

I - 3

鋼 I 型アーチ部材の挙動とフランジ断面の関係について

東北学院大学 学生員○香川 哲也
東北学院大学 正会員 樋渡 滋

1. まえがき

我が国の道路橋示方書において、線形理論に基づいた概念規程のみであり、詳細な設計基準が示されていない。これは、曲面構造の基礎的研究の遅れていることによる。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ものの、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した研究は少ない。本研究では、I 型断面アーチ部材の特にフランジ断面に着目し、有限要素法による解析を行い、断面を構成する各パラメータが挙動および耐力に及ぼす影響を明かにし、アーチ系橋梁の設計の基礎的データを得ようとするものである。

2. 解析対象

水平補剛材を持たない一軸対称な I 型断面を有するアーチ部材から、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側半分を解析対象パネルとする（図-1）。パネル材料としては普通構造用鋼 SS400 材を想定して、ヤング率 $E=2.1 \times 10^6 \text{Kgf/cm}^2$ 、降伏応力を $\sigma_Y=2400 \text{Kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とした。また、材料非線形性を考慮した弾塑性体を用いた有限要素法で幾何学的非線形解析を行った。

作用力は載荷断面に軸方向に等分布に作用するものとする。

境界条件は、載荷断面が強固な垂直補剛材を有するものとして、載荷断面において Y、Z 軸方向の変位および X 軸周りの回転を拘束、パネル中央断面で X 軸方向の変位と Y、Z 軸周りの回転を拘束した。

解析に用いた各パラメータは、フランジ幅厚比 $\lambda_f (=b_f/t_f)$ とウェブ幅厚比 $\lambda_w (=h/t_w)$ 、フランジ総断面積とウェブ断面積の比 A_f/A_w とする。また、本研究においては、道路橋示方書で想定されている最大の元たわみ値（フランジについては、 $W_{of}=b_f/100$ のねじりたわみ型、ウェブに関しては $W_{ow}=h/250$ の正弦半波形）を与えて解析を行った（図-2）

3. 解析結果および考察

以下の考察について、用いる用語について説明を行う。水平変位とはウェブ上下端の Z 軸方向に生ずる変位の平均値であり、単位は cm である。横倒れ角はウェブの上下端の Z 軸方向の変位をウェブ高で除してウェブの傾きを表現したものである。ねじれ角は、フランジのねじれを表現するために、フランジ両端の相対変位をフランジ幅で除した値である。また、各解析によって得られた最終荷重を桁の全塑性軸力で除した無次元化荷重を耐力と定義する。

A_f/A_w が 0.10～0.40 の場合には、耐力は 1.00 未満となる（図-3）。このように A_f/A_w が小さい場合には、部材の面外変位（水平変位）によって、フランジの鉛直軸周りの曲げモーメントが大きくなり、フランジの軸方向応力の分布は均一性を失って片側に偏る。特に下フランジにおいてはこの傾向が顕著で、結果として、フランジの片側のみに塑性化を生じて耐力を失う。このように A_f/A_w の値が小さい（0.10～0.40）場合にはフランジ断面

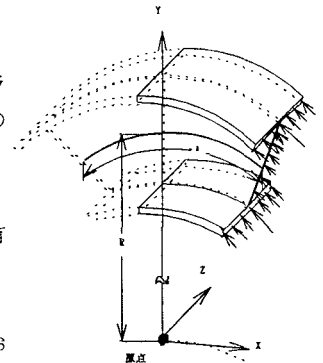


図-1 解析対象パネル

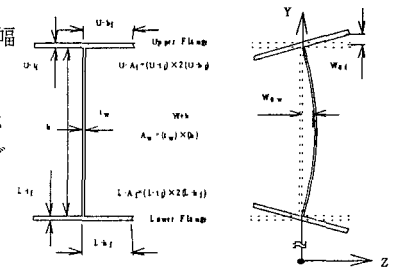


図-2 断面解説図

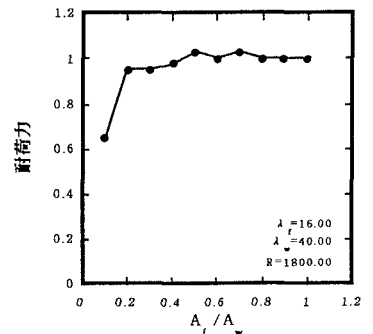


図-3 耐力・ A_f/A_w Curve

積が不足して、各部材が効率よく働いているとはいえない。

A_f/A_w の値が0.50～1.00の場合には、耐力力は1.00となる。 A_f/A_w の値が大きくなる場合には、フランジ断面積が大きくなり、部材の面外方向への曲げ剛性の増加により部材の面外変位（水平変位）を小さくすることができる。したがって、フランジの鉛直軸周りの曲げモーメントの影響が小さくなり、フランジの軸方向応力分布が比較的一様な等分布状態となり、部材全体に塑性化が拡がっている。このように A_f/A_w を0.50～1.00とすることで各部材を効率よく働かせることができる。

λ_w が35.0, 30.0となる場合に耐力力は、 λ_w が40.0の場合と比べ A_f/A_w に関係なく耐力力は約0.1 向上している（図4）。本研究ではウェブ高が一定としていることから、 λ_w を40.0以下とすることによってウェブ断面積が増加し、必然的にフランジ断面積が増加（断面二次モーメント）する。このことは耐力力の低下に影響を与える部材の面外変位（水平変位）を減少させることが挙げられ、部材の面外変位を抑えることによって、フランジに掛かる曲げモーメントの影響を小さくすることができるため、 A_f/A_w の値が小さい場合でも比較的均一な軸方向応力分布となる。このことは部材における塑性化を一部に集中させないため、結果として高い耐力力が得られる。したがって、 A_f/A_w が小さい場合には、 λ_w を40.0以下とすることで高い耐力力が得られ、また効率よく部材を働かせることができる。

λ_w を30.0, 40.0とした場合に λ_f を変化させた場合の耐力力は、 λ_w が30.0の場合に λ_w が40.0の場合よりも全体的に高い耐力力が得られる（図5, 6）。このことは前述したとおり、フランジの断面積（断面二次モーメント）の増加に伴ったものである。また、 λ_w が30.0, 40.0の場合に共通して起こる現象として、 λ_f の値が22.0以上になると耐力力が低下することが挙げられる。

このように λ_f が22.0を超える場合に耐力力が低下する要因となるものは、フランジの自由突出幅が大きすぎる、或いはフランジの板厚が薄すぎることから、フランジにおける面外方向への曲げ剛性の低下に伴うフランジ変形（ねじれ角）等が挙げられる。また、軸方向応力はフランジとウェブの接合部に集中し、その結果、フランジとウェブの接合部に塑性化を進行させ、このことが耐力力の低下につながる。

A_f/A_w の値が小さい場合には λ_w を40.0以下とすることで耐力力は向上できるものの、 λ_f は22.0以下とすることが必要である。

4. まとめ

1. A_f/A_w の値を0.50～1.00とすることにより、挙動（変形）を小さくすることができ、高い耐力力が得られ、また、各部材を効率よく働かせることができる。
2. A_f/A_w の値が小さい0.20～0.50について、 λ_w の値を40.0以下とすることで、高い耐力力が得られる。
3. λ_w の値が40.0で、 A_f/A_w の値が0.30以上であれば、 λ_f の値を22.0以下とすることで挙動は安定する。しかし、 λ_f の値によって耐力力の大きな向上は望めない。
4. λ_w の値が30.0のときに40.0よりも挙動は安定し、高い耐力力が得られるものの、 λ_f の値が22.0以下としなければならない。

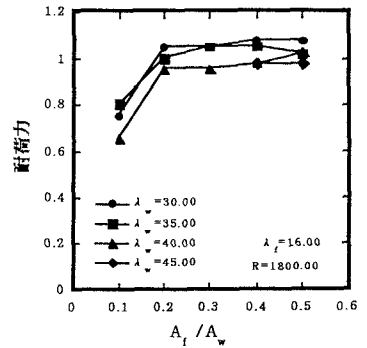


図4 耐力力・ A_f/A_w Curve

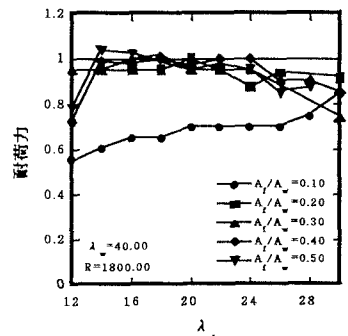


図5 耐力力・ λ_f Curves

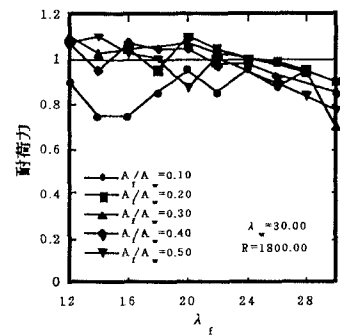


図6 耐力力・ λ_f Curves