

令和 2 年 4 月 30 日

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金

受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 宛

研究概要書

研究課題：地震直後の点検支援のための、少数点地震応答観測とデータ同化を利用した迅速な構造状態把握に関する研究

研究代表者： 東京大学大学院工学系研究科 准教授 長山 智則

共同研究者： 東京大学大学院工学系研究科 特任准教授 蘇 迪

はじめに

地震直後には限られた地震計測点における観測地震動・震度に応じて、橋梁の臨時点検の要否が判断される。一方で構造物の損傷は、地動よりもむしろ構造物の応答、特に変位や変形量に応じて異なる。構造物や地盤のモデル精度は必ずしも高くないため、遠隔の計測点における地震動や震度に応じて特定構造物の変位や変形量、被害の程度を推定する精度は限定的となる。そこで、個別構造物の応答値が得られ、適切に処理できれば、臨時点検の要否や点検に基づく構造状態の評価において、合理的な判断ができると考えられる。

1. 研究の目的

乾電池駆動で数年にわたって連続観測が可能な無線加速度計による応答計測と、橋梁の構造モデル、適応カルマンフィルタアルゴリズムを組み合わせ、地震直後に、構造物の応答値を即座に把握し、点検の必要性や優先度の判断支援が可能なくみを提案する。

2. 少数観測点から橋梁全体の応答推定の枠組みの構築

センサを利用して構造物の変位を計測できれば、図-1 のように変位や履歴特性を基準とした定量的かつ迅速な健全性評価ができる。しかし変位の直接計測は、基準点を得られにくいために難しい。対して、計測加速度を二階積分して変位を推定する方法は、積分誤差が蓄積する。ハイパスフィルタの適用により積分値の発散は避けられるものの、残留変位等の低周波数成分を評価できない。そこで、加速度計測に基づき、残留変位を含む変位を簡易に推定する方法を新たに考案した（図-2）。地動加速度および応答加速度を観測量とし、履歴特性モデルを仮定して非線形カルマンフィルタを適用することで、状態変数の1つとして応答変位を推定する。履歴特性モデルは対象構造物の履歴特性を正確に表現するものではないが、非線形カルマンフィルタはモデル化誤差を含んだ定式化ができる。モデル化誤差はプロセスノイズ共分散行列として表すことができるため、その成分を最小化するように遺伝的アルゴリズムにより履歴特性モデルパラメータを決定するものである。

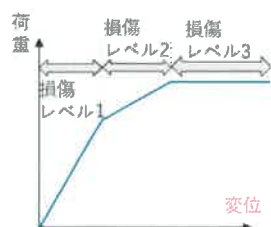


図-1 地震後の高架橋損傷判定例 図-2 提案手法における変位推定アルゴリズム

E-defenseにおける橋脚振動台実験を、鉄筋コンクリート非線形解析ソフトウェアCOM3Dによって模擬した結果（図-3）に対して提案手法を適用する。COM3Dによる解析結果の履歴特性を図-3にて示したが、実際の構造物同様に履歴特性が複雑である。提案手法による変位の推定結果と、比較のための他手法2つの結果を図-4に示す。提案手法は、残留成分まで含む変位を推定できていることが分かる。用いている観測量は地動加速度および応答加速度、仮定しているモデルはトリリニア非線形でありそのパラメータはすべて観測量から同定している。対象構造物の精緻なモデルを事前に把握する必要がなく、地震動および応答加速度さえ得られれば、地震被害を表す変形量を推定可能な方法といえる。

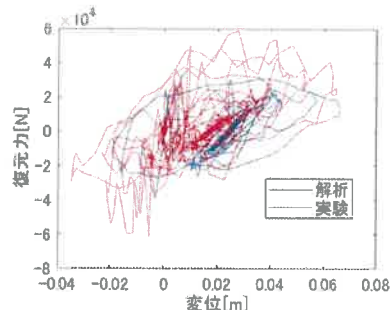


図-3 実験及び解析の履歴特性比較

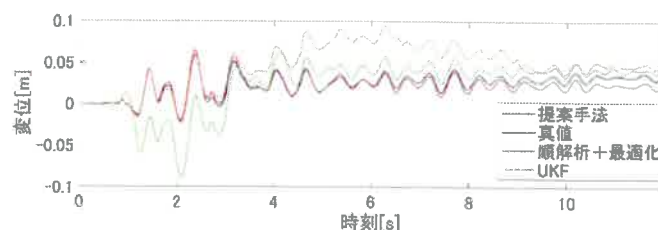


図-4 変位推定結果の比較

3. 無線加速度計による地震観測

大学構内の歩道橋に無線加速度計を設置して地震応答をモニタリングした。図-5に示すように計7台の無線加速度計（ソナス社製 X01）を設置し、3軸加速度を連続計測し、地震応答に相当する時間帯を抽出した（図-6）。無線マルチホップネットワークにて時刻同期をとり、観測データはSDカードに連続記録し、必要に応じて携帯回線によりデータ収集も可能なシステムである。ここでは鉛直加速度を示してあるが片振幅20ガル程度の地震応答を明瞭に捉えられていることが確認できる。なお、同じシステムによる地震応答観測は、高速道路のある斜張橋および桁橋区間においても行われている。



図-5 無線加速度計設置状況

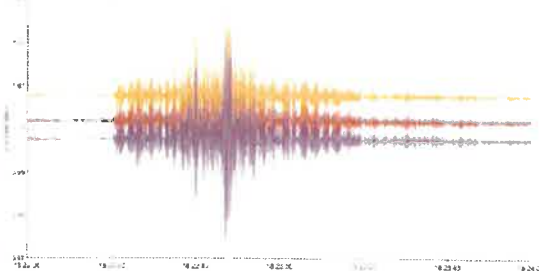


図-6 地震応答観測結果

4. まとめ、今研究で得られた成果、今後の課題等

地震後の応急対応において、地震応答観測に基づき構造物の状態評価を迅速にかつ客観的に行うための基礎技術として、加速度計測に基づく変位推定手法の構築と、無線加速度計による地震応答観測に取り組んだ。残留変形成分を含めて変位を推定する新たな手法を構築することができ、また無線センサを利用して簡易な地震応答観測網を構築できることを実橋梁において示すことができた。今後は、衝突等も含めて複雑な挙動を示す対象構造物に対して変位推定手法の適用性を明らかにしたり、実構造物で観測された比較的大きな地震応答の実データに対して本手法の適用性を明らかにしたりすることが課題である。