研究
沿岸リポート

# 「洋上風力研究室」を設置（7月1日）

一般財団法人沿岸技術研究センター
研究主幹　岸 弘之

沿岸センターでは7月1日付けで「洋上風力研究室」（室長山本修司参与）を新たに設置しました。

洋上風力発電に関しては、これまで様々な調査研究や導入促進のための取り組みを進めてきましたが、この度、当センター内の体制を強化して精力的に活動することとしました。「洋上風力研究室」では洋上風力発電施設の構造設計に係る調査研究の実施、構造基準の策定支援に取り組みます。

昨年5月、洋上風力発電施設に対する港湾管理者による水域の長期占用許可の新たな仕組みが港湾法の改正で導入されることを踏まえ、関係団体とともに「洋上風力発電導入円滑化技術研究会」を設立しました。また、昨年から国土交通省及び経済産業省が設置した港湾における洋上風力発電施設検討委員会の設計技術WGに参加しており、「洋上風力研究室」では、この構造審査のあり方の作成に協力する他、プロジェクトの促進を図るため、同じく「洋上風力推進室」を設置した（一財）港湾空港総合技術センター（SCOPE）と（一財）寒地港湾技術研究センターとともに洋上風力発電円滑化技術研究会に「認証企画室」を設置し、欧州の洋上風力発電プロジェクトで制度化されているプロジェクト認証※1とマリンワランティサーベイ※2の企画について進めていく予定です。

当センターの「洋上風力研究室」の活動にご期待下さい。

※1）第三者機関が風力発電設備全体について、設置場所の条件に対して計画設計、建設、運転を含め、技術規格への適合性を確認・認証

※2）第三者機関が海上工事の安全性、確実性を確認

国際
沿岸リポート

# ヨーロッパにおける洋上風力発電施設に関する調査

一般財団法人沿岸技術研究センター
参与・洋上風力研究室長　山本 修司

## 1. はじめに

洋上風力発電施設の港湾への立地については、海洋基本計画（H25.4.26閣議決定）において「港湾区域においては、洋上風力発電が港湾の管理運営や諸活動と共生していく仕組みの構築によって、引き続き導入の円滑化に取り組む」とあります。また、長期エネルギー需給見通し（H27.7経済産業省決定）では、「大規模風力の活用等により最大限の導入拡大を図る」とあります。これらを受けて、改正港湾法がH28年7月に施行され、港湾区域等の占用の許可の申請を行うことができる者を公募により決定する制度（占用公募制度）が創設されました。

国土交通省は、経済産業省と連携して電気事業法及び港湾法の統一的な考え方に基づく洋上風力発電施設の構造審査基準を策定し、審査手続きの合理化（具体的には、港湾法に基づく港湾区域の占用手続きと電気事業法の工事計画届出の審査の一本化）や事業者の負担軽減を図ることとしています。

当センターでは、国土交通省港湾局から「着床式洋上風力発電施設の構造審査基準」の策定調査を受託し作業を進めています。

## 2. 構造審査基準の策定

洋上風車に関する国際規格としては、IEC61400-3：2009、Wind turbines-Part3：Design requirements for offshore wind turbinesがあります。それをJISに翻訳したものがJIS C1400-3:2014 風車—第3部：洋上風車の設計要件です。一般的に、国内規格を策定する際に既に国際規格が存在するか策定中である場合には、その国際規格をベースにすることがWTO/TBT協定で定められています。そのため、構造審査基準の策定にあたっては、IEC61400をベースに検討したいと考えています。

同規格の特徴的な事項は以下のとおりです。

①風の基準風速により風車カテゴリー(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、S)を定める。
②風車は「通常安全クラス」と「特殊安全クラス」のいずれかに従って設計される。
③設計荷重は構造動力学モデル(structural dynamics model)を用いて算出する。
④波に関する設計状況は、通常海況、高波浪時海況及び極値海況とする。
⑤波浪荷重は非線形不規則波の時刻歴解析により算出する。
⑥風と波の設計状況に応じた作用のランク分け及び風と波の方向の不一致性の考慮。
⑦設計荷重効果に関する2種類の計算法Approach 1及び2。
⑧荷重抵抗係数法による設計照査。

なお、地震作用、津波作用、洗掘作用、基礎の設計に関する具体的記述は無く、国際的あるいは国内的に認知された規格(例えば、基礎の設計はISO19900,19901-4,19902,19903など)によるものとされています。

## 3. 欧州調査

構造審査基準の策定作業を進める中で、

①IEC61400の基本的な考え方
②日本であまり経験のないモノポール基礎の設計
③コーン貫入試験(CPT)の適用
④氷作用、洗掘作用に関する最新の知見
⑤日本が考える耐震設計
⑤設計計算ツール
⑥欧州でのコスト縮減の取り組み
⑦プロジェクト認証制度

などについて認識を深める必要があると感じたので7月の中旬に主要機関を訪問し意見交換してきました。訪問先は表1のとおりです。意見交換で得た主な知見は次のとおりです。

### 3.1 タワーと基礎の設計作業

ロータ・ナセル・アセンブリー(RNA)とタワーの設計はタービンのサプライヤーが、基礎の設計は基礎設計会社が担当し責任の分担を明確にしているようです。タービンサプライヤーは風荷重と風を制御する力について空力弾性応答解析を行い基礎との境界面における断面力の時刻歴を求めます。基礎設計会社その断面力に波荷重の時刻歴を加算してジャケット等の基礎の断面力を算定し諸元を決定します。両者は、この作業を繰り返して、RNAとタワーが共振をおこさない構造諸元を設定するとともに、終局・使用・疲労の各限界状態の安全性を照査します。

表1　訪問先

| | |
|---|---|
| MVOW<br>(MHI Vestas Offshore Wind A/S) | 基準、設計条件、風車設計 |
| Ramboll | 基準、設計条件、基礎設計 |
| DNV GL | 基準、設計条件、風車、基礎設計、認証制度<br>建設現場見学 |

写真1　デンマークのウインドファーム※1

※1) ウインドファームにおける風車の一般的な大きさは以下のとおり。
タワーの高さ：約40～60m
風車の直径：約90m
タワーの間隔：約400m
風車一基当たりの発電能力：約2～8MW

写真2　船積みを待つナセル※2

※2) ナセル：風車の心臓部を収納する大きなボックス。風の力を電気に換える増速機や発電機、翼の角度を自動的に変えることができるコンピューターなどが収められている。

時刻歴解析の計算ケースは8,000ケース以上になりますが、通常の設計業務では珍しいことではないそうです。

### 3.2 設計計算法

IEC61400-3では、計算法としてアプローチ1及び2が定義されています。前述の時刻歴解析ではアプローチ1を使用しているとのことです。アプローチ2は、設計作業の初期段階において、構造全体を静的解析（地盤の非線形性は考慮）する場合に適用するようです。

IEC61400-3では、波と風が同時に作用する場合の荷重係数（partial safety factors for loads）は明確に定義されています。しかし、基礎や地盤など抵抗側の抵抗係数（partial safety factors for resistances）は、信頼性のおける国際規格に従ってよいとの記述があるだけです。設計実務においてどのような係数を使用しているか聞きましたが、明確な回答を得られませんでした。コンサルタント契約（有償）を結べば、専門家を集めて回答するとのことでした。

写真3　Rambollの技術者とのディスカッション

### 3.3 風力発電施設専用港湾

MVOWやSiemensが洋上風力発電施設の組立、積み出しを行うEsbejerg港を見学しました。タワー（約350トン）は岸壁エプロンのすぐ近くで鉛直に組立てられ、セップ船のクレーンで鉛直のまま積み込まれます（写真4）。ナセル（約200トン）は蔵置ヤードから岸壁まで専用の運搬車で移動させます（写真2）。タワーの建て込みヤードは安全率を考慮して30~50t/㎡の極限支持力が必要になります。地盤改良をやっているのか専用の杭基礎があるのかは確認ができませんでしたが何らかの対応が必要になるでしょう。このような専用港湾はコスト縮減と工期短縮に大きく貢献しているとのことです。

写真4　セップ船と船積みを待つタワー

## 4. おわりに

日本では、鹿島港において陸に近いところで実機が稼働中ですが、水深の大きいところでの着床式風力発電施設は、NEDOにおける実証実験が行われている段階です。一方、欧州の洋上風力発電は20年以上の実績があります。調査、設計、建設及び運用において一日の長があると感じました。また、IEC61400では緻密に計算ケース（D.L.C）が規定されていますが、まだ設計実務としての基準書としては改善の余地があると思います。

洋上風車の設計は、作用と抵抗が風、波、流れ、地震、地盤、使用材料が鉄、コンクリート、ゴム、構造解析が動的解析、非線形不規則波、材料非線形、幾何学的非線形、設計照査が終局、使用、疲労、衝突等の各限界状態と多岐にわたっています。土木構造物の設計のあらゆる要素が入っているので、大学の授業の一つに入れると土木に関する総合的な視野を養うのに役立つのではないでしょうか。