

福島浮体式洋上風車向け ライザーケーブルの疲労寿命推定

籠 浦 徹^{*1}
榊 原 広 幸^{*2}
村 田 雅 彦^{*3}

藤 井 茂^{*2}
佐々木 隆 博^{*1}
田 口 悠 嘉^{*3}

Fatigue Analysis of Riser Cable with FUKUSHIMA FOWT(Floating Offshore Wind Turbine)

by Toru Kagoura

Hiroyuki Sakakibara

Masahiko Murata

Shigeru Fujii

Takahiro Sasaki

Yuka Taguchi

Key Words: Fatigue, Analysis, Cable, Significant Wave, Rainflow

1. 緒 言

浮体式洋上風力発電向けライザーケーブルの設計において、ライザーケーブルの動的挙動及び疲労寿命予測が重要となる。福島プロジェクトにおいて 2MW 浮体に敷設された 22kV ライザーケーブルの疲労解析を行った。疲労解析では浮体の 6 自由度運動データ（実測データ）を与えた解析と実測データを有義値の考え方に基いて分析¹⁾、適用した疲労解析を比較し、疲労寿命の推定方法について考察する。

2. ライザーケーブルシステム設計

2.1 Fukushima PJ の概要

福島プロジェクトにおける送変電システムの概要を Fig 1 に示す²⁾。ここでは、浮体同士を結ぶライザーケーブルに関して取り組む。

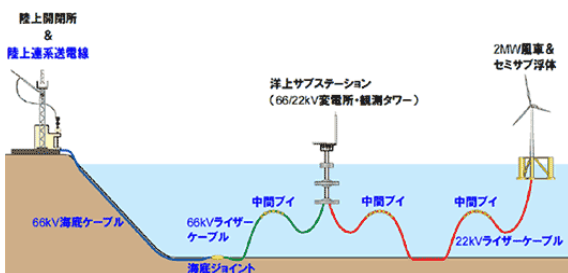


Fig. 1 Transmission and Substation System.

2.2 ライザーケーブルシステム設計の概要

ライザーケーブルシステム設計では、海象条件、浮体動揺特性や浮体係留設計条件などを基にライザーケーブルの海中挙動をシミュレーションによって予測し、機械強度や曲率半径、耐久性等を満足させるライザー形状等を検討する。ライザーケーブルシステム設計フローを Fig 2 に示す³⁾。フローに従ってライザー形状

を選択し、浮体最大移動量に対する静的挙動解析、浮体最大動揺に対する動的挙動解析を行ってその成立性を確認し、最終的に疲労解析まで行って最終的なシステムを決定した。シミュレーションモデルは、浮体の 6 自由度運動データである波形データが与えられ、浮体動揺特性からライザーケーブルの疲労寿命の推定が行われる。

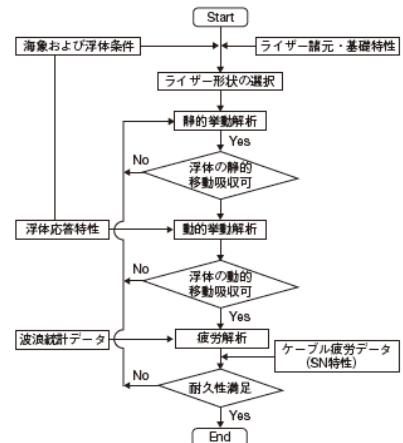


Fig. 2 Design Flow of Riser Cable System.

3. 波形データの分析

3.1 実測データ

浮体の 6 自由度運動データ（実測データ）は、各自由度について FFT (Fast Fourier Transform) および逆 FFT を用いて、高周波成分を除くこととする。最終的に得られた波形データ (Fig 3) は、ケーブルの挙動解析に適用する。

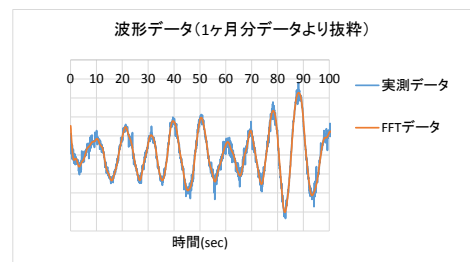


Fig. 3 Motion Data.

*1 古河電気工業(株)研究開発本部

*2 古河電気工業(株)エネルギーインフラ統括部門

*3 古河インフォメーション・テクノロジー(株)

原稿受付 平成 28 年 9 月 23 日

秋季講演会において講演 平成 28 年 11 月 21, 22 日

©日本船舶海洋工学会

3.2 有義値の算出

浮体の6自由度運動データ(実測データ)は、1時間単位のデータで、有義値の考え方にに基づき統計的に考える。実測データの連続する波を1つずつ観測し、波高の高い方から順に全体の1/nの個数の波を選び、これらの波高および周期を平均したそれぞれ有義波高、有義波周期を算出した。ここで、1/nは1/3とし、6自由度それぞれ1/3有義値を得た。得られた有義値は、ケーブルの挙動解析で適用する。

4. 解析方法

4.1 実測データによる挙動解析・疲労解析

(1) 実測データによる挙動解析

解析モデルは、ライザーケーブルと浮体運動を対象とする。ライザーケーブルは、浮体側に浮体の運動データ(実測データ)の6自由度の変位が強制変位として与えられ、挙動解析が行われる。挙動解析は、実測データを1時間単位で適用し、1日単位、あるいは、1ヶ月単位で評価することとする。解析ソフトは、Orcina社製OrcaFlexを使用する。

(2) 実測データによる疲労解析

実測データによる疲労解析は、前述の1時間単位の挙動解析結果を用いて実施する。挙動解析と同様に、解析ソフトはOrcaFlexを使用する。

疲労解析では、レインフロー法を適用し、ライザーケーブルの被害係数、疲労寿命年数を算出する。

4.2 有義値による挙動解析・疲労解析

(1) 有義値による挙動解析

実測データの有義値は、1時間単位の有義波高、有義周期であり、6自由度それぞれ正弦波の振幅と周期とし、OrcaFlexで浮体の運動として設定、挙動解析を行う⁴⁾。正弦波の一部を抜粋した波形をFig 4に示す。

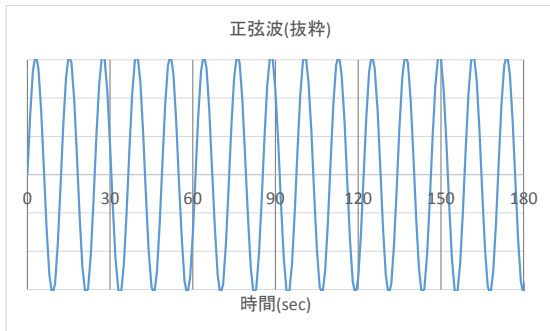


Fig. 4 Input Data for OrcaFlex.

(2) 有義値による疲労解析

実測データから算出した有義値による疲労解析は、挙動解析結果を基にレインフロー法を用いて疲労解析を行い、ライザーケーブルの1日単位での被害係数、疲労寿命年数を算出し、最終的に長期の疲労寿命を推定する。

5. 解析結果

2つの解析方法における解析結果をFig 5に示す。有義値による解析の疲労寿命値は、実測の全データを用いた解析結果の疲労寿命値よりも、寿命年数が長い結果になっている箇所が幾つか見られる。

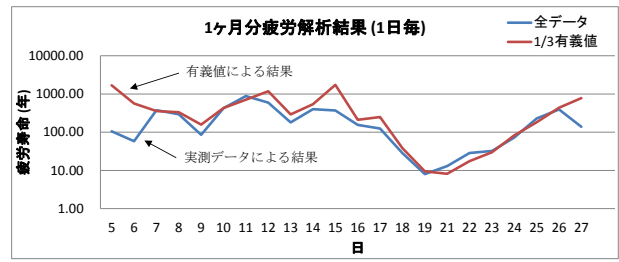


Fig. 5 Result of Fatigue Analysis.

6. まとめ

実測データによる疲労解析および有義値による疲労解析が行われた。両者は、一部差異が生じているところはあるが、よく一致しているケースが幾つか得られ、良好な傾向が得られることが確認された。

実測データによる疲労解析では、ライザーケーブルの実挙動を時系列で与える解析となる。実測データの分析はFFTのみであり、挙動解析にすぐに着手できる利点はある。しかし、6自由度に対し強制変位を与える解析は、計算機の性能を要し、解析時間はデータ数の増加に伴い膨らむ傾向にある。

一方、有義値による疲労解析では、有義値と正弦波による解析となる。この解析においては、実測データのFFTは実測データを与えた挙動解析の場合と同様に行うが、これに加え有義値の算出の工程が増える。しかし、有義値の算出は計算機を用いて容易に行うことが可能である。算出された有義値は、解析ソフトで各自由度に与える。有義値と正弦波による挙動解析は、実測データの強制変位による解析よりも、計算機の負荷は小さく、解析時間の大幅な短縮が可能なが確認された。効率的な疲労寿命の推定方法と考えられる結果となった。

有義値による解析結果の寿命年数が一部長くなったことについて、今後は、1/3有義値に対し、任意の1/n有義値等の検討を行い、精度を検証する予定である。また、実測データの傾向が異なる期間での検討も予定している。今回は、実測からの推定であったが、今後、海域からの予測等、様々な効果が期待される。

浮体式発電システムの発電システムとして必要なライザーケーブルは世界でもまだ十分な実績があるとは言えないが、本研究にて得られる知見を活かして最適システム設計や維持管理手法の確立を目指す予定である。

謝 辞

本研究は、経済産業省の福島復興・浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業として実施されており、東京大学の石原 孟教授を始め、関係者には感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 飯島一博 他：海洋構造物(船舶海洋工学シリーズ)、成山堂書店、2013。
- 2) 福島洋上風力コンソーシアム
- 3) 榊原広幸 他：Fukushima FORWARD Projectにおける送電システムの開発(その2)、古河電工時報、第135号、2016。
- 4) OrcaFlex Help, Orcina Ltd, 2014。