

I - B231

GAを用いた木造アーチ形式遊歩道橋の剛度比の推定

北海道大学工学部 フェロー 林川 俊郎
 北海道大学工学部 学生員 須志田 健
 北海道大学工学部 正員 小幡 卓司
 北海道大学工学部 フェロー 佐藤 浩一

1. まえがき

従来より橋梁には、鋼・PC・RC が主な材料として用いられている。しかし、環境への配慮が重要視される近年、木材を主材料とした橋梁が見直されてきている。特に公園などでは周囲の環境との調和を保ち、優れた景観を提供するという観点から、木構造遊歩道橋が次々と架設され、今後より多くの架設が予想される。しかし、現在我が国において木橋の設計手法は①材料が多くの不確実な部分を有すること、②接合部、支承部の明確な取り扱いが定められていないこと、③木構造遊歩道橋を対象とした実測例も少ないという理由から、十分に確立されていないのが現状である。今後ますます増加するであろう木橋の設計および架設方法を確立することは、重要な課題となりつつある。

そこで、本研究は木橋が有する不確実さを最適化手法の一つである遺伝的アルゴリズムを用い推定するものである。具体的には、接合部、支承部の剛度比や断面剛性(ヤング係数)の値を離散的パラメータとして取り扱い、現場振動実験で得られた固有周期をもとに、実在する木造アーチ橋におけるこの不確実な部分を推定するものである。

2. 木造アーチ形式遊歩道橋

本研究で対象とするのは、平成5年9月に札幌市豊平区の平岡公園内に建設された木造アーチ形式遊歩道橋である。本橋は図-1のように、3径間ゲルバー桁を補剛桁とするアーチ橋で、橋長70m、アーチスパン45mを有し、木造アーチ橋としては国内最大級のものである¹⁾。アーチ主構と補剛桁には

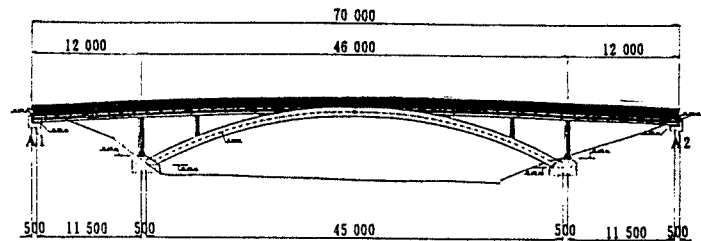


図-1 平岡公園木構造アーチ橋

ドリフトピンによって合成された、それぞれ8層および3層からなる重ね梁と重ね透かし梁という集成方法が用いられている。さらに、部材の添接には、断面中央に亜鉛メッキ鋼版を挿入して強度を高める方法が用いられている。また、アーチ主構の支持部はコンクリートの台座の上にゴムマットを挟み、補剛桁支持部は橋台上の簡易的な柵に直接載せた構造になっている。

3. 木造アーチ橋のモデル化

本研究に用いた平面骨組モデルを図-2に示す。アーチ主構と補剛桁に用いられているエッキ材は、非常に硬く、接着剤がしみこまないため、集成材のように張り合わせることができない。そこで、十分な断面を確保するためドリフトピンによって合成された重ね梁と重ね透かし梁という集成方法が用いられている。補剛桁は3層、アーチ主構は8層構造になっており、不完全合

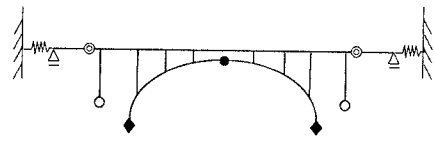


図-2 平面骨組モデル

成断面と考えられ、DINに準じて算定した断面2次モーメントを用いて計算を行っている。図-2の●、○、◆の部分は、半剛結としてモデル化される接合部、支承部を表している。●、○、◆は、前述したアーチクラウン部の重ね梁、側径間部の重ね透かし梁、アーチ主構支持部にそれぞれ対応している。半剛結の取り扱いについては、部材両端の半剛結の曲げに伴う回転を線形なばね定数でモデル化し、共役梁法により導かれた、剛度比 γ と呼ばれるパラメータを用いてモデル化を行っている。部材(i, j)両端の剛度比を式(1)に示す。

$$\gamma_i = L / (L + EI\lambda_i) \quad \gamma_j = L / (L + EI\lambda_j) \quad (1)$$

剛度比 γ は無次元量であり $\gamma_i, \gamma_j = 0$ は回転自由のピン結合に対応し、 $\gamma_i, \gamma_j = 1$ は回転を拘束する完全剛結に対応している²⁾。また、補剛桁支持部には、図-2に示すような仮想ばね要素を導入することにする。

Key word : Genetic Algorithm, Ridged stiffness ratio, Wooden Arch Bridges

〒060 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学工学部土木工学科 TEL.(011)706-6172 FAX.(011)726-2996

ここで、仮想ばね要素ののび剛性を $K \cdot (EA/L)$ と表し、係数 K の変化によりローラ支承からヒンジ支承のモデル化を行う。つまり、 $K=0.0$ でローラ支承、 $K=\infty$ でヒンジ支承を表している。

4. GA によるパラメータの推定

本研究における具体的な GA の適応方法は、交叉率 0.6、突然変異率を 0.01 とした単純 GA を用いている。設計変数として、図-2 に示した ●、◎、◆部の剛度比、補剛桁支持部の仮想ばね係数 K 、およびエッキ材のヤング係数を離散値として取り扱い、それぞれ 3 ビットおよび 2 ビットの遺伝子列を用いてコード化を行った³⁾。各設計変数とその離散値を表-1 に示す。またヤング係数は表-2 に示す算定値を用いる。目的関数：OBJ に関しては式(2)のように実験値から得た 1 次および 2 次の固有値と数値解析値の誤差を用い、目的関数が最小となる各パラメータの値を求めた。

表-1 設計変数と離散値

$\gamma_{\bullet}$	0.0,0.1,0.2,0.3,0.5,0.6,0.8,1.0
$\gamma_{\circ}$	0.0,0.1,0.2,0.3,0.5,0.6,0.8,1.0
$\gamma_{\blacklozenge}$	0.0,0.1,0.2,0.3,0.5,0.6,0.8,1.0
K	0.0,0.1,0.2,0.3,0.5,0.6,0.8,1.0
E	1.26,1.64,1.73,1.89($\times 10^6$ ton/m ²)

表-2 ヤング係数算定値($\times 10^6$ ton/m²)

1.26	BS による最小値
1.64	都立センターによる最大値
1.73	DIN による値
1.89	BS による最大値

$$OBJ = |ECM(1)^* - ECM(1)| + |ECM^*(2) - ECM(2)| \quad (2)$$

ここで、 $ECM^*(1)$ 、 $ECM^*(2)$ は現場振動実験より得られた固有周期から算出した固有値である⁴⁾。 $ECM(1)$ 、 $ECM(2)$ は GA システムから返される各パラメータを用いて固有値解析を行うことにより得られる値を示している。() 内はモード次数を表している。また、解の収束性が高められるという理由から、本研究では目的関数に固有周期よりも値の大きい固有値を用いるものとする。初期集団の個体数は 100 個体、交叉についてはランダム一点交叉法を用いている。収束条件としては、世代における最良線列がその世代の個体数の 1 割となったところで収束するものとする。

5. 数値計算結果

以上のような解析手法により以下のようなパラメータの値を得た。

$$\gamma_{\bullet} = 0.2 \quad \gamma_{\circ} = 0.3 \quad \gamma_{\blacklozenge} = 0.2 \quad K = 0.1 \quad E = 1.73$$

これらのパラメータの値を用いて数値解析をおこなった結果、固有振動モードは図-3 のように得られることが確認された。得られた鉛直 1 次逆対称モード $T_1 = 0.36578(\text{sec})$ 、および鉛直 2 次対称モード $T_2 = 0.3112(\text{sec})$ の固有周期は実験による固有周期 $T_1 = 3.66(\text{sec})$ 、 $T_2 = 0.311(\text{sec})$ にかかなり近いことが認められる。各パラメータの値は、重ね梁（アーチクラウン部）の剛度係数が 0.2、重ね透かし梁（中央径間、側径間境界部）が 0.3、アーチ主構支持部が 0.2 となり、剛結と言うよりもむしろ、ヒンジに近い状態であるということがわかった。本橋の支承部、および接合部は完全剛結とは考えられず、得られたパラメータの推定値は妥当な値であると考えられる。補剛桁支持部の仮想ばね係数は、 $K = 0.1$ となった。これは、ローラ支承に $0.1 \cdot (EA/L)$ なる水平ばねを付加したことを意味している。補剛桁支持部は、コンクリート台座の上に桁端部を置いた状態となっているため橋軸方向には可動であり、この値は台座と桁との摩擦力によるものと考えられる。本研究では各部材の断面 2 次モーメントを DIN により算出している。推定された木材のヤング係数は DIN による算定値 1.73×10^6 (t/m²) になることが確認された。



図-3.a 鉛直逆対称 1 次モード



図-3.b 鉛直対称 2 次モード

6. あとがき

本研究は GA を用いて、木造アーチ形式遊歩道橋の動的な特性に大きな影響を与える、接合部、支承部の取り扱い、およびヤング係数の推定を行ったものである。その結果、振動実験値に近い、固有周期、および振動モードを求めることができた。また、離散的な変数を含む最適設計の手法として、GA の有効性も確かめることができたものと考えられる。

<参考文献>

- 1) 北原良紀：札幌市平岡公園の木造アーチ橋（人道橋）、橋梁、vol.29、No.6、pp.30-34、1993。
- 2) 林川俊郎、須志田健、平沢秀之、佐藤浩一：アーチ橋の固有周期に与える半剛結の影響について、土木学会北海道支部論文報告集 第 52 号(A)、pp.362-365、1996。
- 3) 杉本博之、鹿 麗、山本洋敬：離散的構造最適設計のための GA の信頼性向上に関する研究、土木学会論文集、No.471/I-24、pp.67-76、1993。
- 4) 鍵和田巧、小幡卓司、三品吉彦 他：木造アーチ形式人道橋の振動および静的載荷実験について、土木学会第 49 回年次学術講演概要集第 1 部 A、pp.356-357、1994。