

構造健全度評価のためのRD・ERA法による減衰同定の精緻化

埼玉大学 学生会員 ○伊藤 信 正会員 山口 宏樹

1. はじめに

振動特性変化に基づく構造健全度評価は、可能であれば、固有振動数、減衰比、モード形状を総合的に用いて評価する必要がある。しかし、この分野において減衰は同定の不安定性、メカニズムの複雑さによって未だに課題が多く残っている。そこで、RD・ERA法に、Bootstrap法による統計的評価を加えた方法を用いて、数値シミュレーションによって同定方法の精度の検討、RC造10層建物（H44.5m、B32×24.3m）・PC箱桁3径間連続橋（計測対象とした側径間部分約60m）（以下それぞれ層状建物、橋梁）の2つの構造物の常時微動データを用いてノイズの大きいデータに対する有効性の検討を行い、減衰同定の精緻化を試みた。

2. 常時微動データに基づく減衰同定方法

ERAは、構造物をシステムとしてとらえて、そのシステムをあらわす数学モデルの特性行列を決定する方法であり、比較的高精度な同定法として用いられてきた。また、入力データとして自由振動波形を用いるので、常時微動波形から自由振動波形を抽出する必要がある。そのためRD法を用いて、外力を平均0となる理想的なランダム外力として仮定し、応答を時間軸上で、閾値などの条件によって抽出し、多数重ね合わせて平均することで、ランダム応答成分を除去し自己相関関数を得る。そして、得られた自己相関関数を自由振動波形と仮定してERAの入力データとして用いる。固有振動数については、Stabilization Diagram、MACなどの精度指標を用いて安定して同定されるが、減衰についてはばらつく場合が多く、1回の解析によって同定値を決定するのは難しい。そこで、リサンプリング手法であるBootstrap法を併用して、常時微動データからRD法によって得られた応答を、無作為抽出して重ね合わせることで、1つのデータから複数の自由振動波形を得てERA解析を繰り返すことで、1回の減衰同定における不確実性を考慮して、統計的に評価することが出来ると考えられる。

3. 数値シミュレーションによる検証

1自由度系モデル（固有振動数 1 Hz、減衰比0.01）を用いた数値シミュレーションによって、減衰と固有振動数の同定結果の比較を行った。外力として白色雑音を仮定し、Newmarks法によって求められた速度応答に対して解析を行った。結果からBootstrap分布の形状（図-1）が固有振動数に比べ減衰はばらついた分布が得られ、真の値を与えた場合でも、減衰同定が難しいことが統計的に示されている。

4. 実構造物での検討

(1)実験概要 層状建物では、屋上階段部分に計測器を設置し、水平・鉛直方向速度成分を計測した（図-2）。計測時間は1回30分で計2回行った。橋梁では、箱桁内部の4地点（ジョイント部から各2m、22m地点に2個）に計測器を設置し、鉛直方向速度成分を計測した（図-2）。計測時間は1回30分で計6回行った。サンプリング周波数は各200Hzで計測が行われた。層状建物では、常時微動の原因として主に風、地盤動が考えられ、橋梁では、それらに加え交通荷重の影響が考えられる。

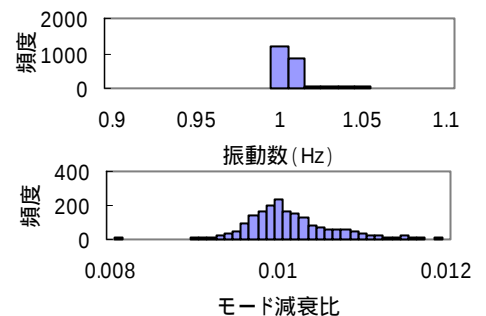


図-1 振動特性によるBootstrap分布

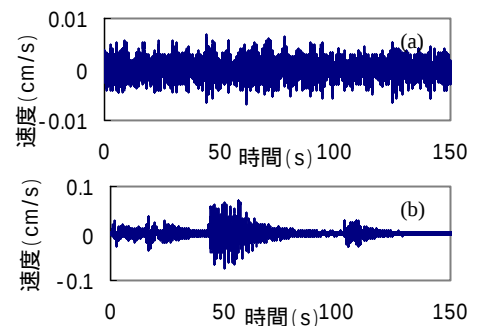


図-2 時系列データ；(a)層状建物、(b)橋梁

キーワード RD・ERA法、Bootstrap法、減衰、振幅依存性

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255 Tel 048-858-3552

(2) 同定結果 層状建物では単点ERA解析, 橋梁では多点ERA解析における固有振動数と減衰比の関係を示したものが図-3である. 固有振動数については, 両構造物において安定した同定がされた. しかし, 減衰については, ばらついていることが分かる. さらに, それぞれの構造物において, Bootstrap法によって200回同定を繰り返し得られた1次モード減衰比のBootstrap分布を図-4に示す. それぞれRD法において閾値を0以上とした場合 (Case1), 標準偏差の0.8倍以上とした場合 (Case2) で解析を行った. 閾値を大きくしたCase2ではピークが明確になっており, ノイズの影響が少なくなった為と考えられる. また, 層状建物に比べ橋梁では振幅レベルが大きい為ノイズの影響が小さく, 同じケースにおいても橋梁の方が比較的安定した同定がされている. しかし, 橋梁ではピークが変化しており, 振幅を制限することで減衰同定結果のばらつきだけでなく, 値も影響を受け変化しているのではないかと考えた. そこで, 供用時振動の振幅範囲が広い橋梁のデータを用いて振幅依存性の検討を行った.

(3) 減衰の振幅依存性 橋梁のデータに対して, 振幅をランク別に分けRD法を適用し振幅依存性について検討した. RD法によって得られた各ランクの自由振動波形の初期値を振幅値とし, 固有振動数, 減衰比について示したのが図-5である. この結果から, 減衰は固有振動数に比べ振幅依存性が明確に表れていること, モードによって振幅依存性の傾向が異なり, 減衰がモードに依存している可能性もあることが分かった. さらに, 1回の同定における不確実性を考慮して, 新たに設定した2つのランク, 振幅レベルを制限しない全ランクにBootstrap法を適用した (図-6). これらの結果から, ノイズの影響が小さいと思われる大きいランクによる結果の方がばらつきが少なく, 振幅レベルを指定しないで行った全ランクによる減衰同定値は広くばらついており, それぞれの2つのランクの間になだらかなピークを持っていることが分かる. つまり, 振幅依存性による変化幅の平均値を同定しやすいと考えられる. また, モードによる変化の違いとして1次モードは振幅レベルの増加に伴い減少し, 2次モードでは逆の傾向が見られる.

5. 結論

RD・ERA法に, Bootstrap法による統計的評価を行うことで, 1回の減衰同定における不確実性を考慮した減衰同定を行った. また, 減衰は振幅によってばらつきの大きさだけでなく値自体も変化するため, 振幅レベルを考慮しなければ, 健全度評価に利用するための減衰値を決定することができないと思われる. また, モードによって振幅による変化の傾向が異なることから, 減衰のモード依存性の影響が考えられる.

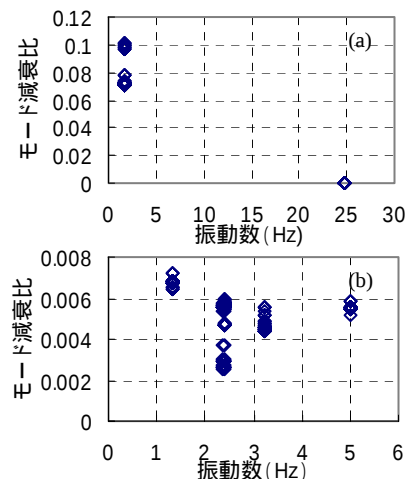


図-3 モード減衰比と固有振動数の関係; (a) 層状建物, (b) 橋梁

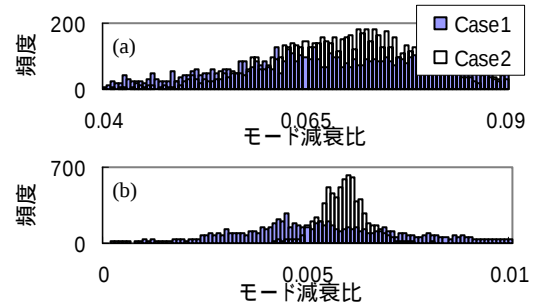


図-4 減衰のBootstrap分布の比較; (a) 層状建物, (b) 橋梁

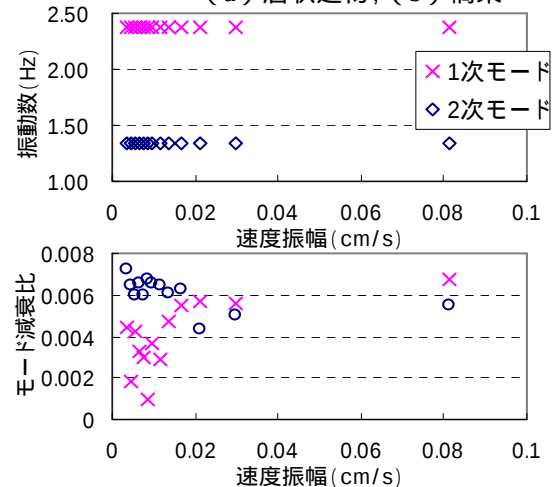


図-5 振幅による同定値の変化

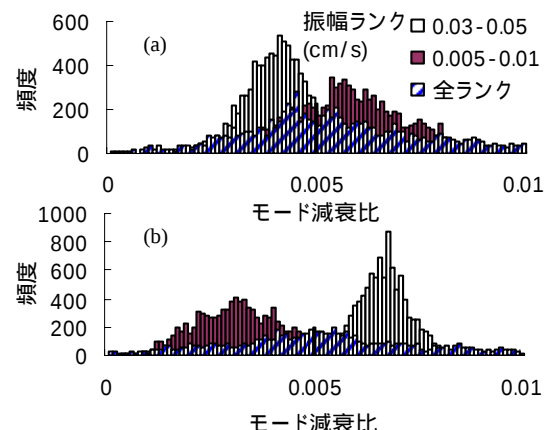


図-6 ランク別のBootstrap分布; (a) 1次モード, (b) 2次モード