

慣性力バランス型非定常空気力測定装置の開発に関する研究

九州工業大学大学院 学生会員 ○郭威見 JR九州（株） 非会員 安藤貴彦
九州工業大学 フェロー 久保喜延 正会員 加藤九州男 木村吉郎

1.はじめに 明石大橋に代表されるように吊形式橋梁の長大化に伴い、その耐風安定性、特にフラッター特性の検討の重要性が増している。全橋模型を用いた風洞実験は、現在、最も信頼性が高い手法とされている。しかし、風洞施設や費用の制約等のためフラッター解析から橋梁全体系のフラッター特性を明らかにすることも行われる。フラッター解析には、橋梁断面に働く非定常空気力特性が必要であり、非定常空気力測定の精度を向上させる必要がある。そこで本研究では、廉価で行える新たな非定常空気力測定法について検討を行い、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.実験方法と補正方法 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測定した。模型に作用する空気力により生じるひずみをひずみゲージにより検出した。上下加振時における非定常空気力測定を、加振片振幅2, 4, 6, 8 (mm)、加振振動数2, 3, 4 (Hz)で行った。

また、平板模型において、模型の慣性力を除去する際、模型を鉛直状態にして行っていた。しかし橋梁断面に働く非定常空気力を測定する際、鉛直状態にして慣性力は除去できない。そこで、水平状態で模型の慣性力と無風時の空気力を除去した状態で測定を行い、無風時の空気力を補正する手法を提案した。

以下に、空気力を導く式を示す。

$$L_\eta' \cos(\omega t + \beta_3) = L_\eta \cos(\omega t + \beta_1) + I_\eta \cos(\omega t + \beta_2) \quad \dots \dots \dots$$

式より加法定理で分解し、整理すると

$$\beta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{L_\eta' \sin \beta_3 - I_\eta \sin \beta_2}{L_\eta' \cos \beta_3 - I_\eta \cos \beta_2} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{\delta}{\gamma} \right) \quad \dots \dots \dots$$

よって $L_\eta = \sqrt{\gamma^2 + \delta^2} \quad \dots \dots \dots$

ただし、 L_η', β_3 :ゲージの出力、位相差(水平)、 I_η, β_2 :模型の慣性力、位相差(鉛直)、 L_η, β_1 :空気力、位相差

キーワード：非定常空気力、Theodorsen の理論値、フラッター解析

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

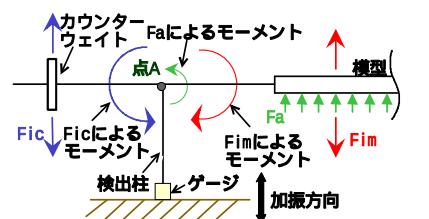


図1. 測定法の原理

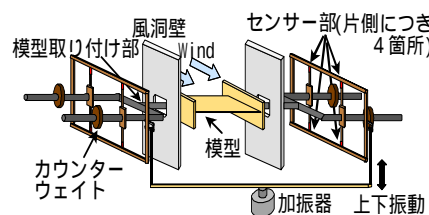


図2. 実験装置の概略図

4. 実験結果および考察 上下加振時における平板模型を用いた非定常空気力の測定結果を図3に示す。この図は加振片振幅8mm, 加振振動数3Hzにおける揚力成分を無次元化し, Theodorsenの理論値と比較した結果である。(a)において, 揚力成分は換算風速0~5付近までは0.35~0.5程度と一定となり, 換算風速5付近からは, 風速が高くなるにしたがって理論値との差は大きくなるが高風速域においては理論値と傾向は同等である。次に, (b)において, 揚力成分の位相差は低風速域において理論値との差は大きかったが, 換算風速が高くなるにつれて理論値との差は小さくなり, 高風速域では理論値と同値となった。

以上の結果から, 換算風速0~5付近において揚力成分とその位相差, そして空力モーメント成分の位相差はどれも理論値と大きな差がある。この原因としては,

Theodorsenの理論において平板は無限に薄く, 流れは剥離の生じないポテンシャル流と仮定されており, そのことが低風速域において大きな差を生じさせているものと考えられる。また, 測定の際, 装置全体に多少のアンバランスが生じることも原因であると考えられる。

5. 橋梁模型に適用するための測定方法の検討 図4に平板模型を用いて, 加振片振幅2mm, 加振振動数3Hzで測定した補正前後の結果を示す。(a)において, 揚力成分の補正を行うことにより換算風速 $V_r=0 \sim 5$ 付近の揚力成分が大きく補正され, 鉛直状態で模型の慣性力を除去するこれまでの手法の結果とも同様な結果が得られた。次に, (b)において, 揚力成分の位相差の補正を行うことにより補正前とは明らかに相違が見られ, これまでの手法の結果と同様となった。以上の結果より, 今回提案した手法は橋梁断面の非定常空気力を測定する上で十分適用できると考え, 箱桁模型を用いて非定常空気力測定を行った。図5に箱桁模型を用いて, 加振倍振幅8mm ($2A/D=0.245$), 加振振動数4Hzで測定した補正前後の結果を示す。(a)から揚力成分は換算風速 $V_r=5$ で大きくなり, $V_r=16$ で最大となっている。また, (b)から揚力成分の位相差は換算風速 $V_r=19$ で符号が負から正へと変化している。一方, 同じ箱桁断面の自由振動実験の応答特性において, 換算風速 $V_r=5$ 付近で過励振, $V_r=20$ 付近でギャロッピング(発散振動)が生じており, 非定常空気力特性と自由振動実験の応答特性との間に関連性が確認された。

6. まとめ 本研究において提案した上記の手法を用いた結果, 非定常空気力特性と自由振動実験の応答特性には関連性があり, 本測定装置の精度の高さ, および今回提案した測定法の妥当性が確認された。しかし, 実橋梁の風の中での動的挙動を推定するまでには至らなかった。今後, あらゆる橋梁断面の非定常空気力特性を測定し, 自由振動実験の応答特性との関連性について更に検討していく。

参考文献: 構造物の耐風工学・社団法人日本鋼構造協会編・東京電機大学出版

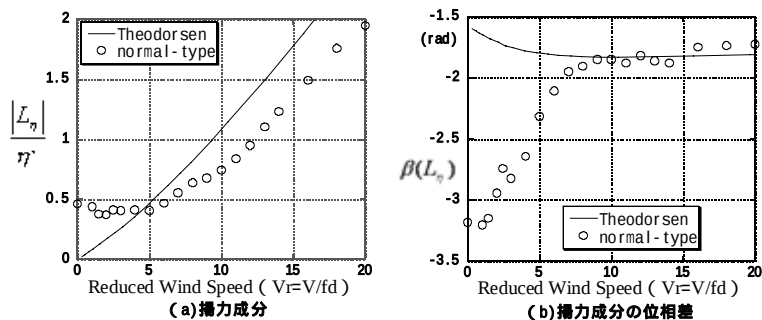


図3. 非定常空気力の測定値と理論値との比較

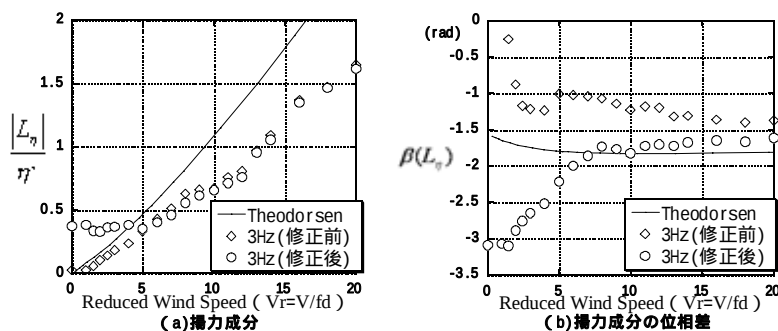


図4. 補正前後の比較 (平板模型)

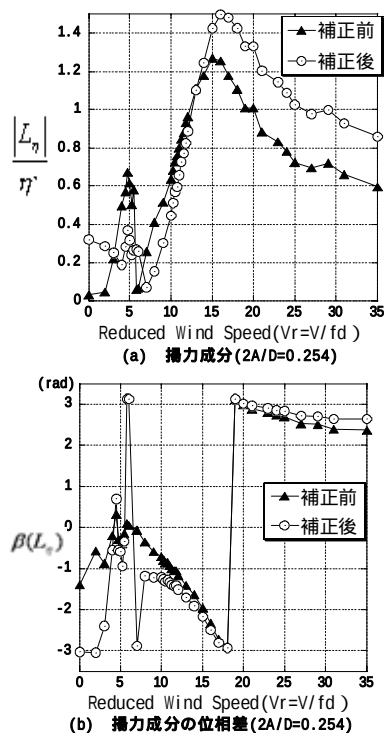


図5. 補正前後の比較 (箱桁模型)