

I - 55

曲線 I 形桁の曲げ耐荷力と上下フランジ断面積比との関係について

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 I 形桁が曲げ荷重を受けた場合、荷重が小さい段階より横倒れ変形が生じる。この横倒れ変形に伴って、フランジに面内曲げモーメントが生じる。この面内曲げモーメントの影響により、横構あるいは横桁(対傾構)によって支持される中央位置においては上(圧縮)フランジ曲率内側辺において、支持位置においては上(圧縮)フランジ曲率外側辺において橋軸方向圧縮直応力が最も大きくなる。

また、橋軸方向圧縮直応力を受けるウェブ側では曲げ荷重が小さい段階より曲率外側方向への面外変位が生じる。この面外変位の影響を受け、上(圧縮)フランジの曲率内側辺ではウェブ側方向へ、また曲率外側辺ではウェブから遠ざかる方向へ面外変形が生じる。従って、曲げ荷重が小さい段階より圧縮フランジにねじれが生じる。

曲げによって生じる直応力分布において、圧縮直応力を受けるウェブ部分で曲げ荷重が小さい段階より応力欠損が生じる。この応力欠損を補うため、上(圧縮)フランジの橋軸方向平均圧縮応力が下(引張)フランジの橋軸方向平均引張応力より大きくなる。

以上より、Baslerが述べる圧縮フランジの水平座屈およびねじり座屈が直線 I 形桁と比較して生じ易いと考えられる。従って、上(圧縮)フランジ断面積を下(引張)フランジ断面積よりある程度大きくすることにより曲線 I 形桁の曲げ耐荷力を大きくすることが出来ると考えられる。本研究では、一定断面積において上下フランジ断面積比($\beta_{ct} = A_{cf} / A_{tf}$, A_{cf} , A_{tf} : 上(圧縮)フランジ, 下(引張)フランジ断面積)を変化させ曲げ耐荷力を数値計算により求めた。断面積が一定の条件において求められた曲線 I 形桁の曲げ耐荷力と上下フランジ断面積比 β_{ct} との関係より、曲げ耐荷力を最も大きくするための上下フランジの断面積比を求めることを目的とした。

2. 解析対象

横構あるいは横桁(対傾構)によって支持される曲線 I 形桁橋において、支持間隔の最も大きい曲線 I 形桁に注目した。曲線 I 形桁は垂直補剛材を有さないものとする。曲線 I 形桁のフランジには曲げ荷重によってフランジ面内曲げモーメントが生じる。このフランジ面内曲げモーメントのそれぞれの向きにおける最大値は横構あるいは横桁(対傾構)によって支持される中央位置あるいは支持位置において生じる。このため本研究では、曲線 I 形桁よりフランジも含め隣り合う垂直補剛材位置で切り取られる部分を数値解析対象とし、この数値解析対象に曲げ荷重と横構あるいは横桁(対傾構)によって支持される中央位置あるいは支持位置において生じるフランジ面内曲げモーメントを作用させ、有限要素法による数値解析を行った。境界条件は、垂直補剛材位置において単純支持とした。また、解析対象の材料は、ヤング率 $E = 2.1 \times 10^6$ kgf/cm², ポアソン比 $\mu = 0.3$, 降伏応力 $\sigma_y = 2400$ kgf/cm²の完全弾塑性体とし、Von-Misesの降伏判定条件に従うものとした。

3. パラメータおよび変数

解析に使用したパラメータはウェブ幅厚比($\lambda = h/tw$, h :ウェブ高, tw :ウェブ厚), ウェブ形状比($a = b/h$, b :垂直補剛材間のウェブの長さ), 総フランジ-ウェブ断面積比($\beta = (A_{cf} + A_{tf}) / A_w$, A_w :ウェブ断面積), 上下フランジ断面積比 β_{ct} , 上(圧縮)フランジ自由突出部幅厚比 η_c , および下(引張)フランジ自由突出部幅厚比 η_t である。また、変数として曲率半径 R またフランジ固定間距離 L を使用した。ただし、ウェブ高 $h = 120$ cmおよびウェブ幅厚比 $\lambda = 152$ とした(ウェブ断面積 A_w : const.)。従って、総フランジ-ウェブ

断面積比 β が一定の場合、曲線 I 形桁の断面積は($A=(\beta+1) \cdot A_w$)一定となる。

4. 数値解析結果

曲率半径 $R=30\text{m}$ 、ウェブ幅厚比 $\lambda=152$ 、ウェブ形状比 $\alpha=1.0$ 、上(圧縮)フランジ自由突出部幅厚比 $\eta_c=13$ 、下(引張)フランジ自由突出部幅厚比 $\eta_t=16$ 、およびフランジ固定間距離 $L=6\text{m}$ を有する曲線 I 形桁について、曲げ耐荷力 M_u と上下フランジ断面積比 β_{ct} との関係を総フランジウェブ断面積比 β によって比較した図を図-1に示す。図に示された曲げ耐荷力は、横構あるいは横桁(対傾構)によって支持される支持間中央位置また支持位置において求められた曲げ耐荷力のうち小さい方の値を示している。上下フランジ断面積比 β_{ct} を変化させることにより、曲げ耐荷力 M_u が最大値を有することが解かる。この最大曲げ耐荷力 $M_{u_{\max}}$ が得られる時の上下フランジ断面積比 β_{ct} の値は、総フランジウェブ断面積比 β が小さいほど大きくなっている。また、上下フランジ断面積比 $\beta_{ct}=1.0$ ($A_{cf}=A_{tf}$)の場合の曲げ耐荷力 $M_{u_{\beta_{ct}=1.0}}$ より最大曲げ耐荷力 $M_{u_{\max}}$ への増加の割合($(M_{u_{\max}} - M_{u_{\beta_{ct}=1.0}})/M_{u_{\beta_{ct}=1.0}}$)は、総フランジウェブ断面積比 β が小さいほど大きい。

ウェブ幅厚比 $\lambda=152$ 、ウェブ形状比 $\alpha=1.0$ 、フランジ固定間距離 $L=6\text{m}$ 、上(圧縮)フランジ自由突出部幅厚比 $\eta_c=13$ 、および下(引張)フランジ自由突出部幅厚比 $\eta_t=16$ を有する曲線 I 形桁について、上下フランジ断面積比を変化させることによって曲げ耐荷力 M_u が最大になる時の上下フランジ断面積比 β_{ct} と総フランジウェブ断面積比 β の関係を図-2に示す。

曲率半径 R が小さくかつ総フランジウェブ断面積比 β がある値より小さくなる場合、最大曲げ耐荷力 $M_{u_{\max}}$ が得られる時の上下フランジ断面積比の値は総フランジウェブ断面積比 β が大きい場合と比較して急激に大きくなる。

曲率半径 $R=30, 60, 120$ 、および 250m について、上下フランジ断面積比 β_{ct} と総フランジウェブ断面積比 β の関係をバイリニアで近似した。各曲率半径について、最大曲げ耐荷力 $M_{u_{\max}}$ が得られる時の上下フランジ断面積比 β_{ct} を求める式(1)~(8)を求めた。これらの式より求めた上下フランジ断面積比 β_{ct} における曲げ耐荷力 M_u を曲げ耐荷力 M_u と上下フランジ断面積比 β_{ct} の関係より求め、 $(M_u - M_{u_{\max}})/M_{u_{\max}} \cdot 100(\%)$ の値を求めると1%以内におさまることが解かった。

5. 結論 1. 最大曲げ耐荷力が得られる時の上下フランジ断面積比 β_{ct} 、および曲げ耐荷力 $M_{u_{\beta_{ct}=1.0}}$ より最大曲げ耐荷力 $M_{u_{\max}}$ への増加の割合は、総フランジウェブ断面積比 β が小さいほど大きい。

2. 最大曲げ耐荷力を得るための上下フランジ断面積比 β_{ct} を予測する式は有効である。

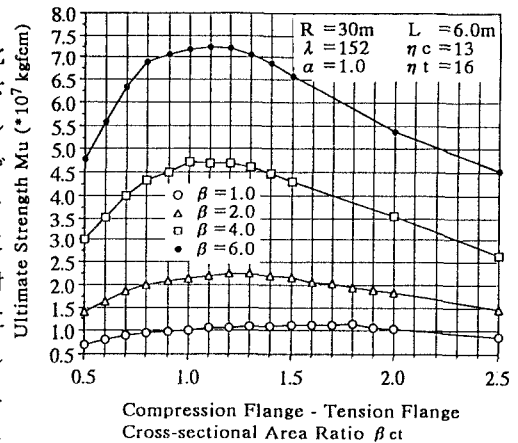


図-1 総フランジウェブ断面積比 β による曲げ耐荷力 M_u と上下フランジ断面積比 β_{ct} との関係の比較

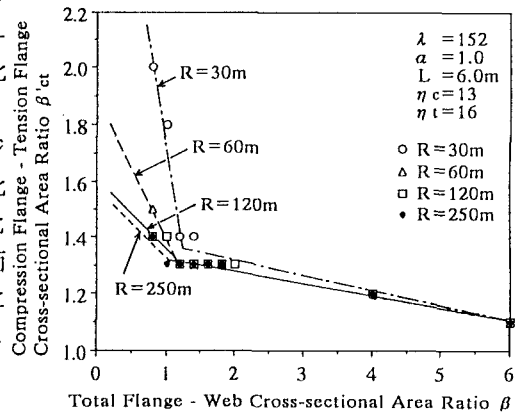


図-2 上下フランジ断面積比 β_{ct} と総フランジウェブ断面積比 β との関係

$$\begin{aligned} R=30\text{m} \\ \beta_{ct} &= 3.2330 - 1.50\beta \quad (0.8 \leq \beta < 1.25) \quad \text{--- (1)} \\ \beta_{ct} &= 1.4294 - 0.055263\beta \quad (1.25 \leq \beta \leq 6) \quad \text{--- (2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R=60\text{m} \\ \beta_{ct} &= 1.9000 - 0.50\beta \quad (0.8 \leq \beta < 1.20) \quad \text{--- (3)} \\ \beta_{ct} &= 1.3618 - 0.043150\beta \quad (1.20 \leq \beta \leq 6) \quad \text{--- (4)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R=120\text{m} \\ \beta_{ct} &= 1.6167 - 0.25\beta \quad (0.8 \leq \beta < 1.20) \quad \text{--- (5)} \\ \beta_{ct} &= 1.3618 - 0.043150\beta \quad (1.20 \leq \beta \leq 6) \quad \text{--- (6)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R=250\text{m} \\ \beta_{ct} &= 1.5833 - 0.25\beta \quad (0.8 \leq \beta < 1.07) \quad \text{--- (7)} \\ \beta_{ct} &= 1.3618 - 0.043150\beta \quad (1.07 \leq \beta \leq 6) \quad \text{--- (8)} \end{aligned}$$