

I-40

局部座屈と横ねじれ座屈を伴う鋼はりの強度

名城大学大学院 学生員 八木孝行
名城大学 正 員 久保全弘

1. まえがき

本報告では、著者らが行った板要素の幅厚比が比較的大きい溶接軽量H形鋼はりとは溶接組立I形鋼はりの横ねじれ座屈実験結果をもとに局部座屈と横ねじれ座屈の連成強度について考察した。

2. 連成座屈強度の評価法

はり断面の局部座屈と部材全体の横ねじれ座屈との連成強度 M_u は、次のように無次元表示できる。

$$M_u/M_n = Q_s \kappa_b \quad \dots(1)$$

ここに、 M_n は基準強度で圧縮フランジ側の降伏モーメント M_{yc} 、または全塑性モーメント M_p を用いる。 Q_s は面内曲げ強度(断面抵抗強度 $M_n=Q_s M_n$)の局部座屈による低減係数、 κ_b は横ねじれ座屈強度の低減係数である。これまで Q_s 、 κ_b の算定法については種々の提案と現行設計示方書への適用がなされている。ここでは、著者らの提案法¹⁾を基本にし、各手法の相違点について述べる。

(1) 評価法 I

この手法は断面強度 M_n を構成板要素の幅厚比の関数で直接与える方法である。低減係数 Q_s を次式から求める。

$$M_n=M_{yc} \text{ の場合 : } Q_s = M_n/M_{yc} = 1/(R_s+0.2) \leq 1 \quad \dots(2)$$

$$M_n=M_p \text{ の場合 : } Q_s = M_n/M_p = 0.88/(R_s+0.2) \leq 1 \quad \dots(3)$$

上式にて、 R_s は断面の等価幅厚比パラメータであり、圧縮フランジと腹板の幅厚比パラメータ R_f 、 R_w を用いて次式で与える。

$$R_s = \sqrt{R_f R_w} \quad \dots(4)$$

$$R_f = \frac{1.052}{\sqrt{k_f}} \frac{b_c}{t_c} \sqrt{\frac{\sigma_{yt}}{E}}, \quad R_w = \frac{1.052}{\sqrt{k_w}} \frac{2h_c}{t_w} \sqrt{\frac{\sigma_{yw}}{E}} \quad \dots(5)$$

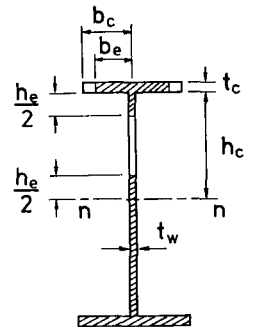


図-1 はりの有効断面

ここに、 b_c は圧縮フランジの半幅、 h_c は腹板の圧縮側高さ。又、座屈係数は構成断面寸法比 $\beta=b_c t_w/(2h_c t_c)$ が $0 < \beta \leq 0.4$ のとき $k_f=0.43$ 、 $k_w=23.9$ の値を用いる。ただし、 $\beta > 0.4$ の場合は、フランジと腹板の接合辺を固定支持と考えて $k_f=1.28$ を用いて $R_s=R_f$ で与える。横ねじれ座屈の基本強度 M_b は柱部材との統一性も考えて、次のPerry-Robertson形公式を用いる。すなわち、低減係数 κ_b は

$$\kappa_b = M_b/M_n = 1/(Y + \sqrt{Y^2 - \bar{\lambda}_b^2}) \leq 1 \quad \dots(6)$$

ここに、 $Y=0.5(1+\alpha(\bar{\lambda}_b-\bar{\lambda}_{b0})+\bar{\lambda}_b^2)$ 、 α は初期不整係数(溶接はり $\alpha=0.25$)。又、修正細長比パラメータは断面強度 M_n と弾性横ねじれ座屈モーメント M_e を用いて次式で表す。

$$\bar{\lambda}_b = \sqrt{M_n/M_e} = \sqrt{Q_s} \sqrt{M_n/M_e} \quad \dots(7)$$

そして、 $\bar{\lambda}_{b0}$ は断面強度に達する限界細長比(溶接はり $\bar{\lambda}_{b0}=0.4$)。

(2) 評価法 II

この手法は基準強度を $M_n=M_{yc}$ と考え、断面強度 M_n を図-1に示す有効断面の降伏モーメントで与える方法である。低減係数 Q_s は、有効断面の断面係数 W_e と全断面の断面係数 W の比によって求められる。

$$Q_s = M_n/M_{yc} = W_e/W \quad \dots(8)$$

図-1に示す圧縮フランジと腹板の有効幅 b_e 、 h_e は式(5)の R_f 、 R_w を用いて、次式から決める。

$$b_e/b_c = (0.7/R_f)^{0.64} \leq 1, \quad h_e/h_c = (1/R_w)^{0.72} \leq 1 \quad \dots(9)$$

そして、横ねじれ座屈強度の低減係数 κ_b は式(6)と(7)を用いるものとする。

(3) 評価法 III

この手法はAISIの冷間加工部材設計示方書に採用されている方法であり、評価法IIと同様に有効幅の概念から Q_s を決める。ただし、式(6)から横ねじれ座屈時の圧縮フランジ応力 $\sigma_{crt} = \kappa_b \sigma_{yt}$ を求め、式(5)に

σ_{yt} , σ_{yw} の代わりに σ_{et} を用いて算定する。又、式(7)にて $Q_s=1$ において $\bar{\lambda}_b=\sqrt{M_{yc}/M_e}$ で与える。

(4) 評価法Ⅳ

この手法は断面強度 M_s を構成板の局部座屈強度による分担モーメントの和として与えるものであり、西村ら²⁾によって提案されている。

$$Q_s = M_s / M_{yc} = (\sigma_{ut} A_c + \sigma_{uw} A_w / 6) / (\sigma_{yt} A_c + \sigma_{yw} A_w / 6) \quad \dots(10)$$

ただし、 $\sigma_{uw} \leq \sigma_{ut}$ とする。ここに、圧縮フランジの断面積 $A_c=2b_c t_c$ 、腹板の断面積 $A_w=2h_c t_w$ とおき、上下不等フランジのI形断面にも適用する。局部座屈強度は、式(9)と同様な式で与える。

$$\sigma_{ut} / \sigma_{yt} = (0.7 / R_t)^{0.84} \leq 1, \quad \sigma_{uw} / \sigma_{yw} = (1 / R_w)^{0.72} \leq 1 \quad \dots(11)$$

その他の算定は、評価法Ⅰに準ずる。

3. 実験データ

強度評価の比較に用いた実験データは、著者らが行った下記の実験結果である。

1) BB, BAシリーズ(溶接軽量H形鋼)

非対称度 $\rho=0.5$ ，構成断面寸法比 $\beta=0.18 \sim 0.28$ ，
幅厚比 $R_t=0.87 \sim 1.07$ ， $R_w=0.51 \sim 0.82$ ； $R_s=0.72 \sim 0.94$

2) DS, MS, MLシリーズ(溶接組立I形鋼)

非対称度 $\rho=0.3 \sim 0.85$ ，構成断面寸法比 $\beta=0.12 \sim 0.27$ ，
幅厚比 $R_t=0.63 \sim 1.32$ ， $R_w=0.53 \sim 0.92$ ； $R_s=0.58 \sim 0.95$

4. 評価法の比較

表-1は実験データを用いて上述の4種類の評価法及びAISC LRFDの手法による推定精度を比較した結果であり、実験値と計算値の比に対する平均値 m ，変動係数 v が示してある。

表-1 評価法の比較

実験データ	評価法	実験値/計算値	
		平均値 m	変動係数 v
BB, BA シリーズ (N=36)	(1) 評価法Ⅰ		
	M_{yc} ベースの式(2)	0.973	0.086
	M_e ベースの式(3)	0.961	0.091
	(2) 評価法Ⅱ	1.056	0.095
	(3) 評価法Ⅲ	1.052	0.096
DS, MS, ML シリーズ (N=36)	(4) 評価法Ⅳ	1.104	0.096
	(5) AISC LRFD	0.884	0.187
	(1) 評価法Ⅰ		
	M_{yc} ベースの式(2)	1.066	0.108
	M_e ベースの式(3)	1.067	0.116
	(2) 評価法Ⅱ	1.107	0.093
	(3) 評価法Ⅲ	1.109	0.093
	(4) 評価法Ⅳ	1.146	0.092
	(5) AISC LRFD	0.924	0.177

その結果、評価法Ⅰでは断面強度の低減係数 Q_s として M_{yc} ベースの式(2)または M_e ベースの式(3)を用いても大差がない。有効幅の概念に基づく評価法ⅡとⅢは、評価法Ⅰより少し低めの強度推定を与えるが、両者の相違はほとんど認められない。評価法Ⅳは、他の手法よりも低めの強度推定を与えるが、変動も小さい。AISC LRFDの手法は10%程度の高めの推定を与える上、変動も大きく連成座屈の評価法としては対応できない。

評価法Ⅰで Q_s として M_{yc} ベースの式(2)を用いて実験データを整理すると、図-2, 3になる。図中には溶接はりに対する式(6)の平均値相当曲線： $\bar{\lambda}_{b0}=0.4$ ， $\alpha=0.25$ 及び下限値相当曲線： $\bar{\lambda}_{b0}=0.2$ ， $\alpha=0.5$ を与えてある。式(6)で $\bar{\lambda}_{b0}=0.2$ ， $\alpha=0.5$ を用いた曲線は実験値の下限をほぼ示している。

5. あとがき

鋼はりの連成座屈強度は式(1)のように局部座屈と横ねじれ座屈強度の積によって評価できる。局部座屈による低減係数の求め方として4種類を比較した結果、評価法ⅠまたはⅡの簡単な手法でも十分適用できることがわかった。

参考文献

- 1) 久保・小川：薄肉鋼はりの極限強度の簡単な評価法，構造工学論文集，Vol. 37A，1991年3月。
- 2) 西村・秋山・松村：曲げを受けるI形断面はりおよびプレートガーダーの強度設計法の一提案，構造工学論文集，Vol. 39A，1993年3月。

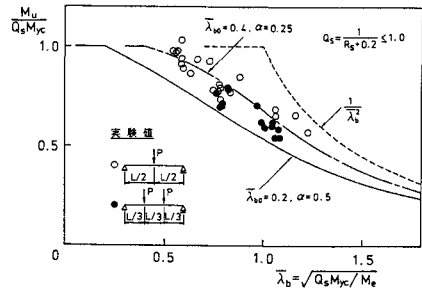


図-2 連成座屈強度($Q_{M_{yc}}$ ベース)

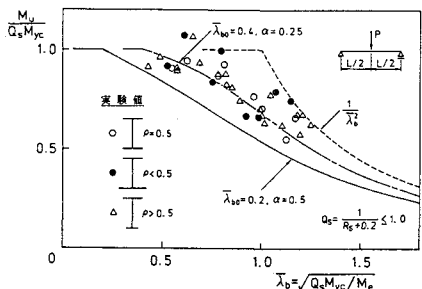


図-3 連成座屈強度($Q_{M_{yc}}$ ベース)