

I-14

非対称リブアーチの耐荷力について

長崎大学 正会員 崎山 毅

長崎大学 学生員 橋野 藤彦

1. 緒言

アーチリブにはほぼ完全な軸圧縮状態をひき起す荷重の作用下において、リブアーチには、部材軸面内での座屈の他に、部材軸面外への曲げ変形と撓み変形とを連成した「曲げ撓み座屈」の起り得ることを知られている。特に、長大スパンと軽量構造を有するアーチ橋においては、アーチリブは極度に細長い構造となるため、その面外への安定性に対する検討は重要な問題となる。

この種の問題に関しては、これまでアーチ軸線の幾何学的非線形性を考慮した有限変位解析、更には、材料の非線形性をも考慮した、いわゆる複合非線形問題としての研究が行なわれ、面外耐荷力特性が明らかにされている。しかし、いずれの場合も対称構造を有するアーチを対象としたものがほとんどであり、築設地床の地理的条件から考えよとアーチ軸線が左右非対称形となる場合も考えられるが、このような非対称形アーチに関する耐荷力特性については未だ明らかにされていない実が数多いように思われる^{1),2)}。アーチの細長比、拱矢比、軸線形状、左右支承の高差差と共に、非対称荷重、面外方向の初期撓み、荷重によって生ずる残留応力の存在は耐荷力に大きな影響を及ぼすと考えられる。

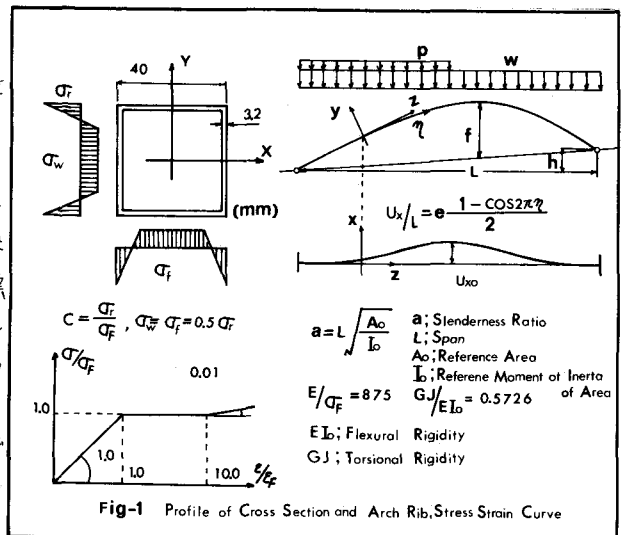
本報告は、有限変形理論から導かれた、任意形アーチに関する増分形基礎微分方程式の離散的な一般解に基づいて、幾何学的および材料の非線形性を考慮し、薄肉箱形断面を有する非対称形2ヒンジ放物線アーチの面外耐荷力解析を行なったものである。

2. 増分形基礎微分方程式の離散的な一般解

任意形アーチの微小要素の載荷変形状態における平衡方程式に基づく増分形基礎微分方程式および、微小ひびき、平面保持、撓断変形無視の仮定の下での荷重増分に対する材料の非線形性を考慮した断面力と変形量との関係式、そして誘導された増分形基礎微分方程式の積分方程式への変換と積分方程式の近似解法への応用によるアーチ軸の等分割点における離散的な一般解に基づいて、基本的には文献³⁾と同じであるので、ここでは省略することにする。詳しくは文献³⁾を参照されたい。

3. 数値解析に用いた仮定

Fig-1に解析に用いた断面諸量、面外初期変位量、残留応力の分布形状、応力-ひびき曲線を示す。初期変位は、面外方向の支持が固定の条件から、 $u_x/L = e(1 - \cos 2\pi\eta)/2$ を選んだ。ここに、 e はアーチスパン L と最大初期変位量 u_{x0} との比 u_{x0}/L 、 η はアーチ左端を原点とするアーチ軸上の無次元座標である。材料は $E/G_F = 875$ (SS41相当)のものを対象とし、非弾性域の進展に伴う剛性の低下は断面粗分割法により求めた。ただし、撓り剛性の低下は考慮しないものとする。応力とひびきの関係はひびき硬化を考慮できるように、3本の直線で仮定した。ひびき硬化曲線の勾配は0.01である。



4. 数値解析結果

Fig-2にDeck Loadが作用する場合の拱矢比 f/L と耐荷力 $\frac{wL^3}{EI_x}$ との関係を示す。細長比 $a=100\sim200$ のアーチでは、耐荷力は非弾性安定限界荷重(0印)により決定される。細長比が同じであれば、 $f/L=0.15\sim0.2$ の範囲で最大耐荷力を示している。細長比 $a=100$ のStockyなアーチでは、 $f/L=0.2$ 以下では左支承部に隣接する断面が一挙に非弾性化(■印)する。 $a=300$ のSlenderな場合は $f/L=0.1$ 以下では非弾性面外座屈(▲印)を、 $f/L=0.4$ 以上では面外弾性座屈(△印)を起こしている。

Fig-3は初期変位による左右支承の高低差 e/L と耐荷力との関係を示す。初期変位により面外への大きな変形が促進され、非弾性安定限界荷重に達している。耐荷力の減少の割合は、 e/L に関係なく、 $e=1/5000$ で5.6%、 $e=1/1000$ で19.2%、 $e=1/500$ で29.3%程度低下している。非弾性域は面外の曲げモーメントが大きいアーチの両端部に集中している。

Fig-4に非対称Deck Loadに対して、残留応力を生じた場合と、初期変位と残留応力を生じた場合の細長比と耐荷力との関係を示す。初期不整が無い場合、耐荷力は $a=150$ で $\frac{wL^3}{EI_x}=19.2$ 、 $a=250$ で $\frac{wL^3}{EI_x}=28.2$ である。初期変位が存在する場合は約12~15%の耐荷力の低下であるが、残留応力が存在する場合は、 $C=0.8$ のとき、 $a=150$ 、 250 で $\frac{wL^3}{EI_x}=12.2$ 、 10.4 であるから各々、36.5%、63.1%の低下である。又、初期変位、残留応力共に存在する場合は、 $C=0.8$ のとき、 $a=150$ では $\frac{wL^3}{EI_x}=10.5$ だから、初期変位がある場合に比べて35.3%、初期不整が全く無い場合に比べて45.4%、 $a=250$ では $\frac{wL^3}{EI_x}=8.2$ より各々65.6%、70.9%もの低下となる。非弾性域は、アーチ部材の左側では上フランジ部に、右側では下フランジ部に形成されている。この為、 $a=200$ 以上のSlenderなアーチでは面内の剛性の低下の方が大きく、面外への大きな変形を生ずることなく限界荷重に達している。細長比の小さいStockyなアーチでは、早期に非弾性域が発生しているが、残留応力による影響は比較的少ないようである。

以上の考察より、非対称形放物線アーチでは、面外初期変位よりは残留応力の方が、耐荷力に影響を及ぼすと思われる。

参考文献

- 1) 崎山, 青井他 非対称アーチの面内耐荷力解析 長大工部内報 第21 昭和58
- 2) 崎山 変断面任意形アーチの面内複合非線形解析 土学論報集 第310号 1981
- 3) 崎山, 若菜他 リアアーチの面外耐荷力解析 長大工部内報 第21 昭和58
- 4) 崎山他 鋼アーチの面外耐荷力について 土学 第31回年次講演要録集 昭和51.10

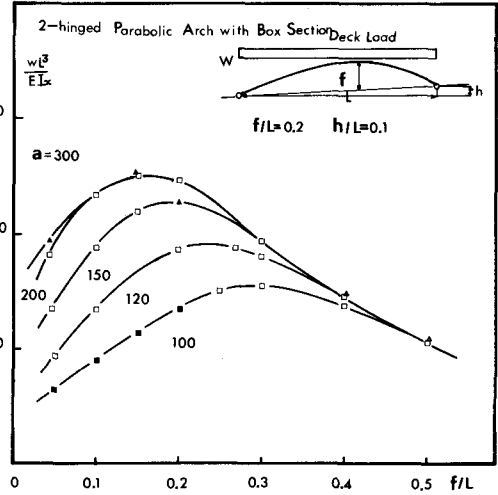


Fig-2 Load Carrying Capacity of Asymmetric Arch

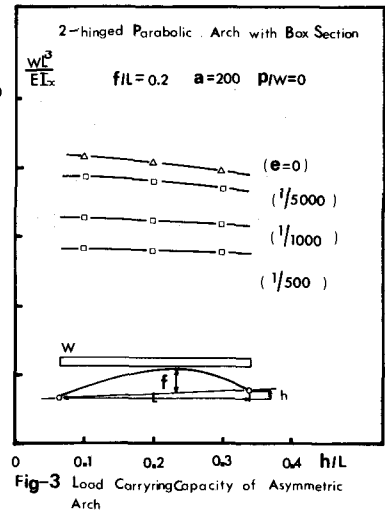


Fig-3 Load Carrying Capacity of Asymmetric Arch

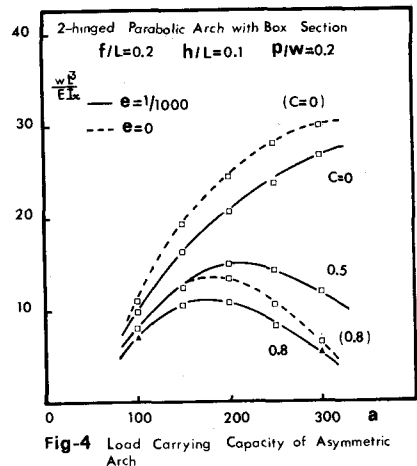


Fig-4 Load Carrying Capacity of Asymmetric Arch