

渦生成機構に着目した斜張橋ケーブルの空力振動に関する基礎的研究

京都大学大学院 学生員 酒井 精一郎 京都大学工学研究科 フェロー 松本 勝
 京都大学工学研究科 正会員 八木 知己 石川島播磨重工業(株) 正会員 對馬 大輔¹⁾
 京都大学大学院 学生員 後藤 光理 1)研究当時京都大学大学院

1.はじめに 斜張橋ケーブルにおいて発現するレインバイブレーションなどの高風速渦励振は、その発現風速域が一般に無次元風速 $V/fD=20,40,80$ といった 20 の整数倍付近で発生し、カルマン渦励振の振動振幅よりも大きな振動であると言われている。本研究では、斜張橋ケーブルの高風速渦励振に着目し、ケーブル周りの渦生成機構という観点から風洞実験を行い、傾斜ケーブル後流域の変動風速特性を通してその発生メカニズムについて考察を行った。

2.実験概要 円断面を有する剛体模型を水平風向偏角 $\theta=45^\circ$ に固定支持し、模型中央高さの後方 $0.6D$ において後流域の主流方向変動風速を模型スパン方向 (X 方向) に測定した。熱線流速計は熱線プローブが鉛直になるようにし、その設置位置は、図 1 に示すように模型上流端側風洞壁からの距離 X をケーブル断面径 D で除し無次元化した長さで表している。また、模型が風洞壁を貫通している部分には小さな窓が開いているが、この状態を「窓あり」、窓を完全に塞いだ状態を「窓なし」と呼ぶことにする。さらに模型前縁側よみ点からケーブル表面に沿って測った角度を α とし、人工水路は $\beta=72^\circ$ の位置に設置した。

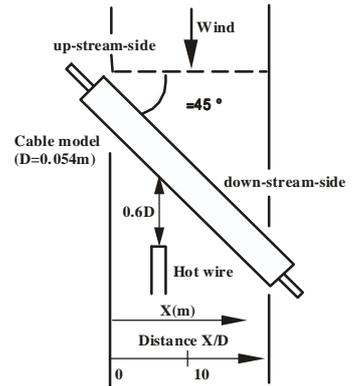


図 1 熱線流速計の設置位置

3.静止傾斜円柱後流域における変動風速特性 過去の研究¹⁾により水平偏角

$\theta=45^\circ$ に固定支持された傾斜円柱後流域には軸方向渦が模型スパン方向全域にわたって発生し、特に模型スパン方向上流端側後流域において強く放出されていることが確認されている。しかしケーブル端部条件、人工水路設置位置、あるいは乱流による影響などは不明であり、未解明な点が多く残っている。そこでこれら

による影響を調べるために、模型スパン方向に後流域の変動風速を測定した。ただし熱線流速計の設置位置とその向きを考え、後流域変動風速の平均値 (V_a) は軸方向流の大きさを表しているものと考えられる。図 2 を見ると、過去の研究¹⁾と同様に低周波数成分が

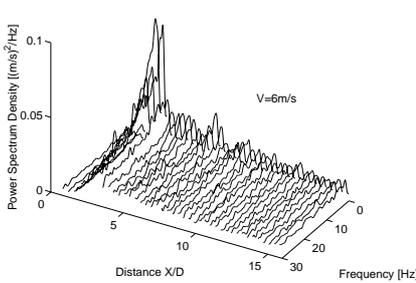


図 2 静止傾斜円柱後流域変動風速のスペクトル解析図(窓あり,水路なし, $\theta=45^\circ$, $V=6.0\text{m/s}$, 一樣流)

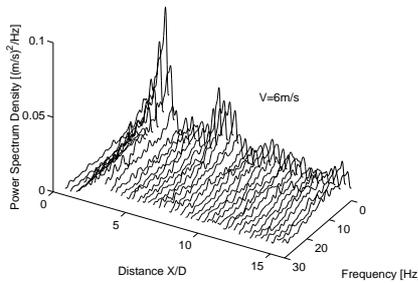


図 4 静止傾斜円柱後流域変動風速のスペクトル解析図(窓あり,水路あり($\beta=72^\circ$), $\theta=45^\circ$, $V=6.0\text{m/s}$, 一樣流)

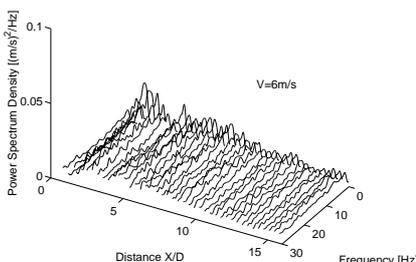


図 3 静止傾斜円柱後流域変動風速のスペクトル解析図(窓なし,水路なし, $\theta=45^\circ$, $V=6.0\text{m/s}$, 一樣流)

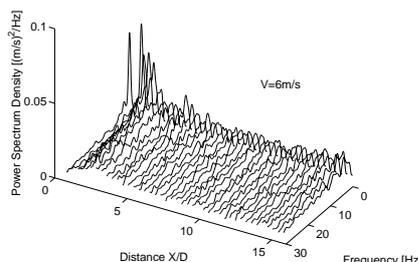


図 5 静止傾斜円柱後流域変動風速のスペクトル解析図(窓あり,水路なし, $\theta=45^\circ$, $V=6.0\text{m/s}$, 乱流 ($Iu=12.7\%$))

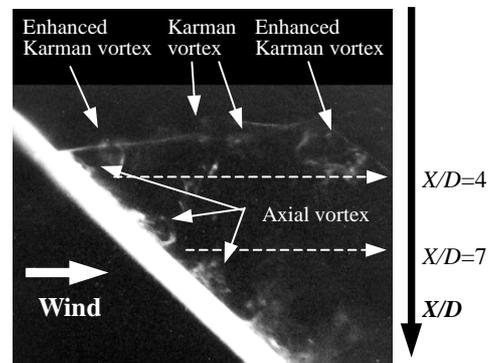


図 6 軸方向渦の可視化写真 (窓あり,水路なし, $\theta=45^\circ$, 一樣流)

キーワード：斜張橋, 高風速渦励振, レインバイブレーション, カルマン渦, 軸方向渦

連絡先：京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻気圏工学講座

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL：075-753-5093 FAX：075-761-0646

模型スパン方向全域にわたって確認され、特に模型上流端側後流域において卓越しており、さらに主流風速 $V=4.0\text{m/s}$ 時に過去の研究における周波数とほぼ同じ周波数成分が検出されたことから、本研究において検出された低周波数成分も軸方向渦によるものと思われる。また模型上流端側後流域において軸方向渦が卓越した位置は過去の研究²⁾における静止傾斜円柱後流域の流れの可視化によって捉えられている軸方向渦の発生箇所(模型上流端側)とおおよそ一致していることがわかった(図6参照)。(ただし過去の研究²⁾における軸方向渦の発生位置は写真から推定したものである。)一方、ケーブル端部の窓を閉じた場合(図3参照)、軸方向渦の発生がかなり抑えられ、またケーブル表面に人工水路を設置した場合(図4参照)は模型中央部・下流端部において軸方向渦が強調されていることがわかる。また気流を乱流にした場合(図5参照)、特に模型上流端側の軸方向渦の発生が抑えられ、一様流中に比べて模型スパン方向の3次元性が緩和されていることがわかる。さらに後流域変動風速の標準偏差値と V_a/V 値(後流域変動風速の平均値(V_a)を主流風速(V)で除した無次元値)の模型スパン方向に対する分布図をそれぞれのケースで比較した結果(図7,8参照)、ケーブル端部に窓を設けた状態においてはこの両者がピークを示す位置がスパン方向にやや異なっていることが判明した。そして軸方向流

- : 水路なし, 窓あり, 一様流
- : 水路なし, 窓なし, 一様流
- : 水路あり($\alpha=72^\circ$), 窓あり, 一様流
- X: 水路なし, 窓あり, 乱流($Iu=12.7\%$)

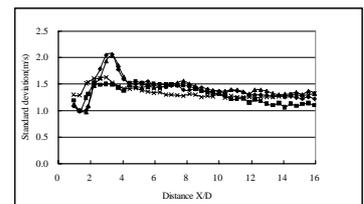


図7 静止傾斜円柱後流域変動風速の標準偏差分布図($\alpha=45^\circ$, $V=6.0\text{m/s}$)

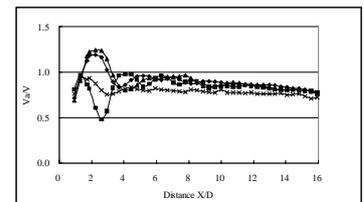


図8 軸方向流の平均値(V_a/V)のスパン方向分布図($\alpha=45^\circ$, $V=6.0\text{m/s}$)

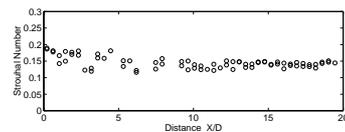


図9 静止傾斜円柱に作用する変動圧力から求めた St 数(窓あり, $\alpha=45^\circ$, 圧力孔 $=135^\circ$, $V=4.0\text{m/s}$, 一様流)

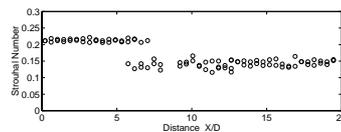


図10 静止傾斜円柱に作用する変動圧力から求めた St 数(窓なし, $\alpha=45^\circ$, 圧力孔 $=135^\circ$, $V=4.0\text{m/s}$, 一様流)

(V_a/V 値)の模型スパン方向(X/D 方向)に対する流速勾配 $d(V_a/V)/d(X/D)$ が顕著に負勾配を示す箇所付近において、後流域変動風速の標準偏差値が大きくなる傾向にあり、軸方向渦と思われる低周波数成分が非常に卓越していることが判明した。従って軸方向渦の発生には軸方向流の平均流速がケーブル軸方向に対して変化していることが関連している可能性が示唆された。次に前述の過去の研究¹⁾における変動圧力(圧力孔設置位置 $=135^\circ$)のスペクトル解析の結果から求めたストローハル数(St 数)の模型スパン方向分布図(図9,10参照)を示す。ケーブル端部に窓を設けた状態においては St 数は模型スパン方向に対してほぼ連続的に変化しているが、窓を閉じた場合、模型上流端側の $X/D=0\sim 6$ 付近で約 0.22, $X/D=6\sim 20$ においては約 0.15 という値を示している。これよりケーブル端部に窓を設けた場合、カルマン渦放出周波数はスパン方向に連続的に変化していることがわかる。図2と図3を比較すると、ケーブル端部に窓を設けた場合に軸方向渦が強く発生していることがわかった。従って、軸方向渦の発生にはカルマン渦放出周波数がスパン方向に変化していることが関連している可能性が考えられる。

4. 結論 本研究の結果、軸方向渦の発生にはカルマン渦放出周波数及び軸方向流の平均流速がケーブルスパン方向に対して変化していることが関連している可能性が示唆された。この軸方向渦は特に模型上流端側後流域において強く発生し、従来言われているようにカルマン渦と同期することで強い揚力成分を生み出し、これが高風速渦励振の励振力になっているものと考えられる。

参考文献 1) M. Matsumoto, T. Yagi, D. Tsushima, "INCLINED CABLE AERODYNAMICS - VELOCITY RESTRICTED RESPONSE AT HIGH REDUCED VELOCITY", Third International Symposium on CABLE DYNAMICS, pp.91-96, 1999

2) 松本 勝, 白石成人, 北沢正彦, 辻井正人, 平井滋登, 「傾斜円柱の空力振動特性 - ケーブル Rain Vibration との関連性 - 」, 第10回風工学シンポジウム論文集, 1988