第 I 部門

京都大学工学部	学生員	○新庄	皓平
京都大学工学研究科	正会員	八木	知己
京都大学工学研究科	学生員	成田	周平
京都大学工学研究科	学生員	岡本	健吾
京都大学工学研究科	正会員	白土	博通

1.はじめに

斜張橋ケーブルのドライステート・ギャロッピングの発現について、 Matsumoto¹⁾はカルマン渦の抑制がその発生メカニズムである可能性を指摘している.例えば、傾斜ケーブル背後に形成される軸方向流れや、風速が上昇し臨界レイノルズ数域に達することで、カルマン渦放出が抑制され、ギャロッピングが発生するとしている.しかし、そのメカニズムは未解明な点も多く、今後より詳細に検討する必要がある.本研究では、カルマン渦を抑制する目的で、各種表面形状を有するケーブル模型を用いて、斜張橋ケーブルのギャロッピングの発現に関して検討を行った.

2.実験概要

直径 *D*=50[mm]のアルミニウム円柱を模型として用いた. ケーブル模型は, Fig.1 に示すように,円断面ケーブル模型 に加えて,高さ5[mm],幅5[mm]の矩形突起を12本巻きつ け角27°で巻きつけたスパイラル突起付きケーブル模型,高 さ3.5[mm]の凹凸表面のゴムシートを貼り付けた縞状突起付 きケーブル模型,高さ3[mm],縦5[mm],幅3[mm]の直方 体突起を貼り付けた直方体突起付きケーブル模型を用いた. 模型姿勢は水平面内傾斜角β=0°及びβ=45°の2種類とした. また,傾斜ケーブル模型の風洞実験において,過去の研究²⁾ から,端部の影響が大きいことが知られているが,スパン中 央付近では端部の影響を受けにくいということが報告され ている.そのため,本研究においては,端部の影響を受けず



- Fig.1 模型の表面形状

に、部分的に空気力の測定が可能な斜張橋ケーブル模型を用いて、静的空気力測定実験、非定常空気力測定実 験及び熱線流速計を用いた後流域変動風速測定実験、軸方向流測定実験を行った.非定常空気力測定実験では、 強制加振周波数を f₀=2.0[Hz],強制加振振幅を 2η=20[mm]とした.本研究で測定した非定常空気力(揚力)の 模型振動数成分は、以下の様に Scanlan³⁾により提案された非定常空気力係数 H₁^{*}として表した.

$$H_{1}^{*} = -\frac{L_{\eta_{0}}\sin\Psi_{L_{\eta}}}{\rho(D/2)^{2}\omega^{2}\eta}$$

但し、 L_{η_0} 、 η 、 $\Psi_{L_{\eta}}$ 、 ρ 、 ω 、Dは、鉛直たわみ1自由度振動時の非定常揚力(下向き正)の振幅[N/m]、鉛直た わみ変位(下向き正)の片振幅[m]、鉛直たわみ変位に対する非定常揚力の位相遅れ、空気密度[kg/m³]、円振動 数[rad/s]、直径[m]である. H_1^* は、空力減衰に対応し、正の値が負減衰、即ち空力的に不安定であることを示 す.

3.実験結果

 β =0°のケースについて,抗力係数 C_D を Fig.2 に、後流域(測定位置は模型振動中心平面から上方に 0.5D、模型後縁端から後方に 1.0D の位置)における鉛直方向変動風速の標準偏差を Fig.3 に示す. C_D について、円断面ケーブル模型と比較して、他の 3 模型は低い値を示していることが分かる. これは、表面粗度による効果(直方体突起付きケーブル模型, 縞状突起付きケーブル模型), 並びにスパン方向の剥離点変化 (スパイラル突起付きケーブル模型)によるものであると考えられる⁴⁾. また、カルマン渦の強弱と C_D の増減が密接に関係していることが確認できる. しかし、別途行われた実験で H_1^* が負の値を示していることから、 C_D 値を下げるだけでは、ギャロッピングが発現しないことがわかる.

β=45°のケースについて、 C_D 、 H_1 ^{*}を Fig.4、Fig.5 に、軸方向流測定実験の結果を Fig.6 に示す. Fig.6 は模型 振動中心平面、模型後縁端から後方に 1.0D の位置で測定した軸方向流を風洞風速で除して、無次元化したも

Kohei SHINJO, Tomomi YAGI, Shuhei NARITA, Kengo OKAMOTO, Hiromichi SHIRATO kohei.shinjo@kw8.ecs.kyoto-u.ac.jp

のである.円断面ケーブル模型の *H*₁^{*}が負の値を示し,安定化しているのは,臨界レイノルズ数に達していないため,並びに軸方向流が弱いためであると考えられる.但し,実橋における軸方向流は本実験結果より強い可能性があり,ギャロッピングが発現する可能性がある.

スパイラル突起付きケーブル模型は、軸 方向流が他の模型と比べて強いにもかか わらず, H_1^* が負の値を取り、安定化してい る.従って、軸方向流の強さだけでは、ギ ャロッピング安定性が議論できないこと が明らかとなった.安定化した理由として は、スパン方向の剥離点変化が考えられ、 カルマン渦の放出の抑制によって,必ずし もギャロッピングが不安定化するという 結果にはならなかった. 縞状突起付きケー ブル模型においては、表面粗度の効果で、 カルマン渦放出が抑制され, H_1^* が正となっ ている.カルマン渦強度とギャロッピング 安定性の関係は、未だ明らかではないが、 本模型においては,スパン方向に剥離点変 化が比較的一定になっているため,顕著に 不安定化していると思われる. 直方体突起 付きケーブル模型においては、縞状突起付 きケーブル模型と同様に H_1^* が正となって いる風速域があるが, 励振力は極めて小さ くなっている.これは、縞状突起付きケー ブル模型に比べて,模型周りの流れの3次 元性が強まっているためであると考えら れる.従って,円断面ケーブルにおいても, 臨界レイノルズ数に達するまで風速を上 げると、同様にギャロッピングを発現する 可能性があると思われる.

さらに、縞状突起付きケーブル模型について、強制加振周波数を変化させ、 $f_{0}=1.4$ [Hz]でも計測したところ、Fig.7に示すように、ギャロッピングの発現風速はレイノルズ数ではなく、無次元風速に依存する可能性が示唆されたが、今後より詳細な検討を行う必要がある.



4.結論

- 斜張橋ケーブルのドライステート・ギャロッピングを不安定化させる要因として、表面粗度による効果, 軸方向流による効果並びに安定化させる要因として、スパン方向の剥離点変化等が考えられる.
- 2) ドライステート・ギャロッピングの発現は、レイノルズ数ではなく、無次元風速に依存している可能性が 考えられるが、今後より詳細な検討が必要である.

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(C)(課題番号 21560501)の助成を受けて実施されたものである.

参考文献

- M.Matsumoto, T.Yagi, Y.Adachi, H.Hatsuda and T.Shima: Karman vortex effects on aerodynamic instabilities of inclined stay-cables, Proc. of the 12th Intl. Conf. on Wind Engineering, 2007, pp.175-182.
- T.Yagi, H.Naito, Z.Liang, H.Shirato: Evaluation of aerodynamic forces on inclined cable in consideration of end conditions of model for wind tunnel tests, Proceedings of the Sixth International Symposium on Cable Dynamics, 2009, pp.151-158.
- R.H. Scanlan, J.J. Tomko: Airfoil and bridge deck flutter derivatives, Journal of Engineering Mechanics Division, Proc. ASCE., vol.97, EM6, 1971, pp.1717-1737.
- 4) 八木知己,岡本健吾,榊一平,頃安弘,梁子豊,成田周平,白土博通,表面形状を考慮した斜張橋ケーブルの抗 力低減と空力安定化に関する研究,第22回風工学シンポジウム論文集,2010年, pp.263-268.