

瀬戸内海における橋脚下海洋空間を活用した潮流発電技術の開発

——明石海峡における潮流エネルギーの現地観測と年間エネルギー賦存量の試算——

石垣 衛*・三好 順也*・森田 学*・森本 健司*・山本 瞭太*

(平成25年10月31日受付)

The Power Generation from Tidal Currents Using Pier at Seto Inland Sea

——Observation and Trial Calculation of Tidal Currents Energy in Akashi Strait——

Mamoru ISHIGAKI, Jyunya MIYOSHI, Manabu MORITA, Kenji MORIMOTO and Ryota YAMAMOTO

(Received Oct. 31, 2013)

Abstract

Japan is the maritime state surrounded by the sea, effective use of the ocean energy which exists abundantly is an important issue, and the realization is desired. Tidal current is the periodic energy which can be predicted, therefore it can expect to supply energy stably. In Seto Inland Sea, many straits and Seto regions exist, and it is known that tidal current energy will be amplified because a tidal current becomes quick. Therefore, the power generation technology which utilized current energy attracts attention. This study estimated the possibility of the tidal current power generation in Seto Inland Sea by performing local observation. At first time, the amount of maximum energies was calculated by observing the tidal current of Seto Inland Sea. Next, the amount of maximum energies obtained when a dynamo is built was calculated.

Key Words: Power Generation, Tidal Current, Seto Inland Sea, Hydraulic Model, GIS Data Base

1. はじめに

昨今の地球温暖化等の環境変化に対する懸念や東日本大震災による原子力発電所事故により、環境への負荷低減を可能とする次世代エネルギーへの関心が高まる中で、太陽光・風力等の再生可能エネルギー活用技術の実用化が急務となっている。我が国は海に囲まれた海洋国家であり、再生可能エネルギーとして豊富に存在する海洋エネルギーの有効活用が重要な課題であり、その実現が望まれている。

数ある海洋エネルギーの中でも潮流は潮汐で定まる周期的なエネルギーを有し、予測可能で安定的なエネルギー供給が期待される。特に、大小の島々が数多く存在する瀬戸内海では多くの海峡・瀬戸域を有し、潮流は増幅されることから潮流エネルギーを活用した発電は注目される技術で

ある。また、これらの海峡・瀬戸域には架橋が施されている場所が多く、既存の橋脚・橋梁を活用した潮流発電が可能となれば発電施設等の建設コストの削減が期待できる。

本研究では、図-1に示すような橋脚下海洋空間を活用した潮流発電技術について、瀬戸内海の海峡・瀬戸域の潮流を観測することで当該域の最大エネルギー量を求め、発電施設仕様を想定することで得られる最大エネルギー量の算定を行った。その結果より、瀬戸内海における橋脚下海洋空間を活用した潮流発電の可能性について検証した。

2. 潮流エネルギー量の調査対象海域の選定

2.1 調査対象海域の選定方法

潮流発電エネルギー量の算定を目的とした調査対象海域の選定を実施した。ここでは、図-2および図-3に示す

* 広島工業大学工学部都市デザイン工学科

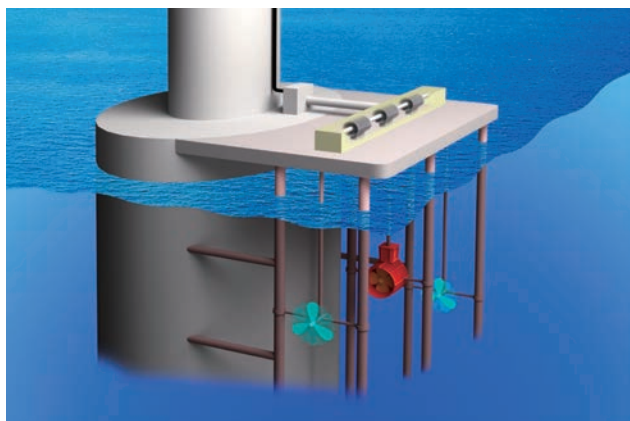


図-1 橋脚下海洋空間を活用した潮流発電技術イメージ



図-2 瀬戸内海大型水理模型概観

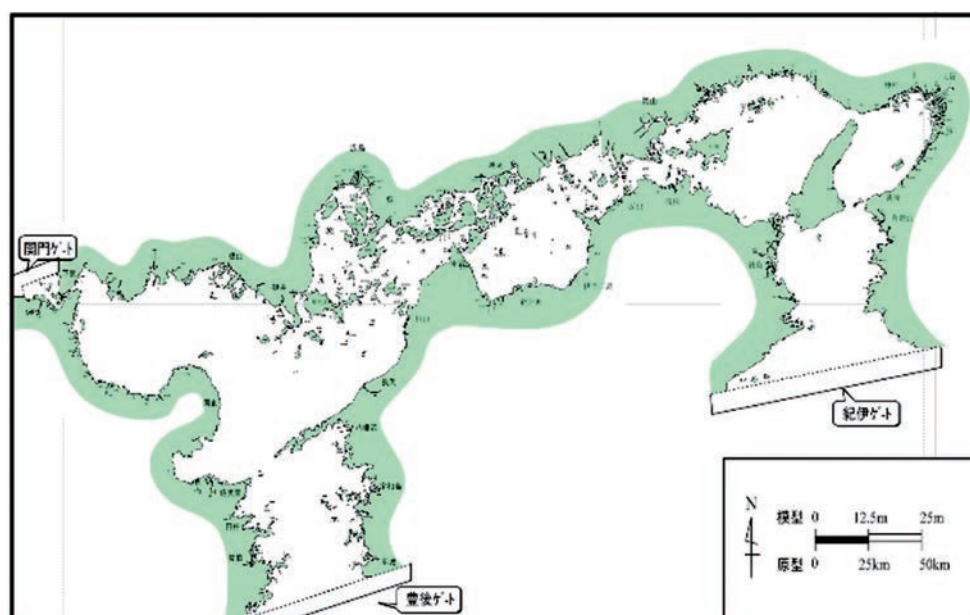


図-3 瀬戸内海大型水理模型概要

産業技術総合研究所中国センターが所有する瀬戸内海大型水理模型実験の潮流データを地図情報システム (ArcGIS Ver.10.1, 以下 GIS と記載) に移植することで、瀬戸内海潮流 GIS データベースを構築し、当該データベースより得られる潮流の最大流速値分布、エネルギー賦存量より調査対象海域を選定した。ここで得られる分布図は、瀬戸内海大型水理模型で約 12 時間周期の M_2 分潮を与えることで形成される潮流について、一潮汐周期における最大値である。

2.2 GIS を用いた調査対象海域の選定結果

図-4 に GIS データベースより求めた瀬戸内海の潮流の最大流速値分布を示す。図より、瀬戸内海における潮流の最大流速値分布は、明石海峡や備讃瀬戸、来島海峡などの海峡・瀬戸域で大きくなる傾向を示し、明石海峡で 153cm/秒、備讃瀬戸で 95cm/秒、来島海峡で 98cm/秒の値を得た。この値は、瀬戸内海大型水理模型実験が M_2 分

潮を用いた実験であることから、通常の潮流の値に比較して小さくなる傾向を示すものの、海域ごとの相対的なエネルギー量の比較に用いることが可能であり、潮流エネルギー賦存量の調査対象海域の選定には十分に利用できるものである。ここで、当該結果を用いて算定した海峡・瀬戸域の潮流エネルギー賦存量は、図-5 に示す塩沢ら¹⁾が算定した瀬戸内海の海峡・瀬戸域における M_2 分潮一周期あたりのエネルギー賦存量とほぼ一致する結果を得た。図より明石海峡は 143.5MWh と最も大きなエネルギー賦存量の値が得られている。これは、明石海峡の潮流が速いことに加え、海峡の断面積が他の海峡・瀬戸域と比較して大きいことで相当のエネルギー量となった結果である。また、明石海峡には全長約 4,000m の世界最大の吊橋も架かっており、その橋脚基礎部は大きく潮流発電施設の設置の可能性が十分にあると考えられることから、橋脚下海洋空間を活用した潮流発電エネルギー量の算定を目的とした調査対象海域に選定した。

3. 潮流発電エネルギー量の算定に向けた現地調査

前述の2. で選定された明石海峡において、潮流発電エネルギー量の算定を目的とした現地調査を実施した。調査は、算定に必要な条件として、地形形状（海峡の断面形状）、潮流の速度を調査項目に設定して実施した。

3.1 調査期間・場所・方法

調査は2013年2月19日～22日（小潮時）に地形測量を実施し、同年3月9日～10日（大潮時）に潮流観測を実施した。図-6に現地測量および潮流観測位置を示し、図-7に調査期間中の潮位変動と潮流観測時間帯を示す。また、現地観測状況を図-8に示す。

地形測量は図-6に示す測量範囲に対しマルチビーム測量（Sonic2022）を用いて10cm精度にて海底地形を計測した。潮流観測は図-6に示すA-B、C-Dの2測線に対して、図-8に示すようにADCP（ワークホースセンチネル300kHz）を搭載した観測船が測線上を約2ノット以下の速度で曳航することで測線下の3次元流速を計測した。ここで、潮流観測は25時間の連続観測とし、1時間毎の3次元流速データを取得した。

3.2 調査結果

(1) 地形測量結果

図-9に地形測量結果を示す。図より、明石海峡の海底地形は100m以深の水深帯が横断面中央部の南東から北西方向に位置しており、その両側的水深が浅くなっている。

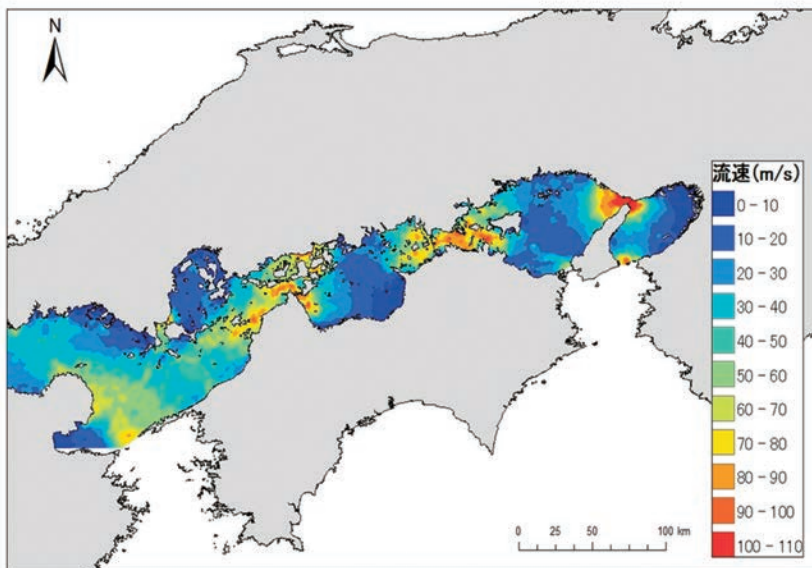


図-4 瀬戸内海大型水理模型で得られた最大流速分布図（M2分潮）

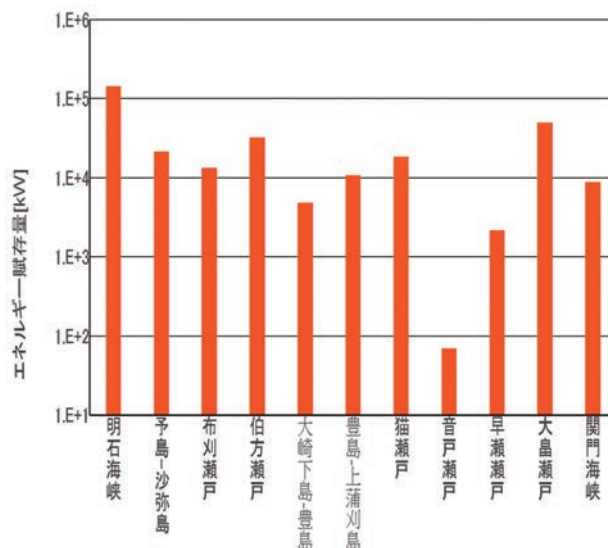


図-5 瀬戸内海における海峡・瀬戸域にエネルギー賦存量（M2分潮を用いた水理模型実験結果からの算定）

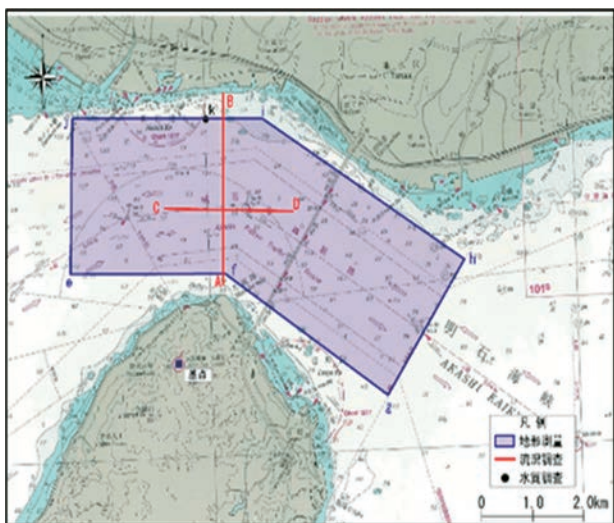


図-6 現地測量および潮流観測位置

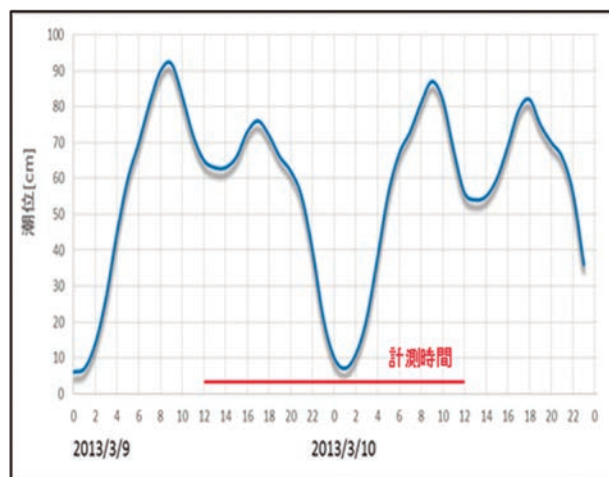
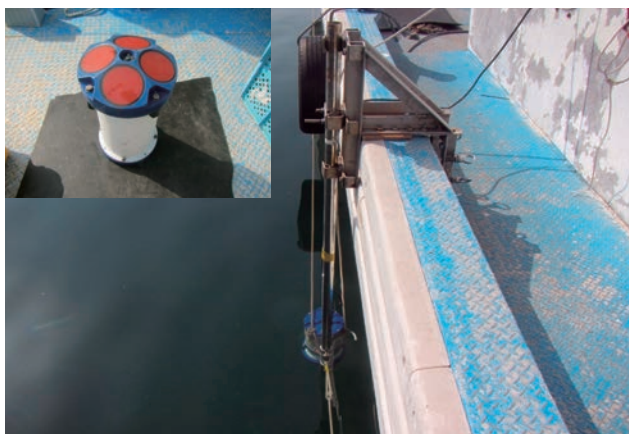


図-7 調査期間中の潮位変動（2013年3月9日12時～3月10日12時）



観測船への ADCP 設置状況



明石海峡潮流調査概況

図-8 明石海峡における地形測量・潮流観測状況

特に明石側では水深が 30m 以浅の海域が形成されており、海底地形勾配が急な構造となっている。当該域の潮流はこの地形構造に沿って流れることから、海峡中央部に最大流速域が形成され、明石側では海底地形の影響で流速が遅くなることが考えられる。

(2) 潮流観測結果

図-10 に明石海峡の観測横断面 (A-B 断面) における断面最大流速分布図を示す。当該図は観測横断面における最大流速を潮時に関係なく示したものである。図より、観測横断面における最大流速値の分布は、横断方向では断面中央部にて 5 ノット以上の流速を示し、淡路島側の海域で約 4 ノット、明石側の海域では約 1~2 ノットの流速を示した。最大流速部は海峡中央部の水深 17m の位置 (図中丸地点) で 6.4 ノットであった。水深方向の流速分布は、海峡中央部、淡路島側海域ではほぼ一様な分布を示すものの、明石側では表層部の流れと底層部の流れに約 1 ノット程度の差が生じている。これは、前述の海底地形勾配の急激な変化に影響を受ける結果と考えられる。

図-11 に最大流速部を示した水深 17m 地点の流速ベクトル図と観測横断面流速分布図を示す。観測日当日は、下げ潮最強時が深夜 0 時であり、上げ潮最強時が早朝 7 時であった。下げ潮最強時の流速は、流速ベクトル図から観測横断方向 (A-B 断面) に対して海峡中央部から淡路島側で大きくなる傾向を示し、最大 261cm/秒の値を得た。一方、上げ潮最強時の流速は観測横断方向に対して海峡中央部で大きく、明石側および淡路島側で小さくなる傾向を示し、最大 310cm/秒の値を得た。また、観測縦断面方向 (C-D 断面) に対してほぼ一様な流れを示し、流速値は最大流速値と同様であった。

観測横断面分布からは、下げ潮最強時の流速分布は前述の流速ベクトル図同様に海峡中央部から淡路島側で大きくなるものの、水深方向の流速分布は海底面近傍を除き一様

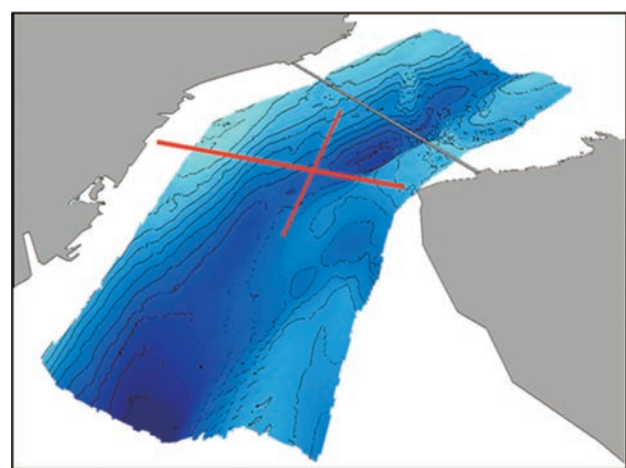


図-9 地形測量結果 (3次元鳥瞰図)

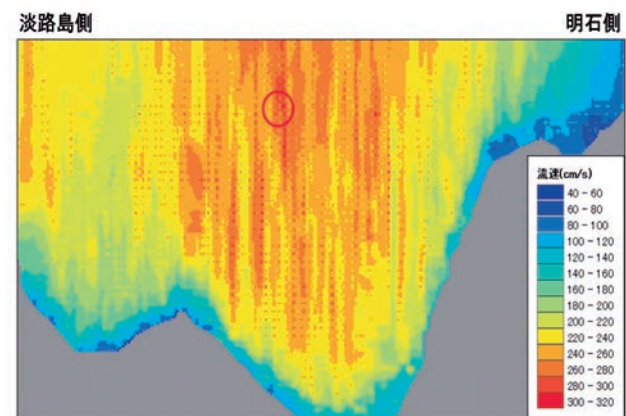
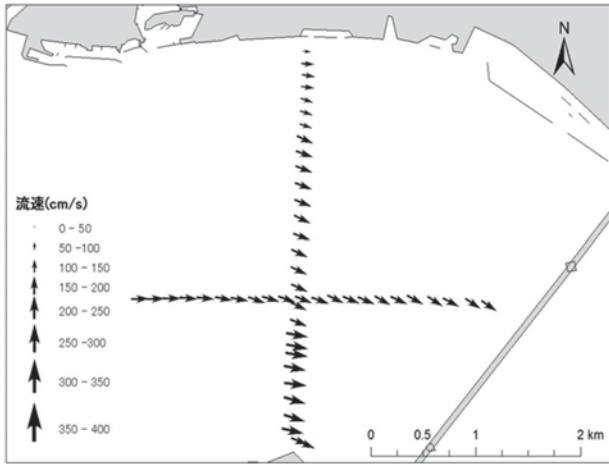
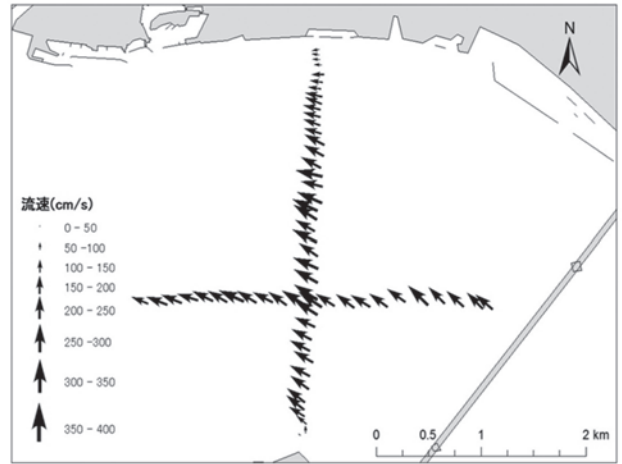


図-10 明石海峡観測横断面における最大流速分布図

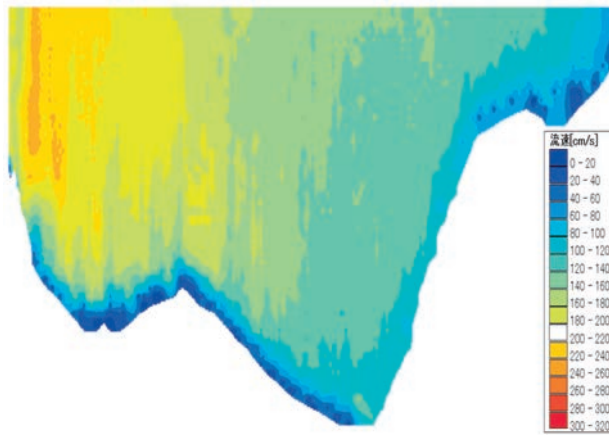
な分布を示した。また、上げ潮最強時の流速分布も前述の流速ベクトル図同様に海峡中央部で高く、明石側および淡路島側で低くなるものの、水深方向には一様な分布を示した。この結果は、前傾の観測横断面における最大流速分布図の特徴を示しており、海峡横断面を通過する潮流は水平方向に流速分布を持つものの、水深方向には一様な流れを



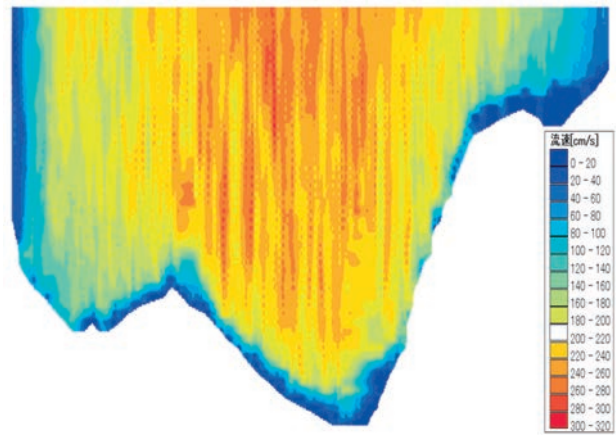
下げ潮最強時 (2013年3月11日00:00, 水深17m地点)



上げ潮最強時 (2013年3月10日07:00, 水深17m地点)



下げ潮最強時 (2013年3月10日00:00)



上げ潮最強時 (2013年3月10日07:00)

図-11 下げ潮最強時および上げ潮最強時の流速ベクトル図と横断面流速分布図

形成することが分かった。

3.3 潮流エネルギーの算定

(1) 調和分解による潮流の経時変化の算定

図-12に調和分解による潮流の経時変化を求めた結果を示す。図は前述の3.2で得られた1時間ごとの25時間分の潮流データを北方成分および東方成分に分解し、各成分において最小二乗法を用いた調和分解を行い、 M_2 , S_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 の6分潮の調和定数を算出することで15昼夜の潮流の経時変化を算定したものである。図より、東方成分流速は最小で約50cm/秒から最大約180cm/秒を示し、北方成分流速は最小で約20cm/秒から最大で約90cm/秒を示した。この結果より、明石海峡では東方成分が北方成分より大きいことが示され、発電タービンの設置方向としては、流速が大きくなる東西方向が望ましいことが示唆される。

(2) 年間エネルギー賦存量の算定

上記で求めた潮流の経時変化データを用いて、以下の①

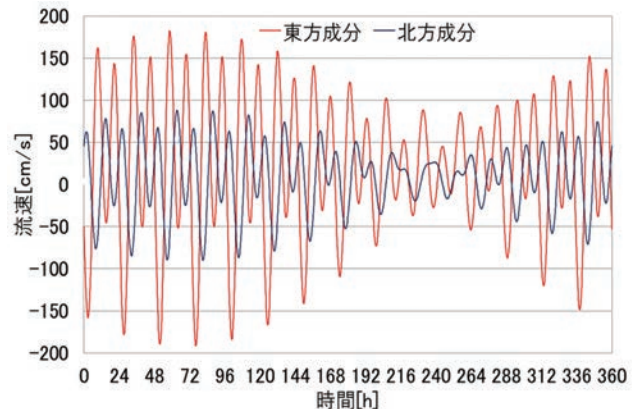


図-12 調和分解を用いた明石海峡の潮流経時変化

式より明石海峡における年間の潮流エネルギー賦存量を算定した。

$$P = 1/2\rho SV^3 \quad \text{①}$$

ここで、 P :エネルギー賦存量 (W), ρ :海水密度 (kg/m^3), S :潮流の通過断面積 (m^2), V :潮流 (m/秒)である。計算に際し、明石海峡の潮流通過断面積は前述の3.2

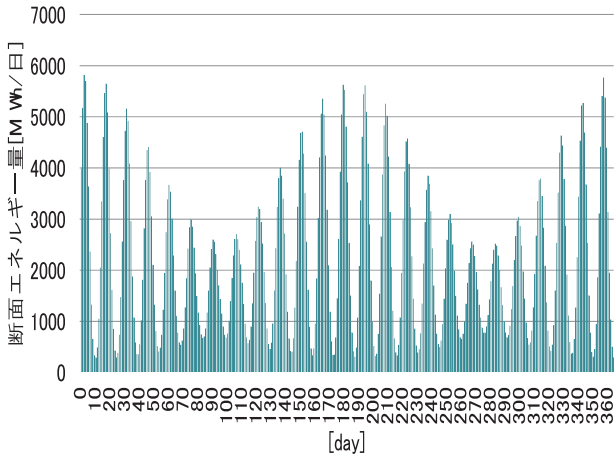


図-13 明石海峡における年間エネルギー賦存量の経時変化

で得られた地形測量結果より設定した。図-13に年間エネルギー賦存量の算定結果を示す。図より、明石海峡横断面を通過する潮流の年間エネルギー賦存量は、一日あたり最大で6,000MWhの値を示し、年間で約784,500MWh/年の値を得た。この値はわが国における福島第一原子力発電所の年間発電電力量の約1基分に相当するものであり、非常に大きな量の再生可能エネルギーが明石海峡に存在することが示された。

上記の結果を用いて、明石海峡に設置可能な潮流発電施設を想定することで、当該施設による取得可能エネルギーの算定を行った。ここでは、明石海峡に架かる明石海峡大橋の橋脚に潮流発電タービンを設置することを想定することで、他の海域利用者との協調を考慮してタービンの設置幅として3mを仮定し、発電施設施工限界水深より設置水深30mを仮定した。取得可能エネルギー量の算定は、この当該施設の設置面積360㎡（幅3m×水深30m×橋脚両サイド2箇所×橋脚2基）を通過する潮流エネルギー賦存量を前述の①式を用いて求め、パワー係数（ベッツ効率0.593×タービン効率1.0を仮定する）を乗じたものである。取得可能エネルギーの算定結果を図-15に示す。図より、直径約3mの発電タービンを水深方向に30mに一樣に設定した場合は、最大取得エネルギー量は一日あたり約5.1MWhとなり、年間約698.4MWhのエネルギー量を得ることができる結果が示された。これは、前述の明石海峡における潮流エネルギーの年間賦存量の約0.1%に相当する値となる。

4. まとめ

瀬戸内海における橋脚下海洋空間を利用した潮流発電技

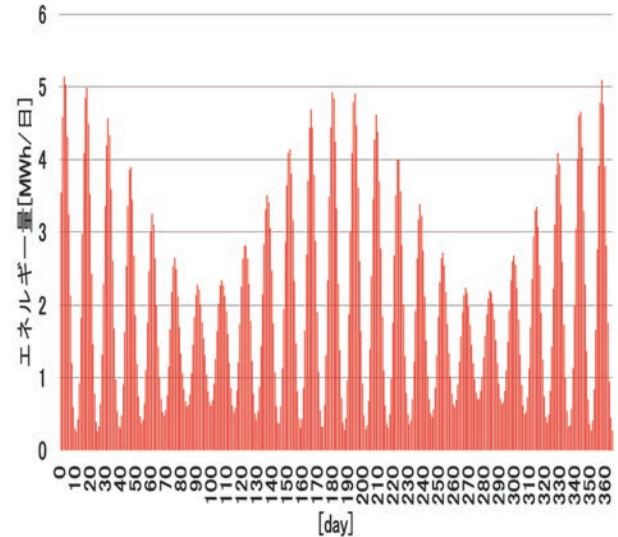


図-14 橋脚を用いた取得可能なエネルギー量の経時変化

術の開発を目的に、構築したGISデータベースにより対象海域の選定を行った。明石海峡では、瀬戸内海の他海峡部に比較して流速およびエネルギー量が大きく、潮流発電施設の設置可能性が高いことから、当該海域のエネルギー量の算定を目的とした現地調査を実施した。その結果、明石海峡横断面に直径約3mの発電タービンを水深方向に30mに一樣に設置すると、年間約698.4MWhのエネルギー量を取得可能であることが示された。しかしながら、今回実施した調査測線と明石海峡大橋の橋脚位置にずれがあることや、発電機タービンでのエネルギー取得損失が見込まれるため、今後の詳細な評価が課題として残る。

謝 辞

本研究は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が実施する『平成24年度 次世代海洋エネルギー発電技術研究開発』の研究助成により実施したものである。ここに、関係者に謝意を表す。

参考文献

- 1) 塩沢孝之, 肥後竹彦, 高杉由夫, 埜口英彦, 1991年: 潮流エネルギー利用に関する研究, 中国工業技術試験所研究報告, 第7号
- 2) 藤井雅之, 錦屋茂男, 2006年: 大島瀬戸の潮流発電に関する研究, 独立行政法人国立高等専門学校機構大島商船高等専門学校紀要, 第39号, pp.52-57