

# 鋼はりの局部座屈強度に対する各種推定法の比較

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

鋼曲げ部材の合理的設計法を策定するためには、局部座屈によって支配される面内抵抗強度の適確な評価が不可欠である。文献1)では、はり断面の等価幅厚比を提案し、I形断面はりの強度式を検討した。本報告はI形および箱形断面はりの面内曲げ実験データを用いて、本研究の提案法と既往の研究や設計示方書で採用している推定法との比較検討を行った。

## 2. 局部座屈強度の推定法

### 2.1 本研究の方法

本研究で提案する局部座屈によって決まるはりの面内曲げ強度 $M_u$ の評価式は次のようである。

$$\text{降伏モーメント } M_y \text{ ベース: } M_u/M_y = 1/(R_s + C_y) \leq 1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{全塑性モーメント } M_p \text{ ベース: } M_u/M_p = 1/(R_s + C_p) \leq 1 \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 $R_s$  は断面の等価幅厚比パラメータであり、簡便的に次のように表す。

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

上式にて $R_f$ ,  $R_w$  はフランジと腹板の無次元幅厚比であり、それぞれの幅厚比 $b/t_f$ ,  $h/t_w$ を用いて

$$R_f = \frac{1.052}{\sqrt{k_f}} \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{\sigma_{yf}}{E}}, \quad R_w = \frac{1.052}{\sqrt{k_w}} \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{\sigma_{yw}}{E}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

そして、式(1),(2)の定数 $C_y$ ,  $C_p$  および式(4)の座屈係数 $k_f$ ,  $k_w$  は断面形に応じて次の値を用いる。

I形断面:  $C_y = 0.2$ ,  $C_p = 0.3$ ;  $0 < \beta \leq 0.399$  のとき  $k_f = 0.43$ ,  $k_w = 23.9$

箱形断面:  $C_y = 0.3$ ,  $C_p = 0.4$ ;  $0 < \beta \leq 0.713$  のとき  $k_f = 4$ ,  $k_w = 23.9$

ただし、構成断面寸法比 $\beta = b t_w / (h t_f)$ が上記の適用範囲を超える場合は、フランジと腹板の接合辺を固定支持と考えてI形:  $k_f = 1.28$ , 箱形:  $k_f = 8.97$ を用いて $R_s = R_f$ で与える。

### 2.2 既往の方法

過去の研究や設計示方書で採用している面内曲げ強度の推定法は次のようである。

(1) 断面の全塑性モーメント $M_p$ と降伏限界モーメント $M_r$ に対応する限界幅厚比を定め、断面強度式を幅厚比の関数で直接与える。この手法は米国のAISC LRFD および豪州のAS 1250 の限界状態設計法で採用されている。両手法ともフランジと腹板の局部座屈強度を検討し、その最小値を断面強度とする。

図-1は両手法によるI形断面フランジの局部座屈で決まる場合の強度曲線と本提案による $M_p$ ベースの式(2)と比較したものである。式(2)は断面としての等価幅厚比を用いているためフランジと腹板を別個に照査する必要がなく、幅厚比の全領域で同一式を用いることができる。

(2) 有効幅式から圧縮フランジと腹板の有効断面を求め、その降伏モーメントで極限強度を与える。すなわち、有効断面の断面係数 $W_e$ と全断面の断面係数 $W$ との比によって降伏モーメント $M_y$ を低減させるものであり

$$M_u/M_y = W_e/W \quad \dots\dots\dots(5)$$

と書ける。

そして、本研究で参照した有効幅式(フランジ $\rho = b_e/b$ , 腹板 $\rho = h_e/h$ )は次の3種類である。

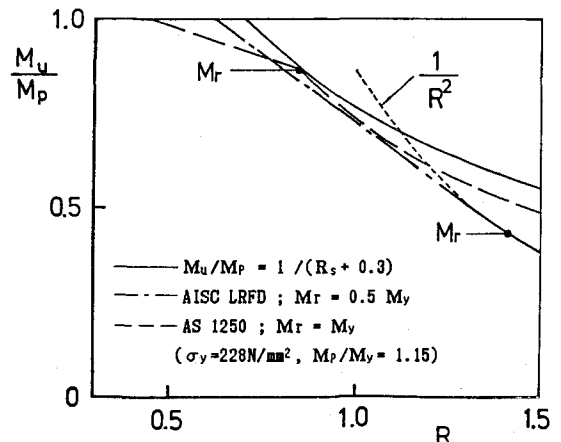


図-1 フランジ局部座屈強度式の比較

宇佐美  $\rho = C / R_f \leq 1$  I形フランジ  $C = 0.85$ ; 箱形フランジ  $C = 0.7$

西村  $\rho = (C/R)^n \leq 1$  I形フランジ  $C = 0.7$ ,  $n = 0.84$ ; 箱形フランジ  $C = 0.7$ ,  $n = 0.88$   
腹板  $C = 1$ ,  $n = 0.72$

Eurocode 3  $\rho = (R - 0.22) / R^2 \leq 1$  ここに、 $R$ は式(4)の $R_f$ または $R_w$ を用いる。

この手法の問題点は有効断面の決定において中立軸の移動があり繰返し計算が必要であること、また $M_y$ を超えて局部座屈が生じる断面に対処できないことである。宇佐美は中立軸の移動を無視し、箱形断面に対する式(5)の算定式を誘導している。そして、この式は $M_p$ を超えた場合にも拡張使用できるとしている。

これに対し、Eurocode 3と西村の手法は断面の基準強度 $M_p$ 、 $M_y$ に対する限界幅厚比を設けて幅厚比の大きさによって断面強度の区分を行い、かつ $M_y$ 以下で座屈が生じるスレンダー断面には上記の有効幅式を適用する。断面強度の区分としてEurocode 3では4クラス、西村の手法では5クラスが提案されている。

### 3. 実験データ

比較検討に用いた薄肉鋼はりの面内曲げ実験データは、表-1に示すように溶接I形断面95個と箱形断面49個である。I形はりの荷重形式は中央集中荷重55個と2点集中荷重40個からなり、AISC LRFD規定のコンパクト断面に対する面外支持条件を満足する実験値である。箱形はりには冷間成形板のつづり合せ材17個が含まれるが、すべて純曲げによる実験値である。実験値の幅厚比構成はその大部分がEurocode 3の断面区分の準コンパクトないしはスレンダー断面に分類される。

### 4. 各種推定法の比較

表-2は面内曲げ実験データを用いて本提案式と上述の推定法を比較した結果であり、実験値と計算値との比に対する平均値 $m$ 、変動係数 $v$ が示してある。

本提案の $M_p$ ベースの式(2)を用いると、I形および箱形断面とも8%以内の誤差で、しかも変動も小さく平均値強度を推定できることがわかる。これに対し $M_y$ ベースの式(1)は両断面形とも10%以上の安全側の評価になる。そこで、式(1)を塑性断面の形状係数 $f$ を配慮して $M_u / M_y \leq f$ まで延長して適用するとI形断面では $m = 1.068$  ( $v = 0.073$ )、箱形断面では $m = 1.094$  ( $v = 0.091$ )が得られ、式(2)と同程度の推定精度になる。

既往の方法は、いずれもI形断面に対して12~19%の安全側を推定する。箱形断面に対しては宇佐美( $M_p$ ベースの式)、西村およびAISC LRFDの手法は13%程度の変動を有するが、ほぼ平均値強度を与える。

### 5. あとがき

本研究の提案式は既往の方法に比べ簡単な評価式であるが、局部座屈による面内曲げ強度を良い精度で与える。そして、断面の基準強度( $M_y$ ,  $M_p$ )に応じて式(1)または式(2)を選択して適用できる。

参考文献 1) 久保・小川: 鋼薄肉断面はりの面内強度の簡単な評価法, 土木学会第45回年次講演概要集 I-19, 1990年9月。

表-1 薄肉鋼はりの実験データ

| 断面形 | データ数<br>N | 構成断面寸法比<br>$\beta = b t_w / h t_f$ | 降伏点応力 (N/mm <sup>2</sup> ) |               |
|-----|-----------|------------------------------------|----------------------------|---------------|
|     |           |                                    | $\sigma_{yf}$              | $\sigma_{yw}$ |
| I形  | 95        | 0.07 ~ 0.29                        | 239 ~ 790                  | 248 ~ 782     |
| 箱形  | 49        | 0.21 ~ 1.37                        | 184 ~ 745                  |               |

表-2 各種推定法の比較結果

| 断面形          | 推定法            | 実験値/計算値 |          |
|--------------|----------------|---------|----------|
|              |                | 平均値 $m$ | 変動係数 $v$ |
| I形<br>(N=95) | 本提案:           |         |          |
|              | $M_y$ ベースの式(1) | 1.155   | 0.104    |
|              | $M_p$ ベースの式(2) | 1.057   | 0.075    |
|              | 宇佐美            | 1.150   | 0.130    |
|              | 西村             | 1.157   | 0.110    |
|              | Eurocode 3     | 1.192   | 0.108    |
|              | AISC LRFD      | 1.120   | 0.133    |
| 箱形<br>(N=49) | AS 1250        | 1.177   | 0.108    |
|              | 本提案:           |         |          |
|              | $M_y$ ベースの式(1) | 1.138   | 0.115    |
|              | $M_p$ ベースの式(2) | 1.058   | 0.092    |
|              | 宇佐美:           |         |          |
|              | $M_y$ ベースの式    | 1.110   | 0.134    |
|              | $M_p$ ベースの式    | 0.978   | 0.139    |
|              | 西村             | 1.032   | 0.130    |
|              | Eurocode 3     | 1.149   | 0.128    |
|              | AISC LRFD      | 0.990   | 0.123    |
|              | AS1250         | 1.350   | 0.183    |