OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	A Study on Efficient Fatigue Damage Assessment of Floating Foundation for Offshore Wind Turbine based on Spectral Approach
Author(s)	Adilah, Ahmad
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/85402
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name (ADILAH AHMAD)	
Title	A Study on Efficient Fatigue Damage Assessment of Floating Foundation for Offshore Wind Turbine based on Spectral Approach (スペクトル法に基づく洋上風車のための浮体支持基盤の効率的な疲労被害度評価に関する研究)

Abstract of Thesis

This study addresses an efficient and effective fatigue damage assessment in a floating foundation of offshore wind. The structure of Floating Offshore Wind Turbine (FOWT) experiences coupled and cyclic wind and wave loads during its lifetime. Then, the fatigue damage that may lead to a catastrophic failure, is accumulated. Therefore, it becomes essential to design the foundation of FOWT by considering the fatigue strength. It is, however, time consuming because the direct nonlinear simulations and direct fatigue damage evaluation using rain flow counting are necessary. This study aims at developing a model to evaluate the spectral moments of stress by considering the coupling effect and combining a spectral approach for the fatigue damage with the developed coupling effect model. Chapter 1 discusses the background and research objectives of this study.

In Chapter 2, the theoretical background of an in-house numerical tool for calculating the response of FOWT is introduced. The numerical tool is capable of analyzing the fully coupled response of the turbines, floating structure, and mooring. The hydrodynamic force acting on the floating body is evaluated by using Morison's formula while the aerodynamic force acting on the rotor is evaluated by Blade Element Momentum (BEM) theory. The structural deformation and motion are simultaneously solved in time domain. A tank test using a scaled model is conducted and the simulation is validated against the test results.

In Chapter 3, a mechanical model to predict the spectral moments of stress under combined loads taking account of the nonlinear coupling effect is developed. By adopting the mechanical model, the spectral moments of stress under combined loads can be evaluated accurately and effectively by simulating wind-only, wave-only, and several combined load cases. For comparison, a series of scaled model tests is conducted, and the coupling effect is observed by investigating the difference in response depending on the presence or absence of a thruster fan. It is shown that the change of the spectral moments found in the scaled model test can be well explained by the mechanical model for the coupling effect.

In Chapter 4, an analytic expression for the fatigue damage is given based on the spectral approach. Due to the nonlinearity of the loads in FOWT, the stress response cannot be assumed to follow Rayleigh distribution anymore. Then, the Dirlik distribution is adopted as a probability density function. By combining the Dirlik distribution with the Palmgren-Miner's rule, an analytic formula for fatigue is derived.

In Chapter 5, the subject structure and the environmental conditions considered in the study are summarized. A semisubmersible structure supporting a 5-MW wind turbine is selected. It is shown from preliminary simulations that the structural response of the semisubmersible FOWT tends to be reduced mainly due to the aerodynamic damping effect and can be explained by the mechanical model in Chapter 3.

In Chapter 6, an efficient fatigue damage assessment method is proposed by combining the coupling effect model given in Chapter 3. The fatigue damage is evaluated by the proposed method and the direct approach. It is shown that the agreement between the two is quite satisfactory for almost all the short-term environmental conditions while the simulation time can be much reduced with the proposed method. The characteristic of the coupling effect in SPAR and TLP platforms, and a strategy for the long-term fatigue assessment of FOWT structure during the lifetime are also discussed.

In Chapter 7, the conclusions of main findings are drawn and suggestion for future work is described.

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　　名　（ ADILAH　AHMAD ）			
論文審査担当者	（職）		氏　　名
	主 査	教 授	飯島　一博
	副 査	教 授	藤久保　昌彦
	副 査	教 授	大沢　直樹

論文審査の結果の要旨

浮体式洋上風車には波と風による繰り返し荷重が作用する。その結果、風車を支持する基盤構造には疲労が蓄積し、場合によっては全体崩壊の起点となる構造亀裂が発生しうる。設計において疲労強度評価が重要となるが、疲労強度評価時に想定するべき風と波条件の組み合わせが膨大なため、シミュレーションにより応答時刻歴を解析し、レインフロー法で応力範囲の頻度を求め、疲労被害度を直接推定することは大変な工数を要する。本研究では風と波の複合荷重の連成効果を考慮した力学モデルにより様々な環境条件に対するスペクトルモーメントを簡便に推定し、浮体式洋上風車の支持構造の疲労被害度を効率的に評価する手法を開発している。本学位論文は７章で構成される。

第１章では、上述のような研究の背景と目的を論じている。

第２章では、浮体式洋上風車の挙動を解析するための数値シミュレーションツールの理論を説明している。このツールは NK-UTWind と称されるものであり、流体荷重についてはモリソン式を、空力荷重については翼素運動量理論をそれぞれ用い、評価された荷重を弾性体としての構造モデルに負荷し、遂次時系列解析するものである。これら荷重は非線形の性質を有するが、荷重を評価する際には、浮体動揺や構造変形による非線形連成項を考慮している。縮尺模型を用いた水槽試験を実施し、同ツールの妥当性を確認している。

第３章では、風と波の複合荷重の非線形連成効果を考慮した応力スペクトルモーメントの計算のための力学モデルを開発している。同モデルにより、任意の風速と波高の複合荷重下での応力のスペクトルモーメントは、波向きと風向きの組み合わせごとに、a.風単独応答シミュレーション、b.波単独応答シミュレーションと、c.数回の複合荷重応答シミュレーション結果を用いて、簡便に推定される。実験結果との比較から、同力学モデルの妥当性を確認している。

第４章では、スペクトル法を用いた疲労被害度の評価手法について論じている。風荷重と波浪荷重の複合荷重の下での応力応答は狭帯域と見なし得ず、広帯域の性質を帯びる。広帯域の応力範囲の頻度分布を Dirlik 分布によって表現し、マイナー則と組み合わせることで、浮体式洋上風車の支持構造の疲労被害度を求めるための解析解を得ている。

第５章では、この研究で対象とする浮体構造物と検討を行う環境条件について論じている。対象としては 5MW 級の風車を搭載するためのセミサブ型構造を選択している。

第６章では、第３章で開発した力学モデルによるスペクトルモーメントの評価法と第５章で示した疲労被害度を求めるための解析解を組み合わせることによって、効率的に疲労被害度を推定する方法を提案している。セミサブ型構造による浮体式洋上風車を対象として提案手法により疲労被害度を計算し、シミュレーションによって直接的に得られる疲労被害度評価結果と比較している。検討を行ったすべての環境条件について、提案手法が十分な精度を有しており、かつ計算時間の大幅な短縮を図ることが可能であることが報告されている。

第７章では、本研究によって得られた主要な成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車の支持構造の風と波の複合荷重下の応力応答のスペクトルモーメントを簡便に計算し、疲労被害度を効率的に評価する手法を提案し、実験や直接的なシミュレーションとの比較により、その妥当性を確認している。同手法は今後の浮体式洋上風車の設計効率の向上に資するとともに、浮体式洋上風車のデジタルツイン技術の機能の一部として、例えば疲労蓄積の高速推定に応用されることが期待される。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。