

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

NTT アクセスサービスシステム研究所 正会員 ○池口 雄大 田代 善彦

1. はじめに

日本電信電話株式会社（NTT）はおよそ4万橋の橋梁に通信管路を敷設している（橋梁通信設備）。橋梁通信設備の点検は、足場や梯子を用いた危険作業を伴う。そこで、通信管路内に敷設された光ケーブルを振動センサとして用いて、遠隔から劣化検知する手法の研究を行っている。

本稿では、橋梁通信設備の劣化の一つであるボルトの劣化に着目し、橋梁通信設備を模擬した実験設備でボルト締結状態を振動特性から検知可能か検証した。

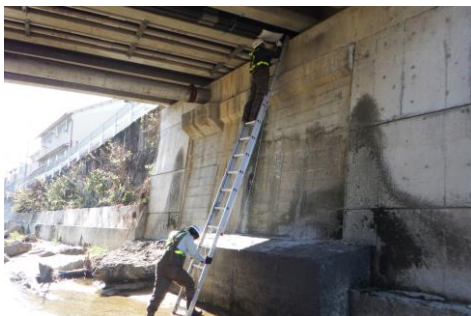


図1. 現在の橋梁点検の様子

2. 検証方法

今回は、光ケーブルを用いる前段の基礎検証と位置付けし、加速度センサを用いた検証を行った。

2-1. 実験設備

図2のように橋梁通信設備を模擬した設備を作成した。ステンレス製管路支持台に硬質塩化ビニル管（V管）を1条設置し支持間隔2500mmで両端をM10サイズのU字ボルトで固定した。管路の中央に電気式加速度センサを設置し、管路に鉛直下向きにハンマーによる打撃振動を加え、3回計測した。計測周波数は1kHz、計測時間は5秒とした。

2-2. 検証パターン

ボルト締結状態は、デジタルトルクレンチを用いてトルク値を設定することによって、「はずれ」「ゆるみ」「固定」の計3パターンを再現した。作業員が

固定状態まで締め付けた際のトルク値10N・mを固定状態と設定した。ゆるみ状態は固定状態のトルク値から50%の5N・m、はずれ状態は0%の0N・mとした。

2-3. 解析方法

振動解析は橋梁本体等の構造物の劣化診断にも用いられている固有値解析に着目した。固有値解析は収録した振動データより、フーリエ変換にて固有振動数を算出する。加速度センサにて計測した3軸データから、管路に対して鉛直方向の振動データを用いて解析を行った。この時のパラメータはサンプリング数2,048、窓関数処理はハニング窓を用いた。

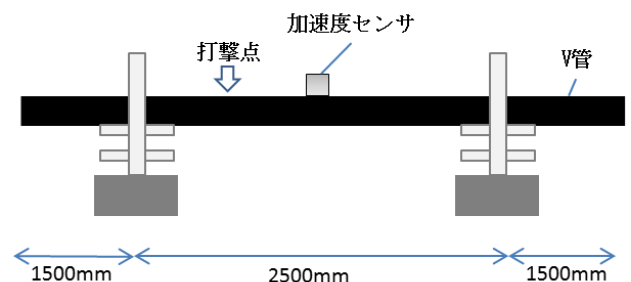


図2. 橋梁通信設備を模擬した実験設備

3. 結果と考察

3-1. 結果

各ボルト状態の固有値解析結果の最大ピークを表1に示す。また、表1におけるはずれ状態1回目の計測波形を図3に、周波数スペクトルを図4に示す。

今回の実験設備においては、20Hz付近で最大ピークが発生した。はずれ状態では、固定状態の固有振動数と比べ1.46Hzの減少が見られ、ボルト状態によって振動特性が表れる結果となった。しかし、ゆるみ状態では固有振動数に変化が生じず、固定状態と同じ21.48Hzという結果となった。また、表1の通り本検証結果において各試験パターンの3回繰り返し結果

キーワード：橋梁添架、ボルト点検、固有値解析、振動試験

連絡先 〒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 029-868-6212

が全く同一の固有振動数となっていることから、本検証の再現性は高いと考えられる。

表 1. 固有値解析結果

ボルト 状態	左右 [N・m]	1 回目	2 回目	3 回目
はずれ	0	0	20.02	20.02
ゆるみ	5	5	21.48	21.48
固定	10	10	21.48	21.48

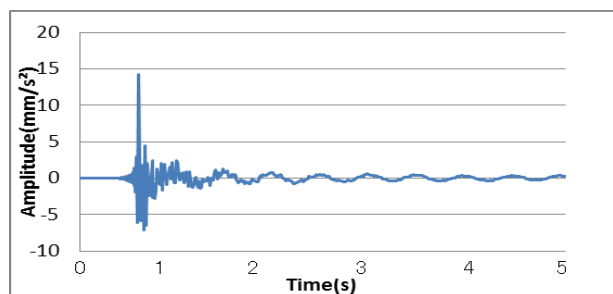


図 3. 計測波形

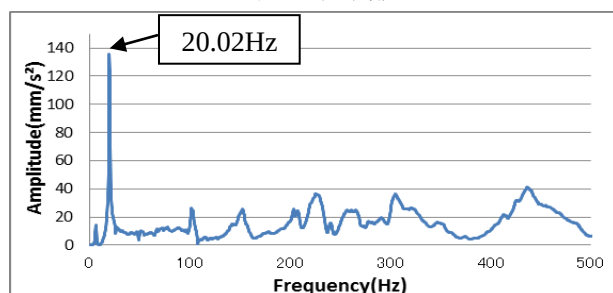


図 4. 周波数スペクトル

3-2. 考察

今回の実験設備と類似している、単純梁における固有振動数の理論式を以下に示す。

$$f = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{Elg}{Q}}$$

このとき、L:長さ、Q:自重、E:弾性係数、I:断面二次モーメント、g:重力加速度を表す。V管の各特性値は L:2,500mm、Q:2.62kg/m、E:2,450N/mm²、I:184.0cm⁴、gは規定値より 9,800mm/s²である。理論値を求めると、10.42Hz となり実測値と約 10Hz の乖離が生じた。

また、固有振動数の変化について、理論式より、固有振動数の変化には長さ L の影響が大きいことに着目した。実際に、はずれ状態では管端部が自重により沈み V 管が弧状になり、支持点が管路端末側に約 80mm 程度移動していることが確認できた(図 5)。このときの実測値は、固定状態より 1.46Hz 減少してい

る。支持間隔が計 160mm 増加した場合の理論値は、約 1.22Hz の減少となり、実測値とは 0.2Hz 程度異なる結果となったが、概ね理論値通りと考えられる。以上の結果から、支持点の移動による L の変化が本検証における固有振動数変化の主要因と考えられる。今回の検証に用いた V 管そのものにたわみが存在し、支持間隔の変化に影響を与えた可能性も考えられるため、異なる V 管での再検証も必要である。

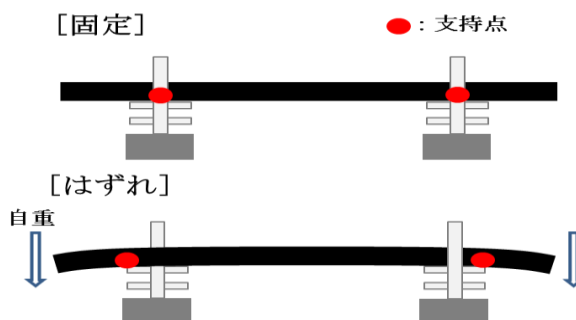


図 5. 支持点の変化

4. まとめ

本稿では、橋梁通信設備を想定した実験設備において管路固定用 U 字ボルトの締結状態による固有振動数の変化に着目して検証を実施した。結果として、ボルトの固定、はずれ状態では固有振動数に変化が生じボルト外れを振動特性から検知できたが、ゆるみ状態は変化が生じず、検知は不可能であった。

今後、解析パラメータの修正等を行い更なる解析を進め、ボルトゆるみ状態の検知を目指す。また、実際の橋梁通信設備は多段多条や継手といった様々な設備で構成されており、今回の模擬設備に比べより複雑な構造物となっている。今後様々な設備構成を模擬し検証を進めていくことで橋梁通信設備の振動特性を把握し、光ファイバーを用いたモニタリング劣化診断技術の確立を目指す。

5. 参考文献

- 1) 東日製作所, 2. ねじ締付け, トルクハンドブック Vol. 8
- 2) 橋梁振動実験に基づく斜橋の固有振動数の同定と部材の損傷が振動特性に及ぼす影響に関する基礎的研究, 構造工学論文集 Vol. 60A(2014 年 3 月), P. 513-521