

モニタリングデータによる橋梁の挙動把握と異常検知

東京工業大学 学生会員 ○大西 良平
 東京工業大学 フェロー 三木 千壽
 東京工業大学 正会員 小西 拓洋

1.はじめに

現在、橋梁の維持管理は専門技術者による定期的な目視点検が主な手段である。しかし、将来的に技術者が不足することが懸念される他、橋梁の状態の変化を連続的に監視できない等の問題がある。そこで、維持管理の合理化と効率化を支援する目的で、橋梁モニタリングシステムの研究開発が行われているが、モニタリングデータを基に異常検知を行う手法は未だ模索段階にある。

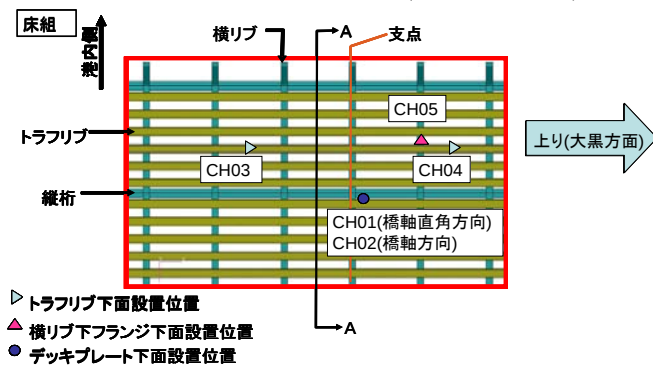
そこで、橋梁モニタリングシステムによって得られたデータを基に、橋梁の挙動の把握とデータマイニングを用いた異常検知を試みた。

2.対象橋梁とそのモニタリングシステム

対象とする橋梁は横浜ベイブリッジ下層部分(一般国道 357 号線、上下各 1 車線)である。対象橋梁は供用開始前に疲労強度改善を目的とした SFRC 舗装による合成鋼床版化が実施されたが、長期的な合成効果の変化を監視するため、供用開始と同時にモニタリングが開始された。供用開始後、SFRC 舗装にひび割れが生じたことが確認されており、合成効果の変化もモニタリング項目の 1 つとなっている。

モニタリングは、斜張橋部分本牧側端部(A 部)と大黒側端部(I 部)の上下車線の計 4 ブロックに対して実施している。図 1 に A 部下り車線のセンサー配置図を示す。

図 1.センサー配置図平面図(A 部上り車線)



測定項目は、トラフリブ下面橋軸方向(CH03,04), 横リブ下フランジ下面橋軸直角方向 (CH05), デッキプレート下面橋軸方向(CH02), 同橋軸直角方向(CH01)のひずみであり、横リブ下面センサーの応答値等を用い、Weigh-In-Motion(橋梁の各部材の応答から通過車輛の重量を逆解析するシステム)により車輛重量を測定している。

3.提案する異常検知手法について

現在、一般的に用いられている異常検知手法は、事前の仮定に基づいた演繹的な手法が主流であるが、この手法の問題点として、異常の兆候を把握できない、未知の異常に弱い等が挙げられる。これらの問題に対応するため、システムの挙動を常時監視し、データの傾向に変化が生じるか否かに着目する異常検知システムを提案する。ここで採用する異常検知システムでは、連続的な挙動変化から異常の兆候を把握するために、帰納的手法を採用する。

4.データマイニングの概要

対象橋梁のモニタリングで得られるデータは 1 日当たり 3GB を越える程に膨大であるため、異常検知を行う際、どのデータに着目するかが問題となる。そこで、得られたデータを網羅的に分析し、着目点をデータベースの中から発見する知識発見的な手法、即ちデータマイニングを用いる帰納的な異常検知手法を採用した。

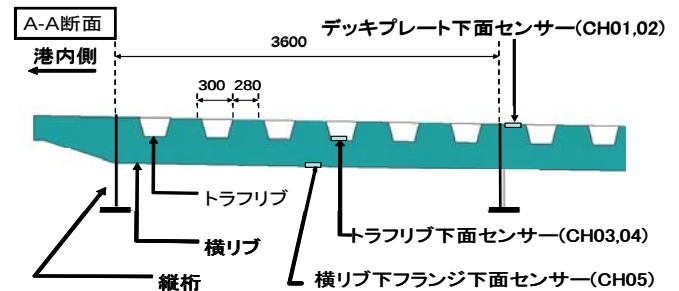


図 2.センサー配置図断面図(A 部上り車線)

キーワード 橋梁モニタリング 異常検知 データマイニング

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 緑ヶ丘 5 号館 3F TEL 03-5734-2596

具体的なデータ分析の概要として、Weigh-In-Motion によって測定された車輛重量と各ひずみセンサーによって計測されたひずみの振幅について分析した。データマイニングの分析手法として、得られるデータが全て数値データである事、データベースが膨大である事から、比較的計算が容易な相関性の分析を行うこととした。また、多種類のデータの連動を把握するために主成分分析も合わせて行った。

これらの分析結果の傾向の変化に着目して異常検知を行うが、正常な状態でも季節や車輛の走行位置などによって分析結果の傾向が変化する場合がある。そこで、正常な原因での挙動の変化を把握するために重量車輛の走行を想定した FEM 解析を並行して行った。

5.分析結果

対象橋梁での各部材の応答を下り車線と上り車線で比較した結果、上り車線のトラフリブ下面に設置されたセンサーの応答に、車輛重量に比例するケースと、同じ重量でも応答が大きくなるケースの 2 つに分かれるという特徴的な分布が見られた(図 3)。また、各センサーの応答値を主成分分析した結果の第 2 主成分の、各センサーに対する固有ベクトルの要素の値に着目すると、この成分がトラフリブでの応答が大きくなるケースと横リブでの応答が大きくなるケースの 2 ケースが存在することを示していた(図 4)。また、FEM 解析で車輛の走行位置を橋軸直角方向に移動させた結果、トラフリブの応答が走行位置により半分程度まで変化することがわかった(図 5)。このことから、港内側で生じたトラフリブの特徴的な分布は輪位置によるものであり、異常ではないと判断した。また、輪位置がセンサー設置対象トラフよりも港内側に移動すると、トラフリブでの応答が小さく、横リブでの応答が大きくなる傾向がある事がわかったが、これは、主成分分析結果の第 2 主成分を説明するものであると考えられる。

各センサーの応答の近似直線の傾きについて、2004 年 6 月を 1 とした場合の比の値の変化をしめした(図 6)。その結果、各センサーの応答が冬季に大きくなること、05 年の同じ時期と比較して 06 年の A 部下り車線のデッキプレート下面の橋軸方向の応答が徐々に大きくなってきている傾向が見える。

6.結論

データマイニングを用いた帰納的な異常検知手法により、長期間のデータを分析することで異常検知が可能である事を示した。また、異常の内容を精査するために FEM 解析等による検討が必要である事がわかった。

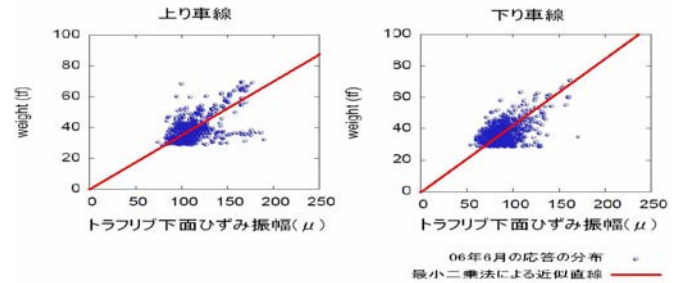


図 3.トラフリブの応答と車輛重量の散布図

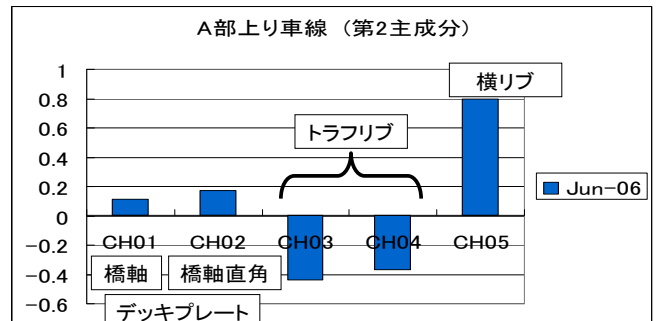


図 4.第 2 主成分固有ベクトルの要素の比較

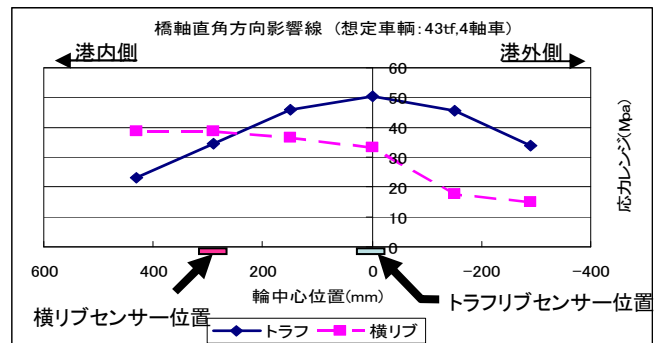


図 5.FEM 解析による橋軸直角方向輪位置と応答の関係

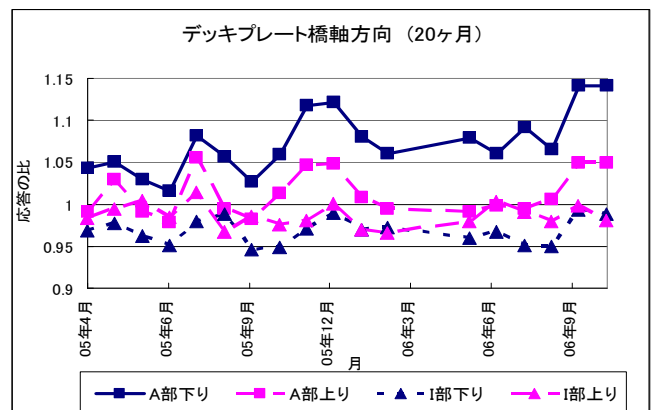


図 6.デッキプレート橋軸方向の応答の変化