

高レイノルズ数領域に着目した斜張橋ケーブルの対風応答の実験

九州工業大学大学院 学生会員 ○竹林宏樹 九州工業大学 学生会員 川崎恭平
九州工業大学 正会員 木村吉郎 フェロー 久保喜延 正会員 加藤九州男

1. はじめに

近年の大幅な技術革新により、長大吊形式橋梁の設計・施工が可能となり、それに伴うケーブル部材の長大化が進んでいる。一方長大ケーブルにおいては、大振幅の空力不安定振動が生じることがあり、問題となっている。そのため制振ダンパーなどの対策が検討され、実際に適用されている例も多い。しかし、高風速域で生じたと考えられる大振幅振動などのように、未だに発生メカニズムが解明されていない振動現象がある。現象解明のためには、風洞実験が有効なツールと考えられるが、ケーブルの空力振動現象に対しては、風洞実験で実現象が再現されているかどうか確かでないばかりか、風洞実験そのものの再現性も十分ではない場合がある。このように非常に繊細なケーブルの対風応答を、風洞実験で再現するために行っている検討状況について報告する。

2. 昨年の研究

昨年は、1) 雨なし振動が問題となる実ケーブル程度の固有振動数(0.25～3.0Hz)を有すること、2) 実ケーブルと同程度またはそれ以下の構造減衰および質量をもつこと、3) 振動特性に指向性をもたないこと、という構造的な条件を満足するケーブル模型として、図1に示す「振り子型」の振動模型を使用して風洞実験を行った。しかしながら、この振り子型の実験模型では、大振幅の振動現象を確認することはできなかった。その原因としては、気流方向に振動することにより、気流に対する模型の投影面積が変化し、その結果付加的な空気力が作用してしまい、実際のケーブルに作用する空気力が再現できていなかったためと考えられる。

3. 実験概要

3.1 エアベアリングを用いた模型支持装置

昨年の振り子型のケーブル模型による風洞実験の失敗を生かし、気流に対する模型の投影面積が変化せず、大振幅の振動時にも振動方向に連成が生じないように、写真1に示すような模型支持装置を作製し、ケーブル模型の両端を支持した。すなわち、主流方向および主流直角方向に、それぞれ模型をエアベアリング(NEWWAY社、写真2)で支持し、それぞれの方向に張られたコイルばねによって復元力を与えられている。

3.2 実験条件

実験は、九州工業大学の境界層型波浪風洞の縮流部(流れ方向 3000mm, 1100mm(W)×1800mm(H))で行った。ケーブル模型のアスペクト比を少しでも大きくするために、ケーブル模型は上下方向に設置することとした。なお模型支持装置に風が当たらないようにカバーを上流側に設置しているため、模型の高さは1100mmである。ケーブルの模型には、外径が55mmと260mmのボイド紙管(神戸樹脂工業)を使用した。直径260mmの模型は、実験でのレイノルズ数を、実橋で高風速で発生している現

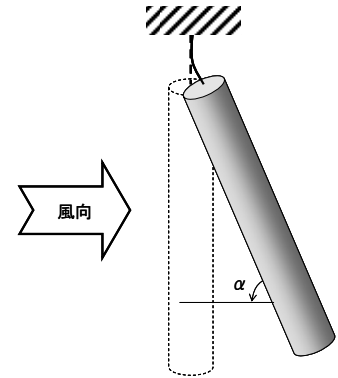


図1 振り子型実験模型

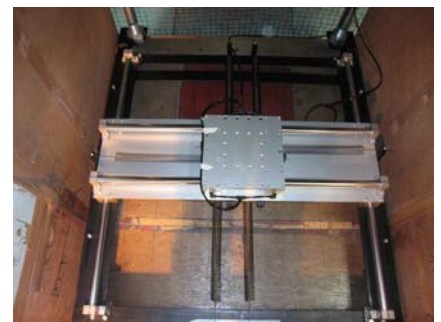


写真1 模型支持装置



写真2 エアベアリング



写真3 ケーブル模型

象と同様に、高いものにすることを狙ったものである。そのために、閉塞率は23.6%，アスペクト比は最小で1100/260=4.23と、風洞実験の条件としては、かなり無理をしている。実験で使用した模型の諸元を表1に示す。

3.3 変位測定システム

模型の変位は、主流方向については大きな振幅

が生じないことから、レーザー変位計により測定した。一方、主流直角方向については、大きな振幅が生じるため、ひずみゲージをバネの端部に設置し、計測される電圧と変位をあらかじめキャリブレーションして、変位を算出した。

4. 実験結果

図2, 3にそれぞれD55とD260のケーブル模型の5.00HzのL.P.F. (ローパスフィルター)を通す前後の応答図を示している。横軸には換算風速とレイノルズ数、縦軸には応答の標準偏差を直径で除して無次元化した値をとっている。ここで、5.00HzのL.P.F.を用いたのは、主流直角方向に設置したバネから検出される変位データに、ばね自身の振動の周波数成分と考えられる約7Hzのノイズが特に高風速域で顕著にみられたためである。

まず図2をみると、 $\beta=0^\circ$ 、 30° 、 45° では風速とともに少しずつ応答が大きくなる、ガスト応答と考えられる傾向を示している。一方、 $\beta=60^\circ$ では換算風速が200～380程度の範囲で風速限定型の振動が発現している。

次に図3をみると、 $\beta=60^\circ$ では換算風速が7程度で渦励振と考えられる振動が発現し、 $\beta=30^\circ$ 、 45° についてはそれぞれの換算風速が16程度からと30程度で傾向の異なる振動が発現している。また、 $\beta=0^\circ$ では、換算風速50程度以上の応答から、振動がゆるやかに大きくなる振動が発現した。

5. まとめと課題

新たな支持装置を用いて、斜張橋用ケーブルに発現する空力振動の再現を試みた。風洞の制約から、模型のアスペクト比や閉塞率については問題のある実験とせざるを得なかったが、何種類かの振動が発現した。振動特性や実験の再現性について、今後さらに検討していく予定である。

表1 実験模型諸元

直径 (mm)	偏角 β (deg.)	質量 (g)	固有振動数 F_n (主流/主流直角)	対数構造減衰率 δ_s (主流/主流直角)
55	0	830	0.533 / 0.542	0.0291 / 0.0165
	30	890	0.542 / 0.534	0.0372 / 0.0152
	45	960	0.541 / 0.530	0.0278 / 0.0182
	60	1140	0.540 / 0.527	0.0594 / 0.0103
260	0	5950	0.514 / 0.447	0.0142 / 0.0164
	30	6570	0.511 / 0.439	0.0219 / 0.0163
	45	7730	0.503 / 0.421	0.0211 / 0.0112
	60	10320	0.495 / 0.401	0.0635 / 0.0220

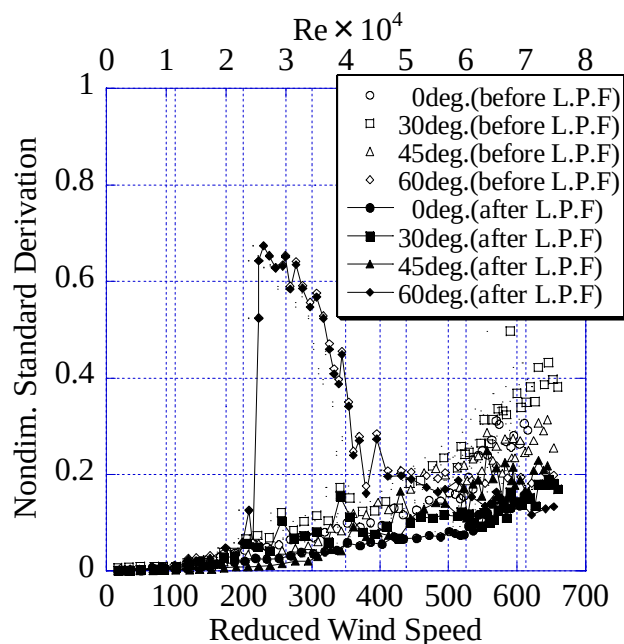


図2 D55 応答図(主流直角方向)

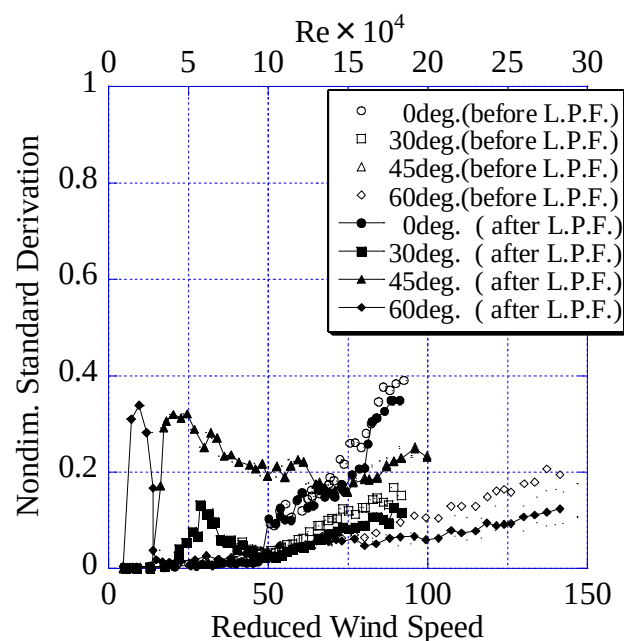


図3 D260 応答図(主流直角方向)