

第 I 部門 Bluff Body の空力特性におけるカルマン渦の役割及びギャロッピングとの関係に関する考察

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○中瀬 友之 京都大学大学院工学研究科 フェロー 松本 勝  
 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 堀 高太郎  
 京都大学大学院工学研究科 学生員 川島 由紀 京都大学大学院工学研究科 学生員 橋本 三智雄

1. 序論

構造基本断面は非流線型断面であるため流れが剥離し、渦を放出する。このように断面背後に放出される渦、特にカルマン渦の影響により物体は様々な空力特性と挙動を示す。既往の研究で Matsumoto ら<sup>1)</sup>は、斜張橋ケーブルにおいてカルマン渦放出が抑制された際にギャロッピングに対して不安定になることを指摘している。一方、岡島ら<sup>2)</sup>は流れに対し並列に2つの矩形断面を配置した並列2角柱において、対称な断面であっても定常揚力が発生し非対称流れが生じうることを指摘している。本研究では、カルマン渦抑制と岡島らの指摘する非対称流れに何らかの関係性があると考え、並列2角柱および円柱に対称な微小突起をつけた断面（以下、対称突起付き円柱とよぶ）を対象に、非対称流れを伴う対称断面まわりの流れ場におけるカルマン渦の影響を考察するとともに、カルマン渦とギャロッピング不安定性との関係を明らかにしていく。

2. 並列2角柱の空力特性

Fig.1 に今回用いた並列2角柱断面を示す。本研究では単体角柱は  $B/D=1.28$  となるような模型を用いた。また、静的空気力特性 ( $\alpha=0[\text{deg.}]$ ) を Fig.2 に示す。変動揚力係数  $C_L'$  を見ると、 $S/D=1.0$  以下では  $C_L' \approx 0$  となっていることから、カルマン渦放出が抑制されていると考えられる。またこのとき、揚力係数  $C_L$  が有意な値をとっていることから、非対称流れが生じていることが確認できる。

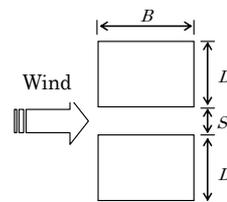


Fig.1 並列2角柱模式図

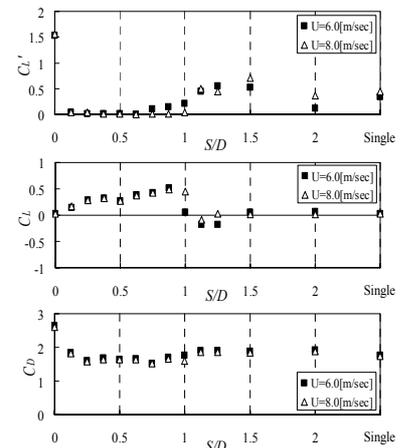


Fig.2 並列2角柱の静的空気力特性 ( $\alpha=0[\text{deg.}]$ )

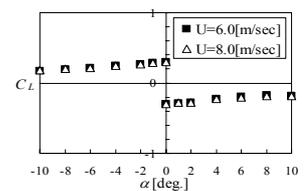


Fig.3  $S/D=0.5$  の空力特性 a) 迎角変化特性

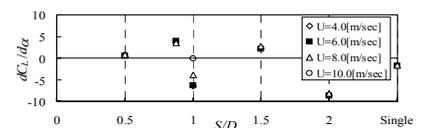


Fig.4 並列2角柱の揚力係数勾配  $dC_L/d\alpha$

またこのとき、揚力係数  $C_L$  が有意な値をとっていることから、非対称流れが生じていることが確認できる。これらのことから、カルマン渦が流れ場を対称にしていると考えられる。また抗力係数  $C_D$  を見ると、 $S/D=1.0$  以下では  $B/D=B/(2D+S)$  と見たとき、Matsumoto ら<sup>3)</sup>の研究におけるスプリッタープレート(S.P.)有りの各種矩形断面と傾向が似ていることから、角柱間隔  $S$  が狭いとき( $S/D=1.0$  以下)には、角柱間からの高速なスリット流 (Gap Flow) が S.P.のような効果を持ち、カルマン渦を抑制していると考えられる。ここで、カルマン渦が抑制されていると考えられる  $S/D=0.5$  の揚力係数の迎角変化特性において、 $\alpha=0[\text{deg.}]$  で不連続になっているのは、定常揚力が発生していることを表す(Fig.3)。このような場合、 $\alpha=0[\text{deg.}]$  まわりの  $dC_L/d\alpha$  は片側極限としては  $dC_L/d\alpha > 0$  であるが、 $dC_L/d\alpha = -\infty$  と見ることもできる。これについてはたわみ1自由度自由振動実験においてギャロッピングが発現しなかったことから、片側極限としての  $dC_L/d\alpha$  による評価が断面まわりの流れ場の空力特性を正しく表現しているといえる。このように評価した揚力係数勾配  $dC_L/d\alpha$  を Fig.4 に示す。  $S/D=0.875$  以下では  $dC_L/d\alpha$  が正となりギャロッピングに対して安定であることが分かる。この理由としては、迎角  $\alpha$  のときのカルマン渦放出が抑制された際の流れである Fundamental Bluff Body Flow (FBBF) が内部循環流の発生や圧力回復などが起こらないほど十分に断面側面から離れているためと考えられる。また、Gap Flow の流速が衰え、カルマン渦が十分に抑制されていないと考えられる  $S/D=1.0$  以上の断面においては角柱間隔  $S$  によって角柱間を流れる

剥離せん断層の干渉具合が異なることよりギャロッピング不安定性が変化すると考えられる (Fig.5). つまり, 並列2角柱では  $S/D=1.0$  以下においてカルマン渦が抑制され, このとき, 断面がギャロッピングに対して安定であるような FBBF が現われると考えられる.

### 3. 対称突起付き円柱の空力特性

本研究で用いた対称突起付き円柱を Fig.6 に示す. また円柱のよどみ点から突起中心までの角度を  $\theta$ [deg.] とし, 図中の  $\theta=0$ [deg.] は突起のない通常の円柱を表すものとする. Fig.7 に静的空気力特性 ( $\alpha=0$ [deg.]) を示す.  $St$  は  $\theta=50$ [deg.] 付近で不連続となり, カルマン渦放出特性が変化していると考えられる. また揚力係数  $C_L$  においては,  $\theta=48\sim 52$ [deg.] 付近で有意な定常揚力が確認される. 並列2角柱での結果を考慮すると, 対称突起がこの位置のときカルマン渦が抑制され, FBBF が流れ場を支配していると考えられる. また Fig.8 より, 最も顕著に定常揚力が発生している  $\theta=50$ [deg.] をピークとして  $\theta=48\sim 58$ [deg.] の範囲で  $dC_L/d\alpha$  が負となりギャロッピングに対して不安定であることが分かる. またこの範囲でギャロッピングが発現することをたわみ1自由度自由振動実験により確認している. ここで,  $\theta=50, 54$ [deg.] の揚力係数の迎角変化特性を Fig.9 に示す.  $\theta=50$ [deg.] では  $\alpha=0$ [deg.] において定常揚力が発生するため不連続になっている. これに対し  $\theta=54$ [deg.] においては  $\alpha=\pm 4\sim 6$ [deg.] の間で特性が不連続に変化していることが分かる. この急激な揚力特性の変化は迎角をつけたことにより一方の突起位置が  $\theta=50$ [deg.] になるところでそれに対応する FBBF の影響が出ていると考えられ, このような影響が断面振動中に表れることでギャロッピングに対して不安定になっていると考えられる. つまり, 対称突起付き円柱では  $\theta=50$ [deg.] 付近においてカルマン渦が抑制され, このとき, 断面がギャロッピングに対して不安定であるような FBBF が現われると考えられる.

### 4. 結論

カルマン渦を抑制すると非対称流れが発生する, つまりカルマン渦は対称断面周りの流れを対称化する役割を持つと考えられる. また, 一般に FBBF は断面をギャロッピングに対してより不安定にすると考えられるが, 各断面においてギャロッピングが発現するか否かは断面形状により異なり, 特に剥離せん断層と断面側面との位置関係によって決定されると考えられる. しかしながら, 断面まわりの流れ場については今後, 圧力試験や可視化実験等による詳細な検討が必要である.

### 参考文献

- 1) M. Matsumoto et al. : Effect of axial flow and Karman vortex interference on dry-state galloping of stay-cables, Proceedings of the Sixth International Symposium on Cable Dynamics, 2005
- 2) 岡島厚 他: 一様流中に置かれた並列2構造物に働く流体力, 第8回風工学シンポジウム論文集, pp.285-290, 1984
- 3) M. Matsumoto et al. : Karman vortex effect on the aerodynamic forces to rectangular cylinders, Proceedings of PVP2006-ICPVT-11, 2006 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference

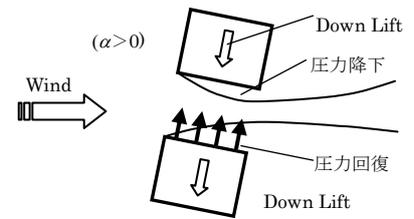


Fig.5 並列2角柱の流れ場の推定 ( $S/D=1.0$ )

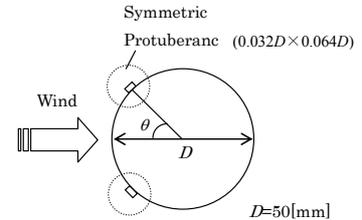


Fig.6 対称突起付き円柱模式図

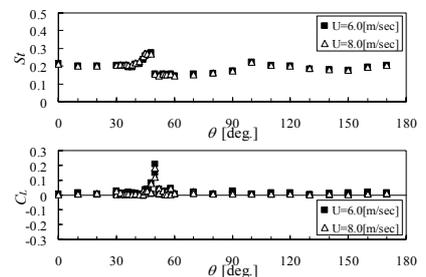


Fig.7 対称突起付き円柱の静的空気力特性 ( $\alpha=0$ [deg.])

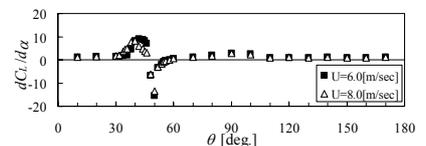


Fig.8 対称突起付き円柱の揚力係数勾配  $dC_L/d\alpha$

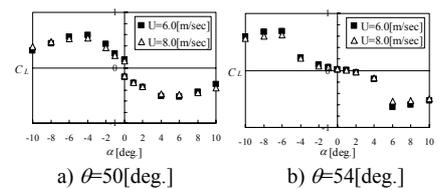


Fig.9  $\theta=50, 54$ [deg.]の揚力係数迎角変化特性