

上路アーチ橋の面外座屈耐荷力

熊本大学 ○学生員 高橋一彦

熊本大学 学生員 植田聖朗

熊本大学 正員 崎元達郎

1) まえがき: 著者らは、アーチ橋の面外座屈耐荷力について研究を進めて来たが、上路アーチ橋については検討が不十分だったので、ここにその一部を報告する。道路橋示方書によれば、下路アーチ橋の場合、図-1に示すように、傾斜した吊材の面外座屈変形を引きもどす効果のために、その座屈荷重は吊材のないものより40%以上増大するが、上路アーチ橋の場合、傾斜した支柱の面外座屈変形を助長する効果のために、その座屈荷重は支柱のないものより25~40%低くなるとされている。DIN 1174及び道示では、このようなアーチリブに作用する荷重方向の変化を考慮するために、有効長さ係数を下路の場合 $\varphi = 1.035$ 上路の場合 $\varphi = 1.045$ (ここに、 φ は、吊材または支柱が分担する荷重の全荷重に対する比で、通常0.95~1.0の値になる) とするように規定している。しかしながら、これらの規定は以下の点で検討の余地がある。a) これらの規定は、1950年以前の弾性分岐座屈解析をもとに定められたもので、塑性耐荷力の観点での検討がなされていない。b) 有効長さは、荷重方向の変化以外に、支柱及び床組(補剛桁)のアーチの面外変形に及ぼす拘束効果に影響されると考えられるが、この効果が考慮されていない。c) アーチと補剛桁をアーチクラウンで剛結する場合は、上記b)の面外変形拘束効果が最大であり、この場合は、座屈変形モードがDIN、道示で想定している一波のものとは異なり、アーチクラウン節を持つ二波の面外変位モードに近くなると考えられる。これらの疑問の一端を解明するために、ここでは、以下のように数値モデルの有限変位弾塑性解析を行った。

2) 解析モデルと数値解析法: 図-2に示すように、単弦の放物線2ヒンジ鋼リブアーチを考える。満載等分布荷重が最も支配的と考え、これを等価な1/3の節点集中荷重に置き換えた荷重を考えた。また、道路面の桁は、面外曲げ剛性を無限大と考え、桁部分の各節点は、X、Z方向の変位とZ軸まわりの回転を拘束した。アーチリブと支柱の部材の各断面は図-3に示す形状とした。なお、残留応力分布は、図-3に示す分布であり、引張残留応力度 $\sigma_{rt} = 0.9\sigma_y$ 、圧縮残留応力度 $\sigma_{rc} = 0.4\sigma_y$ 、ここに σ_y は降伏応力度であると仮定した。その他、ライズ比、支間、部材の断面寸法は、図に示す通りであり、鋼種は、S541とし、アーチリブ部材の細長比 $\lambda = l/r_y$ (ここに、 l は、アーチの弧長であり、 r_y はアーチリブのy軸まわりの断面2

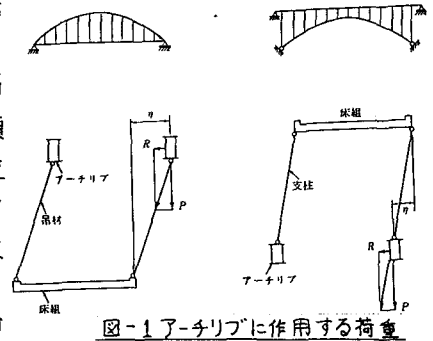
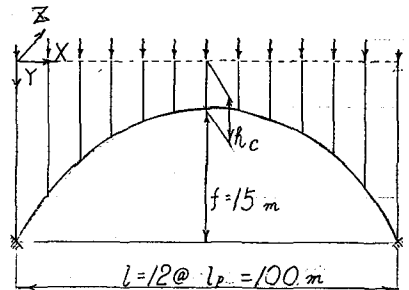
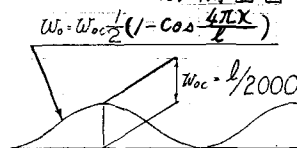


図-1 アーチリブに作用する荷重

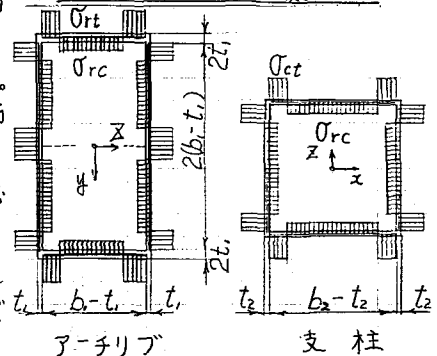


a) 側面図



b) 面外初期たわみ

図-2 モデルアーチの線形形状



アーチリブ

支柱

図-3 部材断面と残留応力分布

半径)が240~600になるように断面寸法を決定した。解析には、既に発表した幾何学的及び材料的非線形を考慮した三次元骨組のマトリックス解析法を用い、荷重増分法により、変位の急増した最終荷重段階を耐荷力とした。

3) 解析結果: 図-4は、 $\lambda_y=400$ が共通で、補剛桁のアーチクラウンからの位置を示すパラメーター

h/f が1.4と0.1と異なる場合の変位モードを示したものである。これより、 $h/f=1.4$ の場合は、アーチの面外変形に対する補剛桁の拘束が弱いため、一波形の面外たわみとなり $h/f=0.1$ の場合は、クラウン付近での桁による拘束が大きく、二波形の面外たわみとなっていることが解る。

また、 h/f が大きい場合の方が、ねじり角、面外たわみが小さいのは、小さい荷重で崩壊するためである。図-5は、最大たわみ点の面外たわみを荷重に対して描いたものであるが、 h/f 及び λ_y が大きいほど崩壊に至るまでに大きな変形を生じることが解る。図-6からは、断面力の内、面外曲げ、ねじり、面内曲げの順で影響が大きい事が解る。また、図-7には、崩壊寸前の塑性域の分布を図示した。面

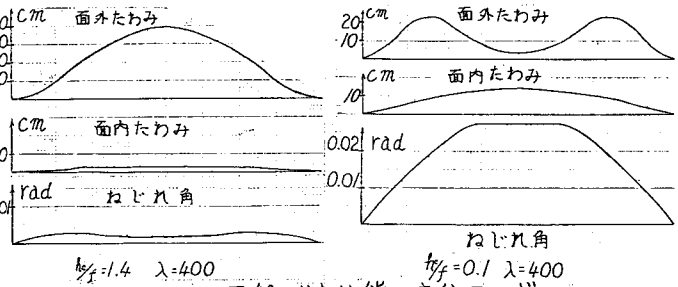


図-4 最終つり合状態の変位モード

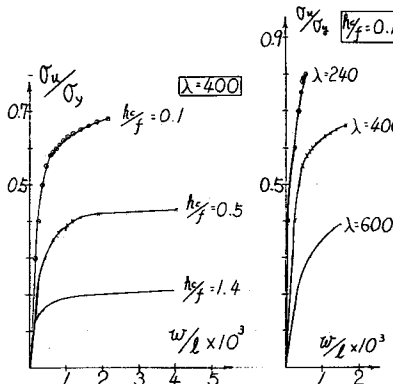


図-5 荷重-面外たわみ曲線

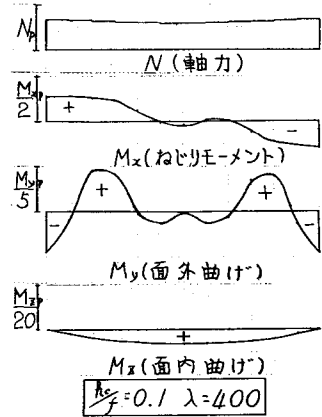


図-6 最終つり合状態の断面力

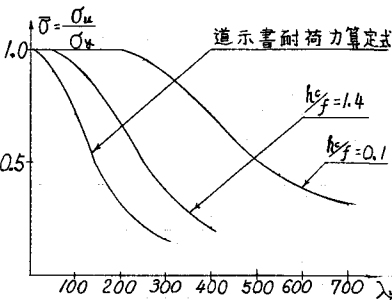


図-8 荷重-部材細長比曲線

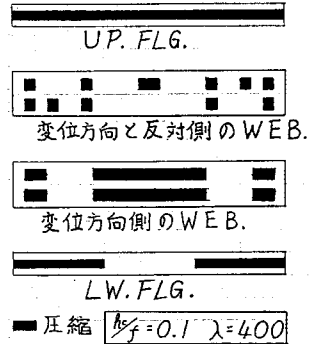


図-7 最終つり合状態の塑性域

外曲げと軸圧縮力が複合して、塑性域を形成しており、塑性域は軸方向に長い帯状に分布し、塑性ヒンジを形成していない。図-8は、細長比と面外耐荷力の関係曲線である。まず、この図から上路アーチ橋の耐荷力は、道示によって算定される耐荷力より相当大きい事が解る。これは、道示の解説で強度が25~40%低下する点と反する事実である。また、耐荷力は、補剛桁のアーチクラウンからの位置 h/f に大きく影響されることも明らかである。さらに剛な補剛桁をアーチクラウンと結合した場合($h/f=0.1$)には、 $\lambda_y<200$ では面外座屈による強度低下はないことが解る。

4) あとがき: 今後、道路面の桁の面外曲げ剛性を考えた場合の検討と複弦の場合をも考え合わせて、耐荷力の簡易算定式の提案に発展させたい。数値計算には、九州大学大型計算機センターのFACOM M-200を用いた。参考文献

1) 小松・崎元 「Nonlinear Analysis of Spatial Frames」, 土木学会論文報告集No.252, Aug. 1976, P143~157