

第 部門 カルマン渦強度による斜張橋ケーブルの静的空力特性及び流れ場の変化に関する研究

京都大学工学部 学生員 島 宜範 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 足立 洋一
 京都大学大学院工学研究科 学生員 劉 慶寛 京都大学大学院工学研究科 学生員 初田 英明

1. はじめに

近年，ある斜張橋ケーブルにおいて，雨なしギャロッピングと考えられる大振幅振動現象が確認され，そ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と臨界レイノルズ数帯域に達していたことが考えられた．本研究では，軸方向流と臨界レイノルズ数帯域に達することがどちらもカルマン渦放出を抑制するという点に着目し，カルマン渦放出という観点から各種風洞実験を行い，斜張橋ケーブルの空力特性について考察を行う．

2. 実験概要

水平偏角 $\beta=0^\circ$ ， $\beta=45^\circ$ に発泡スチロール製の大型ケーブル模型 ($D=158\text{mm}$) を支持し，模型に表面粗度を設けた状態で，接近風速を高風速まで変化させて実験を行う．表面粗度を設けることで，表面が滑らかな状態に比べて臨界レイノルズ数帯域に達する風速が低下することから，容易に風洞実験を行うことが可能となるが，一般的なレイノルズ数とは異なるため，注意を要する．本研究では，亜臨界・臨界・超臨界の各レイノルズ数帯域におけるケーブル模型の静的空気力特性，及び模型断面周りの流れ場を調査し，カルマン渦の放出特性及びカルマン渦が流れ場に与える影響について考察する．

3. 考察

3.1 ケーブル模型の静的空気力特性

静的空気力係数及び変動揚力のスペクトル解析結果図を Fig.1~4 に示す．表面粗度を有する模型を用いて実験を行った際， $\beta=0^\circ$ では $Re=100000$ 程度， $\beta=45^\circ$ では $Re=60000$ 程度から抗力が減少し始め，どちらも $Re=150000$ 付近で最低値を示し，再び増加することが確認された．どちらのケースにおいても，抗力が減少し始めるレイノルズ数付近では定常揚力が発生しているが， $\beta=0^\circ$ のケースでは抗力が再び増加し始めたレイノルズ数付近では定常揚力は確認されなくなった．抗力が減少するレイノルズ数付近では，変動揚力係数及び変動揚力のスペクトルのピークも減少していることから，カルマン渦放出が弱まり，背面負圧の絶対値が低下することで，臨界レイノルズ数帯域に達していると考えられる．また，抗力が再び増加し始めているレイノルズ数付近では，超臨界レイノルズ数帯域に達していると考えられる．

3.2 模型断面周りの流れ場特性

熱線流速計によって模型断面周りの風速を測定した結果を Fig.5, 6 に示す．各計測位置の模型上側の主流方

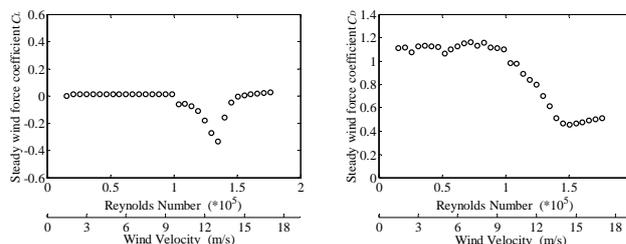


Fig.1 Steady wind force coefficients of the cable model with artificial surface-roughness ($\beta=0^\circ$)

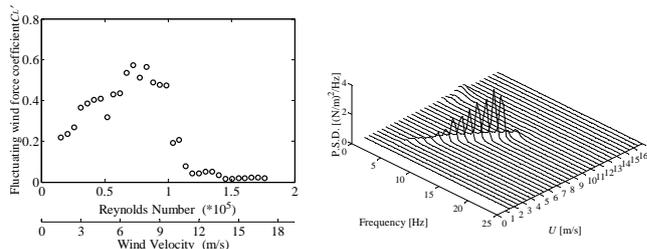


Fig.2 Coefficient and P.S.D. of the fluctuating lift force on the cable model with artificial surface-roughness ($\beta=0^\circ$)

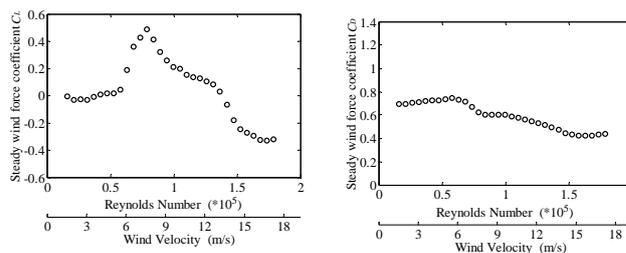


Fig.3 Steady wind force coefficients of the cable model with artificial surface-roughness ($\beta=45^\circ$)

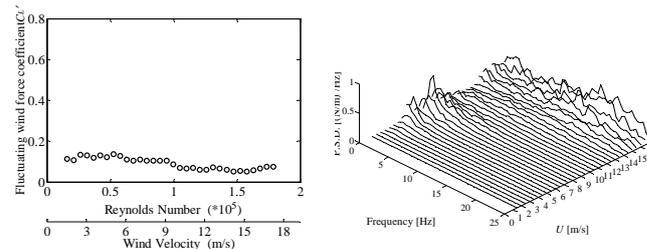


Fig.4 Coefficient and P.S.D. of the fluctuating lift force on the cable model with artificial surface-roughness ($\beta=45^\circ$)

向風速と下側の主流方向風速の差の接近風速に対する割合をプロットしている。Fig.1, 3において定常揚力が発生している臨界レイノルズ数帯域で、模型中央上下面に風速差が生じていることが確認され、その差が揚力係数とほぼ同様の傾向を示すことが確認できる。このことから、臨界レイノルズ数帯域においては、流れ場の対称性を保っていると考えられるカルマン渦放出が抑制されることで、剥離点が不安定に存在していると考えられる。その結果、模型上下面に風速差が発生し、圧力差が生じることで定常揚力が発生していると考えられた。 $\beta=0^\circ$ のケースでは、Fig.1において超臨界レイノルズ数帯域に達していると考えられた風速域では、模型中央上下面に風速差が見られないことから、剥離点が安定しており、定常揚力が発生しなくなっていると考えられる。

3.3 模型後流域に形成される軸方向流強度

$\beta=45^\circ$ に模型を支持し、ケーブル模型後流域に形成される軸方向流強度を測定した結果を Fig.7 に示す。過去の研究[1]より、傾斜ケーブルの空力特性は軸方向流に強く影響を受け、特に上流端部の影響が大きいことが報告されている。Fig.7 において、最上流端に着目すると、接近風速の1割程度の値を示している。 $X/D=2$ までは X/D の増加とともに上昇するが、 $X/D=2$ 付近で模型中央よりも上下点における軸方向流強度が大きくなっている。このことから、軸方向流によって断面が非対称になっている可能性が考えられる。また、過去の研究で得られた結果を、本研究における軸方向流の定義で再び解析したところ、本研究で得られた結果は、過去の研究における軸方向流の弱いケースの結果とほぼ符合することが確認された。この要因として、本研究では端板を設置したことで上流端部において後流域への流入が遮られた可能性が挙げられる。

4. 結論

臨界レイノルズ数帯域においてカルマン渦放出が弱められた際に、カルマン渦によって保たれていた流れ場の対称性が崩れ、流れ場が非対称になることで、模型上下面の風速差による圧力差が生じ、定常揚力が発生することが確認された。

参考文献

[1] 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

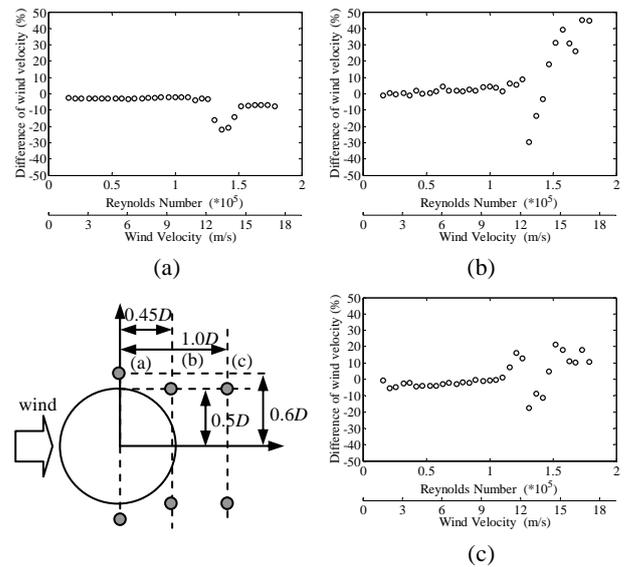


Fig.5 Re - Difference of wind velocity between upper and lower around the cable model with artificial surface-roughness ($\beta=0^\circ$)

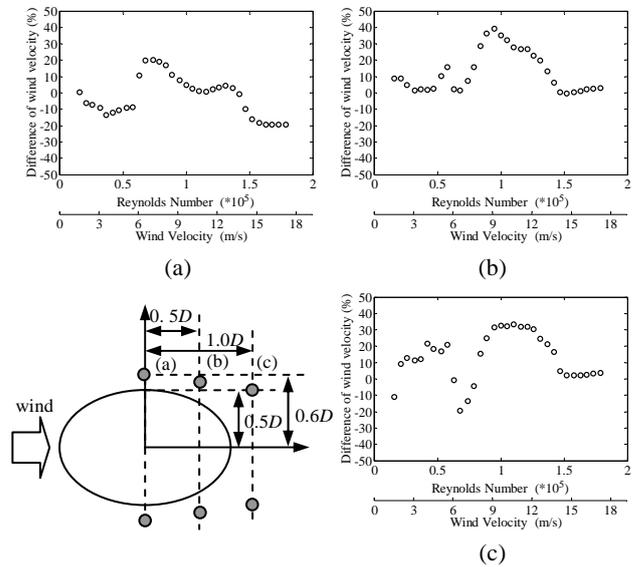
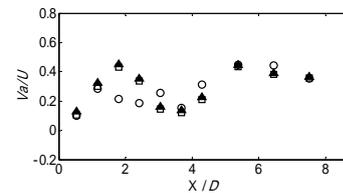


Fig.6 Re - Difference of wind velocity between upper and lower around the cable model with artificial surface-roughness ($\beta=45^\circ$)



: center of the cable model
 : 0.1D upper from the center of the cable model
 : 0.1D lower from the center of the cable model

Fig.7 Distribution of axial wind velocity in the wake of the stationary cable model with artificial surface-roughness ($\beta=45^\circ, U=10.0\text{m/s}$)

