## 慣性力消去型非定常空気力測定法による応答推定に関する研究

九州工業大学大学院 学生員 川東 龍則

九州工業大学大学院 学生員 郭 威見

九州工業大学フェローク保喜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,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(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に比べて非常に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と考えられる.そこで,カウン ターウェイトを用いて機械的にFimを除去し,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Fimの影響を受けないため高精度が期待される測定法であると考えられる.

<u>3. 平板模型実験概要</u>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を測定した.上下加振時における

非定常空気力測定を,加振振幅4,6,8(mm),加振振動数2,3,4(Hz) で行う.

4. 仮想質量(パーチャルマス)による慣性力 図1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.無風時において値が一致していない原因として 仮想質量による慣性力の影響が考えられる.これまでは,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 とができると考えた.そこで,振動数の違いによる空気力の差に対応す

る式 を変形した式 を用いて仮想質量による慣性力を算出する.表1 振幅4mm 仮想質量による慣性力

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

m:仮想質量 A:加振振幅 f:加振振動数 F:揚力成分空気力 <u>4.1 仮想質量による慣性力を考慮した非定常空気力</u> 式 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.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,振動数による値の差が小さくなり, より正確な非定常空気力を求めることができたと考えられる.

キーワード 非定常空気力,仮想質量(バーチャルマス) 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 加振振幅 4mm 揚力成分

•			
	振動数	無風時空気力	$mA(2)^2$
	2	0.2752	
	3	0.3855	0.0220
	4	0.5170	0.0188

表2 非定常空気力

振動数	非定常空気力
2	0.1952
3	0.2055
4	0.1970

5.橋梁模型実験概要 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できない.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ェイトのキャンセル位置 を決定し,平板模型と橋梁模型を取替え,測定を行う.図2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.

5.1 橋梁模型実験結果 自由振動実験による応答図との比較を行う場合 は,揚力成分そのものの傾向ではなく,振動方程式中の減衰に関係する*L*<sub>η</sub>*I* の傾向で比較しなければならない. h/D=0.09 の*L*<sub>η</sub>/算出結果を,図3に示

す. $L_{\eta l}$ が正の値を示すときは励振力が働き,負の値を示すときは減 衰力が働く.このことをふまえて $L_{\eta l}$ の結果をみると,自由振動実験 による応答図(図 4)において,渦励振が確認できる換算風速Vr=5~7 付近において, $L_{\eta l}$ が正の向きに変動している.この傾向が渦励振発 生時に模型に働く励振力を示していると考えられるため,自由振動 実験による応答図の傾向と一致する.しかし,Vr=5~7以下の風速 においても $L_{\eta l}$ が正の値を示している.これは,Vr=5~7までは大き な振幅が発生していない自由振動実験による応答図とは異なる結果 となっている.この原因として,除去しきれなかった模型の慣性力 やシステムのバランスによる誤差が考えられる.また,Vr=15まで は $L_{\eta l}$ が正の値を示し,減衰力が作用している.そして,Vr=15付近 から $L_{\eta l}$ が正の値を示し,励振力が作用していると考えられるため, 自由振動実験による応答図のギャロッピングが発生するまでの傾向 と一致している.

5.2 応答推定図を用いた検討 L<sub>n</sub>の測定結果と自由振動実験によ る応答図とに関連性があることは確認できたが,断面の違いによる 渦励振,ギャロッピング発生時の振幅の大きさの違いを確認するこ とはできなかった.そこで,定常振動時の振幅を各測定風速におい て算出し,応答推定図を描いた.h/D=0.09の自由振動実験による応 答図を図4に,応答推定図を図5に示す.応答推定図と,自由振動 実験による応答図を比較した結果、渦励振およびギャロッピングが 発生する換算風速や、それぞれの断面における渦励振域の振幅は近 い値となった.しかし,Vr=5以下の低風速域においては異なる傾向 が見られた.低風速域においては,除去しきれなかった模型の慣性 力やシステムのバランスによる誤差の影響をより大きく受けている と考えられる.また,Vr=20以上の高風速域においてはギャロッピ ングによる振幅が自由振動実験による応答図に比べると小さな値と なっている.この原因としては,Vr=20以上の高風速域では,測定 時の強制加振による加振振幅を超えた値で振動しているため,自由 振動実験による応答図との一致は難しいと考えられる.



D:桁高+地覆高 W:幅員 h:面取高 θ=30°に固定 図 2 橋梁模型断面図



図 4 自由振動実験応答図 h/D=0.09

Reduced Wind Speed(Vr=V/fD)



<u>6.まとめ</u> 平板模型実験では,仮想質量による慣性力の影響を考慮することで,より正確な非定常空気力 を得ることができた.橋梁模型実験では,*L<sub>η</sub>*の結果や応答推定図と自由振動実験の応答特性の関連性を確認 することができた.