

伝達マトリックス法による座屈時の変形モードの計算方法について

愛媛大学工学部

正 員 大賀 水田生

NTT

正 員 ○川口 晃 一

ハシフィックコンサルタンツ(株)

正 員 瀬良 敬 二

1. はじめに

薄肉断面部材全体を対象とした座屈解析において、伝達マトリックス法は他の計算法に比較して計算量及び計算機容量に関して優れた解析法であり、数多くの適用例が報告されている。しかしながら、これらの研究では座屈強度及び座屈モードのみに限られており、座屈時の変形モードは取り扱われていない。そこで本研究では、既存の伝達マトリックス法による座屈解析式を発展させ、座屈強度及び座屈モードのみならず座屈時の変形モードをも同時に求めることができる解析プログラムを開発した。

2. 解析理論

本解析法の概略を図-1に示すU型断面部材を例にとり述べる。まず従来の伝達マトリックス法による座屈解析式により、座屈時の座屈係数 k 及び座屈モード m を求める。次に求めた座屈係数及び座屈モードを用いて、各節点間の状態量を関係づける格間伝達マトリックス $F(k, m)$ を作成し、次の伝達計算

$$Z_3 = F_3 \cdot P_2 \cdot F_2 \cdot P_1 \cdot F_1 \cdot Z_0 = U \cdot Z_0, \quad Z = \{ \bar{w}, \bar{\psi}_y, \bar{M}_y, \bar{V}_y, \bar{v}, \bar{u}, \bar{N}_y, \bar{N}_{yx} \}^T \quad \dots\dots (1)$$

を行い、さらに両端の境界条件（両端とも自由）を考慮することにより、初期状態量 Z_0 に関する連立一次方程式が次のように得られる。

$$U' \cdot Z_0 = 0 \quad \dots\dots (2)$$

または、

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{w}_0 \\ \bar{\psi}_{y0} \\ \bar{V}_0 \\ \bar{u}_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots (3)$$

ここで、座屈係数及び座屈モードは、 $|U'|=0$ の座屈条件式より求められているため、式(3)の解は未定となる。そこで、初期未知状態量 Z_0 の一番目の状態量を $\bar{w}_0 \equiv 1$ と仮定し、式(3)を次のように変形する。

$$\begin{bmatrix} a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\psi}_{y0} \\ \bar{V}_0 \\ \bar{u}_0 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} a_{21} \\ a_{31} \\ a_{41} \end{bmatrix} \quad \dots\dots (4)$$

式(4)を解き、一番目の状態量 $\bar{w}_0 \equiv 1$ に対する相対的な初期未知状態量 $Z_0 = \{ \bar{\psi}_y, \bar{V}_y, \bar{u} \}_0^T$ を決定する。求めた初期状態量 Z_0 を用い、再度伝達操作を行いながら各節点での状態量 Z_i を決定し、その状態量を全体座標系に変換することにより薄肉断面部材の座屈時の変形モードが得られる。なお、本解析法のフローチャートを図-2に示している。

3. 数値計算例及び考察

図-3(a)~(c)に示す3種類の薄肉断面部材（L型、U型及びH型断面部材）について、それぞれ形状比 a/b (a :部材長, b :部材幅, $b/t=50$) を種々変化させ座屈解析を行い、座屈時の変形モードを作成した。

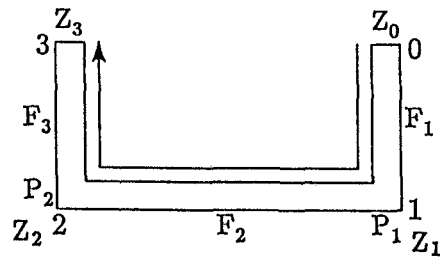


図-1 U型断面部材

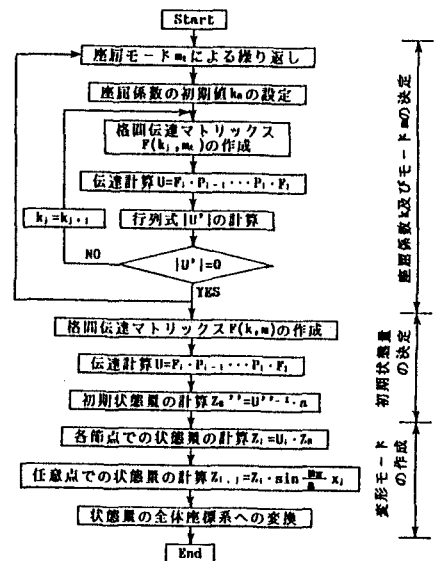
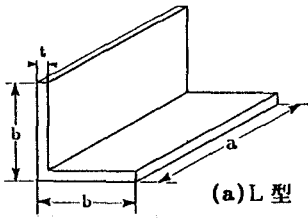
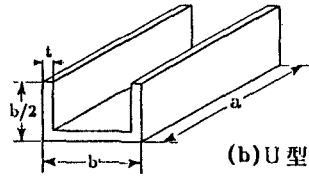


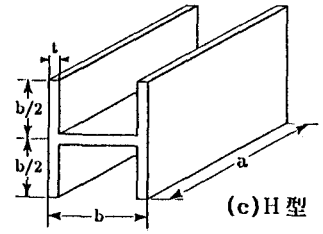
図-2 フローチャート



(a) L型



(b) U型



(c) H型

1) L型断面部材

図-4にL型断面部材の座屈強度曲線及び図-5に形状比 $a/b=1, 20, 100$ での変形モードを示している。形状比 $a/b=1, 20$ においては、断面の接合線は全く変位しておらず、各板パネルが局部座屈を呈している。また、局部座屈モードはいずれの形状比 a/b においても $m=1$ となっている。さらに形状比 $a/b=100$ では、その変形モードより部材全体が梁として挙動する全体座屈を生じている。

2) U型断面部材

図-6にU型断面部材の座屈強度曲線及び図-7に形状比 $a/b=1, 20, 50$ での変形モードを示している。形状比 $a/b=1, 20$ においては、断面の接合線は全く変位しておらず、各板パネルが局部座屈を呈しているが、特にフランジの変形がウェブの変形に比較して大きくなっており、フランジの強度がこのU型断面部材の局部座屈強度を支配しているものと思われる。また、局部座屈モードはそれぞれ $m=1, 15$ となっている。さらに、形状比 $a/b=50$ では全体座屈を呈しており、断面の変形は認められない。

3) H型断面部材

図-8にH型断面部材の座屈強度曲線及び図-9に形状比 $a/b=1, 20, 50$ での変形モードを示している。形状比 $a/b=1, 20$ においては、各板パネルが局部座屈（座屈モードはそれぞれ $m=1, 13$ ）を呈しているが、形状比 $a/b=50$ においては、部材全体が梁として挙動する全体座屈を呈している。

4. 終わりに

本研究で開発した解析理論により、薄肉断面部材の座屈強度及び座屈モードのみならず座屈時の変形モードをも同時に求めることができ、薄肉断面部材の座屈現象の解明に極めて有効である。

図-3 解析モデル

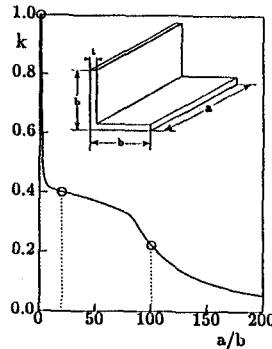


図-4 座屈強度曲線

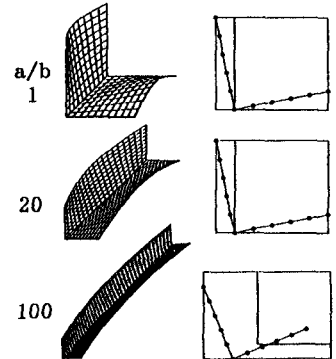


図-5 変形モード

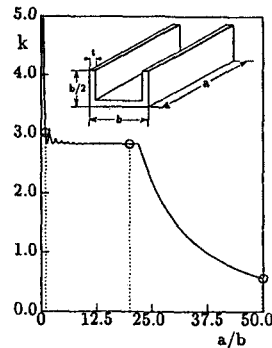


図-6 座屈強度曲線

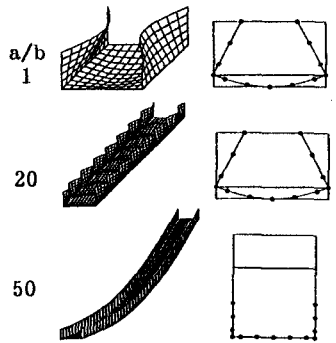


図-7 変形モード

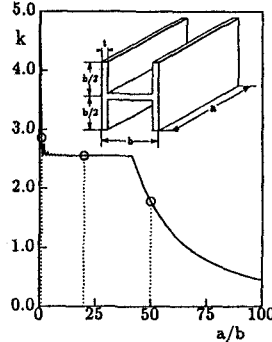


図-8 座屈強度曲線

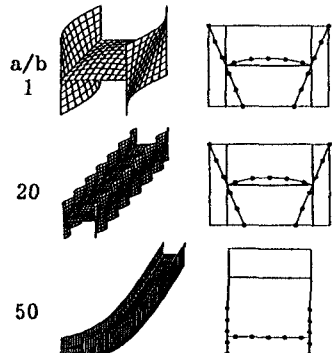


図-9 変形モード