

I - 257

異なる特性を有する2種類のケーブル制振用ダンパーを併用した場合の減衰付加特性について

川田工業(株) 正 員 ○宮地真一

川田工業(株) 正 員 米田昌弘

1. まえがき

斜張橋ケーブルの風による振動を制振する方法として、最近ではオイルダンパーや粘性せん断型ダンパーをケーブル端部付近に設置する方式が主要な対策として位置づけられている。しかしながら、中央支間長が500m程度以上の長大斜張橋では、高欄や自動車防護柵よりかなり高い位置にダンパーを設置しなければ所定の構造減衰が得られない場合が多く、それゆえ、美観上や維持管理上から少しでも低い位置にダンパーを設置する手法の確立が急務の検討課題となっていた。

そこで、本文では長さ300mのケーブルを対象に、オイルダンパーのみを採用とした場合およびオイルダンパーと粘性せん断型ダンパーを併用とした場合のそれぞれについて複素固有値解析を行い、異なる特性を有する2種類のケーブル制振用ダンパーを併用した場合の有用性について検討した。

2. 対象としたケーブルの構造諸元

対象とした長さ300mなるケーブルの構造諸元を表-1に示す。なお、次章の検討にあたっては、対象ケーブルを100部材に分割した鎖状ケーブルモデルについて複素固有値解析を実施するとともに、1次～9次までの振動モード($f_1=0.340\text{Hz}$ ～ $f_9=3.058\text{Hz}$)に対し、所定の構造減衰が得られるようダンパーの設置位置を選定することとしている。

3. 解析結果と考察

ケーブル定着点からダンパー設置位置までの距離 x とケーブル長さ l との比 x/l が $x/l=0.04$ なる位置にオイルダンパーのみを設置した場合の複素固有値解析結果を図-1に示す。図-1からわかるように、 $C=7.3\text{t}\cdot\text{s}/\text{m}$ なる粘性減衰係数を有するオイルダンパーを採用すれば、1次から9次までの着目したすべての振動モードの構造対数減衰率 δ が0.08以上になっている。しかしながら、オイルダンパー方式では、複素固有値解析結果と実橋ケーブル試験で測定された実測値には一般に差異が生じ、設計にあたっては0.5なる減衰付加効率を採用するのが通常である。それゆえ、オイルダンパー方式のみを採用した場合には、 $x/l=0.04$ なる位置にダンパーを設置することにより $\delta=0.04$ なる構造減衰が実橋ケーブルに付加されることとなる。

そこで、図-2に示すように、高欄と同程度の高さとなる $x_1/l=0.0275$ なる位置に粘性せん断型ダンパーを、また、 $x_2/l=0.035$ (<0.04)なる位置にオイルダンパーをそれぞれ設置したモデルを考え、これら特性の異なる2種類のダンパーを併用した場合の減衰付加効果について検討することとした。粘性せん断型ダンパーのせん断断面積を $S=240\text{cm}^2$ 、オイルダンパーの粘性減衰係数を $C=1.0\sim 8.0\text{t}\cdot\text{s}/\text{m}$ とした場合の複素固有値解析結果を表-2(a),(b)に示す。ここに、粘性せん断型ダンパーのせん断断面積は、 $t=-5^\circ\text{C}$ における1次～9次モードの構造対数減衰率が $\delta\geq 0.04$ となるように決定したものである。なお、粘性せん断型ダンパーでは等価粘性減衰係数 C と等価ばね定数 K を適切に評価すれば1.0なる減衰付加効率を採用できる¹⁾ことから、オイルダンパーによる寄与分のみを50%に低減させた結果を表-2中の括弧内に付記することとした。

表-2より、 $S=240\text{cm}^2$ なる粘性せん断型ダンパー($x_1/l=0.0275$)と $C=7.0\text{t}\cdot\text{s}/\text{m}$ なるオイルダンパー($x_2/l=0.035$)を併用すれば、 $t=-5^\circ\text{C}$ から 40°C なる温度条件のもとで1次～9次モードの構造対数減衰率は $\delta\geq 0.04$ となり所要値を満足していることがわかる。これに対し、2つのオイルダンパー($x_1/l=0.0275$, $x_2/l=0.035$)を併用した場合には、表-3に示した複素固有値解析結果から、1次～9次モードの構造対数減衰率が同時に $\delta\geq 0.04$ となり得ないことが理解できよう。

以上の検討結果より、異なる特性を有するオイルダンパーと粘性せん断型ダンパーを併用する方法は、中央支間長が500m程度以上の長大斜張橋におけるケーブル制振対策を検討するにあたり、有効な手法の一つになり得るものと言えよう。

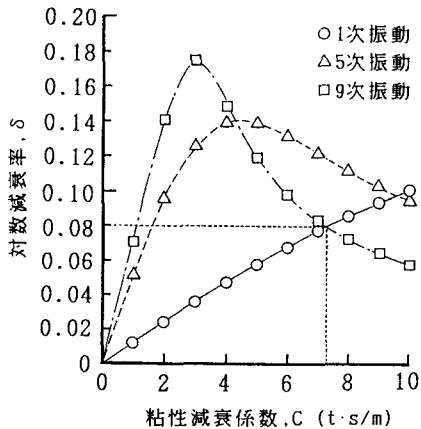
図-1 複素固有値解析結果($x_1/l=0.04$)

表-1 対象としたケーブルの構造諸元

ケーブル長 l (m)	断面積 Ac (m ²)	重量 w (t/m)	張力 T (t)
300.0	0.0150	0.1250	530.0

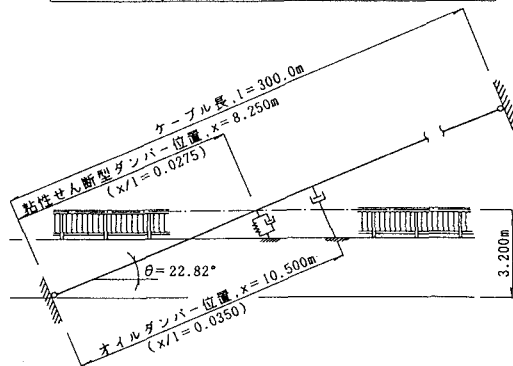


図-2 2種類のダンパーを設置したケーブルモデル

表-2 粘性せん断型ダンパー($x_1/l=0.0275$)とオイルダンパー($x_2/l=0.035$)を併用した場合の減衰付加効果(a) $t=40^\circ\text{C}$ なる場合 ($S=240\text{cm}^2$)

振動モード	粘性せん断型ダンパー		オイルダンパーの粘性減衰係数, C (t・s/m)								
	Ce (t・s/m)	Ke (t/m)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
1 次	3.03	4.23	0.0152	0.0234 (0.0193)	0.0314 (0.0233)	0.0392 (0.0272)	0.0466 (0.0309)	0.0537 (0.0345)	0.0604 (0.0378)	0.0667 (0.0409)	0.0725 (0.0439)
5 次	1.36	8.73	0.0285	0.0598 (0.0442)	0.0841 (0.0563)	0.0995 (0.0640)	0.1064 (0.0675)	0.1071 (0.0678)	0.1040 (0.0663)	0.0991 (0.0638)	0.0934 (0.0610)
9 次	1.01	11.37	0.0333	0.0799 (0.0566)	0.11119 (0.0722)	0.1169 (0.0751)	0.1065 (0.0699)	0.0931 (0.0632)	0.0814 (0.0573)	0.0718 (0.0525)	0.0641 (0.0487)

(b) $t=-5^\circ\text{C}$ なる場合 ($S=240\text{cm}^2$)

振動モード	粘性せん断型ダンパー		オイルダンパーの粘性減衰係数, C (t・s/m)								
	Ce (t・s/m)	Ke (t/m)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
1 次	20.99	29.28	0.0475	0.0511 (0.0493)	0.0544 (0.0509)	0.0576 (0.0525)	0.0606 (0.0540)	0.0633 (0.0554)	0.0658 (0.0566)	0.0681 (0.0578)	0.0702 (0.0588)
5 次	9.39	60.41	0.0458	0.0531 (0.0494)	0.0581 (0.0519)	0.0611 (0.0535)	0.0626 (0.0542)	0.0629 (0.0544)	0.0624 (0.0541)	0.0612 (0.0535)	0.0596 (0.0527)
9 次	7.00	78.71	0.0427	0.0515 (0.0471)	0.0559 (0.0493)	0.0568 (0.0497)	0.0556 (0.0492)	0.0533 (0.0480)	0.0505 (0.0466)	0.0473 (0.0450)	0.0448 (0.0437)

表-3 2つのオイルダンパー($x_1/l=0.0275$, $x_2/l=0.035$)を併用した場合の減衰付加効果

振動モード	オイルダンパー ($x_1/l=0.0275$)	オイルダンパー($x_2/l=0.035$)の粘性減衰係数, C_2 (t·s/m)								
		0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
1 次	粘性減衰係数は $C_1=10.28\text{ t·s/m}$ に固定	0.0533 (0.0266)	0.0605 (0.0303)	0.0673 (0.0337)	0.0736 (0.0368)	0.0794 (0.0397)	0.0847 (0.0423)	0.0894 (0.0447)	0.0936 (0.0468)	0.0973 (0.0487)
5 次		0.0793 (0.0397)	0.0806 (0.0403)	0.0798 (0.0399)	0.0778 (0.0389)	0.0751 (0.0376)	0.0721 (0.0360)	0.0689 (0.0344)	0.0657 (0.0329)	0.0627 (0.0313)
9 次		0.0533 (0.0267)	0.0542 (0.0271)	0.0532 (0.0266)	0.0512 (0.0256)	0.0487 (0.0243)	0.0460 (0.0230)	0.0435 (0.0217)	0.0410 (0.0205)	0.0387 (0.0194)

【参考文献】 1)望月他：ケーブル制振用粘性せん断型ダンパーの減衰付加効率について，土木学会第48回年次学術講演概要集，1993年9月。