

一様流中において回転する円柱構造物の端部影響に関する実験的研究
 An Experimental Study on the Edge Effect of Rotating Circular Cylinder in Uniform Flow

○鈴木雅洋¹, 居駒知樹², 相田康洋², 増田光一², 林昌奎³

*Masahiro Suzuki¹, Tomoki Ikoma², Yasuhiro Aida², Koichi Masuda², Chang-Kyu Rheem³

Abstract: The generation of lift force due to the rotation of a cylindrical structure is widely known, but the specific mechanism is not clear. If we try to investigate the fluid force acting on the rotating cylinder by experiments, a flow will occur at the edge, or a three-dimensional effect will occur as a real phenomenon. Therefore, in this study, a water tank experiment was conducted using a cylindrical model for the purpose of clarifying the end effect of the rotating cylinder. The experiment was conducted under two conditions. The first is when the cylindrical condition is infinite as long as possible. The second condition is that the bottom is raised 200mm from the bottom and a flow is generated at the lower end. The flow velocity is in the range of 0.2-0.5m / s. As a result, as a basic fluid force characteristic, the drag force decreases until the rotation ratio α exceeds 1, and thereafter increases. The lift force increases linearly until the rotation ratio α is close to 3, and thereafter the increase decreases as the flow rate increases. When the flow is generated at the end, the hydrodynamic force decreases, and the effect is particularly strong with respect to lift force.

1. 緒言

海洋開発の分野において、ドリルパイプや垂直軸型潮流発電装置など、流れ中において回転する円柱構造物は多様に存在する。特に、円柱構造物の回転による揚力の発生は広く知られているが、その具体的なメカニズムが明らかになっていないのが現状である。

回転円柱に作用する流体力に関して、実験にて調べようとすると端部に流れが発生してしまうため、無限長さ円柱的条件にすることは容易ではない。また、実現象として三次元影響は発生する。そこで本実験では、流れ中において回転する円柱構造物の流体力特性に関する研究の一つとして、円柱模型を用いた水槽実験を行い、出来るかぎり無限長さ円柱的条件に近づけた場合と、端部に流れを発生させた条件の比較を行う。そして、回転円柱の端部影響について明らかにする。

2. 実験概要

回転円柱に作用する流体力を、六分力計を用いて計測する。円柱模型は、直径が 200mm, 250mm, 300mm のものをそれぞれ Model1, Model2, Model3 とした。長さはどの模型も 820mm である。

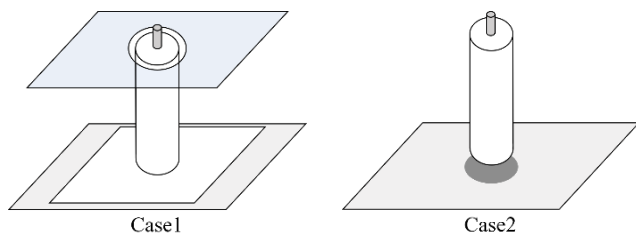


Figure 1. Schematic of Experimental conditions

Figure1 は実験条件の概略図である。Case1 は可能な限り無限長さ円柱的条件にするため、水面はアクリル板で覆い、円柱模型の上端部に流れをなるべく作らないようにした。また、アクリル板は波の発生を防ぐ役割も兼ねる。下端部では、摩擦の少ない高分子ポリエチレンシートを底面に設置し、5mm の隙間を空けた。Case2 は円柱模型を Case1 の状態より 200mm かさ上げし、下端部に流れが発生するようにした。また、アクリル板を取り外し、水面を自由表面とした。そして流速 0.2-0.5m/s の範囲で円柱模型を回転させ計測を行う。

3. 実験結果および考察

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2}\rho DLU^2} \tag{1}$$

$$C_l = \frac{F_l}{\frac{1}{2}\rho DLU^2} \tag{2}$$

$$\alpha = \frac{2\pi NR}{60U} \tag{3}$$

本実験にて得たデータは、他の影響をなくすため無次元化を行った。(1),(2)の C_d , C_l は、それぞれ抗力 F_d と揚力 F_l を無次元化した値である。ただし、 ρ は流体密度、 U は代表流速、 D は直径、 L は長さである。(3)の回転比 α は、流速に対する回転速度の比である。ただし、 U は代表流速、 N は回転数(rpm)、 R は試験体の半径である。それぞれ時間刻みによるデータなので、各値の平均値を算出し、回転比 α ごとのグラフを作成し比較を行った。Figure2 は、Case1 における各流速の C_d , C_l と、回転比

1 : 日大理工・院 (前)・海建 2 : 日大理工・教員・海建 3 : 東京大学生産技術研究所・教授

α のグラフである。 C_d は、回転比 α が1を超える付近までは減少し、それ以降は上昇に転じている。その後、回転比 α が2から3付近で値の上昇が弱まる。 C_l は、回転比 α が2から3付近まで線形的に値が変化するが、それ以降は流速ごとによる違いが見られ、流速が0.2m/sから0.5m/sへ上昇するに従い値は小さくなっている。各流速で比較してみると、Model1の方がModel2よりも大きい値を示している。Case1は、アクリル板と高分子ポリエチレンシートの両方を設置しており、最も無限長さ円柱的条件に近いので、この結果を回転円柱に作用する流体力特性の基準として考える。

Figure3はCase1とCase2における流速0.4m/sの際の C_d 、 C_l と、回転比 α のグラフである。 C_d は、Case1、Case2と共に回転比 α が1を超える付近までは減少し、それ以降は上昇に転じるという同様の傾向を示している。また、Case1に比べCase2の方が値は若干低くなっていることがわかる。 C_l に関しては、Case1に比べCase2は値が著しく低下していることがわかる。Case1、Case2の両方において、各Modelによる違いはあまり見られない。このことから、端部に流れが発生することによって流体力が大幅に低下すると考えられ、この流体力の低下が回転円柱の端部影響であり、特に、 C_l に関してその影響が強く発生する。

4. 結言

本実験では、無限長さ円柱的条件に近づけた場合と、端部に流れを発生させた条件の2パターンにて実験を行った。その結果、以下の知見を得られた。

- ・基本的な流体力特性として、抗力は回転比 α が1を超える付近までは減少し、それ以降は上昇に転じる。
- ・揚力は、回転比 α が3付近までは線形的に値が上昇し、それ以降は流速が速くなるにつれて値の上昇が弱まる。
- ・端部に流れが発生することにより、流体力は減少し、特に揚力に関してその影響が強く発生する。

5. 参考文献

- 1) Chang-Kyu Rheem, Koichiro Kato : A BASIC RESEARCH ON THE VIV RESPONSE OF ROTATING CIRCULAR CYLINDER IN FLOW, Proceedings of the ASME 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE, 2011
- 2) Wei Chen, Chang-Kyu Rheem : Experimental investigation of rotating cylinders in flow, Journal of Marine Science and Technology, 2017

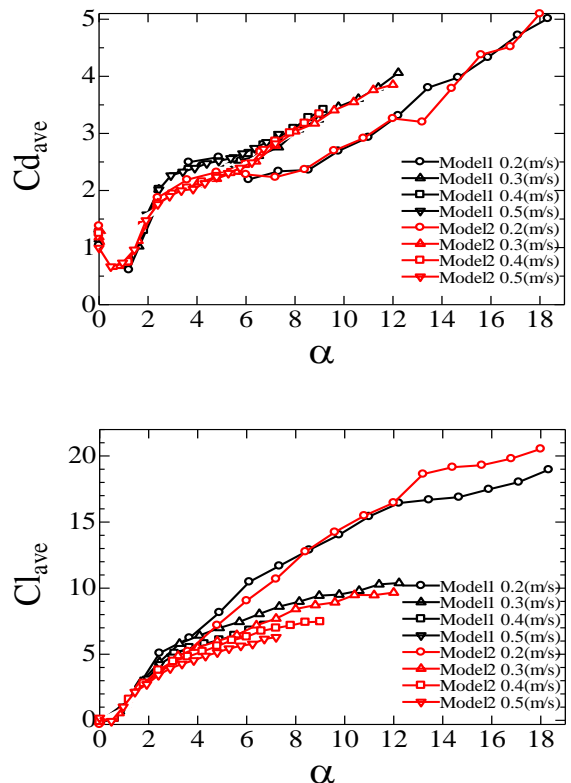


Figure 2. Average value of C_d and C_l in Case 1

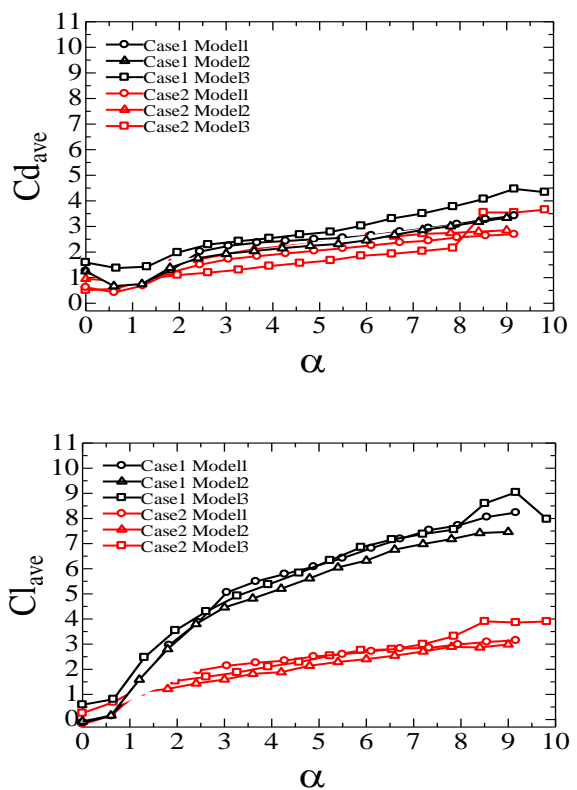


Figure 3. Average value of C_d and C_l a flow velocity of 0.4 m/s