

I - 253

高減衰材を用いたケーブル制振装置

(株)横河ブリッジ 正会員 今 田 安 男
 (株)横河ブリッジ 正会員 清 田 鍊 次
 (株)ブリヂストン 正会員 水 津 洋 二
 (株)ブリヂストン 笠 原 康 宏

1. まえがき

斜張橋のケーブルは、風によって、しばしば渦励振やレインバイブレーションなどが発生することが知られている。ケーブルの制振方法としては、

- ① ケーブル相互を連結し、ケーブルの固有振動数を高める。
- ② ダンパーを取り付けてケーブルの構造減衰を付加する。
- ③ ケーブルの断面形状を変える。

が考えられる。

本制振方法は、高減衰材のせん断変形時のエネルギー損失を利用したケーブルの構造減衰を付加する方法で、全方向の振動に対して有効である。定着管方式のケーブルでは、定着管内に設置できる小型で極めて簡易な装置であり、景観上問題とされることもない。ここでは、本装置に関する付加減衰率の算定方法と模型および実橋ケーブルに関する実験結果について報告する。

2. 制振装置と付加減衰率の算定方法

(1) 制振装置

制振装置は、ケーブルと定着管の間に高減衰材を設置したもので、振動時のケーブルと定着管との相対変位にともない発生する高減衰材のせん断変形によってケーブルの振動エネルギーを吸収する装置である。高減衰材は、高減衰ゴム的一种である。減衰のメカニズムは、分子間の摩擦およびバインダーの粘性減衰によるもので、減衰性能は、材料のせん断変形量、変形速度、温度および荷重履歴等に依存する。表-1に実験に用いた制振材の特性を示す。特性値は、試験中のため、計算には暫定値を用いた。

表-1 材料特性

加振周波数 f [Hz]	せん断弾性係数 G(γ) [kg/cm ²]	損失係数 tan D
1.0	2.79*γ ^{-0.388}	0.70
2.0	3.15*γ ^{-0.478}	0.70

(2) 付加減衰率の算定

ケーブル構造系は、弾性バネと粘性減衰装置をもつ図-1のような力学モデルとして考えることができる。

一般に、ケーブルの振動減衰を粘性減衰と仮定すると、制振装置による付加減衰は次式により得られる。

$$\delta = \frac{\pi \cdot \{\phi(\chi_c)\}^2}{M \cdot \omega_n} \cdot C \quad \dots (1)$$

ここに、 δ は付加減衰率、 $\phi(\chi_c)$ は制振装置位置のモード関数、 χ_c はケーブル定着部から制振装置位置までの距離、 C は制振装置の減衰係数、 $M = m \cdot \int \phi^2 dx$ (m はケーブルの分布質量)、 ω_n は n 次の円振動数である。制振材が1サイクルに消費するエネルギーを等価な粘性減衰エネルギーに置換することによって等価粘性減衰係数が求められる。

$$C = \frac{2 \cdot h_{eq}}{\omega_n} \cdot K \quad \dots (2) \quad h_{eq} = \frac{\tan D}{2 \cdot \sqrt{1 + \tan^2 D}} \quad \dots (3) \quad K = \frac{A \cdot G(\gamma)}{H} \quad \dots (4)$$

ここに、 h_{eq} は制振材の比減衰係数、 $\tan D$ は制振材の損失係数、 K は制振材のバネ定数、 A 、 H は制振材の断面積および高さ、 $G(\gamma)$ は制振材のせん断弾性係数、 γ は制振材のせん断ひずみである。モード関数 $\phi(\chi_c)$

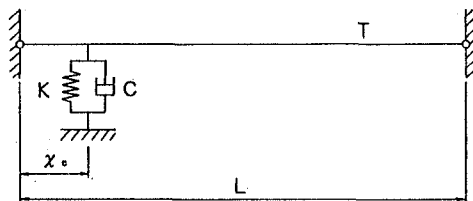


図-1 ケーブル構造系のモデル

は、制振装置位置にバネ（バネ定数 K ）がある時の構造系のモード解析によって求められる。

3. 模型実験

模型ケーブルはPC鋼より線（ $\phi 21.8\text{mm}$ ）で、死荷重を付加し、10tfの張力を導入した。模型ケーブルの固有振動数は2.07Hzで、実験時の気温は、約7℃である。制振装置位置はケーブル定着位置から3.9%とした。減衰係数は、材料の断面積を変えることによって変化させた。図-2は、ケーブル中央の最大変位40mmにおける付加減衰率 δ を示したものである。最大付加減衰率は0.038で計算結果よりやや大きい結果となった。

4. 実橋ケーブルにおける実験

実験ケーブルの桁側定着部はパイプ構造になっている。実験時には桁側のゴム製止水カバーは取り外しているが、塔側は設置された状態となっている。制振装置は、図-3に示すように桁側定着管の先端内部（ $x_c/L=0.042$ ）に設置されている。実験ケーブルの固有振動数は0.99Hzで、実験時の気温は、約7℃である。図-4に自由振動波形を示す。1次モードの構造減衰は、ケーブル中央位置の振幅50～150gal（振幅/ケーブル直径=0.07～0.21）に対して0.05～0.06であった。最大付加減衰率は図-5に示すように0.056で計算結果より約40%大きい結果が得られた。原因は、主に制振材設置時の初期ひずみによるものと考えられる。

5. まとめ

この種の制振装置の制振効果は、制振装置の減衰性能とその設置位置によって決まる。模型および実橋ケーブル実験によって、設置位置がケーブル長の4%程度で十分な減衰性能を有していることが確認された。本制振装置は、ケーブルの面内、面外の振動に有効な小型で極めて簡易な装置であり、ケーブル定着構造によっては、景観上問題のない位置へ設置できる有効な制振対策と思われる。また、免震装置などへの適用も可能である。

参考文献

- 1) 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, 37A (1991.3)
- 2) 倉西・高橋: ダンパーをもつはりのたわみ振動, 土木学会論文集, 187号 (1971.3)

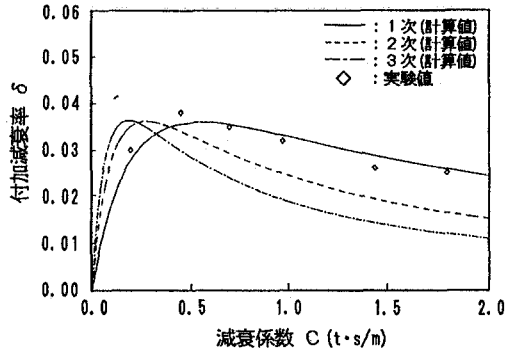


図-2 減衰係数と付加減衰率の関係（模型実験）

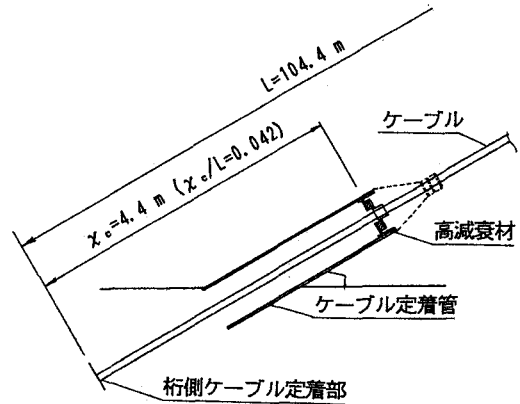


図-3 制振装置概要

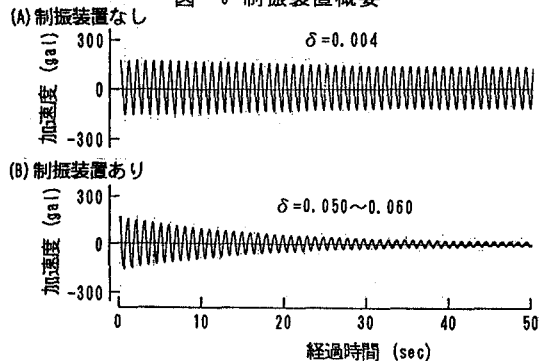


図-4 自由振動波形

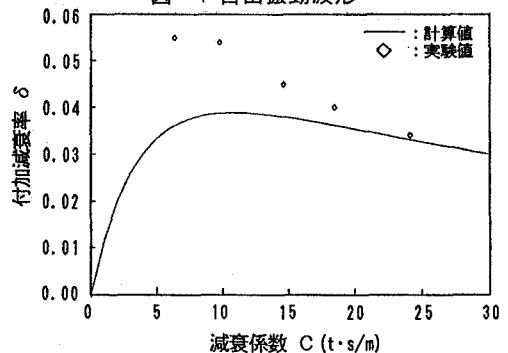


図-5 減衰係数と付加減衰率の関係（実橋実験）