

氏 名	リ 李 カ 華 グン 軍
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3567 号
学位授与の日付	平 成 13 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	FEASIBILITY AND EFFECTIVENESS OF THE VIBRATION CONTROL SYSTEMS FOR OFFSHORE PLATFORMS (沖合いプラットフォームの振動制御システムの実用性と有効性に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 高 山 知 司 教 授 渡 邊 英 一 教 授 酒 井 哲 郎

論 文 内 容 の 要 旨

石油掘削に用いられるジャケット式プラットフォームの破壊機構としては、設計外力を越えるような巨大な波浪荷重による耐力破壊と比較的小さな波浪外力であっても構造物が共振することによって起こる疲労破壊とがある。前者の耐力破壊は、設計条件を超えるような暴風時において構造物が大きく振動して、耐力を越える応力が発生して破壊されるモードである。後者の疲労破壊は、海の波が不規則な波浪であるために、構造物の固有周期と一致するような成分波が存在し、それによって誘発された共振で大きなストレスが長期間に渡って頻度高く発生することによって起きる破壊モードである。本論文は、上記のような破壊を防ぐために、石油掘削用プラットフォームを対象にして、波浪による強制運動を制御するシステムとして TMD (Tuned Mass Damper) 法と TLD (Tuned Liquid Damper) 法、AMD (Active Mass Damper) 法を取り上げ、それぞれについて実際の適用性と有効性について理論と実験で検討したものをとりまとめたものであって、6 章から成り立っている。

1 章は序論であり、近年においては、異常な外力に対して強力な部材力で抵抗するのではなく、異常な変形が生じないように振動を制御する方法が採用されるようになってきたことを明らかにしている。そして、構造物の振動制御システムを受動的と能動的制御に分類するとともに、波浪による強制振動を制御することによって構造物の破壊が軽減できることを示している。長期間にわたる振動外力によって生じる疲労破壊については振動制御が、特に、疲労寿命を延ばすのに有効であることを示している。

2 章では、波浪外力に対するジャケット式プラットフォームの運動方程式を求め、それを有限要素法で解析して、実際のプラットフォームの振動モードを計算して、その特注を明らかにしている。ジャケット式プラットフォームのパイルに作用する波浪外力は一般に非線形なモリソン式で表されるが、計算ではこの式を等価仕事の原理によって擬似線形化して用いている。

3 章では、構造物の振動変位の分散を最小にする条件の下に、受動的制御法の一つである TMD 法の最適設計を行い、必要なばね定数と減衰係数を設定する手法を提案している。TMD 法による振動制御では、構造物の基本振動モード付近における狭い周波数範囲において振動振幅を減衰させる効果を有しているだけであるが、最適設計した TMD を用いることによって振動変位の分散が17%程度低減することを示している。

4 章では、受動的制御法の一つである液体ダンパーを用いた TLD 法に関して液面振動理論と模型実験によってその効果を調べている。実験では、ジャケット式プラットフォームを単純化した模型を二次元水路内に設置して、周波数の異なる規則波を作用させて、模型の振動振幅の変動を測定している。実験では、TLD として矩形状の液体ダンパーを用い、模型上に TLD を設置した場合としない場合について比較している。液体ダンパー内の液面振動を考慮した運動方程式を解くことによって模型構造物の振動変位を求めている。このようにして求めた計算値と実験値はよく一致し、理論的な取り扱いが可能であることを示している。また、計算結果と実験結果から TLD 法を用いると、共振周期だけではなく、全体として振動を抑える働きがあり、有効な制御法であることを明らかにしている。

5章では、TMD法に強制的な運動を加えて振動を制御するAMD法について検討している。強制振動制御としてはH2制御アルゴリズムを用いて制御する方法を提案している。H2制御における最適設計は、マスダンパーの制御力と構造物振動振幅の分散を全周波数帯で最小にするという条件で設定している。その結果、最適な制御力を加えることによって、広い範囲の周波数帯で構造物の振動変位を減衰させることができるが、波浪のように比較的小さな周波数では大きな制御力が必要になる。そのため、受動的制御法との組み合わせることによって制御力を低減させ、制御にかかる費用を軽減する方法を検討することが必要であるとしている。

6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。そして、海洋構造物の振動制御はまだ始まったばかりの段階であり、最終的な制御法の開発を目指して研究を行うことの必要性を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、石油掘削用のジャケット式プラットフォームを対象にして、波浪による強制運動を制御するシステムとしてTMD (Tuned Mass Damper) 法とTLD (Tuned Liquid Damper) 法、AMD (Active Mass Damper) 法を取り上げ、それぞれについて実際への適用性と有効性について理論と実験で研究してきた成果をとりまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. マスダンパーを用いたTMD法による制御システムの最適設計では、構造物の振動変位分散を最小にする条件で質量とばね定数等のTMDのパラメータを設定している。数値計算によってTMD法における最適値のパラメータはプラットフォームの固有振動モードと波浪の周波数特性で決まることが確認できた。TMD法では基本振動モード付近の狭い周波数帯内の振動を低減させるだけであるが、長期間の振動による疲労破壊の軽減に対しては十分な効果があることが数値計算結果から明らかになった。
2. 液体ダンパーを用いたTLD法については、二次元水路においてプラットフォームの水利模型実験を行うとともに、理論的な検討によって振動軽減特性を調べた。TLDの設計パラメータとしては、TLDの形状と大きさ、水深であり、これらのパラメータの最適値には入射波の特性および構造物とTLDの特性値の比が関係していることがわかった。実験の結果はプラットフォームの基本周波数の半分に近い周波数の波が入射するときに大きな振動減衰が生じるけれども、他の周波数に対しても振動減衰効果があることがわかった。模型実験結果をシミュレーション法によって再現することを試みた結果、シミュレーション結果は実験値とよく一致し、シミュレーション法によってプラットフォームの振動が解析できることが明らかになった。
3. 前述のTMD法とTLD法は受動的制御であるが、H2アルゴリズムに基づくAMD法は外部から制御力を加えて振動を強制的に軽減しようとする能動的制御である。TMD法では構造物の固有振動モード付近でしか振動振幅が減少させることができなかったが、AMD法では適切な制御力を加えることによって広い範囲の周波数領域で構造物の振動振幅を低減させることができることがわかった。しかしながら、構造物の基本振動モード周波数より小さい、波浪スペクトルのピーク周波数に対応する振動制御には大きな制御力が必要であることがわかった。

以上要するに本論文は、ジャケット式プラットフォームを対象にして、波浪による強制振動を制御するシステムについて理論と実験によって検討し、その実用性と有効性を明らかにしており、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年1月19日、論文内容とそれに関連した事項について諮問を行った結果、合格と認めた。