

鋼薄肉断面の限界幅厚比の評価法

大阪大学工学部 正会員 西村宣男 大阪大学大学院 学生員 大崎史淳

1. まえがき 鋼骨組構造物を対象とした限界状態設計規準においては、塑性設計を可能とする厚肉断面部材から、部材強度に対して局部座屈強度が支配的となる薄肉断面部材までを含んだ部材強度の包括的評価法を確立する必要がある。現行の各設計規準では、板要素の幅厚比や部材の細長比などを用いて部材強度を評価している。本研究では、降伏強度や塑性強度などの断面強度区分を明確にするために構成板要素の限界幅厚比について検討した。解析には立体板構造を対象とし、ひずみ硬化を考慮した弾塑性有限変位解析プログラムを用いた。鋼骨組部材の代表的断面として全体座屈を生じない短い2軸対称の鋼溶接I形断面および圧延I形断面を対象として、断面が純曲げ、純圧縮および曲げ圧縮を受ける場合について、断面強度が降伏強度まで保証される降伏限界幅厚比および全塑性強度まで保証される塑性限界幅厚比について検討した。

2. 単一板の幅厚比パラメータ 単一板の幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ は次式で与えられる。

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_y}{k\pi^2 E}} \quad \text{ここに } \sigma_y: \text{降伏応力度, } E: \text{ヤング係数, } \nu: \text{ポアソン比, } k: \text{座屈係数}$$

またここで座屈係数 k はフランジでは $k=0.425$ 、ウェブでは純曲げを受ける場合は $k=23.9$ 、純圧縮を受ける場合は $k=4.0$ とし、曲げ圧縮を受ける場合はウェブの上下縁応力比 σ_1/σ_2 をパラメータとして、 $k=4.0$ から $k=23.9$ の間を補間する関数¹⁾として次式を適用した。

$$k = 10(\sigma_1/\sigma_2)^2 - 6.27\sigma_1/\sigma_2 + 7.63 \quad (-1 \leq \sigma_1/\sigma_2 \leq 0)$$

$$k = 8.4/(\sigma_1/\sigma_2 + 1.1) \quad (0 \leq \sigma_1/\sigma_2 \leq 1) \quad \text{ここに } \sigma_1: \text{ウェブの上縁応力, } \sigma_2: \text{ウェブの下縁応力}$$

3. 限界状態 各限界状態は次式のように作用する曲げモーメントと軸力との相関式²⁾で表わされる。

a) 降伏限界 $N/N_y + M/M_y = 1.0$

b) 塑性限界 $0 \leq N/N_y \leq 1/(1+2bt_f/h/t_w)$ の時

$$(1+2bt_f/h/t_w)^2/(1+4bt_f(h+t_f)/h^2/t_w)(N/N_y)^2 + M/M_p = 1.0$$

$\cdot 1/(1+2bt_f/h/t_w) \leq N/N_y \leq 1.0$ の時

$$N/N_y + (1+(1+(h+2t_f)/h) \times 2bt_f/h/t_w)/2/((h+2t_f)/h)/(1+2bt_f/h/t_w) \times M/M_p = 1.0 \quad \text{ここに } b: \text{フランジ幅, } t_f: \text{フランジ厚, } h: \text{ウェブ高, } t_w: \text{ウェブ厚}$$

N : 作用軸力, M : 作用モーメント, N_y : 降伏軸力, M_y : 降伏モーメント, M_p : 全塑性モーメント

4. 応力-ひずみ関係 ひずみ硬化を考慮した弾塑性有限変位解析プログラムを用いる際、ひずみ硬化域での応力-ひずみ関係をどの様に与えるかが問題になる。本研究では既存の研究³⁾を参考にして次式に示すような指数関数をひずみ硬化域での応力-ひずみ関係に用いた。

a) 弾性領域 ($\varepsilon < \varepsilon_y$) $\cdots \sigma/\sigma_y = \varepsilon/\varepsilon_y$

b) 踊り場 ($\varepsilon_y \leq \varepsilon < \varepsilon_H$) $\cdots \sigma/\sigma_y = 1.0$

c) ひずみ硬化域 ($\varepsilon \geq \varepsilon_H$) $\cdots \sigma/\sigma_y = B(\varepsilon/\varepsilon_y)^n$

ここに σ_y : 降伏応力度 (kg/cm^2), ε_y : 降伏ひずみ, ε_H : ひずみ硬化開始ひずみ, B : ひずみ硬化係数, n : ひずみ硬化指数

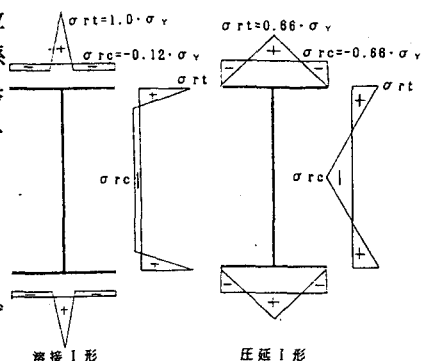


図1 残留応力分布

5. 初期不整 残留応力分布は図1に示すように溶接I形断面

および圧延I形断面とも平均値相当とした。また初期たわみの最大値は平均値相当とし、波形は図2に示す

ように、純曲げ解析では上フランジは直線に、下フランジは初期たわみ無しとし、ウェブは一端固定、他端単純支持のよりの座屈モードと同じ波形とした。純圧縮を受ける場合は上下フランジとも直線状の初期たわみを与え、ウェブの波形は単純正弦 1/2波とした。また曲げ圧縮を受ける場合は純曲げおよび純圧縮を受ける場合に用いた波形を合成したものとした。また、部材軸方向の初期たわみ形状は正弦 1/2波形とした。

6. 極限強度解析 鋼種としてSS41を用い、フランジとウェブの断面積比を断面が純曲げを受ける場合は $A_w/A_f=1.5$ および $A_w/A_f=2.0$ とし断面が純圧縮および曲げ圧縮を受ける場合は $A_w/A_f=2.0$ として、フランジの単一板の幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_{pf}$ とウェブの幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_{pw}$ の組合せをパラメトリックに変化させて解析を行った。さらに断面が曲げ圧縮を受ける場合は次式の値を0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 の5通りに定めて解析を行った。

$c = (N/N_Y) / (M/M_Y)$ ここに N :作用軸力, M :作用曲げモーメント, N_Y :降伏軸力, M_Y :降伏曲げモーメント

例として、溶接 I 形断面が純曲げを受ける場合の降伏および塑性

限界付近つまり 表1 降伏限界モデル (純曲げ) 単位 (cm)

鋼種	$\bar{\lambda}_{pf}$	$\bar{\lambda}_{pw}$	h	t_w	b	t_f	L	N/N_Y
SS41	0.8524	0.8173	103.110	1	44.901	1.531	101.027	0.9817
SS41	0.6389	1.0352	130.607	1	43.784	1.989	96.463	0.9965
SS41	0.4250	1.3077	164.377	1	40.161	2.738	90.361	0.9939
SS41	0.2108	1.5255	192.473	1	30.673	4.183	69.015	1.0004

極限強度が M/M_Y = 1.0 および

$M/M_P = 1.0$ に

ば等しい解析モ

デルの断面積元

および極限強度

を表1~2に掲

げる。

7. 限界幅厚比 極限強度解析より各限界幅厚比を考察した結果を示す。溶接 I 形断面が純曲げを受ける場合について、極限強度を降伏モーメントで無次元化した M_u/M_Y を $\bar{\lambda}_{pf}-\bar{\lambda}_{pw}$ 平面上に等高線として図3に示す。これより $M_u/M_Y=1.0$ で示される降伏限界幅厚比は $\bar{\lambda}_{pf}$ と $\bar{\lambda}_{pw}$ の線形関係にあることが分かる。また図4に溶接 I 形断面および圧延 I 形断面が純曲げを受ける場合について、フランジとウェブの降伏および塑性限界幅厚比の関係を示す。これより圧延 I 形断面について実用的な $\bar{\lambda}_{pw}$ の範囲において、降伏および塑性限界幅厚比は溶接 I 形断面のそれとほぼ等しいことが分かる。また溶接 I 形断面が曲げ圧縮を受ける場合について、 $c = (N/N_Y) / (M/M_Y)$ の値を傾きに、 $\bar{\lambda}_{pw}$ を原点からの距離とする極座標で降伏および塑性限界幅厚比を評価すると図5のようになる。ここで縦軸に溶接 I 形断面が純圧縮を受ける場合の降伏限界幅厚比の解析結果を併せて示す。

ここで縦軸に溶接 I 形断面が純圧縮を受ける場合の降伏限界幅厚比の解析結果を併せて示す。

参考文献 1) 土木学会: 座屈設計ガイドライン (福本啓士編) 第8章板要素, pp177, 1987. 2) 土木学会: 座屈設計ガイドライン (福本啓士編) 第7章はり一柱, pp137-138, 1987. 3) 奈良敬: 面内力を受ける鋼板および補鋼板の極限強度に関する研究, pp69-78, 1986.12.

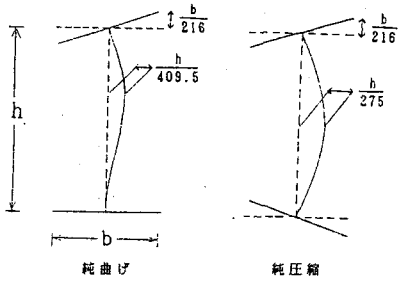


図2 初期たわみ

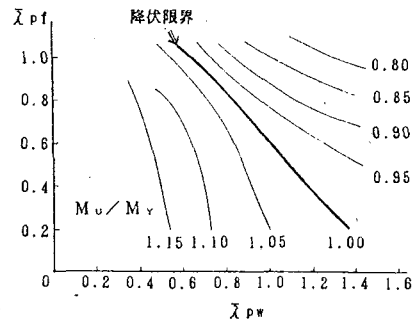


図3 極限強度の等高線(純曲げ)

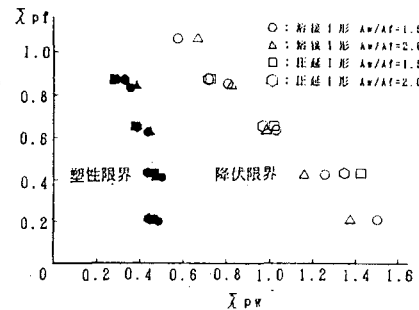


図4 限界幅厚比(純曲げ)

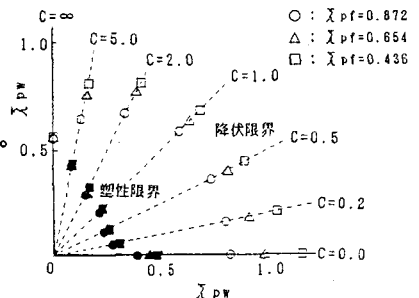


図5 限界幅厚比(曲げ圧縮)