

第 I 部門 傾斜ケーブルの空力振動特性における断面形状と Sc 数の効果について

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 京都大学大学院工学研究科 学生員 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, 雨なしギャロッピングである可能性が指摘されている. 一般に雨なしギャロッピング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)}. この雨なしギャロッピングについては, 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. 従って本研究では, ギャロッピング振動における Sc 数効果について検討を行うと共に, 断面形状を変化させた場合の空力安定性について考察を行った.

2. 断面形状変化がケーブルの空力安定性に与える効果

水平偏角 $\beta=45^\circ$ にケーブル模型を設置し, 断面形状を変化させることで空力特性に与える影響について検討を行った. 本研究では円柱ケーブル模型の他に, 軸方向流の生成を阻害するためにリングを付けた形状, さらに実橋において使用されている軸方向突起付きケーブルとヘリカルフィン付きケーブルについても検討を行った. Fig.1 に, たわみ 1 自由度強制加振実験で計測された非定常空気力係数 H_1^* を示す. たわみ 1 自由度における運動方程式を考えた場合, H_1^* は減衰項に関係し, その値が正であれば空力的に不安定であり, 負であれば安定であると考えられる. これより軸方向突起付きケーブル, リング付きケーブルにおいては空力的に安定である特性を示し, 円柱ケーブル, ヘリカルフィン付きケーブルは不安定な断面である特性を示している.

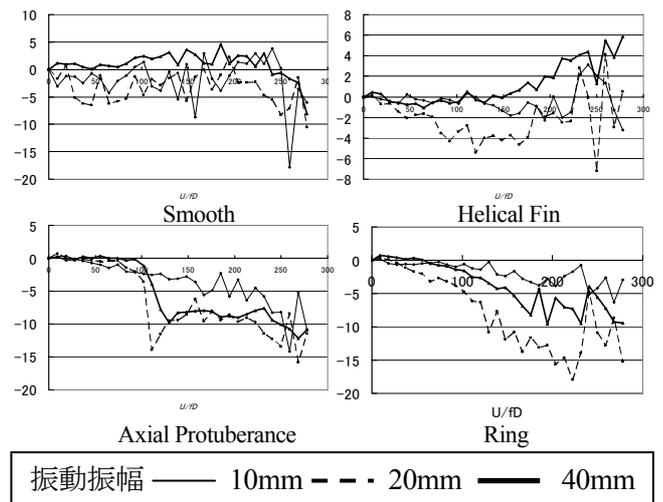


Fig.1 Aerodynamic derivative H_1^*

3. Sc 数の変化による空力安定性について

3.1 たわみ 1 自由度自由振動実験

スクルートン数 (Sc 数) は次式のように定義した.

$$Sc = \frac{2m\delta}{\rho D^2}$$

ただし, m : 単位長さ当たりの質量 (kg/m), δ : 対数減衰

率, ρ : 空気密度 (kg/m³), D : ケーブル直径 (m). 自由振動実験結果を Fig.2 に示す. 円柱ケーブル, ヘリカルフィン付きケーブル, リング付きケーブルでは, 振幅は Sc 数の増加に依存しない結果となった. 軸方向突起付きケーブルでは Sc 数を増加させることで, 低風速域に確認された風速限定振動が抑えられており, 安定性の高い断面であると考えられる. 前章で得られた, 非定常空気力係数 H_1^* の結果と比較すると, 円柱ケーブル及びヘリカルフィン付きケーブルは不安定な断面であるという結果と符合しており, また, 軸方向突起付きケーブルは空力安定性の高い断面であるという結果と符合している. しかし, リング付きケーブルは H_1^* の結果とは異なる結果を示しており, 今後詳細な検討を行う必要があると考えられる.

3.2 Sc 数と限界風速

本実験では, 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, 倍振幅で $0.4D$ を超えた風速をギャロッピング発現風速と仮定した. 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.3 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 らの研究と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。さらに, 実橋における軸方向流の強度を計測することも重要な課題と思われる。

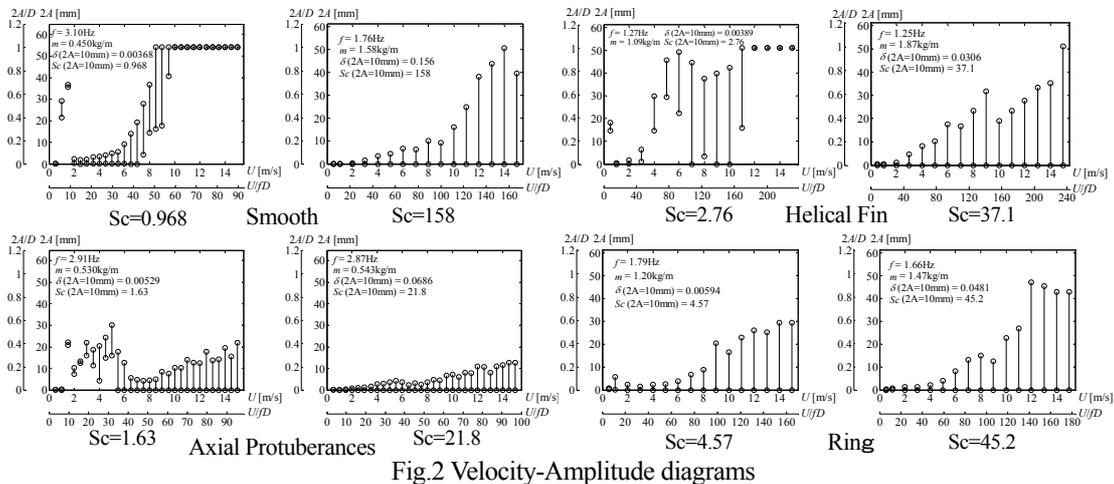


Fig.2 Velocity-Amplitude diagrams

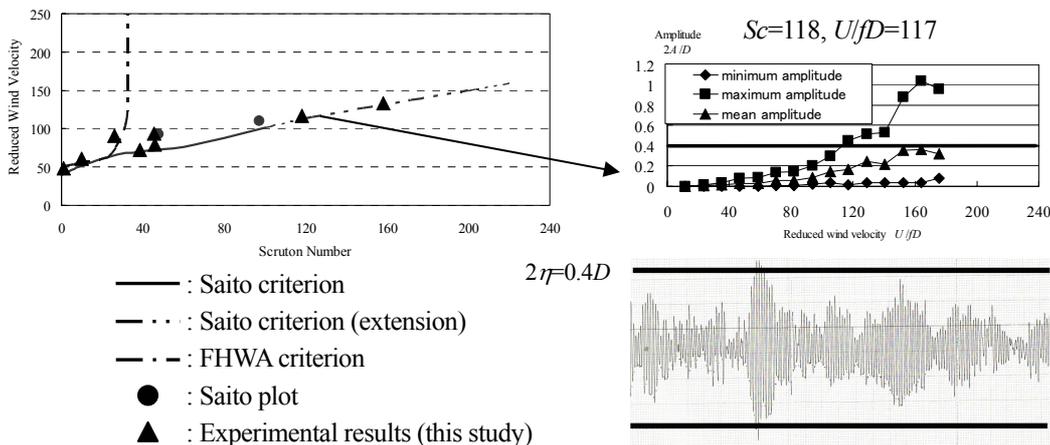


Fig.3 Onset wind velocity of dry-state galloping under various Scruton numbers. ($\beta=45^\circ$, Smooth cable, sub-critical Reynolds number range)

4 結論

自由振動実験結果とたわみ 1 自由度強制加振実験結果を比較すると, 円柱ケーブル及びヘリカルフィン付きケーブルは不安定な断面であると考えられ, また, 軸方向突起付きケーブルは空力安定性の高い断面であると考えられた。しかし, リング付きケーブルは相異なる結果を示しており, 今後詳細な検討を行う必要があると考えられる。

円柱ケーブルの自由振動実験結果より, 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 らの結果によく符合し, 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。従って, 傾斜ケーブルにおけるギャロッピングは, 付加減衰では制振できない可能性が示唆された。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, 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。

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