

第2回 港湾における洋上風力発電の導入円滑化に向けた 技術ガイドライン等検討委員会

日時：平成26年3月24日（月）13:30～16:30

場所：千代田区麴町5-1 弘済会館 4階 欄の間

議 事 次 第

- | | |
|----------------------|-------------|
| 1. 開 会 | 13:30～13:35 |
| 2. 議 事 | 13:35～16:20 |
| (1) ガイドラインの項目（案）について | |
| (2) 意見交換 | |
| 3. その他 | 16:20～16:30 |
| 4. 閉 会 | |

【添付資料】

- ・ 議事次第
- ・ 名簿
- ・ 座席表
- ・ 資料1 第1回委員会における論点整理と対応方針
- ・ 資料2 技術ガイドライン案
- ・ 資料3 技術ガイドライン説明資料
- ・ 参考資料1 指針や規格との概略比較表
- ・ 参考資料2 技術ガイドラインの検討体制

第2回 港湾における洋上風力発電の導入円滑化に向けた
技術ガイドライン等検討委員会 名簿

【構成委員】

○牛山 泉	足利工業大学 学長
矢吹 英雄	東京海洋大学 名誉教授
清宮 理	早稲田大学理工学術院 創造理工学部 社会環境工学科 教授
林 尚吾	東京海洋大学 名誉教授
菊池 喜昭	東京理科大学 理工学部 土木工学科 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
鈴木 和夫	一般社団法人 日本風力発電協会 理事
渡部 典正	公益社団法人 日本海難防止協会 専務理事
久郷 良夫(欠席)	日本水先人会連合会 水先業務研究委員会委員 鹿島水先区水先人会会長
石川 次郎(代理)	鹿島水先区水先人会会員
山本 丈司	一般社団法人 日本船長協会 常務理事
泉川 登	一般社団法人 日本船主協会 海務幹事会幹事長
前田 耕一	外国船舶協会 専務理事
小山 卓三(欠席)	日本内航海運組合総連合会 環境安全委員会委員
阿部 聡	内閣官房 総合海洋政策本部事務局 内閣参事官
岡野 博文	農林水産省 水産庁 資源管理部 漁業調整課 沿岸・遊漁室長
村上 敬亮(欠席)	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 新エネルギー対策課長
佐藤 直彦(代理)	新エネルギー対策課 風力海洋担当係長
津田 修一	国土交通省 港湾局 海洋・環境課長
遠藤 仁彦(欠席)	国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室長
辰巳 大介(代理)	国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室 課長補佐
吉元 博文	国土交通省 海事局 海洋・環境政策課 技術企画室長
豊藏 俊雄	国土交通省 海上保安庁 交通部 安全課 航行指導室長
神谷 洋一	環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 調整官
宮田 正史(欠席)	国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室長
下迫 健一郎	独立行政法人 港湾空港技術研究所 海洋研究領域長

【オブザーバー】

渡邊 誠(欠席)	経済産業省 商務情報政策局 電力安全課長
飯田 健治(代理)	経済産業省 商務情報政策局 電力安全課 課長補佐

(○は委員長)

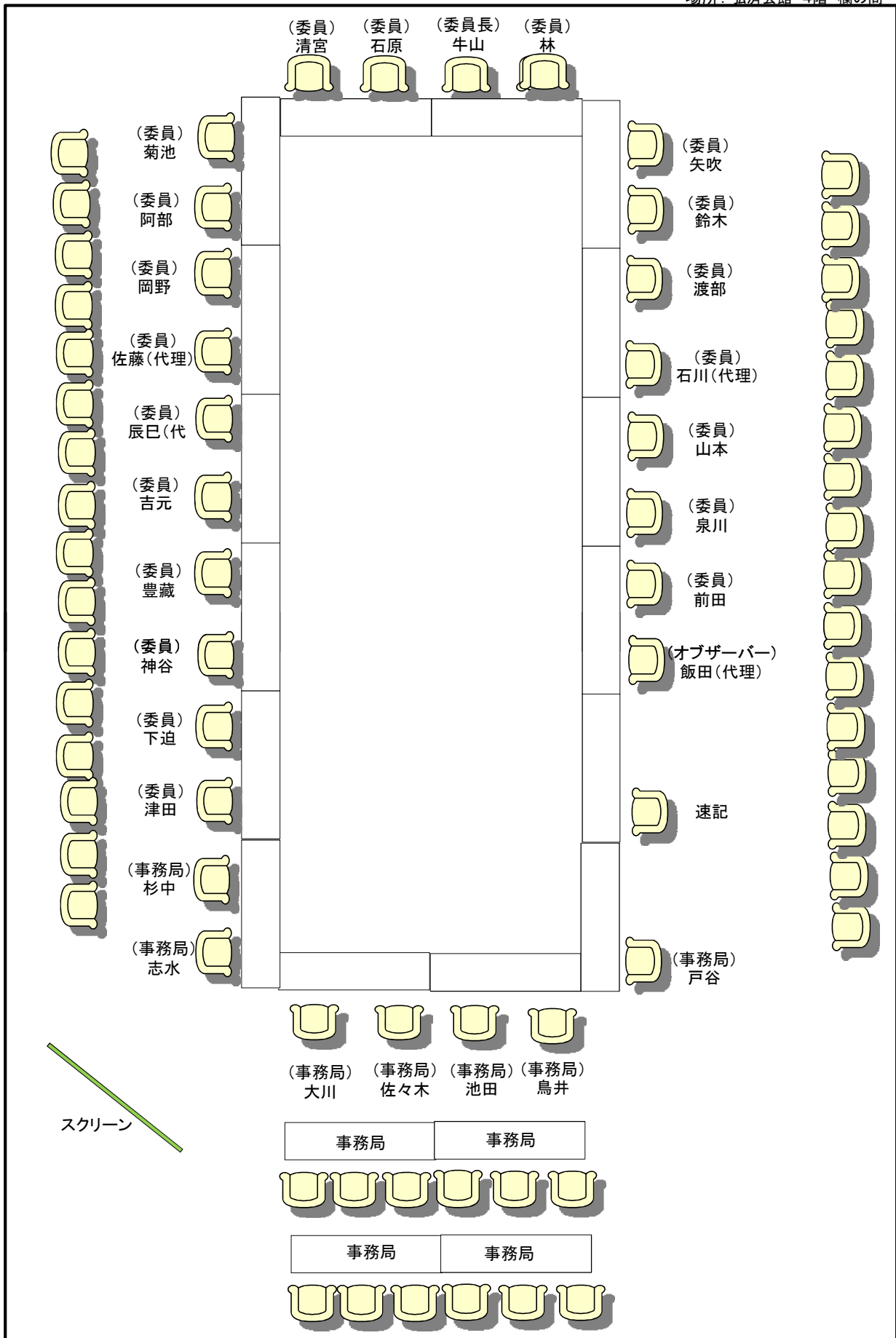
第2回 港湾における洋上風力発電設備の導入円滑化に向けた技術ガイドライン等検討委員会

配席図

日時：平成26年3月24日（月）

13:30～16:30

場所：弘済会館 4階 欄の間



【第1回委員会における論点整理と対応方針】

項目	主な論点	対応方針（案）	備考
1. ガイドラインの位置づけ・適用範囲	(1) <u>ガイドラインに記載する事項と、法令に基づく基準（港湾基準、電気事業法における基準）、土木学会で策定する指針との関係を明確化すべき。</u>	・法令との関係は、資料-3「技術ガイドライン説明資料」の「(3) 港湾法と電気事業法との関係」に整理した。 ・ガイドラインの作成方針については、「資料-2 ガイドラインの作成について」の「2. ガイドラインの必要性」、「3. ガイドラインの作成方針」に整理した。	本委員会意見
	(2) 検討対象とする風車の大きさについて、現在の風車並みとするのか、将来の大規模風車を見越すのか、 <u>ガイドラインの適用範囲を明確化すべき。</u>	・土木学会 風力発電設備支持構造物設計指針（以下、「土木学会指針」と記載）の対象風車規模に基づき、将来の大型化進展を考慮して検討を進める。	本委員会意見
	(3) 要求性能の整理が必要（船舶衝突時や倒壊時の要求性能、航路閉塞などの不安に対する要求性能、要求性能とその適用範囲などについて）	・土木学会指針、IEC61400等の国際規格等を参考に、港湾区域の風車に対し要求される性能を次年度検討する。	本委員会意見
2. 構造安定分科会で議論すべき視点	(1) 福島沖におけるサブステーション設置時、プラットフォーム上の観測タワーの風速計を支えるアームが、設計荷重を越えると思われる負荷がかかり、損傷を受けた。また、銚子沖の洋上風車は、台風により、接地線のケーブルが切断された。よって、付帯施設も本体同様に重要であるためその安全性についても検討すべき。	・付帯施設などの本体構造でないが使用において不可欠なものが、施工時、荒天時に破壊されないように、「資料-2 ガイドラインの作成について」の「第4章 ⑥付帯施設の耐久性能」に記載し、次年度検討する。	本委員会意見
	(2) 修理や維持管理についても検討すべき。 （維持管理や補修）工事に関し、航行安全分科会でも検討お願いしたい。	・修理や維持管理に必要な水域の確保については、「資料-2 ガイドラインの作成について」の「第7章 施工時」の「①施工時の安全性等（水域指定時に、据付け・補修・撤去用の工事水域に配慮）」に記載し、次年度検討する。	本委員会意見
3. 航行安全分科会で議論すべき視点	(1) <u>陸上風車はブレードや避雷針が飛ぶ等があった。洋上風車のブレード等が落下する際の影響も考慮して、離隔距離を検討すべき。</u>	・ヒアリングの結果では陸上風車の場合、周辺の交通車両や歩行者に対し、侵入や接近禁止などの特段の規制はなされていないようである。 ・航路と洋上風車との離隔については、「資料-2 ガイドラインの作成について」の「2.2船舶の航行安全 (2)航路・泊地との離隔距離」のなかで船舶航行への影響を総合的に考え、次年度検討する。	本委員会意見
4. その他考慮すべき視点	(1) 本ガイドラインは、様々な立場の人が見るものとなりうるため、 <u>実態を踏まえた分かりやすい記載内容にすべき。</u>	ガイドラインの構成に配慮し、出来るだけ具体事例を多く記載する。 港湾管理者が判断する水域占用許可の参考となるように、港湾独自の項目を網羅し、内容を検討する。	本委員会意見

港湾洋上風力発電技術ガイドラインの作成について（案）

～本委員会における検討項目～

1. 経緯

- ① 港湾及び洋上における風力発電設備の立地の増加が見込まれる。
- ② 風力発電設備の立地に関しては、「港湾における風力発電について－港湾の管理運営との共生のためのマニュアル ver1」（国土交通省港湾局・環境省地球環境局、平成 24 年 6 月）が公表された。
- ③ 関係する法律及び技術基準等としては、港湾法、電気事業法、建築基準法、航路標識法、国際航路標識協会（IALA：International Association of Lighthouse Authorities）の勧告、国際規格 IEC 61400-1：2005(Wind turbines-Part1:Design requirements) 及び IEC 61400-3：2009(Wind turbines-Part3: Design requirements for offshore wind turbines)、その対応 JIS、MGN（Marine Guidance Note）認証規格 GL Wind Guideline、そして、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説（土木学会、2010 年版：以下、「土木学会指針」）がある。現在、土木学会指針は洋上立地を考慮して改正作業中(2014 年発行予定)。
- ④ なお、発電風車の関連基準は電気事業法に 1 本化される予定（2014 年 4 月）。

2. 港湾洋上風力発電技術ガイドラインの必要性

- ① 港湾区域内に風力発電施設が建設される場合には、港湾法 37 条により水域占用許可が必要である。港湾管理者としては、施設の設置を許可するにあたっての判断基準が必要となる。（設置許可及び附款）
- ② 「土木学会指針」は洋上風力を考慮して改正作業が行われている。しかし、発電施設の適正な位置や規模、他の施設との関係、洋上特有の自然条件、港湾の利用・安全や航行船舶との関係など、「港湾特有の事項」は記述されない可能性がある。したがって、本ガイドラインでそれらについて規定する必要がある。

3. 本ガイドラインの作成方針

- ① 風力発電設備支持物の設計に関する要求性能や設計手法等については、IEC61400 などの国際規格、電気事業法の発電用風力設備に関する技術基準等、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説（土木学会、改訂版）などに原則準拠するものとし、前項 2. ②の港湾特有の事項について記述する。なお、上記の基準や指針の内容の上乗せ基準となるものについては、必要最小限のものとする。
- ② 港湾の施設の技術上の基準・同解説と整合性のとれた内容とする。
- ③ 国際規格 IEC61400 から逸脱しないことに留意することも必要である。

4. 「港湾における洋上風力発電設備の導入円滑化に向けた技術ガイドライン（仮称）」の

目次（案）

注）黄色着色部分は港湾特有の事項。

目次（案）	記述内容（記述の必要性の検討を含む）	参考文献
第1章 総則		
1.1 適用範囲	(1)対象施設 洋上風力発電設備：タワー形式、基礎形式（着床式等） 注）上記以外の形式は個別検討 (2)設置範囲 港湾区域 (3)関連法等 ① 電気事業法 ② 港湾法（港湾基準） ③ 航路標識法 ④ 国際規格 ⑤ 土木学会指針 ⑥ その他（地方自治体のガイドライン等） 「港湾における風力発電について」との関係、地方自治法の「技術的助言」との関係	
1.2 経過措置	(1)既存施設への不適用 (2)ガイドラインの適用時期	
1.3 用語の定義	(1)土木学会指針で定義した用語以外の用語 (例) 「港湾計画」、「基本方針」、「占用等の許可」、「設計地盤面」、 「離隔距離」等	(1)土木学会指針、IEC規格
第2章 施設位置の選定と施設計画		
2.1 安全かつ適切な位置と規模の選定	(1)ゾーニング*1 港湾計画（再生可能エネルギー源を活用する区域）、風車規模の想定、自然条件、港湾の施設、航行安全、荒天時の避泊、海岸保全施設、民家その他の施設との関係から記述） (2)水域指定と利用条件*1 水域指定(公募)する際の配慮事項、占用許可を与える場合の	(2)占用許可基準の参考指針 (注)：港湾区域等に風力発電施設を設置する場合の占用等の許可基準等の参考指針 平成

*1) 規格に記載のないもの。

*2) 規格に項目はあるものの、具体の記述があまりないもの。

<p>2.2 船舶の航行安全</p>	<p>検討事項</p> <p>(3)関係者との調整*1)</p> <p>航行安全に関する地元関係者との合意</p> <p>(1)風車発電施設の視認性</p> <p>(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・標示方法（塗色、灯火） ・施設群の中の特定の施設（端部等）の識別 ・風車立地による他船や航路標識等の遮蔽・眩惑・誤認への影響等 ・レーダー映像への影響 等 <p>(2)航路・泊地との離隔距離*1)</p> <p>(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・操船のための余裕（避航操船のために必要な距離等） ・錨泊場所からの距離 ・走錨対応のための距離 ・風車タワーの転倒 等 <p>(3)海底ケーブル敷設時の留意事項</p> <p>(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・船舶航行、投錨、港湾施設工事等への支障がない海底ケーブルの敷設ルート <p>(4)船舶航行に関する留意事項</p> <p>①船舶航行の留意事項</p> <p>(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・航行の条件（必要性（視界不良時・悪天候時）、航行の条件と対象船型） ・水域内クリアランス条件（航行船舶の高さと水面高さから風車回転翼下端までの高さ） ・物理的制約条件を海図・AISに表示 ・ウィンドファーム内に進入する小型船舶への対応 等 <p>②港口付近の留意事項*1)</p> <p>(5)その他</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防衝設備（配置上の配慮事項など） ・無線施設等への影響 等 	<p>23年6月 国土交通省 港湾局</p> <p>(1)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・航路標識許可基準（航路標識法） ・MGN(UK)(注) ・IALA 勧告 <p>(2)港湾技術基準</p> <p>・MGN(UK)</p> <p>・MGN(UK)</p> <p>・MGN(UK)</p> <p>・MGN(UK)</p> <p>・MGN(UK)：設備への接近禁止</p>
--------------------	--	---

注) MGN(UK) : Marine Guidance Note 英国海上安全庁のガイダンスノート

注) 国際航路標識協会 (IALA : International Association of Lighthouse Authorities) の勧告

第3章 施設の設計		
3. 1 一般	<ul style="list-style-type: none"> 船舶航行その他の海域利用、自然条件、社会環境等への配慮と安全確保 	
3. 2 調査	<p>(1)調査項目</p> <p>「港湾基準」、「土木学会指針」に記述のある事項については準拠すること、それ以外に必要事項について検討の上記述。</p> <p>(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 気象 (例：霧、音、雷、氷等) ② 海象 (例：「設計津波」、「設計津波」を超える津波、潮流、波等) ③ 地象 (海底変動、ピンポイントの地盤調査等) ④ 航行船舶調査 ⑤ 環境 ⑥ 既定の港湾整備計画等の把握 ⑦ その他 	(1)土木学会指針
3. 3 設計		
3. 3. 1 設計手法	<p>(1)基本方針</p> <ul style="list-style-type: none"> 「土木学会指針」に原則準拠（許容応力度法、限界状態設計法等）する。 「土木学会指針」の内容を検討の上、必要な追記事項を記述。 船舶の航行運用条件の検討（2. 2(3)）を基に、必要に応じ設計対象とする船舶を選定する。 <p>(2)荷重等</p> <p>(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 地震：時刻歴応答解析に用いるレベル2地震動*2) ② 津波：「設計津波」、「設計津波を超える津波」に対する検討*2) ③ 海底地盤変動：設計地盤面の設定*2) ④ 衝突荷重*1)と防衝工（Eurocodes1のAccidental Actionsが参考になる） ⑤ 電線等埋設物（海底ケーブルの敷設）：埋設深さ、適切な防護設備等 	<p>(1)土木学会指針、IEC規格</p> <p>(2)土木学会指針、IEC規格</p> <p>⑤港湾技術基準、沈埋トンネル技術マニュアル</p>

3. 3. 2 構造設計	<p>(1)要求事項</p> <p>①土木学会指針に準拠</p> <p>②追加検討事項</p> <p>「土木学会指針」の内容を検討の上、必要な追加検討事項を記述。</p>	②土木学会指針
第4章 付帯設備	<p>(1)付帯設備</p> <p>付帯設備に関する記述の必要性も含めて記述内容を検討。</p> <p>① 施設位置を示す標識灯等</p> <p>② レーダー反射器</p> <p>③ 音響信号機</p> <p>④ 避雷設備</p> <p>⑤ 維持管理に使用する設備</p> <p>⑥ 付帯施設の耐久性能</p>	(1)MGN(UK) IALA (注)
第5章 維持管理計画	<p>(1)維持管理計画</p> <p>① 関係法令に基づく検査の実施と港湾管理者への提出</p> <p>② 維持管理計画（管理体制、自主点検基準の作成、防食管理、撤去、海底面の変化等）の作成と港湾管理者への提出</p>	(1)IEC 規格
第6章 緊急時対応	<p>(1)緊急時対応</p> <p>①緊急時対応計画の港湾管理者への提出</p> <p>②救難へり等、緊急時における風車の稼働停止要請</p> <p>③倒壊時、損傷時における対応</p> <p>④漂流船への対応（AIS 利用の可能性）*1</p> <p>⑤連絡体制づくり</p>	(1)IEC 規格 MGN(UK)
第7章 施工時	<p>(1)施工安全</p> <p>①施工時の安全性等（水域指定時に、据付け・補修・撤去用の工事水域に配慮）</p> <p>②施工時（施設が未完成の時点）に受ける外力に対する安全性（施工時の考え方や参考データを整理）</p> <p>③施工計画書の作成と港湾管理者への提出</p> <p>(2)航行安全</p> <p>①地元との調整</p>	(1)MGN(UK)

5. 参考資料

洋上風力発電技術ガイドラインの目次案、IEC61400-1:2005(JIS1400-1)、IEC61400-3 : 2009 及び「土木学会指針」の概略比較を参考資料 1 に示す。

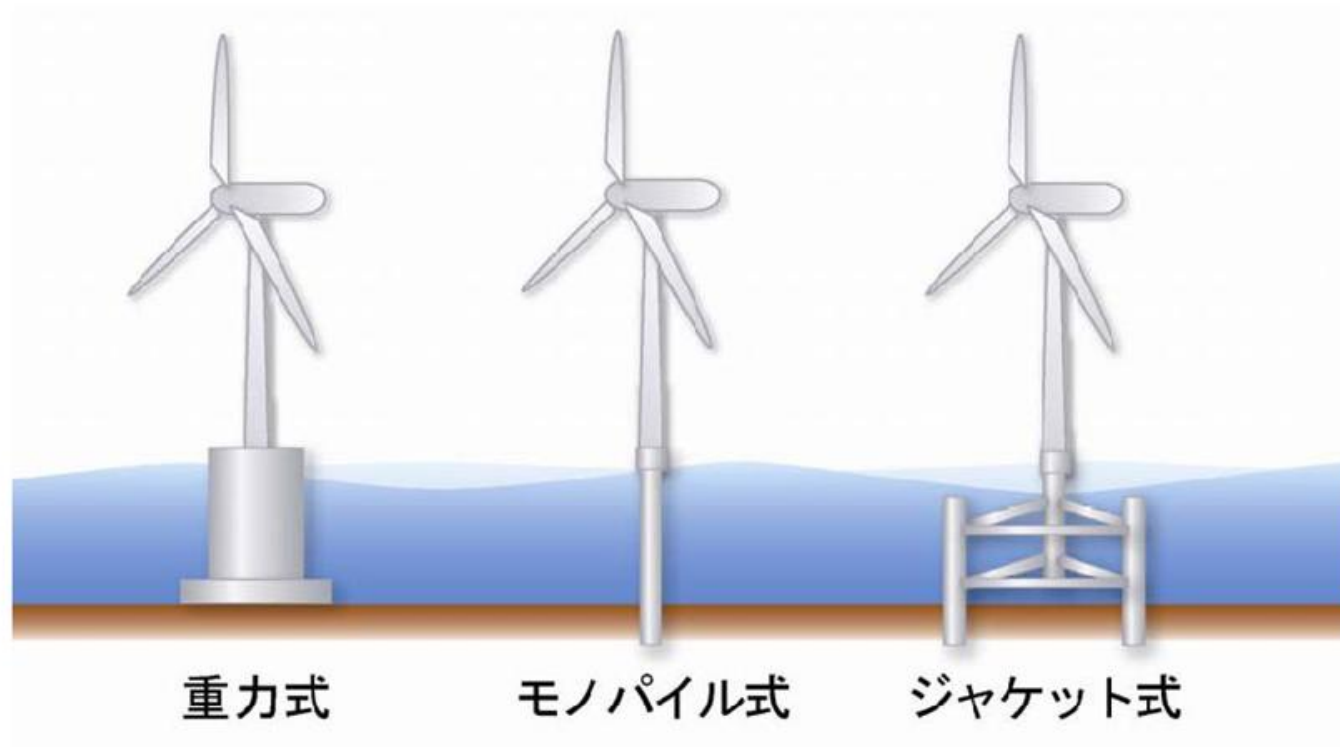
資料3

技術ガイドライン説明資料

- (1) 洋上風力発電設備の基礎形式
- (2) 洋上風力発電設備の規模
- (3) 港湾法（水域占用・技術ガイドライン）と電気事業法（土木学会指針）との関係
- (4) 安全かつ適切な配置と規模の選定（ゾーニング）
- (5) 荒天時の避泊エリア
- (6) 水域指定の事例
- (7) 船舶の航行安全（洋上風力発電設備の適地選定イメージ）
- (8) 付帯設備（標識、信号等）
- (9) ウィンドファームにおける標識灯配置法
- (10) 航路・泊地との離隔
- (11) 港口付近の留意事項
- (12) 風況観測タワー（送電中継基地）
- (13) 海底ケーブル敷設
- (14) 風車後流の影響
- (15) 風車基部の流れに対する影響
- (16) AIS活用による緊急時対応案
- (17) 港湾施設工事における離隔の取り方
- (18) 洋上風力発電設備設置の作業船(1)
- (19) 洋上風力発電設備設置の作業船(2)
- (20) 洋上風力発電設備設置の作業船(3)

(1) 洋上風力発電設備の基礎形式

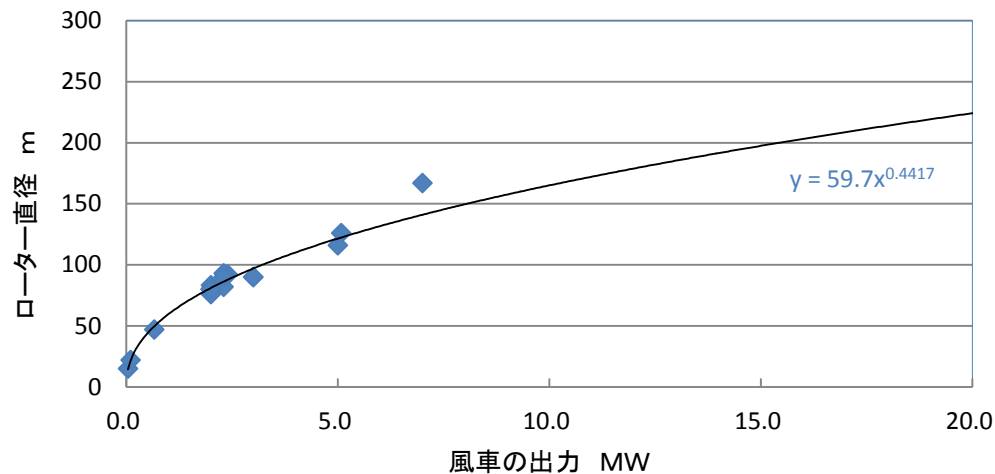
■ 港湾区域は水深が比較的に浅いため、構造形式は着床式を検討対象とする。着床式の基礎形式は重力式、モノパイル式、ジャケット式である。



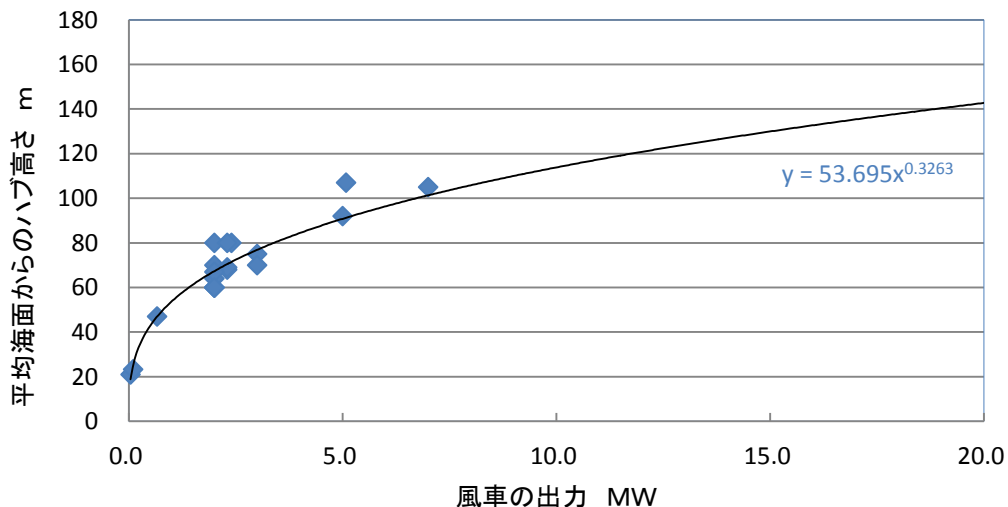
出典:「港湾における風力発電についてー港湾の管理運営との共生のためのマニュアルver1」国土交通省港湾局・環境省地球環境局 平成24年6月

(2) 洋上風力発電設備の規模

■風車の発電量は、風車面積と風速の3乗に比例する。陸上に比べ洋上風力は大型化することが予想される。



風車出力とローター直径の関係



風車出力と平均海面からのハブ高さの関係

※風車規模の参考のため、国内外の代表的風車20例を抽出し、風車の出力と規模の関係を整理した。

(3) 港湾法(水域占用・技術ガイドライン)と電気事業法(土木学会指針)との関係

電気事業法

発電用風力設備に関する技術基準を定める省令
 発電用風力設備の技術基準の解釈について

- ・発電用風力設備である電気工作物(発電、変電、送配電設備など)に関する技術基準(電気事業法第39条)への適合
- ・風車支持物の技術基準・審査を建築基準法から電気事業法に一本化(予定)

(風力発電設備支持物構造設計指針・同解説(土木学会))

2007年版 風車の高さ60m以下を対象
 2010年版 風車の高さ60m以上を対象
 2014年版(予定) 洋上風力発電

洋上風力発電技術ガイドライン

第1章 総則

- 1.1 適用範囲
- 1.2 経過措置
- 1.3 用語の定義

第2章 施設位置の選定と施設計画

- 2.1 ゾーニング
- 2.2 水域指定と利用条件

第3章 施設の設計

- 3.1 一般
- 3.2 調査
- 3.3 設計
 - 3.3.1 設計手法
 - 3.3.2 構造設計

第4章 付帯設備

- 第5章 維持管理計画
- 第6章 緊急時対応
- 第7章 施工時

【ガイドラインの目的】

港湾管理者が設置許可を行う際の判断の参考とするためのもの

港湾特有の事項

港湾法第37条(水域占用許可)

下記行為は港湾管理者の許可が必要

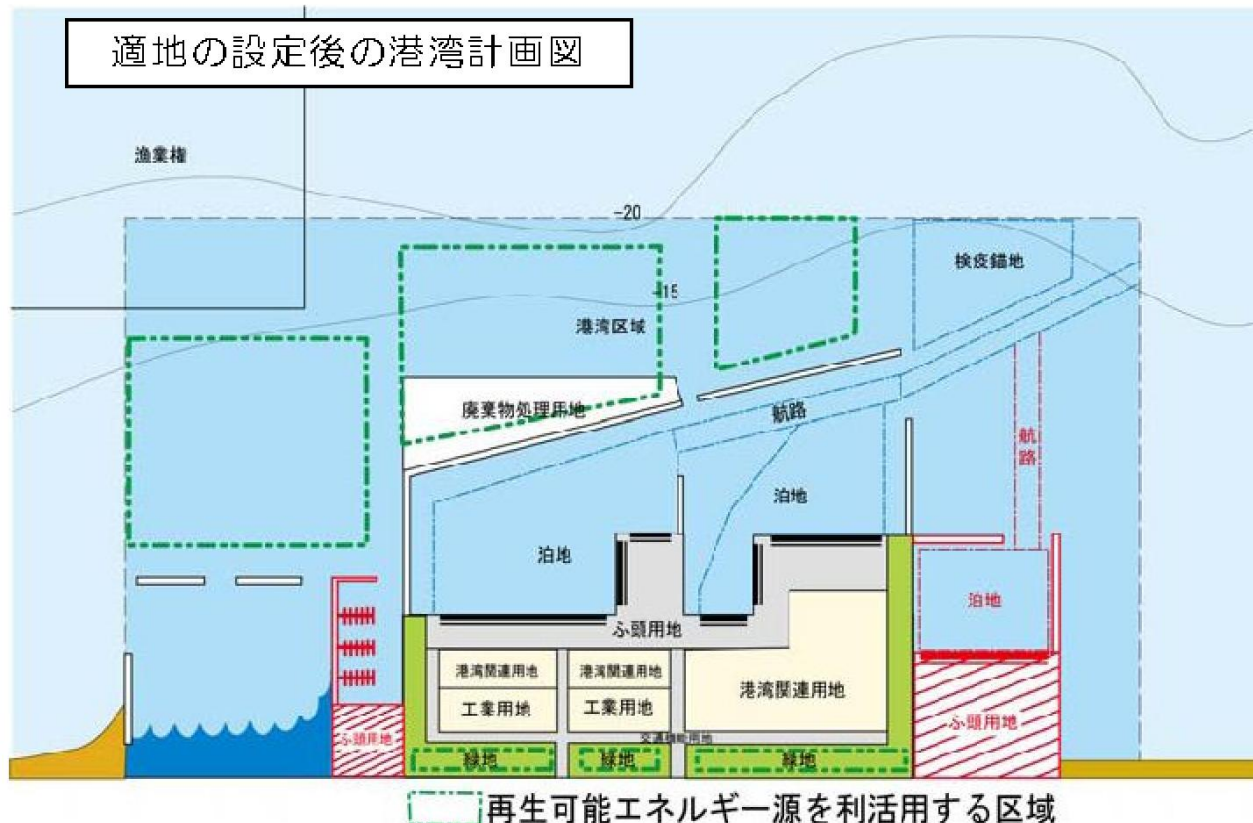
- ①港湾区域内の水域又は公共空地の占用
- ②港湾区域内の水域又は公共空地における土砂の採取
- ③水域施設、外郭施設、係留施設、運河、用水きよ又は排水きよの建設又は改良
- ④港湾の開発、利用又は保全に著しく支障を与えるおそれのある政令で定める行為

港湾の施設の技術上の基準を定める省令

- ・港湾の施設に関する設計・施工全般
- ・港湾の施設に関する維持管理計画

(4) 安全かつ適切な配置と規模の選定(ゾーニング)

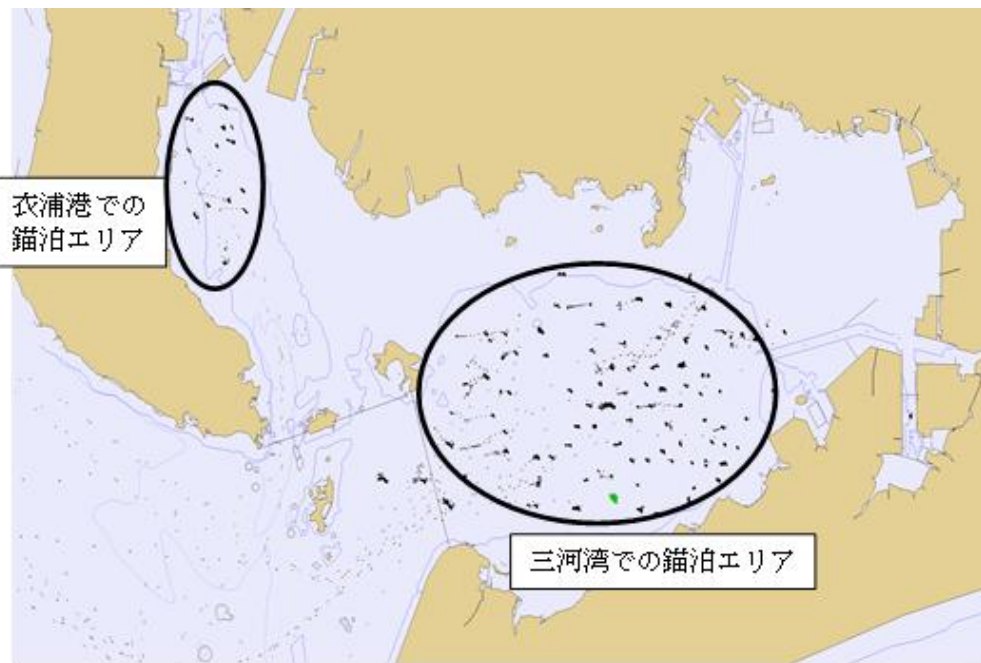
■ 港湾区域内は様々な用途で利用され、適切にゾーニングされている。洋上風力発電設備については、港湾計画において、再生可能エネルギー源を利活用する区域として位置づけし、その中に配置する。



出典:「港湾における風力発電についてー港湾の管理運営との共生のためのマニュアルver1」国土交通省港湾局・環境省地球環境局 平成24年6月

(5) 荒天時の避泊エリア

■ 荒天時には湾内や港湾区域内に多くの船舶が錨泊している。そのため、洋上風力発電設備の立地エリアの設定にあたっては、錨泊エリアに影響を及ぼさないようにする必要がある。



注) 黒点が錨泊船の位置

三河湾における避泊の状況

出典: 国総研によるデータ分析(2009年台風第18号)



平成16年の台風を対象に船舶運航者へアンケートした結果

出典: 国総研資料

(6) 水域指定の事例

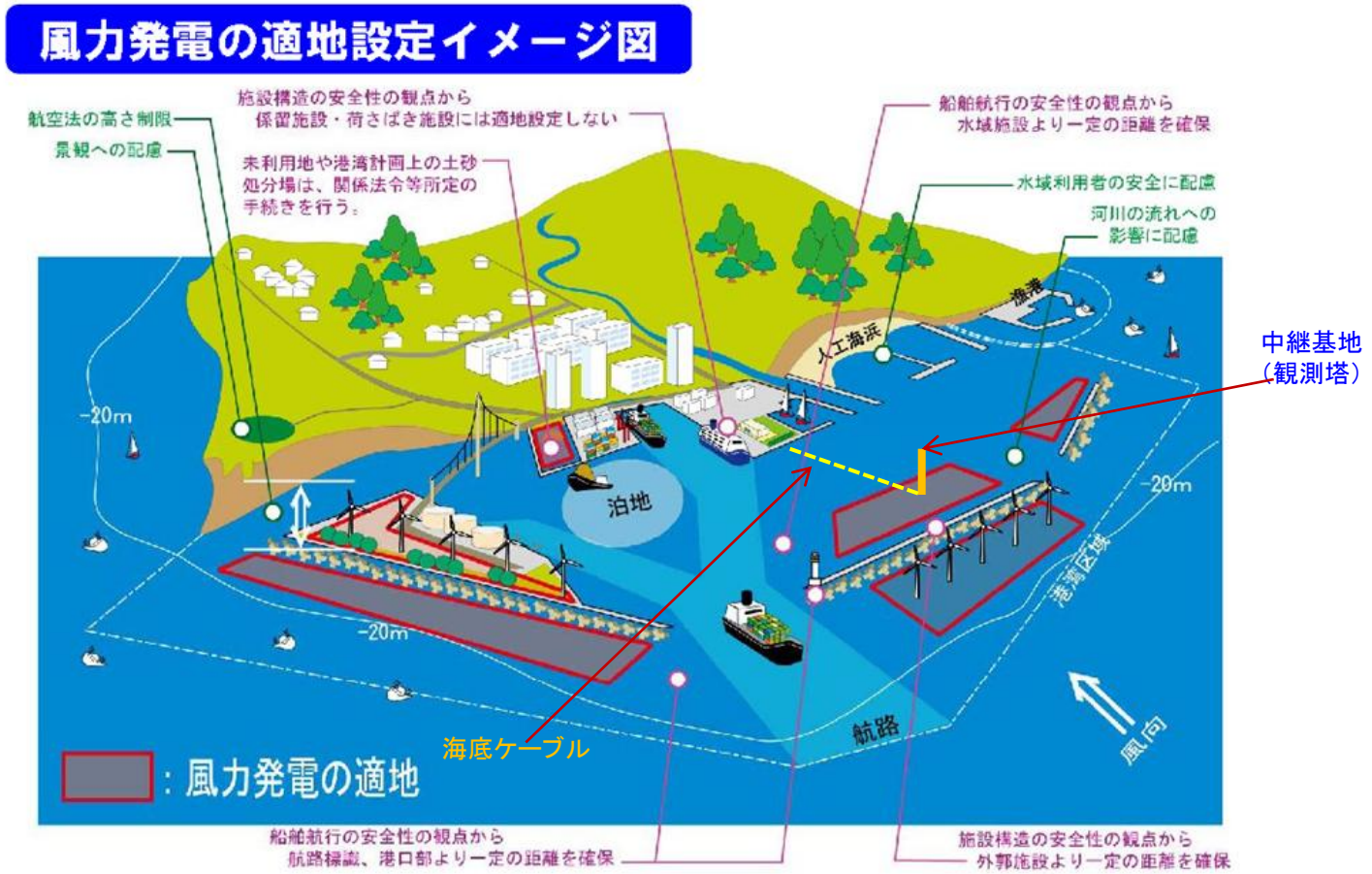
■ 鹿島港では、再生可能エネルギー源を活用する区域を港湾計画で位置づけ、洋上風力発電事業を行う。



再生可能エネルギー源を活用する区域

(7) 船舶の安全航行(洋上風力発電設備の適地設定イメージ)

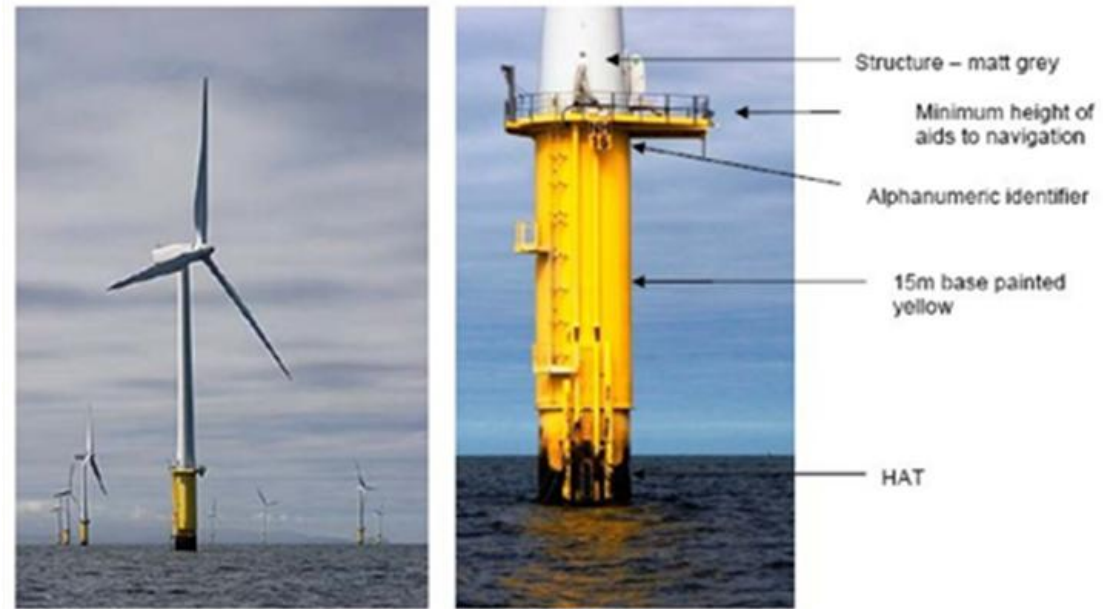
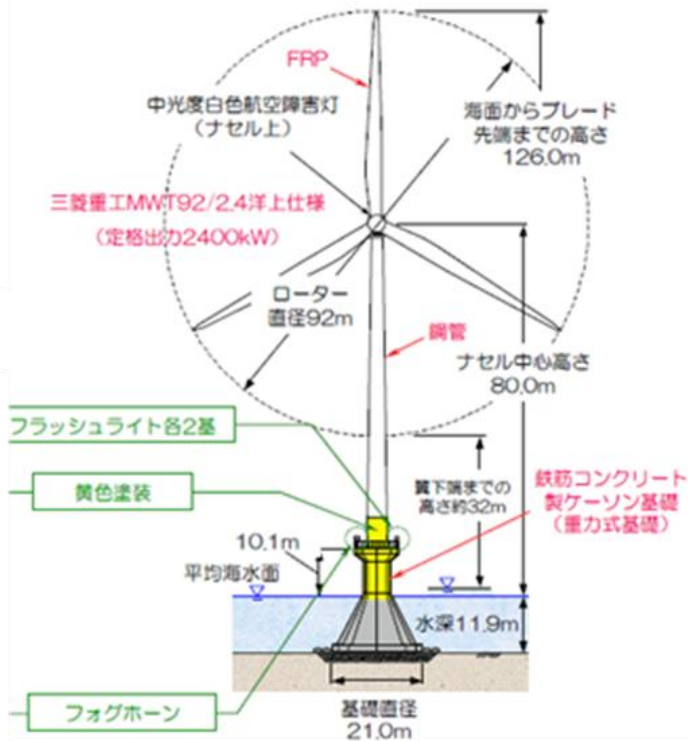
■ 船舶航行や港湾施設(航路、泊地、外郭施設など)に影響を及ぼさないよう、洋上風力発電設備、電力中継基地(観測塔)、海底ケーブルを配置していく必要がある。



出典:「港湾における風力発電についてー港湾の管理運営との共生のためのマニュアルver1」国土交通省港湾局・環境省地球環境局 平成24年6月 に加筆

(8) 付帯設備(標識、信号等)

洋上風力発電設備の標識、信号等の設置は、航路標識法、国際航路標識協会の勧告事項に準拠する。



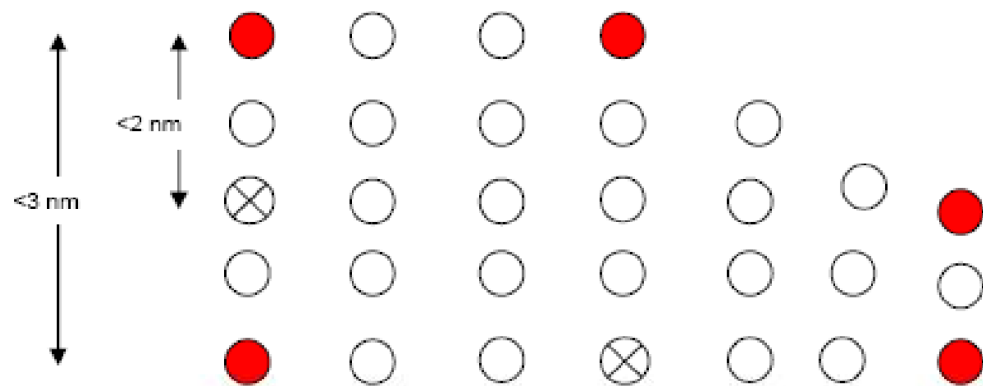
(Photos Courtesy Npower Renewables)

銚子沖洋上風力発電の付帯設備

出典: 英国安全庁ガイダンスノート (Marine Guidance Note)

(9) ウィンドファームにおける標識灯配置法

■ ウィンドファーム境界の標識灯の配置については、IALA(国際航路標識協会:International Association of Lighthouse Authorities)の勧告等により下図のとおりとなっている。(Recommendation O-117 on the Marking of Offshore Wind Farms:IALA)



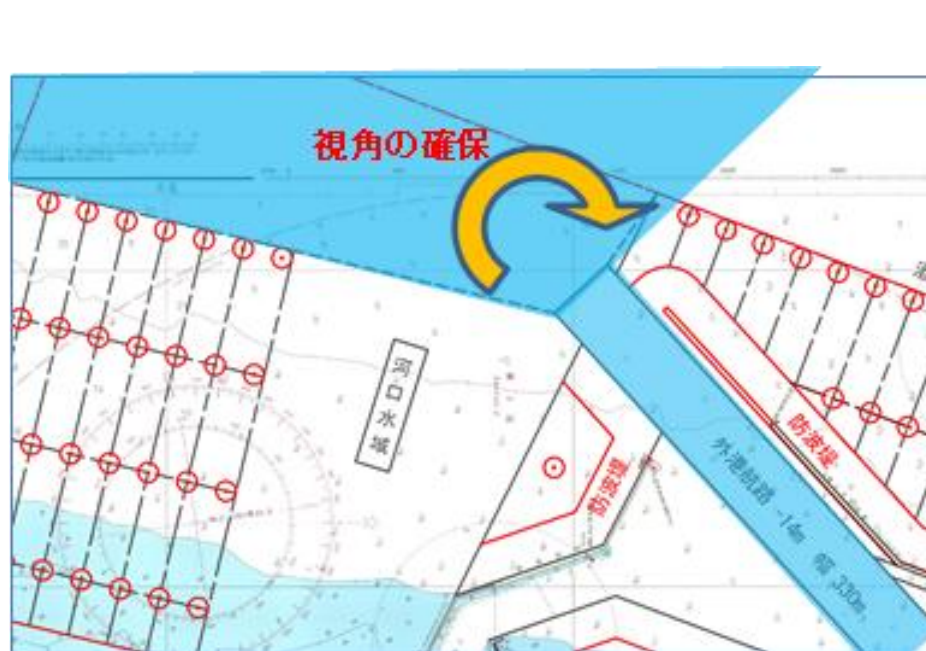
- 《凡例》
- ウィンドファーム水域の隅角部または境界にある風車(SPS: Significant Peripheral Structure)には、それぞれ到達距離 5 海里 (nm) 以上の同期された黄色閃光全周灯を回転翼下限より下部に設置、またこれらの SPS 間の距離は 3 海里以内とすること。
 - ⊗ 上記以外に中間の場所にある風車には黄色で異なる灯質の灯火を SPS 風車から 2 海里を超えない範囲に設置すること。(1 国際海里=1.852km)
 - 上記以外の発電風車

ウィンドファームの標識灯の平面配置法

出典: 英国安全庁ガイダンスノート (Marine Guidance Note)

(11) 港口付近の留意事項

■防波堤関門部は船舶からの視界を確保する必要があるため、視界を妨げないように風車の配置に配慮する必要がある。



(12) 風況観測タワー(送電中継基地)

■ ウィンドファームからの送電は、風況観測タワーに併設される中継基地(変電設備)により行われることが多い。

作業工程 (銚子沖)

1 環境影響評価



生物や景観などの事前調査を行い、洋上風況観測タワーと洋上風車の設置に伴う環境への影響を予測・評価します。なお、環境影響は洋上風車の設置前後や稼働中にも行い、環境影響評価を検証します。

2 基礎構造物の建設



基礎構造物は、台風や地震などの厳しい自然環境下においても洋上風況観測タワーと洋上風車を支えるように設計・製作されたものです。海底から海面まで十数mの高さの構造物で重量は数千です。

3 洋上風況観測タワーの設置



洋上約100mの鉄塔で、10m間隔で風向や風速などを計測します。最大200mまでの上空の風況をリモートセンシング技術で観測できる国内初の観測用のタワーです。

4 海底ケーブルの敷設



洋上風車で発電した電力を陸上に送電したり、洋上風況観測タワーの計器類に電源を供給する電力ケーブルと、観測結果や風車のデータを送信する通信ケーブルを海底に敷設しています。

5 洋上風車の設置



ブレードの中心は海面高さ約80m、ローター径92mで、2400kWの発電機や変圧器などが搭載されている格納施設(ナセル)には、塩害対策や結露・腐食防止対策などを施しています。

6 送変電設備の設置



送変電設備は、洋上風車で発電した電力の電圧を変えたり、既存の電力系統への接続・遮断を行い、発電した電力を送電するための設備で、洋上風車に近い陸上に設置します。

7 試運転



すべての設備の設置終了後、各設備の試運転を行い、発電設備、観測設備、通信設備などの点検を行います。特に風車の試運転では、電気系統、安全装置、ブレーキ、ピッチ制御などの動作確認を行います。

8 運転開始



2014年度末まで約2年間、洋上風況観測タワーによる風況データの収集および洋上風車における発電性能の検証や運転・保守に関する技術の検討などを行い、データやノウハウを蓄積します。

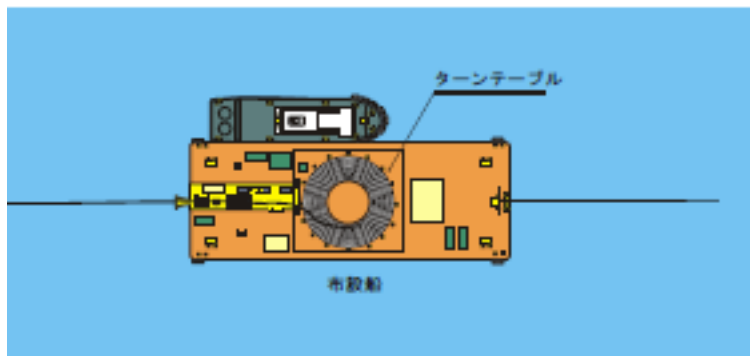
北九州港の洋上風力発電の風況観測タワー



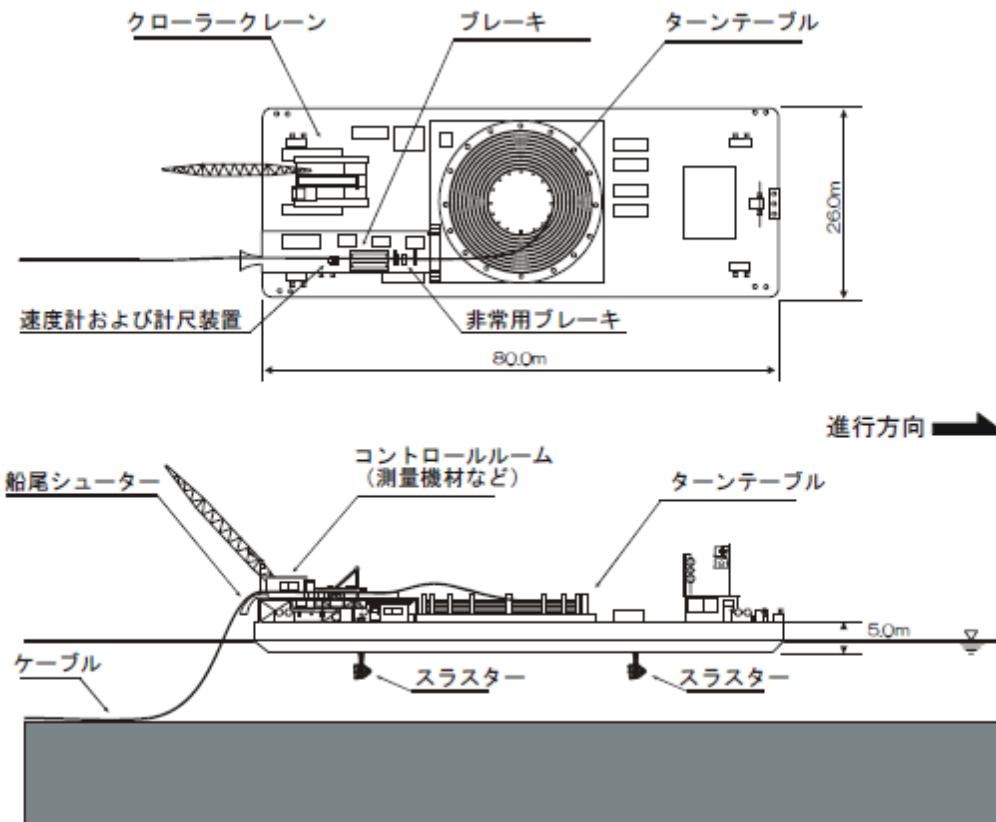
出典：洋上風力発電の取組 (NEDO)

(13) 海底ケーブル敷設

- 海底ケーブルの敷設位置は、航路や泊地、防波堤等の港湾施設に配慮する必要がある。
- 海底ケーブル敷設する際の施工が、航行船舶等に与える影響を考慮する必要がある



ケーブル敷設船による敷設

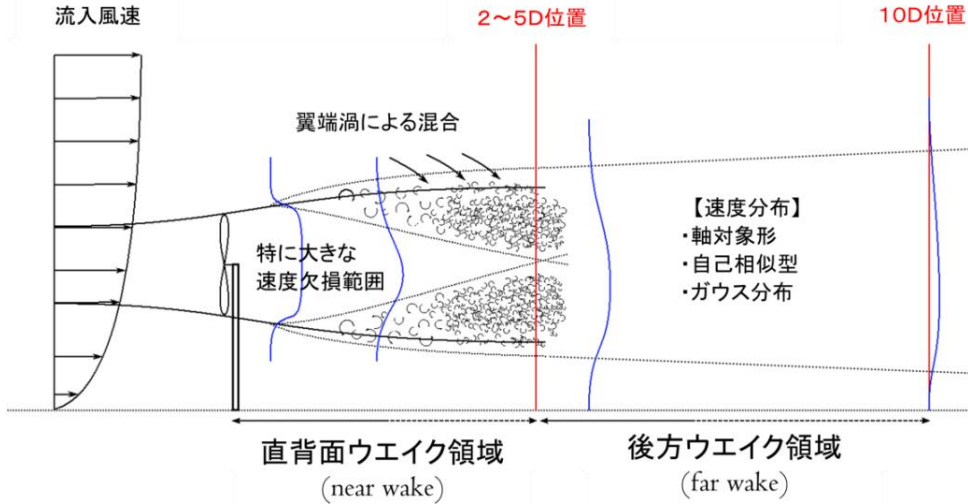


海底ケーブル敷設船艙装の例

出典：沿岸域における新エネルギープロジェクトの構築に関する調査報告書 平成18年3月 国土交通省港湾局 開発課海洋利用開発室 財団法人 沿岸技術研究センター

(14) 風車後流の影響

■ 風車後流は、直背後が最大で離れるにつれて徐々に弱まる上、風の乱れが生じる高さは、大型コンテナ船の上部に限られるため、風車後流が船舶の航行に与える影響はほとんどないと考えられる。

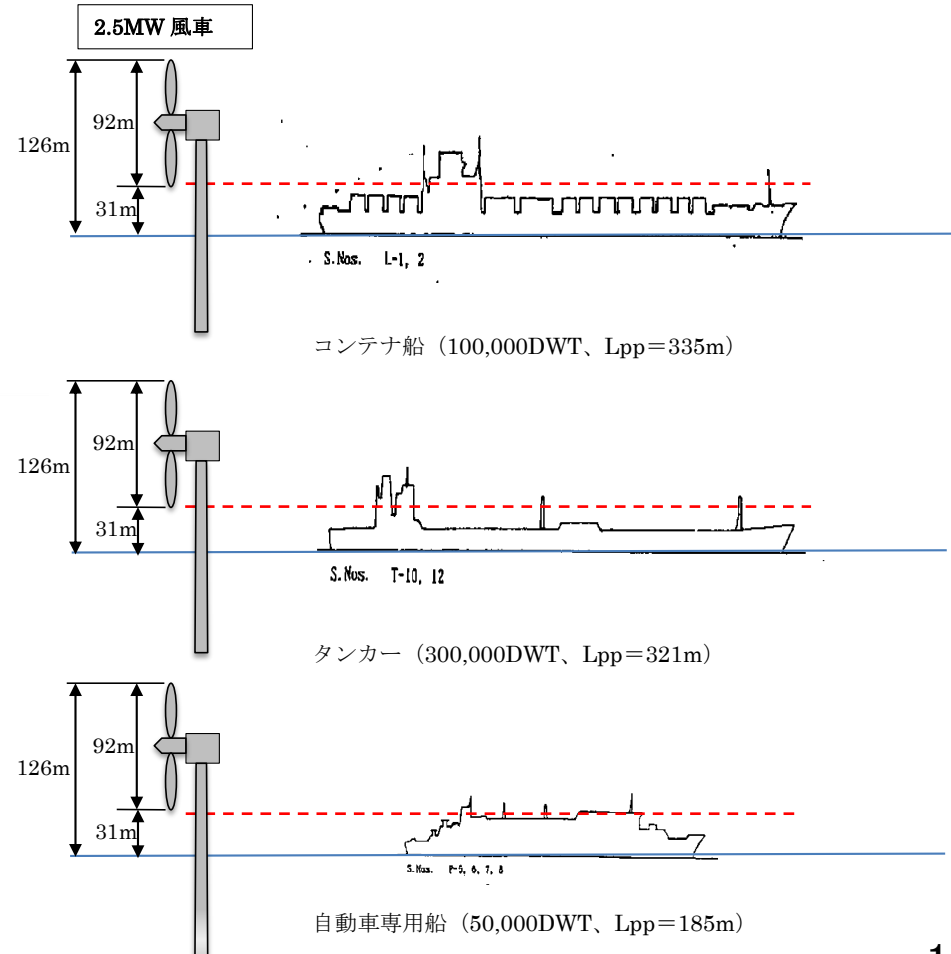


風車後方ウエイクの模式図

- ・ 風の乱れは、回転している風車の直背後が大きく、離れるにつれて徐々に弱まる。
- ・ その影響範囲は、概ね $2 \sim 5 \times D$ (D : ローター直径) であり、 $10D$ 離れると周囲の風とほぼ変わらなくなる。

参考文献) B. Sanderse, "Aerodynamics of wind turbine wakes, Literature review", ECN-E-09-016

・ 風車の回転による風の乱れが生じる高さは、大型のコンテナ船の上部に限られる。

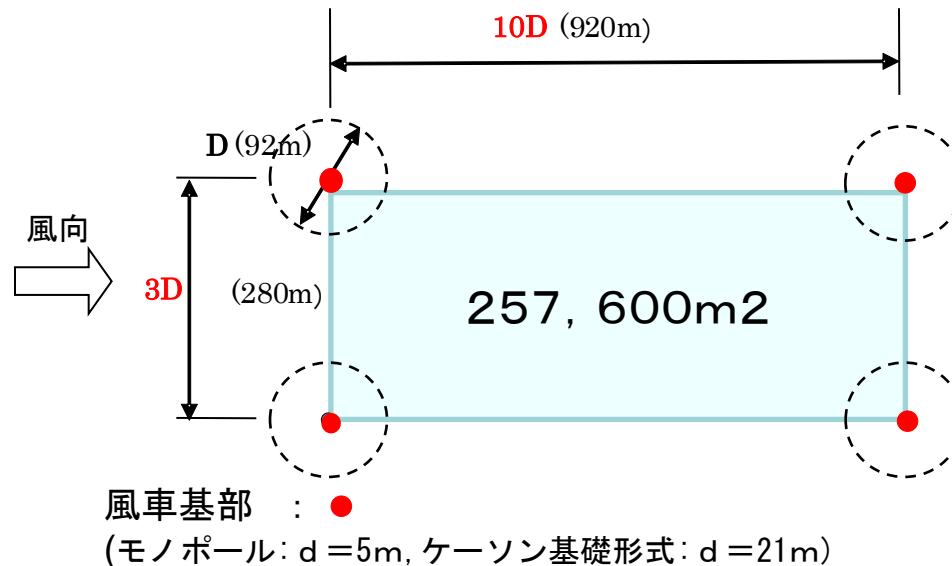
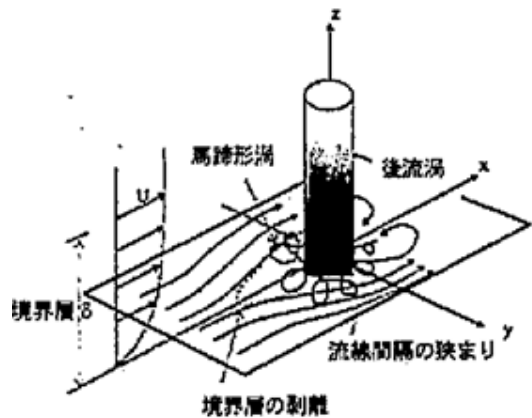


注) 参考のため船体は垂線間長Lppに合わせスケール調整しているため、実船型の姿図とは異なる。

(15) 風車基部の流れに対する影響

■ 風車基部が占有水域に占める割合はごく小さく、流れに与える影響は構造物周辺に限られることから、風車の存在による潮流変化が航行船舶に与える影響は、ほとんどないと考えられる。

・ 風車基部が占有水域に占める平面積の割合はごく小さく、流れに与える影響は、構造物周辺に限られる。



■ 占有面積に風車基部が占める面積割合の算定例

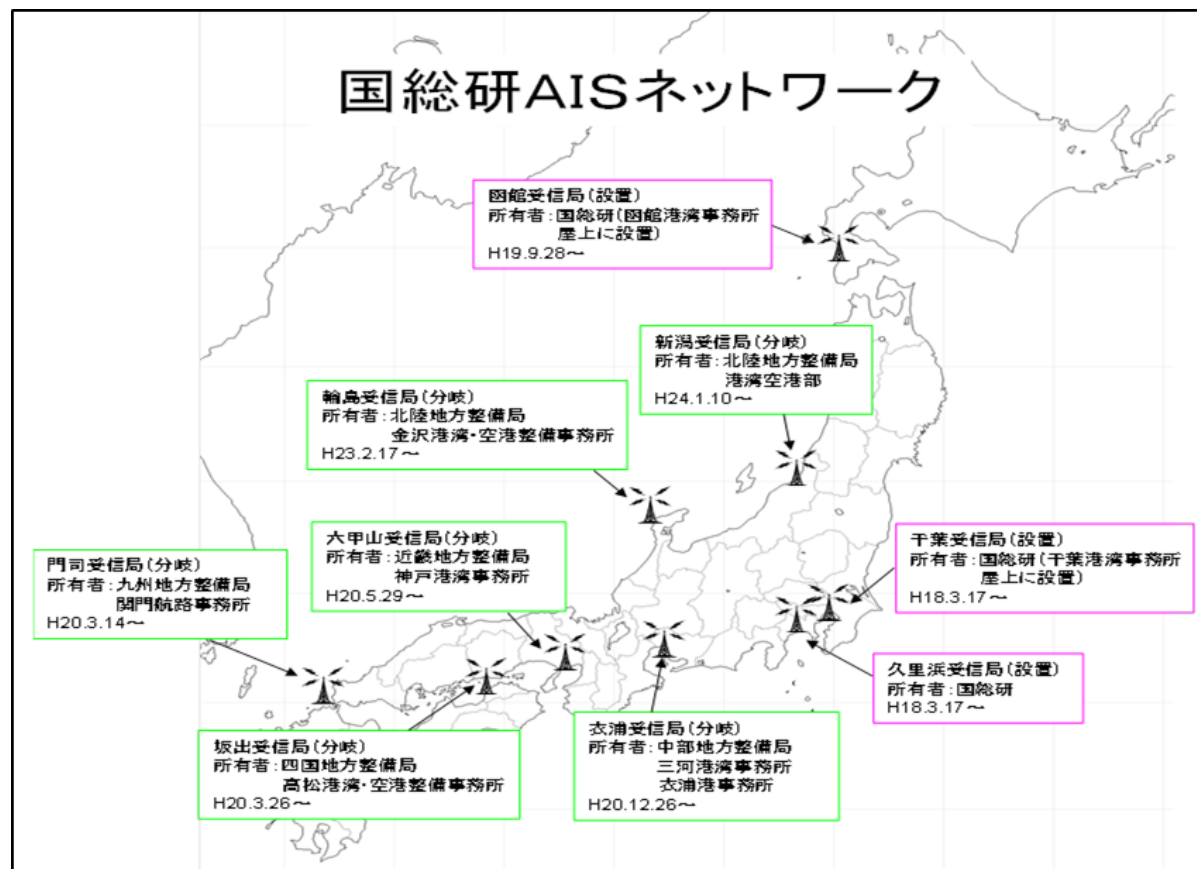
- 対象風車 : 2.5MW級 ローター直径 $D=92m$
- 基部寸法の仮定値 : モノポール相当 $d=5m$ (約 $20m^2/基$)
ケーソン基礎形式 $d=21m$
(海底面付近 約 $350m^2/基$)
- 風車の配置間隔 : $10D \times 3D$
(風車の1基当たりの占有水域面積 : $257,600m^2$)

風車基部が水域に占める面積割合

- モノポール相当 : 0.008%
- ケーソン基礎形式 : 0.14%

(16) AIS活用による緊急時対応案

■漂流船舶の挙動は予測不能であるため、AISやレーダーなどのリアルタイム性を活用し、船舶が一定距離まで接近した時点で、風車の停止要請等を行うことが考えられる。



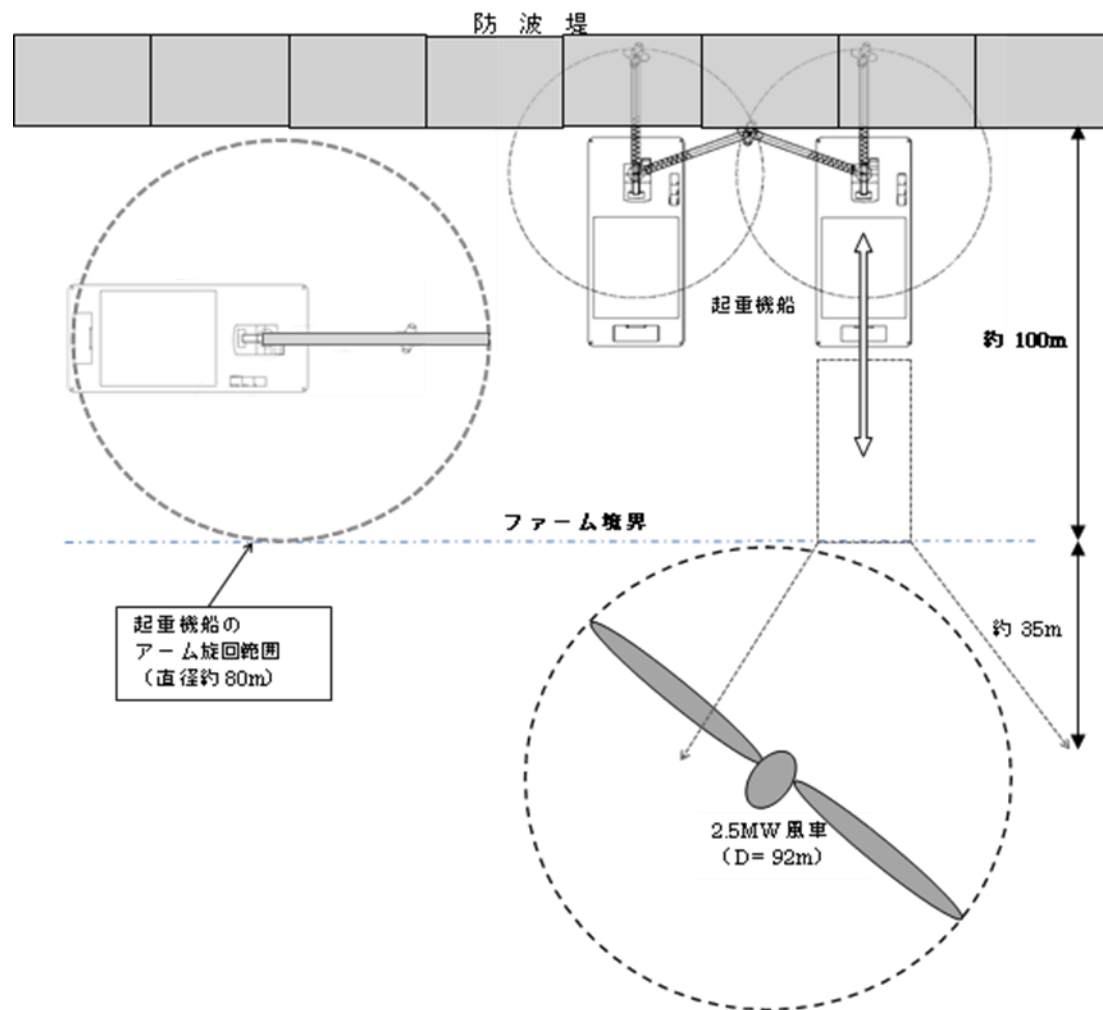
出典:国総研資料

AISネットワーク(各々受信局のレンジは半径60km程度)

※国総研ではNILIM-AISと称するAIS受信局ネットワークを有しており、三大湾や主要な海上交通の要所についてはデータ取得が可能であり利用が検討できる。

(17) 港湾施設工事における離隔の取り方

■ 洋上風力設置位置は、港湾施設の整備・維持管理等の施工に影響を及ぼさない離隔を設けておく必要がある。



(18) 洋上風力発電設備設置の作業船(1)

■洋上風力発電設備の設置工事には、専用の自己昇降式の作業船(SEP)を使用するのが効率的であり、風車の大型化に伴い、大型SEP船が必要になる。

SEPくろしお



対波性能を高めた堅牢な船体及び高性能昇降装置を備えた国内初の外洋対応型SEPです。

汎用SEPとしての機能・性能に加え、大型クレーンを搭載し、素早く上昇させる事により洋上風車の施工には最適です。建て起こし装置により、迅速なモノパイル施工にも対応します。

種別	自己昇降式作業台船		
船体寸法	(L×B×D)48.0m×25.0m×4.2m		
レグ寸法	φ2,100mm×(50.0m)		
昇降能力(最大)	3,600t(900t×4基)		
昇降方法	油圧強制ピン嵌合式 ピッチ1340mm GUSTO MSC社製		
原動機	油圧ユニット用280kw×2台、発電機144kw×1台		
甲板耐荷重	甲板中央部50、その他デッキ部分40t/m ²		
自重	1,250t(レグを除く)	積載荷重	1,050t
アンカーウインチ能力	10t×20m/min×4台	アンカーワイヤー	φ36mm×400m
操作室	9m×5.5m	燃料タンク	35k?
清水タンク	35?×2区画	船級	NK
作業条件	波高(H1/3)	潮流	風速
作業時	2.0m	1.5knot	36m/sec
荒天時	6.0m	1.5knot	51.5m/sec

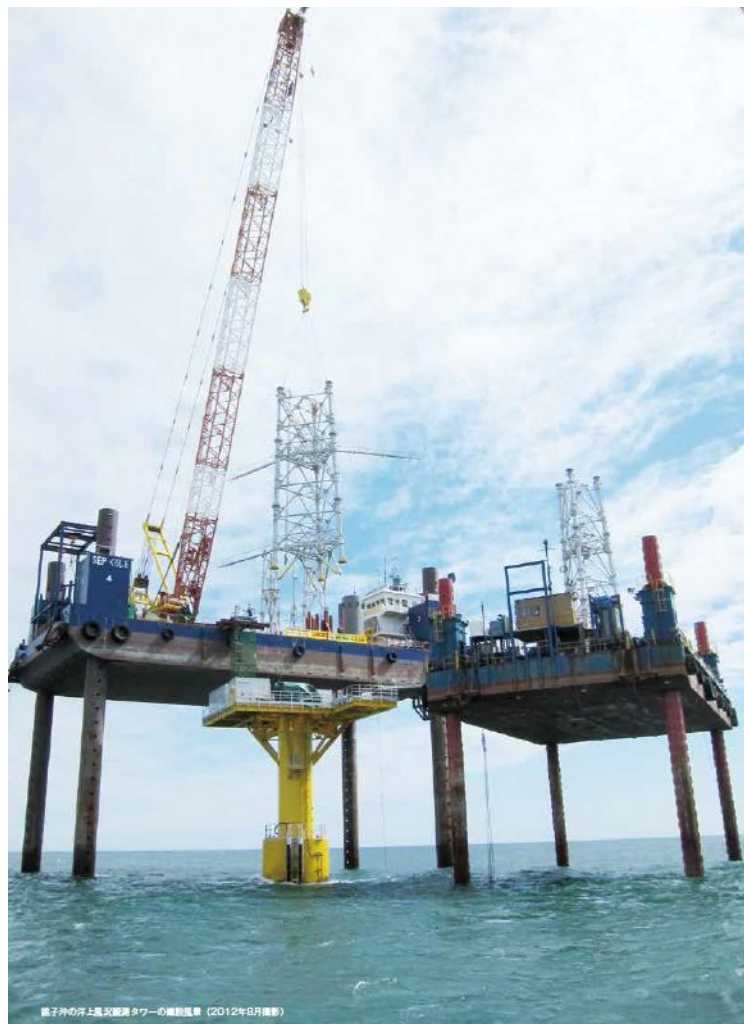
SEPむつ



多様化する建設工事、特に気象・海象地象条件が厳しい海洋、港湾工事では作業を安全に効率よく、確実にを行う事が要求されます。

それらのニーズを満たし、走行架台、杭打槽も設置でき、あらゆる工事に威力を発揮し、皆様のご要望に応えるものと確信いたします。

船名	SEPむつ		
種別	自己昇降式作業台船		
船体寸法	(L×B×D)35.0m×22.0m×3.2m		
レグ寸法	φ1,200mm×(40.0m)		
昇降能力	1,600t(400t×4基)		
昇降方法	盛替式ジャッキアップ ピッチ750mm		
原動機	237kw,318ps/1800rpm×1台		
甲板耐荷重	40t/m ²		
自重	570t(レグを除く)	積載荷重	450t
アンカーウインチ能力	5t×16m/min×4台	アンカーワイヤー	φ26mm×300m
操作室	6m×2.5m	燃料タンク	6kℓ+1k?
清水タンク	2m ³	船級	JG
作業条件	波高(H1/3)	潮流	風速
作業時	1.5m	8knot	15m/sec
荒天時	3.0m	8knot	35m/sec



銚子沖洋上風力発電施設の施工状況

出典：洋上風力発電の取組（NEDO）



Seajacks Kraken and Leviathan

Turbine Installation and Maintenance

Vessel Specifications

Classification and Rules

Type:	GastoMSCN2500X
Built:	2009
Class:	AIS A1 Self-elevating Unit + AVS + ACCU + DPS 2, Self Propelled, Helideck
Flag:	Panama

Safety Case

Seajacks Leviathan and Seajacks Kraken have accepted SAFETY CASES, in accordance with UK OFFSHORE INSTALLATION (SAFETY CASE) REGULATIONS 2005

Main Dimensions

Hull	
Length waterline:	61m/200ft
Length overall:	76m/250ft
Width overall:	36m/118ft
Distance between legs:	
Longitudinal:	36.5m/120ft
Transverse:	28.5m/94ft
Hull depth:	6.0m/20ft
Main deck area:	900m ² /9,700ft ²
Main deck load capacity:	5Tm ²
Blade rack: 49m X 6m X 9m	
Legs	
Number/Type:	4/Triangular truss
Width:	5.0m/16ft
Length:	85.6m/280ft
Footing area:	29m ² /312ft ²
Footing type:	Spudcan with pin

Jacking System

Type:	Rack and pinion
Drive:	Electric
Elevating speed:	0.8m/min 2.6ft/min

Design Criteria (North Sea)

	All year	Summer
Water depth (LAD):	41m/135ft	48m/157ft
Survival air-gap (Above LAD):	17.5m/57ft	12.8m/42ft
Maximum wave height:	13.1m/43ft	10.1m/33ft
Wind speed:	39.4m/s 127ft/s	27.5m/s 90ft/s
Current (At surface):	1.64m/s 5.4ft/s	1.64m/s 5.4ft/s
Typical leg penetration:	3-5m/10-16ft	3-5m/10-16ft
Displacement:	6,800T	
Typical elevated weight:	5,500T	
Variable load:	Up to 1,550T	

Positioning/Jacking Pre-loading Condition

The vessel is designed to move in excess of 25 times per year and is able to jack and pre-load in the following conditions:

Max significant wave height:	2.0m/7ft
Tidal current (surface):	1.03m/s (2 Knots)
Wind velocity:	10.8m/s (21 Knots)

洋上風力発電施工状況(海外事例)

参考資料 1 指針や規格との概略比較表

港湾における洋上風力発電の導入円滑化に向けた技術ガイドライン (案)

洋上発電導入技術 ガイドライン (もくじ案)	土木学会 風力発電設備支持物構造設計指針 ・同解説 2010, 2014 年版	国際規格 (IEC 61400 等) 等 DESIGN REQUIREMENTS	港湾の施設の技術上の基準・同解説	備考																						
<p>第 1 章総則</p> <p>1.1 適用範囲</p> <p>(1)対象施設</p> <p>(2)設置範囲</p> <p>(3)関連法等</p> <p>1)電気事業法</p> <p>2)港湾法</p> <p>3)国際規格</p> <p>4)その他</p> <p>・自治体のガイドライン等。</p>	<p>第 1 章総則</p> <p>1.1 概説</p> <p>1.2 適用範囲</p> <p>【適用範囲】</p> <p>・本指針は、3 枚翼を持つ水平軸風車の支持物であるタワー、定着部、基礎を対象とする。2010 年版は高さ 60m以上を対象、60m以下は2007 年版を参照のこと。</p> <p>【風車の高さ】</p> <p>・風力発電設備の高さの定義は、ブレードの最高到達高さとする。</p> <p>【タワー形式】</p> <p>・鋼製円筒型モノポール</p> <p>・支持構造：モノポール支持式、直接基礎式、杭基礎式</p> <p>12.関連法</p> <p>12.1 電気事業法</p> <p>12.2 建築基準法</p> <p>12.3 国際規格</p> <p>・ IEC61400 シリーズ</p> <p>・ GL Wind Guideline(GLWind：元 Germanischer Lloyd, 認証機関)</p>	<p>【JIS1400-1：2010 (IEC61400-1：2005) 風車-第 1 部：設計要件】</p> <p>6.2 風車のカテゴリ</p> <p style="text-align: center;">表 1-風車カテゴリの基本パラメータ^{a)}</p> <table border="1" data-bbox="1320 730 1902 869"> <thead> <tr> <th>風車カテゴリ</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V_{ref} (m/s)</td> <td>50</td> <td>42.5</td> <td>37.5</td> <td rowspan="4">設計者が規定する数値</td> </tr> <tr> <td>A I_{ref} (-)</td> <td colspan="3">0.16</td> </tr> <tr> <td>B I_{ref} (-)</td> <td colspan="3">0.14</td> </tr> <tr> <td>C I_{ref} (-)</td> <td colspan="3">0.12</td> </tr> </tbody> </table> <p>この表の値は、ハブ高さにおいて適用する。</p> <p>V_{ref}：10 分平均基準風速</p> <p>A：高乱流カテゴリの場合に選定</p> <p>B：中乱流カテゴリの場合に選定</p> <p>C：低乱流カテゴリの場合に選定</p> <p>I_{ref}：風速が 15 m/s のときの乱流強度^{b)}の期待値</p> <p>注^{a)} 年平均風速は、この規格の風車カテゴリの基本パラメータとして現れない。これらのカテゴリの風車設計に対する平均風速は、式(9)に与えられている。</p> <p>^{b)} I_{ref} は、この規格では代表値ではなく、期待値として定義されることに注意する。</p> <p>・風車カテゴリ S を除いた IA から III C までを標準風車カテゴリと呼ぶ。</p> <p>・風車カテゴリ I II III の設計寿命は 20 年以上とする。</p>	風車カテゴリ	I	II	III	S	V_{ref} (m/s)	50	42.5	37.5	設計者が規定する数値	A I_{ref} (-)	0.16			B I_{ref} (-)	0.14			C I_{ref} (-)	0.12				
風車カテゴリ	I	II	III	S																						
V_{ref} (m/s)	50	42.5	37.5	設計者が規定する数値																						
A I_{ref} (-)	0.16																									
B I_{ref} (-)	0.14																									
C I_{ref} (-)	0.12																									
<p>1.2 経過措置</p> <p>(1)既設置施設への不適用</p> <p>(2)基準の適用時期</p>																										

1.3 用語の定義

(1)土木学会指針で定義した以外の用語

- ・港湾計画、
- ・基本方針
- ・占用等の許可
- ・設計地盤面
- ・離隔距離・・・

1.3 風力発電機の基礎知識

- 1.3.1 風力発電機の概要
- 1.3.2 ブレード
- 1.3.3 増速機
- 1.3.4 発電機
- 1.3.5 系統連系
- 1.3.6 運転制御
- 1.3.7 運転特性

1.4 用語の定義・解説

1.5 記号の説明

1.6 座標系

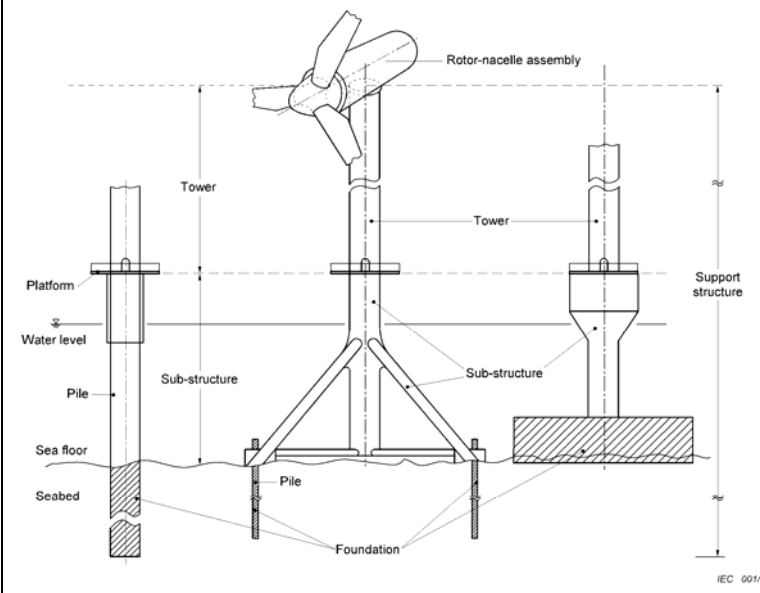


Figure 1 - Parts of an offshore wind turbine

第2章 施設位置の選定と施設計画

2.1 安全かつ適切な位置と規模の選定

(1)ゾーニング

(2)水域指定と利用条件

(3)関係者との調整

2.2 船舶の航行安全

(1)風車発電施設の視認性

(2)航路・泊地との離隔距離

(3)海底ケーブル敷設時の留意事項

(4)船舶航行に関する留意事項

①船舶航行の留意事項

②港口付近の留意事項

■航路標識法

航路標識許可基準を資料巻末に添付しておく。

■ローターの海上クリアランス

《 Marine Guidance Note(Maritime and Coastguard Agency, UK) MGN372 (M+F) 》

- ①風車回転翼下限の海上クリアランス
- ・風車の回転翼下限において春季満潮位面 (Mean High Water Springs) より 22m高く確保されていること。
 - ・風車回転の影響で風下側に風速減少が 10%、鉛直方向では高度 15メートルまでの影響が見られる例あり。ローターのウエイクの幅は 150mで、ほぼローター径に相当、風車から離れるに従いその影響は小さくなる。
 - ・ローター回転による風下への影響に対し、マストの高いヨットは注意が必要。(MGN372、2.9 Rotor effects)

■留意事項

《 Marine Guidance Note(Maritime and Coastguard Agency, UK) MGN372 (M+F) 》

- 洋上風力発電施設及び風車設備の航路選択への影響(2.7)【】
- ・【間隔】：風車間隔は 通常 500メートル以上、大型風車はさらに間隔大となる。小型船舶はファーム内を航行できるが、大型船は離隔が必要となる。
 - ・【水深】：現状は比較的浅い海域に設置されていることから大型船との干渉が少ない。深い海域にもファームが展開するにつれ、ファーム境界の近くでは航行できる船舶に制限を受けると予想される。
 - ・【海底変化】：設備設置の影響による潮流変化等に伴い海底地形変化が生じ、水深データが不確かな可能性がある。開発事業者はこれらを予測し、許容値に収まるとして許可されているが、実際とは異なる。操船者はアンダーキール水深の確保に留意のこと。なお、洗掘防止策として大石やコンクリートマットがおかれている風車もあるので注意。
 - ・【潮流】：潮流変化や局地的な渦を生じる可能性がある。操船者は特に構造物の角部に注意のこと。
 - ・【小型船舶】：設備の構造物の陰に作業船や漁船などの小型船が隠れている可能性がある。操船者はそれらの船舶の存在に注意し、構造物の陰になっていないか注意する必要がある、特に夜間など。なお、海上衝突防止法 (COLREGS : International Regulation for Preventing Collision at Sea)により、常に良好な視界を保つことが求められている。
 - ・【識別標識】：沿岸域に設置されている標識が風車設備の陰に隠れている可能性があるため、操船者は十分に注意すること。

■利用水域の計画

「再生可能エネルギー源を活用する区域」

■風車間隔

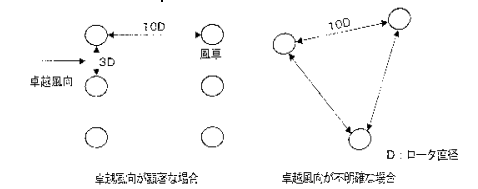


図-2.1 風車の配置方法 (収束型の場合)
出典：第17回風力エネルギーシンポジウム 資料
 (日本風力エネルギー協会・日本科学技術振興協会 1996年)

■「港湾区域等に風力発電施設を設置する場合の占用等の許可基準等の参考指針」(H23年6月、国土交通省港湾局)

■「漁港区域等に風力発電施設を設置する場合の占用等の許可基準等の参考指針」(H23年9月、水産庁)

<p>(5)その他 ・防衝設備等</p>		<p>・【送電中継所】：送電設備構造物及びその周辺には海底ケーブルがあり、これらは海図に表記されている。いかなる船舶も、緊急時を除き、これらの場所で錨をおろすことは避けなければならない。</p> <p>Eurocodes 1 “Accidental Actions”</p>																				
<p>洋上発電導入技術 ガイドライン (もくじ案)</p>	<p>土木学会 風力発電設備支持物構造設計指針 ・同解説 2010, 2014 年版</p>	<p>国際規格 (IEC61400 等) 等 DESIGN REQUIREMENTS</p>	<p>港湾の施設の技術上の基準・同解説</p>	<p>備考</p>																		
<p>第3章施設の設計 3.1 一般 3.2 調査 (1)調査項目</p>	<p>6.2.4 地盤調査【2014年版】 (1)風車の基礎構造の設計・施工に必要な資料を得るための地盤調査は、既存資料調査と現地調査による。 (2)地盤調査は予備調査と本調査に分けて実施する。 ①予備調査 ・既存資料調査 (気象・海象、海底地形、地質調査) ・現地調査 (深淺測量、地形調査、位置測量等) ②本調査 ・地質調査、海底観察、底質採取、原位置試験、ボーリング、試料採取、各種室内試験等 ③地盤調査の深さ ・工学的基盤 (Vs=400m/s 以上) まで ④応答解析用の地盤物性調査</p> <p>表 6.2.5-3 地盤の応答解析に必要な地盤物性および地盤調査方法^{*)}</p> <table border="1" data-bbox="709 1283 1196 1617"> <thead> <tr> <th>地盤情報と物性</th> <th>地盤調査方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>層序と層厚</td> <td>ボーリング調査</td> </tr> <tr> <td>土質特性</td> <td>標準貫入試験, 粒度試験</td> </tr> <tr> <td>密度</td> <td>物理試験, 密度検層</td> </tr> <tr> <td>S 波速度</td> <td>PS 検層等</td> </tr> <tr> <td>非線形特性</td> <td>動的変形物性試験</td> </tr> <tr> <td>地下水位</td> <td>地下水調査</td> </tr> <tr> <td>液状化強度^{*)}</td> <td>液状化強度試験</td> </tr> <tr> <td>透水試験^{*)}</td> <td>現地透水試験</td> </tr> </tbody> </table> <p>^{*)} 有効応力解析を行う場合に必要な地盤物性</p>	地盤情報と物性	地盤調査方法	層序と層厚	ボーリング調査	土質特性	標準貫入試験, 粒度試験	密度	物理試験, 密度検層	S 波速度	PS 検層等	非線形特性	動的変形物性試験	地下水位	地下水調査	液状化強度 ^{*)}	液状化強度試験	透水試験 ^{*)}	現地透水試験			<p>■完成後の実証試験、観測結果報告について</p> <p>(1) 海上貯油基地施設の貯蔵船については、設置後、所要の期間にわたって風、波等による実船の動揺を直接観測し、設計が適正であることを確認し、係留系の安全性を検証したうえで、石油の貯蔵を開始するものとした (昭和 54 年港湾局長通達)。 これは、1) 100 万 kl/隻級の貯蔵船を台風期にも係留する。もしも、被災して石油が流出した場合には甚大な被害が発生する。 2) 浅海域での巨大浮体の係留動揺シミュレーション技術が開発途上であった、ことを考慮したものである。</p> <p>(2) 洋上風力発電施設については、国内外での実績もあり、大規模石油貯蔵船のような危険性も少ないので、実証試験の必要性は薄い。(若しくは、周辺施設や環境に影響を及ぼす場合は、必要に応じて実施する。)</p>
地盤情報と物性	地盤調査方法																					
層序と層厚	ボーリング調査																					
土質特性	標準貫入試験, 粒度試験																					
密度	物理試験, 密度検層																					
S 波速度	PS 検層等																					
非線形特性	動的変形物性試験																					
地下水位	地下水調査																					
液状化強度 ^{*)}	液状化強度試験																					
透水試験 ^{*)}	現地透水試験																					

3.3.1 設計手法

(1)基本方針

- ・ 準拠基準（土木学会指針に原則準拠）

(2)荷重等

- ・ 荷重の種類
- ・ 荷重レベルと要求性能

第2章設計の流れ

2.1 構造設計の基本方針

①設計供用期間 20年間（p33）

②荷重の種類

【2014版予定】 風、波、水流、地震

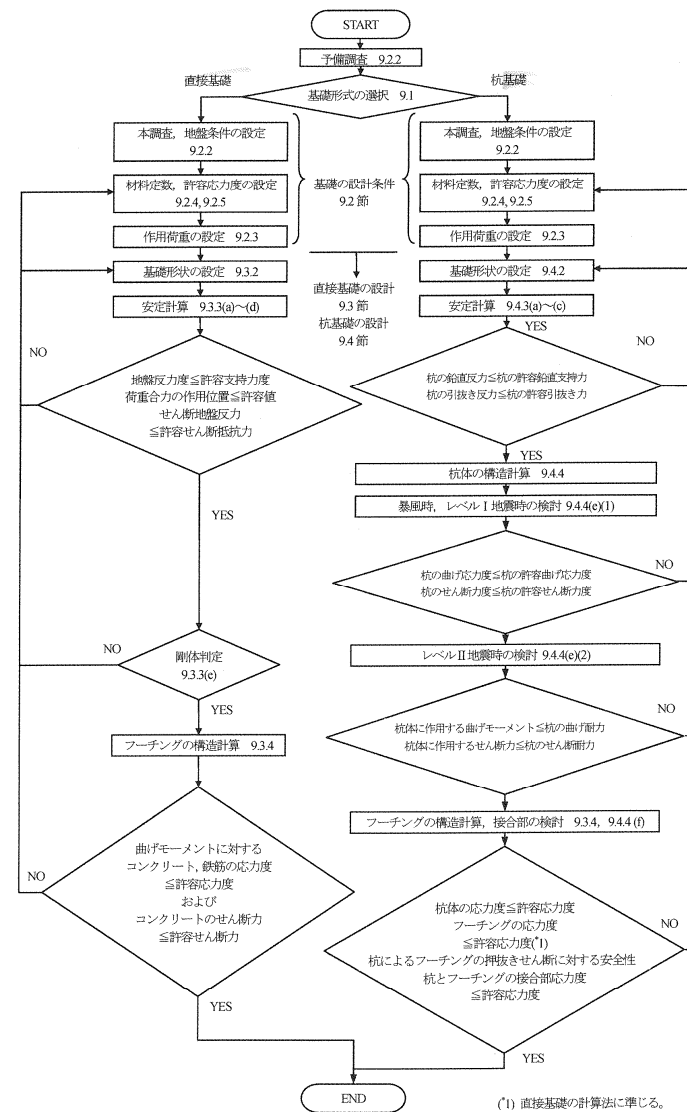
③荷重レベルと設計目標

【2010版】

表解 2.1 風力発電設備支持物における荷重レベル

設計目標	荷重レベル	再現期間(年)	超過確率(%)
損傷限界(使用限界)	レベル1	50	33.2
倒壊・崩壊限界(安全限界)	レベル2	500	3.9

【参考】：陸上風車の設計フロー 基礎の構造設計【2010年版】



図解 2.8 基礎の構造計算の流れ

【IEC61400-3:2009 洋上風車の設計要件】

■設計供用期間 20年間 (IEC61400-1)

The design lifetime shall be at least 20 years.

■荷重の種類=波、流れ、潮位、海氷、付着生物、さび、海底変動等 (6.4.Marine Conditions、6.5.Other environmental conditions)

【JIS1400-1:2010 (IEC61400-1:2005) 風車-第1部:設計要件】

6.3 風荷重

- ・ 選択した風車カテゴリーに定義された風条件に対して安全に耐えるように設計する。また、風条件の設計値は設計文書に明記する。
- ・ 荷重及び安全を考慮する場合、風条件は、風車の通常の運転状態で頻繁に発生する通常条件と、1年または50年の再現期間で定義される極値風条件とに分類される。

【IEC61400-3】

6.4 Marine conditions

・・・ The marine conditions for load and safety considerations are divided into the normal marine conditions which will occur more frequently than once per year during normal operation of an offshore wind turbine, and the extreme marine conditions which are defined as having a 1-year or 50-year recurrence period1.

6.4.1 Waves

・・・ The correlation of wind conditions and waves shall be taken into account for the design of an offshore wind turbine. This correlation shall be considered in terms of the long term joint probability distribution of the following parameters:

- ・ mean wind speed, V ;
- ・ significant wave height, H_s ;
- ・ peak spectral period, T_p .

The joint probability distribution of these parameters is affected by local site conditions such as fetch, water depth, bathymetry, etc. The distribution shall therefore be determined from suitable long term measurements supported, where appropriate, by the use of numerical hindcasting techniques, refer to 12.4.

【和訳】

6.4 海洋環境条件

荷重及び安全を考慮する場合の海洋環境条件は、洋上風車の通常の運転状態で1年に1回よりも頻繁に発生する通常海洋環境条件と、再現期間が1年又は50年と定義される極値海洋環境条件とに区分する1)。

6.4.1 波

洋上風車の設計では、風と波浪条件との相関関係を考慮に入れなければならない。この相関関係は、次のパラメータの長期的な結合確率分布について考慮しなければならない。

- ・ 平均風速： V
- ・ 有義波高： H_s
- ・ ピークスペクトル周期： T_p

これらのパラメータの結合確率分布は、吹送距離、水深、海底地形などの現地のサイト条件に影響される。したがって、結合確率分布は、適切な長期測定データに、適宜、数値的な波の推算を補足して求めなければならない(12.4 参照)。

1 一般

- (1) 港湾の施設の性能調査に当たっては、設計条件として、当該施設に求められる性能及び施設のおかれた状況に応じて、作用及び材料強度条件等を適切に設定する必要がある。
自然状況等の諸条件とは、風、潮位、波浪、津波、海水等の流動、河口水理、漂砂、地盤条件、土圧及び水圧、地盤の沈下、地震動、地盤の液状化、対象船舶の諸元等、環境作用、自重及び載荷重である。

【参考】

2 その他の考慮すべき事項

(1) 遭遇確率

遭遇確率は、式(2.1)により求めることができる。

$$E_1 = 1 - (1 - 1/T_1)^{L_1}$$

ここに、

- E_1 : 遭遇確率
- L_1 : 設計供用期間(年)
- T_1 : 再現期間(年)

(技術基準 第3編 作用及び材料強度条件編 総説 p107)

■設計法

(1) 港湾基準では、原則として部分係数法を用いているが、経験にもとづく設計法や実験等による設計も許容している。主たる荷重が風荷重であることを考慮したバランスのとれた実績のある設計法が望ましい。

(2) 波浪、潮流、津波、漂砂等により海底地盤が変化するので、河川内に設置する道路橋脚の設計に準じて、設計地盤面を規定する必要がある。

(3) 土木学会指針の風荷重、平成12年建設省告示1454号、日本建築学会建築物荷重指針・同解説(2004年版)に準じており、IEC61400-1の数値を上回るように設定されているので、特段の規定を設ける必要性は低い。

■極稀時で、「津波の流れ」による深掘れと重力式基礎の不安定化に配慮。

■荷重効果；再現期間 50 年の荷重効果の値で構造耐力を照査する。
 (IEC61400-3, DNV-OS-J101)
 (注) 組合せた荷重の効果→再現期間 50 年

Annex G (informative) Statistical extrapolation of operational meteocean parameters for ultimate strength analysis

G.1 General

G.2 Use of IFORM to determine 50-yr significant wave height conditional on mean wind speed

G.3 Examples of joint distributions of V and H_s and approximations to the environmental contour

G.4 Choice of sea state duration

G.5 Determination of Severe Wave Height (SWH)

G.6 Reference documents

1. Winterstein, S.R., Ude, T., Cornell, C.A., Bjergager, P. and Haver, S.: “Environmental parameters for extreme response: Inverse FORM with omission factors”, ICOSAR’93, Innsbruck, 1993.

附属書G (参考)

発電時における終極 (終局) 強度解析のための気象海象パラメータの統計的外挿

[和訳]

附属書G (参考)

発電時における終極 (終局) 強度解析のための気象海象パラメータの統計的外挿

G.1 一般

G.2 平均風速で条件付けられた 50 年間の有義波高を求めるための IFORM の利用

G.3 V 及び H_s の結合分布の例及び環境等値線の近似例

G.4 海の状態の継続時間の選定

G.5 SWH の決定

G.6 参考文献

7 構造設計

7.1 一般

・風車の構造物の荷重を受ける部品は、構造的な健全性を確認する。また、満足できる安全レベルを確認する。風車の構造的な健全性が適切な安全レベルにあることを立証するために、風車の構造部品の終極 (終局) 強度及び疲労強度は、計算及び/又は試験によって確認する。

・構造解析は、ISO 2394 に基づいている。

・計算は、適切な方法を用いて行う。計算方法は、設計図書に記載する。この設計図書には、計算方法が正しい根拠又は適切な検証研究への言及を含める。強度検証のためのいずれの試験の場合も用いる荷重レベルは、7.6 の荷重の特性値に適切な安全率を含める。

<p>(3)設計方法</p>	<p>④支持物の設計法 (p33)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・短期、長期荷重時：「許容応力度設計法」 ・極稀荷重時：「限界状態設計法を用いてよい。」 <p>【2010版】</p> <p>(5) 風力発電設備支持物の設計法</p> <p>本指針における構造設計法は性能設計法を基本とする。限界状態に達する可能性を照査する設計法としては、許容応力度設計法や荷重強度係数設計法がよく用いられている。いずれの設計法も、設計対象とする構造物（または構造部材）の設計強度がこれに作用させる設計荷重を上回ることであり、使用性と安全性を確保するという考えに基づくものであり、その照査様式（照査フォーマット）は以下ようになる。</p> <p>許容応力度設計法は、構造部材の強度に対してただ 1 つの安全係数を考慮する方式であり、式(解 2.1)により表すことができる。</p> $\Sigma S_j \leq R / \gamma_R \quad (\text{解 2.1})$ <p>ここで、γ_R は設計強度 R（通常、応力で表示）に対する安全係数、ΣS_j は種類が異なる個々の設計荷重（風荷重、地震荷重）の和を表す。</p> <p>一方、荷重強度係数設計法は構造物（または構造部材）の強度および作用させる荷重の両者に対して、荷重または材料に対する部分安全係数を考慮する方式であり、式(解 2.2)により表すことができる。</p> $\gamma_c \Sigma \gamma_{sj} S_j \leq R / \gamma_R \quad (\text{解 2.2})$ <p>ここで、γ_{sj} は荷重 S_j に対する部分安全係数、γ_c は構造全体における部分安全係数である。これらの部分安全係数 γ_{sj} と γ_c を 1.0 とした場合には、式(解 2.2)が許容応力度設計法の照査様式(解 2.1)になる。従って、許容応力度設計法は荷重強度係数設計法の特別な場合として理解することができる。</p> <p>本指針では、国際基準 IEC61400-1 に示されている荷重に対する部分安全係数を用いた。これらの部分安全係数の値は国際基準 ISO2394²⁾に示されている方法と原則に基づき算出されており、供用期間を通じて風力発電設備の性能に関する信頼性を確保している。国際基準 IEC61400-1 では、設計強度 R に対する部分安全係数の最低値しか定められていないため、本指針では国内の基準類を参考にして荷重レベルに応じて設定した。</p>	<p>7.2 設計方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・風車を設計するに当たっては限界状態を超えないことを検証する。モデル試験及び試作機試験を計算の代わりに行って、ISO 2394 に規定する構造設計を検証してもよい。 <p>【限界状態設計法】</p> <p>【IEC61400-3】</p> <p>7.6 Ultimate limit state analysis</p> <p>7.6.1 Method</p> <p>This standard uses the partial safety factor format to account for the uncertainties and variability in loads and materials, the uncertainties in the analysis methods and the importance of structural components with respect to the consequences of failure.</p> <p>The ultimate limit state analysis of the rotor – nacelle assembly of an offshore wind turbine shall meet the requirements stated in IEC 61400-1.</p> <p>For the design of the support structure, the provisions stated in the subclauses below shall be followed.</p> <p>7.6.1.1 The partial safety factor format</p> <p>The safety level of a structure or a structural component is considered to be satisfactory when the design load effect S_d does not exceed the design resistance R_d:</p> $S_d \leq R_d \quad (20)$ <p>This is the design criterion. The design criterion is also known as the design inequality. The corresponding equation</p> $S_d = R_d$ <p>forms the design equation.</p> <p>【和訳】</p> <p>7.6 終極（終局）限界状態解析</p> <p>7.6.1 方法</p> <p>この規格は、部分安全率の形式を用いて荷重及び材料の不確かさ及びばらつき、解析方法の不確かさ並びに破壊が発生した場合の構造部品の重要性を示す。</p> <p>洋上風車のロータ ナセル アセンブリ (RNA) の終極（終局）限界状態解析は、JIS C 1400-1:2010 に規定した要求事項を満たさなければならない。支持構造物の設計では、次の細分箇条による。</p> <p>7.6.1.1 部分安全率法</p> <p>構造物又は構造部品の安全性レベルは、式(20)のように設計荷重効果 S_d が設計耐力 R_d 以下の場合に、満足されるとみなす。</p> <p>(20) 式</p> <p>式(20)は、設計基準であり、設計不等式ともいう。対応する等式 $S_d = R_d$ は、設計等式という。</p>	<p>3.信頼性設計法</p> <p>(4)レベル 1 信頼性設計法(部分係数法)</p> <p>レベル 1 信頼性設計法 (部分係数法) とは、特性値に部分係数を乗じて得られる設計式 (3.21) により、耐力の設計用値 R_d が作用効果の設計用値 S_d を上回ることを確認する、施設の性能を照査する手法である。</p> $Z = R_d - S_d \geq 0$ <p>ここに、式 (3.21) 中の作用効果及び耐力の設計用値は、式 (3.22)、式 (3.23) で得られ</p> $S_d = S(s_1, s_2, s_3, \dots)$ $R_d = R(r_1, r_2, r_3, \dots)$ <p>また、波浪、地震動等の作用、材料特性等、性能照査に必要な要因である各設計因子 i (式 (3.24)、式 (3.25) で得られる。</p> $s_i = \gamma_s s_i$ $r_i = \gamma_r r_i$ <p>ここに、</p> <ul style="list-style-type: none"> s_i: 作用効果の設計因子 s_i の設計用値 γ_s: 作用効果の設計因子 s_i の部分係数 s_k: 作用効果の設計因子 s_i の特性値 r_i: 耐力の設計因子 r_i の設計用値 γ_r: 耐力の設計因子 r_i の部分係数 r_k: 耐力の設計因子 r_i の特性値 <p>なお、$i, j=1$ の場合の最も簡易な作用効果と耐力の設計用値は、式 (3.26)、式 (3.27) 1 $i, j=1$ は省略)、その場合の性能照査式は式 (3.28) のようになる。</p> $S_d = s_d = \gamma_s s_k$ $R_d = r_d = \gamma_r r_k$ $Z = R_d - S_d = \gamma_r r_k - \gamma_s s_k \geq 0$	
----------------	--	---	---	--

3.3.2 構造設計

(1) 要求事項
① 荷重の種類

第3章 設計荷重ケースと荷重評価

3.1 荷重の組合せ

3.1.1 荷重効果と組合せ

- ① 荷重効果＝ 風、波、水流、地震
- ② 「長期」、「短期（発電時、暴風時）」、「極稀地震時」に対して荷重効果を組合せ設定する。
- ③ 短期の検討における荷重の組合せ効果は、再現期間50年となるように設定する。
- ④ 短期の荷重効果は下記のいずれかの方法による。
 - 1) シミュレーションによる直接評価
 - 2) 設計荷重ケースによる評価（各荷重効果を個別に算出し合わせる）
- ⑤ 通常、主荷重は風荷重

3.2 設計荷重ケース

(1) 長期

長期は発電時を想定し、表3.2-1に示す外部条件に対して荷重効果を計算するものとする。

表 3.2-1 長期荷重に対する検討ケース

風車	風	波	水流	水位
発電時	定常風 (定格風速)	年平均	年平均	平均水位

(2) 短期

短期荷重は発電時及び暴風時を想定する。

発電時を想定した短期荷重は、表3.2-2に示す外部条件に対して計算するものとする。

表 3.2-2 短期荷重（発電時）に対する検討ケース

風車	風	波	水流	水位	備考
発電時	変動風： $U_{in} < U_s \leq U_{out}$ 乱流強度： I_{90}	線形不規則波： $H_{0,ms}(U_{10})$ 、 $T_{0,ms}(U_{10})$	年平均	平均水位	DLC1.1
	変動風： $U_{in} < U_s \leq U_{out}$ 乱流強度： I_{90}	線形不規則波： $H_s = H_{s,SSS}$ 非線形規則波： $H = H_{SWH}$	(吹送流は各風速時)	再現期間50年の最高静水位および最低静水位で、5.2により算定する	DLC1.6a DLC1.6b

ここに、

I_{90} : 乱流強度の90%分位値で、次式により算定する。

$$I_{90} = I_{ref} \frac{0.75U_h + 5.6}{U_h} \quad (3.2-1)$$

I_{ref} : 風速15m/sにおける乱流強度の期待値で、観測値から直接求めるか、設計風速Uに対応する乱流強度 I_{hl} から次式により算定する。

$$I_{ref} = I_{hl} \frac{U}{0.75U + 5.6} \quad (3.2-2)$$

I_h : ハブ高さでの乱流強度

U_{in} : カットイン風速

U_{out} : カットアウト風速

U_h : ハブ高さでの平均風速（評価時間10分）

$H_{0,ms}(U_{10})$: 海面上10mでの10分間平均風速 U_{10} における平均有義波高で式(5.2.3e-1)により算出する。

$T_{0,ms}(U_{10})$: 海面上10mでの10分間平均風速 U_{10} における調和平均波周期で式(5.2.3c-2)により算出する。

【後掲】「第5章 5.2.3.設計波 (e) 発電時の平均有義波高、調和平均波周期」参照

■IEC61400-3 で規定されている荷重ケース

土木学会指針で規定する荷重ケースと IEC 規格の荷重ケース (DLC : Design Load Case) の対応は下表。

メーカーが独自に想定する荷重ケースについては、風車認証時に検討されるものである。

表解 3.2-1 IEC61400-3 の荷重ケース

サイト固有の外部条件に依存する荷重ケース	DLC 1.1, 1.2, 1.3, 1.6 (発電時) DLC 6.1, 6.2 (暴風時)
サイト固有の外部条件に依存しない荷重ケース	DLC 1.4, 1.5 (発電時) DLC 3.1, 3.2, 3.3 (起動時) DLC 4.1, 4.2 (停止時) DLC 5.1 (緊急停止時) DLC 6.3, 6.4 (暴風時)
メーカーが独自に想定する荷重ケース	DLC 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 (発電時 (故障)) DLC 7.1, 7.2 (暴風時 (故障)) DLC 8.1, 8.2, 8.3 (輸送, 組立, 保守, 修理)

12.3 Assessment of wind conditions

Values at the wind turbine site of the following parameters shall be estimated:

- the extreme 10-min average wind speed at hub height with a recurrence period of 50 years;
- wind speed probability density function $p(V_{hub})$
- ambient turbulence standard deviation σ' (estimated as the mean value of the standard deviation of the longitudinal component¹⁵) and the standard deviation $\hat{\sigma}$ of σ' at V_{hub} between V_{in} and V_{out} and V_{hub} equal to V_{ref} ;
- wind shear¹⁶;
- air density.

The interval of any wind speed bin used in the above shall be 2 m/s or less, and the wind direction sectors shall be 30° or less. All parameters, except air density, shall be available as functions of wind direction, given as 10-min averages wind shear¹⁶; High shear values for extended periods of time have been reported for certain areas in connection with highly stratified flow or severe roughness changes. The external conditions in Clause 6 are not intended to cover such cases.

12.4 Assessment of waves

The following parameters shall be estimated:

- the significant wave height with a recurrence period of 50 years assuming a 3-hour reference period, $H_{s,50}$, and the associated range of wave peak spectral periods;
- the significant wave height with a recurrence period of 1 year assuming a 3-hour reference period, $H_{s,1}$, and the associated range of wave peak spectral periods;
- the extreme individual wave height with a recurrence period of 50 years, H_{50} ;
- the extreme individual wave height with a recurrence period of 1 year, H_1 ;

$H_{s,ESS}$: U_h との組合せが再現期間 50 年となる有義波高で、サイトでの観測値を利用し環境コンター法から求める。ただし、十分なデータがない場合には、すべての風速に対して、風条件に関係なく求まる再現期間 50 年の有義波高を安全側の値として用いてもよい。

H_{SWH} : U_h との組合せが再現期間 50 年となる最大波高で、サイトでの観測値を利用し環境コンター法から求める。ただし、十分なデータがない場合には、すべての風速に対して、風条件に関係なく求まる再現期間 50 年の最大波高を安全側の値として用いてもよい。

表 3.2-3 短期荷重（暴風時）に対する検討ケース

風車	風	波	水流	水位	備考
暴風時 (待機・停止時)	変動風: $U_{50,60} = k_1 \cdot U_{50,10}$ $\sigma_{1,60} = \sigma_{1,10} + 0.2$	線形不規則波: $H_{50,60} = k_2 \cdot H_{s,50}$	再現期間 50 年の水 流	再現期間 50 年の最 高静水位お よび最低静 水位で、5.2 により算定 する	DLC 6.1a
	定常風: $U_{r,50} = 1.4 \cdot U_{50,10}$	非線形規則波: $H_{red50} = k_3 \cdot 1.8 \cdot H_{s,50}$			DLC 6.1b
	定常風 (低減風速): $U_{11,250} = k_4 \cdot 1.4 \cdot U_{50,10}$	非線形規則波: $H_{s0} = 1.8 \cdot H_{s,50}$			DLC 6.1c
暴風時 (停電時)		DLC 6.1a に同じ			DLC 6.2a
		DLC 6.1b に同じ			DLC 6.2b

ここに、

- $U_{50,60}$: 再現期間 50 年の平均風速 (評価時間 1 時間)
- $U_{50,10}$: 再現期間 50 年の平均風速 (評価時間 10 分)
- $U_{r,50}$: 再現期間 50 年の最大瞬間風速 (評価時間 3 秒)
- U_{red50} : 再現期間 50 年の低減風速
- $\sigma_{1,60}$: 評価時間 1 時間の風速の標準偏差の期待値
- $\sigma_{1,10}$: 評価時間 10 分の風速の標準偏差
- $H_{s,50,60}$: 再現期間 50 年の有義波高 (評価時間 1 時間)
- $H_{s,50}$: 再現期間 50 年の有義波高 (評価時間 3 時間)
- H_{red50} : 再現期間 50 年の低減波高
- H_{s0} : 再現期間 50 年の最高波高
- k_1 : 評価時間 10 分の平均風速を評価時間 1 時間の平均風速に換算する係数, $k_1 = 0.95$
- k_2 : 評価時間 3 時間の有義波高を評価時間 1 時間の有義波高に換算する係数, $k_2 = 1.09$
- k_3 : 波高の低減係数
- k_4 : 風速の低減係数

(3) 極稀地震時

極稀地震時における荷重は、表 3.2-4 に示す外部条件に対して計算するものとする。

表 3.2-4 極稀地震時に対する検討ケース

風車	風	波	地震	水流	水位	備考
発電時	定常風 (定格風速)	定常 (年平均値)	極稀地震	年平均	平均 水位	IEC61400-1 の 11.6 および附属書 C

(4) 疲労

疲労評価における荷重は、以下のいずれかの方法を使用し、表 3.2-5 に示す外部条件に対して計算するものとする。

方法 1 : IEC61400-3 に示す疲労に関する全ての荷重ケースについて解析し、それにより求めた変動荷重サイクル数をそのまま用いる。

方法 2 : IEC61400-3 に示す正常発電時の設計荷重ケース (DLC1.2) のみを解析し、それにより求めた変動荷重サイクル数に対して安全率 1.05 を乗じて用いる。

表 3.2-5 疲労評価に対する検討ケース

	風	波	水位	備考
発電時	変動風: $U_{in} < U_h \leq U_{out}$ 乱流強度: I_{50}	線形不規則波: $H_{0,me}(U_{10}), T_{0,me}(U_{10})$	平均水位	DLC 1.2
暴風時 (待機・停止時)	変動風: $U_{out} < U_h \leq 0.7U_{ref}$ 乱流強度: $I_{50} = 0.11$		平均水位	DLC 6.4

- the reduced individual wave height with a recurrence period of 50 years, H_{red50} ;
- the reduced individual wave height with a recurrence period of 1 year, H_{red1} ;
- the extreme crest height with a recurrence period of 50 years.

The extreme significant wave heights may be determined from the metocean database by extrapolation based on the tail of the long term distribution of significant wave heights, refer to ISO 19901-1. The extreme individual wave heights may be established by convolution of the long term distribution of the significant wave height H_s and peak spectral period T_p , with the conditional short term distribution of individual wave height H given the significant wave height H_s . The extreme wave heights may, however, be limited by water depth.

6.4.1.6 Extreme wave height (EWH)

The extreme deterministic design wave shall be considered for both the extreme wave height, H_{50} , with a recurrence period of 50 years and the extreme wave height, H_1 , with a recurrence period of 1 year. The values of H_{50} , H_1 , and the associated wave periods may be determined from analysis of appropriate measurements at the offshore wind turbine site, refer to 12.4. Alternatively, assuming a Rayleigh distribution of wave heights, it may be assumed that:

$$H_{50} = 1.86 H_{s50} \quad (8)$$

$$H_1 = 1.86 H_{s1} \quad (9)$$

where the significant wave heights H_{s50} and H_{s1} are values for a 3-hour reference period.

The wave period to be taken in combination with these extreme wave heights may then be assumed to be within the range given by

$$11.1 \sqrt{H_{s,ESS}(V)/g} \leq T \leq 14.3 \sqrt{H_{s,ESS}(V)/g} \quad (10)$$

Design calculations based on EWH shall assume values of wave period within this range which result in the highest loads acting on the offshore wind turbine.

For shallow water sites the extreme wave heights H_{50} , H_1 and associated wave periods shall be determined from analysis of appropriate site-specific measurements. . . .

6.4.1.7 Reduced wave height (RWH)

The reduced deterministic design wave shall be considered for both the reduced wave height, H_{red50} , for the definition of the 50-year return event and the reduced wave height, H_{red1} , for the definition of the 1-year return event. The values of H_{red50} , H_{red1} shall be determined so that the simultaneous combination with the extreme wind speed averaged over 3 s (V_{e50} , V_{e1}) leads to the same probability of a more unfavourable combination occurring as the combination of the extreme wave height (H_{50} , H_1) and the reduced extreme wind speeds (V_{red50} , V_{red1}).

The values of H_{red50} , H_{red1} , and the associated wave periods may be determined from analysis of appropriate measurements at the offshore

■近年の台風大型化もあり、暴風時のタワー基礎の安定性を照査する際の、日本近海における風・波の組合せ時の低減係数の値について、適切性の照査が必要。
k3=0.7 (波高に対する係数)、k4=0.79 (風速に対する係数) (DNV、IEC61400-3)

■特に日本海側についてはフェッチ短く、暴風と波浪の同時性が強いと相関係数が高い。このため DNV の方法では危険側の評価となる恐れが指摘されている。
(長尾、”相関を有する波浪・風作用の組合せ方法に関する研究”, 国総研報告 No.48、2011.9)

wind turbine site, refer to 12.4. Alternatively, assuming a Rayleigh distribution of wave heights, it may be assumed that:

$$H_{red50} = 1.3 H_{s50} \quad (11)$$

$$H_{red1} = 1.3 H_{s1} \quad (12)$$

where the significant wave heights H_{s50} and H_{s1} are values for a 3-hour reference period.

■IEC16400-3の「DLC（設計荷重ケース）一覧表」は巻末に添付。

[和訳]

12.3 風況精査

風車サイトでは、次の各パラメータ値を推定しなければならない。

- ・ ハブ高さにおける再現期間50年の10分間平均極値風速
- ・ 風速の確率密度関数 $p(V_{hub})$
- ・ 周囲乱流標準偏差 [主方向成分の標準偏差の平均値として推定する¹⁴⁾]、及び V_{hub} が V_{in} と V_{out} との間にあり、かつ、 V_{hub} が V_{ref} に等しい場合における標準偏差。
- ・ ウインドシア¹⁵⁾
- ・ 空気密度

上記の統計処理で用いる風速ビンの間隔は2 m/s以下とし、風向方位区分の間隔は30°以下とする。空気密度を除く全てのパラメータは、10分間平均で与えられ、風向別に得られなければならない。

12.4 波の評価

次のパラメータを推定しなければならない。

- ・ 評価時間を3時間と仮定した再現期間50年の有義波高 H_{s50} 、及びそれに関連する波のピークスペクトル周期の範囲
- ・ 評価時間を3時間と仮定した再現期間1年の有義波高 H_{s1} 、及びそれに関連する波のピークスペクトル周期の範囲
- ・ 再現期間50年の個々の波の極値波高 H_{50}
- ・ 再現期間1年の個々の波の極値波高 H_1
- ・ 再現期間50年の個々の波の低減波高 H_{red50}
- ・ 再現期間1年の個々の波の低減波高 H_{red1}
- ・ 再現期間50年の極値波頂高

ISO 19901-1:2005を参照し、極値有義波高は有義波高の長期分布の裾部分の外挿により求めた気象海象データベースから求めてもよい。個々の波の極値波高は、有義波高 H_s 及び波のピークスペクトル周期 T_p の長期分布と、有義波高 H_s の条件の下で個々の波高 H の短期分布との畳み込みによって評価してもよい。ただし、極値波高は水深による制限を受ける場合もある。

6.4.1.6 極値波高 (EWH)

決定論的な極値設計波は、再現期間50年の極値波高 H_{50} 及び再現期間1年の極値波高 H_1 の両方について考慮しなければならない。 H_{50} 及び H_1 の値並びに対応する波の周期は、12.4を参照し、洋上風車サイトの測定値の解析から求めてもよい。別の方法として、波高のレイリー分布を仮定し、式(8)及び式(9)のように仮定してもよい。

(8) 式

(9) 式

ここに、

H_{50} : 3時間の評価時間に対する再現期間50年の極値有義波高 H_{50} の値

H_{s1} : 3時間の評価時間に対する再現期間1年の極値有義波高 H_{s1} の値

これらの極値波高と組み合わせる波の周期は、式(10)で与えられる範囲内と仮定してもよ

		<p>い。</p> <p>(10) 式</p> <p>EWH に基づく設計計算では、この範囲内で洋上風車に作用する荷重が最大となる波の周期値を仮定しなければならない。水深が浅いサイトでは、極値波高H_{50} 及びH_1 並びに対応する波の周期をサイト固有の測定値の解析から求めなければならない。利用できる測定値がない場合、上記のレイリー分布の関係から求めたH_{50} 及びH_1 の各値よりも碎波波高が小さい場合、H_{50} 及びH_1 は、碎波波高に等しいと仮定しなければならない。</p> <p>6.4.1.7 低減波高 (RWH)</p> <p>決定論的な低減設計波は、50 年に1 回発生する事象と定義される低減波高H_{red50} 及び1 年に1 回と定義される低減波高H_{red1} の両方を考慮しなければならない。H_{red50} 及びH_{red1} の各値は、3 秒平均の極値風速 (V_{e50} 及びV_{e1}) と同時発生する組合せが、極値波高 (H_{50} 及びH_1) と低減極値風速 (V_{red50} 及びV_{red1}) との組合せと同じ確率が、又は更に条件の悪い組合せとなるように決定する。</p> <p>H_{red50}、H_{red1} 及び対応する波の周期は、洋上風車サイトの測定値の解析から求めてもよい (12.4 参照)。</p> <p>別の方法として、波高のレイリー分布を仮定し、式(11)及び式(12)のように仮定してもよい。</p> <p>(11) 式</p> <p>(12) 式</p> <p>ここに、</p> <p>H_{50} : 3 時間の評価時間に対する再現期間50 年の極値有義波高H_{50} の値</p> <p>H_1 : 3 時間の評価時間に対する再現期間1 年の極値有義波高H_1 の値</p> <p>式(11)及び式(12)は、10 分平均風速の確率分布及び個別波高の確率分布による結合確率分布を考慮して導き出された式である。</p>		
--	--	--	--	--

3.3 荷重係数

設計で使用する荷重係数は以下のように定める。

(1) 長期
長期の荷重に対して、荷重係数 $\gamma_f=1.0$ を使用する。

(2) 短期
短期の荷重に対して、荷重係数 γ_f は表 3.3-1 に定める値を用いるものとする。

荷重の種類	G(固定荷重)	Q(積載荷重)	E(環境荷重)	D(変形荷重)
発電時	ψ	ψ	1.35*	1.0
暴風時	ヨ一制御あり	ψ	1.35	1.0
	ヨ一制御なし	ψ	1.1**	1.0

ψ : 通常は $\gamma_f=1.0$ を採用する。その荷重が有利になる場合は $\gamma_f=0.9$ を採用する。
*統計的外挿を行う場合は、 $\gamma_f=1.25$ を採用する。
**2010年版に従って風荷重を計算する場合は $\gamma_f=1.0$ を採用する。

(3) 極稀地震時
全ての種類の荷重に対して、荷重係数 $\gamma_f=1.0$ を使用する。

(4) 疲労
全ての種類の荷重に対して、荷重係数 $\gamma_f=1.0$ を使用する。

【解説】

設計に用いる荷重値は、以下の式で表すことができる。

$$F_d = \gamma_f \times F_k \quad (\text{解 3.3-1})$$

ここに、
 F_d : 設計荷重値 (kN, kNm)
 γ_f : 荷重係数
 F_k : 特性荷重値 (kN, kNm)

3.4 荷重の評価の基本

- 3.4.1 適用範囲
 ・風、波、地震荷重(環境荷重)の評価方法に、「時刻歴応答解析」、「等価静的解析」の2法がある。
- 3.4.2 時刻歴応答解析の基本
- 3.4.3 等価静的解析の基本
 — 解析法説明 略 —

■荷重係数 (JIS1400-1、IEC 61400-1、IEC61400-3 参照)

7.6.2.1 荷重の部分安全率

表 3-荷重の部分安全率 γ_f

好ましくない荷重			好ましい荷重 ^{b)}
設計状態のタイプ (表 2 参照)			すべての設計状態
通常 (N)	異常 (A)	輸送及び建設 (T)	
1.35 ^{a)}	1.1	1.5	0.9

注^{a)} 設計荷重ケース DLC 1.1 の場合、荷重が F_{in} と F_{out} との間の規定の風速で統計的荷重推定を用いて決定されるとすると、通常設計状態の部分荷重係数は $\gamma_f=1.25$ とする。

通常設計状態の場合、重力による荷重応答の特性値 $F_{gravity}$ が問題の設計状態に対して計算でき、かつ、重力が好ましくない荷重の場合、重力とほかの発生源の組合せ荷重に対する部分荷重係数は、次の値をもつ場合がある。

$$\gamma_f = 1.1 + \varphi \zeta^2$$

$$\varphi = \begin{cases} 0.15 & (\text{DLC 1.1 の場合}) \\ 0.25 & (\text{上記以外の場合}) \end{cases}$$

$$\zeta = \begin{cases} 1 - \frac{|F_{gravity}|}{|F_k|}, & |F_{gravity}| \leq |F_k| \\ 1, & |F_{gravity}| > |F_k| \end{cases}$$

b) 全荷重応答を大きく軽減する見掛け及び重力荷重は、好ましい荷重とみなされる。好ましい荷重及び好ましくない荷重の両方の場合、式(30)は、
 $\gamma_{f,unfav} S(\gamma_{f,unfav} F_{k,unfav}) + \gamma_{f,fav} S(\gamma_{f,fav} F_{k,fav}) \leq R(d)$

②風荷重

第4章 風荷重の評価

4.1 適用範囲

4.2 設計風速の評価

— 未稿 —

4.3 風荷重の評価

4.3.1 適用範囲

(a)基本:

ここでは、暴風時の最大風荷重、発電時の最大風荷重及び発電時の平均風荷重、ならびに疲労荷重の算定方法を定める。

(b)暴風時の最大風荷重:

風車の姿勢が風荷重に大きく影響する。安全側に、50年再現期待値の風速に対して、暴風によりヨー固定またはヨーが動いてしまう場合を想定して、最も風荷重が大きくなるヨー角(風向とナセル軸のなす角度)に対して風荷重を算定する。

表解 4.3.1b-1 暴風時にヨー制御を行う時の付加条件	
項目	条件
風向・風速計	IECクラスI, II, IIIの風車に備え付ける風向・風速計の耐風速はそれぞれ70m/s, 59.5m/s, 52.5m/s以上とする。
バックアップ電源	ヨー制御装置を動かすためのバックアップ電源の持続時間は、設計基準風速 V_0 の関数とし、「 T_0-24 」時間以上とする。

(c)発電時の最大風荷重:

- 1)時刻歴応答解析:各荷重解析結果の極値に、部分係数を乗じて求める。
- 2)等価静的解析:各風速における発電時の平均風荷重にその風速に対応する発電時のガスト影響係数(突風影響係数:風の平均荷重に対する最大荷重の比でタワーの動的応答・共振効果が含まれる)、風荷重の統計的外挿係数、風荷重の部分係数を乗じて求める。

(d)風力係数の評価:

ブレード、ナセルならびにタワーごとに平均風荷重を算出し、それらを足し合わせて風車タワー全体に作用する風荷重を、時刻歴応答解析または等価静的法により算定する。

- ・ブレードの平均風力係数
- ・ナセルの平均風力係数、ナセルのピーク風力係数
- ・タワーの平均風力係数

4.3.2 時刻歴応答解析による風荷重の評価

【時刻歴応答解析モデル】

(a)風車の空力弾性モデル

- ・モデルの構成項目= 風車の諸元、構造モデル、空力モデル、ロータ不均衡、パワートレイン

(b)風車の制御モデル

- ・発電トルク、ピッチ角をP I制御(Proportional-Integral Controle)など。
- ・なお、風車メーカー提示のモデル使用が基本。

(c)風モデル

- ・発電時の疲労評価用、暴風時モデルの設定がある。

(d)暴風時風荷重の評価

- ・設計再現年数は50年以上とする。
- ・評価法は次のいずれかによる
方法1)極値と同時刻の他の荷重を組み合わせて適用する。
方法2)剪断力、転倒モーメント、軸力それぞれの時刻歴応答の極値どおしを組み合わせる(方法2が安全側)。

(e)発電時風荷重の評価

- ・設計再現年数は50年以上とする。

■暴風時風荷重=再現期間50年(IEC等)

IEC61400-3における発電時の各荷重ケースの概要を以下に述べる。

- ・ DLC1.1(通常変動風, 通常海象条件, 統計外挿):RNA(ロータ・ナセルアセンブリ; 塔上構造物)の評価用であるため本指針の解析ケースから除外。
- ・ DLC1.3(極値乱流, 通常海象条件):一般に支持物に対する影響も高く、評価する必要がある。
- ・ DLC1.4(極値風向変化+コヒーレントガスト):RNAにはクリティカルな場合があるが、一般に、支持物への影響は相対的に低い。
- ・ DLC1.5(極値ウィンドシアア):RNAにはクリティカルな場合があるが、一般に、支持物への影響は相対的に低い。
- ・ DLC1.6a/b:多くの場合、洋上風車の支持物の荷重に対する影響が大きいため、評価する必要がある。

2 風

【告示】(風)

第六条 風については、性能規定及び性能照査で考慮する一の作用又は二以上の作用の組合せの状態に応じて、次の各号に定める方法により設定するものとする。
一 波浪及び高潮の推算に用いる洋上における風については、気象の長期間の実測値又は推算値をもとに、風速、風向等を適切に設定するものとする。
二 風圧力の算定に用いる風については、風の長期間の実測値又は推算値をもとに、統計的解析等により再現期間に対応した風速及び風向を適切に設定するものとする。
三 風のエネルギーの算定に用いる風については、風の長期間の実測値又は推算値をもとに、一定期間における風速及び風向の相関頻度分布を適切に設定するものとする。

【解説】

- (1) 波浪及び高潮推算に用いる風
波浪及び高潮推算に用いる風は、30年以上の実測値又は推算値を標準とする。
- (2) 風圧力の算定に用いる風
風圧力の算定に用いる風は、30年以上の実測値又は推算値を標準とする。

- ・上屋、倉庫等:建築基準法
- ・荷役機械:クレーン構造規格
- ・高架橋:道路橋示方書・同解説

- ・少なくとも、極変動風条件の DLC1.3、極値波浪条件 DLC1.6 のケースは解析する。この時の部分安全係数は 1.35 とする。
- ・評価風速：陸上風車の場合のタワーの最大転倒モーメントは、定格風速付近、あるいはカットアウト風速付近のいずれかで発生している。よって、支持物の評価においては、基本的に定格風速とカットアウト風速の 2 点に限定できることとした。
- ・洋上風車は一般にウインドファームとして集合設置される。このため、風上側風車のウエイクによる乱流強度（変動風速の標準偏差を平均風速で除した値）の増加を考慮すること(See, IEC61400-1.ed3,AnnexD ;Wake and wind farm turbulence)。
- ・評価法は次のいずれかによる
 - 方法 1)極値と同時刻の他の荷重を組み合わせ適用する。
 - 方法 2)剪断力、転倒モーメント、軸力それぞれの時刻歴応答の極値どおしを組み合わせる（方法 2 が安全側）。

(f)発電時の疲労荷重の評価

- ・疲労の評価は、設計耐用年数 20 年として検討。
- ・疲労荷重は、時刻歴応答解析と、レインフローカウント法により算出する。
- ・検討対象は、タワー筒身の溶接部、ボルト等。
- ・暴風の出現頻度の高い地域においては、暴風待機時に発生する疲労荷重を適切に考慮する。

4.3.3 等価静的解析による暴風時最大風荷重の評価

(a)考え方

- ・等価静的解析では、ローターが固定かつナセルが剛であると仮定し、ロータ、ナセル、タワーに作用する平均風荷重に、タワーの 1 次振動モードと構造減衰を考慮したガスト影響係数を乗じて求める。
- ・また、最大風荷重は風方向と風直交方向の風荷重の組合せで求めるものとする。
- ・ロータ遊転している場合は、風荷重補正係数で補正する。

(b)最大荷重時の風車姿勢

風車の制御形式と暴風時にバックアップ電源が確保されているか、いないかで風車に作用する最大風荷重が大きく異なる。このためストール(失速)制御型はローターが風向きに正対姿勢、ピッチ制御型は横から風を受ける姿勢を暴風時姿勢に定める。

アジマス角（ブレードの回転角をいい、天頂を 0 度として右回りに測る）

暴風時にヨー制御が不可能な場合、ストール制御風車のタワーに作用する最大風荷重は図 4.3.3b-1 に示すようにアジマス角 0 度、ヨー角は 0 度の時に発生することとし、ピッチ制御風車のタワーに作用する最大風荷重は図 4.3.3b-2 に示すようにヨー角は 90 度、アジマス角 30 度の時に発生することとする。

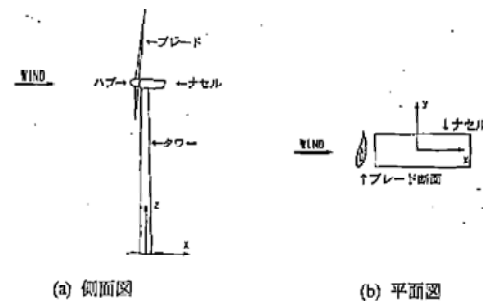
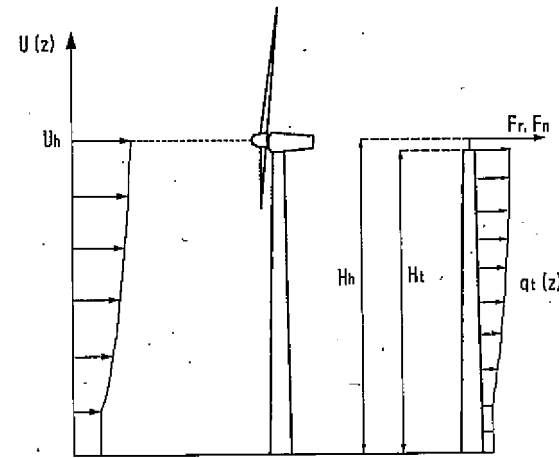
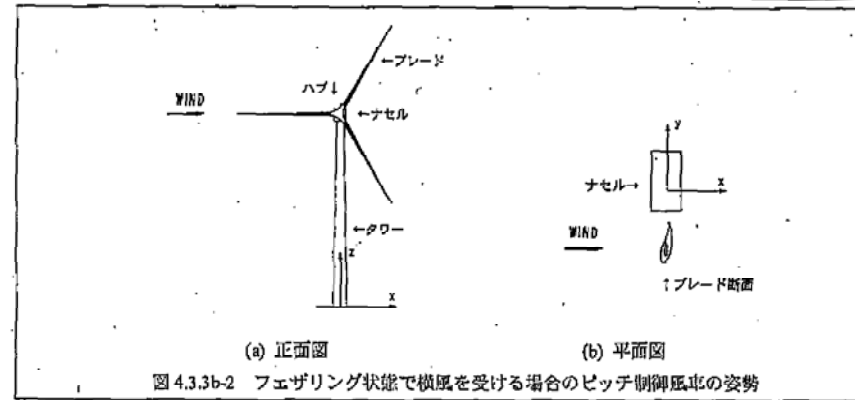


図 4.3.3b-1 風車ローターが風向きに正対する際のストール制御風車の姿勢



図解 4.3.3e-1 タワーに作用する風力の算定方法

【評価で考慮する項目】

- ・ガスト影響係数の算定
- ・風荷重の組合せ (風車タワーに作用する荷重は、タワーに作用する風力にヨー角度で変動するローターやナセルの風荷重を足し合わせる必要がある。このため風荷重の評価においては、風方向と風直交方向の荷重を組み合わせを考慮する。)
- ・ねじれモーメントの算定 (ナセルが受ける横風の影響)
- ・P- Δ 効果の評価 (ナセル・タワー自重×それ自体の水平変位で生ずる付加的な曲げモーメント)

4.3.4 等価静的解析による発電時の風荷重の評価

発電時最大風荷重の50年再現期待値を算定する評価式が、あらかじめ実施した時刻歴応答解析に基づき提案されている。(下記は、同内容の2010版より掲載)

発電時におけるピークせん断力の50年再現期待値 Q_{D50} とピークモーメントの50年再現期待値 M_{D50} は、各々発電時のピークせん断力の期待値と発電時のピークモーメントの期待値に対して統計的外挿係数と部分係数を乗じて求める。

$$Q_{D50} = Q_{Dmax} \times \gamma_e \times \gamma_f, \quad Q_{Dmax} = \max(Q_{Di} \times G_{Di}) \quad (4.27)$$

$$M_{D50} = M_{Dmax} \times \gamma_e \times \gamma_f, \quad M_{Dmax} = \max(M_{Di} \times G_{Di}) \quad (4.28)$$

ここで、

- Q_{Dmax} : 発電時のピークせん断力の期待値 (N)
- M_{Dmax} : 発電時のピークモーメントの期待値 (Nm)
- γ_e : 統計的外挿係数
- γ_f : 部分係数

- i : 風速階級
- Q_{Di} : 風速階級 U_{Hi} に対応する発電時の平均せん断力 (N)
- M_{Di} : 風速階級 U_{Hi} に対応する発電時の平均モーメント (Nm)
- G_{Di} : 風速階級 U_{Hi} に対応する発電時のガスト影響係数
- U_{Hi} : 風速階級 i におけるハブ高さ風速 (m/s)

(1) 発電時の平均風荷重

発電時の風速階級 U_{Hi} に対応する平均せん断力は、ロータ、ナセルならびにタワーに作用するせん断力を加算し、次式により算定する。

$$Q_{Di} = \frac{1}{2} \rho U_{Hi}^2 C_{Ti} \pi R^2 + \frac{1}{2} \rho U_{Hi}^2 C_{DN} A_N + \int_h^{H_i} \frac{1}{2} \rho U_i(z)^2 C_{DT} d(z) dz \quad (4.29)$$

ただし、

$$U_i(z) = U_{Hi} \left(\frac{z}{H_h} \right)^\alpha$$

また、発電時の風速階級 U_{Hi} に対応する平均モーメントは、ロータ、ナセルならびにタワーに作用するモーメントを加算し、次式により算定する。

$$M_{Di} = \left[\frac{1}{2} \rho U_{Hi}^2 C_{Ti} \pi R^2 + \frac{1}{2} \rho U_{Hi}^2 C_{DN} A_N \right] \times (H_h - h) + \int_h^{H_i} \frac{1}{2} \rho U_i(z)^2 C_{DT} d(z) (z - h) dz \quad (4.30)$$

ここで、

- Q_{Di} : 風速階級 U_{Hi} に対応する発電時の平均せん断力 (N)
- ρ : 空気密度 (kg/m³)
- C_{Ti} : 風速階級 U_{Hi} に対応するスラスト係数
- R : 風車ロータ半径 (m)
- C_{DN} : ナセルの平均抗力係数
- A_N : ナセルの見付け面積 (m²)
- H_i : タワー高さ (m)
- h : 評価する高さ (m)
- C_{DT} : タワーの平均抗力係数
- $d(z)$: 高さ z でのタワーの直径 (m)
- $U_i(z)$: 風速階級 U_{Hi} の時の高さ z での風速 (m/s)
- H_h : ハブ高さ (m)
- α : 風速の鉛直分布のべき指数

(2) 発電時のガスト影響係数

発電時の風速階級 U_{in} に対応するガスト影響係数 G_{Di} は次式により算定する。

$$G_{Di} = 1 + 2I_{1i} g_{Di} \sqrt{K_1} \sqrt{1 + R_{Di}} \quad (4.3.4b-5)$$

ただし、

$$g_{Di} = \begin{cases} -0.3 \sin\left(\pi \frac{U_{in} - U_{in}}{U_{out} - U_r}\right) + 3.0, & U_{in} < U_r \\ \sin\left(\frac{7\pi}{8} \frac{U_{in} - U_r}{U_{out} - U_r}\right) + 3.0, & U_{in} \geq U_r \end{cases}$$

$$R_{Di} = \begin{cases} 0.2, & U_{in} < U_r \\ 2.6 \frac{U_{in} - U_r}{U_{out} - U_r} + 0.2, & U_{in} \geq U_r \end{cases}$$

$$K_1 = \begin{cases} 0.15 \sin\left(\pi \frac{U_{in} - U_{in}}{U_{out} - U_r}\right) + 0.15, & U_{in} < U_r \\ 0.45 \frac{U_{in} - U_r}{U_{out} - U_r} + 0.15, & U_{in} \geq U_r \end{cases}$$

ここで、

- I_{1i} : 風速階級 U_{in} におけるハブ高さでの乱流強度
- g_{Di} : 風速階級 U_{in} におけるピークファクター
- K_1 : 風速階級 U_{in} における規模係数
- R_{Di} : 風速階級 U_{in} における共振成分と非共振成分の比
- U_{in} : 風速階級 i におけるハブ高さでの風速 (m/s)
- U_r : 定格風速 (m/s)
- U_{in} : カットイン風速 (m/s)
- U_{out} : カットアウト風速 (m/s)

(3) 統計的外挿係数

発電時の風荷重の統計的外挿係数 r_e は次式により算定する。

$$r_e = A \times \ln(U_e) + K_e \quad (4.3.4b-6)$$

ただし、

$$A = 0.9I_{ref} + 0.035$$

$$K_e = -0.77I_{ref} + 0.98$$

ここで、

- U_e : 年平均風速 (m/s)
- I_{ref} : 風速 15m/s 時の乱流強度の期待値

(4) 発電時の風荷重の部分係数

発電時の風荷重の部分係数 γ_f は IEC61400-1 に従い、1.25 とする。

③潮位

第5章 波荷重の評価
5.1 適用範囲
5.2 海象条件の評価
5.2.1 水位の評価
・ IEC 等の考え方に合わせ、設計潮位は**最高天文潮位 (H.A.T)** を使用する。
・ 設計高潮位は、H.A.T に**再現期間 50 年の高潮偏差**を加えた潮位とする。

(1) 設計高潮位
設計高潮位の設定は、次のうちのいずれかによるものとする。

1) 高潮の発生を考慮する必要がない場合

$$z_D = z_{HAT} \quad (5.2.1-1)$$

ここに、
 z_D : 設計高潮位 (cm)
 z_{HAT} : 最高天文潮位 HAT (cm)

2) 高潮の発生を考慮する必要がある場合

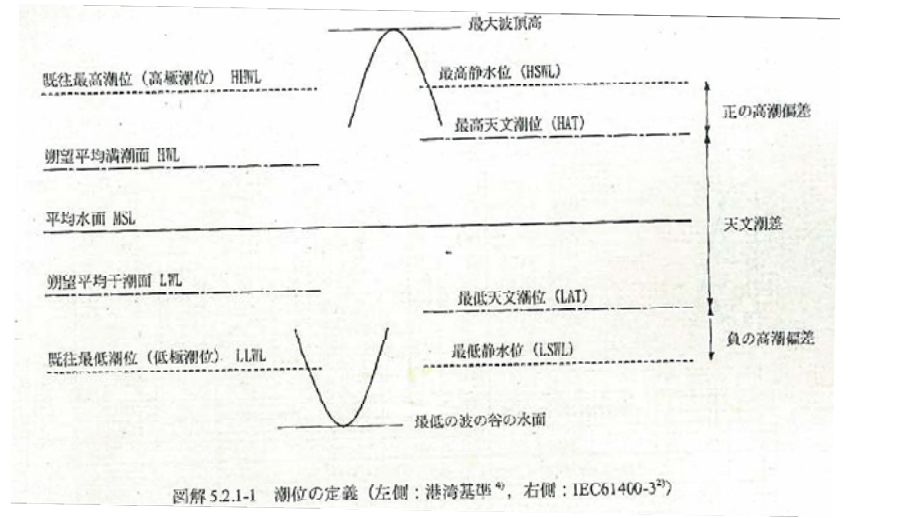
$$z_D = \max(z_{HHWL}, z_{HAT} + \zeta) \quad (5.2.1-2)$$

ここに、
 z_{HHWL} : 既往最高潮位 (高極潮位) HHWL (cm)
 ζ : 高潮偏差 (既往最大潮位偏差もしくは次式による台風潮位偏差) (cm)

$$\zeta = a(p_0 - p) + bW^2 \cos\theta + c \quad (5.2.1-3)$$

ただし、
 p_0 : 基準気圧 (=1010hPa)

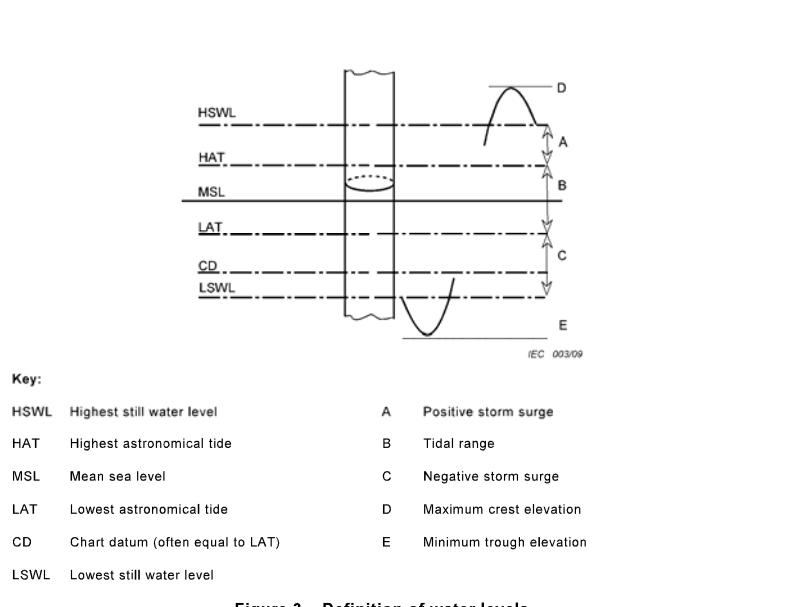
p : 最低気圧 (hPa)
 W : 10 分間平均風速の最大値 (m/s)
 θ : 主風向と最大風速 W のなす角
 a, b, c : 各地点毎に表 5.2.1-1 に示す定数



■HAT(Highest Astronomical Tide)を使用。

【IEC61400-3】

6.4.3 Water level
For the calculation of the hydrodynamic loading of an offshore wind turbine, the variation in water level (if significant) at the site shall be taken into account. A constant water level equal to the mean sea level (MSL) may, however, be assumed for ultimate load cases involving normal wave conditions (NSS, NWH) with the exception stated in 6.4.3.1 below. Different water levels are illustrated in Figure 3.



[和訳]

6.4.3 水位
洋上風車の流体力荷重の計算では、サイトにおける水位の変化(顕著な場合)を考慮しなければならない。ただし、通常波浪条件(NSS及びNWH)を伴う終極(終局)荷重ケースでは、次の6.4.3.1に規定する例外を除き、平均潮位(MSL)に等しい一定水位を想定してもよい。

図3は、水位の定義を示す。

HSWL 最高静水位	A 高潮による水位上昇
HAT 最高天文潮位	B 潮差
MSL 平均潮位	C 高潮による水位低下
LAT 最低天文潮位	D 最高波頂高
CD 海図基準水位 (LAT に等しい場合が多い)	E 最低波底高
LSWL 最低静水位	

■HWL：朔望平均満潮位

(2) 天文潮
潮位の設定において考慮する天文潮は、1年以上の実測値をもとに、最低水面、平均水面、朔望平均満潮面及び朔望平均干潮面の各高さとして設定することを標準とする。

(3) 高潮
高潮の設定に当たっては、長期間の実測値を適切に考慮する。長期間とは、30年以上を標準とする。ただし、長期間の実測値が得られない場合は、高潮の設定に当たって、気象条件に基づいた高潮の推算値、既往の災害時の記録等を適切に考慮する。高潮の推算に当たっては、必要に応じて海岸近くでの砕波に伴う水位上昇を適切に考慮する。

■高さの基準面の定義を追加する。(風車の場合 T.P.か)
(注)
①海図への風車高の記載方法
②フェーム内クリアランス制限値の記載方法

④流れ

5.2.2 海の流れの評価

(1) 水流速の評価
 洋上風力発電支持構造物の設計にあたっては、水中流、吹送流、沿岸流など水流の影響を考慮しなければならない。水流速は要因毎に評価することを基本とする。

(a) 水中流
 水中流の鉛直方向の流速分布は、実測値を用いることが望ましい。詳細な現地計測データが得られない場合、深さによる流速の変動は以下の値を用いるものとする。

$$V_{sz}(z) = V_{sz}(0) \left(\frac{h+z}{h} \right)^{1/7} \quad (5.2.2-1)$$

ここに、
 $V_{sz}(z)$: 水中流の z (m)における流速(m/s)
 $V_{sz}(0)$: 静水面における水中流の流速 (m/s)
 h : 設計水深(m)
 z : 静水面からの距離(m)で、上向きを正とする

(b) 吹送流
 吹送流の鉛直方向流速は、次式に従うものとする。

$$V_{wind}(z) = V_{wind}(0) \cdot \left(\frac{20+z}{20} \right) \quad (5.2.2-2)$$

$$V_{wind}(0) = 0.03 \cdot U_0 \quad (5.2.2-3)$$

ここに、
 $V_{wind}(z)$: 吹送流の z (m)における流速(m/s)
 U_0 : 海面高さ 10mでの 1時間平均風速(m/s) の年平均値あるいは 50年再現期待値
 $V_{wind}(0)$: 静水面における吹送流の流速(m/s)

吹送流の方向は基本的に現地観測データに基づくものとする。観測値を利用できない場合は、風向と同じと仮定する。

(c) 沿岸流
 サーフビートや海底傾斜が大きい場合には沿岸流を適切に考慮するものとする。

(2) 海面流速の合成
 海面流速は次式によって各成分ごとの海面流速をベクトル的に合成するものとする。

$$\vec{V}(z) = \vec{V}_{sz}(z) + \vec{V}_{wind}(z) + \vec{V}_{shore}(z) \quad (5.2.2-4)$$

ここに、
 $\vec{V}_{sz}(z)$: 水中流の流速ベクトル (m/s)
 $\vec{V}_{wind}(z)$: 吹送流の流速ベクトル (m/s)
 $\vec{V}_{shore}(z)$: 沿岸流の流速ベクトル (m/s)

ただし、一般に観測データや数値シミュレーションのように海面流が成分ごとに分かれておらず、すべての成分を含む場合は、個別に分離して評価せずにそのまま用いてもよい。

- (1) 水流速の評価
 海の流れの構成要素としては、以下が考えられる。
- ・ 水中流 潮汐、高潮、大気圧の変化などによって生じる流れ
 - ・ 吹送流 高潮や風によって生じる流れ
 - ・ 沿岸流 砕波帯近傍における、砕波などの波浪変形に伴い生じる流れ
 - ・ 海流 上記以外の密度差などによって生じる流れ

【IEC641400-3】

6.4.2 Sea currents

Although sea currents may, in principle, vary in space and time, they are generally considered as a horizontally uniform flow field of constant velocity and direction, varying only as a function of depth. The following components of sea current velocity shall be taken into account:

- ・ sub-surface currents generated by tides, storm surge and atmospheric pressure variations, etc.;
- ・ wind generated, near surface currents;
- ・ near shore, wave induced surf currents running parallel to the coast

- (Contents)
- 6.4.2.1 Sub-surface currents
 - 6.4.2.2 Wind generated, near surface currents
 - 6.4.2.3 Breaking wave induced surf currents
 - 6.4.2.4 Normal current model (NCM)
 - 6.4.2.5 Extreme current model (ECM)

〔和訳〕

- 6.4.2-1 海の流れ
 海の流れは、通常空間的及び時間的に変化するものの、一般には、速度及び方向が一定の水平面内で一樣な流れであり、深さだけの関数と考えることができる。海流速については、次の成分を考慮しなければならない。
- ・ 潮せき（汐）、高潮、大気圧の変化などによって生じる海潮流
 - ・ 風によって生じる海面付近の流れ
 - ・ 沿岸において、波によって引き起こされる沿岸に平行に流れる海浜流（沿岸流及び離岸流）
- 6.4.2-2 海潮流
 - 6.4.2-3 吹送流
 - 6.4.2-4 砕波によって引き起こされる海浜流
 - 6.4.2-5 通常流速モデル（NCM）
 - 6.4.2-6 極値流速モデル（ECM）

6 水の流れ等
 6.1 沿岸域の海水流動
【告示】（海水等の流動）
 第十条 海水等の流動については、実測値又は推算値をもとに、流速及び流向を適切に設定するものとする。

〔解説〕
 (1) 海水等の流動の設定方法
 技術基準対象施設の性能照査において海水等の流動と他の作用を組み合わせる場合には、他の作用と同時生起性の高い海水等の流動のうち、当該施設の安定性の観点から最も不利となる流速及び流向を設定する。

⑤波荷重

5.2.3 設計波

波荷重の算定においては、波の不規則性と非線形性を別々に検討するものとする。

(a) 設計波算定の流れ

設計波の波高と周期は以下のように算定するものとする。

表 5.2.3a-1 波荷重の算定において波の不規則性を考慮する場合の波高 (DLC6.1a, 6.2a)

進行波による波荷重	$H_D = k_2 \times H_{1/3}$ $= k_2 \min\left[\beta_0 H_0' + \beta_1 h, \beta_{\max} H_0', K_S H_0'\right]$	
衝撃砕波荷重	考慮する場合 ($\beta_{\max}^* < 1.8K_S$)	考慮しない場合 ($\beta_{\max}^* \geq 1.8K_S$)
	$H_D = H_{\max}$ $= \min\left[\beta_0^* H_0' + \beta_1^* h, \beta_{\max}^* H_0'\right]$	—

表 5.2.3a-2 波荷重の算定において波の非線形性を考慮する場合の波高 (DLC6.1b, 6.1c, 6.2b)

進行波による波荷重	$H_D = k_3 \times H_{\max}$ $= k_3 \min\left[H_B, 1.8K_S H_0'\right]$	
衝撃砕波荷重	考慮する場合 ($\beta_{\max}^* < 1.8K_S$)	考慮しない場合 ($\beta_{\max}^* \geq 1.8K_S$)
	$H_D = k_3 \times H_{\max}$ $= k_3 \min\left[\beta_0^* H_0' + \beta_1^* h, \beta_{\max}^* H_0'\right]$	—

$T_D = T_{1/3}$ (5.2.3a-1)

ここで、

h : 水深(m)

k_2 : 3時間有義波高を1時間有義波高に換算する係数=1.09

$H_{150,60} = k_2 H_{150}$

ただし、水深が浅いサイトでは、 $k_2=1.09$ は安全側の見積もりと考えられるため、調整してもよい。

k_3 : 最高波高に対する波高の換算係数

$k_3 = \begin{cases} 0.7 & \text{(DLC6.1b, 6.2b)} \\ 1.0 & \text{(DLC6.1c)} \end{cases}$

H_0' : 再現期間50年の換算砕波波高(m)で、式(5.2.3c-1)により求める

$H_{1/3}$: 砕波帯内における不規則波の有義波高 (m)で、式(5.2.3d-3)により求める

H_B : 砕波限界波高で、次式から求める

$$H_B = 0.17L_0 \left[1 - \exp\left\{-1.5 \frac{mh}{L_0} \left(1 + 15 \tan^4 \theta\right)\right\}\right]$$
 (5.2.3a-2)

H_D : 設計波高 (m)

H_{\max} : 砕波帯内における不規則波の最高波高 (m)で、式(5.2.3d-2)により求める

H_s : スペクトル有義波高 (m)

K_S : 浅水係数で、5.2.3(d) (1)項に示す方法により求める

$T_{1/3}$: 沖波の有義波周期 (s)で、5.2.3(b)項に示す方法により求める

T_D : 設計波周期 (s)

$\tan \theta$: 海底勾配

θ : 海底面が水平面となす角度で、水深波高比 h/H_0' が 1.5~2.5 の範囲における平均値

β_0^* : 汀線における H_{\max} と換算砕波波高の比で、5.2.3(d) (2)項に示す方法により求める

β_1^* : 砕波帯内の水深に対する H_{\max} の比例係数で、5.2.3(d) (2)項に示す方法により求める

β_{\max}^* : 砕波帯内の H_{\max} の最大値の係数で、5.2.3(d) (2)項に示す方法により求める

β_0 : 汀線における $H_{1/3}$ と換算砕波波高の比で、5.2.3(d) (3)項に示す方法により求める

β_1 : 砕波帯内の水深に対する $H_{1/3}$ の比例係数で、5.2.3(d) (3)項に示す方法により求める

β_{\max} : 砕波帯内の $H_{1/3}$ の最大値の係数で、5.2.3(d) (3)項に示す方法により求める

港湾の防波堤等の障害物の影響を受ける場合については、それらの影響に関しては別途考慮するものとする。

4 波浪

【告示】(波浪)

第八条 波浪については、性能規定及び性能照査で考慮する一の作用又は二以上の作用の組合せの状態に応じて、次の各号に定める方法により設定するものとする。

- 一 施設の安定性、構造部材の断面の破壊(疲労によるものを除く。)等の照査に用いる波浪については、長期間の実測値又は推算値をもとに、統計的解析等により再現期間に対応した波浪の波高、周期及び波向を適切に設定するものとする。
- 二 構造部材に関する施設の機能の確保及び疲労による断面の破壊の照査に用いる波浪については、長期間の実測値又は推算値をもとに、統計的解析により設計供用期間中に高頻度で発生する波浪の波高、周期、波向等を適切に設定するものとする。
- 三 静穏度の照査に用いる波浪については、長期間の実測値又は推算値をもとに、一定期間の波浪の波高、周期及び波向の相関傾度分布を適切に設定するものとする。

【解説】

- (1) 施設の安定性の照査及び構造部材の断面の破壊の照査等に用いる波浪
 - ① 変動波浪の再現期間
主たる作用が変動波浪の変動状態に対する使用性の照査において考慮する波浪の設定に当たっては、当該施設の目的や要求性能を満足するとともに、当該施設の設計供用期間及び重要度、並びに当該地点の自然状況等を適切に考慮して、波浪の再現期間を適切に設定する。
 - ② 偶発波浪の再現期間等
主たる作用が偶発波浪の偶発状態に対する照査において考慮する波浪の設定に当たっては、該当海域で発生しうる波の中で施設に最も厳しくなる波浪あるいは再現期間100年以上の波浪を適切に設定する。
 - ③ 実測値又は推算値の期間
長期間の実測値又は推算値とは、30年以上を標準とする。
- (2) 構造部材に関する施設の機能の確保及び疲労による断面の破壊の照査に用いる波浪
 - ① 構造部材に関する施設の機能の確保の照査とは、しばしば発生する作用によって構造部材に機能上の不都合が生じる限界状態の照査のことであり、また、疲労による断面の破壊の照査とは、繰り返し作用によって構造部材に断面の破壊が生じる限界状態の照査のことである。
 - ② 構造部材に関する施設の機能の確保の照査において考慮する波浪は、設計供用期間にそれ以上の波高の波浪が来襲する回数が10,000回程度の波浪とすることを標準とする。
 - ③ 疲労による断面の破壊の照査において考慮する波浪の設定に当たっては、当該施設の自然状況等の諸条件を考慮して、設計供用期間に発生する波浪の波高と周期に関する出現回数を適切に設定する。なお、実測値及び推算値の期間は、上記(1)③によるものとする。
- (3) 静穏度の照査に用いる波浪
長期間(長期間の実測値又は推算値)とは、5年程度以上を標準とする。また、静穏度の照査において考慮する波浪の設定に当たっては、必要に応じて、長周期波を適切に考慮する。

■風浪

・防波堤の設計では再現期間50年の波浪を用いている。
(海上貯油基地施設の貯蔵船については過去、再現期間100年を用いたこともある。)
風力発電施設について、防波堤の設計に用いる波の再現期間以上の波を要求する理由は見当たらない。

(b) 沖波

沖波は、新海域での再現期間 50 年の有義波高 H_0 及びそれに対応する有義波周期 $T_{1/3}$ とする。

(h) 沖波

沖波は、水深が 5.2.3(d)項で定める波長の 1/2 以上の深海域での再現期間 50 年の有義波高 H_0 および H_0 に対応する有義波周期 $T_{1/3}$ とし、その値は以下に示す方法のうち、(1)または(2)に示す方法によって定めるものとするが、これらが適用困難な場合には(3)に示す方法によって定めてもよい。

- (1) 自治体によって定められた再現期間 50 年の有義波高および有義波周期。
- (2) 国土技術政策総合研究所資料第 88 号⁹⁾の表-C.1(1)から表-C.1(32)の沖波表に定める再現期間 50 年の有義波高および有義波周期。
- (3) 観測データに基づく再現期間 50 年の有義波高および有義波周期。
- (4) 波浪推算に基づく再現期間 50 年の有義波高および有義波周期。

なお、(3)または(4)の方法を用いる場合には、(1)または(2)で沖波が与えられている地点において精度検証を行い、十分な精度を有することが立証された場合に限り、推定された沖波を用いてもよい。

【解説】

IEC 61400-3²⁾では、“極値風条件と極値波条件の組合せは、全体的な極値環境が再現期間 50 年となるようなものであること。極値風条件及び極値波条件の長期結合確率分布を求めるデータが存在しない場合、再現期間 50 年の極値海況において再現期間 50 年の 10 分平均極値風速が発生すると仮定する。”とされているが、本指針では、従荷重としての波荷重であることおよび保守側の観点から、波浪の再現期間として 50 年を標準とした。

(1) 自治体によって定められた再現期間 50 年の有義波高および有義波周期

自治体によって再現期間 50 年の確率波が定められている。例えば、「千葉東沿岸海岸保全基本計画」には沖波波高、周期、最大波高時の波向が示されている。再現期間 50 年の確率波は昭和 26 年～平成 12 年の 50 年間の気象資料をもとに波浪推算法（スペクトル法）により決定されており、再現期間 50 年の有義波高および有義波周期として用いることができる。

(2) 国土技術政策総合研究所資料第 88 号の利用

国土交通省 国土技術政策総合研究所資料 No.88⁹⁾には、平成 12 年度に収集した各港湾建設局（現国土交通省地方整備局）における波浪推算および極値統計解析データに基づき、全国各地の沖波が整理されている。表解 5.3.3b-1 にはその一例を示す。同文献の表-C.1(1)から表-C.1(32)には 50 年の再現期待値が示されている。ただし、海域によっては波浪推算手法として簡易な有義波法を用いている場合がある。また、現在までにより高い精度での観測・推算が行われ、既に設計沖波が変更されている海域もあるので、その取扱いには注意が必要である。本資料では併せて、港外水深 10m 地点における沿岸係数 α （ α =屈折係数 K_r × 回折係数 K_d ）も示されており、次項に示す換算沖波波高 H'_0 の算定において、参考とすることができる。

(c) 換算沖波の算定

換算沖波波高は下式により算出する。

$$H'_0 = K_r \times K_d \times H_0 \quad (5.2.3c-1)$$

ここで、

- H'_0 : 換算沖波波高 (m)
- K_r : 屈折係数
- K_d : 回折係数
- H_0 : 沖波波高

(d) 対象地点での波

(1) 対象地点での波高は次式により算定する。

$$H_D = K_r \times H'_0 \quad (5.2.3d-1)$$

ただし、

$$K_g = \left[\tanh kh + kh(1 - \tanh^2 kh) \right]^{-1/2} + 0.0015 \left(\frac{h}{L_0} \right)^{2.25} \left(\frac{H_0'}{L_0} \right)^{1.27}$$

$$L_0 = gT_0^2 / (2\pi), \quad k = \frac{2\pi}{L}$$

ここで、

- K_g : 浅水係数
- H_0' : 再現期間 50 年の換算神波波高 (m), 式(5.2.3e-1)により求める
- h : 設計潮位 (m), 5.2.1 により求める
- L_0 : 神波の波長 (m)
- T_0 : 設計波周期, 式(5.2.3a-1)により求める
- L : 水深 h における波長 (m), 5.2.3 (c)を参照
- g : 重力加速度

(e) 発電時の平均有義波高、調和平均波周期

【解説】

発電時の波高と波周期に対しては、低風速域における風波とうねりの干渉を考慮した式(5.2.3e-3)および式(5.2.3e-4)を用いるものとする。これらの式は次式で定義する平均有義波高、調和平均波周期をうねりと風波に関する SMB 式を用いて表したものである。

(e) 発電時の平均有義波高、調和平均波周期

発電時の波高と波周期に対しては、次式で定義する平均有義波高、調和平均波周期を用いるものとする。

$$H_{0,ave} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{0,i}}{n} \quad (5.2.3e-1)$$

$$T_{0,ave} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{0,i}}} \quad (5.2.3e-2)$$

ここに

- $H_{0,ave}$: 平均有義波高(m)
- $H_{0,i}$: 風速ビン中の第 i 番目の有義波高 ($i=1 \dots n$)
- $T_{0,ave}$: 調和平均波周期(s)
- $T_{0,i}$: 風速ビン中の第 i 番目の波周期 ($i=1 \dots n$)
- n : 風速ビン中の有義波高の標本数

低風速域においては、風波とうねりの干渉が存在するので、上式に示す平均有義波高と調和平均波周期は、風波とうねりを考慮した次式によって表すものとする。

$$H_{0,ave} = 0.956 \times 4 \sqrt{m_0} = \sqrt{\sum H_{0,i}^2} = \sqrt{H_{0,i,SMB}^2 + H_{0,i,well}^2} \quad (5.2.3e-3)$$

$$T_{0,ave} = m_{-1}/m_0 = \frac{\sum (T_{0,i} \times H_{0,i}^2)}{\sum H_{0,i}^2} = \frac{T_{0,i,SMB} \times H_{0,i,SMB}^2 + T_{0,i,well} \times H_{0,i,well}^2}{H_{0,i,SMB}^2 + H_{0,i,well}^2} \quad (5.2.3e-4)$$

ここに、

$$H_{0,i,SMB} = \frac{0.3U_{10}^2}{g} \left[1 - \left\{ 1 + 0.004 \left(\frac{Fg}{U_{10}^2} \right)^{1/2} \right\}^{-2} \right]$$

$$H_{0,i,well} = \text{const. (場所による)}$$

$$T_{0,i,SMB} = \frac{2 \times 1.37 \pi U_{10}}{g} \left[1 - \left\{ 1 + 0.008 \left(\frac{Fg}{U_{10}^2} \right)^{1/2} \right\}^{-2} \right]$$

$$T_{0,i,well} = \text{const. (場所による)}$$

$$F = \text{const. (場所による)}$$

5.2.4 波の運動の評価

(a) 規則波

(1) 規則波の運動の評価に当たっては、図 5.2.4.a-1 に示す選定図に従い、適切な波理論を選択する。

・ stream function (流れ関数)

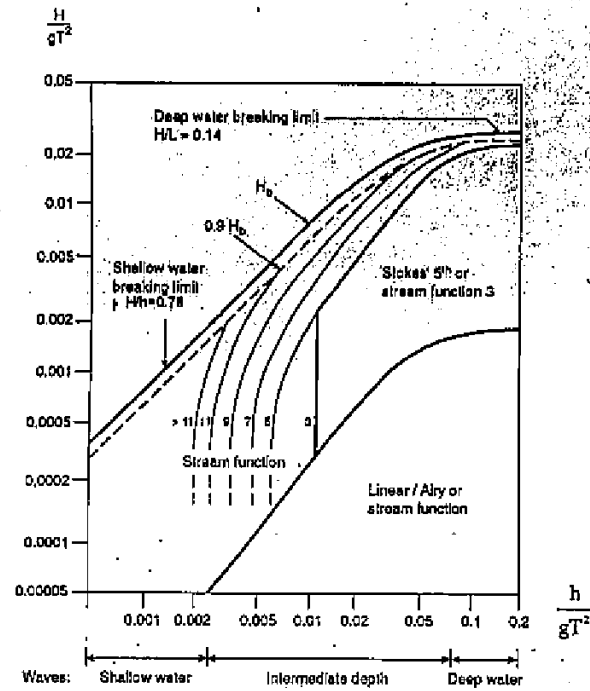


図 5.2.4.a-1 各種規則波理論の選定図²⁾

【IEC61400-3】 Annex C(informative)

Shallow water hydrodynamics and breaking waves

C.1 Selection of suitable wave theories

Several periodic wave theories can be used to predict the kinematics of two-dimensional regular waves. The different theories all provide approximate solutions to the same differential equations with appropriate boundary conditions. All compute a waveform that is symmetric about the crest and propagates without changing shape. The theories differ in their functional formulation and in the degree to which they satisfy the non-linear kinematic and dynamic boundary conditions at the wave surface. Figure C.1 provides guidance on the selection of suitable regular wave theories as a function of normalised wave height and water depth.

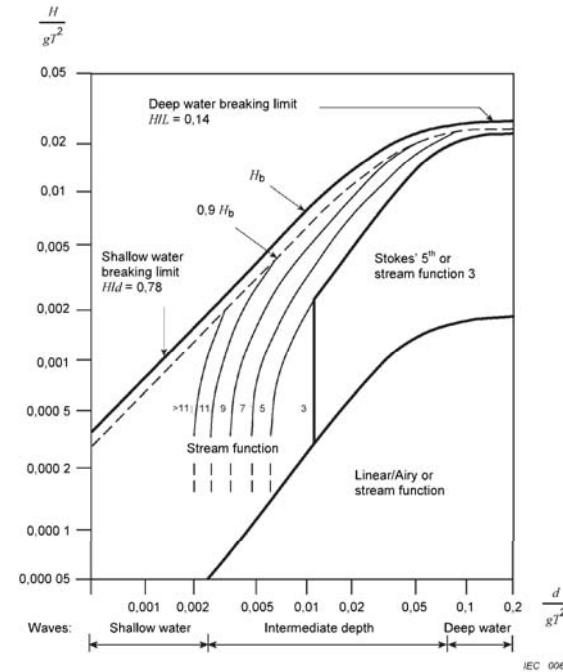


Figure C.1 – Regular wave theory selection diagram

Waves of small height in deep water are approximately linear in nature. Regular waves in this region are sinusoidal in shape and may be modelled using linear Airy wave theory or a low order stream function solution.

As the wave height is increased or the water depth reduced, wave profiles become steep-sided and the height of the wave crest above the still water level becomes greater than the depth of the trough below the same datum. The wave profile and water particle kinematics can no longer accurately be described using linear wave theory. Stream function theory can be suitably applied over a wide range of depths if the correct choice of solution order is made. Stokes 5th theory may be used to model steep waves in deep water.

As wave height is further increased or the water depth further reduced, the horizontal velocity of water particles in the wave crest will at some point exceed the wave celerity and the structure of the wave will break down. Water particles are ejected forward from the crest and the wave is said to break.

Further description of wave theories and their ranges of application may be found in ISO 19901-1.

[和訳]

附属書C (参考)

浅水の流体力学及び砕波

C.1 適切な波理論の選択

二次元規則波の運動を予測するに当たり、規則波に関する幾つかの理論を用いることがで

ここで、

- H : 波高 (m)
- L : 波長 (m)
- T : 波周期 (s)
- h : 水深 (m)
- g : 重力加速度 (m/s^2)
- H_s : 砕波波高 (m)

(2) 線形波理論が適用可能な場合、式(4.5.2a-1)~式(4.5.2a-5)によりその運動を評価できる。

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (5.2.4a-1)$$

$$u = \frac{H}{2} \omega \frac{\cosh kz}{\sinh kh} \cos(kx - \omega t) \quad (5.2.4a-2)$$

$$w = \frac{H}{2} \omega \frac{\sinh kz}{\sinh kh} \sin(kx - \omega t) \quad (5.2.4a-3)$$

$$\dot{u} = \frac{H}{2} \omega^2 \frac{\cosh kz}{\sinh kh} \sin(kx - \omega t) \quad (5.2.4a-4)$$

$$\dot{w} = \frac{H}{2} \omega^2 \frac{\sinh kz}{\sinh kh} \cos(kx - \omega t) \quad (5.2.4a-5)$$

ここで、

- η : 水面からの水位の上昇 (m)
- u : 水粒子速度の水平成分 (m/s)
- w : 水粒子速度の鉛直成分 (m/s)
- \dot{u} : 水粒子加速度の水平成分 (m/s^2)
- \dot{w} : 水粒子加速度の鉛直成分 (m/s^2)
- k : 波数 ($1/m$) $= 2\pi/L$
- L : 水深 h における波長 (m) で、式(5.2.3(c))により求める。
- ω : 角周波数 (rad/s) $= 2\pi/T_D$
- T_D : 設計波周期 (s) で、式(5.2.3a-1)により求める。
- t : 時間 (s)
- x : 波の進行方向にとった水平座標値 (m)
- z : 海底面から鉛直上向きを正とした鉛直座標値 (m)

(3) 流れ関数理論に基づく場合は、以下の手順により非線形波の運動を評価できる。

1) 流れ関数を式(5.2.4a-6)に示す。ここで、必要な項数 N は、図 5.2.4a-1 を参考に定める。

$$\Psi(X, z) = c(z-h) + \sum_{n=1}^N A_n \sinh(nkz) \cos(nkX) \quad (5.2.4a-6)$$

ここで、

- c : 波速 (m/s) $= L/T$
- k : 波数 ($1/m$) $= 2\pi/L$
- A_n : 次数 n の成分係数
- X : 水平座標値 (波速 c で波とともに移動) $= x - ct$

(5) 波頂高は式(5.2.4a-15)により算定する。

$$h_c = h + \eta_c \quad (5.2.4a-15)$$

ただし、

きる。各種の理論は、いずれも、適切な境界条件を用いて、同じ微分方程式の近似解を得るものである。どの理論も、波頂に関して対称で、かつ、形状が変化することなく伝ば(播)する波形について計算を行うものである。これらの理論は、関数形における差異、並びに波面の非線形運動及び動的境界条件の満足に差異がある。図C.1は、適切な規則波理論を選定するための指針を正規化した波高及び水深の関数として示した図である。

深水域における波高が小さい波は、実質的に線形近似する。この領域における規則波は、波形が正弦波状であり、かつ、線形工アリ波理論又は低次の流れ関数解を用いてモデル化してもよい。

波高が増大する又は水深が減少すると、波形の勾配が増し、静水位より上の波頂高の値が、同じ静水位より下の波の谷の深さよりも大きくなる。波形及び水粒子運動は、もはや線形波理論では正確に表現できなくなる。解の次数を正しく選定すれば、幅広い水深範囲を対象として流れ関数理論を適切に適用できる。深水域における波形勾配が大きい波をモデル化するに当たり、ストークス5次近似理論を用いてもよい。

波高が更に増大する又は水深が更に減少すると、波頂における水粒子の水平速度がある時点で波速を超えて、波が崩れる。水粒子が波頂から前方に向けて放出され、砕波が起きるといわれている。波理論及びその適用範囲に関する更に詳しい説明は、ISO 19901-1を参照してもよい。

$$\eta_c = h \left\{ (\tan \theta)^4 \exp f_2 - 1 \right\}, \quad 1/100 \leq \tan \theta \leq 1/20$$

$$f_1(H/h) = \frac{H}{h} \left[2.44 \left(\frac{H}{h} \right)^2 - 9.24 \left(\frac{H}{h} \right) + 3.18 \right] \times 10^{-2}$$

$$f_2(H/h) = \frac{H}{h} \left[-1.93 \left(\frac{H}{h} \right)^2 + 1.05 \left(\frac{H}{h} \right) + 5.58 \right] \times 10^{-1}$$

ここで、

h_c : 波頂の海底面からの高さ (m)

η_c : 波頂の静水面からの高さ (m)

h : 設計潮位に基づく水深 (m), 5.2.1(a)項により求める

H : 波高(m)で, 5.2.3(a)により求める設計波高とする

$\tan \theta$: 海底勾配

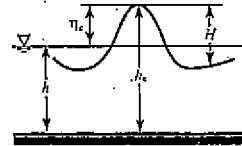


図 5.2.4a-2 水深 h , 海底面からの波頂高 h_c , 静水面からの波頂高 η_c , 波高の関係 H

(b)波のスペクトル

・基本: JONSWAP、プレットシュナイダー光易型

(c)不規則波

・不規則波は、規則波の線形重ね合わせで表すことができる。

(d)ウエーラーのストレッチ理論

・線形波理論で評価される水粒子加速度及び速度は、海底から静水面までとなる。ウエーラーのストレッチ理論を使用して水粒子加速度・速度を海底から波面高 η までの値に対応させ、モリソン式で杭状構造物に作用する波力を評価する。

海底から海面高さまでの水粒子速度・加速度の算定においては、ウエーラーのストレッチ理論に基づき式(6.32)により線形波理論を用いて算出することができる。

$$z = \frac{z_s}{h + \eta} \cdot h \quad (6.32)$$

ここで、

z : 線形波理論を適用する鉛直座標 (m), $0 \leq z \leq h$

z_s : 水粒子速度, 加速度を算定する鉛直座標 (m), $0 \leq z_s \leq h + \eta$

h : 水深 (m)

η : 静水面から測った海面高 (m), 式(6.11)または式(6.26)により求める

⑥津波

5.2.5 津波

・津波高、津波流速は、中央防災会議の通知に基づき各自治体が発表した値について定めるものとする。

・「最大クラスの津波 (1000 年に一度、L2)」と「設計津波対象群 (数十年から百数十年に一度、L1)」の二つのレベルに分けて設定。

【要求事項】

・L1 = 構造物の安定性を担保すること。

・L2 = 施設の維持管理等のために施設内部に立ち入る人の人命を守ること。

■津波・流れ

・港湾基準では、「設計津波」、「設計津波を越える津波」を定義 (平成 25 年 9 月)。

「設計津波」、「設計津波を越える津波」に対して要求性能を設定し照査することを記述。

⑦波力算定法

5.3 波荷重の評価

5.3.1 適用範囲

5.3.2 時刻歴応答解析による波荷重の評価

(b)波荷重モデルの選択

・ $D/L < 0.2$ (D : 部材直径, L : 波長) の部材においては、波荷重の評価にモリソン式を用いることができる。一方、 $D/L > 0.2$ では波の回折が問題となるため、線形波理論の適用範囲内に対しては線形回折波理論に基づき評価することができる。

・ 波の回折と非線形性の両者を考慮しなければならない場合は、波高の2次オーダーまでの Stokes 展開にもとづく回折波力の評価が可能であるが、それ以上の高次オーダーの評価は一般的でなく、実験等による評価が必要である。

(c)波の方向性の考慮

・ 軸対称形状に近い施設基礎構造においては、通常は方向分散性を考慮せず一方向波に対する検討で安全側となる。

5.3.3 等価静的解析による波荷重の評価

(a) 適用範囲

風車の支持構造物が水中(海中)や海岸付近に建設され、波浪の影響を受ける場合には、波力を荷重として考慮するものとする。本項で示す波荷重の適用にあたっては以下の条件を満たすものとする。

(1) 本項で規定する波荷重は以下の条件を満たす場合に適用できるものとする。

$$D/L < 0.2 \quad (5.3.3a-1)$$

ここで、

D : 支持構造の水中部分の直径
 L : 波長, 4.5.1(c)項を参照

(2) 風車支持構造の水中部分の運動の影響は無視できるものとする。

(3) 風車構造の1次固有振動周期 T_1 は次式を満たすものとする。

$$T_1 < \frac{T_D}{4} \quad (5.3.3a-2)$$

ここで、

T_D : 設計波周期 (sec) で、式(4.5.1a-1)により求める
 T_1 : 風車構造の1次固有振動周期 (sec)

これらの条件を満たさない場合については、本項の荷重によらず、別途詳細な動的解析等による検討を行うものとする。

(b) 円筒部材に作用する波力

(1) 杭状構造物の水中部分に作用する波力は、次式にて算定することができる。

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho D |u| u + C_M \rho A \dot{u} \quad (5.3.3b-1)$$

ここで、

F : 部材単位長あたりの力 (N)
 C_D : 抗力係数
 C_M : 慣性力係数
 ρ : 海水の密度 (kg/m^3)
 D : 部材の有効直径 (m) = $D_c + 2t_m$
 D_c : 腐食または海中生物の付着がない状態での部材の直径 (m)
 t_m : 海中生物の平均付着厚さ (m)
 A : 部材断面積 (m^2)
 u : 水粒子速度の部材直角方向成分 (m/s) で、5.2.4 項により求める
 \dot{u} : 水粒子加速度の部材直角方向成分 (m/s^2) で、5.2.4 項により求める

Annex D (informative) Guidance on calculation of hydrodynamic loads

D.2 Morison's equation

Morison's equation (see reference document 2.) is the commonly used expression for the calculation of viscous drag and inertia loading on frame structures. The equation for a static member is:

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho D |U| U + C_m \rho A \dot{U}$$

where

F is the force per unit length of member;
 C_d is the drag coefficient;
 C_m is the inertia coefficient;
 ρ is the density of water;
 D is the member diameter;
 A is the cross-sectional area of the member;
 U is the velocity of the flow resolved normal to the member;
 \dot{U} is the acceleration of the flow resolved normal to the member.

(D.1)

If the structure moves significantly, the relative velocity modifies the drag force and can result in hydrodynamic damping. The relative acceleration results in a force similar to the inertia force which can most conveniently be analysed using the concept of an added mass of water which is constrained to move with the structure. In this case, Morison's equation becomes:

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho D |U_r| U_r + C_m \rho A \dot{U}_w - C_a \rho A \dot{U}_s \quad (D.2)$$

where

U_r is the relative velocity of the flow normal to the member;
 \dot{U}_w is the acceleration of the flow resolved normal to the member;
 \dot{U}_s is the acceleration of the structure resolved normal to the member;
 C_a is the added mass coefficient ($C_a = C_m - 1$ for slender, cylindrical members of fixed structures).

[和訳]

D.2 モリソン (Morison) 式

モリソン (Morison) 式[2]は、フレーム構造に作用する粘性抵抗及び慣性荷重を計算するに当たり、一般に用いられる表現である。静的部材に対する式は、式(D.1)による。

ここに、

F : 部材単位長当たりの力
 C_d : 抵抗係数
 C_m : 慣性係数
 ρ : 水の密度
 D : 部材の直径
 A : 部材断面積
 U : 流体速度の部材に対する法線方向成分
 \dot{U} : 流体加速度の部材に対する法線方向成分

構造物が顕著に運動する場合、相対速度によって抵抗力が変わるため、流体力学的減衰が

4.7.3 海中部材及び孤立構造物に作用する波力

(1) 海中部材に作用する波力¹⁶⁵⁾

① モリソン (Morison) 式

(a) 一般

海中の杭のように波長に比してその径が小さいものは、波の進行をほとんど阻止することがなく、これに作用する波力は、波による水粒子速度の2乗に比例する抗力と、水粒子加速度に比例する慣性力の和として、式(4.7.22)に示すモリソン式で算定することができる。

$$\vec{f}_n = \frac{1}{2} C_D \rho_0 |\vec{u}_n| \vec{u}_n D \Delta S + C_M \rho_0 \vec{a}_n A \Delta S \quad (4.7.22)$$

ここに、

\vec{f}_n : 部材軸方向の微小長さ ΔS (m) に作用する、部材軸と水粒子運動方向の共通面における部材軸に直角な方向の力 (kN)
 \vec{u}_n, \vec{a}_n : 部材軸と水粒子運動方向の共通面における、部材軸直角方向 (\vec{f}_n と同じ方向) の水粒子速度成分 (m/s) 及び加速度成分 (m/s^2) (部材によって乱されない入射波による成分)
 $|\vec{u}_n|$: \vec{u}_n の絶対値 (m/s)
 C_D : 抗力係数
 C_M : 慣性力係数
 D : \vec{f}_n の方向から見た部材軸直角方向の部材幅 (m)
 A : 部材軸に垂直な面で切った部材断面積 (m^2)
 ρ_0 : 海水の密度 (通常は 1.03t/m^3)

(b) 水粒子の速度成分及び加速度成分

式(4.7.22)中の \vec{u}_n, \vec{a}_n は波が構造物の存在によって乱されないとした場合の、部材中心軸位置における水粒子運動の部材軸に対する直角方向成分である。波力の算定に当たっては、実験値あるいは理論値に基づいて、これらをできるだけ正確に与えるべきである。特に、水粒子速度成分はその2乗で寄与するため、波高が大きい場合には微小振幅波理論による近似では不十分となる。また、部材が水面上に達する場合には、波力の作用範囲すなわち波頂高についても十分考慮すべきである。これらを理論値によって求めるときは4.1 波浪の基礎事項に基づき、設計波の特性に合致した有限振幅波の理論によることが望ましい。ただし、波力の算定に用いる波高、周期は波の不規則性を十分考慮して、部材あるいは施設にとって最も厳しい諸元を対象とすべきである。一般に剛性の高い施設の場合には、波高については最高波高を対象とし、周期については有義波周期を用いて検討すればよい。

(技術基準 P203)

(2) 波力係数

円柱の抗力係数と慣性力係数は次式により算定する。

$$C_D = C_{Ds} \cdot \Psi \quad (5.3.3b-2)$$

$$C_M = \begin{cases} 2 & K_C \leq 3 \\ \max\{2.0 - 0.044(K_C - 3), 1.6 - (C_{Ds} - 0.65)\} & K_C > 3 \end{cases} \quad (5.3.3b-3)$$

ただし、

$$C_{Ds} = \begin{cases} 0.65 & (\Delta < 10^{-4} \text{ (滑面)}) \\ \frac{29 + 4 \cdot \log_{10}(\Delta)}{20} & (10^{-4} < \Delta < 10^{-2}) \\ 1.05 & (\Delta > 10^{-2} \text{ (粗面)}) \end{cases}$$

$$\Psi = \begin{cases} C_r - 1 - 2(K_C - 0.75) & (K_C \leq 0.75) \\ C_r - 1 & (0.75 < K_C \leq 2) \\ C_r + 0.1(K_C - 12) & (2 < K_C \leq 12) \\ 2.1222 - 0.62638 \log\left(\frac{K_C}{C_{Ds}}\right) & \left(12 < K_C \text{ かつ } \frac{K_C}{C_{Ds}} \leq 60\right) \end{cases}$$

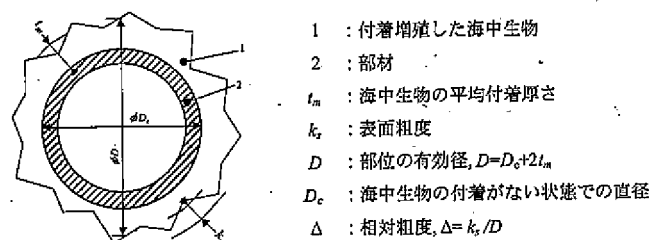
$$C_r = 1.50 - 0.024 \cdot \left(\frac{12}{C_{Ds}} - 10\right)$$

・生物付着

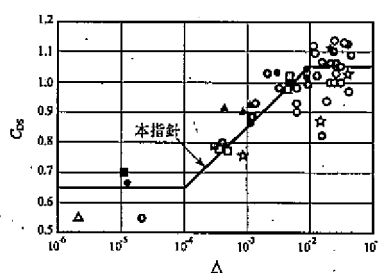
・海中生物の付着

海中部材については海中生物の付着による粗度の増加や断面積の増加を考慮する必要がある。

抗力係数 C_{Ds} は、下記に示すように相対粗度 Δ の増加で評価できる。



図解 5.3.3b-3 表面粗度高さおよび厚さの定義²⁹⁾



図解 5.3.3b-4 定常流れでの抗力係数の相対粗度に対する依存性^{28), 30)}

(c) 等価静的波荷重

・波の作用による動的応答の全体効果は、等価準静的作用Dを導入することで近似することができる。

— 説明は省略 —

生じ得る。相対加速度によって慣性力と同様の力が発生し、この力は、構造物と一緒に運動する付加水質量を考慮することによって、大抵はうまく解析できる。この場合、モリソン (Morison) 式は、式(D.2)になる。

ここに、

U_t : 相対速度の部材に対する法線方向成分

U_w : 流体加速度の部材に対する法線方向成分

U_s : 構造物加速度の部材に対する法線方向成分

C_a : 付加質量係数 ($C_a = C_m - 1$, 細長い柱状の固定部材の場合)

【IEC61400-3】

6.4.5 Marine growth

Marine growth influences the mass, the geometry, and the surface texture of the support structure of an offshore wind turbine. Consequently, marine growth may influence hydrodynamic loads, dynamic response, accessibility and corrosion rate of the structure.

[和訳]

6.4.5 海洋付着生物

海洋付着生物は、洋上風車の支持構造物の質量、形状及び表面状態に影響する。その結果、海洋付着生物が支持構造物の流体力による荷重、動的応答、アクセス性及び腐食速度に影響する可能性がある。

(d) 衝撃砕波力

・ 海面をよぎって設置される杭状構造物に作用する衝撃砕波力は次式によって算定するか、実験または詳細な解析により考慮するものとする。

(1) 次式を満たす場合に衝撃砕波力を適用する。

$$\beta_{\max}^2 < K_S \quad (5.3.3d-1)$$

ここで、

h : 水深 (m)

L_0 : 沖波の波長(m), 5.2.3(d)項を参照

(2) 有効衝撃砕波力は次式により求める。

$$\hat{F}_{I1} = \frac{\pi}{2} \rho C_0^2 D \hat{X} \int_{\lambda+(-A)\eta_b}^{z+\eta_b} \phi_j(z) dz \quad (5.3.3d-2)$$

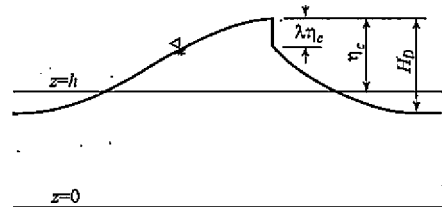


図 5.3.3d-1 砕波モデルの波形および粒子速度

Annex D (informative) Guidance on calculation of hydrodynamic loads

D.4 Slap and slam loading

Measurements by Wienke of breaking waves acting on vertical and inclined cylindrical structures (see reference document 6) have shown that the impact force FI may be added to Morison's equation as an additional component of the wave force:

$$F_{\text{wave_break}} = F_D + F_M + F_I \quad (D.8)$$

where

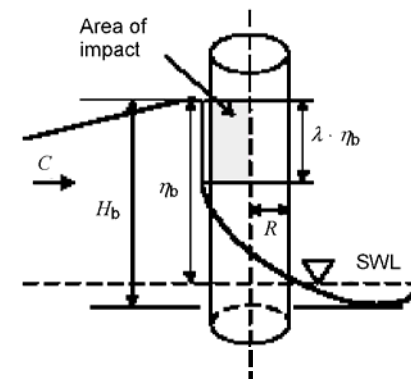
F_D is the drag component of the wave force;

F_M is the inertia component of the wave force;

F_I is the impact component of the breaking wave force.

The drag and inertia force vary in time in accordance to the water surface elevation associated with the wave cycle and may be analysed using a higher order wave theory.

Considering a cylinder in a breaking wave environment, the impact area may be defined as shown in Figure D.1:



IEC 007/09

where C is the wave celerity;

H_b is the wave height at the breaking location;

η_b is the maximum elevation of the free water surface,

R is the radius of the cylinder,

λ is the curling factor $\approx 0,5$.

Figure D.1 – Breaking wave and cylinder parameters

When the mass of water hits the cylinder not normally but at an oblique angle γ , then the shape of the cylinder has to be represented by an elliptic instead of a circular shape. This description is valid for the inclined cylinder or when the over curling breaker tongue hits the vertical cylinder obliquely, i.e. below the wave crest.

The impact force FI may be calculated as

ただし,

$$C_B = L/T_D$$

$$\hat{\chi}_j = \begin{cases} \sum_{i=1}^3 c_i \Omega_j^i & (\Omega_j \leq 19) \\ 2.9674(\Omega_j - 18)^{0.033} & (19 < \Omega_j \leq 2000) \end{cases}$$

$$c_1 = 0.38, c_2 = -0.019, c_3 = 0.00033$$

$$\Omega_j = 2\pi f_j t_B$$

$$t_B = D/(2C_B)$$

$$\lambda = \frac{0.6}{4\{\log(\xi_b/0.9)\}^2 + 1}$$

$$\xi_b = \frac{\tan \theta}{\sqrt{H_D/L_0}}$$

ここで,

\hat{F}_j : j 次モードの有効衝撃砕波力 (N)

$\phi_j(z)$: j 次モードベクトルの高さ z における値

ρ : 海水の密度 (kg/m^3)

D : $z = h + (1 - \lambda/2)\eta_c$ の位置における抗状構造部材の外径 (m)

z : 海底面から鉛直上向きを正とした鉛直座標値 (m)

η_c : 静水面上の波頂高 (m), 5.2.4(a)(5)項を参照

λ : 砕波巻込み率

C_B : 砕波の波速 (m/s)

L : 波長 (m), 5.2.3(c)または5.2.4(a)(3)項を参照

T_D : 設計波周期 (sec) で, 式(5.2.3a-1)により求める

h_c : 海底面から波頂までの高さ (m) (図 5.2.4a-2 参照), 式(5.2.4a-15) により求め

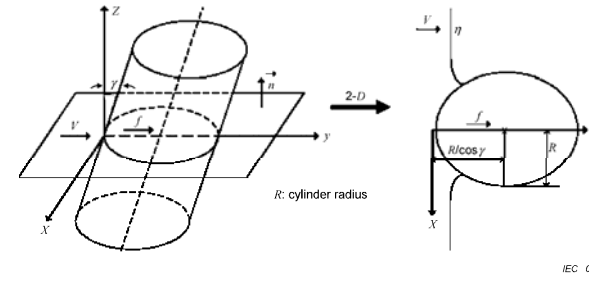
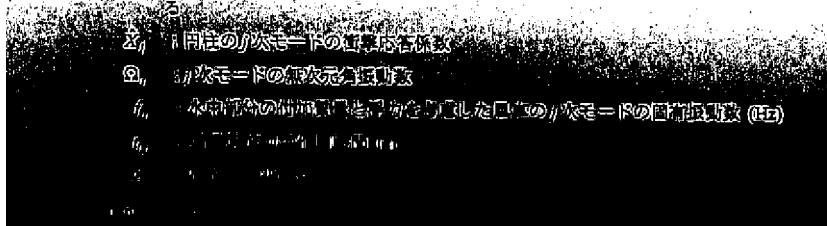


Figure D.2 - Oblique inflow parameters

$$F_1 = \lambda \eta_b \rho_{\text{water}} R V^2 \cos^2 \gamma \left(2\pi - 2 \sqrt{\frac{V \cos \gamma}{R}} \operatorname{artanh} \sqrt{1 - \frac{V \cos \gamma}{4R}} \right) \quad (\text{D.9})$$

for $0 \leq t \leq \frac{R}{8V \cos \gamma}$

and

$$F_1 = \lambda \eta_b \rho_{\text{water}} R V^2 \cos^2 \gamma \left(\pi \sqrt{\frac{1}{6 \frac{V \cos \gamma}{R} t'}} - 4 \sqrt{\frac{8}{3} \frac{V \cos \gamma}{R} t'} \operatorname{artanh} \sqrt{1 - \frac{V \cos \gamma}{4R} t'} \sqrt{6 \frac{V \cos \gamma}{R} t'} \right) \quad (\text{D.10})$$

for $\frac{3R}{32V \cos \gamma} \leq t' \leq \frac{12R}{32V \cos \gamma}$ with $t' = t - \frac{R}{32V \cos \gamma}$

The total duration of the impact is given by

$$T = \frac{13R}{32V \cos \gamma} \quad (\text{D.11})$$

where

γ is the angle between direction of the motion of the mass of water and the perpendicular to the cylinder's axis;

$\cos \gamma = 1$ for wave breaking at the vertical cylinder;

$\cos \gamma < 1$ for the over curling breaker tongue hitting the vertical cylinder, or wave breaking at an inclined cylinder.

It should be noted that the curling factor λ increases with the inclination of the cylinder against the wave direction. The maximum impact force occurs for an inclination angle of approximately 25° against wave direction.

[和訳]

D.4 波浪打込み及びスラミングによる荷重

鉛直及び傾いた柱状構造物に作用する砕波について, Wienke が測定した結果[6]によると, 追加の波力成分として衝撃力 F_1 を式(D.8)のとおりモリソン (Morison) 式に付け加えてもよい。

ここに,

F_D : 波力のうち抵抗成分

F_M : 波力のうち慣性成分

F_1 : 砕波力による衝撃成分

抵抗力及び慣性力は, 波の周期運動に伴う水面の上昇によって変化し, 高次の波理論を用いて解析してもよい。

砕波環境内にある円柱を考えると衝撃を受ける範囲は, 図 D.1 のように定義できる。

C : 波速

H_b : 砕波地点での波高

η_b : 自由水表面の最大上昇量

R : 円柱の半径

		<p>λ : 巻き込み率 ≈ 0.5</p> <p>水塊が円柱に対して垂直ではなく傾斜角γで衝突する場合、円柱断面は真円断面ではなくだ(楕)円断面で表現する必要がある。傾斜した円柱又は巻き込みが進んだ砕波の先端部が鉛直な円柱に対して斜め、すなわち、波頂よりも下方で衝突する場合にも、この表現は有効である(図D.2 参照)。</p> <p>衝撃力Fは、式(D.9)及び式(D.10)のとおりに計算してもよい。</p> <p>ここに、傾斜角γは、水塊の運動方向と円柱軸に対する垂線とがなす角度であり、鉛直な円柱における砕波の場合、$\cos\gamma=1$である。この場合の衝撃力の高さ方向分布($\gamma=0^\circ$)を、図D.3に示す。</p> <p>巻き込みが進んだ砕波の先端部が鉛直な円柱に衝突する場合、又は傾斜円柱における砕波の場合、$\cos\gamma < 1$である。</p> <p>波向に対する円柱の傾きとともに、巻き込み率λ(図D.1 参照)が増加することに注意することが望ましい。最大衝撃力は、波向に対する傾斜角が約25°の場合に発生する。</p>		
--	--	---	--	--

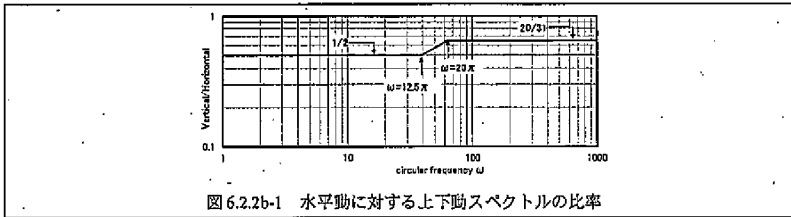
洋上発電導入技術ガイドライン (もくじ案)	土木学会 「風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 洋上編 2014 年版」	国際規格 (IEC61400 等) DESIGN REQUIREMENTS	港湾の施設の技術上の基準・同解説	備考
<p>⑧地震 ・考え方</p> <p>・地震の検討条件</p>	<p>第6章地震荷重の評価</p> <p>6.1 適用範囲・基本的な考え方</p> <p>①地震荷重の評価においては、地盤の影響を考慮した時刻歴応答解析手法(動的解析)または、応答スペクトル法(等価静的解析)を用いる。</p> <p>②高さが60mを超える風車については、時刻歴応答解析(動的解析)を用いる必要がある(建築基準法)。</p> <p>③応答解析では、風車・基礎と地盤の動的相互作用を考慮できるSRモデル(スウェイ・ロッキングモデル)を用いる。</p> <p>④付加的な荷重効果として「P-Δ効果、ねじれの影響、上下動の影響、荷重の組合せ」を考慮する。</p> <p>⑤地震評価ケース</p> <p>発電中の地震力作用を考慮して、停止時風車の地震荷重に年平均の風荷重を組み合わせることを基本とする。空力モデルを用いる場合は年平均に相当する風速を用いた運転時の動的解析を行うものとする。</p> <p>⑥応答スペクトル法による評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・応答スペクトル法での適用は基礎底面が滑動しない(せん断ひずみ1%以下)場合とする。 ・モノパイル方式のように杭周辺地盤ばねが繰り返し載荷により軟下する場合は、応答スペクトル法の適用不可。 ・地震荷重算定においては、必ずしも1次モードが支配的とならないため、5次モードまでを対象とする。 <p>6.2 地震の外部条件</p> <p>6.2.2.工学的基盤面における地震動と地震地域係数</p> <p>(a) 工学的基盤面における水平地震動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・風車建設地点の工学的基盤面における水平動の加速度応答スペクトル(1質点・1自由度系と考えたとき、構造物がある地震波にさらされたときの最大応答値をスペクトルで表したものは、次式で得られるS_{ao}に地震地域係数Zを乗じて得られる。 <div data-bbox="460 1344 1261 1680" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> $S_{ao}(\omega, 0.05) = \begin{cases} 0.8a_0 \omega/\pi & (\omega \leq 3.125\pi) \\ 2.5a_0 & (3.125\pi < \omega < 12.5\pi) \\ a_0(1 + 13.75\pi/\omega) & (12.5\pi \leq \omega) \end{cases} \quad (6.2.2a-1)$ <p>ここで、</p> <ul style="list-style-type: none"> $S_{ao}(\omega, 0.05)$: 工学的基盤面での基準化加速度応答スペクトル(m/s²)、減衰比5% a_0 : 工学的基盤面での基本最大加速度 レベル1地震動: 160cm/s² (160gal), レベル2地震動: 320cm/s² (320gal) ω : 円振動数 <p>風車建設地点における工学的基盤の加速度応答スペクトルは、式(6.2.2a-1)に地震地域係数を乗じた値とすることができる。</p> </div> <p>(b) 工学的基盤面における上下地震動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上下地震動を考慮する。 	<p>【IEC61400-3】</p> <p>6.5.2.4 Earthquakes</p> <p>No minimum earthquake requirements are given for offshore wind turbines in the standard wind turbine classes. For consideration of earthquake conditions and effects see IEC 61400-1.</p> <p>[和訳]</p> <p>6.5.2.4 地震</p> <p>標準風車クラスの洋上風車に対しては、地震に関する最低要求事項は規定しない。地震の条件及び影響に関しては、JIS C 1400-1:2010 を参照する。</p> <p>【JIS1400-1:2010, IEC61400-1:2005】</p> <p>11.6 地震条件の評価</p> <p>世界で地震の影響を受ける地域は限定されているので、標準風車カテゴリの風車には耐震に対する要求事項はない。地震活動が弱いために、適用可能な特定地域の地震規定によって既に除外されるサイトに対しては、地震評価解析は要求されない。次に示す地震荷重ケースが決定的な場所では、風車のサイトの固有条件に対して技術的な健全性が証明される。評価は、附属書Cに基づく。荷重評価は、地震荷重、その他の大きな、頻繁に生じる運転荷重の組合せを考慮する。</p> <p>地震荷重は、特定地域の規定に定義されているように、地表面加速度及び応答スペクトルに対する要求事項によって決まる。特定地域の規定が利用できないか又は規定が地表面加速度及び応答スペクトルを提示していない場合、これらのパラメータの適切な評価を実施する。</p> <p>地表面加速度は、再現期間475年に対して評価する。</p> <p>地震荷重は、次の高い方の値に等しい運転荷重に重ね合わせる。</p> <p>a) 寿命期間平均化した通常発電中の荷重。</p> <p>b) 停止前の荷重が a) で得られる値に等しくなるように選ばれた風速に対して緊急停止する間の荷重。</p> <p>荷重の部分安全率は、1.0 とする。</p> <p>地震荷重評価は、周波数領域法によって行うことができる。この場合、運転荷重は、地震荷重に直接加算される。</p> <p>地震荷重評価は、時間領域法によって行うこともできる。この場合、運転荷重が上述の時間平均値を代表することを確実にするために十分なシミュレーションをする。</p> <p>上記評価のいずれかで用いられるタワーの固有振動モード数は、認知された地震規定に従って選定される。そのような規定がない場合、全体質量の85%の全モーダル質量による連続モードを用いる。</p> <p>構造物の耐震性の評価は、弾性応答だけか又は延性エネルギー散逸を仮定する。しかし、後者が特定の種類の構造、特に格子構造及びボルト締結に対して正しく評価されることが重要である。</p> <p>地震計算及びタワー上の荷重の組合せに対する従来のアプローチは、附属書Cに示されている。地震がタワーとは別の構造物に</p>	<p>第4章 地震</p> <p>【告示】(地震動)</p> <p>第十六条 レベル1地震動については、地震動の実測値をもとに、震源特性、伝播経路特性及びサイト特性を考慮して、確率論的時刻歴波形を適切に設定するものとする。</p> <p>2 レベル2地震動については、地震動の実測値、想定される地震の震源パラメータ等をもとに、震源特性、伝播経路特性及びサイト特性を考慮して、時刻歴波形を適切に設定するものとする。</p> <p>【解説】</p> <p>(1) 地震動を設定する深度</p> <p>レベル1地震動及びレベル2地震動の時刻歴波形を設定する深度を②で定める工学的基盤とすることを標準とする。なお、技術基準対象施設の性能照査において工学的基盤以外の深度における地震動の設定が必要な場合には、一次元の地震応答計算等の方法により工学的基盤における地震動に基づいた当該深度における地震動を設定する。</p> <p>(2) 工学的基盤</p> <p>レベル1地震動及びレベル2地震動の設定に当たっては、工学的基盤を、それよりも下方にある全ての土層が以下のいずれかである土層の上面とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・岩盤 ・標準貫入試験値(N値)が50以上の砂質土層 ・軸圧縮強度が650[kN/m²]以上の粘性土層 ・せん断波(S波)速度が300[m/s]以上の土層 <p>(3) サイト特性</p> <p>地震動の設定において考慮するサイト特性の設定に当たっては、対象港湾の区域内及びその周辺地域における地震動の実測値を適切に考慮する必要がある。</p> <p>(4) 時刻歴波形</p> <p>技術基準対象施設の性能照査に当たっては、必要に応じて、レベル1地震動及びレベル2地震動を、地震動の実測値に基づき、当該施設を設置する地点の地盤の特性を考慮して、工学的基盤における加速度、速度、又は変位の時刻歴波形として適切に設定する。</p> <p>(5) レベル1地震動</p> <p>① レベル1地震動</p> <p>レベル1地震動は、地震動の再現期間を、対象港湾の周辺における個々の地震が定常ポアソン過程に従って過去の履歴に関わらず時間的に無作為に発生するものであるとの仮定の上で設定する。したがって、このレベル1地震動の定義は、東海・東南海・南海地震等のように過去の履歴を踏まえて近い将来の発生が懸念される地震であっても、その平均発生間隔がレベル1地震動の再現期間に比べてある程度長ければ、その地震による地震動をレベル1地震動として考慮しないことがある。</p> <p>② 確率論的時刻歴波形</p> <p>確率論的時刻歴波形とは、地震の発生確率を考慮した確率論的地震危険度解析により設定される地震動の時刻歴波形のことである。レベル1地震動としての確率論的時刻歴波形の設定に当たっては、地震動の周波数特性を適切に考慮するために、いずれの周波数成分においても再現期間が同一となる一様ハザードフーリエスペクトルに基づくことを標準とする。</p> <p>(6) 再現期間</p> <p>レベル1地震動の設定における一様ハザードフーリエスペクトルの再現期間は75年とすることを標準とする。</p> <p>(7) レベル2地震動</p> <p>① レベル2地震動</p> <p>レベル2地震動の設定に当たっては、次の(i)から(vi)に掲げる想定地震の中から、それらの想定地震よりもたらされる地震動の最大振幅、周期、継続時間、構造物に与える影響の大きさ等を考慮して、レベル2地震動を設定するための地震を選定する。なお、想定地震の選定に当たっては、中央防災会議や地震調査研究推進本部等の国の機関における調査の結果、又は地域防災計画等を踏まえて総合的に判断する。</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 過去に大きな被害をもたらした地震の再来 ii) 活断層の活動による地震 iii) 地震学的あるいは地質学的観点から発生が懸念されるその他の地震 iv) 中央防災会議や地震調査研究推進本部など国の機関の想定地震 v) 地域防災計画の想定地震 vi) M6.5の直下地震 <p>② 震源パラメータ</p> <p>レベル2地震動の設定に当たっては、想定する地震の特性を考慮して、巨視的震源パラメータおよび微視的震源パラメータを適切に設定する。</p>	

工学的基盤における上下動の加速度応答スペクトルは、図6.2.2b-1に示す比率を(a)に示す水平動の加速度応答スペクトルに乗じて求めるか、または次式により定めた加速度応答スペクトルを用いる。

$$S_{sv}(\omega, 0.05) = \begin{cases} 0.8a_0 \omega / \pi \times 1/2 & (\omega \leq 3.125\pi) \\ 2.5a_0 \times 1/2 & (3.125\pi < \omega < 20\pi) \\ a_0(1 + 18.75\pi/\omega) \times 20/31 & (20\pi \leq \omega) \end{cases} \quad (6.2.2b-1)$$

ここで、

- $S_{sv}(\omega, 0.05)$: 工学的基盤面での上下の基準化加速度応答スペクトル(m/s²)、減衰比5%
- a_0 : 工学的基盤面での基本最大加速度
レベル1地震動: 160cm/s² (160gal), レベル2地震動: 320cm/s² (320gal)
- ω : 円振動数



・レベル2地震動

上記のレベル2地震動は「平成12年建設省告示第1461号第4項イ」に定められた「極めて稀に発生する地震動」に対応している。

6.3.地震荷重の評価

6.3.2.時刻歴応答解析による地震荷重の評価

(a) 時刻歴応答解析による地震荷重評価の手順

- ・時刻歴応答解析は、スペクトル適合波および観測地震波を用いて行う。
- ・建設地点の周辺に断層や震源等が存在する場合は、サイト波を追加してよい。

(b) 入力地震動の評価

①スペクトル適合波と観測地震波

- ・水平方向地震動は、式(6.2.2a-1)に適合する3波以上のスペクトル適合波と3波以上の観測地震波を採用する。
- ・観測地震波形の最大速度は、レベル1は0.25m/s、レベル2では0.50m/sとして振幅設定する。
- ・上記のスペクトル適合波および観測地震波形に、地震地域係数Zを乗じて入力地震動とする。

②サイト波

- ・周辺における断層、震源からの距離その他地震動に対する影響及び風車に与える効果を適切に考慮して定める、または中央防災会議等の公的機関から提示されているサイト波を用いることができる。
- ・なお、サイト波に地震地域係数Zは不要。

(c) 表層地盤の増幅

(1)地盤の地震応答解析手法

①地盤液状化の可能性がない場合

- ・ひずみレベル1%以下の場合は、等価線形解析を用いることができる。
- ・逐次非線形解析における応力-ひずみ関係はHardin-Drnevichモデル(H-Dモデル)、骨格曲線と履歴曲線は「石原・吉田モデル」(除荷時に元の骨格曲線ではなく、除荷時のひずみと応力及びその時の減衰係数から算定される仮想の骨格曲線に対してMasing則を適用することで減衰が過大とならないようにしたモデル)を用いることを基本とする。
- ・地盤は1次元モデルとしてもよい。

大きな荷重を引き起こすことがあり得るなら、この手順は用いてはならない。

■耐震設計

(1) 港湾の施設の設計ではレベル1及びレベル2地震動の再現期間をそれぞれ75年及び概ね100数十年～数百年としサイトごとに算定。風力発電施設の建設位置や配置と施設が地震で倒壊した場合の影響を考慮の上、地域防災計画等で公表されている地震を設計対象とするか検討する。その際、施設に要求する耐震性能も合わせて議論する必要がある。海域に立地するからといって、土木学会指針の他に更に別の地震動を規定することは混乱を招く恐れがあることに留意する必要がある(特に臨港地区で)。

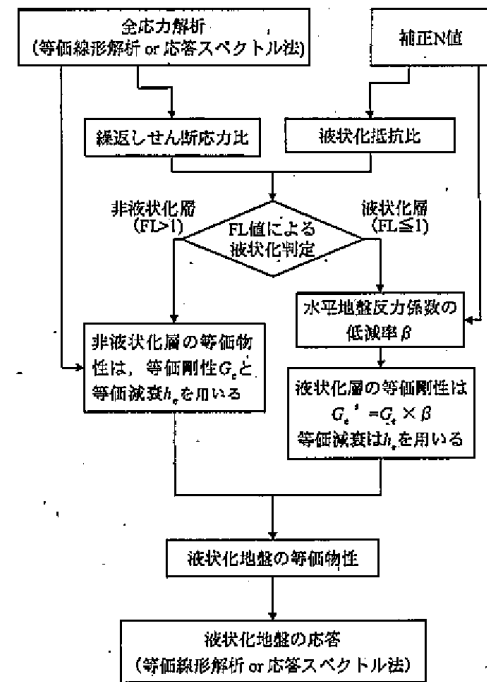
高さが60mを超える風車、煙突は超高層ビルの耐震設計と同様に建築基準法施行令にもとずく時刻歴応答解析を行っており、特段の耐震設計を義務付ける必要性は薄い。また、IEC61400-1との関係で港湾独自の追加規定は困難かも) トップヘビーでアスペクト比が大きい構造物について特段の知見はない。

(2) 地震波形については、土木学会指針の内容を検討の上判断。

(3) 液状化の判定手法及び液状化層の等価剛性については、土木学会の指針内容を検討の上判断。

・液状化地盤の解析法

- ②液状化する可能性がある場合
- ・液状化の可能性のある場合は、全応力解析（または有効応力解析）を用いる。
 - ・全応力解析法では、各層の繰返しせん断応力振幅を全応力解析で求めて、液状化層の剛性低下(水平地盤反力係数の低減率 β)を評価し、液状化地盤の応答を計算する。
- (2)液状化地盤の解析
- ①液状化地盤の検討
- ・液状化発生の可能性がある地盤においては、液状化が風力発電設備に与える影響を考慮した設計を行う。
 - ・ただし、必ずしも液状化を考慮した方が設備にとって安全側になるとは限らないため、液状化しない場合の地盤応答解析も実施し、応答の大きい方を設計に用いる。
- ②液状化の判定方法
- ・本指針では、FL値による液状化判定を用いた液状化地盤の実用的な応答解析法(全応力解析)を基本とする。(図解 6.3.2c-2)
 - ・液状化の判定はFL法（建築基礎構造設計指針）によるものとし、検討用の地表加速度は、レベル1は160cm/s²、レベル2は360cm/s²とする。



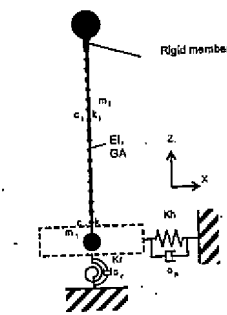
図解 6.3.2c-2 液状化地盤の応答計算フロー³⁾

(d) 風車タワー・基礎・地盤のモデル化

(1) 構造解析モデル

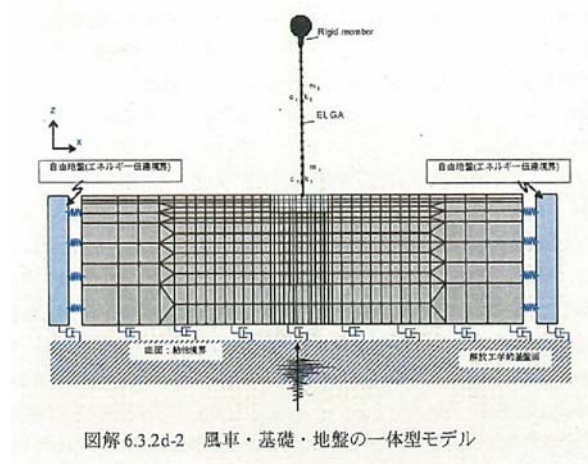
① 風力発電設備は、線材として1次元の梁要素でモデル化することを基本とするが、シェル要素に代表される2次元の要素及びソリッド要素に代表される3次元の要素を用いてもよい。

② 応答解析は、風車・基礎と地盤の相互作用を考慮できるSRモデルを基本とし、基礎と地盤の相互作用を非線形の水平・回転・鉛直ばね及びそれらに対応する減衰係数によってモデル化する。



図解 6.3.2d-1 風車・基礎と地盤を個別に解析する分離型モデル

③ SRモデルのほかに、風車・基礎と地盤の一体化モデルを用いてもよい。



図解 6.3.2d-2 風車・基礎・地盤の一体型モデル

⑨基礎の設計

■【2014年版】は未稿のため、ここでは土木学会指針【2010年版】を示す。

9.2.1 基本的な考え方

(1) 風車基礎は、長期荷重時、短期荷重時、極稀荷重時において安定上および構造上の安全性を有することを表9.1と表9.2に従い、照査するものとする。

表 9.1 長期荷重時、短期荷重時、極稀荷重時における直接基礎と杭基礎の安定照査項目

基礎形式	照査項目		支持力		転倒	滑動	水平変位	不同沈下 (圧密)
	鉛直	せん断	鉛直	せん断				
直接基礎	○	○ ^(注1)	○	○ ^(注2)	○	○	○ ^(注2)	○ ^(注3)
杭基礎	○	—	—	—	—	—	○ ^(注2)	○ ^(注3)

注1) 根入れ部分で荷重を分担する場合

注2) 変位制限が必要とされる場合

注3) 地盤が粘性土等のため不同沈下が懸念される場合

表 9.2 長期荷重時、短期荷重時、極稀荷重時における直接と杭基礎の応力度照査項目

基礎形式	照査項目		フーチング		杭体		接合部	
	曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断
直接基礎	○	○	—	—	—	—	—	—
杭基礎	○	○	○	○	○	○	○	○

(2) 基礎の形式に応じ、直接基礎あるいは杭基礎に区分して設計するものとする。

9.3 直接基礎の構造計算

(a) 安定計算の基本

- (1) 直接基礎底面の鉛直地盤反力度は、9.3.3 項(b)に規定する基礎底面地盤の許容鉛直支持力以下とする。
- (2) 直接基礎に作用する荷重の合力の作用位置は、9.3.3 項(c)に規定する範囲内とする。
- (3) 直接基礎底面におけるせん断力は、9.3.3 項(d)に規定する基礎底面地盤の許容せん断抵抗力以下とする。

(b) 基礎底面地盤の支持力の照査

基礎底面に作用する鉛直荷重に対する地盤反力度が、基礎底面地盤の許容支持力以下であることを照査するものとする。

(1) 地盤反力度

図9.1に示す地盤反力度は、9.3.3 項(c)に規定する判定方法により剛体であること、および基礎底面地盤は弾性体であることを条件として、 x_n が偏心方向の底面長さ B より大きい、または小さい場合において、式(9.2)、式(9.3)により求める。

$$q_{\max} = x_n \frac{V}{S_n} = \alpha \frac{V}{A} \quad (9.2)$$

$$q_{\min} = (x_n - B) \frac{V}{S_n} = \alpha' \frac{V}{A} \quad (9.3)$$

ここで、

- q_{\max} : 基礎底面における最大地盤反力度 (kN/m²)
- q_{\min} : 基礎底面における最小地盤反力度 (kN/m²)
- V : 基礎底面に作用する鉛直荷重 (kN)
- S_n : 中立軸 n-n に関する圧縮面の断面 1 次モーメント
- B : 偏心方向の底面長さ (m)
- x_n : 圧縮縁端から中立軸 n-n までの距離 (m), $x_n = g - e + I_n / S_n$
- g : 圧縮縁端から図心までの距離 (m)
- e : 底面の図心 G に対する荷重の偏心距離 (m), $e = M_B / V$
- I_n : 中立軸 n-n に関する圧縮面の断面 2 次モーメント
- M_B : 基礎底面図心に作用するモーメント (kNm)
- A : 地盤反力を受ける面積 (m²)
- G : 底面の図心

(2) 許容支持力度の算定

許容支持力度は、原則、地盤の調査結果に基づき、式(9.4)、式(9.5)、式(9.6)および建築基準法施行令第93条のいずれかにより求めるものとする。

【IEC61400-3】

11 Foundation design

The design and structural analysis of the foundation of an offshore wind turbine shall be performed in accordance with the ISO offshore structural design standards or other recognized offshore design standards.

If offshore design standards other than the ISO standards are used, it must be demonstrated that at least the same level of structural reliability with respect to ultimate strength and fatigue is obtained.

The design load cases and associated load safety factors specified in Table 1 and Table 2 of this standard shall be used as the basis of the design of the foundation. In general, the design and analysis shall comply with ISO 19900. Geotechnical and foundation specific requirements for those aspects of geoscience and foundation engineering that are applicable to a broad range of offshore structures are based on ISO 19901-4.

The design of piled foundations that have a traditional association with fixed steel structures is detailed in ISO19902. Particular requirements for the design of shallow gravity foundations that have a traditional association with fixed concrete structures, are detailed in ISO 19903.

Annex F (informative) Offshore wind turbine foundation design

Specific guidance relating to the design of foundations for offshore wind turbines may be found in the following publications:

1. Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH, Rules and Guidelines: IV – Industrial Services, Part 2 – Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines.
2. DNV Offshore Standard, DNV-OS-J101, Design of offshore wind turbine structures

[和訳]

11 基礎の設計

洋上風車の基礎の設計及び構造解析は、ISO の海洋構造物設計規格又はその他の一般に認知された海洋設計規格に従って実施しなければならない。ISO 規格以外の海洋設計規格を用いる場合は、終極(終局)強度及び疲労について同等レベル以上の構造的信頼性が得られることを実証する必要がある。この規格の表1及び表2に規定する設計荷重ケース及び関連する荷重安全率を、基礎の設計基準として用いなければならない。

一般に、設計及び解析は、ISO 19900:2002 に適合しなければならない。広範囲の海洋構造物に適用可能な地球科学及び基礎工学の観点での地盤工学及び基礎特有の要求事項は、ISO 19901-4:2003 に基づいている。従来の固定式鋼構造物に関連したくい(杭)基礎の設計については、ISO 19902 に詳細がある。

1)直接基礎
・考え方

・支持力

1) 地盤の粘着力および内部摩擦角による方法

$$q_a = \frac{C}{3}(i_c \alpha c N_c + i_\gamma \beta \gamma_1 B N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q) \quad (9.4)$$

ここで、

q_a : 長期、短期、極稀荷重に対する地盤の許容支持応力度 (kN/m²)

C : 荷重条件毎に異なる係数。長期荷重時は1、短期荷重時は2、極稀荷重時は3

i_c, i_γ, i_q : 基礎に作用する荷重の鉛直方向に対する傾斜角に応じた補正係数

$$i_c = i_q = (1 - \theta/90)^2, i_\gamma = (1 - \theta/\phi)^2$$

θ : 基礎に作用する荷重の鉛直方向に対する傾斜角 (°)

なお、 θ が ϕ を超える場合は、 ϕ とする。

ϕ : 内部摩擦角 (°)

B : 基礎荷重面の短辺または短径 (m)

N_c, N_q, N_γ : 地盤内部の摩擦角に応じた支持力係数

c : 基礎荷重面下にある地盤の粘着力 (kN/m²)

γ_1, γ_2 : 基礎底面下、基礎底面より上方にある地盤の単位体積重量 (kN/m³)

ただし、地下水位以下では水中単位体積重量を用いる。

α, β : 基礎荷重面の形状に応じた係数

D_f : 基礎に接近した最低地盤面から基礎荷重面までの深さ (m)

・安定照査 (安全率)

(c) 直接基礎の転倒に対する照査

直接基礎に作用する荷重の合力の作用位置と底面の中心との偏心距離は、荷重条件とフーチングの形状に応じて以下に示す条件を満たすこととする。

- 長期荷重時には、正方形、円形、正八角形のフーチングの場合の荷重の合力の作用位置をそれぞれ底面の中心から底面幅の 1/6, 1/8, 1/7.57 以内とする。
- 短期荷重時には、正方形、円形、正八角形のフーチングの場合の荷重の合力の作用位置をそれぞれ底面の中心から底面幅の 1/3, 1/3.4, 1/3.15 以内とする。
- 極稀荷重時には、正方形、円形、正八角形のフーチングの場合の荷重の合力の作用位置をそれぞれ底面の中心から底面幅の 1/2.22, 1/2.43, 1/2.35 以内とする。

なお、基礎形状が正多角形の場合には、内接する円に変換して偏心距離を求めてもよい。

【解説】

本指針では、許容偏心距離に関する考え方は次のとおりである。なお、許容偏心距離は、フーチングの中心から地盤反力度の分布を三角形分布と仮定し、求めた接地部分の等価地盤反力の中心までとした。

(1) 長期荷重時

長期荷重時はフーチングの接地幅を全面 (転倒安全率 3) とし、浮き上がりのない台形状の地盤反力度分布とする。これは、直接基礎の浮き上がりの発生を避けることにより、荷重の合力の偏心による長期的な直接基礎の不同沈下および基礎底面地盤の塑性化を抑えるために設けた規定である。

(2) 短期荷重時

短期荷重時はフーチングの接地幅を半分 (転倒安全率 1.5) とした。これは、暴風時、レベル 1 地震時、積雪時の荷重が長期荷重時に対して一時的なものであるから、長期荷重時の規定を緩和したものである。

(3) 極稀荷重時

レベル 2 地震時はフーチングの接地幅を 3/20 (転倒安全率 1.1) とした。道路橋示方書平成 8 年度版では、レベル 2 地震時の既設道路橋橋脚を対象としたエネルギー吸収を考慮しない場合、その偏心量は底面中心から底面幅の 9/20 (転倒安全率 1.1) であった。また日本港湾協会 旧港湾の施設の技術上の基準・同解説には、地震時の転倒に対する安全率は 1.1 としている。

従来の固定式コンクリート構造に関連した浅い重力基礎の設計に関する特有の要求事項の詳細は、ISO 19903:2006 による。

【附属書F (参考) : 洋上風車の基礎の設計】

洋上風車の基礎の設計に関する詳細な指針は、次の刊行物に記載されている。

- 1) ジャーマンロイド風力エネルギー社、規則及び指針 : IV - 工業サービス, Part 2 - 洋上風車の認証に関する指針
- 2) DNV 洋上標準, DNV-OS-J101 及び洋上風車構造の設計

(d) 直接基礎の滑動に対する照査

基礎底面に作用するせん断力が、許容せん断抵抗力以下であることを照査するものとする。許容せん断抵抗力は、式(9.7)により求めるものとする。

$$H_a = H_u / F \quad (9.7)$$

ただし、

$$H_u = c_b A_e + V \tan \phi_b + 1/4 \gamma_2 B D_f \tan (45^\circ + \phi/2)$$

ここで、

- H_a : 基礎底面地盤の許容せん断抵抗力 (kN)
- H_u : 基礎底面と地盤との間に働くせん断抵抗力 (kN)
- F : 安全率 (長期荷重時は 1.5, 短期荷重時は 1.2, 極稀荷重時は 1.0)
- c_b : 基礎底面と地盤との間の付着力 (kN)
- ϕ_b : 基礎底面と地盤との間の摩擦角 (°), 表 9.21 の値を用いてよい。
- A_e : 有効載荷面積 (m²)
- V : 基礎底面に作用する鉛直荷重(kN), 浮力を差し引いた値。
- γ_2 : 根入れ土盤の土の単位体積重量 (18.0kN/m³)
- B : 基礎幅 (m)
- D_f : 基礎の根入れ深さ (m)
- ϕ : 根入れ地盤のせん断抵抗角, 埋戻工の場合は $\phi = 30^\circ$

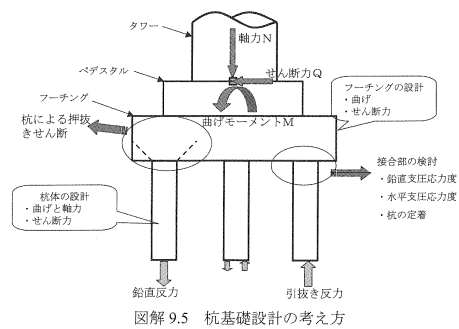
2)杭基礎
・考え方

9.4 杭基礎の構造計算

9.4.1 基本的な考え方

【解説】

杭基礎設計の考え方を図解 9.5 に示す。安定計算では杭の鉛直支持力および引抜き力について照査し、構造計算ではフーチング、杭体、杭とフーチングの接合部の応力度を照査する。水平変位についての検討は、上部構造からの変位制限が明確に示された場合に検討を行う。また、極稀荷重時に風車が転倒（倒壊）しないことをクライテリアとしている。



図解 9.5 杭基礎設計の考え方

・杭支持力

(a) 杭の許容支持力

(1) 杭単体の許容鉛直支持力

杭の許容鉛直支持力は、杭体の許容圧縮力以下とし、表 9.23 に示す値を用いる。杭体の許容圧縮力は、9.2.5 項に示す許容圧縮応力度に最小断面積をかけた値とする。

表 9.23 杭の許容鉛直支持力(単位: kN)

	長期荷重時	短期荷重時	極稀荷重時
1)	$R_a = \frac{1}{3} R_u$	$R_a = \frac{2}{3} R_u$	$R_a = R_u$
2)	$R_a = q_p A_p + \frac{1}{3} R_F - W_p$	$R_a = 2q_p A_p + \frac{2}{3} R_F - W_p$	$R_a = 3q_p A_p + R_F - W_p$

1)は杭の周囲の地盤に軟弱な粘土質地盤、軟弱な粘土質地盤の上部にある砂質地盤又は地震時に液状化するおそれのある地盤が含まれない場合に用いる。

2)は杭の周囲の地盤に軟弱な粘土質地盤、軟弱な粘土質地盤の上部にある砂質地盤又は地震時に液状化するおそれのある地盤が含まれる場合に用いる。

ここで、

- R_u : 杭の許容鉛直支持力 (kN)
- R_w : 載荷試験による杭の極限鉛直支持力 (kN)
- q_p : 杭先端の地盤の許容支持力度 (kN/m²)
- A_p : 杭の先端の有効断面積 (m²)
- W_p : 杭の自重 (kN)
- R_f : 杭周囲の極限摩擦抵抗力 (kN)
- \bar{N}_s : 杭周囲地盤のうち砂質地盤の平均 N 値 (N ≤ 30) (回)
- L_s : 杭の砂質地盤に接する長さの合計 (m)
- \bar{q}_u : 杭周囲地盤のうち粘土質地盤の一軸圧縮強度の平均値 ($\bar{q}_u \leq 200$) (kN/m²)
- L_c : 杭の粘土質地盤に接する長さの合計 (m)
- ϕ : 杭周長 (m)

(2) 杭の許容引抜き力

杭の許容引抜き力は、許容引張応力度に杭体の最小面積を掛けた値以下とし、表 9.25 に示す値を用いる。杭体の許容引張応力度は、9.2.5 項に示す許容引張応力度とする。

表 9.25 杭の許容引抜き力 (kN)

	長期	短期	極稀荷重時
1)	${}_iR_u = \frac{1}{3} R_w + W_p$	${}_iR_u = \frac{2}{3} R_w + W_p$	${}_iR_u = R_w + W_p$
2)	${}_iR_u = \frac{4}{15} R_f + W_p$	${}_iR_u = \frac{8}{15} R_f + W_p$	${}_iR_u = \frac{1}{1.2} R_f + W_p$

1)は杭の周囲の地盤に軟弱な粘土質地盤、軟弱な粘土質地盤の上部にある砂質地盤又は地震時に液状化するおそれのある地盤が含まれない場合に用いる。

2)は杭の周囲の地盤に軟弱な粘土質地盤、軟弱な粘土質地盤の上部にある砂質地盤又は地震時に液状化するおそれのある地盤が含まれる場合に用いる。

(3) 液状化の判定

地下水位面以深にある飽和砂質土層および軟弱な飽和中間土層については、地震時における液状化発生の可能性の有無について以下のように判定する。

1) 対象とする土層

地表面から 20m 程度以浅の沖積飽和土層で、細粒含有率が 35%以下の土とする。ただし、埋め立て地盤などでは、粘土含有率が 10%以下または塑性指数が 15%以下の土層についても液状化判定を行う。また、細粒土を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫についても液状化判定を行う。

2) 判定式

液状化の判定は、 F_l の値による。 $F_l > 1$ の場合には液状化する可能性はないものと判断し、 $F_l \leq 1$ の場合には液状化する可能性があるとして判断する。

$$F_l = \frac{\tau_d / \sigma'_z}{\tau_d / \sigma'_z} \quad (9.14)$$

ただし、

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = r_n \frac{\alpha_{\max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} r_d$$

ここで、

τ_d / σ'_z : 液状化抵抗比であり、図 9.6 に示すせん断ひずみ振幅 5%の曲線を用いて、補正 N 値(N_a)に対する飽和土層の液状化抵抗比 τ_d / σ'_z を求める。

τ_d / σ'_z : 等価な繰返しせん断力応力比

τ_d : 水平面に生じる等価な一定繰返しせん断力振幅 (kN/m²)

σ'_z : 検討深さにおける有効土かぶり圧 (鉛直有効応力) (kN/m²)

r_n : 等価の繰返し回数に関する補正係数で、 $0.1(M-1)$ である。 M はマグニチュードを表わし、レベル 1 地震の時には $M = 7.5$ 、レベル 2 地震の時には $M = 8.5$ とする。

α_{\max} : 地表面における設計用水平加速度 (cm/s²)。レベル 1 地震の時には 150~200cm/s²、レベル 2 地震の時には 350cm/s² とする。

g : 重力加速度 (cm/s²)、980cm/s²

σ_z : 検討深さにおける全土被り圧 (鉛直全応力) (kN/m²)

r_d : 地盤が剛体でないことによる低減係数で、 $r_d = 1 - 0.015z$

z : 地表面からの検討深さ (m)

・液状化の判定

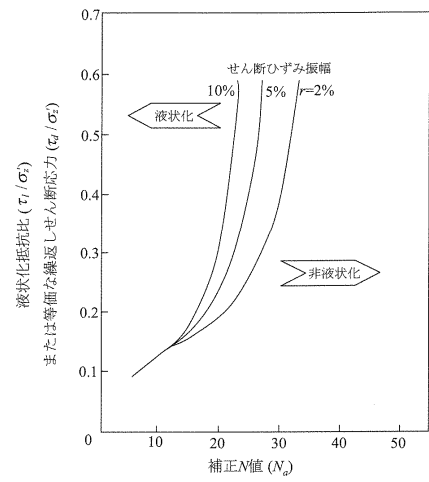


図 9.6 補正 N 値と液化化抵抗, 動的せん断ひずみの関係¹⁹⁾

また対応する深度の補正 N 値(N_d)は次式から求める。

$$N_d = N_1 + \Delta N_f \quad (9.15)$$

ただし,

$$N_1 = C_N N, \quad C_N = \sqrt{98/\sigma_v'}$$

ここで,

- N_1 : 換算 N 値
- C_N : 拘束圧に関する換算係数
- ΔN_f : 細粒分含有率 F_c に応じた補正 N 値増分で, 図 9.7 による
- N : 実測 N 値

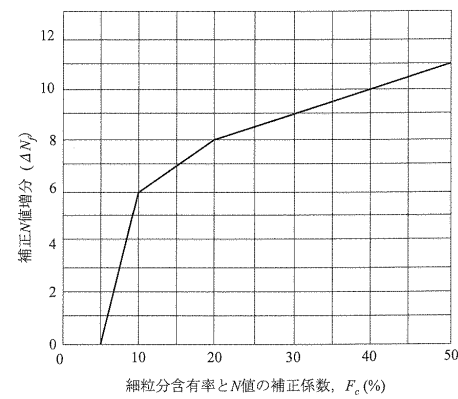


図 9.7 細粒分含有率と N 値の補正係数²⁾

・摩擦力の低減

・水平地盤反力係数の低減

3) 摩擦力の低減
液状化が生じた部分では、杭周面の摩擦力は無視することとする。また、液状化が生じない場合でも過剰間隙水圧の上昇が予想される場合は、その度合いにより摩擦力を低減する。

4) 水平地盤反力係数の低減
液状化地盤における杭の水平抵抗の検討では、水平地盤反力係数 k_h および塑性水平地盤反力 p_y を次式により低減する。

$$k_{hd} = \beta k_{h0} y_r^{-1/2} \quad (9.16)$$

$$p_{yd} = \alpha p_{y0} \quad (9.17)$$

ここで、

- k_{h0} : 水平地盤反力係数
- y_r : 液状化を考慮した杭と地盤の相対変位
- p_{y0} : 砂質地盤の塑性水平地盤反力
- α : 塑性水平地盤反力の低減値であり、 $\alpha = \beta$ とする。
- β : 水平地盤反力係数の補正係数で、図 9.8 に示す補正 N 値(N_d)に対する値を求める。

なお、水平地盤反力係数および砂質地盤の塑性水平地盤反力の計算は、9.4.4(c)杭体の計算方法を参照する。

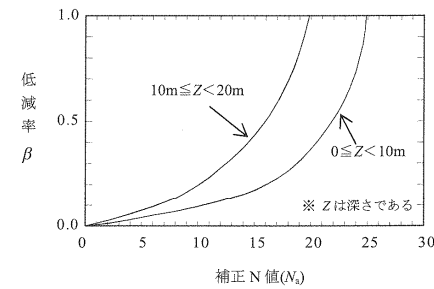


図 9.8 水平地盤反力係数の低減率¹⁹⁾

(4) 杭の細長比による支持力の低減
杭長と杭径の比が非常に大きい杭については、施工の精度を考慮して杭の鉛直支持力を以下のように低減させる。

1) 鋼杭以外の杭

$$\alpha = \begin{cases} 0 & (l/d \leq 60) \\ l/d - 60 & (l/d > 60) \end{cases} \quad (9.18)$$

2) 鋼杭の場合

$$\alpha = \begin{cases} 0 & (l/d \leq 120) \\ l/2d - 60 & (l/d > 120) \end{cases} \quad (9.19)$$

ここで、

- α : 低減率 (%)
- l : 杭長 (m)
- d : 杭径 (m)

・杭の先端閉塞効果

(5) 開端杭の閉塞効果
開端杭の閉塞効果は、閉塞効率 η として考慮し、極限先端支持力に乗じて杭の支持力を算定する。

$$\eta = \begin{cases} 0.16 L_B/d_t & (2 \leq L_B/d_t \leq 5) \\ 0.80 & (5 < L_B/d_t) \end{cases} \quad (9.20)$$

■杭の閉塞率

③ 閉塞効率とは別に、実際に期待できる先端抵抗力と静的抵抗力算定式よりもとめられる先端抵抗力の比を閉塞率と呼ぶことがある。過去の実績から、鋼管ならば直径 60cm 以下、H 形鋼なら短辺 40cm の以下の杭であれば、閉塞率は 100% であると考えてよい。これ以上の直径又は幅の杭について、上記に述べた諸要因を考慮して閉塞率を推定する方法は、これまで、多くの理論計算^{30) 31)32)33)34)35)}や室内実験結果³⁶⁾³⁷⁾が示されている。また、実際に杭の載荷試験を行い検討した事例も

ある。しかし、閉塞率は、地盤の性質、杭の施工法などによって大きく変化するうえ、地盤中の応力も含めて深さによりその状態が異なる実際の地盤中の杭の閉塞状態は、理論的な計算によって求めることが難しい。

④ 閉塞率の実測事例としては、鋼管杭協会のまとめたものがある³⁸⁾。図-2.4.8 はそれをもとに新規データを追加したものである。新規データとして追加したのは、杭径 1100mm から 2000mm のものである。これによると、式(2.4.5)が完全閉塞の場合の先端抵抗力を表していると考えた場合

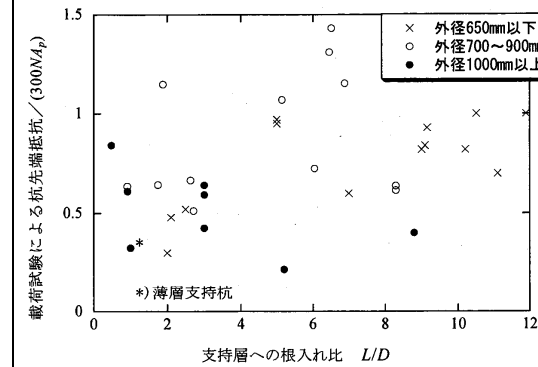


図-2.4.8 開端杭の閉塞効果(支持層への根入れ比の影響)

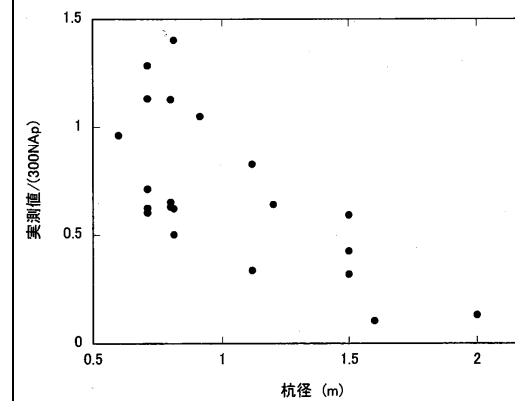


図-2.4.9 開端杭の閉塞効果(杭径の影響)

・群杭の支持力

ここで、

- d_i : 杭の内径 (m)
- L_B : 支持層への根入れ深さ (m)

(6) 群杭の支持力

1) 群杭中の1本当たり許容支持力は次式により求める。

$$R_{ca} = \frac{1}{n} \left(A(ga - \bar{P}) + \frac{C}{3} \phi LS \right) \quad (9.21)$$

2) 群杭中の1本当たり許容引抜き力は次式により求める。

$$R_{ca} = \frac{1}{n} \left(\frac{C_i}{3} \phi LS \right) \quad (9.22)$$

ここで、

- R_{ca} : 群杭の効果を考慮した杭1本当たりの許容支持力 (kN)
- R_{ca} : 群杭の効果を考慮した杭1本当たりの許容引抜き力 (kN)
- C : 荷重条件毎に異なる係数, 長期荷重時は1, 短期荷重時は2, 極稀荷重時は3
- C_i : 荷重条件毎に異なる係数, 長期荷重時は1, 短期荷重時は2, 極稀荷重時は3/1.2
- n : 杭の本数 (本)
- A : 杭群の外側の杭表面を結んだ面で囲まれた多角とうの断面積 (m²)
- ga : 杭群下端面を基礎荷重面とみなして, 9.3.3(b)基礎底面地盤の支持力の照査における式(9.4)により算出した長期, 短期および極稀荷重時に対応するそれぞれの地盤の許容支持力度 (kN/m²)

- \bar{P} : 杭群下端面に上に作用する杭と土の単位面積重量 (kN/m²)
- ϕ : 杭群の外側の杭表面を結んだ面で囲まれた多角とうの周囲長さ (m)
- L : 土に埋まる杭の長さ (m)
- S : 杭に接する土の平均せん断抵抗 (kN/m²)

(7) 杭の沈下に対する検討

基礎の傾斜が伴うような, 地盤の圧密等による不同沈下の可能性がある地盤に設置された杭については, 沈下量の検討を行い, その影響を考慮する。

【解説】

杭の長期および短期荷重時の許容支持力は, 国交省告示第1113号により算定することを基本とし, 極稀荷重時の許容支持力は建築基礎構造設計指針2001²⁾を参考にした。

■群杭の支持力

(4) テルツァギ (Terzaghi) とベック (Peck) は, 杭間隔が小さい場合, 図-2.4.11に示す斜線部分内の土と杭は一体として働くという考えに基づいて, 群杭基礎の破壊は個々の杭の破壊でなく, 一つのブロックとしての破壊になるとした⁴⁵⁾⁴⁶⁾。このように考えたときの群杭の軸方向抵抗力は式(2.4.17)で表される。

$$R_{gu_d} = \gamma_q q_{dk} A_g + \gamma_s \bar{s}_k UL \quad (2.4.17)$$

ここに、

- R_{gu_d} : 一つのブロックとしての群杭の軸方向抵抗力の設計用値 (kN)
- q_{dk} : テルツァギの式によるブロック底面を基礎荷重面としたときの静的最大軸方向抵抗力 (特性値) (kN/m²)
- γ_q : 底面支持力に関する部分係数 (2.2 浅い基礎の砂質土地盤における基礎の支持力及び粘性土地盤における基礎の支持力)
- A_g : 杭群 (ブロック) の底面積 (m²)
- U : 杭群 (ブロック) の周長 (m)
- L : 杭の根入れ長 (m)
- \bar{s}_k : 杭に接する土の平均せん断強さ (特性値) (kN/m²)
- γ_s : 周面抵抗に関する部分係数 (2.4.3 [1] 一般参照)

杭の一本当たりの軸方向抵抗力は式(2.4.18)で表される。

$$R_{ad} = (R_{gu_d} - \gamma_2 A_g L) \frac{1}{n} \quad (2.4.18)$$

ここに、

- R_{ad} : ブロック破壊に対する杭の一本当たりの軸方向抵抗力の設計用値 (kN)
- γ_2 : 杭と土を含むブロックの全体の平均単位体積重量 (kN/m³) で, 地下水位以下にあつては, 浮力を考慮した水中単位体積重量, 地下水位以上にあつては, 湿潤単位体積重量を用いて算定する。
- n : 杭群中の杭の本数 (本)

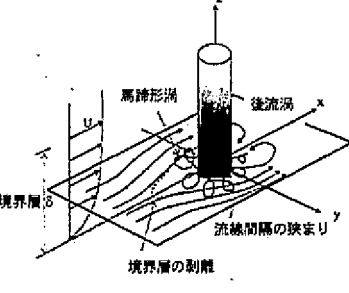
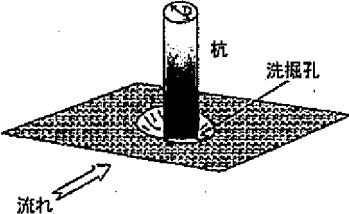
粘性土の場合, 非排水せん断強さを c とし, $\gamma_2 \approx \gamma_2$ (γ_2 は杭先端から上の土の平均単位体積重量) とすると, 式(2.4.18)は式(2.4.19)のように表される。

$$R_{ad} = \frac{1}{n} \gamma_a \left\{ 5.7cA_g \left(1 + 0.3 \frac{B}{B_1} \right) + cUL - \gamma_2 A_g L \right\} \quad (2.4.19)$$

ここに、

- B : 杭群 (ブロック) の短辺 (m)
- B_1 : 杭群 (ブロック) の長辺 (m)
- γ_a : 部分係数 (2.2.3 粘性土地盤における基礎の支持力参照)

群杭として用いる場合の各杭に期待できる軸方向抵抗力は, 単杭としての軸方向抵抗力と, 式(2.4.18)又は式(2.4.19)で表わされるブロック破壊に対する抵抗力のうち小さい方をとる必要がある。

洋上発電導入技術ガイドライン (もくじ案)	土木学会 「風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 洋上編 2014 年版」	国際規格 (IEC61400 等) DESIGN REQUIREMENTS	港湾の施設の技術上の基準・同解説	備考
⑩海底地盤変動	<p>第7章その他の荷重の評価</p> <p>7.1 固定荷重、積載荷重および水圧の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> 固定荷重と積載荷重 (固定された装備品重量、その他実情に合わせて) 静水圧 (水深相当) <p>7.2 積雪荷重の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ナセル上への積雪荷重 <p>7.3 洗掘の評価</p> <p>①対策工</p> <p>下記のうちから、適切な方法で対処するものとする。</p> <ol style="list-style-type: none"> 洗掘が起こるものとの条件で、あらかじめ風車を含め設計する。 杭施工後、杭周辺海底面に対し洗掘防止策を施す。(海底面被覆工、導流・減勢工、基礎根固め工) 海底面を定期的に調査し、洗掘が一定以上進めば改修工事を行う。 <p>②洗掘範囲や洗掘防止工の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> 海底面の特性が類似したサイトや近隣のサイトにおける以前の記録に基づいて求める。 水理実験から求める。 模型実験によって較正した計算から求める。  <p>図解 7.3-1 鉛直杭の基部まわりの流れ</p>  <p>図解 7.3-2 鉛直杭まわりの洗掘</p>	<p>【IEC61400-3】</p> <p>6.4.6 Seabed movement and scour</p> <p>The support structure of an offshore wind turbine shall be designed taking account of the influence of seabed movement and scour. The analysis of seabed movement and scour, and the design of appropriate protection shall conform to the requirements of ISO 19901-4.</p> <p>Requirements regarding the assessment of seabed conditions are stated in 12.9.</p> <p>[和訳]</p> <p>6.4.6 海底変形及び洗掘</p> <p>洋上風車の支持構造物は、海底変形及び洗掘の影響を考慮に入れて設計しなければならない。海底変形及び洗掘の解析、並びに適切な洗掘防止工の設計は、ISO 19901-4:2003 の要求事項に適合しなければならない。海底条件の評価に関する要求事項は、12.9 による。</p>		
⑪海氷・流氷	<p>7.5 海氷荷重の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> モノパイルや重力式基礎構造物の飛沫帯のアイスコーンのような円錐型構造物に作用する海氷荷重の計算は、塑性極限解析に基づく Ralston の式で求めてよい。 <p>下向き砕氷コーンに作用する水平力は次式により求められる。</p> $R_H = \left(A_1 \sigma_f h^2 + \frac{1}{9} A_2 \gamma_w h b^2 + \frac{1}{9} A_3 \gamma_w h (b^2 - b_f^2) \right) A_d$ <p>下向き砕氷コーンに作用する鉛直力は、次式により算定する。</p> $R_V = B_1 R_H + \frac{1}{9} B_2 \gamma_w h (b^2 - b_f^2)$	<p>【IEC61400-3】</p> <p>6.4.4 Sea ice</p> <p>At some locations, loading of the support structure of an offshore wind turbine due to sea ice can be critical. The ice loads may be associated with static loading from a fast ice cover, or dynamic loading caused by wind and current induced motion of ice floes. Moving ice floes impacting the support structure over a considerable period of time may result in significant fatigue loading.</p> <p>A site-specific assessment of the occurrence and properties of the sea ice shall be undertaken as stated in 12.7.</p> <p>Annex E provides guidance with regard to ice load calculations</p> <p>【Annex E (informative)】 "Recommendations for design of offshore wind turbine support structures with respect to ice loads"</p>		

<p>⑫その他</p> <p>・落雷</p>	<p>ここに</p> <p>R_H : 下向き砕氷コーンに作用する水平力 R_V : 下向き砕氷コーンに作用する鉛直力 σ : 氷の曲げ強度 γ_w : 海水の比重 h : 氷床厚 b : 海面でのコーン径 b_T : コーンの頂部でのコーン径</p>	<p>[和訳] 海氷</p> <p>6.4.4 海氷</p> <p>場所によっては、海氷による洋上風車の支持構造物の荷重が重要となる場合がある。氷の荷重は、定着氷板による静的荷重に関係している場合、又は風及び水流によって引き起こされる氷盤の動きによる動的荷重に関係している場合がある。移動氷盤が長期間にわたって支持構造物に衝撃を与えた結果、顕著な疲労荷重を引き起こすこともある。海氷の発生及び特性に関するサイト固有の評価は、12.7の規定によって実施しなければならない。氷荷重の計算に関する指針を附属書 E に示す。</p> <p>【IEC61400-3】</p> <p>6.5 Other environmental conditions</p> <p>Environmental (climatic) conditions other than wind and marine conditions can affect the integrity and safety of an offshore wind turbine, by thermal, photochemical, corrosive, mechanical, electrical or other physical action.</p> <p>Moreover, combinations of the climatic parameters given may increase their effects.</p> <p>The following other environmental conditions, at least, shall be taken into account and the action taken stated in the design documentation:</p> <ul style="list-style-type: none"> · air temperature; · humidity; · air density; · solar radiation; · rain, hail, snow and ice; · chemically active substances; · mechanically active particles; · salinity causing corrosion; · lightning; · seismicity causing earthquakes; · water density; · water temperature; · traffic <p>[和訳] その他の環境条件</p> <p>6.5 その他の環境条件</p> <p>風及び海洋環境条件以外の種々の環境（気象）条件は、熱、光化学、腐食、機械、電気、その他の物理的作用によって、洋上風車の健全性及び安全性に影響することがある。さらに、気象パラメータが組み合わさるとその作用が増大することがある。</p> <p>少なくとも、次に示す環境条件を考慮し、施した対応を設計文書に記載しなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> · 気温 · 湿度 · 空気密度 · 太陽の放射 · 雨、ひょう（雹）、あられ（霰）、雪及び氷結 · 化学的活性物質 		
------------------------	---	---	--	--

- ・ 活動粒子 [浮遊じんあい (塵埃) など]
- ・ 腐食を引き起こす塩分
- ・ 雷
- ・ 地震
- ・ 海水密度
- ・ 水温
- ・ 船舶などの往来

第4章 附帯設備
①施設位置を示す
標識灯等

■ Marine Guidance Note (Maritime and Coastguard Agency, UK)
■ IALA Recommendation on The Marking of Man-Made Offshore Structures (Recommendation O-139)

■ 風車の識別性
・ 風車は視角及びレーダーにより容易に識別が可能であること。
・ 風車タワーの基礎部分は、最高潮位面(HAT: Highest Astronomical Tide)より上方15mまで黄色に塗装すること。

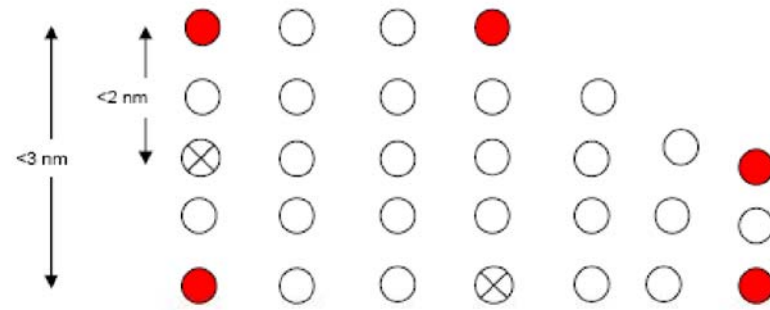


(Photos Courtesy Npower Renewables)

■ ウィンドファームの航路標識設備 (2.2)
・ IALA の推奨事項に従って標識を設置する。
・ 施設の角又は境界にある設備 (SPS: Significant Peripheral Structure)にはそれぞれ光達距離 5 海里以上の同期された黄色閃光全周灯を回転翼下限より下部に設置、SPS 間の距離は 3 海里以内とする。
・ 上記以外に中間の場所にある設備に黄色で異なる灯質の灯火を SPS から 2 海里を超えない範囲に設置する。(1 国際海里=1.852km)

1. Example of wind farm marking

- SPS – lights visible from all directions in a horizontal plane. Lights synchronised to display an IALA “special mark” characteristic, flashing yellow, with a range of not less than five (5) nautical miles.
- ⊗ Intermediate structures – on the periphery of the farm other than SPSs – marked with flashing yellow lights visible in all directions in a horizontal plane with a characteristic different from the SPSs and a range of not less than two (2) nautical miles



洋上風力発電設備の灯火設置例
(MSC、Marin Guidance Note372)

<p>②レーダ反射器等</p> <p>③音響信号機</p> <p>④避雷設備</p> <p>⑤維持管理に使用する設備</p> <p>⑥付帯施設の耐久性</p> <p>⑦その他</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 標識板 ・ 航空標識 ・ 海図表記 ・ 電波影響 ・ 航行ルートの推奨離隔 (一般海域) 	<p>7.4 接舷荷重</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 防衝設備：作業船の接舷等 (V>0.5m/s) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ なお、単一で存在する風車設備にはモールス信号“U”の灯質の白色灯を設置すること。 <p>Marine Guidance Note(Maritime and Coastguard Agency, UK)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ その他の灯火等識別用設備 (2.3) <ul style="list-style-type: none"> ・ 設備自体を照明する。 ・ レーダービーコン(モールス信号"U")、レーダーレフレクター設置、AIS 航路標識を設置する。 ■ 音響信号(2.4) <ul style="list-style-type: none"> ・ 2海里以上の到達距離を持つ音響信号が設置される場合あり、海図に記載する。 <ul style="list-style-type: none"> ■ 標識板(2.5) <ul style="list-style-type: none"> ・ 150メートル先から認識可能な英数文字、夜間照明付きの識別符号標識板を設置する。 ■ 航空標識(2.5) <ul style="list-style-type: none"> ・ ナセル上部には航空標識用赤灯が設置されており舷灯等との誤認に注意する。 ■ 海図表記(2.6) <ul style="list-style-type: none"> ・ 海図上で、発電風車の位置にシンボル、ファーム境界を表示、航行制限付き水域の場合はマゼンタ色のT字型破線で表示する。 ■ 通信及び航海計器への影響(2.8) <ul style="list-style-type: none"> ・ VHF、GPS、携帯電話及びAISへの影響は極小、UHF等マイクロ波機器には影響あり。 ・ 1.5海里以内で強力なレーダー反射を発生、近づくほど影響大、大型船は<u>2海里以上</u>離れての航行を推奨する。 		
--	--	--	--	--

第7章 施工時
(1)施工安全

(2)航行安全
・地元との調整

【緊急時】

《Marine Guidance Note(Maritime and Coastguard Agency, UK) MGN371 (M+F)》

■洋上再生可能エネルギー施設への接近禁止 (4.6)

■緊急時の措置(4.7)

- ・極めて危険な状況下では風車に避難できるが、移乗は危険。

■「別添5 洋上再生可能エネルギー施設周辺海域における捜索救助、防除及びサルベージ事故発生時の発電停止等運用上の要求事項に関する基準と手順」

- ・捜索救助、防除及びサルベージ事故発生時の発電停止(1)
- ・運用上の要求(2)
※施設の中央司令室、海上保安機関等が備えておくべき情報等
- ・運用手順 (3)
- ・捜索救難用ヘリコプターの対応手順及び要求事項(4)
※詳細な緊急連携対応計画(Emergency Response Co-operation Plans (ERCoP))の基本様式が MCA のウェブサイトを確認できる。

《Marine Guidance Note(Maritime and Coastguard Agency, UK) MGN372 (M+F)》

■保安距離(safety zones)及び航行禁止水域 (exclusion zones)(4)

- ・風車運転時の保安距離は 50mに規定、建設時・大修理時は 500mを標準とする (“Applying for safety zones around offshore renewable energy installations”, Department of Energy & Climate Change.UK)。
- ・ガイダンス発行時点では建設工事に伴う一時的な航行禁止水域設定以外の事例なし。
- ・これらの規制水域を設定する時は、水路公報及び無線による航行警報で周知すること。

《Marine Guidance Note(Maritime and Coastguard Agency, UK) MGN371 (M+F)》

「別添 4 洋上再生可能エネルギー施設の建設、運用及び解体中における安全・危険軽減措置」

- ・環境影響評価の結果による危険分析の結果に応じた安全・危険軽減措置を実施
- ・水路通報等適切な手段による情報伝達
- ・継続的な無線傍受
- ・保安距離(safety zones)や避航水域(area to be avoided)の適用
- ・航路指定方式(routing measure)の実施
- ・レーダー、AIS、監視カメラ等による監視
- ・建設段階からの海上保安機関との協力に基づく緊急対応計画の策定等

区分	塗色及び構造（形状、強度等）	灯質、光度、吹鳴周期等	附属施設	備考
航路標識の種類 風力発電施設等灯（単一の構造物）		1. 灯質 (1) 灯色 白 (2) 光り方 モールス符号光U (…ー) (周期 8 秒以上 15 秒以内) 2. 光度 (1) 本灯 15 カンデラ以上 (2) 副灯 15 カンデラ以上	1 レーダー反射器 灯台に同じ。 2 音響信号器 (1) 通常音響距離 必要な方向に原則として 2 海里以上であること。 (2) 吹鳴周期 モールス符号U 音(周期 30 秒以内)	1 灯具、制御装置及び電源装置の規格並びに性能は、別記 3-7 「光波標識用機器性能基準」に適合するものであること。 2 本灯は、おおむね平均水面上 6 メートル以上かつロータの羽根の最下点より低い位置に設置し、全周から視認できるものであること。 ただし、施設の構造上全周から視認できるように設置し難い場合は、構造物の状況に応じて複数の灯火を一群として本灯とすることができるものとし、この場合の灯質は、原則として同期させ、かつ各灯火の高さは同一とするものとする。 3 副灯は、構造物の規模に応じ適宜設置し、灯質は本灯と同期させること。 4 音響信号の吹鳴周期は、付近航路標識と紛らわしくないもので聴取し易いものを選定すること。 5 附属施設は必要に応じ備えること。 6 風力発電施設等の平均水面上から 15 メートル又は灯火の高さのいずれか高い方までの全周を黄色で塗装(高さ 2 メートル以上の黄色横帯を奇数等分で塗装することに代えることができる。)するものとする。 7 重要周囲構造物の本灯の灯質は、同期させるものとする。 8 風力発電施設等の構造物が浮体式の場合は、第 2 項及び第 6 項中「平均水面上」とあるを「水面上」と読み替える。
風力発電施設等灯（構造物群）		1. 灯質 (1) 灯色 黄 (2) 光り方 単閃光(周期は任意) 2. 光度 (1) 重要周囲構造物 (構造物群の周囲の屈曲部その他の主要地点に位置する構造物で、その間隔が 3 海里を超えないもの。) イ 本灯 原則として 80 カンデラ以上 ロ 副灯 15 カンデラ以上 (2) 重要周囲構造物以外 イ 本灯 15 カンデラ以上 ロ 副灯 15 カンデラ以上		

表 1 ー設計荷重ケース一覧表 (IEC61400-3)

設計状態	ケース名 DLC	荷重の組合せ条件							解析 のタイプ	部分 安全係数
		風	波	風・波 の方向	海流	潮位	その他の条件			
1) 発電時	1.1	NTM RNA $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL	ロータ・ナセル部(RNA)にかかる荷重の極値荷重外挿に対し(*1)	U	N (1.25)	
	1.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS joint prob. distribution of H_s, T_p, V_{hub}	COD, MUL	No currents	NWLR or \geq MSL		F	*	
	1.3	ETM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL		U	N	
	1.4	ECD $V_{hub} = V_r - 2m/s, V_r,$ $V_r + 2m/s$	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	MIS, wind direction change	NCM	MSL		U	N	
	1.5	EWS $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL		U	N	
2) 発電+ 故障発生時	1.6a	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	SSS $H_s = H_{s,SSS}$	COD, UNI	NCM	NWLR		U	N	
	1.6b	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	SWH $H = H_{SWH}$	COD, UNI	NCM	NWLR		U	N	
3) 始動時	2.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL	制御システム故障又は電力系統の喪失(*2)	U	N	
	2.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL	保護システム故障又は先行する内部電気故障(*3)	U	A	
	2.3	EOG $V_{hub} = V_r \pm 2m/s$ 及 $\cup V_{out}$	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL	電力系統の喪失を含む内外の電気故障(*4)	U	A	
	2.4	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	No currents	NWLR or \geq MSL	電力系統の喪失を含む、制御、保護又は電気システム故障(*5)	F	*	
4) 通常停止時	3.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	No currents	NWLR or \geq MSL		F	*	
	3.2	EOG $V_{hub} = V_{in}, V_r \pm 2m/s$ 及 $\cup V_{out}$	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL		U	N	
	3.3	EDC1 $V_{hub} = V_{in}, V_r \pm 2m/s$ 及 $\cup V_{out}$	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	MIS, wind direction change	NCM	MSL		U	N	
5) 緊急停止時	4.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	No currents	NWLR or \geq MSL		F	*	
	4.2	EOG $V_{hub} = V_r \pm 2m/s$ 及 $\cup V_{out}$	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL		U	N	
6) 待機中 (静止又はアイド リング時)	5.1	NTM $V_{hub} = V_r \pm 2m/s$ 及 $\cup V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL		U	N	
	6.1a	EWM Turbulent wind model $V_{hub} = k_1 V_{ref}$	ESS $H_s = k_2 H_{s50}$	MIS, MUL	ECM	EWLR		U	N	
	6.1b	EWM Steady wind model $V(Z_{hub}) = V_{e50}$	RWH $H = H_{red50}$	MIS, MUL	ECM	EWLR		U	N	
7) 故障又は停電 中の待機時	6.1c	RWM Steady wind model $V(Z_{hub}) = V_{red50}$	EPW $H = H_{50}$	MIS, MUL	ECM	EWLR		U	N	
	6.2a	EWM Turbulent wind model $V_{hub} = k_1 V_{ref}$	ESS $H_s = k_2 H_{s50}$	MIS, MUL	ECM	EWLR	電力系統の喪失(*6)	U	A	
	6.2b	EWM Steady wind model $V(Z_{hub}) = V_{e50}$	RWH $H = H_{red50}$	MIS, MUL	ECM	EWLR	電力系統の喪失	U	A	
	6.3a	EWM Turbulent wind model $V_{hub} = k_1 V_1$	ESS $H_s = k_2 H_{s1}$	MIS, MUL	ECM	NWLR	風車ローター軸と風向との水平偏向量 (ヨーミスアライメント)の極値(*7)	U	N	
	6.3b	EWM Steady wind model $V(Z_{hub}) = V_{e1}$	RWH $H = H_{red1}$	MIS, MUL	ECM	NWLR	風車ローター軸と風向との水平偏向量 (ヨーミスアライメント)の極値(*7)	U	N	
8) 輸送, 組立て, 保守及び修理時	6.4	NTM $V_{hub} < 0.7V_{ref}$	NSS joint prob. Distribution of H_s, T_p, V_{hub}	COD, MUL	No currents	NWLR or \geq MSL		F	*	
	7.1a	EWM Turbulent wind model $V_{hub} = k_1 V_1$	ESS $H_s = k_2 H_{s1}$	MIS, MUL	ECM	NWLR		U	A	
	7.1b	EWM Steady wind model $V(Z_{hub}) = V_{e1}$	RWH $H = H_{red1}$	MIS, MUL	ECM	NWLR		U	A	
	7.1c	RWM Steady wind model $V(Z_{hub}) = V_{red1}$	EPW $H = H_1$	MIS, MUL	ECM	NWLR		U	A	
	7.2	NTM $V_{hub} < 0.7V_1$	NSS joint prob. Distribution of H_s, T_p, V_{hub}	COD, MUL	No currents	NWLR or \geq MSL		F	*	
8.1	製造業者が規定							U	T	
8.2a	EWM Turbulent wind model $V_{hub} = k_1 V_1$	ESS $H_s = k_2 H_{s1}$	COD, UNI	ECM	ECM	NWLR		U	A	
8.2b	EWM Steady wind model $V(Z_{hub}) = V_{e1}$	RWH $H = H_{red1}$	COD, UNI	ECM	ECM	NWLR		U	A	
8.2c	RWM Steady wind model $V(Z_{hub}) = V_{red1}$	EPW $H = H_1$	COD, UNI	ECM	ECM	NWLR		U	A	
8.3	NTM $V_{hub} < 0.7V_1$	NSS joint prob. Distribution of H_s, T_p, V_{hub}	COD, MUL	No currents	No currents	NWLR or \geq MSL	風車組立期間中の電力非接続(*8)	F	*	

注記 この表で用いる略語は、次による。

COD	風向と波向きが同方向：co-directional (6.4.1 参照)
DLC	設計荷重ケース：design load case
ECD	風向変化を伴う極値コヒーレントガスト：extreme coherent gust with direction change (IEC61400-1 参照)
ECM	極値時海流モデル：extreme current model (6.4.2.5 参照)
EDC	極値時風向変化：extreme direction change (IEC61400-1 参照)
EOG	運転中の極値突風：extreme operating gust (IEC61400-1 参照)
ESS	極値時の海の状態：extreme sea state (6.4.1.5 参照)
ETM	極値時乱流モデル extreme turbulent model (IEC61400-1 参照)：
EWH	極値波高：extreme wave height (6.4.1. 6 参照)
EWLR	極値時の水位範囲：extreme water level range (6.4.3.2 参照)
EWM	極値時の風速モデル：extreme wind speed model(IEC61400-1 参照)
EWS	極値時ウィンドシア ：extreme wind shear(IEC61400-1 参照)
MIS	風向と波向きが不一致：misaligned (6.4.1 参照)
MSL	平均海面水位：mean sea level (6.4.3 参照)
MUL	多方向性：multi-directional (6.4.1 参照)
NCM	常時海流モデル：normal current model (6.4. 2.4 参照)
NTM	常時乱流モデル：nomal turbulent model(IEC61400-1 参照)
NWH	常時波高：normal wave height (6.4.1.2 参照)
NWLR	常時の水位範囲：normal water level range (6.4.3.1 参照)
NWP	常時ウィンドプロファイルモデル：normal wind profile model(IEC61400-1 参照)
NSS	常時の海の状態：normal sea state (6.4.1.1 参照)
RNA	回転翼－ナセル設備：rotor – nacelle assembly
RWH	低減波高：reduced wave height (6.4.1.7 参照)
RWM	低減風速モデル：reduced wind speed model (6.3 参照)
SSS	荒天時の海の状態：severe sea state (6.4.1.3 参照)
SWH	荒天時波高：severe wave height (6.4.1. 4 参照)
UNI	単一方向性：uni-directional (6.4.1 参照)

H	波高
H_s	有義波高
H_{red50}	再現期間 50 年の低減波高
H_{red1}	再現期間 1 年の低減波高
H_{s50}	再現期間 50 年有義波の低減波高
H_{s1}	再現期間 1 年有義波の低減波高
V_{hub}	ハブ中心高さの風速
V_{in}	カットイン風速
V_{out}	カットアウト風速
$V_r \pm 2 \text{ m/s}$	定格風速 $\pm 2 \text{ m/s}$
V_{e50}	再現期間 50 年の期待極値風速 (3 秒間平均)
V_{e1}	再現期間 1 年の期待極値風速 (3 秒間平均)

F	疲労限界：fatigue (7.6.3 参照)
U	終局限界：ultimate (7.6.2 参照)
N	常時の部分安全係数 1.35：normal
A	異常時の部分安全係数 1.1：abnormal
T	輸送及び建設時の部分安全係数 1.5：transport and erection
*	疲労に対する部分安全係数：partial safety factor for fatigue(7.6.3 参照)

《その他の条件の原文》

- *1 ロータ・ナセル部にかかる荷重の極値荷重外挿に対し：For extrapolation of extreme loads on the RNA
- *2 制御システム故障又は電力系統の喪失：Control system fault or loss of electrical network
- *3 保護システム故障又は先行する内部電気故障：Protection system or preceding internal electrical fault
- *4 電力系統の喪失を含む内外の電気故障：External or internal electrical fault including loss of electrical network
- *5 電力系統の喪失を含む、制御、保護又は電気システム故障：Control, protection, or electrical system faults including loss of electrical network
- *6 電力系統の喪失：Loss of electrical network
- *7 風車ローター軸と風向との水平偏向量（ヨーミスアライメント）の極値：Extreme yaw misalignment
- *8 風車組立期間中の電力非接続：No grid during installation period

検討体制

座長：牛山先生（足利工業大学学長）

港湾における洋上風力発電設備の導入円滑化に向けた 技術ガイドライン等検討委員会

- ・メンバー：有識者、関係団体、関係機関等
- ・検討事項：検討の進め方、各分科会における検討結果の審議、技術的ガイドラインの決定等

座長：林先生（東京海洋大学名誉教授）

航行安全分科会

- ・メンバー：有識者、関係団体、関係機関等
- ・検討事項：航行船舶の安全性確保にかかる検討等

- ① 航行船舶への影響にかかる事項等
- ② 安全性確保に必要となる措置等の検討

座長：清宮先生（早稲田大学教授）

構造安定分科会

- ・メンバー：有識者、関係団体、関係機関等
- ・検討事項：設計・維持管理にかかる指針等
（施工・撤去については、必要に応じて検討）

- ① 土木学会指針等のレビュー
- ② 安全性を踏まえた設計・施工等の検討
- ③ 技術的ガイドライン（案）の作成