

斜張橋ケーブルにおける高風速渦励振について

京都大学大学院 学生員 大谷 純 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 日本鉄道建設公団 正会員 後藤 光理¹⁾
 京都大学大学院 学生員 酒井 精一郎 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生する高風速渦励振は無次元風速 $V/fD=20,40,80$ 等で発生し,カルマン渦励振の共振風速域よりも高い風速域で発生する振動現象である. その発生要因としては, 降雨時にケーブル表面に形成される水路, ケーブル背後に形成される軸方向流, 軸方向渦, カルマン渦放出の3次元性, 軸方向渦とカルマン渦の干渉などが指摘されているが, 未解明な点も多い. そこで本研究では剛体模型を用いた自由振動実験, 及び静止傾斜円柱後流域の変動風速測定実験により斜張橋ケーブルの高風速渦励振について考察を行った.

2.剛体模型を用いた自由振動実験 円断面を有する直径 $D=54\text{mm}$, 長さ 1500mm の剛体模型をコイルスプリングにより水平偏角 $\theta=45^\circ$ に支持し(図1参照), 自由振動実験を行った. 振動方向は, 模型と主流方向を含む水平面に直交する方向を考え, また, ピアノ線によりローリングモード拘束を施し, ヒーピングモードを対象とした. 気流は一様流, 乱流 ($I_u=6.5\%$) の2種類で行い, また降雨時の状況を再現するために模型上面に厚さ 1.6mm , 幅 3.6mm の人工水路を設置した. その位置は図2に示すよう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 θ によって定義し, 本研究においては $\theta=72^\circ$ とした. なお, 模型が風洞壁を貫通している部分には直径 200mm の円形の窓が設けられている.

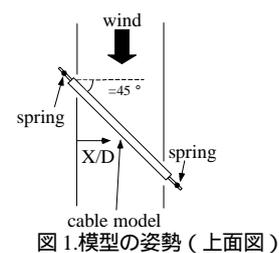


図1.模型の姿勢(上面図)

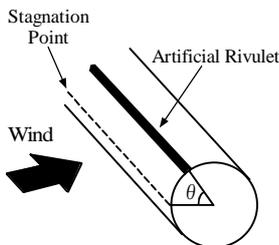


図2.水路の設置位置

図3, 4に風速応答振幅測定実験(V-A実験)の結果, 図5, 6に風速応答振幅減衰測定実験(V-A- δ 実験)の結果を示す. 「一様流中, 水路無し」では発散型振動が見られるが, V-A- δ 図より高風速渦励振の傾向は見られなかった. 「一様流中, 水路有り」においても同様に発散型振動が見られるが, V-A- δ 図より無次元風速 $V/fD=40\sim 50$ 付近でやや高風速渦励振の傾向が見られ, これが発端となって発散型振動へ移行することで, 結果的に「一様流中, 水路無し」と比較して発散型振動の発現風速が低下しているものと考えられる.

「乱流中, 水路無し」では発散型振動が抑えられており安定化しているように見えるが, V-A- δ 図より無次元

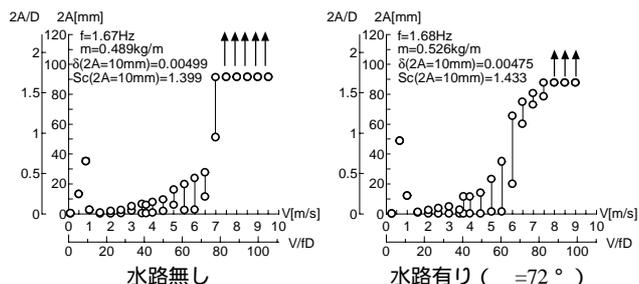


図3.一様流における風速応答振幅測定実験(V-A実験)結果

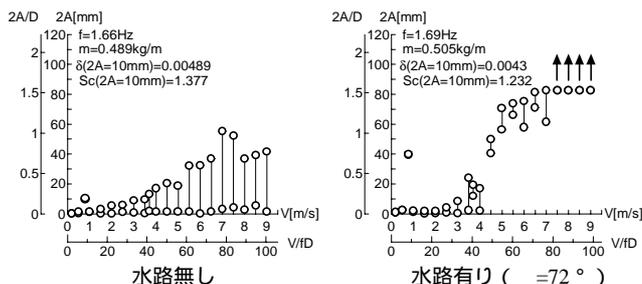


図4.乱流中 ($I_u=6.5\%$) における風速応答振幅測定実験(V-A実験)結果

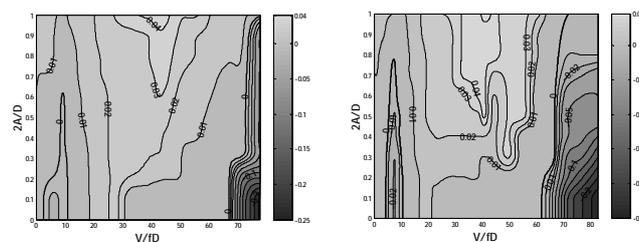


図5.一様流における風速応答振幅減衰測定実験(V-A- δ 実験)結果

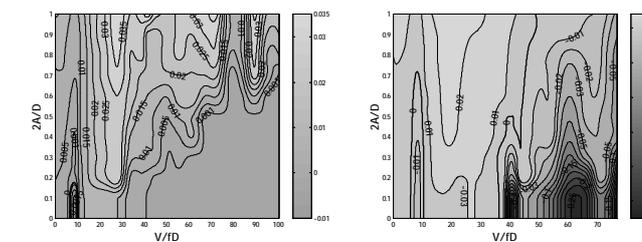


図6.乱流中 ($I_u=6.5\%$) における風速応答振幅減衰測定実験(V-A- δ 実験)結果

キーワード: 高風速渦励振, 水路, 乱流, 低周波数成分, 非定常性
 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

風速 $V/fD=40, 80$ 付近でやや高風速渦励振の傾向が見られる。「乱流中, 水路有り」では発散型振動が現れているが, V-A-8図より無次元風速 $V/fD=40, 60$ 付近で局所的に減衰値が小さくなっており, それらの風速域で限定型振動が順次発生することで見かけ上発散型振動のようになっているものと考えられる。また, 一様流中の発散型振動と比較して発現風速が低くなっていることが分かる。従って, 高風速渦励振は乱流 ($Iu=6.5\%$), 及び水路により発現しやすくなるものと考えられる。

3. 静止傾斜円柱後流域の変動風速測定実験 過去の研究¹⁾により, 水平偏角 $=45^\circ$ に固定支持された傾斜円柱模型の後流域には, 軸方向渦によるものと考えられる低周波数成分が模型スパン方向全域にわたって確認されており, 特に模型上流側において強められていることが報告されている。そこで本研究では, 一様流中, 乱流中 ($Iu=6.5\%$) で静止傾斜円柱後流域の変動風速測定実験を行った。

I型熱線流速計を模型中央から $0.6D$ 後方, 向きは模型に対して鉛直に設置し(図7参照), 模型スパン方向にわたって後流域の変動風速を測定した。なお, その位置は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。(図1参照)。

図8に一様流中, 乱流中 ($Iu=6.5\%$) における後流域変動風速のスペクトル解析の結果を示す。過去の研究と同様に, 軸方向渦と考えられる低周波数成分が模型スパン方向全域にわたって確認され, 特に模型上流側において卓越している。また, 一様流中と比較して乱流中 ($Iu=6.5\%$) では, その低周波数成分が明確になり, パワースペクトル密度値も大きくなっていることが分かる。従って軸方向渦は乱流中 ($Iu=6.5\%$) において一様流中よりも強く発生している可能性が示唆された。また, その卓越周波数は無次元風速 $V/fD=40$ 付近に対応しており, 自由振動実験において高風速渦励振の傾向が見られた風速域と一致していることから, この低周波数成分が高風速渦励振と密接に関係しているものと考えられる。

次に, 低周波数成分が特に卓越している $X/D=3.0$ の位置における, 後流域変動風速のウェーブレット解析の結果を図9に示す。一様流中と比較して乱流中 ($Iu=6.5\%$) のほうが無次元風速 $V/fD=40$ 付近に対応する低周波数成分が強く卓越しており, またその低周波数成分は時間的に非定常に現れていることが分かる。また, カルマン渦も同様に非定常に放出されていることが分かる。従って, カルマン渦, 及び低周波数成分の非定常性が空力振動を解明する上で重要な因子であるものと思われる。

4. まとめ

- 自由振動実験の結果より, 無次元風速 $V/fD=40$ 付近で発現する高風速渦励振は, 乱流 ($Iu=6.5\%$) や水路により発現しやすくなる傾向があることが確認された。
- 静止傾斜円柱後流域の変動風速測定実験の結果から, 一様流中, 及び乱流中 ($Iu=6.5\%$) において無次元風速 $V/fD=40$ 付近に対応する低周波数成分が卓越していることが確認され, 高風速渦励振と密接に関係しているものと考えられる。また, その低周波数成分は乱流 ($Iu=6.5\%$) により強められることが分かった。また, カルマン渦及び低周波数成分は時間的に非定常に発生していることが分かった。

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

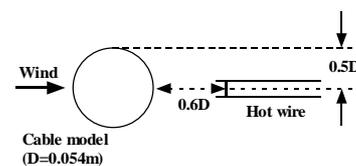


図7 熱線流速計の設置位置

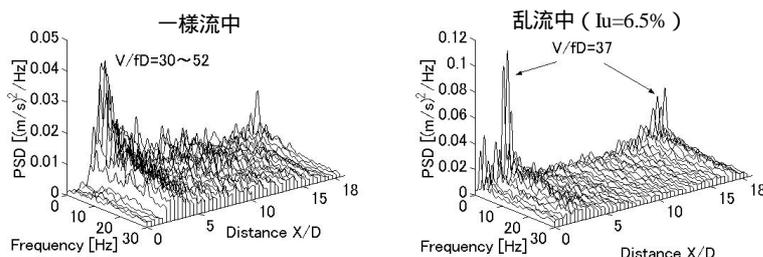


図8 後流域変動風速のスペクトル解析結果 ($V=4.0\text{m/s}$, 水路無し)

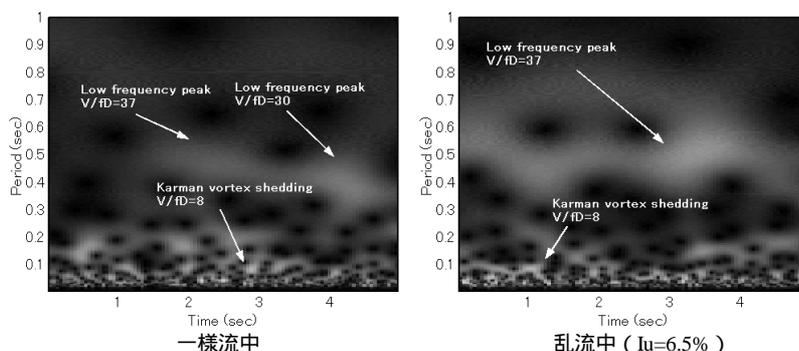


図9 後流域変動風速のウェーブレット解析結果

($V=4.0\text{m/s}$, $X/D=3.0$, 水路無し)