

I - 23 非対称曲線 I 形桁の曲げ耐荷力について

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

曲げ荷重を受ける曲線 I 形桁は、曲率を有するために曲げ荷重が小さい段階より横倒れ変形が生じる。この時、フランジには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曲線 I 形桁の支持間中央位置では圧縮フランジの曲率内側辺、また支持位置においては圧縮フランジの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。

曲げ荷重によって橋軸方向圧縮を受けるウェブには、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。このウェブ面外変位の影響を受け、圧縮フランジの曲率内側辺がウェブ方向へ面外変位し、曲率外側辺がウェブから遠ざかる方向へ変位する。従って、圧縮フランジにねじり変形が生じる。

曲げ荷重によって生じる橋軸方向直応力分布において、圧縮応力を受けるウェブ部分で応力欠損が生じる。この応力欠損を圧縮フランジが分担しようとするため、圧縮フランジの橋軸方向平均圧縮直応力が引張フランジの橋軸方向平均引張直応力より大きくなる。

以上より、曲線 I 形桁の圧縮フランジは座屈し易いことが解かる。従って、一定断面積の場合、圧縮フランジ断面積を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、圧縮フランジ・引張フランジ断面積比（ $\beta_{ct} = A_{cf} / A_{tf}$ 、 A_{cf}, A_{tf} ：圧縮フランジ、引張フランジ断面積）を変化させることによって得られる、中立軸を通る水平軸に関して非対称な断面を有する曲線 I 形桁について曲げ耐荷力を数値計算により求めた。この曲線 I 形桁の曲げ耐荷力と圧縮フランジ・引張フランジ断面積比 β_{ct} との関係をパラメータによって比較検討す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 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\mu = 0.3$ 、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（ $\lambda = h/t_w$ 、 h ：ウェブ高、 t_w ：ウェブ厚）、ウェブ形状比（ $\alpha = b/h$ 、 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）、圧縮フランジ・引張フランジ断面積比 β_{ct} 、圧縮フランジ自由突出部幅厚比 η_c 、および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 $h = 120 \text{ cm}$ およびウェブ幅厚比 $\lambda = 152$ とした（従って、ウェブ断面積 $A_w : \text{const.}$ また、 β が一定

の場合曲線 I 形桁の断面積 $A=(\beta+1) \cdot A_w$ と一定となる。

4. 数値解析結果

曲率半径 $R=30m$, ウェブ幅厚比 $\lambda=152$, ウェブ形状比 $\alpha=1.0$, 圧縮フランジ自由突出部幅厚比 $\eta_c=13$, 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 $L=6m$ を有する曲線 I 形桁について、曲げ耐力 M_u と圧縮フランジ引張フランジ断面積比 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。図中の実線は曲線 I 形桁が横構あるいは横桁（対傾構）によって支持される支持間中央位置（以後中央部と呼ぶ）についての数値解析結果を示している。また、破線は曲線 I 形桁が横構あるいは横桁（対傾構）によって支持される支持位置（以後端部と呼ぶ）についての数値解析結果を示している。圧縮フランジ引張フランジ断面積比 β_{ct} を変化させることにより、曲げ耐力 M_u が最大値を有することが解かる。この最大曲げ耐力 $M_{u_{max}}$ が得られる時の圧縮フランジ引張フランジ断面積比 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、圧縮フランジ引張フランジ断面積比 $\beta_{ct}=1.0$ ($A_{cf}=A_{tf}$) の場合の曲げ耐力 $M_{u_{\beta_{ct}=1.0}}$ より最大曲げ耐力 $M_{u_{max}}$ 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。従って、総フランジウェブ断面積比 β が小さいほど、圧縮フランジを引張フランジより大きくすることによって曲げ耐力を大きくすることが出来る。しかし、総フランジウェブ断面積比 $\beta=4.0$ より大きい場合には、圧縮フランジを引張フランジより大きくすることによって曲げ耐力を大きくしようとすることは意味をもたない。

曲率半径 $R=30m$, ウェブ幅厚比 $\lambda=152$, ウェブ形状比 $\alpha=1.0$, 総フランジウェブ断面積比 $\beta=1.0$, 圧縮フランジ自由突出部幅厚比 $\eta_c=13$, および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、曲げ耐力 M_u と圧縮フランジ引張フランジ断面積比 β_{ct} との関係をフランジ固定間距離 L による比較を図-2に示す。フランジ固定間距離 $L=6m$ と大きい場合、圧縮フランジ引張フランジ断面積比 β_{ct} を変化させることにより得られる最大曲げ耐力 $M_{u_{max}}$ は圧縮フランジ引張フランジ断面積比 β_{ct} の値が大きい時に得られる。また、圧縮フランジ引張フランジ断面積比 $\beta_{ct}=1.0$ の場合の曲げ耐力 $M_{u_{\beta_{ct}=1.0}}$ より最大曲げ耐力への増加の割合 $(M_{u_{max}}-M_{u_{\beta_{ct}=1.0}})/M_{u_{\beta_{ct}=1.0}}$ は、フランジ固定間距離 L が大きいほど大きくなっている。

5. 結論 1. 最大曲げ耐力が得られる時の圧縮フランジ引張フランジ断面積比 β_{ct} は総フランジウェブ断面積比 β が小さいほどおよびフランジ固定間距離 L が大きいほど大きい。

2. 曲げ耐力 $M_{u_{\beta_{ct}=1.0}}$ より最大曲げ耐力 $M_{u_{max}}$ 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 が小さいほどおよびフランジ固定間距離 L が大きいほど大きい。

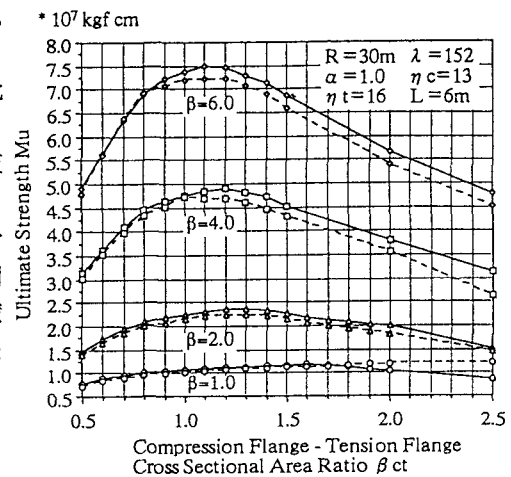


図-1 総フランジウェブ断面積比 β による曲げ耐力 M_u と圧縮フランジ引張フランジ断面積比 β_{ct} との関係の比較

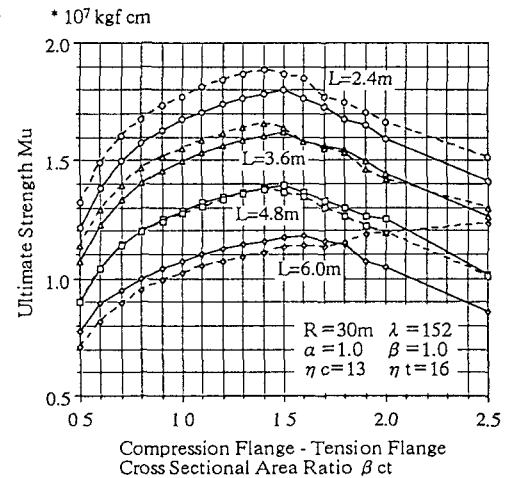


図-2 フランジ固定間距離 L による曲げ耐力 M_u と圧縮フランジ引張フランジ断面積比 β_{ct} との関係の比較