

側面に開口部を有する矩形柱の空力特性と流れ場に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○市川 英和
 京都大学大学院工学研究科 正会員 八木 知己
 日本航空（元京都大学学生）非会員 潮田 潤

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 非会員 王 嘉奇
 京都大学大学院工学研究科 正会員 野口 恭平

1. 背景

近年の橋梁の長大化に伴い、軽量かつ高強度な橋桁が要求される中、バタフライウェブ橋という新しい構造の橋梁が提案された。バタフライウェブ橋は、側面に開口部を有するため、従来の橋桁橋と比べ空力振動が抑制されることが知られている¹⁾が、未だそのメカニズムは解明されていない。また、これまでの研究では、開口部の有無にのみ着目されており、開口部の形状が空力特性に与える影響については十分に検討されていない。そこで、本研究では、模型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もたらす空力特性と、そのメカニズムを解明することを目的として風洞実験を行い、模型に作用する空気力や流れ場形状から考察を行った。

2. 実験概要

本研究では、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。なお、側面開口部によるギャロッピング不安定性の解明が本研究目的の一つであるため、ギャロッピングが発現しうる断面である、断面辺長比 $B/D = 2$ を選択した。また、開口部形状を一意的に決めるパラメータとして、開口部面積比率 Opening area Ratio (OR) を $OR = a / (a + b)$ で定義した。ただし、図-1 に示すように a : 開口部スパン方向長さ[m]、 b : 閉塞部スパン方向長さ[m]である。

上記のパラメータが空力特性に及ぼす影響を検証するため、まず鉛直一自由度ばね支持自由振動実験、非常空空気力測定実験、静的空気力測定実験を行った。更に、得られた空力特性のメカニズムを流れ場の観点から検証するため、流れの可視化実験及び PIV 解析を行った。

3. 実験結果及び考察

図-2 に $OR = 0, 0.25, 0.75$ の3 ケースの鉛直一自由度ばね支持自由振動実験の結果を示す。横軸に無次元風速、縦軸に無次元倍振幅をとり、定常状態での振幅を算出した。無次元風速 $U/fD = 3$ 付近で渦励振が確認できるが、その発現風速の値から自己励起型渦励振と考えられ、その最大振幅は、 OR が大きくなるほど減少傾向を示すことが分かった。またギャロッピングの発現風速に関しては、 OR が大きくなるほど、高無次元風速側へと移動する傾向を示した。以上より、側面開口部の形状は空力特性に影響を与えることが明らかとなった。

続いて、側面開口部の形状変化とギャロッピングとの関係を空気力の観点から検証するため、非常空空気力測定実験を行い、非常空空気力係数 H_1^* を算出した（図-3）。ギャロッピング発現風速である H_1^* が負から正に転じるときの無次元風速の値に着目すると、 OR が大きくなるほど、高無次元風速側へと移動することが分かった。次にギャロッピングの励振力を表す、ギャロッピング発現風速以降の H_1^* の値の大きさについて着目すると、 $0 \leq OR \leq 0.75$ の範囲では、 OR が大きく

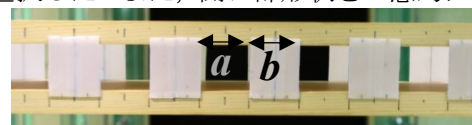


図-1 矩形柱模型

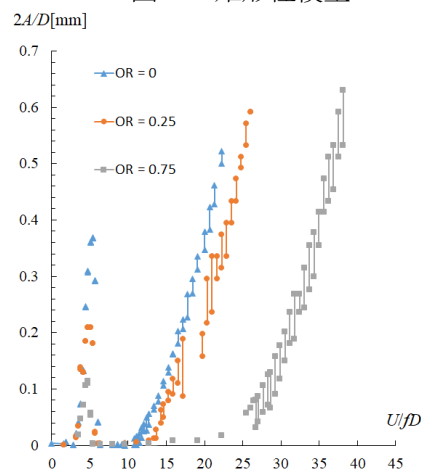


図-2 風速応答振動図

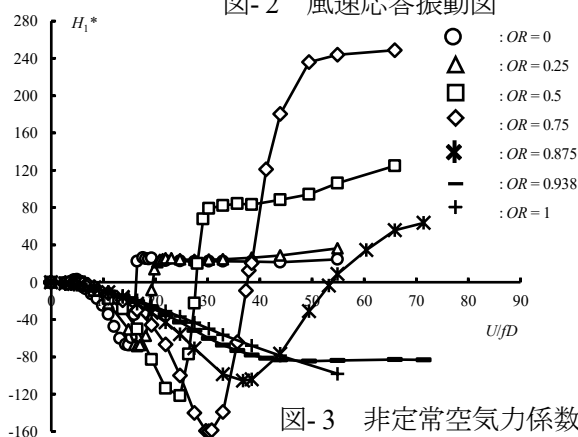


図-3 非常空空気力係数

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、流れ場

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 075-383-3244

なるほど H_1^* の値が大きくなり、 $OR=0.75$ で最大値をとる。その後、 $0.875 \leq OR \leq 1$ の範囲では、 OR が大なるほど H_1^* の値が小さくなる傾向が明らかとなった。

続いて、以上の一連の風洞実験より得たギャロッピング発現風速の変化について検証するため、静的空気力測定実験を行い、カルマン渦型渦励振の発現無次元風速 $1/St$ を算出した。各 OR のケースに対する $1/St$ の結果を図-4に示す。 OR が大きくなるほど $1/St$ の値が大きくなることから、一般に、ギャロッピングが発現する矩形柱では、カルマン渦が矩形柱の振動に同期する周波数で放出される $1/St$ の風速付近において、カルマン渦によりギャロッピングが抑制されることが知られている²⁾。本研究で対象とした側面に開口部を有する模型においても、矩形柱と同様に、 $1/St$ の風速付近でギャロッピングが抑制されていると考えられる。以上より、 OR が大きくなると、 $1/St$ の値が大きくなり、 $1/St$ の風速付近ではギャロッピングが抑制されることから、ギャロッピングの発現風速が高風速側へ移動すると考えられる。また、図-4に示す $1/St$ の値の推移は、 B/D が大きくなる場合の $1/St$ の値の推移とよく似ていることが分かった。

次に、非定常空気力測定実験より得たギャロッピング発現以降の励振力の変化について検証するため、可視化実験および PIV 解析を行った。本実験では、模型スパン方向中央に位置する開口部について、その中央に流下方向に平行な鉛直面を設けて撮影を行った。この断面での静止状態における、各 OR に対する剥離流れの時間平均流線図の結果を図-5に示す。 OR が大きくなるほど桁前縁からの剥離流れの時間平均流線が桁後縁に接近し、 $OR=0.875$ で桁表面に再付着していることが確認できる。結果より、流れ場の観点からも OR が大きくなることは B/D が大きくなることに類似していることが分かった。溝田ら³⁾によると、剥離流れの形状により圧力回復の大きさが変動し、矩形柱に作用する空気力の大きさが変動する。したがって、 OR が大きくなると時間平均の剥離流れがより桁後縁に接近することから、動的な状態において運動方向に対して反対側の桁表面で、より大きな圧力回復が生じ、その結果、ギャロッピングの励振力が大きくなったと思われる。その一方で、 $OR=0.875$ の開口部断面においては、剥離流れが時間平均的に桁表面に再付着していることから、動的な状態において、運動方向側の桁表面で圧力回復が生じ、その結果、 $OR=0.75$ と比較してギャロッピング発現以降の励振力が弱まったと考えられる。

4. 結論

1. 開口部面積比率 OR が大きくなることは、 St の値の変化と流れ場の変化から、見かけの断面辺長比 B/D が大きくなることに類似しており、その結果、 $1/St$ の値も大きくなり、ギャロッピングの発現風速が高風速側へ移動することが明らかとなった。
2. $0 \leq OR \leq 0.75$ 範囲では、 OR が大きくなるほど、時間平均の剥離流れが桁後縁に接近し、その結果ギャロッピングの励振力が大きくなると考えられる。 $OR=0.875$ になると、開口部断面では、時間平均の剥離流れが桁表面に再付着することから、桁全体での空気力を考えると、ギャロッピングの励振力が弱くなると考えられる。

参考文献

- 1) 王ら：日本風工学会平成 29 年度年次研究発表会梗概集，2017，pp179-180
- 2) 堀：京都大学大学院工学研究科，博士論文，2007
- 3) 溝田ら：土木学会論文報告集，vol.312，1981，pp39-47

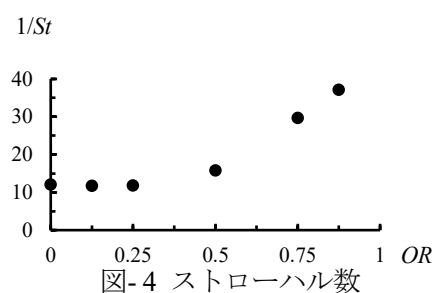
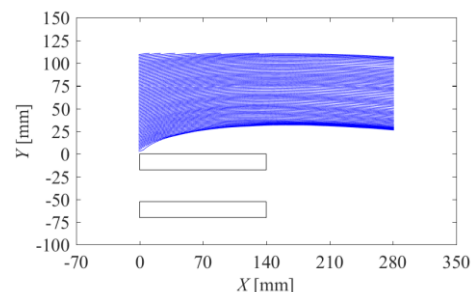
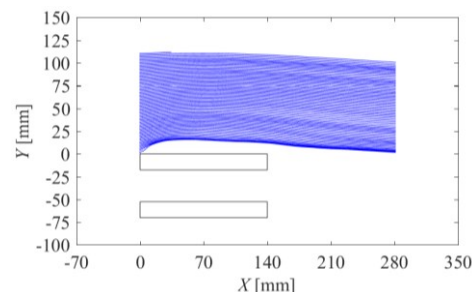


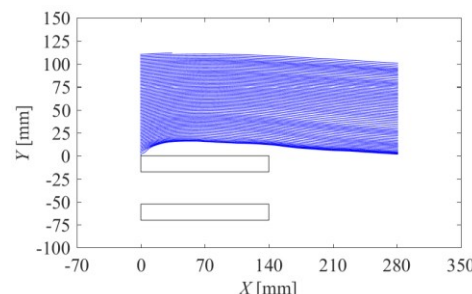
図-4 ストローハル数



(a) $OR = 0.25$



(b) $OR = 0.75$



(c) $OR = 0.875$

図-5 開口部断面における剥離流れの時間平均流線図