

Title	Coupled Nonlinear Response of FOWT System Consisting of Main Floater, Mooring Buoy and Tether
Author(s)	馬, 冲
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/53995
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

Abstract of Thesis

Name (MA, CHONG (馬 冲))

Title

Coupled Nonlinear Response of FOWT System Consisting of Main Floater, Mooring Buoy and Tether
(浮体、ブイおよび係留索からなる洋上風力発電の連成非線形応答に関する研究)

Abstract of Thesis

In this study, an experimental and numerical research on the wave-induced response of coupled system consisting of the main floater, buoy and tether is addressed. This type of system is frequently found in various applications such as floating offshore wind turbine (FOWT) system, single-point-moored (SPM) system, etc. A new concept of FOWT (OU-Design) which consists of semi-submersible type platform and SPM system proposed in the study is one of such systems. It is necessary to develop a numerical tool with good availability to predict the behavior of the various types of FOWT in which a coupled nonlinear response between the main floater and mooring system can be relevant. The structural flexibility should also be taken into account as most structural components of FOWT are slender.

A nonlinear time-domain code, named as DYNABEAM, is proposed to capture the strongly coupled behavior among the main floater, mooring buoy and tether. For the mooring part, a formulation based on nonlinear beam element is adopted while the main floater part is modeled as an elastic framed structure. The hydrodynamic evaluation for the main floater is made by using linear potential theory. The drag force term and the 2nd order incident wave potential are considered separately and added to the hydrodynamic model. For mooring tether, the Morison's formula is utilized. Strongly coupling methodology is applied to investigate the interaction behavior between the floater and mooring system.

The simulation method is validated against a series of the scaled model tests. A good correlation is obtained in terms of floater 6DOFs of motion, structural load and mooring tension. It is found out that the natural frequency can be shifted due to the coupling effect. Then, the behavior of the system cannot be predicted correctly by an uncoupled analysis. A coupled approach is necessary, instead.

The strongly coupling model is further utilized to analyze the Mathieu instability problem for the tethered-buoy system when the severe sub-harmonic motion occurs. Unlike the usual pitch-heave coupling problem, it turned out that the coupling between the varying tether tension and floater motion mainly dominates the Mathieu instability problem. A theoretical analysis method is developed to predict the natural frequency, and hydrostatic-hydrodynamic stability of the tethered-buoy system. The simulation model is established to reproduce the sub-harmonic behavior observed in the model test.

Nonlinear structural response becomes more significant when the system is exposed to nonlinear hydrodynamic forces. In the last part of the thesis, the discussion is further extended to a coupled nonlinear behavior in harsher environment. A time-domain simulation tool is developed to account for the fully nonlinear hydrodynamic field by introducing the smoothed particle hydrodynamics (SPH) theory. A series of regular wave tests for tethered-buoy system are simulated based on the SPH-DYNABEAM model and the results are compared with the potential theory based model in terms of 6DOFs buoy motion and tether tension. Ringing-like response of the tether after green-water and slamming is observed in extreme wave. This could be one of potential advantages of SPH model since the potential theory based model cannot explain the nonlinear hydrodynamics in such severe waves.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (MA, CHONG (馬 冲))			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	准教授	飯 島 一博
	副 査	教 授	藤久保 昌彦
	副 査	教 授	柏 木 正

論文審査の結果の要旨

本研究は、浮体、ブイおよび係留索からなる新形式の洋上風力発電システムを提案し、その波浪中の運動応答ならびに構造応答について、縮尺模型実験と数値シミュレーションにより研究したものである。浮体システムの設計では浮体と係留を分離して設計することが多いが、このような複合浮体システムでは浮体と係留間の連成挙動が生じ、海象条件によっては応答の非線形性が顕著になる。また、部材寸法が相対的に細長であるため流体力弾性効果も顕著となり、これらの連成非線形挙動を考慮できる数値シミュレーションツールの開発が必要となる。

第1章では、本研究の背景を述べ、目的と構成を説明している。

第2章では、浮体、ブイおよび係留索からなる新形式の浮体式洋上風力発電システムを提案している。

第3章では、浮体、ブイおよび係留索の間の連成非線形挙動を解析するために DYNABEAM と称する数値シミュレーションツールの開発を行っている。係留索は、幾何学的非線形性を考慮した梁要素による有限要素法に基づく定式化を行い、浮体は線形弾性の立体骨組構造として定式化を行っている。係留索に作用する荷重についてはモリソン式を用いている。浮体に作用する流体荷重評価には線形ポテンシャル理論を用い、モリソン式中の抗力項と二次の入射波ポテンシャルによる非線形荷重を加算している。基礎的な解析事例を基に、システムの剛性が大きく異なる係留索モデルと浮体モデル間の連成挙動の解析では、いわゆる弱連成ではなく強連成手法を用いる必要があることを示している。

第4章および第5章では、DYNABEAM を既存形式および新形式の縮尺浮体模型にそれぞれ適用し、実験結果との比較により適用性を検証している。実験の対象は、既存の緊張係留型とスパー型、ならびに新形式のセミサブ型の三種類の浮体式洋上風力発電システムを含む。いずれの対象に対しても実験と数値シミュレーションの良い相関を確認し、特に新形式のセミサブ型浮体においては、浮体の剛体運動、部材力ならびに係留索の張力変動について検討を行い、良好な比較結果を得ている。DYNABEAM が汎用的なシミュレーションツールとして開発されていることが示されている。

第6章では、緊張係留されたブイの分数調和振動問題を一種のマッシュー型の不安定問題として解明している。この現象は緊張係留されたブイの実験で観察されたものであり、入射波の周期の倍数成分がシステムの固有周期と一致する場合に振動が励起される現象である。DYNABEAM を用いて分数調和振動の発生要因の分析を行い、今回観察された緊張係留されたブイの分数調和振動問題では、係留索中の張力変動と浮体運動の連成効果が支配的であり、浮体運動に見られる分数調和振動に関して従来報告されてきた発生メカニズムとは異なることを明らかにしている。

第7章では、緊張係留されたブイが一層厳しい環境条件に設置された場合の連成非線形挙動について検討を行っている。そのために、メッシュフリー法に分類される粒子法のひとつである Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法を用いて強非線形流体挙動を評価し、DYNABEAM に実装している。このシミュレーションにより、流体の強非線形挙動から生じた衝撃的荷重がブイに作用した後に、過渡的な弾性振動が生じる、いわゆるリングング現象を再現している。

第8章では、本論文で得られた研究結果を総括するとともに、今後の課題を示している。

以上のように、本論文は浮体式洋上風力発電システムの波浪中の連成非線形挙動を明らかにしたものである。これらの成果は、浮体式洋上風力発電システムの開発ならびにその設計技術の向上に資するものである。

よって本論文を博士論文として価値あるものと認める。