

高精度非定常空気力測定法に関する研究

九州工業大学 学生員 ○川東龍則

九州工業大学大学院 学生員 郭威見

九州工業大学 フェロー 久保善延 正会員 木村吉郎 加藤九州男

1. はじめに

近年橋梁の長大化に伴い、橋梁の崩壊や損傷の原因となる空力振動現象が発生する可能性が相対的に高くなっている。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、橋梁断面の耐風特性を解析し、全橋の評価を行うという手法が用いられている。耐風特性の解析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

従来の測定法と測定時に空気力のみを検出する本研究で提案する測定法の模式図を図1に示す。従来の測定法では(図1(a)), 模型を強制加振させた場合に測定される力は模型の慣性力(F_{im})と空気力(F_a)の和であるのに対し、本研究で提案する測定法では(図1(b)), カウンターウェイトの慣性力(F_{ic})によるモーメントが模型の慣性力(F_{im})によるモーメントを打ち消しているため、検出される力は空気力(F_a)のみである。この新しい測定法は、空気力のみを検出するため、従来の測定法のように模型の慣性力による測定空気力に対する精度の悪化がない。したがって模型の慣性力と空気力の位相差による影響も生じないという利点があるため、従来の測定法に比べて高精度となることが期待される。

3. 平板模型実験概要

本研究では平板模型を用い、上下振動時の揚力および空力モーメントを測定し、Theodorsenの平板翼理論と比較することで精度の検討を行なう。

3.1 平板模型の慣性力のキャンセル測定

カウンターウェイトを移動させ、模型の慣性力によるモーメントとカウンターウェイトの慣性力によるモーメントをたし合わせたモーメントによる動的なひずみが0となるようにして模型の慣性力の除去を行う。

3.2 非定常空気力の測定

3.1で求め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モーメント成分を測定する。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する。上下加振時における非定常空気力測定を、加振振幅2, 4, 6, 8 (mm)、加振振動数を2, 3, 4 (Hz)で行う。

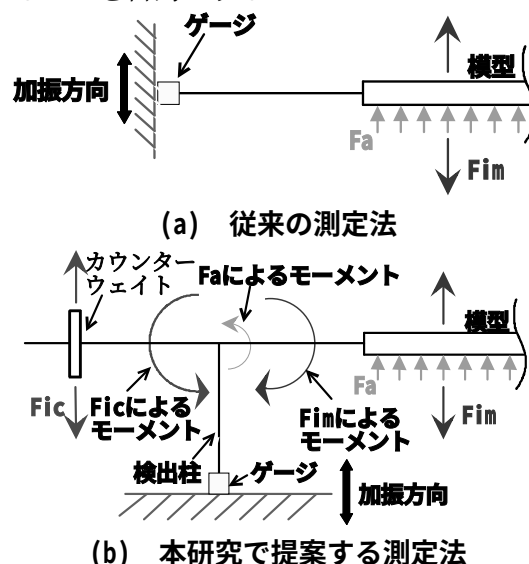


図1 測定法の比較

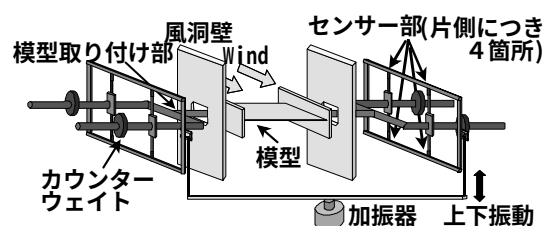


図2 実験の概略図

キーワード 非定常空気力, Theodorsenの平板翼理論, 仮想質量(バーチャルマス)

4. 仮想質量（バーチャルマス）による慣性力

図4に示す平板模型実験の揚力成分結果をみると無風時において、振動数が増加すると共に、空気力も増加している。図4は加振振幅4mmの結果を示しているが、どの加振振幅においても同様の傾向が確認された。このことより、無風時における理論値との差の原因として仮想質量による慣性力の影響が考えられる。仮想質量の慣性力と非定常空気力の和を無風時空気力として測定していたと考えられるため、仮想質量による慣性力を把握することで、より正確に非定常空気力を得ることが出来ると考えた。そこで、仮想質量は振動数では変化せず、振幅のみに依存すると考え、振動数の違いによる空気力の差から運動方程式（式①）を変形した式②を用いて仮想質量による慣性力を算出する。

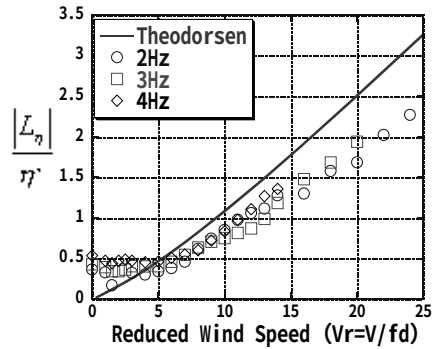


図4 加振振幅4mm 揚力成分

$$mA(2\pi)^2(f_i^2 - f_j^2) = F_i - F_j \quad \dots \textcircled{1} \quad mA(2\pi)^2 = \frac{F_i - F_j}{(f_i^2 - f_j^2)} \quad \dots \textcircled{2}$$

m:仮想質量 A:加振振幅 f:加振振動数 F:測定された揚力成分空気力

4.1 仮想質量による慣性力を考慮した非定常空気力

式②の左辺を仮想質量による慣性力とした場合の振幅4mmの算出結果を表1に示す。さらに算出した仮想質量による慣性力の平均値0.021を用いて、無風時空気力と仮想質量による慣性力の差より算出した非定常空気力の値を表2に示す。前述したように、仮想質量は振動数では変化しないという仮定に基づいた算出方法を用いたが、システムのバランス等が原因と考えられる若干の誤差が認められた。しかし、仮想質量による慣性力を考慮した非定常空気力の値は、無風時空気力を非定常空気力とした場合と比較すると、Theodorsenの平板翼理論に近づく結果となった。

表1 振幅4mm 仮想質量による慣性力

振動数	無風時空気力	$mA(2\pi)^2$
2	0.2745	—
3	0.3884	0.0228
4	0.5170	0.0184

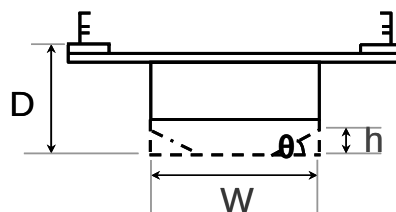
表2 非定常空気力

振動数	非定常空気力
2	0.1905
3	0.1994
4	0.1810

5. 橋梁模型実験概要

5.1 橋梁模型を用いた測定方法

橋梁模型においては鉛直状態にしても空気力が大きく働くため、模型の慣性力を完全に除去することが出来ない。よって橋梁模型と同質量の平板模型によってカウンターウエイトのキャンセル位置を決定し、その後平板模型と橋梁模型を取替え、測定を行う。



D:桁高+地覆高 W:幅員
h:面取高 $\theta = 30^\circ$ に固定

図5 橋梁模型断面図

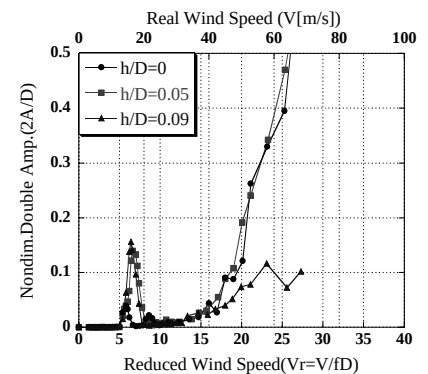


図6 W/D=1.7 応答図

5.2 橋梁模型実験ケース

図5に示す橋梁模型を用い、 $W/D=1.7$ における $h/D=0, 0.05, 0.09$ を実験ケースとした。ケース選択の理由として、図6に示すように既往の研究による自由振動実験結果において、渦励振、ギャロッピングが顕著にあらわれているため、実験結果を比較しやすいと考えたためである。

6. まとめと今後の課題

本研究で提案する上記の手法において、より正確な非定常空気力を得るためには仮想質量による慣性力の影響を考慮する必要性が確認出来た。今後は、測定した非定常空気力から実橋梁の風の中での動的挙動を推定し、自由振動実験の結果と比較することで、本研究の測定装置の精度、および推定方法に対する検討を行う。