

ウェブの影響を考慮した繰返し荷重下の薄肉はりモデル

豊田高専 正会員 ○草間 晴幸
名古屋大 正会員 福本 勝士

1. はじめに

著者は文献[1]において、繰返し荷重を受ける薄肉はりの1つのモデルとして、上下フランジ要素のみからなる、Double Flange Section Model (DFS)の変形挙動特性について報告した。また、文献[2,3]において実験から得られたモーメント-曲率曲線(M- κ 曲線)とDFSのM- κ 曲線を比較し、その結果、フランジ要素の幅厚比が小さいはりに対して、実験値と計算値は良好な一致が見られるが、幅厚比が大きいはりに対しては、処女曲線においても両者があまり一致しないことが判明した。本研究では、この問題を解決すべく、ウェブの影響を考慮した新しいモデルを提案し、実験結果と数値計算結果とを比較することにより、このモデルの妥当性を検証するものである。

2. 薄肉はりモデル

このモデルは、荷重に対するフランジ要素の抵抗だけでなく、ウェブ要素の抵抗をも考慮したモデルである。数値計算に対する仮定は次のようである。

- (1) 繰返し荷重下において、ウェブ要素は弾性的に挙動し、局部座屈は生じない。
- (2) はりの中立軸は、断面内の釣り合い条件を満足するように決定される。すなわち、次式で示されるように、断面内の法線応力の総和が0になることである。

$$\int_A \sigma dA = 0 \quad (1)$$

- (3) フランジの平均応力-平均ひずみ関係は文献[1]の手法によって計算される。

Fig. 1にある荷重状態における、薄肉はりの断面のひずみ分布を示す。図中、 σ_u (σ_s)と ϵ_u (ϵ_s)はそれぞれ、はりの上(下)フランジ要素の平均応力と平均ひずみである。仮定(2)より次のような ϵ_s/ϵ_y に関する二次方程式を得る。

$$\left(\frac{E_s}{E} + \beta\right) \left(\frac{\epsilon_s}{\epsilon_y}\right)^2 + \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} \left(\frac{E_s}{E} - \frac{E_u}{E}\right) \frac{\epsilon_s}{\epsilon_y} - (1 + \beta) \left(\frac{\epsilon_u}{\epsilon_y}\right)^2 = 0 \quad (2)$$

ここで、 $\beta = D/B$ 、 $E_u = \sigma_u/\epsilon_u$ および $E_s = \sigma_s/\epsilon_s$ である。下フランジが線形弾性状態にある場合、($E_s/E = 1$)、式(2)の ϵ_u/ϵ_y および E_u/E を仮定することにより、 ϵ_s/ϵ_y が求まり、容易に中立軸の位置は決定できる。

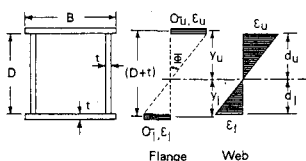


Fig. 1 Strain Distribution assumed for Model of Thin-Walled Beams.

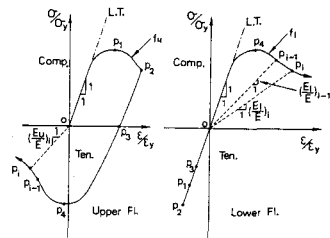


Fig. 2 Schematic Stress Hysteresis of Upper and Lower Flanges of Model during Cyclic Loading.

しかし、下フランジが非線形の状態にある場合、中立軸の位置は反復法によって求めなければならない。繰り返し載荷中の上下フランジの応力履歴の模式図をFig. 2 に示す。 $\sigma_u/\sigma_y = f_u(\epsilon_u/\epsilon_y)$ および $\sigma_e/\sigma_y = f_e(\epsilon_e/\epsilon_y)$ は反復計算を進める前に既に求まっている。両方の曲線が点 $O \rightarrow p_1 \rightarrow p_2 \rightarrow p_3 \rightarrow p_4 \rightarrow \dots \rightarrow p_{i-1} \rightarrow p_i$ と進行していく場合、今、 p_i の状態について考える。この場合、式(2)に対して $(\epsilon_u/E)_i$ および $(\epsilon_e/\epsilon_y)_i$ の値を仮定し、直接 $(\epsilon_e/E)_i$ および $(\epsilon_e/\epsilon_y)_i$ を決定することは不可能である。よって、反復計算の第1近似値として $(\epsilon_e/E)_i$ の代わりに $(\epsilon_e/E)_{i-1}$ を用いる。すると式(2)は第1回目の近似計算式として次式ようになる。

$$\left\{ \left(\frac{\epsilon_e}{E} \right)_{i-1} + \beta \right\} \left(\frac{\epsilon_e}{\epsilon_y} \right)_i^2 + \left(\frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} \right)_i \left\{ \left(\frac{\epsilon_e}{E} \right)_{i-1} - \left(\frac{\epsilon_u}{E} \right)_i \right\} \left(\frac{\epsilon_e}{\epsilon_y} \right)_i - (1+\beta) \left(\frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} \right)_i^2 = 0 \quad (3)$$

式(3)によって $(\epsilon_e/\epsilon_y)_i$ が得られ、その値を $f_e(\epsilon_e/\epsilon_y)$ に代入することにより、 $(\epsilon_e/E)_i$ の第2近似値を得る。 $(\epsilon_e/E)_i$ の近似値が要求される精度を持つ値に収束するまで、同様の手順を繰り返す。このモデルの曲げモーメント、 M_x は次式によって計算される。

$$M_x = Bt(\sigma_u y_u - \sigma_e y_e) + Et(\epsilon_u d_u^2 - \epsilon_e d_e^2)/3 \quad (4)$$

また、降伏モーメント、 M_{xy} 、および無次元化された曲率、 Φ_x/Φ_{xy} は、それぞれ、次式で表わされる。

$$M_{xy} = 2I\sigma_y/(D+2t), \quad \Phi_x/\Phi_{xy} = (\epsilon_u/\epsilon_y - \epsilon_e/\epsilon_y)/2 \quad (5)$$

このモデルによって計算した繰り返しM- Φ 曲線をFig. 3 に示す。図中の破線は実験値である。Fig. 3より、このモデルによって計算された繰り返しM- Φ 曲線は、おおむね、実験値と一致している。

【参考文献】[1]. Fukumoto, Y., and Kusama, H., "Cyclic Behavior of Plates under In-Plane Loading," *Engineering Structures*, Jan., 1985.

[2]. Fukumoto, Y., and Kusama, H.,

"Cyclic Behaviour of Thin-Walled Box
Stub-Columns and Beams,"
Proceedings of the Third International
Colloquium on Stability of Metal
Structures, Paris, Nov.,
1983, pp. 211-218.

[3]. 草間, 福本「繰り返し荷重を
受ける薄肉箱形断面部材の
モデルについて」
第39回年次学術講演会
概要集.

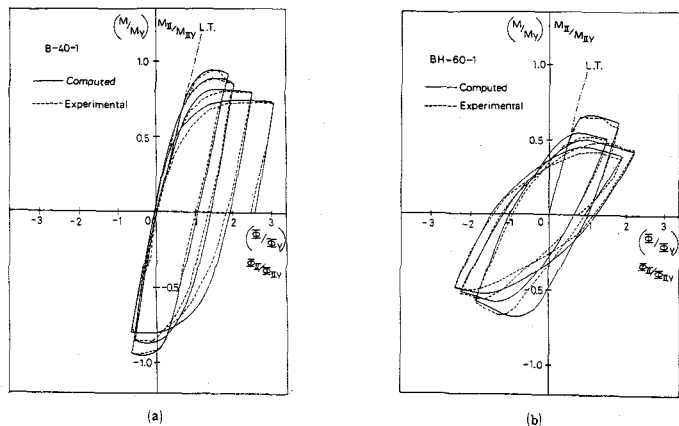


Fig. 3 Comparison of Experimental and Analytical M- Φ Curves for Model