

津軽海峡における潮流・海流発電装置のディフューザ断面形状に関する基礎的研究

A Basic study on cross-sectional shapes of power generating apparatus diffusers for tidal and ocean 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)
 北海道大学工学研究院 正 員 猿渡亜由未 (Ayumi Saruwatari)

1. はじめに

津軽海峡の潮海流を利用した小規模潮海流発電装置(図-1)の実現可能性を探るため、これまで著者らが行ってきた津軽海峡狭窄部の汐首岬沿岸部における流況観測の結果、日本海側と太平洋側の潮位差による潮流と、津軽暖流による海流が共存することで、年間通じ南東方向の一方向に日周期で変動する流況特性を有することや^{1,2)}、この潮流・海流によるエネルギー密度は中層(水深 10.0m 地点)に集中し、冬春期において最大で約 1kW/m^2 強に達すること、そして夏季成層期において内部波に起因すると考えられる強い乱れが発達し³⁾、エネルギー密度が2割程度低下することを確認している。このような年間通じ日及び季節周期で強弱する流れを利用して発電を行う場合、流速が小さい場合においても効率的に発電できる装置の開発が求められる。これに対し Mehmood ら⁴⁾は流れが強弱する海域において小さい流速をディフューザにより高める検討を行っている。著者らは上述の研究方針に倣い、津軽海峡の潮流と海流が共存する流れ特性に適した漸拡型ディフューザの最適形状を検討する初段階として、漸拡型ディフューザにつばをつけて更なる増速効果を図ったつば付き漸拡型ディフューザ形状周辺の流況特性及び通過する流れの増速効果の把握を行ってきた^{5,6)}。その結果、従来の漸拡ディフューザ形状につばをつけることによって、つば背後に渦が発生し、漸縮部から背後に渡り安定したジェットが形成され、もとの漸角ディフューザ形状に対して漸縮部流速の増速効果を高められることがわかった。

本研究では、その研究内容をさらに発展させ、上述のつば付き漸拡ディフューザの形状に関し、より高効率な増速効果を得る形状を把握するため、数種のディフューザ 2次元断面模型を作成し、定常循環流実験より得られた連続画像を PIV 解析することで、増速効果が最も高効率となるディフューザ形状の検討を行うものである。

2. 実験方法

実験は図-2 に示す定常循環流実験装置を用いて実施した。水路内の水流は、マグネットポンプ(最大吐出流量 $900\text{cm}^3/\text{s}$)を用いて定常循環流を発生させた。実験ははじめに水路内に何も無い状態で定常循環流を発生させ、主流流速 v_0 の設定を行った。主流流速は、他の季節に比べて低下する夏期のエネルギー密度をディフューザによる通過流速の増速によって高効率化させることを念頭

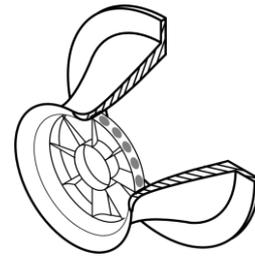


図-1 潮流・海流発電装置の概要図

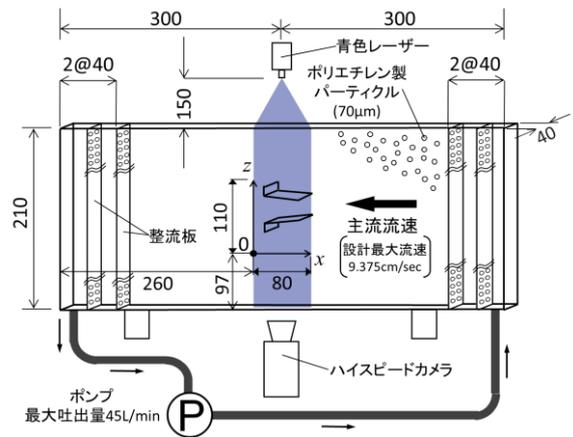


図-2 定常循環流実験装置(単位 mm)

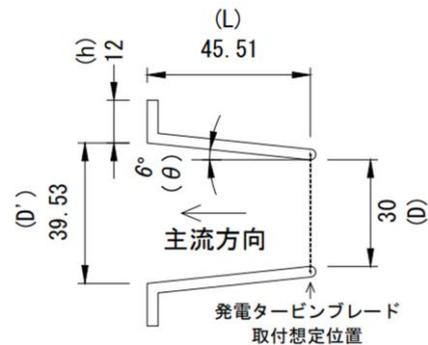


図-3 つば付き漸拡タイプ(単位 mm)

に、当該期間における水深 10.0m 地点の最大流速 87.7cm/s を Froude 相似律に従い $1/28$ でスケールダウンさせた 16.5cm/s とし、ポンプ流量を調整することで設定した。水槽内を流れる直径 $70\mu\text{m}$ の粒子の様相を出力

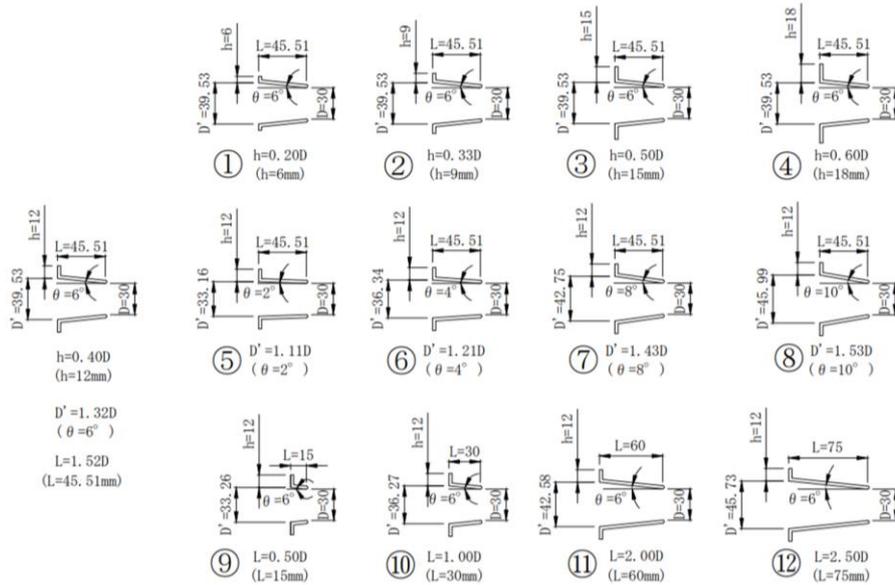


図-4 検証ディフューザ形状(単位 mm)

1W の青色レーザーを使用してレーザーシートを水路上部から照射し、水路側面に設置したフレームレート 200fps のハイスピードカメラで撮影した。水槽内の主流流速の計測は、得られた撮影動画を静止画に変換後、PIV 解析することにより行った。その結果、ポンプ流量 $750\text{cm}^3/\text{s}$ とすることで、水路内の流速が目標とする主流流速に達することを確認した。

次に、実際に検討する各ディフューザ模型を同図のように水路内に設置し、その周辺及び内部の流況を可視化するための定常循環流実験を実施した。座標系は図-2 中の点 0 を原点として、上流方向に x 軸、鉛直方向に z 軸とした。なお、各ディフューザ模型の流速 v は発電タービンブレード取付想定位置であるディフューザ漸縮部の同一地点において測定している。水槽内の流況や流速の計測方法は前述と同様である。実験後、計測した各流速 v と主流流速 v_0 よりそれぞれのディフューザ形状における増速率 v/v_0 を求めた。

3. ディフューザの断面形状

検討するディフューザ模型は、前出の Mehmood ら⁴⁾によって検討されてきた主流方向に漸拡した翼形状を直線的に漸拡させた形状につばを付けた形状 (以後、つば付き漸拡タイプ)を基準とした (図-3)。検証した各種ディフューザ二次元断面形状の一覧を図-4 に示す。つばの長さ、出口内径、全体長さの数値を 1 種類ずつそれぞれ 4 段階に変更した二次元断面模型を計 12 種類作成した。各種断面形状はディフューザ入口の内径 D の値を統一し、これを基準として各種寸法の数値を設定している。これらの模型を用いた実験より、定常流水中における各ディフューザ形状周辺の流況特性及び通過する流れの増速効果について検証を行った。なお、図-4 中のディフューザ断面番号①から④はつば長さを、⑤から⑧は出口部の内径(ディフューザの開き角)を、⑨から⑫はディフューザの全体長さをそれぞれ変更している。

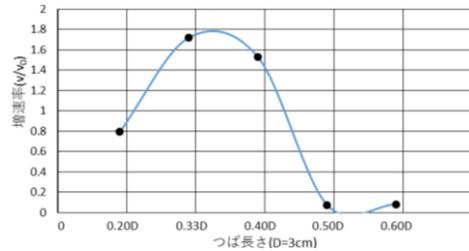


図-5 つば長さ h 別の増速率

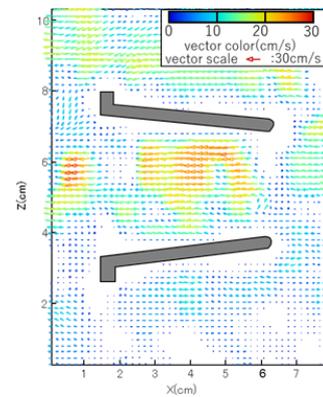


図-6 流速ベクトル図($h=0.20D$)

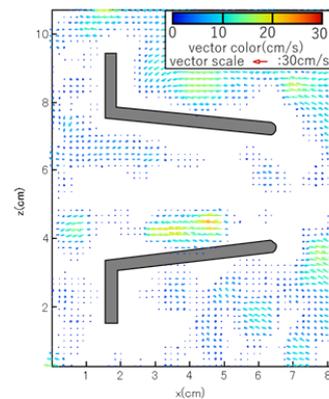


図-7 流速ベクトル図($h=0.60D$)

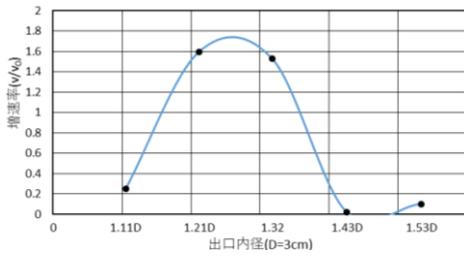


図-8 出口内径 D'別の増速率

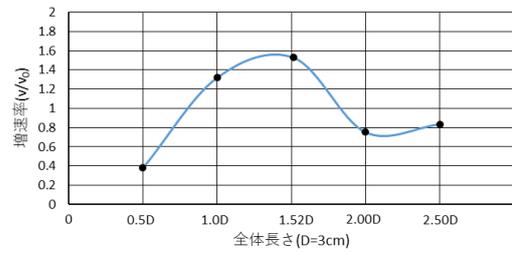


図-11 全体長さ L 別の増速率

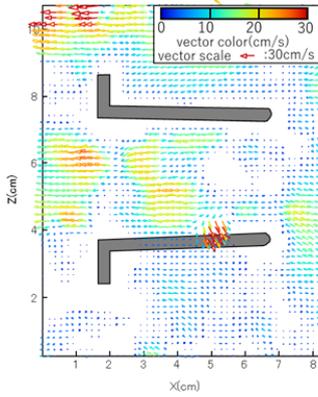


図-9 流速ベクトル図(D'=1.11D)

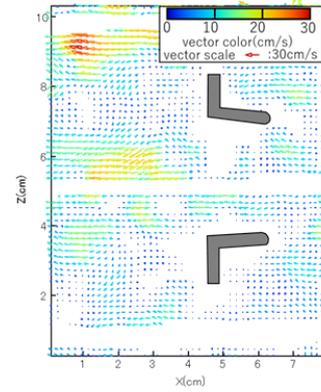


図-12 流速ベクトル図(L=0.50D)

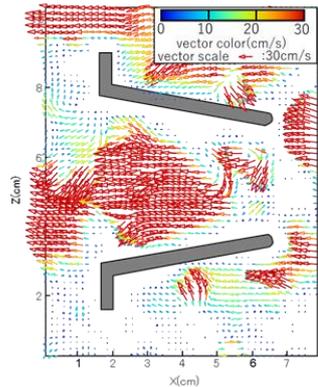


図-10 流速ベクトル図(D'=1.53D)

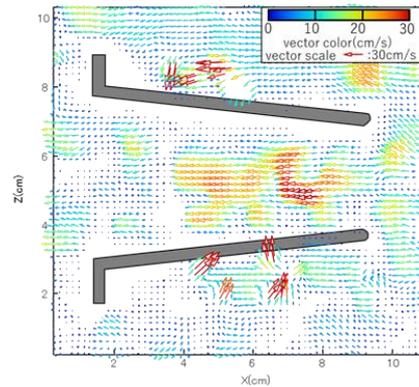


図-13 流速ベクトル図(L=2.50D)

4. 実験結果

(1) つば長さに関する検討

図-5 に得られた実験結果のうち、つば長さ h の値を変更した各ディフューザ(図-4 中の①から④)及び基準としたつば付き漸拡タイプのディフューザの増速率 v/v_0 を示す。この結果をみると、増速効果が最も高いのはつば長さ $h=0.33D$ のケースで、その際の v/v_0 の値は約 1.7 にも及ぶ。また、つば長さが大きくなると増速効果は激減することが分かる。同図の傾向から、 $h=0.33D$ から $0.44D$ の間において増速率が最大値を示すと考えられる。

図-6 は h を最小に設定した $h=0.20D$ のケースにおける流速ベクトル図である。発電タービンを設置する漸縮部周辺を含むディフューザ内部において増速効果がある様子がみて取れる。一方、図-7 において h を最大に設定した $h=0.60D$ のケースをみると、ディフ

ューザ内の増速はほぼ見られない。この理由として、ディフューザ内の流れを牽引する渦がつばの端部で発生することで、その効果が弱まることが考えられる。この結果より、つばの寸法を大きく設定しても得られる増速効果は限定的であり、入口内径の 0.33 倍強程に設定すると、その機能を発揮するものと推察される。

(2) 出口内径(開き角)に関する検討

図-8 に開き角の調整により出口内径 D' の値を変更した各ディフューザ(図-4 中の⑤から⑧)及び基準としたつば付き漸拡タイプのディフューザの増速率 v/v_0 を示す。出口内径 $D'=1.21D$ (ディフューザ開き角 4°) のケースで、最も高い増速効果が表れており、 v/v_0 の値は基準の漸拡タイプのものよりわずかに大きい 1.6 程度である。同図から、増速効果が最大を示す D' の値は $1.21D$ から $1.32D$ の間の数値になると思われる、それら以外のケースでは効果は激減している。

図-9 に D' を最小に設定した $D'=1.11D$ の際の流速ベクトル図を示す。漸縮部周辺における増速効果は見られないものの、ディフューザ内の流況は一方向流に安定したものとなっている。一方、 D' を最大に設定した図-10 の $D'=1.53D$ における流速ベクトル図をみると、ディフューザ内の流れは増速が確認できるが、大きく蛇行している様子がわかる。これは、出口部断面積が大きくなったことにより、つば背後の渦による牽引力が分散され、ディフューザ内における主流ベクトルの方向が一定に定まらなくなったことが考えられる。よって、出口内径の寸法は大きく設定するとディフューザ内部の流速ベクトルの乱れの原因となり、漸縮部における増速効果の低減につながるということがわかった。また、図-9 よりある程度の開き角は増速に必要であることがうかがえる。

(3) 全体長さに関する検討

図-11 にディフューザの全体長さ L の値を変更した各ディフューザ(図-4 中の⑨から⑫)及び基準としたつば付き漸拡タイプのディフューザの増速率 v/v_0 を示す。値が最も高かったのは基準としたつば付き漸拡タイプ($L=1.52D$)のディフューザで、 v/v_0 の値は約 1.5 である。増速効果が最大となるのは $L=1.00D$ から 1.52D の間のケースとなることがわかる。

図-12 に L を最小に設定した $L=0.50D$ のケースの流速ベクトル図を示す。これをみるとディフューザ内の増速はあまりみられない。結果、つば背後の渦による牽引があるとはいえ、つば長さが短いと十分な増速効果は得られないことがわかる。一方、図-13 に示す L を最大に設定したケース、すなわちディフューザ内部の面が大きい場合である $L=2.50D$ の流速ベクトル図を見ると、ディフューザ内部において増速効果が表れている様子がみて取れる。しかし、 L の値を大きくしたことで、つば背後の渦輪の間欠的な発生による主流の連行がより下流側に移動したため、増速効果を評価するタービン設置位置での増速効果は、1 を下回る結果となっている。この結果、 L の値を小さくしすぎても、大きくしすぎても十分な増速は得られず、 D の約 1.5 倍程度の数値としたときにその機能が有効に発揮されることがわかる。

5. 結論

本研究において、基準とするつば付き漸拡ディフューザの各寸法を 1 種類ずつ変更し、それぞれのケースにおける流れの可視化実験を通じて各ディフューザ内部の流況及び通過する流れの増速効果を検証した結論を以下に要約する。

(1) つば長さを変更した場合、つば長さはディフューザ入口内径の 0.33 倍から 0.44 倍の間に設定することで高効率な増速効果が得られると思われる。また、つば長さの値を極端に大きくするとディフューザ内部全体の流速ベクトルは小さくなる傾向がある。

(2) 開き角を調整することで出口内径を変更した場合、高効率な増速効果を得られる出口内径の数値は入口内径の 1.21 倍から 1.32 倍の間にあると思われる。値を大きくしすぎるとディフューザ内部の流況は大きく乱れる傾向にある。

(3) ディフューザの全体長さを変更した場合、高効率な増速効果を得られるケースは入口内径の 1.00 倍から 1.52 倍の間の値に設定した場合になると思われる。また、値を極端に大きくするとディフューザ内部において増速効果は得られるが、発電用タービンを取り付けるディフューザ漸縮部における増速効果は小さいものになる。

今後は本研究で得られた結果を基に、より効率的な増速効果を得られるディフューザ形状の考察を行う所存である。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(B) #18H01537(代表：猿渡亜由未)および科学研究費補助金奨励研究#17H00412 の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 本間翔希, 宮武 誠, 猿渡亜由未 : 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), 70 巻 2 号, pp.I_1291-I_1295, 2014
- 2) 本間翔希, 宮武誠, 猿渡亜由未, 広田知也 : 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), 71 巻 2 号, pp.I_1555-I_1560, 2015.
- 3) 本間翔希, 猿渡亜由未, 宮武誠 : 津軽海峡における三次元密度構造の特徴化, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 73 巻 2 号, pp.I_67-I_72, 2017.
- 4) Nasir Mehmood, Zhang Liang, Jaawad Khan: Diffuser Augmented Horizontal Axis Tidal Current Turbines, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(18), pp. 3522-3532, 2012.
- 5) 蛭子翼, 宮武誠, 猿渡亜由未 : 潮流・海流発電装置周辺の流況に関する可視化実験, 土木学会平成 29 年度論文報告集, 第 74 号, B-43.
- 6) 蛭子翼, 宮武誠, 猿渡亜由未 : 津軽海峡の潮海流発電のためのディフューザ周りの流れ特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 74 巻 2 号, pp.I_1387-I_1392, 2018.