

橋脚による増速効果を利用した潮流発電の高性能化

九州大学工学部エネルギー科学科 学生員 加藤正毅
 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り環境汚染のないクリーンエネルギーである。

潮流エネルギーを利用する一つの方法として、水車による発電がある。水車の発電量は、流速の3乗に比例するため、流速の速い場所に設置することが望ましい。一般的に流速が速い場所としては海峡等が挙げられる。しかし、水車の土台を潮流に逆らって海中に設置するには多くのコストがかかる。

以上の観点から、新たに土台を作る代わりに、既存の橋脚の基礎を土台に利用し水車と整流板を設置するモデル(図1)を考えた。ここで整流板とは、水車側が楕円の形状をしており、船舶等の衝突を防止すると同時に、橋脚と共に流れを増速、整流させる役割をもつ。橋は基本的に海峡の最も狭い地点に建設されるため、そこでの流速はもともと他の地点より速いと予想され、モデルの有用性が裏付けされる。

本研究では、数値シミュレーションを行い、このモデルの有効性について検討した。

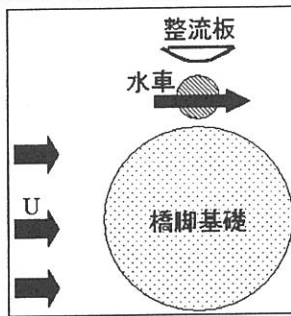


図1 実験モデル

2. 有限要素法による数値シミュレーション

まず橋脚基礎周りの流れを計算し、実際の流れと比較した。その後、橋脚基礎に整流板を取り付け、整流板の橋脚からの距離とサイズを変えたシリーズ計算を行い、水車設置場所の流速の変化を調べた。計算は以下の条件で行った。

- ・ 二次元非定常流、流体は非圧縮性粘性流体と仮定。
- ・ 支配方程式: Navier-Stokes の式、及び連続の式。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

- ・ 計算領域は円柱直径の6倍の長さ(約470m)

の正方形型で、中心に円を配置し、左方から一様流を与えた。壁面は non-slip 境界条件。橋脚の直径、流速は明石海峡大橋を参考にした。使用したパラメータを表1に示す。ただし、レイノルズ数は渦動粘性係数を用いた値を使用した。渦動粘性係数とは、大規模な流れを扱う際に小さなスケールの運動の効果を擬似的な粘性として表したものである。

表1 パラメータ

パラメータ	値	単位
流入流速(U)	3.2	m/s
橋脚基礎半径(R)	39	m
渦レイノルズ数	250	

シリーズ計算: 右図のように3種類のパラメータ(整流板の曲率半径CはBとLから定まる)を定めた。そして橋脚-整流板間に直径10m程度の水車を設置することを想定してパラメータの範囲を決め、各々値を3つずつ与え、27通り計算した。変化させた値は以下に示す。

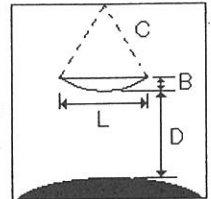


表2 シリーズ計算に用いた値

整流板の長さ(L)	10, 15, 20 [m]
橋脚基礎からの距離(D)	10, 15, 20 [m]
整流板の厚さ(B)	0.1, 1.0, 2.0 [m]

3. 計算結果と考察

1) 橋脚基礎周りの流れ

図2に橋脚付近の流速分布の瞬間値を示す。図3は図2のラインを引いた部分の流速のx方向成分を取り出し、各々の成分の時間平均を算出し、明石海峡の橋脚を想定した水槽実験²⁾で得られているデータ、及びポテンシャル流れと比較したものである。図3では、半径の1.8倍程度の距離よりも遠い所では水槽実験と数値シミュレーションは非常に近い値を示している。それより内側では水槽実験はポテンシャル流れに近い値を示した。

2) 整流板を取り付けた流れ

図4に整流板と橋脚付近の流速分布の瞬間値を示す。同様にラインを引いた所でx方向の流速成分の時間平均値についてシリーズ計算を図5にまとめた。ただし図5には整流板をつけていない流れと、代表的な6つの結果のみを表示している。

整流板は $B=0.1$ でほぼ板状であり、 $B=2.0$ でかまぼこ型をしている。ただの板状の整流板でも何もつけない場合に比べて流速が上がっている。最も流速を上げることができたのは、 $L=10$ 、 $B=2.0$ の場合、つまり曲率半径が小さいときであり、最大で流入流速の 1.6 倍程度まで増速することができた。流速が 1.6 倍になると発電量としてはおよそ 4 倍になるので、大きな効果が得られることがわかる。また、直径 10m 程度の規模の水車を挿入することを想定しているため、ある 10m 間で流速がほぼ一定であることが望ましいが、 $D=20$ の時 7~17m 間でおおよそ一定になっている。さらに図 2 と図 4 を比較すると、目的の地点で y 方向の速度が抑えられ、整流の効果を果たしていることがわかる。

図 3 からわかるように明石海峡の水槽実験では、壁面付近で数値計算よりも流速が速くなっている。これは境界層が Non-Slip 境界条件により過度の厚さを持っていると考えられる。このことから図 5 における壁面付近の速度の勾配は実際にはもっと急になるとと思われる。計算精度

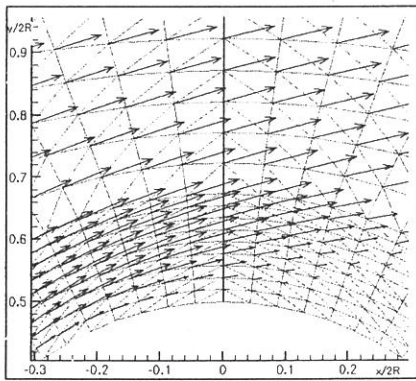


図 2 橋脚周りの流れ

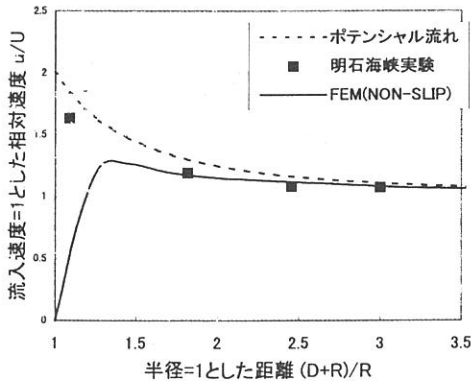


図 3 数値計算と実験の比較

を良くするために、壁面の境界条件を滑りありに変えてみて計算する予定である。

4. まとめ

数値シミュレーションの結果、本研究で考えたモデルは、潮流を増速及び整流することができ、有効であると考えられる。今後、発電機の潮汐の影響を考慮した年間発電予測を見積もる予定である。潮流は絶えず変化しており、潮流発電は安定な電源の供給には向かないと思われるが、燃料電池など、現在最も注目を浴びている新エネルギー「水素」を、潮流発電を用いて海水から生成する、などといった有効な利用法が考えられる。

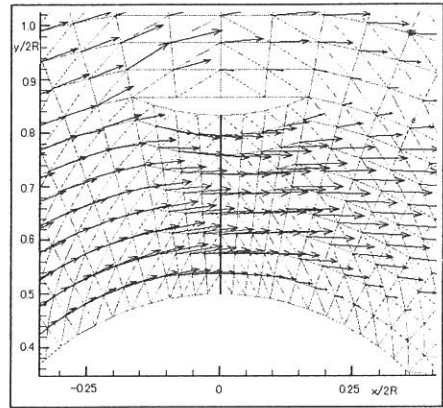


図 4 整流板を取り付けた流れ



図 5 シリーズ計算

《参考文献》

- 1) 日本数値流体力学会有限要素法研究委員会編 有限要素法による流れのシミュレーション
- 2) 本州四国連絡橋公団第一建設局垂水工事事務所、鹿島・大成共同企業体(1988) 明石海峡大橋橋塔基礎施工調査報告書