

徳島大学工学部 正員 宇都宮英彦
徳島大学工学部 正員 長尾 文明

(株)横河ブリッジ
四国建設コンサルタント(株)

○金澤 宏明
佐藤 悦史

1.はじめに 近年、橋梁は長大化、軽量化、複雑化により風に対して敏感に応答する傾向にある。よってこれまでの2次元的な耐風応答予測では精度に問題が生じることもあり3次元的な解析が必要になることもある。したがって、そのような背景において、計算機器の発達に伴って複雑な構造物でも構造特性を近似させた簡易モデルを用いこれまでの空気力学の理論を拡張することによって、ある程度実現象に近づいた解析が行えるようになってきている。しかし反面、構造特性、空気力などすべてを精度よくモデル化することはきわめて複雑、かつ困難であると言える。そこで、橋梁のフラッター特性に大きく影響を及ぼす構造特性パラメータをあらかじめ知るにより、そのパラメータを重視し、精度よく近似することによって、フラッター解析の精度や効率を上げることが可能である。つまり、フラッター特性に影響のある部分およびその影響の大きさが把握できれば、解析および試設計もより合理的に精度よく行えると考えられる。このような背景をふまえ、本研究では長大吊橋のモデル化に際し各構造部分のフラッターに与える効果を調べ、試設計の合理化を示唆するとともに、耐風性を向上させる手段を見いだすべく解析を行った。また、本研究では長大吊橋において比較的低風速で発生する連成フラッターに着目して解析を行った。

2.解析方法 本解析では、構造物の振動特性を示した運動方程式の外力項に非定常空気力を導入することによって、フラッターに対する応答特性を求める。理論的には、マトリックス表示した変形法の運動方程式に自励空気力として非定常空気力係数、および準定常理論による空気力係数を導入し、Fig.1のような骨組モデルを用いた有限要素法による固有値解析で算出された固有振動モードを用いて運動方程式を一般化する。そして、その運動方程式を繰り返し固有値計算することによって、フラッター振動数、および減衰率を求める。ここで、固有値は減衰項も含むため複素数で表し、運動方程式に対して繰り返し計算法(QR法)により複素固有値を求める。その複素固有値より各モード、各風速に対するフラッター振動数、対数減衰率が求まり風速、対数減衰率をプロットすることによりフラッター発現風速が求まる¹⁾。

3.解析結果 本研究では、明石海峡大橋の構造諸元を参考に基本モデルを作成し、ウインドシュー部、ケーブル、桁などのフラッターに与える影響や、ケーブルシステム導入の効果について解析を行った。ここでは紙面の都合上、その中の重心位置の移動によるフラッター応答解析への影響についての解析結果を述べる。Fig.2のような桁高14mの桁断面簡易モデルを用いて重心位置を基本モデルである $h=3.017\text{m}$ から $h=-3.0\text{m}$ まで移動させた場合のフラッター応答特性の変化を調べた。ここで、現実的に重心位置を変えるため

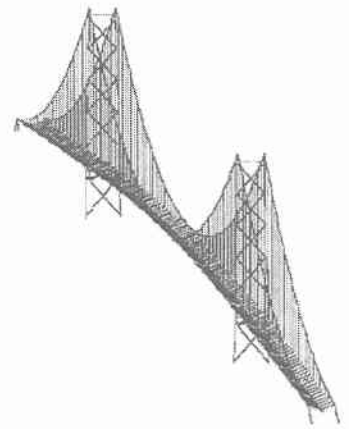


Fig.1 立体骨組モデル

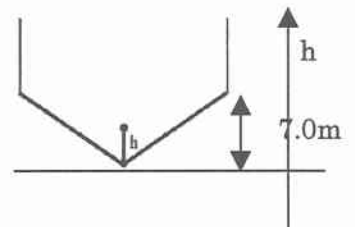


Fig.2 重心と回転中心

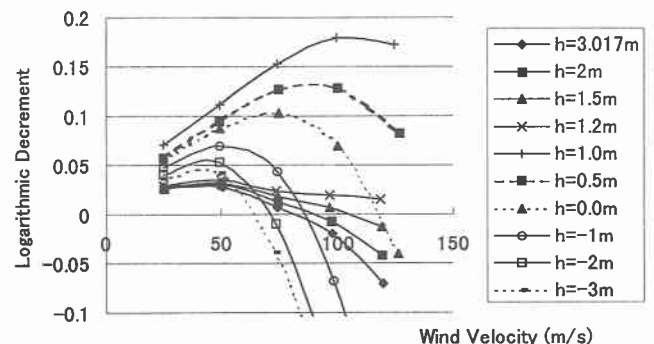


Fig.3 重心位置を変化させた
フラッター解析結果

には、中路橋、下路橋など路面位置を変化させる必要があり桁断面が変わるので非定常空気力も変化するが、単純に重心位置の影響を調べるという意味で同一の非定常空気力を使用した。解析の結果、Fig.3より $h=3.017\text{m}$ から $h=1.2\text{m}$ までは、重心を回転中心に近づけることによって耐風性は向上している。しかし、 $h=1.0\text{m}$ から下方に重心を移動させるとそれ以降、極端にフラッター特性は悪化し、 $h=-2.0\text{m}$ 付近から下方に位置すると基本モデルよりも発現風速が低風速側となりフラッター特性が悪化している。つまり、 $h=1.0\text{m}$ 付近を境に大きくフラッター特性が変化していることがわかる。これは、フラッターの発生する振動モードがねじれ対称1次卓越モードから水平対称2次卓越モードへ変化したためである。また、Fig.4より無風時の固有振動数は、重心位置が下方に移動するにつれ、減少する傾向にある。やはり $h=1.0\text{m}$ 近傍でのモードの変化により固有振動数も大きく変化している。

その間のフラッターが発生する振動モードに注目し、Fig.5に示すようにねじれ変位で比較すると、 $h=3.017\text{m}$ の基本モデルでは、中央径間の振幅が大きく側径間の振幅が小さいねじれ対称1次卓越モードで連成フラッターが発生している。しかし、重心位置が下方に移動するにつれ水平曲げ対称2次卓越モードにおいてねじれ変位成分が増加し、逆にねじれ対称1次卓越モードにおけるねじれ変位成分が低下している傾向が見られた。 $h=-3.0\text{m}$ においては、完全にねじれ変位成分は、水平曲げ対称2次卓越モードにしか見られず、フラッターもこのモードで発生している。つまり、連成フラッターの重要パラメータとして挙げられるねじれ変位成分は、ねじれ対称1次卓越モードから、水平曲げ対称2次卓越モードに移行していることがわかる。 $h=1.0\text{m}$ 近傍における耐風性の安定化は、連成する振動モードがねじれ対称1次モード以外にも水平2次対称モードが新たに連成することに起因すると考えられる。

5.結論 結論として、重心位置の移動、ケーブルシステムの導入などにより振動モードの水平変位成分を変化させることによるフラッター応答特性への影響は比較的大きいと言える。また、連成フラッターにおいて水平2次対称モードも連成させることによって耐風安定性は向上させることができる。

参考文献

1) 田中 洋：「非定常空気力を考慮した長大橋の耐風安定性に関する研究」 平成5年1月

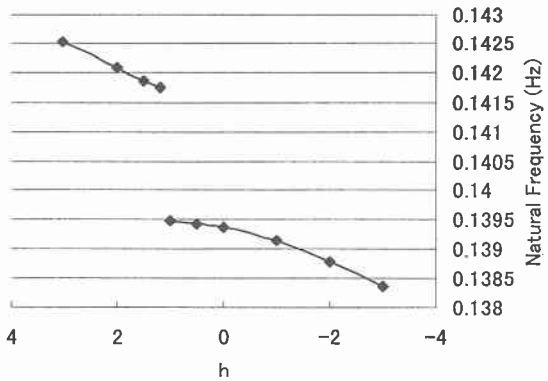


Fig.4 重心位置移動による固有振動数の変化
水平たわみ卓越モード ねじれ卓越モード

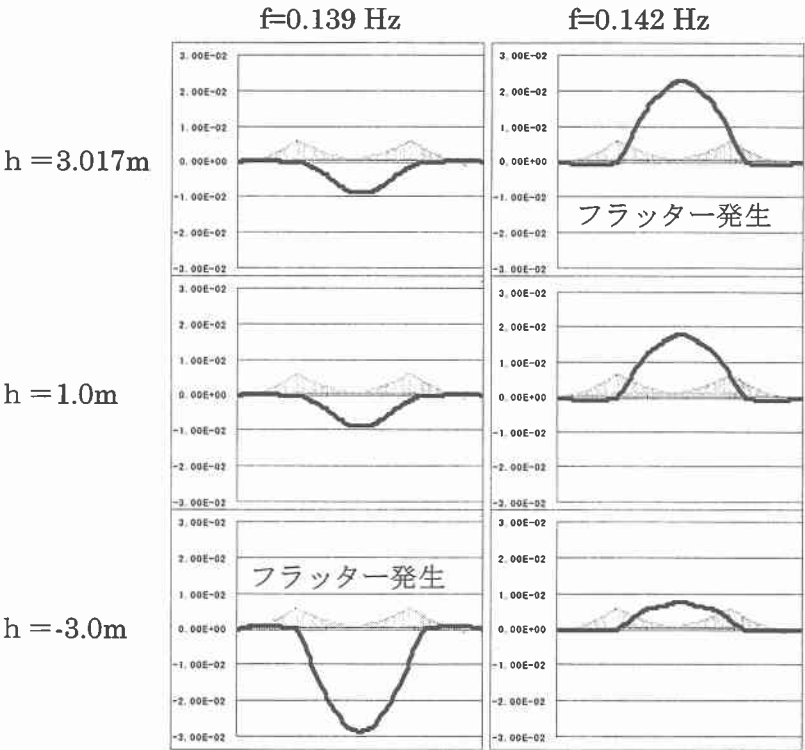


Fig.5 重心位置の移動によるねじれ変位の変化