

波力発電適地選定のための日本沿岸における 波パワーの評価

片山 裕之¹・米山 治男²・下迫 健一郎³

¹正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市1534-1)

E-mail:Hiroyuki.Katayama@mail.penta-ocean.co.jp

²正会員 独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋研究領域 海洋利用研究チームリーダー (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail:yoneyama@pari.go.jp

³正会員 独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋研究領域長 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail:shimosako@pari.go.jp

東日本大震災以後のエネルギー政策転換の機運の高まりや、海洋基本計画において海洋再生可能エネルギーの利用促進が謳われるなど、自然エネルギーへの期待が高くなっている。実際に海洋再生可能エネルギーの検討が進んできており、現地海域での実証試験も始まっているものもある。その1つである波力発電についてもいくつかのタイプが検討されているが、発電量算出の基礎となる波パワーの精度の高い予測が重要となってくる。日本沿岸の波パワーについては過去にも整理されているが、本研究では、更に対象地点と統計期間を増やし再整理を行い、波パワーの海域特性を考察した。更に波力発電導入ポテンシャルが高い離島として大島波浮港と三宅島三池港を対象とし、設置を想定した防波堤位置の波パワーを試算した。

Key Words : Wave Power, Wave Energy, NOWPHAS, GPV, Wave Power Converter

1. はじめに

東日本大震災以後のエネルギー政策転換の機運の高まりや、海洋基本計画において海洋再生可能エネルギーの利用促進が謳われるなど、自然エネルギーへの期待が高くなっている。また実際にも風力、波力、潮流などを利用した海洋再生可能エネルギーの検討が進んできており、現地海域での実証試験が始まっているものもある。その1つである波力発電についてもいくつかのタイプが検討されているが、発電量算出の基礎となる波パワーの精度の高い予測が重要となってくる。日本全国の波パワーについては過去に検討されているが⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾、その後の波浪観測データも蓄積されていることや、最近ではGPVデータに代表される波浪推算データを利用した整理も行われている⁽⁵⁾。

本研究では、先ず過去に整理された沿岸の波パワー分布⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾を、更に対象地点と統計期間を増やし再整理を行い、波パワーの海域特性を考察した。更に波力発電導入ポテンシャルが高いと考えられている離島として大島と三宅島を対象に波パワーの試算を行った。

2. 全国沿岸の波パワーの整理

(1) NOWPHASデータによる日本全国沿岸の波パワー

波力発電の適地選定にあたっては、先ず発電ポテンシャルの評価に必要な波パワーの分布が重要となる。日本沿岸の波パワーについては、例えば高橋ら⁽²⁾⁽³⁾、永井ら⁽⁴⁾により整理されてはいるが、10年以上が経過していることと、例えば全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS, 港湾局)^{(例えは(6)(7))}のような全国の波浪観測網の整備が進んできたことから、ここでは検討地点および統計年数を追加し再整理を行った。なお、ここでいう波パワーとは波エネルギーの輸送率であり、2時間毎の有義波高と有義波周期を用い、次式で評価した。

$$WP = 0.5H_{1/3}^2 T_{1/3} \quad (1)$$

ここで、WP: 波パワー(kW/m), $H_{1/3}$: 有義波高(m), $T_{1/3}$: 有義波周期(s)である。

NOWPHAS観測網のうち、外洋に面した水深20m以上の観測地点のうち、一部を除き1991年から2011年までの21年間のデータが使える地点を対象に、波パワーの平均値だけでなく月別平均値および年平均値の経年変化について再整理した。先ず、年間平均の波パワーの結果を図-1お

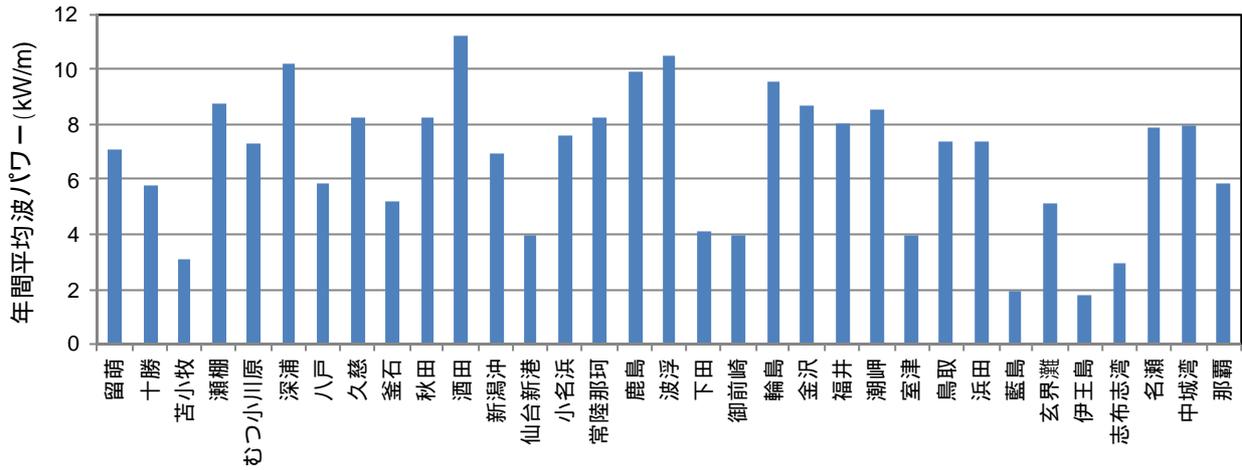
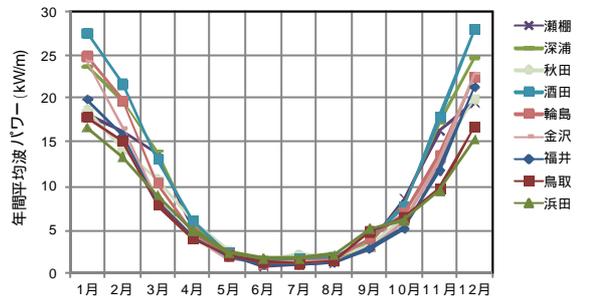


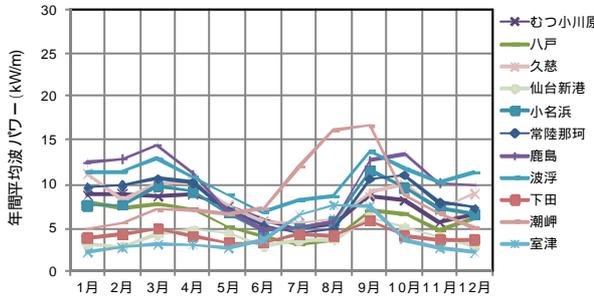
図-1 NOMPAS データによる全国の年間平均波パワー

表-1 NOMPASデータによる全国の平均波パワー値一覧

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
留萌	13.3	11.3	10.0	4.0	1.8	0.9	0.8	1.0	3.2	7.9	14.7	16.2	7.1
十勝	6.3	4.3	7.0	7.2	6.3	4.3	4.8	4.9	6.5	7.1	5.5	5.0	5.8
苫小牧	2.5	2.1	3.0	3.6	4.0	2.9	2.7	3.1	4.9	3.8	3.0	2.3	3.1
瀬棚	18.2	16.2	13.7	5.0	2.1	0.9	1.1	1.2	3.5	8.6	16.4	19.6	8.8
むつ小川原	8.7	8.9	8.6	8.8	7.4	5.9	4.8	5.5	8.7	8.2	5.7	6.5	7.3
深浦	23.7	19.8	14.1	5.4	2.4	1.1	1.5	1.5	3.4	7.9	17.2	24.7	10.2
八戸	8.0	7.2	7.7	7.2	5.1	4.2	3.1	3.6	6.9	6.6	4.7	6.2	5.9
久慈	11.2	8.2	10.0	10.3	7.6	5.7	5.5	6.1	9.0	9.9	7.0	8.9	8.2
釜石	7.0	7.6	7.6	5.7	4.1	3.5	2.6	3.3	5.7	6.7	3.8	5.0	5.2
秋田	18.7	14.2	10.9	6.0	2.7	1.4	2.2	1.8	3.2	6.4	13.4	20.0	8.2
酒田	27.6	21.7	13.1	6.0	2.4	1.3	1.7	1.9	4.0	7.7	17.8	28.0	11.2
新潟沖	18.1	15.0	8.4	2.8	1.3	0.6	0.7	0.8	2.6	4.6	10.0	17.8	6.9
仙台新港	3.1	2.8	4.2	4.8	4.3	2.9	3.6	3.7	6.3	5.0	3.9	2.9	4.0
小名浜	7.5	7.6	9.8	9.2	6.7	4.6	5.0	5.7	11.5	9.6	7.2	6.5	7.6
常陸那珂	9.6	9.8	10.7	10.2	6.9	5.3	4.4	4.8	10.6	11.0	7.9	7.3	8.2
鹿島	12.5	12.9	14.5	11.2	6.9	4.7	5.0	5.7	12.7	13.4	10.1	9.8	9.9
波浮	11.4	11.4	12.9	10.9	8.8	6.8	8.2	8.6	13.7	11.7	10.2	11.3	10.5
下田	3.9	4.3	4.8	4.1	3.3	3.3	4.2	4.1	5.7	4.1	3.7	3.6	4.1
御前崎	2.3	2.6	3.5	3.6	3.1	3.1	5.5	6.4	7.6	4.8	3.6	2.2	4.0
輪島	24.9	19.8	10.4	4.7	2.2	1.1	1.3	1.6	4.0	7.0	13.5	22.5	9.5
金沢	24.3	16.7	8.6	4.2	1.7	1.2	1.3	1.5	2.7	5.9	12.8	22.9	8.7
福井	19.9	15.8	8.2	4.2	1.9	1.0	1.0	1.2	2.9	5.2	11.8	21.4	8.0
潮岬	4.9	5.6	7.1	7.0	6.5	7.2	12.0	16.2	16.7	8.8	6.6	5.0	8.5
室津	2.2	2.7	3.1	3.0	2.7	3.7	6.5	7.6	7.5	3.7	2.7	2.2	4.0
鳥取	17.8	15.1	7.9	4.0	2.1	1.4	1.2	1.4	4.8	6.4	9.7	16.8	7.4
浜田	16.8	13.3	8.9	5.0	2.4	1.7	1.7	2.1	5.1	6.2	9.5	15.4	7.4
藍島	4.2	3.3	2.5	1.5	0.9	0.5	0.6	0.8	1.5	1.6	2.4	3.8	2.0
玄界灘	9.4	8.4	6.5	4.0	2.4	1.7	1.6	2.5	5.8	5.1	6.1	8.4	5.2
伊王島	2.1	2.0	1.7	1.3	0.9	1.9	3.3	2.8	2.1	0.7	1.2	1.9	1.8
志布志湾	0.8	1.1	1.6	1.9	2.0	2.6	4.6	7.9	6.1	3.0	2.3	1.1	2.9
名瀬	15.3	12.9	10.1	5.1	3.0	3.1	2.7	4.5	6.8	7.7	9.6	14.2	7.9
中城湾	4.1	4.2	4.7	4.4	4.9	4.4	10.3	13.9	14.1	12.6	11.5	7.1	8.0
那覇	11.8	9.7	6.8	3.3	1.8	1.9	2.4	3.4	5.9	6.7	8.2	10.8	5.9



(1) 日本海側



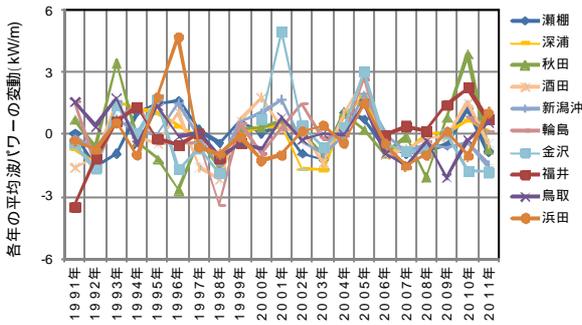
(2) 太平洋側

図-2 月別の波パワーの比較

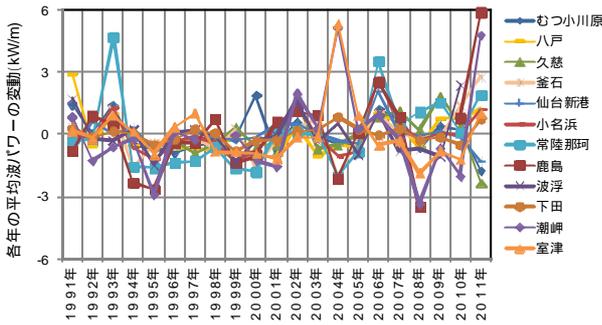
輪島, 金沢, 福井, 潮岬の12地点であった。

次に, 代表的な地点の波パワーの月別変化を整理した(図-2)。これをみると, 日本海側では冬に20kW/mを超えるが, 夏には2kW/m以下と非常に小さくなる。一方, 太平洋側では冬場でも15kW/m以下となる地点が多いが, 夏場でも5kW/m以下には減少しない地点が多い。永井ら⁴⁾は, 日本海側では冬季に高波浪が夏季に低波浪が継続すること, 太平洋側では遠方から来襲するうねりの影響で極端な低波浪が見られないとしているが, ここでも同様の傾向であった。年間を通しての安定した電源提供の観

よび表-1に示す。高橋ら(1989)²⁾³⁾による日本沿岸の平均波パワー値(約7kW/m)より大きく8kW/mを超える地点は瀬棚, 深浦, 久慈, 秋田, 酒田, 常陸那珂, 鹿島, 波浮,



(1) 日本海側



(2) 太平洋側

図-3 波パワーの経年変化の比較

点からは太平洋側の適応性が高いと言える。

図-3には、代表的な地点について各年の平均波パワーの経年変化を整理した。日本海側、太平洋側とも全体的に、平均値に対して ± 3 kW/m程度のばらつきが見られ、波力発電実用化の際にはこの程度のばらつきが伴うことを考慮する必要がある。

(2) NOWPHASとGPVデータによる波パワーの比較

観測値がない海域の波パワーを評価する方法としては、近隣の観測値から適切な換算係数などを用いて対象地点の波浪を評価する方法が、近隣の観測値の代わりにGPVデータに代表される波浪推算データを利用する方法が考えられる。後者は、データの蓄積も増えてきていることや平面的な情報が得られることから、例えばNEDO⁵⁾はGPVデータを用いて全国の波パワーを推定している。ただし統計期間が短いことや、観測値に基づいて算出した波パワー値との比較、検証は行われていない。そこで、今後の参考とするため、NOWPHAS地点のうち比較的地形の影響を受けない外洋の観測点（留萌、瀬棚、深浦、酒田、新潟沖、輪島、鳥取、浜田、むつ小川原、久慈、釜石、常陸那珂、鹿島、波浮、潮岬、室津）と最も近い波浪推算点と波パワーの比較を行った。

まず、GPVデータのうち沿岸波浪数値予測モデルGPV (CMM) (領域：北緯20度～50度，東経120度～150度，

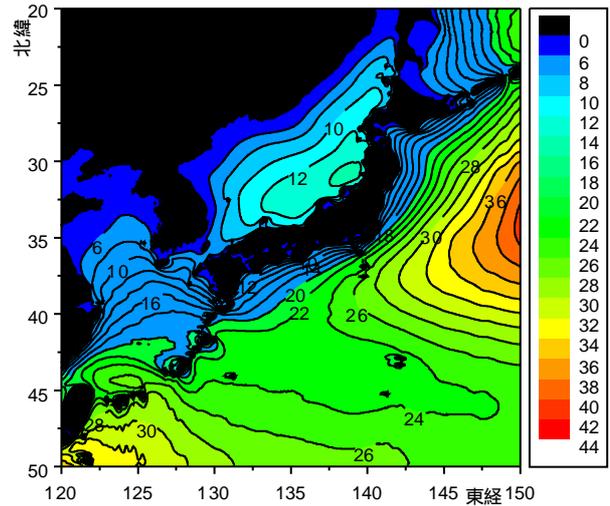


図-4 CMMデータから求めた波パワー分布

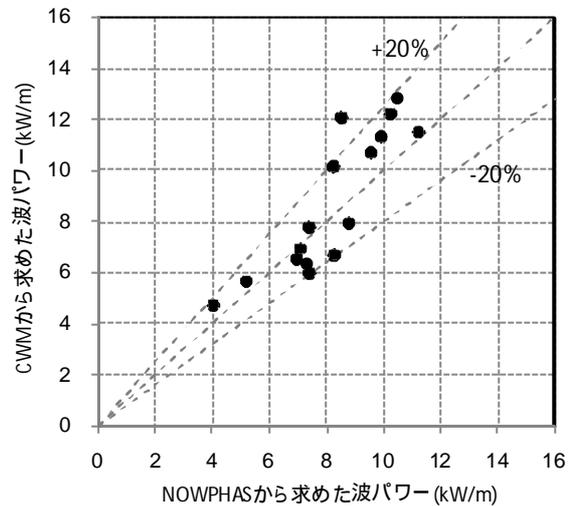


図-5 NOWPHASとCMMから求めた波パワーの比較

空間分解能：等緯度 等経度 0.05 度 \times 0.05 度)の2008年1月1日から2013年12月31日までの計6年間のデータを用いて日本周辺の平面的な平均波パワーを算出した(図-4)。これをみると、日本海側では北海道から山陰まで広い範囲に 8 kW/m以上となるエリアが見られるが、太平洋側の方が全体的にポテンシャルとしては高く、例えば東京都島嶼部では 20 kW/mを超える高い波パワーが得られる可能性がある。

次に、先に示したNOWPHAS観測点における波パワーと、最も近いグリッド位置のCMMデータから求めた波パワーを比較した結果を図-5に示した。図中に示したように、全ての地点ではないが大よそ $\pm 20\%$ 程度の範囲に分布しており両者の相関は比較的高い。今後、季節変化等も確認する必要があるが、波浪観測データのない海域の波パワー推定において、波浪推算データを用いる場合の精度が確認された。

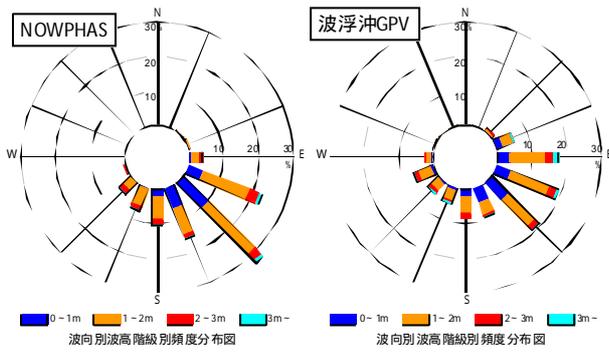


図-6 波浮港沖の波浪特性

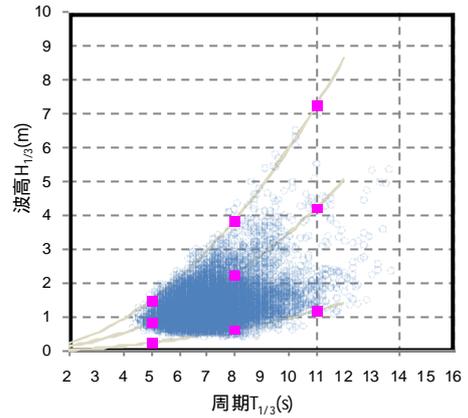


図-8 NOWPHAS波浮の波高・周期分布と波浪変形計算条件



写真-1 波浮港の対象位置

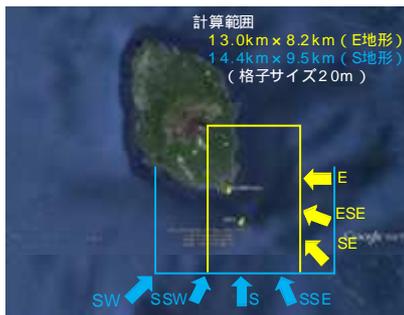


図-7 波浮港沖の波浪変形計算範囲

表-2 計算条件

計算範囲	13.0km × 8.2km (E地形) 14.4km × 9.5km (S地形)
格子サイズ	20m × 20m
波浪条件	NOWPHAS波浮の波高・周期分布より9ケース 波向きはE～SWまで7方位
潮位	H.W.L. = +1.5m
計算手法	エネルギー平衡方程式 ³⁾

表-2 計算条件

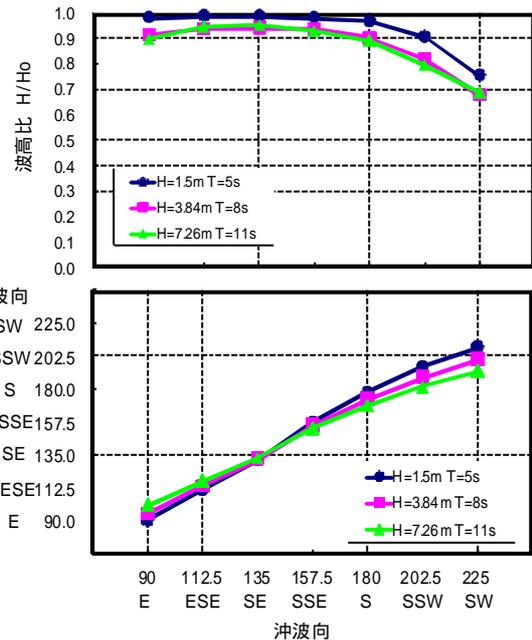


図-9 波浪変形係数(波浮港)

3. 離島の波パワー試算

波力発電ポテンシャルの高い離島の波パワーを評価するために波浪観測データが必要だが、上述したように波浪観測網は必ずしも十分ではなく波浪推算データによる補間が必要になる。本研究では、波パワーが期待できる離島への波力発電導入を想定し、大島波浮港および三宅島三池港の防波堤位置に発電設備を設置した場合の波パワーの推定を試みた。

(1) 大島波浮港の波パワー試算

まず、波浮港沖についてはNOWPHAS観測データがあることから、観測データ(水深48m)と沖合のOMMデータの出現特性を比較した(図-6)。両者を比較すると、来襲波向範囲はほぼ同じであるが、観測値は屈折により波向SEへ集中している様子がわかる。

波浮港沖では観測値を用い、沖合から防波堤部までの

エネルギー平衡方程式による波浪変形計算を行い、写真-1に示す防波堤計画位置(水深20m)の波パワーを推算した。図-7に波浪変形計算範囲を、表-2に計算条件を示した。波浪条件のうち沖波条件は、図-8に示すNOWPHAS観測値による波高と周期の相関図から設定した。

波浪変形計算から得られた波浪変形係数を図-9に示した。防波堤位置では沖波向SからSWの来襲波浪が屈折により2~3割減衰することがわかる。その結果、波浮港防

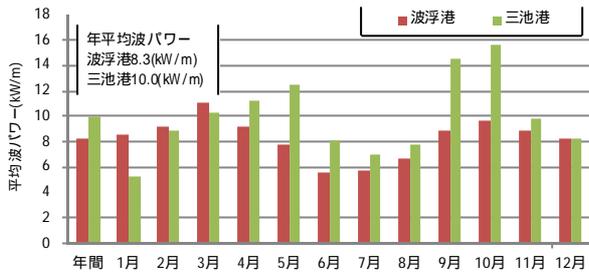


図-10 波浮港と三池港防波堤位置の波パワー

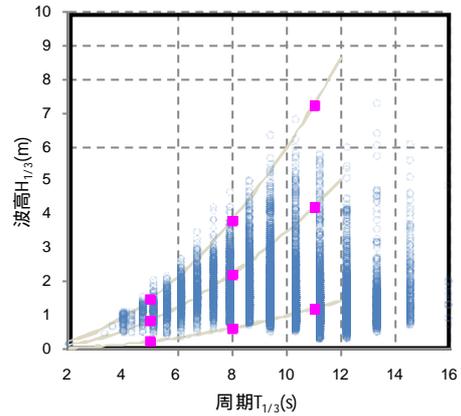


図-13 三宅島東沖CWMの波高・周期分布と波浪変形計算条件

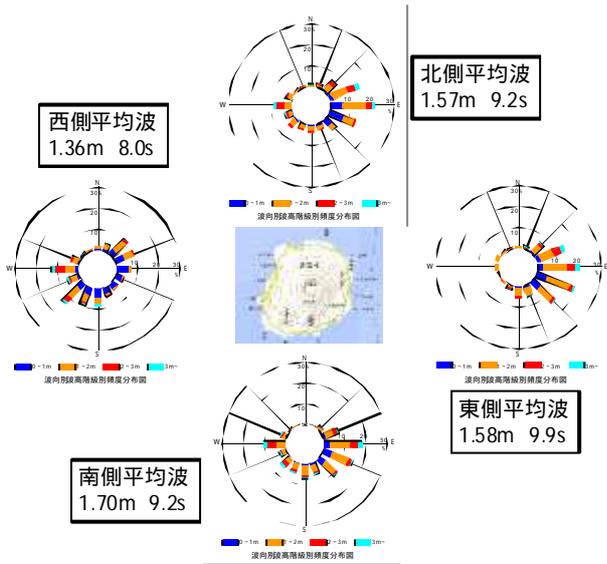


図-11 三宅島周辺の波浪特性 (CWMデータ)

表-3 計算条件

計算範囲	南北8.0km × 東西6.0km
格子サイズ	20m × 20m
波浪条件	三宅島東沖CWMの波高・周期分布より9ケース 波向きはNE ~ Sまで7方位
潮位	H.W.L. = +1.5m
計算手法	エネルギー平衡方程式 ⁸⁾

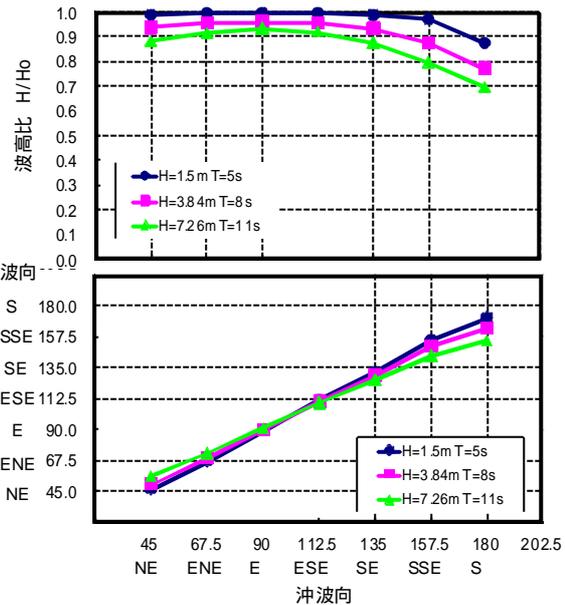


図-14 波浪変形係数 (三池港)



写真-2 三池港の対象位置

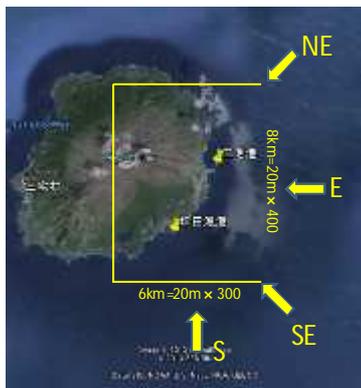


図-12 三池港沖の波浪変形計算範囲

波堤位置の波パワーは8.3(kW/m)と推定され, NOWPHAS観測データから算出した波パワー9.9(kW/m)より2割程度小さくなった(図-10)。

(2) 三宅島三池港の波パワー試算

三池港周辺は波浪観測データがないため, 波浪推算データを基に波パワーの推算を行う。まず, 三宅島周辺の波浪特性を把握するため, 三宅島周辺のCWMデータから波浪特性を整理した(図-11)。この結果, 三宅島周辺で

は南側の波パワーが高いことが予想される。

次に波浮港と同様に三池港までの波浪変形計算により写真-2に示す防波堤計画位置(水深30m)の波パワーを推算した。図-12に波浪変形計算範囲を、表-3に計算条件を示した。波浮港での計算波浪条件と同様に、沖波条件は図-13に示す三宅島東沖のCWMデータの波高と周期の相関図から設定した。

図-14には波浪変形計算結果から得られた波浪変形係数を示した。三池港防波堤では、沖波向SEからSの範囲の来襲波浪が屈折により2~3割減衰することがわかる。また防波堤位置の波パワーとしては10.0(kW/m)と推定され、波浮港より2割程度大きい波パワーが期待できる結果となった(図-10)。

4. まとめ

波力発電の導入指標となる波パワーについて、波浪観測データ(NOWPHAS)と波浪推算データ(CWM)を用いて整理を行った。また、波力発電導入のポテンシャルが高い離島について、大島波浮港と三宅島三池港を対象とした波パワー試算を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

日本全国の波パワー分布をNOWPHAS観測データから整理し、月別、経年の波パワー変化特性を明らかにした。

波浪観測のない海域の評価において、波浪推算データを用いた評価の精度を確認した。

大島波浮港と三宅島三池港への波力発電導入を想定

し波パワーを推算し、波浮港(8.3kW/m)より三池港(10.0kW/m)の方が2割程度大きなことを示した。

謝辞：本研究は、NPO法人海口マン21海洋エネルギー研究会主催の「離島における海洋エネルギー研究委員会：井上興治主査」での議論が有益であった。委員の方に謝意を表す。

参考文献

- 1) 田端竹千穂・柳生忠彦・福田 功：日本沿岸における波のエネルギー，港湾技術研究所資料，No.364，20p，1980.
- 2) 高橋重雄・安達 崇：日本周辺における波パワーの特性と波力発電，港湾技術研究所資料，No.654，18p，1989.
- 3) 高橋重雄・安達 崇：日本周辺における波パワーのその利用に関する一考察，海岸工学論文集，第 36 巻，pp.874-878，1989.
- 4) 永井紀彦・渡邊 弘・川口浩二：長期波浪観測に基づく我国沿岸の波パワー出現特性の検討，港湾技術研究所資料，No.895，26p，1998.
- 5) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：平成 22 年度成果報告書 海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務(要約版)，pp.6-19，2011.
- 6) 川口浩二・猪股 勉・関 克己・藤木 峻：全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 2012)，港湾空港技術研究所資料，No.1282，125p，2014.
- 7) 永井紀彦：全国港湾海洋波浪観測 30 年統計(NOWPHAS 1970-1999)，港湾空港技術研究所資料，No.1035，388p，2002.
- 8) 高山知司・池田直太・平石哲也：砕波および反射を考慮した波浪変形計算，港湾技術研究所報告，第 30 巻，第 1 号，pp21-67，1991.

EVALUATION OF WAVE POWER AROUND JAPAN FOR APPROPRIATE PLACE SELECTION OF WAVE POWER CONVERTER

Hiroyuki KATAYAMA, Haruo YONEYAMA and Ken-ichiro SHIMOSAKO

Marine Renewable Energy(MRE) is expected after The Great East Japan Earthquake. The consideration for MRE is also progressing and the field test has also begun on the sea. Some types are considered also about wave power converter. It becomes important to predict wave power with high precision for wave power converter.

In this research, the wave power around Japan is rearranged using the wave observation data whose observing point increased. And the local characteristic of wave power is considered. Furthermore, the trial calculation of the wave power was made at the breakwater of the Habu fishing port in the Oshima and the Miike fishing port in the Miyake-jima.