

川田工業 俣 正 員 ○米田昌弘
オイレス工業 俣 正 員 下田郁夫

1. まえがき

著者らは、主要なケーブル制振対策の一つである粘性せん断型ダンパーを対象に、提案した実験式を用いて等価粘性減衰係数と等価ばね定数を適切に評価すれば、1.0なる減衰付加効率が採用できることを報告している¹⁾。そこで、本文ではばね剛性を有するダンパーをケーブルに設置した場合にも適用できる、設計用減衰評価曲線を与えるとともに粘性せん断型ダンパーのより厳密な設計法を示し、斜張橋ケーブルの制振対策に関する有用な知見を報告する。

2. 設計用減衰評価曲線

ばね剛性を有するダンパーをケーブルに設置した場合、一例として図-1に示した解析結果からもわかるように、ばね定数 k の増加とともにダンパーによって付加される構造対数減衰率の最大値 δ^k_{max} は小さくなり、また、 δ^k_{max} を与える最適粘性減衰係数 C^k_{opt} は大きくなる。このようにばね定数が一定で粘性減衰係数のみが変化する場合の減衰評価曲線は次式で与えられる。

$0 < C/C^k_{opt} \leq 1.2$ なる範囲で

$$\delta / \delta^k_{max} = 0.116 \times (C/C^k_{opt})^3 - 1.245 \times (C/C^k_{opt})^2 + 2.129 \times (C/C^k_{opt})$$

$1.2 < C/C^k_{opt} \leq 7.0$ なる範囲で

$$\delta / \delta^k_{max} = -0.004 \times (C/C^k_{opt})^3 + 0.075 \times (C/C^k_{opt})^2 - 0.505 \times (C/C^k_{opt}) + 1.468$$

} (1)

ここに、ばね剛性のないダンパーを設置した場合の最適粘性減衰係数を C_{opt} 、付加される構造対数減衰率の最大値を δ_{max} とした場合、 C^k_{opt} と δ^k_{max} はそれぞれ次式で推定できる。

$$C^k_{opt} = R_{opt} \times C_{opt} \quad \text{..... (2)}$$

$$\delta^k_{max} = R_{max} \times \delta_{max} \quad \text{..... (3)}$$

ただし、

$$R_{opt} = 1.0 + 0.962 \times P_{TK} \quad \text{..... (4)}$$

$$R_{max} = \begin{cases} -0.0851 \log P_{TK} + 0.830 & (0.01 \leq P_{TK} \leq 0.15) \\ -0.5101 \log P_{TK} + 0.480 & (0.15 < P_{TK} \leq 5.00) \\ -0.1451 \log P_{TK} + 0.225 & (5.00 < P_{TK} \leq 10.0) \end{cases} \quad \text{..... (5)}$$

なお、式(5)の P_{TK} は、ケーブル張力を T 、ケーブル長を l 、ケーブル端部からダンパー取り付け位置までの距離を x とした場合、式(6)で与えられる無次元パラメーターである。

$$P_{TK} = x \cdot (1-x) \cdot k / T \cdot l \quad \text{..... (6)}$$

一方、粘性せん断型ダンパーの等価ばね定数 k_0 (kg/cm)は等価粘性減衰係数 C_0 (kg/cm/s)の大きさとともに変化し、粘性体の厚さ d が $d=1.0$ cmなる基本タイプに対しては、振動振幅 a が0.5cm程度以下の範囲で以下の関係式が成立する。

$$K_0 = 0.54 a^{-0.19} \omega^{0.95} C_0 \quad \text{..... (7)}$$

したがって、制振対象とするケーブルの固有円振動数 ω と粘性せん断型ダンパーを設計する際の基準振幅 a が与えられれば、等価粘性減衰係数 C_0 を式(7)に代入して算出した等価ばね定数 K_0 に対応する構造減衰の付加量を式(1)～式(6)を用いて計算すれば良い。

3. 粘性せん断型ダンパーの設計計算例

表-1に示したC1ケーブルを対象に、ダンパーの取り付け位置が $x/l=0.04$ 、設計基準振幅として $a=0.3$ cm、設計温度として $t=-5^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ なる条件を仮定し、この条件のもとで3Hz程度以下の振動モードについて、ダン

バーによって付加される構造対数減衰率 $\Delta\delta$ が $\Delta\delta \geq 0.04$ となるように粘性体の注入量（粘性せん断を期待する断面積 S ）を決定するものとする。計算にあたっては、対象としたC1ケーブルの固有振動数が $f_1=0.521$ Hz（1次） $\sim f_6=3.123$ Hz（6次）であることから、6次モードまでについて $\Delta\delta \geq 0.04$ となるようにすれば良い。着目する等価粘性減衰係数 C_e の範囲は $C_e=1 \sim 30$ t/m/sであり、 C_e を式(7)に代入して算出した等価ばね定数 K_e に対応する構造減衰の付加量は式(1)～式(6)を用いて推定できる。参考までに、1次モードと6次モードに対する等価粘性減衰係数と付加される構造対数減衰率の関係を図-2に示す。

$t=40^\circ\text{C}$ において1次モードの構造対数減衰率が $\Delta\delta \geq 0.04$ となるためには、1次モードに対する等価粘性減衰係数 C_e が次式を満足する必要がある。

$$C_e \geq 0.85 \times e^{-0.043 \times 40} \times S \times 0.3^{0.34} \times 1.0^{-0.5} \times 0.3^{-0.50} \times (2\pi \times 0.521)^{-0.5} = 0.102 \times S \quad \dots\dots\dots (8)$$

図-2からわかるように、 $\Delta\delta \geq 0.04$ となる C_e の値は $C_e=4.1$ t/m/s $=41$ kg/cm/sである。ここでは、設計にとって若干安全側となるように $C_e=43$ kg/cm/sなる値を採用することとし、この値を式(8)に代入すれば $S=424$ cm²が得られる。そこで、 $S=424$ cm²なるもとの、1次モードと6次モードに対し、 $t=40^\circ\text{C}$ と $t=-5^\circ\text{C}$ なる場合の減衰付加量を上述の設計用減衰評価式を用いて推定した。その結果を表-2に示す。表-2より、粘性体の注入量として $S=424$ cm²となるよう決定すれば、 $t=-5^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ なる温度条件下で1次モードのみならず6次モードに対しても所要の構造減衰が付加されていることがわかる。なお、表-2には参考までに複素固有値解析結果も付記してあるが設計用減衰評価式より計算した構造減衰の推定値は複素固有値解析結果と良く対応していることが理解できよう。

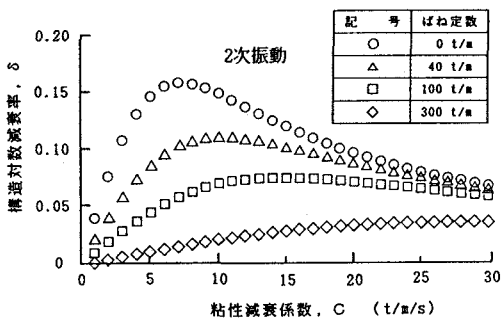


図-1 複素固有値解析結果の一例
($l=100.23$ m, $x/l=0.0471$)

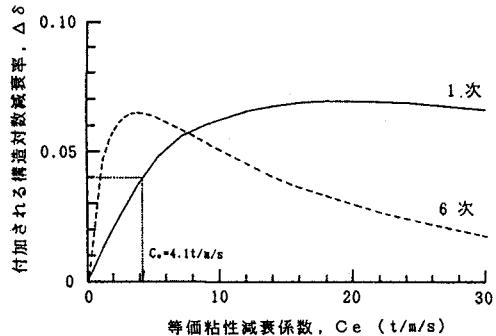


図-2 粘性せん断型ダンパーを設置した場合の等価粘性減衰係数と構造対数減衰率の関係（C1ケーブル， $x/l=0.04$ ）

表-1 C1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 A_c (m ²)	重量 w (t/m)	張力 T (ton)
C1	199.25	0.01528	0.1278	561.0

表-2 C1ケーブルに対する構造対数減衰率の推定値

次数	$t=40^\circ\text{C}$				$t=-5^\circ\text{C}$			
	C_e (t/m/s)	k_e (t/m)	構造対数減衰率		C_e (t/m/s)	k_e (t/m)	構造対数減衰率	
			推定値	解析値			推定値	解析値
1次	4.33	9.05	0.042	0.040	29.98	62.67	0.066	0.067
6次	1.76	20.16	0.058	0.066	12.13	139.27	0.046	0.046

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