

橋梁の空力弾性応答推定法のための非定常空気力測定法に関する研究

横河ブリッジ株式会社 正会員 ○川東 龍則 (研究当時九工大大学院生)  
 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  
 山九株式会社 非会員 郭 威見 (研究当時九工大大学院生)

**1.はじめに** 近年橋梁の長大化に伴い、空力振動現象について議論する必要性が高まっている。このような背景により橋梁の耐風安定性の検討の重要性は増している。耐風特性の検討には橋梁断面に働く非定常空気力特性が必要となるが、非定常空気力の測定を安価で精度良くできていないのが現状である。そこで、本研究では測定時に検出される力が空気力のみとなるようにした新たな非定常空気力測定法について検討することを目的とする。まず、従来の強制振動法による非定常空気力測定法は、振動時に模型に作用する非定常空気力 (Fa)と模型の慣性力 (Fim)とを検出した後に何らかの方法でFimを差し引くが、FimはFaに比べて少なくとも数倍の大きな力であるためFaを精度良く取り出すことは難しい。そこで本研究では、**図1**に示すようなカウンターウェイトを用いて機械的にFimを点Aにおいて除去し、ゲージ部に空気力のみを検出するシステムを提案した。このシステムによれば、検出の際にFimの影響を受けないため高精度が期待されると考えられる。

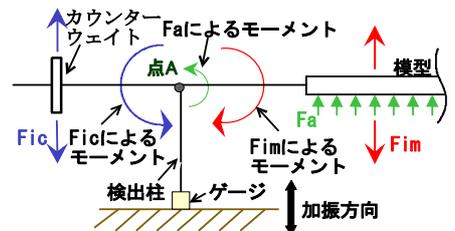


図1 測定法の原理

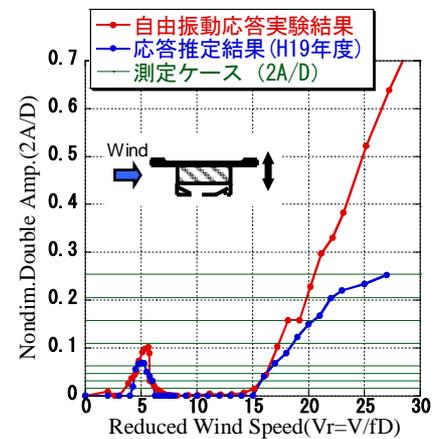


図2 応答推定図 (H19 年度)

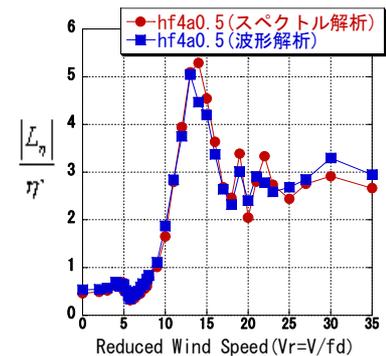


図3 波形解析結果

**2.橋梁模型における1自由度振動応答推定**

**(1)これまでの研究** 橋梁模型について測定を行い、得られた非定常空気力から1自由度振動応答推定を行うことで測定法の妥当性を検討した。1自由度振動応答推定図は、振動方程式中の減衰力項が0となる定常振動時における応答振幅を風速ごとに算出することで描いた。**図2**に1自由度振動応答推定図と1自由度振動応答実験結果の比較を示す。まず、換算風速 Vr=5, Vr=15 付近において渦励振およびギャロッピングの発現風速が、推定値と実験値で一致している。しかし、応答振幅については、特に測定ケースの振幅が大きいほど応答振幅の推定値と実験値の差が大きくなる傾向にある。この傾向から、推定値が実験値と一致しない理由として、模型の残留慣性力の影響が大きいと考え、全ケースで模型の慣性力キャンセルを行い、大振幅において測定ケースを増やした。

**(2)橋梁模型における1自由度振動応答推定に対する改善点**

**(i)実験方法における無風時の状態の違い** 残留慣性力の影響の他に、実験方法における無風時の状態の違いに着目した。応答推定には無風時で加振し、測定した構造減衰を用いている。つまり、無風時空気力が作用した状態での減衰となる。そして、測定した非定常空気力は無風時の空気力も測定している。よって、1自由度振動応答推定を行う際に無風時の空力減衰が加わっている減衰と、無風時で測定している非定常空気力を用いているため、無風時空気力の影響を二重に考慮していることになる。そこで、無風時空気力の影響を小さくするため、自由振動実験による低振幅の構造減衰を用いることとした。

**(ii)波形解析** さらに、データ解析の手法にも着目した。非定常空気力は、空気力によるひずみ波形から変位波形成分を抜き出すことで測定を行う。このとき、スペクトル解析を用いるとひずみ波形が

$$x(t) = \sum a_i \cos(\omega_i t) + \sum b_i \sin(\omega_i t)$$

$$Amp = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad phs = \tan^{-1} \left( \frac{a_i}{b_i} \right)$$

式1 フーリエ変換式

キーワード 非定常空気力, 構造減衰, 波形解析, 応答推定

連絡先 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学 TEL093-884-3109 FAX093-884-3100

ら抜き出す変位波形成分に多少のずれが生じてしまう可能性がある。そこで、詳細な検討を行うため波形解析を用いた。波形解析では式 1 を用い、振幅と位相差を算出した。橋梁模型における空気力の波形解析結果を図 3 に示す。高風速域ではスペクトル解析よりも波形解析が値のばらつきを抑えることが出来ている。

**(3)橋梁模型における 1 自由度振動応答推定結果** これまで述べてきた改善点を考慮した上で橋梁模型測定を行った。測定ケースは従来の測定ケースに大振幅を中心に 4 ケースを追加し、用いる構造減衰は自由振動応答実験における低振幅の値を用いた。また、データ解析には波形解析を用いた。図 4 に応答推定結果を示す。換算風速  $V_r=5, V_r=15$  付近における渦励振およびギャロッピングの発現風速は、推定値と実験値で一致している。また、応答振幅についてギャロッピング域では、実験値に近づいている。しかし、渦励振域においては、応答振幅が一致しない結果となった。このように渦励振域においては課題を残すものの、推定値が実験値と比較的一致していることから、本研究で提案する測定法には妥当性があると考えられる。

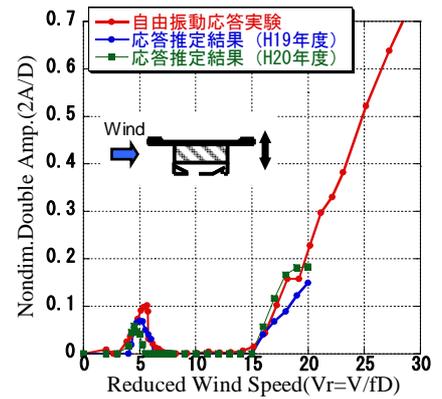


図 4 応答推定図 (H20 年度)

**3.ひし形平板模型を用いた 2 自由度振動応答推定**

図 5 にひし形平板模型における非定常空気力測定結果を、左にたわみ振動時揚力成分、右にねじれ振動時空力モーメント成分として示す。この測定された非定常空気力の妥当性の確認と、2 自由度振動応答推定方法の確立を目的として、参考文献で提案されている方法でひし形平板模型を用いた 2 自由度振動応答推定を行った。式 2 にたわみ振動時、ねじれ振動時の振動方程式を示す。この連立方程式を解くことにより、たわみ及びねじれにおける減衰あるいは発散振動の応答軌跡を風速ごとに算出し、2 自由度振動応答推定を行った。ひし形平板模型による 2 自由度振動応答推定図と 2 自由度振動応答実験結果の比較を左にたわみ振動、右にねじれ振動として図 6 に示す。ねじれ振動については発散振動の発現風速、応答振幅ともに実験値と推定値が一致している。しかし、たわみ振動については発散振動の発現風速は一致しているものの、応答振幅については一致していない。これは、ひし形平板模型が風速の変化に対して急激に応答振幅が発現する特性をもっており、応答推定が困難であるためではないかと考える。このようにたわみ振動の応答振幅には課題が残るものの、たわみ振動、ねじれ振動ともに発散振動の発現風速が実験値と推定値で一致し、ある程度の傾向をとらえられたため、本手法で測定した非定常空気力と、今回用いた 2 自由度振動応答推定法には妥当性があると考えられる。

$$m\ddot{y} + c_y\dot{y} + k_y y = L_y \sin(\omega_y t + \beta_{L_y}) + L_\theta \sin(\omega_\theta t + \beta_{L_\theta})$$

$$I\ddot{\theta} + c_\theta\dot{\theta} + k_\theta \theta = M_\theta \sin(\omega_\theta t + \beta_{M_\theta}) + M_y \sin(\omega_y t + \beta_{M_y})$$

式 2 2 自由度たわみ、ねじれ振動方程式

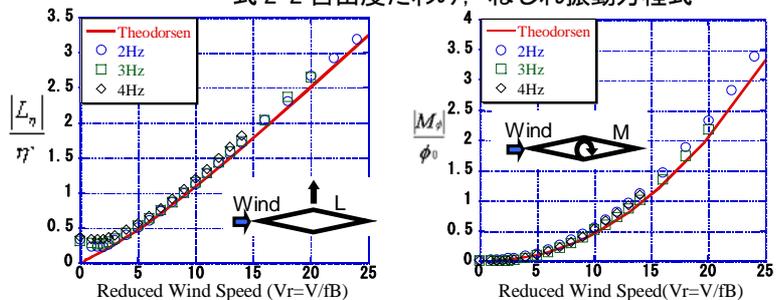


図 5 ひし形平板模型 非定常空気力測定結果

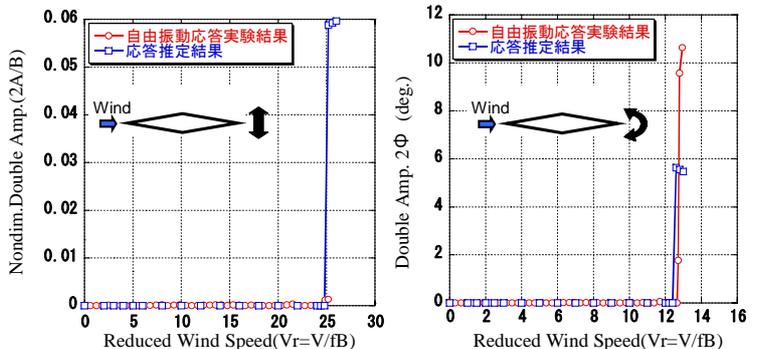


図 6 ひし形平板模型 2 自由度振動応答推定結果

**4.まとめと今後の課題** 橋梁模型とひし形平板模型を用いて測定した非定常空気力による振動応答推定結果と振動応答実験結果がある程度一致したため、本研究で提案する測定法および応答推定法には妥当性があると考えられる。今後の課題としては、より精度の高い測定を実現するため、カウンターウェイトによる模型の慣性力のキャンセル方法と空気力のモデル化について更なる検討を行う必要がある。

参考文献: 久保他、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。