

渦法による直列二円柱に作用する流体力の推定

五洋建設 (株) 正員 渡邊 浩司 徳島大学工学部 フェロー 宇都宮 英彦
 徳島大学工学部 正員 長尾 文明 徳島大学工学部 正員 野田 稔
 (株)関西ビルコンサルタント 正員 鶴井 寿博

1.はじめに 既往の研究により、単独円柱周りの流れや流体力に関しては精度よく解析を行えるようになっているが、タンデム配置された円柱については、実験は盛んに行われているものの、解析例は少なく、解析精度も単独円柱と比較すると劣っているのが現状である。また、斜張橋のケーブルや送電線に代表されるように複数の円柱を用いた構造物が多く存在し、上流側円柱の影響により、下流側円柱が振動を引き起こす現象が今なお問題として残されている。

そこで、本研究では渦法により一様流中における静止直列二円柱の流れ場を再現することを試み、流体力等の解析精度について検討を行う。

2.解析方法 解析には、2次元非圧縮 N-S 方程式と連続の式に基づいた渦法を用い、境界層近似には亀本¹⁾により提案された適用レベル3を、また流体力計算については、次式で示される圧力 Poisson 方程式を導入し解析を行った。

$$\iint_{S_2} (\nabla^2 G_i \cdot \mathbf{H}) dS + \int_{S_1+V} (\mathbf{H} \nabla G_i \cdot \mathbf{n}) df_i - \int_{S_1+V} (G_i \nabla \mathbf{H} \cdot \mathbf{n}) df_i \\ = -2 \left[\int_{S_1+V} [G_i (\mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega}) \cdot \mathbf{n}] d\Gamma + \iint_{S_2} [\nabla G_i \cdot (\mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega})] dS \right] \quad (1)$$

ただし、 $\nabla G_i = -\frac{1}{2\theta} \frac{\mathbf{R}}{R^2}$ 、 $H = C_p + |\mathbf{u}|^2$

C_p ：圧力係数、 $\mathbf{u}$ ：流速ベクトル、 $\mathbf{n}$ ：境界外向き法線方向ベクトル、 $\boldsymbol{\omega}$ ：渦度ベクトル

R ：渦点間の中心間距離

また、上流側円柱、下流側円柱ともに 60 個の渦点で近似し、流速 U は一様とし、円柱直径 D を代表長とするレイノルズ数は $Re=1000$ で一定とした。なお、渦要素の移動精度に影響を及ぼす無次元時間間隔は、 $\Delta t^* = U \Delta t / D = 0.1$ として解析を行った。

3.円柱間距離の変化による流体力の推定

円柱間隔を変化させた場合の抗力係数 C_D および変動揚力係数 C_L' について、既往の研究より明らかにされている実験結果 ($Re=2.4 \times 10^4$)²⁾ と本解析で得られた結果を Fig.1 に示す。これより、上流側円柱、下流側円柱ともに円柱間距離が $3D$ から $4D$ へと変化することによって抗力係数が増加していることが実験、解析の両方で確認できる。この原因を検討するため、実験結果および解析結果における平均圧力係数の分布をそれぞれ

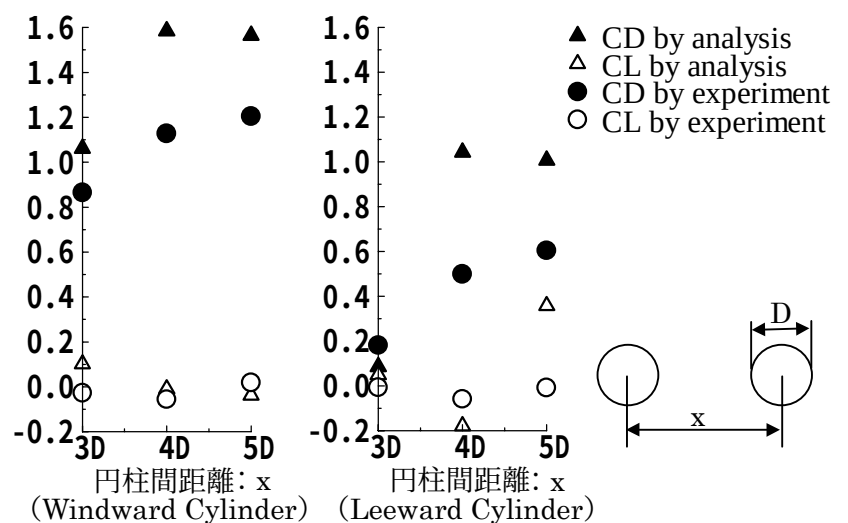


Fig.1：円柱間距離の変化と流体力との関係

キーワード：渦法、直列二円柱、円柱間距離、gap flow、流体力

〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1 TEL/FAX 088-656-9443

Fig.2、Fig.3 に示す。

まず、上流側円柱の圧力分布について、実験値、解析値ともに円柱間距離 3D から 4D へと変化すると、物体背面の負圧の絶対値が大きくなっていることが確認でき、これが上流側円柱の抗力係数を増加させた原因であると推測される。これは既往の研究³⁾によれば、円柱間距離 3D までは下流側円柱が上流側円柱の wake に包含され、円柱間距離 3D と 4D の間で円柱間の流れ（以下 gap flow）が生じるためとされており、この gap flow が解析においても捉えられている結果と考えられる。また、下流側円柱については実験値、解析値ともに円柱間距離 3D と 4D の間で gap flow によって物体前面の負圧の絶対値が大きく減少しており、これが、抗力係数の増加に大きく寄与しているものと推測される。しかしながら、実験値において下流側円柱の物体背面の圧力分布には距離による影響はほとんど認められていないにもかかわらず、

解析値においては円柱間距離 3D と 4D の間で負圧の絶対値に大きな変化が見られる結果となった。

一方、Fig.1 で、実験値と解析値について比較すると、両者に若干の差が生じていることが確認できる。これは、主に Fig.3 より上流側円柱、下流側円柱ともに物体前面（ $\pm 60^\circ \sim \pm 90^\circ$ 付近）での圧力の絶対値が解析においては過小評価されていることに起因すると考えられる。適用レベル 3 の導入により、物体前面から流れ場へと放出される渦点はまず物体表面上に沿って流下し、その後しかるべき剥離点まで達すると、物体から次第に離れ、剥離せん断層を形成するのであるが、この物体表面上を流下する過程で物体に放出渦が再付着する現象が頻繁に生じていることが確認されており、したがって、この再付着が流れ場へ影響を及ぼし、最終的に平均圧力分布に反映された結果であると推測される。これについては、現在のところ物体を渦点で近似して解析を行っているが、今後渦パネルを導入する、あるいは、新たな再付着モデルを用いるなど更なる検討が必要であると考えられる。

3.まとめ 本研究では直列二円柱周りの流れ場の解析に渦法を適用したが、円柱間距離の変化に対して、上流側円柱、下流側円柱ともに 4D 以降で抗力係数の増加が見られ、また平均圧力係数についても、大まかな分布形状は実験値とほぼ対応していることから、定性的には直列二円柱周りの流れ場が解析上でも再現できていると考えられる。しかし、定量的評価においては精度的に問題が残っており、今後の検討が必要である。

- 5.参考文献**
- 1) 数値流体力学編集委員会 “乱流解析” 東京大学出版社
 - 2) 鎌倉 米康 “並列円柱の空気力学的特性に関する研究” 徳島大学修士論文
 - 3) Zdravkovich, M. M “Flow induced oscillations of two interfering circular cylinders” Jour. Sound and Vibr., Vol 101 (4), 1985

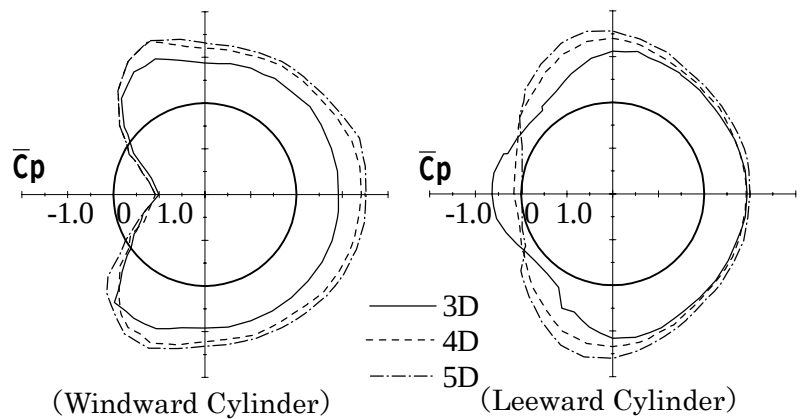


Fig.2：円柱間距離の変化による平均圧力分布（実験結果）

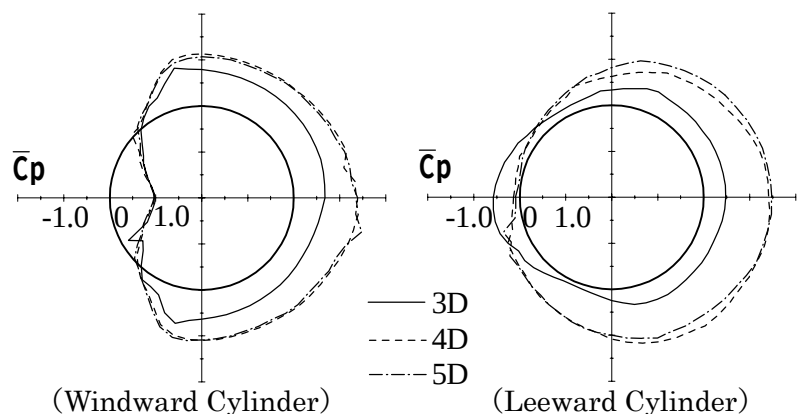


Fig.3：円柱間距離の変化による平均圧力分布（解析結果）