

VI-156

速度計を用いた常時微動測定と振動モード図の表示

首都高速道路公団 正員 小田桐 直幸、荻原 充信
川崎重工業株式会社 正員 ○森本 千秋、大垣 賀津雄
テクニカルリンク(株) 大滝 政博

1. まえがき

長大橋の動的特性を把握するために、完成時の実橋に対して振動実験を実施し、設計段階で仮定した種々の動的諸元値を確認することは、当該橋梁の安全性を確認すると同時に今後の重要な設計資料になると考えられる。そのため、起振機やクレーンを用いた大がかりな振動実験が、近年数多く実施されているのが現状であるが、これらの実験は、費用面、工程面で問題になる場合があると考えられる。

そこで、起振機等の大がかりな装置を設置するまでもなく、準備を含めて1～2日程度の現地計測で、実橋の固有振動数と振動モードを比較的簡便に得ることができる一手法として、速度計を用いた常時微動測定がある。既設橋梁に対して本計測手法を用いた実績としては、かつしかハープ橋¹⁾とレインボーブリッジ²⁾があり、両者とも良好な結果が得られた。

本稿は、その測定方法と特徴、解析方法およびレインボーブリッジの計測結果を紹介するものである。

2. 常時微動測定方法と特徴

開通直前のレインボーブリッジに対して、常時微動測定を実施したが、その計測機器配置を図-1に示す。補剛桁上弦材格点の港内側、港外側にそれぞれ25点(上下方向)と、主塔塔頂に4点(橋軸水平方向)の常時微動を12台の

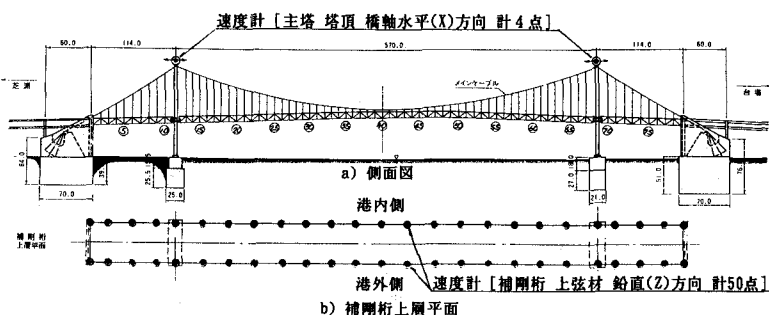


図-1 レインボーブリッジ常時微動計測点

サーボ型速度計を用いて、盛替え測定を行った。ただし、主塔位置は基準点として、毎回測定した。

常時微動によるモード解析は、加振装置を用いた強制加振実験に比べ現場工程の短縮や計測機器・実験装置の簡素化により経済性があるといえる。さらに、加振実験では不可能な高次振動モードまで同時に測定することができる。また、対象とする構造物の固有振動数を推定する上で、周波数領域において加速度計よりも速度計の方がフラットな特性が得られ、長周期成分を精度よく測定することができる。

3. 解析主旨と方法

一般に、設計段階では、構造物を質量とバネに置換えたモデル化を行い、(1)式の固有方程式を解いて固有振動数、振動モードを求めている。

$$(-\omega^2[M] + [K])\{x\} = \{0\} \dots\dots\dots(1)$$

また、減衰項を加えた次式の形で地震応答解析から耐震性能の評価をしている。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = F(t) \dots\dots\dots(2)$$

しかしながら、モデル化において、種々の仮定や簡素化により、現実状態との間に誤差が生じる。そこで、実測値との比較のため、実測した振動速度データを用いて、まず、港内側と港外側の速度波形の和差演算を行い、曲げ振動とねじれ振動の速度波形を求める。次に、基準点(主塔位置)と各測点間の速度波形の周波数応答関数を計算し、各周波数($f_k = K\Delta f$)ごとの振幅比と位相差を求める。この時できるかぎり多くの加算平均を行う。図-2に解析手順フローを示す。また、周波数応答関数の一般式を以下に示す。

$$H(f_k) = G_{xy}(f_k) / G_{xx}(f_k) \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 $H(f)$: 周波数応答関数

G_{xy} : 入力 $x(t)$ と出力 $y(t)$ のクロス・スペクトル

G_{xx} : 入力 $x(t)$ のパワー・スペクトル

(3)式の周波数応答関数 $H(f_k)$ は、実数部 C_k と虚数部 Q_k から構成される。

$$H(f_k) = H_k = C_k - j Q_k \quad ; k=0, 1, \dots, N-1 \dots\dots(4)$$

この(4)式の絶対値 $|H_k|$ が各周波数(Δf)ごとの振幅比を表し、

$$|H_k| = \sqrt{C_k^2 + Q_k^2} \dots\dots\dots(5)$$

また、位相角 ϕ_k が基準点と各測点間の位相差を表す。

$$\phi_k = \arctan[-Q_k/C_k] \dots\dots\dots(6)$$

この各共振点における(3)(4)式から、同時刻の振幅比をプロットすることにより、実際のモード図を得ることができる。

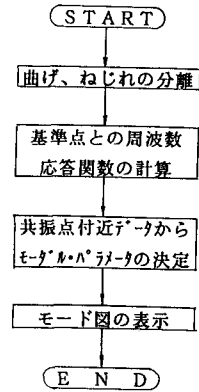


図-2 解析手順フロー

4. 出力結果とモーダルパラメータ

図-3にスペクトル解析結果を示す。また、図-4にモード図の出力結果を、固有値計算結果と合わせて示す。このように各共振点付近の情報(周波数応答関数)からモーダルパラメータとしての固有振動数と振動モードが得られる。

さらに、モーダル円とカーブフィッティングを用いて対数減衰率を推定することができる。

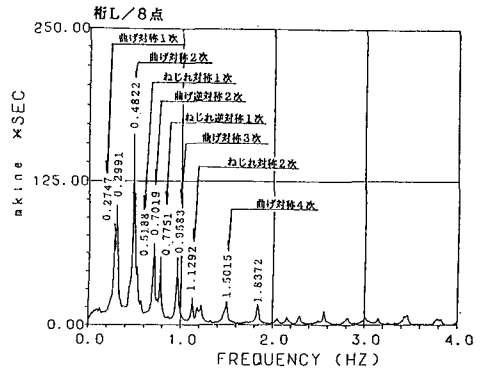


図-3 スペクトル解析結果

5. あとがき

ここでは実際の常時微動データから、固有振動数と振動モード図を出力することを主体に述べてきたが、前述のモーダル円とカーブフィッティング等の手法により得られる対数減衰率は、ノイズ等の影響が無視できず推定の域を脱していないこと、また対象としている地震、風の大振幅での対数減衰率は得られないことに評価上の問題点がある。

しかしながら、今後の研究成果により、上記問題点が工学的評価が付けられるものとなれば、土木構造物の分野において、現状で重要視されていない常時微動測定が、有効的な手段として位置づけられるものと考えられる。

[参考文献]

- 1) 佐野、森本、大垣: かつしかハープ橋の実橋振動実験、川崎重工技報, 100号, 1988. 8,
- 2) 和泉、小田桐、荻原、八部、落合、大垣、渡辺: ダブルデッキ2ヒンジ吊橋の振動実験、構造工学論文集, Vol. 40A, 1994. 3

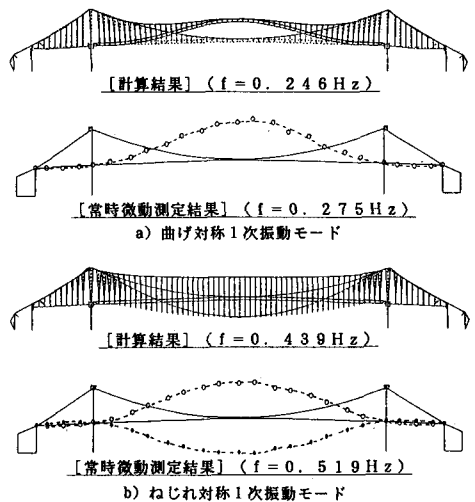


図-4 モード出力結果