桁端部劣化損傷を有する鋼鈑桁橋の構造信頼性評価のためのセンシング法への検討

横浜国立大学大学院　学生会員　○松島　史弥
横浜国立大学大学院　正会員　西尾　真由子
横浜国立大学大学院　学生会員　三浦　正樹

1．序論

鋼橋の桁端部では腐食劣化が顕著であり，鋼製支承すべり面の摩擦係数増加や桁鋼材の減厚が起こる．桁端部劣化損傷は橋梁挙動に大きな影響を与え，疲労亀裂や耐荷力低下の原因となることが知られている．このような橋梁の補修・補強に関する意思決定を保有性能に基づいて効率的に行うことを目指し，筆者らは既存橋梁モデルのパラメータ事後分布を振動データからベイズ推定し，構造信頼性計算に用いることの有効性を示した[1)]．ただし，より適切に桁端部劣化損傷の性能への影響を捉えるには，特に桁端部近傍での変位やひずみに着目して事後分布推定のための計測項目を明らかにする必要がある．本研究では，鋼橋の橋梁形式で最も多い鋼鈑桁橋を対象として，桁端部劣化損傷に関連する主桁減厚量と支承部の摩擦係数に感度が高い計測項目を把握し，事後分布推定に用いる適切な計測項目を検討した．

2．全橋 FE モデルの構築

本研究では，検証のために既往研究[2)]を参考に標準的な単純鋼 I 桁橋の有限要素モデルを構築した．モデル全体像を図 1 に示す．支間長が 20m，幅員が 10.7m の 5 主桁で RC 床版とした．支承は線支承とし，上沓と下沓の接触すべり面にペナルティ法で摩擦を与えた．桁と床版は 4 節点低減積分 1 次のシェル要素，支承は 8 節点低減積分 1 次のソリッド要素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，支承摩擦係数は 0.2 とした．荷重は死荷重に加えて L 荷重-B 活荷重(p1=10(kN/m²)，p2=3.5(kN/m²)，衝撃係数 0.286)を図 2 に示す位置に与えた．メッシュ構成は Mises 応力や支間中央たわみ，支承移動量・回転角の収束より検討しメッシュサイズを決定した．また設計荷重に対する照査を行い，最大 Mises 応力と支間中央たわみについて許容値を超えないことを確認した．

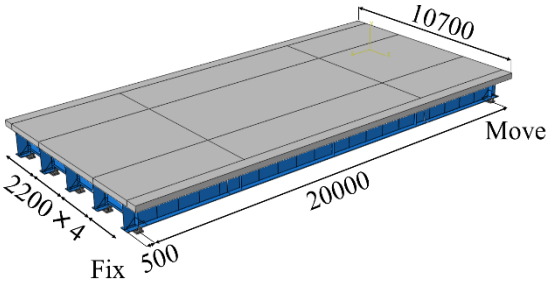

図 1　全橋 FE モデル全体像

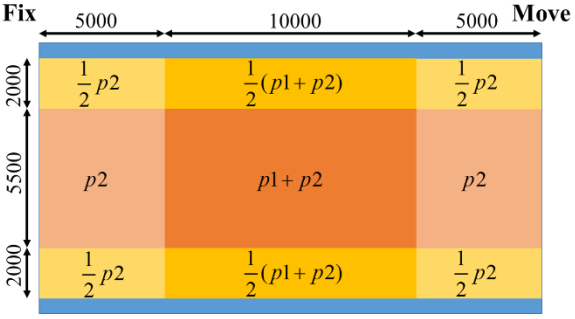

図 2　L 荷重 - B 活荷重載荷位置

3．桁端部劣化損傷による橋梁応答への影響度評価

桁端部劣化損傷を支承劣化（支承摩擦係数増加)と複合劣化(支承摩擦係数増加と主桁減厚)の 2 種類とした．解析ケースを表 1 に示す支承摩擦係数は 0.2，0.5，1.0 の 3 パターンとした．主桁減厚範囲を統計調査[3)]より図 2 パターン(腹板と補剛材は下フランジの 2 分の 1)とした．Mises 応力分布の結果を図 4 に示す．支承劣化の場合，上沓前縁近傍の腹板に応力が集中し健全時と比べ支

表 1　桁端部劣化損傷ケース

ケース	摩擦係数	減厚範囲	減厚量(mm)	
			下フランジ	腹板補剛材
健全時	0.2	-	-	-
支承劣化 1	0.5	-	-	-
支承劣化 2	1.0	-	-	-
複合劣化 1	0.5	A,B,C	1	0.5
複合劣化 2	1.0		2	1

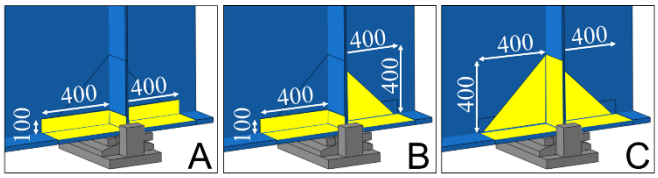

図 3　減厚範囲

キーワード　鋼鈑桁橋，桁端部，支承，腐食，有限要素モデル，事後分布推定
連絡先　〒240-8501　横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5(環境情報研究棟 617 号室)　TEL 045-339-4041

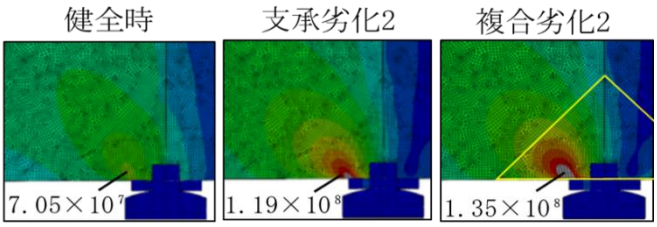

図 4 桁端部 Mises 応力分布

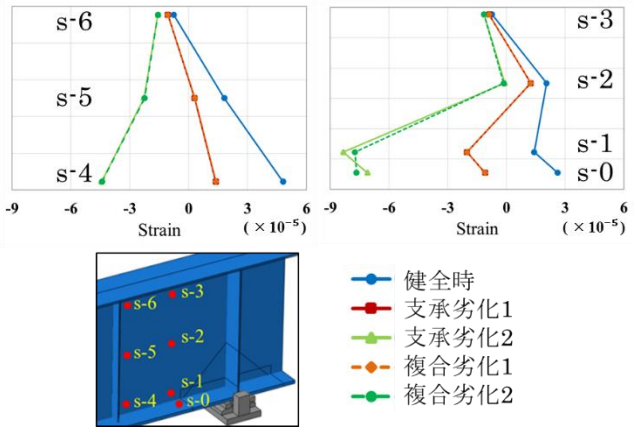

図 5 桁端部橋軸方向ひずみ

承劣化 2 では約 1.69 倍増加した．複合劣化の場合も同様の範囲に応力が集中し複合劣化 2 では約 1.91 倍増加した．これより桁端部劣化損傷に対する性能照査項目を上沓前縁腹板の最大 Mises 応力とした．図 5 に示す桁端部の橋軸方向ひずみは支承劣化により全体的に負の方向へ大きく変化し，最大で 9.72×10^{-5} 減少した(点 s-1)．複合劣化では支承劣化と比べ支承に近い s-0，s-1 でのみ変動が確認された．支間中央たわみ，支承移動量，回転角の変化は，主桁減厚よりも支承劣化が支配的であった．この検証から全計測項目で支承劣化の寄与度が高いが，桁端部の主桁減厚も含めた複合劣化を評価するには支承近傍ひずみを含めることが有効であるとわかった．

4．不確定パラメータの選定

鋼 I 桁橋の全不確定パラメータを抽出し，統計データをもとに複合劣化時の真値となる正規分布(=元分布)を作成した．その元分布の±3σを上下限値とした一様分布を事前分布と設定し，事前分布範囲において，性能照査項目である桁端部最大 Mises 応力，計測項目である橋軸方向ひずみ，支間中央たわみ，支承移動量および支承回転角へのパラメータの寄与度を分散分析により確認した．計算負荷軽減のため全橋モデルをもとに構築した半桁モデルを用いた．分散分析より，推定パラメータを床版密度 Dc，鋼材ヤング率 Es，鋼材ポアソン比 Vs，支承摩擦係数 C，腐食部鋼材厚さ Ts-d と決定した．

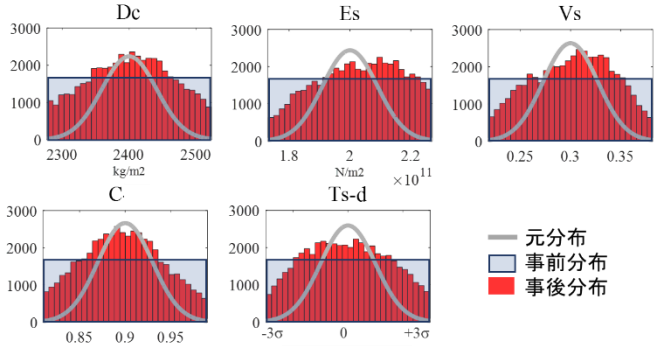

図 6 ベイズ事後分布推定結果

5．複合劣化時のベイズ事後分布推定

複合劣化時(支承摩擦係数 1.0，減厚範囲 C，減厚量 2mm)のパラメータ元分布から 10 サンプリングを抽出して解析応答を算出し，そこにセンサ精度をもとに計測誤差を加えて疑似計測データを作成した．計測データには第 3 章の結果から有効性が期待できる橋軸方向ひずみ 7 点(図 5)を用いた．そして事前分布と疑似計測データを用いて Higdon ら[4] の定式化に基づいたベイズ推定により MCMC(マルコフ連鎖モンテカルロ法)で事後分布を導出した．事後分布推定結果を図 6 に示す．5 パラメータ全てにおいて，事後分布事前分布と比べばらつきが小さくなり事後分布の不確定性を低減することが出来た．事後分布と元分布における平均値の誤差は 5 パラメータとも数%と小さく，精度よく推定することが出来た．

6．結論

鋼鈑桁橋の桁端部腐食による支承部摩擦係数や主桁鋼材減厚量の事後分布推定には，桁端部近傍での橋軸方向ひずみを用いることが有効であることを明らかにした．今後は，実橋梁での計測方法を検討し信頼性指標に基づく補修の効果などを実証していくこととしている．

参考文献

1). 黒田璃紗，西尾真由子：既存鋼鈑桁橋のモデルパラメータ事後分布を用いた信頼性評価，土木学会論文集 A1 Vol.72 No.3 pp.380-392，2016.

2). 村越潤，梁取直樹，小森大資，前田和裕，清水英樹：鋼道路橋の部分係数設計法に関する検討，土木研究所資料第 4141 号，2009.3.

3). 玉越隆史，中洲啓太，石尾真理，武田達也，水津紀陽：鋼道路橋の局部腐食に関する調査研究，国土技術政策総合研究所資料，第 294 号，2006.

4). 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.