

東京都立大学 ○学生員 尾崎 浩明

東京都立大学 正会員 野上 邦榮

東京都立大学 正会員 伊藤 文人

1. まえがき 本報告は、非弾性域の拡がり、残留応力、軸線初期曲がりなどを考慮したアーチの材料および幾何学的非線形解析を、塑性状態に対して取り扱いやすい有限剛体要素モデルを用いて行ない、幾つかの計算例よりアーチの耐荷力の特性について把握し、モデルの有効性を検討するものである。

2. 解析モデル 図1に示すようにアーチの全長 l を任意の長さ l で等分割し、分割された剛体を1つの梁とみなす。また、図1、図2に示すように、要素中央すなわち剛体間にはせん断ばね1本を断面中心線に、軸ばね m 本配置し、変形および力学的特性は剛体間ばねによってうけわたせる。

3. 材料および幾何学的非線形解析 幾何学的非線形解析は、平面探索面を用いたNewton-Raphson法により行なっている。なお本解析で用いた仮定は次のとおりである。

a) 材料の応力とひずみの関係は図3に示すような完全弾塑性体モデルとし、履歴効果も考慮する。

b) 断面の応力状態が非弾性域に入った後も、平面保持の法則が成立する。

c) 板厚の影響を無視する。

d) 部材断面中には、載荷以前に、残留応力による初期ひずみが存在する。

e) 初期ひずみの存在が、荷重が載荷されたことにより生じたひずみの大きさや分布形状に影響を与えることはない。

残留応力の分布形状は複雑な曲線形状となっているが、本解析では図4に示すように理想化し各細分割面にある軸ばねにひずみ量を与える。アーチの軸線に導入する初期曲がりとは次式で与えるものとする。

$$v_i' = e \sin\left(\frac{2\pi u_i}{L}\right) \quad (1)$$

ここで、 e は初期曲がりによる最大鉛直変位、 V_i は節点 i における初期曲がりによる鉛直変位、 U_i は節点 i における x 座標、 L はアーチの支点間距離である。

4. 解析結果

4-1 軸線の分割数による精度の影響 アーチの面内耐荷力解析をおこなう前に、あらかじめ十分な解の精度が得られるように、軸線を分割する数を決める必要がある。図5は、分割数が解の精度に及ぼす影響を調べるための計算の1例である。ここで、 f/L はライズ比、 L/r は細長比、 σ_y は降伏応力、 W は満載等分布荷重、 P は分布荷重である。縦軸は限界時の満載等分布荷重の無次元量、横軸は軸線の分割数をとっている。図より、2ピンジアーチも固定端アーチも分割数20で十分であると考えられるが、本解析では軸線分割数を30とした。

4-2 断面内分割数による精度の影響 断面内の非弾性域の拡がりや初期ひずみを導入する際、どの程度断面を分割するか問題となる。断面内分割数が解の精度に及ぼす影響を調べるために計算を行なった結果を図6に

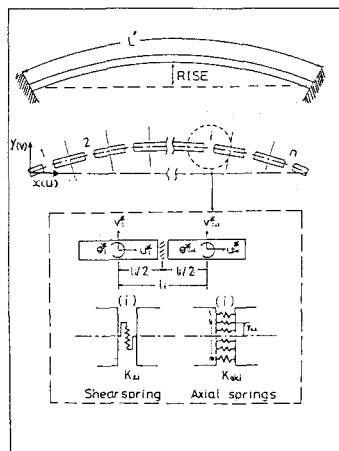


図1. 解析モデル

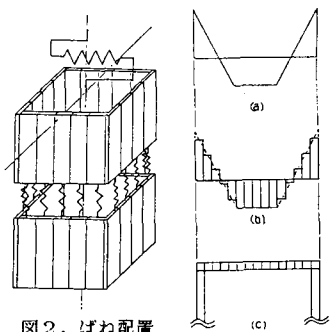


図2. ばね配置

図4. 残留応力

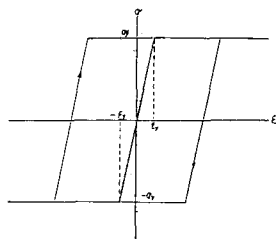


図3. 材料特性

示す。縦軸は限界時の満載等分布荷重の無次元量、横軸は断面内分割数でフランジ、ウェブ各々Ns個に分割したものとしている。図より、初期ひずみが導入されていても10×10で十分満足できる解が得

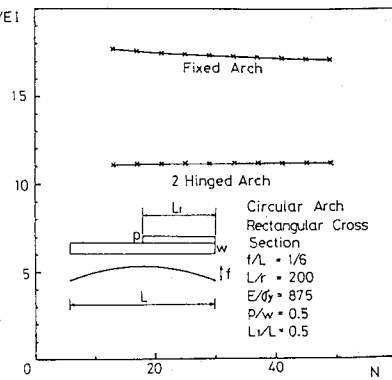


図5. 軸線分割数(N)と精度

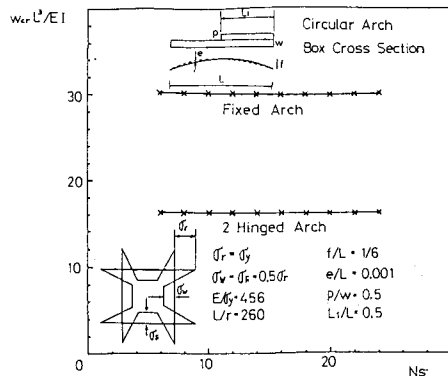


図6. 断面分割数 (Ns)と精度

られているといえる。本解析では断面を20×20に分割して行なうことにする。

4-3 円弧アーチの耐力に及ぼす軸線の初期曲がりの影響 架設段階などで生じるアーチの軸線の初期曲がりが、アーチの耐力に与える影響が極めて大きいと考えられている。そこで、円弧アーチの耐力に及ぼす初期曲がりの影響を調べたのが図7である。図で、 G_r は限界時の水平反力をアーチの断面積で割ったものである。縦軸はこの G_r と G_y の比をとり、横軸は細長比をとっている。 $e/L=0$ の耐力曲線はEuler曲線に相当するものである。図7より実際のアーチでよく用いられている細長比が200前後で初期曲がりの影響が顕著であるといえ、アーチの設計において初期曲がりによる影響を十分検討しなくてはならないといえる。

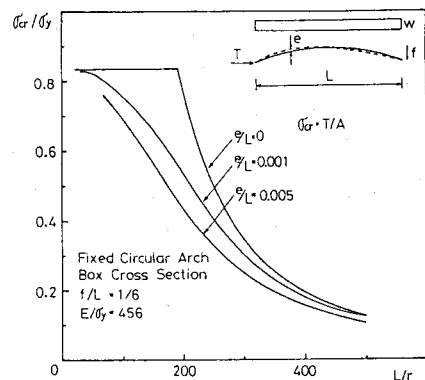


図7. 初期曲りと耐力

4-4 アーチの面内耐力に及ぼす非対称荷重の影響 アーチに非対称荷重が載荷されると、アーチの面内耐力に与える影響が大きいと考えられる。図8は円弧アーチに満載等分布荷重Wと載荷長さが変化する分布荷重Pを作用させた時、耐力に与える影響を調べたものである。縦軸は限界時の満載等分布荷重の無次元量、横軸は $P/w=0.5$ の非対称荷重の載荷長さ L_1 と支間長 L との比をとっている。図より、円弧アーチの面内耐力は非対称荷重が支間の半分に載荷した時ではなく、 $L_1/L=0.6$ 前後で最低となることわかる。次に P/w をパラメータとし、円弧アーチの面内耐力が最低となる L_1/L の時の値を縦軸にとって得られたのが図9である。図より、 P/w によってアーチの面内耐力に大きな影響を及ぼすことがわかる。

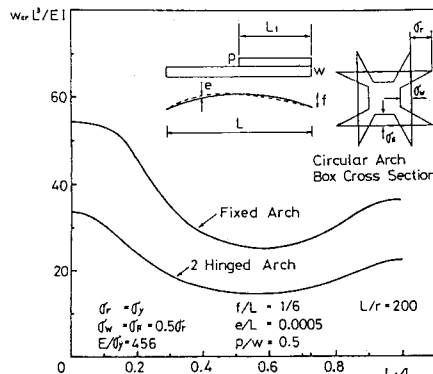


図8. 非対称分布荷重の載荷長さと耐力

5. 結論 本解析モデルは有効であると確認された。また、得られた主な結果を要約すると次のとおりである。

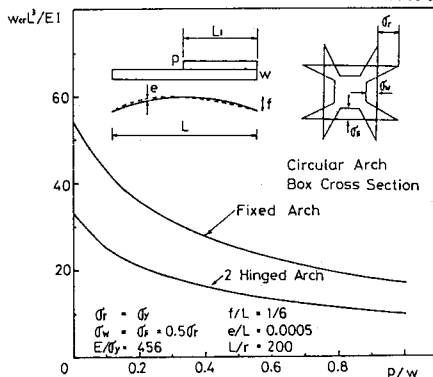


図9. 非対称分布荷重比(p/w)と耐力

- 初期曲がりがアーチの耐力に及ぼす影響は大きい。
- アーチの耐力に及ぼす影響が最も大きい非対称荷重の載荷長さは必ずしも支間の半分ではない。
- P/w の大きさによっても、耐力に大きな影響を与える。

文献 (1) 尾崎・野上・伊藤 「有限剛体要素モデルによるアーチの弾性座屈解析」 第38回年次学術講演会講演概要集 第1部 p253~p254