

I - 254

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

川田工業(株) 正 員 ○望月秀之

川田工業(株) 正 員 米田昌弘

オイレス工業(株) 正 員 下田郁夫

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、オイルダンパー方式では0.5~1.1程度の減衰付加効率(実測値/理論値)が、また、粘性せん断型ダンパーでは0.5~0.7程度の減衰付加効率がそれぞれ報告されており、ダンパー方式の設計ならびにその信頼性を向上させる意味からも減衰付加効率についての定量的評価が急務の検討課題となっている。

このような観点から、本文では粘性せん断型ダンパーに着目し、本ダンパーが有するばね剛性を評価してその等価ばね定数算定式を与えるとともに、等価粘性減衰係数と等価ばね定数を用いた複素固有値解析結果と実橋ケーブル試験結果との比較から、粘性せん断型ダンパーの減衰付加効率について検討した。

2. 等価ばね定数と等価粘性減衰係数

室内実験で得られた加振振幅が5mm以下の変位-抵抗力線図を分析した結果、粘性体の温度が高いほど、加振振動数が低いほど、また、振動振幅が大きくなるほど、粘性せん断型ダンパーのばね剛性が小さくなる事が判明した。そこで、粘性せん断型ダンパーのばね剛性に及ぼす温度依存性、振動数依存性および振幅依存性についてより詳細に要因分析した結果、粘性せん断型ダンパーの等価ばね定数 K_0 (kg/cm) の算定式として以下に示す実験式が得られた。

$$K_0 = 0.46 \times e^{-0.043t} \cdot S \cdot \omega^{0.45} \cdot d^{-1.0} \cdot a^{-0.35} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 K_0 は等価ばね定数(kg/cm/s)、 t は粘性体の温度(°C)、 d は粘性体の厚さ(cm)、 S は粘性せん断を期待する断面積(cm²)、 a は振幅(cm)、 ω は固有円振動数(rad/s)である。

なお、加振振幅が5mm程度以下における等価粘性減衰係数 C_e はすでに文献1)に詳述したように次式で算定できることを付記しておく。

$$C_e = 0.85 \times e^{-0.043t} \cdot S \cdot a^{0.34} \cdot d^{-0.5} \cdot \omega^{-0.5} \quad \dots\dots\dots (2)$$

3. 粘性せん断型ダンパーの減衰付加効率

ケーブル制振用粘性せん断型ダンパーの開発にあたっては、表-1に示す構造諸元を有するC5ケーブルを対象に実橋ケーブル試験¹⁾を実施している。C5ケーブルの固有振動数(面内1次が1.02Hz、面内2次が2.04Hz、面内3次が3.06Hz)と加振振幅域(基準振幅は面内1次、面内2次、面内3次とも最大片振幅の約1/2に相当する0.075cmを採用)を考慮して等価粘性減衰係数 C_e と等価ばね定数 K_0 を計算するとともに、実験と同じく x/l (ダンパーの取り付け位置/ケーブル長)=0.0471なる位置にダンパーを設置したケーブルモデルに対する複素固有値解析結果を構造対数減衰率の実測値(実橋ケーブル試験結果)と比較した。その結果を表-2に示す。ここに、実橋ケーブル試験結果は、ダンパー設置後の構造対数減衰率からダンパー設置前の値を差し引いたものである。また、複素固有値解析にあたっては、粘性せん断型ダンパーを図-1に示すようにばねとダッシュポットを並列につないだVoigtモデルで置換することとしている。

参考までに、粘性せん断型ダンパーの減衰抵抗力のみを考慮した場合の減衰付加効率を表-3に示す。表-2と表-3の比較より、ばね剛性を考慮した場合の減衰付加効率は若干誤差はあるものの1.0程度に分布しており、複素固有値解析結果は実験値と良く対応していることが理解できる。なお、減衰付加効率に対する若干の誤差は、表-4からもわかるように主として等価ばね定数の推定誤差に起因するものと考えられる。

表-1 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

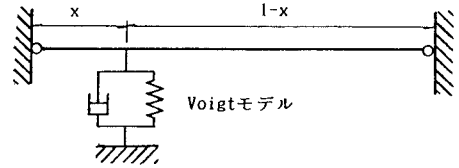


図-1 粘性せん断型ダンパーのモデル化

表-2 ダンパー設置後に付加された構造対数減衰率の実測値と解析値の比較
（減衰抵抗力とばね剛性を考慮した場合）

振動次数	温 度 (℃)	実測値	複素固有値解析結果			減衰付加効率
		構造対数 減 衰 率	等価粘性減衰 係数 (t/m/s)	等価ばね定数 (t/m)	構造対数 減 衰 率	
1 次	—	—	—	—	—	—
	18.5	0.080	15.88	82.5	0.071	1.13
	—	—	—	—	—	—
2 次	-0.2	0.033	25.10	251.9	0.041	0.81
	18.5	0.061	11.23	112.7	0.066	0.92
	40.0	0.095	4.46	44.7	0.074	1.28
3 次	0.5	0.038	19.88	293.4	0.037	1.03
	18.5	0.061	9.17	135.3	0.062	0.98
	39.8	0.088	3.66	54.1	0.078	1.13

表-3 ダンパー設置後に付加された構造対数減衰率の実測値
と解析値の比較 （減衰抵抗力のみを考慮した場合）

振動次数	温 度 (℃)	実測値	複素固有値解析結果		減衰付加効率
		構造対数 減 衰 率	等価粘性減衰 係数 (t/m/s)	構造対数 減 衰 率	
1 次	—	—	—	—	—
	18.5	0.080	15.88	0.155	0.52
	—	—	—	—	—
2 次	-0.2	0.033	25.10	0.079	0.42
	18.5	0.061	11.23	0.141	0.43
	40.0	0.095	4.46	0.139	0.68
3 次	0.5	0.038	19.88	0.068	0.56
	18.5	0.061	9.17	0.128	0.48
	39.8	0.088	3.66	0.153	0.58

表-4 等価ばね定数の推定値と逆算値の比較

振動次数	温 度 (℃)	等価ばね定数 (t/m)	
		推 定 値	逆 算 値
1 次	—	—	—
	18.5	82.5	69.9
	—	—	—
2 次	-0.2	251.9	326.4
	18.5	112.7	125.5
	40.0	44.7	25.9
3 次	0.5	293.4	283.0
	18.5	135.3	138.5
	39.8	54.1	43.4

4. まとめ

以上の検討結果より、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、ばね定数の推定精度に起因した若干の誤差はあるものの、粘性せん断型ダンパーによって付加される構造対数減衰率の理論値は実験値とほぼ一致し、設計にあたり粘性せん断型ダンパーの減衰付加効率として1.0なる値が採用できるものと考えられる。

【参考文献】 1)米田 他：ケーブル制振用粘性せん断型ダンパの開発，日本機械学会論文集(C編)，58巻555号，pp.47～52，1992年11月。