

I - B71

超長大3本ケーブル吊橋の耐風性に関する考察

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）ならびにその形式特有のケーブルシステムとして斜めステイを付加する方式（図-1 参照。以下、DS 方式）の検討を行っており¹⁾、昨年度の検討では、本方式が、主桁の非定常空気力の影響を受けやすいことが示唆された²⁾。ここでは、DS 方式と1箱桁断面形状とを組み合わせた場合のフラッター特性を検討した。

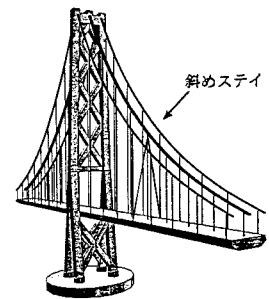
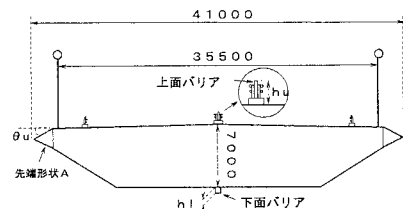


図-1 DS方式

2. 解析条件 検討対象吊橋は、ケーブルの許容応力度を 100kgf/mm^2 とした、サグ比 $1/9$ 、中央径間 2500m、側径間 1250m の吊橋を想定しており、DS方式のメインケーブル断面積比は $1:2:1$ （桁中央が2）とした。今回検討した1箱桁断面形状を図-2に示す。検討した3断面は、基本断面（以下、箱桁A）、上面バリア、下面バリアを設置し、桁先端フェアリング角度を変更した箱桁B、箱桁Cである。いずれの断面もばね支持試験を実施済みであり、箱桁B、箱桁Cは、箱桁Aに比べて、フラッター発現風速は約2割高い³⁾。フラッター解析条件を表-1に示す。解析手法は低次100モードを全て取り込んだモード組合せ法を用いており、取り込みモードは有風時（風速 80m/s ）のモードを代表モードとして全ての風速域で用いた。桁に作用させる静的空気力、非定常空気力は実測値を用いており、桁の静的ねじれ変形による空気力の変化も考慮した。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（以下、CS方式）も検討した。斜めステイ、クロスステイの断面積は断面積 0.055m^2 とし、設置位置は中央径間部 $L/4$ 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カ所とした。



断面	$\theta u(\text{deg.})$	$h_u(\text{m})$	$h_l(\text{m})$
箱桁A	27.3	—	—
箱桁B	32.3	1.5	1.1
箱桁C	37.3	1.5	1.1

（備考）—：設置していないことを示す。

図-2 1箱桁断面形状

3. 解析結果および考察 フラッター解析結果を、CS方式とDS方式両者比較して、表-2に示す。桁形状を比較すると、箱桁B、箱桁Cの方が、箱桁Aよりもフラッター発現風速が2割程度高くなっており、ばね支持試験結果とほぼ同程度であることがわかる。また、CS方式とDS方式とを比較すると、箱桁B、Cと組み合わせた場合には、DS方式のフラッター発現風速が高く、 80m/s 以上となっていること、フラッター発生時の応答振動数はほぼ同じであることがわかる。箱桁Bと組み合わせた場合の、フラッター発現風速付近における各空気力成分が対象橋梁にした仕事量

表-1 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 低次100モードを全て取り込む。																				
空気密度	0.125 kgf s ² /m ⁴																				
有風時静的変形	考慮																				
構造減衰	全モード δ=0.02																				
空気力係数	主桁：(振動方向) <table><tr><td></td><td>鉛直</td><td>ねじれ</td><td>水平</td></tr><tr><td>空気力</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td>○</td><td>○</td><td>×</td></tr><tr><td>M</td><td>○</td><td>○</td><td>×</td></tr><tr><td>D</td><td>×</td><td>×</td><td>△</td></tr></table> ○：非定常空気力 △：準定常空気力 ×：考慮せず		鉛直	ねじれ	水平	空気力				L	○	○	×	M	○	○	×	D	×	×	△
	鉛直	ねじれ	水平																		
空気力																					
L	○	○	×																		
M	○	○	×																		
D	×	×	△																		
	ケーブル： 準定常抗力、揚力																				
非定常空気力	桁高7m1箱桁断面の実測値																				
準定常空気力	主桁： C _{sa} =0.75 An=7.0m ² /m/Br ケーブル： C _{sc} =0.7 An=2.0m ² /m/Br																				
その他	計算時の桁幅は、B=41mとした。																				

キーワード 超長大橋、ケーブルシステム、斜めステイ、フラッター解析

〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町1-1 NKK京浜ビル TEL.(044)322-6593 FAX.(044)322-6519

を図－3に示す。同図(a)には各空気力成分がなす仕事量、(b)には桁になす仕事の橋軸方向分布を示している。同図(a)より、両者は桁の揚力とモーメント成分の寄与度が異なっており、DS方式では揚力成分がより大きな加振力、モーメント成分が大きな減衰力として寄与していることがわかる。また、同図(b)より、モーメント成分がなす仕事は中央径間が大部分であり、たわみ振動が加振力に、ねじれ振動が減衰力になっていることがわかる。DS方式ではメインケーブルのねじれ変形時の剛性付与効果が小さいため、フラッターモードのたわみに対するねじれ振幅が大きくなることから、モーメント成分がなす仕事量の変化はねじれ振動の減衰力が大きくなったものと推察される。一方、揚力成分については、同図(b)より、DS方式の側径間のねじれ振動、たわみ振動による

減衰力の寄与が大きくなっているものの、中央径間側のねじれ振動の加振力が大きくなっているため、全体として揚力がなす仕事が増加力となっているものと判断できる。総じて、DS方式は桁に作用する加振力、減衰力ともに大きくなっていることから、桁の非定常空気力の影響を受けやすい構造形式であると判断される。しかしながら、今回見られたDS方式の優位性は、フラッターモードの変化によって各空気力成分がなす仕事量の大きさ、橋軸分布が変わったことにより生じているため、吊橋のスパン割等の基本構造条件、桁断面形状との組み合わせの変更によってフラッターモードが変化する場合には、優位性が見られない場合もあると考えられるため、慎重な対応が望まれる。

4.まとめ フラッター解析による検討の結果、3本ケーブル吊橋に斜めステイを付加する方式（DS方式）は、適当な1箱桁形式の組み合わせにより、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（CS方式）よりもフラッター発現風速を高くできることが明らかとなった。今回想定した中央径間2500mの超長大吊橋では、フラッター発現風速80m/s以上を確保できる。しかしながら、組み合わせる桁断面形状、吊橋のスパン割りの変更によって、フラッターモードが変化した場合には、DS方式の優位性が現れない場合もあると考えられるため、慎重な対応が望まれる。

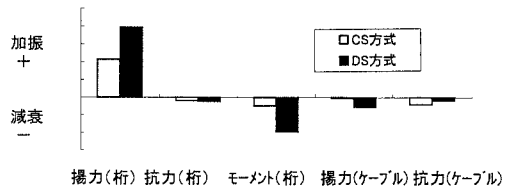
なお、本研究は、建設省土木研究所、本州四国連絡橋公団、（財）土木研究センターおよび民間企業8社からなる共同研究「耐風性および経済性に優れた超長大橋の開発」の一環として実施したものである。

参考文献

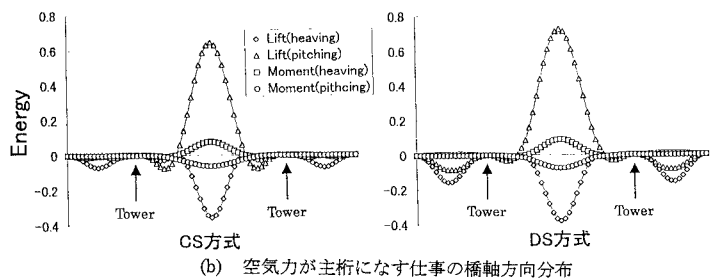
- 1) 村上、武田、藤澤、高尾：「3本ケーブルを有する長大吊橋のフラッター特性に関する検討」土木学会第51回年次学術講演会、pp.404-405、平成8年9月
- 2) 村上、武田、高尾：「超長大3本ケーブル吊橋のメインケーブル断面積比がフラッター特性に及ぼす影響」土木学会第52回年次学術講演会、pp.106-107、平成9年9月
- 3) 村上、武田、藤澤、高尾：「超長大吊橋1箱桁断面の空力特性」日本風工学会第71号、pp.85-86、平成9年4月

表－2 フラッター解析結果

1箱桁 断面形状	構造形式	
	CS方式	DS方式
箱桁A	66m/s (0.134Hz)	66m/s (0.131Hz)
箱桁B	77m/s (0.116Hz)	80m/s (0.120Hz)
箱桁C	76m/s (0.115Hz)	81m/s (0.120Hz)



(a) 各空気力成分がなす仕事量



(b) 空気が主桁になす仕事の橋軸方向分布

図－3 各空気力成分がなす仕事量（フラッター発現風速近辺）