

### 応答計算および構造同定計算を利用した橋梁計測の効率化

長崎大学 学生会員 ○山下真史 長崎大学大学院 正会員 西川貴文  
長崎大学大学院 正会員 中村聖三 長崎大学大学院 正会員 奥松俊博

#### 1. はじめに

橋梁等の計測においては、計測箇所や計測点数、計測精度、データの集録時間やサンプリング速度などの計測条件によって、データにもとづく構造特性の推定値が変化する。したがって、橋梁の劣化および損傷を推定される構造特性の変化から検知しようとする場合、その変化量は一般に微小であるため、計測条件を適正に整えなければ、橋梁の劣化・損傷を検知することは難しい。そこで、本研究では、計測によるデータの取得および集録データによる対象構造物の構造特性の推定を予め模擬的に行うシミュレータを構築した。これを使用して、図-1のように実橋計測に先立って、得られる計測データを想定し、対象構造物の構造特性を推定することが、損傷検知を目的とした計測を行ううえで重要である。これにより、同定に必要な応答を得るための計測条件を得ることが出来ると考えている。

#### 2. シミュレータの構成

構築したシミュレータでは、構造モデルの応答を算出するシステムより得られた応答を構造同定システムに与えることで、構造特性を得る。シミュレータの実行プロセスを図-2に示す。はじめに、応答計算のパートにおいて、橋梁モデルや計測時間、サンプリング速度、作用外力といった計算条件となるデータを入力・選択する。これらをもとに計算を行うことで、仮想データより想定される構造応答を得る。もしくは、外部ソフトにより求められた応答結果を入力した後に、フォーマットの変換を行い、本シミュレータで使用可能な応答を得る。次に同定計算のパートにおいて、得られた応答データと構造物の計測点やデータ長などのデータを用いて計算を行い、仮想の構造特性を得る。以下に各パートについて詳述する。

#### 3. 応答解析システムの構築

構造物の動的問題を扱う場合、構造物のモデル化を行い、応答計算を行う必要がある。応答計算に用いる構造モデルは、本研究では線形梁モデルを使用した。橋梁モデルの構造諸元や境界条件などは、テキストファイルで与える。構造モデルに作用させる外力として常時微動、衝撃応答、地震波、交通荷重を用意した。また、計測時間やサンプリング速度を任意に設定可能としたほか、任意にノイズを付与できるようにした。

#### 4. 構造同定システムの構築

構造同定は、上述した応答計算パートにおける内部計算または市販の構造計算ソフトより得られた応答データ  
キーワード 構造同定, 維持管理, 計測シミュレーション

連絡先：〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学大学院工学研究科 Tel:095-819-2613

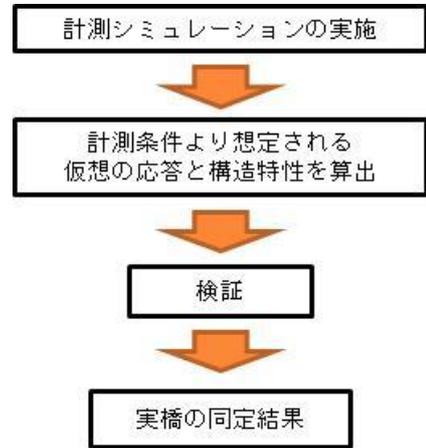


図-1 計測作業の工程

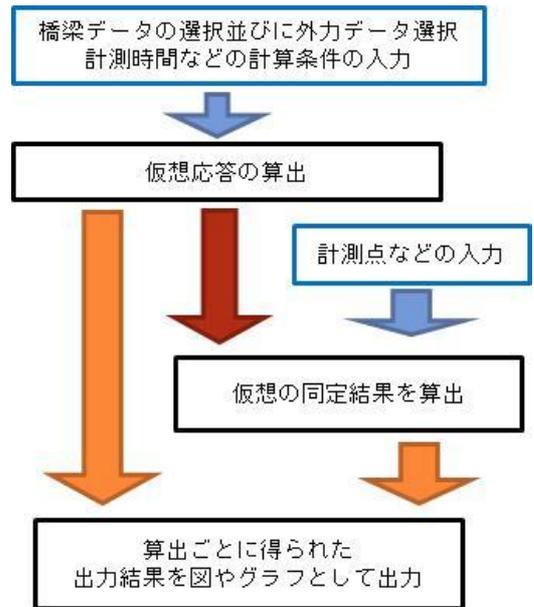


図-2 計測シミュレーションのフロー

タを用いて行う. 本研究では構造同定の手法として ERA 法, EAR/DC 法, SSI(Stochastic Subspace Identification) の3つの手法を用いた. これらによって振動特性として固有振動数, 減衰定数および振動モードの推定を行う. 固有振動数については, 同定結果をモードごとに整理するために, 予め実施される実固有値解析の結果を利用し, 帯域ごとにモードの区別を自動判別し, 固有振動数の変化を把握可能とした.

5. シミュレーション結果と実橋計測データの比較

(1)シミュレータによる応答および構造特性の算出

本研究では, 長崎市内に実在するトラスドランガー橋をサンプルとしてシミュレーションを実施した. 使用した線形梁モデルを図-3に示す. 算出した結果については, 構造同定シミュレーションより得られた結果の例を図-4, 実固有値分析, 構造同定シミュレーションおよび実橋応答を利用した構造同定によって得られた固有振動数については表-1に示す. 実施したシミュレーションでは, サンプルング速度を 100Hz として, 常時微動を 5 分間梁モデルに作用させた. また, その間 30 秒毎に構造同定を行い, 合計 10 サイクルの構造同定を行った. これを計測点ごとに実施し, 5 次までの固有振動数が安定して得られる計測点を模索した. その結果, 図-3における No.2,7 の2点における結果が構造特性の信頼性が高く, 実計測に有用と考えられる. なお, 同定結果の信頼性の評価はモード信頼性評価基準によって行っている. 図-4における丸印が評価を満たした固有振動数であり, バツ印は評価値を満たさなかったものである. 表-1の評価を満たした固有振動数を平均した結果と実固有値解析による結果を比べると3次まではほぼ一致した結果が得られ, 4次以降も概ね一致した結果が得られた.

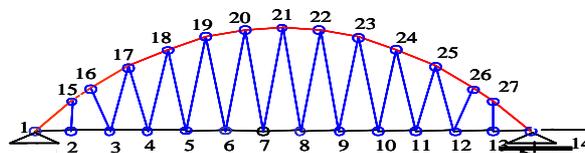


図-3 トラスドランガー橋の線形梁モデル

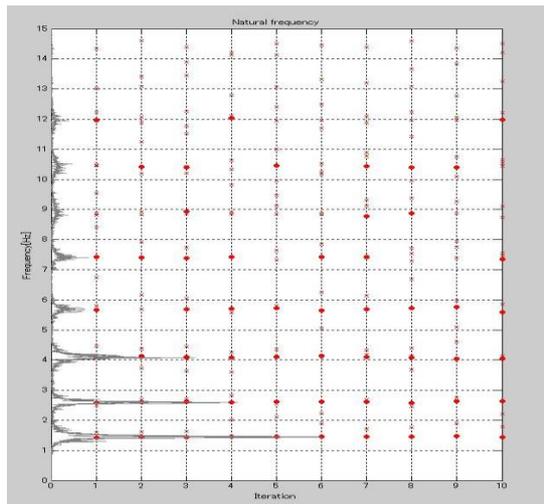


図-4 シミュレーションによる固有周波数

(2)実計測への適用

上記の結果にもとづき実橋における計測点および計測条件を決定し, 実橋の計測を行った. 得られた計測に対して構造同定計算を適用した結果, 推定された固有振動数は, 表-1に示すとおりとなった.

表-1 各計算による固有振動数

モード	シミュレーション		実橋計測
	実固有値解析	構造同定	構造同定
1次	1.46	1.48	1.75
2次	2.61	2.61	3.03
3次	4.11	4.09	4.36
4次	5.74	5.69	6.34
5次	7.55	7.40	7.89

(3)シミュレータの検証

この結果とシミュレーションより算出された振動特性の比較を実施した. その結果, 実橋計測により得られた固有振動数がシミュレーションによる同定結果よりも高くなっている. その要因として, 線形梁モデルの妥当性や計測結果に含まれるノイズの影響が考えられる.

6. まとめ

本研究では, 効率的な橋梁計測の実現を目的に, 応答データの取得と構造特性の推定を模擬的に実施するシステムを構築した. 構築したシミュレータを用いて適正な計測条件を予め決定することで, 効率的で的確な実橋計測が迅速に行うことが可能となる. 実橋計測に適用した結果, 目的の構造特性を推定できる振動応答を短時間に取得することができた. ただし, シミュレーションによって得られた特性値と実橋計測の結果には差異が認められた. 今後, シミュレータを改善するために, 使用する構造モデルやシミュレーションによる入力条件についての検討を進める.