

洋上風力発電設備基礎周辺の波浪の観測（その2）*

千葉県銚子市南沖合の時化の観測と波浪の不規則性の評価

The Oceanographic observation near a foundation of offshore wind power turbine (Part 2)

福本 幸成** 前田 修** 宇佐美 栄治*** 林田 宏二**** 石原 孟*****

Yukinari FUKUMOTO Osamu MAEDA Eiji USAMI Koji HAYASHIDA Takeshi ISHIHARA

1. はじめに

わが国における洋上風力発電の導入促進を目的に、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）と東京電力株式会社とは、千葉県銚子市の南沖合 3.1km に風車 1 基、風況観測タワー 1 基などからなる実証研究設備を建設し、2013 年 1 月 29 日に、わが国初の沖合着床式洋上風力発電所として運転を開始した。

実証研究設備の建設に先立ち、洋上風力発電設備近傍の波浪の特性を把握するために、NEDO から東京電力株式会社への委託業務として、2010 年 1 月に波浪観測装置が設置され、台風や低気圧時の高波浪や「うねり」を観測してきた。観測に基づく平均の有義波高や有義波周期、出現頻度等の一般的特性については、前田ら¹⁾が述べており、本論文では、台風時や低気圧時の有義波高と有義波周期、周波数スペクトルの時間的変化について考察する。

2. 波浪観測装置の概要

波浪観測装置の設置位置を図-1 に示す。設置位置は北緯 35° 40′ 53″，東経 140° 49′ 18″ で、海岸から約 3km 離れている。設置位置の平均水深は 11m であり、海底勾配は約 1/500 である。

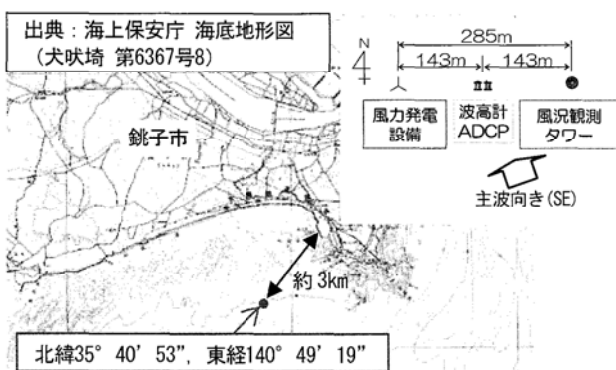


図-1 波浪観測装置の位置

*平成 25 年 11 月 13 日第 35 回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

** 会員 東京電力技術開発センター 〒230-8510 横浜市鶴見区江ヶ崎町 4-1

*** 会員 鹿島建設土木管理本部 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11

**** 会員 鹿島建設環境本部 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11

***** 会員 東京大学大学院工学研究科 〒113-8656 東京都文京区 7-3-1

波浪観測装置は、波高や周期の観測を主目的とした超音波式波高計と海潮流の観測を主目的としたドップラー式流速分布計の 2 種類で構成される。

超音波式波高計は、海底面に設置した円盤型のコンクリート製シンカーの上に固定されている。使用している超音波式波高計はアイオーテック社製「WaveHunter08-Σ」である。同装置は、水圧計、超音波測深計、水平 2 成分電磁流速計の 3 種類のセンサーを装備している。計測は、サンプリング周波数 2Hz の連続計測としており、バッテリー駆動で、3～4 ヶ月ごとにデータの回収とメンテナンスを行っている。観測装置のその他の詳細については、前田ら¹⁾を参照されたい。観測データの 20 分統計値は、海上のブイに設置された通信システムで陸上局に送信され、海上工事や風車の運転保守の安全確保に貢献してきた。

3. 銚子市南沖合の時化の特性

波浪観測結果によれば、当地点の年平均の有義波周期は 8.0 秒であり¹⁾、有義波周期 10 秒前後の「うねり」がしばしば発生する。「うねり」は、工事用船舶に動揺を与えやすいため、洋上風力発電所の建設工事においては、波浪の数値予測モデルなどを用いて、「うねり」を慎重に避けなければならない。

また、洋上風力発電所に作用する波力は、波高と周期に依存するため、設計波力の設定にあたっては、台風時などの波高と周期の組合せを予測する必要がある。洋上風力発電所の建設においても、台風や低気圧接近時に工事用船舶の避難が必要となる場合、回航準備や基地港への移動に時間を要するため、波高と周期の変化を正確に予測する必要がある。

以下に、波浪観測装置による時化の時刻歴や周波数スペクトルなどの特性について述べる。

3.1 波高と周期の時刻歴

(1) 2012 年の台風 15 号

2012 年 8 月の台風 15 号は、当地点に「うねり」をもたらし、銚子沖洋上風力発電所の海底送電ケーブル敷設工事を中断させるなどの被害を発生させた。図-2 に台風 15 号の経路図を示す。8 月 20 日に北マリアナ諸島の西側海上に発生した台風 15 号は、北

西に進みながら勢力を増し、8月28日に九州の西側海上を通過して8月29日に中国大陸に上陸し、9月2日に消滅した。

最大風速は、沖縄の南東の海域にあった8月25日から26日にかけての50m/sと推定され、「大型で非常に強い台風」と分類された²⁾。

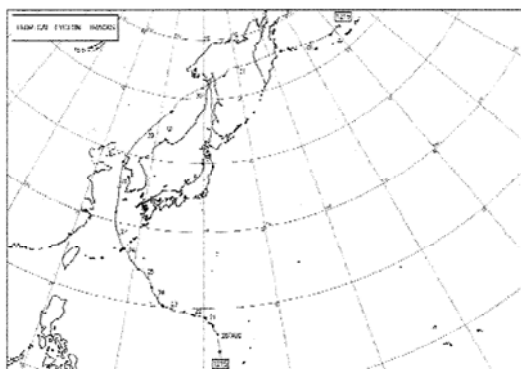


図-2 2012年第15号(1215)台風の経路図³⁾
(気象庁ホームページ「台風経路図」より引用)

図-3に8月21日から8月29日までの有義波高と有義波周期の時刻歴を示す。有義波周期の最大値は8月26日午前1時10分から午前1時30分に発生し、13.6秒であった。なお、当地点の13.0秒以上の有義波周期の発生頻度は0.9%である¹⁾。

有義波高の最大値は8月26日午後8時30分から午後8時50分に発生し、2.33mであった。当地点の2.0m以上の有義波高の発生頻度は9.9%である¹⁾。

8月23日の平均の有義波周期は7.9秒で、年平均の有義波周期が8.0秒程度であることから、約2日間で有義波周期13.6秒の低頻度の「うねり」に発達した。

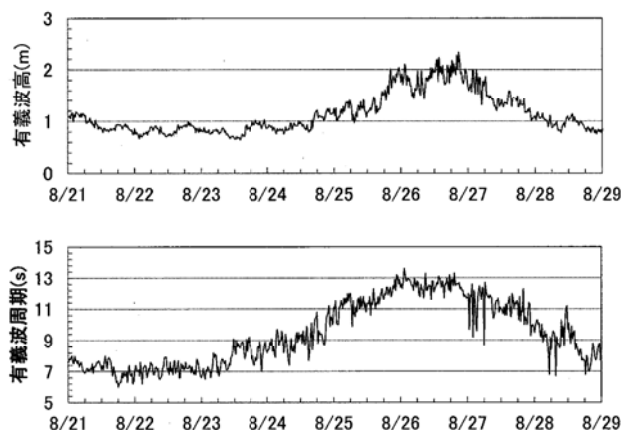


図-3 台風時の有義波高と有義波周期の時刻歴

有義波高と有義波周期との関係を表現するために、図-4のような履歴図を作成した。有義波周期の最大

値の13.6秒に対し、同時刻の有義波の最大値は2.10mであり、かつ有義波高と有義波周期が同調して増減していることから、波形勾配は概ね0.005から0.01の間で推移し、線状に履歴を刻んでいる。

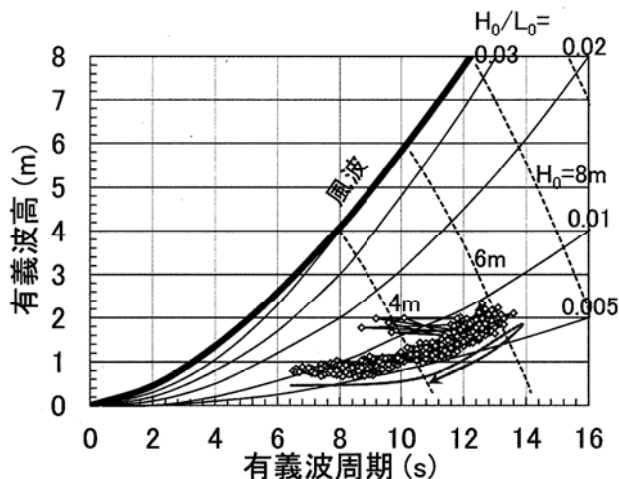


図-4 台風時の有義波高と有義波周期の履歴図

(2) 2012年11月の発達した低気圧

2012年11月17日から18日にかけて、前線を伴った発達した低気圧が日本列島を縦断した。図-5に11月17日午前9時と11月18日午前9時の天気図を示す。

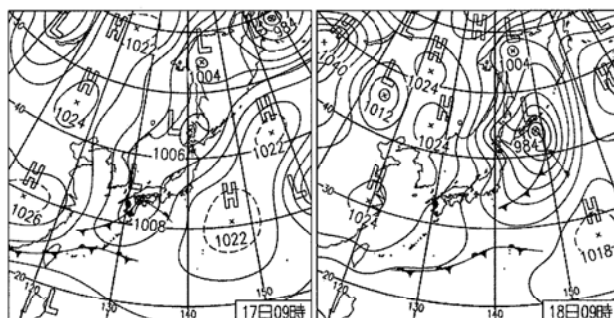


図-5 2012年11月17日、18日の天気図⁴⁾
(気象庁ホームページ「日々の天気図」より引用)

このとき、当地点において特徴的な波高と周期の変化があった。図-6に11月15日から11月21日までの有義波高と有義波周期の時刻歴を示す。有義波高の最大値は11月17日午後8時10分から午後8時30分に発生し、4.60mであった。なお、当地点の4.5m以上の有義波高の発生頻度は0.1%である¹⁾。

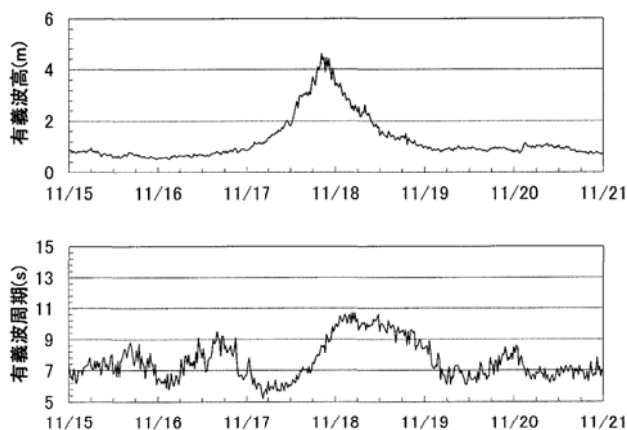


図-6 低気圧時の有義波高と有義波周期の時刻歴

有義波高の最大値を記録した 48 時間前および後の有義波高は、それぞれ 0.63m (11 月 15 日午後 8 時 10 分から午後 8 時 30 分) と 0.94m (11 月 19 日午後 8 時 10 分から午後 8 時 30 分) であり、当地点の年平均有義波高の 1.2m¹⁾ よりも小さく、比較的静穏であった。図-6 にも、峻険なピークのある時刻歴が示されており、有義波高の最大値付近の継続時間は短い。

有義波周期の最大値は、有義波高の最大値を記録した 11 月 17 日午後 8 時 10 分から午後 8 時 30 分の約 8 時間後の 11 月 18 日午前 4 時 30 分から午前 4 時 50 分と午前 5 時 10 分から午前 5 時 30 分に 10.7 秒を記録した。当地点の 10.0 秒以上の有義波周期の出現頻度は 11.2% である¹⁾。また、11 月 17 日午前中 (午前 0 時から午後 0 時) の有義波周期の平均は 6.1 秒であり、当地点の年平均有義波周期の 8.0 秒より短かったが、風波が発達して有義波高・有義波周期が増大したのち波高は小さくなり、1 日程度で周期の長い「うねり」の状態となった。

図-7 に有義波高と有義波周期の履歴図を示す。

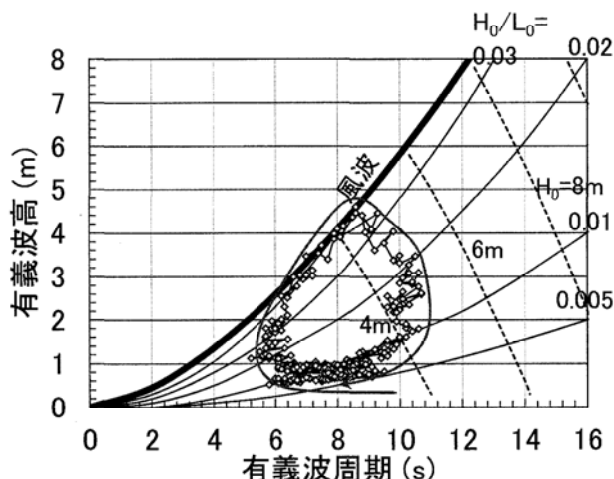


図-7 低気圧時の有義波高と有義波周期の履歴図

有義波高の最大値の発生時刻をはさんで、有義波周期が短周期から長周期に変化したため、履歴図は整ったループ状となった。

3.2 周波数スペクトルと不規則性の評価

2010 年 1 月 20 日から 22 日にかけて、発達した低気圧から伸びた寒冷前線が、当地点を西から東に通過し、銚子气象台では、最大瞬間風速 21.3m/s を記録した。図-8 に、1 月 20 日午前 9 時と 1 月 22 日午前 9 時の天気図を示す。

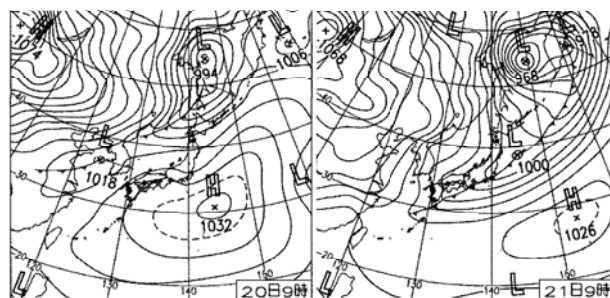


図-8 2010 年 1 月 20 日、21 日の天気図⁴⁾
(気象庁ホームページ「日々の天気図」より引用)

前述の 2012 年 11 月の低気圧通過時と同様、有義波高の峻険なピーク値の発生と、有義波周期の大きな変化が見られた。

図-9 に有義波高と有義波周期の時刻歴を示す。有義波高の最大値は、寒冷前線が接近した 1 月 21 日の午前 4 時 30 分から午前 4 時 50 分に発生し、3.23m であった。最大値発生の 48 時間前および後の有義波高はそれぞれ、0.94m および 0.79m であり、平均有義波高以下であった。

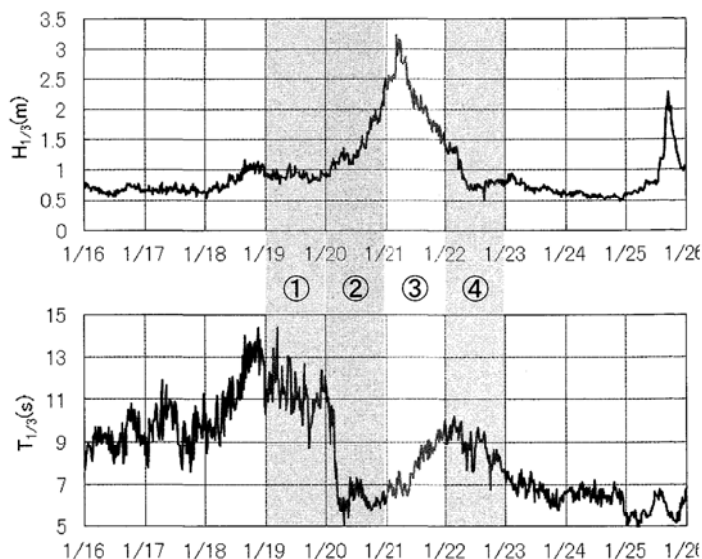


図-9 低気圧時の有義波高と有義波周期の時刻歴

有義波高の最大値が発生した 48 時間前 (1 月 19 日午前 4 時 30 分から午前 4 時 50 分) の有義波周期は 14.4 秒であったが、24 時間前 (1 月 20 日午前 4 時 30 分から午前 4 時 50 分) には、「うねり」よりも風波が卓越し有義波周期が 6.1 秒に低下した。また、有義波高のピーク値をまたいで有義波周期は上昇し、有義波高の最大値が発生した 24 時間後 (1 月 22 日午前 4 時 30 分から午前 4 時 50 分) には 9.7 秒に達した。波高が低下した後に周期の長い「うねり」の状態が出現する点は、前述の 2012 年 11 月の低気圧通過時と類似している。

有義波周期の日ごとの変化を、図-10 のようにパワースペクトルで表示する。有義波高の最大値が発生した 2 日前の 1 月 19 日は、「うねり」のスペクトル形状を示しているが、1 月 20 日には、「うねり」と風波の領域にピークを持つ「二山」形状を示し、「うねり」と風波が混在した海象を呈していたことがわかる。有義波高の最大値が発生した 1 月 21 日は、「うねり」と風波の境界付近の性状となり、22 日に「うねり」主体へと変化した。

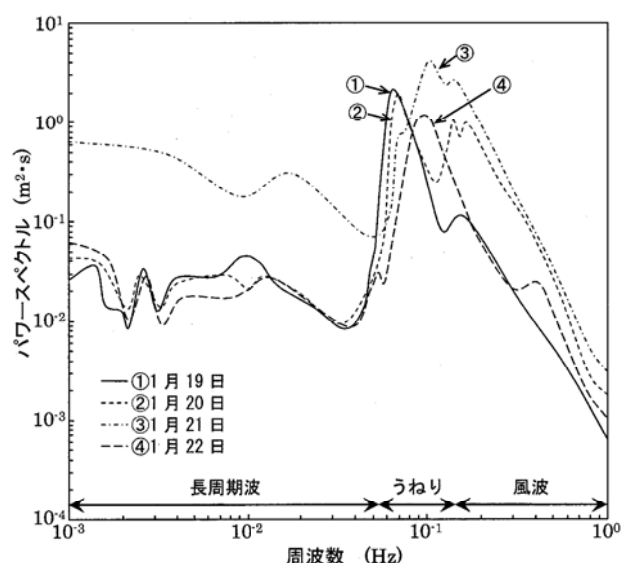


図-10 有義波周期のパワースペクトル

図-11 は、有義波周期の最大値 ($H_{1/3}=3.23\text{m}$, $T_{1/3}=7.3\text{s}$) が発生した 1 月 21 日の午前 4 時 30 分から午前 4 時 50 分のスペクトルと、修正ブレットシュナイダー・光易型スペクトル⁵⁾による近似値を示しており、その適用性が確認できた。「二山」形状のスペクトルの表現方法などについても、今後引き続き検討していく。

4. まとめ

千葉県銚子沖での波浪観測により、台風時や低気圧時の有義波高と有義波周期、周波数スペクトルの

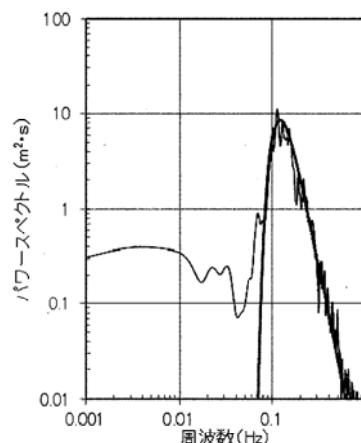


図-11 有義波周波数スペクトルと修正ブレットシュナイダー・光易型スペクトルによる近似

時間的変化について考察した。

九州の西側海上を通過した 2012 年の台風 15 号では、最大の有義波高は 2.33m であったが、有義波周期が短期間に発達して 13.6 秒という低頻度の「うねり」をもたらした。

2012 年 11 月の低気圧は日本列島を縦断し、短期間に 4.60m の有義波高に発達した。また、波高が低下した後に「うねり」の状態が継続した。

2010 年 1 月の低気圧による寒冷前線も、峻険なピーク値のある有義波高の時刻歴が観測され、「うねり」と風波が混在する周波数スペクトルが得られた。

最高波高時の周波数スペクトルは、修正ブレットシュナイダー・光易型スペクトルで表現できることがわかったが、今後も、「二山」形状のスペクトルの表現方法など、波浪の不規則性などの検討を引き続き行っていく。

【参考文献】

- 1) 前田修ら：洋上風力発電設備基礎周辺の波浪の観測 (その 1)，第 35 回風力エネルギー利用シンポジウム，2013。
- 2) 気象庁ホームページ，過去の台風資料，<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/typhoon/T1215.pdf>
- 3) 気象庁ホームページ，台風経路図，http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/route_map/index.html
- 4) 気象庁ホームページ，日々の天気図，<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>
- 5) 合田良実：数値シミュレーションによる波浪の標準スペクトルと統計的性質，第 34 回海岸工学講演会論文集，1987 年，pp.131-135。