

I - B 460

GAを用いた木構造遊歩道橋の構造同定に関する一考察

北海道大学大学院工学研究科 フェロー 林川 俊郎
 (株)長 大 正員 須志田 健
 北海道大学大学院工学研究科 正員 小幡 卓司
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 佐藤 浩一

1. まえがき

近年、景観や環境への配慮から公園内の遊歩道などで木橋が多く架設されるようになってきた。木材は無限に再生産可能な材料であり、資源の有効活用という面からも木橋が見直され、復活されつつある。しかしながら、我が国の木橋の設計基準は、木橋特有の材料的、構造的な不確実さゆえ十分に確立されていないのが現状である。また、設計基準の整備の遅れの一つの要因として木橋に関する研究報告例が極端に少ないことも挙げられる。そこで本研究は、滝川市内丸加高原内に平成5年に建設された2つの木構造遊歩道橋について現場振動実験を行い、得られた固有周期と固有振動モードを確定値とし、木橋の適切なモデル化について検討を行うものである。具体的には、木橋が有する不確実な部分を離散的パラメータ（ロッド伸び剛性、ブレース材の伸び剛性、接合部の剛度比）として取り扱い、有効な最適化手法の一つである遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm：以下GAと称す）を用いることにより、構造同定を行うものである¹⁾。

2. 現場振動実験

本研究で対象とする木橋は、べいまつを主材料とするニールセン橋（やすらか橋）、および斜張橋（すこやか橋）である。両橋ともに橋長30m、幅員1.5mと比較的規模の小さな木橋であるが、周囲の自然景観によく溶け込んでおり、木橋の特徴が生かされている。特に、ニールセン橋は上弦材が頂部で交差しており、アーチ橋としては珍しい構造形式を有している。現場振動実験では、人力加振による減衰自由振動実験を行った。スパン1/2点、1/4点において、予想される固有振動モード形状を考慮してそれぞれ鉛直・水平・ねじり振動の固有振動数を測定した。各加速度計により測定された応答加速度波形からFFT解析を行い、固有振動数の算定を行ったところ、ニールセン橋、および斜張橋ともに得られた応答フーリエスペクトル曲線は非常に複雑になり、明確に各振動モードを推定することは困難であった。

そこで、バンドパスフィルター²⁾を用いて固有振動モードの推定を行った。本研究においてはフーリエ級数に基づいたFIR型バンドパスフィルターを用い、あらかじめFFT解析により予想された各振動モードの振動数区間で、実測応答加速度波形に対しフィルターをかけることにより複雑な応答加速度波形の中から特定幅の振動数の波形のみを取り出した。以下にその波形処理の一例を

図-1に示す。この場合フーリエスペクトル解析により7.0(Hz)近傍が逆対称1次モードであると予想されていたことより、実測応答波形より7.0(Hz)付近の波形をバンドパスフィルターを用いて取り出した。図-1より、フィルター処理波形はスパン中央（測点3）を節として逆対称1次モードで振動していることがわかる。

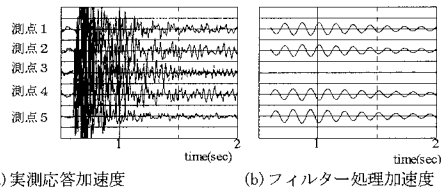


図-1 波形処理の一例

3. 立体骨組モデル

解析の際に用いた骨組モデルを図-2に示す。集成材の弾性係数は木構造計算基準より 1.0×10^5 (kgf/cm²)とした。両橋の吊材にはセミハイテンタイロッドが用いられている。両橋に用いられているセミハイテンタイロッドは架設時に張力管理が行われておらず、わずかではあるが弛緩した状態となっている。これら内部応力が低い場合には、ロッドのモデル化は難しいものがある。図-3に示すように床組には横構としてブレース材が用いられ

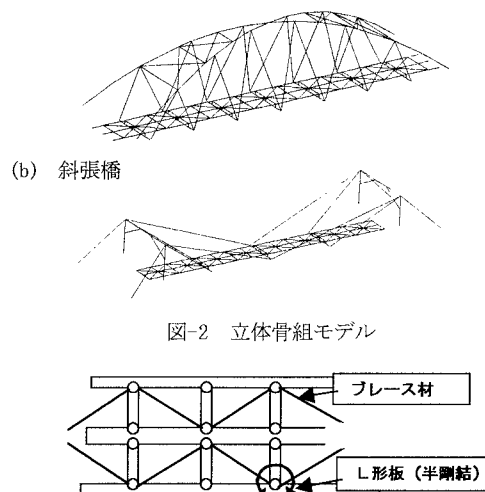


図-3 床版モデル図

Keywords : Genetic Algorithm, Band Pass Filter, Vibration Test, Natural Vibration Analysis

〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科 TEL.(011)706-6170 FAX.(011)726-2296

ている。吊材のロッドと同様に、横構のブレース材は張力管理がなされていない。斜張橋などのケーブル部材ではその内部応力が低い場合見かけ上のヤング率を低減することが知られている³⁾。そこで、本研究ではセミハイテンタイロッド、およびブレース材の伸び剛性を低減することとする。また、横桁と主桁の接合部としてはL形板を継手として、ボルトで締め付けた状態となっている。横桁と主桁の接合部は、剛結とヒンジ結合の中間を表す半剛結としてモデル化を行う。なお、半剛結の剛結度は剛度比パラメータで表し、剛度比は0.0でヒンジ結合、1.0で剛結合を表すものである。

4. GAによるパラメータの同定

GAの計算にあたり設計変数としては、上に述べたロッド、ブレース材の伸び剛性の低減率、および横桁と主桁の接合部の剛度比をそれぞれ3ビットの遺伝子列を用いてコード化を行った。表-1、表-2はそれぞれ、ニールセン橋、斜張橋に用いたパラメータを示す。また、斜張橋については側径間側と主径間側におけるロッドの径が異なるため、それぞれ独立したパラメータとして取り扱った。目的関数(OBJ)に関しては式(1)のように、実験値から得られた鉛直低次1次、2次、3次、および、水平低次1次、2次の固有円振動数と数値解析値の残差を用い、GAにより目的関数が最小となる各パラメータの値を求めた。図-4にその流れ図を示す。

$$OBJ = \left| 1 - \omega_{v1} / \omega_{v1}^* \right| + \left| 1 - \omega_{v2} / \omega_{v2}^* \right| + \left| 1 - \omega_{v3} / \omega_{v3}^* \right| + \left| 1 - \omega_{h1} / \omega_{h1}^* \right| + \left| 1 - \omega_{h2} / \omega_{h2}^* \right| \quad (1)$$

ここで、 ω^* は現場振動実験から得られた固有円振動数であり、 ω はGAシステムより返されるパラメータを用いて固有振動解析により得られた固有円振動数を示している。なお、添え字は各振動モードに対応している。

以上のような解析手法により収束計算を行ったところ、ニールセン橋と斜張橋のパラメータの推定値は表-3. a, bのように得られた。また、逆にこれらのパラメータの値を用いて固有振動解析を行った結果、求められた固有振動数と先に実験により求められた固有振動数との比較をニールセン橋については表-4. a、斜張橋については表-4. bに示す。これらよりニールセン橋、斜張橋ともに比較的实验値に近い解析結果を得ることができた。高次振動振動モードでは、若干の差異が認められるが、基本固有振動モードでは、比較的精度が高い解析結果が得られたものと考えられる。両橋の構造形式を比較して、斜張橋のロッドはニールセン橋のロッドに比べて内部応力が高いことから、セミハイテンタイロッドは内部応力の違いにより、伸び剛性を低減する方法が有効であると考えられる。さらに、床組の横構として用いられているブレース材の伸び剛性の低減率は両橋ともに0.1となった。横構に用いられているブレース材は張力管理されていないものであり、その内部応力が低いことから、吊材同様に伸び剛性を低減するモデル化が妥当であると考えられる。横桁と主桁間の接合部の剛度比はニールセン橋については0.1、斜張橋については0.2となった。両橋ともに剛

表-1 ニールセンの橋離散的パラメータ

yr1 (吊り材)	0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.7,0.9,1.0
yr2 (横構)	0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.7,0.9,1.0
gm (横桁剛度比)	0.0,0.1,0.2,0.3,0.5,0.7,0.9,1.0

表-2 斜張橋の離散的パラメータ

yr1 (吊り材:側径間側)	0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.7,0.9,1.0
yr2 (吊り材:主径間側)	0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.7,0.9,1.0
yr3 (横構)	0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.7,0.9,1.0
gm (横桁剛度比)	0.0,0.1,0.2,0.3,0.5,0.7,0.9,1.0

パラメータの読み込み (コード化)

初期集団の生成 例 yr=0.1
{0 0 1}

固有振動解析

目的関数の計算

GA system

選択、交叉、突然変異

収束条件を満足

YES

GA operationの終了

図-4 GAによる解析の流れ図

表-3 同定結果

(a)ニールセン橋

yr1 (吊り材)	0.1
yr2 (横構)	0.1
gm (横桁剛度比)	0.1

(b) 斜張橋

yr1 (吊り材:側径間側)	0.4
yr2 (吊り材:主径間側)	0.4
yr3 (横構)	0.1
gm (横桁剛度比)	0.2

表-4 実験結果と解析結果の比較

(a)ニールセン橋

	実験値 (Hz)	解析値 (Hz)
v 1	6.958	6.771
v 2	10.101	11.863
v 3	14.526	13.141
h 1	2.808	2.975
h 2	5.859	5.902

(b)斜張橋

	実験値 (Hz)	解析値 (Hz)
v 1	5.249	5.322
v 2	8.545	8.381
v 3	12.939	11.119
h 1	3.052	3.053
h 2	7.202	6.309

結合というよりはむしろヒンジ結合に近い半剛結状態にあることがわかる。

5. あとがき

本研究はGAを用いて木構造遊歩道橋の固有振動特性に影響を与える、吊材として用いられているセミハイテンタイロッド、床組の横構であるブレース材、および横桁と主桁間の接合条件に関する構造同定を行ったものである。GAを用いて同定したパラメータを用い固有振動解析を行った結果、固有振動数および固有振動モードともに実験結果に近いことが確認できた。

<参考文献>

- 1) 林川俊郎・須志田健・小幡卓司・佐藤浩一：GAを用いた木造アーチ形式遊歩道橋の構造同定に関する研究，構造工学論文集，Vol. 44A，1998. 3（印刷中）。
- 2) ビギナーズ・デジタルフィルター，東京電気大学出版局，1995。
- 3) 土木学会：鋼斜張橋-技術とその変遷，1990. 2。