

斜張橋並列ケーブルのウェークギャロッピングと空力制振対策

○住友重機械工業(株) 正員 鹿島 主央

住友重機械工業(株) 正員 宮崎 正男

1. はじめに

近年、施工性や荷重の増加を考慮して2本以上のケーブルを並列配置した斜張橋が増えてきている。これらの並列ケーブルにおいてウェークギャロッピングと呼ばれる現象が観測されているが、発生機構などの詳細な特性については不明な点が多く、制振対策の設計法についても確立されていない。本研究は、このような現状をふまえ、比較的採用例の多い2本ケーブルの場合に着目して二次元バネ支持試験を実施し、ケーブルの配置、振動の自由度がウェークギャロッピングに与える影響を調べた。また、空力制振対策のひとつとして、軸方向にU字型の溝を設けた円柱（以後U-ストライプケーブルと称する）を用い、その制振効果を調査した。

2. 実験の概要

実験ケーブルは、アクリル製の円管（直径 $D=50\text{mm}$ 、スパン方向の長さ $L=1080\text{mm}$ ）で、表面加工を施さない円柱（以後ノーマルケーブルと称する）とU-ストライプケーブルの2種類を使用した（図1(a),(b)）。ケーブルは主流方向に直列に配置され、主流直角方向にのみ振動でき、必要に応じて固定することもできる（図2）。主な実験条件を、表1に示す。

3. 実験結果

(1) ケーブル配置（水平間隔 Sh/D ）の影響

ノーマルケーブルとU-ストライプケーブルの水平間隔 Sh を、 $Sh/D=2\sim 4$ 変化させたときの応答を図3,4(a),(b)に示す。(a),(b)には、それぞれ(a)上流側ケーブルと(b)下流側ケーブルの応答を示している。上・下流側ケーブルとも、主流直角方向に1自由度を与えられている。ノーマルケーブルの場合、 $Sh/D=2,3$ では下流側ケーブルはハート型の応答を示す。しかし、 $Sh/D=4$ ではワ型型の応答になっている。一方、U-ストライプケーブルの場合も $Sh/D=2,3$ ではハート型の応答を示すが、 $Sh/D=4$ ではウェークギャロッピングは発生していない。また、ノーマルケーブルでは上流側ケーブルには有意な応答は見られなかったが、U-ストライプケーブルでは $Sh/D=2$ で振動が観測された。

(2) U-ストライプケーブルの制振効果

ウェークギャロッピング以外に斜張橋ケーブルに発生する空力不安定振動としては、渦励振とレインバウレシヨンが代表的である。U-ストライプケーブルは、渦励振とレインバウレシヨンに対して制振効果があるV-ストライプケーブルの改良型であり、同様の制振効果が期待できる^{1), 2)}。U-ストライプケーブルのウェークギャロッピングに対する制振効果を調べるため、上・下流側ともU-ストライプケーブルを用いた試験を行った（図4(a),(b)）。この結果をノーマルケーブルの場合（図3(a),(b)）と比較する。 $Sh/D=4$ のときには、U-ストライプケーブルの場合、ノーマルケーブルの場合よりも下流側ケーブルの応答が明らかに減少しており、制振効果があるということが出来る。しかし、 $Sh/D=2,3$ の場合、応答振幅がノーマルケーブルの2倍以上になることもあり制振効果は期待できない。つまり、ケーブルの配置によっては制振効果がないばかりでなく、応答振幅が増加する場合もある。しかし、ある程度のケーブル間隔を確保すれば（本実験では $Sh/D \geq 4$ ）、制振効果を期待することができる。

(3) 振動の自由度の影響

既往のウェークギャロッピングに関する多くの研究では、上流側ケーブルを固定し、下流側ケーブルに主流直角方向に振動の自由度を与える実験方法が用いられている。しかし、実橋のケーブルでは、上流側ケーブルも自由度を持つ。そこで、ノーマルケーブルの $Sh/D=2,4$ について上流側ケーブルを固定した場合と主流直角方向に1自由度を与えた場合に、下流側ケーブルの応答がどのように変化するか調べた結果を図5(a),(b)に示す。 $Sh/D=2,4$ のどちらの配置でも低風速側での応答に相違があるものの、高風速側ではほとんど応答に差は見られなくなっている。また、発振風速は、上流側ケーブルが固定の場合と1自由度を与えられた場合では、ほとんど変化していない。

4. まとめ

以上より、1)ウェークギャロッピングは $Sh/D=4$ 付近で応答が変化している。2)U-ストライプケーブルは、 $Sh/D \geq 4$ で制振効果を期待できる。3)上流側ケーブルに主流直角方向に1自由度を与えた場合、応答振幅に影響が見られるが、発振風速はほとんど変化しない。

なお、本研究は、建設省土木研究所、（財）土木研究センターおよび民間企業15社からなる「斜張橋並列ケーブルの耐風制振に関する共同研究」の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 宮崎：斜張橋ケーブルの空力不安定振動と制振対策，第10回風工学シンポジウム論文集，1988年
- 2) 宮崎他：斜張橋ケーブルの空力制振対策，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第1部，1993年

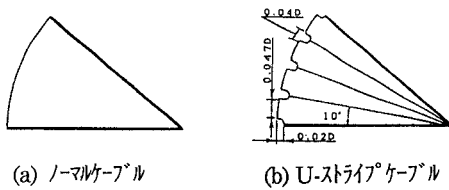


図1 実験モデル（部分拡大図）

表1 実験条件

使用気流	一様流
振動数 f	1.14~1.17 Hz
試験風速 V	0~20 m/s
無次元風速 $V_r (V/fD)$	0~350
モデル重量 W	4.93~6.56 kgf/m
対数減衰率 δ	0.0069~0.0095
スクルトン数 $Sc (2m\delta/\rho D^2)$	30~31
レイノルズ数 $Re (VD/\nu)$	$\sim 7 \times 10^4$

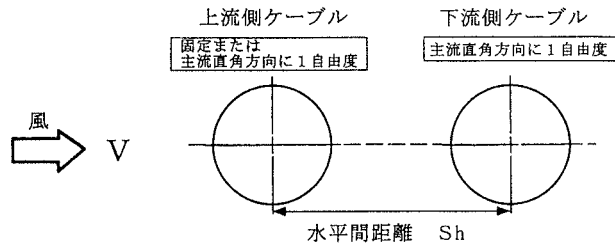
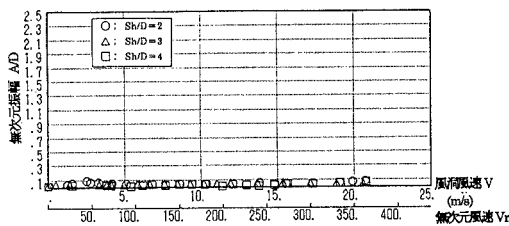
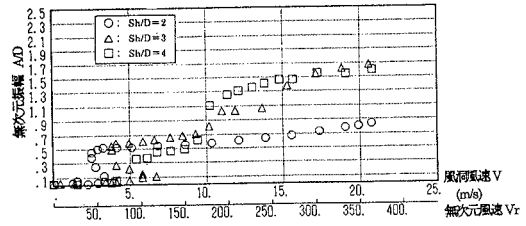


図2 ケーブルモデルの配置

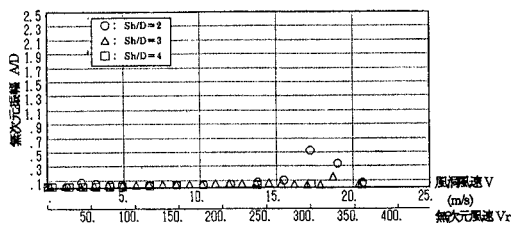


(a) 上流側ケーブルの応答

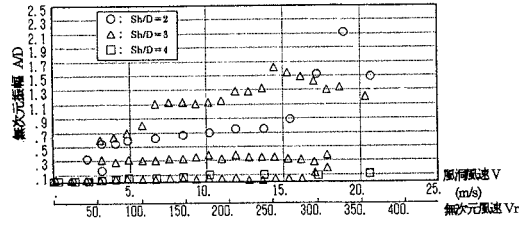


(b) 下流側ケーブルの応答

図3 水平間隔 Sh を変化させたときの影響（ノーマルケーブル）

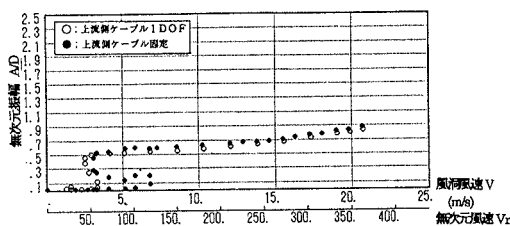


(a) 上流側ケーブルの応答

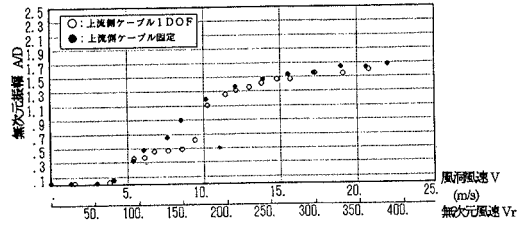


(b) 下流側ケーブルの応答

図4 水平間隔 Sh を変化させたときの影響（U-ストライプケーブル）



(a) 下流側ケーブルの応答 ($Sh/D=2$)



(b) 下流側ケーブルの応答 ($Sh/D=4$)

図5 上流側ケーブルの自由度を変化させたときの影響（ノーマルケーブル）