

I-721

並列ケーブルの減衰スペーサに関する研究（その2）
-実大ケーブルによるスペーサの減衰機能に関する検討-住友建設（株） 技術研究所 正会員
住友建設（株） 土木設計部松元香保里 正会員 中井裕司
中村収志 平 喜彦

1. まえがき

著者らは斜張橋並列ケーブルの制振対策を目的として、高減衰ゴムを内蔵した減衰機能付スペーサを考案し、これまで縮尺にして1/10程度の模型実験を行ってきた¹⁾。これにより、減衰機構の定性的な把握と基礎的な知見、さらにはケーブルのねじり剛性が減衰効果に与える影響等の問題点を得てきた。しかし、縮小模型において、スペーサを相似則に従い縮小することが物理的に困難であり、また、実ケーブルにおけるねじり剛性も明らかで無かった。そこで、実用化を意識したスペーサの制振効果の確認および実ケーブルにおけるねじり剛性の測定を目的とし、実物大レベルでの並列配置されたケーブルの振動実験を行った。

2. 実験方法

実橋における並列ケーブルを想定し、ケーブルにはSEEE工法のF360T（ポリエチレン被覆）を用いた。実験模型の諸元を表-1に示す。ケーブルのねじり剛性値GJは、載荷治具によりねじりモーメントM₀をケーブルに静的に与え、ケーブル長の1/4間の回転角度差を計測し算出した。ねじりモーメントの載荷位置はケーブル長の1/2、1/4、1/8の3点である。

ケーブルの加振は、一方のケーブルを固定し、他方のケーブルをたわみ1次モードで目的振幅まで人力加振した。そして、2自由度の場合は、固定したケーブルを解放し、減衰自由振動させた。計測は、各ケーブルの1/4点、1/2点、3/4点の計6点において、非接触型変位計（計測可能距離±100mm）で行い、データは100hzでサンプリングした。

スペーサの構造図を図-1に示す。固定型スペーサはケーブルとスペーサを剛結するタイプであり、回転型スペーサは固定部に回転自由度を与えるためにベアリングを設けたタイプである。両タイプのスペーサとも、内蔵する高減衰ゴムの取付個数により、ゴムのバネ定数および減衰定数を変化させた。スペーサの種類と減衰性能を表-2に示す。

3. 実験結果

実験結果を表-3に示す。2本のケーブルをそれぞれ1つの質点と想定し、それぞれの変位波形を加算および減算することにより同位相振動と逆位相振動に分解した結果を図-2に示す。同位相成分は、減衰することなくケーブル固有の振動数で振動を続ける。逆位相振動は、スペーサを付加することにより固有振動数が増加し、スペーサの減衰機構により減衰自由振動に移行する。逆位相振動の対数減衰率は、1波毎の対数減衰率を移動平均（n=11）することにより算出した。各実験ケースの両振幅と対数減衰率の関係を図-3と図-4に示す。

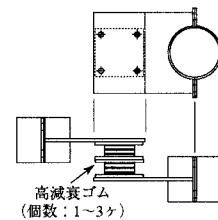
図-3は、両ケーブルを自由として、各スペーサをケーブル中央に取り付けた場合を表している。図中のダミーは、固定型のスペーサの代わりに鉄板を挿入した場合を示している。ダミーは、たわみ1次および2次モードが発生し、見かけ上の減衰率が一定しない。振動が減衰している原因は、ケーブルにねじり振動が生じ、ねじりモードの減衰が寄与して

表-1 実験模型の諸元

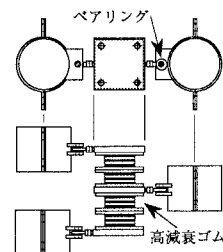
ケーブルの種類	F360T
単位重量 (kg/m)	18.53
直径 (mm)	83.5
ケーブル間隔 (mm)	250.5
長さ (m)	98.43
張力 (MN)	1.618
曲げ固有振動数 (Hz)	1.55
同上構造減衰	0
ねじり固有振動数 (Hz)	3.42
ねじり剛性 (KN m)	5.08
同上構造減衰率	0.081

表-2 スペーサの種類と減衰性能

スペーサの種類	バネ定数 K (KN/m)	tan δ
固定型 φ50×1	127.4	0.62
固定型 φ50×2	44.2	0.68
固定型 φ50×3	24.0	0.65
回転型 φ50×2×2	88.2	0.63



(a) 固定型スペーサ



(b) 回転型スペーサ

図-1 スペーサ概観図

いるためと考えられる。固定型のスペーサを用いた場合、バネ定数が減少するにつれて減衰性能が向上している。これは、スペーサのバネ定数が小さくなるに従い、ケーブルのねじり量が減少しスペーサの減衰機構が有効に作用するためと考えられる。この現象は3次元複素固有値解析でも確認されている。振幅が40mm以下になると、減衰率は低下を始める。この原因は高減衰ゴムの初期剛性に依存するものであるが、大きな振幅領域では、振幅に対して対数減衰率はほぼ一定であり、粘性減衰を有する機能があることが理解できる。回転型スペーサは、高減衰ゴムのねじり、および、ケーブルのねじり振動の影響を極力排除する目的で作成したものである（しかし、ケーブル半径分の偶力を発生させる構造になっている）。大振幅領域では同一のバネ定数を有する固定型スペーサと比較すると大きな減衰を得ているが、振幅に対する依存性が高い。この原因は、回転型が純粋なせん断変形による減衰が生じているが、振幅の減少と共に初期剛性が作用しているためである。一方、固定型の高減衰ゴムの減衰機構は、せん断変形のみではなくねじり変形による減衰機構が作用していると考えられる。

図-4は、ケーブル中央に固定型φ50×2のスペーサを取り付け、両ケーブルを自由とした場合（2自由度）と片側ケーブルの全自由度を固定した場合（1自由度）の比較である。風洞実験によれば、上流側ケーブルのたわみの自由度はウェイクギャロッピングによる下流側ケーブルの振動に対して大きな影響を与えないとされている²⁾。本実験では、片側ケーブルのたわみに対する拘束は逆位相振動には影響を与えないが、片側ケーブルのねじりに対する拘束はスペーサの減衰機構の上で重要な役割を果たしていることが理解できる。

4. まとめ

並列ケーブルのウェイクギャロッピングによる振動を制御するために高減衰ゴムを用いた減衰機能付きのスペーサを開発した。現段階で、付与できた対数減衰率は0.05程度であるが、減衰機構が明らかになり、スペーサの設計が可能になった。なお、本実験は建設省土木研究所、(財)土木研究センター、並びに民間15社による「斜張橋並列ケーブルの耐風制振に関する共同研究」の一環として（株）大林組、清水建設（株）、住友建設（株）、飛鳥建設（株）、（株）ピーエスの担当で実施したものである。

【参考文献】

- 1) 松元：並列ケーブルの減衰スペーサに関する研究，土木学会第49回年次学術講演会、1994.9
- 2) 野村：並列ケーブルのウェイクギャロッピングに対する構造的制振対策，土木学会第50回年次学術講演会、1995.9

表-3 実験結果

スペーサの種類	ケーブルの自由度	スペーサの位置	同位相振動数 (Hz)	逆位相振動数 (Hz)	両振幅1Dの減衰率	最大減衰率	減衰率のRSM
固定型φ50×1	2	1/2 L	1.55	1.68	0.036	0.038	0.027
固定型φ50×2	2	1/2 L	1.55	1.66	0.046	0.055	0.033
固定型φ50×3	2	1/2 L	1.55	1.63	0.056	0.061	0.044
回転型φ50×2×2	2	1/2 L	1.55	1.56	0.050	0.055	0.026
ダミー	2	1/2 L	1.54	1.67	—	0.022	0.013
固定型φ50×2	1	1/2 L	—	1.64	0.053	0.065	0.060
固定型φ50×2	2	1/3 L	1.53	1.64	0.024	0.030	0.023

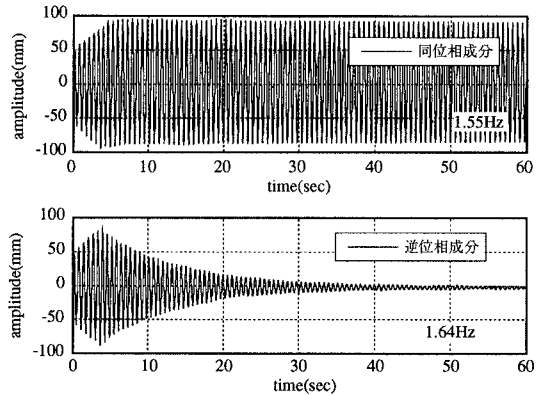


図-2 変位波形

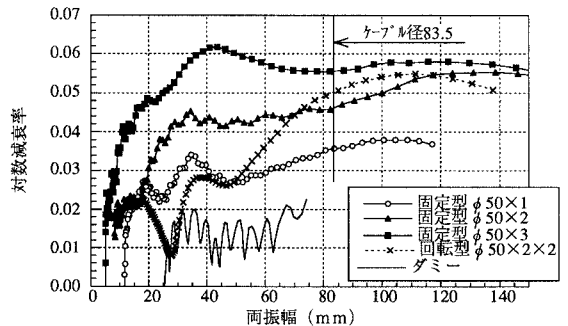


図-3 スペーサの種類と対数減衰率

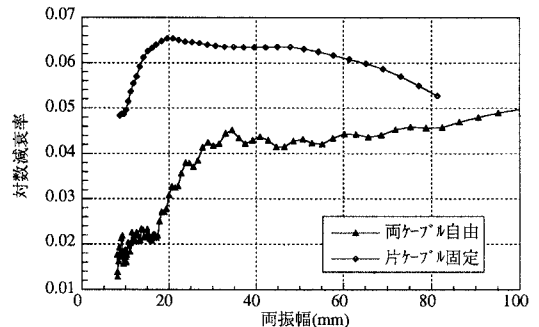


図-4 自由度と対数減衰率