

(株) 横河ブリッジ 正会員 今田 安男
建設省横浜国道事務所 佐々木 孝
(株) 横河ブリッジ 正会員 清田 鍊次
(株) プリチストン 正会員 合田 研吾

1. まえがき

斜張橋のケーブル制振対策として、筆者らは、すでに、ケーブルと定着管の間に高減衰ゴムを設置し、ケーブルの振動エネルギーを吸収する高減衰ゴムダンパー(図-1参照)について、付加減衰率の算定方法を提案し、模型実験および実橋ケーブル実験を行い、それらがケーブル制振対策として十分な減衰性能を有していることを確認している¹⁾。使用する高減衰ゴムの減衰特性は、温度、振幅等に対する依存性を有しているため、それらの影響を評価するために、実橋のおかれた自然条件下において、長期にわたる性能確認実験を行った。ここでは、実橋ケーブルにおける高減衰ゴムダンパーの性能確認実験結果について報告する。

2. 付加減衰率の算定と高減衰ゴムの材料特性

本ダンパーを有するケーブル構造系は、弾性バネと粘性減衰定数をもつ図-2のような力学モデルとして考えられる。この場合のダンパーによる付加減衰は次式により得られる。

$$\delta = \frac{\pi \cdot \{\phi(\chi_0)\}^2}{M \cdot \omega_n} \cdot C \quad \dots ①$$

ここに、 δ :付加減衰率、 $\phi(\chi_0)$:制振装置位置のモード振幅
C:ダンパーの減衰係数、 $M=m \cdot \int \phi^2 d\chi$ (m はケーブルの分布質量)、 ω_n は n 次の円振動数である。

使用した高減衰ゴムのせん断弾性係数および損失係数は、変形量、変形速度、温度および荷重履歴等に依存する。それぞれの特性は、次に示す载荷要因に関する関数の積で表される。表-1に特性値を示す。

・せん断弾性係数

$$G = C_{gr}(f) \cdot C_{gr}(T) \cdot G_i(\gamma) \quad \dots ②$$

$C_{gr}(f)$:速度補正係数、 $C_{gr}(T)$:温度補正係数

$G_i(\gamma)$:せん断弾性率(i :荷重履歴)

・損失係数

$$\tan \delta = C_{hr}(T) \cdot \tan \delta_i(\gamma) \quad \dots ③$$

$C_{hr}(f)$:速度補正係数、 $C_{hr}(T)$:温度補正係数

$\tan \delta_i(\gamma)$:損失係数(i :荷重履歴)

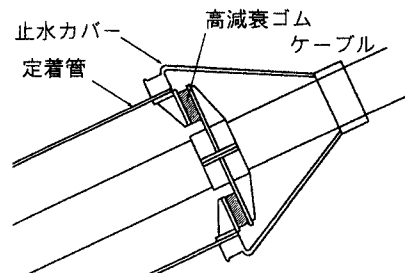


図-1 高減衰ゴムダンパー

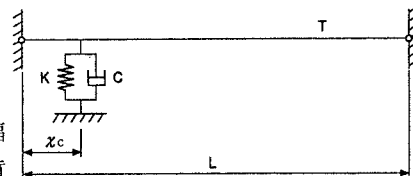


図-2 ケーブル構造系モデル

表-1 材料特性

速 度	$C_{gr}(f) = 1.22 \cdot f^{0.267}$
依 存	$C_{hr}(f) = 1.0$
温 度	$C_{gr}(T) = 1.80 - 4.94E-2 \cdot T + 5.46E-4 \cdot T^2$
依 存	$C_{hr}(T) = 1.30 - 2.29E-2 \cdot T + 4.69E-4 \cdot T^2 - 3.46E-6 \cdot T^3$
ひずみ	$G_i(\gamma) = 2.267 \cdot \gamma^{-0.304}$
依 存	$\tan \delta_i(\gamma) = 0.577 - 7.99E-2 \cdot \gamma$

表-2 ケーブル構造諸元

種 類	HiAm 7φ×421
ケー ブ ル 長	L=104.846 m
単 位 重 量	w=0.1355 t/m
ダンパー位置	$\chi_c=5.151$ m ($\chi_c/L=0.049$)

3. 付加減衰率に及ぼす温度の影響

表-2に示す構造諸元のケーブルについて、温度変化による付加減衰率の影響を計算した。図-3はゴムのせん断ひずみ γ が20%のときについて表したものである。プロットした点は、温度20℃、ひずみ20%で設計したダンパーの温度変化に対する効果を示している。最大付加減衰率は、温度0℃～40℃で0.05～0.04となる。また、付加減衰はバネ定数の小さい範囲では、急激に変化するが、大きい範囲では、緩やかに変化する。したがって、標準温度20℃において付加減衰が最大になるようにバネ定数を設定すれば、

常温領域において有効な付加減衰の設定ができる。

4. 実橋での性能確認実験

実験は、表-2に示すケーブルを起振機により加振し、急速解放することにより自由振動を発生させ、得られた自由振動波形から構造減衰率を求め、その制振効果を確認するものである。実験は、外気温30℃、17℃、8℃付近で行い、温度依存性の確認を行った。バネ定数の設定は、ゴムの厚さを一定(10mm)とし、断面積を変化させた。

実験の結果、ケーブル自身の構造減衰率は、1次、2次とも0.004程度であった。図-4にダンパーを設置した場合の起振点における対数減衰率-振幅曲線の一例を示す。図は、設定バネ定数が最適値より大きい実験ケースである。付加減衰の振幅依存は、振幅の減少によりゴムのせん断弾性率が大きくなりバネ定数が大きくなることによるものである。このことは、計算結果とほぼ一致する。図-5は、1次モードについて、ゴムのせん断バネ定数と付加減衰率の関係をゴムのせん断ひずみ $\gamma=0.2$ について示したもので、プロットした点は、各ゴム断面積における実験値である。表-3に実験結果を示す。1次モードの付加減衰率は、最適値を示すバネ定数に計算とのずれがみられるが、外気温30℃に対して0.039、17℃に対して0.041、8℃に対して0.046と計算結果よりやや高めの減衰率となった。これらは、材料のせん断弾性率や損失係数の評価誤差によるものである。2次モードについても同様の結果であった。

表-3 実験結果

モード		ひずみ γ	最大付加減衰率		
			30℃	17℃	8℃
1次	計算値	0.200	0.038	0.041	0.042
	実験値	0.200	0.039	0.041	0.046
2次	計算値	0.075	0.039	0.042	0.044
	実験値	0.075	0.041	0.042	0.044

5. まとめ

ダンパーに使用している高減衰ゴムの減衰特性は、温度、振幅等に依存するが、実験結果にみられるように、標準温度領域において十分な減衰性能を有していることが確認された。また、提案したダンパーの制振効果は、計算で予測できるもので、実用的に十分信頼性のあるものといえる。

参考文献

- 1) 清田・今田：高減衰材を用いたケーブル制振装置，横河ブリッジ技報，第23号（1995.1）

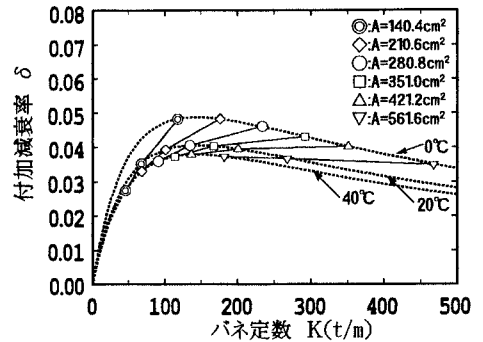


図-3 温度変化に対する付加減衰率 ($\gamma=0.2$)

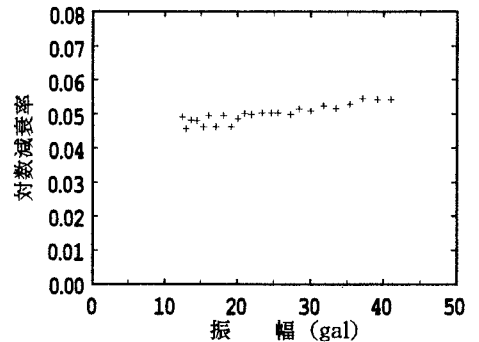


図-4 対数減衰率-振幅曲線(1次, 気温8℃)

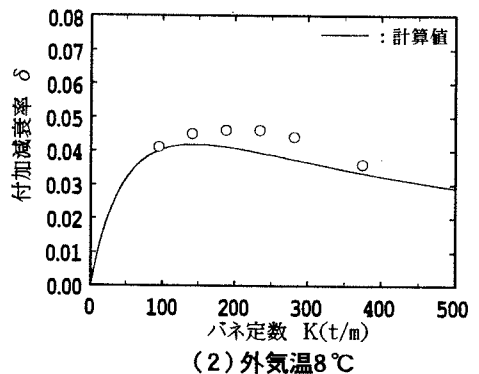
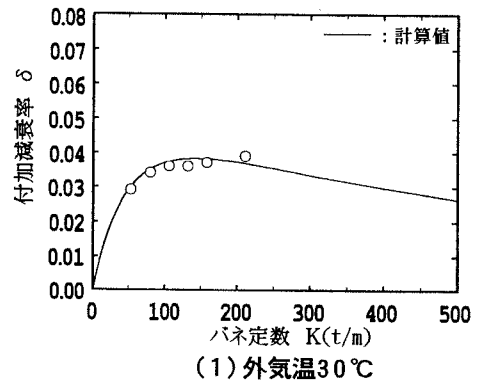


図-5 実験結果(1次, $\gamma=0.2$)