

オフショア振動水柱内における気液界面検出法

Detecting method of a liquid-gas interface in oscillating water column

北海道大学工学院 ○学生員 大野紘史(Koshi Ono)

北海道大学工学研究院 正員 猿渡亜由未(Ayumi Saruwatari)

1. はじめに

EU の総エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの比率を 2020 年までに 20%に増加させる計画が 2008 年の EU 政策パッケージに盛り込まれたのを契機に世界的に自然エネルギー利用が進められており、2013 年には世界の総発電量の増分の内 56%が自然エネルギーをソースとするものになったと報告されている (Renewable Energy Policy Network for 21st Century,2014) .

波浪エネルギー発電分野においても利用促進の取り組みが活発化しており、特に欧州では数十億円規模の海洋エネルギー関連の国際プロジェクトが複数進行するなど装置の開発、運用方法、環境評価、経済影響評価など多方面からの研究開発が急速に推進されている。例えば現在最も実用化に近い装置の 1 つである Oyster を開発する Aquamarine Power 社は、今後数年以内に送電網への接続を前提とした波力発電装置の大規模な商用配備を開始する計画など、波浪エネルギーの利用はより現実的なものになってきている。

実海域に波浪エネルギー発電装置を設置した場合、装置による波浪エネルギーの吸収や波の反射、屈折等により周囲の波浪場が変化する為、周辺の地形や生物環境に影響が及ぶ可能性がある。周辺環境への影響評価の為にしばしば波浪推算モデルによる波浪場の変化予測が行われるが、これを適切に行う為には波エネルギーデバイスを設置した後の周囲の波浪変形の特徴が正しく予測できなければならない。これまでに猿渡らは、発電装置によるエネルギー吸収率が最大となる波の周波数と入射波のピーク周波数との関係から装置背後の透過波と装置から返っていく反射波のスペクトル形状を明らかにした。

しかし、装置模型と波との相互作用や入射波が装置下を透過する際に装置壁に発生する渦による乱れエネルギーなどのエネルギー損失に関しては検討が不十分であった。そのため本研究では、不規則波を入射させ装置模型内の水位変動を画像計測を用いて定量的に装置内の空気の増減を調べることを最終的な目的とし、本論では装置内部の空気量を体系的に求める手法を示す。また、検討が不足していた波浪と装置模型との相互関係についても示す。本研究では、装置内部の空気室にある空気塊が、装置内部の水面変動により圧縮を繰り返し、装置上部にある空気孔から空気が噴き出し、タービンを回すことで発電をする振動水柱 (Oscillating Water Column) 型発電装置を想定しており、暴波浪条件に対する耐久性が高く我国でも多くの研究がなされてきた、特に波エネルギーの高い沖合に設置することが可能な浮体式振動水柱型発電装置

を対象に研究を行う。

2.実験方法

(1) 実験装置

装置模型は縮尺 1/50 の浮体式 OWC 型を想定しているが、本研究では装置の動揺と係留は無視している為水槽上部の支柱に完全に固定しており、装置を二次元形状とする為に上部の空気孔は水路幅と等しいスリットとした。装置模型前後の水位変動を計測する為にそれぞれ間隔 20cm で 2 本ずつの容量式波高計を設置した。装置背後の勾配に消波工を設置することで岸と装置間による多重反射を防いだ。全長 27m、幅 60cm の二次元造波水槽の無勾配部分の中央に透明アクリル製の発電装置模型を設置し、水路端にある造波装置から不規則波浪を入射させた場合の模型内における水位変動を画像処理により計測した (図-1)。造波水路内をウランにより着色すると共に水路上方から紫外線ライトを照射することにより溶液を蛍光励起させた。装置周辺部を完全遮光シートで覆い、造波水路側面に設置したカメラにより装置内部の水面が変位している様子を撮影した。使用したカメラは CASIO 製 EXILIM,EX-F1 のデジタルカメラである。撮影条件としては Frame2124×2816pix、画素数は 600 万画素の条件で 60 枚の連続撮影を行った。撮影間隔は 30Hz であり、本実験で使用した画像の FOV は 24.5cm×32.5cm である。

(2) 実験条件

有義波高 6cm、有義周期 0.6-1.4s の JONSWAP 型に基づいた不規則波浪 (表 1) を OWC 模型に入射させ、各波浪条件に対して装置模型の喫水 d=5cm-15cm を 1cm 間隔の条件化で実験を行った。各条件下で計測した波浪は、合田ら (1976) による入・反射分離法を用いて装置前を入射波成分と反射波成分、装置背後を透過波として波の成分を分離し、入射波、反射波、透過波のスペクトルを計算した。測定周波数は 500Hz であり、測定時間は 300 秒間とした。同様の波浪条件で画像計測の実験を行った。

表-1 実験条件

波形	Hs(cm)	Ts(s)	Tp(s)	d(cm)
1	6	0.6	0.64	10
2		0.7	0.75	5,10
3		0.8	0.86	5,10
4		0.9	0.96	5,10
5		1	1.07	5~15
6		1.1	1.18	10
7		1.2	1.28	10

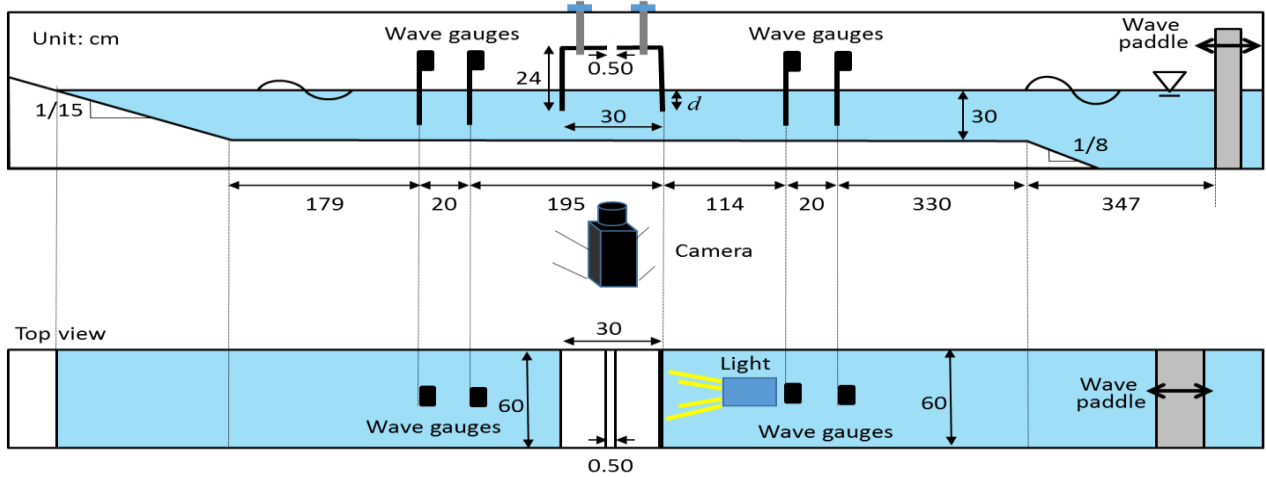


図-1 実験水路と OWC 模型

3.結果

(1) 装置模型と波浪の相互関係

OWC 模型に波浪が作用すると波エネルギーが装置内部の気流のエネルギーへと変換されると共に,装置周辺部による乱れの生成により波エネルギーが散逸する.本論分ではこの散逸を入射波と反射波,透過波の総波浪エネルギー量の関係により吸収散逸率と定義した.各波浪条件に対して吸収散逸率 $E'_{ds}(\omega)$ を調べたまた,吸収散逸率には透過波と反射波の影響は無視できない為それぞれの入射波に対する透過率 $K_T(\omega)$ と反射率 $K_R(\omega)$ も算出した.

$$K_T(\omega) = (S_T/S_I)^{0.5}$$

$$K_R(\omega) = (S_R/S_I)^{0.5}$$

$$E'_{ds}(\omega) = 1 - K_T(\omega)^2 - K_R(\omega)^2$$

S_I : 入射波スペクトル S_R : 反射波スペクトル

S_T : 透過波スペクトル ω : 波の周波数

図-2 は波形 5 の波浪を入射させ,OWC 模型の喫水を 5 から 15cm まで変化させたときの吸収散逸率を表す.本実験において OWC 模型装置によるエネルギーの吸収散逸率はある周波数の波浪に対して最大の吸収率を有しているが,どの喫水においても角周波数 8[rad/s]付近の波に対して吸収率が急激に低下している.図-3 は種々の波を入射させた時エネルギー吸収散逸率分布であるが,いずれの波浪条件においても 8[rad/s] 付近での E'_{ds} の低下が確認できる.特に入射波周期が長くなる程その様子が顕著に表れた.これは,OWC 装置模型と波との相互作用と関連している可能性があるが,これについては更なる研究が必要である.図-4,図-5 は OWC 模型における反射率と透過率を示す.各喫水において角周波数 8[rad/s]付近に対して反射率が急激な上昇を見せており,逆に透過率は急激な降下を見せている.本実験で使用している OWC 装置模型では,8[rad/s]程度の波のほとんどが装置模型を透過せず反射波として返っている.

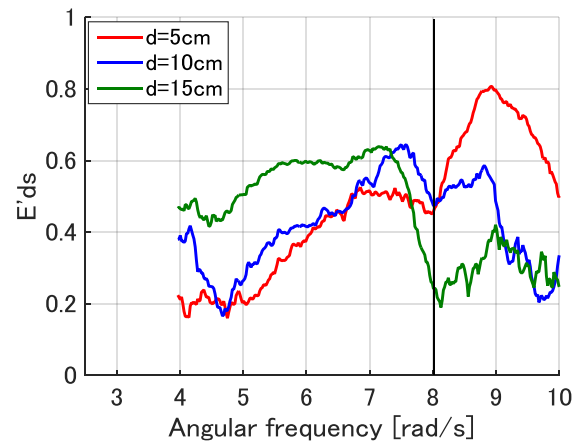
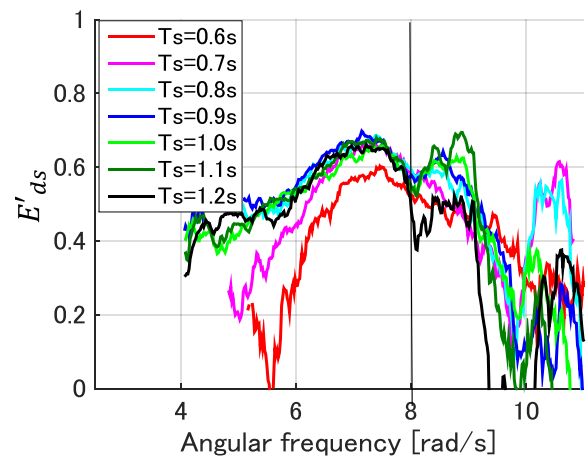
図-2 OWC 模型による波エネルギーの吸収散逸率 E'_{ds} 

図-3 波形 1-7 を入射させた際のエネルギーの吸収散逸率

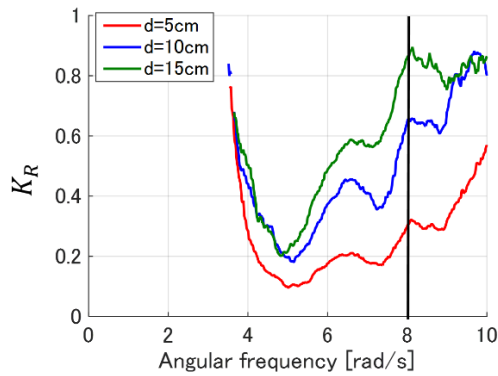


図-4 OWC 装置模型による反射率

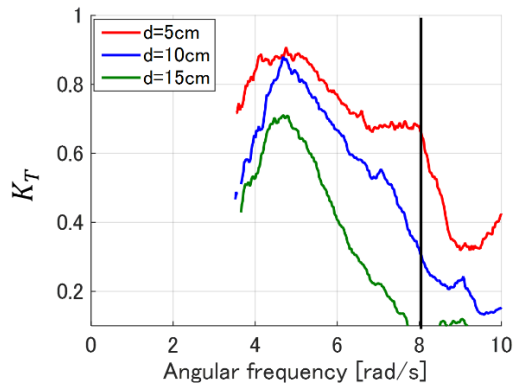


図-5 OWC 装置模型による透過率

(2) 装置模型内の気液界面検出法

デジタルカメラで撮影した画像から水面形状を決定する為の手法を示す。撮影した 8bit RGB カラー画像から青の色相のみを抽出すると、ウラニン溶液は 521nm 以下の光を吸収する為液体部のみ暗く映る。(図-6b)この画像に 5pix×5pix のメディアンフィルターを通すことで画面上のノイズを低減させた。(図-6c) その後の画像の輝度分布を式 (1) で表される正規分布の累積関数を回帰によりフィッティングさせることにより、気層と液層の界面を検出した。図 6-(d)に検出された 1800 列目の水面近傍の輝度分布である。これの×印が気液界面を表現している。

$$f(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{x-\mu}{\sigma} \right) \quad \text{式 (1)}$$

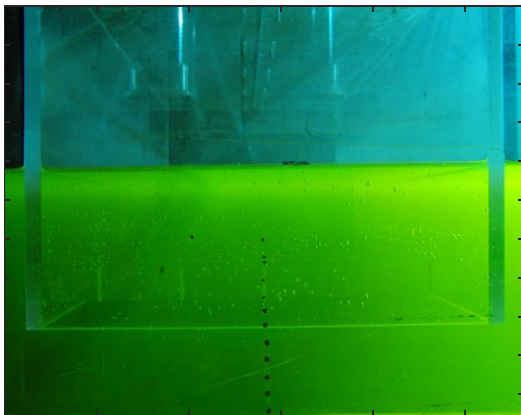


図-6(a) 解析を行う原画像

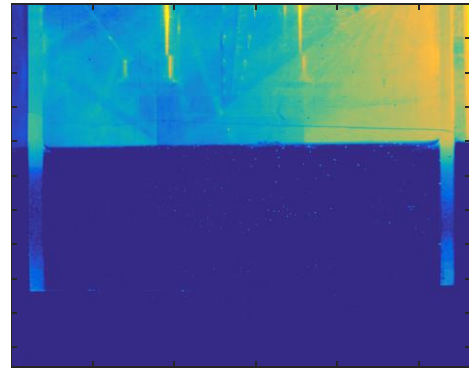


図-6(b) 現画像から青成分のみ抽出した画像

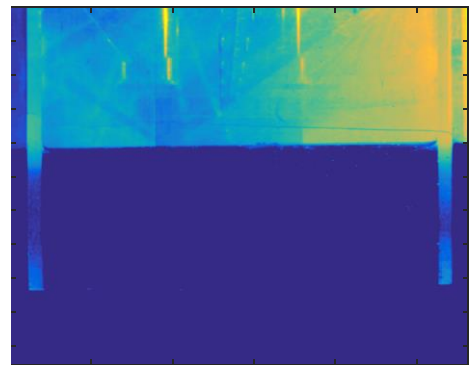


図-6(c) メディアンフィルター後の画像

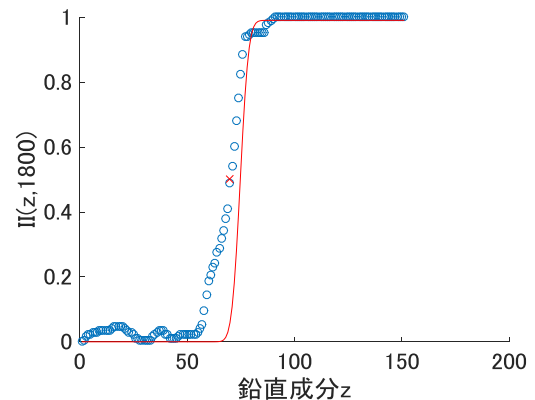


図-6(d)検出された 1800 列目の水面画像

4.まとめ

本研究では装置の動揺や係留を無視して単純化した浮体式 OWC 装置モデルに不規則波浪が作用した際の波と装置模型との相互作用や画像計測による気層と液層の界面検出法を示した。装置模型と波との関係によりスペクトルの変化の特徴は変わらないが、吸収散逸率に大きく影響することが分かった。また、界面を検出できたことで装置内部の空気量を直接的に求めることが可能となる。波と装置模型の相互作用や渦による乱れエネルギーによる損失が明らかになる。

5.参考文献

- (1) 合田良実,鈴木康正,岸良安治,菊池治: 不規則波実験における入・反射波の分離推定法, 港湾技研資料 p0248