

長大吊橋のフラッター形態の決定要因に関する解析的検討

株式会社 IHI インフラシステム（研究当時九州工業大学大学院）正会員○今村 郁

株式会社 IHI 正会員 山内 邦博

九州工業大学大学院 正会員 松田 一俊

株式会社 IHI インフラ建設 正会員 佐藤 弘史

株式会社 IHI インフラシステム 正会員 森内 昭

1. はじめに

中央支間長 988m のセバーン橋のフラッター解析結果¹⁾によると、鉛直たわみ対称 1 次およびねじれ対称 1 次の 2 モードだけでなく、鉛直たわみ高次モードも含むマルチモードフラッターが発現する。また、中央径間長 2,000m 級吊橋のフラッター解析結果²⁾の場合、2 モードフラッター特性の強いフラッターが発現する。各橋梁のフラッター特性に関する研究例は多いが、長大吊橋のフラッター形態が、マルチモードフラッターまたは 2 モードフラッターとなる決定要因に着目した研究例は少ない。著者らは従来の研究²⁾を基にさらに追加解析検討を行った結果、複数の考えられる要因を抽出した。ここでは、その中から桁の鉛直たわみ対称 1 次モードおよびねじれ対称 1 次モード間のモード類似性がフラッター形態に与える影響について考察を加えた。

2. フラッター解析概要

解析対象は、図-1 に示す長大吊橋であり、その構造諸元を表-1 に示す。気流傾斜角は 0 度、平均風速鉛直分布のべき指数は 1/7 とし、風速は中央支間中央の桁高度における数値とした。解析対象の各風速において、逐次荷重増分法による静的風荷重を載荷させた状態で 50 次までの固有値解析を行い、モード重ね合わせ法によるフラッター解析を行った。構造減衰（対数減衰率）は全モードについて $\delta=0.02$ とした。三分力および非定常の各空気力係数は、断面辺長比 $B/D=33.3$ の一平板の CFD 解析値²⁾を用いた。側径間の桁ねじり剛度を 1.0 倍、0.50 倍、0.25 倍に変化させモード類似性の異なる 3 種類の解析モデルを作成した。各モデルの固有振動モード、固有振動数を図-2 および図-3 に示す。桁ねじり剛度の減少に伴い鉛直たわみ対称 1 次モードおよびねじれ対称 1 次モード間の類似性は、高くなる傾向にある。

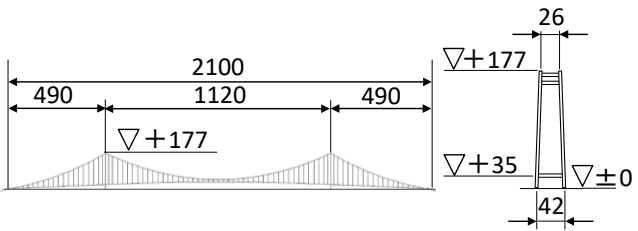


図-1 長大吊橋解析モデル（単位：m）

表-1 解析モデルの構造諸元

スパン割		490m+1120m+490m
箱桁形式		1-Box
サグ比		1/8.62
桁	質量	12.2t/m
	極慣性モーメント	1327tm ² /m
	鉛直曲げ剛度	1.20m ⁴
	水平曲げ剛度	100.0m ⁴
	ねじり剛度	5.60m ⁴
主ケーブル	ケーブル間隔	25.5m
	断面積	0.243~0.245m ²
	質量	2.30~2.40t/m/cable
ハンガーケーブル	断面積	0.004m ² /cable
	質量	0.041t/m/cable

3. フラッター解析結果・考察

実橋風速 70m/s におけるモード別空力減衰の比較結果を図-2 に示す。モード類似性が高いほど、鉛直たわみ対称 3 次モードの空力減衰の寄与度が小さくなる傾向にある。その結果、モード類似性が低い 1.0 解析モデルや 0.50 解析モデルでは、フラッター形態はマルチモードフラッターとなるが、モード類似性が高い 0.25 解析モデルでは、2 モードフラッター特性の強いフラッターとなる。この 0.25 解析モデルについて主要振動モードの固有振動数と応答振動数の風速による変化を図-4 に示す。風速 50m/s において応答振動数が、鉛直たわみ対称 3 次モードの固有振動数に接近し、風速の増加とともに徐々に乖離していく。風速ごとのモード別空力減衰を図-5 に示す。応答振動数が鉛直たわみ対称 3 次モードの固有振動数に接近した風速 50m/s において、鉛直たわみ対称 3 次モードの寄与度が大きい。風速の増加と共にその寄与度は小さくなり、風速 70m/s では 2 モードフラッター特性が強くなる傾向にある。鉛直振動に伴う鉛直たわみ対称 1 次モードによる空力モーメント成分が励振力となり、ねじれ振動に伴うねじれ対称 1 次モードによる揚力成分が励振力となる 2 つのモード間の相互励振作用が、モ

キーワード 長大吊橋、フラッター、固有振動モード、固有振動数、フラッター解析、空力減衰

連絡先 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学大学院 工学研究院 建設社会工学研究系 TEL093-884-3466

ード類似性が高いほど強くなる，すなわち空力連成度が高まることに起因して 2 モードフラッター特性が強くなると推察される。

4. まとめ

フラッター形態は，モード類似性に依存する傾向にある．すなわちモード類似性が高いほど空力連成度が高まりフラッター風速付近では 2 モードフラッター特性が強くなる傾向にある．しかし，フラッター風速以下の風速領域において，マルチモードフラッター特性を有する場合がある。

参考文献

- 1) T. J. A. Agar, Aerodynamic flutter analysis of suspension bridges by a modal technique, Engineering Structures, Vol.11, pp.75-82, 1989.
- 2) 田邨拓海, 黒田眞一, 山内邦博, 松田一俊, 佐藤弘史, 森内 昭: 数値流体解析および風洞実験による各非定常空力係数を用いた長大箱桁吊橋のフラッター解析に関する比較検討, 風工学研究論文集, 第 26 巻, pp. 268-277, 2020.

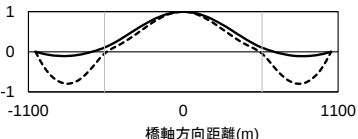
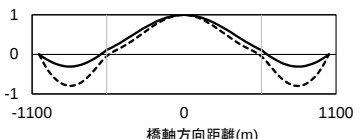
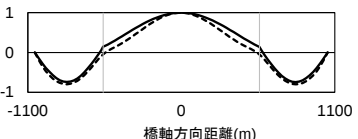
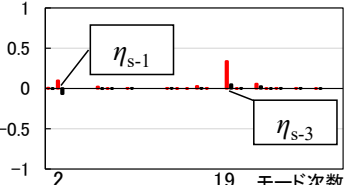
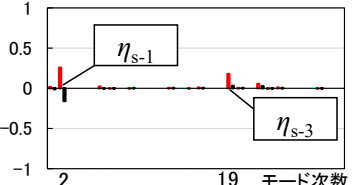
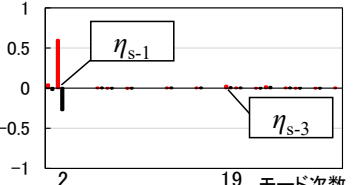
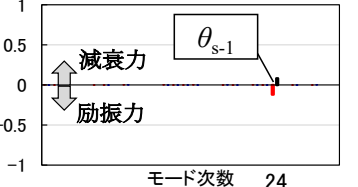
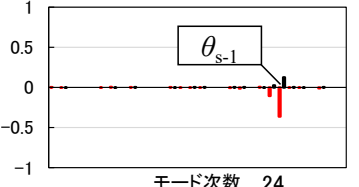
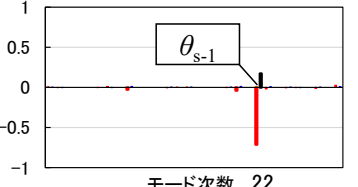
解析モデル名称		1.0解析モデル	0.50解析モデル	0.25解析モデル
側径間桁ねじり剛度		1.0倍	0.50倍	0.25倍
無風時	固有振動モード —— ねじれ対称1次 --- 鉛直たわみ対称1次			
		ねじれ/鉛直たわみ対称1次固有振動数	0.3149 Hz / 0.0907 Hz	0.3063 Hz / 0.0907 Hz
	フラッター風速	74.8 m/s	71.8 m/s	66.9 m/s
鉛直振動に伴う空力減衰 η_{s-1} : 鉛直たわみ対称1次 η_{s-3} : 鉛直たわみ対称3次				
■ 揚力 ■ 空力モーメント ねじれ振動に伴う空力減衰 θ_{s-1} : ねじれ対称1次				
フラッター形態		マルチモードフラッター	マルチモードフラッター	2モードフラッター

図-2 モード別空力減衰の比較 (実橋風速 70m/s)

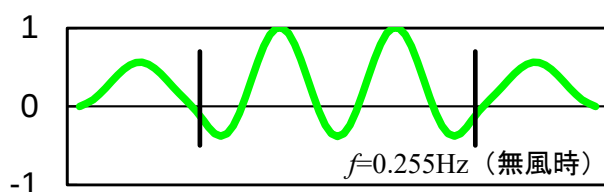


図-3 鉛直たわみ対称 3 次モード (各モデル共通)

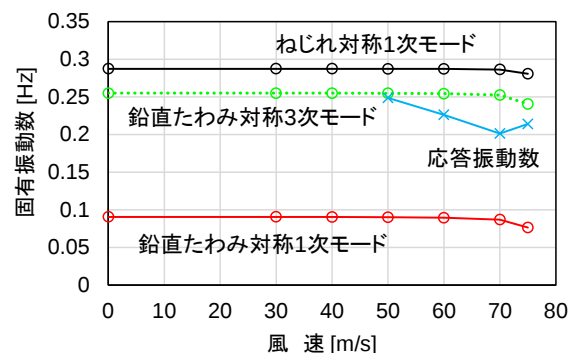


図-4 風速毎の固有振動数と応答振動数 (0.25 解析モデル)

風 速	50 m/s	60 m/s	70 m/s
鉛直振動に伴う空力減衰 η_{s-1} : 鉛直たわみ対称1次 η_{s-3} : 鉛直たわみ対称3次	空力減衰 揚力 空力モーメント 減衰力 励振力 η_{s-1} η_{s-3} モード次数	空力減衰 η_{s-1} η_{s-3} モード次数	空力減衰 η_{s-1} η_{s-3} モード次数

図-5 モード別空力減衰 (0.25 解析モデル)