

令和 3 年 4 月 13 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01634

研究課題名(和文) 流れ中におかれた回転する円筒型線状構造物の挙動予測に関する研究

研究課題名(英文) Research on Behavior Prediction of Cylindrical Line Structure with Rotation in Flow

研究代表者

林 昌奎 (RHEEM, Chang Kyu)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：70272515

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：流れ中において、回転する円柱に働く流体力、並びに回転する円筒型線状構造物の運動特性を明らかにした。抗力は、回転比 ≈ 1.2 付近までは減少し、その後上昇に転じる。揚力は ≈ 3 付近まで値が大きく上昇する。そして、抗力、揚力と共に、 ≈ 3 付近から値の上昇が弱まる。回転方向の流速は円柱表面速度で無次元化できる。また、円柱表面からの距離を円柱半径で無次元化することができ、半径方向に対して対数的に減少する。フレキシブル模型を用いた水槽実験では、回転数の上昇に伴って模型の振動数が低周波に移動することが確認できた。回転により模型の付加質量が増加し、模型の固有振動数が低下するものと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

流れ中で回転する円筒構造物の流体力及び運動特性が明らかになり、その原因が円柱周りの流れであることが明確になった。それにより、流れ中におかれた回転する円筒構造物の応力及び振動が予測可能となり、最適で安全なドリルパイプ運用に結びつく制御方法の可能性が見えてきた。また、回転による流れ中におかれる円筒構造物の揚力増加の大きさや回転速度との関係が明らかになったことで、回転により発生すると揚力を活用する新たな機構の構想につながる事が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The characteristics of the fluid force acting on a rotating cylinder in the flow and the motion characteristics of the cylindrical line structure rotating in the flow were clarified. Drag decreases until the rotation ratio is around ≈ 1.2 , and then increases. Lift increases to around ≈ 3 . Then, along with drag and lift, the increase in value weakens from around ≈ 3 . The flow velocity in the rotation direction can be made dimensionless by the surface velocity of the cylinder. In addition, the distance from the surface of the cylinder can be made dimensionless by the radius of the cylinder, which decreases logarithmically with respect to the radial direction. In the basin experiment using the flexible model, it was confirmed that the motion frequency of the model shifts to a lower frequency as the rotation speed increases. It is considered that rotation increases the additional mass of the model.

研究分野：海洋環境工学

キーワード：回転円柱 流体力 流速分布 付加質量

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海洋科学掘削や海底資源開発の初期段階掘削作業において、ライザーを用いないライザーレス掘削が用いられる。海洋におけるライザーレス掘削では、海上の作業船と海底の掘削ビットをつなぐドリルパイプが海水と直に接することになり、ドリルパイプには海水の流れに起因する振動(渦励振)の発生に加えて、回転に起因する流体力及び振動特性の変化が生ずる。

流れ中におかれた回転する円柱または球には、マグヌス効果と言われる流れに対して垂直方向の力(揚力成分)が働き、完全流体中での揚力は回転速度に比例する。ところが、実流体中の円柱に働く流体力の回転の影響は流れに対して垂直方向のみならず流れの方向(抗力成分)にも現れ、その大きさは回転速度に比例せず、また無限に増大せず有限の値になることが予測される。尚、流れ中におかれた回転する円柱が振動する場合、その振動数は回転が速くなるにつれて低振動数側に移動する。これら回転による流体力及び振動特性の変化は、回転による円柱周辺の流れ場の変化に起因するものと考えられる。それには、流れの流速と回転速度との関係や、円柱のアスペクト比及び端部影響などの3次元性が大きく関わる。流れ中におかれた回転する円柱に働く流体力や付加質量が、何に影響され、その値は幾らになるのかについては、定性的にも定量的にも十分な検討が行われていない。

2. 研究の目的

流れ中において回転する円柱に働く流体力の特性を明らかにし、ドリルパイプのような流れ中において回転する円筒型線状構造物の挙動評価手法の開発を行う。

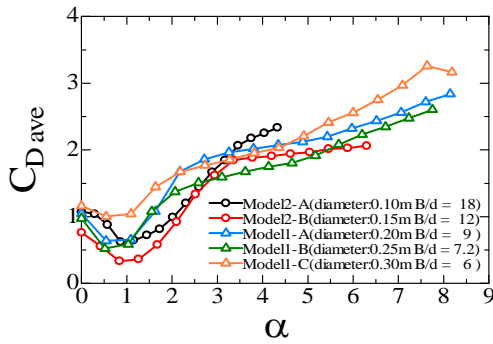
3. 研究の方法

剛体円柱を用いた水槽実験により、流れ中において回転する円柱に働く流体力の揚力成分及び抗力成分の特性を明らかにする。次にフレキシブル模型を用いた水槽実験により、回転によって生ずる付加質量の変化を調査する。回転によって生ずる円筒型線状構造物の振動周波数の変化を付加質量の変化に変換して、その特性を調査する。離散渦法と有限要素法を用いて流れ中におかれた回転する円筒型線状構造物の挙動を数値解析により推定する方法を開発する。

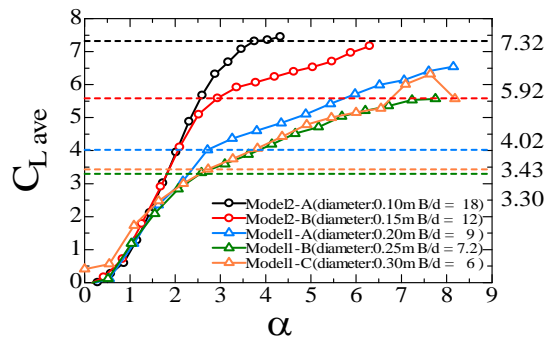
4. 研究成果

流れ中において回転する円柱に働く流体力の特性、並びに流れ中において回転する円筒型線状構造物の運動特性を明らかにした。円筒構造物の剛体模型を用いた水槽実験から、流れと回転が円筒構造物に働く流体力に与える影響に関して、以下の知見が得られた。

- (1) 抗力は、流速に対する回転速度の比である回転比 $\Omega = 1.2$ 付近までは減少し、その後上昇に転じる。揚力は $\Omega = 3$ 付近まで値が大きく上昇する。そして、抗力、揚力と共に、 $\Omega = 3$ 付近から値の上昇が弱まる。
- (2) 自由表面による影響はほとんど見られず、円柱端部下に流れが発生することで回転円柱に働く揚力が減少する。揚力の減少率は円柱のアスペクト比が大きくなると小さくなる。
- (3) 円柱端部にエンドプレートを取り付けることで回転による流体へ与える影響範囲が広がり、流体力が上昇する。



(a) 抗力の無次元値 C_D

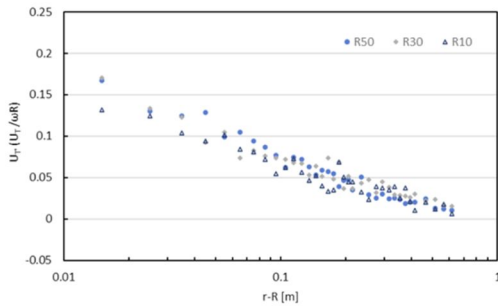


(b) 揚力の無次元値 C_L

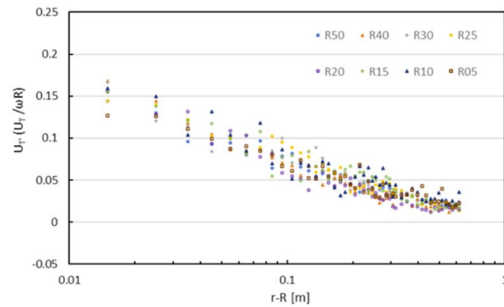
図1 流速 0.4m/s における 5 種類の各円柱の流体力の平均値

次に回転円柱周りの流速計測から以下の知見が得られた。

- (1) 回転方向の流速は円柱表面速度で無次元化できる。半径方向に対して対数的に減少し、円柱表面からの距離を円柱半径で無次元化することができる。
- (2) 流れが加わる場合に関しては、円柱表面速度と流れの流速との相対速度で無次元化することで静止流体中での考え方が適応できる。



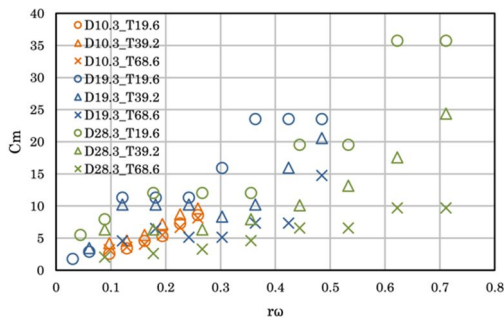
(a) 直径 200mm



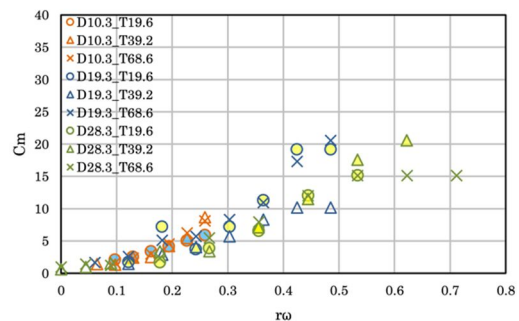
(b) 直径 300mm

図2 回転円柱周りの回転方法流速分布

フレキシブル模型を用いた水槽実験では、回転数の上昇に伴って、模型の振動数が低周波に移動することが確認できた。回転により模型の付加質量が増加し、模型の固有振動数が低下するものと考えられる。流れが加わると付加質量の増加が抑えられる。



(a) 流れ無し



(b) 流速 10cm/sec

図3 付加質量係数の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 1. 鈴木雅洋, 居駒知樹, 相田康洋, 増田光一, 林昌奎	4. 巻 Vol.76, No.2
2. 論文標題 一様流中において回転する円柱に働く流体力の三次元性に関する実験的研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2	6. 最初と最後の頁 1207-1212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.76.2_1_1207	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Chang-Kyu Rheem
2. 発表標題 INVESTIGATION OF THE 2D BEHAVIOR OF A ROTATING CYLINDER IN FLOW USING THE DISCRETE VORTEX METHOD
3. 学会等名 38th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林昌奎
2. 発表標題 離散渦法による流れ中の2次元回転円柱の挙動考察
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 C.K. Rheem
2. 発表標題 Experimental Study on the Flow Around a Rotating Cylinder
3. 学会等名 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木雅洋, 居駒知樹, 相田康洋, 増田光一, 林昌奎
2. 発表標題 一様流中において回転する円柱の端部影響に関する実験的研究
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会講演会論文集、第30号
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林昌奎, 黒川洸
2. 発表標題 回転円柱周りの流速分布とレイノルズ応力
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会講演会論文集、第30号
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木雅洋, 居駒知樹, 相田康洋, 増田光一, 林昌奎
2. 発表標題 一様流中において回転する円柱の流体力に関する実験的研究
3. 学会等名 第28回海洋工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒川洸, 林昌奎
2. 発表標題 回転円柱周りの流れ場に関する実験的研究
3. 学会等名 第28回海洋工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------