

I型断面アーチ部材の効率の良い断面形状について

東北学院大学 学生員 ○ 湊 憲司

東北学院大学 正 員 樋渡 滋

1. まえがき

現行鋼道路橋示方書には、アーチ部材のような曲面板からなる構造部材についての細部の記述がない。このことは、曲面部材についての研究が遅れていることを示している。曲面フランジのような圧縮力を受ける曲面板に関する研究は散見されるが、曲面フランジの曲率中心方向成分がウェブに与える影響など、フランジとウェブの相互作用を考慮に入れた研究は少ない。本研究は、I型断面のアーチ部材を有限要素法で解析し、フランジ及びウェブの幅厚比、曲率等のパラメータの影響を解明して設計のための基礎的データを得ようとするものである。

2. 解析方法

水平補剛材をもたない1軸対象なI形断面アーチ部材から、上下フランジも含めて垂直補剛材で囲まれる部分を取り出し、対称性を利用してパネルの右半分だけを解析対象パネルとする(図-1)。パネル材料は、構造用鋼(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 $\sigma_Y=2400 \text{ kgf/cm}^2$)を想定し、材料非線形を考慮した弾塑性体を用い有限要素法で幾何学的非線形解析を行った。ただし、パネル中央断面でX軸方向、載荷断面でY, Z軸方向の変位を拘束した。

解析パラメータは、フランジ幅厚比 $\lambda_f=b/t_f$ 、ウェブ幅厚比 $\lambda_w=h/t_w$ 、全フランジとウェブの断面積比 $\alpha=A_f/A_w$ および全フランジに対する上フランジの断面積比 $\beta=U/A_f/A_f$ を取り入れた。本研究は、道路示方書で想定されている最大の元たわみ値(フランジでは $w_o=b/100$ のねじりたわみ、ウェブでは $w_{ow}=h/250$ の正弦半波)を有し、ウェブ形状比 a/h と曲率比 h/R の値をそれぞれ1.0と1/15とする(図-2参照)。

3. 耐力および解析結果

縦軸に耐力 P_u を全塑性軸力 P_Y で除した値 P_u/P_Y を、横軸に変化させた上述のパラメータを取り、論ずることにする。

図-3について考察を行う。 α の値は横倒れや応力分布に多大な影響を及ぼしている。

α の値が小さい場合は横倒れ変形によるフランジの水平変位が、 α の値が大きい場合はフランジおよびウェブに応力集中が生じる。それが崩壊形式を誘起する要因である。よって α の値を決めるには、この二つの因子を克服することが必要である。

α の値は、座屈および塑性崩壊といった崩壊形式を支配するパラメータである。 α の値が小さい場合、水平変位が顕著に現れ、横倒れ座屈が崩壊形式となる。 α の値が大きい場合、横倒れ座屈の影響はうすれ、塑性崩壊が崩壊形式となる。 α の値が大きくなることによって、 α の値が小さいときよりは、フランジ断面の応力分布は比較的一様となるが、ウェブとの接合部に生じるフランジの応力度が縁応力度よりも大きくなり、応力の集中が生ずる。つまり、 α の値を大きくすることで、応力分布が一様になり全体的に塑性化が進行し、断面をより効率的に活かすことができるようになるが、 α の値を大きくしすぎれば、フランジに応力集中が生じ、ウェブとの接合部が塑性化し、ここから崩壊する。

α の最適値は、水平変位の値が小さくそしてフランジの応力分布が一様である観点から、 $\alpha=0.5 \sim 1.0$ 付近までと考えることができる。この場合、耐力の大きいことが図-3から分かる。

図-4について考察を行う。 β の値の変化は横倒れ角の大きさに影響を与える。座屈以外の崩壊形式は、橋軸方向のフランジの不均一な応力分布が要因となり崩壊する。

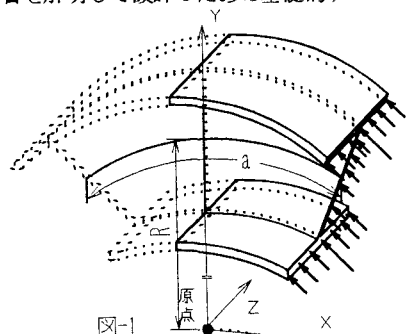


図-1 解析対象パネル図

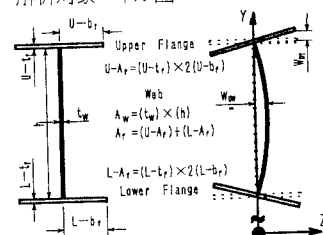


図-2 断面寸法図

フランジの応力分布について考察する。αの値が小さい場合は、フランジがウェブの元たわみ方向に水平変位する。そのため、Y軸周りのモーメントが生じ、フランジ外側の縁応力度が大きくなり、ある荷重レベルでその縁応力度が塑性域に入って頭打ちの状態となる。αの値が大きい場合は、βの値を変化させても変形にはほとんど影響を及ぼさないことからウェブとの接合部に生じるフランジの応力度が縁応力度よりも大きくなり、応力の集中が生じる。

横倒れ角を小さくするための、βの最適値がほぼ0.46である。αの値が0.20以上であるならば、βの値を0.46とすれば0.50よりも横倒れを起こしにくく、上下フランジの応力分布がより一様になる。

図-5において考察を行う。λ_wの値は横倒れの大きさに影響を及ぼす。崩壊に至る要因は、横倒れ変形、ウェブの面外変形そしてウェブの不均一な橋軸方向応力分布が挙げられる。

横倒れの現象は、水平変位、横倒れ角そしてねじれ角に現れる。λ_wの値は横倒れによる現象すべてに関連をもち、λ_wの値を小さくすることで耐荷力が大きくなる。効率的な断面であるためには、ウェブの橋軸方向応力分布をより均一にする必要がある。

ウェブの橋軸方向応力分布は、λ_wの値が小さいとZ軸まわりのモーメントの影響により、ウェブの両縁端部における応力度に差が生じ、勾配をもった応力分布となる。これは、ウェブプレートが曲率を有するためである。λ_wの値が大きくなるとウェブの応力分布は、中央部で小さくそして両縁端部で大きくなる。そのような不均一な応力分布をより均一にするために、曲率比=1/15の場合には、λ_wの値を45.0以下にすればよい。

図-6について考察を行う。λ_fの値の変化によって、横倒れ変形やフランジおよびウェブの応力集中などの崩壊要因が生ずる。

横倒れ変形について考察する。λ_fの値を大きくすれば、αの値に関わりなく、ねじれ角や横倒れ角の値が大きくなるが、水平変位はαの値と関連がある。λ_fの値が大きい場合の水平変位は、αの値が大きいと大きくなり、αの値が小さいと小さくなる。

一様な応力分布を示すλ_fの値は、フランジではλ_fの値を14.0付近とし、ウェブではλ_fの値を小さくすることである。

λ_f=14.0の場合、αの値が変化しても、応力が均一に分布し、大きな耐荷力を得ることができる。

4.まとめ

曲率比1/15において効率の良い断面寸法は、A_f/A_w=0.50、U-A_f/A_f=0.46、λ_w=45.0そしてλ_f=14.0である。

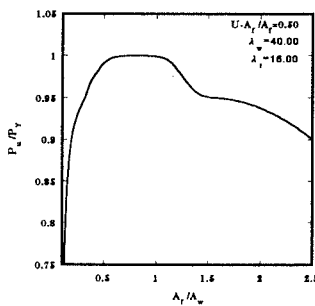


図-3 $P_u/P_y - A_f/A_w$ Curves

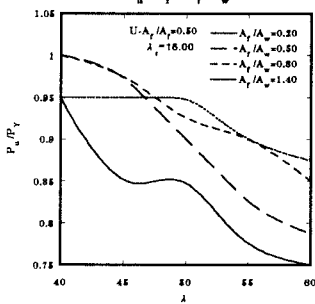


図-5 $P_u/P_y - \lambda_w$ Curves

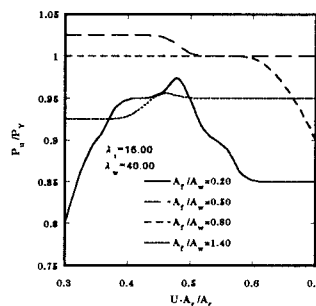


図-4 $P_u/P_y - U-A_f/A_f$ Curves

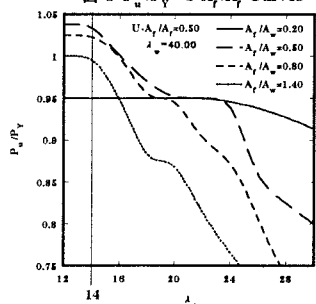


図-6 $P_u/P_y - \lambda_f$ Curves