

バージ式浮体式洋上風車の風と波による損傷発生確率（その1：評価方法）

防衛大学校 正会員 ○矢代 晴実
長崎総合科学大学 正会員 藤田 謙一

1. はじめに

クリーンエネルギー利用は、脱炭素社会に向けた国際目標のひとつである。国内では洋上風力発電の事業化計画が進行中であり、長崎県沖と秋田県沖では商業運転が開始している。

本報では、浮体式洋上風車の構造損傷リスク評価方法を構築することを目的に、風と波に対する応答解析結果を用いて損傷発生確率を評価する方法を示す。前報¹⁾では風は平均風速のみ考慮し、風車に作用する風力は静的荷重として評価したが、本報では風速の変動成分を考慮して、風力を動的外力として扱う方法に拡張した。本報では評価方法の概要を示す。

2. 解析モデル

本研究の浮体式洋上風車を図1に示す。浮体は矩形平面のバージ式であり、係留はテンションレグ形式である。風車の断面は円筒形である。海水は水深一定で無限に広がり、非粘性・非圧縮・渦なしの完全流体である。

浮体式風車の流体-構造連成モデルの作成方法は、前報¹⁾と同じである。浮体式洋上風車は有限要素（FE）で離散化し、海水領域は浮体との接触面境界のみを境界要素（BE）で離散化する。

3. 風と波による応答および損傷発生確率の評価方法の概要

浮体式風車の損傷発生確率は、浮体式風車の挙動は線形弾性とし風と波に対する応答解析結果を用いて評価する。なお、本研究の損傷は、部材に生じる断面力が短期許容耐力を超過した状態を指す。

損傷確率評価のフローを図2に示す。損傷発生確率の評価において、平均風速による評価結果を平均値、変動風速と波による評価結果を標準偏差とする。評価対象部位の許容耐力、風および波により生じる断面力は、正規分布に従うと仮定する。応答解析は、図3に示すように平均風速、変動風速および波に対してそれぞれ実施する。浮体式風車の変動風と波による応答のパワースペクトル密度は、浮体に作用する波力と風車に作用する変動風力による各々のパワースペクトル密度に周波数応答関数を乗じて評価する。応答値は標準偏差として求められる。なお、本研究の応答評価は、流体連成自由振動解析より得られるウェットモード形を合成して求める。

4. 応答評価

4.1 平均風速に対する応答評価

平均風速による応答は、静的解析により評価する。受風面は、ローターではブレード回転時の軌跡円の面積とし、タワーでは投影面積とする。風力の評価に用いる抗力係数 C_D は、ローターで0.4、タワーで1.0とする。

4.2 変動風速に対する応答評価

変動風速による応答は、平均値0の定常確率ガウス過程とし、定常ランダム振動理論を用いて評価する。風車に作用する変動風力は、建築物荷重指針・同解説²⁾に示されている変動風速のパワースペクトル密度関数を用い、地表面粗度区分Iの条

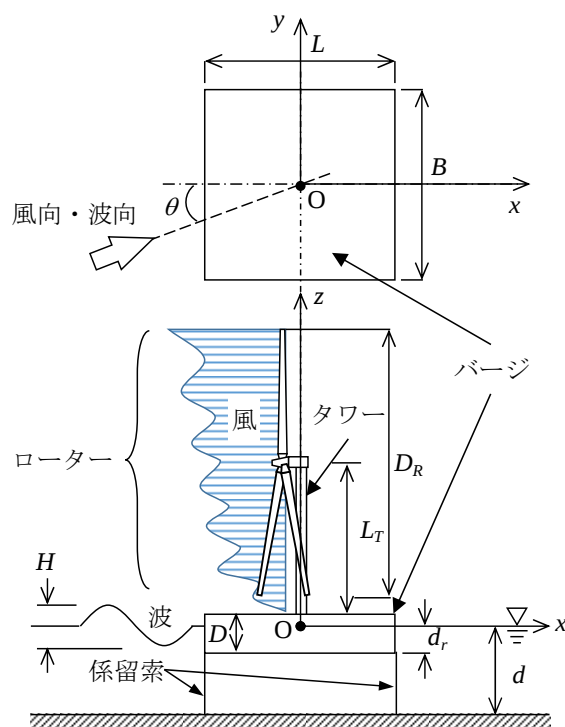


図1 バージ浮体式洋上風車

浮体式洋上風車、損傷発生確率、信頼性理論、定常ランダム振動、変動風、流体-構造相互作用解析

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1丁目10番20号 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810

件で評価する。

4.3 波に対する応答評価

波による応答は、変動風速に対する評価と同じく、平均値 0 の定常確率ガウス過程であるとし、定常ランダム振動理論を用いて評価する。浮体に作用する波強制力は、海面上 19.5m の平均風速で海面状態が表される Pierson-Moskowitz の波スペクトルを用いて評価する。

5. 損傷発生確率

損傷発生確率の評価は、風車脚部の圧縮軸力と曲げモーメントの組合せ応力による降伏およびテンションレグの引張降伏を対象に行う。許容力の平均値および標準偏差は、前報¹⁾で示した鋼材の統計データを用いる。損傷確率は構造信頼性理論に基づき、性能関数 Z が 0 以下となる確率を 1 次ガウス近似法により求める。

タワー脚部の損傷発生確率は、次式の性能関数を用いて評価する。

$$Z = 1 - (S_C / R_C + S_B / R_B) \quad (1)$$

ここに、 S_C はタワー脚部に生じる圧縮方向力の確率変数、 R_C はタワーの座屈耐力の確率変数、 S_B はタワー脚部に生じる曲げモーメントの確率変数、 R_B はタワー脚部の許容曲げ耐力の確率変数である。

テンションレグの損傷発生確率は、次式の性能関数を用いて評価する。

$$Z = R_A - S_A \quad (2)$$

ここに、 R_A は係留索の引張降伏の確率変数、 S_A はテンションレグに生じる軸方向力の確率変数である。

6. まとめ

浮体式洋上風車のタワー脚部およびテンションレグの損傷発生確率を定常ランダム振動理論に基づく応答解析結果を用い、信頼性評価理論における 1 次ガウス近似法により評価する方法の概要を示した。損傷発生確率の評価結果は、(その 2 : 評価結果) で示す。

参考文献

- 1) 矢代晴実，藤田謙一：浮体式洋上風車の風と波に対する損傷評価（その 1：評価方法，その 2：評価結果と考察），土木学会第 77 回年次学術講演会講演概要集，第 I 部門，I-327-328，2022。
- 2) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説（2015），2015

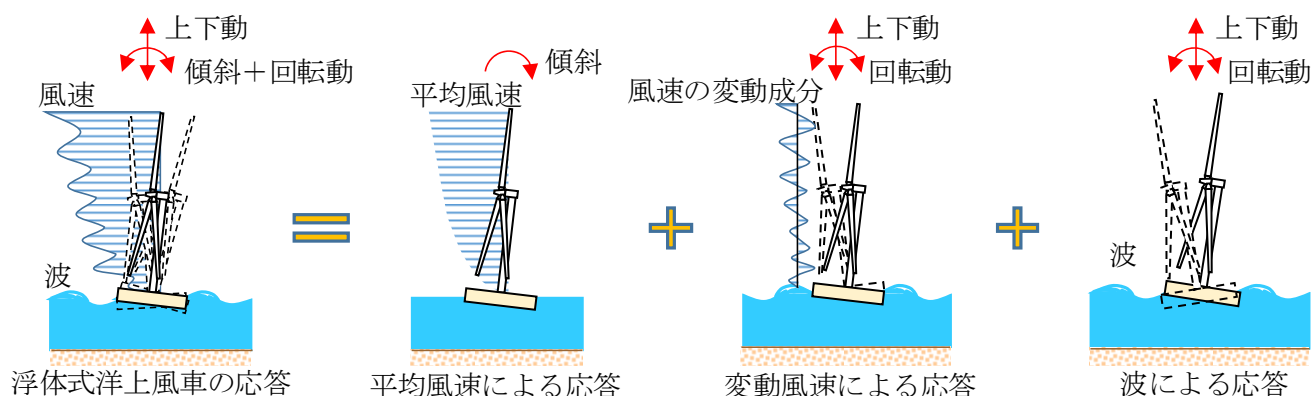


図3 浮体式洋上風車の風と波に対する応答評価

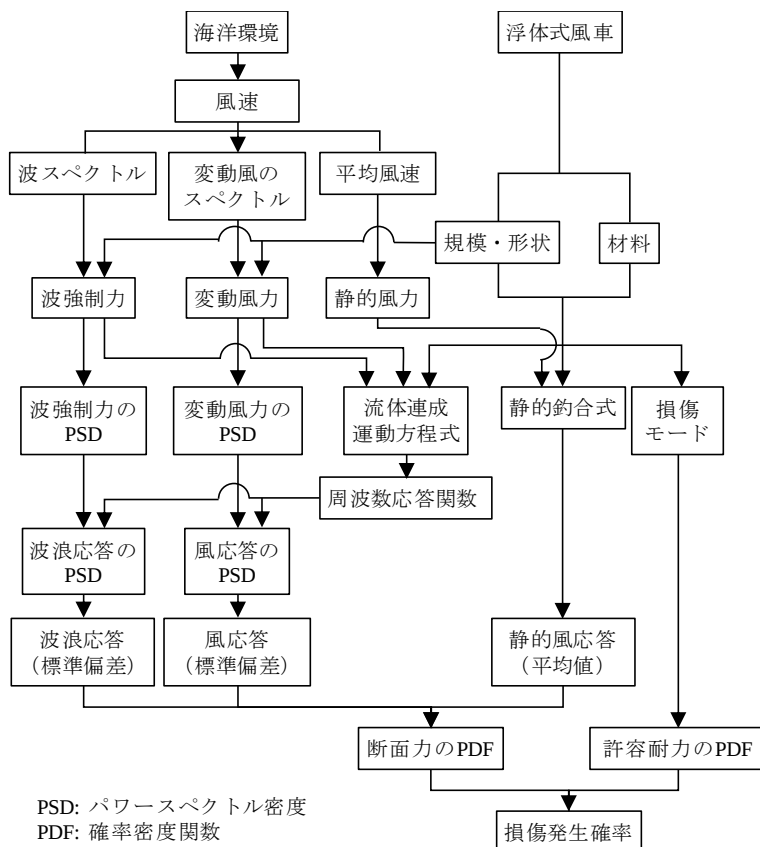


図2 損傷発生確率の評価フロー