

九州大学工学部 正員 川村 彰 啓
九州大学工学部 正員 大塚 久 哲
九州大学工学部 正員 彦坂 照

1. まえがき 工形断面および箱形断面を有する鋼プレートガーダーの圧縮側フランジには、幅厚比の制限が定められている(鋼道路橋示方書(昭和48年)3.2圧縮力を受ける部材の板厚)。しかしながらこの規定は、一様圧縮応力を受ける矩形板に対して定められたものである。曲線工桁の圧縮フランジではその断面形状が扇形板であり、またその応力状態は曲げ応力の他にフランジの初期曲率による付加応力が生じるために、半径方向に様々では無い。したがって、曲線工桁圧縮フランジの最大幅厚比を定めるには、これらへの考慮が必要があると思われる。本研究は、有限帯板法を用いて曲線工桁の圧縮フランジの局部座屈強度解析を行い、扇形板の中心角、残留応力、境界条件、付加応力が座屈に及ぼす影響を検討し、曲線工桁圧縮フランジの幅厚比制限について考察したものである。

2. 解析理論 解析上の仮定は、文献(1)と同じであり、本研究もBijlaardの塑性変形理論を用いている。面外変位 w の変位関数は次式にて仮定する。

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left(1 - \frac{3}{2}R^2 + \frac{1}{4}R^3 \right) W_{im} + b(R - R^2 + \frac{1}{4}R^3) \psi_{im} + \left(\frac{3}{2}R^2 - \frac{1}{4}R^3 \right) \psi_{jm} + b \left(\frac{1}{4}R^3 - \frac{1}{2}R^2 \right) \psi_{jm} \right\} \sin \frac{m\pi\theta}{\alpha} \quad (1)$$

ただし、座屈モードは θ 方向には $\sin m$ の半波と考えるとよいから、 $m=1$ に対してのみ計算を行えばよい。

扇形帯板要素の座屈変形にともなう和テンシアルエネルギー Π は次式で与えられる。

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_0^{\alpha} \int_{r_i}^{r_o} (M_r X_r + M_\theta X_\theta + M_{r\theta} X_{r\theta}) r dr d\theta - \frac{1}{2} \int_0^{\alpha} \int_{r_i}^{r_o} (r) \left(\frac{\partial w}{\partial \theta} \right)^2 r dr d\theta \quad (2)$$

上式の第1項は面外変形に対する板要素 α のひずみエネルギー、第2項は座屈直前に作用している残留応力を含めた θ 軸方向圧縮応力の和テンシアルエネルギーである。式(2)に和テンシアルエネルギー-停留の原理を用いれば扇形帯板要素の基本式を得る。

3. 曲線工桁フランジの局部座屈強度

(1) 解析モデル 図1に示す外側および内側フランジのモデルを解析する。残留応力分布は溶接型残留応力分布とし、 $\sigma_{rt} = \sigma_r$, σ_{rc} は $\frac{1}{8}\sigma_y$, $\frac{1}{4}\sigma_y$, $\frac{1}{2}\sigma_y$ の3例として計算した。残留応力あるいは付加応力がある場合の弾塑性座屈時の平均座屈応力は次式により算定するものとする。

$$\sigma_{cr} = \sigma_p - \int \sigma_y dr / b \quad (3)$$

ここに、 σ_{cr} : 平均座屈応力度、 σ_p : 作用荷重による応力度、ただし一様圧縮応力状態では σ_p であり、 σ_p がある場合には作用荷重と板の断面積で除した平均応力とする。 σ_y : 降伏応力度 σ_y を越えて板に作用する応力度。

(2) 幅厚比 $(\frac{b}{t})$ とアスヤクト比 (L/b) の関係

内側フランジ・外側フランジの幅厚比はともにアスヤクト比 L/b の増加に伴って一様に減少する。収束が遅い内側フランジでも図-2に示すようにアスヤクト比10程度でほぼ収束しているとみてよい。したがって次項以降では、アスヤクト比10を用いて座屈曲線を描いた。

(3) 残留応力・中心角の影響 矩形板の座屈曲線は残留応力の大小にかかわらず、 $R_r = 0.7$ でほぼ σ_{cr}/σ_y は1に達するが一様圧縮応力を受

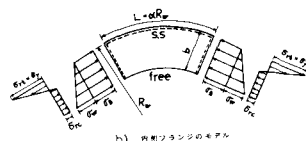
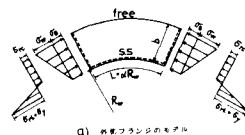


図1 解析モデル

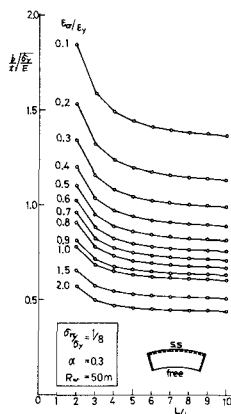


図2 幅厚比-アスヤクト比曲線

ける ($\sigma_{cr}/\sigma_y = 0$)、中心角 0.05 と 0.3 ラジアン の外側および内側フランジの座屈曲線においても、中心角・残留応力の大きさにいかかわらず $R_{cr} = 0.69 \sim 0.71$ 程度で $\sigma_{cr}/\sigma_y = 1$ に達することを確認められた。1例として図3に $\alpha = 0.3$ の場合の外側フランジ座屈曲線を示す。

(4) 付加応力の影響 付加応力 σ_a のある場合でも σ_a が一定であれば、 $\sigma_{cr}/\sigma_y = 1$ に近いところの座屈曲線は残留応力の大きさの影響をほとんど受けて、1本の曲線に収束することを確認められた。そこで付加応力だけの影響をみるために、残留応力 $\sigma_{cr} = \sigma_y$ に固定して、 σ_{cr}/σ_y を $0, 0.5, 1$ の3通りに変化させて、外側および内側フランジの座屈曲線と図-4.5を得る。内図から、付加応力の有無とその大きさによる R_{cr} の変化は、前にみた中心角・残留応力いずれの影響による変化よりも大きいことがわかる。表1は残留応力 $\sigma_{cr}/\sigma_y = \sigma_y$ のときの R_{cr} の値と、中心角および付加応力をパラメータにまとめたものである。

(5) 幅厚比制限の提案 (3)で考察したように残留応力・中心角の変化は R_{cr} にほとんど影響を及ぼさず、矩形板同様 $R_{cr} = 0.7$ とみわけてよい。ところが表1にみられるように付加応力の影響は、これらに比べて無視できないほど大きく、付加応力のある曲線工のフランジ幅厚比制限に直線工のフランジ幅厚比の規定をそのまま適用することには問題がある。そこで表1で R_{cr} が最も小さくなる中心角 0.3 ラジアン の外側フランジの R_{cr} を用いて、曲線工の自由突出部の幅厚比を各種鋼材に対して求めると表2を得た。

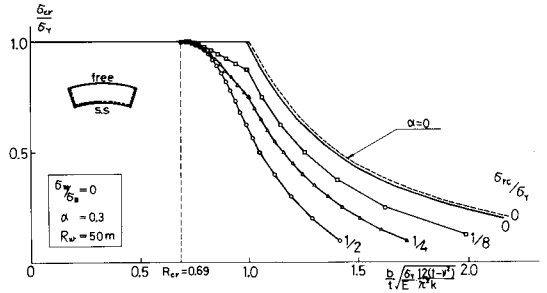


図3 外側フランジの座屈曲線

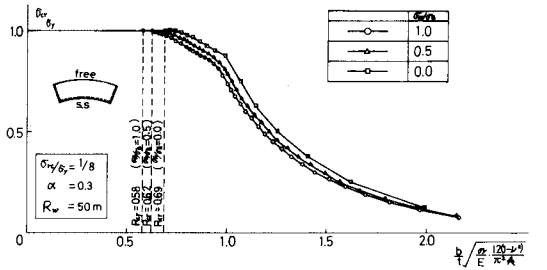


図4 外側フランジの座屈曲線に及ぼす付加応力の影響

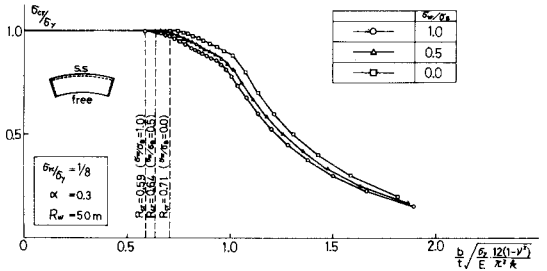


図5 内側フランジの座屈曲線に及ぼす付加応力の影響

表1 各モデルの R_{cr}

	中心角	$\sigma_{cr}/\sigma_y = 0.0$	$\sigma_{cr}/\sigma_y = 0.5$	$\sigma_{cr}/\sigma_y = 1.0$
		R_{cr}	R_{cr}	R_{cr}
矩形板	0	0.70	0.63	0.58
	0.05	0.69	0.63	0.58
外側フランジ	0.30	0.69	0.62	0.58
	0.05	0.70	0.63	0.58
内側フランジ	0.30	0.71	0.64	0.59
	0.05	0.69	0.63	0.58

表2 自由突出部の幅厚比

鋼材	σ_a	$\sigma_{cr}/\sigma_y = 0.0$	$\sigma_{cr}/\sigma_y = 0.5$	$\sigma_{cr}/\sigma_y = 1.0$
		$R_{cr} = 0.69$	$R_{cr} = 0.62$	$R_{cr} = 0.58$
		b/t	b/t	b/t
SS 41	1 400	13	12	11
SS 50	1 700	12	11	10
SM 50	1 900	12	10	9
SM50Y	2 100	11	10	9
SM 58	2 600	10	9	8

参考文献

- 1) 大塚・吉村・片桐: 有限要素法による曲線工の弾塑性座屈強度解析, 第34回土木学会年次学術講演会概要集, 1979, 10
- 2) 橋本・伊藤: フランジの局部座屈強度とフランジ幅厚比制限, 土木学会論文集, 160号, 1968, 10
- 3) 西野・Tall: Residual Stress and Local Buckling Strength of Steel Columns, 土木学会論文集, 172号, 1969, 12
- 4) Culver・Frampton: Local Instability of Horizontally Curved Members, Proc. of ASCE, Vol. 96, No. ST2, Feb. 1970.