

交通振動による橋梁損傷推定の感度分析に関する基礎研究

東京都市大学大学院工学研究科 学生会員 ○宇高 雄大
 東京都市大学大学院工学研究科 正会員 吉田 郁政
 京都大学大学院工学研究科 正会員 金 哲佑

1. はじめに

既存構造物の適切な維持管理が重要となっており、既存ストックを有効活用するにあたって現状の構造物の低コストかつ効率的な損傷度評価手法の開発は重要な検討事項である。橋梁の損傷度評価手法の一つとして交通振動を用いた方法がある¹⁾。損傷度評価の精度は損傷位置、観測点配置に依存するため、本研究ではその感度分析に関する基礎検討を行う。

2. 交通振動に基づく損傷度評価の感度分析

橋梁に車両を走行させ、そのときの交通振動を測定し、その応答振動から橋梁の損傷推定を試みる。検討対象とした橋梁モデルを図-1¹⁾に示す。支間5.4m、黒字が節点番号、赤字が要素番号である。16分割した各要素の剛性が損傷により低下すると仮定し、損傷度をこの低下率によって定義する。観測情報はある一点における応答加速度時刻歴、応答変位時刻歴とする。

確率論から定式化を行う逆解析の基本的考え方について簡単に示す。詳細については文献2)などを参照されたい。観測情報が次式で与えられたとする。

$$z = H(x) + v \tag{1}$$

応答加速度、変位時刻歴である観測量 z は未知量ベクトル x の関数 $H(x)$ で与えられ、 v は観測量誤差とする。未知量 x は要素 1 から 16 までの剛性低下率とする。

図-1 に示すように橋梁上に車両を走行させた場合の橋梁節点 2, 5, 9 の応答¹⁾の例を図-2 に示す。

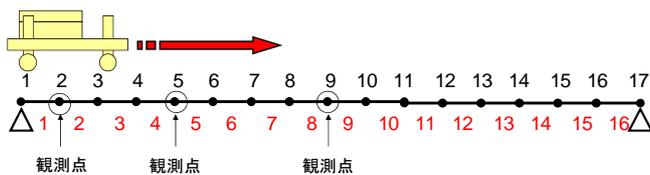


図-1 数値シミュレーションに用いた橋梁モデル

応答変位時刻歴では静的な荷重に対する変位に動的応答が加えられたような波形となっている。

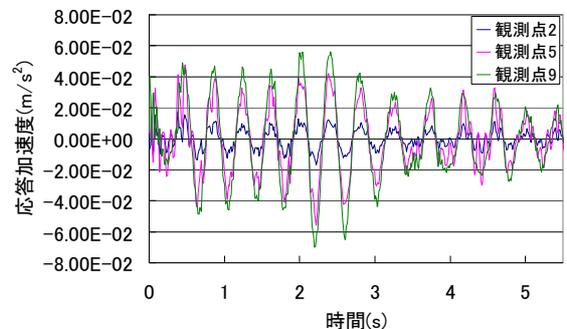
推定誤差の共分散行列は次式で表わされる。

$$P = (M^{-1} + H_x^T R^{-1} H_x)^{-1} \tag{2}$$

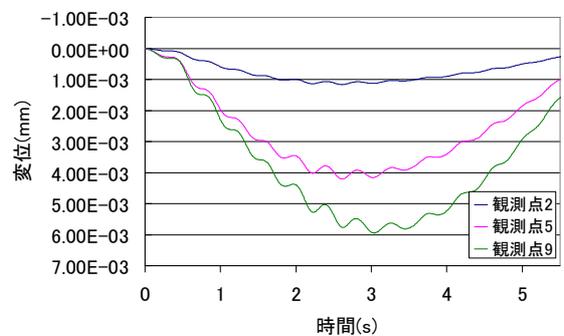
ここで、 $H_x = \partial H(x) / \partial x|_{x=\hat{x}}$

R 、 M は観測量誤差、事前情報の共分散行列である。式(2)は推定値 \hat{x} 回りでテーラー展開を行っているのので近似的な共分散行列となる。式(2)に示した共分散行列の対角成分は推定誤差の分散を表している。観測量誤差のレベルは応答時刻歴の最大振幅の 1.5 倍程度と大変大きくした。その理由については後述する。

観測点数を 1 とした場合の共分散行列 P の対角成分から各未知量の推定精度として推定誤差の標準偏差を求めた。



(1) 応答加速度



(2) 応答変位

図-2 応答時刻歴波形

キーワード 逆問題, 観測点配置, 推定感度

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-2 8-1 東京都市大学

標準偏差が小さいほど推定精度が良いことを意味する。推定感度は事前の不確定性として仮定した変動係数 1.0 からの低減率とした。

算定された推定感度の分布を図-3 に示す。観測量を応答変位時刻歴のみとした場合は観測点付近で推定感度が高い傾向が見られるが、応答加速度時刻歴のみとした場合はその傾向は見られなかった。後者の場合はほぼ対称の形となり、中央に最小値、左右にそれぞれ極小値が見られる。

モデル全体の推定感度を評価する指標として、情報エントロピーに注目する。事後の未知量の不確定性がガウス性を有すると仮定すると情報エントロピーは式(3)で表される。

$$S_n(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \log((2\pi)^n \det \mathbf{P}) \quad (3)$$

n は未知量ベクトルの大きさである。 $S_n(\mathbf{x})$ の値が小さいほど、モデルに対する信頼度が高く、推定感度が高いことを表している。観測点位置と情報エントロピーの関係を図-4 に示す。観測量が応答加速度時刻歴のみの場合は節点 6, 12 で推定感度が高い。それに対して応答変位時刻歴のみの場合では節点 9 で最も高く、中央に近づくと推定感度が高くなっている。

応答加速度時刻歴には動的振動特性に関する多くの情報が含まれており、ほぼ 2 次モードの腹にあたる節点 6, 12 が 1, 2 次の振動モードの情報がバランスよく含まれているため精度が高くなったと考えられる。図-3 の (1) における推定感度分布の形も振動モードと関連していると考えられる。一方、応答変位を観測量とする場合は静的な情報が支配的になり、最もたわむ中央付近で推定感度が高くなったと考えられる。図-3 の (2) の分布形状も単純に観測点付近で小さくなっており静的な特性から推定されていることを示唆している。

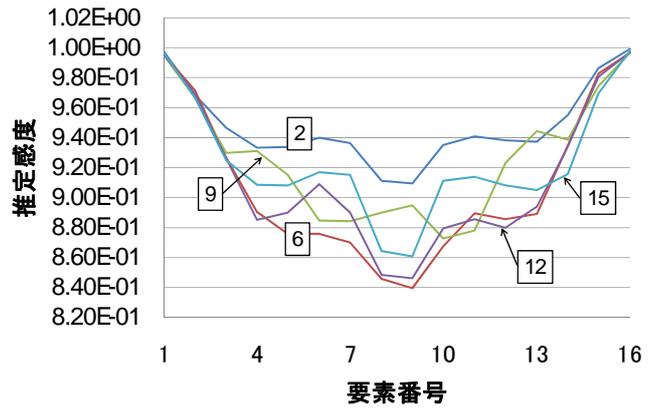
3. まとめ

損傷推定における観測点ごとの感度分析を行い、観測量を応答加速度時刻歴あるいは応答変位時刻歴とした場合の違いについて述べた。こうした違いは観測量誤差を最大振幅の 10% 程度にすると見られない。実験や観測を行うと解析値との違いは大変大きい場合が多く、また観測量誤差間の独立の仮定も成り立つのか疑問である。今後、観測量誤差の性質の

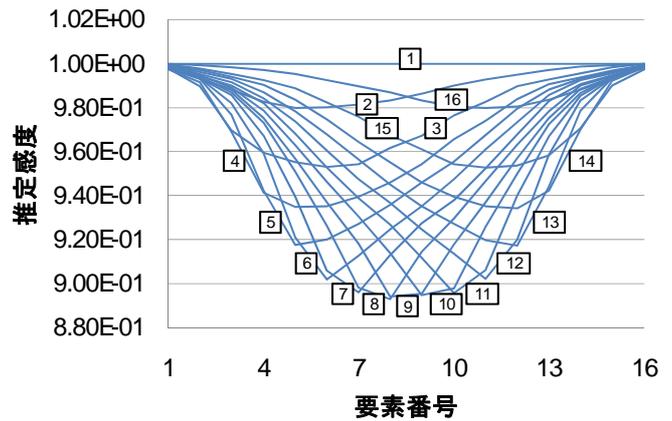
検討も含めて損傷推定の感度について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 吉田郁政ら, 損傷推定のための逆解析の非適切性と正則化, 応用力学論文集, vol.10, pp69-76, 2007.
- 2) 吉田郁政ら, 逆推定によって推定されたモデルの信頼度と最適観測点位置, 応用力学論文集, vol.1, pp109-116, 1998.



(1) 観測量：応答加速度



(2) 観測量：応答変位

図-3 観測点ごとの各要素の感度

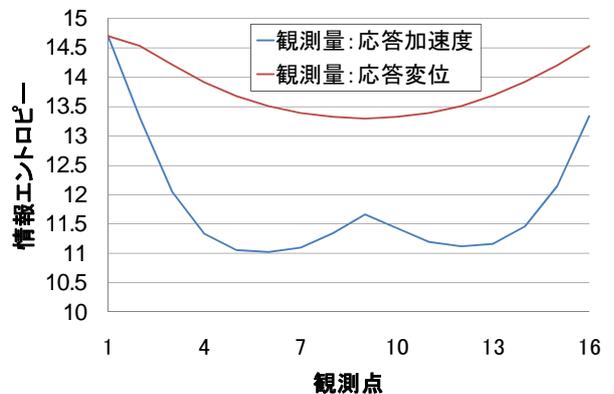


図-4 観測点位置と情報エントロピー