

鋼はり断面の限界幅厚比について

大阪大学工学部 正会員 西村宣男 大阪大学工学部 学生員○大嶋史淳
岐阜大学工学部 正会員 奈良 敬

1. まえがき 構造物の抵抗強度は部材がストッキーで、かつ断面を構成する板要素が厚肉である場合、降伏強度よりもかなり大きい荷重まで抵抗できることが分かっている。本研究では断面の抵抗強度として全塑性強度の利用を可能にするための基礎研究として、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形断面を対象として、断面が純曲げ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 λ_p は次式で与えられる。

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

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 $k=23.9$ 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、 $k=4.0$ (純圧縮)から $k=23.9$ (純曲げ)の間を補間する関数¹⁾として次式を適用した。

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

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

3. 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するかが問題になる。本研究では既存の研究²⁾を参考に図1および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

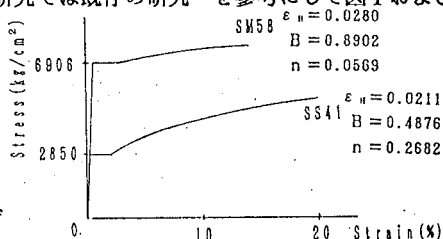


図1 応力-ひずみ関係

4. 初期不整 残留応力分布は図2に示す

ように平均値相当 $\sigma_{rc}/\sigma_Y = 1.0$, $\sigma_{rc}/\sigma_Y = \sigma_{rc}$

0.12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3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、

他端単純支持のはりの座屈モードと同じ波形

とした。また曲げ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波と純曲げを受ける場合に用いた波形と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。

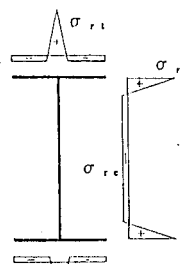


図2 残留応力分布

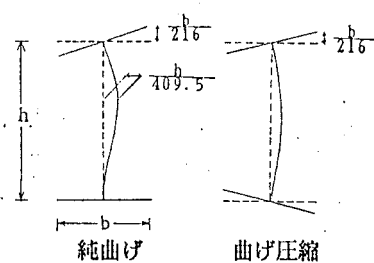


図3 初期たわみ

5. 極限強度解析 鋼種としてSS41およびSM58を用い、フランジの単一板の幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_{pf}$ を断面が純曲げを受ける場合は4通りに、断面が曲げ圧縮を受ける場合は3通りに定め、それぞれの $\bar{\lambda}_{pf}$ に対してウェブの幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_{pw}$ （純曲げ）または $\bar{\lambda}_{pc}$ （曲げ圧縮）を変化させてパラメトリックに解析を行った。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の4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, M/M_Y

N_Y :降伏軸力, 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	M/M _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	43.764	1.989	98.469	0.9385
SS41	0.4250	1.3077	164.977	1	40.161	2.738	90.361	0.9339
SS41	0.2108	1.5256	192.473	1	30.673	4.183	69.015	1.0004
SS41	0.8494	0.8173	103.110	1	38.885	1.326	87.492	0.9890
SS41	0.6361	0.9808	123.732	1	36.890	1.677	83.003	0.9397
SS41	0.4228	1.1987	151.229	1	33.299	2.270	74.924	1.0042
SS41	0.2094	1.4166	178.725	1	25.698	3.491	57.595	1.0220

表2 塑性限界モデル（純曲げ） 単位 (cm)

鋼種	$\bar{\lambda}_{pf}$	$\bar{\lambda}_{pw}$	h	t _w	b	t _f	L	M/M _Y
SS41	0.8411	0.3269	41.244	1	28.398	0.968	63.896	0.9968
SS41	0.6308	0.4359	54.992	1	28.398	1.291	63.895	0.9964
SS41	0.4171	0.4359	54.992	1	23.187	1.581	52.170	1.0949
SS41	0.2047	0.4359	54.992	1	16.396	2.236	36.890	1.0054
SS41	0.8363	0.3269	41.244	1	24.593	0.838	55.335	1.0016
SS41	0.6272	0.4359	54.992	1	24.593	1.116	55.335	0.9381
SS41	0.4142	0.4359	54.992	1	20.080	1.369	45.181	1.0045
SS41	0.2026	0.4359	54.992	1	14.199	1.936	31.948	1.0055

極限強度が $M/M_Y=1.0$ および $M/M_p=1.0$ にほぼ等しい解析モデルの断面諸元および極限強度を表1～2に示す。

6. 限界幅厚比 ここに極限強度解析よりSS41について各限界幅厚比を考察した結果を示す。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図6に示す。この図において破線で示される範囲の内側にある断面は極限強度が降伏モーメントまで保証できると考えられ、実線で示される範囲の内側にある断面は塑性モーメントまで保証できると考えられる。破線および実線は次式で表される。

- 降伏限界(破線) $\bar{\lambda}_{pw} \leq 0.80$ の時 $[\bar{\lambda}_{pf}]_Y = 0.80$
 $0.80 < \bar{\lambda}_{pw} \leq 1.50$ の時 $[\bar{\lambda}_{pf}]_Y = 1.1425(1.50 - \bar{\lambda}_{pw})$
- 塑性限界(実線) $\bar{\lambda}_{pw} \leq 0.35$ の時 $[\bar{\lambda}_{pf}]_Y = 0.80$
 $0.35 < \bar{\lambda}_{pw} \leq 0.40$ の時 $[\bar{\lambda}_{pf}]_Y = 4(0.55 - \bar{\lambda}_{pw})$

また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、曲げ圧縮板としてのウェブの幅厚比 $\bar{\lambda}_{pc}$ を原点からの距離とする局所座標で降伏限界幅厚比を表すと図7のようになる。ここで純圧縮板の降伏限界幅厚比は既存の研究³⁾を参考にして0.7とした。これよりフランジの幅厚比 $\bar{\lambda}_{pf} \leq 0.80$ の範囲において、次式および図7に示すような実線の内側にある断面は極限強度が降伏強度まで保証できると考えられる。

- 降伏限界 $c \leq 2.0$ の時 $[\bar{\lambda}_{pc}]_Y = 0.783$
 $c > 2.0$ の時 $[\bar{\lambda}_{pc}]_Y = 0.70 / \sin(\tan^{-1} c)$

参考文献 1) 座屈設計ガイドライン:土木学会1987, 2) 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1986.12., 3) 土屋義浩, 奈良敬, 森脇良一:圧縮板の耐荷力曲線の統一下への試み, 土木学会第43会年次学術講演会講演概要集1988.10

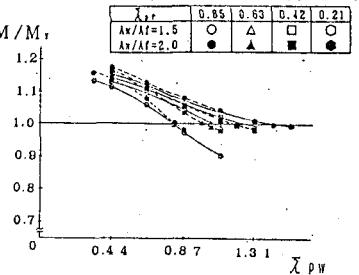


図4 降伏限界に対する極限強度

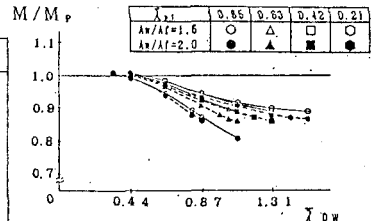


図5 塑性限界に対する極限強度

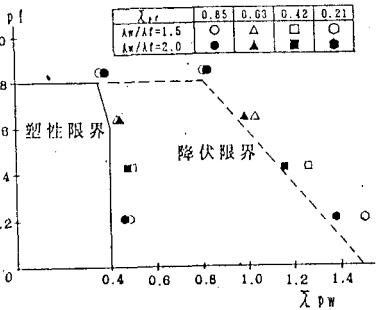


図6 限界幅厚比（純曲げ）

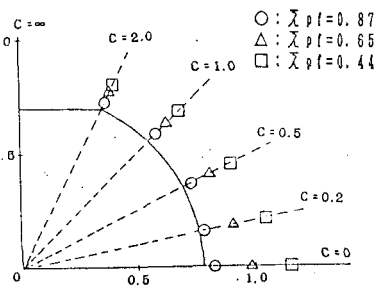


図7 限界幅厚比（曲げ圧縮）