

水平偏角をつけた矩形断面のギャロッピング特性に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○小 杉 翼
大成建設株式会社 新庄 皓平¹⁾
京都大学大学院工学研究科 正会員 白土 博通

京都大学大学院工学研究科 正会員 八木 知己
京都大学工学部 学生員 太古 一貴
¹⁾研究当時京都大学大学院工学研究科

1. 序論

一般に、2次元矩形断面において、断面辺長比 B/D (B : 断面幅, D : 断面高さ) が約 0.7~2.8 でギャロッピングが発生することが知られているが、矩形断面が斜風を受けた場合のギャロッピングに関しては、検討された例が少ない。斜風を受けることによって見かけの断面辺長比が大きくなり、ギャロッピングの不安定性が変化することが考えられる。また、斜張橋ケーブルと同様に、軸方向流れによって空力的に不安定化する可能性も考えられる。一方、ケーブルのような円断面とは異なり、矩形断面では空力不安定現象に対するレイノルズ数依存性は小さいと考えられる。以上より、本研究では矩形断面モデルを傾斜させた状態で空気力測定実験ならびに流れの可視化実験を行い、ギャロッピング特性の考察を試みた。

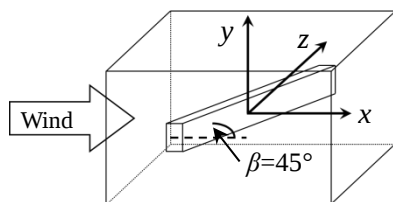


図1 模型姿勢

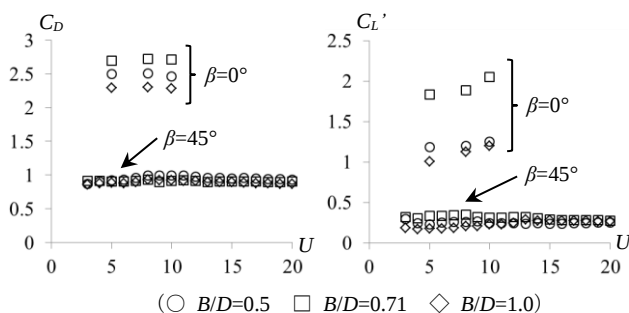


図2 抗力係数 C_D (静止時)

図3 変動揚力係数 C_L' (静止時)

2. 傾斜矩形断面の空力特性

本研究では、図1に示すように水平偏角 β を 45° とし、断面辺長比 $B/D=0.5, 0.61, 0.71, 0.86, 1.0, 1.21, 1.41$ の矩形モデルを使用した。水平偏角をつけることにより、

見かけの断面辺長比が $\sqrt{2}$ 倍になることを考慮して B/D を設定している。模型高さ $D=80[\text{mm}]$ である。模型端部の空気力への影響を排除する目的で、模型全長 $1400[\text{mm}]$ の中央部 $200[\text{mm}]$ における空気力を測定した。

まず模型静止時に風洞風速を変化させた際の抗力係数 C_D を図2に、変動揚力係数 C_L' を図3に示す。 $\beta=45^\circ$ のケースでは、 C_D, C_L' 共にいずれの断面でも同程度の値を示しており、さらに風速依存性、すなわちレイノルズ数依存性はほとんど確認できなかった。本研究では、空気力の向きは構造軸で定義しているため、 $\beta=0^\circ$ と $\beta=45^\circ$ の結果を直接比較するためには、模型直角方向の風速に換算する必要がある。その場合は $\beta=45^\circ$ のときの空気力の値を2倍すればよい。この補正を行った上でも C_D および C_L' の値は $\beta=0^\circ$ のケースの方が大きく、モデルを傾斜させることによりカルマン渦が弱まっていることが確認できる。また、別途行った揚力のスペクトル解析からも、傾斜時にはカルマン渦が抑えられていることが明らかとなっている。

次に、強制加振実験から非定常空気力係数 H_1^* を求めた。ここで、非定常空気力係数 H_1^* は以下の式で表されるたわみの空力減衰項であり、正の値は空力的に不安定、負の値は空力的に安定であることを示す。

$$H_1^* = -\frac{L_{\eta_0} \sin \psi_{L\eta}}{\rho (B/2)^2 \omega^2 \eta_0}$$

ただし、 ω : 強制加振振動数 ($f=1.0[\text{Hz}]$)、 L_{η_0} : たわみ1自由度強制加振時の揚力の片振幅、 $\psi_{L\eta}$: たわみ変位下向き最大から揚力最大までの位相遅れ、 η_0 : たわみの片振幅 ($2\eta_0/D=0.4$) である。本研究では、 $2\eta_0/D$ を 0.2, 0.3, 0.4 と変化させて実験を行った結果、振幅依存性が見られなかったこと、さらに、 $f=1.0[\text{Hz}], 1.5[\text{Hz}]$ と変化させて実験を行った結果、 H_1^* に差はなく、無次元風速で整理できることを確認している。図4に水平偏角 $\beta=0^\circ$ のとき、図5に $\beta=45^\circ$ のときの H_1^* を示す。 $\beta=0^\circ$

キーワード: ギャロッピング, 斜風, 矩形断面, 断面辺長比, 軸方向流れ

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C1-3-457 室 橋梁工学研究室 TEL 075-383-3167

のケースでは $B/D=0.71$ 付近で安定・不安定が変わっており、既往の研究と概ね一致する結果となった。次に、 $\beta=45^\circ$ のケースでは $B/D=0.5\sim 0.86$ 断面でギャロッピングが発生するという結果になり、特に $B/D=0.5, 0.61$ の断面では水平偏角をつけたことにより不安定化することが明らかになった。その一方で、 $\beta=0^\circ$ の 2 次元矩形断面でギャロッピングが発生する $B/D=1.0, 1.21$ 断面においては、傾斜させることによってギャロッピングが安定化する結果となった。

これらの結果は、角柱が傾斜することにより見かけの断面辺長比が大きくなることによって、物体まわりの流れが完全には離型の断面から瞬間的な再付着型に移行し不安定化、もしくは瞬間的な再付着型から時間平均的な再付着型に移行することで安定化している可能性がある。ただし、水平偏角 45° によって生じる見かけの断面辺長比の変化は $\sqrt{2}$ 倍のみであり、風と振動方向がつくる 2 次元面的な議論だけでは説明することができず、模型後流域の 3 次元的な流れも関係しているものと考えられる。

3. 模型後流域の流れ場の検討

本研究では静止時における流れの可視化実験および PIV 解析により、傾斜円柱におけるギャロッピングの発生要因の 1 つである軸方向流れを、傾斜矩形断面の背後においても同様に計測を行った¹⁾。軸方向流れは図 1 に示す z 方向の流れで代表できるとし、 z 方向風速 w を x - z 平面上で計測した。その結果を用いて、図 6 に示すような x - y 平面上における z 方向平均風速 w のコンター図を作成した。風洞風速は $U=5[\text{m/s}]$ とし、図中の風速値は風洞風速で基準化したものである。

模型の高さ D を基準にしたコンター図において、おおまかな分布形状は各 B/D で差異が見られず、軸方向流の特性は高さ D で整理できることが明らかとなった。従って、軸方向流れの分布ならびに強弱だけでは傾斜矩形断面のギャロッピングの不安定性は説明することができない。しかし、前述の幾何学的な断面辺長比の変化に加えて、この軸方向流れの効果により剥離流れが模型軸方向に曲げられると考えられ、見かけの断面辺長比がさらに大きくなることから、ギャロッピング特性の説明が可能になると思われる。

4. 結論

角柱において、水平偏角をつけることでギャロッピングに対して安定化・不安定化するケースがあること

が確認された。その理由として、傾斜することによって見かけの断面辺長比が大きくなること、さらに、軸方向流れをはじめとする物体背後の 3 次元的な流れによってその効果が助長されることが考えられる。

ただし、ギャロッピング不安定性が表れている断面においても空気力の非定常性が強く表れているケースもあり、今後非定常な空力特性についてより詳細な検討を加える必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 八木知己, 新庄皓平, 岡本健吾, 白土博通, 非定常空気力と流れ場に基づいた斜張橋傾斜ケーブルのギャロッピング発生機構に関する研究, 第 22 回風工学シンポジウム論文集, 2012 年, pp.257-262

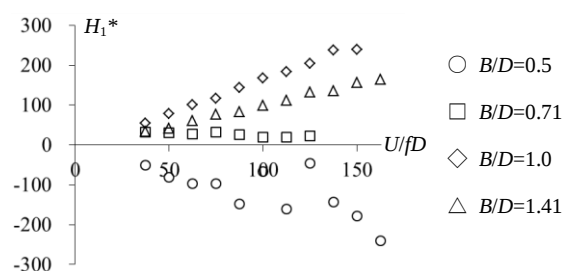


図 4 非定常空気力係数 H_1^* ($\beta=0^\circ$)

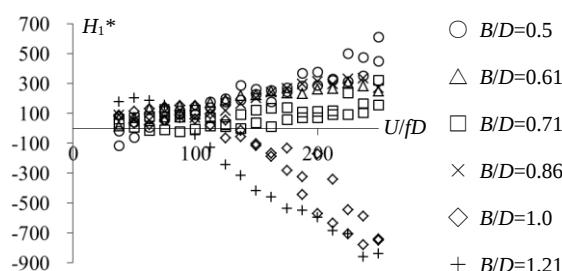


図 5 非定常空気力係数 H_1^* ($\beta=45^\circ$)

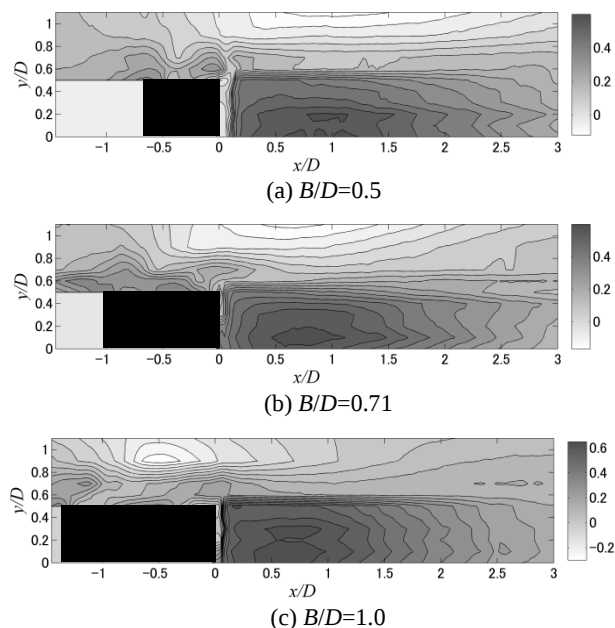


図 6 軸方向流れコンター図