

1. まえがき

本研究は昨年引続いてプレートガーダー腹板のせん断座屈後の状態について解析と模型実験を行なったものである。今回は先ず昨年と同じく腹板の座屈後の状態に与えるフランジ曲げ剛性の影響について、特にその剛性がかなり flexible な場合について解析と模型実験を行なった。また、腹板に初期タワミがある場合、その影響が座屈後の腹板の応力に如何に入ってくるか検討を加えた。

2. 解析モデルと解析方法

解析モデルは図-1に示す如きものを考えた。その際せん断力が支配的で曲げによる影響は無視できるものとする。解析方法は初期タワミを考慮した Marguerre の非線形偏微分方程式を腹板とフランジとの接合条件を考慮して解いている。なお解析方法全般については昨年の I-84 フランジ曲げ剛性を考慮した腹板のせん断強度に関する研究において述べてあるのでここでは省略する。以下に示す Marguerre の方程式において、腹板の初期タワミ w_0

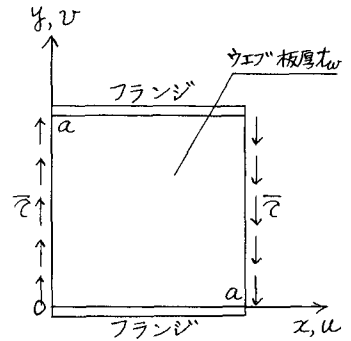


図-1 解析モデル

$$\Delta \Delta W = \frac{t_w}{D} \left[\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \frac{\partial^2 (u_0 + w)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \frac{\partial^2 (u_0 + w)}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 (u_0 + w)}{\partial x \partial y} \right] \dots (1)$$

$$\Delta \Delta F = E \left\{ \left[\frac{\partial^2 (u_0 + w)}{\partial x \partial y} \right]^2 + \frac{\partial^2 (u_0 + w)}{\partial x^2} \frac{\partial^2 (u_0 + w)}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 u_0}{\partial x \partial y} \right)^2 + \frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} \frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2} \right\}$$

座屈後のタワミ W 及び座屈後の腹板の応力係数 F 等は次式の如く仮定する。

$$w_0(x, y) = t_w b_{11} \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{a} \dots (2)$$

$$W(x, y) = t_w a_{11} \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{a} + t_w a_{22} \sin \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{2\pi y}{a} \dots (3)$$

$$F(x, y) = -\bar{\tau} xy + \sum_m \left[A_m \operatorname{ch} \frac{m\pi y}{a} + B_m \operatorname{sh} \frac{m\pi y}{a} + C_m \frac{m\pi y}{a} \operatorname{ch} \frac{m\pi y}{a} + D_m \frac{m\pi y}{a} \operatorname{sh} \frac{m\pi y}{a} \right] \cos \frac{m\pi x}{a} + E t_w \sum_j \sum_j' L_{ij} \cos \frac{j\pi x}{a} \cos \frac{j'\pi y}{a} \dots (4)$$

腹板とフランジとの接合条件は次の四つの条件式からなる。すなわち、

$$\left[\tau_{xy} \right]_{y=0} t_w = E A_f \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + f \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right]_{y=0} \dots (5)$$

$$\left[\sigma_y \right]_{y=0} t_w = E I_f \left[\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} \right]_{y=0}$$

$$\left[\tau_{xy} \right]_{y=a} t_w = E A_f \left[-\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + f \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right]_{y=a} \dots (6)$$

$$\left[\sigma_y \right]_{y=a} t_w = -E I_f \left[\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} \right]_{y=a}$$

suffix 'w' は腹板に対するものを、'f' はフランジに対するものを示す。式中の A_f, I_f はフランジの断面積、断面二次モーメントであり、 f はフランジ断面の中立軸からフランジと腹板との接合線までの距離を表わす。(5), (6)式を用いて(4)式中の未知係数 A_m, B_m, C_m, D_m が決定される。最終的に未知数 a_{11}, a_{22} を決定する基本方程式は、

$$\left. \begin{aligned} \phi_1 (a_{11} + b_{11})^3 + \phi_2 (a_{11} + b_{11}) a_{22}^2 + \phi_3 a_{11} + \phi_3' b_{11}^2 (a_{11} + b_{11}) + \phi_4 a_{22} &= 0 \\ \psi_1 a_{22}^3 + \psi_2 a_{22} (a_{11} + b_{11})^2 + \psi_3 a_{22} + \psi_4 (a_{11} + b_{11}) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

となる。なお係数 ϕ_1, ϕ_2, \dots 等は次のようなものである。

$$\phi_1 = \frac{\pi^4 E t \omega^4}{16 D \alpha^2} + \frac{\pi^4 E t \omega^3}{64 D \alpha^4} \theta_1, \quad \phi_2 = \frac{4 \pi^4 E t \omega^4}{200 D \alpha^2} - \frac{\pi^4 E t \omega^3}{50 D \alpha^4} \theta_2, \quad \phi_3 = \frac{\pi^4 t \omega}{\alpha^2}, \quad \phi_3' = \frac{\pi^4 E t \omega^4}{32 D \alpha^2} - \frac{\pi^4 E t \omega^3}{64 D \alpha^4} \theta_1$$

$$\phi_4 = -\frac{32 t \omega^2 \bar{c}}{9 D} + \frac{2 \pi^2 t \omega^2 \bar{c}}{D \alpha} \theta_3, \quad \psi_1 = \frac{\pi^4 E t \omega^4}{D \alpha^2} + \frac{\pi^4 E t \omega^3}{4 D \alpha^4} \theta_4, \quad \psi_2 = \phi_2, \quad \psi_3 = 16 \phi_3, \quad \psi_4 = \phi_4 \dots \dots \dots (8)$$

$$\theta_1 = \left(2 \nu A_f G_{21} - \frac{\alpha t \omega}{\pi} G_{22} \right) \text{sh} 2\pi + \left(2 \nu A_f G_{23} - \frac{\alpha t \omega}{\pi} G_{24} \right) (\text{ch} 2\pi - 1)$$

$$+ \left(2 \nu A_f G_{25} - \frac{\alpha t \omega}{\pi} G_{26} \right) (2\pi \text{sh} 2\pi - \text{ch} 2\pi + 1) + \left(2 \nu A_f G_{27} - \frac{\alpha t \omega}{\pi} G_{28} \right) (2\pi \text{ch} 2\pi - \text{sh} 2\pi)$$

$$\theta_2 = \left[A_f (9 - \nu) G_{11} - \frac{\alpha t \omega}{\pi} G_{12} \right] \frac{1}{5} \text{sh} \pi + \left[A_f (9 - \nu) G_{13} - \frac{\alpha t \omega}{\pi} G_{14} \right] \frac{1}{5} (\text{ch} \pi + 1)$$

$$+ \left[A_f (9 - \nu) G_{15} - \frac{\alpha t \omega}{\pi} G_{16} \right] \left[\frac{\pi}{5} \text{sh} \pi + \frac{4}{25} (\text{ch} \pi + 1) \right] + \left[A_f (9 - \nu) G_{17} - \frac{\alpha t \omega}{\pi} G_{18} \right] \left[\frac{\pi}{5} \text{ch} \pi + \frac{4}{25} \text{sh} \pi \right]$$

$$+ \left[3 A_f (1 - \nu) G_{31} - \frac{9 \alpha t \omega}{\pi} G_{32} \right] \frac{3}{5} \text{sh} 3\pi + \left[3 \nu A_f (1 - \nu) G_{33} - \frac{9 \alpha t \omega}{\pi} G_{34} \right] \frac{3}{5} (\text{ch} 3\pi + 1)$$

$$+ \left[3 A_f (1 - \nu) G_{35} - \frac{9 \alpha t \omega}{\pi} G_{36} \right] \left[\frac{9\pi}{5} \text{sh} 3\pi - \frac{12}{25} (\text{ch} 3\pi + 1) \right] + \left[3 \nu A_f (1 - \nu) G_{37} - \frac{9 \alpha t \omega}{\pi} G_{38} \right] \left[\frac{9\pi}{5} \text{ch} 3\pi - \frac{12}{25} \text{sh} 3\pi \right]$$

$$\theta_3 = G_{11} \frac{1}{5} \text{sh} \pi + G_{13} \frac{1}{5} (\text{ch} \pi + 1) + G_{15} \left[\frac{\pi}{5} \text{sh} \pi + \frac{4}{25} (\text{ch} \pi + 1) \right] + G_{17} \left[\frac{\pi}{5} \text{ch} \pi + \frac{4}{25} \text{sh} \pi \right]$$

$$+ G_{31} \frac{1}{5} \text{sh} 3\pi + G_{33} \frac{1}{5} (\text{ch} 3\pi + 1) + G_{35} \left[\frac{3\pi}{5} \text{sh} 3\pi - \frac{4}{25} (\text{ch} 3\pi + 1) \right] + G_{37} \left[\frac{3\pi}{5} \text{ch} 3\pi - \frac{4}{25} \text{sh} 3\pi \right]$$

$$\theta_4 = (4 \nu A_f G_{41} - \frac{\alpha t \omega}{\pi} G_{42}) 2 \text{sh} 4\pi + (4 \nu A_f G_{43} - \frac{\alpha t \omega}{\pi} G_{44}) 2 (\text{ch} 4\pi - 1)$$

$$+ (4 \nu A_f G_{45} - \frac{\alpha t \omega}{\pi} G_{46}) (8\pi \text{sh} 4\pi - 2 \text{ch} 4\pi + 2) + (4 \nu A_f G_{47} - \frac{\alpha t \omega}{\pi} G_{48}) (8\pi \text{ch} 4\pi - 2 \text{sh} 4\pi)$$

$\theta_1, \theta_2, \dots$ 等の中の G_{21}, G_{22}, \dots 等は、腹板とフランジとの接合条件から決定されるものである。

3. 数値計算結果と実験値の一例

図-2は、作用せん断力 \bar{c} に対する主応力 σ_1, σ_2 の変化の一例である。また図-3は、初期タワミの座屈後の腹板応力に対する影響の一例である。なお数値計算結果の詳細と模型実験については当日述べる予定である。

最後に御助言と研究の機会を与えて下さった高田教授へ謝意を表します。

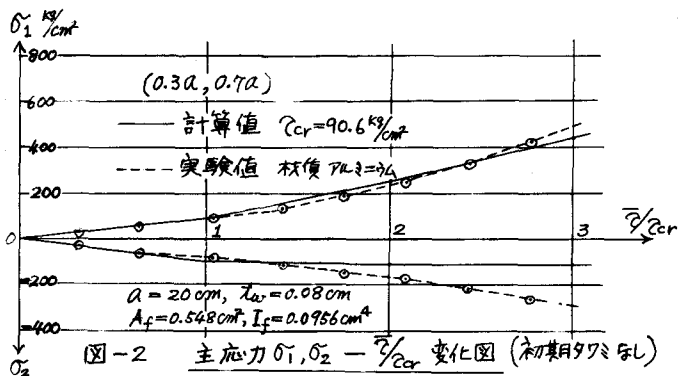


図-2 主応力 $\sigma_1, \sigma_2 - \bar{c}/c_{cr}$ 変化図 (初期タワミなし)

4. 参考文献

- (1) 高田, 新延: フランジ曲げ剛性を考慮した腹板のせん断強度に関する研究 昭和47年度年次講義会概要I-84
- (2) Eric R. Bryan and Wagih M. E1-Dakhakhoni: Shear of Thin Plates with Flexible Edge Members

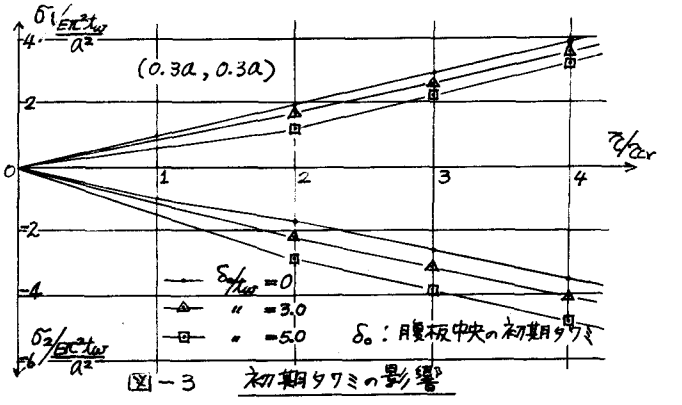


図-3 初期タワミの影響