

運輸省 正員 大越 康史
 北海道大学 正員 三上 隆
 北海道大学 正員 芳村 仁

1. はじめに

薄肉I形断面部材は、構造物において使用頻度の高い部材であり、その動的安定性を検討することは重要である。本研究では、両端単純支持されたI形断面部材が、一様な周期圧縮力および一様な周期曲げを受ける場合について解析を行った。解析には断面の変形を考慮するため有限帯板法¹⁾(FSM)を用い、主不安定領域を算出するとともに、梁理論に基づく場合との比較検討を行った。

2. 解析方法

解析にはFSMを用いた。図-1にはその帯板要素を、また式(1)には採用した変位関数を示す。

$$\left. \begin{aligned} u &= \sum_m \left[1 - \frac{x}{b}, \frac{x}{b} \right] \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} \sin \frac{m\pi}{\ell} y \\ v &= \sum_m \left[1 - \frac{x}{b}, \frac{x}{b} \right] \begin{Bmatrix} v_i \\ v_j \end{Bmatrix} \cos \frac{m\pi}{\ell} y \\ w &= \sum_m \left[1 - \frac{3x^2}{b^2} + \frac{2x^3}{b^3}, x - \frac{2x^2}{b} + \frac{x^3}{b^2}, \frac{3x^2}{b^2} - \frac{2x^3}{b^3}, \frac{x^3}{b^2} - \frac{x^2}{b} \right] \begin{Bmatrix} w_i \\ \theta_i \\ w_j \\ \theta_j \end{Bmatrix} \sin \frac{m\pi}{\ell} y \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

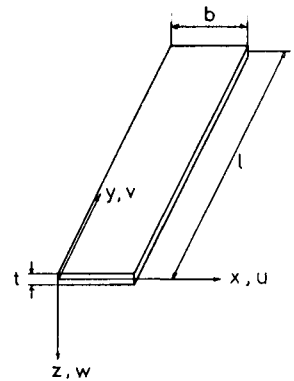


図-1 帯板要素

ただし、数値計算では $m=1$ とした。

図-2に示す一様な周期圧縮力および一様な周期曲げを受ける場合を解析する。構造全体の運動方程式は個々の要素で成立する方程式を重ね合せて、次のように表される。ただし減衰の影響は無視した。

$$[M]\{\ddot{\delta}\} + ([K] - P_0[K_G] - P_t \cos \theta t [K_G])\{\delta\} = \{0\} \quad (2)$$

ここで、 $[M]$ = 質量マトリックス、 $[K]$ = 剛性マトリックス、 $[K_G]$ = 幾何学的剛性マトリックス、 $\{\delta\}$ = 変位ベクトル、 P_0 および P_t は非周期性荷重および周期性荷重の基準となる荷重、 θ は荷重の振動数である。

動的主不安定領域の境界振動数は、次の境界振動数方程式により近似的に求められる。²⁾

$$\left| [K] - (P_0 \pm \frac{1}{2} P_t) [K_G] - \frac{1}{4} \theta^2 [M] \right| = 0 \quad (3)$$

3. 数値計算

図-2に示すように、I形断面部材のフランジ幅をB、フランジ中心間距離をH、フランジおよびウェブの厚さをtとする。計算では $t/H = 50$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ とし、 H/B および ℓ/H をパラメータにとり解析した。分割数はフランジを4分割、ウェブを9分割とした。

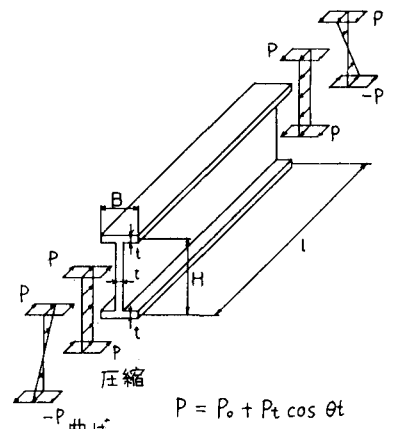


図-2 I形断面部材

i) 一様圧縮荷重が作用する場合

図-3には不安定領域が示されている。ここで縦軸は境界振動数 θ を一定圧縮力 P_0 を受ける棒の固有振動数 Ω の2倍で除した値(ただし、棒の無負荷時の固有振動数を ω 、棒の静的座屈荷重を P_k とおくと $\Omega = \omega \sqrt{1 - P_0/P_k}$ で表される。)、また横軸は励振パラメータと呼ばれる次の無次元量である。 $\mu = P_t/2(P_k - P_0)$

一様圧縮力の作用するI形断面部材の主不安定領域は、パラメーター H/B 、 l/H および P_0/P_k の値にかかわらず、常に図-3の領域で表される。また、この領域は梁理論により得られた結果とよく一致した。図中には、例として $H/B = 2$ 、 $l/H = 1$ の場合のFSMによるスパン中央の振動および座屈のモードが示されているが、一様圧縮の場合は、このように2つのモードは常に同じタイプで得られた。

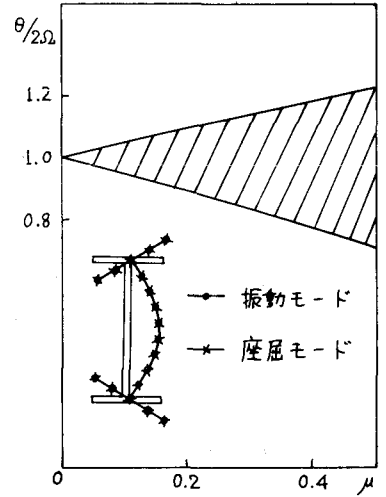


図-3 一様圧縮力が作用する場合の主不安定領域

ii) 純曲げの作用する場合

図-4に $P_0/P_k = 0.5$ 、 $H/B = 4$ とし、種々の辺長比 l/H に対する結果(主不安定領域)を、FSM(実線)、梁理論(破線)の比較で示す。なお図中には、スパン中央のFSMによる自由振動モードと静的座屈モードを示した。これらの図より、辺長比 l/H が小さいときFSMと梁理論による結果は大きな差があるが、 l/H が大きくなるにつれ近接して行くことがわかる。また、モード形状から見ると、ウェブの局部モードの卓越する l/H の小さいときにはFSM値と梁理論値に差が見られ、 l/H が大きくなり、断面がそのまま横方向に移動するとき、両者に差がなくなることがわかる。さらに一様圧縮荷重を受ける場合と同様に、振動モードと座屈モードが類似し、接近すれば、梁理論から算出した不安定領域はFSMのそれにほぼ一致することがわかる。

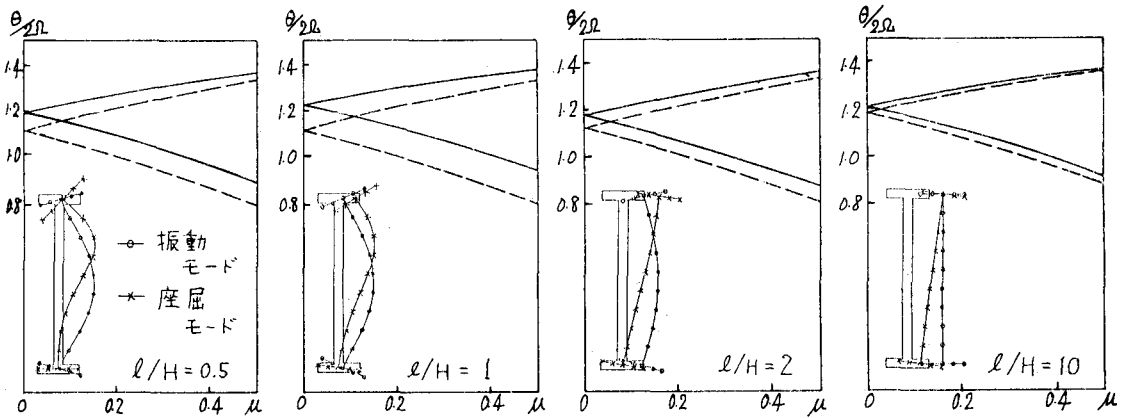


図-4 純曲げが作用する場合の主不安定領域

4. まとめ

以上得られた結果をまとめると次のようになる。

- ① 周期圧縮力を受ける場合、計算手法の影響はなく、不安定領域は同一の形で表された。
- ② 周期曲げを受ける場合、両手法による不安定領域は、辺長比 l/H が大きくなるにつれほぼ同一となる。

参考文献

- 1) Cheung Y.K. : The Finite Strip Method in Structural Analysis, Pergamon Press, 1976
- 2) Bolotin V.V. : The Dynamic Stability of Elastic Systems, Holden-Day, 1964