

スリット式防波堤を利用した

波力発電システムの開発

脇本 辰郎（わきもと たつろう）



所属：工学研究科 機械物理系専攻

専門分野：流体工学

趣味：美術鑑賞

1. はじめに

日本は四方を海に囲まれた海洋国です。ある統計によれば海岸の総延長は 29,751km で、世界的には第 6 位です。国土面積当たりの値では、フィリピン、ギリシャについて第 3 位となります。長大な海岸線は日本の気候や風土に大きな影響を与えている他、様々な産業が海の恩恵を受けて発展してきました。古来より漁業が発達し、日本の食文化は大変豊かなものとなっています。また、造船業や海運業は現在の日本の物流を支えています。

一方、環境保全や化石エネルギーの枯渇の問題から、近年自然エネルギーによる発電が注目されています。現在、風力発電機や太陽電池の設置が進められていますが、陸地の少ない日本では、長大な海岸線を生かした波力発電も有力なエネルギー源として考えることができます。波力の潜在的なエネルギーを 36GW と試算した報告もあり、風力発電と比して遜色ないエネルギー源と言えます。日本では比較的早くから波力発電の研究が進められ、一時期は基礎研究の分野で世界の先頭に立つこともありました。しかし、漁業や海運業が盛んである国内事情が奇しくも問題となって実用化に向けた研究が進まず、現在では欧米の研究が先行しています。日本では、船舶の航行安全や漁場の確保の点から海上に構造物を設置することが厳しく制限されていて、装置を実海域に設置することが難しいのです。また、日本周辺海域の波高が欧米の海域のそれより小さく、波力のエネルギー密度が小さいことも技術開発を難しくしています。日本の国内事情に適した波力発電システムを開発することが重要であると言えます。そこで、4 年前より工学研究科内で研究グループを作り、新しい波力発電システムの開発研究を始めました。筆者と同じ流体工学研究室の加藤健司先生、河海工学が御専門の重松孝昌先生、材料・設計工学に造詣の深い吉岡真弥先生とともに研究を進め、従来にないコンセプトの波力発電システムを提案し、その性能や優位性について議論できる段階にまで至りました。本稿ではその開発研究の概要について述べます。

2. スリット式防波堤を利用した波力発電システム

2.1 スリット式防波堤の構造と防波堤内部の流れ

欧米各国では、大規模な装置を洋上に設置して発電するシステムが主流ですが、日本では先に述べた事情から、沿岸の既存構造物に多くのミニ発電装置を設置して、周辺地域に供电する地産地消型のシステムが適しているのではないかと考えました。また、既存構造物としてスリット式防波堤に注目しました。大阪南港に設置されているスリット式の防波堤の外観を図 1(a)に、内部の構造を図 1(b)に示します。波浪により、遊水室と防波堤外部との間にスリットを通じて往復する水流が発生します。この水流のエネルギーをスリット周辺で発生する渦で減衰させて消波する仕組みになっています。建設コストが安価であるため、近年普及が進んでいる防波堤です。

スリット周辺の流れの数値シミュレーション結果を図 2 に示します。防波堤を上方から眺めた視点で描かれており、矢印が水流の速度ベクトルを表しています。海側から流入する流れがスリット部に集まり、スリット後方に高速で向きの揃った流れが形成されています。高速な流れの周りには渦が形成されており、この渦が波のエネルギーを減衰させます。本研究ではスリット後方の高速な水流から動力を取りだし、発電に利用します。動力の取り出し方については現在も検討を続けていますが、ここではサボニウス水車と屈曲布を用いた手法を紹介します。

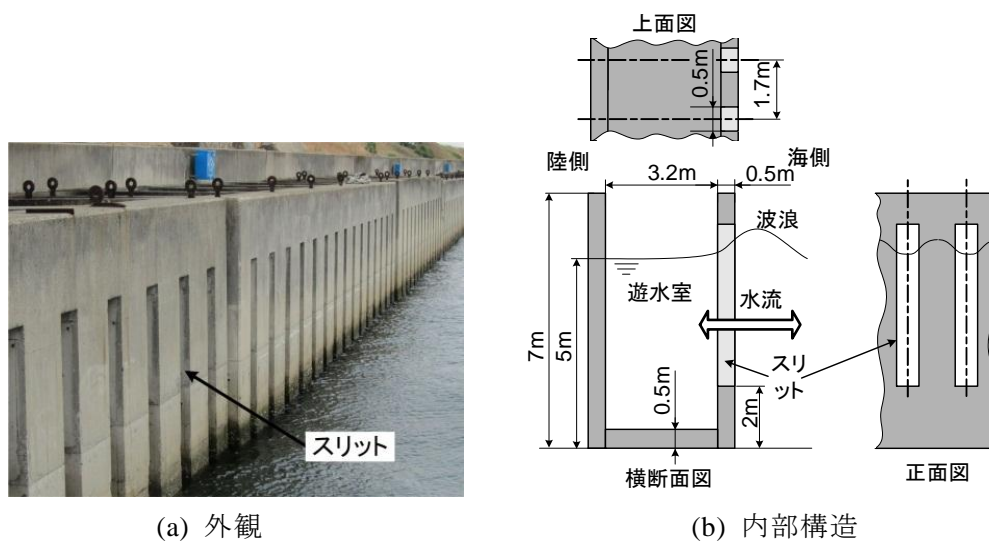


図 1 スリット式防波堤

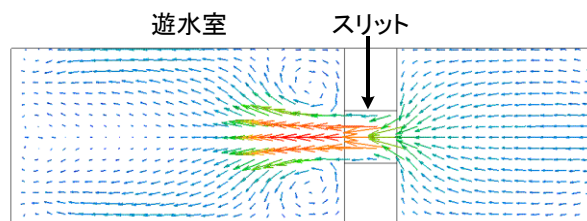


図 2 スリット周辺の流れのベクトル

2.2 サボニウス水車を用いた発電システム

本研究では、まずサボニウス水車をスリット後方に設置して、往復する水流で水車を駆動するシステムを検討しました。図3のような実機の1/12の模型を造波水槽中に製作し、水車の出力を測定しました。図4に示すサボニウス水車は、小型の風車にしばしば用いられる構造のもので、2枚の半円弧形状の羽根が中心をずらして軸に取り付けられています。往復流れに対しても一方向に回転する特長があります。本研究では、往復水流から滑らかな回転が得られるよう、羽根を3段として、それぞれ位相を 120° ずらした構造としました。大小様々な模型水車(図5)や動力計(図6)の製作の際には、工作技術センターの工作機械を利用し、一部の部品については職員の方に工作を御願いました。

模型実験で測定した動力を相似則にしたがって実機出力に換算すると防波堤1スリット当

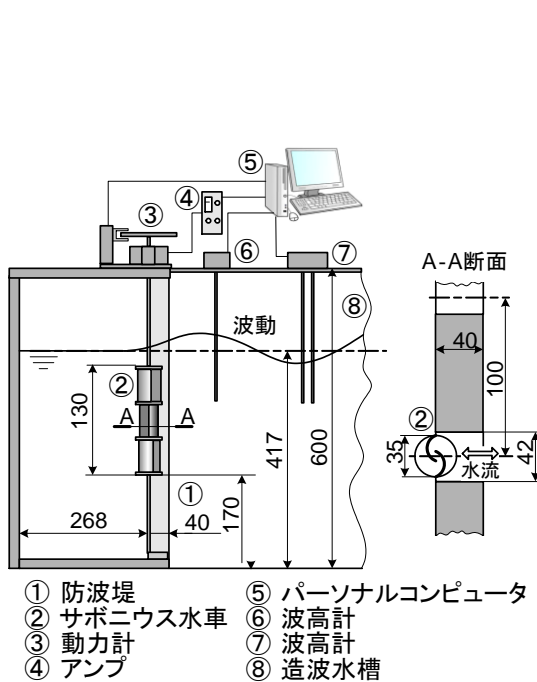


図3 サボニウス水車を用いた模型試験装置

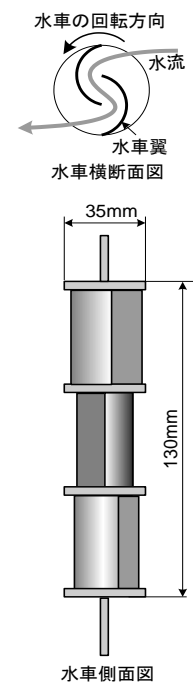


図4 サボニウス水車

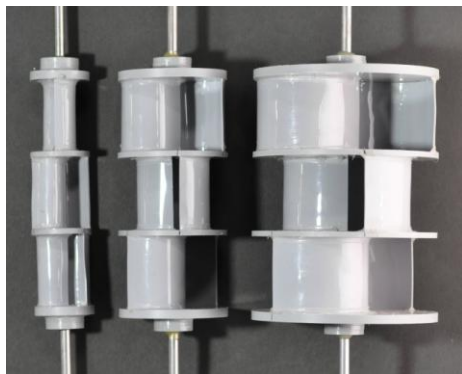


図5 模型試験のためのサボニウス水車

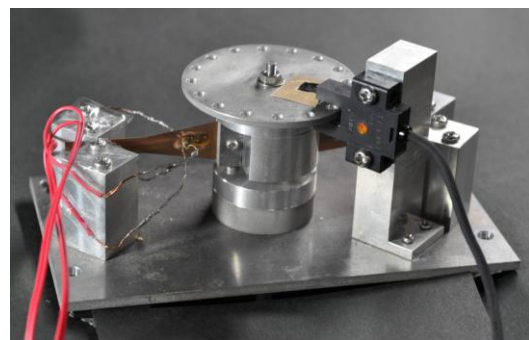


図6 動力計

たり、最大 2.6kW 程度(波高 2.3m 時)の出力が可能であることがわかりました。

スリット式防波堤を利用する発電システムの持つメリットとして、

- (a) 洋上の障害物とならない。
- (b) 構造物内部を利用するため、設置やメンテナンスが容易。
- (c) 沿岸部なので送電コストが低い。
- (d) スリットで整流されたエネルギー密度の高い流れを利用できる。

などの点が考えられます。洋上に設置するシステムでは、荒天時にも耐えうる安定性や強度を確保するために強固な構造や係留の構築・維持が必要で、施工やメンテナンスのコストが高くなりますが、本システムでは防波堤を装置の支持構造物として活用できる上、メンテナンスも容易です。また、スリットを流れる高速な流れを利用できるので、装置占有面積当たりの出力を向上させることができる利点があります。

2.3 屈曲布を用いた発電システム

サボニウス水車は安定して一定方向に回転する利点がありますが、エネルギー効率は 10% 程度に留まります。また、水中に没している軸受が腐食等により機能劣化する懸念もあります。そこで、可動部を最小限とした新たな発電システムとして、屈曲する布を用いた図 7 に示す装置を考案しました。図のように一枚の長方形布の下端が海底にワイヤで固定され、上端がワイヤを介して輪軸に繋がっています。図 7 (b)や 7 (c)のように、波力による布のたわみに応じてワイヤが引っ張られ、輪軸を左回りに回転させます。ばねや重りなどで輪軸に弱い右回りのトルクを常時加えておくと、水流の方向が変わる際にこのトルクによって軸が右回りに回転してワイヤが巻き上げられ、屈曲した布は真直な状態(図 7 (a))に復帰します。輪軸の回転から電力への変換機構として、油圧ポンプの使用などを考えることができます。水中に軸受などの可動部が無いことから、海中の腐食環境に適した方式と考えられます。図 3 と同じ 1/12 スケールの模型実験により出力試験を行った結果、実機スケールでの最大発電能力(波高 2.3m 時)として、約 20kW が得られました。

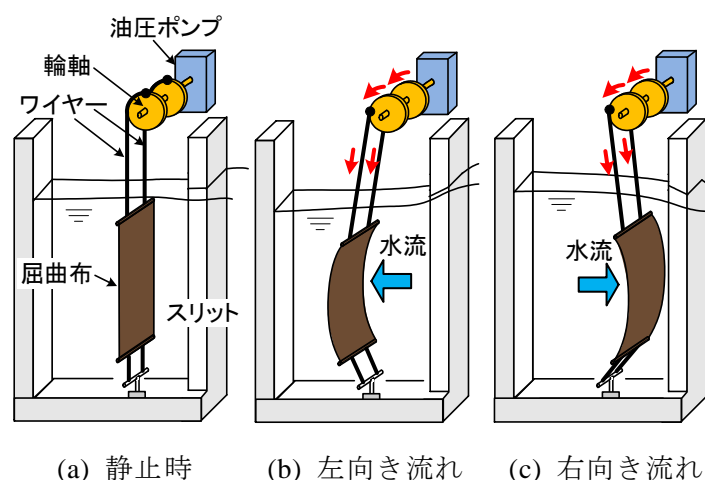


図 7 屈曲布を利用した発電機構

現在、この屈曲布式発電システムの実用化を目指して、さらに大きい 1/5 スケールでの実験の準備を進めています。研究の裏話になりますが、その準備の一端を御紹介したいと思います。まず、1/5 スケールでは水深は 1m になり、試験施設は図 8 に示す大変大きな造波水槽（幅 2.5m、深さ 1.5m、長さ 50m）となります。このような大きな造波水槽を有する大学は国内では珍しく、本学の施設の有難さを感じています。写真では分かりづらいですが、この水槽に波浪が伝播していく様子は圧巻であります。このスケールでは波の力もかなり大きくなり、遊水室の背面の壁には 500kg 程度の力が約 2.5 秒毎に前後に向きを変えて加わります。この力に耐える強度とするために、高さ 1.4m、幅 2.5m の背面の壁を厚さ 6mm の鉄板で製作し、これに補強のための鉄骨を多数溶接しました（図 9）。重量は壁だけで 450kg となりました。この壁の他、部品製作には多くの工作技術センター職員の方々のお世話になりました。現在は部品を造波水槽内で組み立てる作業を行っています。



図 8 造波水槽



図 9 1/5 スケールの試験装置の部品
(防波堤背面の壁)

2.4 他形式のシステムとの出力比較

提案している発電システムの優位性を検証するため、従来報告された他形式の発電システムとの比較を行いました。表 1 に、種々の発電方式の、サイズ、出力ならびに海面の占有面積当たりの最大出力(波高 2.3m 時)を示します。本研究以外の形式は、すべて海洋上に設置する方式です。ペラミス(Pelamis)は、大きな円筒形（直径 3m、長さ 35m）の複数のフロートをジョイントで連結し、波浪によるジョイント部の屈曲運動を油圧で動力に変換して発電するシステムです。また、フロートのピッチング運動でジャイロを回転させて発電するシステムや、波動による水流で平板を振り子運動させるシステムなどがあります。表より、本研究で提案するシステムの出力は他形式よりも小さいことがわかります。しかし、海面の占有面積当たりの出力は、提案した屈曲布形式が最大値を示しています。本形式ではスリットで加速されたエネルギー密度の高い流れを利用できること、および布に作用する波の力をワイヤの張力に効率よく変換できるためと考えられます。

表1 出力の比較（波高 2.3m時）

	ペラミス	ジャイロ型	振り子型	サボニウス型	屈曲布型
サイズ (m) L×W×H	150×3.5 ×3.5	9×15 ×3.3	7×2 ×6.5	0.42×1.7 ×1.6	0.48×1.7 ×1.6
出力 (W)	750,000	31,200	24,000	2,590	19,000
占有面積当 たりの出力 (W/m ²)	1,430	231	1,710	3,670	23,500

3. おわりに

米国企業の技術を用いて 2015 年度から伊豆沖で波力発電の実証試験を実施する計画があります。波力発電実用化に向けた試みが日本でも行われようとしていることは喜ばしいことですが、やはり漁業関係者との調整が試験に際しての大きな課題であることが報道から伺えます。また、米国の技術であることもなんとも悔しい限りです。本稿では模型を用いたシステムの基礎実験の結果について述べましたが、本研究のシステムを国内に普及させることを最終目標に、複数の民間企業ならびに地方公共団体と協力し、実海域での試験を実施するための準備も進めています。現存する防波堤内への本システムの設置に加えて、昭和の高度成長期に多く建設された古い防波堤の建て替え時に比較的容易にシステムを組み込むことなどを考えると、普及の実現性は高いのではないかと考えています。本システムが自然エネルギーによる実用的な発電方法の一つとなり得るよう、開発を進めて行きたいと思えます。