

## 逆止弁式波力発電の基礎実験および理論水力の見積もり

第一復建（株） フェロー会員 ○羽田野袈裟義  
九州産業大学 正会員 横田雅紀  
今賀大学 今井康貴 宮崎大学 正会員 村上啓介

### 1. はじめに

再生可能エネルギーへの期待が年々高まっている。水工技術が主役として関わりうる数少ないエネルギー技術に波力がある<sup>1)</sup>。波力発電の既往提案技術は固定式と浮体式の両方とも波による動的作用力を受ける。この作用力はエネルギー利得の源で大きいため、装置の固定や定点保持に多額の経費を要する。

本研究では、海底に波の進行方向に沿うように自重で据え付けられた容器の表面に作用する水圧を利用する方式を考案し、模型を製作して実験室の動作確認を行なったのでその結果の概要を述べ、その結果を踏まえて理論水力を見積もる。

### 2. 提案技術の概要

本提案の全体構成と設置状態を図1に示す。図は上が側面図そして下が平面図で、装置を2基並列配置した状態を示す。装置は自重により海底に据え付けられた外殻構造の耐压容器が主要素となる。耐压容器は表面に吸入専用の逆止弁群を有する加圧部と排出専用の逆止弁群を有する減圧部からなり、耐压容器の長手方向が波の進行方向に沿って装置を設置する。図中の斜線部は逆止弁設置区間で、●印は水中発電機を示す。水中発電機を稼働させるため、耐压容器のこの部分に仕切りを入れて水を迂回させる。

現実には発電機のメンテナンスを容易にするため、

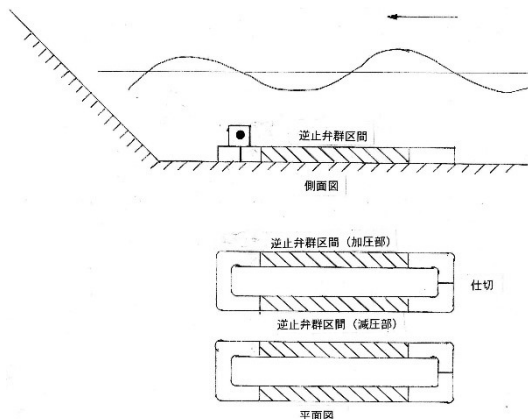


図1 提案技術の全体構成と設置状態の図

水中発電機をその途中に収納し両方の耐压容器を連結する管体が水中発電機の設置位置で適当な遮水空間内に位置するように配置するのが望ましい。

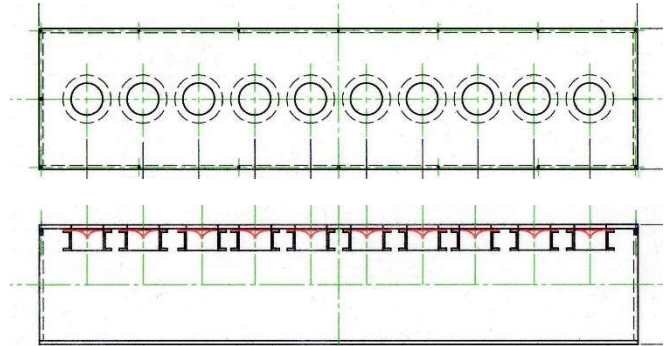


図2 耐压容器模型（上が平面図；下が側面図）

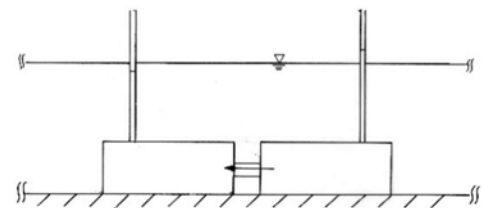


図3 実験装置の模式図

### 3. 動作確認実験

**実験の概要：**動作確認実験は図2に示す模型装置を用いて九州産業大学の水理実験室の造波水槽（長さ14.5m、幅0.4m、深さ0.6m）の中で行われた<sup>2),3)</sup>。模型容器は厚さ0.01mの亚克力製で外寸が長さ1.5m、幅0.35m、高さ0.3mの直方体である。容器の長さは波の波長と同程度以上である。上板（蓋板）には10個の逆止弁を等間隔に配置した。逆止弁は放射状に切れ目を入れたゴム板で図2に赤く示す。これは逆止弁の外殻であるフランジ（内径0.08m）の上・下端と抑え有孔版の間に挟んで設置した。図2には弁が閉じた状態（直線）と開いた状態（曲線）を示す。実験では図3のように両方の耐压容器をパイプで連結し、容器に立てたマンメータの水位を調べた。パイプを通過する流量は計測器の感度の限界のため測定で

キーワード 波力発電, 海底設置, 耐压容器, 逆止弁群, 一方向流, 理論水力

連絡先 〒813-0006 福岡市博多区上牟田 1-17-9 第一復建（株）顧問室 羽田野袈裟義 TEL090-6839-1903

きなかった。

**実験結果:** 実験によると、波の峰の通過時には吸入専用の逆止弁が次々に開いて水を吸引し、峰の通過後には順次閉じた。排出専用の逆止弁は波の谷の通過時に次々に開いて水を排出し、谷の通過後は順次閉じた。両方の模型耐圧容器から立てたマンメータの水位は正弦波的な波に対してはあまり変動しなかった。したがって、2つの模型耐圧容器を連結するパイプの中の流れは、正弦波に対しては時間的にほとんど変動せず、図1に示した水中発電機がほぼ一定速度で回転することが示唆される。

#### 4. 理論水力の見積もり

図4は、耐圧容器の長さ方向の1波長の長さの区間にわたって逆止弁群が配置された状態について、上述の実験結果を踏まえ、ある時刻における耐圧容器の表面（曲線）、加圧部および減圧部のピエゾ水頭の分布を示す。なお図の縦軸は水底を基準としたものにバイアスを掛けて概念的に示している。理論水力を見積もるポイントは、耐圧容器表面のピエゾ水頭が加圧部の値より高い区間で耐圧容器への流入が生じそして耐圧容器表面のピエゾ水頭が減圧部の値より低い区間で耐圧容器からの排出が生じること、そして正弦波では（表面のピエゾ水頭）－（加圧部のピエゾ水頭）>0の区間の上記の水頭差の長さ方向の積分そして（減圧部のピエゾ水頭）－（表面のピエゾ水頭）>0の区間で上記の水頭差の長さ方向の積分がともにどの時刻においても図4で見積もられる値に等しいことである。

実験で示されたマンメータの挙動および上記の事情から、逆止弁群設置区間の長さが波長と等しい場合、正弦波では装置の各部位の任意時刻におけるピエゾ水頭を図4のようにモデル化することができる。図中の各部位のピエゾ水頭の値は次式で表される。

$$\text{耐圧容器表面} : \frac{p}{w} = h_0 + \frac{H}{2} \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right) \quad (1)$$

$$\text{加圧部} : \frac{p_+}{w} = h_0 + \alpha \frac{H}{2}; \quad \text{減圧部} : \frac{p_-}{w} = h_0 - \alpha \frac{H}{2} \quad (2)$$

理論水力  $P$  は、有効水頭差  $\Delta H$ 、流量  $Q$  として

$$P = \rho g \Delta H Q = w \Delta H Q \quad (3)$$

$\Delta H = \alpha H$  である。水が逆止弁を流れる区間は A～B, C～D である。図4について流量  $Q$  を見積もる。逆止弁を通過する水流速度を  $V$  とすると、ベルヌ

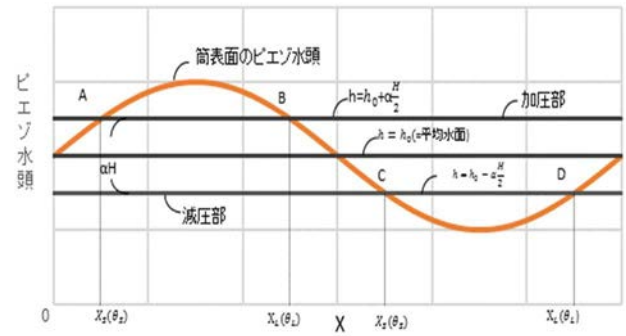


図4 装置の各部位のピエゾ水頭の模式図

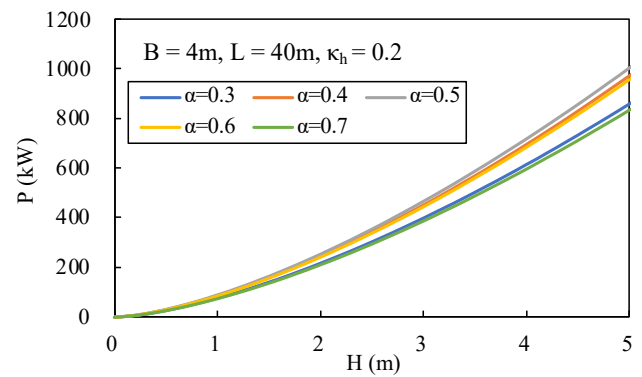


図5 計算例

ーイの定理から  $V$  の式が次の形に得られる。

$$V = \left[ gH \left\{ \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right) - \alpha \right\} \right]^{1/2} \quad (4)$$

逆止弁群の設置範囲を幅が  $B$  で長さが波長  $L$  に等しいとし、逆止弁設置区間の容器表面の面積に対する逆止弁開口全面積の割合を  $\kappa_h$  とすると、

$$Q = \kappa_h B (gH)^{1/2} \int_{x_s}^{x_L} \left\{ \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right) - \alpha \right\}^{1/2} dx \quad (5)$$

理論水力は式(3)と(5)より

$$P = \rho g \alpha H \kappa_h B (gH)^{1/2} \int_{x_s}^{x_L} \left\{ \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right) - \alpha \right\}^{1/2} dx \quad (6)$$

$B=4\text{m}$ ,  $L=40\text{m}$ ,  $\kappa_h=0.2$  の計算例を図5に示す。理論水力の計算値は波高 1m, 2m, 3m, 4m でそれぞれ 70-90kW, 200-250kW, 400-470kW, 600-700kW 程度を示している。これは波高減衰を無視したため波パワーから見積もられる値に比べて大きい、図1の配置形態ではエネルギー変換により波高減衰が生じこれがもたらす回折効果のためふつうの2次元波とは異なり波高減衰があまり生じないと考えられる。すなわち図1の配置形態では波パワーの値の制約が緩和されるといえる。

## 5. 本方式の特徴および実用化への課題とその対応

波力エネルギー変換の技術開発は、当然ながら、事業化まで見通して行なうことが必要である。ここで本方式の技術を実用化の観点から分析する。

**本方式の利点：**冒頭で述べたように従来の提案技術は装置が波の動的作用力を受けるため固定や浮体式の定点保持のための経費がかさむ。これに対して本提案の方法は装置の水中重量を利用して海底に据え付けること、そして海底近くの水の運動が緩慢なため、固定が容易である。また、発電機が波の位相に関係なくほぼ一定の回転速度で稼働するため、エネルギー変換の効率を高く保つことができ、さらに発電機のスペックを抑えることができ発電機の経済面でも有利である。

**課題とその対応：**本提案の技術は海生生物の問題から従来技術が回避してきた海中の装置である。したがって海生生物付着への対応が必須である。それには付着防止対策を十分に講じること、そして海生生物が付着することを前提にした運用を行なうことが重要である。海生生物付着防止対策として、水に接する部分に銅を配置する方法<sup>4)</sup>、シリコンを塗布する方法<sup>5)</sup>、CO<sub>2</sub>の微細気泡を利用する方法<sup>6)</sup>、通電による酸素消費反応や超音波キャビテーションを利用する方法<sup>7)</sup>が考えられる。銅を配置する方法は、銅の溶出速度がポイントである<sup>4)</sup>ことから耐圧容器表面に配置することの他に吸入専用逆止弁の前端に銅製の網を配置して逆止弁に向かう流れにより溶出を促進させることが有効と考えられる。CO<sub>2</sub>の微細気泡を利用する方法も吸入専用の逆止弁位置で微細気泡を出して吸入させることが有効と考えられる。これらはいずれも耐圧容器の入り口から出口に至るまでの防止対策になる。メンテナンスについては、必要が生じた時点で平穏な海象時に引き上げて付着生物を除去すると同時に交換可能な部品を交換することになる。

## 6. 結言

上述のように、本システムの稼働にあたっては継続的な維持管理が必須である。その際、海生生物の付着防止対策の有効な方法を組み合わせることになるであろう。現場は海域であり海生生物付着防止策という共通の目的とノウハウを有する漁業者とのコラボレーションが期待される。多くの問題で経済面

から人手を省くことが重視されがちであるが、実際に手で触れるメンテナンスの作業を通して当該技術の理解が深まり改善策や新しい技術が生まれる可能性が十分あることに目を向けるべきである。古来よりの例でいえば神社の遷宮は技術の継承で重要な意味をもつ。技術の継承なくして技術の持続がありえないことを忘れてはならない。また、今後この技術が実用化された場合、全国津々浦々に点在する漁村が電気自動車のためのエネルギー基地となりうるから、メンテナンスの人的費を地域振興の種と位置付けることも必要であろう。

その他のこととして、今年（2022年）3月16日に宮城県や福島県で最大震度6を記録した地震により東北電力の11の火力発電所の設備が計610万kWの出力を停止し、東京の電力事情がひっ迫する事態となったことは記憶に新しい。また、送電線の空容量という怪奇な事情もある<sup>8)</sup>。分散型電源の重要性を知らしめるに十分である。

## 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，56(2)，2021.
- 2) 清水尚之，下川廉：波力発電に関する実験的研究，九州産業大学卒業論文，2021.
- 3) 丸尾統真，高木翔太郎：波力発電装置の水力模型実験，九州産業大学卒業論文，2022.
- 4) 塚村慶子，武田正良，寺山朗，榎本佳泰：海洋で利用する資材の生物付着耐性評価試験，広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター研究報告 No.54，2011.
- 5) 山盛直樹：海洋生物付着防止と高分子，日本ゴム協会誌，64(7)，1991.
- 6) 杉本正昭，小村佳成，塩田浩太：海生生物付着防止方法，特開 2010-43060，2010.
- 7) 福島憲明，高遠典宏，福岡麻里，井合雄一，赤嶺健一：水門設備向け海生生物付着防止技術の開発，IHI 技報，53(3)，2013.
- 8) 安田陽：送電線は行列のできるガラガラのそば屋さん？，インプレス R&D，2018.