

平成 29 年 5 月 26 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420460

研究課題名(和文) 円柱の後流振動の発生メカニズム解明とその風力発電への応用可能性の検討

研究課題名(英文) Investigation on mechanism of wake excitation of circular cylinders and possibility of its application to wind power generation

研究代表者

長尾 文明 (NAGAO, FUMIAKI)

徳島大学・大学院理工学研究部・教授

研究者番号：40172506

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：複数物体において、上流側物体の後流に位置する円形断面の構造物や部材には、上流側物体の後流と下流側円形断面物体の相互干渉作用によって、後流振動とも呼ばれる空力不安定振動(ウェイクエクサイテーション)が生じる。高レイノルズ数においては、円柱の軸方向に作用する空気力の非一様性がウェイクエクサイテーションの発生を抑制していること、また、上流側円柱からの剥離流による変動圧力の相関が円柱間隔によって異なり、ウェイクエクサイテーションの発生と密接に関連していることを明らかにするとともにこの不安定振動を風力発電装置としても利用可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The wake excitation of close-spaced tandem or staggered circular cylinders is known to develop from the interaction between the leeward circular cylinder and wake flow of the windward circular cylinder. The wake galloping vanished at supercritical Re , due to the non-uniformity of the aerodynamic force along the circular cylinder. The correlation of fluctuating pressure on leeward circular cylinder by separated flow from the windward circular cylinder was different in depending on cylinder intervals, which related to the occurrence of wake excitation closely. Finally, the possibility of application of wake excitation to wind power generation was examined.

研究分野：風工学

キーワード：後流振動 振動発生機構 円柱 風力発電

1. 研究開始当初の背景

複数物体において、上流側物体の後流に位置する円形断面の構造物や部材には、上流側物体の後流と下流側円形断面物体の相互干渉作用によって、後流振動とも呼ばれる空力不安定振動（ウェイクエクサイテーション）が発生するが、その振動発生メカニズムは完全には明らかになっていない。

本研究は、斜張橋等の並列ケーブルの振動がケーブルの固有振動数の変化による応答特性を検討中において、わずか直径 0.75mm のピアノ線や厚さ 1mm、幅 8mm の扁平な長方形の後流に位置する直径 40mm の円柱に気流直交方向を主とする楕円状の大振幅の空力不安定振動が発生することが明らかとなり、構造物の下流側に位置する円柱の空力振動特性の新たな側面が明らかとなったことに端を発している。下流側円柱の直径の 50 分の 1 程度という相対的に極めて小さな寸法の構造物の後流中において、下流側円柱に空力不安定振動が発生する現象の解明そのものも本研究の特色・独創的な点であるが、発想を転換し、下流側円柱に生じる空力振動の抑制のみだけでなく、その振動現象そのものを風力発電装置の源に利用できるのではないかと考えるようになった。

既に風力発電装置には、種々の形式のものが利用されているが、台風などの強風時には、強制的にブレーキをかけて運転を停止している。しかしながら、近年の台風による強風の作用によって、大型風車の倒壊やブレードの破損等の事故が頻発している。一方、本研究で提案する風力発電装置は、下流側円柱の空力振動を利用するものであり、下流側円柱は、強風時においてもある定常な振動振幅で固有振動数とほぼ一致した振動数で振動するため、強風時においても安定した発電が可能である。したがって、従来無駄にしていた強風時の風力エネルギーを効率よく発電できることが予想でき、社会に多大な貢献が可能である。さらに、本発電装置は、高速道路の盛土部分、橋梁やビル屋上等既設構造物の風の強いところに容易に設置することが可能であり、発電規模は大きくはないが広範囲にわたって大量にかつ安価に設置することによって再生可能エネルギーを使用した低炭素化社会の実現に大きく寄与できると考えられる。

2. 研究の目的

本研究においては、精緻な風洞実験を行い円柱に生じるウェイクエクサイテーションのより詳細な発生機構を解明することとこの極めて空気力学的に不安定な現象を、上流側物体として橋梁の地覆やビル屋上のパラペット或いは落下防止柵の水平材等を利用し、その背後に円柱を設置し、この下流側円柱に生じる空力振動のエネルギーを風力発電としての利用可能性について検討し、近年の懸案事項である CO₂ 削減に多大な貢献を

果たそうとするものである。

3. 研究の方法

本研究は、固体壁や地覆や防護柵等の下流側に設置された表面粗度が付設された円柱に生じる空力振動特性を精緻な各種風洞実験（最適な表面粗度の抽出のために、主流方向と気流直交方向の 2 自由度支持の応答実験、気流直交方向のみの 1 自由度支持応答実験）によって把握し、さらには、この空力不安定振動現象の発生メカニズムについても、可視化実験、熱線風速計による円柱まわりの気流計測実験、微風圧計による静止時・振動時における下流側円柱に作用する表面変動圧力の計測実験等によって、明確にするものである。

さらに、この極めて空気力学的に不安定な断面の特性を風力発電装置として利用するための風洞実験を行い風力発電装置としての可能性について検討するものである。

4. 研究成果

円柱に生じる後流振動のより詳細な発生機構解明のために、円柱まわりの流れ場を支配するパラメータである流体の慣性力と粘性力の比で定義されるレイノルズ数がウェイクエクサイテーションに及ぼす影響について風洞実験を用いて検討した。その結果、ウェイクエクサイテーションの特性についての検討がほとんどなされていない臨界レイノルズ数以上の高風速の超臨界レイノルズ数領域において、ウェイクエクサイテーションは、その応答の 2 次元性が著しく低下し、気流直交方向と気流方向の 2 自由度及び気流直交方向のみの 1 自由度支持の両支持条件下において並列列配置のみならず千鳥配置においてもウェイクエクサイテーションがもはや発生しなくなることが明らかになった。この結果は、下流側円形断面物体の寸法を大きくすることによって、より大きな振動エネルギーを下流側円形断面物体に誘起させ、この大きな振動エネルギーを利用してより多量の風力発電量を得ようとするのが難しいことを意味している。したがって、ウェイクエクサイテーションを利用した小規模な発電装置を多量にかつ安価に普及させることによって CO₂ の削減を目指す必要があることが確認された。

上記のように、臨界レイノルズ数以上の高風速領域においては、円柱の軸方向に作用する空気力の非一様性がウェイクエクサイテーションの発生を抑制していることが懸念されにため、円柱に作用する表面変動圧力や振動の励振力となる変動揚力のスパン方向の空間相関について、単独円柱と並列 2 円柱を対象として、まずは、亜臨界領域のレイノルズ数において風洞実験によって検討した。その結果、単独円柱においては、カルマン渦による変動圧力と変動揚力に、スパン方向に一樣な分布となる空間相関を高める変

動とスパン方向に節を有し空間相関を減少させる成分の変動が存在することが明らかとなった。これは円柱の長さが長くなるほど顕著であった。並列 2 円柱の場合にも同様なことが確認されるとともに下流側円柱の表面変動圧力には、上流側円柱からの剥離流による変動成分の存在も明らかとなった。さらに、下流側円柱においてはカルマン渦に起因する変動圧力と上流側円柱からの剥離流による変動圧力の相関が円柱間隔によって異なることが明らかとなり、ウェイクエクサイテーションの発生と密接に関連していることが明らかとなった。

さらに、風洞実験によって、この下流側円柱に生じるウェイクエクサイテーションを利用した発電の可能性について検討した結果、装置の小型化、軽量化等による発電効率の向上策や厳しい自然環境下における装置の耐久性、使用性、安定性等数多くの課題は残されており、今後さらなる検討が必要ではあるが、風力発電装置として利用可能であることが確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Fumiaki Nagao, Minoru Noda, Masahiro Inoue, Shota Matsukawa and Akihiro Shitamori: Properties of wake excitation of circular cylinder, Proceedings of 1st International Symposium on Flutter and its Application, 査読有, pp.359-366, 2017.

Minoru Noda, Onishi Shinya and Fumiaki Nagao: Study on spatial correlation of fluctuating pressure acting on a circular cylinder, Proceedings of 1st International Symposium on Flutter and its Application, 査読有, pp.367-374, 2017.

野田 稔, 大西 慎也, 細見 玄武, 長尾 文明: 静止並列 2 円柱の表面変動圧力の空間組織構造, 日本風工学会論文集, 査読有, Vol.41, No.3, 93-102 頁, 2016 年.

Minoru Noda, Onishi Shinya and Fumiaki Nagao: Fluctuating pressure acting on leeward circular cylinder of fixed tandem circular cylinders, Proceedings of 8th International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, 査読有, pp.1-10, Boston, June 2016.

野田 稔, 大西 慎也, 細見 玄武, 長尾 文明: 静止円柱の表面変動圧力の空間相関および組織構造特性, 構造工学論文

集, 査読有, Vol.62A, 404-413 頁, 2016 年.

〔学会発表〕(計 7 件)

Minoru Noda, Onishi Shinya and Fumiaki Nagao: Fluctuating pressure acting on leeward circular cylinder of fixed tandem circular cylinders, 8th International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, pp.1-10, Boston(United States of America), June 7-11 2016.

Fumiaki Nagao, Minoru Noda, Masahiro Inoue, Shota Matsukawa and Akihiro Shitamori: Properties of wake excitation of circular cylinder, 1st International Symposium on Flutter and its Application, Mielparque-tokyo (Minato-ku, Tokyo), May 15-17 2016.

Minoru Noda, Onishi Shinya and Fumiaki Nagao: Study on spatial correlation of fluctuating pressure acting on a circular cylinder, Proceedings of 1st International Symposium on Flutter and its Application, Mielparque-tokyo (Minato-ku, Tokyo), May 15-17 2016.

野田 稔, 大西 慎也, 長尾 文明: 側壁境界条件およびアスペクト比が静止円柱の表面変動圧力に与える影響, 第 29 回数値流体力学シンポジウム, 九州大学筑紫キャンパス(福岡県春日市), 2015 年 12 月 15-17 日.

大西 慎也, 野田 稔, 長尾 文明: 数値流体解析における静止円柱の表面圧力の変動特性, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 岡山大学(岡山県・岡山市), 2015 年 9 月 16-18 日.

野田 稔, 大西 慎也, 長尾 文明: POD 解析による静止円柱の表面変動圧力の組織構造に関する研究, 平成 27 年度日本風工学会年次研究発表会, 徳島大学(徳島県・徳島市), 2015 年 5 月 27-28 日.

下森 章弘, 野田 稔, 長尾 文明: 高レイノルズ数領域における並列 2 円柱の空力応答特性, 平成 27 年度土木学会四国支部第 21 回技術研究発表会, 香川大学工学部(香川県・高松市), 2015 年 5 月 23 日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕(計0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

長尾 文明 (NAGAO, Fumiaki)
徳島大学・大学院理工学研究部・教授
研究者番号：40172506

(2)研究分担者

野田 稔 (NODA, Minoru)
徳島大学・大学院理工学研究部・准教授
研究者番号：30283972

(3)研究協力者

大西 慎也 (ONISHI Shinya)
寺本 真太郎 (TERAMOTO Shintaro)
森 一樹 (MORI Kazuki)
岡村 宗一郎 (OKAMURA Soichiro)
下森 章弘 (SHITAMORI Akihiro)