

九州大学応用力学研究所 正員 岡島 厚

九州大学応用力学研究所

杉谷 賢一郎

1. まえがき. 近年、鉄塔構造物の大型化と高層化に伴い、それらの耐風性の検討が重要となって来ている。特に高層化する送電用鉄塔においては強度的にも経済的にも有利な鋼管を素材とし、その鉄塔高さは200mに迫るものもあり、強風時にあがる鋼管周りの流れのレイノルズ数(Re数)は 10^6 以上に達している。この様な鋼管鉄塔構造物の耐風設計は種々な設計規準に準拠して行われているが、特に高いRe数の場合の耐風設計資料は未だ乏しく、不明確な事が多い。本研究はこの様な耐風設計のための最も基礎的な資料として、流れに直列に配置した2本の円柱の特に下流側円柱に注目して、表面静圧分布と抵抗値のRe数および円柱間隔はる効果を調べた。直列2本円柱周りの流れに関する実験的研究は数多くなされているが⁽¹⁾、それらの多くは円柱間隔の比較的狭い場合で、しかも上流側円柱周りの流れが亜臨界域の場合に限られている。しかし、実際に必要な高いRe数範囲で間隔のない場合の直列2本円柱に関する実験はほとんどない。本実験では円柱間隔を直径の5~20倍離し、上流側円柱周りの流れが亜臨界域および超臨界域の場合の他に、表面粗さを用いて臨界Re数の実質的な値を低下させて、極超臨界域の場合の後流中に置かれた円柱の静的空力特性を調べた。なお、円柱間隔が直径の5倍程度の比較的小さい場合の実験結果は既に詳しく報告⁽²⁾した。

2. 風洞、供試模型および実験方法. 本実験で使用した風洞などは全て文献(2)と同じであるので、ここでは省略する。供試模型円柱は直径 $d=160\text{mm}$ のアクリル製円筒で表面は滑らかである。また、表面粗さ円柱は滑面円柱表面上より点から $\theta R = \pm 50^\circ$ の位置に全スペンに亘って上下対称に帯状(幅5mm)に粒径 $\delta=0.5\text{mm}$ ($\delta/d=3 \times 10^{-3}$)のガラス粒子を付着させて作った。模型円柱には静圧測定のため、同一断面上 30° おきに12個所を12方向に2cmの間隔で7列、隣りの列と 5° づつずらす、合計84個の直径0.5mmの静圧孔が開けられている。なお、本実験では2本円柱間隔 s/d を5, 10, 15, 20に変え、試験風速範囲は $U=2\text{m/s} \sim 40\text{m/s}$ で、この場合のRe数範囲は $Re (= U d / \nu)$ は空気の動粘性係数 $\nu = (0.22 \sim 4.6) \times 10^{-5}$ である。

3. 実験結果. 既に報告⁽²⁾した如く上流側円柱近傍の流れには、円柱間隔の狭い場合($s/d < 3$)を除いて、下流側円柱による影響はほとんど認められず、単独円柱の静圧分布と差異がないので、ここでは下流側円柱のみに注目する。

3.1. 滑面円柱後流中の円柱の静圧分布と抵抗.

(a) 静圧分布. 図1に実験結果の1例として滑面—滑面円柱からなる直列2本円柱の間隔が $s/d=15$ の場合につき、 $Re = (0.23 \sim 4.6) \times 10^5$ のRe数範囲の静圧分布 C_{p2} (添字2は下流側を表す)を示す。上流側円柱周りの流れが亜臨界域の $Re=2.8 \times 10^5$

以下では、下流側円柱および点附近の C_{p2} の値は大きくは変わらないが、背面側の C_{p2} はRe数増加に伴って回復し、 $\theta = \pm 90^\circ$ 附近の C_{p2} の値は逆に減少する。

しかし上流側円柱周りの流れが超臨界域に達すると、文献(2)で述べた如く、上流側円柱の後流槽は狭くなり、および点附近の C_{p2} は0.9まで回復し、単独円柱の超臨界域の C_{p2} の分布に近くなる。

次に、図2には $Re=0.47 \times 10^5$ の場合を例として間隔を $s/d=5 \sim 20$ に変えた時の C_{p2} 分布を示す。 C_{p2} の分布形状には本実験 s/d の範囲では大きな変化はないが、 s/d の増加に伴い、および点附近の C_{p2} は回復し、背面側の C_{p2} は逆に低下する。

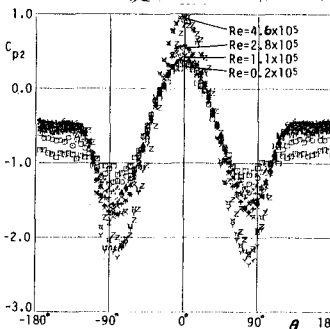


図1. 滑面円柱後流中の円柱

の静圧分布 $s/d=15$
 $Re = (0.23, 0.47, 0.68, 0.91, 1.1, 1.7, 2.3, 2.8, 3.4, 4.0, 4.6) \times 10^5$

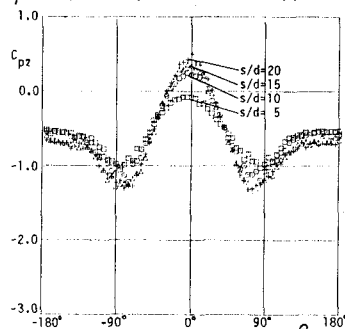


図2. 滑面円柱後流中の円柱の静圧

分布 $Re=0.47 \times 10^5$

(b) 抵抗係数. 図3には C_{p2} の分布から算出した下流側円柱の抵抗 C_{D2} の Re 数に対する変化を示す。後流中に埋没した円柱の抵抗 C_{D2} は臨界 Re 数よりかなり低い $Re=10^4 \sim 10^5$ の低い Re 数範囲に亘り変化していることには注意を要する。この様な C_{D2} の Re 数に対する変化は丁度 Fage と Warsap⁽³⁾ の乱れを含む一様流中に置かれた単独円柱の抵抗係数の変化の様相と良く似ており、本実験の場合、上流側円柱後流の乱れにより下流側円柱境界層の遷移が促進され、比較的低い Re 数から、 C_{D2} 値は低下するものと考えられる。

3.2. 表面粗さ円柱後流中の円柱の静圧分布と抵抗

(a) 静圧分布. 表面粗さのある上流側円柱周りの流れが極超臨界域である場合の下流側円柱の C_{p2} の例を図4に示す。図は下流側円柱が滑面の場合と表面粗さのある場合を比較して示す。図から極超臨界域では C_{p2} の Re 数による相違は全周に亘り、顕著な差ほとんど無い。又表面粗さ円柱の方がより上流側で剥離し、背面側の C_{p2} は低い。 S/d に対する C_{p2} の変化は図5のように、よどみ点や $\theta=90^\circ$ 附近背面側に S/d による相違が若干現れる。

(b) 抵抗係数. 表面粗さ円柱後流中の円柱の抵抗 C_{D2} を図6に示す。極超臨界域では下流側円柱が滑面の場合と同様、ある C_{D2} 値は一定範囲でほぼ一定である。

3.3. 下流側円柱のよどみ圧、背圧及び最低圧

図7a, b, c には種々な条件下にある下流側円柱のよどみ圧 C_{ps2} 、背圧 C_{pb2} 、最低圧 C_{pm2} の Re 数に対する変化をまとめて示す。 C_{ps2} は後流の速度欠損に依存するため、図4に示すごとく、 S/d により変化するが、 Re 数に対しては亜臨界域、極超臨界域では、ほぼ一定値を保つ一方滑面一滑面円柱の C_{pb2} (図b) は $Re=10^4 \sim 10^5$ の範囲で Re 数増加に伴い、圧力回復し、 $Re \sim 10^5$ で $S/d=10, 20$ の値は両者一致する。従って、抵抗 C_{D2} が Re 数により変化したのは、主として C_{pb2} が Re 数に依存するためと云える。極超臨界域で下流側円柱に粗さのある場合には、 C_{pb2} はより低圧となり、 Re 数に対し大きな変化はない。又 $\theta=90^\circ$ 附近に生ずる最低圧 C_{pm2} の値(図c)は上流側滑面円柱の場合、 Re 数増加に伴い低下し、 $Re=(0.9 \sim 2.0) \times 10^5$ の Re 数範囲で C_{pb2} と同様、一定値を保つが、超臨界域で $C_{pm2}=2.2$ の低圧に落ちる。上流側表面粗さ円柱の場合、臨界 Re 数の実質的な値は低下するので、 $Re=10^5$ 附近で最も低くなり、 $Re=(2.0 \sim 4.4) \times 10^5$ では回復し、ほぼ一定となる。

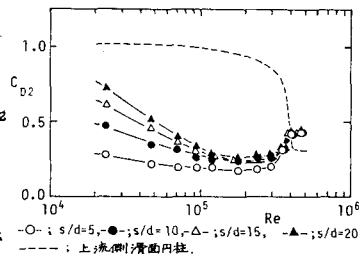


図3. 滑面円柱後流中の円柱の抵抗

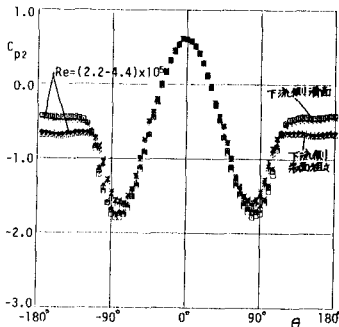


図4. 表面粗さ円柱後流中の円柱の静圧分布 $Re=(2.2, 2.8, 3.3, 3.9, 4.4) \times 10^5$

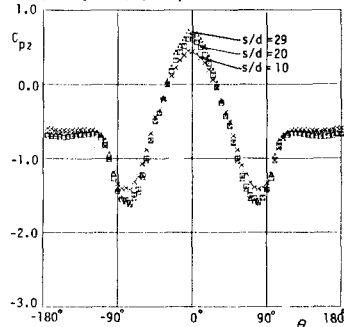


図5. 表面粗さ円柱後流中の円柱の静圧分布. $Re=4.4 \times 10^5$ (下流側表面粗さ円柱)

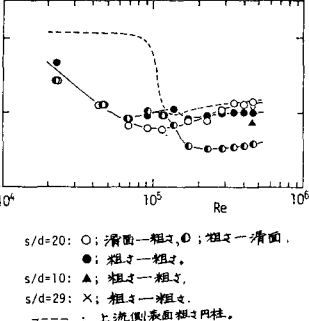
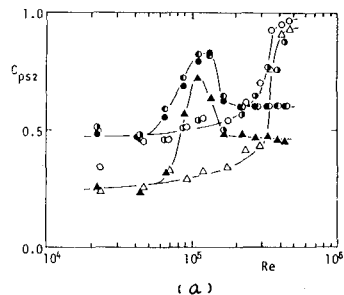
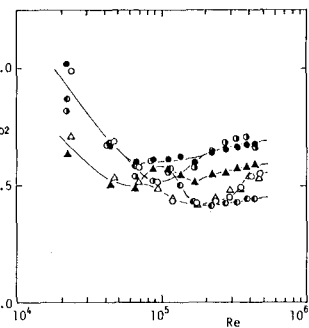


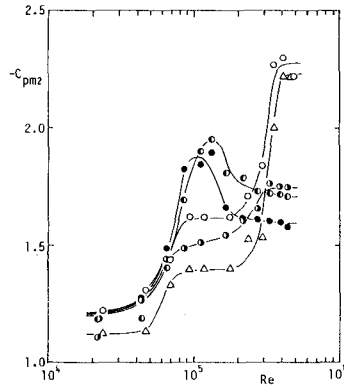
図6. 表面粗さ円柱後流中の円柱の抵抗



(a)



(b)



(c)

図7. 下流側円柱の(a)よどみ点圧 C_{ps2} , (b)背圧 C_{pb2} , として (c)最低圧 C_{pm2} .

- 参考文献
- (1) 例えば Zdravkovich, M.M., J. Fluid Eng., Trans. ASME, 99, 1, 4 (1977) 618.
 - (2) Okajima, A., Bull. JSME, 22, 166 (1979-12) 504.
 - (3) Fage, A. and Warsap, F.H., ARC, R&M 1283 (1929)