

(株)神戸製鋼所 正 波田 凱夫
 ” ” 新家 徹
 ” ” 頭井 洋

1. まえがき

本文は、アーチの面内弾性座屈の汎用解析と伝達マトリックス法を用いて行なったもので、この手法によれば、任意の境界条件および荷重条件のもとで、任意の断面と任意の軸線形状を有するアーチの面内弾性座屈の解析を容易に行なうことができる。第1報(文献1)では、解析の詳細な過程と、既存の理論解と計算例との対応を示し、本文の解析手法が妥当なものであることを明らかにした。本報では、従来ほとんど解かれにことのない、複雑な変断面アーチや、部分分布荷重をうけるアーチの座屈荷重につき、若干の計算を行ない、アーチの面内座屈特性の一端を論じた。また本手法を「2次の応力問題」に適用し、非対称荷重をうけるアーチの応力問題としての限界荷重を求め、若干の資料を示した。さらに Harries²⁾が行なった非弾性解析による耐荷力の計算値と比較して、応力問題としての解が、塑性崩壊荷重のどの程度の近似値になるかを示している。

2. 変断面2ヒンジ放物線アーチの座屈(Deutschの実験との対比)

Deutschは、図1に示すような2種の2ヒンジ放物線アーチ、すなわち断面2次モーメントが直接的に変化し、それぞれスパン中央およびスパン1/2点で最大値をとるようなものについて実験を行ない、その結果を整理して限界水平反力を $H_{cr} = \gamma d_{ch} E J_s / l$ で与えている。ここに $E J_s$ はアーチクラウンの曲げ剛性、 d_{ch} は一定断面アーチの座屈係数である。 γ は断面変化に関する係数で、曲げ剛性が全径間を通じて一定の場合は $\gamma = 1$ となる。Deutschは、実験結果の考察から γ の値は、ライズ・スパン比には、それほど影響されず、断面変化率のみに支配されるとしている。図1に Deutsch が求めた γ の値を実線で示す。ライズ・スパン比が $1/10$ および $1/5$ の場合につき本文の手法で求めた結果を同じ図1に示す。図より、ともに実験値と良く一致していることがわかる。

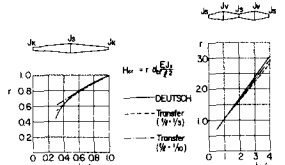


図1. 変断面2ヒンジ放物線アーチの断面変化に関する係数

3. 部分分布荷重による2ヒンジ放物線アーチの座屈

ここでは、本文の計算方法の汎用性を示す意味とアーチの面内座屈特性を知るための一つの資料を提供する意味から、種々の部分分布荷重の計算値を図2に示した。ここで W は死荷重に相当する全径間等分布荷重、 P は活荷重に相当する部分分布荷重であり、 P の載荷位置を種々に変化させ、座屈係数に及ぼす影響を調べた。図において、座屈係数はすべて死荷重 W に対する座屈係数として表わされている。座屈係数 d_{ch} は、当然予想されることであるが載荷形式(a)、すなわち活荷重全載の時に、 $1/6$ 、あるいは P/W に関係なく最小となる。活荷重の載荷長を一定とする時、載荷位置の相違によって座屈係数が

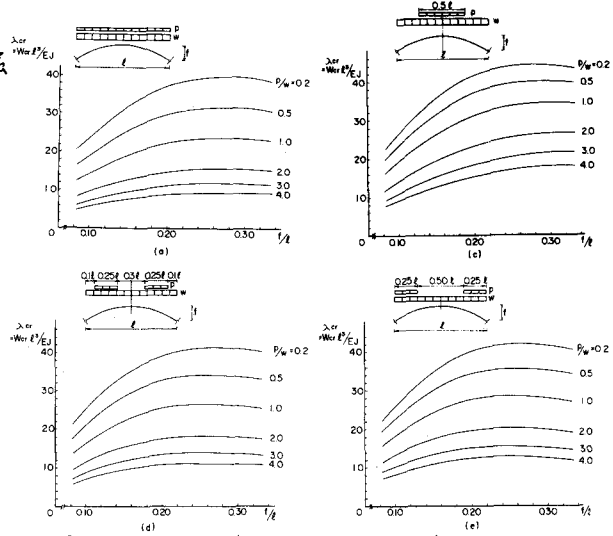


図2. 部分分布荷重をうけるアーチの座屈係数

どのように変化するかを、載荷長がスパンの半分である載荷形式(c), (d), (e)により調べてみると(d)の場合に入力か最も小さくなることかわかる。このことから、活荷重の載荷長がスパン全長よりも小さい場合、スパン1/4点付近に活荷重が部分分布すると、最も座屈を生じやすいと推論できよう。また(d)の座屈係数は、活荷重全載の場合の座屈係数よりわずかに大きいだけであり、特に $P/W=0.2$ の時は、わずか3~4%上まわっているにすぎない。

4. 非対称荷重をうける放物線アーチの応力問題

実際にアーチを設計する場合には、前章までに扱ったような対称載荷による分岐座屈の検討をすると同時に、全載した等分布死荷重 W に加え活荷重 P が半載した非対称荷重に対する安全性を検討することが必要である。二次弾性解析理論にもとづく本文の手法を応用して、いわゆる応力問題としてアーチの耐荷挙動を概略推定することができる。すなわちアーチ部材に生じる最大縁応力度を計算し、それが材料の降伏応力度に達する時の荷重をもって限界荷重とし、その時のアーチの軸力を断面積で除した値を限界応力と呼ぶ。図3および図4にこのような非対称荷重をうけるアーチの応力問題の計算例を示す。アーチは2ヒンジ放物線アーチとし断面は一定とした。またアーチ部材の断面をパイプとすると、断面の回転半径 r と核半径 k の比 r/k は、ほとんどの場合1.41~1.43となる。従って図3、図4の計算では、すべて $r/k=1.42$ と仮定した。

計算の手順は以下の通りである。 P/W を一定に保ち無次元化した死荷重入を漸増させ、最大縁応力度を追跡し、これが降伏応力度に達する時の入を限界荷重入力とする。ここで現行の鋼道路橋示方書と対比するため、この限界荷重の時の水平反力 H_{cr} を $H_{cr} = \lambda_{cr} (1 + 0.5 P/W) E \sqrt{8fl}$ により計算する。この H_{cr} を平均断面積 A で除した値 $\sigma_{cr} = H_{cr}/A$ を限界応力とした。

図3, 4の実線は、このようにして求めた限界応力を示す。また示方書のアーチ面内座屈規定により求めた許容応力に、降伏応力度に対する安全率1.7を乗じた値を図3および図4に破線を示した。図3図4より明らかのように、示方書の規定にもとづいて計算した限界応力は、 $P/W < 0.2$ の場合のみ本文の計算法による二次の応力問題の解より小さくなるが、 $P/W > 0.2$ では、 P/W が大きくなるにつれ、前者は後者を大きく上まわるようになる。すなわち $P/W > 0.2$ では、示

方書の規定により設計すれば、降伏応力度に対する最大縁応力度の安全率³⁾が、所要の値(1.7)を下まわる可能性が大きくなると考えられる。最大縁応力度が降伏応力度に達した後も、アーチはいわゆる塑性域の剰余耐荷力を發揮する。

Harrises²⁾は長方形断面およびパイプ断面の2ヒンジアーチに対し、塑性域の広がりや考慮した耐荷力の解析を行っている。図5は、本文の計算法による応力問題の解が、このような非弾性解析による耐荷力のどの程度の近似値になるかを検討するための一つの資料を提供するものである。 $l=200\sim 300$ mのアーチでは荷重比 m の値は0.1~0.2の間にあるようであるが、この時、応力問題の解とHarrisesの解との比 $\sigma_{cr}^S / \sigma_{cr}^H$ は、図5(b)のパイプ断面で0.9以上になる。したがって、このようなアーチでは、二次の応力問題の解をもって耐荷力の良好な近似値とすることができると考えられる。なお、非弾性座屈や塑性崩壊についても研究を進め、機会を改めて報告したい。

5. 参考文献

- 1) 渡田他、伝達マトリックス法によるアーチの面内弾性座屈解析について(第1報)土木学会関西支部講演会1972.6
- 2) Harrises, Traglasten stählerner Zweigelenkbögen mit ausgebreiteten Fließzonen, Der Stahlbau H.6 und H.8, 1970

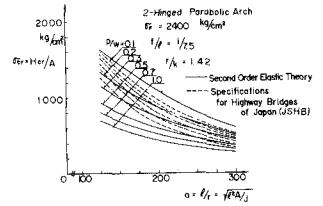


図3. 限界応力と細長比の関係

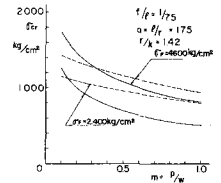


図4. 限界応力と荷重比の関係

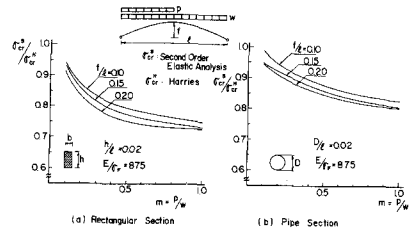


図5. 応力問題の解と非弾性解析による耐荷力との比較