

風荷重静的変形とモード別空力減衰が長大吊橋のフラッター特性に与える影響

石川島播磨重工業 正会員 松田一俊
石川島播磨重工業 正会員 上島秀作

本州四国連絡橋公団 正会員 平野 茂
石川島播磨重工業 正会員 杉本高志

1. まえがき

長大吊橋は静的風荷重によって変形する．そのため，橋桁の静的ねじれ変形が大きく，その非定常空気力特性が迎角によって大きく異なるとき，吊橋のフラッター特性も気流傾斜角によって変化することが予想される．ここでは，風荷重による静的変形を考慮せず，無風時の固有振動モードを用いた解析結果と比較することにより，風荷重による長大吊橋の静的変形がフラッター特性に及ぼす影響を検討した．さらに，非定常空気力が吊橋になす空力減衰の面から，加振方向別，有風時固有振動モード別の各空気力がフラッター特性に与える影響についても考察した．

2. 解析要領

中央径間 2,500m の 3 径間 2 ヒンジ補剛箱桁吊橋を対象に，図— 1 に示す 1 箱桁形式の橋桁を有する長大橋の F E M モデルを用いて，静的風荷重解析およびフラッター解析を行った．解析で使用した三分力係数と非定常空気力係数は，風洞試験値を用いた．フラッター解析は，モード重ね合わせ法¹⁾により低次から 50 次までの各風速における静的変形を考慮した有風時の固有振動数、固有振動モードを用いた．

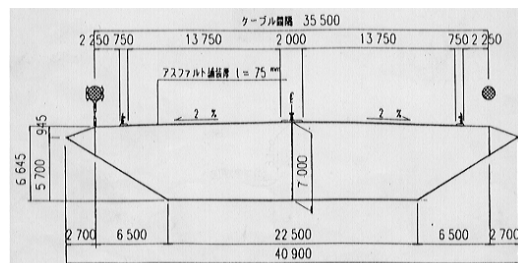
3. 解析結果および考察

(1) 静的風荷重解析

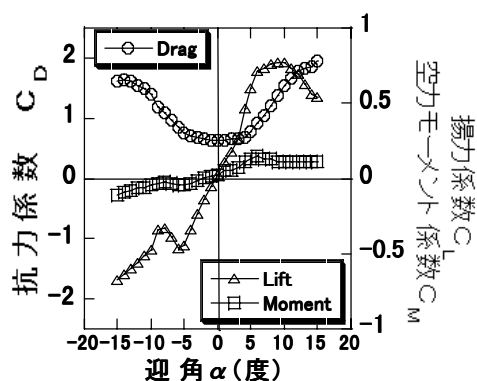
気流傾斜角 0 度、 ± 3 度について，図— 2 に示す三分力係数を用いた静的風荷重解析の結果を図— 3 に示す．気流傾斜角によって変形が大きく異なり，有風時における吊橋の剛性が変化していることが予想される．代表的なモードについて，風速と有風時固有振動数の変化を図— 4 に示す．気流傾斜角 0 度、 $+3$ 度の場合，風速の増加と共に橋桁が上方に移動するため，吊橋全体の剛性が小さくなり，固有振動数が低下する．一方，気流傾斜角 -3 度の場合は反対の傾向にある．

(2) 静的変形がフラッター特性に与える影響

気流傾斜角 $+3$ 度のフラッター解析結果を図— 5 に示す．風荷重による橋桁の静的変形を考慮しない無風時モードによる解析結果は，変形を考慮する有風時モードによる解析結果に比べ，フラッター風速付近の応答減衰の落ち込みが，風速に対して緩やかになる．これは中央径間 2,000m 級の補剛トラス吊橋のフラッター解析結果²⁾と同様の傾向にある．また，応答振動数が高くなる傾向にあり，静的変形に伴う固有振動数の低下が反映されていない．したがって，静的風荷重による橋桁の変形が大きい場合や非定常空気力係数の迎角依存性が大きい場合²⁾は，変形を考慮した有風時モードをフラッター解析に用いることが望ましい．



図— 1 1箱桁形式橋桁の断面



図— 2 三分力係数

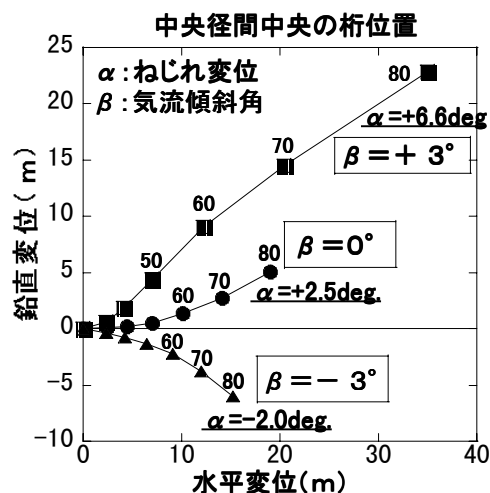


図 - 3 風荷重による静的変形

(図中，記号上の数値は風速(m/s)を表す．)

キーワード：風荷重静的変形，フラッター，長大橋，空力減衰，固有振動モード

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 TEL(045)759-2135, FAX(045)759-2183

(3) 空力減衰がフラッター特性に与える影響

従来の研究例³⁻⁵⁾を参考に、加振方向別、空気力別、モード別に分類した空力減衰を表-1に示す。フラッター特性は、主として桁鉛直曲げ対称1次モードによる揚力(減衰力)と桁ねじれ対称1次モードによる揚力(励振力)のバランスによって決定されている。フラッターを抑制するには、ねじれ対称1次モードによる揚力の発生を抑えることが重要である。なお、桁鉛直曲げ対称3次モードもフラッター特性に大きな影響を与えていることは、文献⁵⁾と同じ傾向である。このモードは風速の増加に伴い、桁ねじれ対称1次モードの振動数に接近するため、ねじれ成分のモードを有する。桁鉛直曲げ対称3次モードのねじれ加振による揚力は、励振力として働くが、一方、そのモードの鉛直曲げ加振による揚力は、減衰力として作用する。1つのモードでも、励振力と減衰力の両面でフラッター特性に影響を与える場合がある。

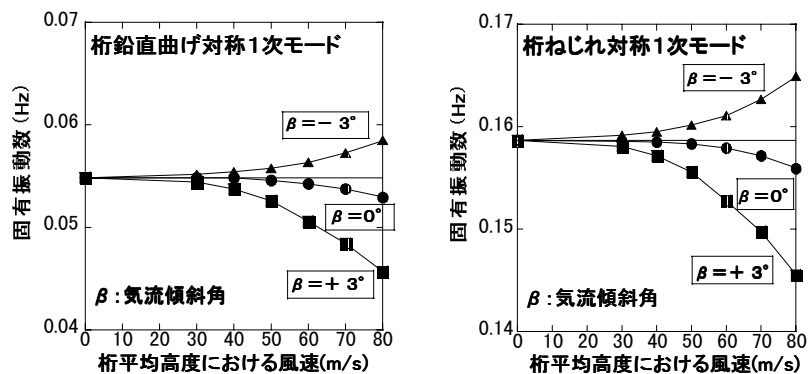
4. まとめ

(1) 静的風荷重による橋桁の変形が大きい場合や非定常空気力係数の迎角依存性が大きい場合は、変形を考慮した有風時モードを用いることが望ましい。

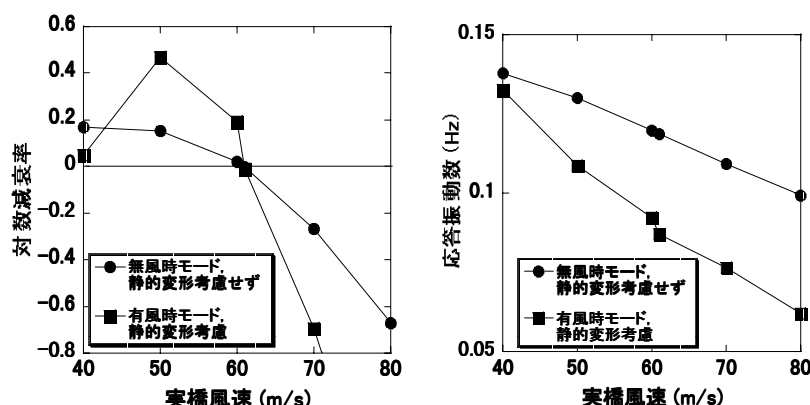
(2) 中央径間2500mの1箱桁形式吊橋のフラッター特性は、主として桁鉛直曲げ対称1次モードによる揚力(減衰力)と桁ねじれ対称1次モードによる揚力(励振力)のバランスによって決定されている。ただし、一つのモードでも励振力と減衰力の両面でフラッター特性に影響を与える場合がある。

参考文献

- 1) Ager, T.J.A.: Aerodynamic flutter analysis of suspension bridges by a modal technique, Engineering Structures, Vol.11, April 1989.
- 2) 樋上, 松田: 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, 土木学会第50回年次学術講演会概要集 -687, 平成7年9月
- 3) 風間: 吊形式橋梁の長大化に伴う耐風問題に関する研究, 横浜国立大学博士論文, 平成7年3月。
- 4) 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 Cable-stayed and suspension bridges, Vol. , pp.163-170, Oct., 1994.
- 5) 中崎, 山口: モード空力減衰に着目した暴風時質量付加型吊橋のフラッター特性, 土木学会論文集 No.626 / -48, pp.121 - 133, 平成11年7月。



図—4 風速と有風時固有振動数の関係



(A) 応答対数減衰率

(B) 応答振動数

図—5 フラッター解析結果(気流傾斜角 $\beta = +3$ 度)

表-1 空気力別・振動モード別の空力減衰(気流傾斜角 $\beta = +3$ 度)

	部位	加振方向	空気力	有風時 固有振動モード*	風 速		
					60m/s	61m/s (フラッター風速)	70m/s
主 な 空 力 対 数 減 衰 率	橋 桁	鉛直曲げ	揚力	桁鉛直曲げ対称1次	0.275	0.443	1.580
				同 2次	0.106	0.036	0.047
				同 3次	0.011	0.015	0.089
		ねじれ		桁鉛直曲げ対称1次	0.008	0.016	0.105
				同 3次	-0.015	-0.025	-0.482
				桁ねじれ対称 1次	-0.270	-0.527	-2.229
	ケー ブル	鉛直曲げ	空力	桁鉛直曲げ対称1次	-0.059	-0.081	-0.190
		ねじれ	モーメント	桁鉛直曲げ対称3次	0.004	0.004	0.048
				桁ねじれ対称 1次	0.074	0.059	0.088
		鉛直曲げ	揚力	桁鉛直曲げ対称1次他	0.006	0.008	0.018
				水平曲げ	抗力	桁水平曲げ対称2次他	0.005
		① 空力対数減衰率 合計				0.209	-0.038
② 構造対数減衰率				0.021	0.022	0.020	
①+② 応答対数減衰率				0.230	-0.016	-0.997	