

既存鋼鉄桁橋のモデルパラメータ事後分布を用いた信頼性評価

横浜国立大学 学生会員 ○黒田 璃紗

横浜国立大学 正会員 西尾 真由子

1. 序論

橋梁点検から把握された損傷の対策判定の際に判断が難しいとき、橋梁の現状を考慮した数値モデルを構築し、確率論に基づいた構造信頼性を論じることが有効である。しかし、既存橋梁における構造パラメータは経年変化を受けて不確実性が高い。そこで、実橋梁の定期点検記録および観測データを考慮し、ベイズ推定によってパラメータの不確実性が低減された事後分布を使用することで、その後の信頼性解析でもより現況に近い結果を得ることが可能となる。本研究では、数値モデルにおけるパラメータ事後分布を用いて既存橋梁の信頼性評価を行った。

2. 対象橋梁の振動データ取得と固有振動数の導出

対象橋梁は1963年竣工の3径間単純鋼桁橋の中央径間である。RCの非合成床版で桁は6本のH形鋼で構成されており、支間長は11.74m、幅員は7.2mである。本研究では、事後分布推定のための特徴量を固有振動数とした。ここで振動特性を把握するために、一般車両による5分間連続の振動計測を行った。圧電式加速度センサを図-1のように設置し、サンプリング周波数を2000Hzとした。計測は2日間で合計19データを取得した。

計測した加速度波形のパワースペクトル密度が図-2であり、3つの卓越周波数を確認した。ここでCurve-fitting法より固有振動数を導出した結果、19データの平均、変動係数は、1次モードが9.82Hz、1.51%、2次モードが11.7Hz、1.06% Hz、3次モードが18.4Hz、0.781%となり、これをベイズ推定の観測データとして用いることとした。

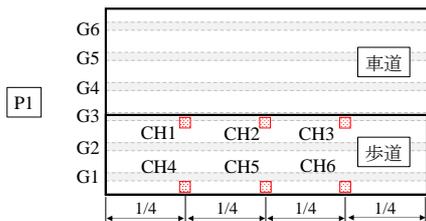


図-1 加速度センサの配置図

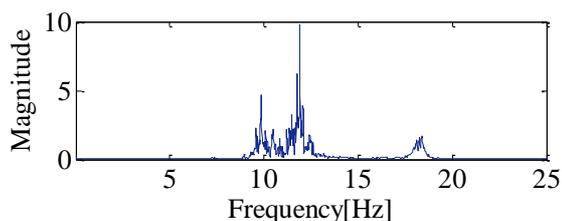


図-2 計測から得られたパワースペクトル密度(CH4)

3. ベイズ推定による有限要素モデル不確定パラメータの事後確率分布推定

3-1. 有限要素モデルの構築

対象橋梁の数値モデルは全ての部材を4節点低減積分1次のシェル要素とした(図-3)。メッシュ構成は固有振動数の収束を調べる方法より検討し、全要素数を124108とした。パラメータの初期値には各材料定数の公称値を与え、支承の境界条件は、実際の形状から、可動側の橋軸並進方向のみ自由とし、その他はすべて固定とした。

3-2. 不確定パラメータの事前確率分布の検討

対象橋梁の定期点検データより、不確実性が高いパラメータを抽出した。まず、図-4に示す各主桁の下フランジ下面とウェブ下側の腐食を板減厚(Tb_1 から Tb_6)、図-5に示す各支承の並進可動機能低下を仮想バネ定数の増加(K_1 から K_6)、床版のひび割れをヤング率の低下(Ec)とし、さらに舗装や欄干の重量の不確実性も含めて床版密度(Dc)に対して、表現できる範囲の一様分布を設定した。次に、各範囲内で固有振動数に与える影響を分散分析によって把握したところ、図-6に示すように、支承バネ定数と床版密度の感度が大きかったため、これらの事後分布を推定することとした。

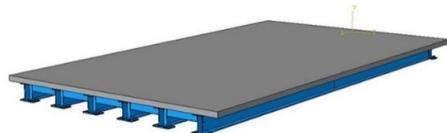


図-3 有限要素モデル

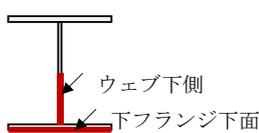


図-4 腐食による板厚減少表現

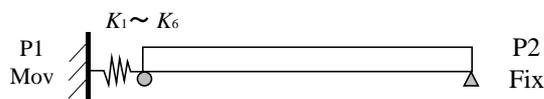


図-5 支承の固着を表す仮想並進バネ

キーワード 構造信頼性, モデルV&V, 事後分布, 支承, 腐食

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7(環境情報研究棟内617号室) TEL 045-339-4041

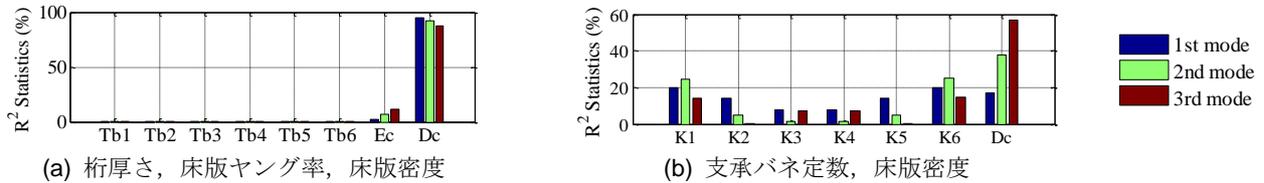


図-6 各パラメータの固有振動数に対する感度

3-3. 事後分布の推定

Hydon ら¹⁾の定式化に基づいたベイズ推定により得られた 6 本の桁のバネ定数(K_1 から K_6)と床版密度(Dc)の事後分布を図-7 に示す. これより, 各分布は偏りをもち, 特に支承バネ定数の不確実性が低減されたことが確認された. また, 点検時写真より, 実橋梁における支承の腐食具合をバネ定数によって概ね再現できたことがわかった.

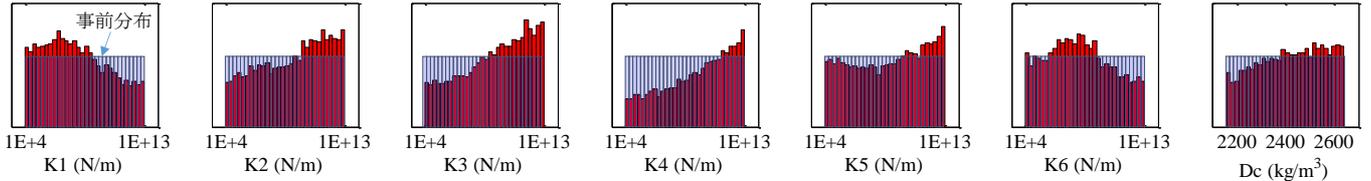


図-7 事後分布推定結果

4. 事後分布を用いた桁端部信頼性評価

4-1. 信頼性解析と評価項目

パラメータの不確実性を低減した事後分布より, 信頼性設計法の 1 次近似法²⁾を用いて降伏点に対する信頼性指標 β の導出を行った. ここで対象モデルに道路橋示方書の B 活 L 荷重を載荷したところ, 図-8 に示されるようにミーゼス応力が桁端部ウェブのソールプレート端上で大きくなることが把握された. そこでバネ定数と床版密度の事前分布, および事後分布を用いた際に桁端部で生じる最大応力分布を得ることとした.

4-2. 信頼性指標 β の導出

事前分布および事後分布を用いた時の桁端部における最大応力確率分布を図-9 に示す. 対数正規分布と仮定し, 降伏点に対する信頼性指標 β を導出した結果, 事前分布が 3.44, 事後分布が 3.94 となり, 事後分布のほうが高めの性能に評価されたことがわかった. また, 初期モデルにおける桁端部応力 87.3MPa に対して, 事後分布の応力が増大していることが明らかとなり, 既存橋梁において桁端部を照査することは重要であることが示された.

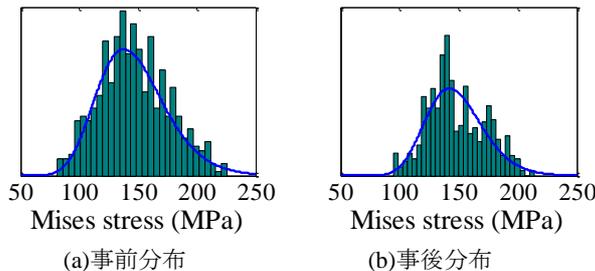


図-8 桁端部の最大応力確率分布

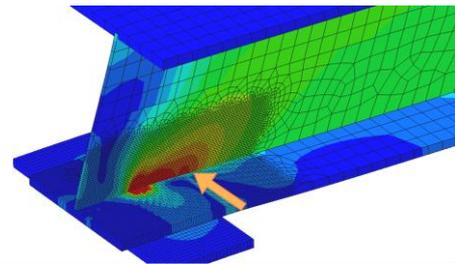


図-9 桁端部の最大応力確率分布

5. 結論

本研究より, 一連の流れによって, 支承の機能低下が影響を与える桁端部の耐力を, 観測データによって不確実性が低減された事後分布を用いて定量的に評価できることが示された. これは, 橋梁の維持管理を進めていくうえで, 点検しても判断ができない橋梁に対して補修・補強等の意思決定を行う際に, 有効な手法であるといえる.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 25820203 の助成を受けたものです. また, 対象橋梁でのデータ取得および点検データの提供には, 横浜市道路局橋梁課より多大なるご協力をいただきました. ここに記して感謝申し上げます.

参考文献

1) Dave Higdon, James Gattiker, Brian Williams, Maria Rightley: Computer Model Calibration Using High-Dimensional Output, Journal of the American Statistical Association, Vol.103, pp.570-583, 2008.