

京都大学工学部 学生員 ○大石 孝弘 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 特許庁 正会員 大谷 純
 京都大学大学院 学生員 岡田 太賀雄

1.はじめに

斜張橋ケーブルの空力振動現象において、特にレインパイプレーションは未解明な点が多く、ギャロッピングの振動解析手法として確立されている準定常理論を用いた解析が可能であるのか、ケーブル後流域における複雑な渦構造による説明が可能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の軸方向流の評価についても問題が残されていると言える。そこで本研究においては、上記の問題に着目して、高風速渦励振・レインパイプレーション、及びギャロッピングについて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は、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であると指摘されているが、準定常理論解析において必要となる静的空気力測定において、軸方向流は常に風向に対して wake center に形成されることから、軸方向流の位置の変化を正しく評価できていない。よって本研究では、図 1 に示すように、スプリッタープレート（以下 S.P.）を挿入させることで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。さらに水路位置を変化させ、S.P.と水路位置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う。なお、S.P.は 2 セン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% のものを用いた。

静的空気力実験から $dC_F/d\alpha$ を算出し、ギャロッピング不安定性について検討した（図 2 参照）。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. の効果を考慮していない (b), (c), (e) では、水路位置 $\theta=0^\circ\sim 30^\circ$ 、 $100^\circ\sim 180^\circ$ 付近において正となっている。これより、S.P. によって軸方向流の効果が考慮できているならば、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。

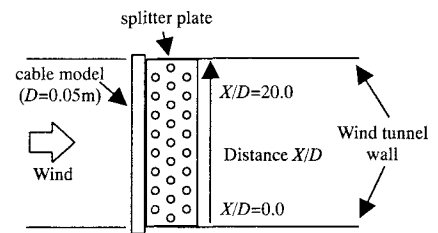
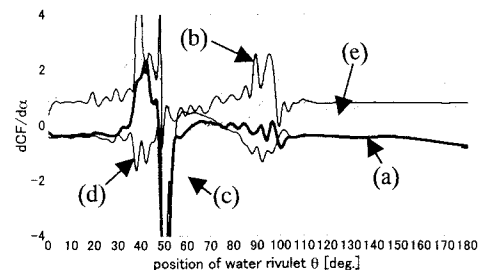


図 1. 模型の設置状況



- (a) $\beta=0^\circ$ 、水路位置、S.P. 両方の効果を考慮
 (b) $\beta=0^\circ$ 、S.P. 固定、水路位置のみの効果を考慮
 (c) $\beta=0^\circ$ 、S.P. なし、水路位置のみの効果を考慮
 (d) $\beta=0^\circ$ 、水路位置固定、S.P. のみの効果を考慮
 (e) $\beta=45^\circ$ 、水路位置のみの効果を考慮

図 2. 水路位置と $dC_F/d\alpha$ 関係

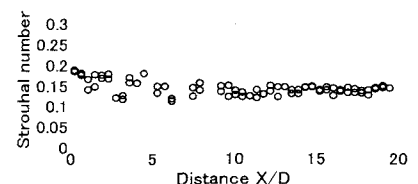


図 3. 傾斜円柱に作用する変動圧力から求めた St 数
 （一様流中、 $V=4.0\text{m/s}$ 、 $\beta=45^\circ$ ）

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(図3参照),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,図4に示すように,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空力実験を行い,高風速渦励振の発生メカニズムについて考察を行う.

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,図5に示すように水路を設置した際,無次元風速 $V/fD=45$ 付近で限定型と考えられるような振動現象が見られた(図6参照).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結果を図7に示す.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,自由振動実験で発現した限定型振動は,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,この渦の放出が高風速渦励振の発生において重要であると考えられる.

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を挿入して静的空気力測定を行った.その結果から,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.

謝辞 風洞実験の測定及びデータ整理等にご協力頂きました酒井精一郎氏に心より御礼申し上げます.

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

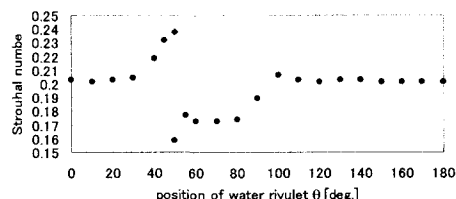


図4. 水路位置変化によるSt数
(一様流中, $\beta=0^\circ$)

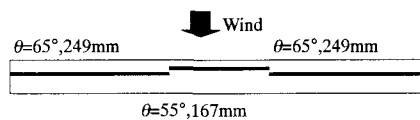


図5. 水路の設置方法

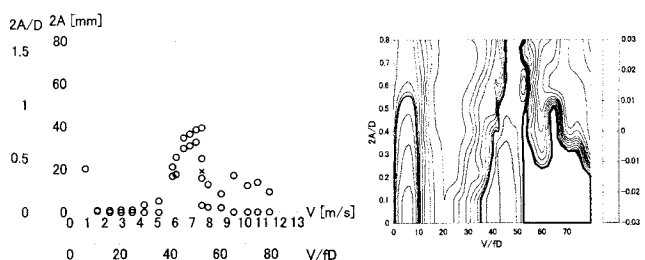


図6. 水路位置 $\theta=65^\circ$ - 55° - 65° におけるV-A図及びV-A- δ 図

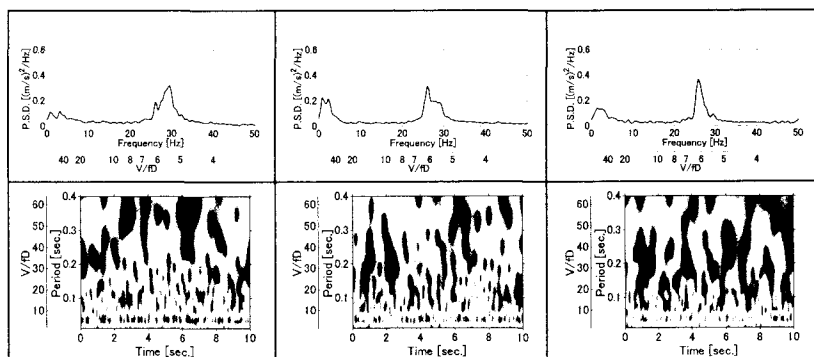


図7. 水路位置 $\theta=65^\circ$ - 55° - 65° における後流域変動風速のスペクトル解析及びウェーブレット解析結果(一様流中, $V=8.0\text{m/s}$)