

部分模型実験による連続桁橋の対風応答推定法に関する研究

九州工業大学大学院 学生員 ○芝尾尚晃

九州工業大学大学院 フェロー 久保喜延 正会員 木村吉郎 加藤九州男

1. はじめに

現在、多径間連続橋の空力弾性振動について橋梁全体系での対風振動応答を把握するためには、全橋三次元弾性模型を用いた風洞実験を行うのが一般的である。しかし、風洞施設は測定空間が限られているため実橋梁規模から大幅に縮小しなければならない。このことによる実験精度の低下が懸念される。一方、橋桁の一部を対象として模型化する二次元剛体模型実験は、模型の縮小を抑えられ、振動系を単純化することで高い実験精度を有している。しかし、得られた結果から対象橋梁全体系の空力弾性振動を把握するのは現在のところ困難である。そこで、本研究では、二次元剛体模型による自由振動実験から二次元模型の時刻歴対風振動応答値を再現する手法を確立し、さらに多径間連続橋を対象とした全体系の時刻歴対風振動応答値を推定する手法を確立することを目的としている。

2.1 自由度ねじれ振動実験の対風応答推定

ある吊橋桁断面の1自由度ねじれ振動実験から得た図2、図3に示す振幅-空力減衰率、振幅-振動数の関係を表1、表2のように近似式化した。このように振幅を複数の範囲に分割しそれぞれの範囲毎に近似式を求めることで、振幅-空力減衰率、振幅-振動数の関係をより正確に表すこととした。これにより、各時刻における振幅に対する空気力を得られるようになる。これらを用いて応答推定を行った。ここでは、フラッター発現後の風速に対して参考文献の方法で応答推定したものを示す。ねじれ振動応答の時刻歴波形について実験値と推定値とを比較したものが図1である。推定値は実験値とほぼ一致しており、実際の振動現象を再現できている。空力減衰率と振動数について実験値・実験値を近似化し応答推定に用いた値・時刻歴応答解析により推定した波形から求めた値とを比較した図を、 $V_r=4.84$ について図2、図3に示す。図2は横軸に振幅(Φ)、縦軸に空力減衰率 δa 、図3は横軸に振幅(Φ)、縦軸に振動数(Hz)としている。図に示すとおり、入力した空気力である近似値と推定値は空力減衰率と振動数ともにほぼ一致している。

各風速での応答推定によって得られた振幅から、応答図

表1 振幅-空力減衰率関係の近似式

振幅の範囲	近似式
$\Phi < 3.3$	$\delta a = -0.051693 + 0.0047622\Phi + 0.00091462\Phi^2 + 0.00016875\Phi^3$
$3.3 \leq \Phi < 5.675$	$\delta a = -0.057007 + 0.0089104\Phi + 0.0014003\Phi^2 - 0.00020977\Phi^3$
$\Phi \geq 5.675$	$\delta a = -0.015322 + 0.002756\Phi$

表2 振幅-振動数関係の近似式

振幅の範囲	近似式
$\Phi < 1.95$	$f = 4.4143 - 0.00039691\Phi$
$1.95 \leq \Phi < 6.5$	$f = 4.2979 + 0.19546\Phi - 0.11659\Phi^2 + 0.031409\Phi^3 - 0.0043809\Phi^4 + 0.00030622\Phi^5 - 0.0000084449\Phi^6$
$\Phi \geq 6.5$	$f = 4.4344 - 0.0059976\Phi$

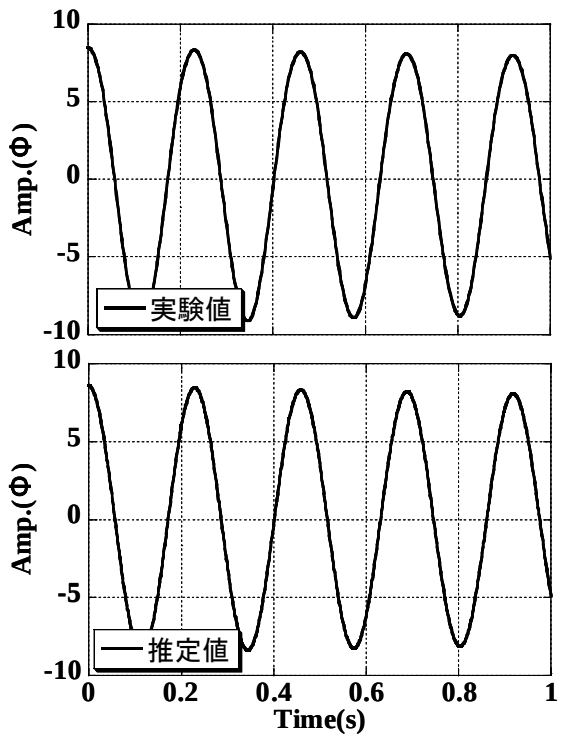


図1 ねじれ振動の応答波形

キーワード 時刻歴応答推定

連絡先 九州工業大学 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1 Tel (093)884-3109

を作成し、実験から得た応答図と推定した応答図を比較したものを図4に、横軸を換算風速($V_r=V/fB$)、縦軸を倍振幅(2Φ)として示す。図に示すように、フラッター発現風速は実験値と推定値ともに一致した。また応答値は、フラッター発現風速以外ではほぼ同じ値となっている。このことから、本推定法は1自由度ねじれ振動応答を再現することができたと考えられる。

3. 二次元剛体模型実験による三次元弾性模型の対風応答推定

二次元剛体模型による自由振動実験の結果から三次元弾性模型の各風速での対風応答値を推定する。

3-1 三次元弾性模型の時刻歴応答推定法

二次元剛体模型実験の結果を三次元模型に適用する際、空気力の無次元化が重要となる。そこで、二次元剛体模型実験により得られた空気力から空気力係数を求める。

$$F_2(\bar{y}, v) = \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 A_2 C_L(\bar{y}, v) \text{ より } C_L(\bar{y}, v) = \frac{2F_2(\bar{y}, v)}{\rho_2 v_2^2 A_2} \quad (1)$$

これを用いると、三次元模型の各要素に作用する空気力は、

$$F_3(x, \bar{y}, v) = \frac{1}{2} \rho_3 v_3^2 A_3 C_L(x, \bar{y}, v) = \frac{\rho_3 v_3^2 A_3}{\rho_2 v_2^2 A_2} F_2(\bar{y}, v) \quad (2)$$

と表される。ここで、 ρ ：空気密度(kg/m^3)、 v ：風速(m/s)、 A ：投影面積、 $\bar{y}$ ：無次元振幅、 x ：橋軸方向位置であり、添字の2,3はそれぞれ二次元模型と三次元模型の実験値を示す。この空気力を三次元模型の振動方程式に入れることで三次元弾性模型の時刻歴応答推定が可能になる。

3-2 対風応答推定結果

等断面4径間連続桁橋を対象として、各風速で推定した振動振幅値より応答図を作成し、実験結果と併せて図5に示す。渦励振域最大振幅の誤差は4.3%であり、各風速における振動振幅値は精度良く推定できたと考えられる。また、渦励振発現風速や渦励振域最大振幅発現時の風速に着目すると、多少の誤差が見られるが、最大振幅発現時の風速の誤差は5.3%であり、応答が現れる傾向はほぼ再現できたといえる。

4. まとめ

本研究により、二次元剛体部分模型実験から得られた結果の近似曲線を作成することで、三次元弾性模型における全体系での振動応答値を、提案している時刻歴応答推定法によってかなりの精度で推定することができる。

参考文献 久保, 芝尾他, 空力弾性振動の時刻歴応答シミュレーション法に関する研究, 土木学会全国大会第64回年次学術講演会

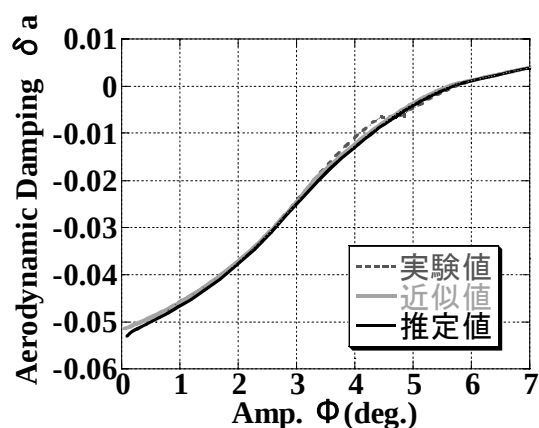


図2 Vr=4.84での振幅-空力減衰率図

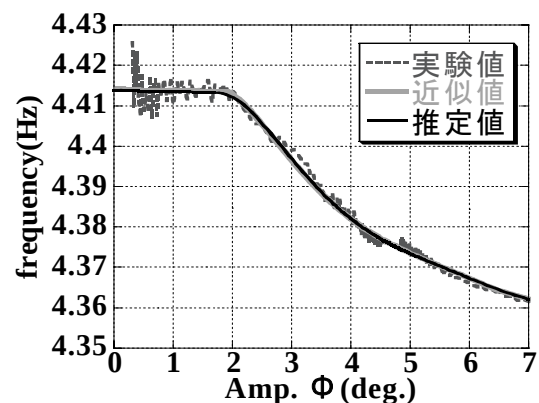


図3 Vr=4.84での振幅-振動数図

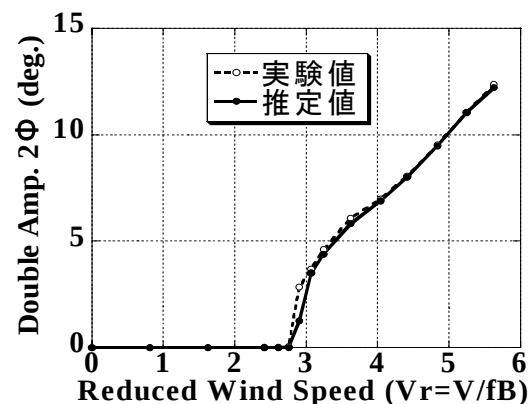


図4 1自由度ねじれ応答図

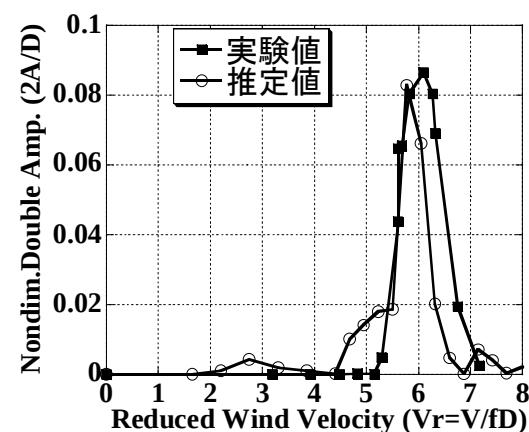


図5 三次元模型実験応答図