

I-83

曲げを受ける曲線 I 型プレートガーダーの弾塑性解析

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

水平補剛材をもたない二軸対称プレートガーダーから垂直補剛材によって囲まれた部分を上下フランジも含めて取り出して解析対象パネルとし、幾何学的非線形性と材料非線形性を考慮した有限要素法によって数値解析を行い、曲げを受ける曲線 I 型プレートガーダーの挙動について考察を行った。

2. 解析方法および解析パラメーター

解析は四辺形円筒要素を用いて、幾何学的非線形と材料非線形とを考慮した有限要素法によった。非線形つりあい方程式の解法は荷重増分法とNewton-Raphson法を組み合わせた方法を採用した。パネル材料は、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。要素分割は、パネル右半分をフランジも含めて円筒方向に5等分、ウェブを上下方向に16等分とし、法線方向への塑性化の広がりを考慮できるように、ウェブ要素については厚さ方向に8層、フランジ要素については法線方向に40層に層割りをを行った。曲げ作用の载荷方法(曲げ強制ひずみ: ε 、調整ひずみ: ε_H)、パネルの境界条件、断面の名称を図-1に示した。解析に使用したパラメーターはウェブ幅厚比 $\lambda = h/t$ および形状比 $\alpha = l/h$ 、曲率半径 R 、上下フランジ各々の断面積 A_f とウェブ断面積 A_w との比 $\beta = A_f/A_w$ の四個である。フランジの幅厚比は16.67とした。解析に使用したパラメーターの変動範囲はウェブ幅厚比 $\lambda = 150, 300, 400, 500$ 、形状比 $\alpha = 0.5, 0.6667, 1.0, 1.5$ 、フランジウェブ断面積比 $\beta = 0.5, 1.0$ 、曲率半径 $R = 30m, 60m$ とした。

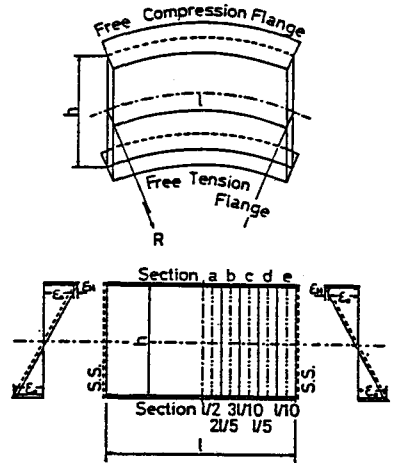


図-1 解析対象パネル
断面名称および载荷方法

3. 数値解析結果

図-2に曲率半径 $R=30m$ ($R/h=25$)、形状比 $\alpha=0.6667$ 、フランジウェブ断面積比 $\beta=0.5$ 、曲げ強制ひずみ $\varepsilon = 0.001214$ について、幅厚比 λ によるウェブ面外変位の比較を示す。幅厚比 $\lambda=150$ の面外変位は幅厚比 $\lambda=300, 500$ の面外変位と比較すると格段に小さい。断面1/5, 1/10では幅厚比 λ が大きくなるほど面外変位も大きく、また最大面外変位は幅厚比 λ が大きくなるほど圧縮フランジにより近い位置に生じている。幅厚比 $\lambda=500$ で顕著であるが、幅厚比 $\lambda=300$ を越えると、パネル中央断面で圧縮フランジ近傍に変位の逆転が生じ、これに影響されて断面21/5, 31/10の最大面外変位が減少している。

図-3に曲率半径 $R=30m$ ($R/h=25$)、フランジウェブ断面積比 $\beta=0.5$ 、および形状比 $\alpha=0.6667$ について、幅厚比 λ による面内曲げ応力の比較を示した。幅厚比 $\lambda=150$ については、圧縮部における応力欠損がほとんどないが、幅厚比 λ が大きくなると、応力欠損も著しくなっている。この応力欠損は断面eにおいて特に著しい傾向を示している。引張部の面内曲げ応力分布は幅厚比 λ が大きいほど圧縮部の応力欠損の影響による調整ひずみ ε_H の影響を受けて小さくなっている。

図-4、5に曲率半径 $R=30m$ ($R/h=25$)、形状比 $\alpha=0.6667$ 、フランジウェブ断面積比 $\beta=0.5$ 、曲げ強制ひずみ $\varepsilon = 0.00111905$ における、幅厚比 $\lambda=150, 300$ についての塑性域を示した。要素の配列は図-1に従い、法線方向への塑性化の広がりを示すために、各要素の下側を曲率内側、上側を曲率外側とし、塑性化し

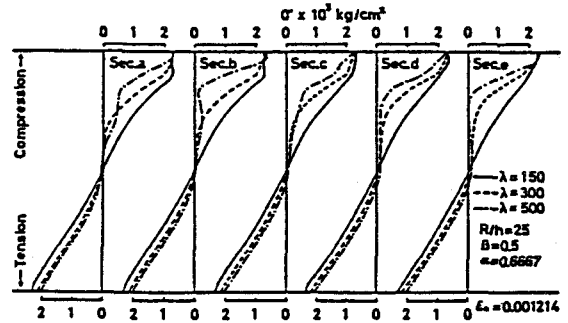
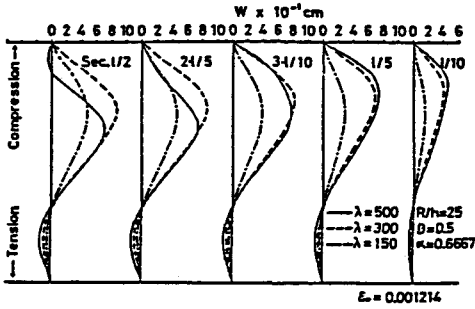


図-2 ウェブ面外変位分布、幅厚比λによる比較 図-3 ウェブ面内曲げ応力分布、幅厚比λによる比較

た部分を黒く塗りつぶした。幅厚比 $\lambda=150$ の圧縮フランジおよび引張フランジの両フランジに塑性が生じている。これは、幅厚比 $\lambda=150$ の面外変位は図-2のウェブ面外変位分布図に示されるように他の幅厚比 λ と比較して小さくなっているため、図-3のウェブ面内曲げ応力分布で示されるようにウェブ圧縮側での応力欠損がかなり小さくなるものと考えられる。ウェブ圧縮側での応力欠損が小さいので、純曲げ状態を得るための圧縮調整ひずみ ε_H は小さく、結果的に引張フランジに働く力は幅厚比 $\lambda=300$ と比較して大きくなる傾向がある。幅厚比 $\lambda=300$ 以上においては、ウェブ圧縮部において応力欠損が大きくなるため圧縮調整ひずみ ε_H も大きくなり、塑性域は圧縮側でより広くなる傾向がある。

図-6のようにウェブ有効断面 (h_e/h) を定義する。図-7に曲率半径 $R=30m$ ($R/h=25$)、フランジ-ウェブ断面積比 $\beta=0.5$ 、および形状比 $\alpha=0.6667$ について、幅厚比 λ による有効幅 (h_e/h) の比較を示した。横軸は曲げ強制ひずみ ε_c 。をとり、縦軸は図-3に示した5つの断面におけるウェブ有効幅 (h_e/h) の最小値をとった。幅厚比 λ が大きいほどウェブ有効幅 (h_e/h) は小さい。ウェブ有効幅 (h_e/h) は曲げ強制ひずみ ε_c 。の増加とともに減少し極小値を有する。この極小値になるまでのウェブ有効幅 (h_e/h) の減少率は幅厚比 λ が大きいほど大きくなっている。極小値になってから後、曲げ強制ひずみ ε_c 。の増加とともにウェブ有効幅 (h_e/h) も増加し極大値を有する。極大値から極小値を引いた値を比較すると、幅厚比 λ が小さいほど大きい傾向がある。特に、幅厚比 $\lambda=150$ の有効幅が極小値になるまでの、有効幅の減少率は他の幅厚比と比較して非常に小さく、また、極小値になった後の有効幅の増加も期待できる。

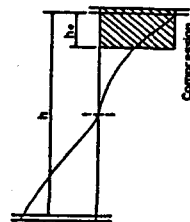
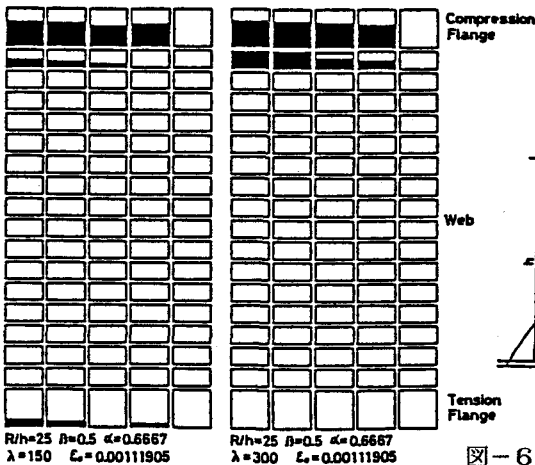


図-6 ウェブ有効幅の定義

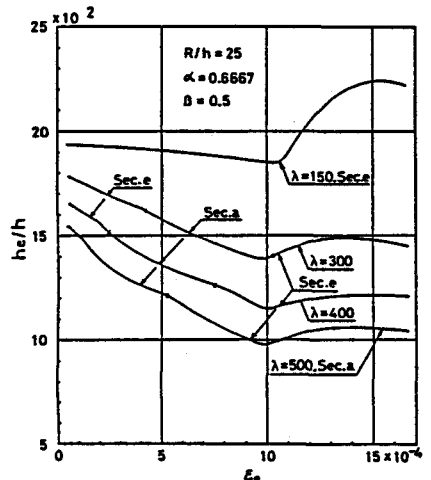


図-7 ウェブ有効幅、幅厚比λによる比較

図-4 塑性域 図-5 塑性域 参考文献 倉西 茂・樋渡 滋：曲げを受ける曲線プレートガーダーのウェブプレートの弾性挙動について、土木学会論文報告集、第315、pp.1～11、1981年11月