

## 自己組織化特徴マップによる小型橋梁模型の健全度診断

横河工事(株) (研究当時, 大阪市立大学大学院) 正会員○森若 浩司 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司  
 関東学院大学 正会員 北原 武嗣 大阪市立大学大学院 正会員 松村 政秀

## 1. 結論

わが国では高度経済成長に伴って橋梁数が大幅に増加し、今後 20 年で建設後 50 年以上を経過した道路橋（橋長 2m 以上）が約 65% になるといわれ、橋梁の老朽化が懸念されている<sup>1)</sup>。今後、増加が予想される老朽化橋梁を合理的に維持管理する必要があり、損傷モニタリングなどを活用したブリッジマネジメントシステムの構築が求められている。そこで、著者らは、アーチ系橋梁を対象に強制外力による動的解析を行い、健全時と損傷時の加速度応答パワースペクトルのピーク値の比（以下、応答スペクトル比）の変化を利用した自己組織化特徴マップ(以下 SOM : Self-Organizing feature Map)により、損傷箇所と損傷程度に着目したモニタリング手法を提案し、その有効性を解析的に示した<sup>2)</sup>。しかしながら、実測や解析に含まれる誤差を考慮する必要がある。本報では、小型橋梁模型を対象とした解析モデルによる応答スペクトル比を SOM の学習データとし、模型の振動計測結果を認識データとした損傷検知手法の有効性を議論する。

## 2. 対象橋梁

実測や解析における誤差を検討するため、アーチ形式を対象に小型橋梁模型および解析モデルを作成する。作成した小型橋梁模型と解析モデルを図-1 に示す。

## 3. 解析結果と実測結果の比較

## 3.1 静的載荷時

静的および動的試験の結果と解析結果とを比較し、モデル化誤差について検討する。ここでは、特に誤差が大きかった静的載荷について示す。

静的載荷試験では、載荷重量を 196N(20kg)とし、健全時および吊材を取り除いた損傷時に関して変位計を用いて計測する。載荷点は横桁中央とし、計測点は載荷点と同断面上の補剛桁で計測する。計測点、載荷点を図-2 に示す。また、解析モデルでは、計測点および載荷点は静的試験における載荷位置の近接節点としている。

図-3 に静的載荷における解析結果との比較を示す。比較結果は、載荷点に関して約 10% 程度、非載荷点では変

位が 0.1mm 以下の場合で最大 50% 程度の誤差が確認された。これは、変位が微小すぎるため、計測の精度に問題があったと考えられる。次に、吊材 4 損傷時では、特に大きな変化がみられたアーチ 1/2 点で比較した結果、健全時と同程度の誤差であった。

## 3.2 動的加振時

実計測データの応答スペクトル比から入力データを作成する。図-4 に加振点、計測点および模擬損傷を与える吊材を示す。損傷程度は板幅を 25, 50, 75% 減少させた場合と、吊材を取り除いた 4 パターンとする。また、入力波形は、鉛直方向の固有振動数を対象とし、強制加振試験を行う。

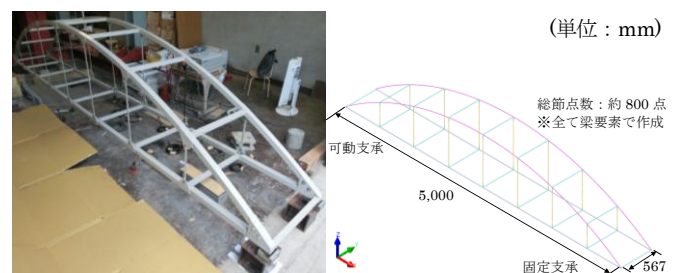


図-1 対象橋梁（左：小型橋梁模型，右：解析モデル）

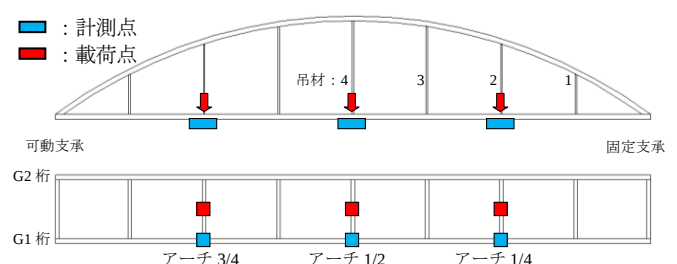


図-2 計測点および載荷点（静的載荷時）

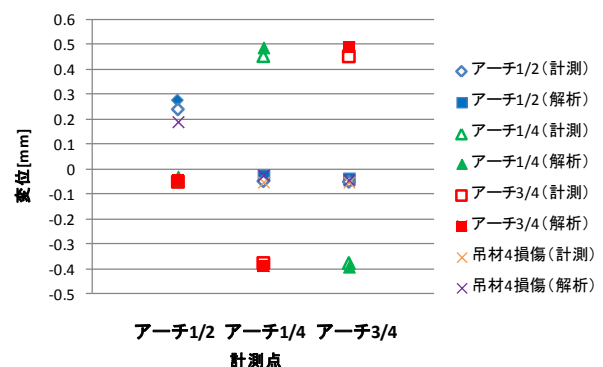


図-3 静的載荷時の計測変位の比較

キーワード：健全度診断、パワースペクトル、自己組織化特徴マップ

連絡先：〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院都市系専攻 TEL&FAX 06-6605-2765

本計測データには、主に小型起振機で強制加振させたことによる加振力や加振位置に違いがみられ、それによる計測誤差が含まれていると考えられことから、加振点ごとに無次元化を行った入力データを用いることとした。

表-1に無次元化を行った入力データを示す。橋梁模型から得られたデータ名は「損傷程度+吊材位置」を示し、解析データと見分けをつけるためデータ名に「±」を付けている。

#### 4. SOMを用いた健全度診断手法の検証

モデル化誤差、計測誤差を考慮した場合のSOMによる健全度診断の検証を行う。学習マップは、解析モデルから前章で示した加振点、計測点および損傷箇所をパラメータとした強制加振解析を行い、応答スペクトル比のデータセットからSOMを用いて作成している。マップサイズはデータ数を考慮して $10 \times 10$ としている。

次に、表-1の入力データを解析により作成した学習マップに入力して、損傷位置、損傷程度の認識が可能であるか検証した。図-5に75%板幅減少した吊材1の損傷を認識した時の結果を、図-6に吊材1の解析、実測値および無次元化で補正を行った入力データの比較を示す。

図-5より、75%損傷1の近傍に認識データが示されており、損傷位置・損傷程度の推定ができていることが確認できる。これは、図-6に示すように、小型橋梁模型から得られたデータを無次元化し、応答スペクトル比の大きさでなく損傷による計測位置ごとの変化を顕著にとらえることが可能となり、損傷位置が検知できたと考えられる。この傾向は、他の損傷位置でも確認できる。以上より、本手法で検討した16パターンの内、7割程度で損傷位置の推定は可能であると考えられる。

#### 5. 結論と今後の課題

実測や解析に含まれる誤差を考慮した健全度診断手法に関して、その有効性を小型橋梁模型により検討した。

静的載荷試験と解析との比較から、健全時および損傷時に10%程度のモデル化誤差が存在した。このようなモデル化誤差を有する小型橋梁模型に対して計測を行い、応答スペクトル比を算出した。特に、加振点ごとにこれを無次元化することで、振動特性を顕著に捉えられるようになり、損傷位置推定の可能性を示した。すなわち、確認されたモデル化誤差および測定誤差では、健全度診断に大きな影響を与えないことがわかった。

今後は、より正確に損傷箇所の推定を行うため、損傷箇所ごとに顕著な変化がみられるパラメータの検討およ

び複数箇所の損傷を有する小型橋梁模型を用いた健全度診断の可否について検討する予定である。

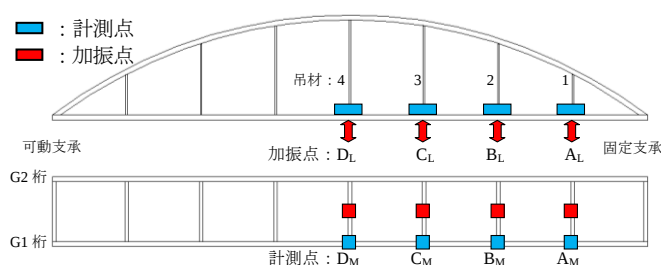


図-4 計測点および加振点（動的加振時）

表-1 入力データ（無次元化）

| データ名     | データ項目                          |                                |                                |                                |                                |                                |                                |                                |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|          | A <sub>L</sub> -A <sub>M</sub> | A <sub>L</sub> -B <sub>M</sub> | A <sub>L</sub> -C <sub>M</sub> | A <sub>L</sub> -D <sub>M</sub> | D <sub>L</sub> -A <sub>M</sub> | D <sub>L</sub> -B <sub>M</sub> | D <sub>L</sub> -C <sub>M</sub> | D <sub>L</sub> -D <sub>M</sub> |
| 25%損傷1±  | 0.997                          | 1.000                          | 0.987                          | 0.988                          | 0.985                          | 1.000                          | 0.968                          | 0.972                          |
| 50%損傷1±  | 1.000                          | 0.968                          | 0.988                          | 0.993                          | 0.996                          | 1.000                          | 0.969                          | 0.973                          |
| 75%損傷1±  | 1.000                          | 0.989                          | 0.958                          | 0.976                          | 0.999                          | 1.000                          | 0.960                          | 0.964                          |
| 100%損傷1± | 0.991                          | 0.876                          | 0.951                          | 1.000                          | 0.963                          | 1.000                          | 0.988                          | 0.989                          |
| 25%損傷2±  | 0.978                          | 1.000                          | 0.947                          | 0.961                          | 0.978                          | 1.000                          | 0.963                          | 0.968                          |
| 50%損傷2±  | 0.929                          | 1.000                          | 0.965                          | 0.931                          | 0.966                          | 1.000                          | 0.931                          | 0.937                          |
| 75%損傷2±  | 0.816                          | 0.912                          | 1.000                          | 0.883                          | 0.925                          | 1.000                          | 0.832                          | 0.847                          |
| 100%損傷2± | 0.688                          | 0.680                          | 1.000                          | 0.820                          | 1.000                          | 0.941                          | 0.883                          | 0.885                          |
| 25%損傷3±  | 0.978                          | 0.942                          | 1.000                          | 0.991                          | 0.967                          | 0.976                          | 1.000                          | 0.999                          |
| 50%損傷3±  | 0.972                          | 1.000                          | 0.983                          | 0.976                          | 0.988                          | 1.000                          | 0.982                          | 0.986                          |
| 75%損傷3±  | 0.866                          | 0.900                          | 1.000                          | 0.925                          | 0.935                          | 1.000                          | 0.892                          | 0.911                          |
| 100%損傷3± | 0.736                          | 1.000                          | 0.938                          | 0.792                          | 0.845                          | 1.000                          | 0.773                          | 0.794                          |
| 25%損傷4±  | 1.000                          | 0.995                          | 0.999                          | 1.000                          | 0.994                          | 1.000                          | 0.992                          | 0.993                          |
| 50%損傷4±  | 0.999                          | 0.994                          | 0.998                          | 1.000                          | 0.991                          | 1.000                          | 0.985                          | 0.986                          |
| 75%損傷4±  | 0.985                          | 0.980                          | 1.000                          | 0.994                          | 0.996                          | 1.000                          | 0.990                          | 0.995                          |
| 100%損傷4± | 0.827                          | 0.595                          | 1.000                          | 0.915                          | 0.944                          | 0.905                          | 0.984                          | 1.000                          |

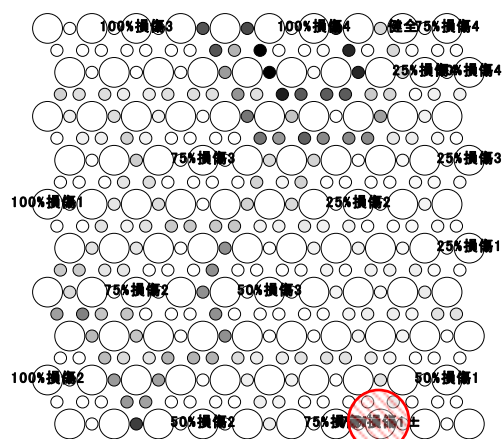


図-5 75%損1±のSOM結果（○：認識データ）

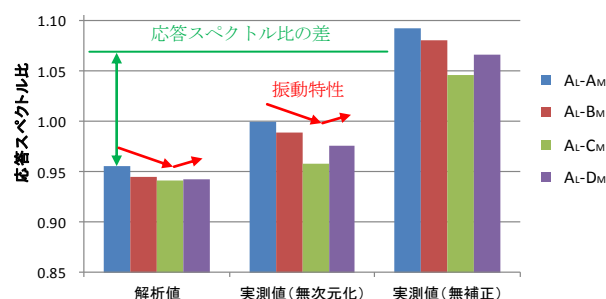


図-6 入力データの比較（吊材1の板幅75%減少）

#### 参考文献

- 1) 小松正貴：高精度構造同定手法による橋梁振動特性の変化検出に関する基礎的研究，長崎大学学術成果リポジトリ，2013.9.
- 2) 池田祥宜，山口隆司，北原武嗣，杉浦邦征，森若浩司：自己組織化特徴マップ（SOM）を用いたアーチ系橋梁の健全度診断に関する基礎的研究，鋼構造論文集，pp.53-66，2013.9.