

I-443 ケーブルの空力振動に与える乱流およびスクルートン数の影響

京都大学大学院 学生員 佐野祐一
 京都大学工学部 正員 松本 勝
 京都大学工学部 正員 白石成人
 京都大学工学部 正員 白土博通
 三菱重工業(株) 正員 平井滋登
 京都大学大学院 学生員 桂 一詞

1. まえがき レインパイプレーションについては、実橋における観測や種々の研究機関での風洞実験などの研究によりその特性や振動機構が徐々に明らかにされつつある。著者ら¹⁾は、無雨時の傾斜ケーブルの空力的不安定性は、乱流によって敏感に安定化される、スクルートン数(Sc 数)の変化に対して鈍感であることを指摘した。しかし雨水による水路形成の影響もあるレインパイプレーションは、気流の乱れを含んだ自然風中であること、対数減衰率が0.02もあれば制振できるとの報告もあることを考えると、無雨時の特性では必ずしも説明できない特性を有するようである。そこで本研究では、水路なしのケーブル模型(50mm ϕ)と表面に水路を疑似したテープ(幅7.5mm、厚さ1.2mm)を設置したケーブル模型(50mm ϕ)を対象として、乱流および Sc 数の関係に着目した。本研究では、風洞実験を行った。ここではケーブルの風向偏角を β で、ケーブル表面のテープの位置はよどみ点からテープ中心線までの角度 θ で表した。なお、本実験におけるレイノルズ数(Re)は水路なしのケーブル模型で $Re \leq 5 \times 10^4$ であり、亜臨界域に属している。

2. 実験結果および考察

①乱流の影響

・水平偏角 $\beta=45^\circ$ 、水路なしの場合(Fig.1) 図に示されるように一様流中において発生している発散型の振動は、比較的弱い強度($I_u=4.8\%$)の乱流によって安定化されることがわかる。著者ら¹⁾は、水路なしの傾斜ケーブルの不安定性は断面背後の軸方向流が原因であることを指摘したが、軸方向流による振動は気流の乱れによって抑えられると考えられる。

・水平偏角 $\beta=45^\circ$ 、水路位置 $\theta=72^\circ$ の場合(Fig.2) 一様流中、乱流(4.8%)中、乱流(12%)中の順にやや発現無次元風速が低くなっているが、乱流(12%)中では応答の発生する風速域が限定化している。なお、図には掲載しなかったが、水平偏角 $\beta=0^\circ$ 、水路位置 $\theta=63^\circ$ の場合、乱流(12%)中で空力的に安定であり、乱流中での振動発生においても軸方向流の存在は不可欠であると推察できる。しかし、水路なしの場合に気流の乱れによって振動が容易に安定化したことを考えると、乱流中における振動発生は、軸方向流と水路形成の両者の相乗効果によるものと思われる。このことは、実橋でのレインパイプレーション観測例のほとんどが風雨時でその気流が橋軸直角方向からある角度だけずれていることと対応づけることができるであろう。なお、実橋での振動時の無次元風速 V/fD は20~60程度となっており、今回水路付き傾斜ケー

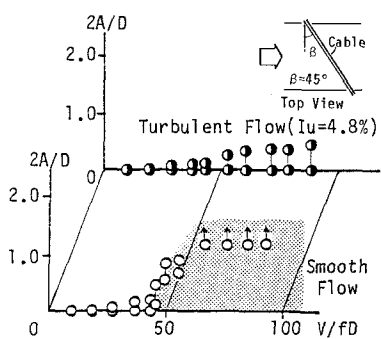


Fig.1 Effect of Turbulent Flow on Response ($\beta=45^\circ$, without Water Rivulet, $Sc(20mm)=4.26$)

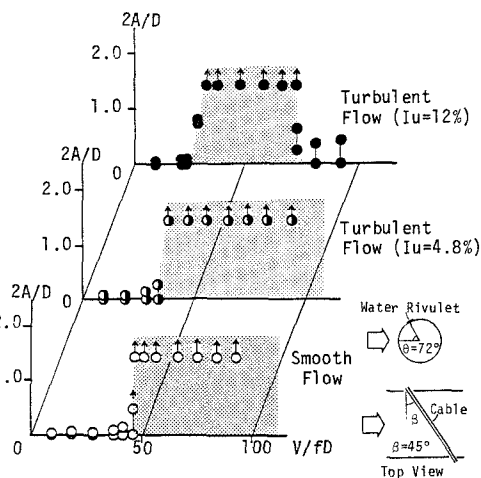


Fig.2 Effect of Turbulent Flow on Response ($\beta=45^\circ$, Water Rivulet ($\theta=72^\circ$), $Sc(20mm)=4.55$)

ルでみられた振動はある程度定量的にも実橋のレインパイブレーションと対応したものと言える。

②Sc数(= $m\delta/\rho D^2$)の影響 (m :単位長さ当りの質量、 δ :対数減衰率、 ρ :空気密度、 D :ケーブル径)

・水平偏角 $\beta=45^\circ$ 、水路なしの場合 (Fig. 3) 軸方向流の影響のみが現れると考えられる水路なしの傾斜ケーブルでは、 $Sc=1.48$ の場合と $Sc=9.93$ の場合、無次元風速60付近から発散型の振動が発生しているが、 $Sc=47.88$ の場合には振動発生が収まっている。また、図中には、文献2)による不安定領域の境界も示しており、これよりSc数の増加にともない徐々に応答の発生する風速域が上昇していることがわかる。

・水平偏角 $\beta=0^\circ$ 、水路位置 $\theta=63^\circ$ の場合 (Fig. 4) 水路形成の影響のみが表れると考えられる2次元のケーブル($\beta=0^\circ$)では、 $Sc=3.37$ の場合は無次元風速約40付近と約60以上においてそれぞれ、限定型と発散型の振動が生じている。そして、Sc数の小さな増加($Sc=5.76$)によって限定型の振動は安定化し、発散型振動の発現風速も上昇し、さらににSc数を増加させた($Sc=12.01$)場合には発散型の振動も抑えられている。これらのことから、水路形成に起因する振動は軸方向流に起因する振動よりもSc数の増加によって容易に抑えられることがわかった。

・水平偏角 $\beta=45^\circ$ 、水路位置 $\theta=72^\circ$ の場合 (Fig. 5) 図により、発散型の振動においてSc数の増加とともに発現風速が大きくなり、 $Sc=55.78$ では、振動が安定化されることがわかる。この場合、軸方向流と水路形成の2つの影響が混在していると考えられるが、水路形成に起因する振動がSc数の変化に敏感であることを考えると、比較的大きなSc数における振動は軸方向流の影響が大きく現れていると考えられる。なお、レインパイブレーションの発生がみられた斜張橋ケーブルのSc数が20から30の範囲であることを考えると、レインパイブレーション発生には軸方向流が不可欠であると考えられる。

3. まとめ

ケーブルのレインパイブレーションが発生する要因として軸方向流と、水路形成にともなう断面形状変化の2つが考えられ、本研究では、それらを気流の乱れとSc数の影響について検討した。以下にその特徴を述べる。

- 1) 水路付の傾斜ケーブルの乱流中における振動発生原因は、軸方向流と断面形状変化の相乗効果と思われる。
- 2) 水路形成に起因する振動は、軸方向流に起因する振動に比べ、Sc数の変化に影響を受け易いと考えられる。

なお、水路付の傾斜ケーブルにおいて乱流中での発現風速域が限定化し、実橋での観測と一致しているが、今後その詳細についてのさらなる研究が期待される。

参考文献

- 1) 松本 勝、他:斜張橋ケーブルの空力振動に関する研究、土木学会論文集、第416号/I-13、1990年4月
- 2) 松本 勝、他:東神戸大橋ケーブル風洞試験(その1)、土木学会第44回年次学術講演会概要集、pp. 802~803、1989年

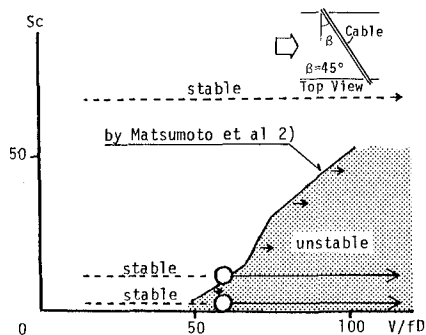


Fig. 3 Effect of Scruton Number on Response for Yawed Cable ($\beta=45^\circ$, Smooth Flow, without Water Rivulet)

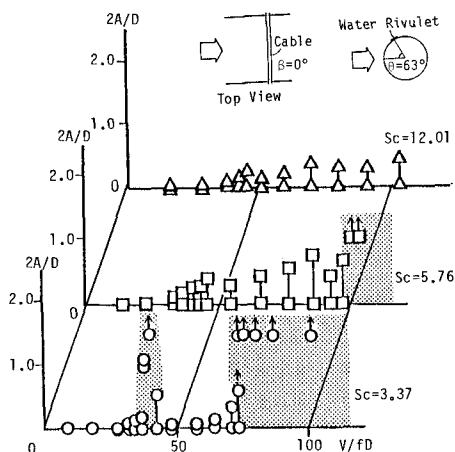


Fig. 4 Effect of Scruton Number on Response for Cable ($\beta=0^\circ$, Smooth Flow, Water Rivulet ($\theta=63^\circ$))

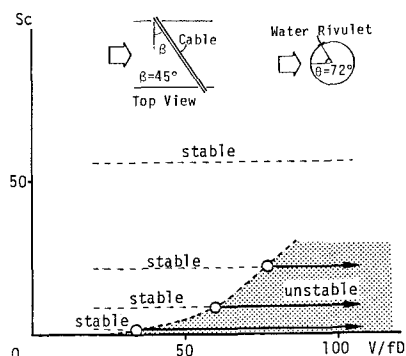


Fig. 5 Effect of Scruton Number on Response for Yawed Cable ($\beta=45^\circ$, Smooth Flow, Water Rivulet ($\theta=72^\circ$))