

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06623

研究課題名(和文) くい違い2円柱の流力振動および作用する流体力特性に関する数値的研究

研究課題名(英文) Numerical computation for vortex-induced vibration and fluid forces of two staggered circular cylinders

研究代表者

近藤 典夫 (KONDO, Norio)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：90178418

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：2円柱がくい違い配置で設置されたとき、そのくい違いの程度により、2円柱に作用する流体力や2円柱の振動性状がまちまちである。本研究では、くい違い角度の変化に対して、間隔比が2と3を対象に2円柱の流力振動計算を行った。この研究から、角度の変化に応じての流れの性状と2円柱に作用する流体力を数値的に捉えることが出来た。2円柱周りの流れパターンでは、可視化することによって、角度の相違による流れの変化を捉えることが出来た。

この研究は、低スクルートン数域に焦点を当て、さらに2円柱が近接配置された状態に限定して行ったが、そのような場合でも十分に数値計算が可能であることが示された。

研究成果の概要(英文)： When two circular cylinders are set as the staggered arrangements in smooth flow, it is found that the fluid forces acting on the two cylinders or the vortex-induced vibrations of the cylinders are different due to spacing between the cylinders. A study of the vortex-induced vibrations of the cylinders were achieved due to spacing ratios of 2 and 3 between the cylinders.

In this study, we focused on the low Scruton number in order to achieve the computation for the vortex-induced vibrations of the close cylinders, so we could accurately obtain the numerical results even in such the low Scruton number.

研究分野：数値流体力学

キーワード：2円柱 くい違い配置 流力振動 2自由度モデル 数値計算 FEM

1. 研究開始当初の背景

円柱構造物に関する過去の研究では、単一円柱[1]を対象にした渦励振が殆どで、複数円柱構造物群の渦励振(VIV)に関する研究は現在でも数少ない。さらに、円柱を1自由度モデルに設定し、インライン振動とクロスフロー振動を分けて研究が行われている事が多い。そこで本研究は、2円柱間の間隔が狭い場合を対象にして、質量減衰係数が非常に小さい2円柱の渦励振を、インライン振動とクロスフロー振動を同時に捉えられる2自由度モデルに設定し、3次元数値シミュレーション手法を使って詳細に渦励振を捉えるとともに、その数値実験システムを構築することとした。

(1)国内・国外の研究動向及び位置づけ

文献[2]に見られるように様々な配置の2円柱に関する実験的研究は古くから行われてきており、流体力特性が詳細に報告されてきた。一方、数値的研究では単一円柱に関してのVIVの3次元解析[3]の報告は多数あるものの、2円柱などの複数円柱構造物のVIV解析の報告は少ないのが現状である。このような中で、例えば、Prasanth[4]は低レイノルズ数域での2次元数値結果を報告したが、2次元数値解析では解の信頼性が低い。これに対して、研究代表者[5]は3次元解析によって直列配置された2円柱の流力振動性状を定量的に解明してきた。研究代表者による3次元解析から、直列2円柱の流力振動性状は、実験結果と同様な結果が得られることが分かり、3次元解析の必要性が確認された。このように、本研究の3次元計算はより精度の高いVIV現象を解明することが可能であり、本研究の目的および数値的手法は研究の最先端を行く内容のものと考えている。

(2)着想に至った経緯

単一円柱に関するVIV挙動の解明は、実験と数値計算の両面からアプローチされ、質量

減衰係数と換算速度に依存して複雑な様子を示すことが多数報告されている。このような中で、2円柱に関するVIV挙動は、上流側円柱からのはく離渦の影響が下流側円柱に敏感に及ぶので、2円柱のVIV挙動は複雑になることが報告されている[5]。特にライザー管のような海洋構造物では質量減衰係数が非常に小さいので、VIV挙動は顕著に現れる。また多くの工学の場では、レイノルズ数は超臨界域を超えることが多く、その解析[6]が望まれている。よって、質量減衰係数とレイノルズ数の影響を考慮した2円柱のVIV挙動の把握およびその数値実験システム開発が必要であり、本研究は、これらの両立を図る一連の数値実験システム作りを目指した。

(3)研究成果を発展させる場合にはその内容

研究代表者は参考文献[3,5]で示したように、単一円柱と直列配置2円柱に対しての3次元VIV解析を行い、その成果を報告するとともに、実験結果とよく一致していることを示した。これらに引き続き、本研究ではより精度の高い3次元解析に基づいて、海流が様々な方向から流れてくることを想定したくい違い配置2円柱に関する間隔の依存性、質量減衰係数とレイノルズ数の依存性及び流れ方向のVIV挙動への依存性について言及した。

参考文献

- [1]C. H. K Williamson: Vortex dynamics in the cylinder wake, *Annu. Rev. Fluid. Mech.*, 28, pp. 477-539, 1996.
- [2]M. M. Zdravkovich: Flow induced oscillations of two interfering circular cylinders, *Sound and Vibration*, 101(4). 511-521, 1985.
- [3]N. Kondo: Three-dimensional computation for flow-induced vibrations in in-line and cross-flow directions of a circular

cylinder, Int. J. Numerical Methods in Fluids, 70, 158-185, 2012.

[4]T. K. Prasanth and S. Mittal : Flow-induced oscillations of two circular cylinders in tandem arrangement at low Re, J. Fluids and Structures, 25, 1029-1048, 2009.

[5]近藤典夫 : 低間隔における直列2円柱の流れ方向および流れ直交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集 第77 巻 第667 号, 1029-1035, 2012 年 7 月.

[6]近藤 : 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, 117-124, 2010年6月.

2. 研究の目的

本研究は、ライザー管のように海中にある複数の円柱構造物群が海流や波の影響を受けて振動する渦励振(VIV)の解明に当たることが大きな目的としてある。構造物が海中にある場合には海水に対する構造物との質量比が小さくなるので振動が励起しやすくなる。さらに減衰定数が小さい場合には、質量減衰係数が極端に小さくなるので、このような状態にある円柱構造物は、様々な特徴ある振動性状が現れることが単一円柱の実験結果から報告されてきた[1]。本研究では、質量減衰パラメータが小さい領域で、くい違い配置された2円柱の渦励振特性、そして実験がなかなか困難な高レイノルズ数域に対しての渦励振特性も合わせて数値的に解明を図った。

3. 研究の方法

本研究の一連のVIV解析は、大きな渦励振が生じるように、質量減衰係数が小さい範囲に焦点を当てた。そして高レイノルズ数域を対象にして、くい違い配置された2円柱のVIV解析に関する研究を進め、くい違い配置の程度および間隔比の変化に対するVIV挙

動の特性を捉えた。これらの結果を踏まえて、超臨界レイノルズ数域でのくい違い配置の2円柱のVIV解析を実施し、高レイノルズ数域のVIV挙動を解明した。これら一連の数値解析は、流体-構造連成解析により行い、2円柱の振動振幅が大きくなるので、それに合わせて流体計算領域のメッシュを動かすという Arbitrary Lagrangian · Eulerian (ALE)法を採用した。

4. 研究成果

数値解析では、図1のようにくい違い配置された状態を考える。本研究では静止2円柱に対して間隔比 $S/D=2$ と 3, 振動2円柱に対しては間隔比 $S/D=3$ における計算を実施した。スパン比 H/D を4に設定し、レイノルズ数 Re は高レイノルズ数域の20,000とした。

また、振動2円柱の計算では、質量比 $\chi=12$ 及び減衰定数 $h=0.663\%$ で与えた。その結果、スクルートン数 $Sc=1.0$ である。

図2は数値計算を実施するときの振動変位と流体力の方向を示している。また、圧力係数 C_p は角度 θ の向きに沿って $0\sim 360^\circ$ の角度で表示をする。

図3は間隔比 $S/D=2$ と 3, くい違い角度 $\phi=10^\circ$ のとき、くい違い配置した静止2円柱の圧力係数 C_p を示している。直列2円柱との比較を示しているが、下流円柱では相違が顕著に表れており、圧力分布はくい違い角度 $\phi=0^\circ$ の時の対称な分布から、くい違い角度 $\phi=10^\circ$ の時の非対称な分布へ変化している。図4はこのときの2円柱周りの流れを示したものである。くい違い角度 $\phi=10^\circ$ では、上流円柱からのはく離渦は下流円柱の下側を流れるようになるために、これが要因として圧力分布に相違が生じる。

図5は、 $1.5 \leq Ur \leq 5$ の範囲でくい違い2円柱のイン・ラインとクロス・フロー振幅を示している。上流円柱のイン・ライン振幅は、単一円柱の場合とその傾向は同じである。下

流円柱のイン・ライン振幅は、くい違い配置のために第1励振と第2励振の境界の振幅が低くなる換算速度に相違が生じている。

図6はくい違い配置における振動2円柱の平均圧力係数 C_p を示している。イン・ライン振動が激しいので、図3-3), 3-4)と性状が大きく異なることが分かる。

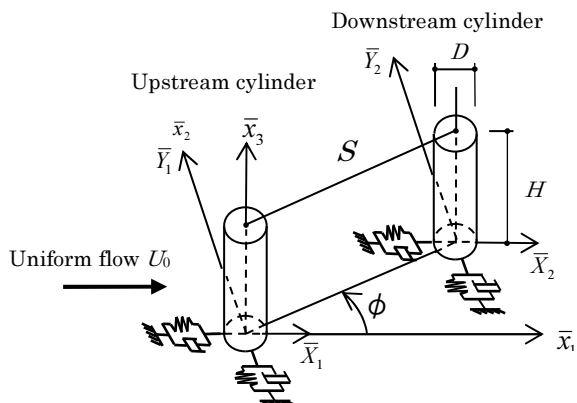


図1 くい違い2円柱の数値計算モデル

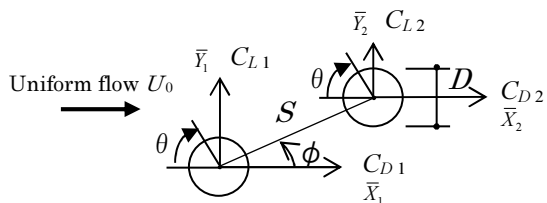
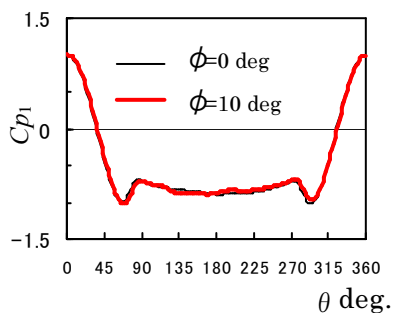
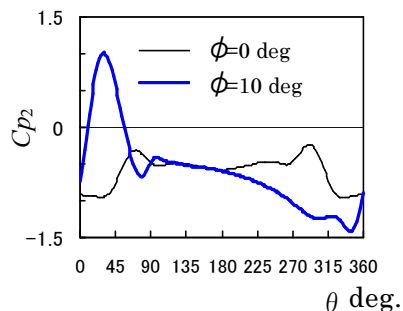


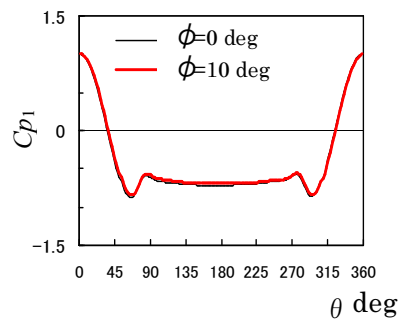
図2 変位, 抗力係数, 揚力係数, 角度の向き



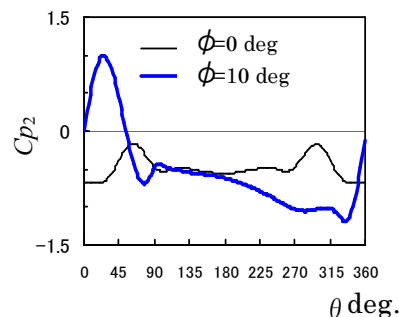
3-1) 上流円柱, $S/D=2$



3-2) 下流円柱, $S/D=2$

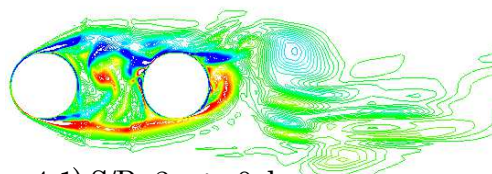


3-3) 上流円柱, $S/D=3$

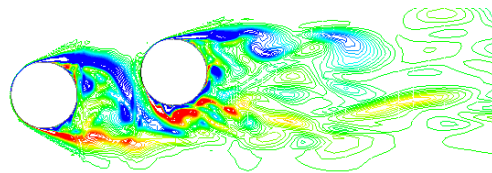


3-4) 下流円柱, $S/D=3$

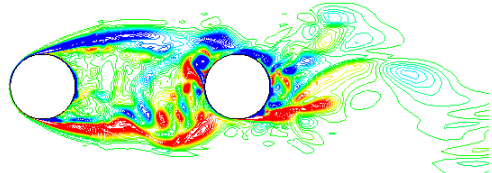
図3 静止2円柱の平均圧力係数 $C_{p\alpha}$



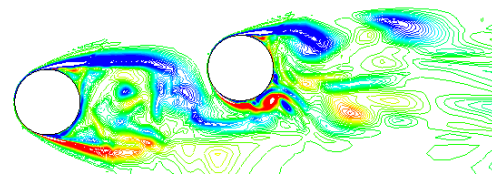
4-1) $S/D=2$, $\phi=0$ deg.



4-2) $S/D=2$, $\phi=10$ deg.



4-3) $S/D=3$, $\phi=0$ deg.



4-4) $S/D=3$, $\phi=10$ deg.

図4 静止円柱周りの瞬間渦度

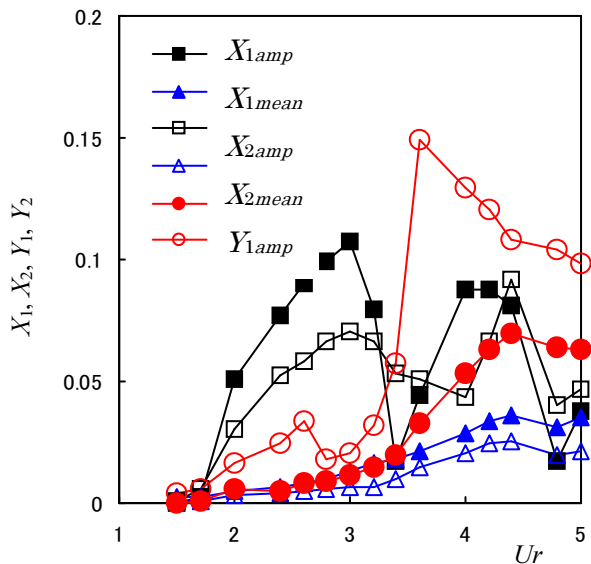


図5 振動2円柱の振動振幅, $S/D=3$, $\phi=10$ deg.

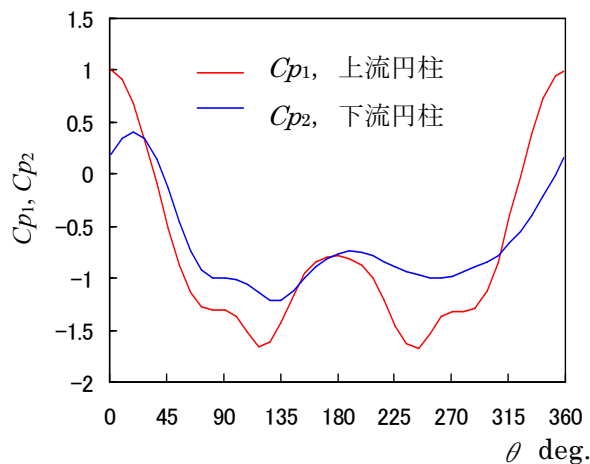


図6 くい違い配置した振動2円柱の平均圧力係数 $C_{p\alpha}$, $Ur=2.8$, $S/D=3$, $\phi=10$ deg.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 13 件)

① 横山侑弥, 近藤典夫

単一角柱のギャロッピング振動及び後流渦構造について, 平成 29 年度日本大学工学部学術講演会予稿集, CD-ROM, 平成 29 年 12 月

② 呉翹楚, 近藤典夫

広い間隔で配置された並列 2 円柱の空力振動に関する数値解析, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, CD-ROM, 平成 29 年 9 月

③ 守川耀, 近藤典夫

低スクルーン数での直列 2 角柱正方形角柱のギャロッピング振動解析, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, CD-ROM, 平成 29 年 9 月

④ 横山侑弥, 近藤典夫

単一角柱の流力振動における 3 次元渦構造について, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, CD-ROM, 平成 29 年 9 月

⑤ 横山侑弥, 近藤典夫

単一角柱の流力振動における 3 次元渦構造について, 平成 28 年度日本大学理工学部学術講演会予稿集, CD-ROM, 平成 28 年 12 月.

⑥ 守川耀, 近藤典夫

近接した直列 2 角柱のギャロッピング振動解析, 日本機械学会, 第 29 回計算力学講演会, CD-ROM, 平成 28 年 9 月.

⑦ 近藤典夫

くい違い配置 2 円柱の流れ方向に関する流力振動解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (福岡), CD-ROM, 平成 28 年 8 月.

⑧ 守川 耀, 近藤典夫

低スクルーン数での正方形角柱のギャロッピング振動解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (福岡), CD-ROM, 平成 28 年 8 月.

⑨ 近藤典夫, 田中裕基

並列 2 円柱の流力振動に関する 3 次元数値計算, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), CD-ROM, 平成 27 年 9 月.

⑩ 関貴仁, 近藤典夫

低スクルーン数域の円柱の流力振動に関する数値的研究, 平成 27 年度日本大学理工学部学術講演会予稿集, CD-ROM, 平成 27 年 12 月.

⑪ 井手佑介, 近藤典夫

並列 2 角柱の流体力特性に関する 3 次元数値解析, 平成 27 年度日本大学理工学部学術講演会予稿集, CD-ROM, 平成 27 年 12 月.

⑫ 外川信弘, 近藤典夫

円柱の流力振動に関する 3 次元数値解析

平成 27 年度日本大学工学部学術講演会予稿集, CD-ROM, 平成 27 年 12 月.

⑬ 守川耀, 近藤典夫

低スクルーション数での角柱のギャロッピング振動解析, 平成 27 年度日本大学工学部学術講演会予稿集, CD-ROM, 平成 27 年 12 月.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

近藤 典夫 (KONDO, Norio)

日本大学・工学部・教授

研究者番号 : 90178418