shear Lag Effect を考慮した場合の各断面での縦応力の分布状態は板の中央部ではほぼ 2 次の拋物線に近似する事が出来るが、端部では側壁の下縁のみに一定の大きさの

第 5 図

第6図

第7図

縦歪が存在し、端の面では自由であるからその面には縦応力が存在しない筈である。処が此の状態を簡単な数式で表現する事は困難であるから、近似的に高次の拋物線状であると見做し、各断面での縦応力の分布状態を次に示される如き簡単な形で表現し得るものと仮定する。即ち

$$\sigma_x = s_1(x) + (y/B)^2 s_2(x) + (y/B)^{10} s_3(x) \quad (a)$$

処が最初の仮定により σ_x は板の両縁で一定値を持たなければならないから次式が成立しなければならない。

$$[\sigma_x]_{y=B} = s_1(x) + s_2(x) + s_3(x) = E_1 \varepsilon_0 = \sigma_0 \quad (b)$$

ここで (a) 式中の 2 つの未知函数、例えば $s_2(x)$ 及び $s_3(x)$ の形は第 1 報で述べられた如く Reissner のエネルギー法で決定すれば次の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} s_2(x) &= C_1 \cosh(\xi x/B) + C_2 \cosh(\eta x/B) \\ s_3(x) &= \rho_1 C_1 \cosh(\xi x/B) + \rho_2 C_2 \cosh(\eta x/B) \end{aligned} \right\} \quad (c)$$

但し $\rho_1 = -0.82569$, $\rho_2 = -0.089680$

$\xi = 3.23603$, $\eta = 0.97423$

C_1 及び C_2 なる常数は上部構造の端に於ける縦応力分布の形状を 10 次の拋物線状と仮定するという条件から決定される。即ち

$$s_1(l) = s_2(l) = 0 \quad (d)$$

(d) 式を用いて C_1 及び C_2 を定めると次の如くなる。

$$C_1 = \sigma_0 / [(\rho_1 - \rho_2) \cosh(\xi l/B)], \quad C_2 = -\sigma_0 / [(\rho_1 - \rho_2) \cosh(\eta l/B)] \quad (e)$$

C_1 及び C_2 の値が定まったから縦応力 σ_x が求められ、上部構造の有効巾比及び甲板の有効巾比は夫々次の如くして求められる。

$$\frac{B_E}{B} = \frac{1}{B \sigma_0} \int_0^B \sigma_x dy \quad (f)$$

$$\frac{b_E}{b} = \frac{1}{b [\sigma_x]_{y=b}} \int_0^b \sigma_x dy \quad (g)$$

(f) 及び (g) 式を計算すれば夫々本文で示された (1) 及び (3) 式が求められる。

第 8 図