

# I-19 鋼薄肉断面はりの面内強度の簡単な評価法

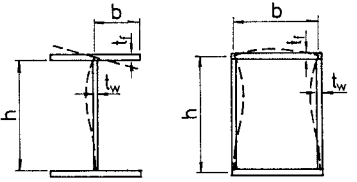
名城大学 正員 ○久保 全弘  
名城大学大学院 学生員 小川春由樹

## 1. まえがき

断面を構成する板要素の局部座屈は部材の面内挙動を検討する上で重要な問題である。はりの場合には、とくに、圧縮フランジが卓越して起こると極限強度の低下を招くとともに変形能力も減少する。一般に、断面性能を確保するために幅厚比制限がなされるが、曲げ部材の場合にも板要素間の相互作用を考慮した検討が必要である。本研究では、薄肉断面はりを対象に断面としての等価幅厚比の簡単な評価法について考え、既往の実験データを用いて面内曲げに対する極限強度を考察したものである。

## 2. 断面の等価幅厚比

薄肉部材の曲げによる局部座屈は、図-1に示すように圧縮フランジとウェブの連成変形を伴って生ずる。このような断面強度は幾何学的形状（幅厚比  $b/t_f$ ,  $h/t_w$ ）と材質（降伏ひずみ  $\sigma_y/E$  とひずみ硬化係数）によって主として支配されるが、板要素間の相互作用を考慮するために断面としての等価幅厚比の選択が問題となる。



(a) I形断面 (b) 箱形断面

図-1 断面形と局部座屈変形

$$R_f = \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_f}} \sqrt{\frac{\sigma_{yf}}{E}}; \quad R_w = \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_w}} \sqrt{\frac{\sigma_{yw}}{E}}$$

..... (1)

と書ける。ここに、弾性座屈係数は板要素の接合辺を単純支持と考えて2軸対称I形断面では  $k_f = 0.43$ 、 $k_w = 23.9$ 、箱形断面では  $k_f = 4$ 、 $k_w = 23.9$ を用いる。なお、上下不等フランジを有する非対称断面の場合は  $k_w$  として応力勾配係数  $\psi$  による次式を利用できる。

$$k_w = 10\psi^2 - 6.284\psi + 7.838 \quad -1 \leq \psi \leq 0 \quad \text{..... (2)}$$

本研究では、断面の等価幅厚比として式(1)で表す2つの値を相乗平均した次式を簡便的に用いる。

$$R_s = \sqrt{R_f R_w} \quad \text{..... (3)}$$

上式を用いた場合の弾性座屈応力に対応する等価座屈係数は、フランジを基準にして表すと

$$k_{fw} = \sqrt{k_f k_w} \alpha \quad \text{..... (4)}$$

ここに、 $\alpha = b t_w / (h t_f)$ 、 $\sqrt{k_f k_w}$  は2軸対称のI形断面；3.206、箱形断面；9.778で与えられる。

次に、曲げを受けるウェブでは後座屈強度が期待できることから、フランジ固定条件（I形断面； $k_{fw} = 1.28$ 、箱形断面； $k_{fw} = 8.97$ ）のみを考え、式(3)の適用範囲を求めると

$$\begin{aligned} & \text{2軸対称I形断面に対し} \quad 0 < \alpha \leq 0.399 \\ & \text{2軸対称箱形断面に対し} \quad 0 < \alpha \leq 0.723 \end{aligned} \quad \text{..... (5)}$$

したがって、式(5)の適用範囲を超えた場合、 $R_s$  は上記の接合辺固定支持の  $k_{fw}$  値を用いてフランジの  $R_f$  で表す。

## 3. 部材の断面強度と幅厚比

曲げに対する抵抗強度の限界状態として全塑性モーメント  $M_p$  と降伏モーメント  $M_y$  を用いて、次のような断面分類が考えられる。1) 塑性設計断面（クラス1）： $M_p$  と所要の塑性変能力を保証できるもの、2) コンパクト断面（クラス2）： $M_p$  を保証できるが変形能力を期待できないもの、3) 準コンパクト断面（クラス3）： $M_y$  を保証できるもの、4) スレンダー断面（クラス4）： $M_y$  が期待できないもの。

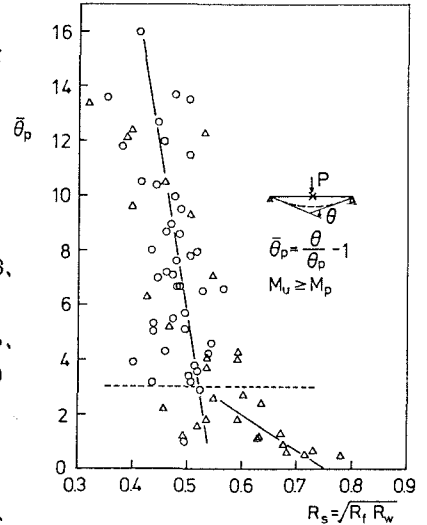


図-2 塑性回転容量と幅厚比の関係

この分類法はEurocode 3、BS 5950、SIA 161、CSA S16.1 の設計規準などで採用されている。

図-2 は I 形断面の塑性回転容量  $\bar{\theta}_p$  と断面の等価幅厚比  $R_s$  の関係を調べたものである。この図から実験値の変動が大きいけれども、 $R_s$  が大きくなると  $\bar{\theta}_p$  が低下する傾向をみることができる。そして、塑性設計（クラス1）に必要な変形能力の  $\bar{\theta}_p \geq 3$  に対応する限界幅厚比を推定すると、 $R_s = 0.52$  程度が求まる。この値から  $R_f = 0.5$  のとき  $R_w = 0.54$  が得られ、CSA S16.1 の制限値 ( $R_f = 0.504, R_w = 0.526$ ) に相応する。

これまで、フランジの幅厚比制限値の設定には十字形断面短柱の実験結果が利用されてきた。図-3 は幅厚比が比較的大きい溶接部材の結果を整理したものであり、極限強度の平均値は  $Q = 1 / (R_f + 0.2)$  で与えられる。

次に、溶接 I 形断面はりの極限強度  $M_u / M_p$  と等価幅厚比パラメータ  $R_s$  の関係を調べた結果を図-4 に示す。実験値は載荷形式により中央集中荷重と2点集中荷重を区別してプロットしてある。このように、 $R_s$  を用いれば、幅厚比が多様に変化する実験値をよく整理できる。極限強度は、等曲げ状態の2点集中荷重の方がわずかに低いが低い傾向にある。この図から極限強度の平均値曲線として、次式が提案できる。

$$Q = M_u / M_p = 1 / (R_s + 0.3) \quad \dots \dots (6)$$

上式からクラス2に対応する限界幅厚比を求めると、 $R_f = 0.6$  のとき  $R_w = 0.82$  となり、AISC LRFD の制限値 ( $R_f = 0.61, R_w = 0.81$ ) に相応する。

図-4 に示したはりの実験値を降伏モーメントで無次元化して図示すると図-5 のようになる。この図からも極限強度の平均値曲線は図-3 の十字形断面短柱と類似形の次式で近似できることがわかる。

$$Q = M_u / M_y = 1 / (R_s + 0.2) \quad \dots \dots (7)$$

上式からクラス3に対応する限界幅厚比を求めると、 $R_f = 0.7$  のとき  $R_w = 0.96$  になり、道路橋示方書の制限値 ( $R_f = 0.7, R_w = 1.1$ ) より少し厳しい値が得られる。

#### 4. あとがき

本研究で用いた断面の等価幅厚比は簡単な表現法であるが、薄肉はり部材の断面強度をよく評価できる。ここでは、既往の I 形断面はりの実験データを用いて強度算定式を導き、面内強度と幅厚比の関係を明らかにした。箱形断面はりについても同様な検討を行っている。

#### 参考文献

- 1) Dawe, J.L. and Kulak, G.L.: Plate instability of W shape, J. Struct. Engng., ASCE, Vol.110(6), 1984.
- 2) Bradford, M.A.: Inelastic local buckling of fabricated I-beams, J. Construct. Steel Research, Vol.7, 1987.
- 3) 吉田信博・西村宜男: 局部座屈を含む鋼 I 形はり断面の極限強度、土木学会第44回年次学術講演会概要集 I-48, 1989.

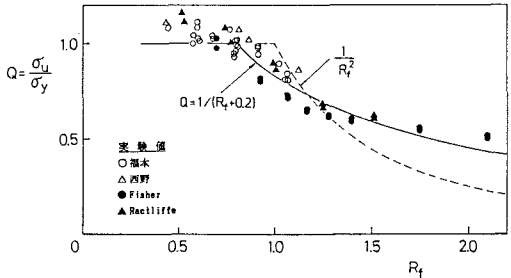


図-3 十字形断面短柱の極限強度

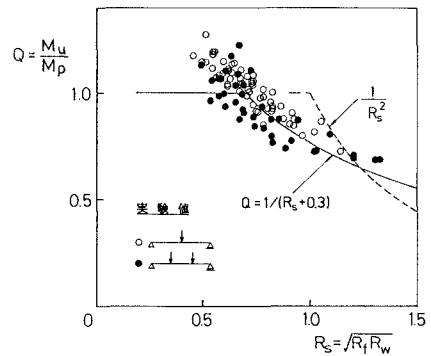


図-4 溶接 I 形断面はりの面内極限強度 ( $M_p$  で無次元化した場合)

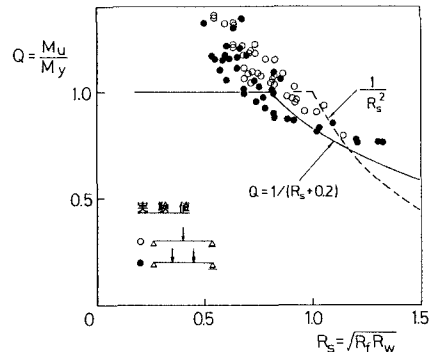


図-5 溶接 I 形断面はりの面内極限強度 ( $M_y$  で無次元化した場合)