(昭和 36 年 5 月造船協会春季講演会において講演)

初期撓みをもつ連続板の剛性 (第 2 報)

— 面内曲げをともなう場合およびその適用 —

正員 福 本 佳 夫*

Rigidity of Continuous Panel with Initial Deflection (2nd Report)

By Yoshio Fukumoto, Member

Summary

In this paper, following the 1st report, the behaviour of the continuous panel with an initial deflection under a compressive or tensile force combined with bending, was researched, and the numerical calculation of the effective rigidity was performed for the case that the force was in one direction. And it was proved experimentally, that the numerical results obtained in the 1st and present reports, were applicable to the estimation of the rigidity and the strength of a box-shaped girder with an initial deflection.

前 言

第 1 報^{*1}において初期撓みをもつ連続板が二方向に単純引張り、または圧縮を受けた場合、そのはたらきが考えられ、剛性が算定された。本論文では一方向には面内曲げをともなう力を受ける場合が考えられ、そのときの剛性が算定された。同時にその一部に初期撓みをもつ箱型梁についての曲げ実験が行なわれ、その実験結果よりすでに求められた撓み板についての剛性の計算値が、箱型梁の強度・剛性の算定に適用できることが確かめられた。

理 論

連続板は第 1 図に示されるように、それぞれ ω_{01} , ω_{02} の初期撓み (初期応力はないとする) をもち、周辺上で上下方向に支持された板 1, 板 2 が交互にくり返えられて x 方向に無限につづくものとする。第 1 報においては曲げ作用をともなわない引張りまたは圧縮が周辺にはたらいた場合を扱い、周辺は変形後も直線でのことと仮定したが、本論文では x 方向には曲げ作用をともなう引張りまたは圧縮、 y 方向には曲げをともなわない引張りまたは圧縮がはたらく場合を考え、周辺は変形後扇形になると仮定する。ここでも板のはたらきは大撓み問題として、前報におけるごとく Energy 法により取扱われるが、板の面内歪としてはその平均値を用いることとする。記号は前報と同じで慣用的なものは説明を省略する。

いま初期撓み ω_0 は

$$\left. \begin{aligned} \omega_{01} &= f_{01} \cos ix_1 \cos jy_1, \quad \omega_{02} = f_{02} \cos ix_2 \cos jy_2 \\ i &= \pi/a, \quad j = \pi/b \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

で与えられるとし、付加撓み ω' を周辺条件を考慮して下式でおく。

$$\left. \begin{aligned} \omega_1' &= f_1(1 + \cos 2ix_1) \cos jy_1 + f_1' \cos ix_1 \cos jy_1 \\ &\quad + g_1(1 + \cos 2ix_1) \sin 2jy_1 + g_1' \cos ix_1 \sin 2jy_1 \\ \omega_2' &= f_2(1 + \cos 2ix_2) \cos jy_2 + f_2' \cos ix_2 \cos jy_2 \\ &\quad + g_2(1 + \cos 2ix_2) \sin 2jy_2 + g_2' \cos ix_2 \sin 2jy_2 \\ f_1 &= f_2, \quad f_1' + f_2' = 0, \quad g_1 = g_2, \quad g_1' + g_2' = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)^{*2}$$

第 1 図 初期撓みをもつ連続板

原稿受付 昭和 35 年 12 月 20 日

* 大阪府立大学工学部

ここに f, f', g, g' は未定係数

一方面内直歪は

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \partial u / \partial x + (1/2)(\partial \omega' / \partial x)^2 + (\partial \omega' / \partial x)(\partial \omega_0 / \partial x) \\ \varepsilon_y &= \partial v / \partial y + (1/2)(\partial \omega' / \partial y)^2 + (\partial \omega' / \partial y)(\partial \omega_0 / \partial y) \end{aligned} \right\} \quad (3)^{*3}$$

で与えられるが, $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ としてそれぞれ a または b の間の平均値をとれば, 変形後扇形となることより

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= e_x + \rho y + i^2(f \cos jy + g \sin 2jy)^2 + (8i^2/3\pi) \\ &\quad \times (f \cos jy + g \sin 2jy)\{(f' + f_0) \cos jy + g' \sin 2jy\} \\ &\quad + (i^2/4)(f' \cos jy + g' \sin 2jy)\{(f' + 2f_0) \cos jy + g' \sin 2jy\} \\ \varepsilon_y &= e_y + (j^2/4)(f^2 + 4g^2)(1 + \cos 2ix)^2 + (j^2/2) \\ &\quad \times \{f(f' + f_0) + 4gg'\}(1 + \cos 2ix) \cos ix + (j^2/4)\{f'(f' + 2f_0) \\ &\quad + 4g'^2\} \cos^2 ix. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに ae_x, be_y は周辺の一様なひろがり, $a\rho$ は変形後 b 辺のはさむ角

いま $\nu=0$ を仮定すれば, 板の面内歪による歪エネルギー U_m は

$$U_m = \frac{E a t}{2} \int_{-b/2}^{b/2} \varepsilon_x^2 dy + \frac{E b t}{2} \int_{-a/2}^{a/2} \varepsilon_y^2 dx \quad (5)$$

また板の撓みによる曲げ歪エネルギー U_b は

$$\begin{aligned} U_b &= (D/2) \iint [\{\partial^2 \omega' / \partial x^2 + \partial^2 \omega' / \partial y^2\}^2 - 2(1-\nu)\{\partial^2 \omega' / \partial x^2\} \\ &\quad \times \{\partial^2 \omega' / \partial y^2\} - (\partial^2 \omega' / \partial x \partial y)^2] dx dy \end{aligned} \quad (6)$$

板の周辺の防撓材の歪エネルギー U_s は

$$U_s = (E/2) \{A_x(e_x + b\rho/2)^2 a + A_x(e_x - b\rho/2)^2 a + A_y e_y^2 b\} \quad (7)$$

これで全歪エネルギー $U = U_m + U_b + U_s$ は f, f', g, g' および e_x, e_y, ρ で表わされることになる。

いま防撓材を含めた単位面積あたりの平均荷重を p_x', p_y' , 曲げモーメントを M_x' とすれば板1, 板2の連続条件

$$p_{x1}' = p_{x2}', \quad M_{x1}' = M_{x2}', \quad e_{y1} = e_{y2} \quad (8)$$

より e_x, e_y, ρ はそれぞれその平均値 $\bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{\rho}$ で表わすことができる。これで $\bar{U}$ は f_1, f_1', g_1, g_1' および $\bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{\rho}$ で表わされ, 前報におけるごとく

$$\delta(\bar{U} + \bar{V}) = 0 \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta \bar{V} &= -\{\lambda \bar{p}_x' \delta \bar{e}_x + \mu \bar{p}_y' \delta \bar{e}_y + (\bar{M}_x' / bt) \delta \bar{\rho} + (2/\pi) q \delta(f_1/t)\} abt \\ \lambda &= 1 + 2A_x/bt, \quad \mu = 1 + A_y/at \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

より

$$\left. \begin{aligned} \bar{p}_x' / E &= \bar{e}_x + (j^2/\lambda) [(\beta^2/2)(f_1^2 + g_1^2) + (4\beta^2/3\pi) f_1 \bar{f}_0 \\ &\quad + (\beta^2/8) \{f_1'(f_1' + 2\bar{f}_0) + g_1'^2\}] \\ \bar{p}_y' / E &= \bar{e}_y + (j^2/\mu) [(3/8)(f_1^2 + 4g_1^2) + (4/3\pi) f_1 \bar{f}_0 \\ &\quad + (1/8) \{f_1'(f_1' + 2\bar{f}_0) + 4g_1'^2\}] \\ \bar{s} / E &= b\bar{\rho}/2 + \{32j^2/3(3\lambda - 2)\pi^2\} [\beta^2 f_1 g_1 + (4\beta^2/3\pi) g_1 \bar{f}_0 \\ &\quad + (\beta^2/4)(f_1' + \bar{f}_0) g_1'] \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

ここに $\bar{s} = 6\bar{M}_x' / (3\lambda - 2)b^2 t^4, \beta = b/a, \bar{f}_0 = (1/2)(f_{01} + f_{02}), \bar{f}_0 = (1/2)(f_{01} - f_{02})$

および下の4式をうる。

$$\begin{aligned} &\{P_x' + (3/4\beta^2)P_y'\} F + (4/3\pi)(P_x' + P_y'/\beta^2)\bar{F}_0 + (32/9\pi^2)SG \\ &\quad + A_0 F + A_1 F^3 + A_2 F F'^2 + A_1' F G^2 + A_2' F G'^2 + A' F' G G' + A_3 \bar{F}_0 F^2 \\ &\quad + A_4 \bar{F}_0 F F' + A_5 \bar{F}_0 F'^2 + A_3' \bar{F}_0 G^2 + A_4' \bar{F}_0 G G' + A_5' \bar{F}_0 G'^2 + A_6 (\bar{F}_0)^2 F \\ &\quad + A_7 (\bar{F}_0)^2 F + A_8 \bar{F}_0 \bar{F}_0 F' = (2/\pi\beta^2)(q/E t^4 j^4) \\ &\quad (P_x' + P_y'/\beta^2)(F' + \bar{F}_0) + (32/9\pi^2)SG' + B_0 F' + B_1 F'^3 + B_2 F' F^2 \\ &\quad + B_1' F' G'^2 + B_2' F' G^2 + B' F G G' + B_3 \bar{F}_0 F'^2 + B_4 \bar{F}_0 F' F + B_5 \bar{F}_0 F^2 \end{aligned} \quad (12)$$

$$+B_3\bar{F}_0G'^2+B_4\bar{F}_0GG'+B_5\bar{F}_0G^2+B_6(\bar{F}_0)^2F'+B_7(\bar{F}_0)^2F'+B_8\bar{F}_0\bar{F}_0F=0 \quad (13)$$

$$\{P'_x+(3/\beta^2)P'_y\}G+(32/9\pi^2)S\{F+(4/3\pi)\bar{F}_0\}+C_0G+C_1GF^2 \\ +C_2GF'^2+C_1'G^3+C_2'GG'^2+C_3G'FF'+C_4\bar{F}_0GF+C_5\bar{F}_0GF'+ \\ +C_6\bar{F}_0G'F+C_7\bar{F}_0G'F'+C_8\{(\bar{F}_0)^2+(\bar{F}_0)^2\}G+C_9\bar{F}_0\bar{F}_0G=0 \quad (14)$$

$$\{P'_x+(4/\beta^2)P'_y\}G'+(32/9\pi^2)S(F'+\bar{F}_0)+D_0G'+D_1G'F'^2 \\ +D_2G'F^2+D_1'G'^3+D_2'G'G'^2+D_3GF'F \\ +D_4\bar{F}_0G'F'+D_5\bar{F}_0G'F'+D_6\bar{F}_0GF' \\ +D_7\bar{F}_0GF+D_8\{(\bar{F}_0)^2+(\bar{F}_0)^2\}G'+D_9\bar{F}_0\bar{F}_0G=0 \quad (15)$$

ここに $P'=\bar{p}'/Et^2j^2$, $S=\bar{s}/Et^2j^2$, $F=f_1/t$, $F'=f_1'/t$, $G=g_1/t$, $G'=g_1'/t$, $F_0=f_0/t$, A, B, C および D は β のみによる常数で下式で与えられる。

$$A_0=(4\beta^2+2+3/4\beta^2)/12(1-\nu^2), \quad A_1=\{3-(2/\lambda)\}\beta^2/4+\{35-(18/\mu)\}/64\beta^2, \\ A_2=\{3-(2/\lambda)\}\beta^2/16+\{24-(16/\lambda)\}\beta^2/9\pi^2+\{15-(3/\mu)\}/32\beta^2, \\ A_1'=\{1-(1/\lambda)+2\phi\}\beta^2/2+\{35-(18/\mu)\}/16\beta^2, \quad A_2'=\{1-(1/\lambda)+(128/9\pi^2)\phi\}\beta^2/8 \\ +\{5-(3/\mu)\}/8\beta^2, \quad A'=[(16/9\pi^2)\{1-(1/\lambda)\}+\{(1/4)+(16/9\pi^2)\phi\}\beta^2+5/4\beta^2, \\ A_3=\{3-(2/\lambda)\}\beta^2/\pi+\{192-(105/\mu)\}/70\pi\beta^2, \quad A_4=2A_2, \quad A_5=\{3-(2/\lambda)\}\beta^2/4\pi+ \\ +\{24-(5/\mu)\}/30\pi\beta^2, \quad A_3'=(2/3\pi)\{1-(1/\lambda)+2\phi\}\beta^2+\{128-(70/\mu)\}/35\pi\beta^2, \\ A_4'=A', \quad A_5'=\{1-(1/\lambda)+2\phi\}\beta^2/6\pi+\{16-(10/\mu)\}/15\pi\beta^2, \quad A_6=\{24-(16/\lambda)\}\times \\ \times\beta^2/9\pi^2+5/16\beta^2-(16/\mu)/9\pi^2\beta^2, \quad A_7=A_6+(16/\mu)/9\pi^2\beta^2, \quad A_8=\{3-(2/\lambda)\}\beta^2/3\pi+ \\ +\{16-(5/\mu)\}/15\pi\beta^2, \quad B_0=(\beta+1/\beta)^2/12(1-\nu^2), \quad B_1=\{3-(2/\lambda)\}\beta^2/16+\{3-(2/\mu)\}/16\beta^2, \\ B_2=4A_2, \quad B_1'=\{1-(1/\lambda)+2\phi\}\beta^2/8+\{3-(2/\mu)\}/4\beta^2, \quad B_2'=4A_2', \quad B'=4A', \quad B_3=3B_1, \\ B_4=8A_5, \quad B_5=4A_2, \quad B_3'=B_1', \quad B_4'=(4/3\pi)\{1-(1/\lambda)+2\phi\}\beta^2+128/15\pi\beta^2, \quad B_5'=4A_2', \\ B_6=2B_1, \quad B_7=\{3-(2/\lambda)\}\beta^2/8+3/8\beta^2, \quad B_8=4A_8, \quad C_0=4(\beta^2+2+3/\beta^2)/12(1-\nu^2), \quad C_1=A_1', \\ C_2=A_2', \quad C_1'=\{3-(2/\lambda)\}\beta^2/4+\{35-(18/\mu)\}/4\beta^2, \quad C_2'=\{3-(2/\lambda)\}\beta^2/16+\{24- \\ -(16/\lambda)\}\beta^2/9\pi^2+\{15-(3/\mu)\}/2\beta^2, \quad C_3=A', \quad C_4=2A_3', \quad C_5=2A_2', \quad C_6=A', \quad C_7=(1/4)B_4', \\ C_8=(16/9\pi^2)\phi\beta^2, \quad C_9=(2/3\pi)\phi\beta^2, \quad D_0=(\beta+4/\beta)^2/12(1-\nu^2), \quad D_1=B_1', \quad D_2=4A_2', \\ D_1'=\{3-(2/\lambda)\}\beta^2/16+\{3-(2/\mu)\}/\beta^2, \quad D_2'=4C_2', \quad D_3=4A', \quad D_4=2B_1', \quad D_5=8A_5', \\ D_6=B_4', \quad D_7=4A', \quad D_8=(1/4)\phi\beta^2, \quad D_9=4C_9, \quad \phi\equiv 1-1024/27(3\lambda-2)\pi^4 \quad (16)$$

これより P'_x , P'_y および S (または $\bar{e}_x$, $\bar{e}_y$, $\bar{\rho}$) が与えられれば F , F' , G , G' が求められ、板のはたらきがわかる。

有効剛性比

数値計算は $\lambda=\mu=1$, $q=0$, $\bar{p}'_y=0$ について行なわれた。 $\bar{p}'_x$, $\bar{s}$ が与えられれば、(12)~(15) 式より F , F' , G , G' が求まり、(11) 式より $\bar{e}_x$, $\bar{\rho}$ が $\bar{p}'_x$, $\bar{s}$ の函数としてえられる。

表示の便のため第1報にならい、引張り、圧縮に対する有効剛性比 η 、および曲げに対する有効剛性比 η_b を

$$\eta=\bar{p}'_x/E\bar{e}_x, \quad \eta_b=\bar{M}'_x/EI\bar{\rho}=2\bar{s}/Eb\bar{\rho} \quad (17)$$

で定義すれば、(11) 式より

$$\eta=P'_x(P'_x-\bar{H})^{-1} \\ \bar{H}=(\beta^2/\lambda)\{(1/2)(F^2+G^2)+(4/3\pi)\bar{F}_0F \\ +(1/8)(F'^2+G'^2)+(1/4)\bar{F}_0F'\} \quad (18)$$

$$\eta_b=S(S-\bar{J})^{-1} \\ \bar{J}=\{32\beta^2/3(3\lambda-2)\pi^2\}\{FG+(4/3\pi)\bar{F}_0G \\ +(1/4)(F'+\bar{F}_0)G'\} \quad (19)$$

第2図 P_x-U_x , $S-U_x$ 曲線 ($\beta=4$, $F_{01}=0.5$, $\xi=-1$), $\times$ 印は P_x-U_x 曲線に対応、括弧内の数字は S の値を示す

$S=0$ のときの η の値は第1報に報告されたが、 S による $\bar{e}_x$ の変動

をみるため第2図が作成された。図は $\beta=4$, $F_{01}=0.5$, $\xi (= F_{02}/F_{01})=-1$ についての計算で、中央部の実線は $S=0$ のときの $P_x \cdot \eta_b - (\bar{e}_x/t^2 j^2)$ 曲線、 $\times$ 印は S が図中の数字に示す値をもつときのそれを示す。また左方の鎖線は $P_x=0$ のときの $S - (\bar{e}_x/t^2 j^2)$ 曲線 (S の偶函数) である。これより S による $\bar{e}_x$ の変動は小さいから、 S の値の小さなときは $S \rightarrow 0$ のときの $\bar{e}_x$ 、従つて既報の η を使用してよいと思われる*6。なお $\beta=1$ の場合は $\beta=4$ にくらべ S の影響はさらに小さかつた。

第3図 (A) $P_x - \eta_b$, $S - \eta_b$ 曲線 ($\beta=1$)

$\times$ 印は $P_x - \eta_b$ 曲線 ($F_{01}=0.5$, $\xi=-1$) に対応、括弧内の数字は S の値を示す

第3図 (B) $P_x - \eta_b$, $S - \eta_b$ 曲線 ($\beta=4$)

第3図に $\beta=1, 4$ についての η_b を示す。図中の実線および破線はそれぞれ $S \rightarrow 0$ のときの $\xi=0$ および -1 の値を示す。 S による η_b の変動をみるため図 (B) $\times$ 印で P_x, S 共存するときの値 ($F_{01}=0.5$, $\xi=-1$) を示す。また図中の鎖線は $P_x=0$ のときの S による η_b の変化 (S の偶函数) で、これらより η_b も S による変動は小さく、実用上 $S \rightarrow 0$ のときのものを用いてよいことがわかる。また外側の線は $F_0=0$ のときに直線の折れる点は $S=0$ のときの座屈荷重 P_{xcr} を示す。 P_x, S 共存するときの座屈荷重は (13), (15) 式より

$$(P_{xcr} + B_0)(P_{xcr} + D_0) - (32/9\pi^2)S^2 = 0 \quad (20)^{*7}$$

で与えられる。上段水平部で S の値を示した点は、 S がその値をもつときの P_{xcr} を示す。 $S \rightarrow 0$ における $P_x - \eta_b$ 曲線の性質を示せば、 $P'_x \rightarrow -\infty$ となれば $\xi=1$ ののぞき

$$\eta_b \rightarrow [1 + 256\beta^2 / \{27(3\lambda - 2)\pi^4(D_1 - B_1)\}]^{-1} \quad (21)$$

第4図 (A) $\xi - \eta_b$ 曲線 ($\beta=1$)

第5図 (A) $F_{01} - \eta_b$ 曲線 ($\beta=1$)

第4図 (B) $\xi - \eta_b$ 曲線 ($\beta=4$)

第5図 (B) $F_{01} - \eta_b$ 曲線 ($\beta=4$)

第6図 $\beta-\eta_b$ 曲線 ($P_x=S=0$) 第7図 $\beta-\eta$ 曲線 ($P_x=S=0$)

$$P'_x \rightarrow \infty \text{ となれば } \eta_b \rightarrow 1 \quad (22)$$

$$P'_x \rightarrow 0 \text{ となれば}$$

$$\eta_b \rightarrow [1 - \{32\beta^2/3(3\lambda - 2)\pi^2\} \{ (4/3\pi)\bar{F}_0 G/S + (1/4)\bar{F}_0 G'/S \}]^{-1} \quad (23)$$

G/S , G'/S は下式より求められる。

$$\left. \begin{aligned} [C_0 + C_8 \{(\bar{F}_0)^2 + (\bar{F}_0)^2\}] (G/S) + C_9 \bar{F}_0 \bar{F}_0 (G'/S) &= -(128/27\pi^8) \bar{F}_0 \\ D_0 \bar{F}_0 \bar{F}_0 (G/S) + [D_0 + D_8 \{(\bar{F}_0)^2 + (\bar{F}_0)^2\}] (G'/S) &= -(32/9\pi^2) \bar{F}_0 \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

も、 F_{01} , β の異なるときの η_b の推定に便のために $P_x \rightarrow 0$, $S \rightarrow 0$ のときの η_b の値を第4～6図に示す。第7図は前報の補足として $P_x \rightarrow 0$ ($S=0$) のときの $\beta-\eta$ を示す。第7図では $\beta > 2$ で η の変化量は小さくなっているが、第6図では $\beta=4$ までは η_b の変化量はさほど減少しない。

箱型梁への適用の実験的検討

以上初期撓みをもつ連続板が面内荷重を受ける場合の剛性について計算が行なわれたが、その計算結果の箱型梁への適用を考える。初期撓みをもつ連続板を構成部材の一部としてもつ箱型梁の、均一曲げに対する強度、剛性の算定に下の仮定をおく。

- (1) 連続板の剛性比 η , η_b はそれぞれ長さ方向に一定とする。
- (2) その大きさは $\lambda=\mu=1$, $\bar{p}'_0=0$ について行なわれた既報の計算値とする*8。
- (3) すべての構成部材は梁理論に従う。

これより付録に示されるごとく、箱型梁の強度、剛性が算定される。

この仮定の当否を判定するため、第8図にその横断面を示す鋼製箱型試験片について曲げ実験が行なわれた。

第1表 試験片

部材	①	②	③	④	備考
T1	○	○	○	○	③圧縮側
T2	○	○	○	○	④引張側
T3	○	○	○	○	①圧縮側
T4	○	○	○	○	②引張側
T5	○	○	○	○	③圧縮側
T6	○	○	○	○	④引張側

○: 平板, ×: 接合部

第8図 試験片横断面

第9図 撓み板 ($\beta=4$, $F_{01}=1.0$, $M=0$ (斜線内は接合部))

第9図 撓み板

試験片の一部の板は取外しが可能で、第1表に示される数種類の箱型梁を順次組直した。撓み板は第9図に示す。撓みの形は(1)式で表わされる形とし、 $\beta=4$, $F_{01}=1.0$, $\xi=0$ を目標につくられ、出来上りは実用上満足できるものとなった。撓み板は撓み部を内側にして取付けられ、撓み部、平板部の境界線は梁内部の隔壁と外側からのナイフェッジで単純支持された。

荷重は引張方式による均一曲げが用いられ、撓みおよび面内歪が測定された。撓みの測定場所は甲板外板のやや内側で、左右舷の平均値を第2表に示す。歪測定は第9図に示す中央部 A, B および C の断面で行なわれた。数点で直角二方向の歪が測定され、船長方向以外の面内応力は無いことがわかった。第10図に応力に換算した値を示すが、これより測定された3断面の面内応力の分布はほぼ同じで、仮定(1)は実用上正しいと考えてよいようである。

第10図 (A) 面内応力分布 (T2)

第10図 (B) 面内応力分布 (T3)

第2表 撓み (単位 1/1000 mm)

	測定値 δ_{exp}	計算値 δ_{cal}	$\delta_{exp}/\delta_{cal}$	備考
T1	28.0	28.65	0.98	M=101 Ton-mm
T2	30.6	32.68	0.94	
T3	34.9	36.38	0.96	
T4	9.11	8.33	1.09	M=303 Ton-mm
T5	9.45	8.65	1.09	

測定距離 4K 間 E=21,000 Kg/mm²

第10図 (C) 面内応力分布 (T5)

計算は付第1表に示す方法により行なわれ*9, 計算結果は第2表および第10図で測定値と比較された。第2表で T1~3 および T4, 5 の2つのグループにおいて、測定値、計算値の比がそれぞれほぼそろっていることは、板の初期撓みによる剛性の低下に関しては、この計算の妥当なことを示している。また第10図の応力分布の比較よりも、(2), (3)の仮定が実用上妥当なことがわかる。なお、荷重が変れば P_x , S の変動により η , η_b の値も変るが、この場合も測定値は近似的に計算値と一致した。

以上は均一曲げに対する仮定ならびに検討であるが、曲げの大きさが長さ方向に変化するときも、剪断応力の η , η_b に対する影響を無視すれば、任意断面の強度、剛性は同様にして算定できると思われる。第11図に Ocean Vulcan*10 の実船実験による面内応力測定値とこの方法による計算値との比較を示す。計算仮定としては、初期撓みの実測値より、船底板、内底板、第二甲板、舷壁板が $F_{01}=1.0$, $\xi=0$ の初期撓みをもち、他の部分は平板であるとした。また Tunnel 部分は内底板で船体主部と連続する別個の梁(上下方向への変位に対する剛性を無視)と考えた。撓みについていえば、ホギングでの実測値は、剛性比が1で船全体が梁理論に従うとした場合の計算値(剪断力および温度差の影響を考慮)の1.126倍程度になっていることが報告されているが、いまの計

算ではこの断面の曲げ剛性は、剛性比が1のときの0.877
(=1/1.140) 倍になり、妥当な数字と思われる。

結 言

本論文では第1報に引きつづき、初期撓みをもつ連続板が曲げをともなう面内力を受ける場合の有効剛性比 η , η_0 が計算された。これらは実用上 P_x のみの函数と見なせることがわかつたので、 η については第1報のものが用いられることになり、ここでは主として η_0 について数値計算が行なわれた。さらに撓み板が、曲げを受ける箱型梁の一部として用いられているとき梁の強度、剛性の算定に以上の η , η_0 の計算値を適用できることが実験的に確かめられた。

終りに本論文に対し御指導賜りました大阪大学寺沢一雄教授、実験に御協力いただきました本学山辺長三郎氏、岡村与一郎氏にお礼申し上げます。なおこの研究の一部は文部省科学研究費によつて行なわれたことを附記します。

付 録

組立梁についての計算

組立梁が付第1図に示されるように、その両端で剛に剛体に固着された n 個の板より構成され、その両端で M , X の力を受けるとする。このとき各板の受ける力をそれぞれ M_i , X_i とすれば、平衡条件 (i), 連続条件 (ii), および変位と力の関係式 (iii) よりその大きさが求められる。

付第1図 組立梁

$$\sum X_i = X, \quad \sum (M_i + X_i l_i) = M \quad (i)$$

$$\bar{e}_{xi} - b_i \bar{\rho}_i / 2 = \bar{e}_{xi+1} + b_{i+1} \bar{\rho}_{i+1} / 2, \quad \bar{\rho}_i = \bar{\rho}_{i+1}, \quad i=1, 2, \dots, n-1 \quad (ii)$$

$$\bar{e}_{xi} = \bar{e}_{xi}(X_i, M_i), \quad \bar{\rho}_i = \bar{\rho}_i(X_i, M_i) \quad (iii)$$

(iii) 式の形は本文 (11)~(15) 式より求まるわけであるが、近似的に

$$E \bar{e}_{xi} = \bar{p}_{xi} / \eta_i = X_i / (\eta_i b_i t_i), \quad E \bar{\rho}_i = 2 \bar{s}_i / \eta_i b_i t_i = 12 M_i / (\eta_i b_i^3 t_i) \quad (iii)'$$

とし、既報の計算値を用いれば簡単となる。付第1表は (iii)' 式を用いた場合の表による計算法を示す。初めに η , η_0 を仮定し、Trial and Error method によることになる。

注

*1 著者：初期撓みをもつ連続板の剛性 (第1報) 造船協会論文集 第107号

*2 ω' を $(-a \leq x \leq a, -b/2 \leq y \leq b/2)$ で

$\omega' = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} C_{m,n} \cos m \pi x \sin n \pi (y+b/2)$, ただし $\sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m C_{2m,n} = 0$ ($x = \pm a/2$ で $\omega' = 0$ の条件) の形に展開し、 m, n とも2までとつたもの。

*3 添字 1, 2 はそれぞれ板1, 板2に対応するが、誤解のおそれのないときはつけない。

第11図 Ocean Vulcan 面内応力分布
(ホギング・モーメント 120,000 Ton-ft)

付第1表 組立梁の計算

板数	面積	η	中性軸からの距離	$2Ay$	$2Ay^2$	η_0	部材自身の慣性モーメント $I_0 (b^3 t_i / 12)$
1	A_1	η_1	$\eta_1 A_1$	y_1	$\eta_1 A_1 y_1$	$\eta_1 A_1 y_1^2$	$\eta_1 I_0$
2	A_2	η_2	$\eta_2 A_2$	y_2	$\eta_2 A_2 y_2$	$\eta_2 A_2 y_2^2$	$\eta_2 I_0$
i	A_i	η_i	$\eta_i A_i$	y_i	$\eta_i A_i y_i$	$\eta_i A_i y_i^2$	$\eta_i I_0$
n	A_n	η_n	$\eta_n A_n$	y_n	$\eta_n A_n y_n$	$\eta_n A_n y_n^2$	$\eta_n I_0$

$[2A] = \sum \eta_i A_i$, $\sum \eta_i A_i y_i = 0$, $[2I] = \sum \eta_i A_i y_i^2 + \sum \eta_i I_0 (b^3 t_i / 12)$
 $P_i = \frac{[2A] + X_i y_i}{[2I]}$, $\Delta_i = \frac{[2A] + X_i y_i}{[2I]}$
 y_i は中性軸より X の着付点までの距離
 仮定した η_i, η_0 の値は P_i, Δ_i に対応するものでなければならぬ。

- *4 $(3\lambda-2)b^2t/6$ は板 (防撓材を含む) の断面係数, 従つて $\bar{s}$ は $\bar{M}'_x$ が直線分布したときの最大応力にあたる。
  - *5 $\lambda=1$ のときの P'_x を第1報にならい P_x とかく。
  - *6 η で表現すれば $P_x \neq 0$ の附近では S により η は大きく変化するが, η による表現は便宜的なもので, 結局ほしいのは $\bar{e}_x$ であるから, $S \rightarrow 0$ の η を用いて差し支えない。
  - *7 (12), (14) 式より導かれる P_{xcr} は b 辺固定に対するもの。また (20) 式は ω' に対する (2) 式の項数不足のため, $\beta=1, P_x=0$ では S は数%大きくでている。
  - *8 連続板が箱型梁の一部を構成しているときは (8) 式で与えられる力, モーメントの均合は断面全体で考えるべきで, 既報の計算値をそのまま適用するのは厳密には正しくない。また b 方向への連続の影響も考慮されていない。
  - *9 T5 については, 曲げを受ける撓み板がちぢまることを考慮した計算も行なわれたが, S が小さいのではとんど問題にならなかつた。傾向的には圧縮側の応力は引張側より大きくなる。
  - *10 Admiralty Ship Welding Committee : "Structural Tests in Still Water on Welded Dry Cargo Ship Ocean Vulcan" Report. R6, 1953.
Admiralty Ship Welding Committee : "Structural Trials on S-S Ocean Vulcan and S-S Clan Alpine. Discussion of Results" Report. R12, 1954.
-