

I - 690

超長大吊橋のフラッター制御に関する考察

住友重機械工業(株)（研究当時； 横浜国立大学大学院） 正員 風間 浩二
 横浜国立大学工学部 正員 宮田 利雄
 横浜国立大学工学部 正員 山田 均

1. まえがき

明石海峡大橋を超える長大支間をもつ、いわゆる超長大橋についてはこれまでも種々の検討がなされてきた。これらの検討は大きく次の2つに分けられるように思われる。1つは桁や主塔の剛性付加による振動数の上昇を狙ったもの、もう1つは桁形状の大幅な変更による非定常空気力特性の改善を狙ったものである。

本論はこの超長大橋の耐風安定性、特に耐フラッター特性を考える際に、その長大構造の特性を勘案した合理的な耐風安定化対策が如何にあるべきかを探ろうとしたものである。具体的には、上述のような大幅な構造システムや桁形状の変更を行わずに、既往の設計の延長上の吊橋に対してフラッター解析を行い、その風作用下の振動モード形に着目し、空気力が吊橋に与える仕事の低減を図ることに力点を置いた設計法について考察する。

2. 解析手法

本論文では、柔構造化の進んだ長大吊橋の風作用下の振動挙動を精度よく求めるために、対象となる吊橋を立体骨組みモデルとして取り扱い、これに作用する非定常空気力を含めた空力弾性システムの安定／不安定を複素固有値解析によって求める直接フラッター解析手法¹⁾を用いた。さらに、長大構造の特性を勘案した耐風安定化対策の効果を考察するために、フラッター解析結果として得られる複素振動モード形と非定常空気力とから、空気力が吊橋に与える仕事を橋軸方向分布として次のように導いた。

$$W_L = \oint L_R dy \quad \dots(1) \quad W_D = \oint D_R dz_R \quad \dots(2) \quad W_M = \oint M_R d\theta_R \quad \dots(3)$$

ここに、 W ；仕事、 L ；揚力、 D ；抗力、 M ；空力モーメント、 R ；実数部、 y ；鉛直方向変位、 z ；水平方向変位、 θ ；ねじれ変位である。本評価式によって、フラッター発生時の加振／減衰空気力の橋軸方向分布と、風作用下の振動モード形とが結びつけられる。

3. 長大吊橋のフラッター特性

支間の長大化に伴うフラッター発振風速の低下とこれに対する桁剛性の増加の効果（解析には、平板翼空気力を使用）を図1に示す。支間の長大化に伴って、フラッター発振風速は大幅に低下している。また、単純な桁剛性の増加対策の効果は、吊橋全体の剛性に占める桁剛性の割合が相対的に低下するため、支間の長大化に伴って低下している。このように、超長大吊橋においては耐風安定性が大幅に低下し、その安定化対策も従来の振動数向上のみを勘案した剛性増加対策では効果が低減する。

4. 風作用下の振動モード形を考慮した耐風安定化対策

長大吊橋に発生するフラッターは前述の通りその発振風速が大幅に低下する一方、その風作用下の振動モード形も複雑になり、同一の非定常空気力が作用しても、これが振動系に及ぼす効果として加振力となるか減衰力となるかは振動モード成分間の位相差に依存する。この点に着目し、橋軸方向に分布する加振／減衰空気力を風作用下の振動モード形を制御することによって最適化すべく、そのフラッターモード形を勘案した耐風安定化対策（ここでは図

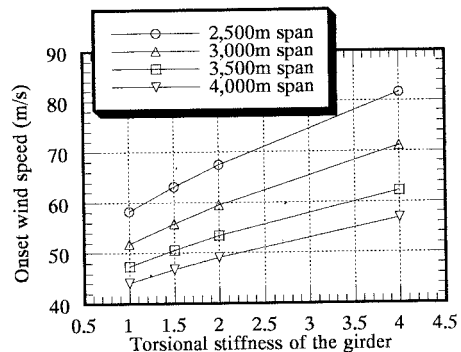


図1 桁剛性の増加対策の効果

2に示す補剛桁重心の下方移動対策）の効果を検討する。本解析では、空気力としてトラス補剛桁の観測空気力²⁾およびケーブルに作用する準定常空気力を用いた。両モデルのフラッター解析の結果(風速-減衰率曲線)を図3に示す。重心の下方移動によって、フラッター発振風速が大幅に向上している。

耐風安定性の改善効果の分析のために両モデルの風作用下の成分毎の加振力分布を図4,5に示す。また、各成分の橋軸方向の総和は、基本モデルでは風速の上昇に伴い桁の鉛直、ねじれ及び水平成分が加振側へと移行し、これらの和がケーブルに作用する減衰力を上回った風速でフラッターが発生する。フラッター風速以降は鉛直成分の加振空気力が支配的となってフラッターが発達していく。一方、重心の下方移動モデルでは基本モデルに比べ、桁の鉛直成分に顕著な差が観られる。基本モデルでは、風速60m/s 辺りから加振側の値を持つようになる鉛直成分が、重心下方移動モデルでは風速 100m/s 程度まで減衰側になっている。また、基本モデルと比べ、重心下方移動モデルでは抗力成分の加振力の割合が大きくなっていることが特徴的である。

5. まとめ

超長大吊橋では、フラッター特性は大幅に低下し、これに対する旧来の安定化対策もその効果が低減することが明らかになった。これら超長大吊橋における耐風安定化対策は、従来からの振動数の上昇のみではなく、構造・空気力相関システムとして見た、風作用下の振動モード形を勘案した総合的な励振空気力の低減とすべきであることが明らかとなり、試設計モデルに対する検討からその有効性が確認された。この振動モードの制御を行う際、本論で示した空気力が構造物に為す仕事を求めることにより、その効果の定量的評価が可能となった。

参考文献

- 1) 宮田、山田、太田、立体骨組み解析法による横たわみしたトラス補剛吊橋の曲げねじれフラッター解析、土木学会論文集、No.404/1-11, pp.267-275,1989.
- 2) 本州四国連絡橋公団、大型風洞試験作業班検討報告書、平成5年3月

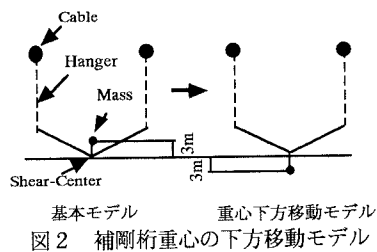


図2 補剛桁重心の下方移動モデル

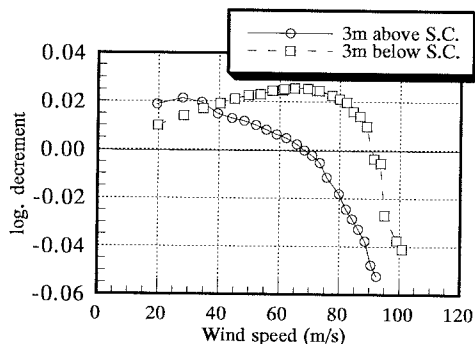


図3 重心位置の移動の効果

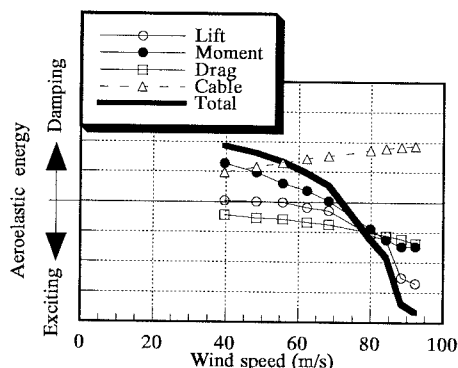


図4 空気力が為す仕事の分布 (基本モデル)

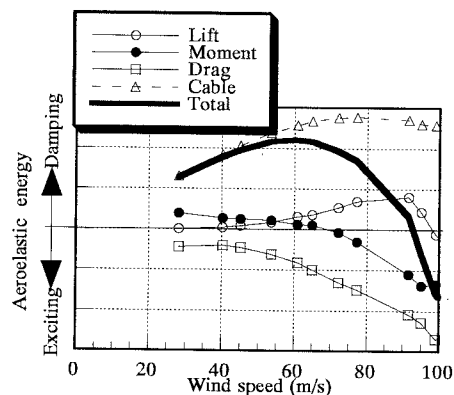


図5 空気力が為す仕事の分布 (重心移動モデル)