

高レイノルズ数領域における橋梁非定常空気力係数の振幅依存性

石川島播磨重工 正会員 ○松田一俊
National Research Council K.R.Cooper
オタワ大学 正会員 田中 宏

1. まえがき

一般に非定常空気力は、振幅に対して線形となるとは限らず、場合によっては非線形性がフラッター応答特性に影響を及ぼすことも考えられる。しかし、通常実施されるフラッター解析は、非定常空気力は線形であることを前提としている。そのため、振幅を変化させて非定常空気力の線形性の有無を確認することが望ましい。しかし、もし非線形性が確認されたとしても、その非線形性をフラッター解析に考慮することは容易ではない。

加振振幅に関して本四風洞試験要領¹⁾は、ばね支持試験における発散振動の定義に合わせて、鉛直曲げ振動では弦長の1/100、ねじれ振動では1度の振幅で行うことを標準としている。従来の研究^{2),3),4)}において、強制加振法による非定常空気力計測時の加振振幅の大きさは様々である。偏平箱桁断面について加振振幅の大きさを4種類変化させた場合、非定常空気力係数の振幅依存性は小さいことが報告されている⁵⁾。しかし、これは縮尺1/300の模型で風洞風速6.5m/sという小さいレイノルズ数領域における研究成果である。

著者らは、縮尺1/10の大型橋梁模型とカナダNRCの大型風洞を用いて、高レイノルズ数領域における非定常空気力を計測した。本稿では、一連の試験結果のうち、非定常空気力計測の加振振幅を3種類変化させ、高レイノルズ数領域における非定常空気力係数の振幅依存性について調査した結果について述べる。

2. 風洞試験⁶⁾

高いレイノルズ数を確保するため、カナダNRCの大型風洞(測定胴断面 9.1m×9.1m, 最大風速 55m/s)を使用した。模型は縮尺1/10の2箱桁形式の2次元剛体模型である。最大レイノルズ数は 1.5×10^6 (代表長: 桁高0.4m)である。図-1, 図-2にそれぞれ模型断面図および模型設置状況を示す。模型内部に設置されたロードセルを用いて非定常空気力を計測した。風洞気流は一樣流、試験迎角はこの断面がレイノルズ数効果を有する+3度とした。本研究は、加振振動数を一定にして風速を変化させて換算振動数を変化させる方法を採用した。試験条件を表-1および表-2に示す。加振振幅を変化させるケースのレイノルズ数は同じ領域とした。

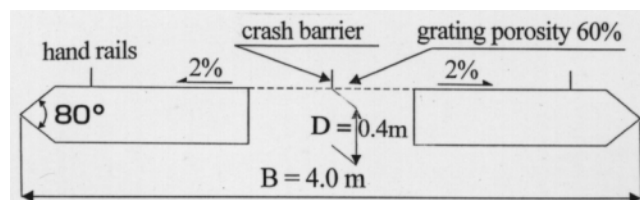


図-1 縮尺1/10の2次元剛体模型断面図



図-2 NRC風洞内における模型設置状況

3. 試験結果・考察

式(1), (2)の表記方法による非定常空気力係数の計測結果を平板空気力係数と比較して図-3 および図-4に示す。ここでは紙面の都合上、代表的な空気力係数のみを示す。

$$L_D = \pi \rho B^3 \omega^2 \left\{ (C_{L\eta R} + iC_{L\eta i}) \frac{\eta}{B} + (C_{L\theta R} + iC_{L\theta i}) \theta \right\} \quad (1)$$

$$M_D = \pi \rho B^4 \omega^2 \left\{ (C_{M\eta R} + iC_{M\eta i}) \frac{\eta}{B} + (C_{M\theta R} + iC_{M\theta i}) \theta \right\} \quad (2)$$

ここで、 L_D :非定常揚力, M_D :非定常空力モーメント, ρ :空気密度, B :桁幅, ω :固有円振動数, $C_{Lxx} \sim C_{Mxx}$:

キーワード: 橋梁, 非定常空気力, レイノルズ数, フラッター解析, 強制加振法

連絡先: 〒235-8501 横浜市磯子区新中原町1番地 石川島播磨重工業株式会社技術開発本部総合開発センター
機械システム開発部大型構造グループ TEL(045)759-2825 FAX(045)759-2208

非定常空気力係数, η :鉛直曲げ振幅, θ :ねじれ振幅である.

今回検討対象とした2箱桁断面の迎角+3度における非定常空気力係数は, 振幅の大小による差異は小さい傾向にある. このことは従来の研究成果⁵⁾と同様である. なお, 他の空気力係数についても振幅依存性はほとんど認められなかった. また, 迎角0度のすべての非定常空気力係数も迎角+3度同様振幅依存性はほとんどなかった.

次に得られた非定常空気力係数を用いて, フラッター解析を行った. 対象構造系は, 図-1と同じ断面形状を有する縮尺1/80の2次元剛体模型がばね支持された状態を再現したF.E.M.解析モデルである. 解析結果を表-1に示す. 加振振幅の異なる3ケースのフラッター風速はいずれも7.4~7.5m/s以上となり, 加振振幅の違いによる明確な違いは認められなかった.

この理由は次のとおりである. 加振振幅が一定で, レイノルズ数を変化させた表-2の4ケースはレイノルズ数の増加に伴い, フラッター風速が高くなる傾向にある. 加振振幅を変化させた表-1のケースは表-2のケースよりレイノルズ数が高いため, フラッター風速が高くなり, フラッター解析によってフラッター風速を十分追うことができなかったためである.

4. まとめ

縮尺1/10の大型橋梁模型を用いて, 高レイノルズ数領域において, 加振振幅を変化させた非定常空気力計測を行い空気力係数の振幅依存性を調べた.

その結果, 今回検討対象とした2箱桁断面の非定常空気力係数の振幅依存性はほとんど認められなかった.

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団: “本州四国連絡橋風洞試験要領(2001)・同解説, 2001年8月.
- 2) E. Szechenyi, “Etude du comportement dans le vent du tablier definitive du Pont de Normandie”, O.N.E.R.A. Rapport technique No. 15/3588,(1989).
- 3) Y. Fujino, M. Ito, I. Shino et al.: “Wind Tunnel Study of Long-Span Bridge under Smooth and Turbulent Flow”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 33, (1990).
- 4) 宇都宮, 長尾, 野田, 白石: “扁平矩形断面における非定常空気力係数の振幅依存性, 土木学会第56回年次学術講演会概要集I-B355, 平成13年10月.
- 5) G.L. Larose, A.G. Davenport, J.P.C. King: “On the Unsteady Aerodynamic Forces on a Bridge Deck in Turbulent Flow, Proceedings of the 7th US National Conference on Wind Engineering, UCLA, California,(1993).
- 6) K.Matsuda, K.R.Cooper, H.Tanaka, M.Tokushige, T.Iwasaki: “An investigation of Reynolds number effects on the steady and unsteady aerodynamic forces on a 1:10 scale bridge deck section model”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 89,pp.619-632, (2001).

表-1 試験条件・フラッター解析結果(加振振幅変化)

CASE	Amp. of Forced Oscillation		Freq.(Hz)	Flutter speed(m/s)	@k=fB/V=0.15	
	η/B	θ (deg.)			V(m/s)	Re=VD/ ν
1	1/100	1.0	1.583	>7.4	42.2	1.2×10^6
2	1/100*2/3	1.0*2/3	1.583	>7.5	42.2	1.2×10^6
3	1/100*1/3	1.0*1/3	1.583	>7.5	42.2	1.2×10^6

B:Deck width(=4.0m) D:Deck depth(=0.4m)

表-2 試験条件・フラッター解析結果(レイノルズ数変化)

CASE	Amp. of Forced Oscillation		Freq.(Hz)	Flutter speed(m/s)	@k=fB/V=0.15	
	η/B	θ (deg.)			V(m/s)	Re=VD/ ν
4	1/100	1.0	0.440	7.5	11.7	3.2×10^5
5	1/100	1.0	0.792	9.0	21.1	5.8×10^5
6	1/100	1.0	1.231	>9.1	32.8	9.0×10^5
1	1/100	1.0	1.583	>7.4	42.2	1.2×10^6

B:Deck width(=4.0m) D:Deck depth(=0.4m)

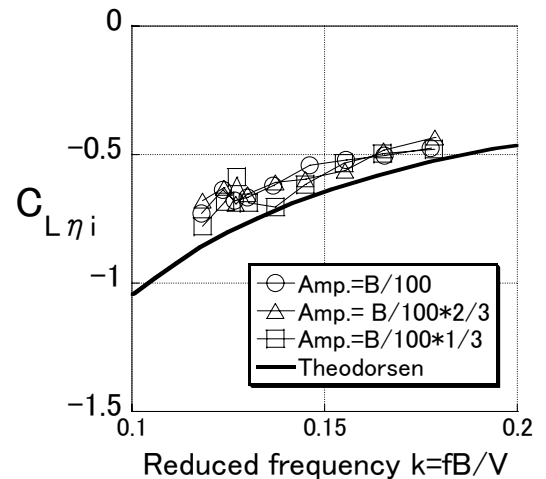


図-3 非定常空気力係数 $C_{L \eta i}$

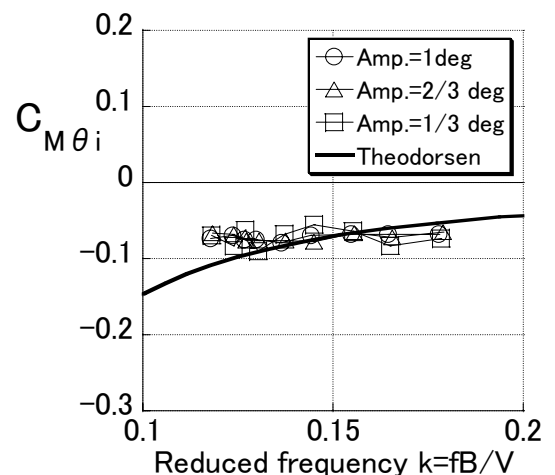


図-4 非定常空気力係数 $C_{M \theta i}$