

関門海峡における潮流発電に関するフィージビリティスタディ

九州大学工学部エネルギー科学科 学生員 藤原考道
九州大学大学院総合理工学研究院 正会員 経塚雄策
九州大学大学院総合理工学研究院 正会員 濱田孝治

1. はじめに

今世紀前半に予想されるエネルギーと環境の危機を打開するためには、身近にある自然エネルギーの利用を積極的に促進すべきである。

本研究では、自然エネルギーである海洋エネルギー、とりわけ関門海峡における潮流エネルギーに着目した。潮流は力学的運動エネルギーであるので、電気や熱などへのエネルギー変換効率がよく、クリーンエネルギーであり、自然エネルギーの中ではエネルギー価格が安くまた安定性の面で有利、などが利点としてあげられる。欠点としては、化石燃料に対するコスト高、非定常性、付着生物によるメンテナンスの必要性、などがあげられる。

関門海峡は、狭隘な上に両端の潮位差が大きく、最も流速の大きい早瀬瀬戸において年間最大10ノットを超え、鳴門海峡、来島海峡に次ぐ日本で3番目に流れの速い海峡である。

潮流エネルギーを利用しやすいエネルギーに変換するためには、潮流の特性、特にその規則性と不規則性を十分に知る必要があり、効率的及び経済的に最も適切な変換方式を開発することが必要である。また、最狭部約600mほどしかない狭水峡である関門海峡は、1日約700隻に及ぶ多くの船が通航するため、設置場所の問題もある。以上のことから、エネルギー取得、利用の地点を定めるためには数値シミュレーションが不可欠である。本研究では、数値シミュレーションの手法として、MEC Model のバリエーションメッシュモデルを用いた。なおMEC Model は、「<http://mee.k.u-tokyo.ac.jp/mec/model/>」において公開されている。

2. MECモデルによる潮流計算

まずプリ処理として、バリエーションメッシュモデルに対応した格子生成(直交バリエーションメッシュ)を行った。陸地データには国土地理院数値地図(50mメッシュ)、水深データには海上保安庁水路部3次メッシュデータ(500mメッシュ)を用い、陸域にMaskをかけ、点在している水深データをスプライン補間プログラムにより滑らかに生成した。しかし、500mメッシュデータでは、海峡部のデータが不十分であるため、国土交通省関門航路事務所に10mメッシュの測量データを頂き、合体させた。メッシュはFig.1のように、中心部5km四方に等間隔格子を

50×50個用意し、その外25kmを等比間隔格子50個とし計150×150個とした。その後4隅5個ずつ切り取り、格子総数140×140個、約40×40kmのエリアとした。Fig.1に生成した等深線とメッシュを示す。

潮流計算は、以下のような条件で行った。

・ **支配方程式**: 連続の式、及びNavier-Stokesの式(ただし、水平方向のスケールが鉛直方向のスケールに比較して非常に大きいため、圧力は静水圧しか考慮しないという静水圧近似を、また、浮力項でのみ密度変化を考えるブシネスク近似を適用。以下(1)~(4)式)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} + fv - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + A_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} - fv - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + A_m \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

- ・ **離散化**: 差分法(スタッガードメッシュ)
- ・ **鉛直方向**: 層数9個、水深20mまでは5m間隔、そこから水深70mまでは10m間隔
- ・ **境界条件**: 1. 開境界/強制水位入力、速度勾配はなし。大潮時を想定して、西側開境界に振幅0.72m、位相285度、東側開境界に振幅2.08m、位相257度を入力(振幅については調和定数表の主要4分潮M2、S2、K1、O1を単純に加えたもの、位相についてはM2にあわせた。これは、実際のデータがある旧門司港で比較したところ、大潮時とはほぼ一致したのでそれほど問題はないと思われるが、今後改良する予定である)
- 2. 閉境界/境界に平行な速度成分が0でない、free-slipの壁の境界条件
- ・ **時間**: 周期T=12[hour]とし、1step=0.5[sec]で345600step、計48[hour]=4周期計算
- ・ **海水の基準密度**: 1024.8[kg/m³]
- ・ **重力加速度**: 9.797[m/sec²]
- ・ **コリオリパラメータ**: 8.12×10⁻⁶[1/sec]
- ・ **海底摩擦係数**: 0.0026

- ・ 水平渦動粘性係数：1kmメッシュあたり50[m²/sec] (ただし、リチャードソンの4/3乗則に従うものとした)
- ・ 鉛直渦動粘性係数：1.0×10⁻³[m²/sec]

3. 数値計算結果

Fig.2に時系列出力ポイントを示す。西から、Point 1、Point 2・・・Point10とし、計10ヶ所適当に配置した。また、10分間隔で出力した。

Fig.3は、潮位の時系列である。1周期目を助走区間、2・3周期目を計算安定区間とし、4周期目を出力区間として、満潮時、干潮時、それらの中間時の計5点に加えて、Point 7における東流最強時と西流最強時の2点と憩流時の2点、計9点をエリア全地点スナップショット出力した。西側から東側に次第に振幅が大きくなっており、値についても検潮所の存在する所では大潮時の実測値とほぼ一致する。

Fig.4は、ホドグラフである。Point 7で顕著に速いことがわかる。最大流速は約3.2[m/s]となった。大潮時最大流速約3.4[m/s]とされているので、良好な値が出力されているものと思われる。

Fig.5、Fig.6は、それぞれ東流最強時、西流最強時の表層2.5mの流速ベクトル図である。Point 8南側に渦が見られる。実際観測時にゴミが溜まっていたのが見られたため、このことから本数値シミュレーションは、実際の流況をよく再現していると言える。

4. おわりに

本研究では関門海峡での潮流発電の可能性を考えるために、MEC Modelの静水圧モデルを用いて海水の流動の数値シミュレーションを行った。結果、本モデルは実際の流れをよく再現していると考えられる。ただ、地形の特性上場所が少し違うだけで流速が変わってしまうため、現在のメッシュ精度では機器設置場所の模索には無理がある。今後発電機器に合わせて中心部10mメッシュとし更なる適地選定を行った後、潮汐プログラムを組み込み年間発電予測量を見積もる予定である。

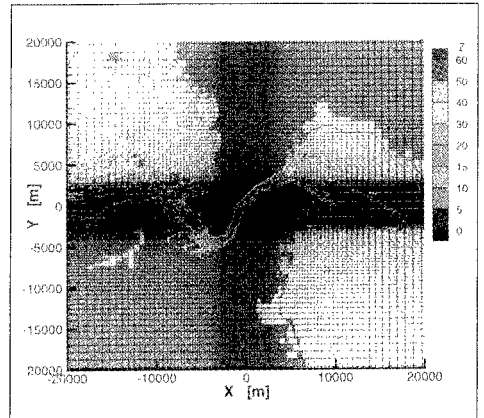


Fig.1 水深等高線とメッシュ分割

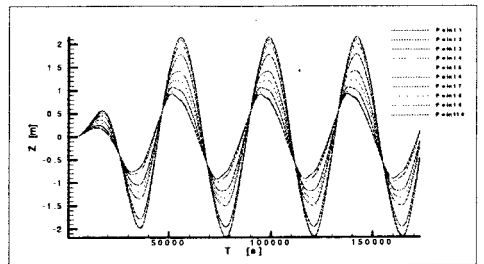


Fig.3 潮位の時系列

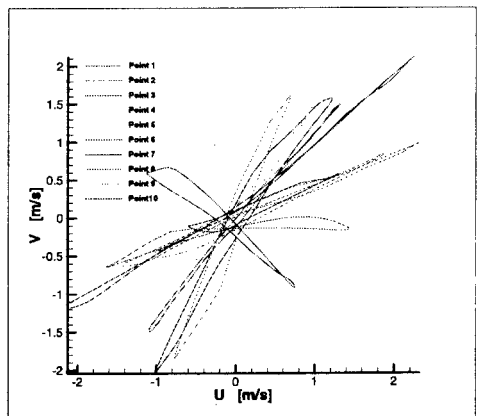


Fig.4 ホドグラフの時系列

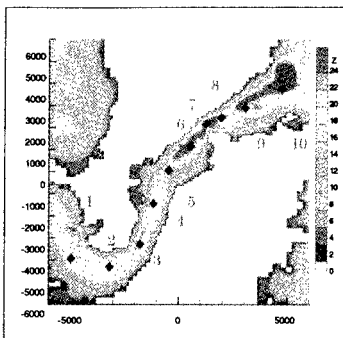


Fig.2 時系列出力ポイント

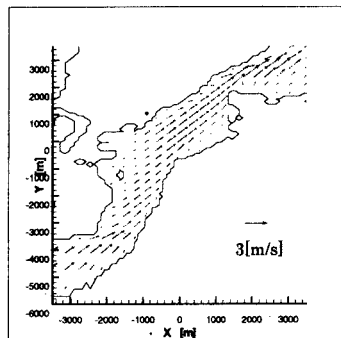


Fig.5 東流最強時の流速ベクトル

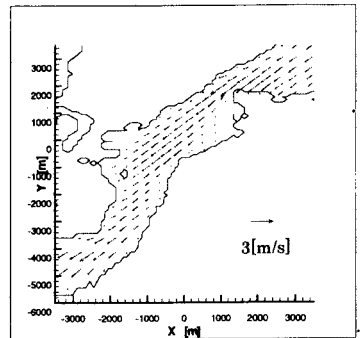


Fig.6 西流最強時の流速ベクトル