肥前鷹島大橋(仮称)の支持ケーブルの局部振動と地震応答解析

長崎大学 学生会員 田中健介 長崎大学 フェロー 高橋和雄 長崎大学 正会員 中村聖三

1. まえがき 風や車の走行荷重による斜張橋全体系の振動によって,斜張橋の支持ケーブル(以下ケーブルとする)に局部振動が発生することがわかっている.原因として,ケーブルと斜張橋全体系の固有振度数が接近している ことによりケーブルが係数励振振動を起こすことが挙げられる¹⁾.本研究では,現在架設中の鋼(主桁)・コンクリート(主塔)の複合斜張橋である肥前鷹島大橋(仮称)を対象として,全体系の固有振動解析とケーブルの局部固有振動 解析を行い係数励振振動の発生の可能性を照査する.解析にあたってケーブル非分割モデルと分割 FEM モデルの全 体系およびケーブルの固有振動数への影響の評価する.最後に,レベル 地震動および周期振動における斜張橋の ケーブルの局部振動の応答を評価する.

2. 橋梁の概要 肥前鷹島大橋は長崎県鷹島町と佐賀県肥前 町との間を結ぶ橋梁で,主橋梁部は斜張橋が採用されている. 本橋に対しては建設コスト削減が検討され,主桁は鋼構造(鋼 床版1箱桁),主塔はRC構造が採用されている.一般図を図 -1に示す.なお,本研究においては,図-1に示すようにケー ブル番号を付けてモデル化を行った.橋梁形式:5径間連続複 合斜張橋,橋長:840m,主塔:105m,幅員:9.75m,使用材 料 主桁:鋼構造 主塔:RC構造.

3. 構造のモデル化 本研究では、全体系の振動解析に対して三次元有限 要素法を用いて構造のモデル化を行う.主塔・主桁などははり要素を用い る.ケーブルは分割をしない一要素からなる弦要素とサグを考慮してケー ブル分割を行うケーブル要素を用いる2つの解析モデルを用いる.解析に は、弦要素を用いるモデルは解析ソフト TDAP を用いる(節点数544, 要素数535).ケーブル要素を用いるモデルは研究室で開発した FEM プロ グラムを使用する(節点数1048,要素数1187).

4. 固有振動解析結果

(1)斜張橋全体系の固有振動数

表-1 に解析ソフトを用いて固有振動解析を行い,斜張橋の全体系の 固有振動数を求めた結果を示す.これから,0.359Hzの比較的低い固有 振動数で主塔が橋軸方向に振動するタワーモードが表われている.RC 構造である主塔の自重が重いため低い固有振動数を有する.さらに,ね じれ対称1次モードが1.252Hzで生じている.女神大橋のねじれ対称1 次モードの 0.665Hz と比較すると,高い.これは,対象橋梁の幅員が 9.75mと女神大橋28.3mに対して狭いことに起因すると考える. (2)ケーブルの固有振動数

ケーブルを分割しない弦要素では固有振動数が算定できないため,ケーブルごとに連続体として固有振動解析を 行い(分離モデル),さらに,ケーブル要素を用いた解析(FEM モデル)を行った.ケーブルの固有振動数を表-2 に示 す.2 つのモデル化による固有振動数の差は最大で 2%程度であることから,差は小さいといえる.これよりより, 本橋のケーブルの固有振動数はケーブルを分離して求めることができる.

キーワード:斜張橋、支持ケーブル、ケーブル振動、局部振動

連絡先:〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科 Tel095-819-2610 Fax095-819-2627



表-1 全体系の固有振動数

次数	振動数 (Hz)	モード	
2	0.326	鉛直対称1次	
3	0.359	タワーモード	
4	0.443	鉛直逆対称1次	
7	0.677	鉛直対称2次	
18	1.252	ねじれ対称1次	

表-2 ケーブルの固有振動数

ケーブル来号	1次振動数(Hz)			
リーノル留ち	分離モデル	FEMモデル	差(%)	
C1	0.576	0.586	1.7	
C2	0.614	0.626	2.0	
С3	0.685	0.695	1.5	
C4	0.784	0.792	1.0	
C 5	0.922	0.929	0.8	
C 6	1.042	1.049	0.7	
С7	1.182	1.188	0.5	
C8	1.396	1.400	0.3	
С9	1.656	1.659	0.2	

(3)ケーブルと斜張橋全体系の固有振動数の関係

全体系の固有振動数とケーブルの固有振動数との関係が,1:1 または1:2となるケーブルに係数励振振動が生じる可能性がある. その関係にあるケーブルを表-3に示す.係数励振振動の可能性の あるケーブルが数多く挙げられた理由として,ケーブルの固有振 動数が幅広く存在することから全体系の固有振動数と一 致することが挙げられる.

5. レベル 地震動に対するケーブル応答 レベル 地 震動を斜張橋に入力し,斜張橋の応答を求めた.使用し たレベル 地震動の波形データは,対象橋梁の架設地点 近傍の伊万里湾の波形データを利用した²⁾.図-2 に地震 波を橋軸方向に入力した際の主桁とケーブルの鉛直方向 の最大変位を起こさない.図-3 に地震波を橋軸直角方向 に入力した際の主桁とケーブルの橋軸直角方向の最大変 位を示した.C8,C9およびC10以外のケーブルは橋軸 直角方向に変位を起こす.特に,C2やC17に大きな局 部振動が生じている.しかし,地震波の場合過渡振動で あるため,振幅が特に大きな振動は生じない.

6. 周期加振時におけるケーブル応答 表-3で示した ようにケーブルに局部振動が生じる可能性のある振動 数である鉛直対称 2 次の 0.665Hz とねじれ対称 1 次の 1.251Hz を代表に周期加振を行った.鉛直加振力は, 主桁中央径間中央の中央断面の中点において鉛直正弦 加振(P=10tf)を入力した.図-4 に鉛直加振における主 桁とケーブルの橋軸方向最大変位を示す.これよりケ ーブルC3 およびC16 は大きな局部振動が生じている. 次に,中央断面の10m離れた箇所に,P=5tf を逆位相 で 1.251Hz のねじれ加振を行った場合の主桁とケーブ ルの鉛直方向最大変位を図-5 に示す.中央径間側のC 16,C17 に大きい局部振動が生じており,側径間側の ケーブルには局部振動は発生しない.これは側径間に このモードではねじれ振動が生じないためである.

<mark>表-</mark>3 係数励振振動の可能性のあるケーブル番号

振動モード名	振動数(Hz)	ケーブル番号
鉛直対称 2 次	0.677	C3, C16
鉛直逆対称 2 次	0.781	C 4
鉛直逆対称 3 次	0.905	C 5
鉛直対称4次	0.959	C 13
鉛直対称 5 次	1.164	C 7
ねじれ対称1次	1.252	C2, C17
鉛直対称6次	1.280	C 11
鉛直逆対称5次	1.331	C 16
织古油対称6次	1 376	C16 C8



<u>7. 結論</u>

(1)斜張橋の全体系の固有振動数は,ケーブルの分割による影響が小さいことを確認した.

(2)対象橋梁の支持ケーブルの固有振動数は,ケーブルを分離しても算定できることを示した.

(3)レベル 地震動においては,地震波の場合過渡振動のため振幅の大きな局部振動が生じないことを確認した. (4)鉛直およびねじれ周期加振ともに,局部振動の可能性を指摘したケーブルに振幅の大きな局部振動が生じること

を確認した.

【参考文献】1)高橋和雄, 呉慶雄, 中村聖三, 久保田展隆, 伊田義隆: 斜張橋の支持ケーブルの局部振動の解析, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.501~510, 2000.3.2)http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/level1.html 国土技術政策総合研究所港湾施設研究室