

超長大3本ケーブル吊橋のメインケーブル断面積比がフラッター特性に及ぼす影響

NKK基盤技術研究所 正会員 村上 琢哉

NKK基盤技術研究所 正会員 武田 勝昭

NKK橋梁・港湾建設部 正会員 高尾 道明

1. まえがき 中央径間が2000mを超える超長大橋では、十分なフラッター限界風速を確保することが最重要課題の1つとして挙げられる。筆者らは、3本のメインケーブルにより補剛桁を支える吊橋形式（3本ケーブル吊橋）について検討を行っており、さらに、景観上の配慮から、従来方式であるクロスステイの錯綜を生じさせないような3本ケーブル吊橋独自のケーブルシステムとして、斜めステイ方式（図-1参照）を検討した¹⁾。ここでは、3本ケーブル吊橋に斜めステイを付加する方式において、メインケーブルの断面積比がフラッター特性に及ぼす影響を検討した。

2. 解析条件 想定吊橋の構造諸元を表-1に示す。想定吊橋には、ケーブルの許容応力度を100kgf/mm²とした、サグ比1/9、中央径間2500m、側径間1250mの吊橋を選定した。フラッター解析条件を表-2に示す。解析手法はモード組合せ法を用い、取込モード数は、ステイ設置により固有モードが複雑になることを考慮して、低次100モード全てとした。本検討では、無風時の固有モードを用いて、桁を平板翼と想定した場合、有風時（風速80m/s）のモードを用いて、主桁を偏平1箱桁断面（桁幅41m、桁高7m）とした場合を検討した。1箱桁断面については、非常定空気力係数に実測値を用いており、静的ねじれ角の影響も検討した。検討対象の解析モデルは、3本ケーブルのメインケーブル断面積比を、断面積比1:2:1（センターケーブルが2）と断面積比1:18:1の2種類について、それぞれに斜めステイを付加した方式、その比較対象として従来の2本ケーブル吊橋にクロスステイを付加する方式の3形式とした。斜めステイ、クロスステイについては、中央径間部L/4点（主塔から中央径間側625mの位置）と側径間中央部の合計4カ所に、断面積0.055m²のステイを設置した。

3. 解析結果および考察 フラッター解析結果を、従来方式（2本ケーブル吊橋+クロスステイ方式）と比較して、表-3に示す。これより、断面積比1:2:1の3本ケーブル吊橋に斜めステイを付加する方式では、従来方式と同程度のフラッター発現風速を有することが分かる。一方、断面積比1:18:1については、桁に作用する空気力を平板翼理論値と想定した場合（Case A）には、若干フラッター発現風速が高

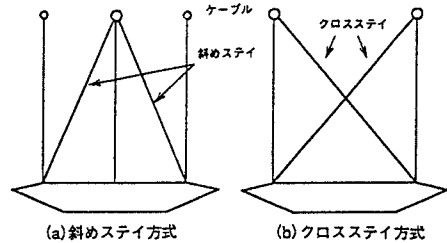


図-1 スティの設置方法

表-1 想定橋梁の構造諸元

項目	構造諸元
形式	構造形式 3径間2ヒンジ吊橋
	支間長 1,250 + 2,500 + 1,250m
	サグ比 1/9
主ケーブル	中心間隔 35.5m
	断面積 1.2 m ² /Br
補剛桁	断面積 1.3 m ² /Br
	鉛直曲げ剛性 12.0 m ⁴ /Br
	水平曲げ剛性 160 m ⁴ /Br
	ねじれ剛性 26 m ⁴ /Br
	極慣性 336.7 t f・s ² /Br
死荷重	吊橋造部 24 t f/m/Br
	ケーブル 11 t f/m/Br
主塔	塔高 369.5 m
	ケーブル理論頂 TP+380.0m

表-2 フラッター解析条件

項 目	解 析 条 件			
解析手法	モード組合せ法。 取込モード：低次100モードを全て取り込む。			
空気密度	0.125 kgf・s ² /m ⁴			
構造減衰	全モード δ=0.02			
空気力係数	主桁：（振動方向）			
		鉛直	ねじれ	水平
空	L	○	○	×
気	M	○	○	×
力	D	●	●	△
○：非常定空気力（平板翼、実測空気力共） ●：非常定空気力（実測空気力のみ） △：非常定空気力×：考慮せず ケーブル：非定常抗力、揚力を考慮。				
準定常空気力	主桁： C _D =0.75 A _n =7.0 m ² /m/Br ケーブル： C _{sc} =0.7 A _n =2.0 m ² /m/Br			
その他	計算時の桁幅は、B=41mとした。			

表-3 フラッター解析結果

Case	解析条件			フラッター発現風速(応答振動数)		
	使用モード	桁空気力		2本ケーブル吊橋	3本ケーブル吊橋+斜めスウェイ方式	
		空気力	迎角特性	+クロススウェイ方式	断面積比1:2:1	断面積比1:18:1
A	無風時	平板翼	無視	74m/s (0.099Hz)	74m/s (0.093Hz)	76m/s (0.089Hz)
B	有風時	桁高7m	無視	68m/s (0.116Hz)	68m/s (0.129Hz)	53m/s (0.145Hz)
C	(V=80m/s)	1箱桁	考慮	66m/s (0.134Hz)	66m/s (0.131Hz)	52m/s (0.146Hz)

(備考) スウェイ設置位置は、中央径間L/4点と側径間中央部の計4ヶ所

くなるのに対して、桁高7m 1箱桁の実測空気力を用いた場合（Case B、C）には、発現風速が大幅に低下する。静的ねじれ角の影響はほとんど現れていないことから、この原因は、平板翼と実測された非定常空気力が異なる事に起因するものと判断できる。各空気力成分が、フラッター発現風速付近において対象橋梁にした仕事量を、Case A、Cについて図-2に示す。Case A では、3本ケーブル吊橋において、桁の抗力成分が成す仕事（減衰力）が小さくなり、それに対応して桁のモーメント成分が成す仕事（加振力）も減少していることが分かる。抗力成分は、水平たわみに伴う準定常空気力であることから、その減少はフラッターモードの水平たわみ量の減少によるものである。一方、モーメントが成す仕事量については、非定常空気力の連成項が加振力、非連成

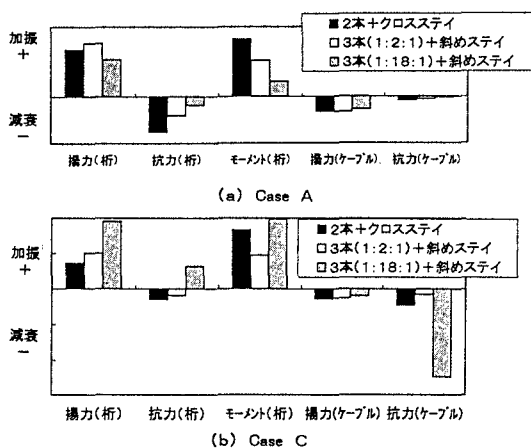


図-2 各空気力成分が成す仕事量（フラッター発現風速付近）

項が減衰力となるが、フラッターモードにおけるたわみに対するねじれの比が3本ケーブル吊橋の方が大きいことから、非連成項の減衰力が大きくなったことが一因であると判断される。以上より、3本ケーブル吊橋に斜めスウェイを付加する方式は、2本ケーブル吊橋と同等の耐風性を確保するものの、フラッターモードは異なっており、桁の非定常空気力の寄与度は大きいことから、桁の非定常空気力の影響を受けやすい構造形式であることが示唆される。一方、Case C では、2本ケーブル吊橋、断面積比1:2:1の3本ケーブル吊橋については、Case A と同様の仕事量分布を示しているものの、断面積比1:18:1では全く異なっており、フラッターモードが全く異なっていることが確認できる。ケーブルの抗力に伴う空力減衰が大きい、これは桁両端のメインケーブルの振動が大きいことに起因している。

4. まとめ 3本ケーブル吊橋に斜めスウェイを付加する方式において、メインケーブルの断面積比がフラッター特性に及ぼす影響を、フラッター解析により検討した。その結果、本方式は、主桁の非定常空気力の影響を受けやすいことが明らかとなった。センターケーブルにケーブルを集中させた場合には、桁断面によっては、全く異なったフラッターモードになり、フラッター発現風速が大幅に変わることもあるため、慎重な対応が望まれる。今回検討した偏平1箱桁断面との組み合わせでは、断面積比1:2:1であれば、2本ケーブル吊橋にクロススウェイを付加する方式とほぼ同等の耐風性を有している。

なお、本研究は、建設省土木研究所、本州四国連絡橋公団、（財）土木研究センターおよび民間企業8社からなる共同研究「耐風性および経済性に優れた超長大橋の開発」の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 村上、武田、藤澤、高尾：「3本ケーブルを有する長大吊橋のフラッター特性に関する検討」土木学会第51回年次学術講演会、pp.404-405、平成8年9月