

振動による橋梁添架管路のボルト外れ検知の実現に向けた実設備計測

NTT アクセスサービスシステム研究所 正会員 ○小林 大樹, 池口 雄大
 NTT アクセスサービスシステム研究所 非会員 風戸(齋藤) 千紘, 中川 雅史, 荒武 淳

1. 背景

通信/電力/ガス等のインフラ設備は河川横断区間にて道路橋の上部構造等に管を設置する橋梁添架と呼ばれる形態が良く採用される。橋梁添架設備は道路橋と同様に占用物件として、適切な維持管理を行う必要がある。NTTにおいては全国に約4万橋の橋梁添架設備を有しており、維持管理の品質を向上させつつも、そのコストを低減するような技術の導入が課題である。アプローチのひとつに振動モニタリングによる劣化検知が考えられる。道路橋においては様々な研究例¹⁾が存在するものの、付帯設備である橋梁添架設備においては研究例が少ない。通信の橋梁添架設備の検証例²⁾が存在するものの、室内モデル設備における検証例であり、実設備での研究例はない。そこで、本研究では実設備を対象に、ボルト緩みを振動により検知することが可能か測定結果を基に検証をした。

2. 検証方法

2.1. 測定対象

対象設備は日本国内の道路橋に添架されている設備とした(図1, 図2)。道路橋の主桁はコンクリート製、橋長は16 mであり、主桁の側面にNTTの添架管路が設置されていた。添架管路を敷設するための添架金物が主桁の側面に取り付けられ、その上に硬質ビニル製の添架管路2×3=6本が敷設されていた。6本の添架管路はまとめてUボルトで束ねられ、添架金物に締結されていた。



図1 計測した橋梁添架設備(全体)



図2 計測した橋梁添架設備(拡大)

加速度センサは図3の通りに設置した。車両通過時の加速度をモニタリングするために日中時間を通して連続測定とし、サンプリングレートは1.0 kHzとした。また、測定の途中で添架金物を束ねているUボルトを締結状態から緩み状態に変化させて、計測結果の差異を確認できるようにした。

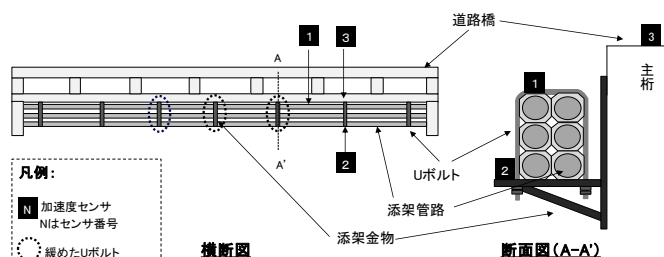


図3 検証の概要図

2.2. データ解析

車両通過に起因する振動で橋梁添架設備が振動し、その自由振動からUボルトが緩んだことを示す固有の挙動を見出すことを目指した。閾値(0.05 mm/s²)以上の加速度が発生した点から一定時間(4 s)までのデータを切り取りFFT(Fast Fourier Transform)変換をした。窓関数には式(1)に示す指数窓を用いた。

$$w(x) = e^{\frac{x \ln \beta}{N-1}} \quad (1)$$

ここで、 $w(x)$ は窓関数の重み、 N はデータ数、 β は窓関数係数である。解析対象の周波数は0~100 Hzの範囲とした。

キーワード 維持管理, 振動モニタリング, 橋梁添架, ボルト緩み, FFT

〒305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1 NTT アクセスサービスシステム研究所 TEL 029-868-6218

3. 測定結果および既往研究との比較

図4にUボルト緩み時のセンサ番号1のFFT解析結果を示す。今回の試験条件では車両通過による8回のデータを採取できた。車両通過データ毎に多少のばらつきが認められるものの、すべての車両通過データで15.0 Hzに最大ピークを確認できた。

次に、Uボルト締結時と緩み時におけるセンサ番号1のFFT解析結果を図5に示す。ここで、締結時は車両通過による9回のデータを、緩み時は8回のデータを周波数領域で加算平均して表している。最大ピーク値が現れた周波数を比較すると緩みは15.0 Hz、締結は15.5 Hzと0.5 Hzの差分が生じていた。既往の検証例²⁾におけるUボルトの緩みと締結時の差分である約1.5 Hzに比べれば、差分は小さくなったものの、最大のピークを示す周波数は変化することが確認された。

既往の検証例では10～20 Hzの周波数帯において1つのピークのみ確認されていたが、実設備による本検証では複数のピークを確認した。これは、既往の検証例は2支点1間隔の管路をモデル化しているのに対し、実設備では複数間隔に跨った形態となっていることより、近い周波数帯に複数のモードの固有振動が発生したと想定される。また、モデル実験では考慮していない車両振動、道路橋、橋梁添架設備の複雑さも起因している可能性がある。

4. Uボルト緩みの検知に関する考察

既往の検証例で提案されている緩み、締結それぞれのピーク値を示す周波数の差分を確認する方法は、実橋梁においてはその量が小さいので、実用は難しい可能性がある。そこで、他の観点でボルトの緩みを検知する手法を考察する。

10～20 Hzの周波数帯では締結に比べ緩みの方が急峻なピークを示している。加えて、80 Hz後半の周波数帯においては締結時のみスペクトル形状の変化が認められた。これらの原因は更なる分析が必要であるものの、管路を固定しているUボルトは管路の振動における境界条件であるため、管路の固有振動数に変化が生じることは合理性があると考えられる。

5. まとめ

実設備の橋梁添架管路の振動計測結果より、Uボルトの緩みを検知可能か検証した。測定の結果、最大ピークを示す周波数の差分の他、低周波数帯(10～20 Hz)のピークの急峻さや高周波帯(80 Hz 後半)のピーク有無にUボルトの締結と緩みの差が生じていた。

参考文献

- 1) Malekjafarian, A., McGetrick, P. J., & O'Brien, E. J., A review of indirect bridge monitoring using passing vehicles : Shock and Vibration, Vol. 2015, 2015
- 2) 池口雄大, 田代善彦: 固有振動数を用いた橋梁通信設備の劣化診断技術に関する検証, 平成30年度土木学会全国大会, 2018.

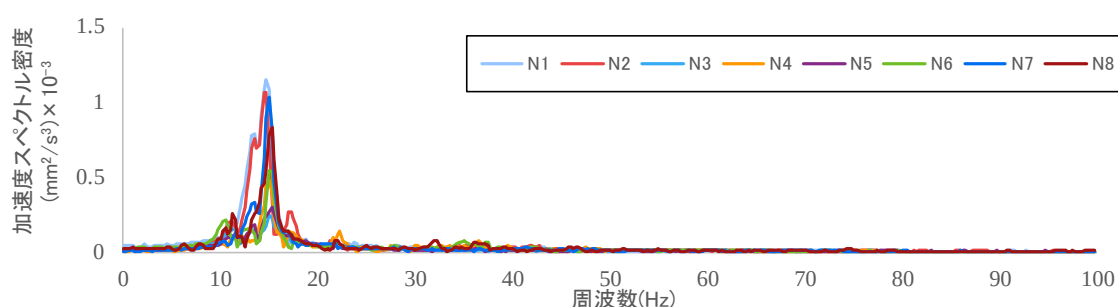


図4 Uボルト緩み時におけるセンサ番号1の計測結果

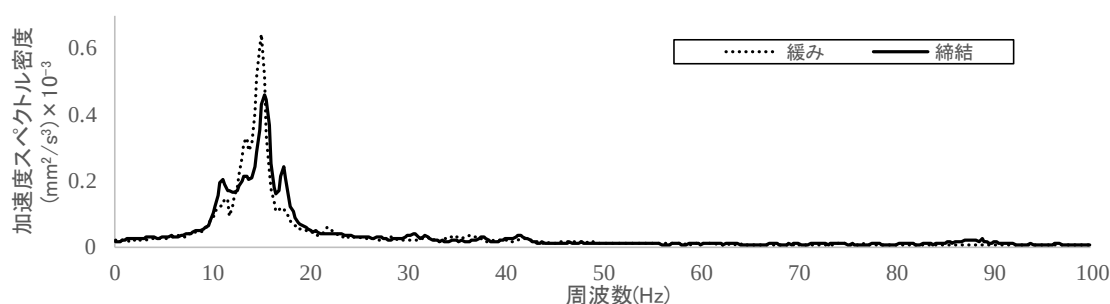


図5 Uボルト緩み、締結時のセンサ番号1の計測結果(加算平均化)