

高レイノルズ数域における円柱の流力振動に関する数値的研究

Numerical Analysis for Flow-Induced Vibrations of Circular Cylinders at a High Reynolds Number

○佐藤拓己<sup>1</sup>, 恵藤浩朗<sup>2</sup>, 近藤典夫<sup>3</sup>

\*Takumi Sato<sup>1</sup>, Hiroaki Eto<sup>2</sup>, Norio Kondo<sup>3</sup>

Abstract: It is known that vortices are emitted behind a cylindrical structure placed in a flow, and when the emission frequency of the vortices matches the natural period of the cylinder, the vibration frequency of the cylinder increases. This phenomenon is called vortex excitation, and it causes the structure to vibrate violently in a direction perpendicular to a flow, which requires a large vibration amplitude to be estimated during design from the viewpoint of safety and functional maintenance.

1. はじめに

流体の流れに置かれた円柱構造物の背後では渦が放出され、渦の放出周波数が円柱の固有周期と一致した際に、円柱の振動数が増大する渦励振という現象が発生することが知られている。

このような内容の研究は今まで低レイノルズ数域から亜臨界レイノルズ数域では多く行われているが、超臨界レイノルズ数域では数値計算の例や実験の困難さによって研究数が極端に少ないのが現状である。

そのため、本研究では超臨界レイノルズ数域で単一円柱及び直列2円柱に対する渦励振解析を行い、亜臨界レイノルズ数域での渦励振との相違を明らかにすることを目的とする。

2. 基礎方程式

本研究では流体の流れは非圧縮ナビエ・ストークス方程式を用い、3次上流有限要素法で離散化し逐次積分を実施して数値解を求めている。円柱の振動を捉えるために、剛体モデルの1質点2自由度モデルを採用する。詳しい方程式は参考文献<sup>6)</sup>に記述してある。

3. 計算モデル

本研究では Figure.1 に示す単一円柱と Figure.2 に示す直列に配置した2円柱の1質点2自由度モデルを使用し、円柱に作用する流体力と円柱周りの流れについての計算を行う。円柱の半径を  $D$ 、円柱の高さは  $H$ 、円柱の中心間距離を  $S$  と設定した。

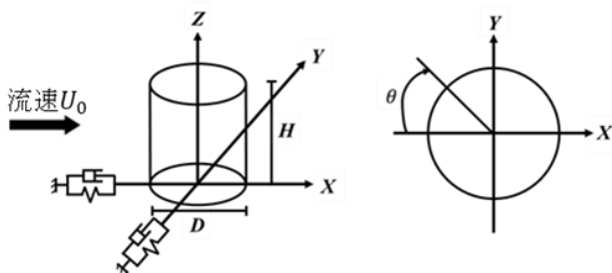


Figure1. Computation model of a circular cylinder

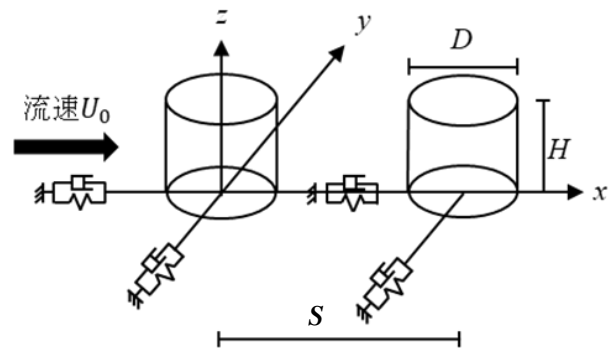


Figure2. Computation model of circular cylinders

なお、今回の数値計算では円柱の高さ比を  $H/D=2.0$  とし、2円柱の間隔比は  $S/D=3.0$  とした。

4. 計算結果

以下に数値計算で得られた結果を示す。図中の  $f_{CD}$ ,  $f_{CL}$  はそれぞれ抗力と揚力の無次元振動数を、 $X_{amp}$ ,  $Y_{amp}$  はそれぞれ円柱の  $x$  方向と  $y$  方向の平均振幅を表す。なお、指標 1,2 はそれぞれ上流と下流円柱を表す。

Figure3. に単一円柱における計算結果を、Figures4,5. に直列2円柱の計算結果を示す。また、Figures6-8. に既存研究より単一円柱、直列2円柱の亜臨界レイノルズ数域での計算結果<sup>4)5)</sup>と重ね合わせた図を示す。

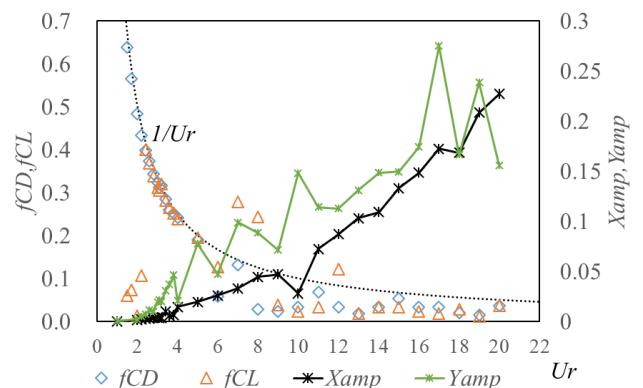


Figure3. Non-Dimensional frequency and average amplitude of a single cylinder ( $Re=10^6$ )

1 : 日大理工・院(前)・Nihon University・Master's degree 2 : 日大理工・教員・海建 Nihon University・Associate Professor  
3 : 日大理工・教員・海建 Nihon University・Specially Appointed Professor

Figures6-8.における亜臨界域における無次元振動数はそれぞれ  $f_{CD}^*$ ,  $f_{CL}^*$  と表記する.

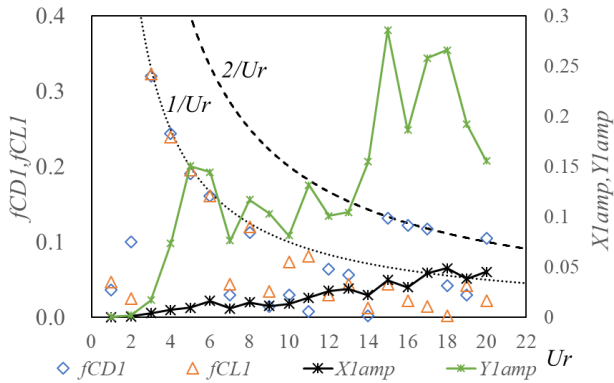


Figure4. Non-Dimensional frequency and average amplitude of upstream cylinder ( $Re=10^6$ )

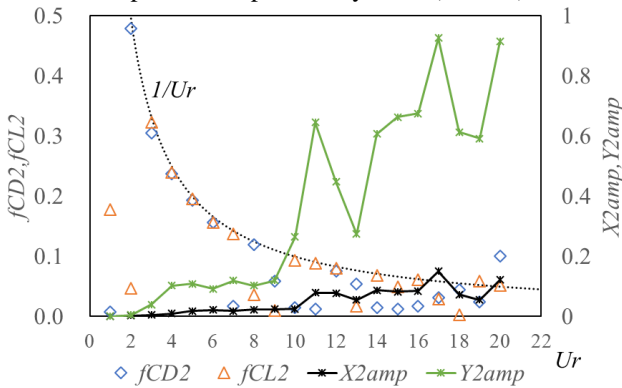


Figure5. Non-Dimensional frequency and average amplitude of downstream cylinder ( $Re=10^6$ )

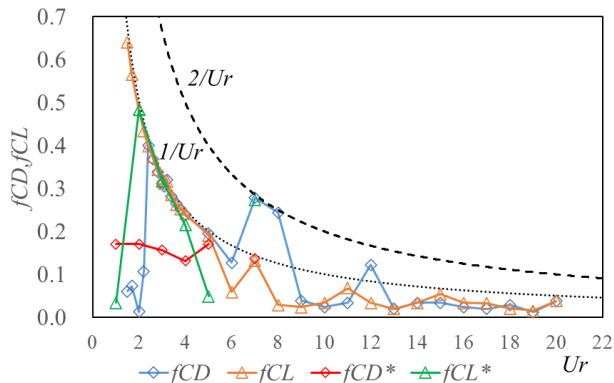


Figure6. Non-Dimensional frequency of a single cylinder

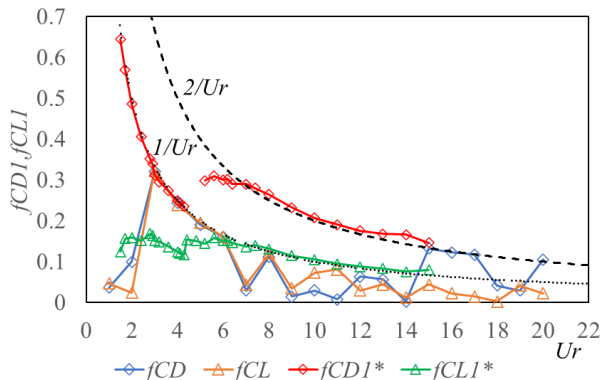


Figure7. Non-Dimensional frequency of upstream cylinder

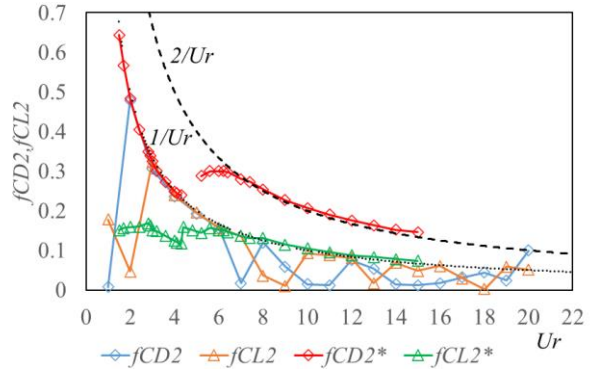


Figure8. Non-Dimensional frequency of upstream cylinder

5. 結語

単一円柱, 直列 2 円柱どちらも超臨界域では低換算速度  $Ur=2.0$  付近から円柱の無次元振動数  $1/Ur$  と一致し始める, つまり共振状態になっていることがわかる. しかし,  $Ur=8.0$  前後で共振状態ではなくなり単一円柱では  $Ur=7.0$  付近で, 直列 2 円柱上流では  $Ur=14$  付近で, 下流では  $Ur=20$  で抗力の無次元振動数  $f_{CD}$  が  $2/Ur$  と一致していることが確認された.

それに対して, 亜臨界域では  $Ur=6.0$  付近から  $f_{CD}$  が  $2/Ur$  と一致していることが分かる.

以上より, 超臨界域では亜臨界域と比較すると共振状態になりづらいという結果が得られたが, 計算結果の粗さが目立つため, 極端な値が計算された換算速度付近での再計算をする必要があると考える.

6. 参考文献

- [1]川村勉, 中尾俊次, 高橋正典, 林正明, 後藤伸穂: 超臨界レイノルズ数領域における円柱の渦励起振動, 日本機械学会論文集 (B 編), 第 65 巻 635 号, pp.2221-2229, 1997.7
- [2]安達勤, 松内一雄, 松田論, 河合達雄, 高レイノルズ数における円柱まわりの流れと抵抗, 日本機械学会論文集(B 編), 51 巻 461 号, pp.295-299, 1985.1
- [3]Carrell, J.Blessmann, On critical flow around smooth circular cylinders, J. Fluid Mech, Vol.136, pp.375-391, 1983
- [4]山田涼介, 近藤典夫, 高レイノルズ数における 2 次元円柱の流れ方向と流れ直交方向の振動解析, 第 32 回計算力学講演会講演論文集, 講演番号 126, 2019
- [5]近藤典夫, 低間隔における直列 2 円柱の流れ方向及び流れ直行方向の流力振動に関する 3 次元数値解析, 日本建築学会構造系論文, 77 巻 677 号, pp.1029-1035, 2012
- [6]佐藤拓己, 恵藤浩朗, 近藤典夫, 円柱の流力振動に関する数値解析, 日本建築学会大会学術梗概集, 2022.9