

論文の内容の要旨

論文題目 「越波式波力発電装置開発に向けた波の打上げ高と越波量に関する基礎的研究」

学位申請者 居波 智也

キーワード：越波式波力発電 波の打上げ高 越波量 波パワー Iribarren 数

地球温暖化は世界各地で問題視され、このまま化石燃料依存のシステムを継続し温暖化が進むと、種の絶滅、食糧問題、水問題、海面上昇など様々な問題が起こると発表されている状況において、化石燃料に依存しないシステムとして、太陽光、風力、バイオマス、地熱等のエネルギーが注目視されている。著者は、海洋エネルギーを電気に変換させる方式を検討しており、その中でも越波式波力発電装置の研究開発を進めている。越波式波力発電装置は襲来する波のエネルギーを電気に変換する装置で、変換効率を高くするためには波の打上げ高と越波量を正確に把握する必要があるため、本論文は傾斜板を遡上する波の打上げ高と打ち上げられた単位幅当たりの越波量 $q(\text{m}^3/\text{s}/\text{m})$ について、単位幅当たりの波エネルギーである波パワー (kW/m) を使った新たな理論を提案することを目的とした。

波の打上げ高特性では、東海大学海洋学部臨海実験場にある風洞水槽を使用し、越波式波力発電装置の前面に設置する傾斜板を模擬した板の角度を $10^\circ\sim 30^\circ$ に変化させ、波浪条件として規則波と不規則波を設定し打上げ高を計測した。

規則波において、傾斜板角度と波形勾配でまとめた結果、 $H/L=0.019$ は、既存の理論とよく合っている。 $H/L=0.032$ は、実験値や実験値を基に既存の理論を考慮した結果は既存の理論とよく合っているが、(S)surging waves 領域と(B)breaking waves 領域による差異が確認された。 $H/L=0.051$ の結果は、すべてのデータの傾向が完全に一致している。打上げ高と Iribarren 数でまとめた結果、領域に関わらず Iribarren 数が増加すると打上げ高は減少した。また、傾斜板角度 $\theta=20^\circ$ を超えると打上げ高が低くなることが示唆された。波パワーと打上げ高の関係は比例関係となり、breaking waves 領域では 15° の場合に打上げ高が最も高くなる。なお、 20° は breaking waves 領域と surging waves 領域に関わらず波は打上げられる。

不規則波の場合、Iribarren 数と相対打上げ高の関係をまとめた既往の研究と比較すると、波の相対打上げ高は Iribarren 数だけでなく傾斜板角度によって傾向が異なり、傾斜板角度 20° までは増加し、その後減少する傾向となった。breaking waves と surging waves の区分も傾斜板角度で異なった。波高と波形勾配が増加するにしたがって、沖で砕波することになり、傾斜板角度の位置における波の現象のみで打上げ高を評価することは限界がある。また、打上げ高と Iribarren 数の関係は、規則波と同様に Iribarren 数が増加すると打上げ高は減少した。 20° の場合が最も安定して打上げ高が高い条件であることを確認した。なお、打上げ高と波パワーの関係は比例関係であり、傾斜板角度との関係では角度が 20° までは打上げ高も増加するが、それよりも大きな角度となると反射率が大きくなり、打上げ高は減少する結果となった。この結果から、越波式波力発電装置に採用すべき傾斜板角度は 20° と決定した。以上より、波パワーを用いて波の打上げ高さを想定する手法の有効性が確認できた。

次に、本研究における越波式波力発電装置は、襲来した波を傾斜板によって遡上させ位置エネルギーを持たせ、越波した水を水槽外へ排水する際にタービンを回転させ発電を行っていることから越波量が重要な要素となる。傾斜板の長さで越波量は変化するかを確認し、その後、正確に計量するために単水槽を使い越波量を特定した。さらに、潮位変動や波浪条件を鑑み、各段の水槽に越波する越波量を特定する実験を行い、越波量と波パワーの関係式を示した。

越波揚程 (R) が低く、波高が高いほど越波量は増加する傾向が確認され、傾斜板長 1.50m 以上あれば効率良く越波量が得られる。周期が短く波形勾配が大きくなるにしたがい越波量は減少する。

単水槽を使った実験では、波高 $H_{1/3}$ (cm) と越波量 q ($m^3/s/m$) の関係は、波浪条件に関わらず波高を高くすると越波量が増えた。また、越波揚程が高くなるにしたがって越波量は減少するため、 $R=15cm$ よりも $R=8cm$ が適当である。

波形勾配と越波量の関係は、波形勾配が同じであっても波高に差があり、越波量に差が出る結果が示唆されたため、波形勾配だけで越波量を算定するには限界がある。

従来の研究において、越波量は波形勾配や相対護岸天端高の関係とみなし算出していた。本研究において、単位幅当たりの越波量を q ($m^3/s/m$)、入射する波パワーを E (kW/m) とすると $q=\alpha E$ の関係となることを明らかにした。実験より、越波式波力発電装置を設計するうえで必要な係数 α は、御前崎周辺の波浪条件では $R=0.8m$ から $2.0m$ の範囲でそれぞれ $\alpha=0.02312$ から 0.00840 、我が国沿岸を想定した波浪条件では $R=0.8m$ 、 $1.5m$ の場合それぞれ $\alpha=0.02265$ 、 0.00957 となった。この結果から、越波揚程が高くなるにしたがって係数 α は小さくなる。よって、本研究より、各越波揚程に対する越波量を波パワーの関係式から算定することができ、様々な波浪条件と越波揚程における越波式波力発電装置を設計することが可能となった。

多段水槽を使った越波量特性は、単水槽を使った越波量特性の結果と同様な結果が得られた。斜面板角度の変動による越波量の変化を調査した結果、他の実験と同様に $R=8cm$ および $R=15cm$ の各槽における斜面板角度ごとの波パワーと越波量の関係は、どの水槽においても $R=15cm$ より $R=8cm$ の方が越波量は多く、斜面板角度ごと、越波揚程ごとの全越波量と波パワーの関係は $q=\alpha E$ となった。多段水槽を使った越波量特性によって得られた全越波量から確定した越波揚程ごとの係数 α は、単水槽を使った越波量特性における係数 α と同様の値となったことから、波パワーを用いた手法の正確性と有効性が認められたといえる。

以上、本研究では、越波式波力発電装置の開発に非常に重要な要素である波の打上げ高と越波量の算定に、これまでなかった波パワーを基に算定するという極めて有効な手法を明らかにした。その結果、襲来する波から得られる越波量が波パワーで容易に算定でき、越波式波力発電装置の設計やシミュレーションへ適応することが考えられ、越波式波力発電装置開発の扉が開くことができた。