

津軽海峡の海流及び潮流を利用した発電装置の開発

A development on power generating apparatus for ocean and tidal current in Tsugaru Strait

函館工業高等専門学校	○正 員	蛭子翼 (Tsubasa Ebiko)
函館工業高等専門学校	正 員	宮武誠 (Makoto Miyatake)
函館工業高等専門学校	非会員	劔地利昭 (Toshiaki Kenchi)
北海道大学工学研究院	正 員	猿渡亜由未 (Ayumi Saruwatari)

1. はじめに

近年，脚光を浴びている海洋再生エネルギーとして，日本周辺海域における潮流や海流の利用が挙げられる．新エネルギー・産業総合開発機構（NEDO）の推定によると，津軽海峡周辺海域における潮流・海流に関するエネルギー賦存量は，他の海域に比べ高く推移することが示されている¹⁾．これを受け，函館市では同海峡の流速・流向を利用した潮流発電装置の開発に積極的に取り組んでいる．本研究は函館市からの委託を受け，平成25年度から戸井町汐首岬周辺において津軽海峡の潮流・海流の流速等の実測調査を行い，調査結果等に基づく解析および検討を行ってきた．その結果，年間通じた流況に関する現地観測及び数値解析の結果から，津軽海峡の流れは大きく冬春期と秋期の2部構成になっており，その期の潮・海流エネルギー密度が年間通じ，高く推移することを明らかにしてきた²⁾³⁾．

しかし，流況の季節変動は著しく，年間安定した潮流エネルギーを回収することは難しい．実際に津軽海峡に発電装置を設置するにあたっては，これまで以上に高効率で回収できる発電システムの開発が強く望まれる．これを受け，本研究では潮流・海流を直接受けるタービン・ブレードや電力への変換効率を最大限にする方法として，タービンブレードの回転軸を流体軸受け構造とすることやタービン・ブレードとその外縁に電磁石とコイルを配し，タービン自身を発電機とすることで高効率化を図る検討を行ってきた（図-1）．また，これに加え，風力発電ですでに高い実績のある「つば付き漸拡レンズ水車」⁴⁾による流速増幅効果を活用した潮流発電システムを開発しており，風洞実験によるつば付き漸拡レンズ水車の最適形状を決定している．

本研究は，2次元開水路に冬春期と秋期の2部で構成される津軽海峡の流況を2次元可傾斜水路に再現し，最適化されたつば付き漸拡レンズ水車模型を用いて，翼急縮部のレンズ効果による流速増幅効果を明らかにし，レンズ効果が有効に働く速度域を解明することを目的とする．

2. 通過流量からみた潮・海流エネルギー密度

潮流発電装置の開発にあたり，装置を通過する流量は重要なファクターとなる．本研究では津軽海峡における調査より四期における現地の通過流量を求め，流量とエネルギー密度との関係を考察する．

図-2は，現地観測で得た各期の観測流速に調和分解

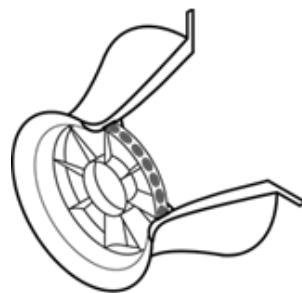


図-1 レンズ水車による潮流・海流発電装置の概要図

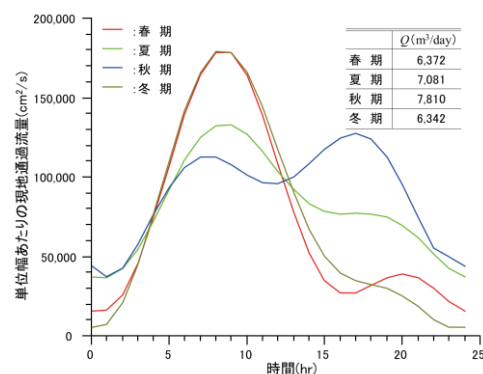


図-2 調和分解より求めた現地の通過流量

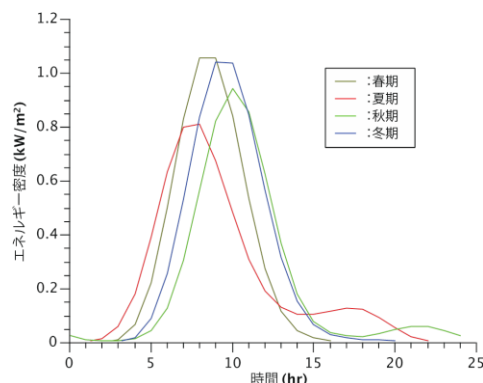


図-3 各期の中層における潮流海流エネルギー密度

を施し求めた主要4分潮の潮流流速と恒流流速を合成し，単位幅あたりの断面通過流量を算出した結果を示す．図中には積分して求めた日あたりの累加通過流量の値も揭示する．ここで，各期別に流量変動パターンを見ると，

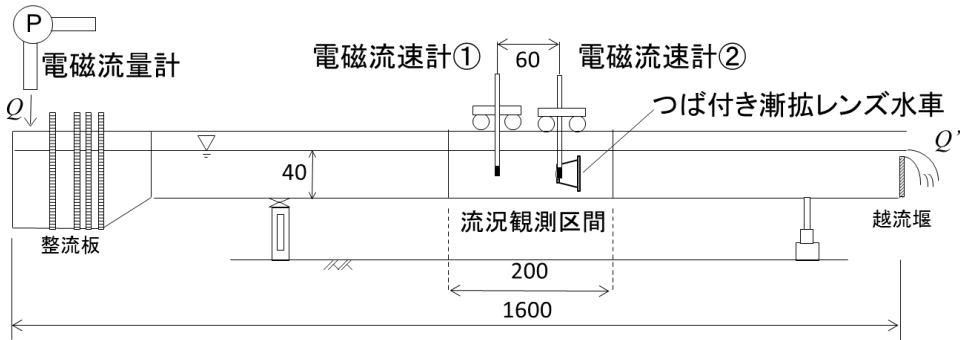


図-4 実験装置の概要図(単位: cm)

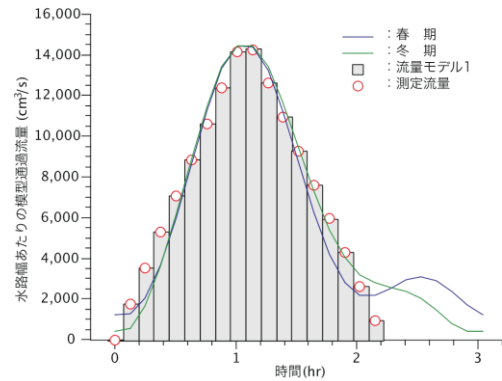
冬春期はともに1日あたりの流量の経時変化が一山となり、ピーク流量が期間中最も大きくなっているが、日通過累加流量で見ると、夏秋期に比べ小さい流量特性を有している。次に秋期を見ると、流量の日経時変化が二山となり、ピーク流量は冬春期と比べそれほど大きくないが日通過流量は期間中最も大きくなる。一方、その間の期となる夏期は通過累加流量が冬春期と秋期の間程で、ピーク流量も冬春期ほど小さくなく、秋期のように二山にもなっていない。従って、夏期の流量は冬春期から秋期へと向かう遷移的な状態であると考えられる。よって、津軽海峡の流況は流量を主眼においても、冬春期と秋期の2部構成になっていると考えられる。

図-3 は単位面積あたりの潮海流エネルギー密度を示す。潮海流エネルギー密度は各期ともに中層に集中し、流量の日経時変化が一山となりピーク流量が卓越する冬春期で最も高いエネルギー密度を有する。しかし、二山となり、日通過流量が高く推移する夏秋期においても、特に秋期において、冬春期とほぼ同程度のエネルギー密度に達する。

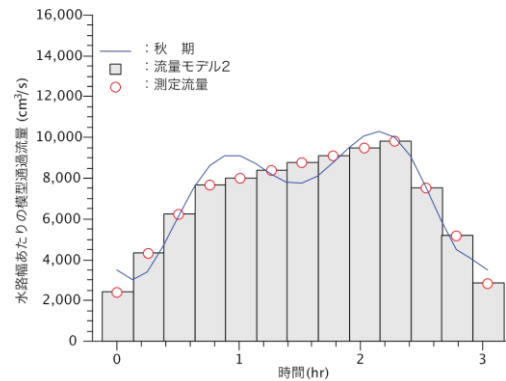
以上より、通過流量とエネルギー密度との両面から、エネルギー密度が高く推移するには、一山となりピーク流量が瞬間的に大きくなる冬春期と日通過流量が卓越する秋期となる。本研究は、上述の流量パターンのどちらでレンズ水車による流量増幅効果が有効に働くのか模型実験によって検討するものとする。

3. 実験要領

実験は図-4 に示すように、長さ 1600cm、高さ 40cm、奥行き 40cm の2次元開水路内につば付き漸拡レンズ水車を縮尺 1/62.5 で再現して行った。なお、つば付き漸拡レンズ水車模型は別途行った風洞実験により最適化された寸法のもと、光造形型 3D プリンターにより造形化した3次元模型を使用した。上流側から与える流量は、前述した観測流速の鉛直分布から求めた冬春期及び秋期の流量を Froude 相似律によってスケールダウンさせたものを図-5(a)及び(b)のように階差状に近似した流量モデルにより与える。以後、この冬春期及び秋期の流量モデルをそれぞれ、流量モデル1及び2と呼ぶことにし、流量モデル1では各時間ごとに全18ケース、流量モデル2では全13ケースの流量を階差的に上流から与えた。



(a) 流量モデル1(冬春期)



(b) 流量モデル2(秋期)

図-5 流況を代表する流量モデル

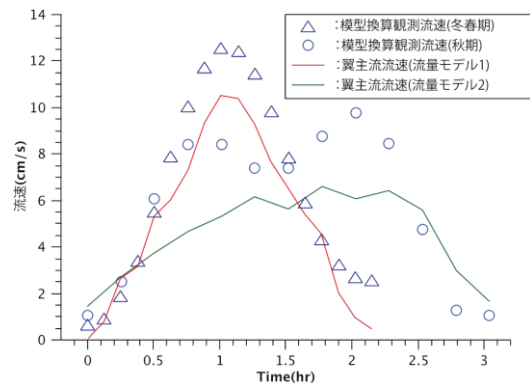


図-6 主流流速の再現性

また、これらの流量は現地の模型換算水深 40cm を確保しながら流下させるため、下流端には越流堰を設け、流入流量 Q と越流流量 Q' がバランスするよう留意した。つば付き漸拡レンズ水車模型は現地観測の結果、年間通じて潮海流エネルギー密度の高かった中層に相当する水深に設置した。電磁流速計は翼急縮部と上流側の主流部に設置し、主流側の流速計は下流側の翼急縮部の影響を受けないように、翼急縮部より 60cm 上流側と十分な距離をとって設置した。規定流量を流し、水深より流れの定常性を確認後、翼急縮部及び上流側の主流の流速を同期計測した。計測のサンプリング間隔を 0.5 秒として、1 分間連続的に計測し、その平均を代表流速とした。計測された流速は、現地の流速を模型換算した値と比較し、再現性を検討した。

4. 実験結果

図-6 は現地観測で得られた中層流速と本実験で得た主流流速の比較を示す。流入流量が大きくなるに従い、主流部の流速は観測値と模型値との間に差異が見られるものの、概ね現地の流量を再現しているものと考えられる。

図-7 は流量モデル 1 及び 2 における翼主流流速と翼急縮部の流速との関係を示す。いずれの流量モデルにおいても、急縮部では主流流速を上回る流速が発生している。両流量モデルを比較すると、ピーク流量が大きく一山となる流量モデル 1 において、やや高い増幅率を有している。

以上より、レンズ水車による流速増幅効果は断面を通過した累加流量よりも、瞬間で生じる流量の大きさに対し有効に働くことがわかる。

図-8 は、主流流速と流速増幅率の関係を示す。両者の関係はほぼ指数関数的な関係にあり、流速増幅率は主流流速が遅くなるに従い増大し、速くなると激減する傾向が認められる。これは急縮部の流速を増幅する要因となるつば背後に形成する渦が主流流速の増加に伴い、より下流側に移動し、渦による負圧によって生じる急縮部間での圧力傾度をゆるやかにすることに起因する。

5. 結論

本研究で得られた結論を要約すると、以下のとおりである。

- (1) 戸井町汐首岬周辺における津軽海峡の流量変動パターンを四期別に見ると、日変動が一山で、最大のピーク流量を示すパターン(冬春期)と、日変動が二山で、ピーク流量は冬春期ほどではないが、累加流量は冬春期より大きくなるパターン(秋期)に分けられる。
- (2) 流量モデル 1 及び 2 を 2 次元開水路内に再現し、つば付き漸拡レンズ水車模型を用いて、翼急縮部の流速増幅効果についてそれぞれ検証すると、一山でピーク流量が卓越する流量モデル 1 で有効に働く。

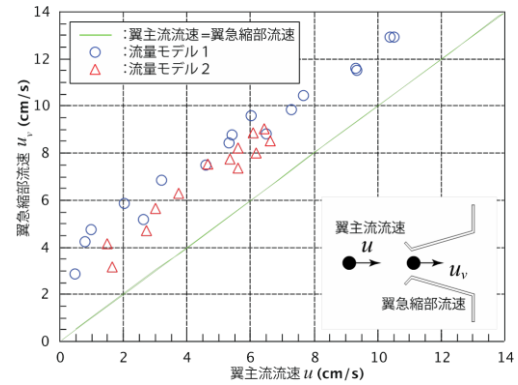


図-7 流速増幅効果

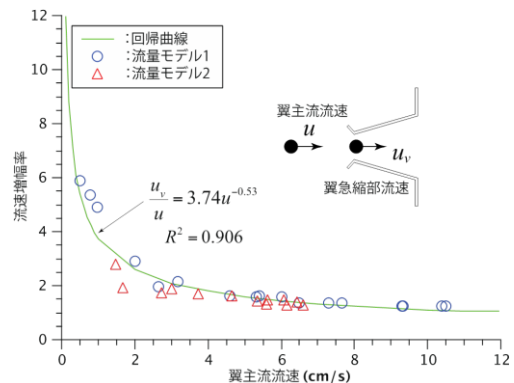


図-8 流速増幅効果

- (3) 流速増幅率は主流流速が遅くなるに従い増大し、速くなると激減する傾向が確認された。これは、流速増加の要因となるつばの背後に生ずる渦が、主流流速の増加により弱まり、下流側に移動することで圧力傾度が緩くなることに起因する。

今後はスケールを上げた大型模型実験を行い、より細部にわたる流速を計測し、タービンブレードを設置した場合の効率について検討する所存である。

参考文献

- 1) NEDO(2011): 海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務, pp22-26
- 2) 本間翔希・宮武誠・猿渡亜由美(2014): 潮流・海流発電に向けた津軽海峡の流況特性及びエネルギー賦存量に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, pp. I_1291- I_1295
- 3) 本間翔希・宮武誠・猿渡亜由美・広田知也(2015): 津軽海峡の潮流・海流発電に向けた流況とエネルギー賦存量の四季の変動特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp. I_1555- I_1560
- 4) 大屋裕二, 鳥谷隆, 桜井晃, 井上雅弘(2011): 風レンズ効果 (風エネルギーの集中) による風力発電の高出力化, 風力エネルギー利用シンポジウム, Vol.23, pp.76-79