

港湾における洋上風力発電設備  
の施工に関する審査の指針  
(平成30年3月版)

港湾における洋上風力発電施設検討委員会

## はじめに

再生可能エネルギーは、我が国における国産エネルギー資源の拡大、低炭素社会の実現、関連産業創出などの観点から、普及の拡大が期待されている。特に、長期エネルギー需給見通し（平成27年7月経済産業省）において、2030年の電源構成のうち再生可能エネルギーの割合が22～24%と見込まれる中、関係府省庁が一丸となって導入に向けた取り組みを進めている。このうち洋上風力発電については、海洋基本計画（平成25年4月閣議決定）やエネルギー基本計画（平成26年4月閣議決定）において、その導入拡大が位置づけられている。洋上は、陸上に比べて風況が良好であり高効率な発電が可能であるとともに、風車の大きさに関する制約が少ないことから陸上よりも大型の風車の設置が可能とされている。

一方、洋上風力発電の導入適地として港湾が有望視されるなか、平成28年7月に改正港湾法が施行され、港湾区域等の占用予定者を公募により決定する占用公募制度が創設された。港湾区域に洋上風力発電設備等を導入する場合、当該設備の工事实施の方法等に関する港湾管理者による審査を経て、水域占用許可が与えられる。洋上風力発電設備の施工は民間工事であるものの、公有水面であり稠密な利用がなされる海域や港湾における工事であるため、水域等を管理する港湾管理者が安全、円滑かつ確実な工事が実施され、海域・港湾利用が阻害されないことを確認する必要がある。事業者による施工の計画にあたっては、欧州における洋上風力発電設備の施工規格DNVGLを参考としつつ、オフショア・ニアショアでの高所作業を伴う工事であることや台風・地震など日本特有の自然条件や社会条件等を十分に考慮する必要がある。

このように、港湾管理者による施工に関する審査が必要とされるなかで、洋上風力発電設備の施工が安全、円滑かつ確実に実施される事を担保するとともに、事業者の負担軽減や審査手続きの合理化を図るためには、審査の観点が明確化される必要がある。「港湾における洋上風力発電設備の施工に関する審査の指針（平成30年3月版）」（以下、本審査指針とする。）は、港湾法に基づく洋上風力発電設備等の施工に関する審査の観点を解説するものである。

本審査指針は、平成30年3月時点での関係法令及び国内外関連規格、施工技術等を踏まえて策定したものである。今後の関係法令及び国内外関連規格の動向や施工技術の進展等を鑑み、本審査指針を必要に応じて改訂していくものとする。

### 【港湾における洋上風力発電施設検討委員会 委員名簿】

- ◎牛山 泉 足利工業大学 理事長  
清宮 理 早稲田大学 創造理工学部 社会環境工学科 教授  
石原 孟 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授  
白神 孝一 経済産業省 商務情報政策局 産業保安グループ 電力安全課長  
山崎 琢矢 経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー課長  
稲田 雅裕 国土交通省 港湾局 技術企画課長  
中崎 剛 国土交通省 港湾局 海洋・環境課長

### 【港湾における洋上風力発電施設検討委員会 施工技術ワーキンググループ 委員名簿】

- ◎清宮 理 早稲田大学 創造理工学部 社会環境工学科 教授  
池谷 毅 東京海洋大学 学術研究院 海洋資源エネルギー学部門 教授  
岩波 光保 東京工業大学 大学院理工学研究科 土木工学専攻 教授  
菊池 喜昭 東京理科大学 理工学部 土木工学科 教授  
本田 明弘 弘前大学 北日本新エネルギー研究所 教授  
関田 欣治 (一財)沿岸技術研究センター 顧問  
大野 正人 (一財)港湾空港総合技術センター 理事  
鈴木 勝 (一社)日本埋立浚渫協会 企画部長  
下迫健一郎 (国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 海洋インフラ・洋上風力技術センター長  
井山 繁 国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室長  
\*峯 敏雄 電源開発(株) 土木建築部 審議役 (港湾技術担当)  
\*福本 幸成 東京電力ホールディングス(株) 経営技術戦略研究所 技術開発部 洋上風力発電プロジェクトマネジャー  
\*伊藤 正治 (国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部 風力・海洋グループ 統括研究員  
\*海津 信廣 (一社)日本風力発電協会 技術部長  
\*経済産業省 商務情報政策局 産業保安グループ 電力安全課  
\*経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー課  
\*国土交通省 港湾局 技術企画課 建設企画室

### 【港湾における洋上風力発電施設検討委員会・同施工技術ワーキンググループ 事務局】

- 国土交通省 港湾局 海洋・環境課  
(一財)港湾空港総合技術センター 洋上風力推進室

※ ◎は委員長、\*はオブザーバーを表す。

## 目次

### 関係法令

○港湾法（昭和 25 年法律第 218 号）（抄）	1
---------------------------	---

### 第 1 章 総 則

1.1 適用範囲	2
1.2 用語の定義	4
1.3 関連法規・関連規格	8
1.4 海域・港湾利用との調和	9

### 第 2 章 施工の計画等

2.1 事前調査	10
2.2 施工の計画	12

### 第 3 章 施工方法

3.1 準備工	15
3.2 基礎・下部構造物の施工	16
3.3 タワー・風車の設置	19
3.4 送電線・ケーブルの敷設	20
3.5 サブステーション等の設置	22

### 第 4 章 海上作業における留意点

4.1 SEP 船による海上作業	23
4.2 海上における船舶の位置保持	24
4.3 海上輸送	26
4.4 揚重作業	29

### 第 5 章 施工管理方法

5.1 品質管理・出来形管理	32
5.2 工程管理	35

### 第 6 章 工事安全対策

6.1 安全対策	37
6.2 施工に必要な免許、資格等	39
6.3 防災対策	40

### 第 7 章 その他

42
----

## 関係法令

港湾法に基づく洋上風力発電設備の施工に関する法令を、以下に示す。

### ○港湾法（昭和 25 年法律第 218 号）（抄）

（公募占用計画の提出）

第三十七条の四 公募対象施設等を設置するため港湾区域内水域等を占用しようとする者は、公募対象施設等のための港湾区域内水域等の占用に関する計画（以下「公募占用計画」という。）を作成し、その公募占用計画が適当である旨の認定を受けるための選定の手続に参加するため、これを港湾管理者に提出することができる。

2 公募占用計画には、次に掲げる事項を記載しなければならない。

一～四 （略）

五 工事実施の方法

六 工事の時期

七～十一 （略）

3 （略）

（占用予定者の選定）

第三十七条の五 港湾管理者は、前条第一項の規定により港湾区域内水域等を占用しようとする者から公募占用計画が提出されたときは、当該公募占用計画が次に掲げる基準に適合しているかどうかを審査しなければならない。

一 当該公募占用計画が公募占用指針に照らし適切なものであること。

二 当該公募対象施設等のための港湾区域内水域等の占用が第三十七条第二項の許可をしてはならない場合に該当しないものであること。

三・四 （略）

2～5 （略）

## 第1章 総則

### 1.1 適用範囲

本審査指針は、港湾における洋上風力発電設備等の施工に関する港湾法に基づく審査に適用する。

#### (1) 本審査指針の目的

港湾法第三十七条においては、港湾区域等を工事实施等により占用しようとする者は、港湾管理者の許可を受けなければならないこととされている。また、港湾管理者は、当該占用が、港湾の利用若しくは保全に著しく支障を与え、又は港湾計画の遂行を著しく阻害し、その他港湾の開発発展に著しく支障を与えるものであるときは、許可をしてはならないこととされている。港湾法第三十七条の八においては、認定を受けた公募占用計画に従って公募対象施設等の設置等をしなければならず、これに違反した場合、港湾管理者は計画の認定を取り消すことができることとされている。

本審査指針は、洋上風力発電設備等の工事实施の方法に関して、審査の観点を解説するものである。本審査指針は、図 1.1 に示すように、洋上風力発電設備、洋上変電設備、海底送電線、観測塔及び通信ケーブルを対象としている。ここで、洋上風力発電設備とは、ロータナセル・アセンブリ (RNA)、タワー、下部構造、基礎の各部からなる構造物を総称するものである。洋上風力発電設備等とは、洋上風力発電設備、洋上変電設備、海底送電線、観測塔及び通信ケーブルを総称するものである。

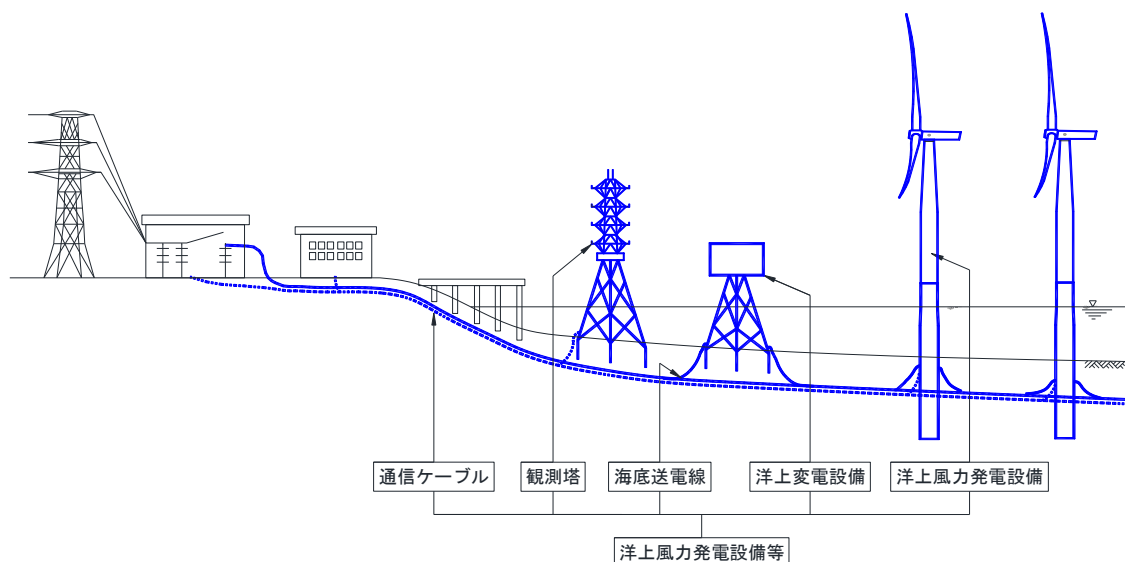


図 1.1 本審査指針での対象となる設備

本審査指針では、洋上風力設備の支持構造物の構造形式として、図 1.2 に示すように、鋼製タワー、モノパイル構造やジャケット構造を用いた杭式基礎、重力式基礎を提示している。ここで、タワー、下部構造、基礎を総称して支持構造物という。これらの他にもコンクリート製タワーやトリポッド型下部構造、サクシオン式基礎などを採用することも考えられるが、このような特殊な構造形式を採用する場合なども本審査指針を準用することができる。なお、浮体

式の洋上風力発電設備については着床式とは施工方法が異なるが、一般化が見込まれる段階で、施工の審査指針について検討していくこととしたい。

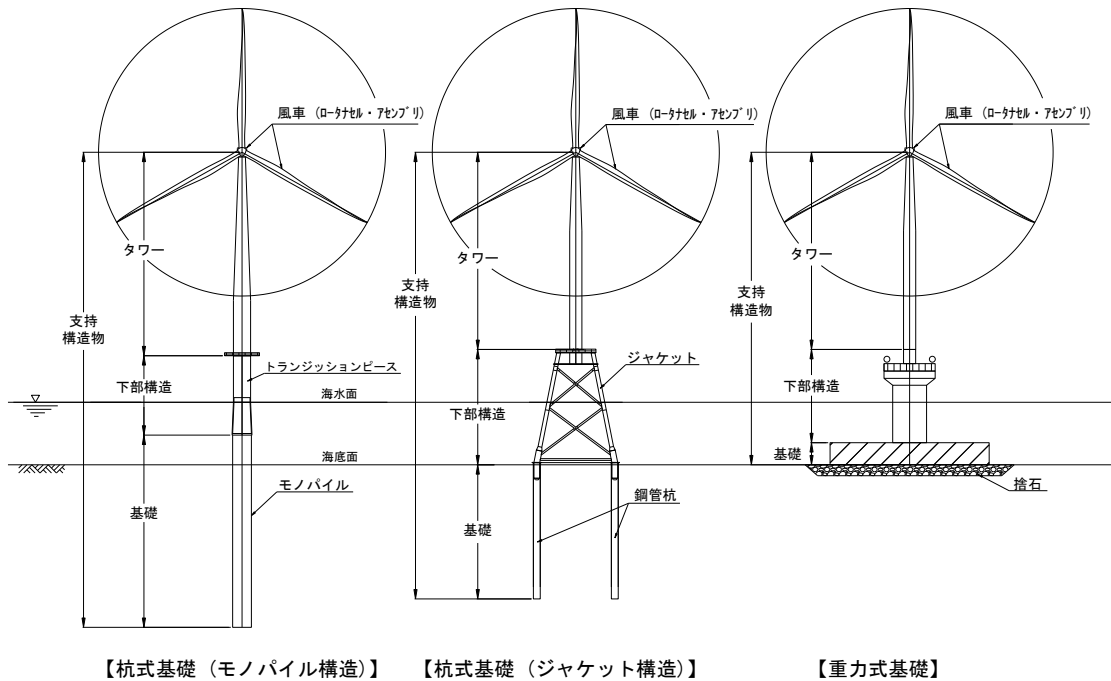


図 1.2 洋上風力発電設備の各部名称及び形式 (IEC 61400-3 に準拠して定義)

洋上風力発電設備の施工は、これまで我が国に事例の少ない外洋域に面したオフショア・ニアショアの海域における大規模な工事が必要であるとともに、日本特有の気象・海象・地盤条件のなかでの高い精度が要求される高所作業、クレーン作業、電気工事、潜水作業など高度な施工技術が求められる。欧州においては、洋上風力発電設備の施工の特性やリスクに鑑み、第三者機関による施工に関する認証を行うことが一般的である。これを踏まえ、港湾における洋上風力発電設備の工事にあたり、安全、円滑かつ確実な施工のため、施工の安全性や確実性について第三者機関による担保を得ることが望ましい。

また、洋上風力発電の事業性の観点において、施工コストが事業費のうち大きな割合を占める。洋上風力発電設備等の施工では、その規模、自然条件、施工性等を踏まえると、様々なリスクを抱えることから、公有水面に与える影響を勘案し、リスクが発生した場合に備え、リスクを補完する仕組みを有することが望ましい。

## 1.2 用語の定義

本審査指針において使用する用語は、港湾法及びこれらに関連する法令等において使用する用語の例による。

### (1) 風力発電設備関係の用語

#### ○ウィンドファーム

配置された複数基の風力発電設備等をいう。

#### ○下部構造

洋上風力発電設備等の支持構造物のうち、海底より上方に突き出し、かつ、基礎をタワーに接続する部分をいう。

#### ○基礎

洋上風力発電設備等の支持構造物のうち、ロータナセル・アセンブリ、タワー、下部構造に作用する荷重を海底地盤に伝える部分をいう。

#### ○サバイバル条件

災害、危機等から逃れるための条件。

#### ○支持構造物

風車(ロータナセル・アセンブリ)を支持する構造物の総称であり、タワー、下部構造及び基礎で構成される。

#### ○タワー

洋上風力設備の支持構造物のうち、下部構造とロータナセル・アセンブリとの間にある部分を言う。

#### ○トランジションピース

モノパイル基礎とタワーを接続する部材。モノパイル打設後の鉛直度に対し、タワーに要求される鉛直精度を満たすため、タワーの傾きを調整する役割も果たしている。

#### ○ハブ高さ

洋上風力設備におけるロータの受風面積の中心の平均水面からの高さをいう。

#### ○風車(ロータナセル・アセンブリ)

支持構造物によって支えられる洋上風力設備の部であり、ロータ部とナセル部で構成される。ロータ部はブレード(翼)、ロータ軸、ハブなどで構成される。発電機部は発電機軸、発電機、制御機器、増速機などで構成され、ナセルと呼ばれる躯体に収納される。これらの部材により風の運動エネルギーが回転エネルギーに変換される。ロータナセル・アセンブリはRNAと表現する場合もある。

#### ○洋上風力設備

風車(ロータナセル・アセンブリ)、タワー、下部構造、基礎の各部からなる構造物を総称するものである。

#### ○洋上風力発電設備

洋上風力設備、洋上変電設備及び海底送電線を総称するものである。

#### ○洋上風力発電設備等

洋上風力発電設備、観測塔及び通信ケーブルを総称するものである。



○ロータ（回転翼）

洋上風力設備における風車（ロータナセル・アセンブリ）の回転翼のことで、ロータ軸先端のハブのまわりにブレード（羽部材）を取り付けた回転体全体をいう。

**(2) 作業船・クレーン関係の用語**

○アレイケーブル、エクスポートケーブル

風力発電機側の数基の発電機どうしを接続する電力ケーブルをアレイケーブル、陸上側（連系変電所）に向かう電力ケーブルをエクスポートケーブルという。

○グロメット

ワイヤー、ロープを円形状にしたもの（エンドレスワイヤー/ロープ）。

○スパッドカン

レグの底部（海底接触部）の部分。

○スリング

ワイヤーロープ、繊維ロープなどの両端にアイ形状の加工をしたもの。

○SEP船（Self-Elevating Platform：自己昇降式作業台船）

自己昇降設備を装備した船舶。船体に装備したレグにより、海面上に自らの船体を上下できる作業用台船。

○タガーライン

タガーロープともいう。サイドから取り付けた、吊り荷の回転を防ぐロープのこと。

○DPS船：（DPS：Dynamic Positioning System 自動位置保持装置）

自動位置保持装置を装備した船舶。潮流、風及び波などの外力に対し推進用プロペラ及びスラストなどの推力を利用して洋上の定点に自動的に位置保持させることができる。

○リギング

ロープ・ワイヤ・滑車などの総称。

**(3) 工学関係の用語**

○うねり

その波を発生させた風から離れて進行している波で、周期が長く波峰が延び、風浪よりも規則的なものをいう。

○エアギャップ

海面からSEP船の船底迄の距離（クリアランス）

○滑動

物体がその支持面上を水平に移動する現象をいう。

○気象・海象

気象及び海象を合せた略語を言う。

○サイト

洋上風力発電設備等の計画された位置をいう

○水深

海底面と静水位との鉛直距離をいう。静水位には幾つかの場合があるため、水深の値も一つとは限らない点に注意する必要がある。

○スタビリティ

安定性 (安全性)

○洗掘

流れが底質や基盤を掘り下げる作用及びその掘り跡をいう。

○潮流

潮汐の干満に伴って生ずる海水の水平運動をいう

○津波

海底地震や海底火山の爆発などによって生じる長周期の波をいう。

○波の周期

波形の時間的な繰返しの間隔をいう。規則波の水面変動を固定した 1 点で測定すると、同じ波形が繰返し現れる。この繰返しの時間間隔を周期という。不規則波の場合は波形の時間記録におけるゼロアップ(ダウン)クロス点の間隔を指す。

○パンチスルー

押した箇所耐力が不足して、孔のように抜けてしまう現象。

○波高

波の峰の高さと谷の高さの差をいう。

○ヨー

yaw-前後・左右・上下が定まった物体が、上下を軸として (つまり、水平面内で) 回転すること。

#### (4)略語・記号

○D A F : Dynamic Amplification Factor

動的割増係数

○M B L : Minimum Breaking Load

最小破断荷重

○O P<sub>LIM</sub> : Operational limiting criteria

作業限界基準

○S K L : skew load

傾斜積載 偏心荷重

○T<sub>C</sub> : Contingency period

想定外の作業見込み時間

○T<sub>POP</sub> : Planned operational Period (without contingencies, TC)

計画作業時間

○T<sub>R</sub> : Operation Reference Period (including contingencies, TC)

作業基準期間

○T<sub>SAFE</sub> : Time to safely cease the operation

安全に操作をする時間

○ $T_{WF}$  : Time between weather forecasts

天気予報間の時間

○ $WLL$  : Working Load Limit

使用荷重限界

### 1.3 関連法規・関連規格

洋上風力発電設備等を設置するための計画、調査および施工等にあたっては、港湾法に従う他、安全で適切に施工できる基準・指針等に準拠するものとする。

#### (1) 関連法規

我が国において、洋上風力発電設備等の工事实施に際して、遵守する必要がある主な法令として、以下のものが挙げられる。これ以外の法令についても、その定めるところにより遵守しなければならない。

- 海上衝突予防法（昭和 52 年法律第 62 号）
- 海上交通安全法（昭和 47 年法律第 115 号）
- 港則法（昭和 23 年法律第 174 号）
- 航空法（昭和 27 年法律第 231 号）
- 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律（昭和 45 年法律第 136 号）
- 振動規制法（昭和 51 年法律第 64 号）
- 騒音規制法（昭和 43 年法律第 98 号）
- 労働安全衛生法（昭和 47 年法律第 57 号）
- クレーン等安全規則（昭和 47 年労働省令第 34 号）
- 建設業法（昭和 24 年法律第 100 号）
- 電気工事士法（昭和 35 年法律第 139 号）
- 電気事業法（昭和 39 年法律第 170 号）

等

#### (2) 関連規格

洋上風力発電設備等の施工にあたっては、以下の規格を参考にすることができる。

- DNVGL-ST-N001 Marine operations and marine warranty
- DNVGL-ST-N002 Site specific assessment of mobile offshore units for marine warranty

#### 1.4 海域・港湾利用との調和

公有水面である海上における施工を実施する際には、海域や港湾の利用を阻害することなく、利活用する者との調和を図りながら施工を実施しなければならない。

##### (1) 海域や港湾の利用を阻害しない工事の実施

洋上風力発電設備の施工では、風車部材の搬入、保管、積出しなどで、岸壁やその背後地などの港湾施設を利用することとなるが、長大な重量物を扱うクレーン等の重機の稼働や、作業船の係船などが、港湾利用や港湾構造物に影響を及ぼすことが考えられる。

海域においては、貨物船、旅客船、プレジャーボート、漁船など多様な主体が利用していることから、安全・円滑な海上交通の確保が重要である。施工にあたっては、事前に海域や港湾の利用実態を十分に調査・把握し、港湾及び海域利用への影響や港湾施設への影響が最小限となるように、適切な施工計画を策定しなければならない。管理の上では、動態観測の実施や、必要に応じた損傷防止対策を講じることも考えられる。また、漁業等の利用者との調和を図ることが重要である。海域の先行利用者に対しては、事業者により丁寧な説明や調整を行う事で、理解を得る必要がある。

## 第2章 施工の計画等

### 2.1 事前調査

洋上風力発電設備等の施工にあたり、安全、円滑かつ確実に施工するための準備として、自然条件や社会条件等の調査を実施し、設置海域の状況を適切に評価しなければならない。

#### (1) 自然条件の調査

洋上風力発電設備等の施工にあたっては、施工稼働率を踏まえた工程計画や作業限界を踏まえた安全管理計画を適切に策定するため、気象・海象・地盤等の条件を把握する必要がある。また、現場施工段階においても、施工可否判断や作業用船舶の配備計画等、各種作業の工程調整等のため、施工期間中にわたり気象・海象観測を行う必要がある。なお、気象・海象条件の推算にあたり、観測データを使用する場合は、データの精度や観測期間の妥当性を検討する必要がある。

##### ①気象条件調査

対象となる気象条件には、風、降雨、霧、気温等が挙げられる。これらは、観測データや数値シミュレーションなどの手法により調査される。また、資機材の海上輸送における安全を確保するため、台風・雷等の影響も調査する必要がある。さらに、風速データについては、観測地点や観測高さが適切なものであるかが重要となる。

##### ②海象条件調査

対象となる海象条件には、波浪（波高、周期、波向）、潮位、潮流等が挙げられる。既往の波浪データについては、統計処理や波浪シミュレーションの結果から波浪特性を把握し、工程計画や施工管理に役立てられる。

##### ③地盤条件調査

深浅測量や海底地形調査を含めた地盤条件調査は、通常、設備の構造設計前に実施される。また、我国の沿岸域の地盤の特徴として、河川の流れ等により3次的に複雑な形となって形成された沖積層（例えば、局地的に存在するレンズ状のシルト層や砂礫層）が存在する場合があることから、地盤条件調査は、基礎の打設方法の検討や施工機械の機種選定等を行う上で重要となる。その他に、例えばSEP船のジャッキアップのために、設置海域や岸壁前面や作業ヤードの地盤条件や地震等の影響について資料収集（必要に応じて調査実施）なども必要となる。

#### (2) 危険物探査

洋上風力発電設備等の設置海域における残存機雷は、施工時のみならず、供用後の安全確保にも影響を及ぼす可能性がある。危険物探査の必要性については、対象海域が以前爆撃を受けているか、旧基地が近傍にあり危険物投機の可能性があったかなどを考慮する。探査の結果、危険物を発見した時は、速やかに警察署、海上保安庁、港湾管理者等に報告してその指示を受ける必要がある。

### (3) 社会条件の調査

洋上風力発電設備等の施工では、長大かつ重量物であり、各地より調達する必要がある大量の資機材を扱うため、長期間にわたり建設基地となる港湾（岸壁や作業ヤード）や海域を使用することが想定される。このため、港湾や海域の利用に対して支障を及ぼさないように、以下に示す社会条件を十分に把握し、対策等が必要である。

- ・ 作業船の調達先、回航ルート
- ・ 主要資材の調達先、輸送ルート
- ・ 建設基地となる港湾における基礎構造物の製作ヤード、資機材ヤード（面積、地耐力など含む）
- ・ 建設基地となる港湾における積出し、水切り施設（岸壁耐力）
- ・ 作業船の退避場所（回航時を含む）
- ・ 海域利用の状況
- ・ 既設構造物（魚礁、パイプライン、海底ケーブル等）の有無
- ・ 空域制限

等

### (参考)サイト固有の評価 (SSA : Site Specific Assessment)

DNVGL においては、オフショア作業船の安全かつ円滑な作業を確保するため、風車設備積込み場所、風車設備設置場所など、必要な場所でのサイト固有の評価（以下、SSA とする。）を実施することが推奨されている。

SSA の主な目的としては、オフショア作業船の操船にあたり、サバイバル条件及びオペレーション条件の特定、作業手順、各作業でのクレーンエンベロープ、スタビリティ、転倒・滑り・横ずれ、レグの貫入量・急激な貫入・パンチスルー、エアギャップ、船体・レグ・スパッドカン・各種機器などの耐力の確認等が挙げられる。

SSA を行うに当たって、必要に応じて以下の環境条件、周辺条件、作業条件を不足することなく適切に使用する必要がある。なお、使用するデータ・条件の信頼性の確認も行う必要がある（データの新旧、量、細かさ、精度、採取場所、再現期間など）

- 波高／波周期／風速／潮位／潮流速度／気温
- 水深／深浅測量結果／土質試験結果／海底表面調査結果／海底下調査結果／浅層地震調査結果／コーン貫入試験結果
- 磁気探知器調査結果／着氷の有無／海洋生物の付着
- 海水面、海中、海底地盤上、海底地盤中にあるインフラストラクチャーを含む構造物の情報
- 積荷の条件を含む船舶の条件／係留設備の条件 など

## 2.2 施工の計画

洋上風力発電設備等の施工にあたっては、我が国特有の自然条件や国内の一般的な海上工事に準じた上で、オフショア・ニアショア施工の特性を踏まえ施工計画を立案するものとする。

### (1) 施工の計画

洋上風力発電設備等の施工の計画にあたっては、「1.3 関連規格・関連法規」に示す諸法令等を遵守し、関係機関に対して必要な手続きを行うものとする。なお、手続きに許可承諾条件がある場合には、これを遵守しなければならない。

施工の計画においては、施工の現場における様々なリスク・実施上の課題等を把握し所要の対策を検討しておく必要がある。特に、洋上風力発電設備等はオフショア・ニアショアの外洋に面した海域に設置されることから、特殊な施工条件下での工事、特殊な作業用船舶又は機械を用いる作業であるため、計画策定の段階で十分に実現性及び安全性を確認することが必要である。

なお、施工計画の立案にあたり、事前に次の事項について調査・検討する必要がある。

- 作業区域に係る法的な制限及びそれに対する手続き
- 作業区域を活動の場としている利害関係者及び海域利用の状況
- 建設の基地となる港湾施設
- 航行制限の有無及び当該制限が作業に及ぼす影響
- 架空線、橋梁等の水上障害物及び海底ケーブル、配管等水中障害物、埋設物等の有無
- 気象・海象の季節的及び地域的な特性
- 技術者の配置
- 作業条件にあった機械・作業船の能力
- 作業船の係留・避難場所の確保
- 材料、機材の運搬方法及び運搬経路
- 事故防止対策及び事故発生時の処置並びに連絡先
- 監視船の必要性
- その他必要な事項

### (2) 施工計画書の作成

工事着手前に、洋上風力発電設備等の設置海域における特徴的な環境条件、物理的制約、設計条件、および施工精度・許容誤差等をまえ、工事目的物を完成するために必要な手順や工法等を記載した施工計画書を作成し、港湾管理者の確認を受け、当該施工計画書を遵守しなければならない。

なお、施工計画書に次の事項を記載する必要がある、港湾管理者がその他の項目の補足を求めた場合は、追記しなければならない。

- ① 工事概要
- ② 計画工程表
- ③ 施工体制
- ④ 主要船舶機械



- ⑤主要資材
- ⑥施工方法
- ⑦施工管理
- ⑧安全管理
- ⑨緊急時の体制及び対応
- ⑩環境対策
- ⑪現場作業環境の整備
- ⑫再生資源の活用の促進と建設副産物の適正処理方法
- ⑬海域利用者との調整方法
- ⑭建設の基地となる港湾施設
- ⑮その他

### (3) 計画工程

工程の計画にあたっては、自然条件、社会条件、船舶航行の状況、資機材を勘案して、適切に策定する必要がある。洋上風力発電設備等の施工にあたっては、当該海域の気象・海象の特性や作業船のスペックを考慮した稼働率、作業船や施工機械の調達目論見等の検討や、資機材の搬出入や保管のための建設の基地となる港湾施設である岸壁やヤードの占用、あるいは海上施工に伴う水域の占用について、検討する必要がある。これらを踏まえ、港湾施設や水域の占用は必要最小限度の期間や範囲とすべきであり、その妥当性や港湾の開発・利用・保全に著しい支障がないことを、港湾管理者は審査しなければならない。

工程の検討にあたっては、資機材の海上輸送及び海上工事区域や既設構造物を考慮し、当該海域での地震・台風・津波などの環境条件により引き起こされる負荷に耐えるように、適切な環境設計条件を設定する必要がある。

### (4) 施工の体制

#### ① 施工体制図の作成

計画工程に基づき施工体制図を作成し、施工計画の中に反映するものとする。ここでは、作業に携わる組織および重要な作業員の責務を明確に定義し、不確実性と責任の重複を最小限とする。なお、海上工事における安全確保及び円滑な施工のため、施工を行う者は、気象・海象・地盤条件に精通するとともに国内の施工関係法令を熟知し、周辺海域の自然条件・社会条件を踏まえ適切な施工管理及び安全管理の体制を構築できる者でなければならない。

#### ② 連絡体制の構築等

複数の工事が相互に関連する建設現場では、関係者の間で安全施工に関する密な情報交換を行い、各工事を安全、円滑かつ確実に実施するように努めるものとする。必要に応じて、工事関係者連絡会議を組織するなどの対策を講じるものとする。また、施工内容や場所、施工期間、使用船舶機械などについて、港湾及び周辺海域の利用者等に対して十分な説明等を行い、紛争等が生じないように努めなければならない。

### ③ 損害発生時の措置

施工に伴い損害が発生した場合には、直ちに損害の詳細な状況を把握し、遅滞なく損害発生内容を港湾管理者に通知するものとする。

施工中に災害防止のために必要があると認められるときは、臨機の措置をとるものとする。その場合には、港湾管理者や関係者にその内容を速やかに通知するものとする。

## (5) その他

### ① 環境の保全

施工に際しては、工事中に発生する恐れのある騒音、振動、大気汚染、海洋汚染等について検討し、必要に応じてそれらへの防止対策を講じるものとする。

建設副産物の適正な処理及び再生資源の活用を図らなければならない。また、産業廃棄物が搬出される工事にあたっては、産業廃棄物管理票（紙マニフェスト）又は、電子マニフェストにより、適正に処理しなければならない。

### ② 新技術の活用

洋上風力発電設備の施工における新技術の採用にあたっては、当該技術の妥当性、安全性など検証し、判断するものとする。

（参考）現場管理における作業マニュアル DNGL において、洋上風力発電設備等の施工にあたっては、作業マニュアルを作成し、予め全ての関係者の合意を得ることを推奨している。なお、作業マニュアルには以下を含む。

- ・組織図、役割、および責任を含む管理系統、通信系統、および日常的な作業
- ・記録および報告の手順
- ・関連図面、仕様書、および計算
- ・詳細な作業スケジュールおよび好天期の要件
- ・作業に関連する船舶
- ・レイアウトおよび作業手順を含むシステムおよび機器
- ・吊り上げ作業の開始前に実施する試験と試運転計画
- ・設計基準と作業基準の両方を含む、制約のある環境および相對運動の基準
- ・荷揚げまたは荷下ろし速度の制限、またはクレーン作業の巻き上げ／巻き下げの制限
- ・公差を含む作業に関するその他の制限
- ・作業中の監視に関する要件
- ・天気予報、制御、船舶および／またはクレーン船と並行するその他船舶の操縦および係留に使用する装置を含む作業手順
- ・喫水、トリム、および傾斜の制限を含む吊り上げ作業に関する船舶バラスト要件
- ・「作業の帰還不能ポイント」を強調表示するなどした、吊り上げ作業の詳細な段階的手順
- ・偶発時用手順と緊急時計画
- ・その他

### 第3章 施工方法

洋上風力発電設備等の施工にあたっては、長大かつ重量物であり各地より大量に輸送される資機材を搬出入・保管し、プレアッセンブル作業を行うための建設基地となる港湾施設の確保や、海上施工における輸送・据付方法の検討を適切に実施する事で、安全、円滑かつ確実な施工の実施が不可欠である。

#### 3.1 準備工

工事実施に先立ち、洋上風力発電設備等を構成する資機材や施工に使用する船舶・機械を調達し、建設基地となる港湾において資機材等の保管や事前組立てを行う。

##### (1) 資機材・使用船舶機械の調達

施工に用いる船舶については、SEP 船、起重機船、ケーブル敷設船等があげられる。これら船舶の備船・回航・調達方法について検討し、工程に適切に設定する必要がある。特に、大型 SEP 船については、建造中のものを含め国内に限られた隻数しかないことから、他のプロジェクトの施工時期等も勘案しつつ、確実に施工できることを確認しなければならない。加えて、海外の船舶を国内工事で使用する場合には、前例が少ないことから、関係機関と十分な調整が必要となる。

##### (2) 資機材の仮置き・組立て

建設基地となる港湾において仮置き・組立ヤードを確保する際、事業者は面積や地耐力について十分な調査を行い、必要に応じて敷鉄板を敷設するなどの対策を講じる必要がある。当該港湾における先行利用者との調整は、適切に実施する必要がある。

##### (3) プレアッセンブル作業

タワーは、一般的に分割された状態で風車メーカーから納入されるが、SEP 船への積込み前に陸上でプレアッセンブル（事前組立て）を行い、海域に設置される。なお、プレアッセンブル時のタワーに対しては、強風時及び地震時を想定した安全対策を講じる必要がある。

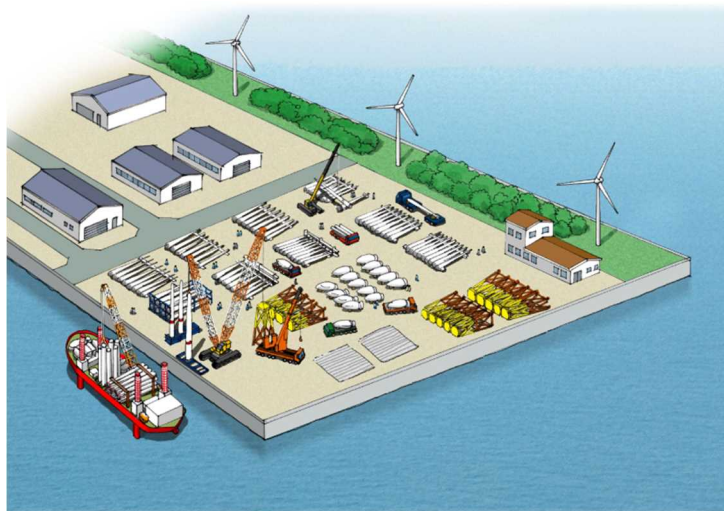


図 3-1 プレアッセンブル作業のイメージ

## 3.2 基礎・下部構造の施工

基礎・下部構造の施工にあたっては、構造形式に応じて安全かつ確実な設置を行わなければならない。

### (1) モノパイル式基礎

モノパイル式基礎は、大口径のモノパイルによる単杭構造の基礎形式である。杭材の諸元が大きくなることから、杭打設のために作業船や特殊な機械が必要となる。

#### ① モノパイルの施工

施工には、一般的には SEP 船又は起重機船が使用される。モノパイルの打設には一般的に油圧ハンマーを使用するが、事前に打設位置の地盤条件を調査し、適切な規格を選定する必要がある。また、打設時の振動、騒音は十分に注意して施工する必要がある。製作したモノパイルは、通常の鋼管杭に比べると重量が大きいことから、出荷岸壁は十分な支持力を有した場所を選定すること。モノパイルの建て込みでは、長大なパイルを立ち上げ、所定の位置に鉛直に打ち込むため、特殊な専用治具（パイルガイド等）を使用する場合があります、作業手順を順守する。油圧ハンマによる打撃工法では、杭の打ち込み抵抗に十分打ち勝つだけの打撃エネルギーを有するハンマを使用しなければならない。中掘工法による場合でも、土質条件を確認し、打設可能なオーガ出力、ハンマ重量等を検討し、適正な機種選定を行なうこと。加えて、大型ハンマによる打設で打撃回数も多くなることが予想されるため、杭の健全性も検討すること。

#### ② トランジションピース設置

モノパイルの鉛直性確保のため、トランジションピースをモノパイル上部に据え付け、レベリング、仮固定を行う。モノパイルとトランジションピースの間隙部はグラウト材にて充填される方法が多い。モノパイルとトランジションピースの間にグラウトを充填する際は、底部からの漏洩防止対策を確実に実施するとともに、モノパイル内部への転落防止対策の措置を行なうこと。

#### ③ 洗掘防止工

モノパイルの打設完了後、必要に応じてモノパイル周辺の洗掘防止を行う。洗掘防止には袋材に砕石、割石等を袋詰めし、モノパイル周辺に設置する方法がある。

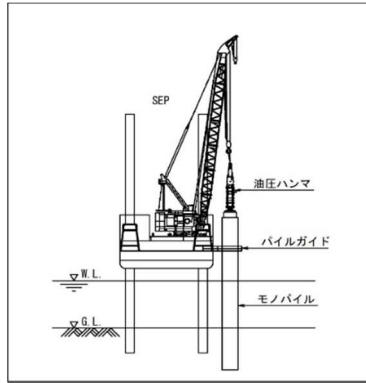


図 3-2 モノパイル基礎の施工イメージ

## (2) ジャケット式基礎

ジャケット式基礎は、鋼管のトラス構造であるため剛性が高く、波浪等の外力の影響を受けにくい特徴を持つ。支持杭の積込、運搬、打設には SEP 船または起重機船が使用される。打設方法は、杭の諸元、海底地盤条件を十分に考慮して選定する。支持杭の打設順序の違いによりプレパイル方式とポストパイル方式に分けられる。ジャケットの運搬、据付けは台船および起重機船が使用される。

### ① プレパイル方式

プレパイル方式では、予め支持杭を所定の位置に打設、レベリングし、その後上部のジャケットを据え付ける。ジャケットの据付後、支持杭とジャケットの空隙をグラウト材で充填する。支持杭を所定の位置に打設するために、専用のテンプレートを使用して適切な位置に打設する必要がある。

### ② ポストパイル方式

ポストパイル方式は、予めジャケットを所定の位置に据え付け、その後支持杭を打設する。支持杭とジャケットの空隙はグラウト材で充填する。ジャケットを先行して据え付けるため、支持杭打設時にテンプレートは不要となるが、ジャケットを所定の位置に据え付けるために、事前に海底面整理が必要となる場合がある。

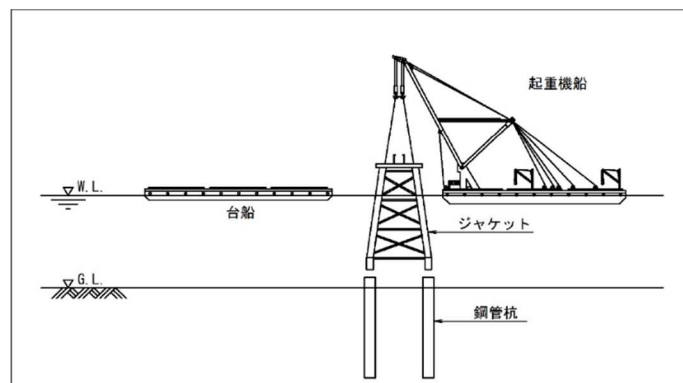


図 3-3 ジャケットの施工イメージ

### (3) 重力式基礎

重力式基礎は、円錐状、角錐等の構造物を海底地盤に設置し、その重量によって外力に抵抗する構造形式で、設置地盤が堅固でモノパイルやジャケットの支持杭が施工困難な場合に有効である。重力式基礎は、外力に抵抗する構造であることから非常に大きな重量となるため、フローティングドック上などで基礎を製作し、浮力を活用した据付け方法を採用することが考えられる。

#### ① 重力式基礎製作

重力式基礎を陸上にて製作する。なお、完成時の重量が大きく、起重機船のみで吊上げることができない場合は、フローティングドック等にて製作する。

#### ② マウンド造成

重力式基礎は、設置位置の支圧強度と風車タワーの鉛直性を確保するために、マウンドを造成する。マウンド造成は基礎捨石をガット船等で投入した後、起重機船等で表面を均して平坦性を確保する。なお、捨石マウンドを施工せず、一部埋め込む施工方法もある。

#### ③ 重力式基礎据付け・中詰め

製作が終わった重力式基礎は、大型起重機船により現地海域まで吊り運搬され、所定の位置に設置される。フローティングドック上で製作した場合には、現地海域でフローティングドックを進水させて浮力を活用しながら起重機船により吊上げ、設置する。また、設置時の軽量化のために、陸上で基礎の外壁部のみを製作する場合には、設置後に中詰め工が必要となる。

#### ④ 根固・被覆ブロック設置

マウンドの基礎捨石の洗掘および飛散防止のため根固・被覆工を行う。起重機船にて重力式基礎周辺に根固ブロックを設置し、その外周部に被覆石または被覆ブロックを設置する。

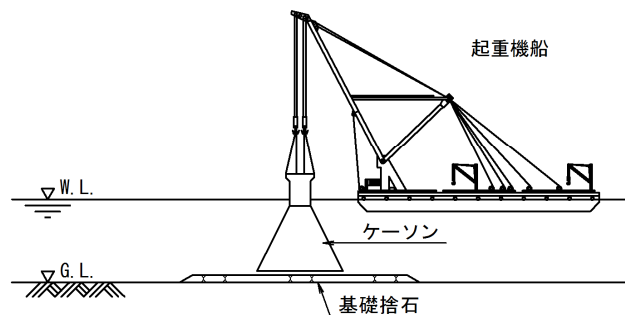


図 3-4 重力式基礎の施工イメージ

### 3.3 タワー・風車の設置

タワー及び風車の施工にあたっては、高い施工精度が要求されることを踏まえ、適切な作業船を用いて、安全かつ確実に設置しなければならない。

#### (1) タワーの設置

タワー及び風車の据付けでは、波浪の影響を受けにくい SEP 船 を用いた作業が標準的に行われる。陸上でのプレアッセンブル作業を経て、タワー・ハブ・ナセルは、SEP 船により設置海域に運搬される。その後、クレーンを用いて下部構造の上に設置される。ブレードは、SEP 船のクレーンを用いてハブに 1 本ずつ水平に設置されることが一般的である。

これら、風車本体の施工は、水面から 100m 以上の上空での作業となることから、高所作業時の安全対策および施工時の風速、風向等の自然条件は十分に考慮する必要がある。また、風車メーカー側が要求する精度に対応した施工を実施しなければならない。

#### (2) 風車の設置

ブレードを 1 枚ずつ取り付ける場合、ブレードを水平方向から取り付けられるように、ハブを回転させて取り付け面を鉛直に固定する。次に吊治具を使用してブレードを水平な状態にしてハブに取り付け、速やかにボルトで固定する。ブレードは、比較的軽量の部材であるために風の影響を受け易いので、確実な取り扱いができるような吊り方・取り付け方（吊治具や介錯ロープの利用方法、取り付け方向等）について事前に十分検討しておく。なお、ナセル・ハブは、吊り作業における最重量物なので、クレーンの作業半径、揚程などについて十分な能力のある機械を選定すること。

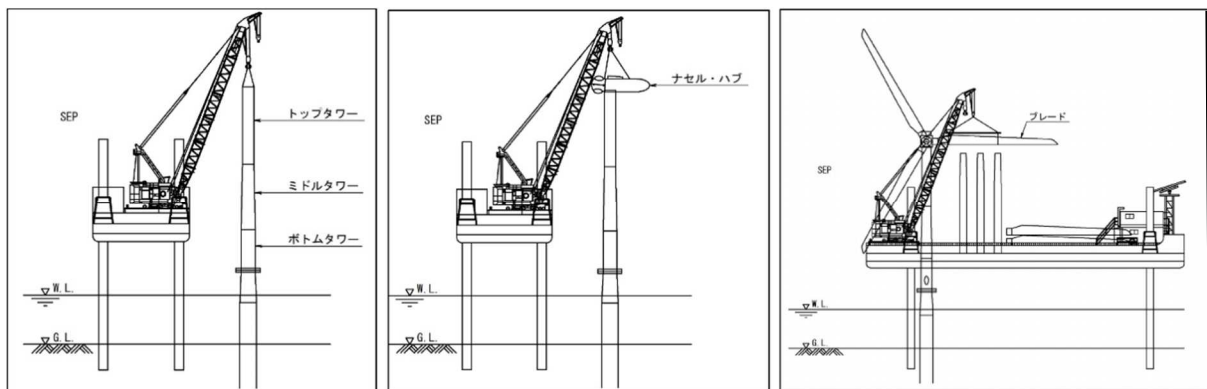


図 3-5 タワー・風車の施工イメージ

### 3.4 送電線・ケーブルの敷設

送電線・ケーブルの施工にあたっては、既設構造物や周辺海域利用に支障とならないよう、安全かつ確実に設置する必要がある。

送電線・ケーブル（以下、海底ケーブルとする。）の施工は、既往工作物（岸壁・護岸・埋設物）等に支障の無い工法により施工するものとする。したがって、洋上風力発電設備等の規模・基礎の形式、海底ケーブルの仕様、防護方法、埋設ルート及び周辺海域の利用状況等を考慮し、適切な敷設工法を選定する必要がある。

#### (1) 海底ケーブルの積み込み・運搬

ケーブル製造工場に近接する出荷用バースからケーブルを敷設専用船に積み込み、所定海域まで運搬する。敷設専用船には自航式と非自航式がある。

#### (2) 陸揚部のケーブル敷設

揚陸部のケーブル敷設方法は、敷設船を陸揚地点の沖に係留し、ケーブルをブイに取り付けながら陸揚部まで牽引して陸上の終端地点までケーブルを敷設する。陸揚部のケーブル敷設（接続）終了後、ケーブルに取り付けたブイを切り離して海上ケーブルを沈設する。

#### (3) 海底ケーブル敷設の工法

海底ケーブルの敷設は、砂泥質等の比較的軟弱な地盤において、ブロー式やジェット水流式工法により海底を掘削し、予めトレンチを造成しておく。その後、敷設専用船をケーブル敷設ルートに沿って航行させ、船上のケーブルの巻き取り設備を回点させてケーブルを巻き戻しながら海底に沈設する。海底ケーブルの敷設工法には、潮流、波浪等の自然条件やケーブル敷設位置、ケーブル径及びケーブル長等の現場条件により適切な工法を選定する。

##### ○敷設船敷設工法

ケーブル延長が 1000m 以上の施工に適しており、ケーブル製造工場にて、ケーブルの積み込み等の艀装を行う。敷設船による敷設作業速度は低速であるが、ワイヤー操作により精密な敷設が可能であり、またケーブルへの負担も少なく安全性に優れている。

##### ○敷設船ドラム工法

ケーブルを巻き取ったドラムを陸上運搬するため、ドラムを積み込んだ台船を工場から回航する必要はない。この工法は、ドラム容量により長距離敷設には適さないが、1000m 以下の敷設長で、ブイ浮上工法が適当でない場合に選定する。また、ケーブルの仕様や施工場所によっては、海上輸送を検討する必要がある。敷設船敷設工法と同様に、作業船の喫水が浅いので、潮流や波浪等の抵抗が小さく、浅場での作業が可能である。

##### ○ブイ浮上工法

敷設船が不要であり、敷設開始点にケーブルドラムが設置可能な場合に適している。なお、波浪の大きい海域では敷設が困難であり、港内等で潮流や波浪等の海象条件が良好な場所での施工に適している。この工法は、ケーブルをチューブブイで浮上させながら送り



出し、設置位置に到達後、ブイを切り離し海底へ沈設する方法で、広範囲の航行船舶へ影響があるため、施工中は複数の監視船を配備するなど、監視体制を強化する必要がある。

#### (4) ケーブル立ち上げ

前掲の陸揚部のケーブル敷設方法に示した手順で送電用海底ケーブルを敷設し、現地で終端部を組み立て変電機器に接続する。各洋上風力発電機の間を結ぶアレイケーブルも同様の手順で敷設作業を行う。

#### (5) 海底ケーブル埋設の工法

海底ケーブルは船舶の投錨、漁具等の他、波浪や潮流の影響により損傷する可能性がある。そのため、基本的にはケーブルを埋設させて防護する必要がある。埋設方法には、以下に示す方法がある。

##### ○機械埋設工法

ブロー式機械装置等により埋設する方法で、ケーブル敷設時と同時に埋設する工法と後処理工法がある。埋設深度が自由に設定でき、大深度でも作業効率に優れる。

##### ○事前トレンチ工法

ケーブル敷設前に海底を掘削してトレンチを造成し、ケーブルを敷設した後、埋め戻す工法で底質が岩盤で硬い場合や大深度に埋設する場合に適用される。

##### ○ダイバー埋設工法

海底にケーブルを埋設した後、潜水士によりジェット水流で埋設する工法で海底が砂質で30m以下の浅海域に適用される。

##### ○防護管防護工法

海底ケーブルを埋設した後、潜水士により铸铁製の防護管をケーブル上に取り付ける。30m以下の浅海域で、海底への埋設が困難な岩礁地帯や船舶の投錨の恐れが無い海域に適用される。

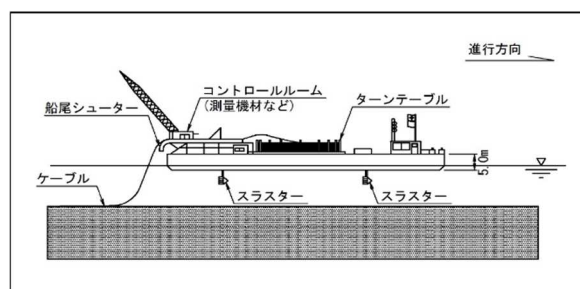


図 3-6 海底ケーブル敷設のイメージ

### 3.5 サブステーション等の設置

サブステーション等の設置に当たっては、当該設備の構造の特徴を踏まえ安全かつ確実な方法により施工すること。

洋上風力設備の発電機から出力される電圧は低いいため、陸上まで送電すると送電ロスが大きい。このため、欧州における大規模な洋上ウィンドファームでは、近傍にサブステーション（洋上変電設備）を設置し、この設備に各洋上風力設備の発電機で出力した電力を集めて昇圧し、陸上まで送電する方法が採られている。

なお、サブステーションの基礎構造には、モノパイル式基礎やジャケット式基礎を採用している事例が多く、施工方法は風車本体の基礎構造と同様に施工される。サブステーションの上部構造は、支持構造物の施工完了後、大型起重機船によって設置される。観測塔についてもサブステーションと同様の施工方法である。



図 3-7 サブステーションの施工イメージ

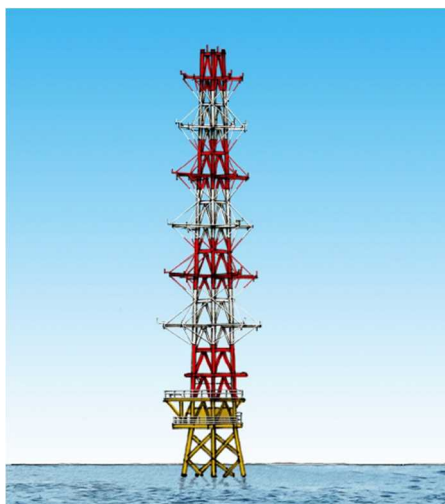


図 3-8 観測塔のイメージ

## 第4章 海上作業における留意点

洋上風力発電設備の施工は、オフショア・ニアショアの海域において大規模構造物を特殊な船舶を用いて海上工事を実施することとなる。このため、通常の港湾工事に増して、海上輸送、揚重作業、操船等に留意し、安全、円滑かつ確実な施工を行う必要がある。

### 4.1 SEP 船による海上作業

SEP 船による海上作業にあたっては、気象・海象条件や当該船舶の諸元や特性を考慮したうえで、周辺海域の利用を阻害しないよう安全に施工しなければならない。

#### (1) ジャッキアップ

SEP 船の船体昇降に際し、ジャッキアップする場合には、ジャッキアップ位置（海底地盤）のプレロード荷重や海底地盤条件を考慮して検討する必要がある。特に、岸壁際での船体昇降にあたっては、ジャッキアップ位置による岸壁構造への影響を把握する必要がある。レグ設置時には、事前に埋設物の調査を行ない安全性を十分に確保すること。

#### (2) 荷役・クレーン作業

資機材等を SEP 船に積み込む際は、SEP 船の安定性を考慮した積込レイアウトを事前に検討し、各部品は計画された配置に積み込むこと。また各部品の吊治具の使用方法や吊り方などはメーカーへの確認または風車メーカーSV（スーパーバイザー）の指導のもとに計画・作業を行うこと。積み込まれた風車部品は、海上運搬時の波浪による動揺や部品が受ける風荷重等を考慮して、十分な固縛・養生を行う。SEP 船への積付けは、クレーン能力、クレーン旋回位置とジャッキ（レグ）強度、作業手順を考慮して検討する必要がある。

#### (3) 海上施工

位置決め後、SEP 船のレグを着底させて所定の高さまで船体をジャッキアップする。なお、レグを着底させる際には、付近に支障物等が無いことを事前に確認し、またジャッキアップ前には、各レグに十分なプレロードを載荷し、ジャッキアップ後の SEP 船の安定性を確保する。SEP 船及び資材運搬船の係留にあたり、近傍利用船舶への航行阻害に留意すること。SEP 船の各種作業は、信頼度の高い天気予報を基に行うことが計画されていること。



図 4-1 洋上風力発電設備の施工に用いる SEP 船のイメージ

## 4.2 海上における船舶の位置保持

作業船等の係留は、信頼できる海象・気象データに基づき、係留船舶の種類や特性に対して安全な係留方式を選定するとともに、海底地盤に対して適切なアンカー形式を選定しなければならない。DPS（自動位置保持システム）を搭載した船での作業においては、その能力、特性に応じて安全な作業計画を策定しなければならない。

### (1) 係留の計画

係留計画においては、すべての係留ワイヤーやアンカーの長さや仕様を決めるのあたり、すべての既設構造物、海底ケーブルおよびその他の海底障害物に対し、適切な離隔を設けなければならない。特にジャケットなどの固定式の構造物に隣接して作業する場合には周到な計画が必要である。船舶等の離隔は、以下のような特定の状況を考慮しながら、プロジェクトおよび作業ごとに具体的な要件と数値を定めるのがよい。

- ・水深
- ・海中施設の近接度
- ・調査精度
- ・アンカーを扱う船舶の位置保持能力とアンカー設置精度
- ・海底の状態と傾斜
- ・埋込アンカーの把駐力
- ・係留索が1本損傷した場合の安全性
- ・アンカー設置時に予想される気象条件
- ・係留を構成する部材の実際の長さの変化

また、漂流氷が係留物に付着することが予想される場合は、これらの影響も考慮して係留計画を策定しなければならない。

### (2) 構成する要素の安全性

全ての係留システム、機器類は、品質、安全性の証明（保証）されたものを適切に選定し、使用すること。また、導索器、ウインチ、巻き上げ機、ボラード、係船柱、フェンダー、ワイヤー、アンカーなど係留システムを構成するすべての要素は、適切な安全率を考慮して選定しなければならない。

### (3) 船体の動揺解析

風荷重、潮流荷重、波荷重、長周期波に対して適切な係留計画が立てられていることとし、必要に応じて波浪による船体の動揺解析を行い安全性の検証しなければならない。

### (4) DPS 船による作業

洋上風力発電工事では、SEP 船、ケーブル敷設船など DPS（自動位置保持システム）を装備した作業船による工事が一般的であるが、通常のアンカーを用いた係留による位置保持と DPS とでは、その特性が大きく違うため、それらを考慮した周到な計画が必要である。

(参考) DNVGL では DPS を搭載した作業船での作業の安全性に関して以下の様に定めている。

- ① DPS による自動位置保持は、スラスタの数、型式、推進力、制御システム、故障モード等を十分考慮して計画すること。自動位置保持システムの位置保持機能を喪失したことの影響が死亡、甚大な構造的損傷、または重大な環境汚染につながる合理的な可能性がある場合、DPS 等級 2 以上の船舶で作業を行うこと。
- ② DP の操作責任者は、適切な教育を受けた者であること。
- ③ DPS 等級 2 または 3 による位置保持を行う場合、隣接するオフショア構造物との離隔を十分にとること。一般的には離隔距離を 10m 以上とすること。
- ④ DPS 等級 1 以下の作業船は、特別なリスク管理を行わない限り、オフショア構造物、別の船舶、障害物の近くで作業しないこと。
- ⑤ DP は船級協会により、船級を付与されていることが望ましい。なお、船級を付与されていない場合は、付与されていると同等であることを証明すること。

### 4.3 海上輸送

海上輸送作業計画においては、信頼できる海象・気象データに基づき、予想される荒天時においても安全性を確保できる計画としなければならない。船舶、資機材能力、運搬物、船体の強度、安定性などについて検討を行うとともに、洋上風車特有のリスクにも十分留意することが必要である。

#### (1) 海上輸送計画

海上輸送の計画においては事前に以下の項目に関して検討を行い、計画書を作成するとともに関係者に周知徹底しなければならない。

- 運搬距離、運搬経路
- 運搬する荷の種類、形状、重量
- 運搬海域の交通量、漁場状況及び気象・海象状況
- 運搬経路上の水上、水中障害物、送電線、海底ケーブルの有無、制限高さ、深さ等の制約条件
- 連絡系統及び連絡責任者を定め出航、運航中、仮泊、避難、緊急時等の連絡方法
- 仮泊地及び荒天時の避難地

上記作業計画の策定において留意すべき点として、想定している荒天時においても積載状態での運搬船の安定性、及び曳船、曳航装置、船舶が十分な曳航能力を保有していることがあげられる。また、強度面の検討として、曳航索、運搬物、架台、固縛の安全性を確認するとともに、台船、船舶の船体構造強度を確認することが必要である。運搬物が繰り返し荷重による疲労損傷の可能性のある構造物の場合には、輸送経路を通して作用する累積荷重に対する疲労検討をしなければならない。

#### (2) 荷降ろし作業計画

荷降ろしの計画においては、洋上での固縛解除、ボルト取り外しなどの作業を最小限とし、不安定な状態の時間を最短にしなければならない。荷降ろしの手順は、積降ろし時における船体の動揺に対応できるようにするとともに、船体の動揺によって積荷が移動することのないように十分な荷止め措置をすること。クレーン船を使用するときは、吊り荷重による船体傾斜についても考慮しなければならない。

#### (3) 洋上風力発電工事の海上輸送において留意すべき事項

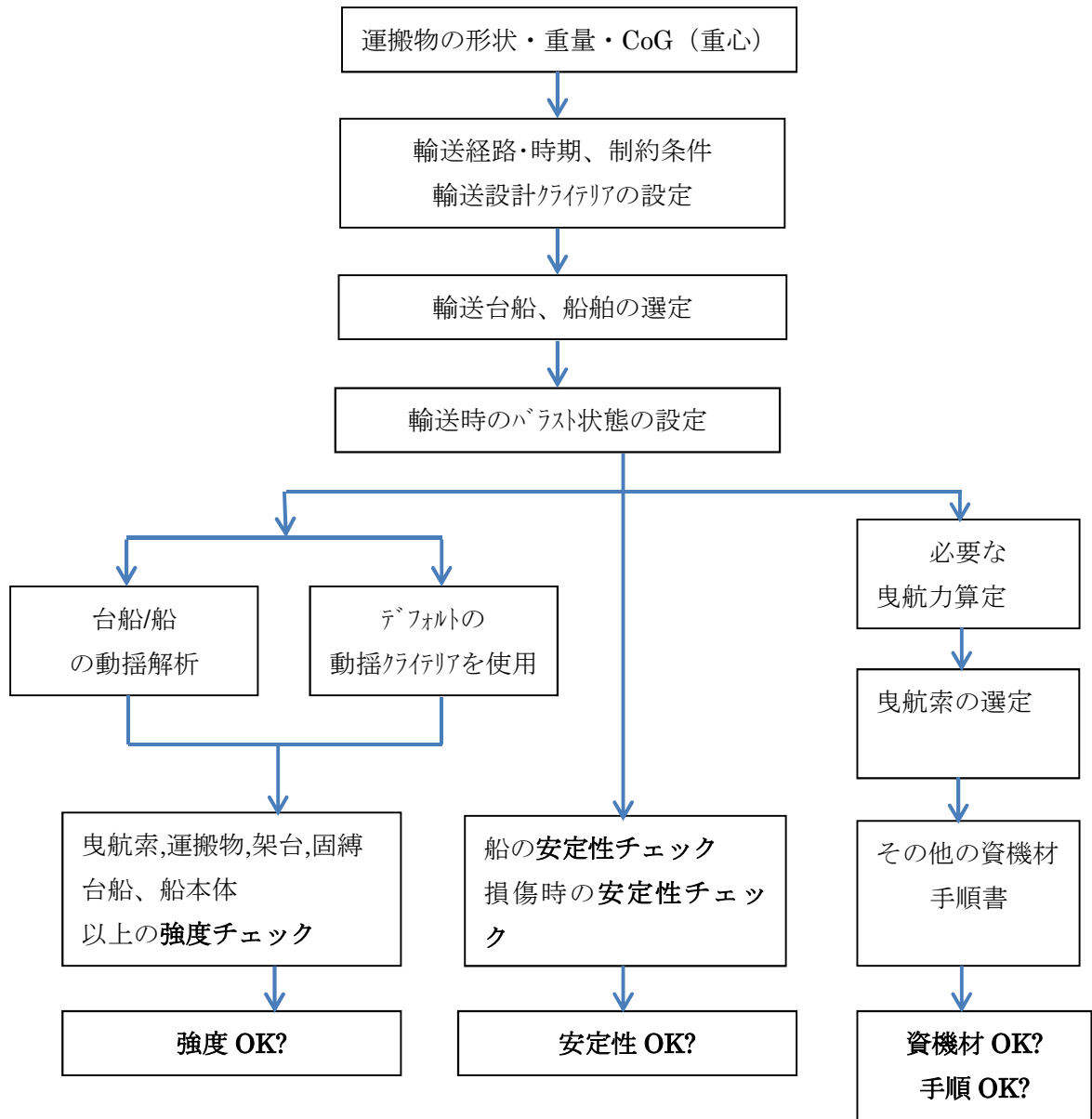
風車を構成するブレード、ナセル、タワーなどの輸送において、これらが輸送台船、作業船の外側に張り出して輸送を行う場合、特に、ブレードを陸上で地組みした状態で輸送するケースでは、直径が100mを超え、台船から大きく張り出して輸送することになる。このような場合には輸送経路上のブレードの移動範囲での障害物、他の航行船舶の安全性を十分に検討しなければならない。また、張り出したブレード等の部材と波とのたたき合いの発生がないように積みつけるものとする。

台船上にタワー、トランジションピースなどをボルトで固定する場合には、フランジ間のギャップにシムプレートを挟むなど、ボルトの締め付け状態の確保、ボルトの破断防止を図るも

のとする。欧州の実例ではボルトの不均衡荷重により破断した事故例が報告されている。また、タワーを垂直に立てた状態での輸送では、タワー上部に渦が発生し、これにより振動（渦励振）を誘発する危険性がある。タワーには、渦の発生を抑止するためのロープをらせん状に巻き付けるなど、振動（渦励振）の誘発を防止する対策が必要である。

杭打設のためのテンプレートを水中に没した状態で SEP 船に取り付けて曳航する場合、テンプレートに作用する荷重をを考慮した曳航計画（抵抗計算、安定計算を含む）を立てなければならない。

(参考) 海上輸送計画のチェックフロー



海上輸送計画のチェックフロー (DNVGL-ST を元に作成)



#### 4.4 揚重作業

洋上風力発電設備の施工では、風車を構成するナセル、ブレード、タワーなど風力発電特有の部材の揚重作業を実施することとなる。これに加え外洋におけるクレーン船での作業では船体の動揺の影響を考慮する必要がある。このため、揚重作業は、吊荷の形状・重量、使用機械の種類・能力、作業環境などを踏まえて適切な作業計画に基づき作業しなければならない。

##### (1) 使用クレーン、資機材の整備、検査、点検

揚重作業に使用するクレーン等は、関連法令等に則った整備、検査、点検を実施済みのものを使用する必要がある。事前に確認すべき主な項目を次に示す。

- ・クレーン検査証の備え付け
- ・定格荷重等の表示
- ・巻過防止装置、過負荷警報装置等の措置
- ・定期自主検査（年次、月例）の記録

リギング計画において、ワイヤー、シャックル、吊り金具等については「クレーン等安全規則」、「労働安全衛生規則」に準拠し、形状、スリングのアレンジメントを考慮した適切な安全率のものを使用しなければならない。また、製造時の検査記録、使用前の検査により健全性を確認すること。吊り天秤、吊り枠を使用する場合には、使用方法に応じた適切な検査を行い、検査記録を保管すること。

##### (2) 揚重の計画

揚重作業計画においては、以下の項目に十分留意し策定しなければならない。

- ・揚重対象物の強度と吊り上げ方法（吊り上げ点等）との関係
- ・作業計画における周辺施設、他の作業との関係
- ・機械や器具、安全装置等の検査記録、作業前の点検
- ・作業時の指揮命令系統、関係者との連絡系統
- ・クレーン負荷のモニタリングおよび管理
- ・暴風、地震等の場合の対策
- ・バンパーなどの接触防止措置
- ・立入禁止措置

(参考) DNVGL で定めているは吊り上げ作業の計画を要約すると以下の通りである。

洋上での吊り上げ作業に用いるリギングは、下記項目に留意し、適切に計画しなければならない。

- ・スリング長の製造公差
- ・スリング／グロメット測定公差
- ・リギング計画全体のアレンジメント
- ・吊り上げ点の製造公差による変動
- ・荷重作用時のスリング／グロメットの伸長

- ・クレーンフックの形状
- ・吊り上げられる物体の荷重作用時の変形

上記以外に、タガーラインからの荷重、ガイドの荷重、風荷重、静水圧荷重、流体力、吸引荷重、摩擦荷重などについても状況に応じて考慮する必要がある。起重機船、リギングの計画にあたっては、定められら安全係数を使用し、適切なフック荷重、リギング荷重を求め、その荷重に適合するクレーン、リギング設計を行う。

ブームおよびリギングの剛性、船舶の動き、クレーンの動き、ブーム先端の場所と動きなど、全体的な動的影響を考慮して計画すること。動的解析を行わない場合には、規定値として定めた動的割増係数（DAF）を使用して計画する。動的影響などの安全率を考慮したフック荷重に対し、能力曲線を超過しないことを確認しなければならない。

構造物がインショアの静穏な海域で積載された場合、外洋での揚重作業では船舶の動き、構造物の動きを考慮して、構造物の周囲に適切な空間を確保することが必要であり、吊上げ、吊降ろし時の吊り荷の動揺、衝撃荷重などに十分留意し計画する必要がある。

（用語の解説）

- リギング : スリング、グロメット、シャックルなどを組み合わせた吊り具一式
- スリング : ワイヤロープ、繊維ロープなどの両端にアイ形状の加工をしたもの
- グロメット : ワイヤ、ロープを円形状にしたもの（エンドレスワイヤー/ロープ）
- タガーライン : 吊り上げ時の横揺れ防止のための補助ライン
- CoG : 重心位置
- DAF : 動的割増係数
- エンベロープ : 包含曲線、CoG エンベロープは重心の移動範囲のこと
- SKL : 吊り荷の製作精度、リギングの寸法誤差などに起因する荷重
- ヨー（yaw） : 船体動揺の内船首－船尾を軸にした水平方向の揺れ（船首揺れ）
- MBL : 最小破断荷重
- WLL : 限界使用荷重



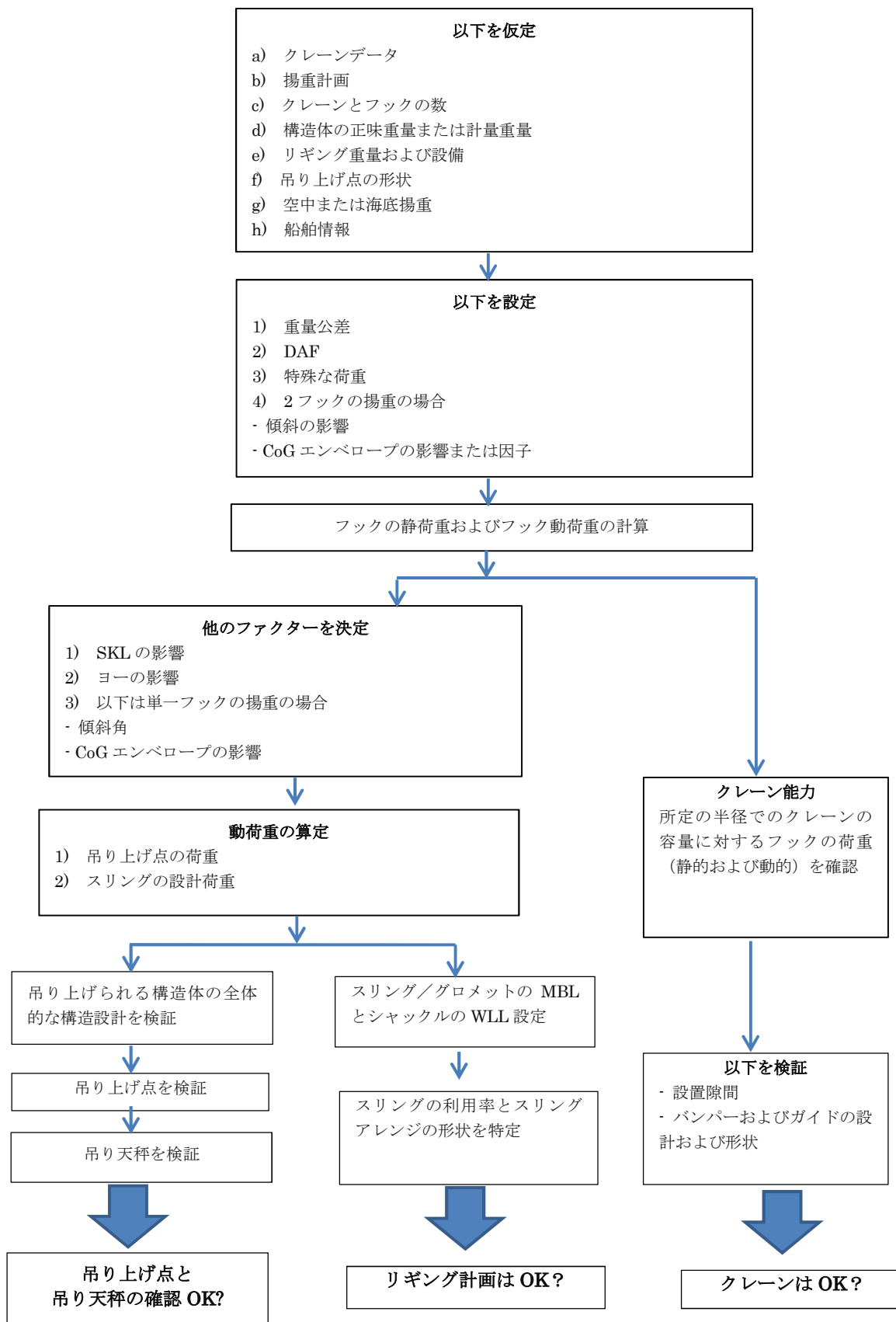
図 4-2 スリング



図 4-3 グロメット



図 4-4 タガーライン



外洋における吊り上げ計画のチェックフロー (DNVGL-ST を元に作成)

## 第5章 施工管理方法

### 5.1 品質管理・出来形管理

洋上風力発電設備の設計図書に定められた仕様に基づき、使用される材料、資機材の品質、および出来形、施工精度が基準値以内であることを確認しなければならない。洋上風力発電に特有の管理については、設計者、風車メーカーと協議の上、性能を達成するための適切な管理を行わなければならない。

洋上風力発電工事に使用する材料および資機材の品質に関する管理項目、管理内容、管理方法、品質規格、検査方法、検査記録は、設計図書に従うほか港湾工事共通仕様書の中の「港湾工事品質管理基準」に準拠するものとする。

また、出来形管理に関する管理項目、管理内容、管理方法、結果の記録は、設計図書に従うほか港湾工事共通仕様書の中の「港湾工事出来形管理基準」に準拠するものとする。

洋上風力発電特有の工種で港湾工事共通仕様書に記載のない事項、特殊な管理が必要となる事項については、設計者、風車メーカーと十分に協議の上、適切な管理方法を策定しなければならない。洋上風力発電工事特有の品質管理、出来形管理の内、DNVGL-ST で特に留意が必要であると記載されている内容を以下に示す。

#### (1) 洋上風力特有の管理項目（DNVGL-ST 記載の項目）

DNVGL では洋上風力施設における構造性能を確保するための特に重要な管理項目として以下が記載されている。

- モノパイル、パイル打設をガイドするテンプレート、ジャケットおよびその他構造物の位置(座標)および方位
- モノパイル、ジャケット、その他構造物の鉛直度
- 海底ケーブル敷設経路の位置 (座標)
- モノパイルとトランジションピースをグラウトで接合する場合の、接合部スリーブのパイル間の隙間の寸法管理。
- グラウト接合において剪断力を伝達するシェアキー、溶接ビードの寸法管理、
- 施工時に杭打設作業等によりシェアキーを損傷場合の許容値、判断基準
- グラウト打設時のグラウトシールの確実な密閉性の確保と確認方法

特にグラウト接合は、モノパイルとトランジションピースを結合する重要な部分であり、また、グラウト打設後の検査ができないため、施工途中での入念な管理が必要である。欧州洋上風力発電においては、特に初期のプロジェクトでグラウト接合に起因する不具合が多く報告されており、このため十分な注意が必要である。

具体的な管理基準に関しては、DNV OS-C502 “Offshore Concrete Structures” Sec.7～Sec.9にグラウト打設、試験、検査、証明に関わる基準が記載されている。また、DNVGL-ST-0126ではグラウト作業において特に留意すべき点として以下が記載されている。

- グラウトシステムはエア、水、余剰グラウトが残留しないような通気性を保つこと
- グラウト注入は最下部から上部に向けて行うこととし、型枠、シールは十分な強度を持つものであること

- 継ぎ目状の打設（casting joint）を防止するため、一つのプロセスで打設し、バックアップ機器を準備すること
- 作業周辺の温度管理に注意すること（一般的には5℃～30℃の範囲とする）
- グラウト打設後のパイル打設は行ってはならない
- 異物混入を避けるためにグラウト打設前の表面清掃を十分に行うこと。

また、近年風車の大型化に伴い、上記グラウト接合に起因する不具合を避けるためにボルト接合や新しいタイプの接合に関する提案されている。

（参考）

モノパイル基礎の許容設置精度は、風車の運転面からの要求により決まることから、通常風車メーカーにより指定されている。陸上風車の場合、パイル先端の角度で0.2度から0.45度の範囲だが、洋上風車では0.5度まで許容する場合もある。

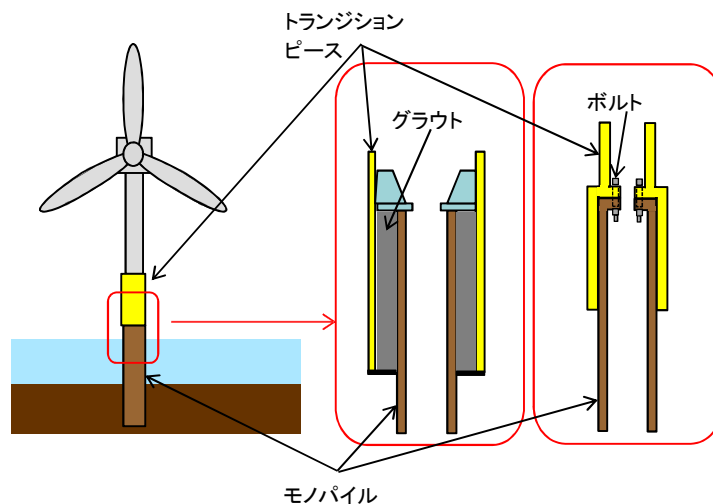


図 5-1 モノパイルとトランジションピースの接合部のイメージ  
（グラウト接合、ボルト接合）

## (2) 海底面の変動管理

基礎周辺の洗掘、浚渫、SEP の着底による海底面の変化について、構造設計において前提としている海底面のレベルが変わる場合には、構造の固有振動数が変わるこより洋上風車全体の性能に大きな影響を及ぼす可能性がある。また、海底ケーブルと基礎との接続部が洗掘などにより露出し、フリーハングの状態になるとケーブル損傷の可能性が高まる。

欧州の実例ではモノパイルにおいて特に洗掘が顕著であり、北海（オランダ）における砂質地盤の場合にはパイル径 D に対して 1.0D～1.5D の洗掘が報告されている。洗掘を防止するための措置としては、パイルの周辺に碎石を敷詰める方法、アスファルトマット、コンクリートマットを並べる方法などの適用事例がある。

DNVGL では特に潮流速度が速く、海底が軟弱地盤あるいは砂質の地盤で洗掘が大きいと推測される場合には、その程度について洗掘モデル試験を行うことを推奨している。

なお、海底面の変動については、施工段階での配慮とともに、完成後の維持管理においても

重要な管理項目である。

### **(3) SEP 船のレグ着底位置管理**

ジャッキアップ船の着底については十分な注意が必要である。海底ケーブル敷設後にその近傍でレグの着底が行われる場合、ケーブルルートとレグ着底位置の座標を正確に管理し、着底が可能な位置、範囲を明確にする必要がある。特に別々の工事会社が並行して作業する場合には、位置座標データを確実に共有することが重要である。

## 5.2 工程管理

工程管理にあたっては、所定の工期内に工事が完了するように適切な計画工程表を策定するとともに、それに基づき適切な管理を行うものとする。洋上工事における作業可否の判断について信頼できる海象・気象データおよび予報に基づき行うものとする。

### (1) 工程計画

工事実施においては、所定の工期内に工事が円滑に完了するように、適切な計画工程表を策定し、工程管理を行う必要がある。策定にあたっては、以下の項目を考慮することが必要である。

- ・自然条件
- ・社会条件
- ・施工数量
- ・施工方法
- ・使用船舶機械（諸元、能力、作業限界）
- ・資機材の供給能力

特に、安定的な資機材の供給能力を確保するためには、内外からの主要資機材を安定的に搬入できるストック用ヤード、洋上風力発電施設プレアッセンブル用の組立ヤードの確保に加え、資材供給側の製造工程や輸送工程の調整が必要となる。

また、洋上作業においては、使用船舶機械の能力・作業限界に対し、現地特有の自然条件、社会条件、特に風況・波浪条件や周辺の航行船舶などの状況を考慮し、使用船舶機械の運行計画を基に、施工能力を適切に評価する必要がある。工程策定にあたっては、一連の作業に必要な作業日数に対して、使用船舶機械の作業限界と当該海域の気象データに基づく稼働率を考慮した適切な計画日数を設定することが必要である。工程管理にあたっては、適宜工事の進捗を（出来高）工程管理曲線を用いるなどして、適切に管理するものとする。

なお、計画工程に遅れが生じた場合、又は遅れが生じると予測される場合には、施工体制、施工方法、使用船舶機械、施工順序、施工従事者の人数等の見直しを行うなど、予想外の要因が生じた場合においても適宜対応できるように管理を行うことが必要である。

### (2) 工事着手時及び、竣工時等の港湾管理者への報告

港湾管理者に対しては最低限以下の項目について工事状況を報告するものとする

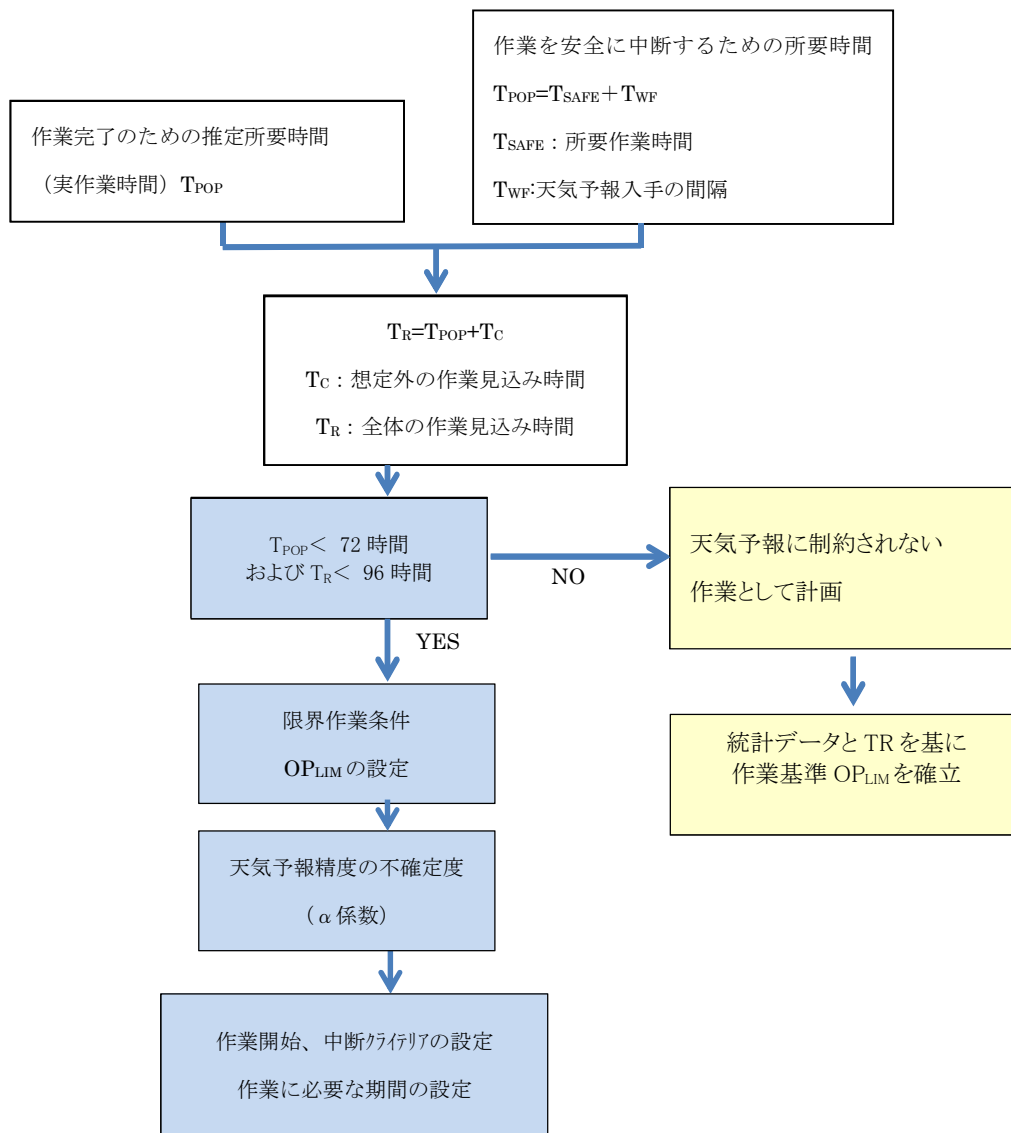
- ・工事着手時
- ・工事の一時中止（天災時、諸条件により工事続行が不可能となった時など）
- ・設計内容が変更になり、工事内容に影響が及ぶ時
- ・工事の使用船舶、資機材、工程などに大きな変更があった時
- ・竣工時

### (3) 重要な作業における施工可否判断について

洋上において作業開始後終了するまでに一定の期間を要し、その途中においては荒天時に安全が確保できない工事の開始にあたっては、信頼できる海象・気象データおよび予報に基づく

判断基準を策定した上で実行すること。

(参考) DNVGL における工程管理、作業判断基準の考え方 DNVGL-ST では、個々の連続した作業について、実質作業時間が 72 時間以内でかつ予定していない作業時間（不測の事態など）を加えた時間が 96 時間以内の場合は、天気予報に依存した作業計画が可能であるとしている。また、天気予報の精度についての作業時間の長さに応じて係数（ $\alpha$  係数）を乗じて安全目の判断を定めている。この考え方は国内での海洋工事でも適用できると考えられるが、天気予報に依存する作業時間（72 時間および 96 時間）の是非、および  $\alpha$  係数などの国内での考え方についてはさらに検討が必要である。



作業時間、作業限界、天気予報依存に有無による作業のフロー  
(DNVGL-ST を元に作成)



## 第6章 工事安全対策

### 6.1 安全対策

工種・工程別に事故や災害を予測し、それに対する具体的な安全対策を講じなければならない。

洋上風力発電設備等の施工では、陸域および海域において様々な作業が行われる。また、一般的な港湾工事と比べてとりわけ長大かつ重量物を扱うこととなるので、各施工段階での安全確保が重要となる。例えば、ブレードなど長大物の積込み作業時の周囲への安全性確保、タワー仮組立て作業時の地震・雷・台風・突風に対する安定性確保、基礎構造物などの重量物の吊上げ作業時の安全性確保、高所での風車据付作業時の安全性確保などが挙げられる。

欧州の洋上風力発電施設での事故について、“UK Offshore wind H&S statistics 2016 report” (Energy Institute 発行) ではUKにおける2016年の事故として737件が報告されており、この内219件が建設中の事故である。事故原因の上位としては、①海洋作業、②高所作業、③揚重作業の順となっている。海洋作業での事故の約50%が人員の船への移動により発生しており、高所作業での事故では約30%が風車タワーの内部、揚重量作業の事故では約20%がトランジションピースの設置で発生したことが報告されている。

#### (1) 安全対策一般

工事の実施にあたっては、関係法令及び本審査指針に定める事項を守り、協力して作業の安全に努めること。工事の実施に先立ち労働基準監督署、海上保安庁、航空局、警察署、都道府県知事等に必要な手続きをとり作業の許可を受け又は届出ること。

工事の実施にあたっては、関係法令に則り安全衛生に係る管理者を選任し、責任体制が明確化された安全衛生管理体制を構築すること。また、作業員に対し、実施する工事の施工方法、危険な箇所、危険な作業等を十分説明し、安全に対する注意及び教育を行うとともに、安全標識、安全ポスター等を作業場所に掲げて、安全意識の保持、高揚に努めること。作業現場における労働安全衛生法に定める管理者とは、統括安全衛生責任者、元方安全衛生管理者、安全衛生責任者等を指す。

#### (2) 工事海域の安全対策

作業を行う区域を明確にするため、関係機関等と協議の上、工事海域を設定し浮標灯等により明示すること。関係機関及び周辺住民等への周知は事前に幅広く行うとともに、作業の一部が他の施設の近傍となる場合は、その所有者と安全性の確認をすること。

#### (3) 作業中止基準等

気象・海象条件を考慮し、工種及び作業船毎に具体的な数値で作業中止基準を定めること。併せて、作業再開の条件を定めておくこと。

潮流の速い区域での作業は、潮流の影響を受ける作業を特定し、作業中止基準を適切に定めることとする。特に、水中設置作業は潮流による影響を大きく受けるため、十分な検討の上、余裕を持った作業中止基準を定めるとともに、必要に応じて潮流監視を行うこと。

#### (4) 作業員の輸送及び乗降

SEP 船等の作業用船舶への乗船には、専用の乗船設備を設置しなければならない。さらに、SEP 船のジャッキシステムが故障した場合を考慮して、乗員の避難が適切に計画されている必要がある。

なお、SEP 船等に設置されたクレーンにより、作業員を運搬又は作業者をつり上げて作業させてはならないが、作業の性質上やむを得ない場合又は安全な作業の遂行上必要な場合には、クレーンのつり具に専用の搭乗設備を設置して当該搭乗設備に作業員を乗せることができる。

## 6.2 施工に必要な免許、資格等

工事の実施に当たり、関係法令等に則り資材及び機材の調達を行うとともに、所定の業務の実施には免許所有者、技能講習修了者又は特別教育修了者等をあてるのは無論のこと、当該設置海域の特性や自然・社会条件に即した施工を実施することが望ましい。

資材及び機材の調達にあたっては、国内関係法令・規格に従って実施するとともに、施工に必要な免許や資格等を保有する必要がある。作業を行う者は、国内関連法令や当該設置海域における気象・海象・地盤条件や周辺海域の利用状況等を熟知しており同様の作業の経験を有するとともに、計画された作業のあらゆる態様を熟知し、設計・施工上の制約条件に関する詳細な知識を備えていることが望ましい。

表 5.1 主な業務の内容と必要な免許、技能講習の一覧（例）

区分	業務の内容	資格
1	制限荷重が 5 トン以上の揚貨装置の運転業務	揚貨装置運転士免許
2	吊り上げ荷重が 5 トン以上のクレーン、移動式クレーン又はデリックの運転業務	クレーン、移動式クレーン、デリック運転士免許
3	潜水業務	潜水士免許
4	可燃性ガス及び酸素を用いて行う金属の溶接、切断又は加熱業務	ガス溶接作業主任者免許、ガス溶接技能講習
5	最大荷重が 1 トン以上のフォークリフトの運転業務	フォークリフト運転技能講習
6	最大荷重が 1 トン以上のショベルローダ又はフォークローダの運転業務	ショベルローダ等運転技能講習
7	最大積載量が 1 トン以上の不整地運搬車の運転業務	不整地運搬車の運転技能講習
8	吊り上げ荷重が 1 トン以上、5 トン未満の移動式クレーンの運転業務	移動式クレーン運転技能講習
9	制限荷重が 1 トン以上の揚貨装置又は吊り上げ荷重が 1 トン以上のクレーン、移動式クレーン若しくはデリックの玉掛けの業務	玉掛け技能講習
10	船舶の操縦業務	海技従事者免許
11	無線機の取扱い業務	無線従事者免許
12	一般用電気工作物の電気工事作業	電気工事士免許

### 6.3 防災対策

工事実施にあたっては、工事実施期間中に起こりうる災害等を想定し、万全の対策を講じなければならない。また、災害等が発生した場合の対応方法、処置方法等も定め災害に伴う被害等を最小限にとどめなければならない。

#### (1) 気象・海象等の特性の把握

気象・海象等の情報を収集・モニタリングし、工事の実施前には季節的及び地域的な特性を把握し、作業にあたっては気象状況の把握とその変化に対応すること。警報、注意報等が発令されたとき又は気象・海象の急変するおそれのあるときは、責任者等は関係作業員に周知するとともに緊急事態に対応出来る安全対策を講じること。

#### (2) 異常気象等への対策

我が国においては、地震やこれに伴う津波、台風や高潮・高波、長周期波浪など、欧州とは異なった気象・海象条件下での海上施工となる。このため、施工海域の気象・海象等の特性を熟知している者により、我が国の自然状況を踏まえた対策、特に台風の来襲や雷発生時の対策が必要である。さらに、比較的頻繁に地震が発生することから、施工時における地震対策も不可欠である。

特に港湾でのプレアッセンブル作業の際には、タワーの一部を直立させて作業を行うことが想定されるため、地震によって組立て中のタワーが倒壊した場合、施工関係者に危険が及ぶだけでなく、港湾施設の破壊や周辺港湾施設の利用者や海域を航行する船舶に大きな危険が及ぶ大事故に繋がりがかねない。

##### ① 地震対策

陸上のプレアッセンブル作業において、タワーの直立組立などの作業を行う場合には、作業期間や設置状況を勘案して、想定される地震動の発生によりタワーが転倒しないように、転倒防止措置を講じなければならない。また、作業員や港湾利用者に対する危険防止対策も講じることとする。

##### ② 津波対策

必要に応じて、津波による水位上昇や水流等に対する作業船の安全対策を講じることとする。また、作業員に対する危険防止対策も講じることとする。

##### ③ 強風対策

陸上のプレアッセンブル作業時においてタワーを直立させる場合には、設置期間や設置場所、設置状況を勘案して、想定される風荷重に対しても、組立て中のタワーが転倒しないように、転倒防止措置を講じなければならない。また、過大な振動が生じないよう対策を検討するとともに、作業員や港湾利用者に対する危険防止対策も講じることとする。加えて、洋上ジャッキアップ作業中においても、施工中に想定される風荷重に対する安全性を確保しなければならない。台風の襲来が想定される場合には、プレアッセンブル作業や洋上施工作業

の計画を見直す必要がある。

#### ④ 雷対策

洋上風力発電施設等は、施工高さが 100m を超す大型構造物が主であり、施工中に落雷による災害（破壊等）が想定される。このため、落雷を想定した危険防止対策を検討し、必要に応じて対策を講じることとする。

また、ブレード先端部は、落雷に最も注意を要する部位で有ることから、取り付け作業時には、気象変化（上昇気流による雷雲の発達状況等）を的確に判断できる体制を整えておく必要がある。

### (3) 異常気象等への対応

作業員に危険のおそれがあるときは作業を中止し、退避する等の方法により災害防止に必要な措置を講じること。また、天災等に対しては、天気予報等に注意を払い、常に災害を最小限に食い止めるため防災体制を確立しておかなければならない。

### (4) 船舶等の避泊

船舶等の基地には、港湾管理者と協議のうえ、水深が十分あり、風、波浪、潮流等に対して安全に停泊でき、かつ、作業員が安全に乗降できる場所を選定すること。

## 第7章 その他の事項

### (1) 適切な維持管理の実施

施工完了後においても、洋上風力発電設備等の維持管理を実施できる体制を構築しなければならない。特に、落雷等の突発的な災害時において、ブレード等の大型資機材を直ちに修繕できる体制を構築することが望ましい。

### (2) 事業終了後の撤去工

国土保全及び公有水面の保全のため、洋上風力発電事業の完了後は、洋上風力発電設備等を撤去しなければならない。

※ 詳細については、平成 30 年度に検討予定