

東北学院大学 学生員 ○早坂 勝

東北学院大学 正 員 樋渡 滋

東北学院大学 正 員 菅井幸仁

東 北 大 学 正 員 倉西 茂

1. まえがき

曲線プレートガーダーの曲げ耐荷力は、その構成要素である板やシェルとしての挙動に大きく影響されると考えられる。この様な構成要素によって断面変形を考慮し、かつ幾何学的非線形のみならず材料非線形性までを考慮した数値解析による耐荷力についての論文は、非常に数が少ない。本論文では、材料非線形性までを考慮した有限要素法により数値解析を行い、フランジの垂直座屈およびフランジのねじれ座屈について考察を行うとともに曲げ耐荷力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

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て解析対象とした。材料はヤング率 $E=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、降伏応力 $\sigma_y=2400 \text{ kgf/cm}^2$ の完全弾塑性体とし、Von Misesの降伏判定条件式およびPrandtl-Reussの塑性流れ則に従うものとした。解析は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。要素分割については右半分をフランジも含めて円周方向に5等分、ウェブを上下方向に16等分した。また、曲率半径方向への塑性化の進展を考慮するために、ウェブについては厚さ方向に8層、フランジについては幅方向に40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鉛直方向の変位を拘束した。曲げ作用は従来の強制変位で与えるものとし、曲げ作用に相当する曲げ強制ひずみ ε を与えるとともに、純曲げ状態を作るための調整ひずみ ε_H を作用させた。また、この時の曲げモーメント M は載荷辺に生じるつりあい力によって算出した。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 $\beta(A_f/A_w)=0.5, 1.0$ 、曲率半径 $R=30m, 60m$ とした。また、フランジ幅厚比を16.67、ウェブ高 $h=120\text{cm}$ を一定とした。

3. 数値解析結果

曲線プレートガーダーの合理的設計を行う上で、フランジのねじり角と垂直変位のどちらが先に急激な変位を生じるのかを明かにする事は重要であると考えられる。圧縮フランジにおける垂直変位分布およびねじり角分布において最大変位は中央位置において生じる。曲率半径 $R=30m$ ($R/h=25$)、形状比 $\alpha=0.6667$ 、およびフランジウェブ断面積比 $\beta=0.5$ について、幅厚比 λ による無次元曲げモーメント M/M_y (M_y :降伏曲げモーメント)と圧縮フランジ中央位置における垂直変位 u との関係の比較を図-1に示した。図-1において、垂直変位 u は無次元曲げモーメント M/M_y が小さい段階より徐々に大きくなるため、はっきり座屈とよべる様な現象は現れていない。そこで、数値解析によって求められた無次元曲げモーメント M/M_y と垂直変位 u との関係に5次のspline補間を行い、補間点における2次までの微係数を求めて曲率を計算し、最大の曲率を有する補間点を求め

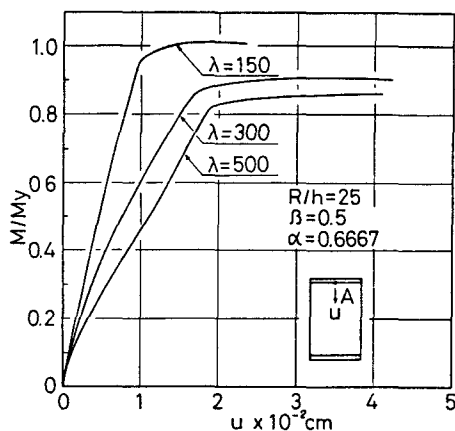


図-1 M/M_y -フランジ垂直変位 u

た。spline補間を行う時の端点での境界条件は、端点より4点を用いて3次関数をあてはめ、端点での境界条件とした。このようにして求めた最大曲率を有する補間点では、垂直変位 u に関して変化が最も大きい点と考えられる。また、無次元曲げモーメント M/M_y と圧縮フランジ中央位置におけるねじり角 ϕ との関係についても同様の方法により最大曲率を有する補間点を求めた。この方法により求めた最大曲率を有する補間点での無次元曲げモーメント M/M_y を表-1に示す。幅厚比 $\lambda=150$ について、フランジウェブ断面積比 β が小さいほど、また形状比 α が大きいほどフランジねじり

表-1 最大曲率を有する点での M/M_y

λ	α	$R/h=25 \quad M/M_y$			
		$\beta=1.0$		$\beta=0.5$	
		ねじり角 ϕ	垂直変位 u	ねじり角 ϕ	垂直変位 u
150	0.5	0.9959	0.9993	0.9676	0.9679
	0.6667	0.9793	0.9808	0.9491	0.9457
	1.0	0.9528	0.9519	0.8909	0.8893
	1.5	0.8891	0.8873	0.7897	0.7896
300	0.5	0.9290	0.9268	0.8760	0.8740
	0.6667	0.9242	0.9223	0.8567	0.8533
	1.0	0.8898	0.8781	0.8312	0.8297
	1.5	0.8363	0.8347	0.7067	0.7018
400	0.5	0.9138	0.9117	0.8412	0.8379
	0.6667	0.9019	0.9015	0.8326	0.8291
	1.0	0.8687	0.8652	0.7693	0.7645
	1.5	0.8047	0.7639	0.6518	0.6514
500	0.5	0.8999	0.8998	0.8248	0.8176
	0.6667	0.8880	0.8865	0.8164	0.8148
	1.0	0.8462	0.8425	0.7402	0.7363
	1.5	0.7868	0.7507	0.6172	0.6161

角 ϕ よりフランジ垂直変位 u が先に大きな変化を生じる傾向がある。また幅厚比 $\lambda=300, 400, 500$ については、フランジねじり角 ϕ よりもフランジ垂直変位 u が先に大きな変化を生じる。フランジ垂直変位 u あるいはフランジねじり角 ϕ について、最も変化の大きい時の無次元曲げモーメント M/M_y は形状比 α が大きいほど小さくなる傾向があり、またフランジウェブ断面積比 β が小さいほど小さくなる傾向がある。

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 $\alpha=0.6667$ において、幅厚比 λ を変化させたとき、曲げ強制ひずみ ϵ 。を与えた垂直補剛材位置に生じる反力によって算出した曲げモーメント M を降伏モーメント M_y で無次元化した曲げモーメント M/M_y と曲げ強制ひずみ ϵ 。との関係を図-2に示した。曲げ強制ひずみ ϵ 。が小さい間は、幅厚比 $\lambda=150$ において曲げモーメント M/M_y と曲げ強制ひずみ ϵ 。との関係はほとんど線形関係に近く、幅厚比 $\lambda=300, 400, 500$ においては多少非線形性がある。また、曲げ強制ひずみ ϵ 。がある値に達すると曲げモーメント M/M_y の増加の割合が極めて減少するか、あるいは最大値を有するようになる。この時の曲げモーメントの値を M_u とし、 M_u/M_y を耐力モーメントとする。曲率半径 $R=30m(R/h=25)$ およびフランジウェブ断面積比 $\beta=1.0$ において、形状比 α による耐力モーメント M_u/M_y と幅厚比 λ との関係の比較を図-3に示した。幅厚比 $\lambda=150\sim 500$ において、形状比 $\alpha=1.5$ の耐力モーメント M_u/M_y は形状比 $\alpha=0.5\sim 1.0$ と比較して大変小さくなっている。また、形状比 $\alpha=0.5$ と 0.6667 の耐力モーメント M_u/M_y の差はそれほど小さくなく、幅厚比 $\lambda=500$ においては非常に一致している。形状比 $\alpha=1.0$ の耐力モーメント M_u/M_y は幅厚比 $\lambda=150\sim 400$ において、形状比 $\alpha=0.5, 0.6667$ より多少小さくなっているが、幅厚比 $\lambda=500$ になるとその差が大きくなっている。

参考文献 菅井・樋渡・倉西：曲げを受ける曲線プレートガーダーの弾塑性解析 第41回年次学術講演会 講演概要集 1986年11月

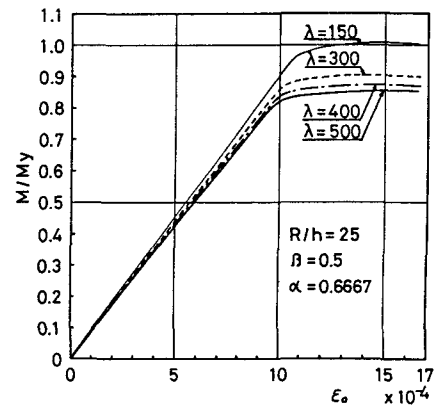


図-2 M/M_y -曲げ強制ひずみ ϵ 。

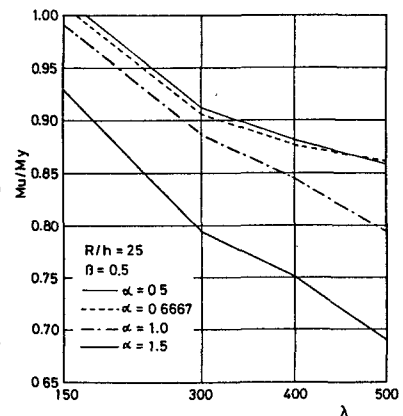


図-3 耐力モーメント M_u/M_y