

(1-26) 長大吊形式橋梁に発生する連成フラッター評価に与える振動モードの影響

横浜国立大学大学院 学生員 荒居 祐基

横浜国立大学工学部 正 員 宮田 利雄

〃 正 員 山田 均

まえがき

規模の大きい吊形式橋梁では空気力学的な振動現象に対する安定性を照査しなければならないことは周知の通りである。空力的な発散振動現象は橋桁の曲げ及びねじれの自由度の組合せに対応して曲げ1自由度フラッター、ねじれ1自由度フラッターそして曲げねじれ連成フラッターの3種類が橋桁の形式に応じ観測され、特に長大吊形式橋梁で用いられることが多い桁高の小さい箱桁、充実率の小さいトラス桁の場合には曲げねじれ連成フラッターが発生することがある。部分模型を用いた風洞実験による照査が行なわれることを考慮し、本研究では部分模型実験での相似則の誘導とそこでの振動モード性状の発達風速推定に関する寄与の検討を行なった。

相似則の誘導

曲げねじれ連成フラッターは、曲げ及びねじれそれぞれの運動方程式に対し空気力項として曲げ振動のねじれモーメントへの寄与及びねじれ振動の曲げ空気力（揚力）への寄与をさらに考慮した連立した運動方程式の固有値問題の解として求められるとされている¹⁾。空気力の寄与がありフラッター振動モードは無風時に解析できる通常の固有振動モードとも異なるものとなり発達風速に与える寄与も小さくないことが報告されている²⁾が、本研究では従来実施されている方法に乗り取りフラッター振動モードとしては無風時の固有振動モードを用い従来法の範囲内での相似則を導くこととした。すなわち、2次元と3次元の連成フラッター方程式を解き、それぞれ得られる限界風速を等しくするような相似条件として次のような要件が誘導される。

(I) 等価質量、等価極慣性モーメントを相似する。

(II) 曲げとねじれの固有振動数比を等しくする。

(III) 構造減衰係数を等しくする。

(IV) $(\int_L \phi_B \phi_T dx)^2 / (\int_L \phi_B dx \int_L \phi_T dx) = 1$ を満足する。

ここで ϕ_B はフラッター振動モードとして採用した曲げ振動モード、 ϕ_T はフラッター振動モードとして採用したねじれ振動モードを示す。通常の風洞実験では上記要件の内(II)と(III)は相似されており、(I)は拡張された意味で相似されているが、(IV)については通常なりたらず考慮されていない。

振動モードの影響

上記要件の内要件(IV)についてフラッター運動方程式での寄与を、いわゆる超長大とされる3種類の吊橋及び斜張橋について調べることにした。対象とした3橋梁は表1に示すスパン割のものである。ここで、要件IVを $(\int_L \phi_B \phi_T dx)^2 / (\int_L \phi_B dx \int_L \phi_T dx) = D$ と置き、D値を曲げ振動モードとねじれ振動モードの非相似性パラメータとしてフラッター限界風速に対する寄与を求めることとする。D値の寄与は $D = 1$ を仮定した場合にフラッター限界風速（つまり、2次元部分模型実験で得られるフラッター限界風速とも対応する）との比で求めることにすると、通常用いられるU-g法を適用することにより、D値とフラッター限界風速との関係が図1のように求められる。曲げとねじれの振動モード形状の相違が大きくなり、D値が1より小さくなるにつれ限界風速が大きくなっていることが分かる。この範囲では振動モード形の非相似性の影響は少なからずあることになり、部分模型風洞試験で得られるフラッター限界風速を曲げとねじれの固有振動モード性状に応じ補正する必要があることになる。そこで、先の3種類の橋梁について固有振動モード解析を行ないD値を求める積分を実施してみると表1中の中央の欄の値のようになる。さらに、これ

らの値を図1にあてはめると表1中の右の欄のD = 1の場合に得られる限界風速に関する増加率を得ることができる。これらによれば補正量は高々5 %程度であり、振動モード形の非相似性によるフラッター限界風速の変化はそれほど大きくないことが判明した。また、有効な程度の補正量を得るためには振動モードの非相似性パラメータD値をかなり小さくする必要があるが、種々の振動モードを想定しても10 %程度の限界風速の増加しか見込めないことも分かった。

結論

曲げねじれフラッターに関する部分模型実験での相似則の誘導と振動モード非相似性の発進風速推定に関する寄与の検討を行なった。その結果、次のような知見を得た。

- 1) 従来法による風洞実験結果は振動モード性状の影響を考慮していないという曖昧さを持つ。しかし、本研究の試算によれば振動モードを考慮した場合の補正量は高々数%であり、曲げねじれフラッターの耐風設計上の位置づけや種々の点の精度を考慮すると無視しても差し支えない。
- 2) 振動モードを曲げ振動モードとねじれ振動モードとで非相似にし、それを耐風安定化の手段とするとのアイデアもあるが、本研究で示したD値の寄与の小ささを考慮すると単一の方法としては効率的ではない。また、固有値問題としてのフラッター方程式の扱いを考慮すると従来法による細かな検討には限界があり、一層の詳細な検討が必要である。

参考文献

- 1) 鷺津久一郎、空力弾性学、共立出版、1960
- 2) 宮田利雄、太田博文、超長大吊橋のフラッター・ガスト応答に関する考察、第9回風工学シンポジウム論文集、1986・12

表1 解析対象橋梁とD値および限界風速補正值

解析橋梁	スパン割	振動数比*	D 値	限界風速比
① 2000m級吊橋（箱桁案）	976+1980+976	2.52	0.81	+5%
② 2000m級吊橋（トラス案）	〃	2.40	0.92	+3%
③ 500m越え斜張橋	255+510+255	4.11	0.80	+5%

* 振動数比=フラッターモードとして選択されたねじれ振動数/曲げ振動数

図1 U-g法で求めた限界風速比と振動モード非相似性パラメータDとの関係

