

I-447 風による斜張橋ケーブル振動の防止対策に関する一考察

九州産業大学工学部 正 員 吉村 健, 正 員 亀井頼隆
 エスイー産業㈱ 及川孝一
 九州産業大学大学院○学生員 松永 寛, 学生員 薙野良一

1. まえがき

斜張橋ケーブルに生じる空力不安定振動現象として、レインバイブレーションとウェイクギャロッピングの二つが挙げられる。前者は、ケーブル表面に形成される水路によって、ケーブルの断面形状がわずかにいびつになること、ならびに、傾斜（ケーブル軸が風向直角方向でない）ケーブル自身の空力不安定性の二つの原因により生じる自励振動と考えられている。一方後者は、2列のケーブルのうち、風下側ケーブルに生じる自励振動を指し、上流側ケーブルの後流が災いして生じる現象である。

上記の振動を防止する手法として、①構造減衰（ δ ）の増加 ②平均密度（ $\bar{\rho}$ ）の増加 ③固有振動数の増加 ④断面形状の選定 の四つがある。これらの中で、①と②は $(\bar{\rho}/\rho_a) \cdot \delta$ のように、スクルートン数と呼ばれる一つの無次元量にまとめられる。ここに ρ_a は空気密度。スクルートン数の大きいケーブル程、上記の振動は発生しにくい。ここで重要なことは、ケーブルの平均密度を増すことと、構造減衰を増すことは等価ということである。

本報告では、上記ケーブル振動の防止対策に関する一考察の結果を記すことにしたい。

2. ロックドコイルケーブル

荒津大橋のケーブルにレインバイブレーションが発生したこと、ならびに、この振動はオイルダンパーを取り付けることによって完全に防止されていることは周知のとおりである¹⁾。同橋のケーブルについては、オイルダンパー取付以前における一時的な振動防止対策として、各ケーブルを麻ロープで高欄に結び付ける手法が取られ、防振に成功したことも既報のとおりである¹⁾。実橋における振動実験結果によれば、麻ロープ無しと有りのケーブルに対する対数減衰率の平均値は、それぞれ約0.01と約0.02であった。これらの結果から、ケーブル減衰を約2倍にすると、レインバイブレーションは防止されることがわかったのである。

表-1は、四種の斜張橋ケーブルに関する資料である。荒津大橋のケーブルでは、ポリエチレン管・セメントグラウトが防錆の目的で用いられている。これら材料の密度は鋼より低いため、“ケーブルの平均密度/鋼の密度”（密度比）は約0.5のように低い。これに対し、表中ロックドコイルケーブルの場合、素線間の空隙がほとんどないため、その密度比は荒津大橋ケーブルの約2倍で、1に近い。上記のように、平均密度を2倍にすることと減衰を2倍にすることは等価であり、減衰を約2倍にすると荒津大橋ケーブルのレインバイブレーションは防止された。いま、もし、ロックドコイルを荒津大橋のケーブルに用いたものとし、その対数減衰率が0.01であるとしよう。その場合、このロックドコイルケーブルは、現ケーブルの対数減衰率を0.02にした場合と等価となり、レインバイブレーションは発生しない可能性があるといえる。

斜張橋ケーブルのレインバイブレーションの問題は、近年、ポリエチレン管被覆ケーブルが用いられるようになって生じている。それ以前は、ロックドコイルが用いられていた。ロックドコイルの表面はポリエチレン管のそれほど滑らかでなく、水路が形成されにくいとも考えられる。しかし、それにも増して、ロックドコイルの密度比は1に近く、そのことによって、レインバイブレーションに対する防止対策が施されたケーブルと見なすことはできないであろうか？ なお、ノングラウトポリエチレン被覆ケーブルの密度比は0.6~0.7（表-1参照）であることも特記に値する。

3. 一体化させた近接2本ケーブル

呼子大橋のケーブルにウェイクギャロッピングが発生したこと、ならびに、ケーブル相互をワイヤーロープで連結することにより、防振に成功したことも周知のとおりである。同橋のケーブルに関する資料も表-1

に記されている。2本のケーブル間隔は、ケーブル直径(d)の4.4倍もしくは4.9倍である。

いま、これら2本のケーブルを近接させ、スパーサーで一体化させたものを考える。図-1(a)の□印は、この一体化されたケーブルについて、風洞による模型実験を行った結果の一例を示す。この実験では、直径44mmで実物より密度の低いポリエチレン被覆ケーブルが用いられた。ケーブル間隔は d で、その傾斜角は 45° 。図中縦軸は、系の構造減衰をゼロと考えた場合の気流中での対数減衰率（空力ダンピング）を表わす。風速の増加に伴い系の減衰が増加すること、すなわちウェイクギャロッピングは生じないことが図よりわかる。図中+印は、小雨をシミュレートした場合の結果である。図-1(b)に+印で示す一本ケーブルではレインバイブレーションが発生するのに対し（ $\delta < 0$ は負減衰振動を意味する）、図-1(a)の2本ケーブルでは、逆に系の減衰が増加することがわかる。あらゆる風向に対する実験結果も図-1(a)と本質的に変わらなかった。

ワイヤーによるケーブル相互連結方式は、美観的には優れた手法とはいえない。これに対し、上記一体化させた近接2本ケーブルにすればワイヤーによる相互連結は不要となり、美観も向上する。

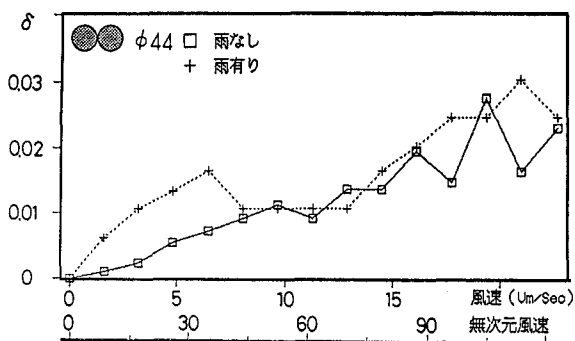
4. むすび

斜張橋ケーブルのレインバイブレーションとウェイクギャロッピングに対する防止対策について考察した。その結果、平均密度の高いロックドコイルをケーブルに用いれば、前者は防止される可能性の高いこと、ならびに、2本のケーブルを近接させ、スパーサーで相互連結して一体化させると、後者と前者共に防止できる可能性の高いことが示された。

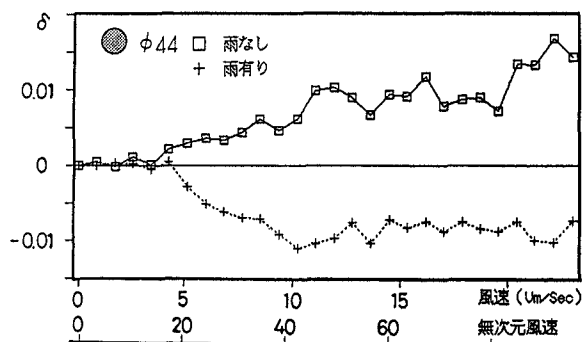
参考文献 1) Yoshimura, T. et al.: A Study on the Aerodynamic Stability of the Aratsu Bridge, Proc. Canada-Japan Workshop on Bridge Aerodynamics, 1989.

表-1 四種の斜張橋に用いられたケーブルの諸元

橋名	種類	直径 (cm)	単位長さ当り 重量 (kg/m)	平均密度/ 鋼の密度
荒津大橋	平行鋼線,	16	79.4	0.503
	ポリエチレン管,	16	85.0	0.538
	メントグラウト.	18	98.0	0.490
横浜港 横断橋	平行鋼線,	13.6	71.0	0.621
	ポリエチレン被覆.	17.5	131.8	0.697
Dao Khanong橋	ロックコイル, 表面塗装.	11.7	84	0.994
		12.5	93	0.964
		13.9	117	0.981
		16.7	167	0.970
呼子大橋	鋼より線,	7.55	14.1	0.401
	ポリエチレン被覆.	8.35	18.5	0.431



(a) 一体化された近接2本ケーブル



(b) 単一ケーブル

図-1 二種のケーブルの空力弾性挙動