

豊田高専 正会員 草間 晴幸
名古屋大 正会員 福本 秀士

1. はじめに 構造部材が薄肉板要素から構成される場合、その部材の強度は構成板要素の局部座屈強度により、大きく支配され、その結果として連成座屈強度に対する深い考察が必要となってくる。はり-柱の連成強度に関する研究は冷間加工部材、あるいは溶接組立て部材の分野において勢力的に進められてきた。しかし、従来は、静的な単調載荷荷重に対する研究が主体であり、構造物の動的応答の観点から、この問題に取り組む必要がある。著者らは前に面外繰り返し荷重を受ける板の挙動について影響係数法を用いて解析を行ない、その結果を発表した(文献1)。本研究では、前の手法を発展させ、後座屈領域において繰り返し圧縮引張りを受ける薄板の履歴特性を解析する。さらに、ウェブの面積を無視した理想的な Double Flange Box Section (DFS) のモーメント-曲率関係(M- ϕ -P Curve)を解析する場合に、前述の薄板の履歴特性を取り入れ、フランジの交差局部座屈の影響について考察するものである。

2. 板の履歴特性 面内荷重を受ける薄板の支配方程式は、弾塑性領域において次式で与えられる(文献2)。

$$\nabla^4 w = \frac{t}{D} \Pi(x, y) - \frac{4}{t} \int_0^T \Psi(x, y) dT \quad (1)$$

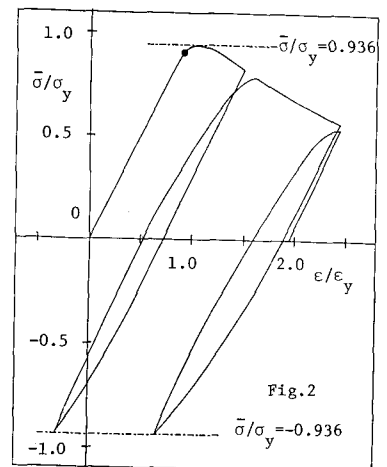
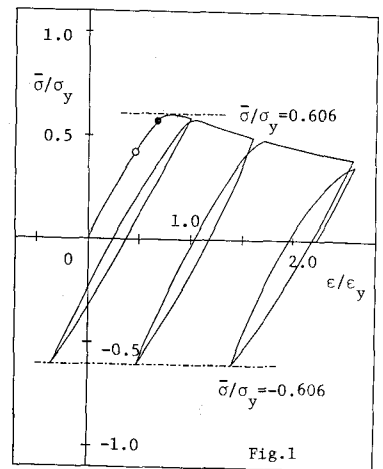
$$\nabla^4 \phi = E \left\{ \Lambda(x, y) - \int_0^T \Gamma(x, y) dT \right\} \quad (2)$$

ここで、 t = 板厚、 D = 板の曲げ剛度、 E = 弾性係数、 w = 板のたわみ、 ϕ = Airy の応力関数、であり、 $\Pi(x, y)$ 、 $\Lambda(x, y)$ は膜作用に関する非線形関数、 $\Psi(x, y)$ 、 $\Gamma(x, y)$ は塑性変形に従属する非線形関数である。上式において時間積分を空間積分に置換し、 w 、 ϕ など二重フーリエ級数に展開し、境界条件を導入することにより、式(1)、(2)に対して次式の様な閉じた解が得られる。

$$w = \frac{16}{\pi^2} \left\{ \frac{t}{D} \sum_{i=1}^I \Pi_i F_i - \frac{4}{t} \sum_{j=1}^J \sum_{L=1}^N (\Psi_j)_L F_j \right\} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \phi = & \frac{16E}{\pi^2} \left\{ \sum_{i=1}^I \Lambda_i F_i - \sum_{j=1}^J \sum_{L=1}^N (\Gamma_j)_L F_j \right\} \\ & + \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^K \left\{ (1+\nu) p_k G_k + 2(\tau_k H_k + \tau'_k H'_k) \right\} - \frac{1}{2} p_{x_0} y^2 \quad \dots (4) \end{aligned}$$

式(3)、(4)を用いて、薄板の履歴変形挙動を解析したものを Fig. (1) および Fig. (2) に示す。Fig. (1)、(2) はそれぞれ $b/t = 40$ 、80 の寸法を持つ板に対する解析結果である。図中、○印は弾性座屈応力、●印は弾性限界荷重を示している。

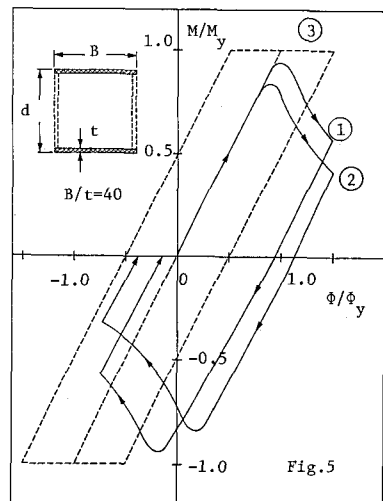
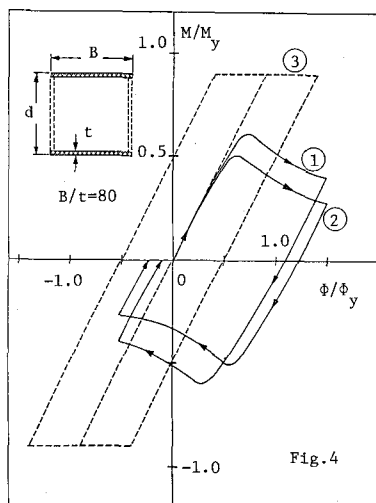
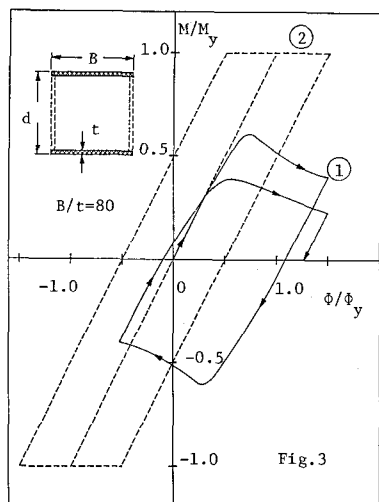


3. Double Flange Box Section フランジの構成板要素の局部履歴挙動を考慮した DFRS の $M-P$ 関係を計算することができる。上下フランジの板要素は Fig. (1), (2) に示された履歴特性をもち、また、ウェブの板要素は面積を持たないと仮定する。上下フランジの釣り合い、および適合条件より次式が成立する。

$$\frac{P}{P_y} = \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{\sigma}_{uf}}{\sigma_y} + \frac{\bar{\sigma}_{lf}}{\sigma_y} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\phi}{\phi_y} = \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_{uf}}{\epsilon_y} - \frac{\epsilon_{lf}}{\epsilon_y} \right) \quad (6)$$

$$\frac{M}{M_y} = \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{\sigma}_{uf}}{\sigma_y} - \frac{\bar{\sigma}_{lf}}{\sigma_y} \right) \quad (7)$$



ここで、 $\bar{\sigma}_{uf}$ ($\bar{\sigma}_{lf}$) および ϵ_{uf} (ϵ_{lf}) はそれぞれ上(下)フランジの平均応力と平均ひずみである。これらの値は圧縮状態において正であり、また、 P_y , ϕ_y , M_y は次式で与えられる。

$$P_y = 2Bt\sigma_y, \quad \phi_y = 2\epsilon_y/(d-t) \quad \text{and} \quad M_y = Bt\sigma_y(d-t) \quad (8)$$

Fig. (3) は $B/t = 80$ を持つ DFRS の $M-P$ 曲線である。DFRS の B および d はそれぞれ 1.0 [m] である。実線がフランジの交番座屈を考慮した場合の曲線、破線が局部座屈を考慮しない理想化した弾塑性曲線である。図より、交番局部座屈の影響が著しいことが分る。Fig. (4) は Fig. (3) と同じ $B/t = 80$ に対する曲線であるが、曲線①は $P/P_y = 0$ 、曲線②は $P/P_y = 0.1$ に対するものである。図より、軸力の存在が部材全体の強度低下を著しく促進させることが分る。Fig. (5) は $B/t = 40$ を持つ DFRS の $M-P$ 曲線である。曲線①は $P/P_y = 0$ 、曲線②は $P/P_y = 0.1$ に対するものであり、曲線③は理想化した弾塑性曲線である。図より、 $B/t = 40$ の場合と同様に、交番局部座屈の影響および軸力の強度低下への悪影響を考察することができる。

4. 結論 面内繰返し荷重を受ける薄板の解析手法が確立できた。また、交番局部座屈の影響を考慮することができる 1 つのモデル Double Flange Box Section を考案し、その解析例を示すことができた。解析結果より、交番局部座屈が、薄肉構造部材の変形挙動に大きく影響すること、また、軸力の存在が部材全体の強度低下を著しく促進することが判明した。

REFERENCES. (1) Fukumoto, Y., Kusama, H., Cyclic Bending of Plates under Transverse Loading, Proc. of ASCE, Vol. 108, EM3, pp. 477 - 492. (2) Fukumoto, Y., Kusama, H., Cyclic Behavior of Plates under In-Plane Loading, Engineering Structures (accepted to be published).