

非定常空気力測定法と応答推定結果の検証に関する研究

九州工業大学大学院 学生員 ○川東 龍則

九州工業大学 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

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。

2. 高精度非定常空気力測定法の原理 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(F_a)と模型の慣性力(F_{im})とを検出した後に何らかの方法で F_{im} を差し引くが、 F_{im} は F_a に比べ非常に大きな力であるため F_a を精度良く取り出すことは難しい。そこで、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 F_{im} 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。従来とは異なり、検出の際に F_{im} の影響を受けないため高精度が期待される測定法と考えられる。

3. 橋梁模型における非定常空気力測定の実験結果 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一自由度応答推定を行うことで測定法の妥当性を検討した。一自由度応答推定図は、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に一自由度応答推定図と一自由度振動応答実験結果の比較結果を示す。まず、換算風速 $V_r=5$, $V_r=15$ 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。この傾向より、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のキャンセルを行い、大振幅において測定ケースを増やして測定を行うこととした。

4. 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。応答推定には自由振動法により求めた構造減衰を用いている。この構造減衰は無風時で加振し、測定しているため無風時空気力が作用した状態での減衰となる。一方、測定した非定常空気力にも無風時の空気力が含まれている。よって、一自由度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、無風時の空気力ま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、より低振幅の構造減衰を用いることとした。

5. 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か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、係数 a , b より

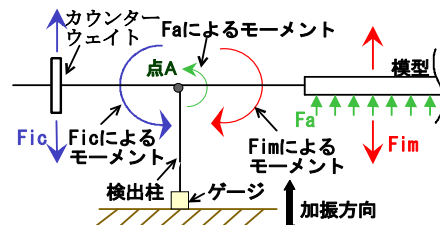


図1 測定法の原理

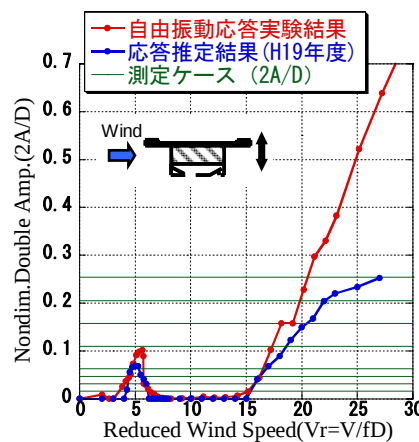


図2 応答推定図 (H19年度)

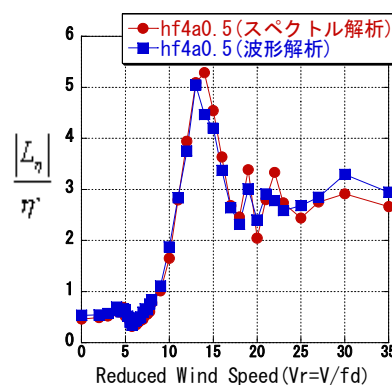


図3 波形解析結果

式 2 の振幅と位相差を算出した。橋梁模型における空気の波形解析結果を図 3 に示す。高風速域においてスペクトル解析よりも波形解析の方が値のばらつきを抑えることが出来ていることがわかる。

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

$$a_i = \int x(t) \cos(\omega_i t)$$

$$b_i = \int x(t) \sin(\omega_i t)$$

$$\sqrt{a_i^2 + b_i^2}$$

$$\tan^{-1} \varphi = \frac{a_i}{b_i}$$

式 1 フーリエ変換式

式 2 振幅と位相差

6. 橋梁模型実験結果

これまで述べてきた改善点を考慮した上で橋梁模型実験を行った。測定ケースは従来の測定ケースに 4 ケースを追加し、用いる構造減衰率としては最も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 $V_r=5$, $V_r=15$ 付近において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、推定値は実験値と比較的一致していることから、非定常空気力の測定法には妥当性があると考えられる。

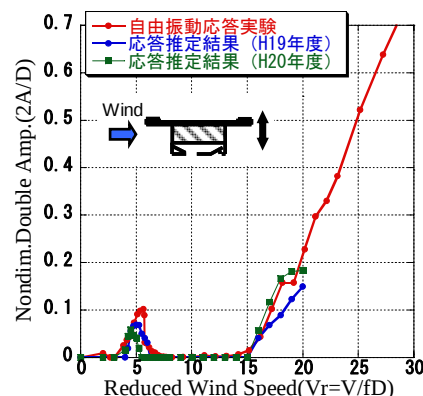


図 4 応答推定図 (H20 年度)

7-1. ひし形平板模型実験

既往の研究において、ひし形平板模型については、たわみ振動時、ねじれ振動時ともに揚力成分、空力モーメント成分の非定常空気力を測定している。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、右にたわみ振動時揚力成分、左にねじれ振動時空力モーメント成分として示す。このひし形平板模型を用いて測定した非定常空気力の妥当性の確認と、二自由度振動応答推定方法の確立を目的として、ひし形平板模型の二自由度振動応答推定を行うこととした。また、応答推定結果と比較するために、ひし形平板模型の二自由度振動応答実験を行った。図 6 に実験結果を左にたわみ振動、右にねじれ振動を示す。

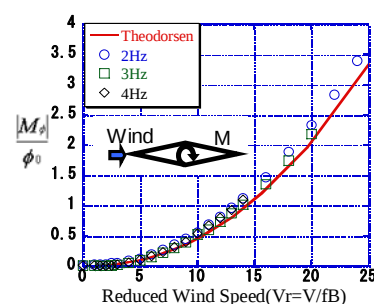
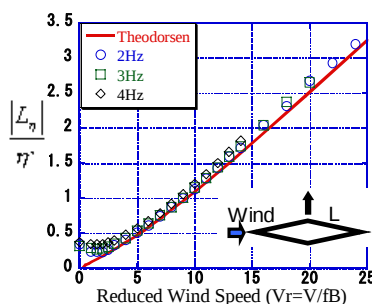


図 5 ひし形平板模型

非定常空気力測定結果

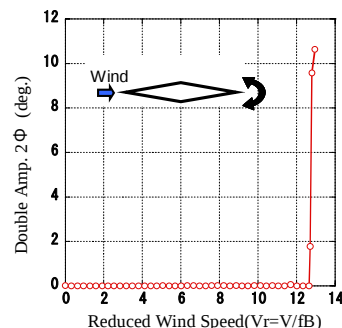
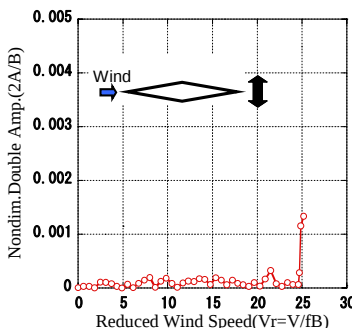


図 6 ひし形平板模型 二自由度振動応答実験結果

7-1. ひし形平板模型の二自由度応答推定

二自由度振動応答推定には、不規則外力を受ける構造物の応答計算を行う際に用いられる数値計算方法である Newmark β 法を用いる。式 3 にたわみ振動時、ねじれ振動時の振動方程式を示す。この 2 式を式 4 のように変形する。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、二自由度振動応答推定を行う。

$$\ddot{y} + (2\xi_y \omega_y - \frac{L_{\eta t}}{m \omega_y y_0}) \dot{y} + (\omega_y^2 - \frac{L_{\eta R}}{m y_0}) y = \frac{L_{\eta t} \dot{\theta}}{m \omega_y \theta_0} + \frac{L_{\eta R} \theta}{m \theta_0}$$

$$\ddot{\theta} + (2\xi_\theta \omega_\theta - \frac{M_{\eta t}}{I \omega_\theta \theta_0}) \dot{\theta} + (\omega_\theta^2 - \frac{M_{\eta R}}{I \theta_0}) \theta = \frac{M_{\eta t} \dot{y}}{I \omega_y y_0} + \frac{M_{\eta R} y}{I y_0}$$

式 3 二自由度たわみ、ねじれ振動方程式

8. まとめと今後の予定 本研究において上記の装置を用いて橋梁模型の非定常空気力を測定し、応答推定を行った。この際、模型慣性力のキャンセル方法、応答推定に用いる構造減衰、波形解析などの改善を加えることで、応答推定結果と一自由度振動応答実験結果はより近い値となった。よって、本測定装置及び測定法の妥当性が確認できたと考える。また、平板模型における二自由度応答推定を行い、二自由度振動応答実験と比較、考察することで平板模型における非定常空気力測定の妥当性確認、そして二自由度応答推定法を確立することを今後の予定としている。