翼素運動量理論による Hydro-VENUS ブレードの性能評価

岡山大学　正会員　○比江島慎二
岡山大学　学生会員　森谷　尚史

１．はじめに

流れによって剛体振り子にギャロッピングを発生させて発電する Hydro-VENUS(Hydrokinetic Vortex ENergy Utilization System)[1)~7)]を開発している．特に，半楕円形の断面を持つ振り子が激しいギャロッピング振動を発生するとともに，復元力を除去することで，通常のタービンのような片方向の回転も生じることが判明した．この回転時には通常の翼型タービンブレードに匹敵するエネルギー取得性能が得られており，性能評価についても翼型と同等の扱いができる可能性がある．本研究では，通常の翼型ブレードの性能評価に使われる翼素運動量理論を用い，回転型の Hydro-VENUS の性能評価を試みる．

２．風洞実験と数値流体解析による揚力・抗力データの取得

翼素運動量理論による性能評価解析に必要な揚力･抗力の迎角特性を得るため，図 1 の風洞実験を行った．長径と短半径がそれぞれ 60mm と 10mm(断面アスペクト比 6) の半楕円形の断面を持ち，スパン 300mm の Hydro-VENUS ブレード(ABS 樹脂製)について，風速 12m/s の下でブレード迎角αを変えながら，6 分力ロードセルを用いて定常揚力・抗力を測定した．

同様に，半楕円柱ブレードの断面長径 D，スパン 3.2D とするとき，流れ方向 80D，流れ直角方向 40D，奥行き方向 3.2D の周辺流れ場を 6120000 個の 6 面体要素で分割して数値流体解析を行った．ANSYS Fluent のせん断応力輸送(SST)k-omega 乱流モデルを用い，$Re = 62000$ で定常解析した．

測定および解析した揚力係数 C_L, 抗力係数 C_D, 揚抗比 C_L/C_D を図 2 に示す．いずれも風洞実験の方が数値流体解析よりもやや大きめの値となっているが，迎角αに対する傾向は類似している．これらの揚力・抗力を用い，半楕円柱 1 枚翼のローターと仮定したときのエネルギー取得性能について，翼素運動量理論に基づく性能解析を行った．

３．水槽実験によるブレード回転時の性能評価

翼素運動量理論に基づく性能評価結果との比較のため，実際に回流水槽で半楕円柱 1 枚翼のローターを回転させてエネルギー取得性能を測定した．長径 25mm，短半径 4.2mm(断面アスペクト比 6)の半楕円形の断面を持ち，スパン 80mm の図 3 の半楕円柱ブレード(ABS 樹脂製)を用い，ピッチ角βを変えたケー

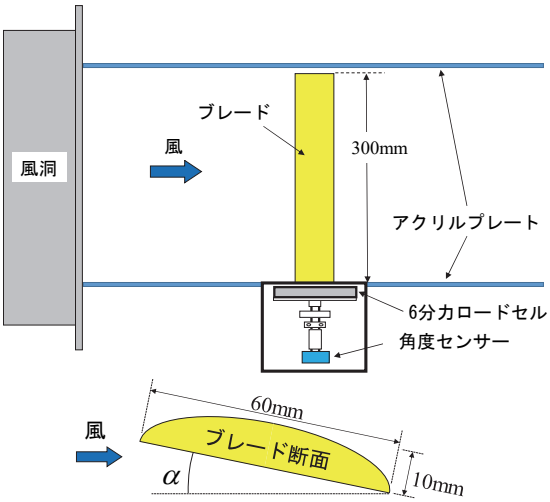


図 1 風洞実験装置と半楕円柱ブレード断面

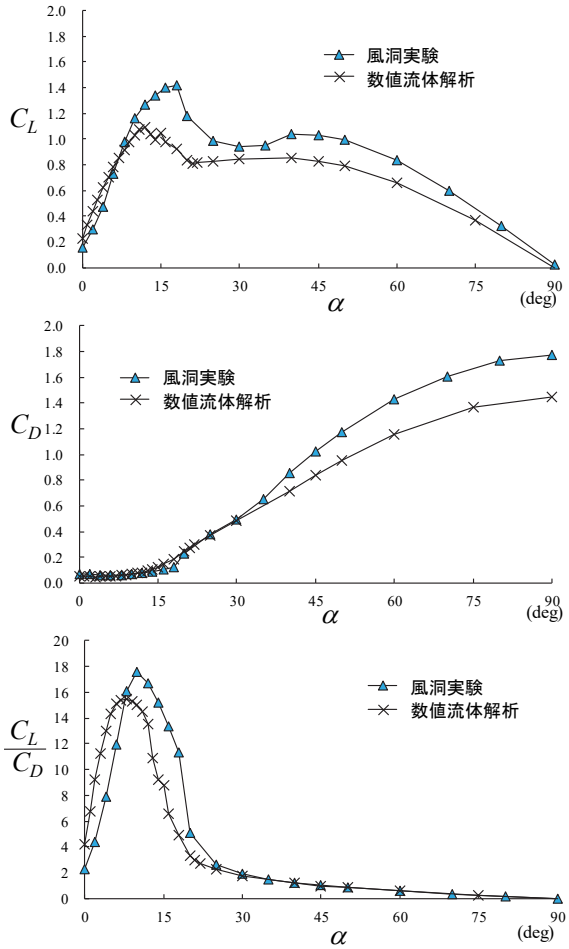
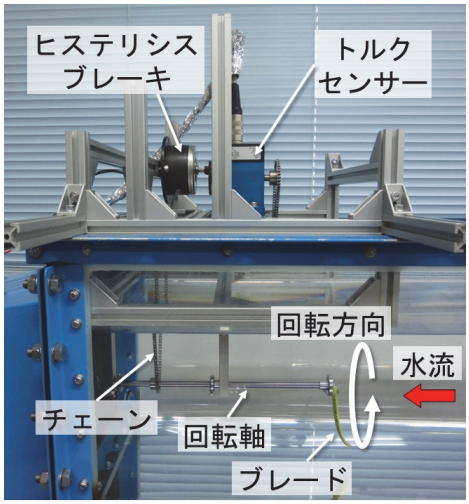


図 2 半楕円柱ブレードの空気力特性

キーワード　Hydro-VENUS，潮流発電，風力発電，半楕円柱，翼素運動量理論
連絡先　〒700-8530　岡山市津島中 3-1-1　岡山大学大学院環境生命科学研究科　E-mail:hiejima@okayama-u.ac.jp

© Japan Society of Civil Engineers

スについて測定した．なお，ブレードにねじりは与えておらず，いずれも 1 枚翼のローターである．図 3 の水槽実験装置において，ブレードの回転はトルクセンサーに伝達され，トルクと角速度を計測する．ヒステリシスブレーキでトルク負荷を与えながら，トルクと角速度の積から仕事率を算出し，仕事率の最大値を探索した．



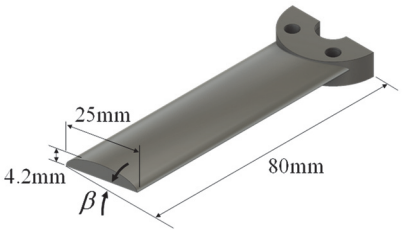


図 3 水槽実験装置と半楕円柱ブレード

4．翼素運動量理論に基づく性能解析結果と水槽実験の比較

図 2 を用いて翼素運動量理論に基づく性能評価解析を行い，図 3 の水槽実験から得たパワー係数 C_p と比較して図 4 に示す．ピッチ角 β に対するパワー係数 C_p の変化の傾向において，翼素運動量理論による解析結果は水槽実験(Winglet なし)と類似している．パワー係数 C_p が最大となるピッチ角 β は翼素運動量理論(風洞実験)と水槽実験(Winglet なし)でいずれも $\beta = 3°$ で一致し，翼素運動量理論(数値流体解析)では $\beta = 5°$ となっている．

ただし，いずれのピッチ角 β においても，翼素運動量理論で求めたパワー係数 C_p は水槽実験(Winglet なし)よりも高い値となっている．これは，水槽実験ではブレード先端から放出される翼端渦によって大きな損失が生じるのに対し，翼素運動量理論ではその損失が考慮されていないのが原因と考えられる．参考として，ウィングレット(ブレード先端の折り曲げ)を持つ半楕円柱ブレードの水槽実験結果も図 4 に示している．このときのウィングレットは長さ 20mm，折り曲げ角度 70°で，先端にかけてテーパーを付けている．ピッチ角 $\beta = 0°$ の結果だけであるが，ウィングレットの導入により，ウィングレットなしのときのパワー係数 $C_p = 0.22$ から $C_p = 0.32$ に大きく上昇し，これは $\beta = 0°$ の翼素運動量理論(風洞実験)の $C_p = 0.30$ に近い．つまり，ウィングレットにより翼端渦が抑制されたことで，翼端渦による損失を考慮していない翼素運動量理論(風洞実験)の結果に近づいたと考えられる．また，このことから，翼素運動量理論(数値流体解析)の解析結果は，β が小さいときにエネルギー取得性能をやや過小評価していると推測される．

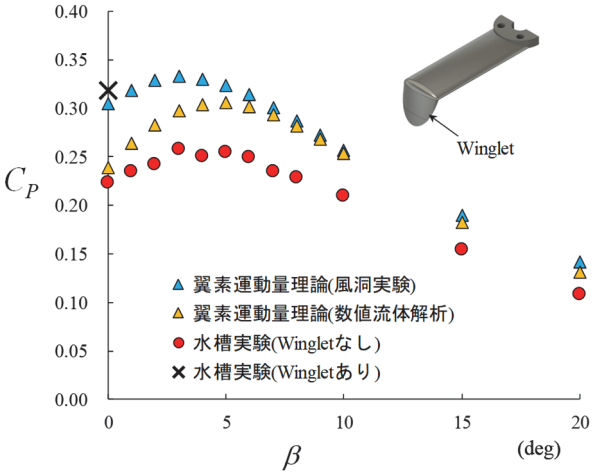


図 4 翼素運動量理論に基づく解析と水槽実験におけるパワー係数の比較

4．まとめ

半楕円柱の Hydro-VENUS ブレードについて，風洞実験と数値流体解析により静止ブレードで得た定常揚力・抗力を元に，翼素運動量理論に基づく性能解析を行った．得られたパワー係数は，翼端損失を考慮していない分，水槽実験で実際にブレードを回転させたときのパワー係数よりも大きくなるものの，ピッチ角に対するパワー係数の変化の傾向は定性的に一致した．

謝辞：本研究の一部は日本財団・(株)リバネス共同事業の海底探査技術開発プロジェクトおよび一般社団法人中国建設弘済会の技術開発支援事業の支援により行われたことを付記し，ここに謝意を表します．

参考文献

1) 比江島他：土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.69, No.1, pp.12-21, 2013.　2) 比江島他：第 22 回風工学シンポジウム論文集，pp.425-430, 2012.　3) 比江島他：土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.72, No.2, pp.315-321, 2016.　4) Hiejima, S., et al.: *Proc. Grand Renewable Energy* 2014, O-Oc-3-2, 2014.　5) 比江島他：土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.73, No.1,　pp.24-34, 2017.　6) 比江島他：土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.74, No.1, pp.1-12, 2018. 7) 比江島他：翼端渦抑制による VENUS ブレードのエネルギー取得性能の向上，第 25 回風工学シンポジウム論文集，pp.91-96, 2018.

© Japan Society of Civil Engineers