

I-719

並列ケーブルのウェイク・キャロピングに対する構造的制振対策
—実大ケーブル実験による減衰機能付きスパーの有効性に関する検討—

(株)大林組 正会員 藤原章博

(株)大林組 正会員 樋口俊一

(株)大林組 正会員 野村敏雄

(株)大林組 正会員 伊藤雅保

1. はじめに

並列ケーブルのウェイク・キャロピングには、これまでに様々な制振方法が考案されているが、斜張橋の景観的長所を生かしつつ振動を完全に抑制するのは、現状では困難である。筆者らはこれまでに、並列ケーブル相互間に減衰機能を持たせたスパーを設置する方法の有効性について解析的に検討し、スパーの個数や配置を工夫することにより、逆相振動に対して大きな減衰を得られることを確認した¹⁾。ここでは固体摩擦のエネルギー散逸による減衰力を利用した減衰機能付きスパーの実大ケーブル実験を行い、その効果を検討した。

2. 実験方法

2-1. 減衰機能付きスパー

本実験で用いた減衰機能付きスパーの概略を図1に示す。本スパーはケーブル表面に取り付けた摩擦材料とケーブルケース間の滑りを許容し、上下流ケーブルの鉛直相対変位を、摩擦材料とケーブルケース間の回転変位に変換して摩擦減衰を得るものである。本スパーの減衰性能は摩擦材料の動摩擦係数、表面積及びケーブルケースの締め付け力に依存する。締め付け力は半割のケーブルケース間に間隙プレート挿入することにより調整可能である。用いたプレートの厚さは0.5mmである。スパーの諸元は表1の通りである。

2-2. 実験ケース

実験は住建コンクリート(株)・小山工場で行った。用いたケーブルはポリエチレン被覆PC鋼より線ケーブルである。ケーブルの諸元を表2に示す。初期状態は一方のケーブルを固定し、他方を人力により1次モードで加振することにより与え、1/2点での変位の減衰波形をレーザー変位計を用いて計測した。図2に実験状況の概略図を示す。

今回行った実験は、(1)スパーの数及び配置が減衰率に与える影響を調査した配置試験と、(2)スパーの締め付け力が減衰率に与える影響を調査した締め付け力試験である。実験ケースの一覧を表3に示す。

3. 実験結果

3-1. 配置の影響

図3に配置試験における鉛直相対変位の無次元振幅(y/D)と1次モードに対する対数減衰率(δ)の関係を示す。ここで y は片振幅を示す。スパーを1/2点に取り付けた場合、この点が振動の節となり単純な1次モードとはならなかったものが多かったが、これらは結果から除外した。図中、曲線は $y/D=0.2$ において $\delta=0.04$ と仮定した場合の計算結果である。実験結果では振幅が小さ

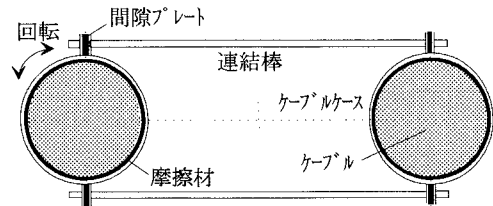


図1 減衰機能付きスパー

表1 スパー諸元

実験	摩擦材料	摩擦材表面積 (cm)	動摩擦係数
配置実験	金属 (表面湿潤)	314.2	0.2 ²⁾
締め付け力実験	摩擦材用布材	314.2	0.4 ²⁾

表2 ケーブル諸元

振動長	l (m)	98.46
振動数	f (Hz)	1.54
直径	D (mm)	83.5
ケーブル間隔	(mm)	250.5 (= 3D)
重量	W (kgf/m)	18.53

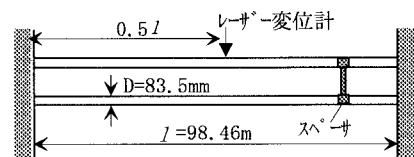


図2 実験状況

表3 実験ケース

実験	個数	配置	自由度	間隙プレート
配置実験	1	1/8 l	2	0
	1	1/3 l	2	0
	1	1/2 l	2	0
	2	1/8 l 7/8 l	2	0
締め付け力実験	1	1/8 l	1	1
	1	1/8 l	1	2
	1	1/8 l	1	3
	1	1/8 l	1	4
	1	1/8 l	1	5
	1	1/8 l	1	6
	1	1/8 l	1	7

いほど対数減衰率が高くなり、計算値と傾向的によく一致する。この傾向は本スぺーサが摩擦を利用しており、減衰力が振幅によらず一定であることに起因する。また対数減衰率は、設置位置がケーブル中央に近づくほど大きく、 $y/D=0.1$ のときスぺーサ1個の場合は最大 $\delta=0.078$ 、2個の場合は $\delta=0.094$ が得られた。

3-2. 締め付け力の影響

図4に間隔プレート枚数と対数減衰率の関係を示す。締め付け力はプレート枚数が少ないほど大きくなる。対数減衰率はプレート枚数3～5枚に相当する締め付け力において最大となり、小振幅ほど弱い締め付け力でピークを持つ。次に図5に、プレート枚数を変えた場合の、無次元振幅と対数減衰率の関係を示す。図中、曲線は $y/D=0.2$ において $\delta=0.04$ とした場合の計算値である。プレート枚数5～7枚の場合、前述のように、振幅が小さいほど対数減衰率は大きい。一方、締め付け力が比較的大きい1～4枚の場合には、逆傾向となっている。

これらの原因は、過大な締め付け力を与えると静止摩擦力がケーブルの小振幅でのねじれ反力を上回り、ケーブルがスぺーサとともに回転するため、スぺーサの滑り振幅が小さくなり、エネルギー散逸が少なくなるためと考えられる。従って、大振幅から小振幅まで高い減衰率を得るためには、性能の異なるスぺーサを組み合わせて用いる必要がある。

必要な締め付け力(R)を、例として $y/D=0.3$ で最も高い減衰率を得られたプレート3枚のケースと、最も低い減衰率となった7枚のケースについて、このときの等価粘性減衰係数 C_e を用いて、式(1)および図6の関係より求めると、前者は $R=74.6\text{kgf}$ 、後者は $R=10.7\text{kgf}$ であった。

$$C_e = \frac{4F}{\pi\omega\Delta}, \quad F \cdot 3D = fr, \quad f = \mu R \quad (1)$$

(F:減衰力, ω :角周波数, Δ :摩擦面の滑り振幅, f:摩擦力, r:摩擦面半径, μ :動摩擦係数)

4. まとめ

摩擦型減衰機能付きスぺーサを用いて実大ケーブル実験を行った結果、次のことがわかった。

- 1) 対数減衰率は設置位置をケーブル中央に近づけるほど大きくなる。また、複数個配置することによって減衰率を高めることができる。
- 2) 対数減衰率は締め付け力の調整により制御でき、今回行った範囲内では最大0.1程度であった。また対数減衰率の振幅依存性は締め付け力により変化し、組み合わせて用いることにより、広い振幅範囲を制御できる。

5. 謝辞

本研究を実施するに当たりご指導を頂いた東京大学工学部土木工学科の藤野陽三教授に深謝いたします。

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

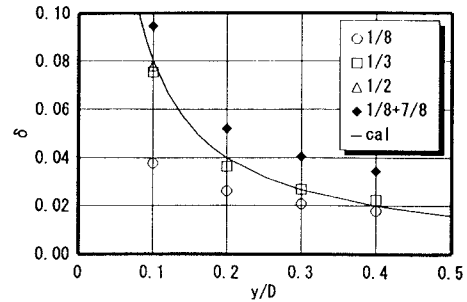


図3 スぺーサ数と配置の影響

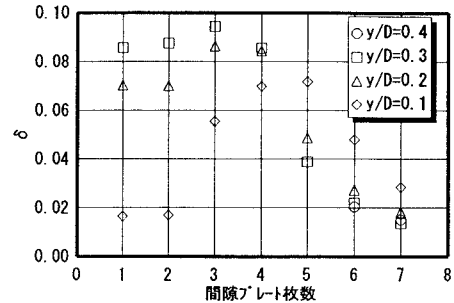


図4 締め付け力の影響(1)

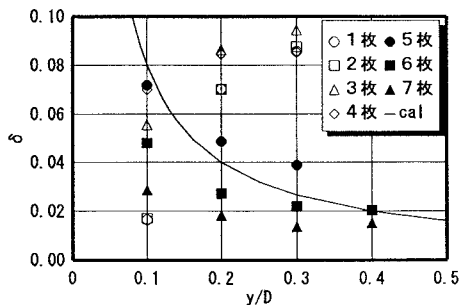


図5 締め付け力の影響(2)

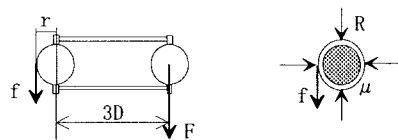


図6 減衰力と締め付け力の関係

に関する共同研究」の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 樋口 他: ウェイクアップロッキングに対する構造的制振対策, 土木学会第49回講演概要集, I, 1078-1079, 1994.09
- 2) (社)日本機械学会: 機械工学便覧, 7-176, 1968