

I-306

ケーブル制振用ダンパーの粘性減衰係数設定に関する一考察

川田工業（株）正 員 ○枝元 勝哉

川田工業（株）正 員 米田 昌弘

川田工業（株）正 員 前田 研一

1. まえがき 斜張橋ケーブルの風による振動に対処する方法として、わが国では、ピアノ線や特殊な治具でケーブル同志を結合する方法が採用されてきたが、荒津大橋でケーブルにダンパーを挿入する方法が初めて採用され¹⁾、確実な制振効果が得られたことから、ダンパー方式は有効なケーブル制振方法として注目を浴びつつある。ケーブルにダンパーを挿入した場合の減衰付加効果は、複素固有値解析を実施すれば推定できるが、減衰付加効果に關与する粘性減衰係数の大きさやダンパー設置高さの影響を、斜張橋ケーブルの全段について検討することは、非常に繁雑で多大の労力と費用を要する検討作業となる。

本研究は、このような観点から、複素固有値解析による構造減衰付加効果を簡単に推定できる手法について検討したものである。

2. 最適粘性減衰係数の大きさを規定するパラメーター

まず、ダンパー設置後の構造減衰が最大となる最適粘性減衰係数 C_{opt} は以下に示すパラメーター P_c で推定できるものと仮定した。

$$P_c = \frac{\sin^2 n\pi x_i / l}{w \times l \times f_n / g} \times \frac{l}{x_i} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 l はケーブル長、 x_i はケーブル端部からダンパー取付け位置までの距離、 w はケーブルの単位長さ当りの重量、 g は重力加速度である。また、 f_n は n 次モードの固有振動数であり、 T を張力とすると $f_n = n/21 \times \sqrt{gT/w}$ で計算できる。

この妥当性を検証するために、図-1 に示すケーブルの構造諸元を種々変化させた場合の複素固有値解析結果に対して、それぞれの C_{opt} と P_c の関係を整理した。その結果を図-2 に示す。なお、複素固有値解析にあたっては、ダンパー取付け位置 x_i / l を $x_i / l = 0.0125 \sim 0.1250$ の範囲で変化させている。

図-2 より、最適粘性減衰係数 C_{opt} は、振動モード形状にはほとんど依存せず、パラメーター P_c と以下のように関係づけられることが判る。

$$C_{opt} = \frac{6.25}{P_c} \dots\dots\dots (2)$$

3. 構造減衰付加効果の推定式 次に、最適粘性減衰係数 C_{opt} に対応する構造対数減衰率の最大値 δ_{max} の推定を試みる。そこで C_{opt} に対応する複素固有値解析で得られた構造対数減衰率と、従来から知られている振動エネルギー法に基づく算定式において $C = C_{opt}$ とした場合の値とを比較してみた。1次振動モードに対する比較結果を図-3 に示す。

この結果より、従来の振動エネルギー法に基づく算定式において $C = C_{opt}$ とした場合の構造対数減衰率を補正する係数 α を導入し、

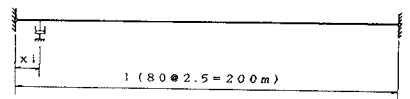
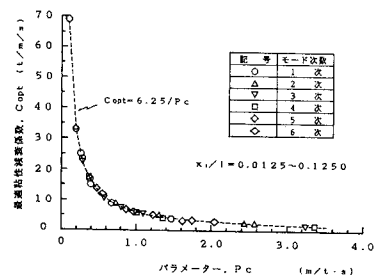
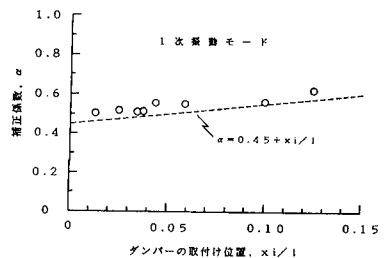


図-1 対象としたケーブルモデル

図-2 パラメーター P_c と最適粘性減衰係数 C_{opt} の関係図-3 ダンパーの取付け位置 x_i / l と補正係数 α の関係

その値を

$$\alpha = 0.45 + x_i / l \dots\dots\dots (3)$$

とすれば、1次モードに対する $\delta_{\max}$ は、

$$\delta_{\max} = \frac{\sin^2 n \pi x_i / l}{w \times l \times f_n / g} \times C_{\text{opt}} \times \alpha \dots\dots\dots (4) \quad (n=1)$$

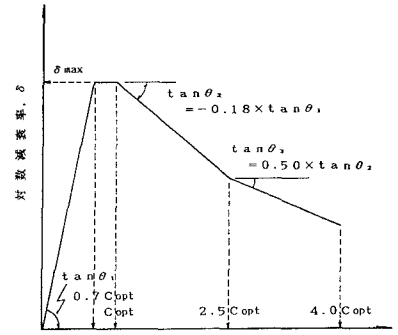
なる式で推定できることが判る。なお、ここで、2次以上の高次振動モードに対する $\delta_{\max}$ は、式(4)で与えられる1次振動モードの $\delta_{\max}$ で代用できたことを述べておきたい。それゆえ、 C と $\delta_{\max}$ の関係を図-4のように仮定すれば、ケーブルに任意の粘性減衰係数 C を有するダンパーを設置した場合の構造対数減衰率 δ は、次式で推定できることになる。

$$\delta = \begin{cases} \delta_{\max} \times \frac{C}{C_{\text{opt}}(1-0.3)} & [0 < C \leq C_{\text{opt}}(1-0.3)] \\ \delta_{\max} & [C_{\text{opt}}(1-0.3) < C \leq C_{\text{opt}}] \\ \delta_{\max} \times \left\{ 1.0 - \frac{0.18}{C_{\text{opt}}(1-0.3)} \times (C - C_{\text{opt}}) \right\} & [C_{\text{opt}} < C \leq 2.5 C_{\text{opt}}] \\ \delta_{\max} \times \left\{ 0.614 - \frac{0.09}{C_{\text{opt}}(1-0.3)} \times (C - 2.5 C_{\text{opt}}) \right\} & [2.5 C_{\text{opt}} < C \leq 4.0 C_{\text{opt}}] \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

4. 適用例 図-5に示す実橋の斜張ケーブルに着目し、本提案式の適用性について検討した。着目するケーブルは、中央径間側の1段目（最上段）および11段目（最下段）のケーブルであり、それぞれC1、C11ケーブルと記すことにする。対象とした斜張橋の上、下流側ケーブルはそれぞれダブルケーブルであるが、着目ケーブルの1本当りの構造諸元は表-1に示す通りである。また、C1、C11ケーブルに対する x_i / l 値は、それぞれ0.0235、0.0364である。

それぞれのケーブルに対する、実用算定式による推定結果と複素固有値解析結果とを比較した。その結果の一部を図-6、図-7に示す。図-6、図-7より、式(5)による推定値は、複素固有値解析結果に比べ幾分小さく、設計にとって安全側の傾向を示しているものの、両者の結果はおおむね良く一致していることが判る。それゆえ、式(2)に示したパラメーター P_c の設定および式(5)に示した推定式は、ほぼ妥当であったと言えるよう。

【参考文献】1) Yoshimura, T., Tanaka, T., Sasaki, N., Nakatani, S. and S. Higa : Wind Induced Vibration of the Cables of the Aratsu Bridges, Proc. of 10th National Symposium on Wind Engineering, pp.127~132, December, 1988.



粘性減衰係数, C (t/m/s)
図-4 C - δ 図の仮定

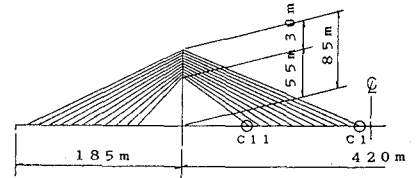


図-5 対象とした斜張橋

表-1 対象としたケーブルの構造諸元

ケーブル名	ケーブル長 l (m)	断面積 A (cm ²)	重量 w (t/m)	張力 T (t)
C1	215.11	0.0090	0.0986	376.8
C11	92.28	0.0071	0.0783	310.8

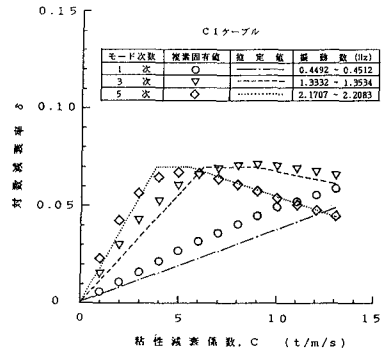


図-6 複素固有値解析結果と実用算定式による推定値の比較 (C1ケーブル)

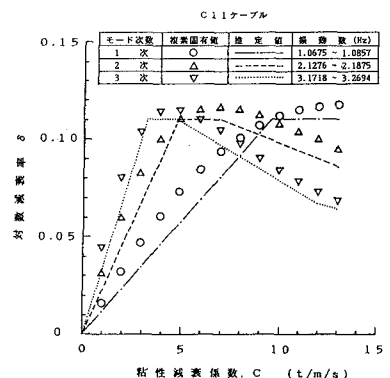


図-7 複素固有値解析結果と実用算定式による推定値の比較 (C11ケーブル)