

鉄道高架橋のモニタリング手法の開発における解析的検討

構造計画研究所	正会員	○楊 克儉
JR 東日本	正会員	鈴木 修
構造計画研究所		山本 一美
東京大学	正会員	村山 英晶
茨城大学	フェロー	呉 智深

1. はじめに

交通荷重など外部作用を受ける構造物の変形や動的挙動といった状態をセンサの計測値から把握し、その状態を定期的あるいは常時モニタリングすることで、構造の健全性を評価しようとする研究が行われている¹⁾。このようなモニタリング手法を確立するうえで、1) センサ配置と仕様の決定、2) 計測データ・解析モデルの検証、3) 健全性評価手法の開発、が重要となる。本稿では、有限要素解析を利用してこれらの検討を行った結果を実例を用いて報告する。

2. センサの配置と仕様の決定

図-1 はモニタリング対象である鉄道高架橋の有限要素モデルである。図-2 は震度3の観測地震波を用いて応答解析した結果である。図には橋軸直角方向の地震波と梁中央の加速度応答を示している。この加速度応答の周波数や最大・最小値からセンサの最適な仕様を検討できる。各種外部作用に対する様々な解析を行い、加速度計の周波数レンジを0.5~50 Hz、計測レンジを±1000 gal と決定した。また柱・梁のひずみ分布計測のため、変形モードやひずみ値を確認し、ひずみ計測用のセンサのゲージ長、感度、配置などを検討した。これらの検討によるセンサ配置及び仕様などをもとに、解析モデルに対応する鉄道高架橋に加速度及びひずみ分布を計測する試験設備が設置された。加速度はFiber Bragg Grating (FBG) 加速度センサ、ひずみ分布はFBG ロングゲージセンサによって計測された。

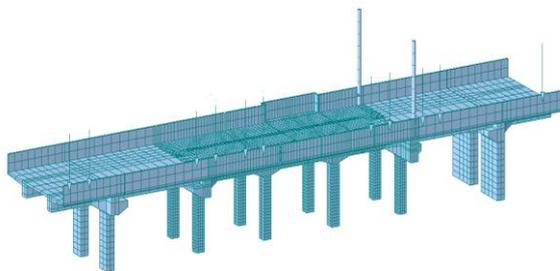


図-1 鉄道高架橋の有限要素モデル

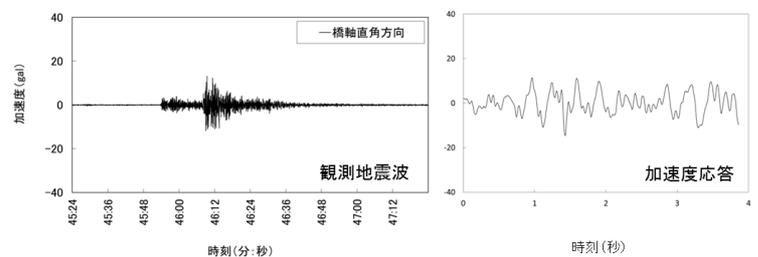


図-2 観測地震波形と応答解析による加速度応答

3. 計測データ・解析モデルの検証

地震応答の計測結果を図-1 のモデルによる解析結果と比較した。震度3の地震(2012年8月26日)に対して、高架橋柱上部に設置したFBG加速度センサで計測された橋軸直角方向の加速度と地震計の観測地震波をもとに解析した結果を図-3に示す。図-4には計測・解析データから得られる加速度応答スペクトルを示す。近似的な解析モデルとの比較ではあるが、よく一致していると言える。逆に、精度の高い計測データを用いることで解析モデルの修正や精緻化が可能となる。図-5は震度5弱の地震時に(2012年8月30日)、高架橋の柱上端部に設置されたFBGロングゲージセンサで計測されたひずみである。地震発生直後はよい一致を示すが、解析モデルと実構造物の局所のおよび減衰特性の違いなどにより計測値と解析値の位相がずれていると考えられる。一方、図-6は列車走行時に梁の長手方向に設置されたFBGロングゲージセンサで計測されたひずみ分布から算出されたたわみ分布であり、よく一致している。このようにセンサを構造に分布的に配置すれば構造物全体の挙動が示唆される。今後も計測データと解析モデルの比較検討により両者の精度・信頼性の向上を目指していく。

キーワード 鉄道高架橋, モニタリング, 光ファイバセンサ, 分布センシング, 有限要素解析

連絡先 〒164-0011 東京都中野区中央4-5-3 TEL:(03)5342-1138 FAX:(03)5342-1238

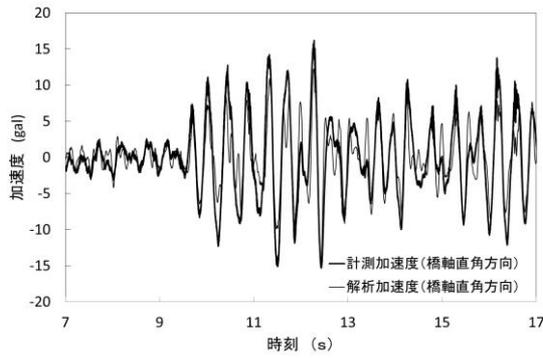


図-3 地震時の加速度波形の比較

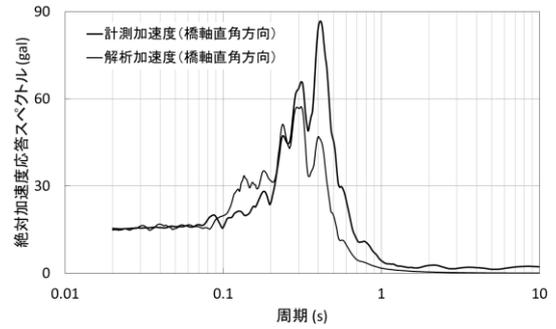


図-4 地震時の加速度応答スペクトルの比較

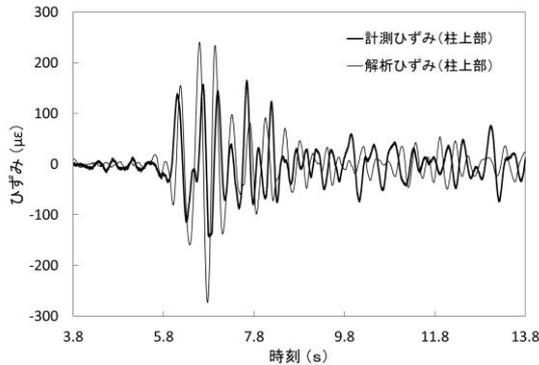


図-5 地震時のひずみ波形の比較

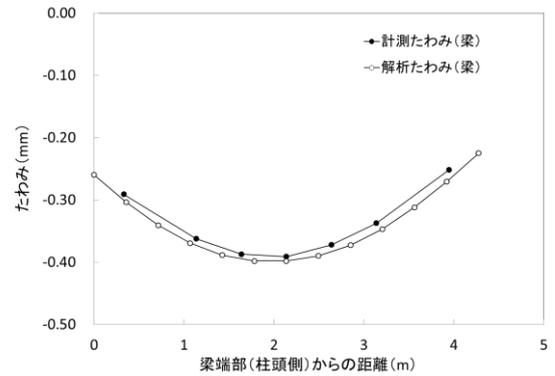


図-6 列車走行時の梁のたわみ分布

4. 解析モデルを活用した健全性評価手法の検討

図-7 は上述した震度 5 弱の地震波による解析で得られた高架橋各部の長手方向ひずみ分布である. このように全体的で 3 次元の加速度, ひずみ, たわみなどが時系列で得られ, 可視化できる解析手法と組み合わせることで, 限られた物理量, 場所の計測データからでも構造全体の実際挙動を把握することが可能となる. また, 様々なパターンの有限要素モデルによる解析を行い分析することで, センサの計測値と構造の健全性との関係性を見出すことができると考える.

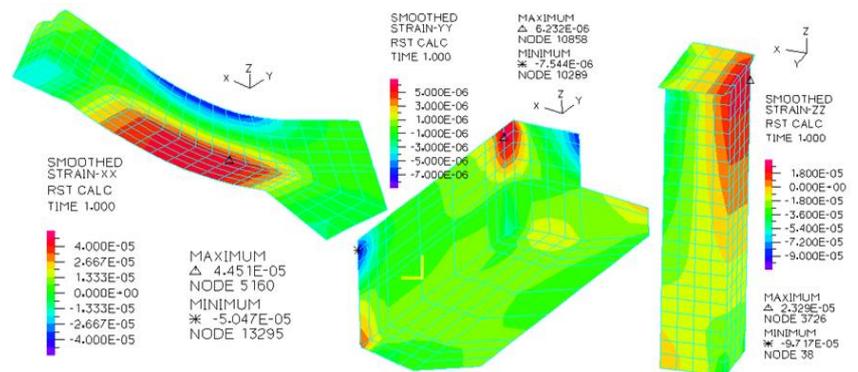


図-7 震度 5 弱の地震における長手方向ひずみ分布

今後, モニタリングデータが蓄積されれば解析モデルの精度向上が可能となる. 正確な解析モデルは, センサデータを用いた健全性評価手法の開発に欠かせないものとなるだろう.

5. まとめ

センサによって構造物の状態をモニタリングするうえで重要なセンサ配置・仕様の決定, 計測データの検証における有限要素解析の有効性を示した. また構造健全性の評価手法を確立するためには, モニタリングされた結果をどのように解釈するべきか検討しなければならない. すなわち計測データと健全性の関係性を明らかにする必要がある. 今後は蓄積されたデータを利用しつつ, 数値解析を活用して健全性の評価手法のさらなる検討を行っていく.

謝辞

本研究の実行計画を策定するに当たり, 特定非営利活動法人光防災センシング振興協会の協力を頂きました. また, 仙建工業株式会社には現地施工において協力を得ました.

参考文献

1) K. YANG, A. YABE, K. YAMAMOTO, H. ARAKI, and Z. WU, The Evaluation of KAWANE Bridge by distributed FBG sensors and by FEM analysis, SHMII-4, July22-24, 2009, Zurich, Switzerland.