

京都大学大学院 学生員○陳 新中

京都大学工学部 正 員 松本 勝

京都大学工学部 正 員 白石成人

1. はじめに 中央径間2000mを上回る超長大橋梁を実現させるには、より空力安定した補剛桁断面の開発、より剛性の高い構造システムの導入、さらに、各種の制振対策の検討等が不可欠である。そのためには、超長大橋梁のフラッター発生機構に関して、一層の理解が必要となっている。

超長大橋梁においては、構造系の振動数がかかなり接近し、モード形状も強い3次元性を示すため、多くのモードが相互に干渉した多自由度モードフラッターが生じる可能性がある。多自由度モードを考慮したフラッター解析では、解析条件によって、フラッター発生・発達経路が従来の2モード解析結果とは微妙に異なることは多くの研究より報告されている[1, 2, 3]。多自由度モードフラッターの発生機構は、従来の2モードの場合と見かけ上異なり、複雑になっている。そこで、本研究は中央径間2000m級の長大吊橋を対象として、多自由度モードフラッター解析を行い、従来の2モード解析結果と比較し、さらに、補剛桁断面の非定常空気力特性との関連性から、多自由度モードフラッターの発生機構について考察した。

2. 解析条件 対象とした吊橋の固有振動数は表1に示す。フラッター解析にあたって、橋桁部分の自励空気力のみを考慮し、平板翼非定常空気力係数で計算する。そして、静的な変形の影響を無視する。また、解析方法としては、従来の複素固有値解析法の代わりに、拡張した複素固有値問題として、各モード分枝が同時に求められる解析法を用いた[4]。ここで、それらをそれぞれ解析法Aと解析法Bと呼ぶ。

表1 固有モード振動数

モード	$f(\text{Hz})$
B1 曲げ対称1次	0.0648
B2 曲げ対称1次	0.1222
B3 曲げ対称1次	0.1728
T1 捩れ対称1次	0.1560
H2 横たわみ2次	0.1245
(H2*)	(0.1494)

3. 解析結果 1) 異なる解析法の比較: 図1に示したのは両解析法による解析結果の比較図である。両解析法ではかなり一致した結果が得られている。解析法Aは各モード分枝の結果を求める時、それぞれ繰り返し計算が必要であり、計算中に常にターゲットモードを判断せざるを得ない一方、解析法Bは各モード分枝を同時に計算できるので、振動数の近い多自由度モードフラッター解析問題にとって、非常に便利な方法であると言える。

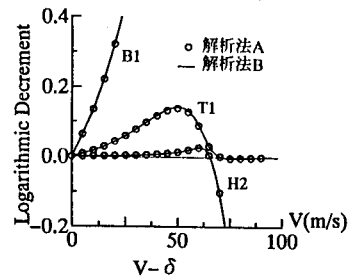


図1 異なる解析法の比較

2) 2モード解析結果との比較: 異なるモードを考慮したフラッター解析結果は図2に示す。多自由度モードを考慮した解析結果では、フラッター限界風速が2モードの場合とほとんど差異はない。しかし、T1モード分枝とは違ったモード分枝、すなわち、橋桁水平たわみとケーブル水平たわみが卓越しているH2モードを起点とした分枝から先にフラッターが生じている。ところが、表2からわかるように、H2とT1モード分枝は振動数の近い風速域では、それ

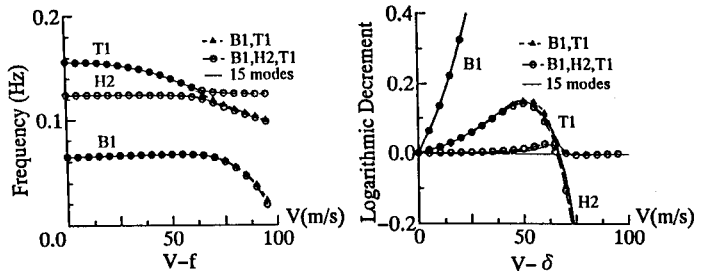


図2 フラッター解析結果

らの特性が入れ替わっていることがわかる。つまり、フラッター発生分枝となっているH2分枝にはT1モード成分が卓越することになっている。さらに、H2モードの影響を検討するため、H2モード振動数を大きくして、フラッター解析の結果は図3に示すが、T1モード分枝からフラッターが生じている。しかしながら、解析条

件の違いによって、フラッター発生分枝が見かけ上異なるものの、H2とT1モード分枝が空力干渉の強い風速域を除けば、H2モード特性の変化にも関わらず、フラッターの発生状況が2モード解析結果とかなり一致していることがわかる。超長大橋梁フ

ラッター解析では、より精度の解析モデルが必要となるが、フラッターの発生機構は本質的には従来の2モード解析と同じであると言える。また、フラッター発生分枝が見かけ上異なるのは、両分枝空力干渉の時の減衰値と関連しているようである。

3) 断面非定常空気力特性との関連性： 図4には、B1とT1モードを考慮した時、フラッター分枝の減衰に対する各モードの寄与を示した。明らかに、T1モード成分は安定効果を果たす一方、B1とT1モード成分の空力連成は不安定効果を果たし、連成フラッターの発生要因となっている。従って、耐フラッター性を向上させるためには、ねじれ振動の安定効果を増やしたり、たわみ連成振動の不安定効果を減らしたりする制振対策が望まれる。図5にはフラッター限界風速に対する断面非定常空気力係数の影響を示した。平板翼断面では、グレーチングなどの対策で、断面回りの変動圧力を減らし、各非定常空気力係数を小さくするのは、フラッター限界風速を高めるにはかなり有効であることがわかる。一方、図6に示したように、全ての非定常空気力係数が平板翼よりかなり小さくなっているあるトラス断面では、何らかの対策でねじれ振動の空力減衰に関連している非定常空気力係数 A_2 をできるだけ安定方向に大きくするのもかなり重要であることがわかる。

4. まとめ 以下に得られた結論を示す。1) 拡張した複素固有値問題として各モード分枝が同時に求められる解析法は、多自由度フラッター解析問題にとってかなり便利な方法である。2) 多自由度モードフラッターの発生機構は従来の2モードの場合と本質的には同じである。3) 耐フラッター性を向上させるためには、ねじれ振動の安定効果を増やすと同時に、たわみ連成振動の不安定効果を減らす制振対策が期待できる。

最後に、ご協力頂いた白土博通助手、ならびに京都大学工学部橋梁研究室の学生一同に感謝します。

参考文献：[1]Agar, T. J. A., Eng. Structures, Vol. 11, 1989, [2]宮田, 山田, 河藤, 第12回風工学シンポジウム, 1992, [3]松本, 陳, 構造工学論文集, Vol. 40A, 1994, [4]Karpel, M., Journal of Aircraft, Vol. 19, No. 3, 1982

表2 各分枝における諸モードの振幅比
(3モード解析)

V (m/s)	ケース1						ケース2					
	H2 分枝			T1 分枝			H2* 分枝			T1 分枝		
	B1	H2	T1	B1	H2	T1	B1	H2*	T1	B1	H2*	T1
50.0	0	100	12	43	17	100	3	100	17	45	23	100
60.0	0	100	37	73	46	100	2	100	14	82	20	100
70.0	161	79	100	50	100	52	2	100	12	144	18	100
80.0	233	45	100	28	100	27	2	100	12	221	18	100

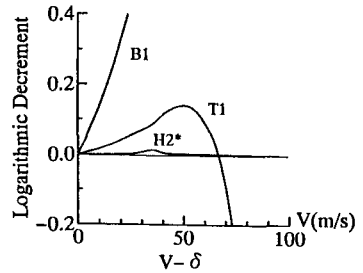


図3 H2モードの影響

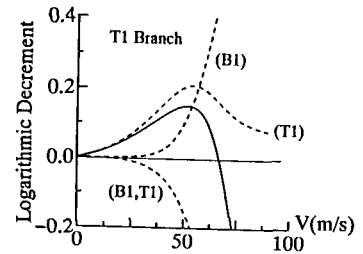


図4 諸モードの寄与

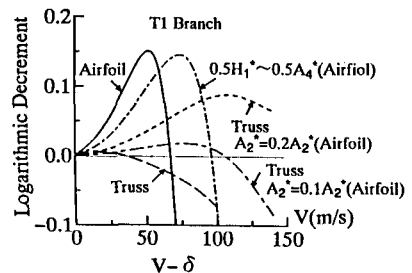


図5 断面非定常空気力係数の影響

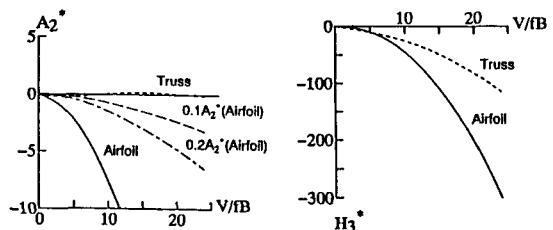


図6 断面非定常空気力係数