

レインバイブレーション対策ケーブルの風洞実験

(株)IHI 正会員 ○山内邦博

(株)IHI 正会員 上島秀作

1. 緒言

レインバイブレーションは雨と風の相互作用による傾斜ケーブルの振動現象であり、斜張橋の耐風設計における重要な検討項目となっている。ノルマンディー橋では、風洞実験¹⁾により制振効果が確認されたヘリカルリブ付ケーブルが採用された。ヘリカルリブは近年のアメリカの斜張橋ケーブルで採用例が多く、FHWAの基準²⁾でも紹介されている。

著者ら³⁾は、レインバイブレーションが発生する条件について、ケーブルの振動数および傾斜角に着目した実験的な考察を行ない、ヘリカルリブの制振効果について確認した。本研究では、ヘリカルリブの高さの適用限界を確認するとともに、ヘリカルよりも簡易な対策リブの適用性を確認し、その空力特性を明らかにすることを目的とする。

2. レインバイブレーション実験

既往研究³⁾と同様に、図-1に示す装置を用いて実験を行なった。ケーブル模型はコイルバネを用いて傾斜角： $\alpha=45$ 度、偏角： $\beta=45$ 度で鉛直・水平の2自由度で支持した。その他の主な実験条件を表-1に示す。模型重量が実ケーブルの1/10程度であるため、減衰は実ケーブルの10倍程度($\delta=0.05$)とし、スクリーン数を一致させた。減衰の効果を確かめる目的で、減衰が小さい場合($\delta=0.015$)についても検討した。

図-3に対策ケーブルを、図-4に実験結果を示す。比較のために、図中には標準ケーブル($\delta=0.05$)の実験結果を併せて示した。振幅は鉛直方向の倍振幅として示しており、最大振幅が得られるように、ケーブル下端から流れ落ちる水量が概ね200~500ml/minとなる範囲で雨量を調整した。

高さ2mmのリブ(ワイヤー)を螺旋状に525mmピッチで2重巻きしたヘリカルケーブルの場合、水路がリブに沿って流れ落ちる様子が観察され、雨量および減衰を変化させても有意な振動を生じることは無かった。ここでは割愛したが、リブを削って高さを1mm程度とした場合にもほぼ同じ結果が得られた。一方、リブ高さが0.8mmのワイヤーに取替えた場合、水路が容易にリブを乗り越える様子が観察され、 $Sc=29.3$ においても振動を生じた。今回検討したケーブル姿勢においては、ヘリカルリブの高さの適用限界は1mm程度であると考えられる。

高さ3mmのリブ(ワイヤー)を500mmピッチでケーブルの周方向に巻きつけた場合、リブ位置で水路が弱められる(風で吹き飛ばされる)様子が観察され、 $Sc=29.3$ では雨量を変化させても有意な振動を生じることは無かった。リブを螺旋

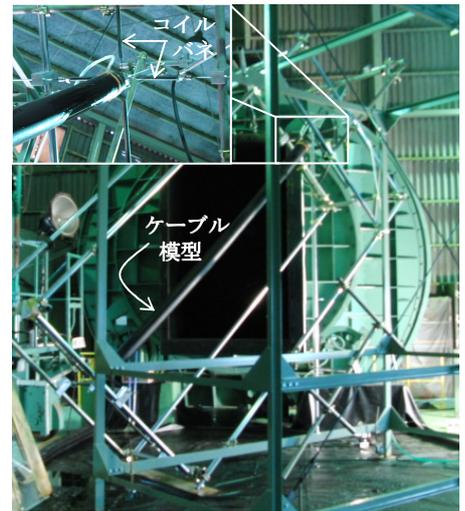


図-1 実験装置

表-1 実験条件

| 材質 | | HDPE ^{*1} |
|----------------------|----------|--------------------|
| ケーブル径 | D | 0.140 m |
| ケーブル長さ | L | 3.5 m |
| ケーブル重量 | W | 7.04 kg/m |
| 振動数 | f | 1.2 Hz |
| 減衰 | δ | 0.05, 0.015 |
| スクリーン数 ^{*2} | Sc | 29.3, 8.8 |

*1 High Density Polyethylene

*2 $Sc=2m\delta/\rho D^2$

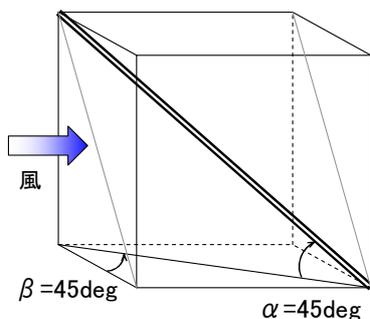
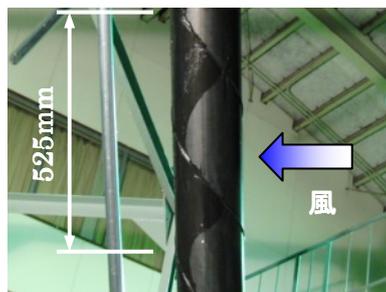


図-2 模型姿勢



1) ヘリカルリブ 2mm



2) 周方向リブ 3mm

図-3 レインバイブレーション対策ケーブル

キーワード：レインバイブレーション、斜張橋、ケーブル、抗力、風洞実験

連絡先：〒235-8501 横浜市磯子区新中原町1 (株)IHI 電話 045-759-2866 FAX 045-759-2210

状に巻きつけるヘリカルケーブルよりも簡易な対策として、適用が期待される。しかしながら、 $Sc=8.8$ では振動することが確認されたため、適用にあたってはケーブル重量及び減衰性能に注意する必要がある。

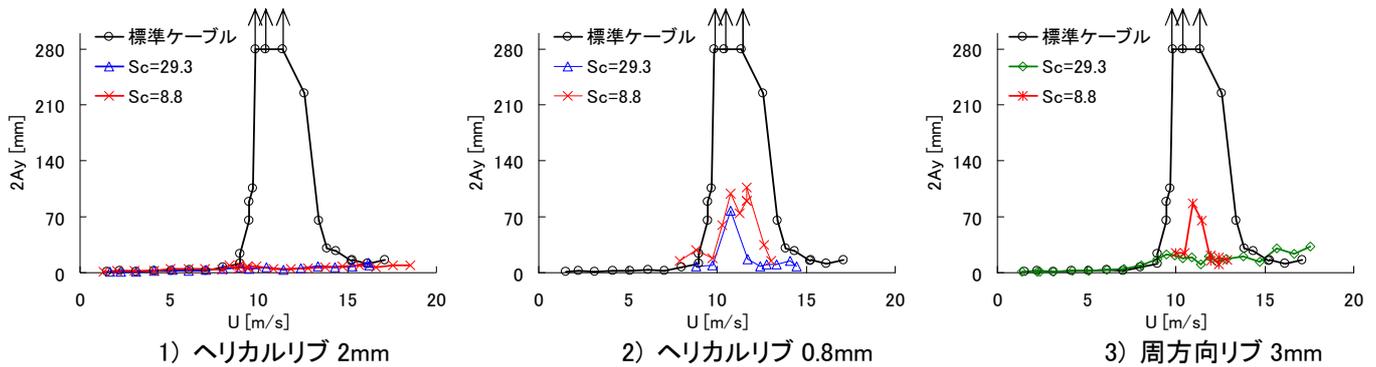


図-4 レインバイブレーション実験結果

3. 空気力計測

レインバイブレーション対策ケーブルにおいては、リブを設置したことによる抗力の増加が懸念される。対策ケーブルの空気力特性を把握する目的で、傾斜角： $\alpha=0$ 度、偏角： $\beta=0$ 度で配置したケーブル模型の空気力を計測した。標準ケーブルにおいては、模型の表面粗度の影響を確認する目的で、HDPE 模型に加えてアクリル模型の計測も実施した。ケーブル模型の諸元を表-2 に示す。

空気力の計測結果を図-5 に示す。標準ケーブルの場合、既往研究⁴⁾と同様に臨界レイノルズ数 ($Re \approx 3.5 \times 10^5$) における抗力の急減 (Drag Crisis) が確認された。ここでは割愛したが、定常揚力の発生及びストローハル数の変化 ($St \approx 0.4$) も確認した。表面粗度が小さいアクリル模型の場合、HDPE 模型に比べて Drag Crisis を生じる風速が高レイノルズ数側へシフトしている。

ケーブルの周方向にリブを付けた場合、標準ケーブルと同様に臨界レイノルズ数における Drag Crisis の発生が確認された。リブを設置することによる抗力の増加は見られない。

ヘリカルリブの場合、他のケーブルに比べて抗力の低下が緩やかで、 $U=38\text{m/s}$ までには Drag Crisis の発生が確認されなかった。抗力の増加を抑えるためには、リブの形状や配置等に注意する必要がある。

表-2 模型諸元

| 材質 | HDPE | アクリル |
|--------|----------------------|----------------------|
| 直径 D | 0.140m | |
| 模型長 L | 1.354m | |
| 表面粗度 k | 4 μm | 0.04 μm |
| k/D | 2.9×10^{-5} | 2.9×10^{-7} |

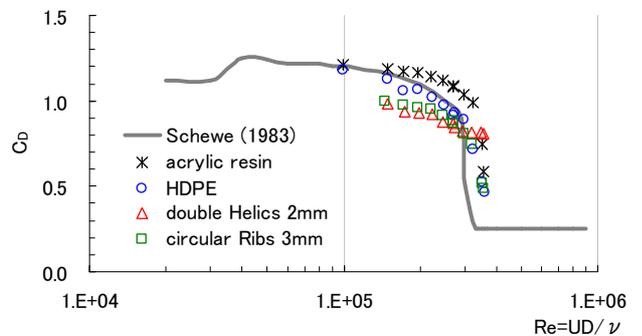


図-5 空気力計測結果

4. まとめ

- ①今回検討したケーブル姿勢においては、ヘリカルリブ(ワイヤー)の高さの適用限界は1mm程度であると考えられる。抗力の増加を抑えるためには、リブの形状や配置等に注意する必要がある
- ②高さ3mmのリブ(ワイヤー)を500mmピッチでケーブルの周方向に巻きつけることでも制振効果が期待できるが、適用にあたってはケーブル重量及び減衰に注意が必要である。リブ設置による抗力の増加は見られない。

[参考文献]

1) O. Flamand : “Rain-wind induced vibration of cables”, Cable-stayed and suspension bridges Vol.2, pp523-531, 1994
 2) FHWA : “Wind-Induced Vibration of Stay Cables”, PUBLICATION NO. FHWA-HRT-05-083 (2007)
 3) 山内ら : “斜張橋ケーブルのレインバイブレーションに関する一考察”、第 65 回土木学会年次学術講演会、2010
 4) Gunter Schewe : “On the force fluctuations acting on a circular cylinder in crossflow from subcritical up to transcritical Reynolds numbers”, J. Fluid Mech. (1983), vol. 133, pp.265-285