

技術開発賞受賞の紹介

波力発電ケーソン防波堤の開発

DEVELOPMENT OF A WAVE POWER EXTRACTING CAISON BREAKWATER

中田博昭*・加藤久雄**・大根田秀明***

高橋重雄****・鹿籠雅純*****

Hiroaki NAKADA, Hisao KATO, Hideaki OHNEDA,
Shigeo TAKAHASHI and Masazumi SHIKAMORI

* 正会員 工修 前運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所長
(〒951 新潟市白山浦 1-332)

** 運輸省第一港湾建設局新潟機械整備事務所長

*** 正会員 工修 前運輸省第一港湾建設局酒田港工事事務所長

**** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所水工部耐波研究室長

***** 正会員 工修 (財)沿岸開発技術研究センター第2調査研究部長

Keywords: wave power generation, caison, break water

1. はじめに

わが国に押し寄せる波エネルギーは、約3700万kWの電力に相当している。これは、わが国総発電量の約1/3にあたり、しかも、クリーンなエネルギーである。この貴重なエネルギーを、電力源として利用しようとする試みが数多く行われてきた。しかしながら、実用化されたものは、海上ブイの電源など小規模なものに限られている。水深の大きな沖合いに、強力な波圧に耐えることができ、経済的な構造物をつくるのが困難であったためである。

波力発電ケーソン防波堤は、防波堤の優れた耐波性に着目し、これらの課題の克服しようとしたものである。すなわち、ケーソン前部に空気室を設けることにより、耐波安定性の向上や、反射波の軽減等、防波堤としての機能向上を図るとともに、その空気室をエネルギー変換装置として機能させることにより、発電しようとしたものである。また、防波堤を利用することにより、発電コストの低減も可能となった。

波力発電ケーソン防波堤の研究は、1982年から、運輸省港湾技術研究所でその基礎研究が行われてきた。この結果、その機能や耐波安定性が明らかとなり、ケーソンの設計法が提案されている。一方、1985年から、沿岸開発技術研究センターでは、民間企業20社と共同して波力発電による波エネルギーの利用についての調査研究を行ってきた。

これらの成果を受け、1987年から、運輸省第一港湾建設局では、沿岸開発技術研究センターを代表とする民間企業20社と共同で、この波力発電ケーソン防波堤の現地実証実験を、山形県酒田港で行ってきた。実験の目的は防波堤の耐波設計法およびエネルギー変換装置の設計法の検証と、入射波エネルギーの特性、防波堤と変換

装置の施工法および電力の利用方法の検討とであった。

2. 開発の目標

開発に当たっての目標は以下の5点とした。

- ① 優れた耐波安定性と消波機能を持つ新しいタイプの防波堤を開発すること。
- ② 開発する防波堤の施工法を確立すること。
- ③ 変動する波に対してその変動の広い範囲で安定的で効率的な発電を可能とする発電装置を開発すること。
- ④ 波により変動する波力発電の有効な利用方法を開発すること。
- ⑤ 波力発電の経済性を確立すること。

3. 波力発電ケーソン防波堤の構造と発電の仕組み

最近、採用され始めている新形式の防波堤に上部斜面堤と言われるタイプがある。斜面部に波が作用するとき、鉛直方向にも波力が働く。上部斜面堤は、この効果を利用し、上部の斜面部に作用する波力の鉛直成分の働きにより、堤体の摩擦抵抗を増大させて、耐波安定性の向上を図っている。

波力発電ケーソン防波堤は、この上部斜面堤に空気室を設けることにより、消波機能を付加し、この空気室を水柱振動型の波エネルギー一次変換装置としたものである。

その構造は図-1のようになっている。ケーソンの前部が空気室と呼ぶ中空の箱になっていて、その前壁には、波が侵入できるように開口部が設けられている。空気室は隔壁により数室に分けられているが、隔壁上部に開けられた通気口により一体となっている。この空気室は背後の発電機やタービンが設置されている機械室へとノズルでつながっている。

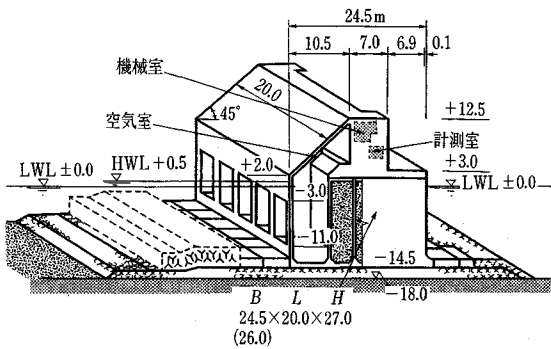


図-1 波力発電ケーソン防波堤の構造

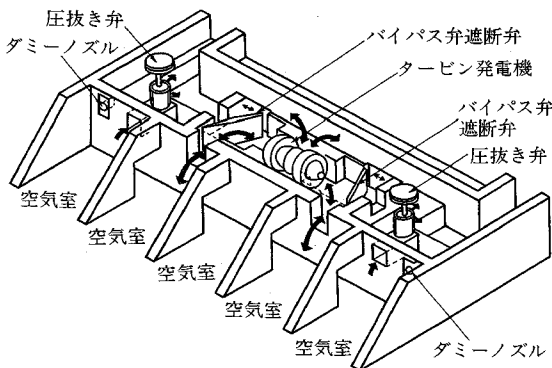


図-2 機械室と制御装置

このため、波により空気室内の水面が上下するにつれ、空気も膨張圧縮され、機械室へと通じるノズル内に往復の空気流が発生する。この空気流がタービンを、そして発電機を回し、波のエネルギーを空気エネルギーへ、さらに電気エネルギーへと変換し、波力による発電が行われる。

発電量の調整と巨大な波からケーソンや機器を守るため、図-2に示すような各種の制御装置を開発している。この装置はバイパス弁（空気流調整弁）と圧抜き弁および緊急遮断弁とからなっている。空気流調整弁はタービンへの空気量を調整する弁であり、自動操作による調整も可能である。これにより、発電量のコントロールが可能である。圧抜き弁は、空気圧が所定の圧力以上になったとき、開放して空気圧を減じるための弁である。緊急遮断弁は、タービンに異常が発生したとき等にタービンへの空気流を遮断するとともに、空気流を開放するための重力落下式の弁である。

4. 現地実証実験の概要

実験ケーソンは、酒田港第2北防波堤の一部として水深18mの地点に設置され、長さ20m、幅24.5m高さ27mである。ケーソン前部の空気室は、幅7m、長さ20mであり、隔壁により5室に分けられている。ター

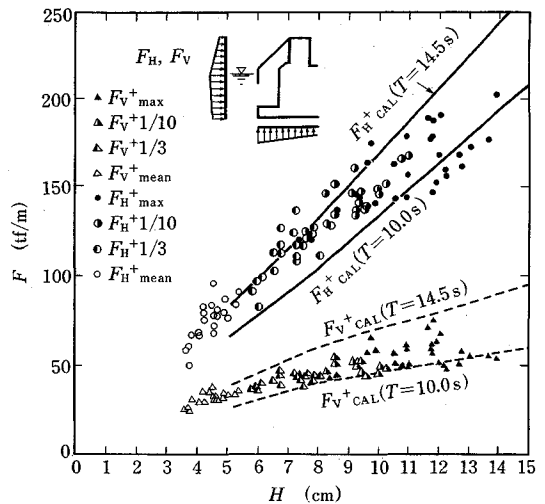


図-3 実証実験における波力の観測結果

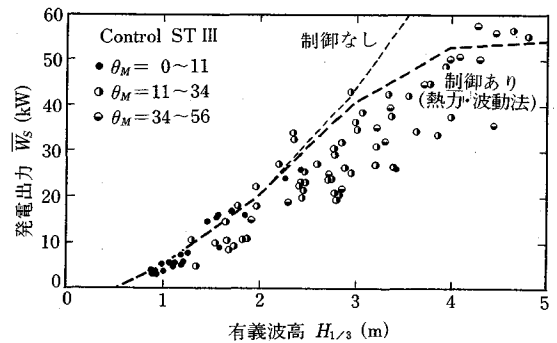


図-4 実証実験における発電出力の例

ビンは往復の空気流に対しても一方向の回転が得られるウェルズタービンを、発電機は定格60kw同期発電機を用いた。実験の制御および観測は約2km離れた陸上観測局と光電力複合海底ケーブルで結んで行った。

5. 開発の成果

(1) 防波堤としての開発成果

波力発電ケーソン防波堤では、空気室の効果により波のエネルギーも吸収され、反射率を低減することになる。波の反射率は、通常の防波堤や上部斜面堤のそれが0.8以上であるのに対し、おおむね0.4から0.6の値を示し、その消波性能は、直立消波タイプとほぼ同程度ないし、若干上回る程度であることが確認された。

また、越波あるいは伝達波についても、上部斜面堤に比べて軽減される。

波力発電ケーソンの設計法については、模型実験や理論解析に基づく設計法が提案されている。現地実証実験における、ケーソンに作用する波圧、空気室に作用する波圧、空気圧力等の測定結果から、これらの設計法の妥

当性が確認された。図-3は、横軸を波高にとって、波力の現地観測結果と設計計算値とを比較したものである。実線は、周期10秒と16.5秒における波力の設計計算値を示しているが、観測結果とほぼ一致している。

耐波安定性についても、従来の混成堤だけでなく、直立消波ケーソンや上部斜面堤に比しても、優れていることが確認された。また、実証実験の期間中、有義波高8.6mと設計波に近い波が来襲しているが、実験堤には何の異常もなかった。

(2) 発電システムとしての開発成果

発電システムの開発においては、低波高から高波高の幅広い範囲の波に対し、安全で効率的な発電を可能とすることが課題である。実証試験システムでは、空気流調整弁、圧抜き弁および緊急遮断弁等からなる制御システムの採用で、有義波高0.7mから5mまでの発電が可能であった。

波力発電のケーソンによるエネルギーの変換は、波動熱力法とよぶ理論による設計法が、模型実験や理論解析に基づいて提案されている。この設計法により、波の条件や水深および潮位差などに応じて、最適な空気室や発電機などの諸元の決定が可能である。実証実験によって、これらの発電システムの設計法の妥当性も確認された。図-4は、横軸の有義波高をとって、発電出力の測定例を示している。酒田港の装置では、発電機が小さいため有義波高3mから制御装置が働き、波高の増大とともに60kWの上限出力に近づいている。

(3) 電力利用技術に関する開発成果

波エネルギーによる電力の利用については、常に、その変動性が問題となる。一般的には、大容量電力貯蔵装置や水素ガス等他のエネルギーへの変換等により電力を平滑化してからの利用、あるいは離島等におけるサブ電源としての利用が有効である。

一方、変動性を問題としない利用法も考えられる。発電量の多い冬季に必要な道路融雪装置の熱源、侵食の激しい高波浪時に必要な海岸侵食対策としてのサブサンドフィルター工法（海浜の地下水位を上げて、砂の移動を防ぎ侵食を防止する工法）の揚水ポンプの電力、海水交換による港湾内の水質浄化用ポンプの電力等への利用等である。実証実験では、道路融雪装置、サブサンドフィルター工法を想定した海浜地下水の揚水装置への電力供給を行ったが、いずれも予想どおりの成果が発揮さ

れ、このような利用法の有効性が確認された。

(4) その他の開発成果

波力発電ケーソンは、ケーソン前部に空気室を有し、堤体上部には、発電装置などが設置される機械室がある新しい構造のケーソンである。このため、施工にあたっては、種々の技術的な検討を行った。実証実験を通じ、その施工法を確立することができた。

波力発電ケーソンと発電システムの設計法が明らかになったことにより、与えられた条件下での波力発電の経済性評価が可能となった。試算によれば、発電コストは酒田港で20~30円/kWh、太平洋側では13~20円/kWhとなった。この値は商用電力と同程度ないし若干上回る程度であり、実用化の目処がたったものと考えている。

6. おわりに

波力エネルギーはクリーンエネルギーであり、地球規模での環境問題の高まりの中で、その重要性は、今後、ますます高まるものと考えられる。量的にも膨大であり、資源の乏しいわが国にとっては、特に、貴重な資源である。

このような波力エネルギーの利用について、波力発電ケーソン防波堤の開発により、外洋の強大な波力に耐え、その強大なエネルギーの電力としての安定的かつ効率的な利用を可能とし、その実用化の目処をたてることが出来たものと考えている。

波力発電ケーソンの開発にあたっては、合田良実横浜国大教授を委員長とする委員会の指導を受けた。また、非常に多数の方々からご支援ご協力を頂いた。ここに、関係の方々へ深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 合田良実ほか：酒田港における防波堤利用の波力発電現地実証試験，第3回波浪エネルギーシンポジウム，1991. 1.
- 2) 合田良実ほか：波力発電ケーソン防波堤の実証試験，海洋開発論文集，1991. 6.
- 3) 中田博昭ほか：波力発電ケーソン防波堤の耐波安定性に関する現地実証試験結果，海岸工学講演会論文集，1991. 11.
- 4) 中田博昭ほか：酒田港波力発電防波堤現地実証実験における波浪と波パワーの観測，海岸工学講演会論文集，1991. 11.

(1992. 7. 15 受付)