

日本道路公団 正員 奥脇 郁夫
 横浜国立大学 正員 宮田 利雄
 東京大学 正員 山口 宏樹

1. まえがき

吊橋の主塔, 橋桁など, 構造物の架設段階においては, それらが十分な剛性を有しないため, 完成時には問題とならないようなわずかな風によっても振動を起す。この振動は架設作業の障害となるばかりでなく, 構造物そのものに損傷を与えかねないため, その制振対策を考えることが重要となる。

一方, 橋梁の架設においては支持部材として架設用ケーブルを用いることが多いが, ケーブルで支持された架設系の構造減衰が予想以上に大きな値を示したという実際の報告もあり, 付加ケーブルのマスダンパー的作用による制振効果が期待される。つまり, 主たる振動系に対して質量, はね, 減衰からなる付加質量系を取り付けることにより, もとの振動系の振動パターンを変えてその振幅を小さくするのみならず, 新たな振動系(合成系)の共振振幅をも減小させる減衰効果を期待する, いわゆるマスダンパーとしてケーブルが寄与し得るのではないかと考えるわけである。

以上のような観点から, 制振用ケーブルの付加されたタワーおよび架設中橋桁を想定したモデルを対象に, 付加ケーブルの減衰寄与効果の程度, およびそれを支配する要因の究明と数値解析により行った。

2. 解析方法

Fig. 1, Fig. 4, Fig. 6に示すモデルを対象に有限要素法により解析を行った。合成系の減衰マトリックス[C]は, 主部材(Fig. 1ではTower, Fig. 4, 6ではBeam)の減衰マトリックスを[C_p], ケーブルの減衰マトリックスを[C_c]とし, 簡単のため連成項を無視して次式で与えられるものとした。

$$[C] = \begin{Bmatrix} [C_p] & [0] \\ [0] & [C_c] \end{Bmatrix} \quad (1)$$

主部材に対する減衰マトリックス[C_p]は次式により決定する。

$$[C_p] = [(\Phi)^T]^{-1} [\bar{C}_p] (\Phi_p) \quad (2)$$

$$[\bar{C}_p] = 2 \begin{bmatrix} \sum_i^p \omega_i M_i & 0 & \cdots \\ 0 & \sum_i^p \omega_i M_i & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}$$

ここで, (Φ_p) は主部材のみの振動モード形マトリックス, M_n ω_n はモード*n*に対する一般化質量, 固有振動数であって非減衰系の固有振動解析によって得られる。また $\sum_i^p$ は主構造のモード*n*に対して定義される減衰定数であって, ここではすべてのモードに対して一定値 ξ^p を与えた。ケーブルに対する減衰マトリックス[C_c]についても同様に, 両端を固定した系について減衰定数 ξ^c

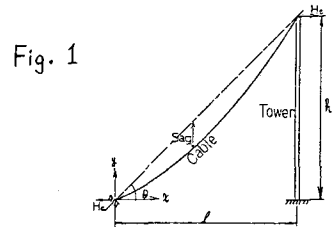


Fig. 1

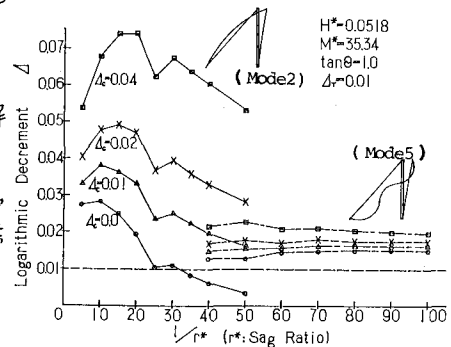


Fig. 2

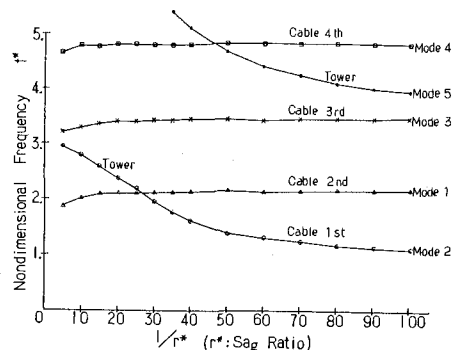


Fig. 3

を仮定し、決定している。

以上のようにして確定された減衰運動方程式に対して複素固有振動解析を適用すれば合成系に対する各モードごとの減衰定数が求められ、ケーブルを付加しない主部材のみの減衰定数と比較することにより付加ケーブルの減衰寄与効果が調べられる。

3. 無次元パラメーター

ケーブルを付加した合成系の減衰特性を支配するパラメーターとしては、部材特性面から主部材とケーブルの剛性比、および質量比、また形状面からケーブルのサグ比、傾斜角が考えられる。本研究ではこの四つのパラメーターを次に示す無次元量とし、パラメーター解析によって付加ケーブルの減衰寄与効果を支配する要因の究明を行った。

$$(\text{剛性比}) H^* = \frac{H_e}{EI/l^2} \sec \theta, \quad (\text{質量比}) M^* = \frac{W_p l}{W_c l_c}$$

$$(\text{ケーブル傾斜角}) X^* = \tan \theta, \quad (\text{ケーブルサグ比}) Y^* = \frac{W_c l}{8 H_e}$$

ここで、 H_e : ケーブル水平張力、 EI : 主部材曲げ剛性、 l : 主部材長、

θ : ケーブル傾斜角、 W_p : 主部材単位長さ当り重量、 l_c : ケーブル長、

W_c : ケーブル単位長さ当り重量、 l : ケーブルスパン長。

4. 計算結果および考察

Fig. 1 に示すタワーモデルを対象に上述の四つのパラメーターの影響を調べた結果、ケーブルの減衰寄与効果に最も影響を及ぼすのはサグ比であることがわかった。そこで各モデルに対する計算結果として、サグ比に対する合成系対数減衰率（主部材の振動が支配的な固有モードに対する減衰）の変化を Fig. 2, Fig. 5, Fig. 7 に示した。主部材独自の対数減衰率としては 0.01 を仮定し、ケーブル独自の対数減衰率としては 0.04, 0.02, 0.01, 0.0 を仮定している。これを見るとサグ比の大きい領域で実用的に見てもかなり大きな減衰寄与効果が現われている。また、ケーブルの取り付け方法によってもその特性に差があることは興味深い。

Fig. 3 にはタワーモデルにおけるサグ比と固有振動数との関係を示した。サグ比の大きい領域では Mode 2 がタワーの卓越する最低次モードが現われるのに対し、サグ比の小さい領域では Mode 5 がそれが現われ、固有モード形の様相もかなり異なったものになっており、その影響で減衰寄与効果に違いが生じている。またサグ比が $1/25$ 付近で合成系の減衰に特異な変化が現われている (Fig. 2) が、これはタワーの卓越するモードの固有振動数とケーブルの卓越するモードの固有振動数が接近し (Fig. 3)、ケーブル独自の減衰特性が大きく反映されたものと考えられる。

以上の計算結果から、付加ケーブルの減衰寄与効果はケーブル取り付け方法、ケーブルサグ比、固有振動モードに依存して複雑に変化するものの、それらを適当に選定すればケーブルのマスダンパー的作用による制振効果が十分に期待できることが判明した。

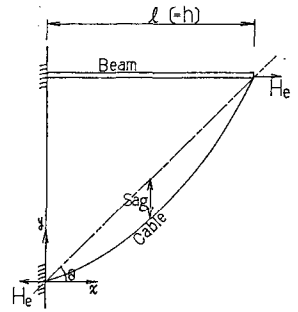


Fig. 4

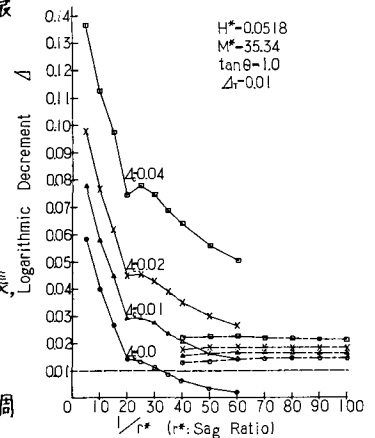


Fig. 5

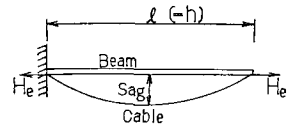


Fig. 6

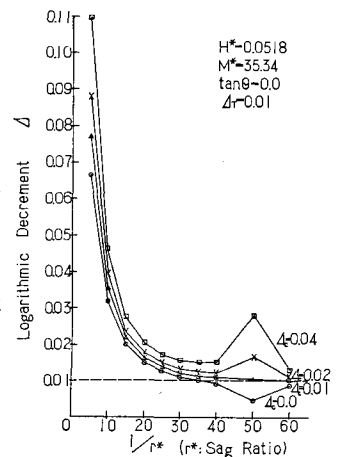


Fig. 7