

I-30

鋼はり断面の限界幅厚比について

大阪大学大学院 学生員 大崎史淳
大阪大学工学部 正会員 西村宣男
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は周知の通りである。本研究では断面の抵抗強度として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。代表的断面として全体変形が影響しない短い2軸対称の鋼溶接I形断面を対象として、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。また純曲げ解析においては各設計規準と解析結果の比較を行った。

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。

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

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与えるかが問題になる。本研究では既存の研究²⁾を参考にして図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

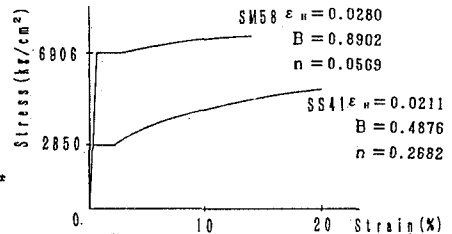


図1 応力-ひずみ関係

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 $\sigma_{rt}/\sigma_Y = 1.0$, $\sigma_{rc}/\sigma_Y =$

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。

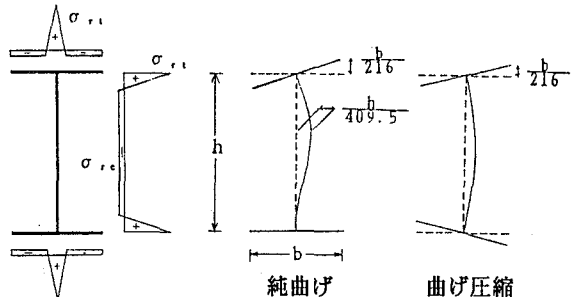


図2 残留応力分布

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 λ_{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 λ_{pf} に対してウェブの幅厚比パラメータ λ_{pw} （純曲げ）または λ_{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。

$$c = (N/N_y) / (M/M_y) \quad \text{ここに } N: \text{作用軸力}, M: \text{作用曲げモーメント}$$

$$N_y: \text{降伏軸力}, M_y: \text{降伏曲げモーメント}$$

ここに例として、SS41断面が純曲げを受ける場合の解析結果を λ_{pf} をパラメータとして図4～5に示す。またSS41の降伏および塑性限界付近つまり極限強度

表1 降伏限界モデル（純曲げ） 単位（cm）

鋼種	λ_{pf}	λ_{pw}	h	tw	b	tf	L	M/M _y
SS41	0.8524	0.8173	103.110	1	44.901	1.591	101.027	0.9817
SS41	0.6389	1.0352	130.607	1	43.784	1.989	98.485	0.9885
SS41	0.4250	1.3077	164.977	1	40.181	2.738	90.361	0.9839
SS41	0.2108	1.5256	192.473	1	30.573	4.183	69.015	1.0004

表2 塑性限界モデル（純曲げ） 単位（cm）

鋼種	λ_{pf}	λ_{pw}	h	tw	b	tf	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	1.0049
SS41	0.2047	0.4359	54.992	1	16.396	2.236	36.890	1.0054

度の数例を表1～2に示す。

6. 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述べる。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6～7に示す。また現行の各設計規準において規定されている限界幅厚比³⁾を併せて図示する。これより構成要素の幅厚比が図6および図7の解析値の分布域より小さい範囲にある断面は極限強度が降伏強度および全塑性強度まで保証できると考えられる。また各設計規準と解析結果を比較すると、降伏限界幅厚比についてはCSA, SIA, DIN およびJSHBが解析値の分布域にほぼ含まれる範囲を規定している。またBSおよびAISCは解析結果より大きい, AIJ73 は小さい限界幅厚比を規定している。塑性限界幅厚比についてはBSおよびAASHTO が解析値の分布域に含まれる範囲を規定しており、その他の各設計規準では λ_{pw} に対して解析結果より大きい値を規定している。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 λ_{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8のようになる。これより $\lambda_{pf} \leq 0.80$ の範囲において、 λ_{pc} が解析値の分布域より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。

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) SSRC: World View II, Stability of Metal Structures, 1989

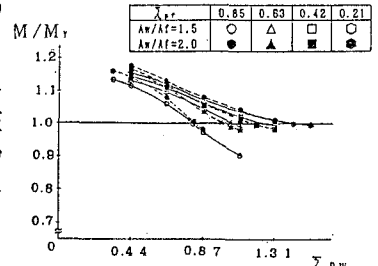


図4 降伏限界に対する極限強度

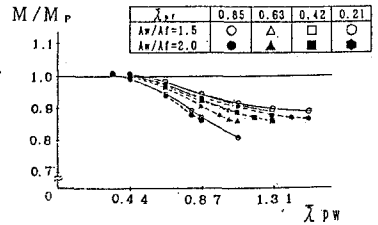


図5 塑性限界に対する極限強度

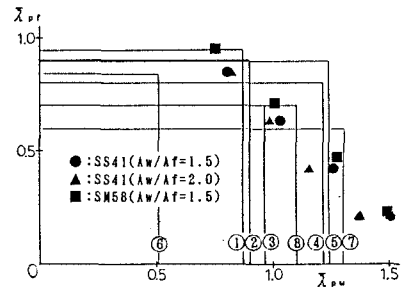


図6 降伏限界幅厚比（純曲げ）

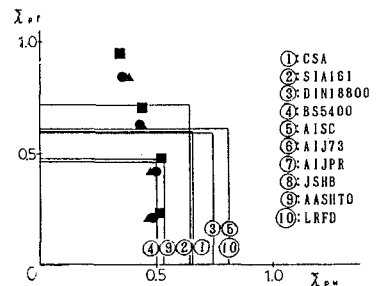


図7 塑性限界幅厚比（純曲げ）

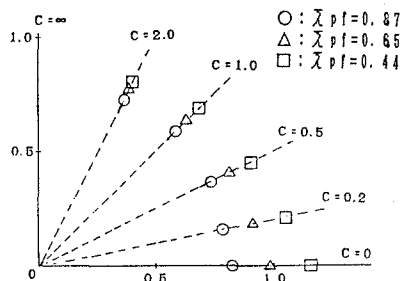


図8 限界幅厚比（曲げ圧縮）