

長大 RC アーチ橋の耐荷力解析

名古屋大学大学院 学生会員 谷口 勝彦
名古屋市 正会員 姫野 正太郎
名古屋大学大学院 フェロー会員 田邊 忠顕

1. はじめに

コンクリートアーチ橋は、その構造として本質的に優れており、独特の景観美を有すること、さらに設計施工技術の発達により、最近になって架設が活性化している。現在、我が国にはスパンが 200m を超えるコンクリートアーチ橋が建設中のものを含め 5 本存在し、今後の設計施工技術の発展を考えると、さらなる長大化が予想される。本研究では、長大化するコンクリートアーチ橋の構造上の問題点がどこに存在するかを解析的に評価するために、材料的非線形性、幾何学的非線形性およびせん断変形を考慮に入れた有限変形はり要素の定式化を用いて実在するアーチ橋の解析を行い、固有値解析を通して構造不安定問題の検討を行う。

2. 非線形有限変形はり要素剛性の定式化

従来、はり理論を用いた数値解析は、微小変形理論に基づき、せん断変形が無視されるのがほとんどであったが、本研究で解析対象とする長スパン構造では、材料的非線形性はもちろん、幾何学的非線形要因を慎重かつできるだけ正確に考慮する必要がある。そこで、せん断変形を考慮した 3 次元 12 自由度はり要素の非線形有限変形理論に基づく解析手法を用いた¹⁾。

はり要素の仮想仕事方程式より、本研究で用いる剛性方程式は次式で与えられる。

$$([K] + [K_g])\{d\mathbf{l}\} = \{d\mathbf{F}\} + \{d\mathbf{F}_r\} \quad (1)$$

ここで、 $[K]$ は構造物の微小変位剛性マトリクス、 $[K_g]$ は幾何剛性マトリクスであり、 $([K] + [K_g])$ により、接線剛性マトリクスが得られる。

さらに本研究では、構造不安定問題を検討するために、固有値解析を行う。構造物の非線形挙動のうち、ポストピーク領域は構造物が不安定になり、安定性が失われる領域である。この安定性が失われる構造特異点での性質として、limit point および bifurcation point の 2 つが挙げられる。limit point は構造物に荷重を作用させたときの荷重 - 変位曲線の最大荷重点に相当する点であり、荷重が最大荷重に達した後、減少しながら、しかも変形が増大する不安定現象である。また、bifurcation point は分岐点と呼ばれ、固有ベクトルと荷重ベクトルが直交する関係にある点であり、fundamental path (基本的な変形経路) と異なる bifurcation path (分岐経路) の発端となる点である²⁾。

3. 実在する 200m 以上のアーチ橋の諸元

本研究では、我が国に実在するスパンが 200m を超える 4 本のアーチ橋を解析対象とした。それぞれのアーチ橋の諸元を表 - 1 に示す。

解析ではアーチ橋のアーチリブのみを解析対象とし、アーチリブの自重や柱、上路をアーチリブとの接点にかかる死荷重として考える。アーチリブ頂部を変位制御し、それ以外の節点には、各節点の全死荷重の比率と同じ割合で、頂部と同様に荷重を徐々に与えることとした。また、境界条件は両端固定とした。

表 - 1 アーチ橋の諸元

橋 名	橋長 (m)	アーチ支間 (m)	支間・ラゲ比 (m)	完成年
A 橋	381.0	265.0	6.5	施工中
B 橋	370.0	260.0	8.0	施工中
C 橋	411.0	235.0	6.6	1989
D 橋	332.5	204.0	6.9	1982

キーワード：せん断変形、非線形有限変形理論、bifurcation point

連絡先：〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学土木工学専攻第 2 講座 Tel:052-789-4484

4. 実在するアーチ橋の耐荷力解析

本研究では、表 - 1 に示した実在するアーチ橋において、アーチリブ頂部を鉛直方向、橋軸直角方向および橋軸方向の 3 つを変位制御した場合を考え、頂部の荷重 - 変位曲線と、接線剛性マトリクス of 1 次および 2 次の固有値の変化を調べた。その結果、唯一 bifurcation point が出現したと考えられる、B 橋における鉛直方向載荷時の荷重 - 変位曲線および 1 次、2 次の固有値の変化を、図 - 1 に示す。また、それぞれのアーチ橋の耐荷力を表 - 2 に示す。

図 - 1 より、1 次の固有値が負になった時点は、荷重 - 変位曲線の最大荷重点に対応している。従って、この時点で limit point が定義され、荷重が低下する不安定な釣合経路上に構造物が存在することを示している。また、最大荷重点を過ぎた直後に 2 次の固有値が負となり、2 つ目の負の固有値が発生した。この時点が bifurcation point であると考えられる。limit point および bifurcation point における固有モードを図 - 2 に示す。

図 - 2(b) の 1 次モードに、図 - 2(a) に示した limit point での固有モードと全く無関係のように思われるモードが現れている。この 1 次モードが bifurcation point に対応する固有モードであり、この点から今までと全く異なる変形挙動に移行する可能性が生じる。また図 - 2(b) の 2 次モードに、図 - 2(a) で示した 1 次モードと同様なものが発生しており、このモードは limit point 後の釣合経路に対応するものである。

本研究で得られた固有周期を用いて、道路橋示方書のタイプ Ⅱ、Ⅲ種地盤の設計水平震度を求めると、表 - 3 に示す結果が得られた。表 - 2 と表 - 3 の結果を比較すると、本研究で求めた橋軸直角方向および橋軸方向におけるすべてのアーチ橋の水平耐荷力は、道路橋示方書より求めた設計水平震度を上回っていることが確認された。

5. まとめ

我が国に実在する 200m 以上のアーチ橋の解析を行い、固有値解析を通して構造不安定問題に対する検討を行った結果、bifurcation が起こりうる可能性が示された。また、本研究で得られた水平耐荷力は、現在の道路橋示方書が定める設計水平震度を上回っているが、0.6G の下限値の規定は満たしておらず、さらに検討が必要であると思われる。

参考文献

- 1) 姫野正太郎，田邊忠顕：長大スパンコンクリートアーチ橋の非線形動的解析，コンクリート工学年次論文報告集 Vo.21, No3, 1999, pp.385-390
- 2) 中村光：コンクリート構造のポストピーク挙動に関する解析的研究，名古屋大学博士論文，1992

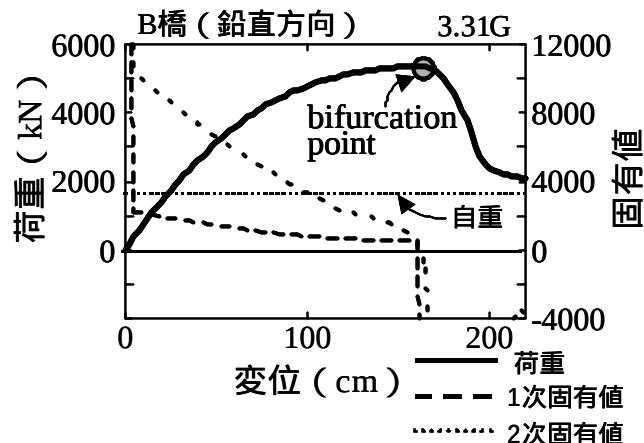


図 - 1 荷重 - 変位曲線と固有値の変化 (B 橋)

表 - 2 アーチ橋の耐荷力

橋名	鉛直方向	橋軸直角方向	橋軸方向
A 橋	4.42G	0.57G	0.67G
B 橋	3.31G	0.20G	0.86G
C 橋	2.87G	0.70G	0.61G
D 橋	4.42G	0.76G	0.86G

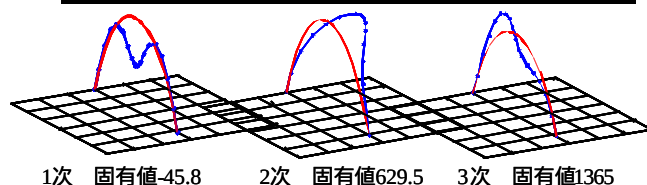


図 - 2 (a) 固有モード (limit point)

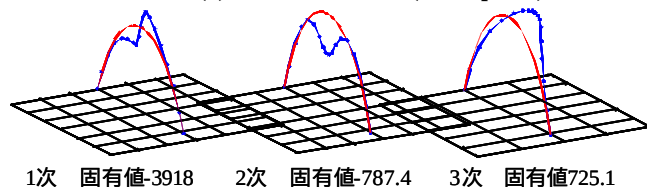


図 - 2 (b) 固有モード (bifurcation point)

表 - 3 アーチ橋の設計水平震度

橋名	橋軸直角方向	橋軸方向
A 橋	0.48 G	0.36 G
B 橋	0.19 G	0.40 G
C 橋	0.57 G	0.36 G
D 橋	0.75 G	0.55 G