

振動水柱型波力発電デバイスによる波浪の反射と透過の特徴

Characterization of reflected and Transmitted Waves Through an OWC Wave Energy Device

北海道大学工学研究院

正員 猿渡亜由未 (Ayumi Sruwatari)

北海道大学工学部環境社会工学科 ○ 学生員 大野紘史 (Koshi Ono)

隔で2本ずつ設置した。模型はアクリル製で、サイズは、長さ30

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為に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の開発会社である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、デバイス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。

本研究では波力発電装置に入射する波浪の変形について水理実験を通して特徴化することを目的としている。現在様々なメカニズムの波力発電装置が提案されているが、本研究では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振動水柱 (Oscillating Water Column, OWC) 型発電装置、特に波浪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

実験は、長さ24m、幅60cm、高さ100cmの造波水槽内で行った。造波板から10.05mは水平底面であり、それより岸側の底面は1/15の一定勾配となっている (図1)。水平底面部中央には1/50スケールの浮体式OWC (振動水柱) 発電装置模型を設置し、その前後にそれぞれ50cm間

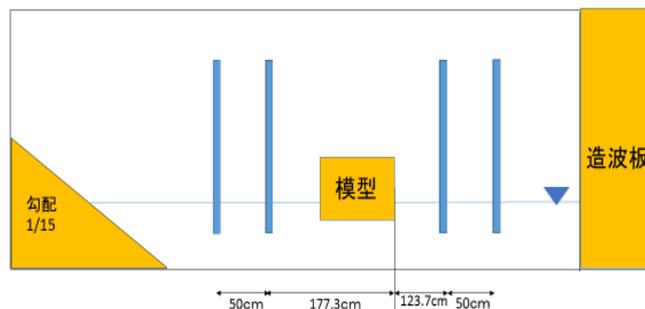


表1—(a) 波浪条件.

Case	有義周期Ts (s)	Draft(cm)	板, 模型なし	波
1	0.6	5	板	規則波
2	1.0	5	板	規則波
3	1.4	5	板	規則波
4	2.0	5	板	規則波
5	0.6	10	板	規則波
6	1.0	10	板	規則波
7	1.4	10	板	規則波
8	2.0	10	板	規則波
9	0.6	15	板	規則波
10	1.0	15	板	規則波
11	1.4	15	板	規則波
12	2.0	15	板	規則波
13	0.6	0	なし	規則波
14	1.0	0	なし	規則波
15	1.4	0	なし	規則波
16	2.0	0	なし	規則波
17	0.6	5	OWC模型	規則波
18	1.0	5	OWC模型	規則波
19	1.4	5	OWC模型	規則波
20	2.0	5	OWC模型	規則波
21	0.6	10	OWC模型	規則波
22	1.0	10	OWC模型	規則波
23	1.4	10	OWC模型	規則波
24	2.0	10	OWC模型	規則波
25	0.6	15	OWC模型	規則波
26	1.0	15	OWC模型	規則波
27	1.4	15	OWC模型	規則波
28	2.0	15	OWC模型	規則波
29	1.0	0	なし	不規則波
30	1.0	5	板	不規則波
31	1.0	10	板	不規則波
32	1.0	15	板	不規則波
33	1.0	5	OWC模型	不規則波
34	1.0	10	OWC模型	不規則波
35	1.0	15	OWC模型	不規則波

c m,幅 60 c m,高さ 24 c mであり,上部には高速の空気を発生させるための幅 5 mmのギャップが開けられている.実際の装置は空気流により回転するタービンをエアチャンバー内に有しているが本モデルはタービンは含まない.また装置自体の振動の影響を排除する為に,模型は水槽上部から完全に固定している.また模型実験の比較対象として単純な遮蔽板を水面上から深さ d だけ挿入した場合,模型や遮蔽板を挿入しない場合についても実験を行った.

(2) 実験条件

本実験における諸条件を表 1 に示す.全てのケースで造波板前水深を 30cm,波高及び有義波高を 6cm とした. Case1-28 では,規則波を造波し,Case29-35 では,JONSWAP 型不規則波を周期,Draft を種々に変化させた条件で模型に入射させた.波高計のサンプリングレートは 100Hz であり Case1-28 においては 4 分間,Case29-35 においては 20 分間の測定を行った.

(3) 入射波・反射波の分離

入・反射波の分離は合田ら (1976) の方法を基き行った.即ち規則波の水位変動 η については次式で示す入射波 η_I 及び反射波 η_R の和として表せると仮定する.

$$\eta_I = a_I \cos(kx - \sigma t + \varepsilon_I) \quad (1)$$

$$\eta_R = a_R \cos(kx + \sigma t + \varepsilon_R) \quad (2)$$

$$\eta = \eta_I + \eta_R \quad (3)$$

2つの波高計により $x = x_1, x_1 + \Delta l$ において測定された

η_1, η_2 は③式より次式のように表せる

$$\eta_1 = A_1 \cos \sigma t + B_1 \sin \sigma t \quad (4)$$

$$\eta_2 = A_2 \cos \sigma t + B_2 \sin \sigma t \quad (5)$$

ここで

$$A_1 = a_I \cos \phi_I + a_R \cos \phi_R \quad (6)$$

$$B_1 = a_I \sin \phi_I - a_R \sin \phi_R \quad (7)$$

$$A_2 = a_I \cos(k\Delta l + \phi_I) + a_R \cos(k\Delta l + \phi_R) \quad (8)$$

$$B_2 = a_I \sin(k\Delta l + \phi_I) - a_R \sin(k\Delta l + \phi_R) \quad (9)$$

$$\phi_I = kx_1 + \varepsilon_I \quad (10)$$

$$\phi_R = kx_1 + \varepsilon_R \quad (11)$$

④⑤式より $A_1 \sim B_2$ は測定された η_1, η_2 の Fourier 変換

により決定する

$$A_1 = \frac{2}{N} \sum \eta_1(n) \cos \frac{2\pi n}{N} \quad (12)$$

$$B_1 = \frac{2}{N} \sum \eta_1(n) \sin \frac{2\pi n}{N} \quad (13)$$

$$A_2 = \frac{2}{N} \sum \eta_2(n) \cos \frac{2\pi n}{N} \quad (14)$$

$$B_2 = \frac{2}{N} \sum \eta_2(n) \sin \frac{2\pi n}{N} \quad (15)$$

⑥~⑨,⑫~⑮より a_I, a_R を決定する.

$$a_I = \frac{1}{2|\sin k\Delta l|} [(A_2 - A_1 \cos k\Delta l - B_1 \sin k\Delta l)^2 + (B_2 + A_1 \sin k\Delta l - B_1 \cos k\Delta l)^2]^{0.5} \quad (16)$$

$$a_R = \frac{1}{2|\sin k\Delta l|} [(A_2 - A_1 \cos k\Delta l + B_1 \sin k\Delta l)^2 + (B_2 - A_1 \sin k\Delta l - B_1 \cos k\Delta l)^2]^{0.5} \quad (17)$$

また不規則波の場合,入・反射波は次のように表せる.

$$\eta_I = a_{I0} + \sum a_{In} \cos \left(kx - \frac{2\pi n}{N\Delta t} t + \varepsilon_I \right) \quad (18)$$

$$\eta_R = a_{R0} + \sum a_{Rn} \cos \left(kx - \frac{2\pi n}{N\Delta t} t + \varepsilon_R \right) \quad (19)$$

このときの波高計による測定値は次式のように表される.

$$\eta_1 = a_{10} + \sum A_{1n} \cos \frac{2\pi n}{N\Delta t} t + \sum B_{1n} \sin \frac{2\pi n}{N\Delta t} t$$

$$\eta_2 = a_{20} + \sum A_{2n} \cos \frac{2\pi n}{N\Delta t} t + \sum B_{2n} \sin \frac{2\pi n}{N\Delta t} t$$

更に $a_{10}, a_{20}, A_{1n} \sim B_{2n}$ の係数は⑫~⑮と同様に Fourier 変換により求められ,⑫⑬と同様に各周波数成分毎の入・反射波の波高を求めることができる.

3. 実験結果

(1) 規則波の透過率と反射率

図 2 に規則波の周期の変化に対する入射波の透過率と反射率の変化を表す.周期が長くなるに従い透過率は増加すると共に反射率は減少していく特徴が表れた.これは波の周期及び波長が装置のスケールに比べて相対的に長くなるに従い,遮蔽板や模型等の障害物の影響を受けにくくなる為である.図 3 では,図 2 で示した規則波の透過率と反射率を, Draft の変化に対してプロットしたものである. Draft が深くなるに従い,反射率は上昇し,透過率は減少していく.遮蔽板を設置したケースと装置を設置したケースを比べると,反射率に大きな違いが表れないのに対し透過率は装置を設置したケースの方が小さくなった.これは波エネルギーが振動水柱を介しエアチャンバー内で消費されたことに起因する.また透過率の減少が特に $T=1.0s$ のケースで大きく表れたのは,このスケールの波浪が装置の共鳴周波数に近かったためであると考えられる.

(2) 不規則波の透過

図 4 に本実験で造波した JONSWAP 型波浪スペクトルと障害物のない Case29 での測定波浪スペクトルを示す.造波測定スペクトルはほぼ一致しており,想定した波が造波できていることを確認した.

図 5 は,遮蔽板及び OWC 模型を設置した場合の入射波及び透過波スペクトルを表す.いずれのケースも Draft が大きくなるに従い透過波の強度が減少することが確認できる.また規則波を作用させた場合と同様に模型を波が透過する際の,エネルギー損失により遮蔽板を設置したケースより OWC 模型のケースの方が透過波スペクトル

ルの強度が小さくなっていることも確認された。波の各周波数毎のエネルギー減衰率の違いについては今後さらなる検討を行う必要がある。

4.まとめ

本研究では振動水柱型波力発電装置モデルに様々な条件の規則波及び不規則波を作用させた時の波浪の透過率、反射率とスペクトル密度の変化を調べた。本研究の実験条件では Draft が大きくなるに従い透過率は減少し、反射率は上昇すると共に、振動水柱上でのエネルギーの消費により模型を透過する波は Draft の等しい単純な遮蔽板を透過する場合よりもエネルギーが小さくなることも確認した。更に、 $T=1.0s$ の波の装置への吸収が特に大きかったことからこのスケールの波が装置との共鳴を起こしている可能性がある。今後装置周りの波の変形についてより詳細な特徴を明らかにする為に更なる研究を行う必要がある。

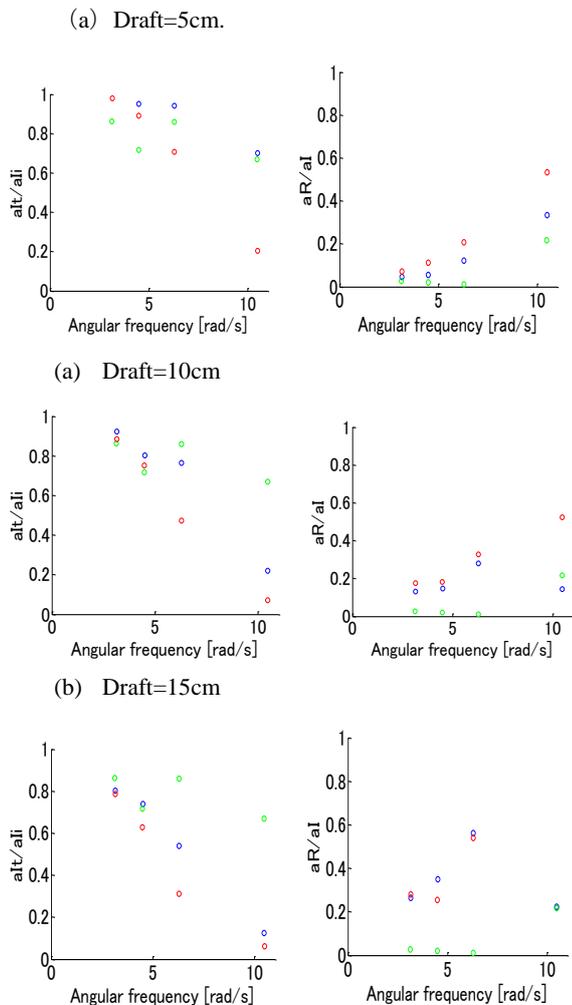


図2 規則波の透過率 (alt/ali) 及び反射率 (aR/ai) の周期に対する変化。青丸：遮蔽板、赤丸：OWC 模型、緑丸：障害物を置かないケース。

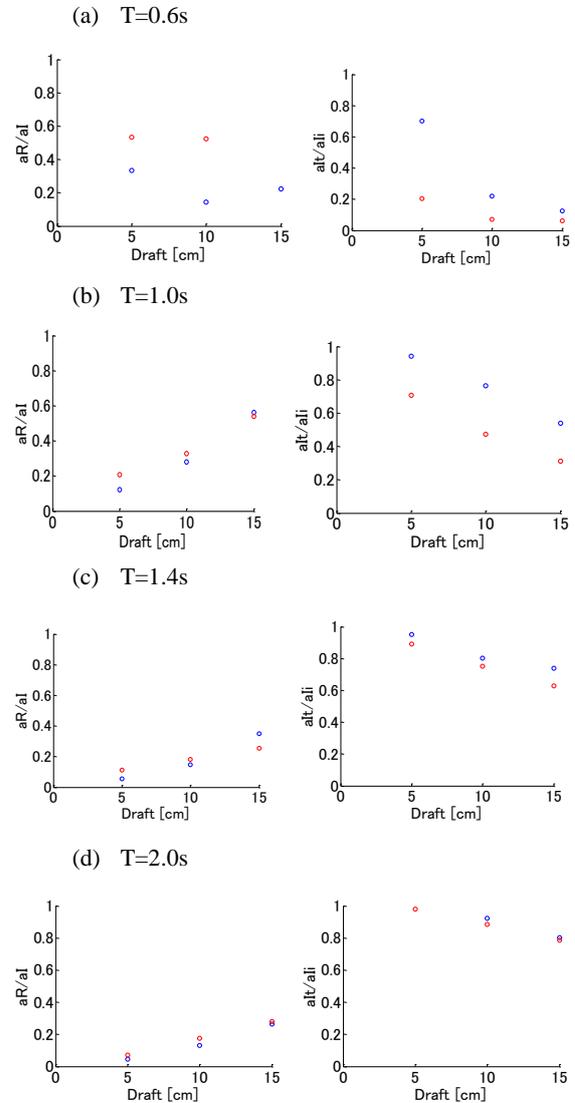
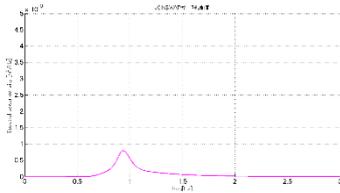


図3 規則波の透過率 (alt/ali) 及び反射率 (aR/ai) の Draft 変化。青丸：遮蔽板、赤丸：OWC 模型、緑丸：障害物を置かないケース。

(a) JONSWAP 型の理論値



(b) 模型なしのスペクトル強度

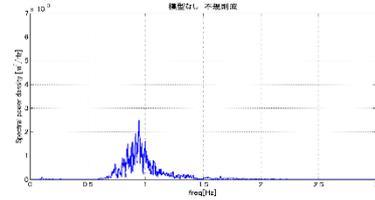
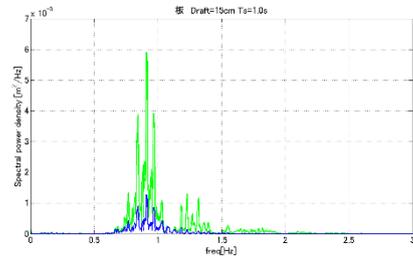
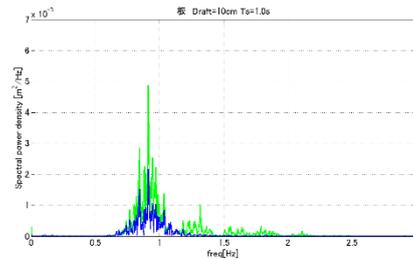
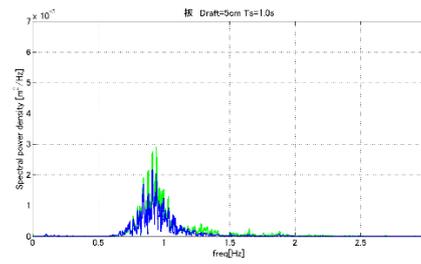


図 4 Case29 において造波時に想定した波浪スペクトルと測定波浪スペクトル

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No.248 (1976)
- (2) Renewable Energy Policy Network for the 21st Century : Renewables 2014 Global Status Report p45-46 2014 年

(a) 板.



(b)OWC 模型.

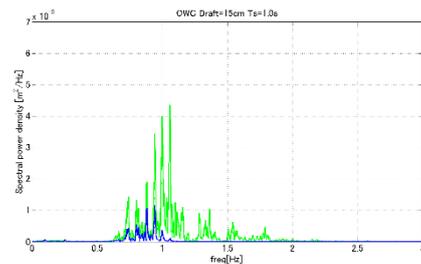
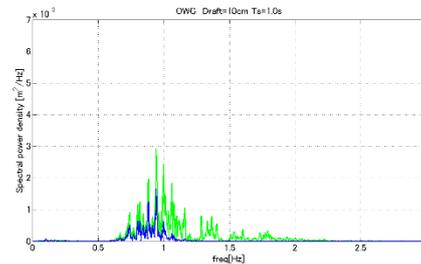
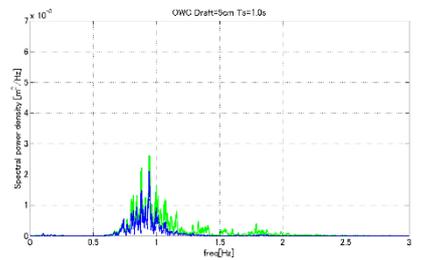


図 5 不規則波における OWC 模型と板のスペクトル強度と周波数の関係 (緑が入射波,青が透過波) .