

肥前鷹島大橋の全体振動と支持ケーブルの局部振動解析

長崎大学工学部 学生会員 ○田中健介

長崎大学工学部 フェロー

高橋和雄

長崎大学工学部 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に局部振動が発生することがわかっている。原因としては、支持ケーブルの振動数と斜張橋全体系の固有振動数とが接近していることにより支持ケーブルが係数励振振動することがあげられる¹⁾。本研究では、鋼(主桁)・コンクリート(塔)複合斜張橋である肥前鷹島大橋(仮称)を対象に、全体系の固有振動解析と支持ケーブルの局部固有振動解析を行う。これによって、本橋の全体系の固有振動数と支持ケーブルの固有振動数から得られる係数励振振動の発生の可能性、他の構造形式の斜張橋との特性の比較を行う。さらに、本橋の架設地点近傍で得られたレベルⅠ地震動を受ける場合の斜張橋の応答を求め、ケーブルの局部振動の発生の可能性を調査する。

2. 橋梁の概要

肥前鷹島大橋(仮称、建設中)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。

図-1に肥前鷹島大橋(仮称)の一般図を示す。

橋梁形式：3径間連続複合斜張橋

橋長：1251m(中央径間 400m+側径間 440m+取付け橋 411m)

幅員：車道部 6m、歩道部 2m

ケーブル：二面吊、間隔 11.5m

主塔 形式：逆Y字 高さ：100m

使用材料 主桁：鋼構造 主塔：RC構造

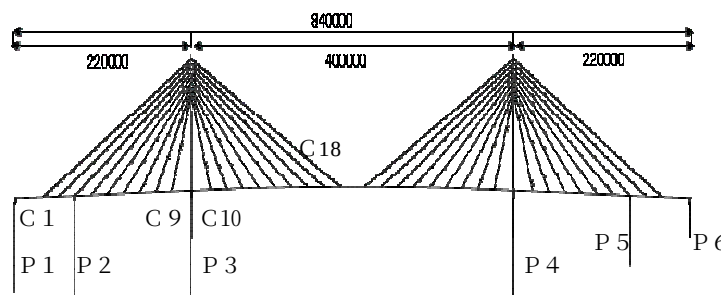


図-1 肥前鷹島大橋の一般図(単位 mm)

3. 構造のモデル化

(1)斜張橋全体のモデル化

本研究では、全体系の固有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、ケーブルは分割をしない一要素からなる弦要素を用いる。解析には、解析ソフトTDAPIIIを用いる(節点数544、要素数535)。

(2)ケーブルのモデル化

ケーブルの固有振動解析には、サグを持つ偏平ケーブルの運動方程式を用いる。ケーブルのサグを考慮した1次固有振動数 f_1 、2次固有振動数 f_2 の算定式は以下のように表される。

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F_0}{m}} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{2}{\pi} \right)^4 \lambda^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$f_2 = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{F_0}{m}} \quad (2)$$

ここに、 $\chi = mg \sin \gamma / F_0$ $\kappa = \chi L$

$\lambda = \frac{\kappa}{\sqrt{(F_0 / Es)}}$ 、 L ：ケーブル長さ、 F_0 ：ケーブルの死荷重時張力、 s ：断面積、 γ ：ケーブルの垂直方向との

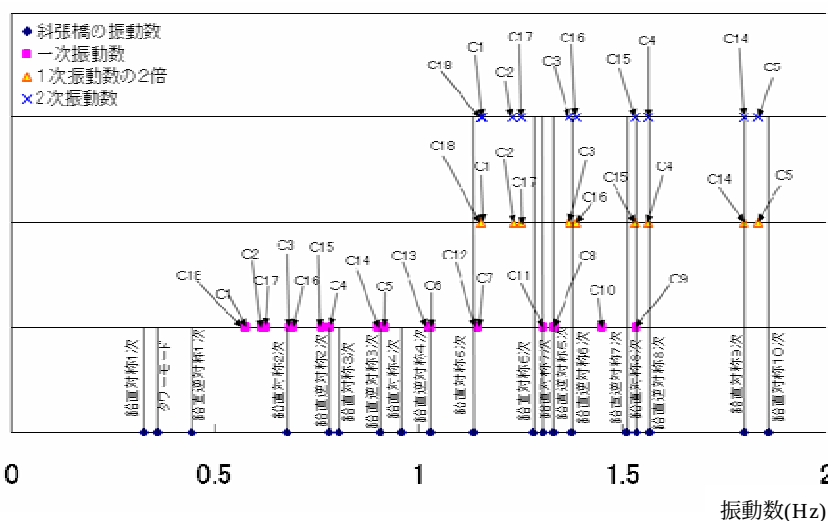


図-2 肥前鷹島大橋全体系と支持ケーブルの振動数の関係

傾斜角, E : ヤング率, m : 単位長さあたりの質量. 本研究では, 支持ケーブルに図-1のように側径間から順にケーブル番号を付ける. 本橋梁のケーブルは塔に対して対称に張られているが, 死荷重時張力が異なるので, 側径間と主径間の対応するケーブルの固有振動数は必ずしも一致しない.

4. 全体系の固有振動数と支持ケーブルの局部固有振動数との関係

図-2は斜張橋全体系の固有振動数と, 各支持ケーブルの1次固有振動数, 1次固有振動数の2倍及び2次固有振動数の関係を示したものである.

本橋の全体振動の特徴として 0.359Hz という比較的低い固有振動数で主塔が橋軸方向へ振動するタワーモードが現れている. これは, 主塔がRCであるため低い振動数で表れたことが考えられる. さらに, 主桁のねじれモードが2Hz以下の低い振動数領域で表れていないことが挙げられる. 本橋のケーブル間隔が11.5mと狭いことからねじれモードが表われない原因と考えられる.

図-2から斜張橋全体系の固有振動数と支持ケーブルの1次固有振動数(副不安定領域), 1次固有振動数の2倍(主不安定領域), 2次固有振動数(副不安定領域)が一致または接近していることがわかる. これから, 係数励振振動が生じる可能性があるケーブルは, 副不安定領域では, ケーブル長が長いC1, C2, C17, C18を除く全てのケーブル, 1次振動の主不安定領域及び2次振動の副不安定領域では, 全てのケーブルで生じる可能性がある.

斜張橋の支持ケーブルの局部振動については, 文献(1)に詳しくまとめられている. 本橋の振動特性を知るために, スパン長が同程度の鋼斜張橋とPC斜張橋について比較を行った. 比較に用いた橋梁は, 鋼斜張橋では大島大橋(350m)及び女神大橋(480m), PC斜張橋では, 呼子大橋(250m)及び青森ベイブリッジ(240m)を用いた. 鋼斜張橋とPC斜張橋を比較すると, 鋼斜張橋のケーブルの1次固有振動数がPC斜張橋のケーブルに比べ小さいため, 斜張橋全体系の低次の固有振動数と接近し, 係数励振振動が生じやすい. 肥前鷹島大橋の全体固有振動数とケーブルの局部固有振動数の結果は鋼斜張橋と似ていることが確認できる.

5. レベルⅠ地震動に対する応答

地震時ケーブルの局部振動を把握するため, 本橋の架設地点近傍の伊万里湾のレベルⅠ地震動²⁾を用いた斜張橋の地震応答解析を行った. 地震波は橋軸方向に入力し, 主塔と主桁の地震応答を求めた. 一例として, 主桁中央径間1/4点の鉛直方向の応答スペクトルを図-3に示す. 本橋では地震時に鉛直対称5次, 6次, 7次, 8次及び10次振動, 逆対称1次及び3次振動の応答が生じていることがわかった. これらから, 地震時に, 副不安定領域ではC5, C7, C8, C9, C11, C12及び, C14, 主安定領域ではC5及びC15が励振される. よって, 肥前鷹島大橋は, レベルⅠ地震動では, これらのケーブルに係数励振振動が生じる可能性がある.

6. まとめ

肥前鷹島大橋の全体固有振動数とケーブルの局部振動数との関係は, 鋼斜張橋の関係に近いこと, ケーブルに局部振動が発生する可能性があることが明らかになった. また, レベルⅠ地震動を受ける場合の局部振動が発生するケーブルを示した. 今後, 支点応答を考慮したケーブルの応答解析を行い, 応答の大きさを求める予定である. なお, 本研究を行うにあたり, 長崎県土木部から肥前鷹島大橋の資料の提供を受け, 地震波形は, ホームページysk港湾施設から使用したことを付記する.

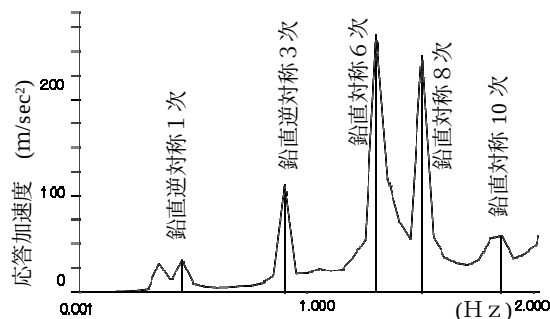


図-3 主桁1/4点応答スペクトル

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>