

表面圧力に基づいた側面に開口部を有する矩形柱のギャロップピン不安定性に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○山本 宗一郎 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 非会員 王 嘉奇 株式会社 IHI (元京都大学学生) 非会員 市川 英和
 京都大学大学院工学研究科 正会員 野口 恭平

1. 背景

橋梁の施工の容易化・軽量化が図られる中、橋桁側面に開口部を有するバタフライウェブ橋が提案された。既往研究¹⁾より、従来の箱桁橋と比べ空力振動が抑制されることが報告されているが、これまでの研究では、開口部の有無にのみ着目しており、開口部形状の変化が空力振動現象に及ぼす影響については検討されていない。本研究では、矩形柱側面に任意の開口部形状を設けることで、側面開口部の形状変化がギャロッピング不安定性に及ぼす影響とそのメカニズムの解明を目的に風洞実験を行い、表面圧力から考察を行った。

2. 実験概要

側面に開口部を有し、矩形型プレートを用いて任意に開口部形状を変化させることが出来る模型（図1参照）を使用した。また、ギャロッピングに着目するため、開口部を全て閉じた際、ギャロッピングが発現する

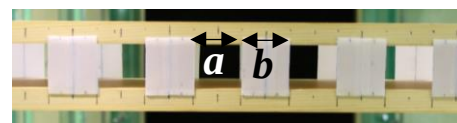


図1 矩形柱模型（OR = 0.5）

可能性のある断面辺長比 B/D である、 $B/D = 2$ （幅員 $B = 140\text{mm}$ ，高さ $D = 70\text{mm}$ ）を選択した。開口部形状を決めるパラメータとして、開口部面積率 Opening area Ratio (OR) を $OR = a / (a + b)$ で定義した。（ a ：開口部スパン方向長さ[m]， b ：閉塞部スパン方向長さ[m]）尚、スパン方向に直交して開口部また閉塞部を通る断面をそれぞれ開口部断面、閉塞部断面と呼ぶ。側面開口部の形状変化がギャロッピング不安定性に及ぼす影響とそのメカニズムの解明を目的に非定常空気力測定実験（鉛直方向加振倍振幅 10 mm，加振振動数 2.6 Hz），静的空気力測定実験及び圧力測定実験を行った。

3. 実験結果及び考察

非定常空気力測定実験及び静的空気力測定実験の結果を図2に示す。ギャロッピング発現風速より高無次元風速域での励振力の大きさを示す非定常空気力係数 H_1^* の正の値の大きさに着目すると、 $0 \leq OR \leq 0.75$ の範囲では、OR が大きくなるほど H_1^* の値は大きくなり、OR = 0.75 で最大値をとった後、次第に H_1^* の値は小さくなった。また、静的空気力測定実験結果から準定常理論

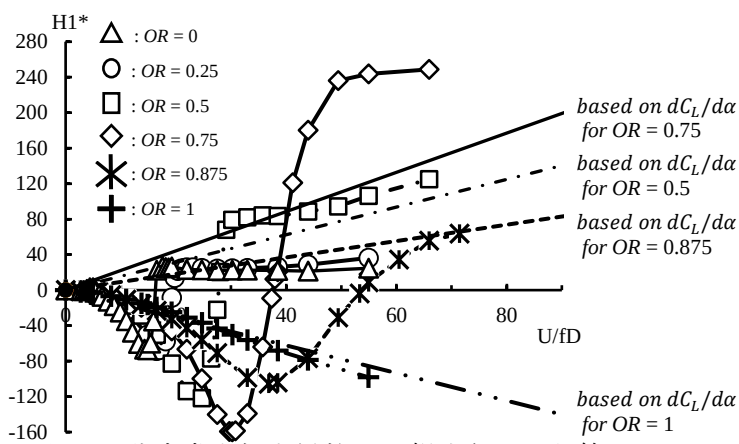


図2 非定常空気力係数 H_1^* と揚力勾配から算出した H_1^*

（ $dC_L/d\alpha$ ）をもとに算出した H_1^* と非定常空気力測定実験から算出した H_1^* は、高無次元風速域で概ね一致することから、側面に開口部を有する矩形断面においても、静的空気力を用いてギャロッピング発現現象を推定できると考えられる。そこで、ギャロッピングの励振力についてより詳細に検証するため、静止模型で圧力測定実験を行い、図3に示す圧力点ごとの平均圧力係数を求めた。

まず、迎角 1° における $OR = 0.875$ と $OR = 1$ の桁内部における圧力分布を図4に示す。迎角を有する場合、 $OR = 1$ では、桁内部の上下面の圧力分布に差がみられるが、 $OR = 0.875$ のように閉塞部がある場合、他の OR でも同様に、桁内部の圧力分布に上下差は見られなかった。これは、上流側開口部に配置されたプレートの側面から剥離する流れによって、桁内部の流れが鉛直方向に一様化されることが原因と考えられる。このことから、 $OR = 1$ 以外では模型全体の空力安定性を議論する場合、桁外部の上下面の圧力差のみを考えればよいこ

キーワード バタフライウェブ橋，側面開口部，ギャロッピング，圧力

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻 Tel 075-383-3170

とが分かった。次に、 $OR=0.5$ の開口部断面と閉塞部断面における桁外部の圧力分布図を図5に示す。他の OR でも同様に、両断面で圧力分布に差は見られないことから、スパン方向の桁外部の圧力分布は一様であると考えられる。これ以降では、開口部断面について議論していく。図6に迎角 0° の開口部断面での各 OR における圧力分布を示す。 OR が大きいほど、桁を抜ける流れが速くなることで、剥離せん断層が桁後縁に近づく。そのため、桁前縁では剥離せん断層の曲率が大きくなり圧力低下が生じ、桁後縁部では、剥離せん断層の再付着が促進されるため、圧力回復が生じると考えられる。図7に迎角 1° での各 OR における圧力分布を示す。 $0 \leq OR \leq 0.75$ の範囲では、 OR が大きいほど桁外部の上下面の圧力差は大きくなる。これは OR が大きいほど、迎角 0° で剥離せん断層が模型表面により近づくため、迎角 0° から 1° に変化した際、下面では、剥離せん断層の曲率増大による圧力低下、上面では、剥離せん断層が桁から遠ざかることによる圧力回復がより大きくなるためと考えられる。その結果、 $0 \leq OR \leq 0.75$ の範囲では、 OR が大きいほど、ギャロッピングの励振力は大きくなった。一方、 $OR = 0.875$ の迎角 0° での剥離せん断層は $OR = 0.75$ と比較して模型表面にさらに接近することで、圧力回復がさらに前縁側から生じる。その結果、迎角 0° から 1° に変化した際、上面での圧力回復と下面での圧力低下は発生するが、下面後縁付近での圧力回復がより大きく作用することで、後縁付近の上下面の圧力差がギャロッピングの励振力に寄与しなくなる。その結果、 $OR = 0.875$ は $OR = 0.75$ と比較してギャロッピングの励振力が小さくなったと考えられる。

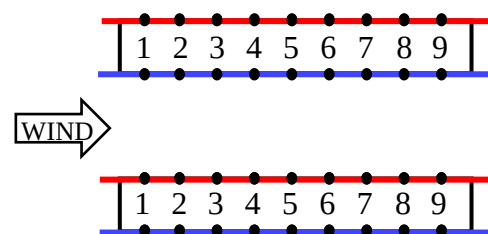


図3 圧力計測点

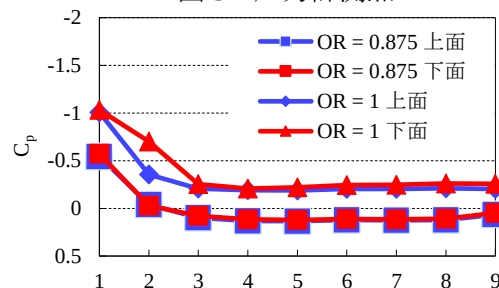


図4 桁外部と桁内部の時間平均圧力分布

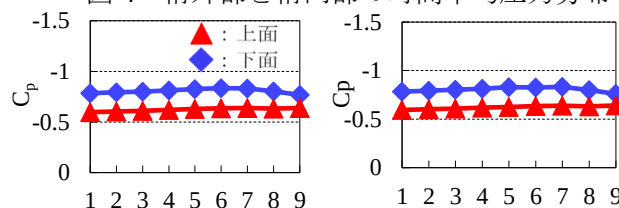
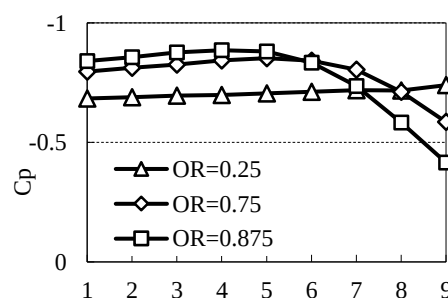
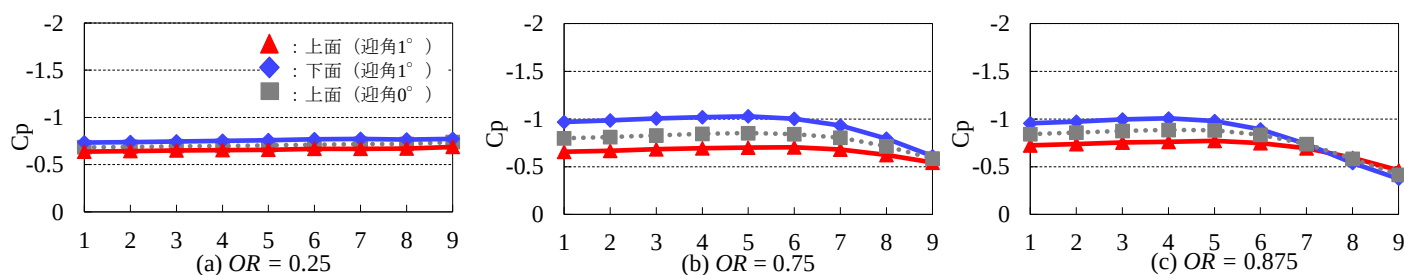


図5 閉塞部断面と開口部断面の時間平均圧力分布

図6 迎角 0° における各 OR の圧力分布図7 迎角 1° における各 OR の圧力分布

4. 結論

- 1) 桁内部の上下面の時間平均圧力分布の差は小さく、ギャロッピングの励振力に寄与しないことが明らかとなった。これは、鉛直方向に配置された模型前面のプレートからの剥離流れにより、桁内部の流れが鉛直方向に一様化されているためと考えられる。
- 2) $0 \leq$ 開口部面積率 $OR \leq 0.75$ の範囲では、 OR が大きいほど、桁内部を抜ける流れが速くなることで、剥離せん断層が桁後縁に近づくため、ギャロッピングの励振力が大きくなったと考えられる。また、 $OR = 0.875$ では、下面後縁付近において、剥離せん断層の再付着が促進されることで圧力回復がより顕著となるため、ギャロッピングの励振力が弱くなることが圧力計測から明らかとなった。

参考文献 1) Wang et al. Wind and Structures, Volume 30, Number 2, February 2020, pages 119-131