

偏心載荷を受ける I 型梁圧縮フランジの座屈

秋田大学 ○学生員 山崎 由紀子
秋田大学 正 員 後藤 文彦
秋田大学 正 員 薄木 征三

1. はじめに

板や薄肉梁の座屈の問題は、単純支持条件や一様圧縮の条件に対しては多くの解析例が報告されているが、I 型断面梁の圧縮側フランジのように、ウェブ接合部などの中央部が軸線に沿って回転拘束されている板が面外方向の曲げなどにより偏心圧縮を受けるような問題についてはあまり解析例がない¹⁾。そこで本研究では、I 型梁全体を立体要素でモデル化し、圧縮側フランジが偏心圧縮を受ける場合について有限要素法による座屈解析を試みる。

2. 解析モデル

図-1 のように I 型断面梁の上フランジは両端で、図心線上の節点の y 方向変位を拘束し、下フランジは両端ですべての節点変位を拘束する。上フランジの拘束していない各節点には、次式のように偏心率 α に応じて¹⁾、偏心圧縮荷重を分配して載荷する。

$$N = \frac{(\frac{2\alpha}{b}x + 1 - \alpha)N_0}{n_{fy} + 1} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 b はフランジ幅、 n_{fy} はフランジ幅方向の要素分割数、 N_0 はフランジ全断面に作用する合応力としての軸力で、 $\alpha = 0$ のときが一様圧縮、 $\alpha = 1$ のときがフランジの一端で節点の軸方向力が 0 となる三角形分布となる。解析ツールには GPL ライセンスのフリーソフト CalculiX²⁾ の 8 節点アイソパラメトリック直方体要素を用い³⁾、要素分割は、フランジ、ウェブの板厚方向を 4 分割、フランジ幅方向を 8 分割、ウェブ高さ方向を 8 分割、軸方向を 100 分割する。なお、上フランジがウェブと下フランジによってウェブ接合線に沿って回転拘束を受けることを表す回転剛性のパラメータは次式で与えられる¹⁾。

$$\Gamma = \frac{4b}{h_w} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^3 \dots\dots\dots (2)$$

梁の形状は、 $a = \phi \times b$ 、 $b = 304,8\text{mm}$ 、 $h_w = 610.0\text{mm}$ 、 $t_f = 12.7\text{mm}$ 、 $t_w = 9.5\text{mm}$ とし、 Γ は t_w の値を変化させて値を変えた。ここに、 ϕ はアスペクト比、 a は梁の軸長、 h_w, t_f, t_w は、それぞれフランジ図心間距離、フランジ厚、ウェブ厚である。

3. 解析結果

図-2～8 に解析結果を示す。グラフでは最小固有値に対応する座屈荷重と 2 番目に大きい座屈荷重におけるアスペクト比、偏心率の違いによる座屈モードの変化を示した。 m は座屈モードを示す。グラフから、回転剛性が大きいほど座屈荷重は大きくなるのがわかる。最小固有値に対応する座屈荷重について $\Gamma = 0.8, \alpha = 1.5, \phi = 2$ の場合の座屈モードを図-6 に示す。この場合、 $m = 2$ のモードで座屈するが、これは図-6 のようにウェブ接合線に対して逆対称に $\sin 2$ 半波の波形が表れている。二番目に大きい座屈荷重については、例えば、回転剛性が $\Gamma = 0.8$ で偏心率が $\alpha = 0.5$ 、アスペクト比 $\phi = 2$ の場合は、図-7 のように $m = 1$ の $\sin 1$ 半波のモードで逆対称で座屈するが、回転剛性が $\Gamma = 53.5$ と極端に大きい場合、偏心率 $\alpha = 0.5$ 、アスペクト比 $\phi = 2$ で、図-8 のように上フランジの引張側では座屈が生じずに圧縮側で $m = 3$ の $\sin 3$ 半波のモードで座屈する。

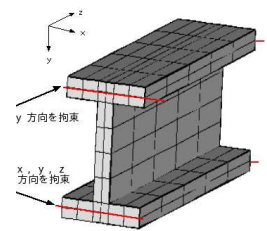


図-1 境界条件

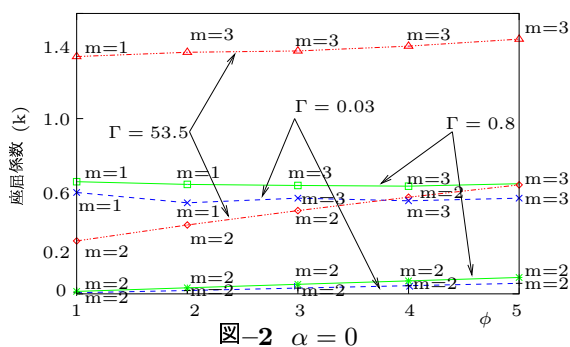


図-2 $\alpha = 0$

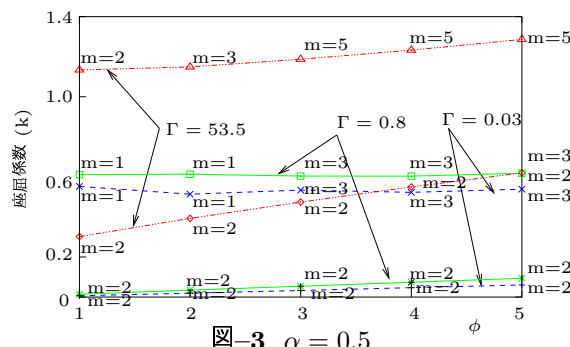


図-3 $\alpha = 0.5$

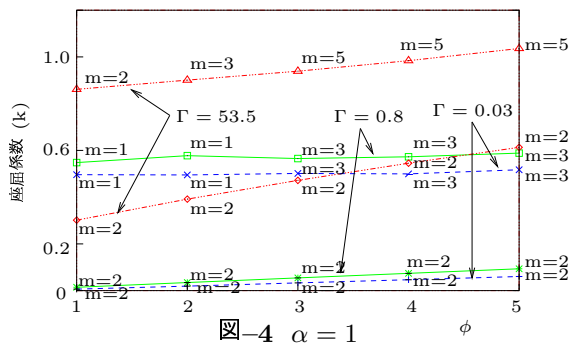


図-4 $\alpha = 1$

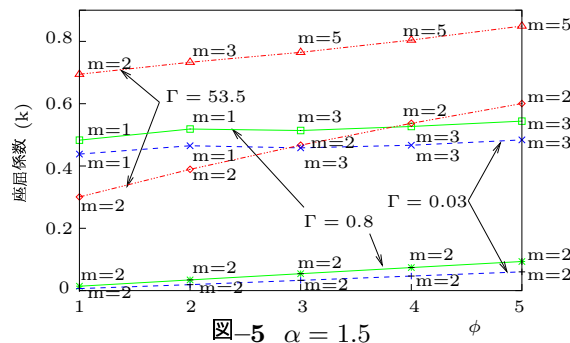


図-5 $\alpha = 1.5$

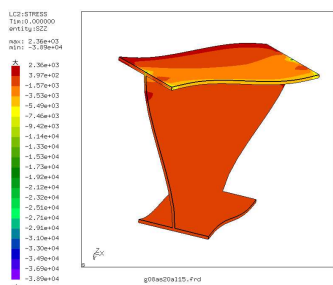


図-6 $\Gamma = 0.8, \phi = 2, \alpha = 1.5$

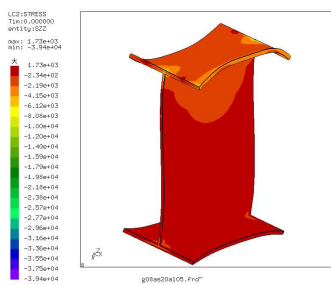


図-7 $\Gamma = 0.8, \phi = 2, \alpha = 0.5$

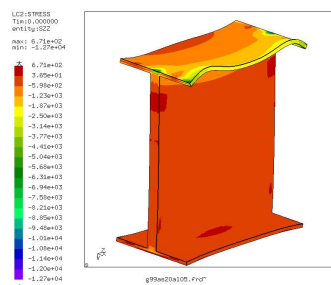


図-8 $\Gamma = 53.5, \phi = 2, \alpha = 0.5$

4. まとめ

ウェブ接合線に沿って回転拘束を受けるフランジが偏心圧縮を受ける場合の座屈を、I 型断面梁全体を立体要素でモデル化し有限要素解析した。ウェブと下フランジによる回転剛性がある程度大きい場合には、偏心圧縮を受けるフランジは、ウェブ接合線に対して逆対称モードで座屈することが確認された。回転剛性が大きいとアスペクト比が同じ場合は、より高次のモードで座屈する傾向がある。また、アスペクト比が大きくなると高次のモードで座屈する傾向がある。今回の解析では最小固有値に対応する座屈荷重における座屈モードは変化がみられなかったが、2 番目に大きい座屈荷重における座屈モードに変化が見られることから、アスペクト比、回転剛性をより大きくとれば最小固有値においても座屈モードの変化が見られるかもしれない。

参考文献

- 1) Mahendrakumar Madhavan, James S. Davidson: Buckling of centerline-stiffened plates subjected to uniaxial eccentric compression, 2005
- 2) <http://www.calculix.de/>
- 3) 大黒屋 信英, 後藤 文彦, 千田 知弘, 薄木 征三: 木材梁の曲げ荷重法とせん断弾性係数の推定精度について, 第 6 回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, pp. 81-86, 2007.