

I-540

ウエイクギャロッピングに対する構造的制振対策

減衰機能付きスパーサーの有効性に関する基本的検討

(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 後藤洋三 (株)大林組 伊藤雅保

1. まえがき

大型PC斜張橋や一面吊り斜張橋では、並列ケーブルのウエイクギャロッピングの発生が問題となる場合がある。斜張橋ケーブルの制振対策としては、最近ケーブルダンパー方式が注目されているが、この方式はケーブルの桁側定着部付近にダンパーを設置するため減衰付加効果に限界がある¹⁾。一方、減衰付加によりウエイクギャロッピングを制振するには、かなり大きな減衰が必要であることが明らかになっている²⁾。そこで筆者らは、並列ケーブル相互間に減衰機能を持ったスパーサーを設置する方法の有効性について、解析的な検討を行った。

2. 複素固有値解析による検討

スパーサーの減衰を速度比例型粘性減衰と仮定して並列ケーブルスパーサー系を図1のようにモデル化した。この系の運動方程式は非比例減衰系となるので、振動特性を把握するためには複素固有値解析を行う必要がある。解析モデルにおいては、ケーブルを軸力による幾何剛性を考慮できるビーム要素とし、曲げ剛性は無視した。ケーブル長は100m（20要素）、導入張力180tfで、1次固有振動数は1.33Hzである。本モデルにおいて、表1に示すようなスパーサーの粘性減衰係数、取り付け位置および取り付け個数をパラメータに解析を行い、モード減衰を算定した。図2～図5に解析結果の一部を示したが、これらより、①スパーサーによって減衰が付加できるのは、上下流ケーブルが互いに逆位相で振動する場合（逆相モード）だけであること（図2-(b)）、②逆相モードに対しては大きな減衰付加を期待できること、③スパーサーの個数や配置の工夫によって、複数のモードに対する減衰性能の改善が可能であること、が明らかとなった。

3. 2自由度系による検討

並列ケーブルスパーサー系の振動特性についてさらに詳しく理解するために、それぞれのケーブルを1自由度の質点でモデル化して応答性状を検討した。図6に解析モデルを示す。この系の振動には、並進モード（同相モード）とねじれモード（逆相モード）

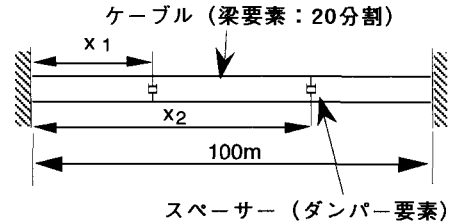


図1 複素固有値解析モデル

表1 解析パラメーター

Case	1	2	3	4	5	6	7
個数	1	1	1	2	2	3	3
配置	$x_1=10$	$x_1=30$	$x_1=50$	$x_1=10$ $x_2=90$	$x_1=30$ $x_2=70$	$x_1=10$ $x_2=30$ $x_3=50$	$x_1=10$ $x_2=50$ $x_3=90$

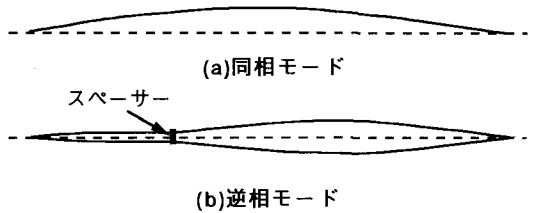


図2 減衰機能付きスパーサーを設置したときの並列ケーブルの振動モード（Case2；1次モード）

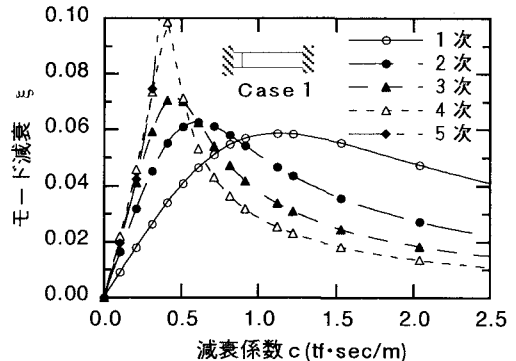


図3 スパーサーの減衰係数とモード減衰(Case1)

の2つの振動モードが存在する。ウエイクギャロッピング発生時の外力については明らかでない点が多いため、ここではこの2自由度系の自由振動について議論する。自由振動時の運動方程式を書けば、

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 = -c(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \\ m_2 \ddot{x}_2 + k_2 x_2 = -c(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \end{cases} \quad \dots\dots (1)$$

である。この連立微分方程式の解は解析的に求められ、 $m_1 = m_2$ 、 $k_1 = k_2$ とすると、

$$\begin{cases} x_1 = x_P + x_M \\ x_2 = x_P - x_M \end{cases} \quad \dots\dots (2)$$

である。ここで、

$$x_P = A_P \cos \omega t + B_P \sin \omega t$$

$$A_P, B_P : \text{定数}, \omega^2 = k/m \quad \dots\dots \text{定常振動成分}$$

$$x_M = e^{-2\lambda t} (A_M \cos \omega^* t + B_M \sin \omega^* t)$$

$$A_M, B_M : \text{定数}, \omega^{*2} = \omega^2 - 4\lambda^2, \lambda = c/2m \quad \dots\dots \text{減衰振動成分}$$

従って、この系の応答は初期条件によって決まる。

図7に時間 $t=0$ において $x_1=l_0$ なる初期条件の自由振動波形を、図8に $t=0$ において $x_1=l_0$ 、 $x_2=-l_0$ なる初期条件（ねじりモードのみの初期条件）の自由振動波形を示した。図7では定常振動成分が残留しているが、図8では完全に減衰し消滅している。これは、減衰機構が振動のねじりモード（逆相モード）のみに有効であることを示している。

4. まとめ

本研究により以下のことが明らかとなった。

- ①スパーサーによって減衰付加が期待できるのは逆相モードだけである。
- ②逆相モードに対しては大きな減衰を付加できる。
- ③スパーサーの個数や配置を工夫することによって複数のモードに対して大きな減衰を付加できる。

また、3.で示したように減衰機能付きスパーサーの有効性は、ウエイクギャロッピング発生時の外力とケーブルの振動性状に依るところが大きいいといえる。しかしながら、これらについては明らかでない点が多いため、今後の研究が待たれる。

なお本研究は、建設省土木研究所・（財）土木研究センターならびに民間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」の一環として実施したものである。

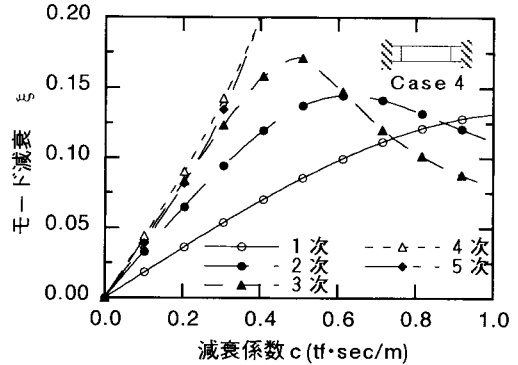


図4 スパーサーの減衰係数とモード減衰(Case 4)

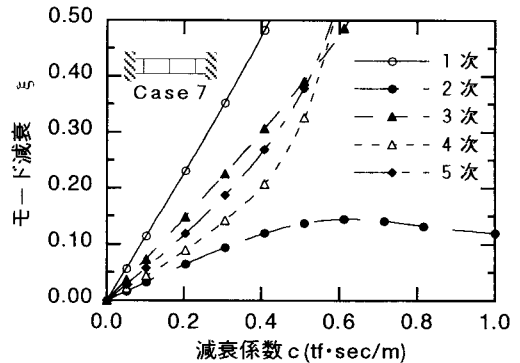


図5 スパーサーの減衰係数とモード減衰(Case 7)

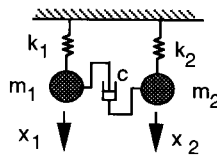


図6 応答解析モデル

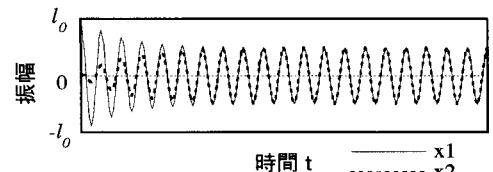


図7 自由振動波形 ($t=0$; $x_1=l_0$, $x_2=0$)

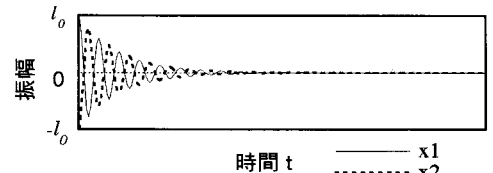


図8 自由振動波形 ($t=0$; $x_1=l_0$, $x_2=-l_0$)

参考文献.

- 1) 藤野, Pacheco, Sulekh: ダンパーを付けた斜張橋ケーブルの減衰評価曲線, 橋梁と基礎, 1992・4
- 2) 佐藤, 島海, 及川, 竹田, 向, 佐野: ウエイクギャロッピングに対する減衰付加の制振効果, 土木学会第48回年講概要集, 第1部, (1993.9)