

I-460 高減衰ゴムを用いたケーブル制振用ダンパーに関する研究

住友建設(株) 正 員 春日 昭夫

住友建設(株) 正 員 則久 芳行

住友建設(株) 正 員 新井 英雄

1. まえがき

斜張橋のケーブルのダンパーを設計する場合、複素固有値解析だと多大な計算量となりかなりの労力を要する。そこで、これを解決するために簡易式による対数減衰率曲線の近似手法が提示されている。^{1) 2) 3) 4)} これらの手法は、複素固有値解析を行うことなく任意の減衰係数に対する対数減衰率を求めることができるようになっている。しかしながら、今までの研究は粘性ダンパーを対象としたものである。粘性ダンパーは、比較的簡単に高い減衰が得られる反面、その温度に対する依存性が大きい。斜張ケーブルのダンパーの場合、橋面付近に取付けられることが多く、橋面温度の影響を大きく受けることになる。したがって、粘性ダンパーの場合は、設定温度をいくりにするかを含めて、一年を通して有効にダンパーが機能するように設計しなければならない。そこで、最近、免震支承などに使われている高減衰ゴムを、ダンパーとして使用した場合を考えてみる。高減衰ゴムは粘性ダンパーに比べ、減衰率は小さくなるが温度依存性は小さい。しかし、ゴム自体が任意のばね定数をもつため、これまでの研究の手法は用いることができない。本研究は、文献4)の推定式を拡張することにより、高減衰ゴムにも適用できることを示すものである。

2. 推定式

高減衰ゴムを用いた斜張ケーブルの固有値解析は、複素ばねを有するモデルとして行う。図-1に示すモデルで、複素ばね定数 $k(u+iv)$ は、ゴムの内部摩擦係数 γ が与えられれば次式で求めることができる。

$$u = \frac{4 - \gamma^2}{4 + \gamma^2}, \quad v = \frac{4\gamma}{4 + \gamma^2} \quad (1)$$

また、弾性ばね定数 k は

$$k = GA/t \quad (2)$$

で算出できる。ただし、 G はせん断弾性係数、 A は面積、 t はゴム厚である。図-2の点は、複素固有値解析結果を示す。対数減衰率は、振動次数に関係なく、 γ によって曲線が決定される。文献4)と同様に、弾性ばね定数と形状関数の低減係数の関係を求めると、図-3のようになる。低減係数は対数減衰率と違い、 γ の影響を大きく受けない。以上の解析結果を基に、低減係数に次に示すような近似式を用いる。

$$\beta = e^{-0.36\alpha} \frac{kv}{\omega_n} \frac{2}{\gamma} \quad (3)$$

$$\text{ただし、} \quad \alpha = \frac{\omega_n X_1 (L - X_1)}{TL} \quad (4)$$

ここに、 ω_n は n 次の円振動数、 T はケーブル張力である。図-3の線は、式(3)を示す。式(3)において kv/ω_n は、等価減衰係数を示している。この低減係数を、対数減衰率と減衰係数の関係式

$$\delta = \frac{2\pi C \{\phi_1(x_1)\}^2}{2M\omega_n} \quad (5)$$

に代入すると、

$$\delta = \frac{2\pi \{\phi_1(x_1)\}^2}{2M\omega_n} \frac{kv}{\omega_n} e^{-0.72\alpha} \frac{kv}{\omega_n} \frac{2}{\gamma} \quad (6)$$

が得られる。式(6)を k で微分して0と置くことにより、最適弾性ばね定数 K_{opt} が求まる。

$$K_{opt} = \frac{1}{0.72\alpha} \frac{\omega_n \gamma}{2v} \quad \text{-----} \quad (7)$$

さらに、最大対数減衰率は、式(7)を式(6)に代入して、

$$\delta_{max} = \frac{\{\phi_1(x_i)\}^2}{n^2 \pi \frac{x_i}{L} (1 - \frac{x_i}{L})^2} \gamma \quad \text{-----} \quad (8)$$

となる。これは、高減衰ゴムを用いたダンパーが、粘性ダンパーの最大対数減衰率の $\gamma/2$ 倍になることを示している。図-2の線は、式(6)の計算結果を示す。本研究の提案式は、 k が大きいところで誤差を生じているものの、最大値近傍は実用上問題ないと言える。このように、高減衰ゴムの弾性ばね定数と内部摩擦係数がわかれば、粘性ダンパーの手法と同様のアプローチで対数減衰率曲線を求めることができる。

3. まとめ

高減衰ゴムをケーブルダンパーとして用いた場合の、対数減衰率と弾性ばね定数の関係を求める簡易式を示した。高減衰ゴムでも弾性ばね定数を適切に選ぶことにより、対数減衰率が0.05程度は確保できる。したがって、レインバイブレーションに対して有効に機能すると思われる。本手法が、ケーブルダンパーの設計に際して一助となれば幸いである。最後に、高減衰ゴムのデータを提供していただいた（株）ブリジストン水津洋二氏に感謝の意を表する次第である。

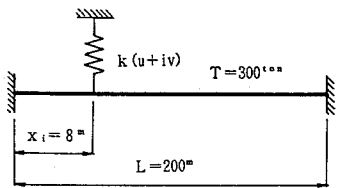


図-1 解析モデル

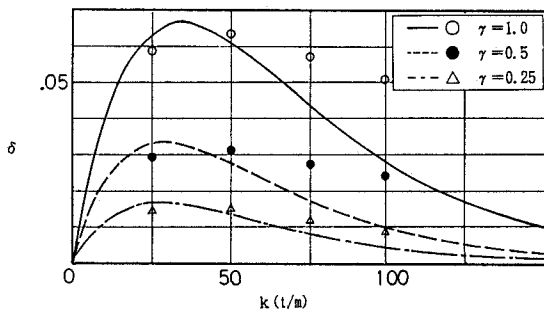


図-2 弾性ばね定数と対数減衰率の関係

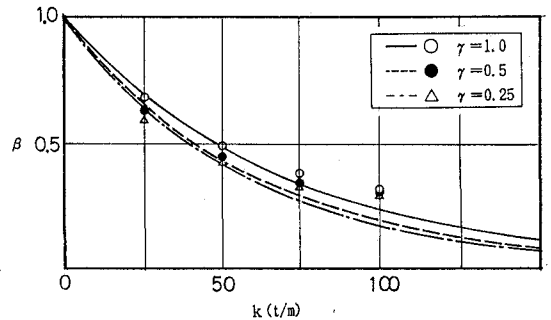


図-3 弾性ばね定数と低減係数の関係

〈参考文献〉

- 1) 前田・米田：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，土木学会論文集，第410号/I-12，1989年10月。
- 2) Sulekh・Pacheco・Fujino：A Universal Curve for Modal Damping in Cables with Dashpot，土木学会第45回年次学術講演会概要集，I-465，1990年9月。
- 3) 烏野・北川・堤・井上・中谷：斜張橋ケーブル制振用ダンパーの簡易設計法，構造工学論文集，Vol.37A，1991年3月。
- 4) 春日：ケーブル制振用ダンパーの最適減衰係数に関する研究，構造工学論文集，Vol.37A，1991年3月。