

## 長大スパンコンクリートアーチ橋の非線形解析

名古屋大学 工学部 学生会員 姫野 正太郎

山梨大学 工学部 正会員 中村 光

名古屋大学 工学部 正会員 田邊 忠顕

### 1. はじめに

現在のコンクリートアーチ橋の最大スパンは、チトー橋(ユーゴスラビア)の 390m である。アーチ橋よりも歴史は浅いがコンクリート斜長橋の最大スパンは 590m であり、アーチ橋より長大化されている。一方、将来のコンクリート構造の発展を考えれば、アーチ橋の長大化となるのは避けられない。そこで試案として、コンクリート構造として本質的に優れていると考えられるアーチ橋を対象とし、中央支間 600m のアーチ橋を考えて設計上の問題点がどこにあるのか探ってみた。

### 2. 解析概要

解析モデルは架空の地形に作られた 600m の RC アーチ橋である。概略設計は(株)ピーエスにお願いし、図 1、図 2 に示す断面を得た。この試案に対して解析を行ったのであるが、解析上ではアーチリブのみの構造を考え、アーチリブの自重や柱、横桁、上路をアーチリブとの接点にかかる死荷重として考えた。活荷重は死荷重の約 1/10~1/20 なので考えない。この他に、水平荷重も以下に示すように考慮した。

また、解析モデルは 3 次元はり要素を用い、6 自由度で大変形、ねじりを考慮して定式化し、有限要素解析を行った。このとき、ねじり剛性は弾性のねじり剛性に低減係数を乗じて、一定の割合で変化するものとした。

今回用いた FEM 解析では、常に、アーチ頂部を変位制御しており、アーチ頂部以外の点にはそれぞれ、頂部の全死荷重に対する各点の全死荷重の比と同じ割合で頂部と同様に荷重を徐々に与えている。即ち、変位制御と荷重制御を混合して用いている。

解析は以下の境界条件、荷重条件を組み合わせで行った。

境界条件：両端固定端、両端ヒンジの 2 種類

荷重条件：鉛直荷重のみを徐々に載荷、

0.05G、0.03G の一定水平力載荷状態で鉛直荷重を徐々に載荷、

水平荷重のみを徐々に載荷の 3 種類

### 3. 解析結果

図 3 と図 4 の曲線は、両端ヒンジでアーチリブ頂部鉛直変位を変位制御し、鉛直荷重のみを載荷したときの頂部についての荷重-変位曲線であり、それに負の固有値の出現状況を示した。

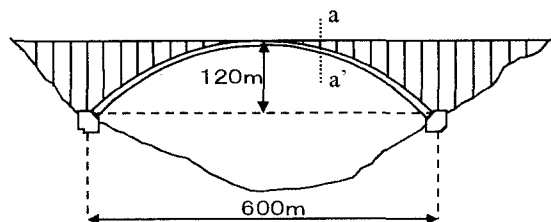


図 1. アーチ橋概観図

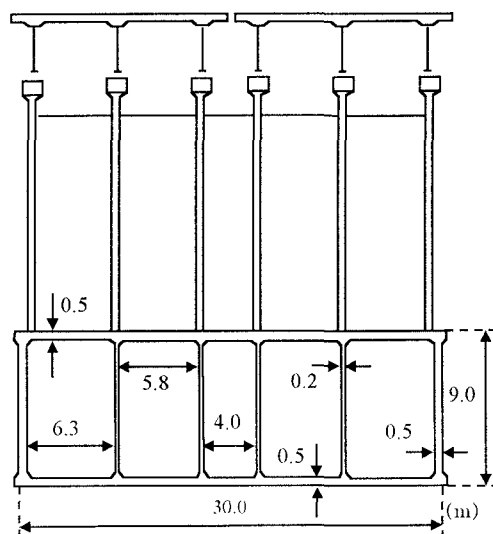


図 2. アーチ橋(a-a')断面図

両図の条件の相違は、ねじり剛性の大きさのみである。

負の固有値は、十分なねじり剛性(GK)がある場合は最高荷重のときに1個、その直後の断面が降伏し荷重が低下し始めたときに2個目を得た。小さいねじり剛性(GK/100)の場合は最高荷重に達するかなり前の荷重が単調に増加している途中で1個、ねじり剛性が大きいときと同様に断面降伏し荷重が低下し始めたときに2個目を得た。一方、1~3 次の固有モードを見てみると、正の固有値のみのときには図5のそれぞれ(a)、(b)、(c)の形となり、負の固有値1個目に対応するモードは(a)、2個目対応するのは(b)となった。

固有値が零、数値解析上では最初の負の固有値が生じる時点は2つに分類できる。1つは荷重増分が正から負になる間に、固有値が零になる点が存在する。この点はlimit pointと呼ばれ、最大荷重点がそれに当たる。また、荷重ベクトルと固有ベクトルが直交する関係にある点でも負の固有値が生じ、このような点はbifurcation point(分岐点)と呼ばれ、fundamental path(基本的な変形経路)と異なるbifurcation path(分岐経路)が存在し、その発端となる点である。

このような観点から解析結果を見ると、両端ヒンジの条件では荷重が  $1.3 \times 10^6 \text{ kgf}$  のときに面内座屈である(a)のようなモードで変形分岐することが示されている。また、仮にこの荷重を通り越したとしても、最大荷重は自重の1.5倍程度で最大耐力に達することが示された。さらに最大耐力以降は、負の固有値に対して(a)、(b)の固有モードが示されており、よりエネルギー準位の低いモードとして(a)が示されている。

両端固定の場合、最大荷重以降、bifurcation point は同様に出現したが、一つ異なるのは対応するモードが、ねじり剛性 GK/200 の場合は(a)であるが、ねじり剛性 GK の場合は(d)のように局部座屈的になった。境界条件に関わらず共通することは、ねじり剛性を小さくしたことによってbifurcation point が早期に出現するようになる。

#### 4. 結論

600mのアーチ橋に対して非線形分岐解析を行ったが、とりあえず支点の拘束条件によって、過早な座屈が生じたり、最大荷重点付近での破壊モードを推定することが出来た。

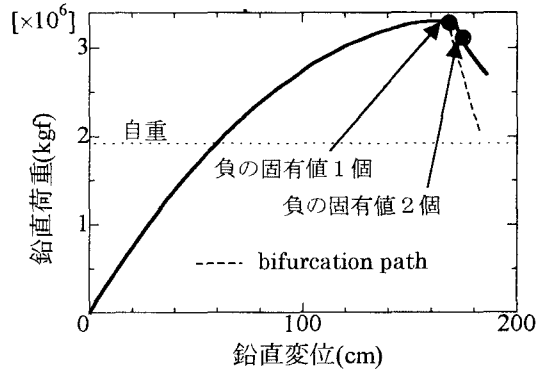


図3. 負の固有値の出現状況  
(ねじり剛性: GK)

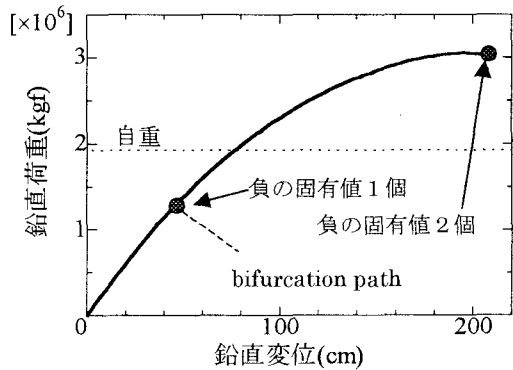


図4. 負の固有値の出現状況  
(ねじり剛性: GK/100)

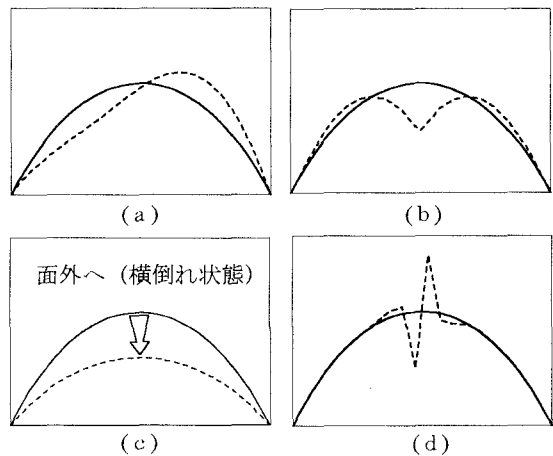


図5. 固有モード