

非定常空気力測定法と測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。現在、全橋模型を用いた風洞実験が最も信頼性が高い手法とされているが、風洞施設や費用の制約等のため全橋模型実験が実施できない場合がある。その場合、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し、その精度や問題点を明らかに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と考えられる。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. 平板模型実験方法 本研究ではTheodorsenの平板翼の理論値と比較するために平板模型を対象とした。模型の慣性力を除去したと考えられる状態で、無風時および一様流中で模型を水平状態（迎角 0° ）に設置して、平板模型に作用する非定常空気力の揚力成分および空力モーメント成分をたわみ加振及びねじれ加振時それぞれ測定した。模型に作用する空気力により生じるひずみを、図 2 に示すように計 8 箇所のセンサー部においてひずみゲージにより検出した。たわみ加振時における非定常空気力測定を、たわみ倍振幅 4, 8, 12, 16 (mm), 加振振動数 2, 3, 4 (Hz) で行った。ねじれ加振時における非定常空気力測定を、ねじれ倍振幅 0.013, 0.024, 0.033, 0.042 (rad), 加振振動数 2, 3, 4 (Hz) で行った。

4. 平板模型の剛性について

既往の研究結果より、模型の剛性が測定精度に影響を及ぼすことが懸念された。そこで、剛性棒が端版の外側のみにあり、剛性が一様でない平板模型と、模型全体に剛性棒を通し、一様な剛性を持たせたひし形平板模型を用いて実験を行い、両者を比較した。図 3(a) に剛性が一様でない平板模型のたわみ振動時揚力成分を、図 3(b) に剛性が一様なひし形平板模型のたわみ振動時揚力成分を示す。両者を比較すると、図 3(b) の剛性が一様であるひし形平板模型の方が、

キーワード 非定常空気力, 模型の剛性, 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

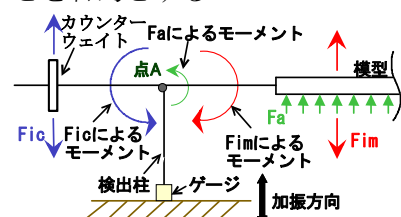


図 1 測定法の原理

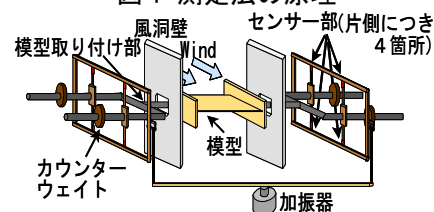


図 2 実験装置の概略図

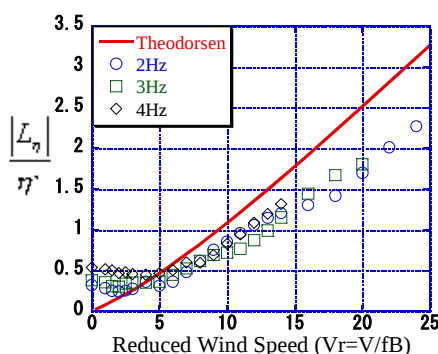


図 3(a) 剛性が一様でない平板
たわみ加振時揚力成分

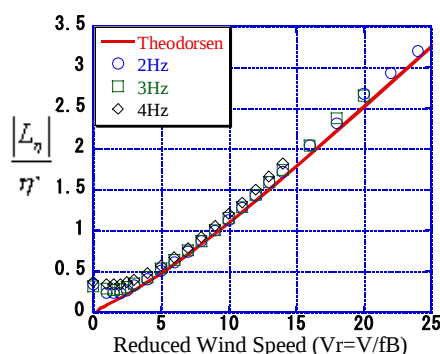


図 3(b) 剛性が一様なひし形平板
たわみ加振時揚力成分

Theodorsen の平板翼の理論値に近く、振動数によるばらつきも抑えられていることが分かる。よって精度のよい測定を行うためには、模型の剛性について考慮する必要があると考えられる。

5. ひし形平板模型の測定結果および考察

既往の研究においては非定常空気力特性の主要なパラメータであるたわみ加振時揚力成分の測定結果を図4に示す。これは加振倍振幅 16mm、加振振動数 2, 3, 4 (Hz) における揚力成分の無次元化と Theodorsen の理論値を比較した結果である。揚力成分測定結果と理論値を比較すると、換算風速 $V_r=0\sim3$ 付近までは 0.3~0.4 程度と一定となり、理論値と異なる傾向を示す。換算風速 3 より高風速域においては理論値と同様の結果となった。低風速域において理論値と異なる理由としては、模型に作用する無風時空気力を的確に測定できていることが挙げられる。次に、ねじれ加振時空力モーメント成分の測定結果を図5に示す。こちらは加振ねじれ倍振幅 0.042、加振振動数 2, 3, 4 (Hz) における空力モーメント成分の無次元化と Theodorsen の理論値を比較した結果である。空力モーメント成分において、測定結果と理論値を比較すると、全風速域において理論値と同様の結果となった。以上のように測定値と理論値はともに近いことから、実験用模型に働く真の非定常空気力を測定できたと考えられる。

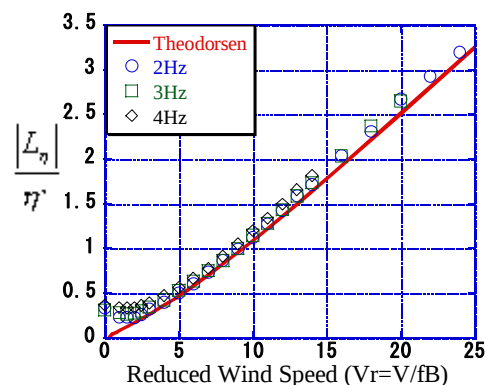


図4 たわみ加振時揚力成分

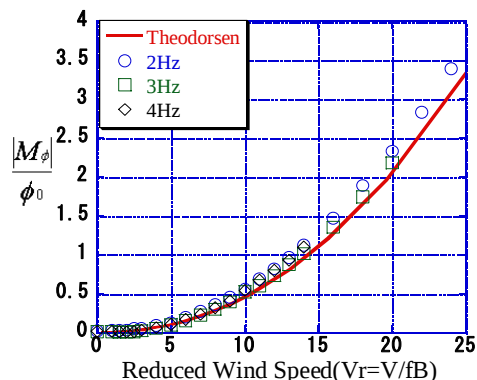


図5 ねじれ加振時モーメント成分

6. 橋梁断面における非定常空気力の測定

橋梁断面についても測定を行い、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6に一自由度応答推定図と一自由度振動応答実験による応答図の比較結果を示す。まず、換算風速 $V_r=5$ 付近で渦励振域がほぼ一致していることが確認できた。また、 $V_r=15$ 付近においては、実験値と推定値ともに応答振幅の発現が認められ、ギャロッピング発現風速においても、一致した結果となっている。しかし、応答振幅においては、推定値が実験値よりも小さな値となっている。特に、測定ケースの無次元倍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が確認にある。

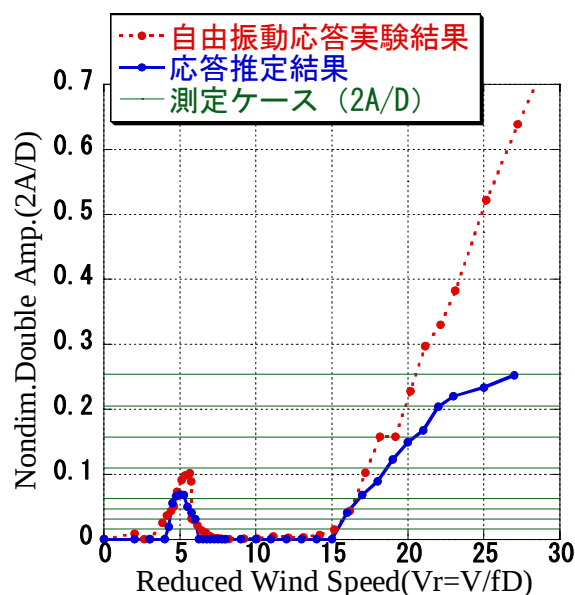


図6 応答推定図と自由振動実験結果との比較

7. 結論と今後の課題

本研究において上記の装置を用いて非定常空気力測定を行った結果、剛性を考慮することで、より精度の高い測定が行えることが確認できた。また、平板模型実験においては理論値に近い結果となり、実構造物である橋梁模型に対しても、非定常空気力特性と自由振動実験結果との関連性が確認され、本装置が高い精度を持っていると考えられる。今後の課題としては、橋梁断面において、推定した応答振幅と自由振動応答実験による応答振幅が一致しなかった原因を把握することが挙げられる。まず、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について更なる考察をする必要がある。カウンターウェイトの移動によって模型の慣性力を完全にキャンセルすることは現実的には不可能である。よって、補正方法の提案が必要である。加えて、測定ケースの無次元倍振幅が大きいほど応答振幅について推定値と実験値の差が大きくなる傾向にある理由の検討を行う必要がある。