

I-459

斜張橋ケーブルを対象とした併用ダンパー方式の減衰評価手法について

川田工業（株） 正員 ○瀬戸内秀規

川田工業（株） 正員 米田 昌弘

川田工業（株） 正員 望月 秀之

1. まえがき 近年における大規模な長大斜張橋では、ケーブルの制振対策として、空力的対策に加え、1本のケーブルに2基のダンパーを設置する併用ダンパー式を対策案の一つとして検討する機会が増加するものと推察される。しかしながら、1本のケーブルに2基のダンパーを設置した場合の減衰付加効果を検討する場合、当然のことながら、1本のケーブルに1個のダンパー設置を前提とした従来の設計用減衰評価曲線はそのままでは適用できない。そこで、著者らは、1本のケーブルに2基のダンパーを併用する方式の減衰評価手法をあらたに提案することとした。

2. 減衰評価手法 図-1に示すようにケーブル端部から x_1 と x_2 なる位置のそれぞれに、ばね剛性を有するダンパーが設置された場合を想定する。本減衰評価手法は、下方側ダンパーの寄与で上方側ダンパーの設置位置が、また、上方側ダンパーの寄与で下方側ダンパーの設置位置がそれぞれ見かけ上短くなると仮定し、従来の設計用減衰評価曲線から計算した上方側ダンパーのみと下方側ダンパーのみによる構造減衰をそれぞれ重ね合わせようとするものである。そこで、まず、下方側ダンパーのみに着目し、ダンパー（ばねとダッシュポットから構成）の設置位置におけるケーブルのモード振幅の低下率について検討する。図-2に示した複素固有値解析結果から、ばねによる x_1 点におけるモード振幅の低下率 ϕ_{k1} （ばね定数が k_1 なる場合のモード振幅/ばねを設置しない場合のモード振幅）と無次元パラメーター P_{Tk1} には、モード次数に係わらず、以下の関係が成立することがわかる。

$$\phi_{k1} = \frac{1.0}{1.0 + P_{Tk1}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 T をケーブル張力、 ℓ をケーブル長とすれば、無次元パラメーター P_{Tk1} はばね剛性とケーブル張力に起因した剛性の比として次のように定義される。

$$P_{Tk1} = \frac{x_1(\ell - x_1)k_1}{T\ell} \quad \dots\dots\dots (2)$$

一方、図-3から、ダッシュポットによる x_1 点におけるモード振幅の低下率 ϕ_{c1} （粘性減衰係数が C_1 なる場合のモード振幅/ダッシュポットを設置しない場合のモード振幅）と $C_1/C_{opt}(n)$ には、モード次数に係わらず、以下の関係が成立することがわかる。

$$\phi_{c1} = \frac{1.0}{1.0 + \{C_1/C_{opt}(n)\}^{2.3}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $C_{opt}(n)$ は、ダッシュポットを設置した場合における n 次モードの最適粘性減衰係数である。したがって、下方側ダンパーの寄与によって、上方側ダンパーの取り付け位置

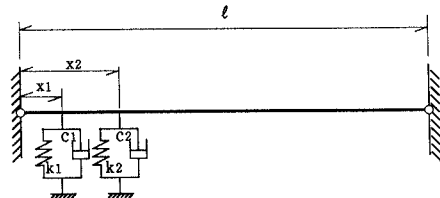
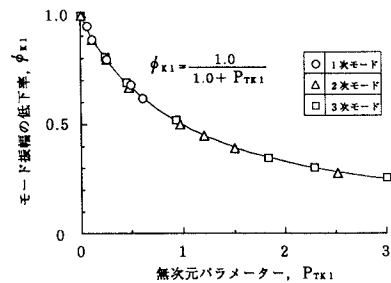
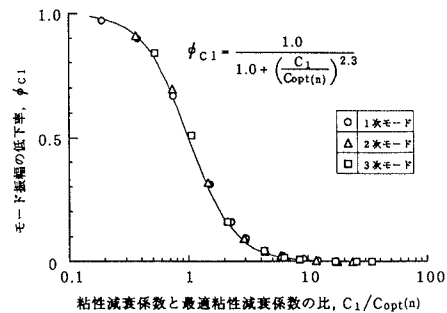


図-1 ダンパーが併用された場合の検討モデル

図-2 無次元パラメーター P_{Tk1} とモード振幅の低下率 ϕ_{k1} の関係図-3 無次元化した粘性減衰係数 $C_1/C_{opt}(n)$ とモード振幅の低下率 ϕ_{c1} の関係

x_2 は,

$$\phi_{k1} \times \phi_{c1} \times \sin\left(\frac{n\pi x_1}{\ell}\right) = \sin\left(\frac{n\pi(x_1 - x_{c1k1})}{\ell - x_{c1k1}}\right) \quad \dots (4)$$

なる関係式から誘導する x_{c1k1} なる距離だけ短くなると仮定できる。

同様に、上方側ダンパーの寄与によって、下方側ダンパーの設置位置は、

$$\sin\frac{n\pi x_{c2k2}}{\ell} = \phi_{c2} \times \phi_{k2} \times \frac{x_1}{x_2} \times \sin\frac{n\pi x_2}{\ell} \quad \dots (5)$$

ただし、

$$\phi_{c2} = \frac{1.0}{1.0 + \{c_2/c_{opt}(n)\}^{2.3}}, \quad \phi_{k2} = \frac{1.0}{1.0 + P_{Tk2}} \quad \dots (6)$$

なる関係式から誘導される x_{c2k2} なる距離だけ短くなると仮定できる。

以上より、対象とした解析モデル（下方側と上方側にそれぞればね剛性を有するダンパーを設置したモデル）に付加される構造減衰は、図-4に示したように、上述の手順で定まる δ_1 と δ_2 の合計値にほぼ等しくなると推察される。

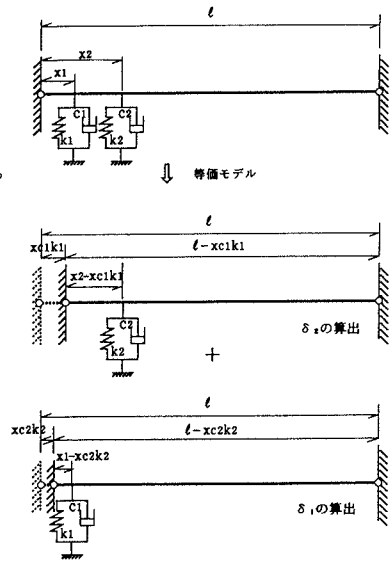


図-4 等価モデルへの置換（併用ダンパー方式）

表-1 250mケーブルの構造諸元

ケーブル長 l (m)	断面 A (m^2)	自重 w ($t \cdot f/m$)	張力 T ($t \cdot f$)
250.0	0.01089	0.0893	430.0

3. 提案した減衰評価手法の妥当性

表-1に示す諸元を有する $\ell = 250m$ のケーブルを対象として、 $x_1 = 4.0m$ なる位置にばね剛性を有する下方側ダンパーを設置するとともに、 $x_2 = 10.0m$ なる上方側にオイルダンパーを設置した場合(CASE-1)ならびにばね剛性を有するダンパーを設置した場合(CASE-2)のそれぞれについて、複素固有値解析結果と提案した減衰評価手法による推定結果を比較することとした。なお、複素固有値解析のモデル化にあたって、分割数に依存した解析誤差を極力小さくすることを考え、 $\ell = 250m$ なるケーブルを250部材に分割することにした。それぞれのケースに対する比較結果を表-2、表-3に示す。ここに、7次モードにおいて推定値を記していない箇所は文献1)の減衰評価曲線が適用範囲外($c_2/c_{opt}(n) > 7.0$)となったことによる。表-2、表-3からわかるように、両者の結果はおおむね良く一致しており、本文で提案した減衰評価手法は実務上の有用性が高いと言える。

表-2 CASE-1に対する複素固有値解析結果と推定値の比較

下段側 ダンパー $x_1 = 4.0m$ C_1 ($tf \cdot s/m$)	k_1 (tf/m)	上段側 ダンパー $x_2 = 10.0m$ C_2 ($tf \cdot s/m$)	構造対数減衰率					
			1次		4次		7次	
			複素 固有値	推定値	複素 固有値	推定値	複素 固有値	推定値
10.0	100.0	1.0	0.017	0.018	0.055	0.051	0.071	0.064
		3.0	0.037	0.039	0.096	0.088	0.102	0.094
		5.0	0.055	0.056	0.103	0.100	0.086	0.082
		10.0	0.088	0.088	0.079	0.076	0.051	0.050
		15.0	0.103	0.105	0.059	0.056	0.036	0.034
		20.0	0.105	0.109	0.046	0.042	0.027	0.030
		25.0	0.101	0.101	0.038	0.034	0.022	0.024
		30.0	0.095	0.092	0.032	0.032	0.018	-
		1.0	0.015	0.015	0.045	0.041	0.057	0.053
		3.0	0.032	0.032	0.083	0.074	0.092	0.087
20.0	200.0	5.0	0.047	0.047	0.093	0.088	0.082	0.080
		10.0	0.077	0.075	0.076	0.072	0.051	0.049
		15.0	0.092	0.091	0.058	0.054	0.036	0.033
		20.0	0.097	0.098	0.046	0.042	0.027	0.025
		25.0	0.095	0.095	0.037	0.033	0.022	0.026
		30.0	0.090	0.087	0.032	0.028	0.018	-

表-3 CASE-2に対する複素固有値解析結果と推定値の比較

下段側 ダンパー $x_1 = 4.0m$ C_1 ($tf \cdot s/m$)	k_1 (tf/m)	上段側 ダンパー $x_2 = 10.0m$ C_2 ($tf \cdot s/m$)	k_2 (tf/m)	構造対数減衰率					
				1次		4次		7次	
				複素 固有値	推定値	複素 固有値	推定値	複素 固有値	推定値
2.5	25.0	1.0	10.0	0.012	0.014	0.046	0.046	0.072	0.067
		3.0	10.0	0.030	0.033	0.091	0.089	0.109	0.102
		5.0	10.0	0.047	0.049	0.103	0.104	0.090	0.088
		10.0	10.0	0.079	0.080	0.080	0.079	0.053	0.057
		15.0	30.0	0.062	0.060	0.055	0.054	0.035	0.034
		20.0	30.0	0.070	0.069	0.044	0.042	0.027	0.025
		25.0	30.0	0.073	0.073	0.037	0.034	0.022	0.021
		30.0	30.0	0.073	0.072	0.031	0.028	0.018	0.018
		1.0	10.0	0.012	0.014	0.042	0.040	0.057	0.052
		3.0	10.0	0.027	0.029	0.076	0.071	0.087	0.080
10.0	100.0	5.0	10.0	0.040	0.043	0.088	0.084	0.079	0.078
		10.0	10.0	0.067	0.068	0.074	0.073	0.050	0.050
		15.0	30.0	0.055	0.053	0.052	0.047	0.034	0.036
		20.0	30.0	0.063	0.061	0.043	0.039	0.027	0.026
		25.0	30.0	0.067	0.065	0.036	0.034	0.022	0.021
		30.0	30.0	0.068	0.066	0.031	0.028	0.018	0.017

【参考文献】

- 1) 米田昌弘・下田郁夫：ケーブル制振用粘性せん断型ダンパーの減衰付加特性に及ぼすばね剛性の影響とその設計用減衰評価曲線，土木学会論文集，第480号/VI-21，pp77～86，1993年12月。