

住友重機械工業（株） 正員 ○ 鹿島 主央
 “ 正員 宮崎 正男
 正員 平田 鋼三
 大野喜久雄

1. はじめに 近年、斜張橋の長大化に伴って、斜張橋ケーブルの風による振動（渦励振、レイバングレション、ウェーキングロッキング等）が観測され、種々問題となっている。渦励振、レイバングレションは、ケーブル同士の結合、ダウナーの設置等で、十分に制振可能となってきた。しかし、ウェーキングロッキングについては、振動励振力が大きく¹⁾、また種々の振動モードで発現するため、前述の方法では、十分に制振することが難しくなってきた。

本研究では、並列に設置されたケーブルのケーブル間距離をはじめ、振動数、ケーブルの振動自由度がウェーキングロッキングに与える影響を調べた。また、制振対策の試みとしてUストライプケーブルを用い、空力制振効果の確認を行った。

2. 実験概要 実験には、住友重機械工業（株）平塚研究所所有のイッフェル風洞（高さ2.0m×幅1.5m×長さ20m）を用いた。ケーブル模型は、アルミ製の中空パイプ（外径D:50,100mm×長さ1.08m）であり、Uストライプケーブル（図1）はパイプ表面に深さ2%（対外径）のU字型の溝を円周方向に10°ピッチで軸方向にストライプ状に配置している。実験は、ケーブル模型のバネ支持実験を行い、実験条件は表1に示すものである。なお、以後の表示は図2に従い、模型表面に加工していないケーブルをノーマルケーブルを称す。

3. 実験結果と考察

①ケーブル間距離（水平間隔Sh）の影響：水平間隔Sh=3～10におけるノーマルケーブル（D=50mm）の空力振動応答を図3に示す。V-A図より、Shにより応答特性が変化していることがわかる。すなわち、Sh=3において、振動の発生がハード型であることに対して、Sh≥4では、ソフト型となっている。これは、上流円柱の後流と間隔が微妙に影響していると考えられる。なお、興味深いことに、この現象は、角柱のギョロッキングに似た特性を示している。

②振動数変化の影響：ノーマルケーブル（D=50mm、Sh=4）における振動数変化に伴う振動応答の違いでは、振動数の増加に従い、空力振動の発現が認められない（図4）。このことは、並列ケーブルにおけるレイバングレションの影響の存在を意味しているように考えられるが、今後より一層の検討が必要であると思われる。

③風速の無次元化の是非：ノーマルケーブルにおいて、Sh=3のケーブル径の異なる場合の振動応答を示すと図5となる。一般的に、無次元風速で評価すれば、振動の発生風速は一致するものとされてきた。しかし、今回の実施結果では、応答傾向の違いがあるものの、振動発生風速が無次元風速ではなく、風洞風速で一致をしたことより、無次元化の是非について議論の余地があるものと考えられる。

④Uストライプによる制振効果：図6～8は、Uストライプとノーマルケーブルの振動応答を比較したものである。Sh=4では、Uストライプにより振動はほとんど抑えられている。一方、Sh=3とした場合、Uストライプ（D=100mm）において、換算風速 $V_r=150$ 付近よりハード型の振動応答が確認された。今後、振動発生の限界ケーブル間距離（Sh）をつめる必要がある。

⑤自由度の相違：①～④は、上流柱固定状態で実施した結果であるが、実橋のケーブルは上下流とも自由度が存在する。より実橋に則した条件（上下流ともフリー、Sc=30）でUストライプにおける振動を調べたものが図9である。それによると、自由度を与えた方が振動振幅が小さくなることが明かとなった。

4. まとめ 斜張橋並列ケーブルに発生するウェーキングロッキングに対する空力制振対策の可能性を見いだすため、無対策のノーマルケーブルおよび空力制振対策のUストライプケーブルを対象として、種々検討を行った。それにより、新たな問題も明かとなった。今後は、本研究で得られた結果を含め、振動メカニズムの解明、制振効果の確認並びに実用化について検討を重ねていく予定である。

本研究は、建設省土木研究所、（財）土木研究所及び民間15社の共同研究として実施したものである。

参考文献 1) 斉藤、構造基本断面柱の空力特性、日本風工学会誌第39号、1989年4月

表1 実験条件表 Sh変化（ケーブル径 $D=0.05$ m）

ケーブルタイプ	ノーマル				ストライプ			
Sh, Sv	3D, 0	4D, 0	6D, 0	10D, 0	3D, 0	3.5D, 0	4D, 0	
重量 W (kgf/m)	5.00	5.01	5.06	5.02	5.00	4.99	4.94	
振動数 f (Hz)	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.17	
対数減衰率 δ	0.00954	0.00927	0.00921	0.00958	0.00904	0.00974	0.00945	
1/4波長 Sc	30.067	28.899	29.172	30.262	28.300	30.107	28.891	

表2 実験条件表 Sh変化（ケーブル径 $D=0.10$ m）

ケーブルタイプ	ノーマル		ストライプ	
Sh, Sv	3D, 0	4D, 0	3D, 0	3.5D, 0
重量 W (kgf/m)	5.04	5.06	5.02	5.00
振動数 f (Hz)	1.16	1.16	1.17	1.17
対数減衰率 δ	0.00398	0.00921	0.00380	0.00904
1/4波長 Sc	3.100	7.387	2.979	6.999

表3 実験条件表 Sh変化（ケーブル径 $D=0.10$ m）

ケーブルタイプ	ストライプ		ストライプ	
Sh, Sv	3D, 0	3D, 0	3D, 0	3D, 0
重量 W (kgf/m)	4.10	5.04	4.10	5.04
振動数 f (Hz)	1.17	1.16	1.17	1.16
対数減衰率 δ	0.03933	0.03677	0.00410	0.00330
1/4波長 Sc	24.931	28.653	2.599	2.571

表4 実験条件表 Sh変化（ケーブル径 $D=0.05$ m）

ケーブルタイプ	ノーマル		ストライプ	
Sh, Sv	4D, 0	4D, 0	4D, 0	4D, 0
重量 W (kgf/m)	5.01	5.06	2.62	2.62
振動数 f (Hz)	1.16	2.64	3.62	3.62
対数減衰率 δ	0.00927	0.00980	0.01286	0.01286
1/4波長 Sc	29.286	30.984	20.751	20.751

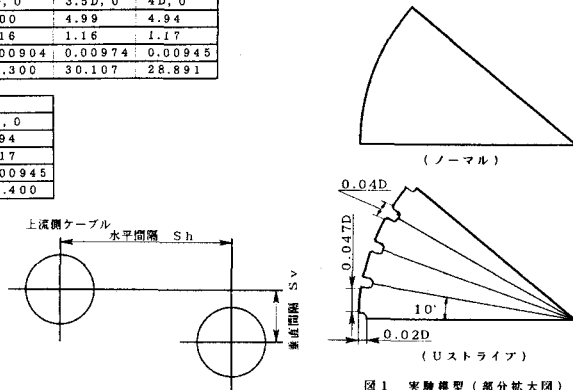


図1 実験模型（部分拡大図）

図2 ケーブル模型の配置 下流側ケーブル

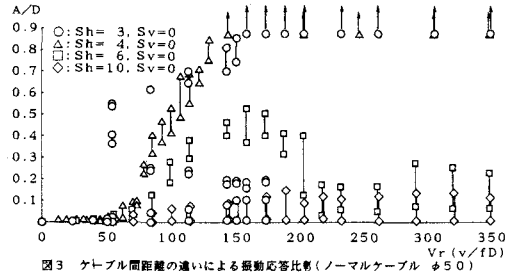


図3 ケーブル間距離の違いによる振動応答比較（ノーマルケーブル $\phi 50$ ）

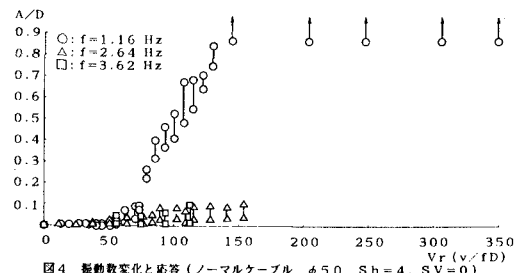


図4 振動数変化と応答（ノーマルケーブル $\phi 50$ Sh=4, Sv=0）

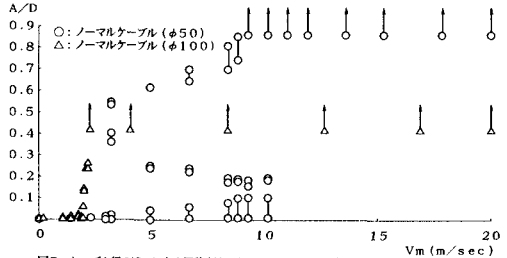


図5 ケーブル径の違いによる振動応答（Sh=3, Sv=0）

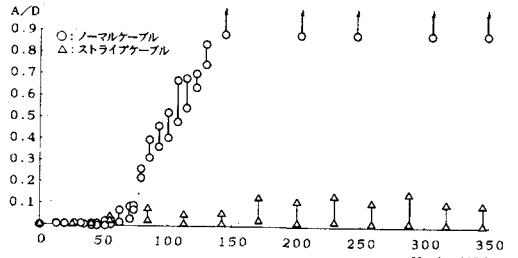


図6 断面変化と振動応答 ($\phi 50$ Sh=4, Sv=0)

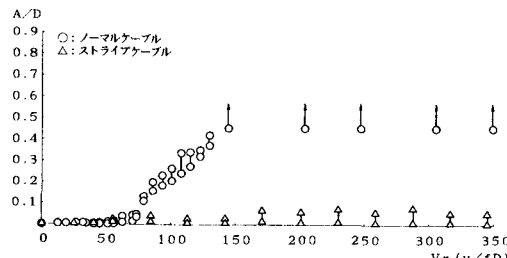


図7 断面変化と振動応答 ($\phi 100$ Sh=4, Sv=0)

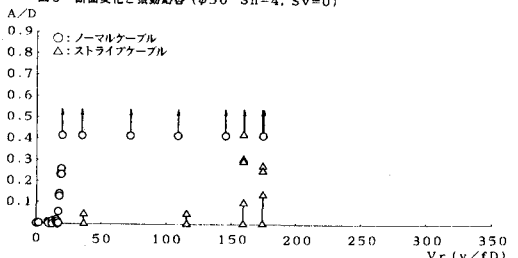


図8 断面変化と振動応答 $\phi 100$ Sh=3, Sv=0)

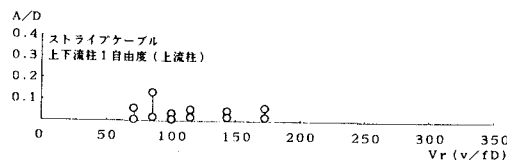


図9 自由度の違いによる振動応答 ($\phi 100$ Sh=3, Sv=0)

