

I-61

フランジ面内曲げを考慮した曲線プレートガーダーの曲げ挙動について

東北学院大学○正 員 菅井幸仁

東北学院大学 正 員 樋渡 滋

東 北 大 学 正 員 倉西 茂

1. まえがき

曲線プレートガーダーを有限要素法によって幾何学的非線形および材料非線形を考慮して曲げ解析を行う場合、円筒シェル要素によってウェブをモデル化し、扇形平板シェル要素によってフランジをモデル化することは幾何学的あるいは計算過程における収束性を考えると非常に好ましいことである。しかし、円筒シェル要素によってウェブをモデル化し、Brebbia⁽¹⁾の方法によって非線形解析を行うことができて、同様の方法を扇形平板シェル要素によるフランジの非線形解析を行うには問題がある。これは、Brebbiaの方法は一定曲率半径をもった円筒の非線形解析を対象としているためである。本研究では、三角形平板シェル要素と移動座標系を使用したMurry-Wilson⁽²⁾の方法を利用して、曲げモーメント荷重 M と上下フランジに作用する垂直軸回りの曲げモーメント荷重 M_f を考慮し、フランジおよびウェブの挙動を荷重増分ごとにとらえ、耐荷力に至るまでの曲線プレートガーダーの曲げ挙動を正確に把握することを目的とした。

2. 解析方法および解析パラメーター

解析対象として、水平補剛材をもたない断面が二軸対称である曲線プレートガーダーから上下フランジも含めて垂直補剛材で囲まれた部分を取り出した。材料は、ヤング率 $E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、降伏応力 $\sigma_y=2400 \text{ kg/cm}^2$ の等方性完全弾塑性体とし、Von Misesの降伏判定条件、およびPrandtl-Reussの塑性流れ理論に従うものとした。

有限要素分割は対称性を利用し、解析対象の右半分についてフランジも含めて横方向を5等分、ウェブ縦方向を10等分した。また、フランジの幅方向を6等分した。また、各要素の板厚方向への塑性化の広がりを考慮できるように8層に層割りをを行った。

境界条件は垂直補剛材位置において単純支持とし、曲率半径方向および垂直補剛材の軸方向(鉛直方向)の変位を拘束した。

荷重としては、各プレートガーダーに配分される曲げモーメント M と上下フランジに作用する垂直軸回りの曲げモーメント M_f である。 M_f の算定には小松⁽³⁾の考え方を参考とした。曲げモーメント M によってフランジに生じる応力を σ_b とすると、ウェブの応力も考慮したフランジ軸力 P は $P=\sigma_b(A_f+Aw/6)$ となる。曲線プレートガーダーは曲率を有するため、単位長さあたりの曲率半径方向の力 q は $q=\sigma_b(A_f+Aw/6)/R$ となる。フランジを横桁および横構において支点を有する連続ばりと仮定し、等分布荷重 q を作用させる。支点間距離を l とし、 M_f のプラス、マイナスの最大値を3径間以上について求めると、 $M_f=+0.08ql^2$ 、 $M_f=-0.107ql^2$ となる。

解析に使用したパラメーターはウェブ幅厚比($\lambda=h/t$)およびウェブ形状比($\alpha=l/h$)、フランジウェブ断面積比($\beta=A_f/Aw$, A_f :上下フランジ各々の断面積, Aw :ウェブ断面積)、およびフランジの脚突出幅厚比($\lambda'=W_f/2/t_f$, W_f :フランジ幅, t_f :フランジ厚)である。また、ウェブ曲率半径 $R=30\text{m}$ 、ウェブ高さ $h=120\text{cm}$ 、横桁あるいは横構間距離 $l=6\text{m}$ 、およびフランジの脚突出幅厚比 $\lambda'=16$ と一定とした。

3. 数値解析結果

図-2Aは曲率半径 $R=30\text{m}$ 、ウェブ形状比 $\alpha=1.0$ 、ウェブ幅厚比 $\lambda=152$ 、ウェブ高 $h=120\text{cm}$ 、フランジ脚突出幅厚比 $\lambda'=16$ 、および支点間距離 $l=6\text{m}$ において、ウェブ中央断面、圧縮フランジより $0.2h$ の位置における曲率外

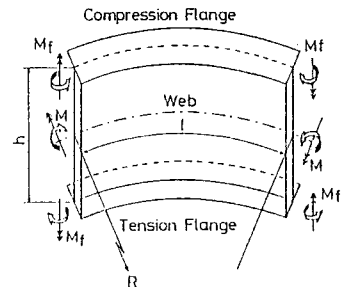


図-1 解析対象

側方向への面外変位 w をウェブ厚 t_w で無次元化した w/t_w と曲げモーメント M を直線プレートガーダーでいう降伏曲げモーメント M_y で無次元化した M/M_y との関係をフランジウェブ断面積比 β によって比較した図である。この図の場合、ウェブ断面積は一定になっており、 β が大きくなるほどフランジ断面積が大きくなっている。図中白抜きは M_f がプラス、黒塗は M_f がマイナスであることを示す。フランジウェブ断面積比 β が大きいほど M/M_y の $\max$ が大きくなっている。直線プレートガーダーにおいては曲げ耐力は1以上であるので曲線プレートガーダーの M/M_y の $\max$ はかなり小さいことがわかる。 M_f がプラスの場合、 β が小さいほど w/t_w は大きくなっているが、 M_f がマイナスの場合、荷重が小さい段階においては、 β による w/t_w の差は小さくなっている。

図-2Bは、 M/M_y と圧縮フランジ中央位置のねじり角の関係を示した図である。ねじり角は圧縮フランジの曲率内側が下へ変位するねじりをプラスとした。 M_f のプラスあるいはマイナスによらず、 β が小さいほどねじり角は大きくなっている。 β が小さいほど M_f の符号によるねじり角の差は小さいが、 β が大きくなると M_f プラスより M_f マイナスの場合のねじり角は小さく M/M_y の $\max$ 付近で急に大きくなる。

図-3Aは曲率半径 $R=30m$ 、ウェブ形状比 $\alpha=1.0$ 、ウェブ高 $h=120cm$ 、フランジ脚突出幅厚比 $\lambda'=16$ 、および支点間距離 $L=6m$ においてウェブ幅厚比 $\lambda=152$ 、フランジウェブ断面積比 $\beta=1.0$ のときのフランジ断面を一定としウェブ幅厚比 λ によって M/M_y と w/t_w のとの関係を比較した図である。従って、ウェブ幅厚比 λ が大きいほどウェブ断面積は小さくなっている。また、 M_f はプラスとした。ウェブ幅厚比 λ が大きいほど w/t_w は大きくなっている。 M/M_y の $\max$ はウェブ幅厚比 λ が大きいほど大きい、大きな差はない。従って、フランジ剛性が曲線プレートガーダーに与える影響は大きいことがわかる。図-3Bにおいて、ウェブ幅厚比 λ が大きいほどねじり角も大きいことがわかる。

4. 結論

1. 曲線プレートガーダーの曲げ耐力は直線プレートガーダーの曲げ耐力と比較してかなり小さくなることに注意しなければならない。
2. フランジウェブ断面積比 β が小さいとき、横構あるいは横桁付近のプレートガーダーが先に耐力に達する。
3. ウェブ幅厚比 λ が大きいほどウェブの変形は大きくなるが、ある程度のウェブ剛性があれば、フランジ剛性が曲線プレートガーダーの曲げ耐力を決定する。

5. 参考文献

- (1) C. Brebbia and Connor, "Geometrically nonlinear finite element analysis", Proc. ASCE, Vol. 95, EM2
- (2) Murry and Wilson, "Finite Element Large Deflection Analysis of Plates", Proc. ASCE, Vol. 95, EM1
- (3) 小松定夫編: 鋼構造の補剛設計, 森北出版(1982), pp. 149

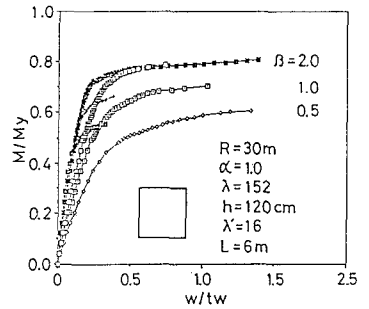


図-2A ウェブ面外変位

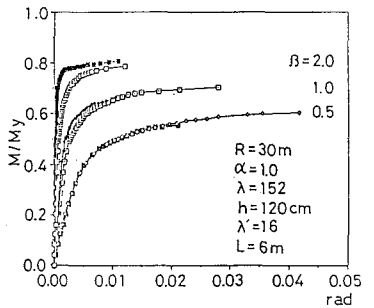


図-2B フランジねじり角

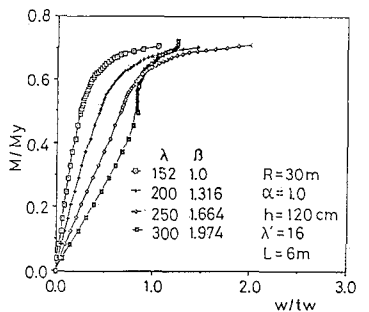


図-3A ウェブ面外変位

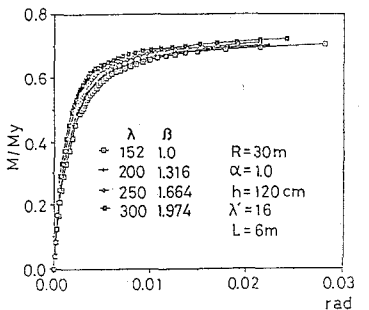


図-3B フランジねじり角