

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

曲げを受ける曲線プレートガーダーが極限状態に至るまでの挙動を明確にすることを目的とし、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った。

2. 解析方法および解析パラメーター

水平補剛材をもたない二軸対称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て解析対象パネルとする。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。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を考慮した有限要素法によった。また、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、収束のための繰返しは不平衡力による変位変動が 1.5% 以下になる段階まで行った。有限要素分割は、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 等分した。また、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、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。曲げ作用は曲げ変位を与えるものとし、曲げ作用に相当するウェブ高の中央位置からの距離に比例する垂直ひずみ(曲げ強制ひずみ： ϵ)を与えると同時に、純曲げ状態を作るための垂直ひずみ(調整ひずみ： ϵ_H)を作用させた。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 $\alpha=150, 300, 400, 500$ 、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 $R=30\text{m}, 60\text{m}$ とした。

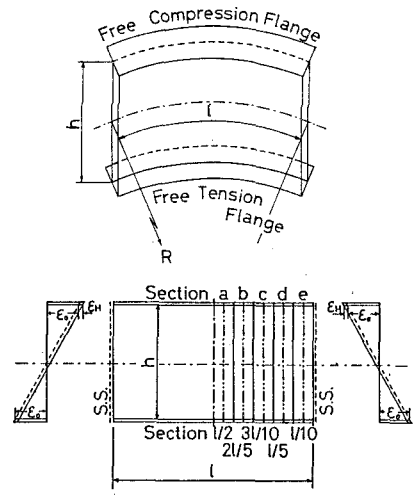


図-1 解析対象パネル
 断面名称および荷荷方法

3. 数値解析結果

ウェブ面外変位分布

ウェブ面外変位の例として、曲率半径 $R=30\text{m}(R/h=25)$ 、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 $\epsilon_s=0.001214$ の場合を、その幅厚比 λ をパラメーターとして図-2に示す。幅厚比 $\lambda=150$ の面外変位は $\lambda=300, 500$ の面外変位と比較すると格段に小さい。断面1/5と1/10では幅厚比 λ が大きくなるほど面外変位も大きくなっており、また断面1/5と1/10での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21/5, 31/10の最大面外変位が減少している。したがって、中央断面では最大面外変位が減少し、断面1/5, 1/10で増加する変形モードとなっていることが解る。曲率半径 $R=30\text{m}(R/h=25)$ 、幅厚比 $\lambda=300$ 、フランジ-ウェブ断面積 $\beta=1.0$ の場合を、形状比 α をパラメーターとして図-3に

示す。断面1/5、1/10における最大面外変位は形状比 α が大きいほど大きくなっている。形状比 $\alpha=0.5\sim 1.0$ において、中央断面1/2においては圧縮フランジ近傍において面外変位の逆転が生じており、形状比 $\alpha=1.0$ で逆転が顕著である。形状比 $\alpha=1.5$ においては、変位の逆転は中央断面1/2に生じないため、各断面での最大面外変位を比較すると、中央断面における最大面外変位が最も大きくなっている。形状比 $\alpha=1.5$ では変位の逆転は断面21/5、31/10において生じており、形状比 $\alpha=0.5\sim 1.0$ とは違った変形モードであることが解る。図には示さなかったが、フランジウェブ断面積比 β が大きいほど中央断面での圧縮フランジ近傍での変位の逆転の傾向が大きい。

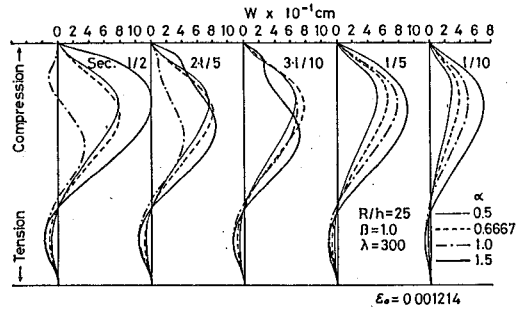
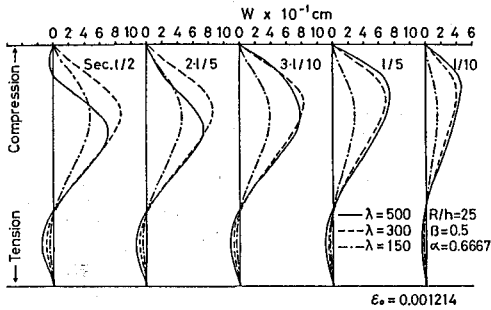


図-2 ウェブ面外変位分布、幅厚比による比較 図-3 ウェブ面外変位分布、形状比 α による比較
ウェブ面内曲げ応力分布

面内曲げ応力分布について、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、幅厚比による比較を図-4に示した。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くる。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。また、引張部応力分布は圧縮部のような応力欠損が生じないために、分布の形状はほとんど差がない。しかし、圧縮部の応力欠損の影響を受けて、幅厚比 λ が大きいほど、引張部の面内曲げ応力分布は調整ひずみ ϵ_H の影響を受けて小さくなっていると考えられる。曲率半径 $R=30m$ ($R/h=25$)、フランジウェブ断面積比 $\beta=1.0$ 、幅厚比 $\lambda=300$ について、形状比 α による比較を図-5に示した。形状比 $\alpha=1.5$ においては、圧縮フランジにおける面内曲げ応力が他の形状比に比較して小さくなっておりその影響を受けて引張フランジでの面内曲げ応力も減少しているものと考えられる。断面eでの圧縮部では、圧縮フランジ近傍の面内曲げ応力分布を除くと形状比 α による影響はほとんどない。つまり、中央断面aに近づくほど形状比 α による影響が生じるものと考えられる。図には示さなかったが、フランジウェブ断面積比 β による圧縮部の面内曲げ応力分布はそれほどの差はなく、圧縮フランジ近傍において $\beta=0.5$ の面内曲げ応力分布が多少小さめになっている。

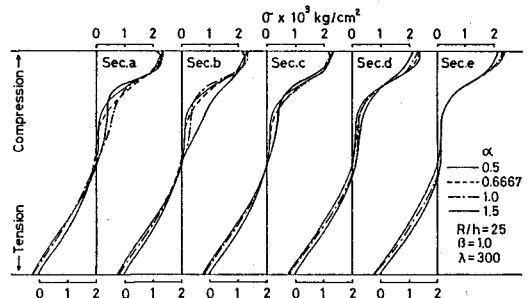
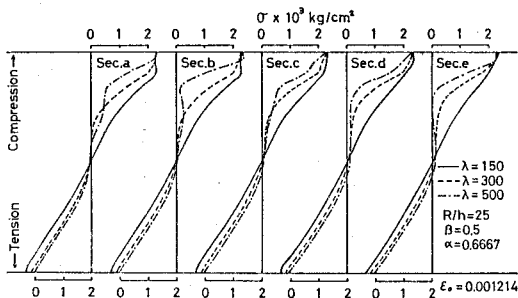


図-4 ウェブ面内曲げ応力分布、幅厚比による比較 図-5 ウェブ面内曲げ応力分布、形状比 α による比較

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