長大橋のフラッター解析 Flutter Analysis of Long-Span Bridges

松本 勝
Masaru MATSUMOTO

This paper describes the flutter property of elastic system with multiple modes based on a conventional modal complex eigen-value analysis. The flutter is, in conclusion, almost covered by a fundamental lowest-mode combination of heaving and torsional modes even though the target mode of flutter seems to be a higher mode than the lowest one.

1. まえがき

長大橋のフラッター特性を調べるために、従来より2次元剛体模型によるパネ支持試験(2次元パネ支持試験)が実施されてきた。しかし、最近3次元空力弾性全橋模型により得られたフラッター特性が、必ずしも2次元パネ支持試験結果と一致しないことが指摘され、改めてフラッター問題が注目されている。

2. 長大橋のフラッター解析

2次元パネ支持試験では、モード解析による実橋の桁の、曲げおよびねじれのほぼ同じモード形を持つ最低次モード(B1とT1)の組み合わせが対象とされる。しかしながら、長大吊橋や長大斜張橋の場合、桁・塔・ケーブルの全体系において3次元空間で直交するモードが、桁部のみに注目した場合に、直交しなくなる場合も出てくる。たとえば、桁の純ねじれモードと、桁の水平横たわみにより生じるねじれモードとは、桁部のみについていえば直交しない。従って、厳密な意味では、実橋で生じるであろうフラッター現象が2次元パネ支持試験では再現されないことになる。

一方、2次元試験により得られたAD(aerodynamic derivatives)を用いてフラッター解析を行う場合、対象とするモードの選択に難しさがある。上記のように、桁部の曲げモード形と非直交のねじれモード形が数多くあり、モード形の組み合わせによって、フラッター特性が微妙に変化する。

ある長大斜張橋のフラッター解析結果を表-1に示す。ただし桁のADとしてTheodorsenによる平板空力を用いた。モードB, T, TH, Hは、それぞれ純曲げ、純ねじれ、水平たわみを伴うねじれ、本質的に水平たわみ

(その結果ねじれ変形がわずかに発生)のモードを示す。フラッター開始風速は、モードの組み合わせによって微妙に変化し、あるモードの組み合わせでは、曲げとねじれの最低次モード同志の組み合わせ(B1とT1)で得られる風速値よりもやや小さくなる。

また、3つ以上のモードの組み合わせにおけるフラッターの生じる分枝(起点モード, target mode)は、図-1に示されるように、B1モードではなく、H2モード(本質的に2次の水平たわみでわずかにねじれ変形を伴うモード)となる。しかしながら、そのときのフラッターモードは、基本的にはねじれ1次と曲げ1次モードが卓越したもので、決して水平たわみ2次の卓越したモードにはなっていない。つまり多くのモードを対象とした複素固有値解析で得られるフラッター分枝(起点モード)の解釈に注意を要する。

さらに、桁のねじれ変形に伴って生じる、非定常抗力も、場合によっては、フラッター特性に少なからぬ影響を与えるとの指摘もされており、より精度の高いフラッター特性の評価にはいくつかの課題が残されていると言えよう。

3. まとめ

フラッター特性の1つである $V-\delta$ 曲線において、フラッター発現近傍での δ (減衰)の変化が風速に対して緩やかに変化するような場合には、上記のように、解析条件の違いによって、フラッター限界風速が大きく変化する事も考えられ、十分に留意することが必要である。しかし、多くの場合、従来の曲げとねじれのそれぞれの最低次モードの組み合わせにより得られるフラッター特性でそれほど大きな間違いはないものと言えよう。

表-1 モードの組み合わせによるフラッター発現風速の違い（長大斜張橋の例）

組み合わせたモード	起点モード	発現風速 [m/sec]	無次元風速 [-]	フラッター振動数 [Hz]
B1,T1	T1	118.37	10.96	0.3601
B1,H2,TH1,T1	H2	111.03	10.65	0.3475
B1,H2,TH1,T1	TH1	111.78	10.76	0.3463
B1,H2,TH1,T1	T1	159.02	11.82	0.4484
B1,B2,B3,H2,TH1,T1	H2	111.70	11.62	0.3506
B1,B2,B3,H2,TH1,T1	TH1	113.91	10.57	0.3591
B1,B2,B3,H2,TH1,T1	T1	158.62	11.79	0.4484

図-1 モードの組み合わせによるフラッター特性の違い（長大斜張橋の例）