

水平振動する鉛直円柱によって誘起される流体運動に関する基礎的研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2018-10-10 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松本, 弘史 メールアドレス: 所属: 大阪市立大学
URL	https://doi.org/10.24544/ocu.20181011-002

氏 名 松本 弘史

学 位 の 種 類 博士 (工学)

学 位 授 与 年 月 日 平成29年3月31日

学 位 論 文 名 水平振動する鉛直円柱によって誘起される流体運動に関する基礎的研究

論文審査委員 主査 重松 孝昌

副査 加藤 健司

副査 相馬 明郎

論文内容の要旨

鉛直円柱の周りに形成される流体運動の特性を把握することは工学的に重要である。定常流中に固定された鉛直円柱周りに形成される流動の特性は Reynolds number や複数の円柱の場合はその配置によっても変化することが、多くの研究によって明らかにされている。定常流を鉛直円柱群に作用させた場合、主流方向と直角な方向にスロッピングが発現する場合があります。この現象の発生条件や発生機構、また、このとき円柱群の周囲に形成される水面変動の特性についても明らかにされている。一方、水平振動する鉛直円柱の周りに形成される流動については、単一円柱および2本の円柱の周りに形成される渦流の概況が、Reynolds number や Keulegan-Carpenter number によって変化することが明らかにされてきたが、工学上有用と考えられる円柱群を対象とした場合はほとんど明らかにされていない。さらに、定常流を円柱群に作用させたときに主流方向と直角な方向に発生する場合があるスロッピングが、流体中で円柱群を振動させた場合に発現するかどうかは明らかでない。

以上の状況に鑑みて、本研究では、単一円柱周りに誘起される流体運動の知見に基づき、水平振動する鉛直円柱によって誘起される流体運動について検討することを目的とした。

本論文は、全5章で構成されている。第1章では、本研究の背景を述べ、既往研究を概観した後、本研究の目的を述べた。

第2章では、静止流体中で水平振動する鉛直単一円柱および円柱群によって誘起される流体運動を高速カメラを用いて面的に撮影し、画像流速計測法を適用することで、円柱近傍に誘起される2次元流動の詳細を検討した。その結果、円柱群の場合は単一円柱の周辺に形成されるような明確な渦流のパターンは観察されず、振動方向およびそれと直角な方向の円柱列間距離や格子・千鳥配置によって、円柱背後に渦対が発生する場合や循環流が発生する場合、円柱振動軸に対して斜め方向や直角方向に周期的な流動が出現する場合など複雑な流況を示すことが明らかとなった。特に、第3者の場合には、円柱の振動周期よりも短い周期で、振動軸と直角方向の流動

が発現する場合があることが見出され、このとき流動と同じ振動数で水面が変動する場合があることが見出された。

第3章では、第2章で観測された振動軸に対して直角方向の流動が発生している際に有意な水面変動が発生する条件を検討することを目的として、円柱群の構造条件および振動条件を変化させて実験を行った。その結果、円柱の振動方向だけでなくそれと直角方向にも大きな水面形状の変化が発現していることが明らかとなり、この時の水面の振動周波数が、ポテンシャル理論で求められるスロッシングの周波数と一致していることを明らかにした。さらに、本実験条件の下では、このスロッシングは水深が大きいほど発生しやすく、千鳥配置よりも格子配置の方が発生しやすいことを明らかにした。

第4章では、気液二相流運動解析モデルを構築して、水平振動する鉛直単一円柱周りに形成される流体運動を計算することで、単一円柱の場合もその振動方向とは直角な方向のスロッシングが発生するという新たな知見が得られ、同モデルによってこのスロッシングの発生機構を検討できることを示した。

第5章では、各章で得られた結果をまとめ、本論文の結論とした。

論文審査結果の要旨

石積み堤や消波ブロック等の多孔質構造物による波エネルギー消散機能や物質の攪拌・混合機能は、これらの間隙を流体が通過する際の複雑な流体運動と密接な関係があることは容易に想像される。また、円柱群に代表される多孔質構造を有する攪拌装置を用いた物質の攪拌・混合促進は、幅広い工学分野において一般的に行われる手法のひとつである。しかし、これらの攪拌・混合メカニズムの詳細は、波動としての流体運動や攪拌装置の運動が比較的単純な振動現象であるにも関わらず、これらの振動と異なる方向や時間スケールの運動が誘起されるだけでなく、その発現する条件に関する知見が少ないために、ほとんど未解明である。本研究は、このような現象の発現メカニズムの解明を目的として、振動円柱群によって形成される流体運動の詳細を水理実験によって明らかにするとともに、現象解明に資する新たな数値計算法の提案とその妥当性について検証した結果を取りまとめたものである。

論文では、まず、単一円柱及び円柱群周辺の流体運動に関する既往研究を概観して本研究の背景および目的を提示している。その後、単一円柱および円柱群を静止流体中で水平振動させ、これによって誘起される水平2次元流体運動の詳細を検討し、単一円柱においては、振動軸を対称軸とするカルマン渦ではなく既往研究で報告されているような振動軸とは異なる方向に渦列が発生する場合があることを確認している。そのうえで、円柱群を振動させた場合においては、円柱間で渦対や循環流、円柱群の振動と直角方向への振動流が発生する場合があることを明らかにし、振動流が発生する Keulegan-Carpenter 数(以後、KC 数と略す)およびレイノルズ数の条件を明らかにしている。次に、円柱群を水平振動させたときに発生する上述の振動流と水面波との関係に着目し、KC 数を一定として円柱群の配置、円柱設置間隔、水深、レイノルズ数などの条件を変化させて実験を行い、円柱群の振動に対して直角方向にスロッシングが発生する場合の条件を見出している。さらに、水面を有する液体中を

複数の固体が運動する現象を厳密な境界条件の下に計算することが可能な三次元固気液混相モデルを開発し、単一円柱が振動する場合を対象としてモデルの妥当性を示すとともに、本モデルにより、実験では計測が困難な3次元流動構造の解明の可能性を示している。

以上のように、本論文の著者は、水平振動する円柱群によって誘起される複雑な流動を実験結果に基づいて分類して示し、流動構造と水面変動との関係を明らかにするとともに、複雑な固体境界条件や気液界面を含む固気液混相流場の新たな計算手法を構築・提案している。これらの成果は、流体力学分野において重要な知見を提供しており、海岸工学をはじめとする工学諸分野の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文の著者は、博士(工学)の学位を受ける資格を有するものと認める。