

斜張橋ケーブルにおけるギャロッピング及び高風速渦励振に関する研究

京都大学大学院 学生員 岡田 太賀雄
 京都大学大学院 正会員 白土 博通
 特許庁 正会員 大谷 純¹⁾

京都大学大学院 フェロー 松本 勝
 京都大学大学院 正会員 八木 知己
 京都大学大学院 正会員 大石 孝弘

1)研究当時京都大学大学院

1. はじめに

斜張橋ケーブルの空力振動現象であるレインバイブレーションは未解明な点が多く、準定常理論を用いた解析による説明が可能なギャロッピングのような現象であるのか、ケーブル後流域における複雑な渦構造によっておこると考えられる高風速渦励振であるのかは定かではない。また、準定常理論解析を行う際に用いる静的空気力を風洞実験で測定する場合、軸方向流をどのように評価するべきかという問題が残されている。そこで本研究においては、上記の問題に着目して、レインバイブレーションをギャロッピング及び高風速渦励振の側面から検討を行うことを目的とした。

2. 剛体ケーブル模型の静的空気力特性

傾斜ケーブルにおけるギャロッピングの発生要因として、ケーブル後流域に形成される軸方向流、及びケーブル表面に形成される水路、が指摘されている。準定常理論解析において必要となる静的空気力を測定する場合、軸方向流は常に主流風向に対して wake center に形成され、軸方向流の位置の変化を正しく評価できていないと考えられる。そこで、Fig.1 に示すように、スプリッタープレート（以下 S.P.）を挿入し内部循環流を生成させ、軸方向流に類似した効果が得られるようにした。さらに水路位置 θ を変化させ、S.P.と水路位置 θ の様々な組み合わせを考えることで軸方向流の位置を正しく評価し、ギャロッピング発現の可能性について考察を行った。なお、S.P.は2せん断層の干渉を維持するため開口部を設けており、長さ $4.0D$ 、開口率 30% のものを用い、模型両端部に設置されたロードセルによって静的空気力を測定した。

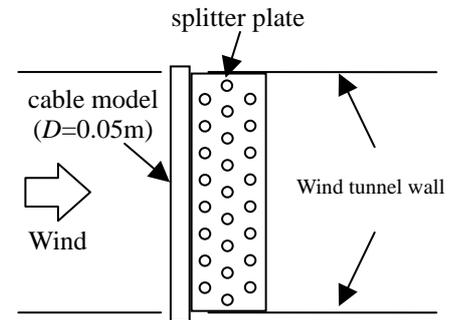
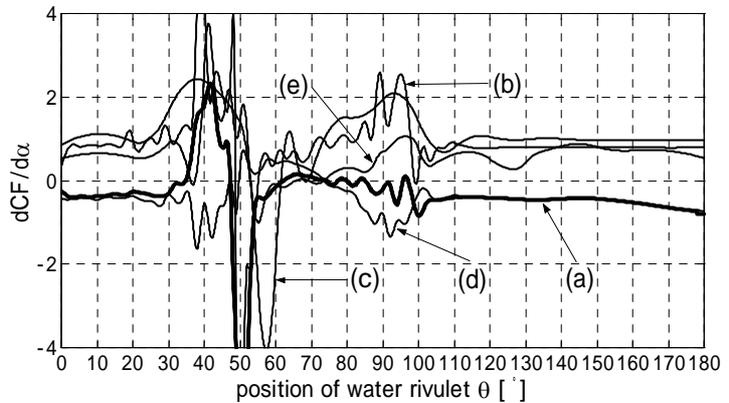


Fig.1 Top view of wind tunnel ($\beta=0^\circ$, with S.P.)



- (a) $\beta=0^\circ$, with S.P.
- (b) $\beta=0^\circ$, with fixed S.P. (position of S.P. $\varepsilon=180^\circ$)
- (c) $\beta=0^\circ$, without S.P.
- (d) $\beta=0^\circ$, with S.P., fixed water rivulet
- (e) $\beta=45^\circ$, without S.P.

Fig.2 Position of water rivulet - $dC_F/d\alpha$ diagram ($V=8.0\text{m/s}$, in smooth flow)

静的空気力実験から各水路位置 θ において $dC_F/d\alpha$ を算出し (Fig.2参照), ギャロッピングの発現について検討した。なお $dC_F/d\alpha$ はギャロッピングの不安定性を論じる尺度であり、 $dC_F/d\alpha$ が負のときに不安定になりギャロッピングが発生することが知られて

いる。これより、水路とS.P.の両方の効果を考慮した(a)をみると、 $dC_F/d\alpha$ は水路位置 $\theta=0^\circ \sim 30^\circ, 50^\circ \sim 65^\circ, 100^\circ \sim 180^\circ$ 付近において負となっており、S.P.の効果のみを考慮した(d)については $dC_F/d\alpha$ は、水路位置 $\theta=0^\circ \sim 50^\circ, 74^\circ \sim 180^\circ$ 付近で負となっている。これに対して、S.P.の効果を考えていない(b),(c),(e)では、水路位置 $\theta=0^\circ \sim$

キーワード：斜張橋ケーブル, レインバイブレーション, ギャロッピング, 高風速渦励振
 連絡先：京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL：075-753-5093 FAX：075-761-0646

30°, 100° ~ 180°付近において正となっている．これより，水路位置 $\theta=0^\circ \sim 30^\circ$, $100^\circ \sim 180^\circ$ で起きるギャロッピングについては軸方向流，水路位置 $\theta=45^\circ \sim 65^\circ$ で起きるギャロッピングについては水路位置変化の影響が卓越したものであると考えられる．

3．水路位置のケーブルスパン方向変化による空力振動特性

過去の研究¹⁾において，傾斜あり ($\beta=45^\circ$) の状態では模型上流端側で St 数がスパン方向に変化し，その変化する領域で高風速渦励振の励振力と考えられる低周波数成分の渦が形成される可能性を示している．また，St 数の変化は水路位置の変化によっても生じることから，実橋ケーブルでは，ケーブルスパン方向に水路が非一様に形成されることで高風速渦励振が励起されている可能性が考えられる．よって本研究では，水路位置をスパン方向に変化させることにより，St 数をスパン方向に変化させて各種実験を行い，高風速渦励振の発生メカニズムについて考察を行った．

様々な水路位置や水路の長さ等の組み合わせについて自由振動実験を行った結果，

Fig.3に示すように水路を設置した際，(a) $\theta=50^\circ-55^\circ-50^\circ$ においては無次元風速 $V/fD=20$ 付近で，(b) $\theta=65^\circ-55^\circ-65^\circ$ においては $V/fD=45$ 付近で限定型と考えられるような振動現象が得られた (Fig.4参照)．このうち，より明確に限定型振動が現れている (b) $\theta=65^\circ-55^\circ-65^\circ$ について，さらに後流域変動風速を測定し，スペクトル解析及びウェーブレット解析を行った (Fig.5参照)．スペクトル解析結果より，2つの水路位置に対応するカルマン渦放出周波数が生じ，無次元風速 $V/fD=45$ 付近のピークも見られる．ウェーブレット解析結果からも， $V/fD=45$ 付近に対応する周波数成分が非定常ながらも強く現れていることがわかる．これより，この限定型振動は，非定常で3次元性をもつ低周波数成分の渦が関係しており，ケーブルスパン方向に水路がある形成位置で非一様に形成されることが高風速渦励振の発生において重要な要因であることが示唆される．

4．まとめ

傾斜ケーブルの空力振動に準定常理論を適用する際に，軸方向流の位置が問題になるため，水平偏角なしの剛体ケーブル模型後流域にスプリッタープレート挿入して静的空気力測定を行った．その結果，ギャロッピングの発生において軸方向流の効果が卓越するものと水路位置の効果が卓越するものが考えられた．また，水路位置のケーブルスパン方向における非一様性，及びその特定の形成位置が高風速渦励振の発生に関連しており，ケーブルスパン方向におけるSt数の変化による，非定常，3次元的な低周波数成分の渦の放出が，高風速渦励振の発生において重要であるものと考えられる．

参考文献

1) 松本 勝，白土博通，八木知己，酒井精一郎，大谷 純，岡田太賀雄，風洞実験及び屋外動態観測に基づく傾斜ケーブルの空力振動現象に関する研究，第17回風工学シンポジウム論文集，2002，pp369-374

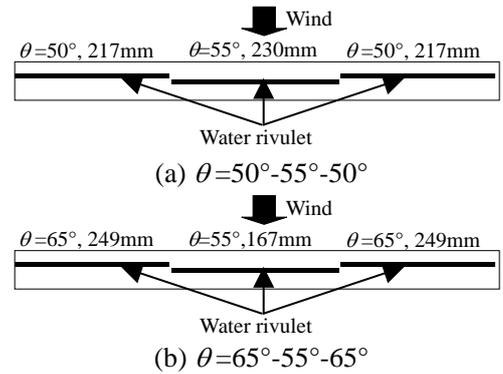


Fig.3 Position and length of water rivulet

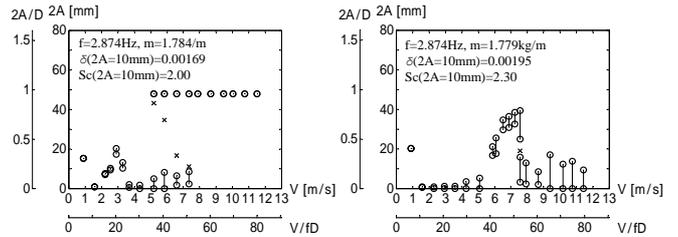


Fig.4 Velocity -Amplitude diagrams.(in smooth flow)

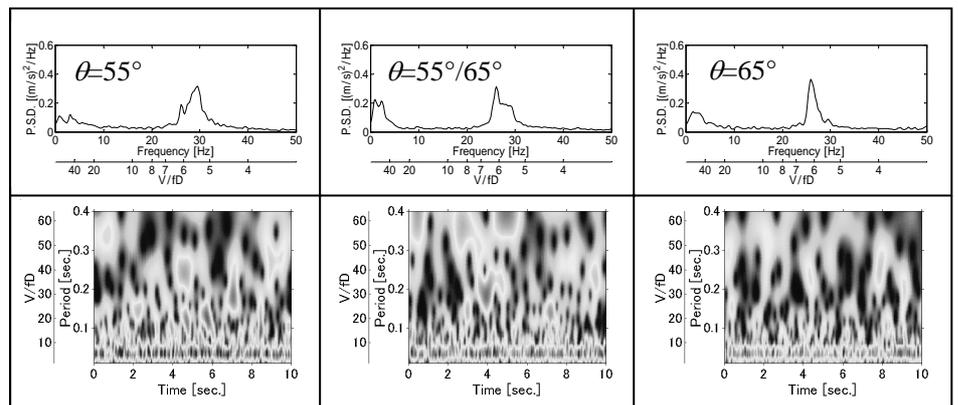


Fig.5 P.S.D and Wavelet analysis of the fluctuating wind velocity in the wake of stationary cable ($\beta=0^\circ$, $\theta=65^\circ-55^\circ-65^\circ$, $V=8.0\text{m/s}$, in smooth flow)