

鷹島肥前大橋のケーブル振動実験の報告

長崎県 中村 泰博 (株)長大 正会員 深谷茂広
 (株)横河ブリッジホールディングス ○正会員 結城 洋一 正会員 石井 博典

1. はじめに

鷹島肥前大橋は離島である長崎県松浦市鷹島町と佐賀県唐津市肥前町とを結ぶ、主橋梁が橋長 840m、中央径間長 400m を有する 5 径間連続複合斜張橋である (H21 年 4 月 18 日供用開始)。本橋のケーブルにはポリエチレン保護管の内部に、ポリエチレン被覆したストランドを現場で束ねる現場施工型マルチストランドケーブルを採用した¹⁾。また、レインバイブレーション対策には空力対策の U ストライプを採用し、渦励振対策には桁側のケーブル定着部鋼管内に高減衰ゴムダンパーの設置が技術委員会において承認された¹⁾。ただし、本橋に採用した現場施工型マルチストランドケーブルは従来の平行線ケーブルと比べ構造減衰が大きくなることが予想されたため、高減衰ゴムダンパーの設置範囲については実橋のケーブルの振動実験により判断することとした。本稿はこのケーブル振動実験についての報告である。

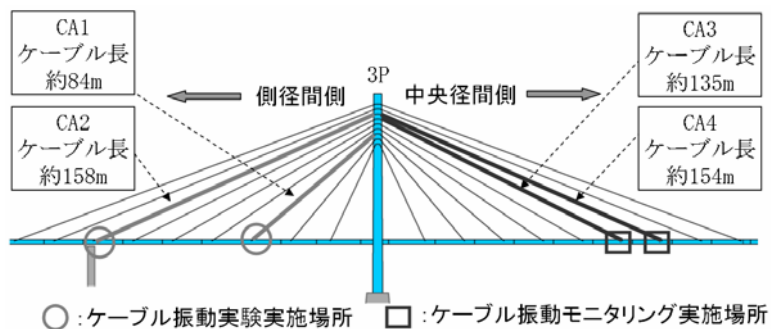


図1 実験対象ケーブル

2. 実験方針

道路橋耐風設計便覧 (H19)²⁾によると、一般的な平行線ケーブルの構造減衰（以下、減衰は対数減衰率を意味する）は 2 次以上の高次モードで 0.005 以下になり得ることが観測結果から明らかになっている。また、渦励振の制振に必要な構造減衰は 0.01 程度が目安とされていると記述されている。これを参考に、本橋では、ケーブルの渦励振対策として高減衰ゴムダンパーを設置する判断基準として、構造減衰が 0.015 を下回る場合とした。

また、ケーブルを長さで断面により 2 つに分類し、各々の代表ケーブルとして図 1 に示す塔より 3 段目のケーブル (CA1, 長さ: 約 84m, 直径: 144mm) と 7 段目のケーブル (CA2, 長さ: 約 158m, 直径: 164mm) を振動実験の対象とした。さらに、渦励振の発生状況を確認するため、図 1 に示す CA3, CA4 のケーブルを対象として約 2 ヶ月間ケーブル振動モニタリング計測を実施した。

3. 実験方法

ケーブルの振動は、図 2 に示すようにケーブルの保護管表面に加速度センサを取り付けて計測した。また、振動データは計測 PC に収録し、フィルタ処理、FFT 解析を行ってケーブルの減衰ならびに卓越振動数（固有振動数）を算出した。なお、振動実験では写真 1 に示すように人力により 1 次モードまたは 2 次モードで強制加振後、自由振動させた減衰波形を記録した。一方、ケーブル振動モニタリング計測については、橋面上から 3.66m の高さに 3 次元超音波風速計を設置して行った。

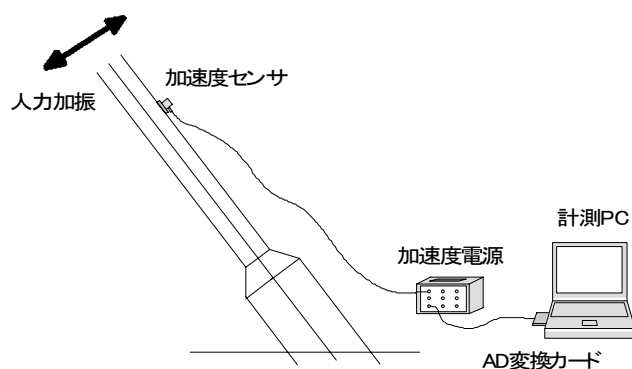


図2 計測方法



写真1 実験状況

ケーブルの振動は、図 2 に示すようにケーブルの保護管表面に加速度センサを取り付けて計測した。また、振動データは計測 PC に収録し、フィルタ処理、FFT 解析を行ってケーブルの減衰ならびに卓越振動数（固有振動数）を算出した。なお、振動実験では写真 1 に示すように人力により 1 次モードまたは 2 次モードで強制加振後、自由振動させた減衰波形を記録した。一方、ケーブル振動モニタリング計測については、橋面上から 3.66m の高さに 3 次元超音波風速計を設置して行った。

キーワード 鷹島肥前大橋, ケーブル, 渦励振, 振動実験, 減衰

連絡先 〒273-0026 千葉県船橋山野町 27 (株)横河ブリッジホールディングス TEL 047-435-6161

4. 実験結果 1 (CA1 および CA2 のケーブル振動実験)

実験は複数日にわたり実施した。一例として CA1 の 2 次モードの減衰波形を図 3 に示す。減衰を算出する際はフィルタ処理し、かつ波形にうなり等の乱れが少ないデータを使用した。図 4 には、ある実験実施日における CA1、CA2 のケーブルの減衰を算出した結果を示す。

CA1 における減衰は、ばらつきは大きい 1 次モード、2 次モードともに、本橋に必要であると仮定した減衰 0.015 を十分超える、0.03~0.04 程度であった。一方、CA2 における減衰は、CA1 に比べてばらつきは小さいが、1 次モード、2 次モードともに減衰は 0.015 を下回る、0.005~0.01 程度であった。また、CA1 と CA2 ではともに減衰の振幅依存性が確認されたが、その傾向は異なっており、その原因は不詳である。この結果から、渦励振対策の高減衰ゴムダンパーの設置範囲はケーブルが長い最上部 3 段のケーブル (CA2 を含む) とした。

5. 実験結果 2 (CA3 および CA4 のケーブル振動モニタリング)

ケーブル振動モニタリングの対象は、高減衰ゴムダンパーの設置範囲の境となる CA3 (設置なし)、CA4 (設置あり) とした。なお、高減衰ゴムを設置する予定の CA4 では、高減衰ゴム設置前の両側のケーブル (伊万里側、壱岐側) を計測している。観測された渦励振のうち、加速度 RMS 値が 30gal を超えるデータの一覧を表 1 に示す。渦励振は CA3、CA4 の両ケーブルにおいて 3 次~5 次モードが観測されたが、計測された加速度と周波数から振動の腹における最大変位を推定した値はいずれも小さく、最大値は CA4 の壱岐側で約 17mm である。なお、このときのケーブル定着部の曲げ角度は一般的に用いられている曲げ疲労許容角 0.6° の 10% 以下であり、発生する応力は変動振幅応力の打ち切り限界値以下であると考えられる。一方、渦励振の発生頻度は高減衰ゴムダンパーを設置する予定の CA4 の壱岐側で最も多く発生し (12 回)、振幅 10mm 以上の渦励振は CA4 の壱岐側のみで観測された。

6. おわりに

本実験結果を参考に本橋の渦励振対策のための高減衰ゴムダンパーの設置範囲を決定した。ただし、高減衰ゴムダンパーを設置しないケーブルについても微振動は発生しているため、今後の経過を見ながら必要に応じて観測を実施する必要がある。

参考文献

- 1) 中村, 坂本ら: (仮称) 鷹島肥前大橋の設計, 橋梁と基礎, 2008. 10
- 2) (社) 日本道路協会: 道路橋耐風設計便覧, 2007. 12

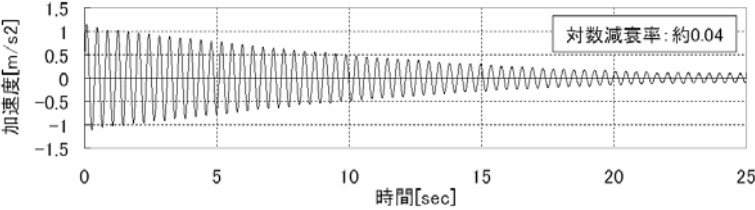
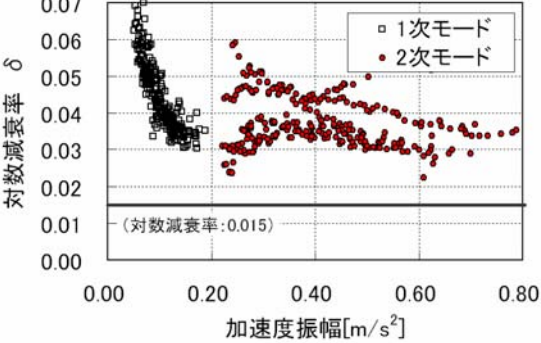
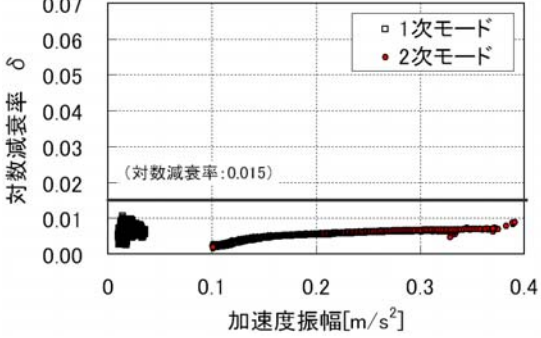


図 3 CA1 の減衰波形 (2 次モード)



(1) CA1 (ケーブル長さ約 84m)



(2) CA2 (ケーブル長さ約 158m)

図 4 ある実験実施日の加速度振幅と対数減衰率

表 1 観測された渦励振

No.	渦励振の発現したケーブル※1			発見風速 [m/s]	振動 モード	周波数 [Hz]	最大加速度 [gal]	最大変位※2 [mm]
	CA3 伊万里側	CA4 伊万里側	CA4 壱岐側					
1			○	2.90	5次	2.88	82.9	4.4
2		○		2.81	5次	2.82	103.3	5.7
3			○	2.81	5次	2.85	103.1	5.6
4		○		2.76	5次	2.82	63.3	3.5
5			○	2.76	5次	2.85	102.9	5.6
6			○	2.23	5次	2.88	115.8	6.2
7			○	2.17	3次	1.81	57.3	12.3
8			○	1.89	3次	1.80	79.3	17.2
9	○			3.30	5次	3.10	53.6	2.2
10		○		3.30	5次	2.97	103.8	5.2
11			○	2.06	3次	1.83	60.1	12.6
12			○	2.74	5次	3.08	127.4	5.9
13			○	1.78	3次	1.81	63.5	13.6
14			○	2.71	3次	1.83	81.9	17.3
15	○			2.37	4次	2.52	131.8	9.9
16	○			3.12	5次	3.12	109.7	4.4
17		○		3.12	5次	2.99	58.5	2.9
18	○			3.48	5次	3.12	90.2	3.7
19			○	3.48	5次	3.02	56.9	2.8
20	○			2.61	4次	2.50	75.6	5.8
21	○			2.31	3次	1.87	40.3	7.1
22			○	2.31	3次	1.82	65.3	14.0

※1 ケーブル保護管の外径は、CA3、CA4ともφ164mmである。
※2 計測された加速度と周波数から振動の腹における最大振幅を算出した。