側面開口部を設けた矩形断面柱の空力特性に関する研究

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	学生員	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,橋梁の長大化に伴い橋桁の軽量化が要請され ており,橋桁側面に開口部を持つバタフライウェブ橋 が提案された.既往の研究^{1),2)}から,側面開口部を有す る断面では閉断面と比べて空力振動が抑制されること が示されている.しかし,開口部形状が空力特性に与え る影響とそのメカニズムについては十分な検討がなさ れていない.そこで本研究では,より基本的な形状であ る断面辺長比 *B/D=2*の矩形柱を用い,矩形側面に種々 の開口部を設けることで,開口部形状と空力特性との 関係を風洞実験により検証した.

2. 実験概要

風洞実験は、B/D=8の矩形柱が上下に2つ並列配置 された木製模型を用いて行い、図-1に示すように、ア クリル板プレートを装着することで開口部形状を変化 させることが可能となっている。開口部を完全に塞ぐ とB/D=2の矩形柱となり、このとき模型は幅B=140mm、 高さD=70mm、長さL=900mmとなる。なお、自己励起 型渦励振とカルマン渦型渦励振の発現無次元風速が明 確に分かれ、かつギャロッピングが発現しうる断面と して B/D=2 とした。開口部形状を決定するパラメータ として開口部面積比率 Opening area Ratio (OR)と開口部 と閉塞部の繰り返し数 Repeating Element size Ratio (RER)を定義した。

$$OR = \frac{S_1}{S_1 + S_2}$$
, $RER = \frac{a+b}{D_0}$ (1)

ここで、*S_I*:開口部面積[m²]、*S₂*:閉塞部面積[m²]、*a*:開口部スパン方向長さ[m],*b*:閉塞部スパン方向長さ[m], *D₀*:開口部高さ[m]である.ORが大きいほど開口部面積は大きくなり、OR=1の場合は*B/D*=8の矩形柱が上下に2つ並ぶ状態となる.また、RERが大きいほど開口部と閉塞部の繰り返し数は小さくなる.したがって、RERが小さい方が開口部の繰り返し数が多く、より正確な実験結果となると考えられることからRER=1.07

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	潮田	潤





とし, OR の変化が矩形柱の空力特性に与える影響を調 べるため, 鉛直 1 自由度弾性支持自由振動実験, 静的 空気力測定実験, 非定常空気力測定実験を行った. 非定 常揚力 L (下向き正) に関する非定常空気力係数は以下 のように定義する³⁾.

$$L = \frac{1}{2}\rho(2b)U^{2}\left\{kH_{1}^{*}\frac{\dot{\eta}}{U} + kH_{2}^{*}\frac{b\dot{\varphi}}{U} + k^{2}H_{3}^{*}\varphi + k^{2}H_{4}^{*}\frac{\eta}{b}\right\}$$
(2)

ここで, η :鉛直方向変位[m], φ :ねじれ方向変位[rad], ρ :空気密度[kg/m³],U:風速[m/s],b:模型幅半分[m], k:換算振動数(= $b\omega/U$), ω :加振角振動数[rad/s]である.

3. 実験結果及び考察

側面開口部を完全に閉塞した OR=0 の模型と,完全 に開口した OR=1 の模型のたわみ応答図を図-2 に示す. OR=1 では渦励振とギャロッピングがともに抑制され たことがわかる. OR=0 で発現した渦励振は,その発現 無次元風速から自己励起型渦励振と考えられる. OR の 変化とギャロッピングについてより詳しく検証するた め,静的空気力測定実験と非定常空気力測定実験を行

キーワード 側面開口部, ギャロッピング, 非定常空気力係数, バタフライウェブ橋 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



った. 図-3には, 各 OR における非定常空気力係数 H/* を示す.この図から,ORの増加に従ってH1*が正に転 じる風速が高風速側へと移動することが明らかとなっ た. さらに, OR=1 の場合は今回計測した最大の風速(無 次元風速 60 程度)において H₁*は負の値を示し、ギャ ロッピングが発現しない結果となった.また,静的空気 力測定実験から得られた揚力を用いてストローハル数 St (= $f_s D/U$, f_s : カルマン渦放出周波数) を算出したも のを図-4に示す. ただし, OR=1のケースでは卓越する 周波数成分がみられなかったため St を算出することは できなかった. この図から, OR が大きくなるにつれて St の値は小さくなり、カルマン渦型渦励振発現無次元 風速である 1/St が大きくなることが示された. カルマ ン渦はギャロッピングの発現を抑制する役割があるた め、1/Stが大きくなり高風速域までカルマン渦の影響を 受けることによりギャロッピングの発現風速が高風速 側へと移動することが明らかとなった.また,矩形断面 の St は B/D=2.8 以下では B/D の増加とともに小さくな る⁴⁾ため,開口部面積が大きくなることは見かけの B/D の増加を意味すると考えられる.

また、図-3 から、ギャロッピング発現風速以降の高 風速域における *H*₁*の値が、OR が 0.75 以下では OR の 増加とともに単調増加し、OR が 0.75 を超えると減少 する傾向がみられ、OR=1 では常に負の値をとることが 示された.したがって、高風速域においては OR=0.75 が 最も不安定化しているといえる.ギャロッピングは準 定常的な現象であるが、図-5 に示すように負の揚力係 数勾配-dC₁/dαの値が OR=0.75 で最大となっており、そ の値を用いて次の式で算出される *H*₁*からも高風速域



において最も不安定化していることがわかる.

$$H_1^* = -\frac{1}{k} \frac{dC_L}{d\alpha} \tag{3}$$

ただし, OR=0.75 で *H*₁*が最大となるメカニズムは今後検討する必要がある.

以上のことから, ギャロッピング発現風速について は OR の増加に伴い安定化する一方, OR=0.75 の場合 にギャロッピング発現風速以降の高風速域における励 振力が最大となることが示され, 今回対象とした側面 開口部を設けた矩形柱においては, ギャロッピング発 現風速と, 発現以降の励振力とが別の変量であること が顕著であるといえる.

4. 結論

- ギャロッピング発現風速は開口部面積比率 OR が 大きいほど高風速側へと移動した一方で、その後 の高風速域における励振力は OR=0.75 で最も大き くなることが明らかとなり、それぞれが別の変量 であることが顕著に示された。
- ORの増加に伴いストローハル数 St が小さくなり、 カルマン渦がより高風速域まで干渉することによ ってギャロッピング発現風速が高風速側へと移動 することが明らかとなった。

参考文献

 1) 永元ら: 土木学会第 71 回年次学術講演会講演会概要集, 17-18, 2016.
2) 王ら:日本風工学会平成 29 年次研究発表会梗概集, 179-180, 2017.
3) Scanlan and Tomko: J. Engineering Mechanics Division Proceeding of the American Society of Civil Engineers, 1717-1737, 1971.
4) 八木ら:構造工学論文集, vol.59, 552-561, 2013.