

直線翼垂直軸型水流発電システムの検討

DEVELOPMENT OF STRAIGHT WING VERTICAL AXIS HYDRO TURBINE GENERATION SYSTEM

鳥井正志¹・山根信¹・大久保寛²・関和市³・関田欣治⁴・相良景太⁵

Tadashi TORII, Makoto YAMANE, Hiroshi OOKUBO, Kazuichi SEKI,

Kinji SEKITA and Keita SAGARA

¹新日本製鐵株式会社 (〒100-8071 東京都千代田区大手町 2-6-3)

²正会員 新日本製鐵株式会社 (〒229-1131 神奈川県相模原市西橋本 5-9-1)

³工博 東海大学 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117番地)

⁴正会員 工博 東海大学 (〒424-8610 静岡県清水市折戸3-20-1)

⁵東海大学 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117番地)

The tidal and sea current turbines are one of potential utilization of renewable energies as well as offshore wind ones. However they possibly produce efficiently electricity because of high density of water to air and more steadiness of flow to winds, hydro turbine generation system is less employed than wind one. We are studying an application of Straight Wing Vertical Axis Hydro Turbine Generation Systems in the tidal current. This paper presents the results of hydraulic model test using 2-dimensional channel and field test.

Key Words : sea current, tide, renewable energy, hydroturbine

1. はじめに

海潮流発電のポテンシャルは高く、風力発電に比べて水の流体密度が空気より約3桁大きく安定しており、しかも相当の賦存量が期待できる。しかしながら、海洋環境下で利用するには波浪が発電性能や荷重に及ぼす影響など未解明な部分がある。

本論文では「直線翼垂直軸型水流発電システム」を対象として海洋環境下での適用可能性を検討した。「直線翼垂直軸型水流発電システム」は鉛直回転軸のまわりに複数の直線翼を固定して持つことを特徴とし、シンプルな構造で高い変換効率を有している。

室内実験、現地実証実験を行い、安定性、発電性能を検討した。室内にて潮流を模擬した曳航実験を静水中において行い、潮流により水車に作用する荷重について基本的な特性を把握した。さらに兵庫県南あわじ市南淡町において、流速、回転数などの現地実証実験を行った。

2. 室内実験

潮流によって水車に作用する荷重の設定は水車を支持する構造物を設計するうえで重要であり、本システム

の経済性と安全性を左右する。そこで、2次元造波水路（幅0.5m、長さ20m、水深40cm）において潮流を模擬した曳航実験を静水中において行い、潮流速度と水車に作用する荷重（以下、潮流力）の関係を検討した。曳航実験は図-1に示す水車模型をロードセルを介して曳航台車に取り付けて走行し水車に相対流速を生じさせて潮流を模擬したものであり、曳航力（潮流力相当）、曳航速度（潮流速さ相当）、回転数および発電量を計測した。曳航力はロードセル、曳航速度はポテンシオメータ、水車の回転数はフォトセンサを用いて計測した。

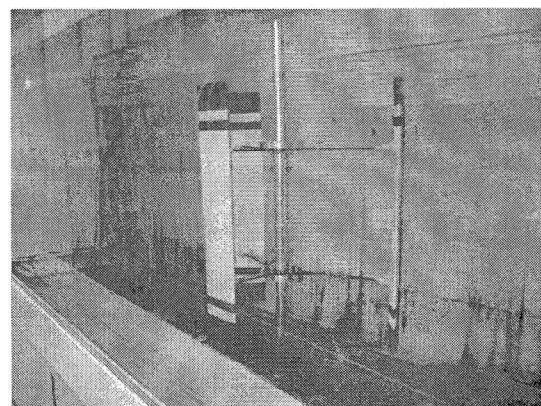


図-1 水車模型実験の概況写真

(1) 曳航速度と回転数

実験を想定した実験ではないが模型の縮率は1:50とし、実験は模型の曳航速度を7cm/s ～36cm/sに変化させた7ケースの実験を行った。図-2 は実験で得られた曳航速度と1分間あたりの回転数 (r. p. m.) の関係を示したものであり、約20cm/s が初期起動速度となった。

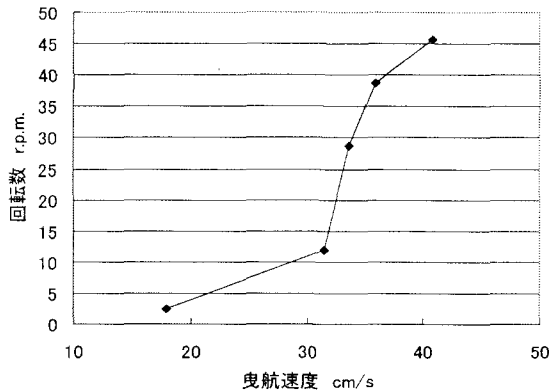


図-2 曳航速度と回転数の関係

(2) 曳航力の時刻暦

図-3 は計測した曳航力の時刻暦の一例 (曳航速度 36cm/s の場合) を示したものであり、横軸に経過時間、縦軸にロードセルで計測した曳航力及び回転数を示している。曳航速度、回転数が定常に達した4秒後以降も、曳航力は変動していることがわかる。

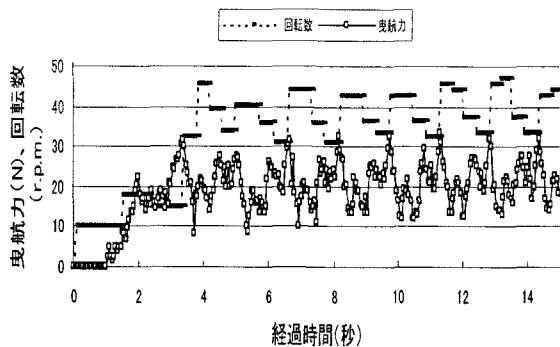


図-3 計測した曳航力の時刻暦

(3) 曳航速度と曳航力

図-4 は曳航速度と曳航力との関係を調べるために横軸に曳航速度をとり、縦軸に曳航力を示したものである。曳航力は各実験ケースの時刻暦から最大値、最小値および平均値を読み取り図中にパラメーターとして示した。また、図中には抗力の計算値 (曳航速度の自乗に受圧面積、抗力係数及び密度を乗じたもの) を記載しており、水車の直径を有する円筒形の投影面積を受圧面積とした場合を計算値1とし、静止時 (回転をしない場合) の水車の投影面積を受圧面積とした場合を計算値2とし、抗力係数はともに1.2とした。実験で得られた曳航力の平均

値と計算値を比較すると受圧面積をブレードの投影面積 (計算値2) ではなく、円筒形と見なした場合 (計算値1) の抗力値に近いことがわかる。

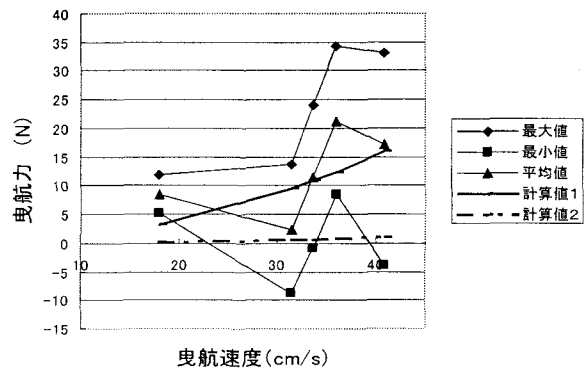


図-4 曳航速度と曳航力の関係

(4) 曳航力の時間変動

実験で得られた曳航力の時刻暦は変動しており、その変動の周波数成分を検討するため、フーリエ級数に展開した。その結果の一例 (曳航速度 36 cm/s の場合) を図-5 に示す。曳航力のフーリエ級数の第1のピーク値に対応した周期は1.34秒であり、回転数の平均周期1.55秒に近い。また、第2のピーク値に対応した変動周期は0.5秒であり、水車は3枚の翼で構成されていることから、回転数の3分の1の周期で変動したものと推察できる。

図-4 及び図-5 から、水車が回転するとともに水車の内側に止水領域が生じ、このため水車は円筒形の構造物に近い挙動となり、さらに水車の回転の変動に応じて曳航力が変動したものと考えられる。今後、数値解析による確認が必要である。

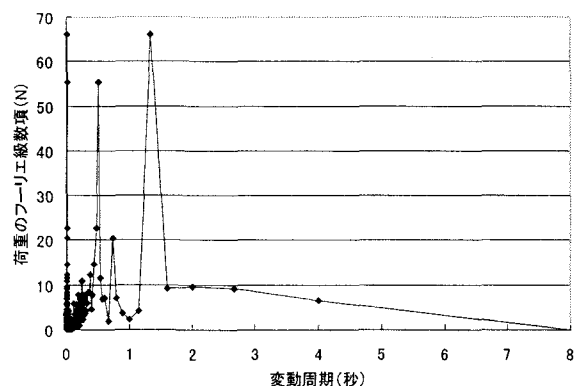


図-5 曳航力のフーリエ級数

(5) まとめ

以上から曳航力について次の知見が得られた。

- ・約20cm/sが初期起動速度となった。
- ・曳航速度、回転数がともに定常に達した後も、曳航力は時間変動し、その変動周期は水車の回転周期に近い。
- ・曳航力の時間変動を平均した値は水車を直径とする円筒構造物に作用する抗力に近い値をもつ。

3. 現地実証実験

垂直軸直線翼水車の実用性を確認するため、実海域環境場における稼働実証実験を実施した。

(1) 実験方法

実験は、兵庫県南あわじ市南淡町にある浮体式海釣り公園「うずしおメガフロート南淡」において実施した。図-6 に示すように、本浮体施設は2基のドルフィンにより係留されたポンツーンで、水平変位は極めて小さく、また浮体下を海水が流通する。このポンツーンの一角にある生簀（イクス）開口部から水車部が潮流環境下に位置するように実験装置を懸架して設置し約7日間発電実験を実施した。

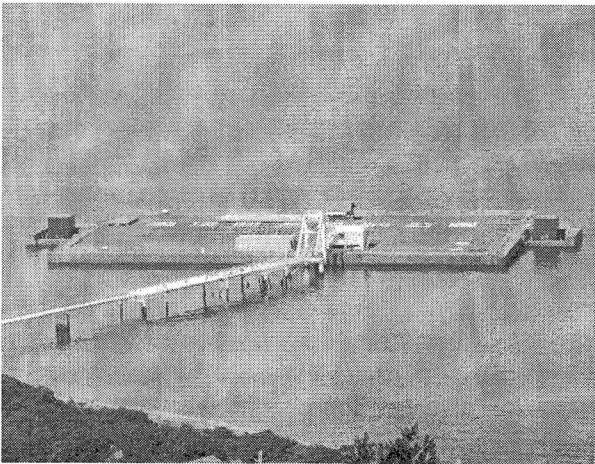


図-6 実証実験場所

(2) 実験装置

水流発電実験装置の概要を図-7 及び図-8 に示す。装置はタービン部である水車を海中に、また、電機・機械部を海面上に配置するよう計画した。鉛直シャフトの下端に水車を取り付け、水流により発生する回転トルクをシャフトで海面上に伝達させ、頂部においてプーリー・ベルトを介して伝達された回転で発電機を駆動させる。また、装置はイクス内で浮体構造から支持用アームで懸架する。

水車は受水面積が 1m^2 、水車直径 1.0m 、翼長 1.0m 、翼弦長 0.3m 、翼断面型はTWT翼型を用いた。計測項目としては、水車近傍の流向と流速および水温、発電機の回転数と発電電圧、また発電装置シャフトケーシングの4方向に歪ゲージを取り付け、稼働に伴う発生歪を計測した。それぞれの計測データは近傍の監視室内に設置したパソコンに記録した。なお、流向・流速計データはメモリーデータを、また波高は目視にて観測した。

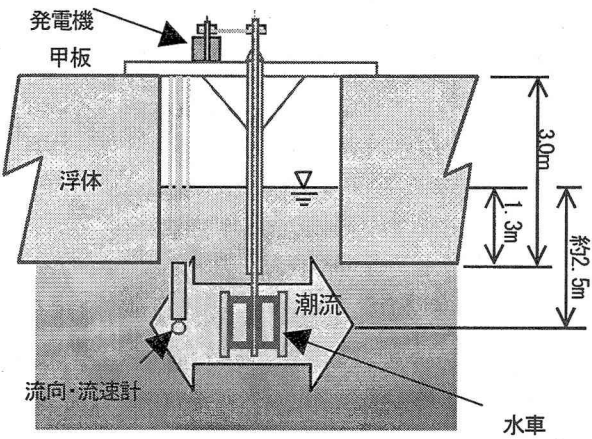


図-7 水流発電実験装置

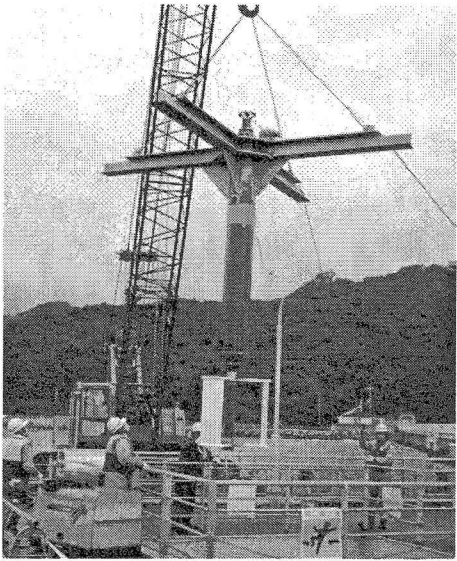


図-8 実験装置全景

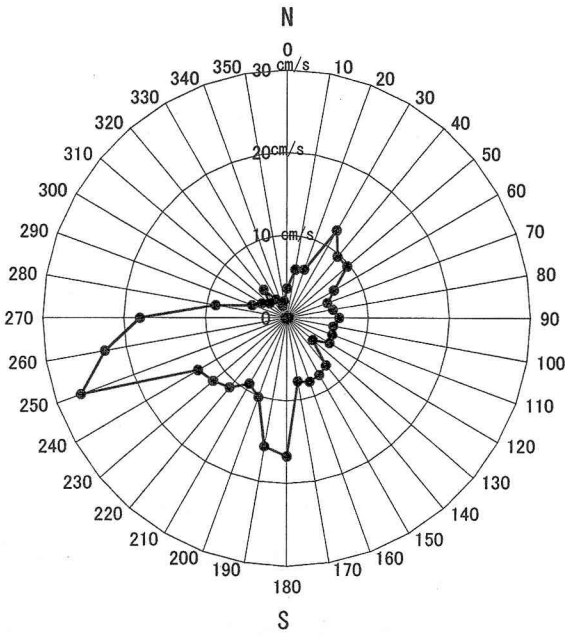


図-9 実験地点の流況

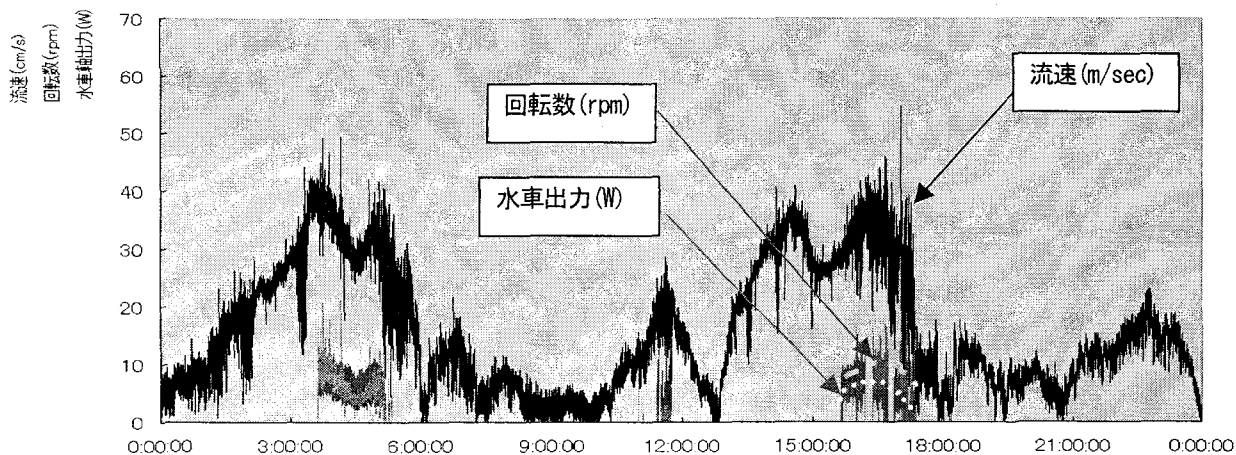


図-10 計測結果時刻暦 (一例)

(3) 流況観測結果

実験期間中に計測された潮流の流向・流速（平均流速）分布を図-9に示す。流向は250度方向に卓越するものの全方向に分布しており、上潮・下潮といった単純な2方向の流れではなく、実験海域の地形特有の流況であった。なお、瞬時流速は最大60cm/sec程度まで出現した。

(4) 発電実験結果

図-10に水流発電装置での発電結果の時刻歴データとして流速(m/sec)、水車の回転数(r.p.m.)、水車軸出力(W)の計測データを示す。流速が上昇し、0.25m/sec程度から水車が回転し始め、これに合わせて水車が発電（水車軸出力発生）し、流速の変動に応じて回転数、軸出力が追随していることが分かる。流速と発電出力の関係を知るため水車の周速比 λ （ブレード先端速度/流速）に対する発電出力のパワー係

数 C_p （水車により得られるパワー/水車を通過するパワー）について、計算値¹⁾²⁾³⁾と実験計測値を比較した（図-11）。計算値は直線翼垂直軸型風車の出力理論式を適用し、流体を空気から海水に置き換えて計算した。実験計測値は計算値の周囲に分布し、計算値と良い一致を示しており、数値計算の有効性を確認した。

4. まとめ

直線翼垂直軸型水車を用いた水理模型実験および実海域実験を行い以下のことがわかった。

- ・流速0.25m/sec程度から水流による発電が可能であり、実験データは予測した性能曲線のまわりに分布し良好に一致した。このことから水車の出力理論は同形式の風車理論を適用可能であることが確認できた。
 - ・水流発電装置の一形式として懸架式の直線翼垂直軸型水流発電装置を実海域で稼働実験し、その有効性を確認した。
 - ・直線翼垂直軸型水車により水流発電装置では流向変動に関わらず水流速に応じて発電されることが確認できた。
- 今後、波浪の影響を検討し解明することが必要である。

謝辞:本実験は、兵庫県南あわじ市南淡町および福良漁業協同組合に実験場所の提供等ご協力をいただきました。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 関他：東海大学産業学科研究所研究報告，15号，pp.2-5，1984
- 2) 関他：直線翼垂直軸風車の性能，太陽エネルギー（日本太陽エネルギー学会），Vol.16 No.3，pp.35，1990
- 3) 関他：直線翼垂直軸型風車の性能に関する研究，第23回風力エネルギーシンポジウム論文集，日本風力エネルギー協会，pp.157，2001

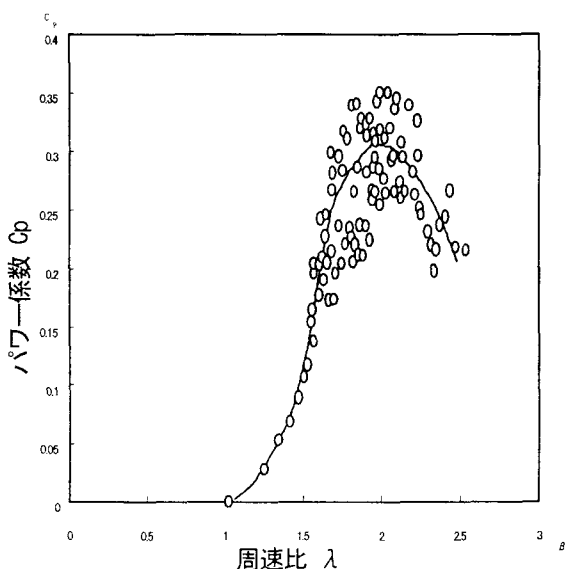


図-11 性能曲線