

(56) 並列配置された斜張ケーブルの風による一振動事例

住友建設(株) 技術研究所 正会員 ○藤田 学
住友建設(株) 土木部 正会員 近藤 真一

1. はじめに

斜張橋の主要な構成要素である斜張ケーブルは、設計張力に対するケーブル容量の関係などから、複数本並列して配置される場合がある。この並列ケーブルが風により振動しやすいことはよく知られている。風上側ケーブルの後流(ウェイク)により風下側ケーブルが振動する現象で、ウェイクギャロッピングと呼ばれる。

志摩丸山橋は、三重県志摩郡の一般国道 260号に建設されたPC斜張橋であり(図-1)、斜張ケーブルはポリエチレン被覆されたストランドケーブル3本がそれぞれ三角形の頂点に位置するように並列配置されている。表-1にケーブル諸元を示すが、ケーブル中心間隔は $1.95D$ である。

本橋では張出し施工中、S3(第3斜材)架設の時点からケーブルのウェイクギャロッピングが生じたため、制振対策が施された。

筆者らは、ウェイクギャロッピングの振動特性を把握し、制振対策に関する資料を得る目的で、振動測定を実施した。本文では、測定結果の概要について報告する。

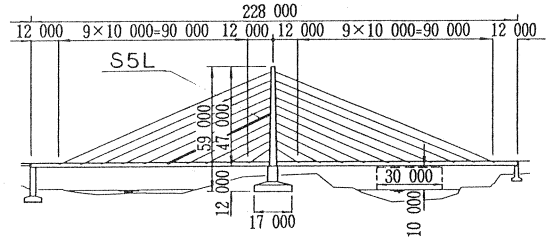
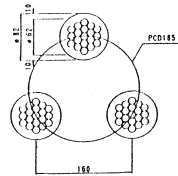


図-1 一般図

表-1 ケーブル諸元(S5L)



構 成		19 × φ12.4
外 径	mm	82.00
重 量	kg/m	16.64
張 力	t f/本	92.20
ケーブル長	m	54.08
傾 斜 角	°	24.48

2. 測定方法

風応答の測定に先だち、ケーブル固有の振動特性およびスペーサー型制振装置の個数との関係を把握するため、無風状態において1斜材を構成する3本のケーブルのうちの1本のみを強制的に振動させる試験を実施した。この強制振動試験は、ケーブルを1次モードで振動させるように、ケーブルのスパン中央部(図-3, ⑧)を加振した。

次に、スペーサー型制振装置(写真-1)の個数を0, 1, 2個と変化させ、各々のケーブルにおけるケーブル振動(鉛直・水平方向)の風応答を測定した。センサーには、ひずみゲージ型加速度計を用いた。設置位置を図-3に示す。図中、⑤~⑨が加速度計であり、スペーサーは1個の場

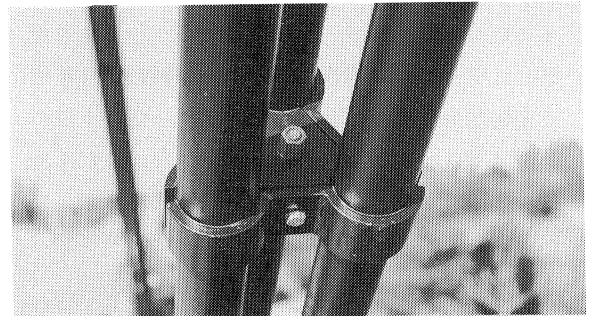


写真-1 スペーサー型制振装置

合ケーブル下端より19.20m、2個の場合19.20mと36.64 mの位置に設置した。また、風のデータについては、橋面から約4 mの高さに風車型風向風速計を設置して測定した。全測定時間は約1時間半であり、その間の風向は南～南南西、風速は3.5～4.5 m/sであった。

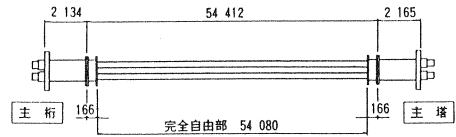


図-2 ケーブル構造と長さ

3. 測定結果

強制振動試験による鉛直方向加速度の自由減衰波形から算定した対数減衰率を表-2に示す。スペーサーの個数の増加に伴い、若干の減衰率の上昇が認められた。しかし、ケーブル振動を抑止するためには、ケーブルの構造減衰に対数減衰率で0.05程度の付加減衰が必要との報告¹⁾もあり、振動の減衰という観点からは、このスペーサーの効果は小さいものと考えられる。

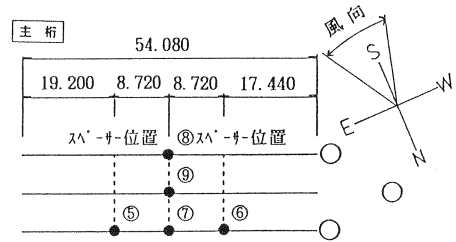


図-3 加速度計設置位置

次に風応答の測定結果について示す。図-4はスペーサー個数0個の場合における加速度波形の一例である。測定中、最上段斜材の風下側ケーブルは大きく振動していたが、対象ケーブル(S5L)についても、風下側⑦のケーブルの振動が他のケーブル⑧、⑨より大きいことが観察された。目視によれば1次モードで振動しており、さらに回転運動も生じていた。

表-2 対数減衰率

スペーサー 個数		対数減衰率
0	⑦	—
	⑧	0.0083
	⑨	—
1	⑦	0.0081
	⑧	0.0100
	⑨	0.0080
2	⑦	0.0161
	⑧	0.0148
	⑨	0.0167

図-5は、各ケースで得られた加速度波形のフーリエスペクトル分析結果のうち、風下側⑦の鉛直成分について示している。スペーサー個数が0個の場合には、1次モードの周波数が卓越しているのに対して、スペーサーで各々のケーブルを連結した場合、より高次のモードの周波数が卓越する変化が生じている。特にスペーサー個数1個のケースでは、0個の場合には見られなかった3.32 Hzの周波数が現れている。これは、表-3および図-6に示す固有値解析結果によれば、サブパンの固有振動数3.34Hzに相当するものである。

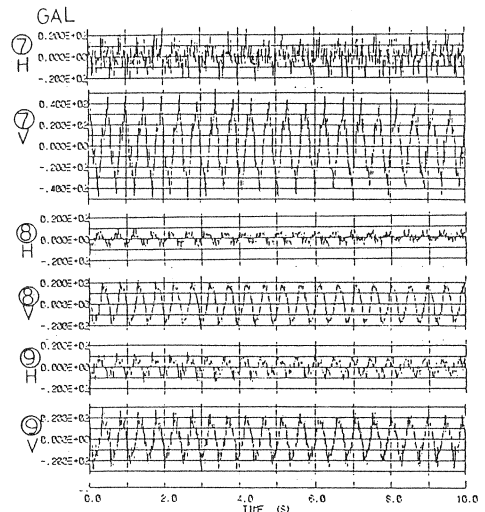


図-4 加速度波形の時刻歴

ウェイクギャロッピングの発現風速としては、無次元風速 V/fD で25程度との報告²⁾もあり、ス

スペーサーで各ケーブル間を連結することにより卓越振動数を増加させることは、発現風速を高めることになり、一種の制振効果が得られると考えられる。ちなみに、S5Lの場合、発現風速は1次振動で約4m/sとなる。

次に、図-4で示される加速度波形をフーリエ変換して求めた変位を図-7に示す。スペーサー個数が0個の場合ウェイクギャロッピングが生じており、風下側⑦の振幅は⑧、⑨に比べて2倍以上となっている。スペーサー個数が1個と2個では顕著な差は現われていないが、これはスペーサー個数2個の場合の取付位置が、スペーサー個数1個の場合における5次モードの節の近傍であるためである(図-6)。しかし、スペーサー個数が0個の場合に比べて、振幅は約1/6程度に減少しており、スペーサーの制振効果と考えられる。図-8は、各ケースにおける⑦、⑧、⑨の変位のオービット図である。スペーサー個数が0個の場合、鉛直方向の変位が卓越した楕円の軌跡を描いている。スペーサー個数が1個および2個の場合には、各ケーブル間の相対変位が拘束され、明確な楕円の軌跡は認められない。

4. まとめ

斜張ケーブルの構造力学的な制振対策の1つに、スペーサーによりケーブル相互を連結する方法がある。今回の測定結果から、3本並列ケーブルに対するスペーサー型制振装置の効果について得られたことは、以下のとおりである。

① ケーブルの構造減衰

スペーサーの個数の増加に伴い、構造減衰は若干増加するものの、ケーブル振動を抑止するのに必要とされる付加減衰(対数減衰率で0.05程度)を与えるまでには至らなかった。

② 卓越振動数

ケーブルの連結により卓越振動数の増加が確認された。これは、ケーブルの連結部と定着部間、

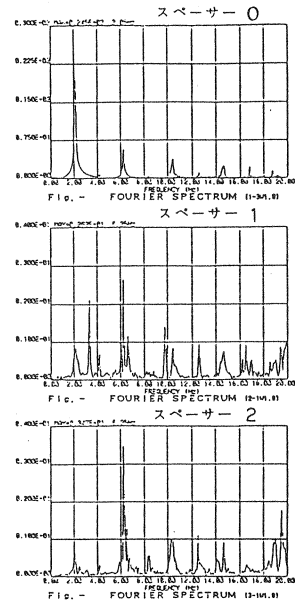


図-5 周波数分析結果(⑦V)

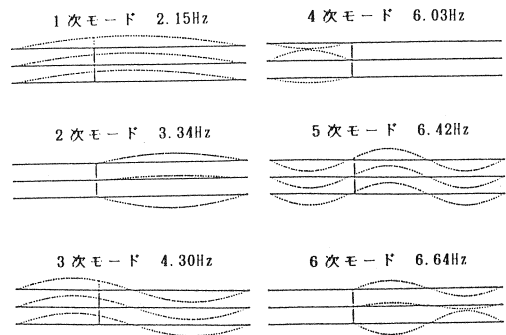


図-6 固有値解析結果
(スペーサー1個)

表-3 卓越振動数

スペーサー 個数	解 析 値 固有振動数 (Hz)	風 応 答		風 向 風 速
		卓越振動数 (Hz)		
0	⑦	2.15, 4.30, 6.42, 8.52,	2.05, 6.25, 10.45	S 3.9m/s
	⑧	10.58, 12.59, 14.56	2.05, 6.25, 10.45	
	⑨		2.05, 6.25, 10.55	
1	⑦	2.15, (3.34), 4.30,	2.15, 3.32, 4.20, 6.25	SSW 3.8m/s
	⑧	(6.03), 6.42, (6.64)	2.15, 3.32, 4.20, 6.25	
	⑨	8.52	2.15, 3.32, 4.20, 6.25	
2	⑦	2.15, 4.30, (6.03),	2.05, 6.25, 8.40	S 4.1m/s
	⑧	6.42, (6.64), 8.52	2.05, 6.25, 8.40	
	⑨		2.05, 6.25, 8.40	

あるいは連結部間をサブスパンとする固有振動数が卓越するためであり、ウェイクギャロッピングの発現風速 V/fD を上昇させる観点からは、スペーサーは有効な制振対策といえる。

③ ケーブルの振幅

ケーブル振動は、楕円軌道を描く振動であり、ケーブルの連結によりこの振幅を小さくできることが確認された。

5. おわりに

今回の振動測定は、センサーの取付け位置に制約があったことや、強風時のデータが得られなかったことなどから不十分なものとなったが、本報告が合理的なケーブル制振対策確立への一資料となれば幸いである。

また、本報告は三重県の御厚意によるものであり、ここに記して謝意を表する次第である。

〔参考文献〕

- 1) 助国土開発技術研究センター：斜張橋ケーブルの耐風性に関する検討報告書（1989）
- 2) 建設省土木研究所：本州四国連絡橋の設計施工に関する研究報告，土木研究所資料第2220号（1985）

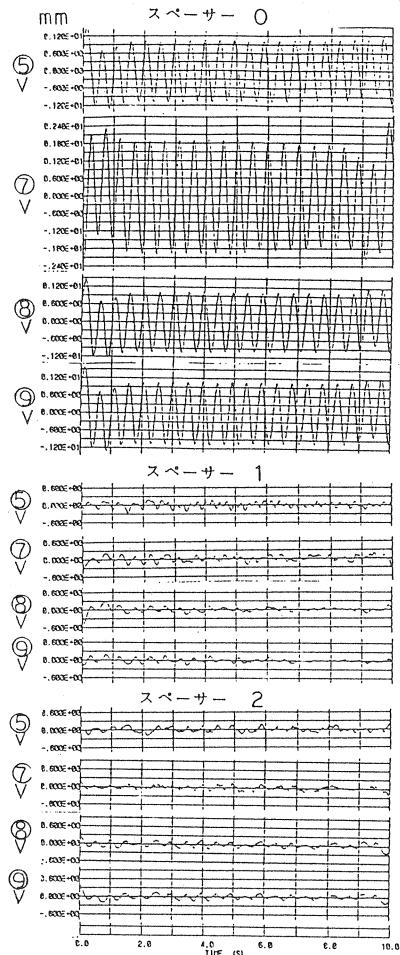


図-7 変位波形の時刻歴

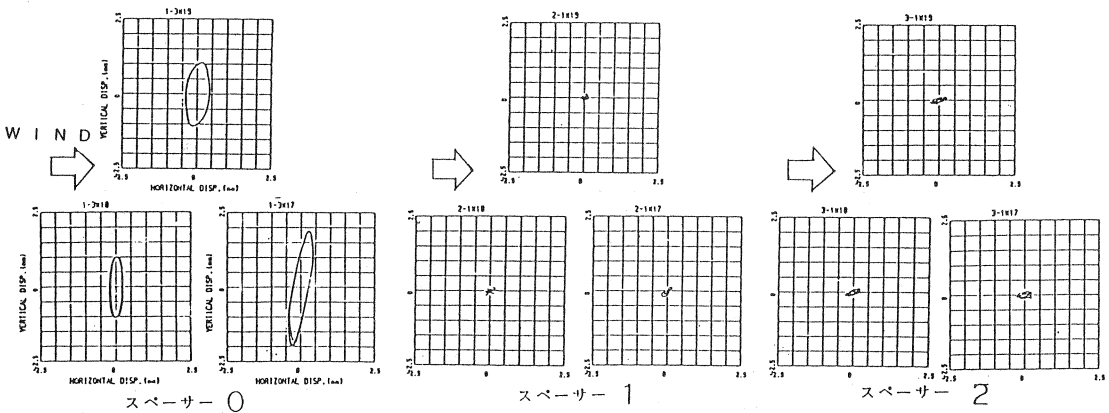


図-8 ケーブル変位のオービット