

# 国内初の沖合着床式洋上風力発電設備の施工

## 国内保有作業船の活用

林 田 宏 二

2013年1月、千葉県銚子沖合 3.1 km 地点に国内初の沖合における着床式洋上風力発電設備が完成した。外洋に面した建設地点の海域は常にうねりが入る非常に厳しい海象条件であることから、施工にあたっては、各工種において詳細な事前検討を実施し、フローティングドック (FD) や全旋回式起重機船、自己昇降式作業台船 (SEP) など国内に現有する作業船を最大限に活用することで、可能な限り作業条件の緩和と施工の効率化を図った。

本報文では、銚子沖での施工事例の紹介とともに、今後、日本において洋上風力発電を導入していくにあたっての課題について述べる。

キーワード：洋上風力、着床式、重力式ケーソン基礎、フローティングドック、起重機船、水理模型実験、SEP

### 1. はじめに

日本における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、2013年1月に千葉県銚子沖約 3.1 km の太平洋上に国内初の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が完成した(写真—1参照)。両構造物の建設にあたっては、洋上風力の導入が進んでいる欧州に比べて専用の施工機械も十分ではない状況で、常に太平洋からの「うねり」の影響を受ける非常に厳しい海象条件下における初めての建設

工事となることから、設計から施工の各段階において試行錯誤を重ねながら慎重に対応を進めた。

本報文では、施工上の大きなポイントであった基礎据付工および風車据付工について、国内に現有する各種作業船を工夫して用いた施工概要と、今後日本において洋上風力発電を導入していくにあたっての施工面の課題について述べる。

### 2. 構造概要

洋上風車の構造概要を図—1に示す。

風力発電機は、定格出力 2400 kW、ローター径 92 m の機種を洋上仕様としたものを使用している。

基礎は、建設地点の地盤条件から、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形式とした。厳しい海象条件下となる建設地点での施工時間短縮を図るために、中空のケーソン構造とし、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、その後に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工法を採用した。

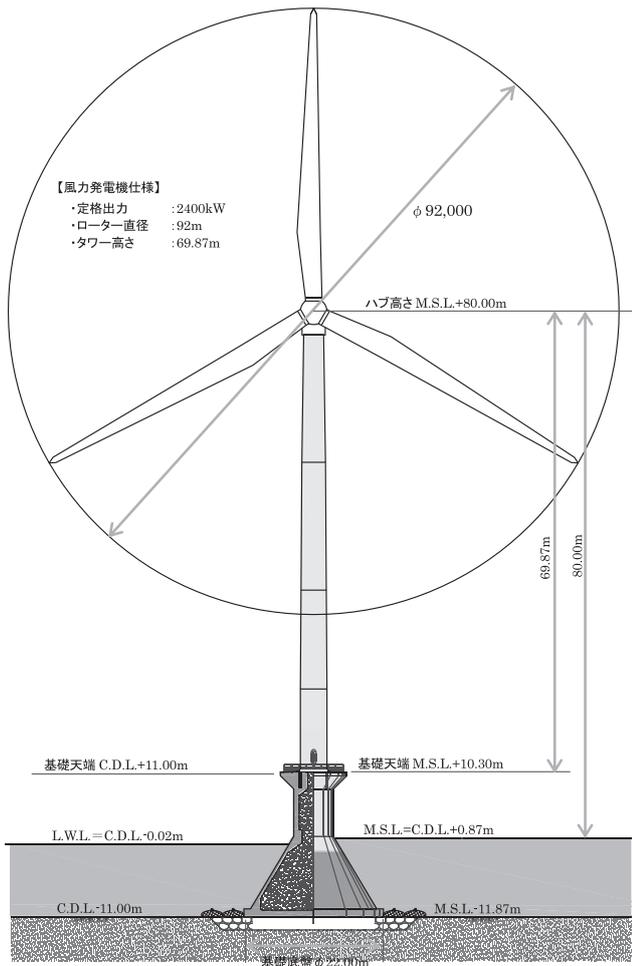
### 3. 全体施工フロー

建設地点である銚子沖で実施した施工フローおよび施工場所の概略を図—2、3に示す。

本工事では、風車1基のみの実証研究であるために特定の基地港を持たず、複数の港を利用して各作業を



写真—1 完成した洋上風車および観測タワー



図一 洋上風車構造概要

場所	鹿島港	銚子	横浜	銚子沖	木更津
工種	-14m泊地	黒生・名洗	MHI横浜	建設地点	
浚渫				浚渫	陸揚
砕石均し				砕石均し	
基礎据付	積込			基礎据付	
中詰材投入		積込		中詰材投入	
洗掘防止		積込		フィルターユニット設置	
風車据付			積込	風車据付	

図二 風車施工フロー（銚子沖）



図三 施工場所

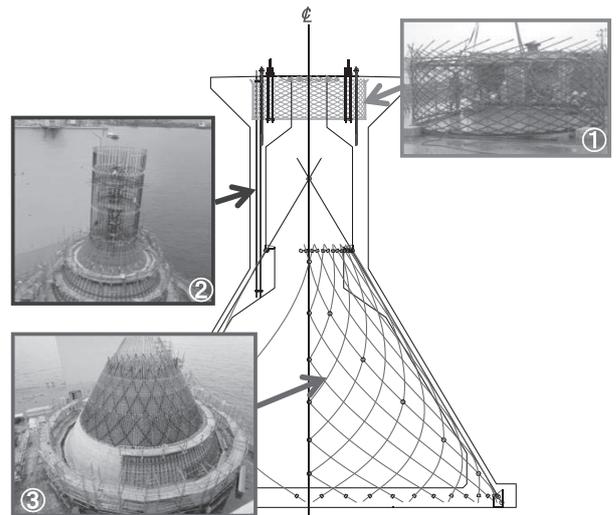
実施した。

以降に、図一2に示す工種のうち、基礎据付（製作・運搬含む）および風車据付の施工概要について示す。

#### 4. 基礎据付

##### (1) 基礎の製作

基礎構造については、図一4および表一1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。また最小壁厚が50 cm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、底板部以外の斜壁部、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。



図四 PC鋼材配置

表一1 基礎に使用したPC鋼材

部位	使用したPC鋼材仕様
①頂部	シングルストランド工法 (プレグラウト鋼材：1S17.8)
②鉛直壁部	エポキシ樹脂被覆 PC 鋼棒 (SBPR 930/1180, Φ 32)
③斜壁部	内部充てん型エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線 (9S15.2)

基礎の製作にあたっては、岸壁に接岸させて1100 tフローティングドック（以下、FD）上で実施した（写真一2、3参照）。

これは、基礎の運搬・据付に使用する全回転式起重機船（吊り能力1600 t）に対して、風車基礎の単体重



写真一2 岸壁に接岸したFD



写真一3 FD上での基礎製作状況



写真一4 基礎の積替 (FD → 起重機船)

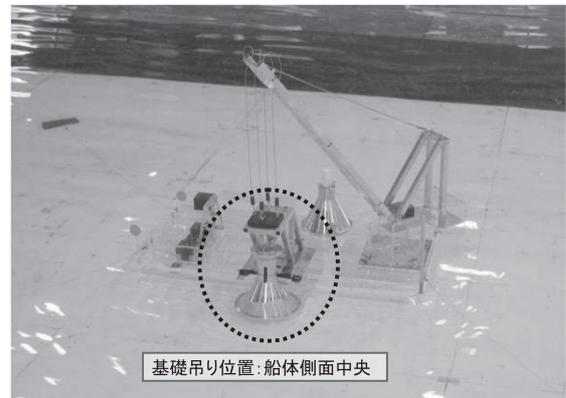
量が約2400tとなり、そのままの状態では吊り上げ作業ができないことから、写真一4に示すように基礎を積載したFDを沈下・海底面に着底させ、基礎に浮力を作用させることでクレーンの吊り能力以内の荷重とし、起重機船への積替を行うためである。

また、FDを使用することで長期間岸壁ヤードを占有することなく基礎の製作が行えるというメリットも生まれている。

(2) 基礎の運搬・据付

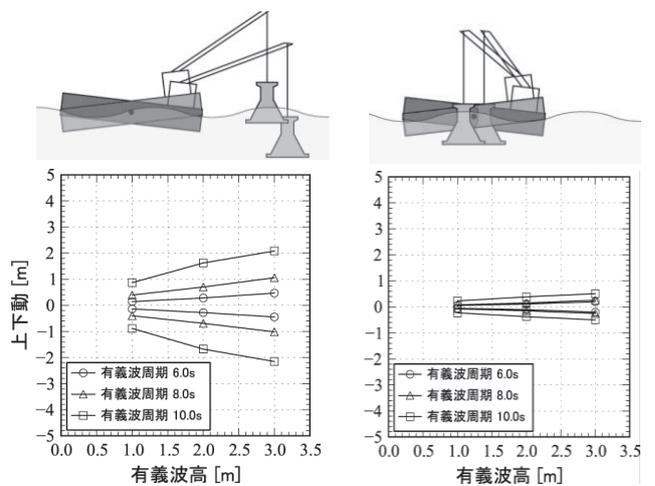
基礎の運搬は、基礎を吊って浮力を作用させた状態で、茨城県鹿島港から銚子沖建設地点まで60km以上の海上輸送となる。出港から基礎を据付し、帰港するまでの一連の作業で36時間必要となることから、作業時はもちろんのこと、天候急変等の緊急時対応のためにも、波浪による基礎の動揺をできるだけ小さくして、起重機船の機動力を最大限に発揮できるようにすることが重要となる。

そこで、事前に写真一5に示すような水理模型実験おおよび解析を行い、基礎の搭載位置による動揺量に関する事前検討を実施した。



写真一5 水理模型実験状況

その結果、図一5に示すように起重機船の縦揺れ(ピッチ)の回転中心となる船体側面の中央位置で基礎を配置することで波浪による船体の動揺の影響を最も小さくできることを明らかにした。



(基礎：船体正面) (基礎：船体側面中央)

図一5 水理模型実験結果

事前検討で得られた知見を踏まえて、図一6に示すような専用の槽フレームを開発し、起重機船の船体側面中央に艀装することで、動揺量が小さくなる位置での基礎の運搬と同時に据付作業を可能とした。

風車基礎の運搬および据付作業状況を写真一6, 7に、作業実績についてまとめた結果を表一2に示す。

作業当日の現場海域は有義波高  $H_{1/3} = 0.6 \sim 0.8$  m, 有義波周期  $T_{1/3} = 7 \sim 8$  sと事前に設定した作業条件内であり、所定の許容値に対して、非常に高い精度で基礎の据付を実施することができた。

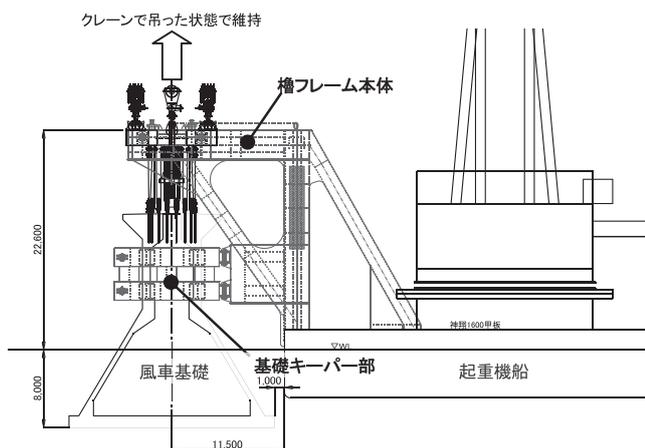


図-6 槽フレーム



写真-6 基礎運搬状況



写真-7 基礎据付状況

表-2 基礎据付出来形

据付平面位置	許容値		実績値
	東西方向	± 3.3 m 以内	東に 1.02 m
南北方向	± 3.3 m 以内	南に 0.70 m	
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°

## 5. 風車据付

### (1) 風車据付作業

風車の据付には、自己昇降式作業台船（以下、SEP : self elevating platform）を用いた。SEP を用

いることで海面上において安定した足場を確保でき、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（「SEPくろしお」と「SEP ASO」）を用いて、表-3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み、建設地点で全ての作業を行えるようにした。

表-3 SEP仕様および主要搭載部材

	SEPくろしお	SEP ASO
船体寸法 (L×B×D)	48 × 25 × 4.2 m	34 × 20 × 3 m
積載荷重	1060 t	500 t
洋上風車	・650tクローラクレーン ・タワー (1～3節) ・ナセル	・ブレード (No1～3) ・タワー (4節) ・ローターヘッド

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、据付作業を実施した（図-7、写真-8参照）。

風車部材の据付については、SEPを用いることで陸上における風車据付と同等の精度で作業を行うことができた。

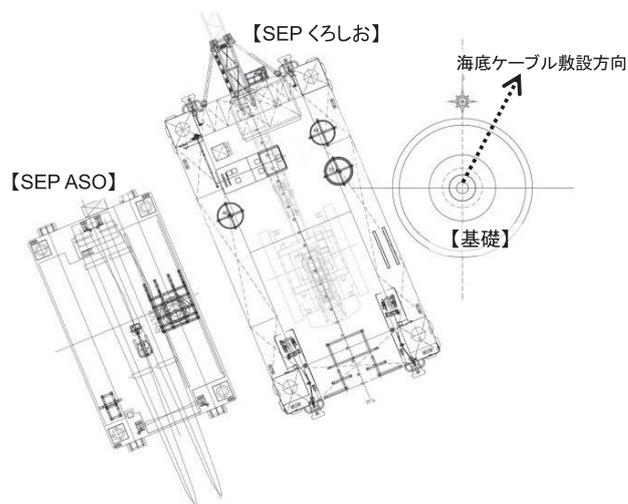


図-7 SEP配置状況



写真-8 風車タワー据付状況

なお、風車据付時の稼働率（SEP 入域～出域まで）は、計6つの台風を含む荒天の影響を受けたが、64%（ちなみに、台風の影響を受けなかった風況観測タワーでは87%）を確保することができた。

## (2) 専用アクセス船

SEP を用いることで作業における海象条件を緩和することができるが、さらにSEPを用いるメリットを最大限に生かすために、日々の作業員の移動についても、写真-9、10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アクセス船を備船し、欧州の油田プラットフォ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に乗下船できない状況を極力排除した。



写真-9 専用アクセス船およびバスケット

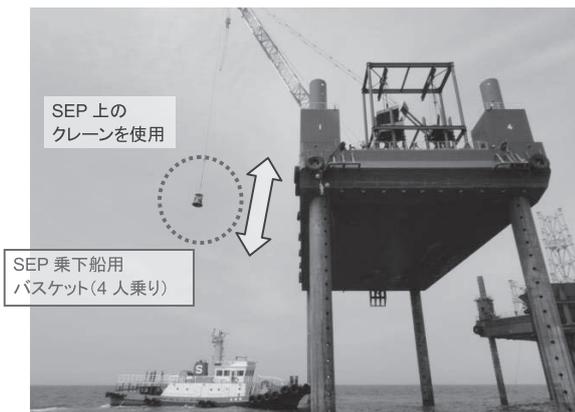


写真-10 バスケットを用いた作業員移動

風車据付後、海底ケーブルの敷設・接続（別工事）を行い、試運転調整を経て、2013年1月末に無事に発電を開始した。

## 6. 今後の課題・展望

前述したとおり、本工事では、風車1基だけの実証研究であることから、基地港や施工機械も十分ではない状況で乗り切らざるをえなかったが、今後事業としてウインドファームのような大規模な建設工事を行うにあたっては、これらの整備は必須要件となる。

現状においては、風車施工のための基地港を検討する場合、岸壁地耐力や長期間占有等々の問題が発生するケースが多いと考えられる。また施工機械についても、欧州で主流となりつつある定格出力5000kW以上の大型風車を据付可能なSEPや直径6mを超えるような大口径の杭を打設できるハンマーも国内にはない状況である。

他にも今後クリアすべき課題は山積しており、これらの課題に対して、事業者や施工者の努力による対応策の模索は当然のことであるが、同時に国や自治体の施策等によるリードも期待される場所である。

## 7. 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、国内にある作業船を工夫しながら活用し、高い施工精度と安全性を確保した作業を実施することができた。

今後も本工事で得られた様々な知見を活用することで日本における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(株)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す。

JCMA

### 【筆者紹介】

林田 宏二（はやしだ こうじ）  
鹿島建設株式会社  
環境本部 新エネルギーグループ  
次長

