

変位を指標とした鉄道橋脚基礎の健全度評価手法の研究

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○鈴木 修
株式会社ビーエムシー 正会員 杉崎 光一
株式会社ビーエムシー 正会員 岡本 陽介
株式会社ビーエムシー 正会員 阿部 雅人

1. 目的

JR 東日本における鉄道橋の経年は平均約 60 年となっており、経年 100 年を超える橋りょうも多くある¹⁾。このような橋りょうをより効果的、効率的に維持管理するためには、構造物の健全度の定量的な評価手法が必要である。そこで、本研究では営業列車通過時の変位を指標とした鉄道橋脚基礎の健全度の定量的評価手法について検討を行った。

2. 既往の研究

列車通過時の橋脚の変位と橋脚の根入れ深さの相関を調査した事例は複数あり、岡田らは橋脚の根入れを変えて列車通過時の変位を測定した結果、橋脚の根入れが小さくなるほど、列車通過時の橋脚の橋軸直角方向および橋軸方向の変位が大きくなるとしている²⁾⁻⁴⁾。また、堀松も文献5)の中で、雄物川橋りょうにおける実測結果を示し、洗掘の進行とともに、橋脚の橋軸直角方向の変位が大きくなるとしている。既往の研究における橋脚の変位測定は、ピアノ線等を利用した変位計や橋脚天端に設置された加速度計で観測された波形を2階積分する方法が採られている。しかしながら、ピアノ線等を用いた変位計は設置に時間と労力を要し、加速度波形を2階積分して橋脚の変位を算出する方法は、雑音や誤差の影響により信頼性・精度が大きく低下することが指摘されている。そこで、本研究では、橋脚天端に設置した慣性センサ(傾斜計・加速度計)により計測した加速度(傾斜角)から変位を推定する方法を検討した。

3. 変位推定アルゴリズム

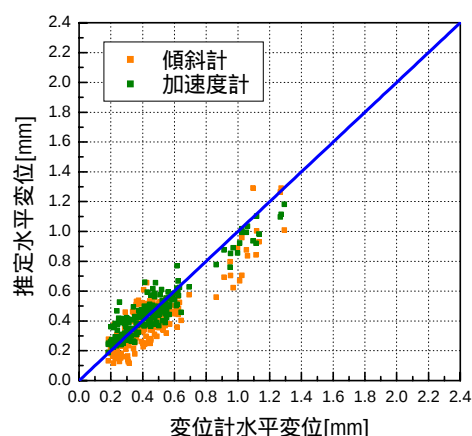
慣性センサの原理は重力加速度を検知する一種の慣性計測であるため、傾斜しなくても振動により加速度が生じれば傾斜角として計測される。そこで、文献6)の方法を用いて、計測データから動的傾斜角を算出することとした。また、橋脚の回転中心は、橋脚はロッキング振動すると仮定して橋脚のフーチング底面とした。

4. 実橋りょうにおける計測結果

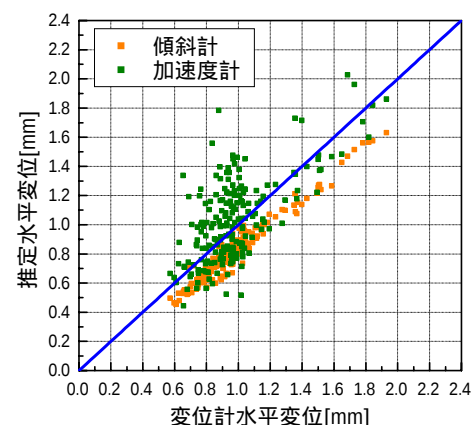
上部工が鋼桁で単柱橋脚を有する鉄道橋(A～D橋りょう)において計測を行った。

4.1 変位推定値と実測値の比較

A橋りょう1Pに加速度計、傾斜計を設置して、列車通過時の振動を計測した。また、手法の検証をおこなうためにピアノ線を利用した変位計を設置した。なお、A橋りょう1Pは、RC造で橋脚高さ8.0m、基礎は木杭で、貨物列車、普通列車、特急列車と車重が異なる列車が通過する。図1に加速度計と傾斜計から推定された変位最大値と実



(a) 橋軸方向



(b) 橋軸直角方向

図1 橋脚の変位推定値と実測値

キーワード 変位計測, 慣性センサ, 鉄道構造物, 列車振動

連絡先 〒331-8513 さいたま市北区日進町 2-479 JR 東日本研究開発センター防災研究所 TEL 048-651-2693

測変位との相関を示す。図より、変位の推定値と実測値は、加速度計から算出したもの、傾斜計から算出したもののいずれも、橋軸方向、橋軸直角方向共によく一致していることがわかる。なお、図中の大きな変位は貨物列車通過時の変位である。

4.2 隣接する異なる構造諸元を有する橋脚の変位推定値

B橋りょうおよびC橋りょうにおいて、A橋梁と同様のセンサを利用して、基礎の諸元が異なる複数の橋脚で列車通過時の変位の推定および実測値との比較を行った。B橋りょう1～3Pはコンクリート造の直接基礎で、1Pの橋脚高さが8.4m、2P、3Pの橋脚高さが8.3mである。C橋りょうはRC造で、13Pがケーソン基礎で橋脚高さ10.8m、15～17Pは木杭基礎で橋脚高さは12.1mである。なお、15Pのみ橋脚の断面積が他より大きくなっている。振動計測は複数の列車について行い、変位を推定した後、橋脚ごとの平均値を求めた。図2に傾斜角および加速度波形から算出した変位推定値の平均値と、変位計で算出した変位の実測値の平均値を示す。なお、図中の1～3PがB橋りょう、13、15～17PがC橋りょうである。図より、傾斜計、加速度計のいずれを用いても、推定した橋軸方向の変位は実測値とよく一致していることがわかる。また、B橋りょう2、3Pのように隣接する同じ諸元の橋脚でも、大きく異なる変位が推定された。この原因の分析には詳細な調査が必要であるが、橋脚基礎の状態が異なる可能性を示唆していると思われる。一方、橋軸直角方向の変位は概ね一致しているが、1P、3P、17Pで誤差が大きくなっている。この誤差の原因は回転中心の位置（回転半径の長さ）の推定誤差と考えられ、今後のより詳細な分析が必要である。

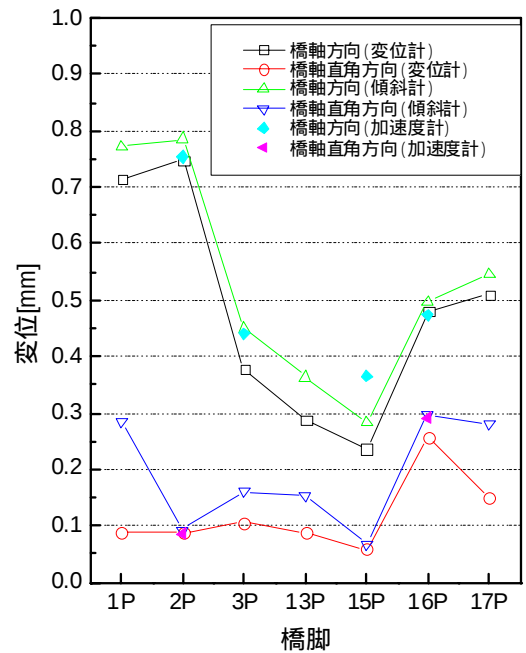


図2 橋脚の変位推定値と実測値

4.3 曜日・時間帯別の変位推定値

D橋りょう4Pにおいて、橋脚天端に傾斜計を設置して列車通過時の傾斜角を計測した。D橋りょう4Pは、RC造でケーソン基礎、橋脚高さ10.0mで、普通列車のみが通過する。推定した列車通過時の橋軸方向の変位を、曜日別に整理した結果を図3に示す。図より、平日の朝7時から8時頃の朝通勤時間帯の変位推定値が大きくなっていることがわかる。このことから、傾斜計測における加速度の影響を除去でき、変位を良好に推定できていると考える。なお、変位の長期的な特性を評価する際には、通過する列車荷重の特性を考慮する必要がある。

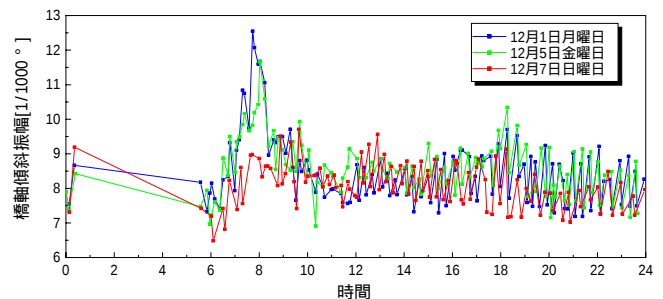


図3 曜日別の1日の傾斜角の時系列

参考文献

- 1) 野澤伸一郎：鉄道における橋梁の長寿命化に向けた技術の現状と将来展望 橋梁と基礎 44(8) pp.21-24 2010.8
- 2) 岡田勝也ら：正弦加振による橋りょうの動特性と列車走行時の応答性 - 高崎線神流川橋りょう振動試験 - , 鉄道技術研究所速報 No.79-84, 1979.8
- 3) 岡田勝也ら：直接基礎橋りょうの正弦加振による動特性と列車走行時の応答性 - 常磐線鮫川橋りょう振動試験 - , 鉄道技術研究所速報 No.81-78, 1981.7
- 4) 岡田勝也ら：井筒基礎橋りょうの正弦加振による動特性と列車走行時の応答性 - 予讃線重信川橋りょう振動試験 - , 鉄道技術研究所速報 No.A-85-173, 1985.10
- 5) 堀松和夫：橋梁下部構造の運動性状について 土木学会論文集第58号・別冊 1958.9
- 6) 杉崎 光一ら：構造ヘルスマニタリングのための慣性センシングによる傾斜・振動計測法 土木学会論文集（登載決定）