

傾斜ケーブルに生じる dry-state galloping の空力振動制御について

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○田中 政信 京都大学大学院工学研究科 フェロー 松本 勝

京都大学大学院工学研究科 正会員 八木 知己 株式会社 トクヤマ 初田 英明

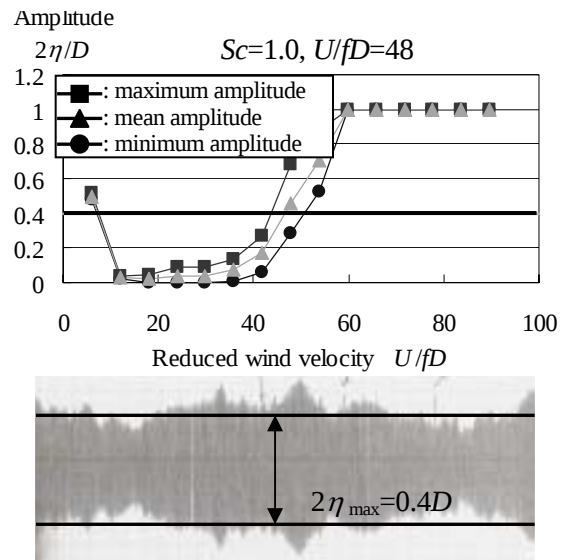
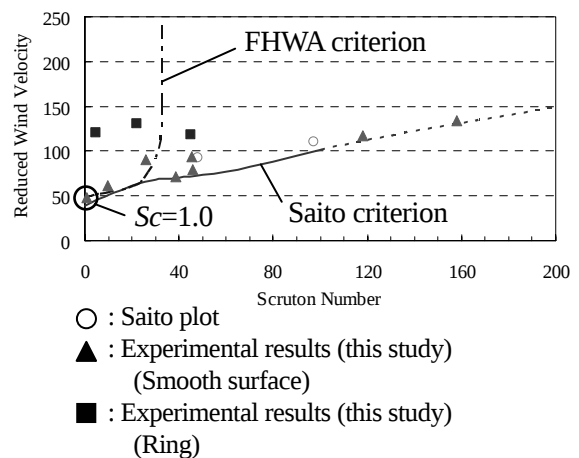
京都大学大学院工学研究科 学生員 島 宜範

1. 序論

近年, ある斜張橋ケーブルにおいて大振幅振動現象が確認され, dry-state galloping である可能性が指摘されている. 一般に dry-state galloping の主な発生要因としては, 傾斜ケーブル後流域に形成される軸方向流と臨界レイノルズ数による効果等が考えられている^{1, 2)}. この dry-state galloping については, Saito らの報告³⁾では Sc 数を増加させても顕著な安定化は認められないが, FHWA の報告⁴⁾では, あるスクルートン数 (Sc 数) に達すると安定化しており, 両者の結果に大きな隔たりがある. すなわち, ギャロッピングを制振するために必要な付加減衰が全く異なっていることとなり, 斜張橋を設計する上で大きな問題となると考えられる. 本研究では, 大振幅振動における Sc 数効果について, 構造減衰を変化させることでモデルの挙動の検討を行うと共に, モデル表面にリングを付加することで, 軸方向流強度を変化させた際の空力安定性について考察を行った.

2. 円柱ケーブルにおける空力安定性について

水平偏角 $\beta=45^\circ$ にケーブルモデルを設置し, 空力特性に与える影響について検討を行った. 次に, たわみ 1 自由度にモデルをバネ支持し, 自由振動実験を行った. 本研究では Sc 数は $Sc=2m\delta\rho D^2$ のように定義した. ただし, m : 単位長さあたりの質量(kg/m), δ : 対数減衰率, ρ : 空気密度(kg/m³), D : ケーブル直径(m)である. 鉛直たわみ以外の自由度を拘束したにもかかわらず, 振動中にローリング振動に移行するケースもあり, 最小振幅が 0 を示すケースが多く確認され, ギャロッピング発現風速の定義が困難であった. そのため本研究では, 最大倍振幅が $2\eta=0.4D$ を超えた風速をギャロッピング発現風速と定義した. この定義を用いて, 本研究の結果を FHWA と Saito らの結果上にプロットした(Fig.1,2 参照). 本実験結果は, Saito らの結果によく符合しており, ギャロッピング発現風速は Sc 数に依存しない結果となった. 本研究ならびに FHWA, Saito らの研究の実験条件, 特に端部条件に着目すると, FHWA の研究よりも本研究及び Saito らの研究の方が軸方向流の強い状態で実験を行っていた可能性が考えられる. 一般に実橋では風洞内よりも比較的強い軸方向流が存在していることを考慮すると, Saito ら及び本研究の結果の方が, 実際のギャロッピングを再現している可能性があると考えられる. 従って以上の結果は, 実橋におけるギャロッピングを制振するためには, 単に Sc 数を増加させるだけでは対応できない可能性を示唆していると考えられる.

Fig.1 Reduced wind velocity-Amplitude diagram and experimental data ($\beta=45^\circ$)Fig.2 Reduced velocity-Scruton number diagram of inclined cable model ($\beta=45^\circ$)

〒615-8125 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 TEL 075-383-3167

キーワード dry-state galloping 傾斜ケーブル スクルートン数 軸方向流

3. ケーブル後流域における軸方向流強度の検討

前章で得られた結果から，後流域における軸方向流の存在によって dry-state galloping が励起されている可能性が考えられた．そこで，より実橋ケーブルの状況に近づけるため，Fig.3 に示すように風洞の吹き出し部に直径 140mm，長さ 3400mm のアルミ製円柱を支持して軸方向流強度の計測を行った(Fig.4 参照)．傾斜ケーブルの空力特性に影響を与えるとされる上流端付近では軸方向流は接近風速の 6 割程度の値を示しているが，より実橋における軸方向流強度と実験における強度の比較検討が必要であると考えられる．



Fig.3 Set up for the cable model ($\alpha=-45^\circ$, $\beta=90^\circ$)

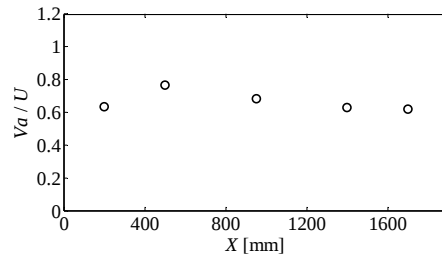


Fig.4 Distribution of axial wind velocity (V_a) in the wake of cable model ($\alpha=-45^\circ$, $\beta=90^\circ$, $U=8.0\text{m/s}$)

4. リング付ケーブルにおける空力安定性について

前章で得られた結果から，軸方向流が存在することで dry-state galloping に対して空力的に不安定になっている可能性が考えられた．そこで，Fig.5 のようにケーブル模型表面にアクリル板を用いてリングを付加することで軸方向流に対して障害材を設置し，たわみ 1 自由度自由振動実験を行った．また自由振動実験結果を Fig.6 に示す． Sc 数には大きな隔たりはなく，リングを付加することで高風速域における振動が抑制されていることが確認できる．



Fig.5 cable section (Ring $D=50\text{mm}$)

5. 結論

傾斜ケーブルのギャロッピング不安定性における Sc 数の効果は，Saito らの結果によく符号し，ギャロッピングの発現風速は Sc 数に依存しない結果となった．しかし，今回の実験において，実験条件に敏感に変化することも考えられ，今後検討が必要である．また，実験条件等を考慮すると，ギャロッピング不安定性は，軸方向流の強度に強く依存しているとも考えられ，今後，ギャロッピング不安定性とカルマン渦との関係性を検討するために，ケーブルによるカルマン渦強度の違いについて検討を行う必要があると考えられる．また，実橋における軸方向流の状態を解明することが重要な課題と思われる．今後は，リング等の付加による軸方向流生成の抑制など，実橋における軸方向流の状態を解明し，制振対策を開発することが重要な課題である．

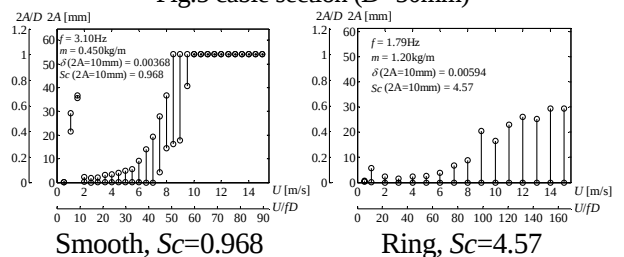


Fig.6 Velocity-Amplitude diagrams ($\beta=45^\circ$)

謝辞

本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究(B)，課題番号：18360218，研究代表者：松本 勝）の助成を受けて行われた．

【参考文献】

- 1) G.L. Larose, J.B. Jakobsen and M.G. Savage, Wind-tunnel experiments an inclined and yawed stay cable model in the critical Reynolds range, National Research Council Canada, 2004
- 2) Matsumoto, M., Yagi, T., Liu, Q., Oishi, T., & Adachi, Y. Effects of axial flow and Karman vortex interferences on dry-state galloping of inclined stay-cables, Sixth International Symposium on Cable Dynamics 2005, pp. 247-254
- 3) T. Saito, M. Matsumoto, M. Kitazawa, "RAIN-WIND EXCITATION OF CABLES ON CABLE-STAYED HIGASHI-KOBE BRIDGE AND CABLE VIBRATION CONTROL", *Proc. of the International Conference A.I.P.C.*, 1994
- 4) FHWA, "Wind Induced Vibration of Stay Cables", 2006 CABLE STAY BRIDGE WORKSHOP, 2006