

カルマン渦生成が斜張橋ケーブルの空力振動に与える効果について

京都大学大学院 学生員 ○足立 洋一
 京都大学大学院 正会員 八木 知己
 京都大学大学院 学生員 劉 慶寛

京都大学大学院 フェロー 松本 勝
 野村総合研究所 正会員 大石 孝弘
 京都大学大学院 学生員 初田 英明

1. 目的

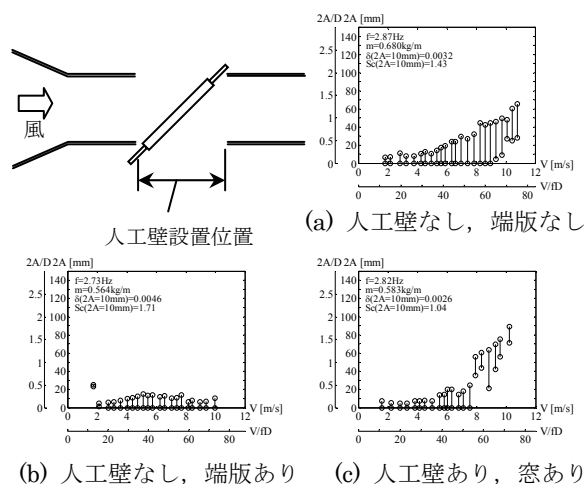
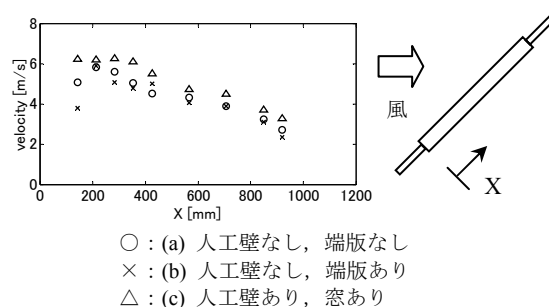
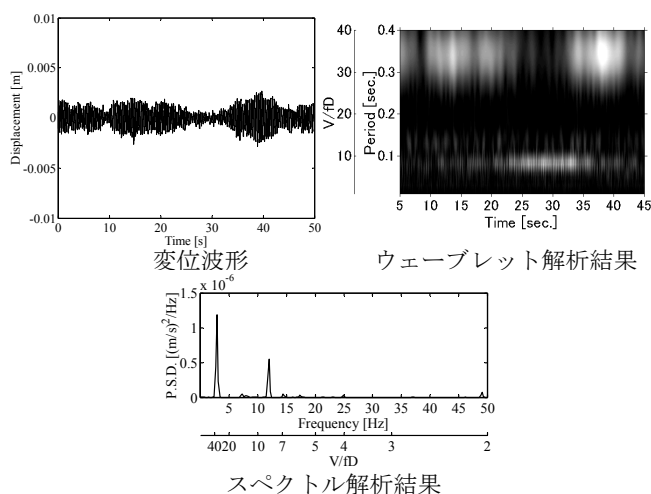
過去の研究¹⁾により、斜張橋ケーブルが風を伴った降雨時に激しく揺れるレインバイブレーションの発生機構については、降雨時にケーブル表面に形成される水路、ケーブル後流域の軸方向流、ケーブル軸に沿ったカルマン渦の非定常・3次元的な放出などが、その要因として考えられているが、振動現象は複雑であり未解明な点も多く残されている。本研究においては、これらの点をふまえて、各種風洞実験において軸方向流と水路に着目し、カルマン渦生成がギャロッピング不安定性に与える効果について考察を行った。

2. 傾斜ケーブル模型の空力的特性

ケーブル後流域に形成される軸方向流はケーブル振動を不安定化する要因であるが、風洞実験において軸方向流の効果を考える際、風洞内外の圧力差や端部条件の微妙な違いが振動応答に敏感に影響する。そこで、端部条件を様々に変化させることで軸方向流の強さを調節し、軸方向流の強さとギャロッピング不安定性の関連及びカルマン渦生成が与える効果について考察を行った。

2. 1 自由振動特性と後流域変動特性

図-1 に、風向偏角 $\beta=45^\circ$ において端部条件を変化させた[(a) 人工壁なし、端版なし、(b) 人工壁なし、端版あり、(c) 人工壁あり、窓あり]際の自由振動実験結果を示す。これより、(b)のケースが空力的に最も安定であり、順に、(a)、(c)であることがわかる。次に、X型熱線プローブ流速計をケーブル模型後流域の極めて近傍に設置し、ケーブル後流域に形成される軸方向流の強度を測定した（図-2 参照）。これより、端部条件を変化させても大きな違いは出ていないものの、(c)のケースが最も軸方向流が強く形成されており、(a)、(b)の順で軸方向流が強い。自由振動実験結果から、(c)、(a)、(b)の順に空力的に不安定と考えられ、軸方向流強度の強い順と一致する。よって、軸方向流が強く形成されることがケーブルを空力的に不安定にしている可能性が考えられる。

図-1 端部条件の違いによる自由振動実験結果 ($\beta=45^\circ$)図-2 軸方向流速測定結果 ($V=8.0\text{m/s}$)図-3 スペクトル・ウェーブレット解析結果 ($V=5.0\text{m/s}$)

キーワード レインバイブレーション， 軸方向流， 水路， カルマン渦

連絡先 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-753-5093

2. 2 変位波形特性

自由振動実験時、ケーブル振動の振幅は時間的に非定常であった。この現象を細かく見ると、振幅が小さい時にケーブル模型がカルマン渦放出周波数で振動する傾向が確認されたため、(a) のケースにおいて、ケーブル模型の変位のスペクトル解析、ウェーブレット解析を行った（図-3 参照）。スペクトル解析結果より、模型振動数成分 ($V/fD=34.8$) とカルマン渦放出周波数成分 ($V/fD=8.6$) が確認された。ウェーブレット解析結果を見ると、25~35 秒にかけて模型振動数成分のピークが見られず、カルマン渦の放出周波数成分が強く現れており、その時間帯の変位波形も同様に、模型振動数ではほとんど振動していなかった。これより、カルマン渦放出周波数成分が卓越している時間帯で模型振動数成分の振動は抑えられ、カルマン渦放出周波数成分が弱まっている時間帯で模型振動数成分が強く現れることが確認された。よって、カルマン渦の生成によりケーブル振動に制振力が働く可能性が考えられる。

3. 人口水路付きケーブル模型の空力的特性

ケーブル振動を不安定化する要因として軸方向流の他に水路の形成が挙げられ、水路の形成がギャロッピングに与える効果について考察を行った。図-4 に $\beta=0^\circ$ における人口水路位置の定義と各水路位置での各自由振動実験結果を示す。ある特定の水路位置の場合に限り、ギャロッピングが発現した。図-5 に人工水路の位置を様々に変化した際の後流域変動風速のスペクトル解析結果を示す。水路位置が変化するとカルマン渦放出特性も変化していることがわかる。またこれらより、ギャロッピングが発現している水路位置付近においてカルマン渦放出周波数のピークが極めて小さくなっている。そこで、水路によっても同様にカルマン渦の生成が制御され、カルマン渦が制振力として作用している可能性が考えられる。

4. まとめ

端部条件を様々に変化させて各種実験を行った結果、ケーブル模型が空力的に不安定であるときに軸方向流が強く形成される傾向が見られた。また、ケーブル模型が空力的に不安定であるときにカルマン渦放出は弱く、ケーブル模型が空力的に安定であるときにカルマン渦放出が強くなっていることから、軸方向流が強く形成されることでカルマン渦の生成を抑え、カルマン渦の制振作用が小さくなることにより、ケーブル振動を空力的に不安定にしている可能性が示唆された。さらに、カルマン渦放出特性は水路位置によっても異なることから、水路の生成によってもカルマン渦放出が抑制され、ケーブル振動を空力的に不安定にしている可能性が考えられる。

参考文献

- 1) Matsumoto, M., Yagi, T., Goto, M. & Sakai, S. 2001. Cable Aerodynamic Vibration at High Reduced Velocity. *Fourth International Symposium on Cable Dynamics, Montreal, Canada, May 28-30, 2001*; 43-50

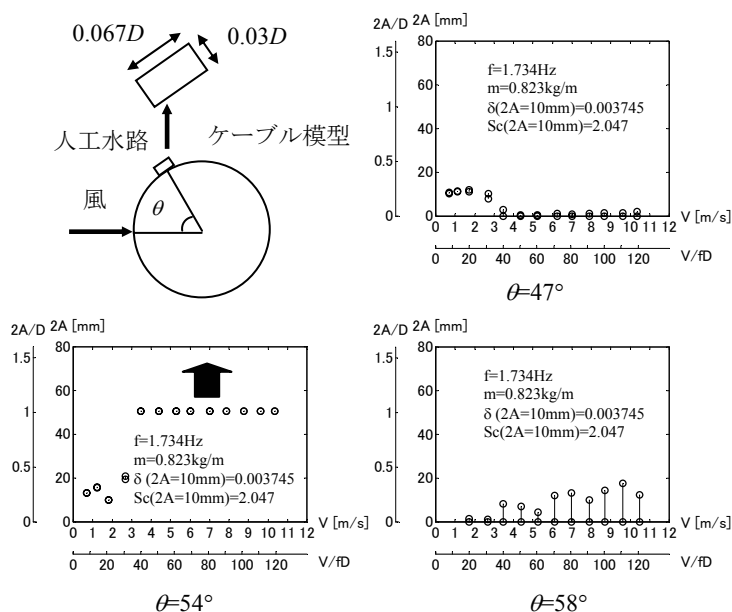


図-4 人口水路位置と自由振動実験結果 ($\beta=0^\circ$)

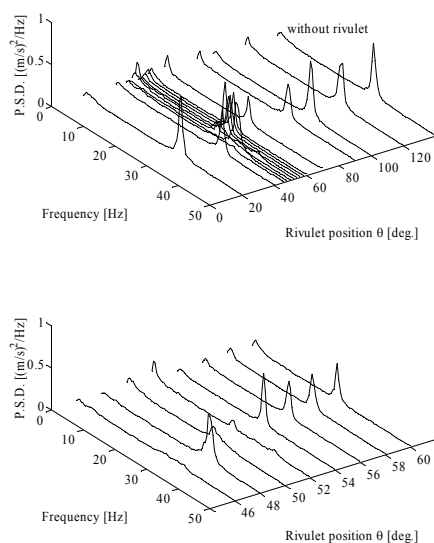


図-5 後流域変動風速のスペクトル解析結果 ($\beta=0^\circ$, $V=8.0\text{m/s}$)