

I-348

構造用ケーブルの制振対策およびその評価に関する基礎研究

積水ハウス 正員 長沼 典和
埼玉大学 正員 山口 宏樹

1. まえがき

フレキシブルな構造物は様々な要因により振動が生じ易く、問題とされることが多いが、最近では制振対策を施すことを積極的に考える機会も増している。斜張橋ケーブルはその代表例とも言え、風によって種々の振動が引き起こされることから、各種の制振対策が実際に施されている。その方法として、剛性、質量、減衰などを付加する機械的制振対策が主に考えられ、実施されている。本研究では、斜張橋ケーブルを例として、剛性、質量、減衰などを付加する各種制振対策を実施した場合の制振効果を、数値解析により考察し、評価することを目的とした。

2. 各種制振対策、および解析方法

斜張橋ケーブルの機械的制振対策として考えられる主な方法は次の通りである；（１）荒津大橋等で適用されている粘性ダンパーを取り付ける方式；（２）榎石島橋・岩黒島橋等で適用されているケーブルを相互連結する方式；（３）TMDを取り付ける方式。これらの各種制振対策について、解析によりその効果を調べる。解析は、サグを無視したケーブルを有限要素法にて離散化し、それに上記制振装置をバネ、マス、ダッシュポットでモデル化して取り付け、正弦波外力による定常応答解析を行った。その結果得られる共振曲線の特性から制振効果を考察したが、減衰器が付加される場合には、複素固有値解析によってモード減衰を求め、その大きさからも減衰効果を調べている。

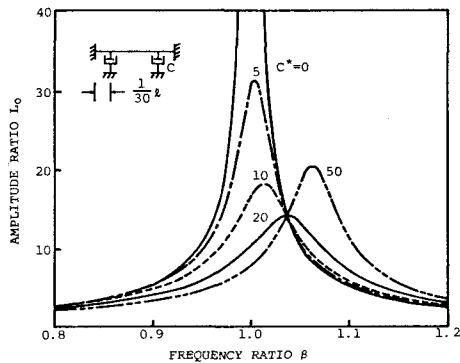
3. 各種制振対策の効果

（１）粘性ダンパーを取り付ける方式 粘性ダンパーをケーブルの $1/30L$ 及び $29/30L$ に取り付けた場合に、ケーブルに対して等分布に周期外力が作用するときの共振曲線を図-1に示す。この方式は粘性ダンパーが振動エネルギーを吸収することにより制振する方法であるが、付加すべき減衰係数には制振効果を最も高める最適値が存在し、1次モードの共振状態を示した図-1では $C^*=20$ のときに応答が最小となる。次に付加減衰係数をパラメーターに、得られるモード減衰を対数減衰率で示したものが図-2であるが、各振動モードに対して対数減衰率の最大値はほぼ同じ値となっており、取付位置がきまれば、粘性ダンパーによって得られる最大制振効果は付加減衰係数、振動次数に無関係に決定されてしまうことがわかる。また適度な付加減衰係数を選ぶと、例えば図-2では $C^*=10$ 程度にとると、1次～高次のどの振動モードに対しても制振効果が期待できる。図-3は対数減衰率と取り付け位置での振動モードにおける変位の関係を示したものである。対数減衰率と取付点変位とが振動次数によらず対応し、粘性ダンパーの制振効果は、当然のことながら、取付点変位量で支配されると言える。（２）ケーブルを相互連結する方式 ケーブルを中央点にて制振ワイヤーを用いて連結する場合、ワイヤーをバネ、およびわずかな減衰を有するダッシュポットでモデル化し、等分布周期外力が作用したときの定常応答解析を行った。共振曲線を図-4に示す。これより、制振ワイヤーの剛性が小さいときは、取付点の変位が大きくなるため減衰効果が大きくなって共振が小さくなり、付加減衰の効果により制振するものであるのに対し、剛性が大きくなると、固有振動数の上昇により共振点が振動数比の大きな方向へ移り、共振を逃れるという剛性付加の効果により制振するものとなることが確認できる。解析上から、この方式の付加減衰による制振効果を把握することは、現在のところ難しく、今後検討されるべき点であろう。（３）TMDを取り付ける方式 ケーブルの1次固有振動数に同調したTMDをケーブルの中心に取り付ける場合を想定し、等分布周期外力が作用したときの解析より求めた共振曲線を図-5に示す。この方式は同調した付加質量が大きく振動し、減衰器が振動エネルギーを吸収することにより制振するものであり、付加減衰係数には制振効果を最も高める最適値が存在することが確認され

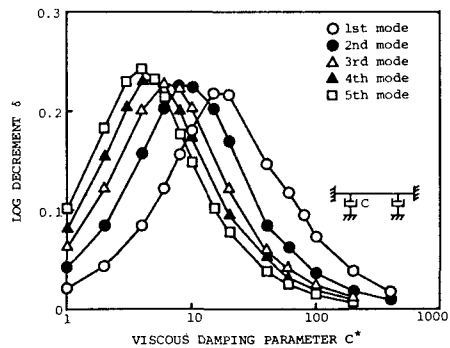
4. 制振対策の評価、およびまとめ

各種制振対策の特性を相互比較すると（表－1）；1つの振動モードを制振する場合には、TMD方式は同調により付加減衰係数が小さくても最適値が得られるため有利であるが、粘性ダンパー方式はそれに比べて付加減衰係数を大きくしないと最適値が得られない。またケーブル連結方式では連結位置を振動モードの腹にすれば大きな効果が期待できる；複数の振動モードを制振する場合には、粘性ダンパー方式は適切な付加減衰係数を選べば1次～高次に効果があるが、TMD方式は一般に対象以外の振動には効果がないので位置や個数を考慮した取り付けが必要であり、ケーブル連結方式も振動モードの腹で連結するように位置を考えると複数の連結が必要となるため、問題も少なくない。

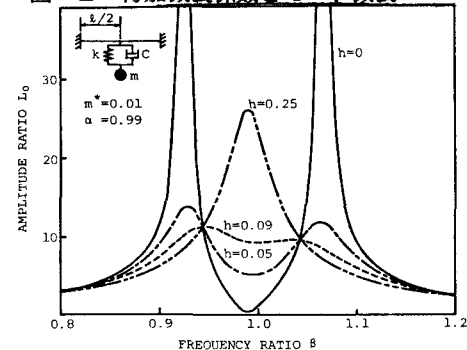
ケーブルの風に対する振動は1次～高次の振動の発生が予想される。よって最適値の存在、1次～高次の振動に効果があること、さらには簡便さ、美観等のことを考えると、粘性ダンパーを取り付ける方式がケーブル制振対策に適していると、一般的には判断できよう。



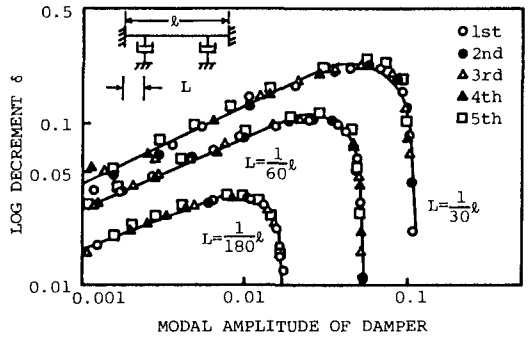
図－1 粘性ダンパーの制振効果



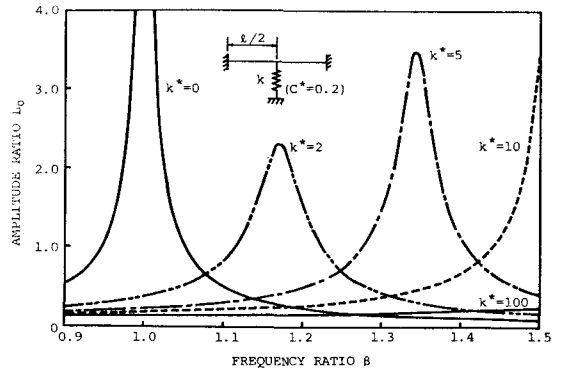
図－2 付加減衰係数とモード減衰



図－5 TMDの制振効果



図－3 減衰器取付点変位と制振効果



図－4 ケーブル相互連結制振効果

表－1 制振対策の相互比較

	粘性ダンパー	相互連結	TMD
最適値	○	—	○
減衰係数			同調比, 他
特定モードの制振効果	○	◎	◎
複数モード制振効果	◎	△	△
簡便さ	○	◎	×
美観	○	×	△