博士（工学）　谷　野　賢　二

学位論文題名

振り子式波浪エネルギー変換装置の設計法に関する問題

学位論文内容の要旨

本論文は，海の波が持つエネルギーを機械力や電力に変換し，日常生活や産業のためのエネルギーとして利用する方策の１つとして，防波堤に併設する振り子式波エネルギー吸収（変換）装置について，波エネルギー吸収装置としての設計法および防波堤としての設計法を確立することを目的として，理論および実験により検討した結果をまとめたものである。

振り子式波エネルギー変換装置とは，沖に向けて開口した水室を持つケーソンの開口部に，上端にヒンジを持つ平板（振子板）が取り付けてある構造のシステムをいう。波によって動揺した振り子の運動は，油圧システムを介して，他のエネルギーに変換される。エネルギー変換は２次変換に好都合な油圧システムを介して行われるので，エネルギー損失が全体として少なく高効率が得られる。システムの油圧機器は種類の豊富な市販の汎用品を使用できるので，信頼性も高く，設計にあたっては機器選定の自由度を大きくとることができる。振子板の回転軸を水底ではなく空中におくことによって，運転と維持管理上の便宜を図っている。これは運動物体による波エネルギー変換方式の中でも極めて単純な構造であり，それだけ耐久性の確保やメンテナンスが容易となる。振り子式は振動水柱型と並んで，実用化に最も近い位置にいるといえる。

振り子式波エネルギー利用システムを設計するためには，エネルギー変換効率等の基本特性を明らかにし，かつ，それを利用して実際の不規則な海でシステムがどれだけのエネルギーを吸収することが出来るのかを適切に推定することができなければならない。特に，試設計段階において効率よく最適な性状を決定するためには数値シミュレーションによる検討が不可欠である。また，波エネルギーは潮位差エネルギーと並んで海洋エネルギーの中で最も利用の可能性の高いエネルギーとして期待されているが，エネルギー密度は薄く，しかも変動性が大きいという欠点がある。この欠点は，とりもなおさず吸収装置の機械部の容量（定格）や強度の設定を難しくしている。通常，機械はその定格付近で運転されることが望ましく，過大な設計は不経済であるばかりでなく，機械の性能も十分生かすことができない。したがって，異常波浪時に於ける過大な入力への対策を，機械の容量や強度を大きくするのではなく，機械以外の方法によって解決する方

法を確立する必要がある。そこで，以下の項目を主要目標として研究を進めた。

①振り子式のエネルギー吸収性能を明らかにすること。②振り子ケーソンの耐波安定性を明らかにすること。③過剰入力対策を確立すること。④不規則波中でシステムによって吸収されるパワーの推定法を確立すること。⑤現地試験によりシステムの性能を検証すること。このデータを用いて数値シミュレーション手法の適用性を検証すること。

これら，振り子式波エネルギー変換装置を設計する上で必要な検討事項について，本論文は5章からなる構成によって論述を進めている。

第1章は本論文の序論であり，研究の背景と目的を述べるとともに，波エネルギー変換装置の種類と特徴を概説している。

第2章では，振り子式波エネルギー吸収装置の性能について，3次元波浪場に対する数値解析手法を述べる。つづいて，本手法による解析例を提出する。従来，2次元問題（波が装置に直角に入射する場合）に限られていた振り子式の波エネルギー変換に関する理論解析を，斜め入射波が作用する場合や振り子幅などの影響を考慮することのできる3次元理論解析に拡張した。本手法を用い，振り子ケーソンを海上に孤立して配置する場合と防波堤の一部として組み込んで配置する場合の波エネルギー吸収性能を調べ，平面的な配置の効果を考察した。

第3章では，エネルギー変換性能について模型実験により検討した結果を述べる。さらに，実用的なシステムの設計に際して考慮しなければならない装置の耐波性及び安定に関する水理実験について述べる。実験は次の4つについて行われた。第1に，振り子式の基本的なエネルギー吸収特性を調べた。その結果，本システムが理論どうり極めて高効率であることが明らかになった。第2にシステムに作用する波力について調べた。それによれば，滑動に対するケーソンの安定性は負荷時，振り子固定時，無負荷時の順に悪くなり，無負荷時には沖向きにケーソンが滑動する危険があることが知れた。第3に，荒天時対策として，装置の前面にカーテンウォール式の防護壁を設置する方法について提案した。本方策は堤体設置地点の波浪条件から推定される入射波パワーの過剰分を機械的な制御によらず防波堤の構造によって制御できるのが利点であり，耐久性や安定性の面から有効な方法であると考えられる。設計パワー以上をピークカットするためのカーテンウォール形状とそのときの変換効率の低減する割合などを適切に見積もることができることを示した。第4に，振り子ケーソン前面に生じる重複波動による海底洗掘状況を調べた。それによると，振り子ケーソンから沖側に現れる最も遠い最初の洗掘位置はL／4と考えてよい。したがって，ケーソンの安定にとって重要な捨石基礎の法先洗掘の対策は混成堤の場合と同じでよいことがわかった。

第4章では，不規則入力に対する振り子システムの応答についての定式化を行い，不規則波に対する吸収パワーの推定法を示した。次に，室蘭港外防波堤沖側に設置されたテストプラントを使い現地試験を実施した。このデータを用いて数値シミュレーション手法の適用性を検討した。その結果，単純化された理論モデルでも実際の現象をよく表現できること，装置の共振周波数付近では振り子の反射率の影響を無視できないことなどが分かった。

第5章は本研究の主要成果をまとめるとともに，今後に残された課題等を記して結論とする。

以上の結果，振り子式波エネルギー吸収装置の1次変換部（波のエネルギーを最初に他の力学的エネルギーに変換する部分）の設計に重要な知見が得られた。

学位論文審査の要旨

主　査　　教　授　　佐　伯　　浩

副　査　　教　授　　板　倉　忠　興

副　査　　教　授　　藤　田　睦　博

本論文は，海の波が持つエネルギーを機械力や電力に変換し，日常生活や産業のためのエネルギーとして利用する方策の1つとして，防波堤に併設する振り子式波エネルギー吸収（変換）装置について，波エネルギー吸収装置としての設計法および防波堤としての設計法を確立することを目的として，理論および実験により検討した結果をまとめたものである。

振り子式波エネルギー変換装置とは，沖に向けて開口した水室を持つケーソンの開口部に，上端にヒンジを持つ平板（振子板）が取り付けてある構造のシステムをいう。波によって動揺した振り子の運動は，油圧システムを介して，他のエネルギーに変換される。エネルギー変換は2次変換に好都合な油圧システムを介して行われるので，エネルギー損失が全体として少なく高効率が得られる。この振り子式は振動水柱型と並んで，実用化に最も近い位置にいるといえる。

振り子式波エネルギー利用システムを設計するためには，エネルギー変換効率等の基本特性を明らかにし，かつ，それを利用して実際の不規則な海でシステムがどれだけのエネルギーを吸収することが出来るのかを適切に推定することができなければならない。また，異常波浪時に於ける過大な入力への対策を，機械以外の方法によって決定する方法も確立する必要がある。そこで，以下の項目を主要目標として論文をまとめている。①振り子式のエネルギー吸収性能を明らかに

すること。②振り子ケーソンの耐波安定性を明らかにすること。③過剰入力対策を確立すること。④不規則波中でシステムによって吸収されるパワーの推定法を確立すること。⑤現地試験によりシステムの性能を検証することと，そのデータを用いて数値シミュレーション手法の適用性を検証すること。

本論文は5章からなる構成によって論述を進めている。

第1章は本論文の序論であり，研究の背景と目的を述べるとともに，波エネルギー変換装置の種類と特徴を概説している。

第2章では，振り子式波エネルギー吸収装置の性能について，3次元波浪場に対する数値解析手法を述べ，つづいて，本手法による解析例を提出している。従来，2次元問題（波が装置に直角に入射する場合）に限られていた振り子式の波エネルギー変換に関する理論解析を，斜め入射波が作用する場合や振り子幅などの影響を考慮することのできる3次元理論解析に拡張した。本手法を用い，振り子ケーソンの平面的な配置の効果を明らかにした。

第3章では，エネルギー変換性能について模型実験により検討した結果を述べ，さらに，実用的なシステムの設計に際して考慮しなければならない装置の耐波性及び安定性に関する水理実験結果について述べている。実験は次の4つについて行われた。第1に，振り子式の基本的なエネルギー吸収特性を調べ，本システムが理論どうり極めて高効率であることを明らかにしている。第2にシステムに作用する波力について実験的に調べているが，滑動に対するケーソンの安定性は負荷時，振り子固定時，無負荷時の順に悪くなり，無負荷時には沖向きにケーソンが滑動する危険があることを明らかにした。第3に，荒天時対策として，装置前面にカーテンウォール式の防護壁を設置する方法を提案し，本方策が，耐久性や安全性の面から有効な方法であることを確認した。また，設計パワー以上をピークカットするためのカーテンウォールの形状とそのときの変換効率の低減する割合などを適切に見積ることができることを示した。第4に，振り子ケーソン前面に生じる重複波動による海底洗掘状況を調べた。それによると，振り子ケーソンから沖側に現れる最も遠い最初の洗掘位置は波長の1／4の地点であることを示した。したがって，ケーソンの安定に重要な捨石基礎の法先洗堀の対策は混成堤の場合と同じでよいことを明らかにした。

第4章では，不規則波入力に対する振り子システムの応答についての定式化を行い，不規則波に対する吸収パワーの推定法を示した。次に，室蘭港外防波堤沖側に設置されたテストプラントを使い現地試験を実施した。このデータを用いて数値シミュレーション手法の適用性を検討した。その結果，単純化された理論モデルでも実際の現象をよく表現できること，装置の共振周波数付

近では振り子の反射率の影響を無視できないことなどを明らかにした。

5章は本研究の主要な成果をまとめるとともに，今後に残された課題等を記して結論としている。

これを要するに，本論文は振り子式波浪エネルギー変換装置と，それを組み込んだケーソン防波堤の設計法について多くの知見を与え，また新たな提案をしており海洋工学及び港湾工学に寄与するところ大である。よって，著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。