【Ⅰ－16】

高レイノルズ数領域における並列2円柱の空力応答特性

徳島大学大学院　学生会員　○下森 章弘　徳島大学　正会員　野田 稔
徳島大学　フェロー　長尾 文明

1. はじめに

並列円柱の空力振動現象の1つとしてウェイクエクサイテーションが知られており，その発生には風上側に配置された円柱からの剥離流が関係していると考えられる．この振動メカニズムは未だ明確ではない．また斜張橋ケーブルの疲労破壊などにつながるため，実際の橋梁においてもケーブルにスパイラルワイヤを巻きつける等の空気力学的な制振方法が用いられているが，それらが振動にどのように影響しているかは明らかではない．さらには高レイノルズ数による並列2円柱の風洞実験はほとんどされていない．そこで本研究では高レイノルズ数領域での上流側円柱からの後流の影響による下流側円柱の空力応答特性を明らかにすることを目的とし，風洞実験で下流側円柱の風軸直交1自由度応答実験を行い，それによる応答の変化を検討する．

2. 縮流胴及び測定胴の作製

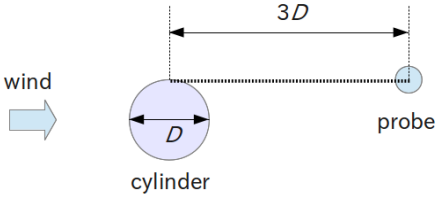
臨界レイノルズ数領域 ($2.8 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^5$) での実験を行うために風速を上げる必要があり縮流胴及び測定胴を作成した．風洞実験には多機能境界層風洞試験装置200型風洞 (測定胴幅2.0m × 高さ2.0m ×長さ11m) を使用し，最大風速は約20m/sである．また，閉塞率5 %以下を考慮し模型の直径は D=100mmとした．臨界レイノルズ数領域に達するためには風洞風速 U=52.5m/s以上が必要であり，それを考慮し測定胴幅0.5mにする縮流胴を作製する必要があった．作製した縮流胴と測定胴を写真–1, 写真–2に示す．

写真–1 縮流胴

写真–2 測定胴

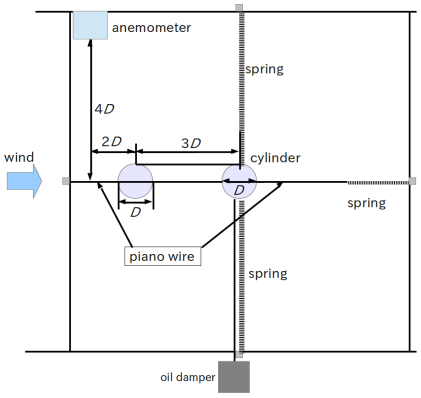
3. 実験概要

(1) **静的空気力特性**:円柱は表面が滑面状態で直径 D=100mm，長さ400mmのステンレス製中空円柱を使用し，荷重計と熱線風速計を用いた抗力と変動風速の計測実験を行った．また，I型熱線プローブの位置は図–1に示す通りである．円柱直径を D=216mmの塩化ビニル製中空円柱でも同様の実験を行った．



図–1 I型熱線プローブの配置

(2) **並列2円柱の空力応答特性**:今回の実験では下流側円柱の風軸直交1自由度応答実験を行った．下流側円柱の支持方法は図–2に示す．またオイルダンパーは模型を弾性支持しているばねに平行に設置し，模型支持ばねに比べて非常に弱いばねを使用している．本実験では固有振動数 f=1.28Hzで，オイルダンパーの有無により対数減衰率 δ=0.002，0.006(スクルートン数:Sc=1.45，4.34) の2通り行った．



図–2 下流側円柱の支持方法

4. 実験結果及び考察

(1) **静的空気力特性**:従来の研究[1)]と円柱直径 D=100mm，216mmの結果を図–3に示す．これより，D=100mmの円柱は抗力の急激な低下が見られなかったが，D=216mmではレイノルズ数 Re=3.5 × 10^5 付近で抗力係数が急激に低下していることがわかる．

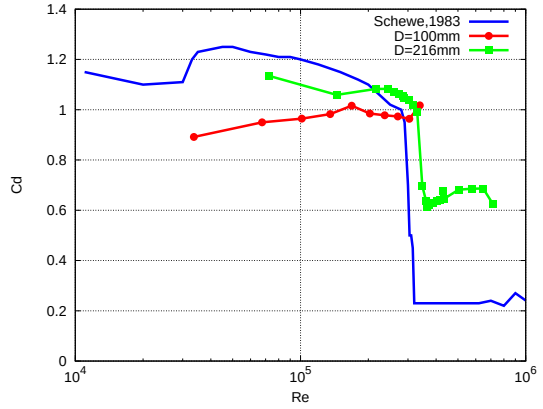
またストローハル数 St は亜臨界レイノルズ数領域で約0.2であり，臨界レイノルズ数領域では急激に増加する．変動風速のパワースペクトル密度 (P.S.D)(図–4) を見ると，風洞風速23m/s(Re=3.3 × 10^5) は St=0.16で円柱からの剥離に伴うカルマン渦の卓越周期と考えられるピークを有するが，風洞風速24m/s(Re=3.5 × 10^5) 以上では変動のピークはみ

られずカルマン渦が発生していないと考えられる．St が 0.2 でピークを持たないのは円柱直径に対して部材長さが短いことや閉塞率 5 %以下を満たしていないことなどが考えられるが，このことに関しては今後の検討課題である．

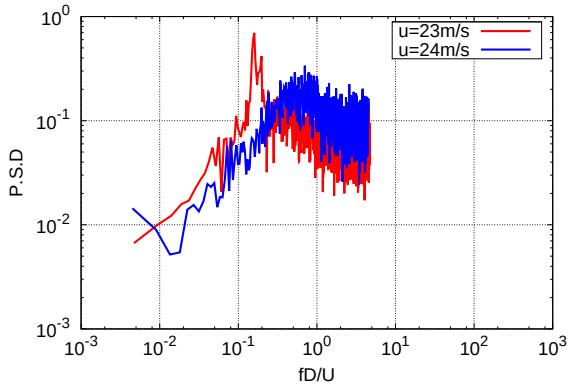
(2) **並列 2 円柱の空力応答特性**:δ=0.002，δ=0.006 における風速-応答振幅図をそれぞれ図–5，図–6 に示す．StableLC は安定なリミットサイクル，UnstableLC は不安定なリミットサイクルを表している．不安定なリミットサイクルでは▲よりも大きい振幅を与えると発散し，▼よりも小さい振幅を与えると減衰することを表す．

図–5，図–6 はどちらもレイノルズ数 Re=3.5 × 10^5 辺りから振幅が増加する現象が現れていない．これは亜臨界レイノルズ数領域では上流側円柱の後流により下流側円柱に励振力が働き振幅が発生するが，臨界レイノルズ数領域以上の高レイノルズ数領域では上流側円柱の後流の渦放出がなくなり下流側円柱への影響が小さくなるということから振幅が抑えられていることも考えられるが，今後詳細に検討する必要がある．

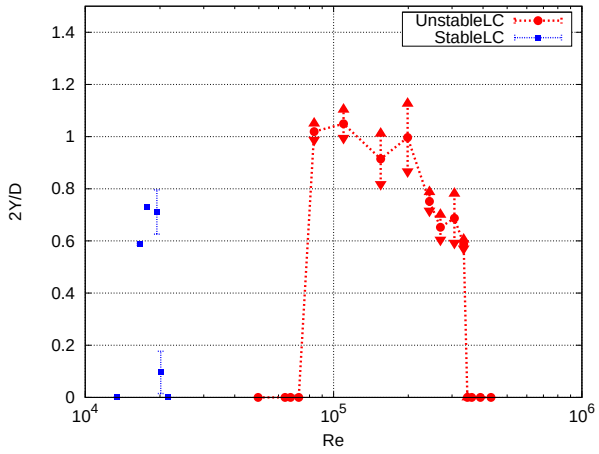
定常状態が確認されたところではレイノルズ数 Re が 1.9 × 10^4 で倍振幅 $2Y/D$ が大きくなっていることが分かる．これはストローハル数 St が約 0.16 のときであり，上流側円柱からのカルマン渦放出振動数と下流側円柱の固有振動数が一致することに起因することも考えられるが，流れの可視化等を用いて，より詳細に検討する必要がある．



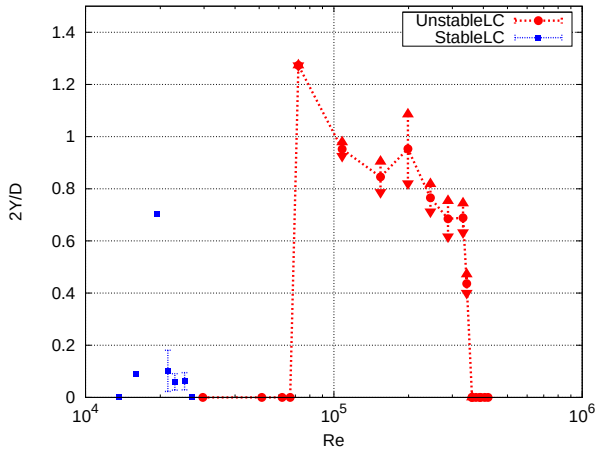
図–3 レイノルズ数に対する抗力係数



図–4 変動風速の P.S.D



図–5 並列 2 円柱の応答特性 (f=1.28Hz,δ=0.002,S_c=1.45)



図–6 並列 2 円柱の応答特性 (f=1.28Hz,δ=0.006,S_c=4.34)

5. おわりに

今回の実験では閉塞率 10 %と大きいものの臨界レイノルズ数領域での静的空気力の計測を行うことができた．また臨界レイノルズ数以上の風速における円柱の応答を確認できた．今後の課題として，倍振幅 $2D$ から $3D$ 程度と考えられる定常振幅を測定できるように改善することが必要となる．また今回は風軸直交 1 自由度応答実験を行ったが，風軸水平方向の空力応答特性を検討するために 2 自由度応答実験を行う必要がある．

6. 謝辞

本研究の遂行においては，JSPS 科研費 (26420460) の助成を受けた．ここに記し，謝意を表す．

参考文献

1) Schewe,G.，“On the force fluctuations acting on a circular cylinder in crossflow from subcritical up to transcritical Reynolds numbers，Jour.Fluid Mech.，Vol.133，1983