

I-A 268 曲線プレートガーダーのフランジ板の極限強度に関する解析的検討

琉球大学 正員 有住 康則
 琉球大学 正員 矢吹 哲哉
 (株)オモト建設 正員 成底 弘敏

1. まえがき

曲線プレートガーダーの終局挙動を精度良く把握するためには、構造材料の非線形挙動のみならず、曲線桁構造の全体座屈、曲線桁を構成する鋼板要素の局部座屈、及びそれらの連性座屈強度特性を明確にする必要がある。しかしながら、曲線桁を構成するフランジ板及びウェブ板の極限強度に関する研究は少なく、極限強度把握のための十分な基礎的資料は整っていないのが現状である。そこで本研究では、初期たわみと残留応力を有するI形断面を有する曲線桁のフランジ板（以下扇形板と称する）に面内圧縮力と曲げ（そりによる面内曲げ）が作用した場合の極限強度特性を解明するため、扇形板をアイソパラメトリックシェル要素でモデル化し、弾塑性有限変位理論に基づいて解析を行った。まず初めに扇形板の極限強度に影響を及ぼすと考えられる因子を種々変化させてパラメトリック解析を行い、極限強度特性について検討し、次にパラメトリック解析結果に基づいて面内圧縮力及び曲げを受ける扇形板の極限強度評価法に関する実用算定式の提案を行った。

2. 解析法及び解析モデル

本研究では、初期たわみ及び残留応力を有する扇形板をアイソパラメトリックシェル要素でモデル化し、弾塑性有限変位解析を行った。解析では、更新ラグランジュ法による増分理論に基づいて定式化を行い、材料非線形挙動は、Von Misesの降伏条件及びPrandtl-Reussの塑性流れ理論に従うものとし、解析に用いた材料は等方等質材料で、ひずみ硬化則及び線形除荷則に従うものとした。なお、数値解析では変位増分法を用い、Newton-Raphson法に基づく繰返し計算を行い、解が十分に収束していることを確認した。解析に用いたモデルは、図-1に示すI形断面曲線桁の圧縮フランジ板である扇形板要素であり、境界条件は、載荷辺側と扇形板中央部がそれぞれ垂直補鋼材とウェブで支持されているものとしたたわみに対して単純支持とした。初期たわみは幅方向に線形分布で、橋軸方向に正弦1次波形で仮定した。残留応力は載荷方向及び厚さ方向に一定値を持つ矩形分布として自己平衡となるように導入した。載荷は、載荷辺に剛棒を取り付けその任意点に相対圧縮変位を与えることにより、扇板に圧縮力と曲げを導入した。解析に用いたパラメーター及びそれらの変動範囲を表-1に示す。

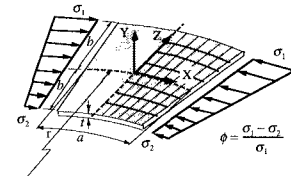


図-1 解析モデル

表-1 解析パラメーター及びその変動範囲

Item (1)	Symbol (2)	Range of values (3)
Aspect ratio	a/b	0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0
Width-thickness ratio	R	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4
Initial imperfection	w_0	$b/150$
Residual compressive stress	σ_{rc} / σ_y	0.0, 0.2, 0.3, 0.4
Central angle	a/r	0.0, 0.01, 0.025, 0.05
Stress inclination	ϕ	0, 0.5, 0.8, 1.2, 1.5

3. 終局強度特性

(1) アスペクト比の影響

アスペクト比が極限強度に及ぼす影響を調べる目的で曲率パラメーター $a/r=0.03$ 、残留圧縮応力度 $\sigma_{rc}=0.3\sigma_y$ 、応力勾配 $\phi=0$ と固定し、幅厚比パラメーターを $R=0.8, 1.2, 1.4$ 、アスペクト比を $a/b=0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0$ と変化させ解析を行った。なお、幅厚比パラメータは次式のように定義される。

$$R = \sqrt{12(1-\nu^2)/K} \cdot \sqrt{\sigma_y/E} \cdot (b/t)/\pi \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 K は弾性座屈係数であり、片縁支持板としての $K=0.425$ を用いた。解析結果を図-2に示す。図より明らかなように、アスペクト比が $a/b=4.0$ では極限強度が最小値を示すか、或いは $a/b > 4.0$ で強度の減少の割合が鈍化している。そこで本研究では、アスペクト比として $a/b=4.0$ を以下の計算において用いたが、実用上問題はないものと考えられる。

(2) 曲率の影響

アスペクト比 $a/b=4.0$ を有する扇形板について、曲率パラメーターを $a/r=0.0\sim 0.05$ と変化させて解析を行い、曲率の違いが極限強度に与える影

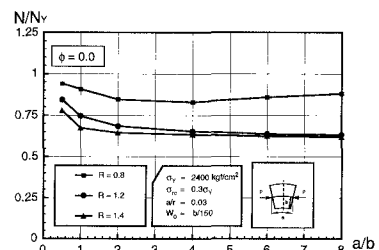
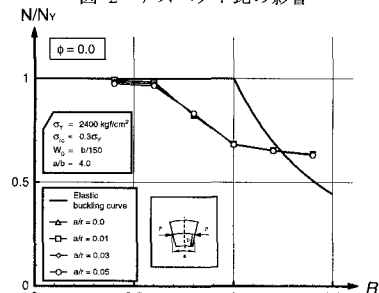


図-2 アスペクト比の影響

図-3 曲率の影響 ($\phi=0$)

響について検討を行った。極限強度と幅厚比パラメーター R の関係を、 $\phi=0$ の場合について図-3に、 $\phi=1.5$ の場合について図-4にそれぞれ示す。図より明かなように、本研究で適用した曲率パラメーターの範囲内($a/r=0.0\sim0.05$)では、応力勾配の違いに関わらず曲率が極限強度に及ぼす影響はほとんど見られない。

(3) 応力勾配の影響

アスペクト比 $a/b=4.0$ 、曲率パラメーター $a/r=0.03$ 、残留応力度 $\sigma_{rc}=-0.3\sigma_y$ を有する扇形板について、応力勾配を $\phi=0.0, 0.5, 0.8, 1.2, 1.5$ と変化させ解析を行った。極限強度と幅厚比パラメーターの関係を図-5と図-6に示す。なお、図-5の縦軸は軸力 N を軸力のみが作用した場合の降伏軸力 N_y で無次元化して示し、図-6では軸力 N と曲げモーメント M を降伏軸力 N_y と降伏曲げモーメント M_y で無次元化し、その和 $N/N_y+M/M_y$ で示してある。それらの図より明かなように、応力勾配が増加するにつれてフランジ板の軸力の分担強度が、面内曲げモーメントの増大に従って当然のことながら低下している。

4. 曲線桁フランジ板の極限強度実用算定式の提案

パラメトリック解析結果に基づいて、曲線桁フランジ板の軸力に関する極限強度実用算定式の提案を行う。なお、解析では最大初期たわみの上限値は道路橋示方書¹⁾の制作誤差の最大許容値($w_0=b/150$)を、アスペクト比は $a/b=4.0$ 、曲率パラメーターは $a/r=0.03$ 及び残留応力度の上限値は $\sigma_{rc}=-0.3\sigma_y$ を用いた。まず初めに、純圧縮が作用する場合($\phi=0$)について解析で得られた極限強度と幅厚比パラメーターの関係を示す近似曲線を最小二乗法を用いて求めた。次に、圧縮と曲げが作用する場合については、全断面塑性状態に達したときのフランジ面内の曲げを考慮した降伏軸力 N_y^* を導入して考慮することにした。最終的に曲線桁フランジ板の軸力に関する極限強度実用算定式は次式のように表わすことができる。

$$N/N_y^*=1 \quad ; R \leq 0.551 \quad \dots\dots\dots (2.a)$$

$$N/N_y^*=(0.551/R)^{0.535} \quad ; R > 0.551 \quad \dots\dots\dots (2.b)$$

ここで、全断面塑性状態に達したときのフランジ面内の曲げを考慮した降伏軸力 N_y^* は、図-7より次式のように定義される¹⁾。

$$N_y^*=(1-\xi)A_f\sigma_y \quad ; A_f=2bt \quad \dots\dots\dots (3.a,b)$$

$$\xi=1+|M/Nb|-\sqrt{1+(M/Nb)^2} \quad \dots\dots\dots (3.c)$$

ここで、 ξ は圧縮フランジの反り応力による引張降伏領域を表す無次元幅である。図-8に軸力に関する極限強度実用算定式と本解析結果の比較を示す。図から明かなように、式(2)で提案した軸力に関する極限強度算定式は、解析結果のはば下限値を与えている。これより本算定式は、実用範囲において圧縮と曲げが作用する曲線桁フランジ板の軸力に関する極限強度の下限値を精度よく評価していると考えられる。

5. あとがき

本研究では残留応力及び初期たわみを有するI形断面曲線桁のフランジ板について弾塑性有限変位解析を行い、その解析結果に基づいて面内圧縮力と曲げ（そりによる面内曲げ）が作用した場合の軸力に関する極限強度実用算定式を提案した。

参考文献：1) 藤井 堅・中岡 智昭：曲線プレートガーターの曲げ耐力推定式、構造工学論文集，Vol.41A，pp.313-320，1995。

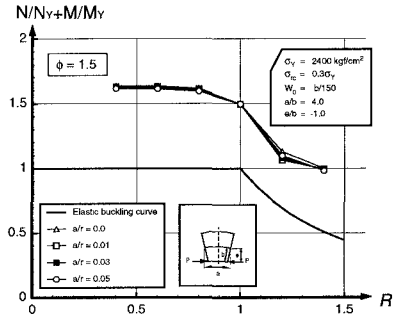


図-4 曲率の影響 ($\phi=1.5$)

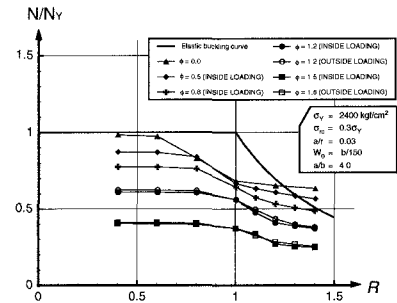


図-5 応力勾配の影響

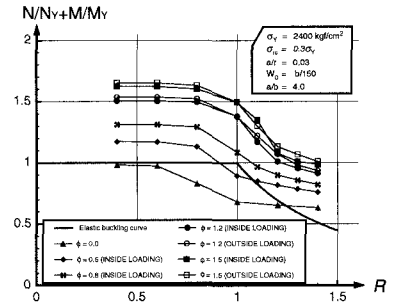


図-6 応力勾配の影響

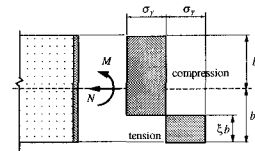


図-7 全断面塑性状態の応力分布

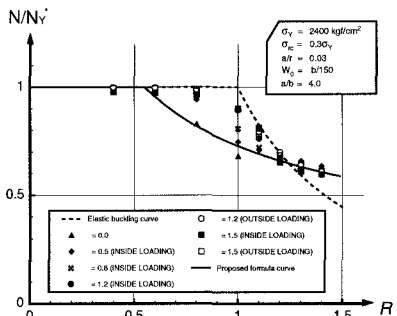


図-8 実用算定式と解析結果の比較