

I-B 33 並列ケーブル用減衰機能付きスペーサの減衰付加特性に関する2, 3の考察

川田工業（株） 正員 瀬戸内秀規
川田工業（株） 正員 米田 昌弘

1. まえがき 並列ケーブル用減衰機能付きスペーサについては種々の方式が提案されているが^{1), 2)}, 各方式の減衰付加特性を比較した議論は今までのところ十分になされていない。そこで、本研究では、並列ケーブルの各表面に円形のスペーサ治具を介して減衰材を設置するタイプ（TYPE-S）と並列ケーブルのほぼ中間にスペーサ治具を介して減衰材を設置するタイプ（TYPE-M）に着目して、それぞれの減衰機能付きスペーサ方式を単独設置した場合に付加される構造減衰を複素固有値解析によって算出し、両方式による減衰付加特性を対比することとした。

2. 解析モデルと検討ケース

本研究では、表-1に示すように、ケーブル径が $D=96\text{mm}$ （鋼線外径に対応する公称径は 76mm ）、ケーブル張力が $T=350\text{tf}$ 、重量が $w=0.0246\text{tf/m}$ なる構造諸元を有する $l=200\text{m}$ の細径ケーブルが、 $S/D=2.0\sim 4.0$ なる間隔でそれぞれ並列配置された場合を基本検討の対象とする。種類の異なる2つの減衰機能付きスペーサ（TYPE-MとTYPE-S）は、ばねとダッシュポットから構成されるものとし、図-1に示すようにケーブル端部から 50m なる位置にそれぞれ単独に設置するものとした。複素固有値解析を実施するにあたっては、上・下流側のケーブルをそれぞれ200部材に分割するとともに、ケーブル張力やケーブルの曲げ剛性（鋼線外径と等しい鋼棒が有する曲げ剛性の15%を仮定）のみならず、表-2に示すようにケーブルのねじり剛性をも考慮することとした。

ここに、CASE-1J, CASE-3J, CASE-5J, CASE-7J, CASE-9JおよびCASE-20Jは、ケーブルの鋼線外径と等しい鋼棒（せん断弾性係数は $0.81\times 10^7\text{tf/m}^2$ ）が有するねじり定数のそれぞれ1%, 3%, 5%, 7%, 9%および20%なる値をケーブルのねじり定数として採用した場合に対応する。なお、解析にあたっては、減衰機能付きスペーサのばね定数として 1.0tf/m なる値を仮定し、粘性減衰係数を $0.1\sim 1.0\text{tf}\cdot\text{s/m}$ なる範囲で変化させるものとした。

3. 複素固有値解析結果と考察

まず、CASE-5J（ケーブルのねじり剛性比を5%とした場合）なる場合を対象として、ケーブル中心間隔を $S=2.0D, 2.5D, 3.0D, 4.0D$ と変化させた場合の複素固有値解析を実施した。鉛直の逆位相1次振動モードに付加される構造対数減衰率 δ をそれぞれ図-2、図-3に示す。図-2からわかるように、TYPE-Sでは、 $S=2.0D\sim 4.0D$ なるいずれのケーブル中心間隔においても、付加される構造減衰は粘性減衰係数が大きくなるとともに増加し、 $C=0.4\sim 0.5\text{tf}\cdot\text{s/m}$ 程度以上ではTYPE-Mよりも大きな値を示している。すなわち、TYPE-Sは、粘性減衰係数の設定値に制約を設けないという条件のもと、TYPE-Mよりも大きな減衰をケーブルに付加できると言える。これに対し、TYPE-Mでは、 $S=2.0D\sim 4.0D$ なるいずれのケーブル中心間隔においても、付加される構造減衰は $C=0.3\sim 0.4\text{tf}\cdot\text{s/m}$ なる粘性減衰係数で最大値を示し、これより大きな粘性減衰係数では逆に低下する結果となっている。このように、TYPE-Mなる減衰機能付きスペーサは、TYPE-Sなる減衰機能付きスペーサと比較し、 $C\leq 1.0\text{tf}\cdot\text{s/m}$ なる範囲に最適粘性減衰係数（構造減衰が最大となる場合の粘性減衰係数）が明確に存在することが特徴の一つと言える。

次に、ケーブルの中心間隔が $S=3.0D$ なる場合に着目して、ケーブルのねじり剛性をパラメータとした複

表-1 ケーブルの構造諸元

ケーブルの長さ l (m)	ケーブル径 D (mm)	鋼線外径 D^* (mm)	重量 w (tf/m)	張力 T (tf)	1次固有振動数 f_1 (Hz)
200	96	76	0.0246	350	0.9335

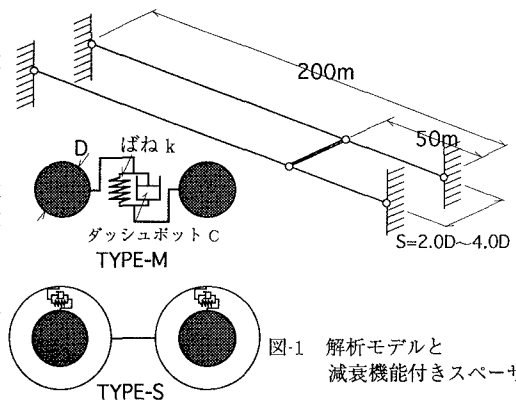


表-2 ケーブルのねじり剛性

解析ケース	ねじり定数 J (m^4)
CASE-1J	3.276×10^{-8}
CASE-3J	9.827×10^{-8}
CASE-5J	1.638×10^{-7}
CASE-7J	2.293×10^{-7}
CASE-9J	2.948×10^{-7}
CASE-20J	6.552×10^{-7}

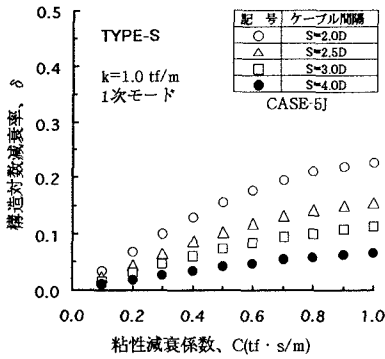


図2 減衰付加特性に及ぼすケーブル中心間隔の影響 (TYPE-S)

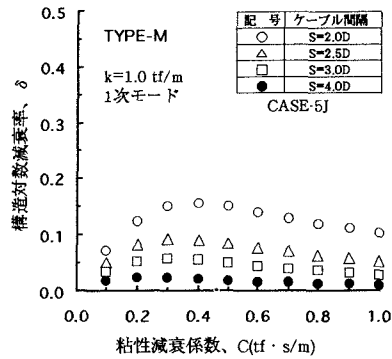


図3 減衰付加特性に及ぼすケーブル中心間隔の影響 (TYPE-M)

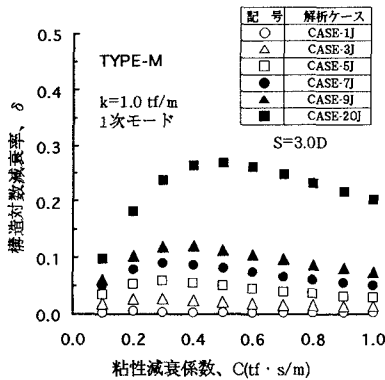


図4 減衰付加特性に及ぼすねじれ剛性の影響 (TYPE-M)

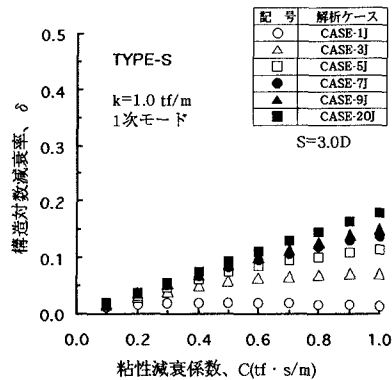


図5 減衰付加特性に及ぼすねじれ剛性の影響 (TYPE-S)

素固有値解析を実施した。TYPE-M および TYPE-S によって付加される、逆位相 1 次モードの構造対数減衰率 δ をそれぞれ図-4、図-5に示す。図-4より、TYPE-M では、ケーブルのねじれ剛性比の増加に比例して付加される構造減衰も大きくなっていることがわかる。これに対し、TYPE-S では、図-5からわかるように、ケーブルのねじれ剛性比が大きくなるにしたがって付加される構造減衰は増加しているものの、増加の程度はケーブルのねじれ剛性比が5%以上になるときわめて小さくなると言える。すなわち、TYPE-Mではケーブルのねじれ剛性比が5%以上になれば、付加される構造減衰はケーブルのねじれ剛性にほとんど依存せず、5%における値とほぼ等しいという特性を有する。また、TYPE-MとTYPE-Sによって付加される構造減衰を対比すればわかるように、 $S=3.0D$ なる $l=200m$ のケーブルに対する減衰付加特性は、ケーブルのねじれ剛性比が3%より小さい場合にはTYPE-Sの方が有利であるのに対し、ケーブルのねじれ剛性比が5%以上になると比較的小さい粘性減衰係数の範囲においてTYPE-Mの方が付加される構造減衰が大きく有利であると言える。

4. まとめ 本研究により、TYPE-MとTYPE-Sなる減衰機能付きスパーサによって付加される構造減衰の差異を明確にできたと考えられる。本文が斜張橋の設計やケーブル制振に携わる実務技術者にとって有用な技術資料となれば幸いである。

《参考文献》1) 小川 ほか：並列ケーブルの振動特性に及ぼすスパーサの効果，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，I-607，pp. 1212～1213，1994年9月

2) 米田 ほか：粘弾性体を利用した並列ケーブル用減衰機能付きスパーサとその実橋ケーブルへの適用に関する研究，土木学会論文集中に投稿中（1996年1月）