

I-320 直列円柱のウェイクギャロッピング発生機構に関する考察

九州工業大学 工学部 正 員 ○ 久保喜延
九州工業大学 工学部 学生員 前田 博

1. まえがき 鋼斜張橋およびP C斜張橋に関わらず、斜材ケーブルとして、平行線ケーブル方式がかなり用いられるようになってきている。平行線ケーブル方式は、容量の小さいケーブルを用いることができるため、ケーブルの製作、運搬および架設において経済性が計られる。このような理由によって今後も用いられる可能性が高い方式である。しかしながら、平行線ケーブルは渦励振の他に高風速域でのウェイクギャロッピングが発生するために、これまでに架設された斜張橋ではその制振対策が問題となってきた。なお、ケーブルの振動については既に報告書も作成されている¹⁾。ウェイクギャロッピングの発生機構については、Gap flowに着目したものもあるが²⁾、本報告では、著者らのこれまでの実験結果を通して、後流渦に着目した考察を行うものである³⁾。

2. 直列二本円柱の空力弾性応答 Fig. 1に示すように、流れに直列に置かれた二本円柱の上流側円柱を固定し、下流側円柱を上下1自由度のバネ吊り支持として、円柱間距離 S_H を変化させて二次元風洞実験を行った。なお、表面圧力を測定するために、円柱表面の上半分にそれぞれの円柱に9個ずつの圧力測定孔を設けている。実験条件は、円柱直径 $d=50\text{mm}$ 、たわみ固有振動数 $f=8.32\text{Hz}$ 、模型重量 $W=2.9\text{kgf}$ 、対数構造減衰率 $\delta_s=0.0037$ 、スクルートン数 $N_s(2m\delta/\rho D^2)=7.01$ である。下流側円柱の空力弾性応答結果がFig. 2である¹⁾。

○ウェイクギャロッピングの特性 これらの結果によれば、 $S_H \leq 3.5d$ では、 $V_r \geq 20$ あたりのウェイクギャロッピング域で、ハードフラッター的な応答を示すが、 $S_H \geq 4d$ ではソフトフラッター的な応答に変わり、 $S_H \geq 6d$ ではウェイクギャロッピングの応答振幅も小さくなり、 $S_H=8d$ ではウェイクギャロッピングの発生は見られない。

○カルマンの渦列理論による考察 Fig. 3は、Fig. 2の渦励振域での応答図の最大応答振幅とそのときの換算風速を円柱間水平距離との関係で示したものである。ここで、興味深いことは、 $S_H=4d$ あたりで、渦励振振幅が極端に小さくなっていることである。このことは、カルマンの渦列理論と関連づけられることによって理解できる。渦列間距離が円柱の直径 d に対応するとすれば、主流方向の渦間距離は約 $3.6d$ となる。下流側円柱は、 $S_H \leq 4d$ では上流側円柱の後流域内に入ることになるが、 $S_H \geq 4d$ では上流側円柱の後流から出ることになる。すなわち、 $S_H=4d$ あたりを境にして、Fig. 3

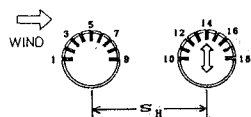
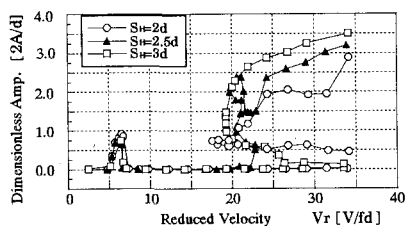
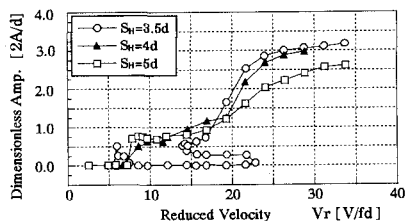


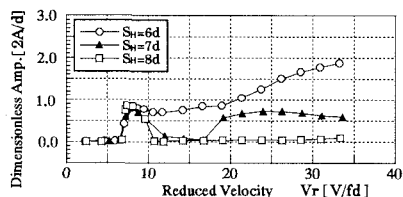
Fig. 1 圧力測定用供試模型
(下流側円柱をバネ支持)



(a) $S_H = 2d, 2.5d, 3d$

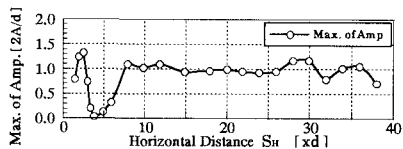


(b) $S_H = 3.5d, 4d, 5d$



(c) $S_H = 6d, 7d, 8d$

Fig. 2 水平間隔による下流側円柱の空力応答



下流側円柱の空力弾性振動発生機構が変化していることを意味している。このことは、ウェークギャロッピング発生に関しても同様であり、 $S_H=4d$ あたりを境にしてウェークギャロッピングは、ハードフラッター型からソフトフラッター型に応答特性が変化しており、発生機構が変化していることを物語っている。

3. 圧力測定結果と流れの可視化結果による考察

Figs. 4, 5は、平均表面圧力分布を渦励振域およびウェークギャロッピング域で見たものである。渦励振域では、下流側円柱の分布は、測点14, 15あたりで圧力係数が極端に小さくなる傾向があるが、ウェークギャロッピング域では、緩慢な分布となっている。このことを、流れの可視化との対応で見える。Figs. 6, 7は、渦励振域およびウェークギャロッピング域での流れの可視化をスケッチしたものである。これによると、渦励振域では、下流側円柱の近傍で強い渦が形成されているが、ウェークギャロッピング域では、上流側円柱から剥がれた剥離渦が物体まで到達し、明確な渦が形成されるのを妨げ、下流側円柱を包み込む形になっている。この状況を平均圧力分布と関連づけて考察すると、渦励振域では、強い渦が形成されるために、下流側円柱には局所的に大きな負圧が形成される。これに対して、ウェークギャロッピング域では、高風速になるため剥離渦が下流側まで伸び、下流側円柱を包み込むことで、下流側円柱の表面圧力分布を平均化し、角柱などで見られるように平坦な圧力分布となって、ギャロッピングを励起しているものと考えられる。

下流側の円柱が上流側物体の後流の振動によって振動を励起されているかを見るために、上流側物体を垂直平板に置き換えたもので、下流側円柱の空力弾性振動を観測してみた（Fig. 8）。渦励振域では、垂直平板のストローハル数成分（ $S_r=0.145$ ）で下流側円柱が振動しており、上流側物体の後流で振動していることがわかる。また、上流側の後流を除去した場合の応答を見ると、渦励振は生じるものの、ウェークギャロッピングは生じない。

4. まとめ 以上のことより、1)ウェークギャロッピングの発生機構は、 $S_H=4d$ あたりで変化している。2)発生の条件は、①上流側円柱からの剥離渦が下流側円柱を包み込む状態で明確な渦が形成されず、平均表面圧力分布が平滑化された状態となること、②上流側円柱の振動的後流変動が生じること、であると考えられる。

参考文献1)国土開発技術研究センター報告書、（平成元年）

2)N. Siraishi, M. Matsumoto, J. W. E. I. A., Vol. 23, 1986.

2)久保他、土木材料論文集、第4号、（1989）。

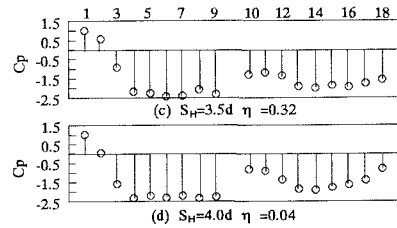


Fig. 4 渦励振域での平均圧力分布

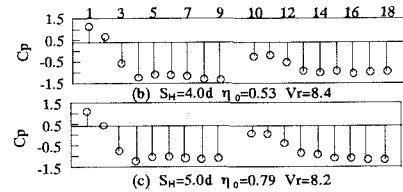


Fig. 5 ウェークギャロッピング域での平均圧力分布

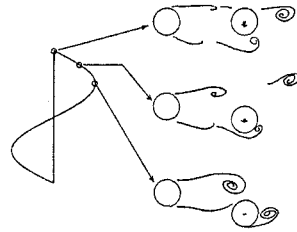


Fig. 6 渦励振域での流れの可視化

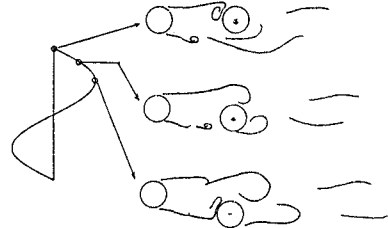


Fig. 7 ウェークギャロッピング域での流れの可視化

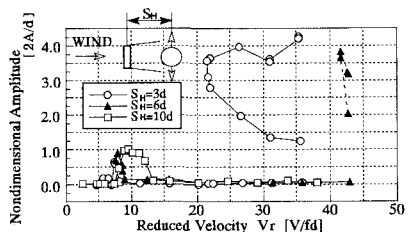


Fig. 8 鉛直平板下流の円柱の空力振動