

鋼柱の局部座屈強度に対する各種推定法の比較

名城大学大学院 学生員 ○ 小川春由樹
名城大学 正員 久保 全弘

1. まえがき

薄肉断面鋼柱の極限強度は、断面を構成する板要素の局部座屈と部材全体の座屈によって影響を受ける。局部座屈は隣接する板要素の連成変形を伴って発生するため、厳密な強度評価は複雑となる。文献(1), (2)において局部座屈強度を簡単に評価するための等価幅厚比を提案し、薄肉H形および箱形断面柱の極限強度式の具体的な検討を行った。本報告は、溶接薄肉短柱の実験データを用いて局部座屈によって決まる断面強度に対する各種推定法の比較について述べる。

2. 局部座屈強度の推定法

薄肉鋼柱に対する断面強度の推定法は次の2つに大別できる。

- (1) 等価幅厚比法：板要素間の相互作用を考慮した断面としての等価幅厚比を用いて強度評価式から直接算定する方法。

本研究の方法 H形および箱形柱の断面強度 $Q = P_u / P_y$ として次式を提案する。

$$\text{H形断面 } Q = 1 / (R_s + 0.2) \leq 1 \quad \text{ただし, } 0.188 \leq \beta \leq 0.978 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{箱形断面 } Q = 1 / (R_s + 0.4) \leq 1 \quad \text{ただし, } 0.574 \leq \beta \leq 1.742 \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、構成断面寸法比 $\beta = b t_w / (h t_f)$ 。そして、 R_s は柱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

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

式(4)中の座屈係数はH形断面 $k_f = 0.43$, $k_w = 4$; 箱形断面 $k_f = k_w = 4$ を用いる。なお、式(1), (2)で β が適用範囲を超えた場合は、H形断面 $k_f = 1.28$; 箱形断面 $k_f = 6.97$ を用いて $R_s = R_f$ で与える。また、下まわる場合は、H形および箱形断面とも $k_w = 6.97$ を用いて $R_s = R_w$ で与える。

山尾・崎元 H形断面 $Q = 1 / \{1 + (R_{fw} - 0.6) / 3.4\}^2 \leq 1$

中井・北田 箱形断面 $Q = 0.542 R_{fw}^3 - 1.249 R_{fw}^2 + 0.412 R_{fw} + 0.988 \leq 1$ ただし、 $R_{fw} \leq 1.3$

ここに、 R_{fw} は隣接板による弾性回転拘束を考慮した等価幅厚比で、各提案者によって与えられている。

- (2) 有効断面法：有効幅の概念に基づき各板要素の有効断面を求め、構成板の強度の和から算定する方法。

本研究で参照した有効幅式は次の4種類である。

宇佐美 $b_e / b = C / R \leq 1$

自由突出板 $C = 0.85$; 周辺支持板 $C = 0.7$

西村 $b_e / b = (0.7 / R)^n \leq 1$

自由突出板 $n = 0.64$; 周辺支持板 $n = 0.88$

Eurocode 3 $b_e / b = (R - 0.22) / R^2 \leq 1$

AISC LRFD $b_e / b = (R - C) / R^2 \leq 1$

周辺支持板のフランジ $C = 0.22$; 腹板 $C = 0.18$ ここに、 R は式(4)の R_f または R_w を用いる。

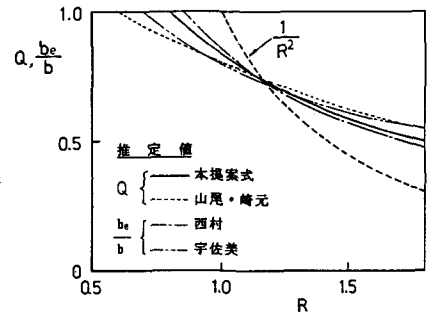


図-1 有効幅式(自由突出板)と強度低減係数(H形)

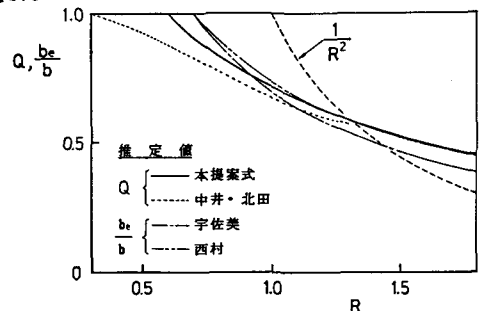


図-2 有効幅式(周辺支持板)と強度低減係数(箱形)

上記の自由突出板に対する有効幅式 b_e/b とH形断面の強度評価式 Q の比較を図-1に示す。また、周辺支持板と箱形断面に対する同様な式を図-2に示す。いずれの式も $1/R^2$ 曲線と $R=1.2\sim 1.4$ 付近で交わる曲線であるが $R<1$ では差異を有する。

3. 実験データ

H形および箱形断面短柱の収集した実験データの構成断面寸法比 β と降伏点応力 σ_y の範囲を表-1に示す。実験データの整理では両端単純支持条件の部材細長比 λ_c が0.2以下のものを短柱とみなした。ヤング率 $E=2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ およびポアソン比 $\nu=0.3$ の一定値を用いた。

H形断面のデータ総数は $N=91$ 個で、 β 、 σ_y ともに多様に変化する実験値である。箱形断面のデータ総数は $N=148$ 個で正方形($\beta=1$)、長方形、補剛材付き断面からなる。補剛箱形の補剛材剛比 γ/γ^* (γ^* :道路橋示方書の必要剛比)は $0.49\sim 4.57$ の範囲であり、5個を除いて $\gamma/\gamma^* \geq 1$ が確保されている。

4. 各種推定法の比較

前述した等価幅厚比法と有効断面法の比較を実験データを用いて行う。表-2は各種推定法による計算結果であり、実験と計算値との比の平均値 m および変動係数 v を与えてある。Bleichの等価幅厚比を用いた計算には本提案式を強度式として用いた。

本研究の提案式(1),(2)による推定精度はH形断面: $m=1.040$ ($v=0.103$)、箱形断面: $m=1.030$ ($v=0.103$)、および補剛箱形: $m=0.981$ ($v=0.076$)である。まず、Bleichと比較すると、箱形では平均値で大差ないが、H形ではその差が大きくBleichの等価幅厚比を用いる方が変動も大きくなる。そして、中井・北田、山尾・崎元の等価幅厚比法の結果よりも精度が良い。

宇佐美、西村の有効断面法は変動も小さく、良い強度評価を与える。Eurocode 3とAISC LRFD法は箱形に対して16%程度の危険側の評価になっている。

5. あとがき

宇佐美および西村が提案する有効幅式を用いた有効断面法は、H形・箱形断面とも良い精度で断面強度を推定する。山尾・崎元および中井・北田の等価幅厚比法はそれより若干精度が悪い。そして、本提案法は簡単な評価式であるけれども有効断面法と大差ない精度を有することがわかった。

参考文献

- 1) 久保・小川: 鋼圧縮部材の局部座屈強度の簡単な評価法, 土木学会中部支部講演概要集 I-10, 1990年 3月
- 2) 小川・久保: 鋼薄肉断面柱の極限強度の一評価法, 土木学会第45回年次講演概要集 I-49, 1990年 9月。

表-1 薄肉鋼短柱の実験データ

断面形	データ数 N	構成断面寸法比 $\beta = b_{tw}/h_{tf}$	降伏点応力(N/mm ²)	
			σ_{yf}	σ_{yw}
H形	91	0.09 ~ 0.50	195 ~ 528	195 ~ 589
箱形	95 a	0.98 ~ 1.01	249 ~ 800	
	27 b	0.74 ~ 4.00	268 ~ 742	
	26 c	1.00 ~ 1.33	242 ~ 588	

a) 正方形断面, b) 長方形断面, c) 補剛材付き

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
H形 (N=91)	本提案	1.040	0.103
	Bleich	1.181	0.175
	山尾・崎元	1.068	0.092
	宇佐美 ^a	1.067	0.075
	西村 ^a	1.071	0.064
	Eurocode 3 ^a	0.915	0.136
箱形 (N=122)	AISC LRFD	1.031	0.130
	本提案	1.030	0.103
	Bleich	1.043	0.128
	中井・北田 ^b	1.112	0.109
	宇佐美 ^a	1.049	0.074
	西村 ^a	0.994	0.066
補剛箱形 (N=28)	Eurocode 3 ^a	0.837	0.195
	AISC LRFD ^a	0.840	0.223
	本提案	0.981	0.076
	宇佐美 ^a	0.972	0.085
	西村 ^a	0.948	0.075
	Eurocode 3 ^a	0.919	0.069
	AISC LRFD ^a	0.897	0.069

a) 有効幅の概念, b) $R_{tw}<1.3$; N=91