

たわみの影響線を利用した橋梁の劣化箇所同定の試み

宇都宮大学

学生員

○ 武田龍國

フェロー会員

中島章典

正会員

NGUYEN MINH HAI

1. はじめに

構造物の維持管理は、一般に、点検、評価、対策、記録により実施される。そのうち、現在の橋梁の点検は、5年に1度行われる近接目視点検が中心であるが、人材、人手不足の問題などがあり、5年に1度の近接目視点検は容易ではない^{1),2)}。そこで、近接目視点検に代わる方法の1つとして、供用中の構造物において、変位や応力、振動など、構造物の実際の挙動により構造性能を診断する、構造ヘルスマonitoringが挙げられる。

橋梁における、構造ヘルスマonitoringの研究は数多くなされている^{3),4)}が、その中では橋梁の振動特性に着目したものが多く、しかし、振動特性に着目した橋梁のヘルスマonitoringは、劣化による振動特性の変化が微小であること、劣化の有無を評価できたとしても、劣化箇所を特定することは難しいことなどにより、近接目視点検に代わるほどの方法の開発には至っていない。

そこで本研究では、振動特性よりも構造物の劣化に敏感に反応すると考えられる、橋梁のたわみに着目したヘルスマonitoring方法を考察する。

2. 劣化の評価

本研究で考察する方法は、劣化により生じるたわみの影響線の変化率に着目して、劣化箇所や劣化度を評価する方法である。まず、本研究における橋梁の劣化の取扱いについて説明する。橋梁の劣化には、鋼材の疲労や腐食、亀裂、コンクリート部材のひび割れ、浮き、剥離、遊離石灰など様々なものがあるが、ここでは、これらの劣化をヤング係数の低下や有効断面の欠損、つまり、曲げ剛性の低下として評価する。劣化により曲げ剛性が低下すると、たわみは大きくなる。ゆえに、たわみの影響線においては、劣化部のたわみが大きくなる。健全な状態のたわみの影響線と、劣化した状態のたわみの影響線とを比較し、その変化率を用いて、劣化箇所の特定や劣化度を評価する。ここで、劣化した状態のたわみの影響線と健全な状態のたわみの影響線の差を、健全な状態のたわみの影響線で除して、百分率表記したものをたわみの影響線の変化率と定義する。

3. 実際の諸元を有する橋梁の平面はり解析

本研究で考察するモニタリング方法で、実橋梁の劣化を検出することができるかを確認するために、実際の諸元を有する橋梁モデルの解析を行った。ここでは、平面のはり要素の有限要素法解析を用い、その解析モデルの概要を図-1、図-2に示す。このモデルにおいて、全長32000mmの左端より9000mmから10000mmの1000mm箇所の断面2次モーメントを20%減少させ、劣化を模擬し、大型車両1台分の重量245kNを移動させながら載荷し、上述のたわみの影響線の変化率を求めた。その結果を図-3に示す。図

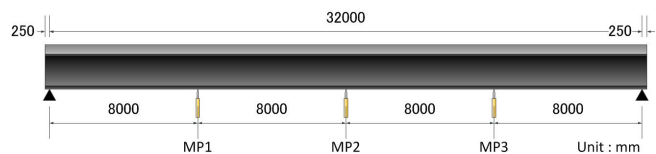


図-1 平面はり解析モデルの側面図

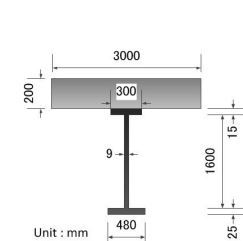


図-2 平面はり解析モデルの断面図

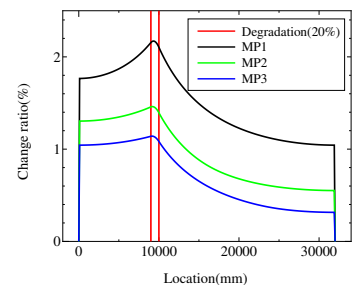


図-3 平面はり解析モデルにおけるたわみの影響線の変化率

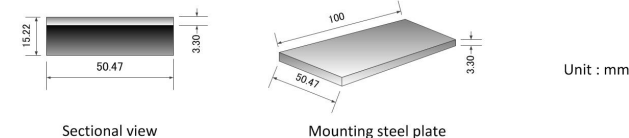
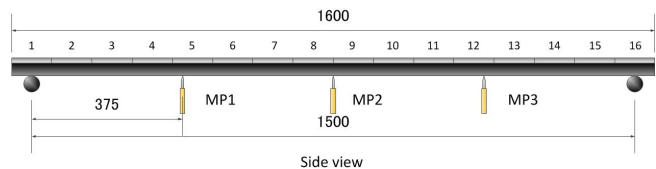


図-4 試験体概要図

図-3より、3箇所のたわみの影響線の変化率のピーク箇所が劣化箇所と一致していることがわかる。

4. たわみの影響線に着目した実験

(1) 実験概要

上記の方法により、実際の諸元を有する橋梁モデルの解析を行ったところ、劣化を検出することができたので、簡単な実験を行い、実際に劣化を検出できるかを確認する。

実験で用いた試験体の概要を図-4に示す。本実験では、平鋼からなる梁に別の鋼板を、ボルトを用いて取り付け、その状態を橋梁の健全な状態とし、鋼板を部分的に取り外すことにより、劣化を表現した。鋼板を取り外すことにより断面2次モーメントは51%減少する。図-4の側面図において、取り付け鋼板を、左より鋼板1、鋼板2のように表記する。本実験では、3通りの劣化パターンについて実験を行ったが、ここでは、鋼板4と10を取り外した状態のみを説明する。この劣化パターンにおいて、支間1/4、1/2、3/4の箇所であわみを測定した。質量11.19kgの重りを図-4の側面図の左支点より、100mmの間隔で載荷し、測定点におけるたわみの影響線を得る。鋼板を取り外す前の健全な状態でのたわみの影響線と劣化した状態のたわみの影響線を比

Key Words: 構造ヘルスマonitoring, たわみ影響線, 劣化, 同定

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6208 Fax.028-689-6208

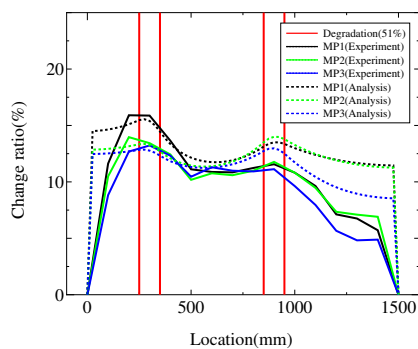


図-5 実験におけるたわみの影響線の変化率

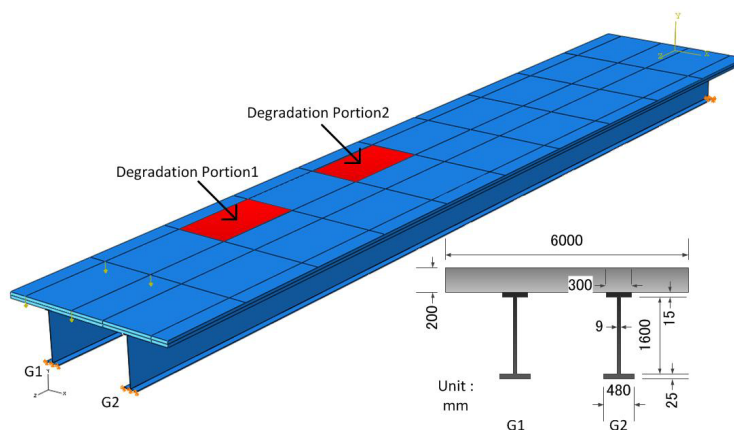


図-6 3次元解析モデルの概要

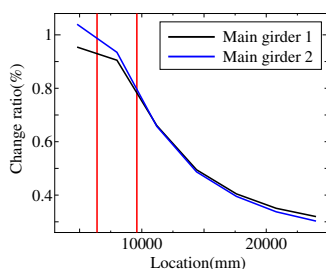


図-7-a 劣化パターン 1

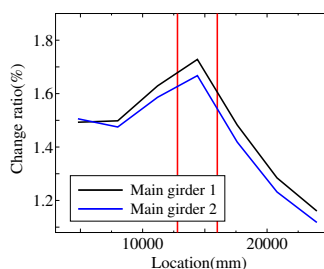


図-7-b 劣化パターン 2

図-7 3次元解析モデルにおけるたわみの影響線の変化率

較し，劣化箇所や劣化度を評価する。

(2) 実験結果および解析結果との比較

実験より得られた，たわみの影響線の変化率を図-5に示す。支間1/4点のたわみの測定点をMP1(Measuring point 1)，支間1/2点のたわみの測定点をMP2，支間3/4点のたわみの測定点をMP3とする。さらに，図-5において，劣化箇所を赤線で表記した。

図-5から，実験で得られた，たわみの影響線の変化率のピーク箇所が，およそ劣化箇所と一致していることを示している。しかし，鋼板4付近の変化率のピークが劣化箇所からずれている。この原因を考察するため，試験体と同様のモデルで解析を行った。解析より得られた，たわみの影響線の変化率も図-5に示す。図-5は，解析結果と実験結果の傾向が一致していることを示している。また，解析結果は，たわみの影響線の変化率のピーク箇所が全て劣化箇所と一致している。ゆえに，実験結果のたわみの影響線の変化率のピーク箇所が劣化箇所からずれることは，実験の誤差によるものであると考えられる。

5. 実際の諸元を有する橋梁の3次元解析

前述の平面はりの解析では，橋軸直角方向の局所的な劣化を模擬できない。そこで，ソリッド要素を用いた3次元解析を行った。解析モデルは図-6に示すような2本主桁橋とした。1本の主桁の断面は，平面はりの場合とほぼ同じである。荷重は車輪を模擬した4点載荷とし，片側の主桁上(G1)を移動させながら載荷し，それぞれの主桁の中央付近のたわみの影響線を求めた。また，図-6に示すように，片側の主桁の橋軸方向で6400mmから9600mmおよび中央(橋軸方向で12800mmから16000mm)の箇所の床版の高

さを1/2として劣化を模擬した。これらを劣化パターン1，劣化パターン2とする。この劣化した状態のたわみの影響線を求め，これを図-7に示す。図-7-aと図-7-bより，劣化パターン1，2とも，劣化箇所付近で変化率がピークになっていることより，劣化箇所をおおよそ特定することができた。しかし，図-7-aにおいて，変化率のピーク箇所は，劣化箇所より少しずれている。これは，橋梁の端部のたわみの変化が小さく，解析モデルの分割が粗いため，端部の変化率が大きくなったと考えられる。また，図-7-aより，劣化箇所に近い主桁におけるたわみの影響線の変化率より，他の主桁におけるたわみの影響線の変化率の方が，劣化箇所付近で大きくなっている。これは，劣化していない健全な状態のところが力を受け持ったためであると考えられる。

6. まとめ

本研究では，たわみの影響線の変化より劣化を判定する方法の基礎的検討を行った。解析では，たわみの影響線の変化率のピーク箇所と劣化箇所と少しのずれはあったが，劣化箇所をおおよそ見つけることができた。劣化箇所のずれは，解析モデルをさらに細かく分割することによって，一致していくと考えられる。また，実験においては，本研究で考察した方法を用いることにより，各劣化パターンで劣化を検出することができた。

今後，劣化度がさらに小さい場合にも，本研究で考察した方法の有効性を確認する必要がある。実橋においては，適切な変位計の選定，実験の実施方法など，様々な課題が残っているが，解析や実験により，本研究で考察するモニタリング方法で劣化を検出できる可能性を示すことができた。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路の老朽化対策の本格実施に関する提言，<http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo10.pdf>, 2014.4.
- 2) 国土交通省：道路構造物の現状（橋梁），<http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo11.pdf>, 2013.
- 3) H.Onishi, N.Shimizu, T.Santo, M.Miyamura : Development of new structural health monitoring method for bridge decks based on small FWD system, Life-Cycle of Structural Systems, pp.355-360, 2015.
- 4) Billie F.Spencer, Jr.,Fernando Moreu, Robin E.Kim : Structural Health Monitoring of Railroad Bridges Using Wireless Smart Sensor(WSSs):Recent Real-world Experiences in North America, Life-Cycle of Structural Systems, pp.396-403, 2015.