

強風時に斜張橋 PE ケーブルで観測される異常振動の詳細調査及び補修提案

四国建設コンサルタント 正会員 脇 孝文 四国建設コンサルタント 正会員 尾崎 哲也
 四国建設コンサルタント 非会員 松田 吉則 四国建設コンサルタント 正会員 松田 秀和

1. はじめに

本報告では、斜張橋の PE ケーブルにおいて雨天強風時に観測されるケーブルの異常振動について、実施した観測調査結果と補修提案内容を述べる。

本振動現象は、2004 年 8 月の台風 16 号接近時に観測され、振動が生じる際の、気象条件やケーブル振動状況からレインバイブレーションによる振動であることを予測した。本稿では、振動現象の特定の為に実施した調査結果の報告及び補修提案について述べる。

2. 橋梁概要およびケーブル諸元

対象となる橋梁は、主塔 1 棟当たり 20 本の PE ケーブル(7×109
 12 本, 7×73 8 本)によって緊結されている。

表 1. ケーブル概要

ケーブル材質	ポリエチレン皮膜ケーブル	
ケーブル寸法	7×109本, 7×73本	
ケーブル構造	φ7×109 ポリエチレン皮膜 巻回めっき鋼線 フライマストケーブル	φ7×73 ポリエチレン皮膜 巻回めっき鋼線 フライマストケーブル
線形質量	34.6 kg/m	23.1 kg/m
総質量	671 ton	445 ton
断面積	20,000 kg/mm ²	20,000 kg/mm ²

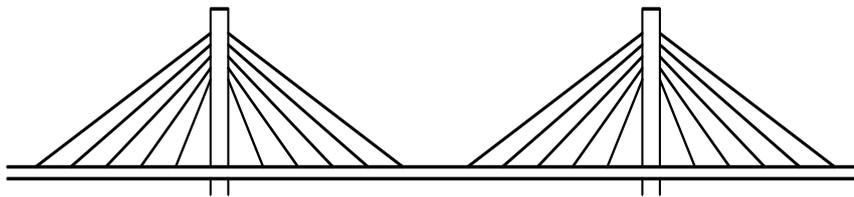


図 1. 斜張橋の外観

3. 詳細調査

3-1. 雨天強風(台風)時の現地観測

ケーブル振動調査は、台風通過時または雨天強風時を対象に実施した。観測期間は 2013 年～2014 年で計 6 回実施した。調査方法は、橋梁上および橋梁下の高水敷より遠望目視調査により、ケーブル振動状況(振幅、振動数等)を確認した。調査の結果、ケーブルの異常振動が確認されたのは、2013 年の台風 17 号通過時、2014 年の台風 11 号及び台風 19 号通過時であった。2013 年の 10/25 及び 11/25 は風速が弱いため、ケーブルの異常振動が発生しなかったものと推察される。

表 2. 観測時気象条件(徳島気象観測台)

2013年9月4日 (台風17号接近)									2014年8月9日 (台風11号接近)										
時	気圧(hPa)		降水量(mm)	気温	露点温度(°C)	蒸気圧(hPa)	湿度(%)	風向・風速(m/s)		時	気圧(hPa)		降水量(mm)	気温	露点温度(°C)	蒸気圧(hPa)	湿度(%)	風向・風速(m/s)	
	現地	海面						風速	風向		現地	海面						風速	風向
12	1004.4	1005.1	46.5	19.9	19.3	22.3	96	6.5	西北西	14	999.1	999.8	4.5	23.8	22.4	27.1	92	8.1	東北東
13	1005.1	1005.8	58	19.4	18.6	21.4	95	3.6	西北西	15	998.4	999.1	10	23.9	22.3	27	91	6.7	東北東
14	1006.6	1007.3	17	19.2	18.2	20.9	94	4.9	西北西	16	998.3	999	0.5	24.9	22.6	27.4	87	6.6	東北東
15	1006.3	1007	12.5	19.6	18.4	21.2	93	5.2	西北西	17	997.2	997.9	1.5	24.9	22.6	27.4	87	6.9	東北東
2013年10月25日 (台風27号接近)									2014年8月10日 (台風11号接近)										
時	気圧(hPa)		降水量(mm)	気温	露点温度(°C)	蒸気圧(hPa)	湿度(%)	風向・風速(m/s)		時	気圧(hPa)		降水量(mm)	気温	露点温度(°C)	蒸気圧(hPa)	湿度(%)	風向・風速(m/s)	
	現地	海面						風速	風向		現地	海面						風速	風向
16	1006.1	1006.9	1.5	17.7	16.6	18.8	93	5.1	西北西	4	986.3	987	17	25.4	24.4	30.5	94	13.7	東南東
17	1005.9	1006.7	1.5	17.6	16.3	18.5	92	5.4	西北西	5	984.8	985.5	26.5	25.3	24.4	30.6	95	12.7	南東
18	1005.6	1006.4	2	17.6	16.1	18.3	91	5.5	西北西	6	982.3	983	17.5	25.4	24.5	30.8	95	15.4	南東
2013年11月25日 (雨天強風時)									2014年10月13日 (台風19号接近)										
時	気圧(hPa)		降水量(mm)	気温	露点温度(°C)	蒸気圧(hPa)	湿度(%)	風向・風速(m/s)		時	気圧(hPa)		降水量(mm)	気温	露点温度(°C)	蒸気圧(hPa)	湿度(%)	風向・風速(m/s)	
	現地	海面						風速	風向		現地	海面						風速	風向
13	100.9	1001.6	12.5	17.5	16.5	18.8	94	4.4	南南東	14	988.8	989.5	5.4	23.9	23.1	28.2	95	11.1	南南東
14	1002.1	1002.9	2.5	15.7	14.6	16.6	93	5.8	西北西	15	987.5	988.2	14.5	23.4	22	26.5	92	10.3	南南東
15	1003	1003.8	3.5	15.5	12.3	14.3	81	4.8	西北西	16	984.1	984.8	28.5	23.3	22.5	27.2	95	11.7	南東
										17	982.2	982.9	8	23.6	22.4	27.1	93	11.9	南南東

表 3 . 雨天強風時のケーブル振動観測結果

日程	天候	風速	風向	調査結果							
				上流側右岸		上流側左岸		下流側右岸		下流側左岸	
2013/9/4	台風17号	10m/s	西北西	2本/10本	振動有り	4本/10本	振動有り	0本/10本	振動無し	2本/10本	振動有り
2013/10/25	台風27号	5m/s	西北西	0本/10本	振動無し	0本/10本	振動無し	0本/10本	振動無し	0本/10本	振動無し
2013/11/25	雨	6m/s	西北西	0本/10本	振動無し	0本/10本	振動無し	0本/10本	振動無し	0本/10本	振動無し
2014/8/9	台風11号	10~20m/s	東北東	2本/10本	振動有り	1本/10本	振動有り	3本/10本	振動有り	0本/10本	振動無し
2014/8/10	台風11号	15~25m/s	南東	3本/10本	振動有り	3本/10本	振動有り	1本/10本	振動有り	2本/10本	振動有り
2014/10/13	台風19号	12m/s	南東	4本/10本	振動有り	4本/10本	振動有り	4本/10本	振動有り	4本/10本	振動有り

3 - 2 . 大型車通行時のケーブル振動観測

大型車通行時のケーブル振動の調査方法は、橋梁上から大型車が通過する際に遠望目視調査により振動観測を実施した。結果、ケーブルの振動は大型車通行時にも確認された。

これは、大型車通行時に桁が振動することで、振動がケーブルの固有振動数と同調し、ケーブルの振幅が増幅されているものと推察される。なお、振動が生じるケーブルは、桁の振動状況によって異なる。

4 . 考察

台風 17 号接近時と 27 号接近時の気象条件を比較すると、風速・風向がほぼ同程度であるにも関わらず、台風 27 号接近時にはケーブルの振動が観測されていない。両者での大きな違いはケーブル振動当初の降水量であり、これよりケーブル振動には雨量が関係すると推察される。

またケーブル振動当初の風向は、本橋ケーブルに対して斜方向（南東、東北東など）から吹いており、レインバイブレーションが発生しやすい状況であったと考えられる。

また、2004 年当時のケーブルの振動状況や本稿のケーブル観測状況は全てビデオ撮影を実施している。観測後に、これらの映像を再確認し、各観測におけるケーブル固有振動数を確認した結果、概ね 4.5 ~ 5Hz で振動していることが分かった。また既往の研究¹⁾より、無次元風速 $U/fD=40$ 付近で水道のあるケーブルが空力的に不安定になりやすいことが指摘されている。そこで、本観測でケーブル振動が顕著に確認された台風 11 号、19 号接近時において、 U/fD を検証した結果、振動発生時の U/fD は 30 ~ 40 程度であった。

以上のことから、本橋のケーブル振動はレインバイブレーション現象によるものであると判断した。

5 . 補修提案

レインバイブレーションの抑制対策としては、以下の 3 工法の適用性及び特徴について整理した。

PE 被覆ケーブルにインデント処理を施す。

既設橋ケーブルにインデント処理を施すことは困難と考えられる。

桁位置ダンパーを設置する。

ケーブル制振対策としては、最も有効であると考えられる。また本橋での施工法件を踏まえると、高減衰ゴムダンパーの設置が容易であると考えられる。但し、現況で高減衰ダンパーを設置する空間が無く、施工に当たっては、別途ダンパー設置用のブラケット等を取り付ける必要がある。

PE 被覆ケーブルにヘリカルワイヤを巻き付ける。

ケーブル制振対策として、最も施工が容易であると考えられる。

また、ヘリカルワイヤの振動抑制効果としては、山内ら²⁾の実験的研究により、ケーブルにヘリカルワイヤを巻き付けることで、ケーブル上下面の水道を強制的に変えることで、ケーブルが空力的に安定化することが報告されている。

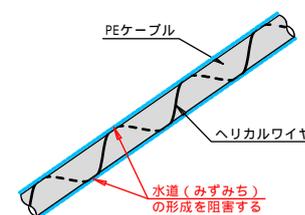


図 2 . ヘリカルワイヤ

現状で、レインバイブレーション現象によって、本橋が構造的に危険な状態に陥る可能性は極めて低いと考えられる。現状を考慮すると、桁位置ダンパーはコストが高く、別途ブラケットの設置が必要であることから、PE 被覆ケーブルにヘリカルワイヤを巻き付ける方法を推奨案として提案した。

6 . 参考文献

- 1) 松本ら：斜張橋ケーブルの Rain Vibration 発生機構における二つの要因についての考察，第 11 回風工学シンポジウム論文集 pp263 ~ 268，1990 年
- 2) 山内ら：斜張橋ケーブルのレインバイブレーションに関する - 考察，土木学会第 65 回年次学術講演会