

低スクルートン数域の円柱の流力振動に関する数値的研究

Numerical Computation for fluid-induced vibration of a circular cylinder at low Scruton number

○関貴仁¹, 近藤典夫²*Takahito Seki¹, Norio Kondo²

We present numerical results of flow-induced vibration of a circular cylinder of a low Scruton number. The cylinder is assumed by model of two degrees of freedom, which is mounted in a smooth flow and is supported by a damper-spring system.

1. 研究背景

現在までに様々なスクルートン数に対する流力振動の研究が行われてきた。しかし、低スクルートン数域の渦励振に関しては実験的研究によるところが大きく、数値計算による研究は少ないのが現状である。そのような数値計算の場合では、流体解析において 2 次元計算が多く行われており、3 次元計算は少なく、主にクロス・フロー振動に着目した研究が行われている。

これに対して、スクルートン数が低い場合ではイン・ライン振動の卓越することが報告されており、イン・ライン振動とクロス・フロー振動の統一的な振動現象の把握が望まれるところである。

2. 既存の研究

岡島ら^[1]は、円柱および矩形柱の共試模型を風洞両側壁外部で両端弾性支持し、スクルートン数 Sc を $0.8 < Sc < 2.91$ の範囲で変化させ、 Sc の変化に伴う流れ方向振動応答の減衰する様子およびその限界値を明らかにしている。さらに、円柱および矩形など断面形状の異なる供試模型について振動実験結果から、断面形状の影響を調べることによって流れ方向振動の発生機構について考察している。岡島らの実験結果は、 Sc 値が大きくなるに従って振動は抑制されることを示している。さらに、その振動が発生する流速域は共振流速の半分の流速 ($Ur=2.5$) を境にして前後 2 箇所に認められ、低い流速域を第一励振域、高い流速域を第二励振域と呼ばれている。 Sc 値の増大に伴って二つの励振領域の振幅はともに減少することが捉えられている。第一励振域と第二励振域の振動振幅を比較す

ると、 Sc 値の増加に伴い急激にその振動振幅は減少するとともに、第二励振域では、振幅の減少にわせて、振幅がほぼ零に至る換算速度も早まることも示されている。また二つの励振域での円柱背後の流れパターンも異なることが報告されている。つまり、第一励振域では対称渦が発生するが、第二励振域では非対称渦になる。

近藤ら^[2]はスクルートン数が 0.2 という低い数値の 2 次元円柱に対して、レイノルズ数を亜臨界域の 10^4 とした場合のクロス・フロー振動の 3 次元解析を行い、その大きくなる振動振幅の性状と振動円柱に作用する流体力特性、ロック・イン等について言及し、さらに、超臨界域である 10^6 のレイノルズ数に対しての同様な数値計算を行い、亜臨界域の円柱の振動特性と相違点を明らかにしている。

3. 研究目的

本研究では、海底油田や海底鉱物の採掘に使われているライザー管の振動に焦点を当てて解析を行う。ライザー管は数 100m から 1000m 以上の長さになり、断面積に比べて非常に長くなるので相対的に剛性が小さくなる。そのため、波浪や流れにより大きな変形が生じやすくなる。そこで、ライザー管の中央部分の挙動に注目して解析を行うことを考える。この時ライザー管をバネとダンパーで支持された剛な円柱モデルに置き換える。

本研究では低スクルートン数域で上記に述べた単一円柱に関する流力振動挙動を捉える。また、イン・ライン振動とクロス・フロー振動の統一的な振動現象の把握を目的としている。この時、計算はイン・

1 : 日大理工・院 (前)・海建

Mejor of Oceanic Architecture and Engineering, Graduate School of Science and Technology
Nihon University

2 : 日大理工・教員・海建

Department of Oceanic Architecture and Engineering/CST/Nihon University

ラインとクロス・フローの 2 方向について行う。

4. 基礎方程式

流体の運動方程式にはナビエ・ストークス方程式を使い、その空間の離散化には有限要素法を適用する。また、円柱の運動方程式はイン・ライン方向(x)とクロス・フロー方向(y)を考慮する。円柱モデルは剛体の 1 質点 2 自由度系とし、ライザー管をバネとダンパーで支持された剛な円柱モデルに置き換える。それぞれの数値時間積分にはクランクニコルソン法とニューマーク β 法を適用する。

本研究で採用する、単一円柱数値モデルを Figure1 に示す。

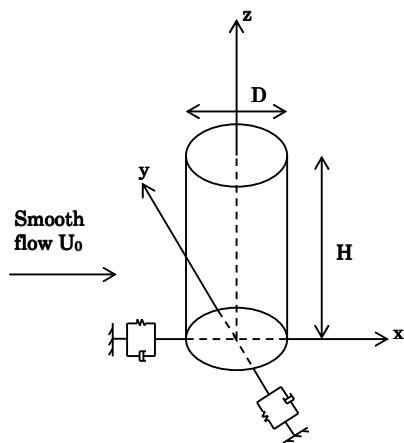


Figure1. A computational model for a circular cylinder

5. 計算結果

抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L 及び背圧係数 C_{PB} の変化を Figure2 に、イン・ライン振動(x)とクロス・フロー振動(y)の変位を Figure3 に示す。ここで、 x_{amp} 、 y_{amp} はイン・ライン振動(x)とクロス・フロー振動(y)の振幅、 x_{mem} は x の平均値 x_{sd} と y_{sd} は各々 x と y の標準偏差を表している。

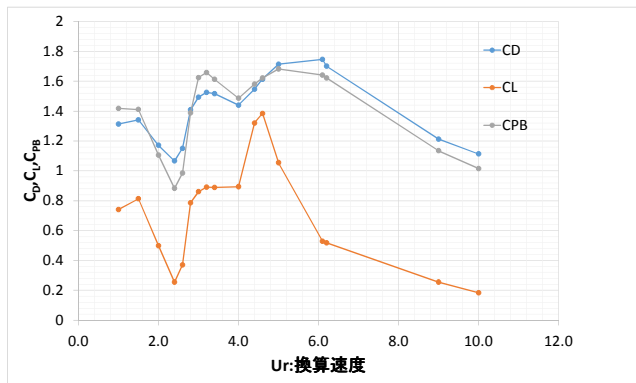


Figure2. Variations C_D , C_L , C_{PB} against Ur

Figure2 より C_D は $Ur=6.1$ で最大値、 C_L は $Ur=4.6$ で最大値、 C_{PB} は $Ur=5.0$ で最大値を取る事がわかる。また、 $Ur=2.4$ 付近でこれらの流体力は小さくなる現象が捉えられている。

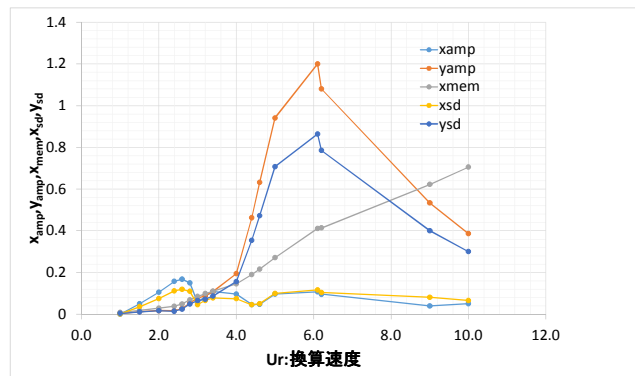


Figure3. Variations of in-line and cross-flow amplitude against Ur

Figure3 より第一励振域はイン・ライン振幅が卓越し、 $Ur=3.0$ でイン・ライン振幅はいったん減衰し、第二励振域をすぎるとクロス・フロー振幅が卓越する。 $Ur=6.1$ を過ぎるとクロス・フロー振幅は減衰し始める。

6. 結論

本論文では、低スクルートン数域での円柱の流力振動の解析を行い以下の知見を得た。

- 1). 本研究によってイン・ライン振動、クロス・フロー振動の統一的な解析を行った。
- 2). Figure.2, Figure.3 からわかるように C_D , C_L , C_{PB} が最小値になるところでイン・ライン振幅が大きくなる。また、 C_D , C_L , C_{PB} が大きくなるにつれてクロス・フロー振幅が卓越し、 $Ur=6.2$ を過ぎ始めると C_D , C_L , C_{PB} が小さくなり始め、クロス・フロー振幅も減少し始める。

7. 参考文献

[1] 岡島厚, 大津山澄明, 永森稔朗, 中野智仁, 木綿隆弘: 円柱および矩形柱の流れ方向流力振動特性, 日本機械学会論文集 (B 編), 66 巻, 635 号, (1997-7), 2196-2203
 [2] 近藤典夫: 低スクルートン数を有する円柱の渦励振に関する 3 次元数値解析, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 11 号, 2010 年 6 月, 117-124
 [3] A.Khalak and C.H.K.Williamson: Fluid Force and Dynamics of a Hydroelastic Structure With Very Low Mass and Damping, Journal of Fluids and Structures(1997)11,973-982