

没水平板における規則波の集波効果に関する基礎的研究

Wave Focusing Effect by Submerged Horizontal Plates in Regular Waves

○伊藤泰子<sup>1</sup>, 古川智尋<sup>1</sup>, 寺田拓海<sup>2</sup>, 惠藤浩朗<sup>3</sup>

\* Taiko Ito<sup>1</sup>, Chihiro Furukawa<sup>1</sup>, Takumi Terada<sup>2</sup>, Hiroaki Eto<sup>3</sup>

Abstract : A submerged crescent plate is a thin, flat structure placed horizontally below the water's surface. The direction of ocean waves is manipulated by altering their velocity as they propagate over the plate, causing refraction. In this study, the possibility of obtaining energy more efficiently by placing an underwater crescent plate with a wave-focusing effect in front of a wave energy generation device was investigated. Additionally, the angle of the crescent plate was adjusted to adapt to the seasonal fluctuation characteristics of actual ocean areas.

1. はじめに

波力発電の研究開発動向<sup>[1]</sup>によると日本において波力発電が実用化されていない要因として欧州などに比べて波エネルギーが小さいことが挙げられる。こうした課題を踏まえ、本研究で注目したのが没水平板を用いた集波と呼ばれる波浪制御方法である。これは水面下に薄い平板を水平に配置することで平板上を進行する波を屈折させ、背後の特定の領域の波高を増幅させるものであり、波力発電装置に増幅された波高の波を入射させることで効率的な波力エネルギーの獲得を期待できる。

本研究に関連する既存研究<sup>[2]</sup>では、没水平板を配置したことによる没水平板上で波高の増幅や任意点に対する集波効果が確認されている。しかし入射波周期や没水平板の設置角度などの解析パターンが限定的であることから、更なる集波効果の特性把握が望まれる。そこで本研究では SPH 法<sup>[3]</sup>に基づくオープンソース流体解析コードの DualSPHysics ver.5.2<sup>[4]</sup>を用い、波力発電装置の前方に三日月形平板を配置させ、規則波による集波効果解析を行い、高効率なエネルギー獲得の可能性について調査することを目的として研究を行った。

2. 実海域の波高周期の季節変動特性の調査

実海域の波高と周期の季節変動特性を把握するため、山形県酒田港の過去 11 年間波浪データを NOWPHAS<sup>[5]</sup>より取得した。そして 1 年間の波高と周期の出現時間と(1)式<sup>[6]</sup>により算出される 1 年間の波高と周期別波エネルギー積算量をそれぞれ Figure 1, 2 に示す。これにより長時間の小さな波よりも短時間の大きな波のほうがエネルギーを有するため、波浪資源評価には波高と周期の把握の必要性が確認された。

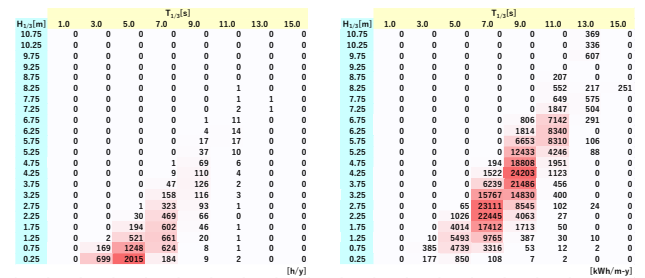


Figure 1 Annual frequency of wave height and period.

Figure 2 Accumulation of wave energy over the year.

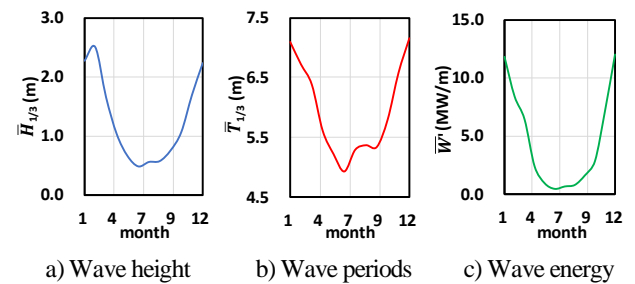


Figure 3 Seasonal variation of waves at Sakata port.

$$\bar{W}' = 0.5 \cdot \gamma_s \cdot \mu_H \cdot \bar{H}_{1/3}^2 \cdot \bar{T}_{1/3} \quad (1)$$

ただし、 $\bar{W}'$ : 平均波力エネルギー密度,  $\gamma_s$ : 1 年間の波浪データに基づいた係数で 2.7,  $\mu_H$ : 変動係数で日本海側は 1.0, 太平洋側は 0.5,  $\bar{H}_{1/3}$ : 平均有義波高,  $\bar{T}_{1/3}$ : 平均有義波周期

また月ごとの平均有義波高, 平均有義波周期および波エネルギーのグラフを Figure 3 に示す。Figure 3a, b より酒田港では平均有義波高, 平均有義波周期の季節変動が確認され, Figure 3c より酒田港の  $\bar{W}$  は 12 月で最大の 12000[kWh/m]を示し, 6 月には 450[kWh/m]と最小となり, 冬季には十分な発電が期待できるものの, 夏季の発電は難しく, 年間を通して安定した発電量の確保が困難であることが明らかとなり, 集波などの入射波の制御による波高の増幅の必要性が確認された。

3. 計算モデルおよび計算条件

解析で用いる水槽と没水平板のモデルを Figure 4, 5 に示す. 三日月平板の諸元は Li ら<sup>[7]</sup>の水利実験に合わせ設定し, 粒子間距離 $d_p$ が小さいほど高解像度の解析を実現可能だが計算コストも増大するため本研究では $d_p$ を 0.008m, 総粒子数 4000 万とし解析を行った.

また入射波波高  $H_i$  が 0.04m の規則波を水槽の左端より入射させ, 波周期  $T$  は 1.0, 1.5s の 2 ケースで, それぞれ 13, 15s 間の解析を行った. そして平板上とその背後の波高比を評価するため平板中心線に沿い  $x=0.0 \sim 6.0$ m の範囲に計測点を配置し, 波高分布を確認した.

4. 三日月平板による集波効果の検討

ここでは Table 1 に示す平板厚さと周期の変化に伴う集波解析を行い, 解析により得られた波高  $H$  を  $H_i$  で除した値である波高比  $H/H_i$  の結果を Figure 6 に示す. Figure 6 より, 平板厚さの変化に伴い最大波高比は Case 1 で 1.4, Case 2 で 1.2 という値を示し平板厚さが厚い方が大きな波高比が得られ, 周期の変化においては Case 3 が 2.6 という値を示し, 波周期が大きいほど波高が増幅することを確認した.

5. 没水平板の配置角度変化による集波効果の検討

2 章より海洋波は季節変動特性を有するため, ここでは高い集波効果を発揮した Case 3 の条件で Figure 7 に示すように平板配置角度 ( $\theta$ ) を 1.0~4.0deg と変化させ集波効果の確認を行った. Figure 8 より平板後端では $\theta=0.0$ deg で最大波高比 2.6 を示し,  $x=6.25$ m においては $\theta=2.0$ deg で最大波高比 1.8 が得られた. また配置角度の増加に伴い平板後端より  $x=6.25$ m において波高比が大きく得られたため平板の配置角度を調整することで集波位置の制御が可能であることが確認された.

6. おわりに

本研究で得られた知見を以下にまとめる.

- 実海域における波高周期の季節変動の調査を行った結果, 波浪資源評価には波高と周期の把握の必要性が確認された. また年間を通して安定した発電量の確保が困難であることが明らかとなり, 集波などの入射波の制御による波高の増幅の必要性が確認された.
- 三日月平板の集波効果に関する検討において, 平板厚さ, 波周期の変更によって波高比の変化が確認された.
- 平板角度の変化による集波効果の変化を確認した結果, 三日月型平板の配置角度に変化を与えることで集波位置を制御可能であることを確認した.

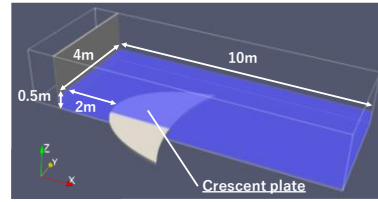


Figure 4 Calculation model.

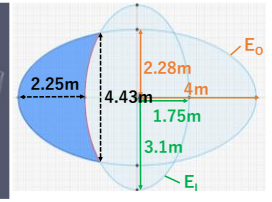


Figure 5 Plate size.

Table 1 Calculation conditions for wave focusing analysis.

	Thickness (d)	Wave period (T)
Case 1	0.10[m]	1.00[s]
Case 2	0.03[m]	1.00[s]
Case 3	0.10[m]	1.50[s]

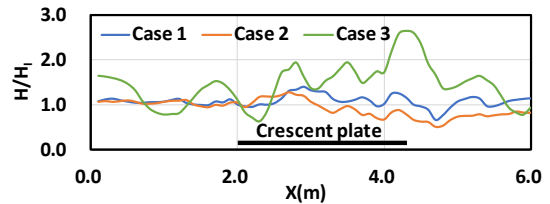


Figure 6 Wave height distribution.

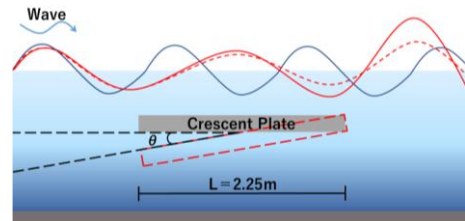


Figure 7 Installation image of submerged crescent plate.

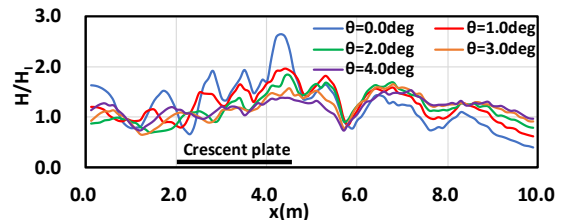


Figure 8 Wave height distribution due to change in flat plate angle.

参考文献

- [1] 永田修一: 波力発電の研究開発動向, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第 56 巻, 第 2 号, 2021
- [2] 惠藤浩朗, 寺田拓海, 木下龍太郎: 粒子法による没水平板の波浪集波効果に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) 2024
- [3] Gingold, R.A. and Monaghan, J.J.: Smoothed particle hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, Vol. 181, pp. 375-389, 1977.
- [4] Crespo, AJC, Dominguez, JM, Rogers, BD, Gomez-Gesteira, M, Longshaw, S, Canelas, R, Vacondio, R, Barreiro, A, Garcia-Feal, O (2015). "DualSPHysics: Open-source parallel CFD solver based on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)," *Computer Physics Communications* 187, 204-216.
- [5] 全国港湾海洋波浪情報網 (NOWPHAS; ナウファス)
- [6] 運輸省港湾技術研究所: 港湾技研資料 No.654, 1989.
- [7] Chi-Yu Li, Ruey-Syan Shin and Wen-Kai Weng "Investigation of Ocean-Wave-Focusing Characteristics Induced by Submerged Crescent