

V-411

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

名古屋大学工学部 正会員 田邊 忠顕

山梨大学工学部 正会員 中村 光

1. はじめに

今後のコンクリート構造物の発展を考えると、その一つは明らかに橋梁構造物等の更なる長スパン化と思われる。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 であり、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 である。そこで、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、現在の最長スパンを大きく超えるアーチ橋を建設するとすれば、固有値解析を通して、実際上どのような構造上の問題が生じるかや解析上の構造特異点、bifurcation point で起こりうる現象の推定などを行うことにした。

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。

また、解析モデルは 3 次元はり要素を用い、12 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の荷重が加わるように徐々に与えている。即ち、変位制御と荷重制御を混合して用いている。

また、固有値解析として、質量マトリクスを考えずに剛性マトリクスのみ考慮する静的な不安定問題、減衰がない自由振動を考え質量、剛性の両マトリクスを考えた一般固有値問題の両方を考え、固有モードの相違などを見た。

3. 解析結果

図 3 の曲線は、両端ヒンジで 0.05G の水平荷重を載荷後に、アーチリブ頂部の鉛直変位を変位制御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。

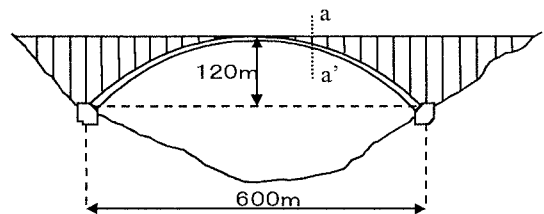


図 1. アーチ橋概観図

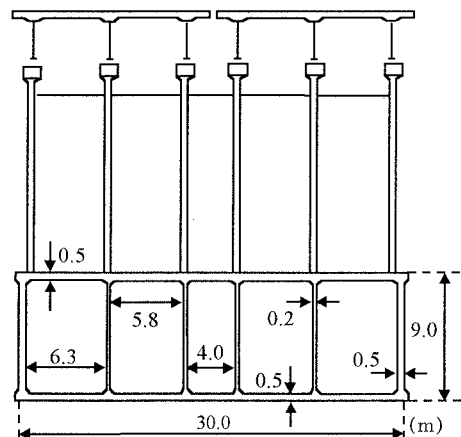


図 2. アーチ橋(a-a')断面図

キーワード 600mスパン, bifurcation point(分岐点), 長周期

連絡先 名古屋大学 コンクリート構造研究室 052-789-4635

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降下し始めたときに 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降下し始めたときに 2 個目を得た。

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、GK/100 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(b)のようなモードで変形分岐することが示され、早期の bifurcation point を確認できた。また、仮にこの荷重を通り越したとしても、耐荷力に達することが示された。さらに最大耐荷力以降は、負の固有値に対して(b)、(c)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(b)が示されている。

表 1 より、得られた固有周期は最大で 9.5(s)で、かなり長周期となり、解析が進むに連れて、さらに長くなった。600mスパンアーチ橋は、構造物としては大きい部類に入るものであるので、周期が大きくなったと思われる。実構造物として実現するために考慮する必要がある固有モードは、周期が長周期側からの 0.1 秒前後のものまでであるので、この解析では 57 個あまりの固有モードを取り上げて考える必要がある。また、次数の高い固有モードを見てみると、図 4 の(d)のモードとなっている。

現在の道路橋示方書の設計基準を満たすためには、最大 0.2G の慣性力に耐えうることが必要であるが、自重載荷状態のモデル橋に、水平方向に単調増加変位を加え変位制御したところ、結果として図 5 を得て、0.11G までの水平耐荷力しか持たず、現在の示方書の設計基準に満たしていない。

4. 結論

600mのアーチ橋に対して非線形の分岐解析を行い、過早な座屈の可能性、最大荷重点付近での破壊モード、水平耐荷力の不足などがわかり、頂部の強化の必要性がわかった。だが 600mスパンアーチ橋の実設計の可能性は、地震動への対応などを含め、より一掃の検討が必要であり、結論を出すことはまだできない。

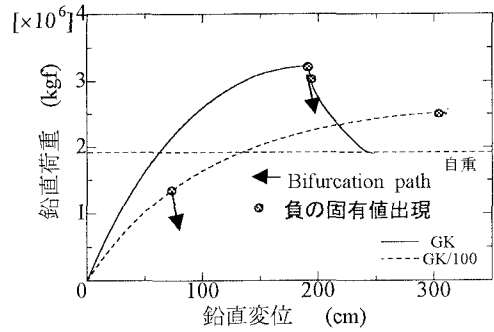


図 3. 負の固有値の出現状況 (両端ヒンジ)

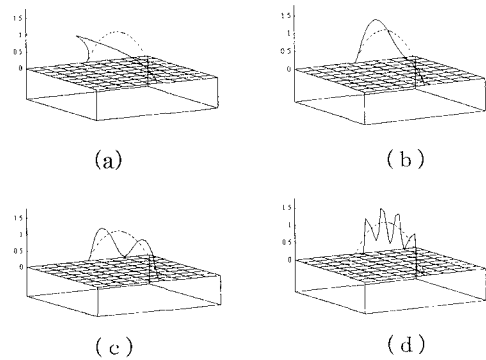


図 4. 主な固有モード

表 1. 自重載荷状態の固有周期

1次周期(s)	2次周期(s)	3次周期(s)
9.50	9.19	4.84
...	11次(s)	...
...	30次(s)	...
...	57次(s)	...
...	1.04	...
...	2.76E-01	...
...	1.02E-01	...

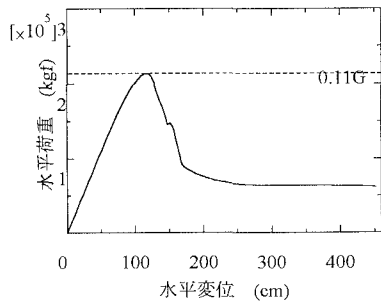


図 5. 水平方向へのモデル橋の耐荷力