

誘導路橋梁の振動特性に関する解析的評価

清水建設(株)

正会員

○稲田 裕

成田国際空港(株)

正会員 金子雅廣・尾関将克・出山裕樹

1. はじめに

本報では前報¹⁾に引き続き、誘導路橋梁の航空機の通過時の加速度計測データについて、固有振動数やモード形状などの周波数特性に関する解析的な評価を行った結果を示す。これまでも著者らは、振動特性の季節変動特性に関する検討等を進めてきた²⁾。その結果、固有振動数の温度との関係等が明らかになってきたが、ばらつきは大きく、詳細な応答性状の把握が求められている。計測データを用いて性能変化や損傷の発生を検出し、維持管理に活用するためには、計測から得られる限られた情報を時間／空間的に補間し、現象を解明するための解析手法との連携が重要となる。そこで、ここでは構造解析手法を用いた振動評価モデルを構築し、計測結果との比較を行うことにより、振動特性に着目した長期的な性能変化の監視の可能性に関する基礎的な検討を行う。

2. 上部工の振動特性と構造解析モデル

加速度計測の位置、計測条件は前報に示したが、2015年4月～16年10月に8日行った振動計測について、径間中央の計測位置(a2)の加速度から1次の固有振動数を求め、気温との関係を表した結果を図1に示す。気温の増加に伴い固有振動数は減少し、図中の実線で示す回帰式が得られた。ただし、図中の相関係数や破線で示す残差標準偏差の幅から分かるように、推定振動数のばらつきは小さくない。多くのデータは回帰線周りに集中しているが、標準誤差から大きく外れたデータの排除や原因の究明が課題となる。

ばらつきの発生要因を把握、低減し、温度と固有振動数

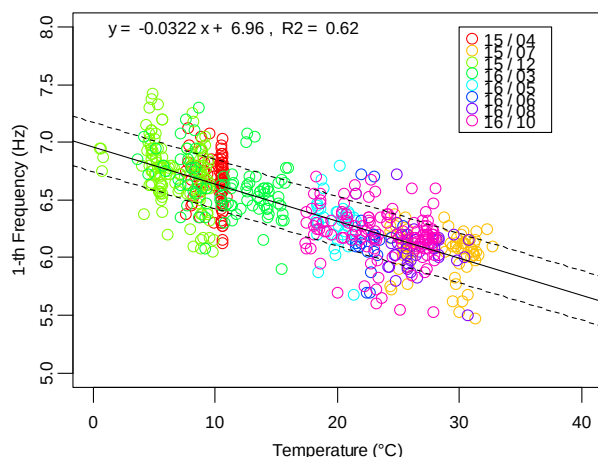


図1 固有振動数と気温の関係

の関係を定式化できれば、そこからの外れにより変状の発生を検出するようなスクリーニングのための管理指標として有効である。そこで、簡易に振動特性や動的応答を評価できる手法として、簡単な梁モデルの構造解析による評価を行うこととした。図2に示すように、上部工を橋軸方向の梁とそれをつなぐ横梁からなるフレームモデルによりモデル化し、断面の重量と断面特性を与えた。

3. 橋梁の固有振動特性の検討

固有値解析により得られた橋軸方向の1, 2次の固有振動数とモード形状を図2に示す。橋軸方向の1, 2次の固有振動数は、各々図に示すように6.92Hzと10.09Hzである。図1の計測結果と比較すると、1次モードの固有振動数は良く一致している。また2次モードについても、解析により得られた固有振動数は計測結果と良く一致している。ただし、1, 2次ともに、解析結果のほうやや大きい傾向も見られる。なお、ここでは省略するが、計測データから得られたモード形状も、図3の解析結果と一致していた。

4次以上の高次モードは、計測結果ではピークが重複し、判定が困難であった。固有値解析により高振動数領域では

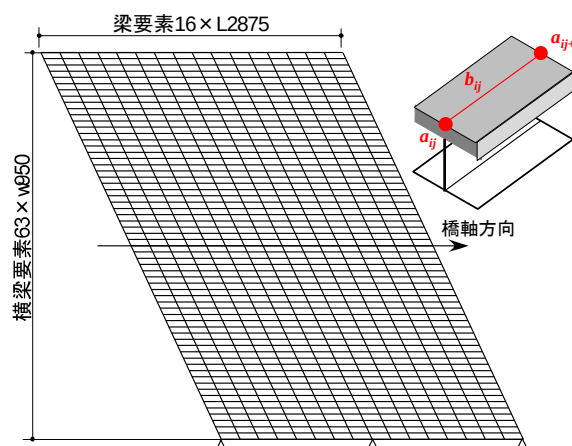


図2 解析モデル

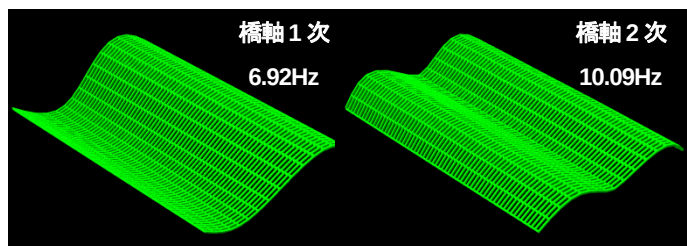


図3 主なモード形状

キーワード 合成床版、構造モニタリング、振動計測、モード解析、構造解析

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設(株)技術研究所 Tel 03-3820-8315

複数のねじれモードが近接していることが分かった。斜角の大きい橋梁ではねじれ振動の影響が大きいことはこれまでも指摘されているが³⁾、ねじれや橋軸直行方向の振動による異なるモードの連成の振動特性への影響は大きい。

4. 振動特性への温度、機体重量の影響評価

道路橋と比べて上部工に対する機体重量の割合が大きいこと、通過する機体の重量の固有振動数への影響が大きいことも考えられる。そこで、幾つかの実際の航空機の機種を例として選定し、前脚、主脚の配置と脚重量を航空機の資料より求めた。そして、図2の構造モデルの各脚位置に当たる節点に、相当する脚重量の質点を付加した状態で固有値解析を行った。

得られた結果の例として、小型機 (Airbus A320) と大型機 (Bowing B777) の荷重条件における2次の固有振動数とモード形状を図4に、機体重量に伴う1, 2次の固有振動数の変化を図5に示す。各図の赤丸が荷重を載荷した脚位置に当たる。両図から機体荷重の増大に伴い、固有振動数は低下していることが分かる。その結果、得られた振動数の値は、計測値により近づいている。1次モードの荷重に対する周波数変化の傾きは、約 $5 \times 10^{-4} \text{ Hz/kN}$ である。さらにモ

ード形状に見られるように、機体の重量影響で橋軸直角方向の振動も連成した複雑なモード形状となっている。

一方、計測された1次の固有振動数のデータと機体荷重との関係は図6のように表され、両変数の明瞭な関係は見られない。図中の実線は各日のデータの線形回帰の結果を示すが、図5と同様の負の傾きの結果が多いが、その傾きは小さい。固有振動数を目的変数、気温と航空機荷重を説明変数として線形重回帰を行うと、両変数の回帰係数は各々 $-3.2 \times 10^{-2} \text{ Hz/}^{\circ}\text{C}$ と $-2.2 \times 10^{-5} \text{ Hz/kN}$ となった。気温については図1の結果と概ね等しいが、荷重に対する傾きは解析結果と比較すると非常に小さく、現状の解析では実際に計測された温度と振動数の相関を表せていない。

振動特性には機体荷重の橋梁の重量に対する比が影響すると思われるが、解析ではRC床版と鋼桁のみ考慮したため、実構造物よりも上部工の重量が小さく、機体荷重の変化の影響を過大に評価した可能性もある。また、計測データのばらつきの要因については、機体の走行位置や速度も考えられる。このような簡易な構造解析によって載荷条件を変えた種々の評価を行うことができれば、実構造物の振動特性や変状の把握が可能となると考えられる。

5. おわりに

本報では、誘導路橋梁の振動特性について、梁モデルによる簡易な構造解析を行い、固有振動数、モード形状などは、精度良く推定されることを示した。解析モデルについてはさらに修正が必要であるが、機体重量や走行位置の影響を解析により評価し、計測結果に反映することにより、固有振動数の温度影響や変動特性を明らかにすることができる。

参考文献

- 1) 濱ら: 誘導路橋梁の加速度計測データを用いたたわみ変動特性の検討, 土木学会 69 回年講, (投稿中)。
- 2) 稲田ら: 誘導路橋梁の振動特性の季節変動に関する検討, 土木学会 69 回年講, VI-729, 2016。
- 3) 渡邊ら: 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, pp.513-521, 2014。

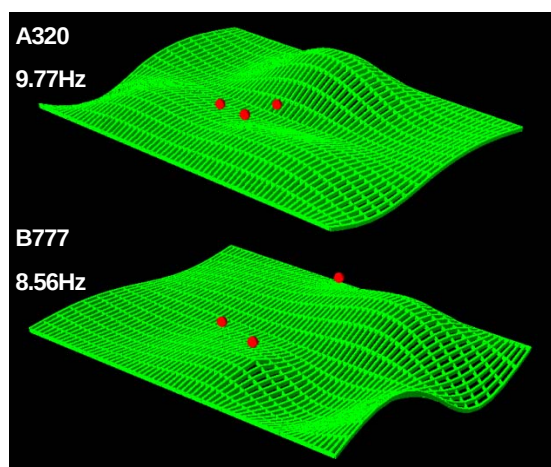


図4 機体重量を考慮したモード形状

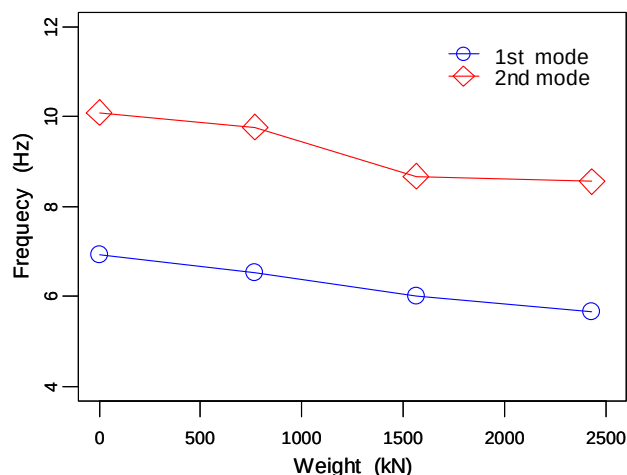


図5 機体重量と固有振動数の関係

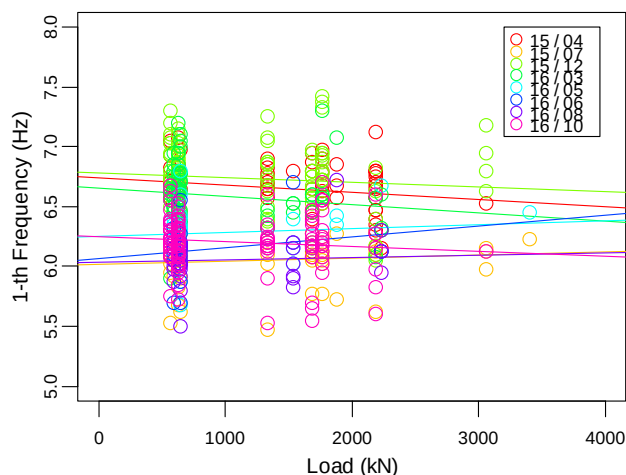


図6 荷重と1次の固有振動数の関係