2022年度土木学会関西支部年次学術講演会

第I部門 角部の形状変化が矩形柱のギャロッピングの発現機構に及ぼす影響

京都大学	学生員(○京谷	麟太郎	京都大学	正会員	八木 知己
京都大学	正会員	野口	恭平	京都大学	学生員	Thinzar Hnin
京都大学	非会員	Manoj	Pradhan			

1. 研究目的 矩形断面においてギャロッピングの発生機構にカルマン渦が密接に関係することが知られている. 橋梁の主塔や高層構造物には断面辺長比の小さい矩形断面が採用されており,ギャロッピングに対して不安定な 形状である.本研究では,断面辺長比 *B/D*=1.5(*B*:幅,*D*:高さ)の矩形断面の角部形状の変化によって剥離流 れを変化させ,空力特性への影響や鉛直たわみ1自由度系における空力不安定振動であるギャロッピング発現機

構に対するカルマン渦の影響のメカニズムを解明するこ とを目的とした.

2. 実験概要 図1に示すように *B/D*=1.5(*B*=135mm, *D*=90mm,長さ*l*=894mm)の基本となるモデルに,異な る角部形状部品を取り付けることで7つの断面で実験を 行った.矩形断面 Rectangular の角部への隅切りの大きさ は,ギャロッピングの発現風速を高風速に移動させるの に有効とされている 3*D*/18 を採用した¹⁾.正方形の隅切 りの大きさを Single Recession から小さくしていき,隅切

りがない面取り断面 Chamfer まで変化させて影響を調べた.また,前縁での 剥離点の位置によっても流れ場に影響を与えると考え,Double Recession か ら剥離点を前後させた Double Recession II, III を採用した.これらの形状変化 の影響を調べるため,風洞実験を行った.静的空気力測定実験より,カルマ ン渦放出周波数強度を表す C'_{Fy} とカルマン渦放出周波数を無次元化した St 数が得られた(f_s :カルマン渦放出周波数[Hz], C'_{Fy} :変動揚力係数, $F_{y_{std}}$:

揚力の標準偏差[N], U: 接近流風速[m/s], ρ : 空気密度 [kg/m³]). また,非定常空気力測定実験から,ギャロッピ ングに関する空力減衰 H_1^* を算出した (L_η : 単位スパン長 あたりの非定常揚力の振幅[N/m], $\Psi_{L\eta}$: 鉛直たわみ変 位と揚力の位相差[rad]).

3. ギャロッピングの発現風速への影響 図2の自由振動応答より,構造減衰を示す無次元量であるスクルートン数が小さい時, Rectangular においては無次元風速 1/Stからギャロッピングが発生するように見える. これは B/D=1.5の矩形断面では渦励振とギャロッピングが連続的に起こるためであることが分かっている²⁾. また,カルマン渦放出強度C'_{Fy}も Rectangular が最も大きく,角部



図1 本研究で使用する模型

$$C'_{Fy} = \frac{F_{y_{std}}}{\frac{1}{2}\rho U^2 BL} \tag{1}$$

$$S_t = \frac{f_s D}{U} \tag{2}$$

$$H_1^* = -\frac{L_\eta \sin \Psi_{L\eta}}{\rho b^2 \omega^2 \eta_0} \tag{3}$$



の形状変化によって 1/2 以下に抑えている.一般的には矩形断面においてカルマン渦の影響が強い領域ではギャロ ッピングは発現しないことが知られている³⁾.したがって,角部の形状変化によってカルマン渦強度が弱まり,1/St が低風速側に移動したため,ギャロッピングの発現風速は低風速側に移動すると考えられた.しかし,実際は高

Rintaro KYOTANI, Tomomi YAGI, Kyohei NOGUCHI, Thinzar HNIN and Manoj PRADHAN kyotani.rintaro.28a@st.kyoto-u.ac.jp

口頭 I - 14

風速側に移動することが確認された. これは図3の非定 常空気力測定実験からも同様の結果が得られた. 空力減 衰H₁*が負から正に変わる無次元風速においてギャロッ ピングが発現すると考えられている. このメカニズムを 図4に示すようにカルマン渦放出強度C'rvの異なる3つの 断面から考察する.

-20 4. ギャロッピングの発現風速におけるカルマン渦の影 カルマン渦のように物体上下面からの剥離流れが互 -40 いに干渉し、発生するものは2せん断層不安定性、自己 -60 励起渦のように物体自身の振動によって物体上下面から それぞれ独立に発生する渦は1 せん断層不安定性による ものとされている.図5,6に非定常空気力測定実験の2.6Hzにおけ る $2\eta_0 = 0.3D$ の揚力振幅と位相の関係を示す. Rectangular のよう にカルマン渦放出強度が強い断面では2 せん断層不安定性の影響 が強く、無次元風速 1/St を過ぎるとすぐに渦の影響が消え、位相 が変化し、ギャロッピングが発現する. Triple Recession のように カルマン渦放出強度が Rectangular の半分程度の断面では、1/St ま では1せん断層不安定性の影響が強くなり、2せん断層不安定性と の干渉が起きていると考えられる. 1/St を過ぎると Rectangular に 比べ、渦の影響がわずかに高風速まで残っているが、2 せん断層不 安定性の影響により揚力振幅と位相が急に変化している. Single Recession のようにカルマン渦放出強度が最も小さい断面では、1 せん断層不安定性の影響が支配的になり、より高風速まで渦の影 響が残ることでギャロッピングの発現風速がさらに高風速に移動 している.この結果は B/D=2 矩形断面の後流にスプリッタープレ ートを入れることでカルマン渦を抑制したときに自己励起型渦の 影響によってギャロッピングの発現風速が高風速に移動する結果 と一致した⁴⁾. このように2 せん断層不安定性が抑制された際,1 せん断層不安定性がギャロッピングに干渉することで発現風速を 高風速にしていることが明らかになった.

5. 結論 矩形断面の角部の形状変化によってカルマン渦を抑え る効果が見られたにも関わらず、ギャロッピングの発現風速は高 風速側に移動した. この原因は2 せん断層不安定性が抑制された 場合,1せん断層不安定性が増幅され、ギャロッピングと干渉する ためであることが判明した.

参考文献

1) 白石ら:隅切りによる矩形断面の空力安定化効果,第9回風工

学シンポジウム論文集, 193-198, 1986. 2) Mannini et al.: Interference of vortex-induced vibration and transverse galloping for a rectangular cylinder, Journal of Fluids and structures, Vol.66, 403-423, 2016. 3) Matsumoto et al. : Karman vortex effect on the aerodynamic forces to rectangular cylinders. American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division (Publication) PVP, 307-316, 2006.

4) 八木ら: 矩形断面のギャロッピング不安定性と渦放出の関係について,構造工学論文集 Vol.59A, 552-561, 2013.





変動揚力係数 C'_{Fv} 図4



³⁰ $2\eta_0 = 0.3D$ の位相 図 6

40

50

60

20

-180

0

10