

ダブルケーブル方式を採用した斜張橋に対するケーブル制振用粘性せん断型ダンパーの設置法について

川田工業(株) 正 員 ○内海 靖

川田工業(株) 正 員 米田昌弘

オイルス工業(株) 正 員 伊関治郎

1. まえがき PC斜張橋ではポリエチレン管被覆された50mm～100mm程度の細径ケーブルが比較的狭い間隔で並列配置されることも多いが、このような形式でも風による激しいケーブル振動が報告されており、ケーブルの制振法についての検討が太径ケーブルを採用した場合と同様に重要な課題となっている。細径ケーブルを採用する場合、一般には構造設計上から100本程度以上の非常に多くのケーブルが配置されることも多く、青森ベイブリッジで採用されたダブルケーブルに1個の粘性せん断型ダンパーを設置する方法がダンパーの設置個数を低減させる目的から検討されることも予想される。このような観点から、本文では、図-1に示すように端部付近を治具で拘束した2本の並列配置ケーブルに1個の粘性せん断型ダンパーを設置する場合について減衰付加効果の簡易推定法を示すとともに、この手法の妥当性と適用の限界について検討した。

2. 構造減衰の簡易推定法 ダブルケーブルの端部付近を治具で拘束して1個の粘性せん断型ダンパーを設置する方法では、上流側ケーブルと下流側ケーブルがそれぞれ同位相で振動するモード(以下、同位相振動と記す)、逆位相で振動するモード(以下、逆位相振動と記す)およびどちらか一本のケーブルが単独で振動する振動モード(以下、片側単独振動と記す)に対し、所定の構造減衰が得られるように粘性せん断型ダンパーを設計することが望ましい。これら各モードに対する構造減衰は、表-1で定まる粘性減衰係数 c^d とばね定数 k^d を、著者らがすでに提案している1本のケーブルに1個の粘性せん断型ダンパーを設置した場合の設計用減衰評価曲線¹⁾において、それぞれ c 、 k として代入すれば設計上十分な精度で推定できる。

3. 数値計算例と考察 表-2に示す構造諸元を有するC5ケーブルを対象に、 $S_c/D_c=4.84$ および $S_c/D_c=2.42$ なる場合について、ダブルケーブルの端部付近を治具で拘束した後、1個の粘性せん断型ダンパー(粘性せん断を期待する断面積 S_t は 424cm^2)を $l_a=0.75\text{m}$ なる位置に設置した場合に付加される構造減衰を上述の手法で推定した。その結果をそれぞれ表-3、4に示す。ここに、ダンパーは、 l をケーブル長、 x を端部からダンパー取り付け位置までの距離とすれば、 $x/l=0.05$ なる位置のケーブル法線方向に設置している。また、粘性せん断型ダンパーの等価粘性減衰係数と等価ばね定数の算定にあたって必要となるダンパーの設計基準振幅 a は、ダンパーが取り付けられた位置でのケーブルの鉛直方向変位振幅が $S_c/D_c=4.84$ なる場合に 0.3cm として算出した値を採用することとした。なお、表-3と表-5を比較すればわかるように、簡易推定法による結果は複素固有値解析結果と非常に良く一致することを事前に確認している。

表-3より、ケーブル間隔が比較的広い $S_c/D_c=4.84$ なる場合には、 $t=40^\circ\text{C}$ での同位相1次振動に対する構造減衰が $\delta=0.031$ と若干小さいものの、その他の振動モードには十分な構造減衰が付加されていることがわかる。これに対し、ケーブル間隔が比較的狭い $S_c/D_c=2.42$ なる場合には、表-4からわかるように $t=40^\circ\text{C}$ なる温度状態では同位相振動、逆位相振動および片側単独振動に対する構造減衰は $S_c/D_c=4.84$ なる場合とほぼ同等の減衰付加が認められているが、 $t=-5^\circ\text{C}$ なる温度状態での逆位相振動に対しては1～3次とも $\delta=0.015$ 程度以下のきわめて小さい減衰付加しか期待できないことがわかる。これは $S_c/D_c=2.42$ としたことで、逆位相振動に対する粘性減衰係数とばね定数が $S_c/D_c=4.84$ なる場合に比べ4倍も大きくなり、ダンパーの固定としての作用効果が顕著になったことによる。しかしながら、ここに例示した $S_c/D_c=2.42$ の場合にも、たとえば $l_a=0.375\text{m}$ なる位置に粘性せん断型ダンパーを設置すれば、当然のことながら上述の $S_c/D_c=4.84$ ($l_a=0.75\text{m}$)なる場合とほぼ同じ減衰付加が期待できることとなる。ただし、この際には、 S_c/D_c が小さいことからウェイクギャロッピングの励振力が大きく、付加すべき構造減衰の所要値が増加すること、また、

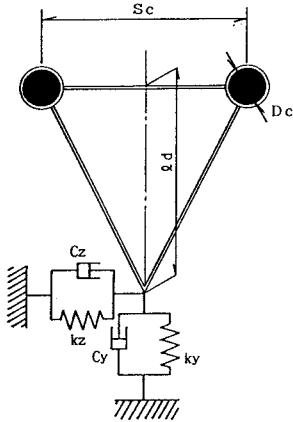
表-1 等価な粘性減衰係数 c^d とばね定数 k^d

	粘性減衰係数	ばね定数
同位相振動	$c^d = c_v/2$	$k^d = k_v/2$
逆位相振動	$c^d = \{l_d/(S_c/2)\}^2 \times C_s/2$	$k^d = \{l_d/(S_c/2)\}^2 \times k_s/2$
片側単独振動	$c^d = \{C_v \times (S_c/2)^2 + C_z l_d^2\} / S_c^2$	$k^d = \{k_v \times (S_c/2)^2 + k_z l_d^2\} / S_c^2$

表-2 C5ケーブルの構造諸元

ケーブル名称	ケーブル長さ l (m)	断面積 Ac (mm ²)	重量 w (t/m)	張力 T (ton)
C5	100.23	0.01205	0.1007	428.5

図-1 粘性せん断型ダンパーの設置状況

表-3 構造対数減衰率の推定結果 ($S_c=0.75m$, $l_d=0.75m$)

着目振動	次数	t=40℃			t=-5℃		
		C ^d (t/m/s)	K ^d (t/m)	構造対数 減衰率	C ^d (t/m/s)	K ^d (t/m)	構造対数 減衰率
同位相振動	1次	1.55	6.11	0.035	10.73	42.28	0.091
	2次	1.10	8.35	0.045	7.59	57.77	0.090
	3次	0.90	10.15	0.051	6.20	69.33	0.087
逆位相振動	1次	5.54	19.16	0.083	38.40	132.70	0.066
	2次	3.92	26.20	0.092	27.16	181.32	0.051
	3次	3.20	31.44	0.094	22.18	217.62	0.044
片側単独振動	1次	3.97	16.10	0.068	9.09	39.16	0.085
	2次	2.80	22.01	0.078	6.43	53.52	0.087
	3次	2.29	26.42	0.081	5.25	64.23	0.085

表-4 構造対数減衰率の推定結果 ($S_c=0.375m$, $l_d=0.75m$)

着目振動	次数	t=40℃			t=-5℃		
		C ^d (t/m/s)	K ^d (t/m)	構造対数 減衰率	C ^d (t/m/s)	K ^d (t/m)	構造対数 減衰率
同位相振動	1次	1.55	6.11	0.035	10.73	42.28	0.091
	2次	1.10	8.35	0.045	7.59	57.77	0.090
	3次	0.90	10.15	0.051	6.20	69.33	0.087
逆位相振動	1次	22.16	76.64	0.088	153.60	530.80	0.016
	2次	15.68	104.80	0.076	108.64	725.28	0.012
	3次	12.80	125.76	0.068	88.72	870.48	0.011
片側単独振動	1次	13.27	52.73	0.090	18.39	75.79	0.084
	2次	9.37	72.08	0.087	13.00	103.59	0.076
	3次	7.66	86.51	0.082	10.62	124.32	0.070

表-5 複素固有値解析結果 ($S_c=0.75m$, $l_d=0.75m$)

着目振動	次数	t=40℃					t=-5℃				
		C _v (t/m/s)	K _s (t/m)	C _s (t/m/s)	K _s (t/m)	構造対数 減衰率	C _v (t/m/s)	K _v (t/m)	C _s (t/m/s)	K _s (t/m)	構造対数 減衰率
同位相振動	1次	3.10	12.21	—	—	0.031	21.45	84.55	—	—	0.092
	2次	2.19	16.69	—	—	0.041	15.17	115.53	—	—	0.093
	3次	1.79	20.03	—	—	0.048	12.39	138.66	—	—	0.091
逆位相振動	1次	—	—	2.77	9.58	0.080	—	—	19.20	66.35	0.064
	2次	—	—	1.96	13.10	0.094	—	—	13.58	90.66	0.051
	3次	—	—	1.60	15.72	0.100	—	—	11.09	108.81	0.044
片側単独振動	1次	3.46	15.57	3.10	12.21	0.063	23.97	107.81	3.10	12.21	0.086
	2次	2.45	21.28	2.19	16.69	0.077	16.96	147.31	2.19	16.69	0.090
	3次	2.00	25.54	1.79	20.03	0.085	13.84	176.79	1.79	20.03	0.090

50mm～100mm程度の細径ケーブルが並列配置されたPC斜張橋では S_c/D_c なる値が2程度の非常に小さな値が採用されることも多く、ダブルケーブルを端部付近で拘束する際に治具の設置が困難になるなどの点に留意した検討を行わなければならない。そして、ダブルケーブルに1個の粘性せん断型ダンパーを設置する方法では風によるケーブル振動に対処できないと判断された場合には、1本のケーブルに1個の粘性せん断型ダンパーを設置する従来方式を採用する必要があるものと言えよう。

【参考文献】 1) 米田・下田：ケーブル制振用粘性せん断型ダンパーのより厳密な設計法について，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集，1993年9月。