

## 国内初の沖合における着床式洋上風力発電所の施工について

|      |     |        |
|------|-----|--------|
| 鹿島建設 | 正会員 | ○林田 宏二 |
| 鹿島建設 | 正会員 | 坂田健一郎  |
| 鹿島建設 | 正会員 | 岩前 伸幸  |
| 東京電力 |     | 前田 修   |

### 1. はじめに

本工事は、日本での洋上風力発電の導入促進を目的とした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）が実施する実証研究プロジェクトにおいて、千葉県の銚子沖合約3.1kmの太平洋上に日本初となる本格的着床式洋上風力発電所（以下、洋上風車）と、洋上における風況特性を調査するための洋上風況観測タワー（以下、観測タワー）を建設するものである。

両構造物は2013年1月末に無事完成し、運転を開始している（写真－1参照）。

本報文では、洋上風車を対象として、外洋に面し、厳しい海象条件で知られる銚子沖合で実施した基礎の運搬据付工・風車据付工の施工概要および実績について述べる。

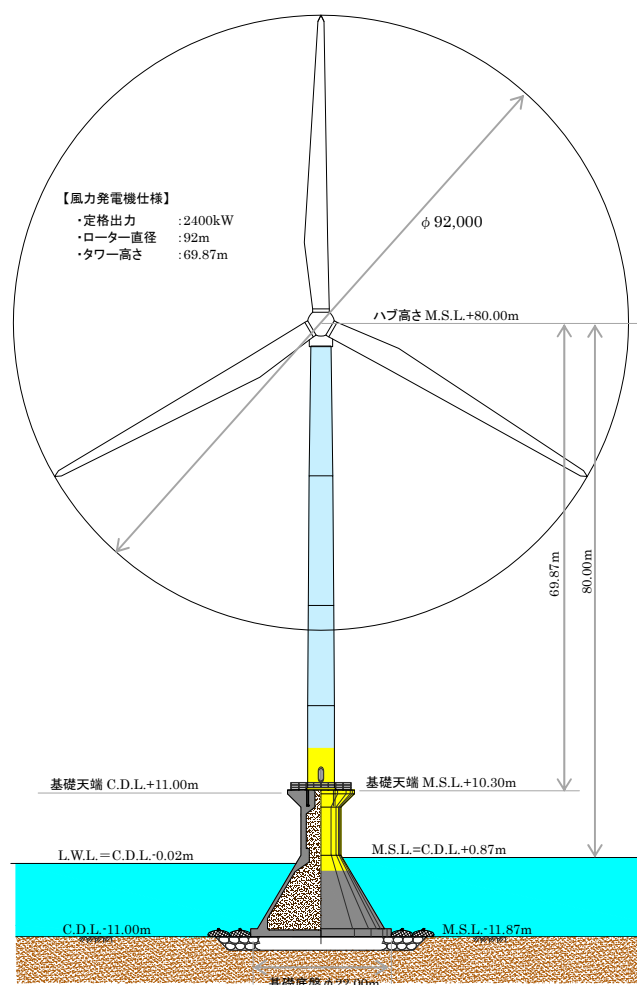
### 2. 構造概要

洋上風車の構造概要を図－1、風力発電機部および基礎の仕様を表－1、2に示す。風力発電機は、国産機としては最大級のものを洋上仕様に改良したものとなっている。

基礎は、砕石によって均した海底面に着底させる着床式の重力式コンクリート基礎形式としており、非常に厳しい海象条件下において建設地点での施工時間の短縮を図るために、中空のケーソンタイプとし、事前に構築したのちに建設地点まで海上輸送・据付を実施し、その後高比重の中詰材を投入することで重力式基礎として機能させる施工方法を採用した。構造については、表－2および図－2に示すように各部に多様なPC鋼材を効率的に用いることで、高い構造安全性と軽量化による海上輸送・据付の施工性を両立させている。また、基礎内は最小壁厚が50cmとなる基礎斜壁部をはじめ、非常に過密な配筋となるために、使用するコンクリートは、



写真－1 洋上風車と観測タワー



図－1 洋上風車構造概要

キーワード 洋上風力、着床式、重力式ケーソン基礎、起重機船、水理模型実験、SEP

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設 環境本部 新エネルギーグループ TEL 03-5544-0748

底版部以外の斜壁部、鉛直壁部、頂部については、自己充填性を有する高流動コンクリートを使用することで作業の効率化および品質の確保を図った。さらに、干満帯付近の鉄筋およびせん断補強筋についてはエポキシ樹脂塗装鉄筋を採用し、洋上における耐塩害性能を高めている。

表-1 風力発電機仕様

|       |                           |
|-------|---------------------------|
| 風力発電機 | 三菱重工業製 MWT92/2.4 (洋上仕様)   |
| 定格出力  | 2,400kW                   |
| 高さ    | M. S. L. +126m (ブレード最高高さ) |
| ローター径 | φ 92m                     |

表-2 基礎仕様

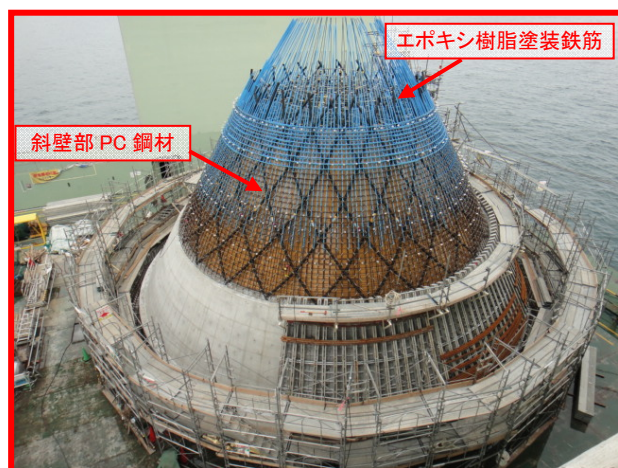
|          |                                           |                                      |
|----------|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| 形状       | 三角フラスコ型                                   |                                      |
|          | 高さ：22m, 天端：φ 10m, 底盤：φ 21m                |                                      |
| 基礎重量     | 約 2,400t (中詰材投入後：約 5,300t)                |                                      |
| 使用コンクリート | 高流動コンクリート (斜壁部・鉛直壁部・頂部)<br>普通コンクリート (底盤部) |                                      |
| 設計基準強度   | 40N/mm <sup>2</sup>                       |                                      |
| PC 鋼材    | 頂部                                        | シングルスランド工法 (プレグラウト鋼材：1S17.8)         |
|          | 鉛直壁部                                      | エポキシ樹脂被覆 PC 鋼棒 (SBPR 930/1180, Φ 32) |
|          | 斜壁部                                       | 内部充てん型エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線 (9S15.2)      |
| 鉄筋       | SD345<br>(干満帯およびせん断補強筋にはエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用)    |                                      |
| 附帯設備     | 航路標識, クレーン, 着船昇降設備                        |                                      |



(鉛直壁部)



(頂部)



(斜壁部)

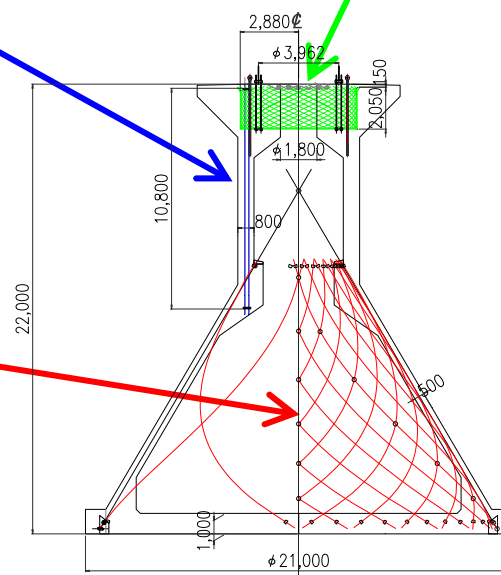


図-2 洋上風車基礎におけるPC配置および配筋状況

### 3. 施工概要および実績

建設地点で実施した工種の施工フローおよび施工場所の概略を図-3, 4に示す。

| 場所      | 鹿島港 | 銚子 | 袖ヶ浦 | 横浜 | 銚子沖<br>建設地点 | 木更津 |
|---------|-----|----|-----|----|-------------|-----|
| フロー     |     |    |     |    |             |     |
| 浚渫      |     |    |     |    | 浚渫 → 処分     |     |
| 砕石均し    |     |    |     |    | 砕石均し        |     |
| 基礎据付    |     |    |     |    | 基礎据付        |     |
| 中詰材投入   |     |    |     |    | 中詰材投入       |     |
| FU設置    |     |    |     |    | FU据付        |     |
| 観測タワー据付 |     |    |     |    | 観測タワー据付     |     |
| 風車据付    |     |    |     |    | 風車据付        |     |

図-3 施工フロー（建設地点）



図-4 施工場所

以下に、「基礎据付」、「フィルターユニット（FU）設置」および「風車据付」の3工種についての施工概要および実績について述べる。

#### 3.1 基礎据付

基礎はフローティングドック（以下、FD）に積載した状態から茨城県鹿島港内で起重機船に積替を行った後に、建設地点である千葉県銚子沖まで運搬し、据付を行うこととした。起重機船は、1600t クレーンを持つ国内では最大級の全旋回式起重機船を用いることとしたが、積替については、洋上風車の基礎の単体重量が約 2400t であり、気中での吊り上げができないために、FD を沈下させて基礎に浮力を作用させた状態で吊り上げる計画とした。（写真-2参照）また、輸送・据付にあたっては、写真-3に示すような水理模型実験や解析を行い、基礎の吊り位置についての事前検討を実施した。その結果、図-5に示すように船体の縦揺れ（ピッチ）の回転中心となる船体側面の中央位置で基礎を吊ることで波浪による船体の動揺の影響を小さくできることが分かった。そこで、図-6に示すような専用の櫓フレームを開発し、船体側面中央に艀装することで、櫓に基礎を抱き込んだ状態での基礎に浮力を与えた状態のままでの輸送と同時に動揺量が小さくなる位置での据付作業を可能とした。



写真-2 基礎積替状況

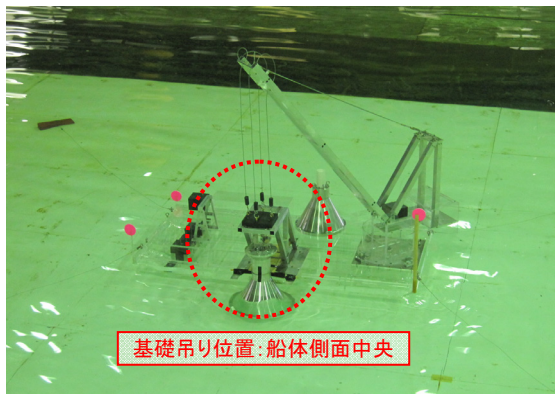


写真-3 水理模型実験状況

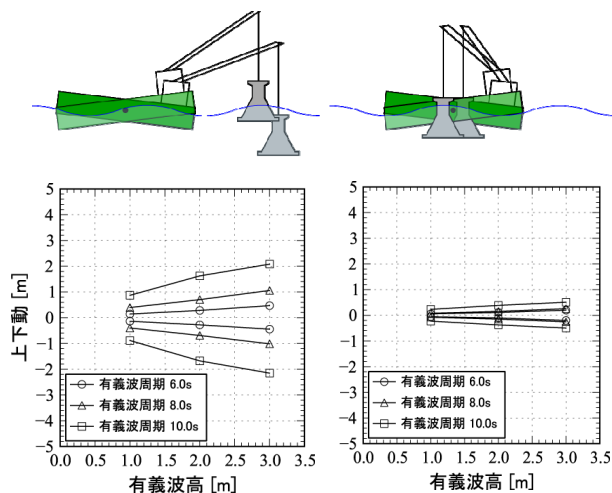
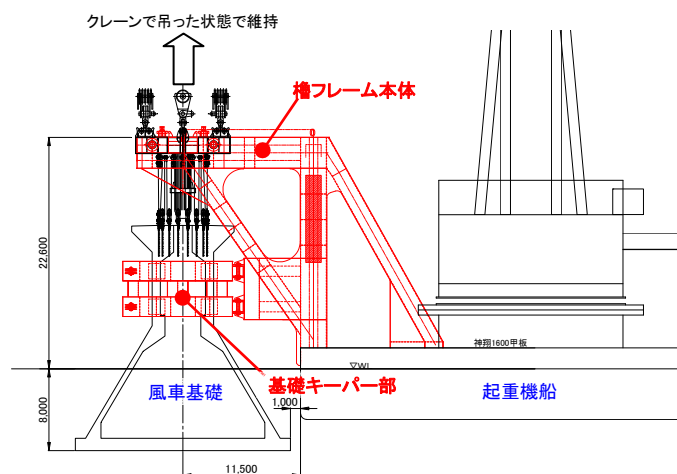
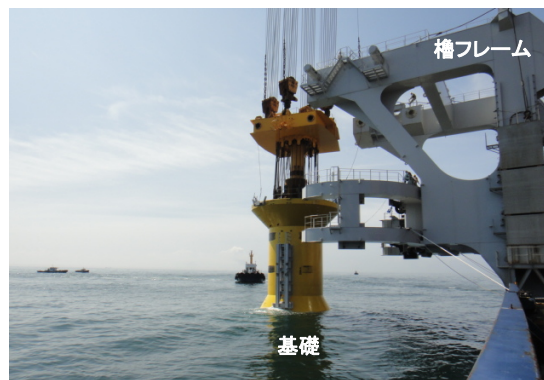


図-5 基礎吊り位置による動揺量の変化

風車基礎の据付作業状況を写真－４に、作業実績についてまとめた結果を表－３に示す。作業当日の現場海域は有義波高  $H_{1/3}=0.6\sim0.8\text{m}$ 、有義波周期  $T_{1/3}=7\sim8\text{s}$  と事前に設定した作業条件内であり、所定の据付許容値に対して、非常に高い精度で基礎の据付を実施することができた。



図－６ 起重機船に艀装した櫓フレームと風車基礎



写真－４ 風車基礎据付状況

表－３ 据付出来形（洋上風車基礎）

|      | 許容値  |          | 実績値      |
|------|------|----------|----------|
| 平面位置 | 東西方向 | ±3.3m 以内 | 東に 1.02m |
|      | 南北方向 | ±3.3m 以内 | 南に 0.70m |
| 水平度  | 東西方向 | 0.82 度以内 | 東に 0.04° |
|      | 南北方向 | 0.82 度以内 | 南に 0.01° |

### 3.2 フィルターユニット設置

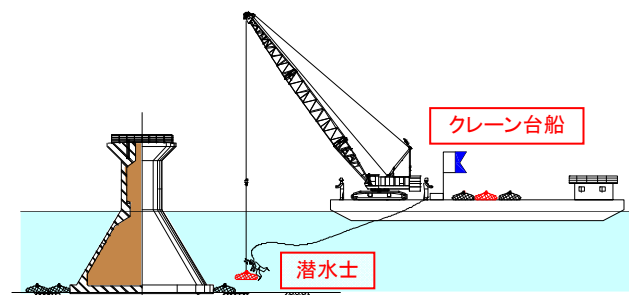
洗掘対策として基礎底盤まわりの海底面にはフィルターユニット（以下、FU）を設置することとし、建設地点の厳しい海象条件を考慮して9t型という特別仕様のFUを採用した（写真－５参照）。

近隣の銚子名洗港ヤードで製作したFUをクレーン台船に積み込み、建設地点で潜水士の誘導により所定の位置に設置を行った（図－７参照）。

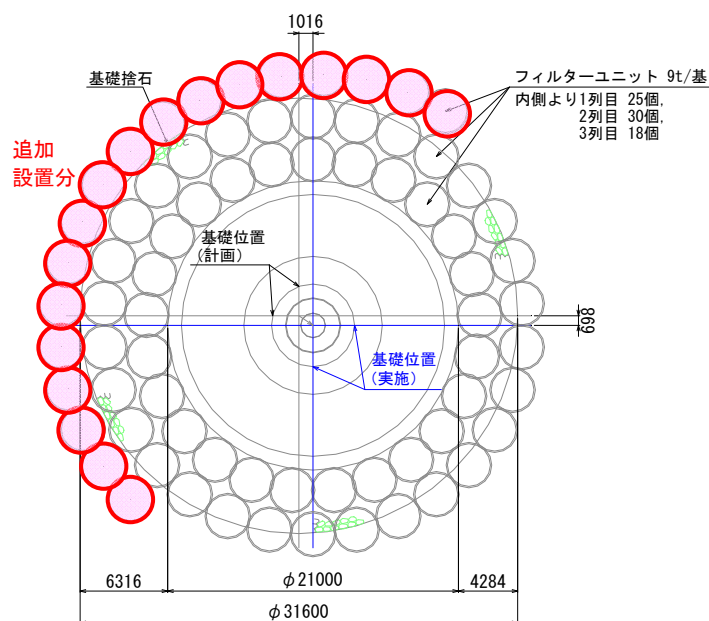
FU設置の出来形を図－８および表－４に示す。FUは洗掘防止のために砕石均しを実施した範囲を被覆する必要があるために基礎据付時の偏芯量に応じて追加設置を行った。



写真－５ 9t 型 FU（陸上ヤード）



図－７ FU 設置状況（洋上風車）



図－８ FU 設置出来形（洋上風車）

表－４ FU 設置工・出来形

|      | 計画時  | 実績   |
|------|------|------|
| 洋上風車 | 56 個 | 73 個 |

### 3.3 風車据付

上部工（風車部分）の据付には、自己昇降式作業台船（以下、SEP: self elevating platform）を用いた。SEP を用いることで海象の影響を排除した安定した足場を確保でき、洋上での作業稼働率の向上を図ることが可能となる。本工事では、2 隻の SEP を用いて、表－5 に示すように風車部材、650t クローラクレーン、その他必要な資機材を全て積み込んで、建設地点で全ての作業を行えるようにした。

部材積込後、建設地点まで SEP を曳航し、クレーン能力と据付順番等を考慮して基礎周りに配置した（図－9、写真－6 参照）。据付に関しては、風車メーカー提示の据付要領書を出来形の管理基準として作業を実施し、SEP を用いることで陸上における風車据付と同等以上の精度で据付を行うことができた。

なお、風車据付時の稼働率は、計 6 つの台風を含む荒天の影響を受けて 64%（SEP 入域から出域までの工程 47 日の内、作業実施日は 30 日）であった。

### 3.4 作業員移動

SEP を用いるメリットを最大限に生かすために、日々の作業員の交通船についても工夫を施した。写真－7 に示すようにタグボートの後部にデッキを艀装した専用船を備船し、欧州の油田プラットホームなどで用いられている人員移動用バスケットを用いることで、海象状況によって SEP に乗船できない状況を極力排除することができた。

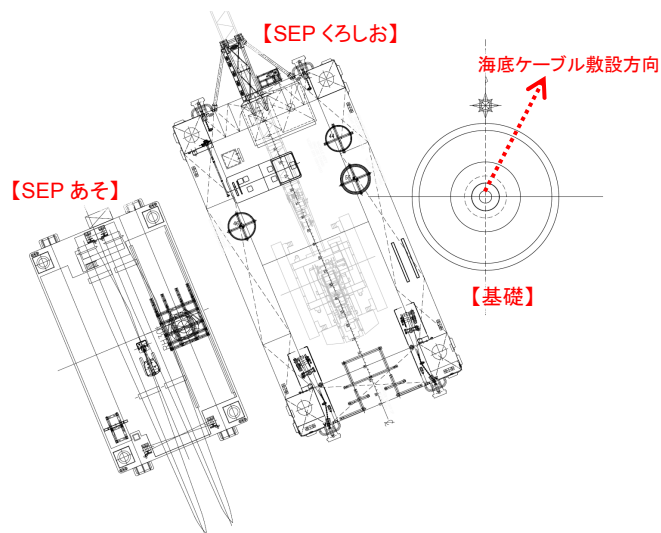
## 4. おわりに

今回、日本初の本格的洋上風力発電所の建設工事において、各種 PC 鋼材を用いた重力式ケーソン基礎を採用し、構造安全性、耐久性、施工性を確保することができた。また、水理実験の結果をもとに、専用の櫓フレームを開発することで起重機船の吊り能力を超える基礎の輸送と外洋での基礎据付を高精度に実施することができた。上部工については、SEP や専用交通船を用いることで高い稼働率を確保し、陸上での事前ブロック化などを行うことにより作業の効率化を実現することができた。今回得られた知見を活用することで今後の洋上風力発電の発展に寄与できるよう努めていきたいと考えている。

なお、本報文で報告した内容は、NEDO と東京電力による共同研究「洋上風力発電等技術研究開発 洋上風力発電システム実証研究」の成果の一部であり、関係各位に謝意を表します。

表－5 SEP 主要搭載部材

|      | SEP くろしお                                                                                            | SEP あそ                                                                                              |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 洋上風車 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・650t クローラクレーン</li> <li>・タワー（1～3 節）</li> <li>・ナセル</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ブレード（No1～3）</li> <li>・タワー（4 節）</li> <li>・ローターヘッド</li> </ul> |



図－9 SEP 配置状況



写真－6 SEP 配置状況



写真－7 バスケットを用いた作業員移動