

I-340 複素固有値解析による曲げねじれフラッター 評価と部分模型実験法に関する考察

大成建設 正員 岩崎 郁夫

(当時横浜国立大学大学院学生)

横浜国立大学 正員 宮田 利雄

横浜国立大学 正員 山田 均

まえがき

超長大とされる規模の吊形式橋梁の耐風安全性を検討する際に、通常の規模の橋梁では発生風速が非常に高風速となるため無視できる曲げねじれフラッターが構造的な特性及び断面形状の特性から動的な限界状態を与える様になる。一昨年来の一連の報告で示した通り、元来固有値問題として処理されてきた曲げねじれフラッター推定問題を吊橋の全体系に拡張すると、吊橋の諸部材に働く空気力はもとより、強風下で吊橋が吹き流される効果、および解析対象とする振動モードの選択が複雑に関連して、発生風速の評価は単純な問題ではなくなる。一方、現実的な耐風設計照査問題としてこの問題を考えるとき、照査の方法論として視点を交え議論し直す必要がある。つまり、二次元部分模型試験を基本としている風洞試験法との関連で推定される風速の位置付等を詰める必要がある。すでに示した一連の研究では、発生するフラッターモードの関連、一致を無視すれば従来の風洞試験法、Seiberg 式は最も低い発生風速を与えるという結果を得ている。本研究ではよく議論される等価質量評価に視点を置き、曲げねじれフラッターの吊橋全体系への複素固有値解析の適用と部分模型試験結果の関係について考察を加えた。

解析手順及び解析対象

解析手順は一昨年来の報告で示した方法を踏襲している。要約すれば次のようである。

- ①吊形式橋梁全体系は三次元骨組みモデルに置き換える。
- ②作用空気力は、桁の曲げとねじれについては翼の空気力、桁の横曲げとケーブルについては準定常空気力とした。
- ③強風により吹き流された状態、そして吹き流されない状態それぞれについて複素固有値解析によりフラッター発生風速を求める。具体的には換算振動数

をパラメータとして所要のフラッター発生風速が得られるまで換算振動数が ∞ に相当する無風速の状態を得られる固有振動モードを起点として、解析を繰り返す。

等価質量の考え方は設定された一つのモデルと考えるべきで、本研究のようなフラッター発生状態で固有振動モードが無風時の固有値解析で得られる固有振動モードから変化する場合に適用するのは若干無理がある。ここでは、かりに等価質量の算定方法と同じ考え方で解析した場合を問わず固有振動モードについて“等価質量”を算定しその変化を追うこととした。

解析対象とした吊形式橋梁は2000mの中央径間と特色ある箱桁の補剛桁を持つ超長大吊橋と同じ吊橋で補剛桁をトラス桁とするもの2形式である。具体的な以上二つの形式の解析モデル上の違いは桁と主ケーブルの諸剛性とせん断中心位置に置いた桁剛性を代表する梁とハンガー取り付け点の位置の関係の2点である。

解析結果の検討

1) フラッター風速の推定 立体骨組みフラッター解析の結果を表1に示す。トラス桁の場合と箱桁の場合では最も低いフラッター限界風速を与える起点モードが異なる。トラス桁の場合には T_1 と称するケーブルの振動が支配的と考えられる固有振動モードを起点とする分枝でフラッター限界風速が与えられる一方、箱桁の場合では T_2 と称する通常最低次ねじれモードとして選択される固有振動モードを起点とした分枝でフラッター限界風速を与えている。起点モードについては箱桁の場合にはいわば、“正常”であり、トラス桁の場合には“異常”である。つまり、箱桁の場合には従来法で設定している解析の前提が保たれているが、トラス桁の場合にはフラッター推定のため選択されるであろうねじれモード

と発生するフラッター発生モードが結びついていない。

2) "等価質量、等価極慣性モーメント" の変化

さて、以上のフラッター振動モードについて"等価質量、等価極慣性モーメント"を計算すると表2のようになる。ここでの"等価質量、等価極慣性モーメント"の定義は一般化質量を桁の振動モードの大きさの自乗を桁について積分したもので除した値である。これをSelberg式に適用しフラッター限界風速を求めると表3のような結果が得られた。解析

した2形式を見る範囲では従来法の解析の前提を保つとした箱桁については等価質量を用いた解析結果のあてはまりはおおむね良好である。しかし、トラス桁の場合については相変わらずさきに示した関係は改善されないままである。また、等価質量を考慮した場合1割程度ではあるが推定値がフラッター解析値を上回る結果を与えており、フラッター照査の上では不適當であろう。

参考文献 太田ほか、土木学会第42回年講概要集

表1 立体骨組みフラッター解析結果 注) 曲げモードは最低次の曲げモードを用いている。

桁形式	分枝	従来法 Selberg	立体骨組みフラッター解析		
		モードは立体骨組み解析(注)	強風による横たわみ無視		横たわみ考慮
			翼の非定常空気力	翼の非定常空気力+付加空気力	
トラス桁	T ₁	63.3 m/sec	71.5 m/sec	73.7 m/sec	68.0 m/sec
	T ₂	71.9 m/sec	79.8 m/sec	発生せず	発生せず
箱桁	T ₁	63.3 m/sec	発生せず	発生せず	発生せず
	T ₂	81.3 m/sec	81.2 m/sec	81.5 m/sec	78.2 m/sec

表2 等価質量、等価極慣性の変化

		従来法	等価質量、等価極慣性モーメント				
			無風時			フラッター発生時	
			B ₁	T ₁	T ₂	翼空気力	付加空気力
トラス桁	質量 (ts ² /m ²)	4.52	4.51			7.12	6.66
	極慣性 (ts ²) * 10 ³	1.26		17.3	1.62	4.19	4.64
箱桁	質量 (ts ² /m ²)	4.45	4.23			5.12	5.11
	極慣性 (ts ²) * 10 ³	1.01		128.	0.98	5.59	5.64

表3 フラッター限界風速の比較 注) 曲げモードは最低次の曲げモードを用いている。

		従来法 Selberg式による推定（注）			立体フラッター解析	
固有振動数		エネルギー法	立体骨組み法		平板翼空気力のみ	同左＋変形考慮
質量		従来法		等価質量		
トラス桁	T ₁		63.3 m/sec	121.9 m/sec	71.5 m/sec	68.0 m/sec
	T ₂	66.1 m/sec	71.9 m/sec	76.6 m/sec	79.8 m/sec	発生せず
箱桁	T ₁		63.3 m/sec	210.4 m/sec	発生せず	発生せず
	T ₂	75.0 m/sec	81.2 m/sec	79.9 m/sec	81.2 m/sec	78.2 m/sec