

固有振動数を用いた橋梁の健全性試験方法

日東建設(株)	正会員	○中野	泰宏
日東建設(株)	正会員	久保	元樹
日東建設(株)	正会員	久保	元
日東建設(株)	正会員	金田	重夫

1. はじめに

殆どの構造物は、その質量と構造的な剛性によって、固有の振動数を持っていると考えることができる。このような構造物において、その固有振動数が経年変化するとすれば、質量の変化よりも、何らかの理由によってその構造的な剛性が低下したと判断することが可能である。つまり、設置条件に経時的変化の少ない構造物では、固有振動数の経年変化をモニターすることによって、構造物の健全性の経年変化を知ることができると考えられる。本論文では、比較的単純な構造の橋梁を対象とし、固有振動数の簡単な測定を行い、健全性判断への適用性検討結果などについて報告する。

2. 測定原理

橋梁は、橋梁の質量(死荷重)及び構造剛性によって簡単な単弦振動系となっている。単純桁の場合の固有振動数は式(1)によって求められ、また単純桁の場合、等分布荷重(橋梁の自重)が作用すると考えると死荷重による撓み量 δ は、式(2)で与えられる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{G}{\delta}} \quad (1) \quad \delta = \frac{5}{384} \frac{WL^3}{EI} \quad (2)$$

なお、 G は重力の加速度、 W は橋梁の重量、 L は梁の長さである。式(2)において、橋梁の重量、径間長が経年変化することはなく、固有振動数が変化するとすれば、 EI の値である。 E は縦弾性係数であり、これは材料固有の値である。コンクリート橋では、コンクリートの劣化(強度低下、ひび割れの進行)によってコンクリートの弾性係数が低下する可能性も考えられる。 I は、断面2次モーメントであり、鋼橋では桁材の腐食による断面減少により断面2次モーメントが低下する可能性がある。構造全体としてみた場合、コンクリート橋ではクラックの発生やプレストレスが弱くなるなどによってたわみ量 δ が大きくなり、鋼橋ではリベットあるいはボルトの緩みなどによりたわみ量 δ の増加が考えられる。このように、種々の要因により曲げ剛さ EI の低下が考えられ、結果的に固有振動数が低下する。

3. 測定方法

高感度振動センサーを設計上最もたわみ量が大きくなる位置近傍に設置し、通過車両による振動を測定する。1次モードの固有振動数のみの測定であれば、測定点の厳密な設定は必要ではない。なお振動測定は、車両が橋梁上を走行している状態では実施しない。これは、車両による交通振動周波数が混入し、橋梁のみの固有振動数測定が困難となるからである。測定は、車両が橋梁を通過した直後に開始し、橋梁振動の周波数と減衰率を測定する。交通荷重が期待できない場合には、人がジャンプして動荷重を作用させることでも良い。測定点は、径間中央及び1/4の2点である。

4. 測定解析事例

4.1 固有振動数

測定波形のうち、橋梁が自由振動状態となった時点からの波形を切り出し、パワースペクトルを求める。測定波形を図1、パワースペクトルを図2に示す。減衰係数算出図は、示していないが、固有振動数4.35Hz、減衰率0.126となっている。

キーワード 構造物, 健全性, 固有振動数, 橋梁

連絡先 〒003-0833 北海道札幌市白石区北郷3条4丁目9-8 日東建設(株) TEL:011-874-6200

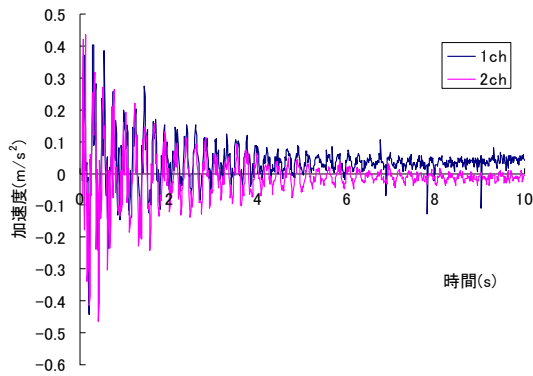


図1 測定波形

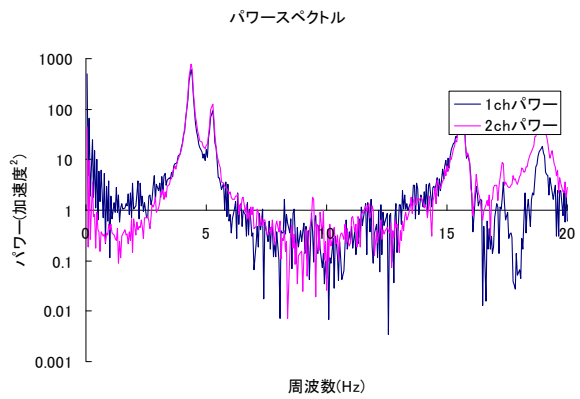


図2 パワースペクトル

4.2 減衰率補正

一般的に、内部減衰(ダッシュポット)を持つ振動系では、式(3)の減衰振動となり、実際に観測される周波数と固有振動数は異なる。減衰振動系での真の固有振動数は、式(4)であり、この時の減衰係数は、波形が上に凸となる任意の時刻(T_1, T_2)での振幅を A_1, A_2 とすると、式(5)によって推定される。

$$x = ae^{-\lambda t} \sin(\sqrt{\omega_0^2 - \lambda^2} t + \phi) \quad (3) \quad \omega_0^2 = \sqrt{\omega^2 + \lambda^2} \quad (4) \quad \lambda = \frac{\ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right)}{T_2 - T_1} \quad (5)$$

4.3 測定結果

図1に示す波形を得た橋梁は、径間25mの単純支持梁であり、設計データから推測した1次モードの基本周波数は、5.14Hzであり、これに対し測定された基本周波数は4.35Hzあるいは5.4Hzである。図3に位相スペクトルを示すが、信号成分の無い周波数で測定点1,2間の位相にバラツキが生じることを考慮すると、測定された橋梁の固有振動数は、5Hz、又は15Hz及び19Hz前後にあると推定される。この測定方法によって、高次モードの共振周波数も測定されているものと考えられる。固有振動数か否かの確定では、図3の位相スペクトル、図4のパワー伝送比を使用する。

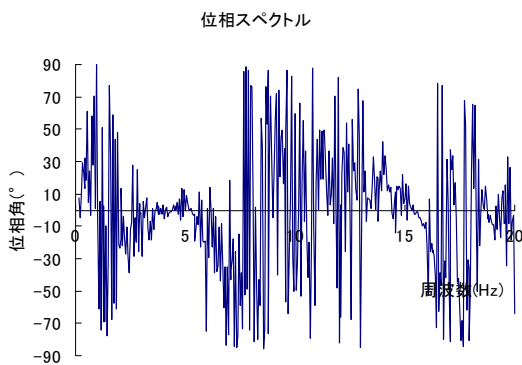


図3 位相スペクトル

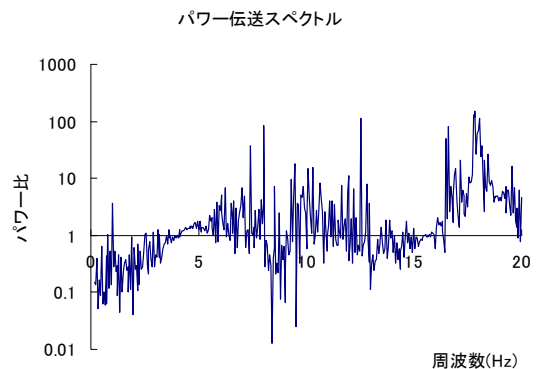


図4 パワー伝送比

5. まとめ

本文では、紙幅の関係から1つの橋梁に関するデータのみ呈示したが、同様の測定手法を複数の橋梁に適用した結果、橋梁の固有振動数の測定がいずれの橋梁でも可能であった。