

I-476

ケーブル制振用ダンパーの付加構造対数減衰率推定法

九州大学工学部	学生員	○諸富正和
九州大学工学部	正員	鳥野 清
九州大学工学部	正員	北川正一
福岡北九州高速道路公社	正員	井上朝登
三菱重工(株)	正員	中谷真二

1. まえがき

福岡都市高速道路に建設された荒津大橋におけるケーブル振動の制振対策として、ダンパーを用いた結果、確実な制振効果を発揮することが実験より確認された。ケーブルにダンパーを設置した場合の減衰付加効果は初期の概略検討段階やダンパーの設計時に必要となるが、この値は複素固有値解析を行うことによって求められる。しかし、この解析を行う場合、スパン長、張力、ダンパーの設置位置が異なるため各ケーブルごとに、粘性減衰係数を数多く変化させて計算しなければならず、多大の労力を必要とする。したがって、各ケーブルのダンパーによる減衰付加効果を簡便に推定できる方法が確立されれば、ダンパーを設計する上で非常に有効と考えられる。本研究ではダンパーを設置したケーブルの構造対数減衰率と粘性減衰係数の推定式を提案し、実在斜張橋のケーブルに対する複素固有値解析結果と提案式および既存の推定式¹⁾の比較により、その精度および妥当性の検討を行った。

2. 減衰付加効果の推定式

いま、ダンパー設置位置までのケーブル長 X_1 、全ケーブル長 L 、無次元量 $\eta = X_1/L$ 、ケーブル張力 T 、ケーブルの単位長さ当り重量 w 、 S 次のケーブルの振動において固有振動数 $f_s (=s\sqrt{gT/w/2L})$ 、最大構造対数減衰率 λ_s^0 、その λ_s^0 を与える最適粘性減衰係数を C_s^0 とする。

提案式

$$\lambda_s^0 = 3.3\eta \quad (1), \quad C_s^0 = C_1^0/S \quad (C_1^0 = 6.25\eta w L f_1 / \sin^2 \eta \pi \quad \text{文献1による}) \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \lambda_s^0 - C_s^0 \text{ の関係} \quad \overline{C}_s \leq 1.2 \quad \overline{\lambda}_s &= 0.08 C_s^0 - 1.16 \overline{C}_s^2 + 2.08 \overline{C}_s \\ \overline{C}_s \geq 1.2 \quad \overline{\lambda}_s &= -0.0012 \overline{C}_s^3 - 0.0373 \overline{C}_s^2 + 0.3614 \overline{C}_s + 1.3460 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\overline{C}_s = (C_s / C_s^0), \quad \overline{\lambda}_s = (\lambda_s / \lambda_s^0) \quad (4)$$

3. 推定式の検討

数値計算の対象とした3種類の斜張橋ケーブル長は50～220mの範囲であり、現在施工されている斜張橋をほぼ代表しているものと考えられる。ダンパーの取付位置を美観上の問題等より、路面上2mの高さとした時の無次元量 η の範囲は0.0091～0.0588となっている。

上記のケーブルに対して行った複素固有値解析結果より、2次振動における最大構造対数減衰率 λ_2^0 と η の関係を図-1に示す。図より(1)式が厳密解と高い相関性を示しており、同様の結果が他の次数でも得られたことから、次数に関係なく(1)式で λ_s^0 を推定することができる。

λ_s^0 に対応する最適粘性減衰係数 C_s^0 は文献1の提案式が厳密解に対して高い精度を有しているが、2次以上の振動においては(2)式を用いても同じ精度で推定できることが判

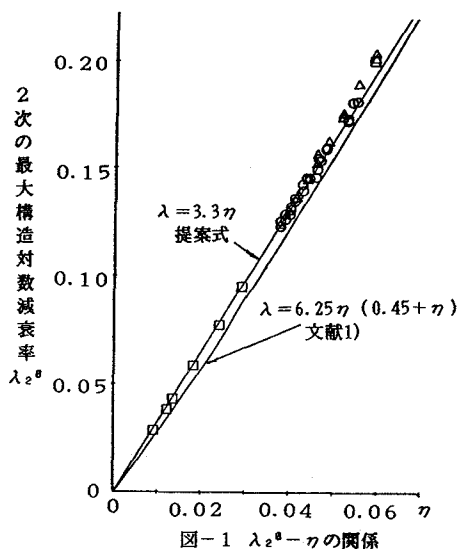


図-1 $\lambda_2^0 - \eta$ の関係

った。

図-2は荒津大橋で最も長いケーブル($\eta=0.038$)における構造対数減衰率 λ_s とケーブルの粘性減衰係数 C_s の関係を(4)式に示す $\bar{\lambda}_s$ と $\bar{C}_s$ を用いてそれぞれ基準化したものである。 $\bar{\lambda}_s$ と $\bar{C}_s$ をパラメータにとると、 λ_s-C_s の関係が振動次数に無関係にほぼ一定の形状を示し、(4)式で提案した実線はこの形状をよく近似している。また、 η によるこの形状の変化を調べたところ(4)式は C_s が2以上の範囲において η が小さいケーブルでは $\bar{\lambda}_s$ を大きく、 η が大きい場合には $\bar{\lambda}_s$ を小さく推定する傾向が見られた。しかし、これらの誤差は5%以内であったことから、実用上(4)式を用いても十分であると考えられる。

ケーブルの各次数ごとに λ_s^0 と C_s^0 が(1)式と(2)式より得られることから、(3)式を用いて簡単に λ_s-C_s の関係図を求めることができる。この λ_s-C_s の関係を提案式と厳密解を比較して図-3、4に示しているが、提案式と厳密解がよく一致していることがわかる。図中の破線は文献1の推定式より計算したもので、本提案式の方が精度が良いことがわかる。図-3は荒津大橋のケーブルの $\eta=0.038$ のケースで、図-4は $\eta=0.009$ のケースである。ケーブルの制振対策としてダンパーを用いる場合、各次数の振動に対して有効に制振できる設計減衰係数を決定しなければならない。荒津大橋では各次数ともケーブルの構造対数減衰率が0.05以上になるように図-3よりダンパーの設計減衰係数として7.5ts/m(★印)が用いられたが、図より設計減衰係数を決定する際には、特に低次における λ_s-C_s 曲線の精度が要求されることがわかる。また図-3と図-4を比較してみると、 η が小さい時には構造対数減衰率が非常に小さくなり、ダンパーを設置しても制振効果が期待できないことも考えられる。この場合には η が大きくなるようにケーブル定着位置とダンパー設置位置の関係を調整する必要があるだろう。

4. まとめ

今回対象とした η の範囲は現在建設されている斜張橋のケーブルのほぼ全てを代表しており、本研究の提案式はこれらのケーブルのダンパー設計時の減衰付加効果の有用な推定式として、簡便さ、精度の両面から利用できるものと思われる。

〈参考文献〉

- 1) 米田、前田：ケーブル制振ダンパーの粘性減衰係数設定に関する一考察

土木学会論文集第410号/I-12 1989年10月

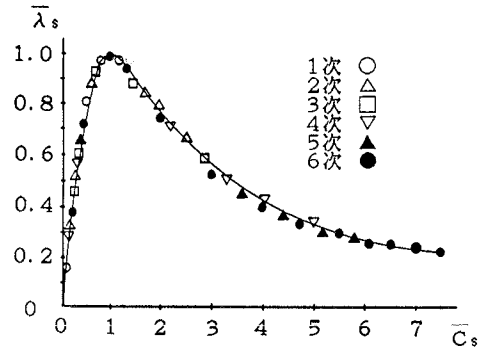


図-2 $\bar{\lambda}_s-\bar{C}_s$ の関係

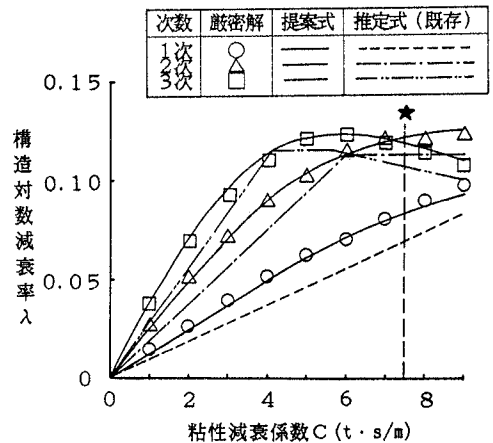


図-3 $\lambda-C$ の関係 ($\eta=0.038$)

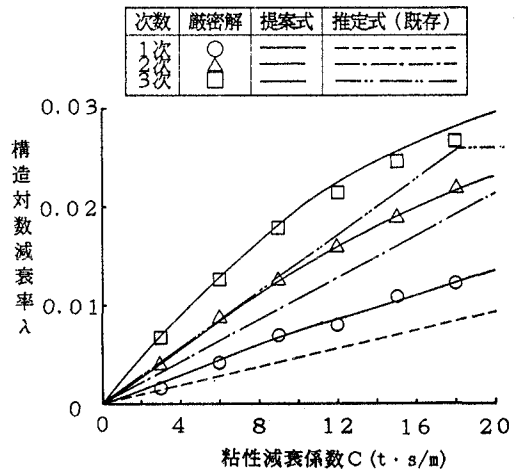


図-4 $\lambda-C$ の関係 ($\eta=0.0091$)