

桁橋の振動特性による健全度診断の試行（性能回復）

舞鶴工業高等専門学校 正会員 ○玉田 和也
舞鶴工業高等専門学校 仲井 大樹

1. 研究背景・目的

現在、維持管理に関する橋梁の損傷に対し、目視点検が主に行われているが、客観性に優れた橋梁の点検、診断方法を確立することが早急に求められている。本研究では、実際の橋梁（写真1）に対して振動計測による健全度評価の試行を行った。

2. 研究内容

本研究では図1に示すように、2つの変状ケースについて桁橋の振動計測によりその変状状況を健全度評価する。ここでは、劣化した橋梁に対する修繕工事の前後で振動計測を実施し、固有振動数の上昇に伴う修繕工事による性能回復についての健全度評価を行う。

3. 修繕工事の内容

対象橋は、橋梁前後に交差点があるため、横断、縦断、巻き込み勾配が厳しい上に車両の停止・発進による床版への付加応力の大きい橋梁である。その結果、輪荷重の繰り返し衝撃や水等の劣化因子の影響による床版コンクリートの損傷が各部に発生し、写真2に示すRC床版の耐荷力や耐久性の低下が認められる状況になっている。修繕工事では、このような劣化部分に劣化因子の遮断が可能で疲労耐久性にも優れる超緻密高強度繊維補強材料（ティフコム）を用いて補修することになった。また、修繕工事では、床版補修工事だけでなく、写真3に示すG1桁の鋼桁と床版の接合部分の破壊に対しても修復工事が実施された。各補修の写真的修復状況を写真4-5に示す。

4. 各振動計測の概要

対象橋の振動計測は、3回行った。本研究では、4月の計測データを Before1、7月の計測データ After1、11月の計測データを After2 として論じていく。松島橋の3回の計測概要を表2に示す。また、松島橋の3回の計測では、一般車両が走行する際の加速度波形を計測し、得られた周波数応答特性を分析し評価していく。そのため、計測ケースは、強制加振と表示する。また、振動計測で用いた加速度センサーを写真6に示し、配置図の一例を図2に示す。



写真1 対象橋梁の全景

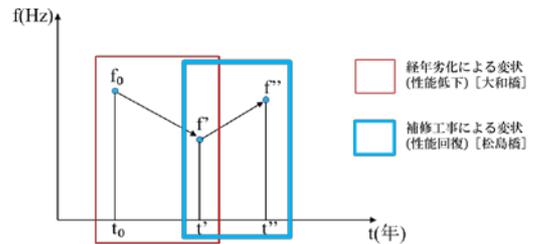


図1 二つの変状ケース



写真2 床版ひび割れ



写真3 鋼桁と床版の分離



写真4 ティフコムの施工



写真5 鋼桁と床版の接合

表1 橋梁諸元

橋梁名	■橋
建設年	昭和37年
建設後	約56年経過
架設場所	舞鶴市・志楽川
支間長	24.0m
橋梁形式	鋼単純合成桁橋



写真6 加速度センサー

表2 各計測概要

Before1(B1)の計測概要（補修工事前）	
計測日時	H29年4月7日(15時)
気温	12.7(°C)
計測時間	上流側10分間、20分間×2
計測方法	サンプリング1000(Hz)、強制加振
加速度センサー	JA-70S(1軸※3個使用)
After1(A1)の計測概要（補修工事後）	
計測日時	H29年7月8日(14時)
気温	33.6(°C)
計測時間	上流側20分間×2
計測方法	サンプリング1000(Hz)、強制加振
加速度センサー	JA-70S(1軸※3個使用)
After2(A2)の計測概要（補修工事後）	
計測日時	H29年11月8日(18時~21時)
気温	14.9(°C)
計測時間	上流側20分間×3
計測方法	サンプリング1000(Hz)、強制加振
加速度センサー	JA-70S(1軸※3個使用)
その他	動画撮影(GoPro2)

キーワード 振動計測, 維持管理, 性能照査, 性能回復, ティフコム

連絡先 〒625-8511 京都府舞鶴市宇白屋234 舞鶴高専建設システム工学科 tamada@maizuru-ct.ac.jp

5. 解析結果

5.1 工事前後の固有振動数の比較

固有振動数の求め方としては、図3に示すように、加速度波形の全区間をFFTして得られたスペクトル図からピーク振動数を読み取る方法で行った。

得られた補修工事前と補修工事後の計3回の計測結果の固有振動数をまとめたものを表3に示す。

5.2 固有振動数の温度補正

温度補正の方法としては、同じ状態(工事後)のAfter1とAfter2のデータを用いて気温と固有振動数の関係補正量を計算し、温度補正式を求め、そしてAfter2の固有振動数をBefore1の温度に補正して比較することにする。図4には、ピーク1の固有振動数と気温の関係を示す。温度補正後の固有振動数を比較すると、補修以前と比べて固有振動数が明らかに向上していることが分かる。

5.3 健全性の診断結果

健全性の診断として、Before1のピーク1の固有振動数の値と温度補正後のAfter2のピーク1の固有振動数の値から、式1の梁の振動方程式を用いての曲げ剛性の検討を行う。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A L^3}} \quad \text{式1}$$

式1を変形し、曲げ剛性変化率を算出する式に変形すると、

$$\left(\frac{f'}{f_0}\right)^2 = \frac{E'I'}{E_0I_0} \quad \text{式2}$$

式2のようになり、この式を用いて曲げ剛性変化率を算出する。Before1の固有振動数を $f_0=3.843\text{Hz}$ 、温度補正後の固有振動数を $f'=4.116\text{Hz}$ と置いて計算すると、曲げ剛性は14.7%向上しているという結果となった。

5.4 固有振動数の変動要因

振動計測から得られた14.7%の曲げ剛性の工場の妥当性について再現設計を行って検証し、固有振動数の変動要因を同定する。再現設計から得られた主桁一本当たりの断面諸量を表4に示す。使用プログラムは、JIPテクノサイエンス株式会社の「JSP-4W-単純合成桁の概略自動設計プログラム」を用いた。

検討の結果、①床版表面20mmの劣化を想定した計算では、曲げ剛性が4.5%回復するという結果となった。②G1桁の鋼桁と床版の分離の影響を考慮した計算では、曲げ剛性が22.0%回復するという結果となった。この検討では、実際の橋梁において桁と床版の分離状態(分離の度合いと延長)を正確に掴むことが困難であったため、桁全長に渡って完全に桁と床版が分離している状態を想定した。

以上より、振動計測による性能回復の評価に対し、①の要因と②の要因の一部分の影響が重なり合い、修繕工事による曲げ剛性の性能回復につながったのではないかと考える。

6. 結論

桁橋の振動特性による健全度診断の試行を行った結果、橋の固有振動数の比較により、今回の対象橋梁においては、修繕工事による曲げ剛性の回復状況を評価できることが明らかになった。

謝辞：振動解析プログラム群は長岡技術科学大学の宮下 剛准教授にご提供いただきました。感謝いたします。

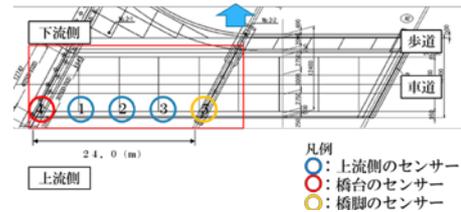


図2 After2の加速度センサーの配置図

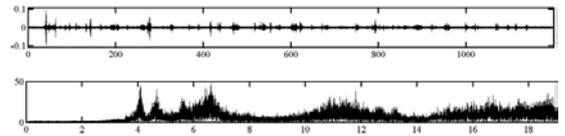


図3 加速度波形・スペクトル図

表3 補修前後の固有振動数の比較

項目	Before1(B1)	After1(A1)	After2(A2)
年月日	H29年4月10日	H29年7月8日	H29年11月8日
気温	12.7(°C)	33.6(°C)	14.9(°C)
ピーク1	3.843Hz	3.948Hz	4.098Hz
ピーク2	4.508Hz	4.583Hz	4.686Hz
ピーク3	4.781Hz	5.423Hz	5.583Hz
ピーク4	5.359Hz	6.460Hz	6.620Hz
ピーク5	9.824Hz	10.770Hz	10.870Hz

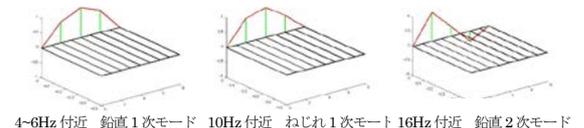


図3 各ピーク振動数のモード形状

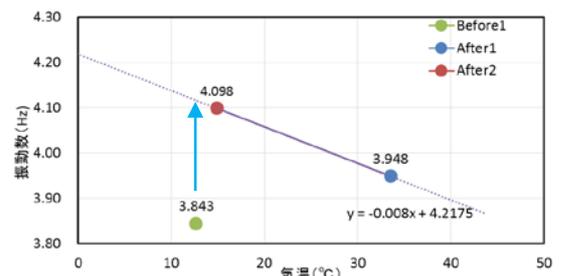


図4 ピーク1の振動数と気温の関係

表4 松島橋の主桁1本当たりの断面諸量

時期	床版 断面(mm)	合成前 $I_s(\text{cm}^4)$	合成後 $I_v(\text{cm}^4)$
劣化状態	2300×160	142940	489695
工事後	2300×180	142940	512014