

角部の形状変化による矩形断面のギャロッピングと渦放出への影響

京都大学 学生員 ○京谷 麟太郎
 京都大学 正会員 野口 恭平
 京都大学 非会員 Manoj Pradhan

京都大学 正会員 八木 知己
 京都大学 学生員 Thinzar Hnin

1. 目的 矩形断面において発生するギャロッピングに対してはカルマン渦が強く影響することが知られている。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 自由度空力不安定振動であるギャロッピングと渦放出の関係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 $B/D=1.5$ ($B=135\text{mm}$, $D=90\text{mm}$, 長さ $l=894\text{mm}$) 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(R)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側に移動させるのに有効とされている $3D/18$ を採用した¹⁾。正方形の隅切りの大きさを Single Recession(SR)から小さくしていき、隅切りが無い面取り断面 Chamfer(C)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(DR)から剥離点を前後させた Double Recession II, III(DR2, DR3)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から、カルマン渦放出周波数強度を表す $C'_{Fy} (= F_{ystd}/(0.5\rho U^2 BL))$ とストローハル数 $St (= f_s D/U)$ 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_{ystd} : 揚力の標準偏差[N], U : 接近流風速[m/s], ρ : 空気密度[kg/m³])。自由振動実験では矩形断面の等価質量は 3.47kg/m 、固有振動数は 6.44Hz 、対数減衰率 δ_η ($2A=2\text{mm}$) は 0.0085 となり、その他の角部形状を変化させた断面は等価質量が 6.82kg/m 、固有振動数は 4.59Hz 、対数減衰率は 0.0043 となった。また、強制加振による非定常空気力測定実験から各無次元風速における空力減衰 $H_1^* (= -(L_\eta \sin \Psi_{L\eta})/(\rho b^2 \omega^2 \eta_0))$ 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

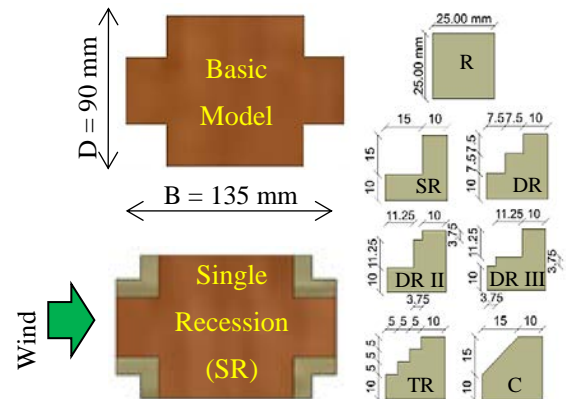


図 1 本研究で使用する模型

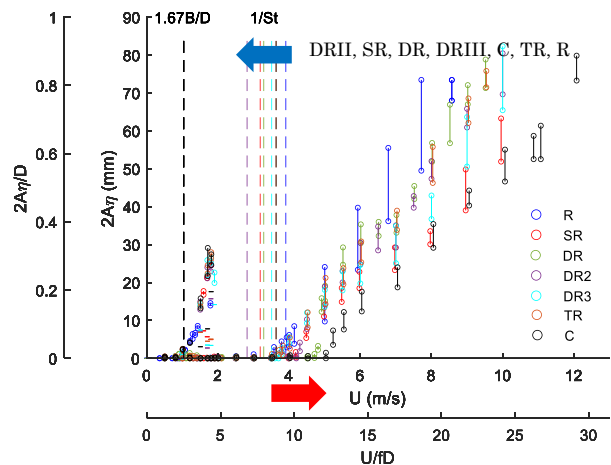


図 2 $Sc=6$ の自由振動応答

動応答より、構造減衰が小さい時、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、図 3 に示すように角部に形状変化を加えた断面では、カルマン渦放出強度 C'_{Fy} は Rectangular の $1/2$ 以下に抑えており、 St 数は Rectangular よりも増加している。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、実際は高風速側に移動すること

キーワード 矩形断面, ギャロッピング, カルマン渦, 自己励起渦
 連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 Tel 075-383-3170

が確認された。これは図4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 H_1^* 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。このメカニズムをカルマン渦放出強度 C_{Fy}' の異なる3つの断面から考察する。

4. ギャロッピング発現風速におけるカルマン渦の影響

カルマン渦のように物体上下面からの剥離流れが互いに干渉し、発生するものは2せん断層不安定性、自己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とされている。図5,6に非定常空気力測定実験の加振倍振幅 $2\eta_0 = 0.3D$ 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变化する。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側に移動する。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が大きくな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：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, JFS, Vol.66, 403-423, 2016。 3) Matsumoto et al. :

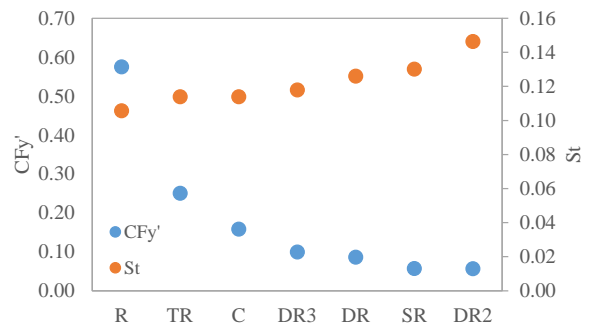


図3 カルマン渦に関する実験結果

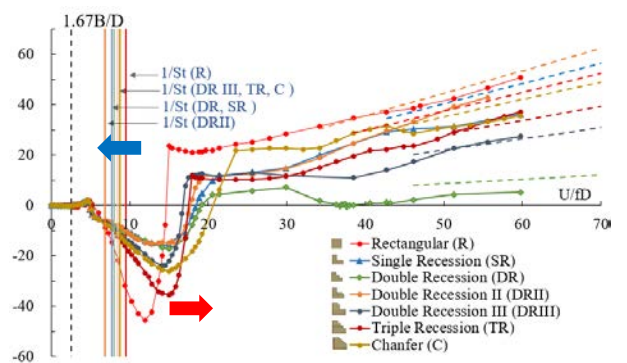


図4 非定常空気力測定実験結果

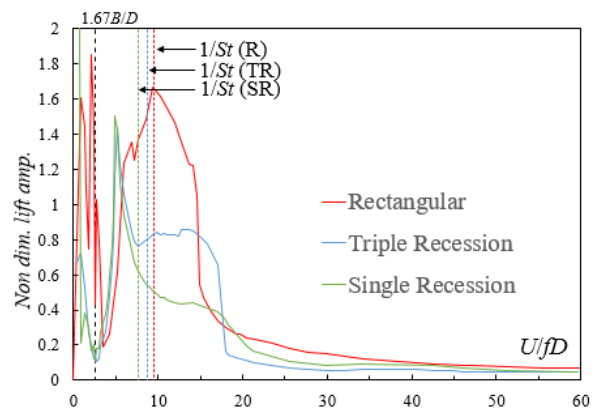


図5 $2\eta_0 = 0.3D$ の揚力振幅

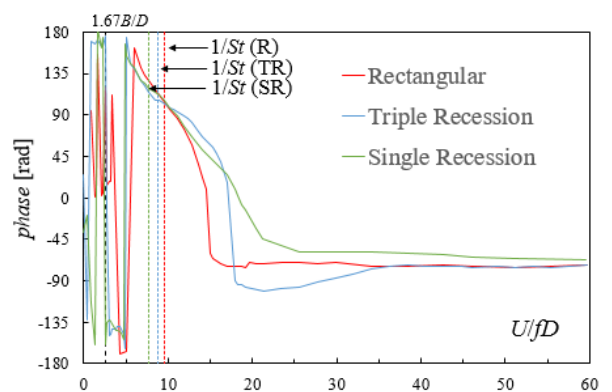


図6 $2\eta_0 = 0.3D$ の位相

Karman vortex effect on the aerodynamic forces to rectangular cylinders. ASME, 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。