

I-687

長大橋梁のフラッター応答に影響を与える非定常空気力の特性

石川島播磨重工業(株) 正員 樋上 瑋一

石川島播磨重工業(株) 正員 松田 一俊

1. はじめに

従来フラッター解析において、鉛直曲げ・ねじれ振動に伴う非定常抗力はフラッター特性に与える影響が小さいものとして考慮されることはほとんどなかった。しかし、長大吊橋全体模型試験のフラッター現象を解析で再現するためには、この非定常抗力を解析に考慮することが不可欠であることがわかった。

ここでは、中央径間2,000m級の補剛トラス吊橋と補剛箱桁吊橋を検討対象にフラッター解析を行い、非定常抗力がフラッター特性に与える影響を比較した。また、風荷重に伴う桁静的ねじれ角に対する空気力の非線形性がフラッター特性に与える影響も検討した。

2. フラッター解析

解析対象の2吊橋の吊構造部の単位長あたり重量はいずれも29tf/mである。モーダル法による多自由度フラッター解析¹⁾では原則として、有風時の固有振動数およびモードを用いた。解析モード数は補剛トラス吊橋では6モード(別途、40次までの解析結果と大差ないことを確認済み)、補剛箱桁吊橋は50次までの全モードである。

水平曲げ振動による非定常空気力は準定常空気力を、それ以外は計測非定常空気力を解析に用いた。解析結果を図-1, 2に示す。

3. 非定常抗力の効果

図-1より補剛トラス吊橋では、鉛直曲げ・ねじれ振動に伴う非定常抗力係数($C_{D\eta R}$, $C_{D\eta I}$, $C_{D\theta R}$, $C_{D\theta I}$)を解析に考慮しないと風洞試験値のような応答対数減衰率の急激な落ち込みを示すフラッター特性が得られない。一方、補剛箱桁吊橋では非定常抗力係数考慮の有無には無関係であった。この理由を便宜上、式(1)、(2)に示す準定常抗力を用いて説明する。

$$D_{\eta} = 1/2i \omega \rho (-V) \{An dC_{D\eta}/d\alpha - B C_{L\eta}\} \eta \quad (1)$$

$$D_{\theta} = 1/2 \rho (V^2) \{An dC_{D\theta}/d\alpha - B C_{L\theta}\} \theta \quad (2)$$

ここで、 D_{η} :鉛直曲げ振動による非定常抗力、 D_{θ} :ねじれ振動による非定常抗力、 ρ :空気密度、 ω :応答円振動数、 V :風速、 An :投影面積、 $dC_{D\eta}/d\alpha$:抗力係数勾配、 $C_{L\eta}$:揚力係数、 η :鉛直曲げ振幅、 θ :ねじれ振幅。

三分力係数曲線を図-3に示す。フラッター特性に最も影響を与える中央径間1/2点における非定常抗力の比較を表-1に示す。桁静的ねじれ角における抗力係数勾配の違いによって、非定常抗力に差が生じる。よって、フラッター解析において非定常抗力のフラッター特性に与える影響度は主として桁静的ねじれ角における抗力係数勾配の大きさに依存する。

4. 桁静的ねじれ角に対する空気力の非線形性の影響

一般的にフラッター解析では無風時固有振動数・モードが用いられることが多い。ここでは無風時と有風時の各固有振動数・モードを用いて、風荷重による桁静的ねじれ角と空気力の関係がフラッター特性に及ぼす影響を調べる。

補剛トラスの場合、図-2より風荷重による桁静的ねじれ角に対応した空気力を選択しないと応答対数減衰率の急激な落ち込み傾向が見られない。これは桁空気力が桁静的ねじれ角すなわち迎角に対し、非線形性を有することが解析に反映されていないことに起因している。一方、補剛箱桁の場合、桁静的ねじれ角考慮の有無による応答対数減衰率の相違は比較的小さい。これは風荷重による桁静的ねじれ角が小さく、かつこの迎角範囲における空気力の迎角に対する非線形性が小さいためと考えられる。

このように、風荷重による桁静的ねじれ角が大きく、かつ迎角に対する空気力の非線形性も大きい場合は風荷重による桁静的ねじれ角に対応した空気力の選択が必要である。

5. まとめ

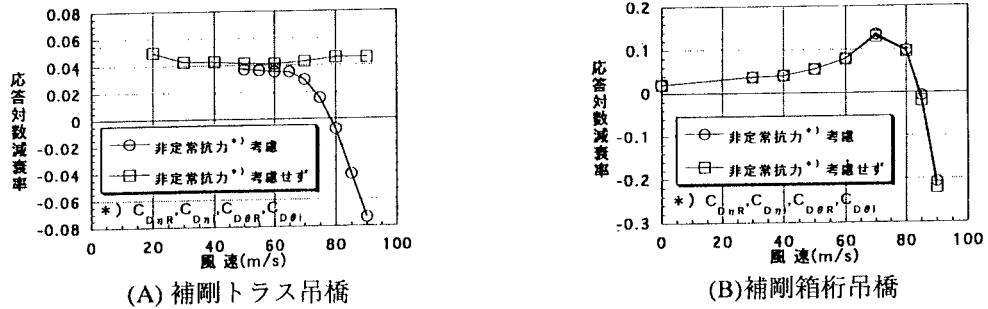
(1)フラッター解析において非定常抗力のフラッター特性に与える影響度は主として桁静的ねじれ角における抗力係数勾配の大きさに依存する。

(2)風荷重による桁静的ねじれ角が大きく、かつ迎角に対する空気力の非線形性も大きい場合は風荷重による桁静的ねじれ角に対応した空気力の選択が必要である。

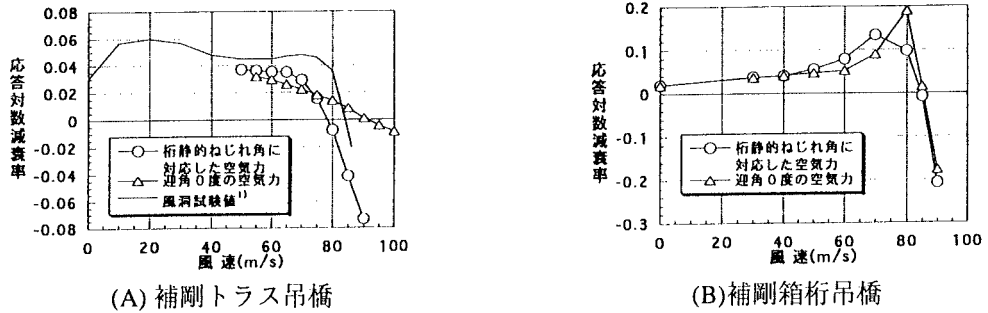
なお、補剛トラス吊橋の風洞試験結果のデータは本州四国連絡橋公団よりいただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

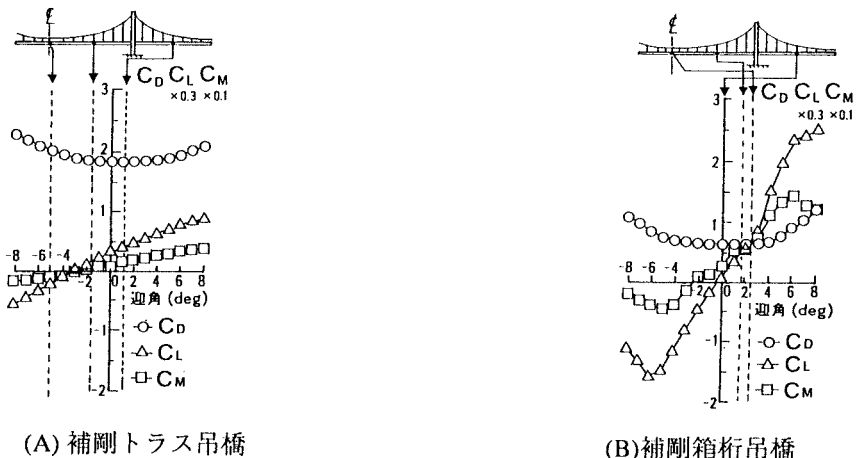
- 1) Miyata, T., Tada, K., Sato, H., Katsuchi, H. and Hikami, Y., "New Findings of Coupled-Flutter in Full Model Wind Tunnel Tests on The Akashi Kaikyo Bridge", Proceedings of The Deauville Conference : Cable-Stayed and Suspension Bridges, Deauville, France, 1994.
- 2) Ager, T.J.A., "Aerodynamic Flutter Analysis of Suspension Bridges by a Modal Technique", Engineering Structures, Vol.11, April 1989.
- 3) 樋上、松田、鈴木：長大吊橋の多自由度フラッター解析、第12回風工学シンポジウム論文集、1992年



図－1 非定常抗力の影響



図－2 空気力の非線形性の影響



図－3 三分力係数曲線

表－1 非定常抗力における静的空気力係数の比較

	中央径間1/2点 桁静的ねじれ角	風速 (m/s)	投影面積 An(m²/m)	桁幅 B(m)	$\frac{dC_D}{d\alpha}$	C_L	$An \frac{dC_D}{d\alpha}$	BC_L	$An \frac{dC_D}{d\alpha} - BC_L$
補剛トラス吊橋	-5度	80	7.51	35.5	-4.07	-0.071	-30.6	-2.52	-28.1
補剛箱桁吊橋	+2度	85	7.44	40.9	+0.35	0.179	2.60	7.32	-4.72