E215 1 自由度を有する独立ピッチ制御可能な風車模型のネガティブダンピング

Negative damping characteristics on a wind turbine model with independent pitch control

小林 洋平・舞鶴高専

松井 快記・舞鶴高専

荒川 忠一・東大

Yohei KOBAYASHI, MNCT

Hayaki MATSUI, MNCT

Chuichi ARAKAWA, Tokyo Univ.

Key Words: 風車, 風力発電, 洋上風力, 浮体式洋上風力発電, 自然エネルギー

論文要旨

独立ピッチ制御可能な二枚翼の水平軸プロペラ型風車模型を製作し、ピッチ制御に伴い発生するネガティブダンピングを実験的に明らかにしようと試みた。供試模型はタワーが転倒する方向に一つの自由度を持ち、重心はこの回転の中心よりも下にあるので通常は安定な状態である。この風車模型に送風機からの風を流入させ翼を回転させる。この状態でそれぞれの翼のピッチ角を周期的に変化させてタワーが転倒する方向のピッチングの動揺角度を変化する様子を連続的に測定した。実験では風速は一定とし、この状態で翼のピッチ角の変動周期を連続的に変化させた。ピッチ制御の動作周期を左右の翼で異なる値とすることのネガティブダンピングに対する影響を実験的に明らかにすることを目的とする。

1. 諸言

洋上風車には、海底に基礎を作り固定する着底式洋上風車と洋上に浮かべる浮体式洋上風車がある。浮体式と着底式の最大の違いは係留の仕方により特性が異なるが動揺する可能性がある点であり、相対流入風速の変化に伴う翼の最適ピッチ角への追従制御の条件によってはこの動揺を助長するネガティブダンピングが発生する可能性がある⁽¹⁾。過度な動揺はトップヘビーな浮体構造物である浮体式洋上風車を不安定な状況とし、最悪倒壊させる危険がある。倒壊は極端な例としても過度の動揺は機器の寿命に悪影響を与え機械的なトラブルを誘発する。また、発電量にも影響を与える。このようにネガティブダンピングは、浮体式洋上風車の運用に悪影響を与えると予測される。

著者らは、一枚翼の実験用風車を使って、翼ピッチを風車全体の固有周期に一致するようにピッチ角制御することでタワーの動揺が増幅される現象を確認した⁽²⁾。本論文では、二枚翼の風車で、左右で異なる周期でピッチ角を変化させることによる影響を明らかにしようと試みた。

2. 実験の概要

本研究で設計した風車模型を3次元CADにより図示したものが図1である。2枚翼の水平軸風車である。この模型風車はパソコンからの信号で翼のピッチ角とその周期の制御、上部に取り付けられたロータリエンコーダによる風車ロータの回転数測定が行える。タワーの途中に設けられたピッチング方向の回転角度はポテンシオメータにより検出可能である。ピッチ制御機構は、翼のピッチ角を角度検出用のポテンシオメータからの信号でモータにより変化させる方式により行っている。ロータ回転数の速度制御は、ピッチ角により制御が可能である。本研究で用いた風車は二枚翼であり、左右の翼のピッチ角を独立に制御することができる。

風車模型に取り付ける翼の翼型は、NACA4412を使用した。翼は比重1.1のサイコウッドを材料とし、CAMによりマシンニングセンタで製作した。翼幅は166.6 mm、翼弦長は75.0 mm、翼厚は9.0 mmである。また、図2は実験模型の寸法をあらわす。

Fig.1 Wind turbine model

Fig.2 Detail of the experimental model turbine

図3は、実験で用いた機器の構成を表したものである。送風機の前に設置された風車は、設定された周期で図4のようにピッチ角を変化させる動作を繰り返す。この繰り返す周期を0.5秒～1.4秒で連続的に変化させてタワー動揺に与える影響を測定する。

Fig.3 Experimental apparatus

Fig.4 Blade pitch angle

3. 実験結果

図5は、自由振動実験の結果をあらわす。自由振動実験はタワーを初期角度50°に設定し、その状態から手を放して自然と減衰の様子を測定したものである。このグラフから周期を読み取ると、本実験系の固有周期は1.4秒であることがわかる。

供試風車を送風機の前に設置し、風速9 m/sの風を風車に流入させてブレードを回転させた状態で翼ピッチを連続的に変化させながらタワー動揺角度を測定した。図6に示す通り実験中のロータの回転数は、約300 rpm程度である。図7はその結果をあらわし、ピッチ角を変化させる時間(s)を横軸に取り、縦軸にタワーの動揺角度(°)を示してある。実験系の固有周期に近い時間でピッチ角を変化させたときに動揺角度が大きくなる現象が観察された。

図8は、タワーの動揺波形を測定開始から時間ごとにプロットしたものである。やはり、特定の条件でタワーの動揺が大きくなっていることがわかる。

4. 結言

独立ピッチ制御可能な風車模型を設計製作し、ピッチ制御の周期とタワー動揺の関係を明らかにしようと実験を行った。タワーの動揺は、ピッチ制御の制御周期がタワーの固有周期に近づく条件で大きくなる。このような状況は、外乱を受けた浮体式洋上風車が動揺に合わせてピッチ制御するような状況で発生が予測される。なお、左右の翼のピッチ制御周期を異なる値として実験した場合のタワー動揺に与える影響については、発表会の中で報告する予定である。

Fig.5 Result of free damping test

Fig.6 Fluctuation of rotational speed

Fig.7 Period dependence of tower sway angle

Fig.8 Waveform of the tower

謝辞

本研究は、科学研究費補助金基盤B「浮体式洋上を目指した超大型風車の提案とその動解析」(研究代表: 荒川忠一)により行われた。ここに謝辞を記す。

参考文献

- (1) T. CHUJO, et al., Model experiments on the motion of a spar type floating wind turbine in wind and waves, Proceedings of OMAE 2011.
- (2) 小林洋平 他, 1自由度を持つピッチ制御可能な風車模型のネガティブダンピング, 第18回動力・エネルギー技術シンポジウム