

国海安第 194 号
平成 24 年 4 月 23 日
(一部改正) 国海安第 286 号
令和 2 年 3 月 3 日

浮体式洋上風力発電施設技術基準

国土交通省海事局安全政策課

目次

第1編 総則

1. 適用
2. 定義
3. 特殊な構造及び設備等
4. 浮体式洋上風力発電施設の安全のための措置

第2編 技術基準

第1章 外部条件

1. 一般的事項
2. 風条件
3. 海象条件
4. その他の環境条件

第2章 構造に関する規則

第1節 材料

1. 使用材料

第2節 荷重

1. 一般的事項
2. 荷重
3. 設計荷重及び荷重ケース
4. 荷重計算

第3節 構造設計

1. 一般的事項
2. 構造配置
3. 全体強度解析
4. 構造部材の寸法
5. 疲労強度
6. 防しよく措置及び腐食予備厚

第3章 位置保持システム

1. 一般的事項
2. 係留システム
3. 係留解析
4. 係留ライン等の設計
5. 係留機器

第4章 設備に関する規則

1. 艀装等
2. 機関に関する設備
3. 電気に関する設備
4. 防火措置及び消防設備
5. 昇降設備
6. 回転翼航空機着船設備
7. その他

第5章 復原性

1. 一般的事項
2. 風による傾斜モーメント
3. 非損傷時復原性
4. 損傷時復原性

第1編 総則

1. 適用

この基準は、浮体式洋上風力発電施設のうち、支持構造物である浮体施設及びタワーに適用する。

浮体式洋上風力発電施設について、施設すべき事項等及びその標準に関する事項は、別に特段の定めのない限り本基準の定めるところによる。

本基準は最大搭載人員を有しない浮体式洋上風力発電施設であることを前提としており、最大搭載人員を有する場合においては、意見及び資料を添えて、国土交通省海事局検査測度課長に伺い出るものとする。また、本基準は浅海影響を受けない水深の海域に施設される浮体式洋上風力発電施設を想定しており、浅海影響を無視することができない水深の海域に施設する浮体式洋上風力発電施設においては、浅海影響について考慮しなければならない。

2. 定義

- (1) 浮体式洋上風力発電施設とは、風力発電設備を有する浮体式海洋構造物をいい、具体的には、セミサブ型、バージ型、スパー型又はテンションレグプラットフォーム（TLP）型等の浮力体にタワー及びロータ（ナセル・アセンブリ）等が搭載されたものを指す。
- (2) セミサブ型とは、甲板、コラム、フーティング又はロワーハル及びブレーシング等から構成され、所定の喫水まで沈めて半潜水状態となる型式のものをいう。
- (3) バージ型とは、排水量型の型式のものをいう。
- (4) スパー型とは、浮力体を垂直方向に延長することによって浮力体の大部分を水没させる型式のものをいう。
- (5) テンションレグプラットフォーム（TLP）型とは、強制的に半潜水させた浮力体と海底を緊張係留ラインで結び、強制浮力によって生じる緊張力を利用して係留される型式のものをいう。
- (6) 浮体式洋上風力発電施設の長さ、幅及び深さについては、その型式等の別により管海官庁が指示するものとする。
- (7) サイトとは、単独又はウインドファーム内における個々の浮体式洋上風力発電施設が施設された位置又は計画された位置をいう。
- (8) 係留ラインとは、浮体施設の位置を保持するためのチェーン、ワイヤロープ、合成繊維ロープ又はこれらが複合したロープ等、シャックル等の連結具及び中間ブイ又は中間シンカー等からなるものをいい、パイル、シンカー等の海底にある係留施設は除く。
- (9) 緊張係留ラインとは、鋼管、チェーン、ワイヤロープ、合成繊維ロープ又はこれらが複合したロープ等から成る係留ラインであって、高い張力状態で直線形状に配置

され、主にその弾性伸びによる大きな張力を利用するものをいう。

- (10) 多点係留システムとは、海底のパイル、シンカー等に固縛された複数の係留ラインにより構成されるシステムであって、係留ラインの端部が個々に浮体施設のウィンチ又はストッパに連結されているものをいう。
- (11) カテナリ係留とは、主に懸垂線形状の係留ラインの自重（中間ブイ又は中間シンカーを有するものにあつては、係留ラインの自重に加え中間ブイの浮力又は中間シンカーの自重）によって係留力を得るものをいう。
- (12) トート係留とは、初期張力を調整して緊張状態にある係留ラインの伸びによって係留力を得るものをいう。
- (13) 緊張係留とは、海底に設置された杭又はシンカー等の支持基礎、鉛直方向に配置された複数の緊張係留ライン及び浮体施設に緊張係留ラインを取付けるための結合機器によって構成され、緊張係留ラインにより浮体施設を下方に引き込むことによって生じる浮力の増加及び係留ラインの張力によって浮体施設の上下揺、たて揺及びよこ揺を堅く保持しようとするものをいう。
- (14) その他、本項に定義されていない用語等については、IEC 61400-3-1 及び IEC TS 61400-3-2 の規格類を参照すること。

3. 特殊な構造及び設備等

構造及び設備等について、この基準により難い特別な事由がある場合には、意見及び資料を添えて、国土交通省海事局検査測度課長に伺い出るものとする。

4. 浮体式洋上風力発電施設の安全のための措置

初めて定期検査を行った場合、管海官庁は船舶所有者に対し次に掲げる事項を記載した要領書を作成させ、承認のうえ返却し、これを浮体式洋上風力発電施設の責任者に供与させること。また、当該要領書に変更を生じた場合は、当該事項に関する要領書を作成させ、同様の措置をとること。

- (1) 一般配置図
- (2) メンテナンスマニュアル
- (3) 危機管理マニュアル
- (4) その他発電を適確に行うために必要な資料

第2編 技術基準

第1章 外部条件

1. 一般的事項

ここでは、浮体式洋上風力発電施設を設計するにあたって考慮しなければならない外部条件について規定する。

- (1) 浮体施設及びタワーの荷重及び耐久性運転は、環境条件等の影響を受けるため、環境及び土壌のパラメータを考慮して設計しなければならない。
- (2) 外部条件における通常外部条件とは、一般に再現性のある構造荷重条件に関するものをいい、極値外部条件は、まれな外部設計条件を表す。
- (3) 海底変形、洗掘、その他海底の不安定による地質の時間的変化がサイトの地質に対して問題となる場合については、その影響について考慮しなければならない。

2. 風条件

- (1) 浮体施設及びタワーは、設計基準として採用した風条件に安全に耐え得るように設計すること。荷重及び安全を考慮するための風の種類は、1年に1回よりも頻繁に発生する通常条件と、再現期間が1年又は50年と定義される極値条件とに区分される。
- (2) 浮体施設及びタワーの設計は、サイトを代表する風条件に基づいて設計すること。

3. 海象条件

- (1) 浮体施設及びタワーは、設計基準によって採用された海象条件に安全に耐え得るように設計すること。荷重及び安全を考慮するための海象条件は、1年に1回よりも頻繁に発生する通常海象条件と、再現期間が1年又は50年と定義される極値海象条件とに区分される。ただし、水位の通常範囲については再現期間の1年の水面の変化と定義する。
- (2) 浮体施設及びタワーの設計は、サイトを代表する海象条件に基づいて設計すること。

3-1. 波

- (1) 波は形状が不規則であり、波高、波長及び伝ば速度も変化する。また、一方向又は複数の方向から同時に浮体式洋上風力発電施設に対して打ち寄せることもある。実際の海の特徴は、確率論的な波浪モデルで海況を表現することで最もよく映し出すことができる。確率論的波浪モデルは、個々の小さな周波数成分を多数重ね合わせたものとして海況を表現する。周波数成分の一つ一つは、固有の振幅、周波数及び伝ば方

向をもつ周期的な波であり、互いの位相は不規則である。設計海況は、波のスペクトル S とともに有義波高 H_s 、ピークスペクトル周期 T_p 及び平均波向 θ_{wm} を用いて表す。適切な場合には、波のスペクトルに方向関数を補足してもよい。波の標準的なスペクトルの式については、IEC 61400-3-1 の規格を参照すること。

- (2) 用途によっては実際の海を表す概念として周期的又は規則的な波を設計に用いる場合もある。決定論的な設計波については、その波高、周期及び波向によって決定すること。
- (3) 浮体式洋上風力発電施設の設計では、風と波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、下記のパラメータの長期的な結合確率分布について考慮する。

平均風速 V

有義波高 H_s

波スペクトルのピーク周期 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、海底地形などのサイトにおける各条件に影響される。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、数値的な波の追算を補足して求めるものとする。なお、本件については、IEC 61400-3-1 の規格を参照すること。

- (4) 通常風条件と波との相関関係には平均風向及び平均波向の考慮が含まれる。風向及び波向の分布（多方向）は、浮体施設及びタワーに作用する荷重に重要な影響をもたらすことがある。この影響の重要度は、風及び波の方向性並びに浮体施設及びタワーの軸対称性の度合いによって異なる。風及び波の方向が同一方向でこれらを単一方向から作用させることが最大ケースになるという仮定は保守的となるので、そのように仮定して差し支えないか否かについて、設計の際には場合に応じて適切な解析によって実証する必要がある。また、風向及び波向に関する仮定は原則として第2章第2節に規定する設計荷重ケースごとに考慮しなければならない。
- (5) 風及び波の方向を不一致とする場合における考慮事項については、IEC 61400-3-1 の規格を参照すること。

3-1-1. 通常海況(NSS)

- (1) 各通常海況に対して、有義波高、ピークスペクトル周期及び波向を関連する平均風速と合わせて選定しなければならない。選定においては、サイトにおける気象海象パラメータの長期的な結合確率分布を基準とすること。
- (2) 疲労荷重計算においては、設計の際に考慮する通常海況における（データの）数及び分解能が十分に長い期間における気象海象パラメータの分布から得られている必要がある。
- (3) 終極荷重計算においては、通常海況は基本的に平均風速を条件とする有義波高 H_s の期待値で表現した海況とすること。設計の際にはそれぞれの有義波高に該当するピ

ークスペクトル周期 T_p の範囲を考慮しなければならない。この際における設計計算は浮体式洋上風力発電施設に作用する荷重が最大となるピークスペクトル周期値に基づくものとする。

3-1-2. 高波浪時海況 (SSS)

- (1) 浮体式洋上風力発電施設における発電中の終極荷重の計算では、高波浪時海況の確率論的モデルを通常風条件と組み合わせて考慮しなければならない。高波浪時海況モデルは、発電に該当する風速範囲のそれぞれの風速に対して一つの高波浪時海況を関連付けるものであり、それぞれの高波浪時海況の $H_{s,SSS}(V)$ は、一般に、サイト固有の気象海象データに外挿法を適用して求める。このとき、有義波高と風速との組合せの再現期間は 50 年とすること。すべての風速に対して、風条件に関係がない再現期間 50 年の H_{s50} を $H_{s,SSS}(V)$ の保守的な値として用いてよいこととする。
- (2) 気象海象データの外挿は、逆一次信頼性解析法を用いて行うことが望ましい。
(IEC 61400-3-1 の規格を参照)
- (3) 設計時においては、それぞれの有義波高に該当するピークスペクトル周期 T_p の範囲を考慮しなければならない。この範囲内での設計計算は、浮体式洋上風力発電施設に作用する荷重が最大となるようなピークスペクトル周期の値に基づくものとする。

3-1-3. 極値海況 (ESS)

- (1) 確率論的な極値海況モデルは、再現期間 50 年の極値有義波高 H_{s50} 及び再現期間 1 年の極値有義波高 H_{s1} の両方について考慮すること。
- (2) H_{s50} 及び H_{s1} の値は、サイトにおける測定値や波の追算データの解析から求めること。
- (3) 設計の際には、 H_{s50} 及び H_{s1} に該当するピークスペクトル周期 T_p の範囲をそれぞれ考慮しなければならない。
- (4) 設計計算は、浮体式洋上風力発電施設に作用する荷重が最大となるようなピークスペクトル周期値を基準とすること。

3-2. 海流

- (1) 海流は、原則として空間的及び時間的な変化があるものの、一般には速度及び方向が一定で深さの関数としてだけ変化する水平方向に均一な流れとみなされる。海流の速度については次の成分を考慮すること。
 - ・潮汐、高潮、大気圧の変化などによって生じる水中流
 - ・風によって生じる海面付近流
- (2) 全体的な流速はこれらの成分のベクトル和であり、波によって引き起こされる水粒子速度及び流速をベクトル的に加算しなければならない。なお、海流が波長と波の周期との関係に及ぼす影響は一般に小さいため無視してよい。

- (3) 海流が浮体施設及びタワーの流体学的疲労荷重に及ぼす影響は、波による波頂の水粒子速度に比べて、全体的な流速が遅い場合及び渦の離脱や移動氷盤による振動が発生しにくい場合には問題にならないとみられる。よって、設計の際には、サイト固有のデータを適切に評価し、疲労荷重の計算で海流を無視してよいかどうかを判断すること。

3-2-1. 水中流

- (1) 水中流プロファイルは、流速 $U_{ss}(z)$ を SWL からの高さ z の関数と定義したとき水深 d に対する単純な指数法則によってその特性を表すことができる。

$$U_{ss}(z) = U_{ss}(0) [(z+d)/d]^{1/7}$$

海面流速 $U_{ss}(0)$ の 1 年再現値及び 50 年再現値は、サイトにおける測定値を解析して求めることができる。

- (2) 一般に水中流の方向は波向と同じと仮定して差し支えない。

3-2-2. 風による海面付近流（吹送流）

- (1) 風によって生じる水流は、水面流速 $U_w(0)$ から SWL 下 20m の深さでゼロとなる速度 $U_w(z)$ の線形分布としてその特性を表すことができる。

$$U_w(z) = U_w(0)(1 + z/20)$$

- (2) 風による海面流速は、方向が風向と一致しているとみなすことができ、以下から推算することができる。

$$U_w(0) = 0.01V_{1\text{-hour}}(z=10\text{ m})$$

ここに、

$V_{1\text{-hour}}(z=10\text{ m})$: SWL から 10 m の高さにおける風速の 1 時間平均値

$V_{1\text{-hour}}(z=10\text{ m})$ の 1 年再現値及び 50 年再現値をサイトにおける測定値を解析して求めることができる。これらの風速を上式に代入することで、風による海面流速の 1 年再現値及び 50 年再現値を推定することができる。

3-2-3. 通常水流モデル (NCM)

- (1) 通常水流モデルは、通常波条件に関連した風によって生じる水流として定義される。通常、水流モデルには、潮汐及び高潮によって生じる水中流は含まれない。
- (2) 通常水流モデルは、通常及び高波浪時波条件 (NSS 及び SSS) を含む終極荷重ケースにおいて仮定することで、それぞれの荷重ケースで風による水流の速度は対応する平均風速から推定することができる。

3-2-4. 極値水流モデル (ECM)

- (1) 極値水流モデルは、再現期間 1 年及び 50 年の水中流及び風によって生じる水流のサイト固有の組合せとして定義される。

- (2) 極値水流モデルは、極値波浪状態又は低減波浪状態(ESS)を含む終極荷重ケースにおいて仮定し、波と同じ再現期間の海流については、これらの荷重ケースについて仮定しなければならない。

3-3. 水位

浮体施設の水力的荷重の計算では、サイトにおける水位の変化（意味がある場合）を考慮しなければならない。ただし、通常波浪状態(NSS)を伴う終極荷重ケースでは例外を除き、平均海水面(MSL)に等しい一定水位を想定してよい。水位の定義については下図による。

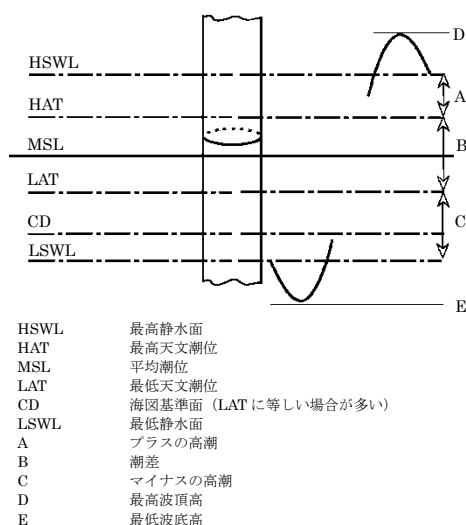


図 1-1 水位の定義

3-3-1. 通常水位変動域 (NWLRL)

- (1) 通常水位変動域は、再現期間 1 年の水面の変化に等しいと仮定する。水面の長期確率分布を表すサイト固有のデータが存在しない場合、通常水位変動域は最高天文潮位から最低天文潮位までの差に等しいと仮定することができる。
- (2) NWLRL は、海況及び風速の結合確率分布に基づく通常海況モデル(NSS)の疲労荷重ケース及び終極荷重ケースにおいて仮定する。また、次の条件の終極荷重ケースでもこの NWLRL 範囲を仮定する。
 - ・高波浪時海況(SSS)モデル
 - ・再現期間 1 年の波条件
- (3) 終極荷重の計算は、荷重が最大となる NWLRL 範囲内の水位に基づくか、又は、NWLRL 範囲内の水位の確率分布を適切に考慮して実施する。
- (4) 水力的疲労荷重の計算では、水位の変化が疲労荷重に及ぼす影響は無視できる程度のものであるか、又は、平均海水面以上の一定水位を想定することでその影響を保守的に見積もることができることを、設計の際には必要に応じて適切な解析により実証すればよい。

3-3-2. 極値水位変動域 (EWLR)

- (1) 極値水位変動域は、再現期間 50 年の波条件に対応する終極荷重ケースにおいて仮定する。荷重計算は、浮体施設に作用する荷重が最大になるような水位を基準として行なうこと。
- (2) 浮体施設の水力的荷重、氷荷重及び浮力の計算用として、対応する設計変動水位を求めること。
- (3) 水位を含む気象海象パラメータの長期結合確率分布データが存在しない場合、設計の際には少なくとも次の水面に基づいて計算を実施しなければならない。
 - ・再現期間 50 年の最高静水位(最高天文潮位とプラスの高潮との適切な組合せに基づく)
 - ・再現期間 50 年の最低静水位(最低天文潮位とマイナスの高潮との適切な組合せに基づく)

3-4. 海氷

- (1) サイトによっては海氷による荷重がクリティカルとなる場合があることに留意する必要がある。また、氷の荷重は、定着氷盤による静的荷重に関係している場合や風や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もあるほか、移動する氷盤が長期間にわたって浮体施設に衝撃を与えた結果、著しい疲労荷重を引き起こすこともあることに留意すること。
- (2) 氷荷重の計算に関する指針について IEC 61400-3-1 の規格を参照すること。

3-5. 海洋付着生物

- (1) 海洋付着生物は、浮体施設の重量、形状及び表面状態に影響し、その結果、海洋付着生物が浮体施設の水力的荷重、動的応答、アクセス性及び腐食度に影響を及ぼす場合がある。
- (2) 場所によっては、海洋付着生物が顕著になることがあり、浮体施設の設計時にあっては考慮しなければならない。
- (3) 海洋付着生物は大きく、硬質（一般に貝類やフジツボ）及び軟質（一般に海苔やコンブ類）に分けられる。硬質の付着物は一般に軟質の付着物より厚さは薄い粗度が大きい。一般に、構造物を設置するとまもなく海洋生物がコロニを形成するが、数年後には成長率が鈍る。
- (4) 海洋付着生物の性質及び厚さは、構造部材の海面に対する位置、卓越流に対する向き、年月及び保守の方針によって異なるが、塩分、酸素濃度、pH 値、水流、温度などの他のサイト条件にも左右される。
- (5) 腐食環境は、通常、浮体施設の上部浸水部分及び飛まつ帯の下部に付着した海洋付着生物による影響を受ける。付着生物の種類、その他の局部条件によって、実質的な影

響は腐食性を進行させる場合もあれば遅らせる場合もある。海洋付着生物の付着によって腐食プロセスが進行する場合、一般に、微生物腐食(MIC: Microbiologically Influenced Corrosion)と呼ばれる。さらに、海洋付着生物の付着は、コーティング、ライニング、電気防食などの腐食防止のシステムに影響を及ぼすこともある。

4. その他の環境条件

その他の環境条件として下記について考慮すること。また、この章に規定されない環境条件であって、管海官庁が必要と認めた場合においては、その条件についても考慮の上、設計すること。

4-1. 地震

- (1) 地震の影響について適切に考慮すること。地震は、設置海域周辺において過去発生した最大レベルのものを考慮しなければならない。
- (2) 津波の影響について適切に考慮すること。津波は、設置海域周辺において過去発生した最大津波を考慮しなければならない。ただし、水深が十分深い場合は、津波による影響は、潮位変動及び海流として差し支えない。
- (3) 地震及び津波を考慮する際の風、波等の環境荷重は通常状態のものとして差し支えない。
- (4) 地震が生じた場合の地盤の液状化について考慮しなければならない。

4-2. 海底変形及び洗掘

浮体施設の係留システムに対して、海底変形及び洗掘の影響が無視できない場合、適切に考慮しなければならない。

4-3. 積雪荷重

浮体施設及びタワーに対する積雪の影響が無視できない場合は、適切に考慮しなければならない。

第2章 構造に関する規則

第1節 材料

1. 使用材料

- (1) 浮体式洋上風力発電施設の主要構造部及び排水設備等に使用する材料については、船舶構造規則（平成10年運輸省令第16号）に規定する材料を使用しなければならない。
- (2) (1)において定められる以外の材料を使用する場合には、国土交通省海事局検査測定課長まで必要な資料を添えて伺い出ること。

第2節 荷重

1. 一般的事項

- (1) 設計計算では、2. に規定する荷重を考慮するとともに、風力発電設備から浮体施設及びタワーに働く荷重を考慮しなければならない。
- (2) 浮体施設及びタワーに対しては、時間領域での連成解析を行わなければならない。解析の際には、荷重を正確に把握するために十分なシミュレーション時間を確保しなければならない。なお、管海官庁が適当と認めた場合においては、模型試験によって荷重を算定しても差し支えない。
- (3) 風力発電設備の制御により浮体施設及びタワーの動揺が励起される場合、励起された動揺による荷重を考慮しなければならない。

2. 荷重

2-1. 重力荷重及び慣性荷重

重力荷重及び慣性荷重とは、重力、浮体施設の動揺、振動及び地震によって生じる静的及び動的荷重のことをいう。

2-2. 空力荷重

- (1) 空力荷重とは、空気流並びに空気流と浮体式洋上風力発電施設における静止部及び可動部との相互作用によって生じる静的及び動的荷重のことをいう。
- (2) 空気の流れは、風力発電設備におけるロータ面を通過する平均風速、乱れ、ロータの回転速度、空気密度及び風力発電設備の構成部品の空力形状並びに空力弾性効果を含むそれらの部品の相互作用効果に依存する。

2-3. 運転荷重

運転荷重とは、風力発電設備の運転及び制御によって生じる。

2-4. 水力荷重

- (1) 水力荷重とは、水の流れと浮体施設との相互作用によって生じる動的荷重のことをいう。
- (2) 水力荷重は、水の流れの運動、水の密度、水深、浮体施設の形状及びそれらの水力弾性効果を含む相互作用効果に依存する。
- (3) 浮体施設のうち水力荷重を受けるものとして設計されていない部分は、再現期間50年の最高波頂高の期待値に最小間隔を加えた高さに位置していなければならない。このとき、最高天文潮位、高潮、極値波の波頂高及び浮体施設の動きを考慮しなければならない。最小間隔はエアギャップと呼ばれるが、これは $0.2 * H_{s50}$ と定義される。ただし、最小値は1mとする。また、浮体施設の附属物の設計においては、波の打上げに

よって生じる水力荷重を考慮すべきである。

2-5. 海氷荷重

- (1) 浮体施設に作用する海氷荷重は、静的荷重及び動的荷重の両方が存在する。静的荷重は、結氷板の温度変動か水面変化のいずれかによって生じる。動的荷重は、風及び潮流によって引き起こされる氷盤の動きによって、また、氷盤及びその破片が浮体施設と接触することによって生じる。
- (2) 氷荷重の設計との関連性は、サイトにおける特性によることとなる。指針として、IEC 61400-3-1 の規格を参照すること。

2-6. その他の荷重

- (1) 風力発電設備後流荷重、衝撃荷重、氷荷重などが発生する可能性がある場合については適宜考慮しなければならない。
- (2) 内圧並びに外圧及びそれからにより生じる浮力によって浮体施設に作用する静水圧荷重についても適宜、考慮しなければならない。
- (3) 渦抵抗により浮体施設の部材に振動が発生する場合は、渦抵抗についても考慮すること。
- (4) 揚力が無視できない場合については、揚力を考慮しなければならない。
- (5) 流れによる摩擦力が無視できない場合は、流れによる摩擦力を適切に算定しなければならない。

3. 設計条件及び荷重ケース

3-1. 一般的事項

- (1) 設計においては、浮体施設及びタワーの寿命は、経験すると思われる最も重大な状態を網羅した設計条件によって代表させることができる。
- (2) 荷重ケースは、運転モード又はその他の設計条件、例えば、特定の組立、建造又は保守の条件と外部条件との組合せによって決定する。妥当な発生確率のあらゆる関連荷重ケースを制御システム及び保護システムの挙動と合わせて考慮しなければならない。浮体施設及びタワーの構造的健全性の検証に用いる設計荷重ケースは、次の組み合わせから計算する。
 - ・ 通常設計条件及び適切な通常又は極値外部条件
 - ・ 故障設計条件及び適切な外部条件
 - ・ 輸送、据付及び保守の設計条件並びに適切な外部条件極値外部条件と故障条件との間に相関関係がある場合は、両者の現実的な組合せを設計荷重ケースとして考慮しなければならない。
- (3) 各々の設計条件において数種類の設計荷重ケースを考慮しなければならず、原則として、表 2-1 に示す設計荷重ケースを考慮しなければならない。この表では、設計荷重

ケースは、各々の設計条件について風条件、海洋条件、電気条件、その他の外部条件によって規定されている。それに加えて、浮体式洋上風力発電施設が海氷の発生が予想されるサイトに施設される場合においては、表 2-2 に示される設計荷重ケースを考慮する必要がある。

- (4) 各設計荷重ケースに対して、適切な解析タイプを表 2-1 に F 及び U で示す。F は、疲労強度の評価に用いる疲労荷重の解析を意味する。U は、材料強度及び構造安定性に関係した終局荷重の解析を意味する。
- (5) U で示される設計荷重ケースは、通常状態(N)及び異常状態(A)に分類される。通常設計荷重ケースは、浮体施設及びタワーの設計寿命期間を通じて頻繁に発生するものである。風力発電設備は通常な状態か、場合によっては、軽度の故障又は異常状態にある。異常設計条件は、発生頻度が低いものであり、これは、通常、保護システムの作動に至る重大な不具合を伴った設計条件に相当する。設計条件 N 及び A によって、終局荷重に適用される部分安全率 γ_f は異なる。この安全率については、表 2-3 によること。

表 2-1 設計荷重ケース (DLC)

設計条件	DLC	風条件	波	風及び波の方向性	海流	水位	その他の条件	解析の タイプ	部分 安全率
1) 発電	1.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	NCM	MSL	RNA に対する 極値荷重の外 挿時	U	N (1.25)
	1.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS H_s 、 T_p 及び V_{hub} の結合確率 分布	MIS 及び MUL	水流なし	NWLR 又は MSL 以上		F	—
	1.3	ETM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	NCM	MSL		U	N
	1.4	ECD $V_{hub} = V_r - 2 \text{ m/s}$ 、 V_r 及び $V_r + 2 \text{ m/s}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	MIS 及び風向変化	NCM	MSL		U	N
	1.5	EWS $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	NCM	MSL		U	N
	1.6	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	SSS $H_s = H_{s,SSS}$	COD 及び UNI	NCM	NWLR		U	N
2) 発電中の 故障発生	2.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	NCM	MSL	制御システム の通常故障、電 力系統接続の 喪失又は第 1 階層の制御機	U	N

							能の故障		
	2.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	NCM	MSL	制御システム の異常な故障 又は第2階層 の制御機能の 故障	U	A
	2.3	EOG $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ 及び V_{out}	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	NCM	MSL	外部又は内部 の電気故障(電 力系統接続の 喪失を含む)	U	A
	2.4	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	水流なし	NWLR 又は MSL 以上	制御システム、 電気装置の故 障又は電力系 統接続の喪失	F	—
	2.5	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	NCM	MSL	電力系統故障 のライドスル ー	U	N
	2.6	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	SSS	MIS 及び MUL	NCM	NWLR	海象状態極限 防御システム の故障	U	A
3) 起動	3.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	水流なし	NWLR 又は MSL 以上		F	—

	3.2	EOG $V_{hub} = V_{in}$ 、 $V_r \pm 2 \text{ m/s}$ 及び V_{out}	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	NCM	MSL		U	N
	3.3	EDC $V_{hub} = V_{in}$ 、 $V_r \pm 2 \text{ m/s}$ 及び V_{out}	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	MIS 及び 風向変化	NCM	MSL		U	N
4) 通常停止	4.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	水流なし	NWLR 又は MSL 以上		F	—
	4.2	EOG $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ 及び V_{out}	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	NCM	MSL		U	N
	4.3	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	SSS 又は制御若しくは保護 システムの安全上の閾値と なる最も厳しい条件	MIS 及び MUL	NCM	MSL	最大運用海象 条件 (限界値)	U	N
5) 緊急停止	5.1	NTM $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ 及び V_{out}	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD 及び UNI	NCM	MSL		U	N
6) 待機中 (静止又は アイドリング)	6.1	EWM 乱流モデル $V_{hub} = V_{ref}$	ESS $H_s = H_{s50}$	MIS 及び MUL	ECM $U = U_{50}$	EWLR		U	N
	6.2	EWM 乱流モデル $V_{hub} = V_{ref}$	ESS $H_s = H_{s50}$	MIS 及び MUL	ECM $U = U_{50}$	EWLR	電力系統接続 の喪失	U	A
	6.3	EWM 乱流モデル $V_{hub} = V_1$	ESS $H_s = H_{s1}$	MIS 及び MUL	ECM $U = U_1$	NWLR	極値ヨーミス アライメント	U	N

	6.4	NTM $V_{hub} < 0.7V_{ref}$	NSS H_s 、 T_p 及び V_{hub} の結 合確率分布	COD 及び MUL	水流なし	NWLR 又は MSL 以上		F	—
7)待機中に 故障の発生	7.1	EWM $V_{hub} = V_1$	ESS $H_s = H_{s1}$	MIS 及び MUL	ECM $U = U_1$	NWLR		U	A
	7.2	NTM $V_{hub} < 0.7V_{ref}$	NSS H_s 、 T_p 及び V_{hub} の結 合確率分布	COD 及び MUL	水流なし	NWLR 又は MSL 以上		F	—
8)曳航、設 置及び保守	8.1	製造業者が規定						U	N
	8.2	EWM $V_{hub} = V_1$	ESS $H_s = H_{s1}$	COD 及び UNI	ECM $U = U_1$	NWLR		U	A
	8.3	NTM $V_{hub} < 0.7V_{ref}$	NSS H_s 、 T_p 及び V_{hub} の結 合確率分布	COD 及び MUL	水流なし	NWLR 又は MSL 以上	据付け期間中 に電力系統接 続なし	F	—
	8.4	製造業者が規定						F	—

(備考)

表 2-1 では、次の略語を用いている。

COD	同一方向 (第 2 編第 1 章 3-1. を参照)	DLC	設計荷重ケース
ECD	方向変化を伴う極値コヒーレントガスト (JIS C 1400-1 を参照)	ECM	極値水流モデル (第 2 編第 1 章 3-2-4. を参照)
EDC	極値方向変化 (JIS C 1400-1 を参照)	EOG	運転時の極値突風 (JIS C 1400-1 を参照)
ESS	極値海況 (第 2 編第 1 章 3-1-5. を参照)	ETM	極値乱流モデル
EWLR	極値水面範囲 (第 2 編第 1 章 3-3-2. を参照)	EWM	極値風速モデル (JIS C 1400-1 を参照)
EWS	極値ウィンドシア (JIS C 1400-1 を参照)	MIS	方向の不ぞろい (第 2 編第 1 章 3-1. を参照)

MSL	平均海水面（第2編第1章3-3.を参照）	MUL	多方向（第2編第1章3-1.を参照）
NCM	通常水流モデル（第2編第1章3-2-3.を参照）	NTM	通常乱流モデル（JIS C 1400-1を参照）
NWLR	通常水面範囲（第2編第1章3-3-1.を参照）	NWP	通常ウィンドプロファイルモデル（JIS C 1400-1を参照）
NSS	通常海況（第2編第1章3-1-1.を参照）	SSS	高波浪時海況（第2編第1章3-1-3.を参照）
UNI	単一方向（第2編第1章3-1.を参照）		
$V_r \pm 2 \text{ m/s}$	この範囲内のすべての風速に対する感度を解析すること。		
F	疲労	U	終局荷重
N	通常	A	異常

- (1) 表 2-1 に一つの風速範囲が示されている場合、浮体施設及びタワーの設計に対して最も厳しい条件になる風速を考慮しなければならない。風速範囲は、離散値の数値で表してもよい。この場合、分解能は計算精度を確保する十分なものでなければならない（一般に分解能は 2 m/s で十分とみなされる。）。設計荷重ケースの定義においては、第 1 章で定義した風条件及び海洋条件を参照しなければならない。
- (2) 一般に、平均風向の過渡的変化を伴う設計荷重ケース（DLC1.4 及び DLC3.3）及び待機中（静止又はアイドリング）設計条件の風力発電設備に対する設計荷重ケースを除くすべての設計荷重ケースにおいて、浮体施設及びタワーに作用する荷重の計算では、風及び波の方向は同一と仮定してよい。
- (3) 幾つかのケースにおいては、多方向からの風及び波は、浮体施設及びタワーに作用する荷重に重要な影響を及ぼすことがある。これは主に、浮体施設及びタワーがどの程度非軸対称であるかによって左右される。表 2-1 に示す設計荷重ケースの中には、風及び波が最悪のケースの一つの方向（単一方向）から作用すると仮定して荷重計算を実施してよいものもある。ただし、この場合、算出した最悪のケースの荷重を浮体施設及びタワーの該当方向に適用することによって、構造的健全性を実証しなければならない。
- (4) それぞれの設計荷重ケースについて考慮すべき平均又は極値ヨーミスアライメントは、JIS C 1400-1 の規格によるものとする。ヨーミスアライメントは、風力発電設備における主軸の風向に対する水平方向の偏差と定義される。

3-2. 発電(DLC1.1~DLC1.6)

- (1) この設計条件では、浮体式洋上風力発電施設は運転中であり電気負荷に接続されている。想定する風力発電設備の形状にはロータの不平衡を考慮しなければならない。また、ロータの製造上に規定されている質量及び空力不平衡（例えば、ブレードピッチ及びねじれの偏差）の最大値を設計計算に用いなければならない。
- (2) ヨーミスアライメント、制御装置のトラッキング誤差などの理論的な最適運転条件からの偏差も運転荷重の解析で考慮しなければならない。
- (3) DLC1.1 及び DLC1.2 は、浮体式洋上風力発電施設の設計寿命期間を通じて通常運転条件で発生する大気の流れ(NTM)及び確率論的な海況(NSS)から生じる荷重の要求事項を具体化したものである。
- (4) DLC1.2 では、各平均風速に対して該当する一つの有義波高値を考慮すればよい。ただし、設計の際には考慮する通常海況の個数及び分解能が気象海象パラメータの長期分布に関連した疲労荷重の計算に十分なものとしなければならない。それぞれの通常海況に対する有義波高、ピークスペクトル周期、波向及び水位を気象海象パラメータの長期結合確率分布をもとに、関連する平均風速とともに考慮しなければならない。
- (5) DLC1.2 では、通常海況条件(NSS)を想定する。それぞれの通常海況に対して有義波高、ピークスペクトル周期及び方向を設置サイトに該当する気象海象パラメータの長期の結合確率分布をもとに、関連する平均風速とともに選定しなければならない。設計の際は、考慮する通常海況の個数及び分解能が気象海洋パラメータの完全長期分布に関連した疲労荷重の計算に十分なものとしなければならない。
- (6) DLC1.3 は、極値乱流条件において生じる終局荷重の要求事項を具体化したものである。この設計荷重ケースに対しては通常海況条件(NSS)を想定し、それぞれの個別海況に対する有義波高は、該当する平均風速を条件とする有義波高の期待値としなければならない。
- (7) DLC1.4 及び DLC1.5 は、風力発電設備の耐用期間中に発生し得る重大危機的な事象となり得る過渡的なケースを規定している。これらの荷重ケースでは、通常海況条件(NSS)を想定し、それぞれの個別海況に対する有義波高は、該当する平均風速を条件とする有義波高の期待値としなければならない。
- (8) DLC1.4 では、過渡的な風向変化の前は、風及び波は同一方向であると仮定してよい。
- (9) DLC1.6 は、通常乱流(NTM)及び高波浪時海況条件(SSS)において生じる終局荷重の要求事項を具体化したものである。それぞれの個別海況に対する有義波高は、第1章3-1-2.に規定するとおり、該当する平均風速の有義波高の条件付き分布から計算しなければならない。

3-3. 発電中の故障発生（電力系統接続の喪失を含む。）(DLC2.1~DLC2.6)

- (1) この設計条件は、風力発電設備の発電中に故障又は電力系統接続の喪失が発生した

場合に引き起こされる過渡的な事象を扱うものである。風力発電設備の荷重に大きく影響する制御保護システムの故障又は電気システムの内部故障（例えば、発電機の短絡）を考慮しなければならない。

- (2) DLC2.1 では、制御機能関連の故障や電力系統接続の喪失の発生は通常事象として考慮しなければならない。また、独立した2階層からなる制御機能を有している場合は、第1階層の制御機能の故障及び電力系統接続の喪失の発生を通常事象として考慮する。第1階層の制御機能の故障には、一般的には、ロータ速度、ヨー角度、ブレードピッチに関するものが含まれる。
- (3) DLC2.2 では、保護機能、内部電気システムに関連した故障などのまれな事象を異常事象として考慮しなければならない。独立した2階層からなる制御機能を有している場合は、第2階層の制御機能の故障を異常事象として考慮する。第2階層の制御機能の故障には、一般的には、制動システムの不稼働、ピッチ制御システムの障害などが含まれる。
- (4) DLC2.3 では、重大な風事象である EOG を内部又は外部電気システム故障（電力系統接続の消失を含む）と組み合わせ、異常事象として考慮する。DLC2.3 では、最も厳しい荷重条件となるようにこれら二つの事象が発生するタイミングを選定しなければならない。故障又は電力系統接続の喪失がただちに風力発電施設の停止には至らず、それによる荷重が顕著な疲労損傷につながる可能性がある場合には、当該状態が継続すると考えられる時間及び通常乱流条件 (NTM) における疲労損傷を DLC2.4 にて評価しなければならない。
- (5) DLC2.5 では、電力系統故障のライドスルーに関する設計条件を考慮する。
- (6) DLC2.1～DLC2.5 では、通常海況条件 (NSS) を想定し、それぞれの個別海況に対する有義波高は、該当する平均風速を条件とする有義波高の期待値としなければならない。
- (7) 極値条件における風力発電施設の稼働停止の要因となり得る制御又は保護システムの故障については、DLC2.6 において異常事象として考慮する。

3-4. 起動 (DLC3.1～DLC3.3)

- (1) この設計条件は、静止状態又はアイドル状態から発電に至る過渡時に洋上風力発電設備に作用する荷重の要因となるすべての事象を含む。発生回数は、制御システムの挙動に基づいて推算しなければならない。
- (2) DLC3.1～DLC3.3 では、通常海況条件 (NSS) を想定し、それぞれの個別海況に対する有義波高は、該当する平均風速を条件とする有義波高の期待値としなければならない。
- (3) DLC3.3 では、過渡的な風向変化の前の状態では、風及び波は同一方向であると仮定してよい。

3-5. 通常停止 (DLC4.1・DLC4.2)

- (1) この設計条件は、発電状態から静止状態又はアイドリング状態に至る通常の過渡状態において、洋上風力発電設備に作用する荷重の要因となるすべての事象を含む。発生回数は、制御システムの挙動に基づいて推算しなければならない。
- (2) DLC4.1 及び DLC4.2 では、通常海況条件(NSS)を想定し、それぞれの個別海況に対する有義波高は、該当する平均風速を条件とする有義波高の期待値としなければならない。
- (3) DLC4.3 では、極値条件に対する制御又は保護システムの閾値を超えた際の風力発電設備の停止を通常事象として考慮する。

3-6. 緊急停止(DLC5.1)

- (1) 緊急停止によって生じる荷重を考慮しなければならない。
- (2) DLC5.1 では、通常海況条件(NSS)を想定し、それぞれの個別海況に対する有義波高は、該当する平均風速を条件とする有義波高の期待値としなければならない。

3-7. 待機状態(静止又はアイドリング)(DLC6.1~DLC6.4)

- (1) この設計条件では、待機状態の風力発電設備のロータは静止状態又はアイドリング状態のいずれかである。DLC6.1~DLC6.3 の解析によってこの条件の終局荷重を求めなければならない。また、DLC6.4 は疲労荷重に関するものである。
- (2) DLC6.1 及び DLC6.2 では、極値風条件と極値波条件との組合せは、全体的な極値環境が再現期間 50 年となるようなものでなければならない。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 分間平均極値風速が発生すると仮定する。DLC6.3 では、再現期間 1 年の極値海況及び 10 分間平均極値風速の組合せについて同じ仮定を適用する。
- (3) DLC 6.1~DLC6.3 は、乱流流入風及び確率論的な海況のシミュレーション又は定常風モデルを決定論的な設計波と組み合わせて処理することで解析することができる。これらの 2 種類のアプローチに基づく、DLC6.1~DLC6.3 の補助的な荷重ケースは、表 2-1 に定義する。風条件が EWM によって定義される設計荷重ケースでは、定常極値風モデル又は乱流極値風モデルのいずれかを表 2-1 のとおり用いなければならない。定常極値風モデルを用いる場合は、IEC 61400-3-1 の規格に示されるように、これを決定論的な設計波と組み合わせ、動的応答に対する適切な補正を行って準定常解析から応答を推算しなければならない。
- (4) DLC6.1~DLC6.3 では、風向及び波向の角度偏差を考慮して浮体施設及びタワーに作用する荷重を計算しなければならない。風向及び波向についてサイト固有の適切な測定値が利用できる場合は、これを用いてこれらの設計荷重ケースの極値風条件と極値波条件との組合せについて方向の角度偏差の範囲を導き出さなければならない。荷重計算は、この範囲内で浮体施設及びタワーに作用する荷重が最大となるような角度偏

差を基準としなければならない。サイト固有の適切な風向及び波向のデータがない場合は、浮体に作用する荷重が最大となる角度偏差を考慮しなければならない。この角度偏差が 30° を超える場合、それを発生させた風向変化に関連した期間は海況の厳しさが減衰するため、極値波高を低下させることができる。極値波高の低下分は、吹走距離、その他の該当するサイト固有の条件を考慮して計算しなければならない。

- (5) 前(4)に関し、極値風条件及び極値波条件は、最初は同一方向と仮定してよい。風力発電設備サイトに暴風が吹き付けると、風向が変化して波向との角度偏差が生じる可能性がある。この間は、風向変化の大きさを考えた場合、波の状態の厳しさは緩和される。
- (6) 特性荷重の発生時に、風力発電設備のヨーシステムにすべりが発生する可能性がある場合、平均ヨーミスアライメントに対して考えられる最も好ましくないすべりを加味しなければならない。極値風条件でヨー運動が予測される(例えば、フリーヨー、パッシブヨー及び準フリーヨー)ヨーシステムをもつ場合には、乱流風モデルを用いなければならない。このとき、ヨーミスアライメントは、乱流風向変化及び風力発電設備の動的ヨー応答に依存する。また、通常運転から極値条件まで風速が増大するときに、風力発電設備が大きなヨー運動又は平衡状態の変化にさらされる場合は、この挙動を解析に含めなければならない。
- (7) DLC6.1において、アクティブなヨー制御を行う洋上風力発電設備の場合、定常極値風モデルにおいては $\pm 15^\circ$ 又は乱流極値風モデルにおいては $\pm 8^\circ$ の平均ヨーミスアライメントを想定しなければならない。ただし、ヨー装置のすべりが無いことを保証できることが前提である。
- (8) DLC6.1では、乱流極値風モデルを極値海況条件(ESS)と合わせて採用しなければならない。応答計算には、極値風速と極値海況との各組合せに対して、少なくとも(実時間1時間 \times 6回)の完全動的シミュレーションを用いなければならない。この場合、ハブ高さの平均風速、乱流標準偏差及び有義波高をそれぞれ1時間シミュレーション時間に対する50年再現値としなければならない。50年再現平均風速の1時間値は、6回の10分間平均から求めることができる。
- (9) DLC6.2では、極値風条件を含む暴風の初期段階における電力系統喪失を想定しなければならない。制御・ヨー装置用として風力発電設備を6時間運転できる電力バックアップが備わっていない限り、最大 $\pm 180^\circ$ の風向変化の影響を解析しなければならない。
- (10) DLC6.2では、乱流極値風モデルを極値海況条件(ESS)と合わせて採用し、ハブ高さ平均風速及び有義波高は50年再現値とする。極値応答の推算には、上記のDLC6.1と同じ方法を用いる。
- (11) DLC6.3では、再現期間1年の極値風を極値ヨーミスアライメントと組み合わせる。定常極値風モデルにおいてはヨーミスアライメント $\pm 30^\circ$ 、又は乱流極値風モデルに

においては平均ヨーミスアライメント $\pm 20^\circ$ を仮定する。

- (12) DLC6.3では、乱流極値風モデルを極値海況条件(ESS)と合わせて採用する。この場合、ハブ高さ平均風速及び有義波高は1年再現値とする。極値応答の推算には、上記のDLC6.1と同じ方法を用いる。
- (13) DLC6.4では、任意の部材に対して大きな疲労荷重が発生する可能性がある場合(アイドリング状態のブレードの質量などによる)、各風速に対する変動荷重時の非発電時間の予測時間を考慮しなければならない。特に、波の励振及び静止状態又はアイドリング状態のロータからの空力減衰の影響を受けた浮体施設及びタワーの共振荷重を考慮に入れなければならない。海の状態は、通常海況条件(NSS)を想定しなければならない。各通常海況に対する有義波高、ピークスペクトル周期及び波向を関連する平均風速と合わせて選定する。選定は、設置予定のサイトに該当する気象海洋パラメータの長期結合確率分布を基準とする。設計者は、考慮する通常海況の数及び分解能を十分なものとする。ことで、気象海洋パラメータの最大限の長期分布による疲労損傷を明らかにしなければならない。

3-8. 待機中に故障が発生した場合(DLC7.1・DLC7.2)

- (1) 待機中の風力発電設備の挙動が電力系統又は風力発電設備の故障によって通常挙動から逸脱することについて、解析が必要である。電力系統喪失時以外の故障によって待機状態の風力発電設備の通常挙動から逸脱した場合は、起こり得る事態を特に解析の対象としなければならない。
- (2) ヨー装置の故障の場合は、ヨーミスアライメント $\pm 180^\circ$ を考慮しなければならない。それ以外の故障に対しては、ヨーミスアライメントはDLC6.1に一致していなければならない。
- (3) DLC7.1では、故障条件と極値風条件及び極値波条件との組合せは、全体的な極値環境が再現期間1年とならなければならない。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は、再現期間1年の極値海況において再現期間1年の10分間平均極値風速が発生すると仮定する
- (4) DLC7.1は、乱流流入風及び確率論的な海況のシミュレーションによって又は定常風モデルを決定論的な設計波と組み合わせて処理することで解析することができる。これらの2種類の方法に基づく、DLC7.1の補助的な荷重ケースは、表2-1に定義される。風条件がEWMによって定義される設計荷重ケースでは、定常極値風モデル又は乱流極値風モデルのいずれかを表2-1のとおり用いなければならない。定常極値風モデルを用いる場合は、IEC 61400-3-1の規格を参照し、これを決定論的設計波と組み合わせ、動的応答に対する適切な補正を行って準定常解析から応答を推算しなければならない。
- (5) DLC7.1では、風向と波向との角度偏差を考慮して浮体施設及びタワーに作用する荷重を計算しなければならない。風向及び波向のサイト固有の適切な測定値が利用できる

る場合は、これを用いてこれらの設計荷重ケースの極値風向と極値波向との組合せについて方向の角度偏差範囲を導出しなければならない。荷重計算は、この範囲内で浮体施設及びタワーに作用する荷重が最大となるような角度偏差の値を基準としなければならない。サイト固有の適切な風向及び波向のデータが存在しない場合は、浮体施設及びタワーに作用する荷重が最大となる角度偏差を考慮しなければならない。この角度偏差が 30° を超える場合、偏差を発生させた風向変化に関連した期間は海況の厳しさが減衰するため、極値波高を低減させることができる。極値波高の低減分は、水深、吹走距離、その他の該当するサイト固有の条件を考慮して計算しなければならない。

- (6) DLC7.1 にみられる特性荷重においてヨー装置にすべりが発生する可能性がある場合は、考えられる最も好ましくないすべりを考慮しなければならない。
- (7) DLC7.1 では、乱流極値風モデルを極値海況条件(ESS)と合わせて採用する。極値応答の推算は、上記のDLC6.1と同じ方法で行わなければならない。
- (8) DLC7.2 では、任意の部材に対して重大な疲労荷重が発生する可能性がある場合、各風速及び海況に対して電力系統又は風力発電設備の故障による非発電時間の予測時間を考慮しなければならない。特に、波により励振され、及び静止状態又はアイドリング状態のロータからの空力減衰の影響を受けた浮体施設及びタワーの共振荷重を考慮に入れなければならない。海の状態は、通常海況条件(NSS)を想定しなければならない。各通常海況に対する有義波高、ピークスペクトル周期及び波向に関連する平均風速と合わせて選定しなければならない。選定は、設置予定のサイトに該当する気象海洋パラメータの長期結合確率分布を基準とする。設計者は、考慮する通常海況の数及び分解能を十分なものとする事で、気象海洋パラメータの最大限の長期分布による疲労損傷を明らかにしなければならない。

3-9. 曳航、設置、保守及び修理(DLC8.1~DLC8.4)

- (1) DLC8.1~DLC8.4では、浮体式洋上風力発電施設の曳航、設置、アクセス、保守及び修理で想定されるすべての風条件、海洋条件及び設計条件を考慮しなければならない。考慮すべき最大限の風条件及び海洋条件が風力発電設備に対する重大な荷重を発生させ得る場合は、これらの条件を設計において考慮しなければならない。製造業者は、記載した条件と設計で考慮する風条件及び海洋条件との間には十分なマージンを与え、許容し得る安全レベルを確保しなければならない。
- (2) 洋上風力発電設備の曳航、設置、アクセス、保守及び修理時に発生する荷重は、次のものを考慮に入れなければならない。
 - ・ 工具及び移動型機器の重量
 - ・ クレーン操作による荷重
 - ・ 作業船による係留荷重及び防舷荷重
 - ・ 必要に応じ、ヘリコプタ作業に関連した荷重

- ・ 必要に応じ、渦励振など曳航中に生じる荷重
- (3) 浮体施設の接舷箇所は、作業船の接舷による衝撃を考慮しなければならない。
 - (4) 設計条件、作業船の最大寸法及び作業船が浮体施設に接舷する場合の限界外部条件を設計の際考慮しなければならない。また、浮体施設に接触する作業船に 0.5 m/s の速度で接触する以上の衝撃を考慮しなければならない。このとき付加質量係数は、作業船が横向きに衝突する場合は 1.4、船首又は船尾で衝突する場合は 1.1 とする。この場合、衝撃に関連した全運動エネルギーがフェンダー等の防舷設備によって吸収されるものと仮定する。作業船の接岸が可能な最大風条件及び最大海洋条件による荷重を作業船の衝撃による荷重と組み合わせなければならない。
 - (5) 浮体施設が吸収するエネルギーは、作業船の衝撃を与える部分の剛性と比較して浮体施設の剛性がどの程度であるかに依存する。作業船による衝撃の次に重要となるのは、衝撃荷重によって浮体施設になんらかの損傷が発生しないかどうかを調べることである。そのうえで、浮体施設の所定の耐荷力を維持するために修理が必要な場合、その内容を特定しなければならない。
 - (6) 設計の際に作業船に関する情報がない場合、衝撃荷重は、5 MN の水平荷重を適用して求めることができる。この荷重は、動的増幅を含めて考慮しなければならない。衝突部分の垂直範囲は、作業船の喫水、作業船の接岸が可能な最大波高及び最大潮汐を考慮して評価しなければならない。局部圧力の計算では、垂直方向は 2 m の範囲を想定すればよい。
 - (7) ヘリコプタ作業による浮体式洋上風力発電施設の荷重は、該当時だけ考慮する。設計条件、ヘリコプタの最大寸法及びヘリコプタが浮体式洋上風力発電施設に接岸できる限界外部条件を荷重計算にて考慮しなければならない。

3-10. 海氷設計荷重ケース

海氷が発生すると予測されるサイトに設置する洋上風力発電設備では、浮体施設の設計において表 2-1 の荷重ケースとともに表 2-2 に示す荷重ケースも考慮しなければならない。海氷設計荷重ケース D1 から D8 については、IEC 61400-3-1 の規格を参照すること。

表 2-2 海氷の設計荷重ケース

設計条件	DLC	海氷条件	風条件	水位	解析のタイプ	部分安全率
発電	D1	温度変動による水平荷重	NTM $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ 及び V_{out} 最大スラストとなる風速	NWLR	U	N
	D2	温度変動又はアーチ効果による水平荷重	NTM $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ 及び V_{out}	NWLR	U	N

		最大スラストとなる風速				
	D3 極値事 象の外 挿	該当速度の移動氷盤による水平荷 重 $h=h_{50}$ 又は移動氷盤よりも大きな値	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NWLR	U	N
	D4	該当速度の移動氷盤による水平荷 重 $h=h_{50}$ in open sea (外洋) $h=h_m$ for land-locked waters (湖)	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NWLR	F	—
	D5	水位変動による結氷板の垂直荷重	風荷重は適用しない	NWLR	U	N
待機状態	D6	氷丘氷及び氷稜による圧力	EWM 乱流風モデル $V_{hub} = V_1$	NWLR	U	N
	D7	該当速度の移動氷盤による水平荷 重 $h=h_{50}$ in open sea (外洋) $h=h_m$ for land-locked waters (湖)	NTM $V_{hub} < 0.7 V_{ref}$	NWLR	F	—
	D8	該当速度の移動氷盤による水平荷 重 $h=h_{50}$ 又は移動氷盤よりも大きな値	EWM 乱流風モデル $V_{hub} = V_1$	NWLR	U	N

(備考)

表 2-2 では、次の略語を用いている。

- DLC 設計荷重ケース
EWM 極値風速モデル(JIS C 1400-1 を参照)
NTM 通常乱流モデル(JIS C 1400-1 を参照)
NWLR 通常水面範囲 (第 2 編第 1 章 3-3-1. を参照)
F 疲労
U 終局強度
N 通常

4. 荷重計算

- (1) 荷重計算は該当する外部条件の組み合わせ適切に考慮した方法により実施すること。
- (2) 2. において規定する荷重をそれぞれの設計荷重ケースで考慮に入れなければならない。また、該当する場合は、次の内容も合わせて考慮に入れなければならない。
 - ・ 構造力学及び振動モードのカップリング。
 - ・ 海洋付着生物の重量が浮体施設の固有振動数及び動的荷重に及ぼす影響。
 - ・ 風車の空力荷重と流体学的（動水圧）荷重との組合せに対する動的応答。
- (3) 空力荷重、水力荷重及び海氷荷重の計算においては、適切な方法を用いて実施すること。なお、管海官庁が適当と認める場合においては、模型試験によって設計荷重を算定しても差し支えない。
- (4) 疲労荷重計算用の荷重ケースを定義するのに用いる気象海洋パラメータ（有義波高、ピークスペクトル周期及び平均風速）の分解能は、気象海洋パラメータの最大限の長期分布と関連した疲労損傷を明らかにするのに十分なものとしなければならない。

第3節 構造設計

1. 一般的事項

- (1) 浮体施設及びタワーの設計寿命は、搭載する風力発電設備の設計仕様上の年数又は20年のいずれか大きい方の値とすること。
- (2) 浮体施設及びタワーの荷重を受ける部材が健全であることを検証し、許容水準の安全性を確認すること。
- (3) 構造部材の強度については、計算及び試験又はそのいずれかによって検証し、適切な安全水準の構造的健全性を立証しなければならない。なお、強度検証試験の荷重レベルについては、本節で規定する特性荷重に適した安全率に対応しなければならない。
- (4) 設計方法として、設計計算の代わりにモデル試験及び試作機試験によって構造設計を行っても差し支えない。この場合、それらについて詳しく記した資料を添えて管海官庁に提出すること。
- (5) 構造部材は、その部材の形状、寸法、周囲条件等を考慮して、座屈に対し十分な強度を有するものでなければならない。
- (6) 繰り返し応力を受ける部材は、繰り返し応力の大きさ、繰り返し数、部材の形状等を考慮し、疲労に対し十分な強度を有するものでなければならない。
- (7) 部材に存在する切欠部又は構造の不連続部に対しては応力集中についても適切に考慮すること。
- (8) 氷水域に設置する浮体施設にあつては、管海官庁の指示によること。
- (9) ムーンプールやターレット係留装置等の大きな開口を設ける場合は、必要に応じて補強し、強度の連続性について留意しなければならない。
- (10) 地震及び津波に対して、浮体式洋上風力発電施設が崩壊及び漂流に至らないようにしなければならない。

2. 構造配置

- (1) 浮体施設については、十分な乾舷を有す構造であるとともに、水密甲板又は隔壁等により区画割りされなければならない。
- (2) 船体外部及び内部の開口については、その箇所に応じ管海官庁が適当と認める閉鎖装置を備え付けなければならない。
- (3) タンクの大きさは、タンク内液体が浮体施設の縦揺れ又は横揺れに同調して動揺することのないようなものとするか、タンク内に制水隔壁を設けなければならない。ただし、タンク内液体の動揺による荷重に対し、タンク内構造部材が十分な強度を有する場合はこの限りでない。

3. 全体強度解析

(1) 以下に規定する部分安全率を用いて荷重及び材料の不確かさとばらつき、解析方法の不確かさ及び破壊が発生した場合の構造部材の重要性を考慮すること。

(a) 部分安全率の形式

構造物又は構造部材の安全性は、設計荷重効果 S_d が設計耐力 R_d を超えない場合に満足なレベルであるとみなされる。

$$S_d \leq R_d$$

これは設計基準であり設計不等式とも言われる。対応する等式 $S_d = R_d$ は、設計等式である。

(i) 設計荷重効果

設計荷重効果 S_{di} の設定は、次の何れかの方法によること。

(イ) 設計荷重効果 S_{di} は、特性荷重効果 S_{ki} に所定の荷重係数 γ_f を乗じて求める。

$$S_{di} = \gamma_f S_{ki}$$

ここで、

S_{ki} : 特性荷重効果

(ロ) 設計荷重効果 S_{di} は、設計荷重 F_{di} の構造解析から求める。このとき、設計荷重 F_{di} は、特性荷重 F_{ki} に所定の荷重係数 γ_f を乗じて求める。

$$F_{di} = \gamma_f F_{ki}$$

ここで、

F_{ki} : 特性荷重

動的応答を正しく表現することが最大の関心であるとき、一般には方法 1 を用いて設計荷重効果を求める。一方、方法 2 は材料の非線形挙動、形状の非線形性又はその両方を正しく表現することが最大の関心である場合に用いられる。

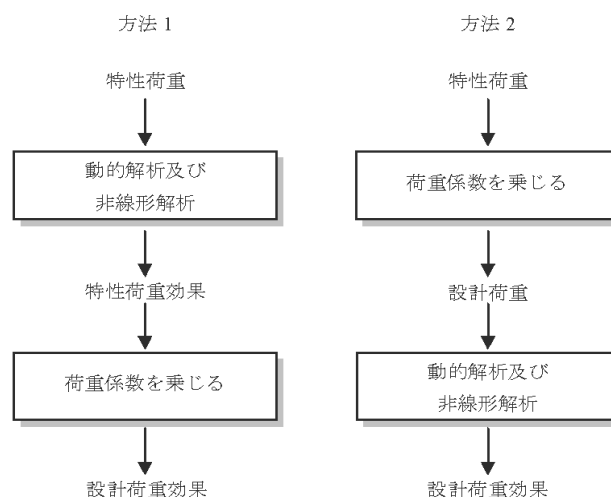


図 2-1 設計荷重効果の 2 種類の計算方法

(ii) 設計耐力

特定の構造部材の設計耐力 R_d は、次の何れかの方法によること。

(イ) 特性材料強度から設計耐力を求める。

$$R_d = R \left(\frac{1}{\gamma_m} f_k \right)$$

ここで、

γ_m : 材料強度に対する部分安全率

f_k : 材料強度の特性値

(ロ) 特定の構造部品の特性耐力から設計耐力を求める。

$$R_d = \frac{1}{\gamma_m} R_k$$

ここで、

γ_m : 材料強度に対する部分安全率

R_k : 部品耐力の特性値

(2) 全体強度

全体強度においては、終極荷重ケース及び関連の荷重安全率を浮体施設及びタワーの設計に用いなければならない。また、原則として、表 2-1 及び表 2-2 において規定する荷重ケースごとに、設計基準を検証すること。

(a) 荷重に対する部分安全率については、少なくとも以下に規定された値であること。

表 2-3 荷重に対する部分安全率 γ_f

好ましくない荷重 ^{a)}		好ましい ^{b)} 荷重
設計条件のタイプ (前節において規定する設計荷重を参照)		すべての設計条件
通常 (N)	異常 (A)	
1.35	1.1	0.9

注^{a)} 重力荷重が好ましくない荷重とみなされる場合、重力荷重の部分安全率は 1.0 とする。

注^{b)} 全体的な荷重応答を大幅に軽減する初期張力及び重力荷重は好ましい荷重とみなされる。

ただし、曳航、設置、保守及び修理の荷重ケースにおいて、DLC8.1~8.4 に代えて製造業者が輸送及び建造を一括して規定する場合には、設計荷重に対する部分安全率は 1.5 とする。

(b) 耐力及び材料に対する部分安全率

浮体施設及びタワーの設計耐力は、ISO の海洋構造物設計基準又はその他の一般に認められた海洋設計基準に従って求めなければならない。また、浮体施設及びタワーの材料強度の特性値には、材料の規格降伏強度を用いること。なお、タワーの設計耐力については、JIS C 1400-1 の規格によっても差し支えない。

(3) 特殊部分安全率

荷重の大きさが測定又は結果が通常レベルの信頼性より高いことが測定によって裏付けられた解析によってあらかじめ設定されている場合には、荷重に対して低めの部分安全率を用いることができる。

4. 構造部材の寸法

浮体施設及びタワーの主要構造部材で全体強度に寄与するものは、3. の規定によって部材寸法を決定しなければならないが、以下の規定によっても差し支えない。なお、局部荷重のみを受ける主要部材について、管海官庁が認めた場合においては、別の方法等により適宜緩和できるものとする。

(1) 浮体施設の構造板厚

浮体施設の外板等全体強度に寄与する主要構造のパネルで分布荷重を受ける板の厚さは、次の2つの算式による値のうち、大きい方のもの以上とする。

$$75.2S\sqrt{h_s/K_e} + C \quad (mm)$$

$$60.8S\sqrt{h_c/K_p} + C \quad (mm)$$

S : 横又は縦肋骨の心距 (m)

h_s : 静荷重状態における水頭 (m)

h_c : 組合せ荷重状態における水頭 (m)。なお、組合せ荷重状態とは、静荷重及び風荷重、波荷重、運転荷重等の全体強度に影響を及ぼす動的荷重並びにこれらの荷重により生じる浮体施設の運動加速度及び傾斜により生じる荷重との組合せ荷重を受けている状態をいう。

K_e : 次の2つの算式による値のうち小さい方

$$K_e = (235 - K\sigma_{s1}) / K$$

$$K_e = 1.45(235 - K\sigma_{s2}) / K$$

K_p : 次による。

・ $\sigma_{c1}\sigma_{c2} > 0$ の場合、次の2つの算式による値のうち小さい方

$$K_p = (55225 - K^2\sigma_{c1}^2) / (235K)$$

$$K_p = 2(235 - K|\sigma_{c2}|) / K$$

・ $\sigma_{c1}\sigma_{c2} < 0$ の場合、次の2つの算式による値のうち小さい方

$$K_p = (55225 - K^2 \sigma_{c1}^2) / (235K)$$

$$K_p = 2(235 - K|\sigma_{c1}| - K|\sigma_{c2}|) / K$$

$\sigma_{s1}\sigma_{s2}$: 静荷重状態でパネルに働く軸応力 (N/mm²) で、図 2-2 による。

$\sigma_{c1}\sigma_{c2}$: 組合せ荷重状態でパネルに働く軸応力 (N/mm²) で、図 2-2 による。

K : 材料による係数で、管海官庁が指定するもの。

C : 5. の規定による腐食予備厚 (mm)

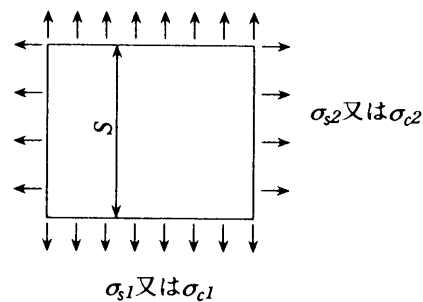


図 2-2 軸応力 σ_{s1} , σ_{s2} , σ_{c1} , 及び σ_{c2}

(2) 浮体施設の横肋骨又は縦肋骨の断面係数

(1)において規定するパネルを支持する横肋骨又は縦肋骨の断面係数は、次の算式による。

$$\frac{1079 CKSh_c \ell^2}{235 - K\sigma_{c0}} \quad (cm^3)$$

C : 端部の支持係数で、両端固定の場合 1.0、両端支持の場合 1.5 とする。

ℓ : 肋骨の支点間距離 (m)

σ_{c0} : 組合せ荷重状態における軸力 (N/mm²)

S , h_c 及び K は、5. の規定による。

(3) 浮体施設の円筒型外殻部材の局部座屈

軸圧縮力又は曲げによる圧縮力を受けているタワー部の船殻部材であって、防撓されていないか又は円周方向にのみ防撓されており、次式を満足していない場合は、局部座屈についても考慮しなければならない。

$$t > 0.044 D \sigma_Y \quad (mm)$$

t : 板厚 (mm)

D : 円筒型船殻部材の直径 (m)

σ_Y :材料の規格降伏応力 (N/mm²)

5. 疲労強度

(1) 一般的事項

- (a) 繰り返し応力を受ける部材は、繰り返し応力の大きさ、繰り返し数、平均応力、部材の形状等を考慮し、疲労に対し十分な強度を有するものでなければならない。
- (b) 疲労強度解析は浮体施設及びタワーの設計において考慮される設置海域に基づいて行わなければならない。
- (c) 疲労設計寿命は、浮体施設及びタワーの設計寿命又は 20 年のいずれか大きい方の値以上としなければならない。
- (d) 疲労強度解析が要求される表 2-1 及び表 2-2 の荷重ケースごとに、設計基準を検証しなければならない。

(2) 疲労強度評価

- (a) 有害な疲労き裂の発生のおそれのある応力集中部、係留装置からの反力を受ける箇所のほか、管海官庁が必要と認める板部材同士の結合部について、疲労強度を評価しなければならない。
- (b) 疲労強度を検討する際は、あらゆる種類の繰り返し荷重を考慮することを原則とする。
- (c) 疲労強度を検討する際は、検査のために個々の構造部材に近づきやすいかどうかにも考慮すること。
- (d) 疲労強度評価は、線形被害則に基づく累積疲労被害度により評価すること
- (e) タワーの設計耐力については、JIS C 1400-1 の規格によっても差し支えない。

(3) 疲労強度改善に関わる措置

- (a) 腐食環境下にある疲労強度上問題となる部分に対しては、電気防食等により腐食の防止のための措置を講ずること。

6. 防しよく措置及び腐食予備厚

- (1) 浮体施設及びタワーの防食措置については、船舶構造規則に規定する防しよくに関する措置を講ずるとともに、浮体施設及びタワーの想定供用期間、保守方法、腐食環境等を考慮した適切な腐食対策を講じなければならない。
- (2) 構造部材が曝される腐食環境に応じた適切な腐食予備厚を有すること。

第3章 位置保持システム

1. 一般的事項

浮体施設には、本章に定める事項又は ISO 19901-7 の規格を満足する位置保持システムを備えなければならない。

2. 係留システム

- (1) 係留システムは、計画されたすべての運転条件に対して浮体施設を所定の位置に保持するために十分な能力を有し、かつ、海底の設備に対して安全なものでなければならない。
- (2) 低温、凍結、着氷などが想定される海域に設置される浮体施設の係留システムにあつては、それらの影響を考慮したものとするか、適切な保護対策を施さなければならない。
- (3) 係留システムの設計においては、下記に掲げる状態を含み、想定されるあらゆる係留状態を検討すること。
 - (a) 非損傷状態
浮体施設及び係留システムのすべての構成要素が正常である状態。
 - (b) 単一係留ライン破断状態
浮体施設は非損傷状態で、係留ラインの1本が破断したと仮定したときに係留ラインの張力が最大となる状態。非損傷状態において最大張力が発生するラインの破断を仮定することが必ずしも最も過酷な状態になるとは限らないため、リードライン破断、あるいは隣接するラインの破断等様々なケースに対して解析を行い、最も過酷な状態について特定された状態を示す。
 - (c) 単一係留ライン破断時の過渡状態
係留ラインの1本が破断（原則リードラインとする）し、浮体施設が過渡的な運動の後、残った係留ラインにより浮体施設が定常な状態に達するまでの状態。
 - (d) 浮体施設の損傷状態
浮体施設が第5章4. 損傷時復原性に規定する損傷を仮定した状態で、係留システムのすべての構成要素が正常である状態。
- (4) 単一ライン破断時の過渡状態の解析にあつては、浮体施設のオーバシュート等により係留ラインの張力増加等の影響について検討すること。また、浮体施設周辺の施設との間隔についても評価すること。
- (5) Single Anchor Leg Mooring (SALM) に対しては単一係留ライン破断に代えて SALM の単一区画損傷による浮力損失に対して解析を行うこと。
- (6) 係留システムにスラストによる支援を含む場合の係留解析については管海官庁の適当と認めるところによる。

3. 係留解析

- (1) 係留解析は第1章に規定する外部条件に基づいて行うこと。解析にはこの外部条件から生じる漂流力及び浮体施設の応答、並びにそれらに対応するラインの張力を評価することを含むものでなければならない。
- (2) 係留システムは想定されるすべての係留状態に対して管海官庁が適当と認める係留解析を行わなければならない。この場合、浮体施設の喫水変化の影響についても考慮すること。また、浮体施設から独立した別個の CALM ブイ等の係留施設に係留する場合はこれらの係留施設も含めた全体系として係留解析を実施すること。
- (3) 係留ラインを用いる係留システムにあつては、フェアリーダ等浮体施設に取付けられる係留機器と係留ラインが接触する箇所において、係留ラインに過大な曲げが生じないような構造及び配置であることを前提に、係留解析を実施する。
- (4) 浮体施設の係留システム及び係留施設の海底固定点（アンカー、シンカー、パイル等）は、想定される係留ラインからの張力等によって滑り、持ち上がり及び転倒しないものでなければならない。洗掘による影響が無視できない場合は海底固定点の埋設代を調整するか、又は海底固定点付近の流れを制御する等の措置を講じる必要がある。
- (5) 係留解析を行う際には、係留システムを構成する機器類に対して、風力、潮力、及び波漂流力の定常成分並びに風及び波による動的荷重が作用するものとして実施すること。この場合、荷重は全方向から来るものと仮定し、係留システムを構成する機器類に作用する荷重が最大となる状態について解析しなければならない。ただし、浮体施設が設置される海域のデータ等に基づき方向性が特定できる場合であつて、当該海域に固有の方向性に基づく検討を行った場合については、荷重の方向の特定については認める場合がある。
- (6) 解析の対象に応じて準静的解析又は管海官庁が適当と認める動的解析を行い、浮体施設の最大変位量及び最大ライン張力を計算すること。
- (7) 環境における平均荷重等
 - (a) 風及び潮流による定常的な力の計算は第1章及び第2章第2節の定めるところによる。ただし、風速の算出にあつては、1分間平均の風速を用いること。風速のデータが1分間の平均風速で与えられていない場合は、データから適当なスペクトルを求め、統計的手法を用いて1分間の風速を換算すること。
 - (b) 定常波漂流力及び変動波漂流力は模型試験あるいは模型試験結果等により実証済みの流体力学的な数値計算プログラムを用いて決定すること。なお、定常波漂流力については、管海官庁が適当と認める規格により決定しても差し支えない。
- (8) 最大変位量
 - (a) 最大変位量とは、風、潮流及び波による外力のうち定常成分による変位量（定常変位）並びに波による外力のうち変動成分（長周期成分及び短周期成分）による運動変位を加えたものとする。

- (b) 最大変位量は、管海官庁が適当と認める模型試験又は解析手法により算定された定常変位と最大変位の有義振幅あるいは最大振幅を使用して以下の算式により算定すること。ただし、時刻歴運動解析により算出する方法を用いても差し支えない。

$$S_{\max} = S_{\text{mean}} + S_{\text{lf}(\max)} + S_{\text{wf}(\text{sig})} \text{ 又は } S_{\max} = S_{\text{mean}} + S_{\text{lf}(\text{sig})} + S_{\text{wf}(\max)} \text{ の大なる方。}$$

ここで、

S_{mean} : 風、潮流及び定常漂流力による浮体施設の定常変位量

$S_{\text{lf}(\text{sig})}$: 長周期動揺による変位の有義振幅

$S_{\text{wf}(\text{sig})}$: 有意な波周期と同じ周期の動揺による変位の有義振幅

なお、長周期動揺の最大振幅 $S_{\text{lf}(\max)}$ 及び波周期と同じ周期の動揺の最大振幅 $S_{\text{wf}(\max)}$ は、それぞれに対応する有義振幅に係数 C を乗じて計算しても差し支えない。この場合、係数 C は次による。

$$C = 1/2 \cdot \sqrt{2 \ln N}$$

$$N = \frac{T}{T_a}$$

T : 荒天状態として想定される持続時間 (秒) とし、10,800 秒 (3 時間) を最小とする。ただし、台風の来襲する海域等にあつては T を大きく取る必要がある。

T_a : ゼロアップクロス周期の平均値 (秒)

長周期成分に対しては、 T_a は係留システムを有する浮体施設の固有周期 T_n として差し支えない。 T_n は浮体施設の質量 m (付加質量等を含む)、及び浮体施設の水平面内の動揺 (左右揺れ、前後揺れ、回転揺れ) に対する係留システムの剛性 k により次のように計算することができる。

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

この場合、係留システムの剛性、減衰力等、長周期動揺の最大振幅に関するパラメータを参考資料として管海官庁に提出しなければならない。

(9) 張力計算等

- (a) 係留ラインの最大張力の計算にあたっては、各係留ラインにとって風、波及び潮流の最も厳しい組合せ (一般にすべてが同一の方向) を考慮し、十分な数の入射角の組合せを考慮する必要がある。特定の海域においては、より高い張力を引き起こすおそれのある互いに異なる方向の風、波及び潮流の組合せを必要に応じて考慮すること。
- (b) 係留ラインの張力の計算には、少なくとも以下掲げる項目を考慮しなければならない。この解析手法を準静的解析といい、係留ラインに働く張力の計算方法はこの準

静的解析手法を標準とする。準静的解析手法により計算された係留ラインの最大張力は、係留ラインの規格切断荷重に対して表 3-1 に掲げる安全率を有することを原則とする。

- (i) 係留ラインの自重及び浮力による係留ラインの静的張力
- (ii) 風、波、及び潮流による浮体施設の定常的な水平方向の変位による係留ラインの定常的な張力
- (iii) 波による浮体施設の運動による係留ラインの準静的な変動張力

表 3-1 係留ラインの安全率

状態	安全率	
	チェーン及びワイヤロープ	合成繊維ロープ
非損傷時		
動的解析を行う場合	1.67	2.50
準静的解析を行う場合	2.00	3.00
単一索破断状態（破断後の平衡状態）		
動的解析を行う場合	1.25	1.88
準静的解析を行う場合	1.43	2.15
単一索破断時の過渡状態		
動的解析を行う場合	1.05	1.58
準静的解析を行う場合	1.18	1.77

- (c) 係留ラインの最大張力 T_{max} は、次式により算出することを標準とする。なお、時刻歴運動解析により算出しても差し支えない。

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lf(max)} + T_{wf(sig)} \text{ 又は } T_{max} = T_{mean} + T_{lf(sig)} + T_{wf(max)} \text{ の大なる方。}$$

T_{mean} : 風、潮流及び波漂流力の定常成分による係留ラインの定常張力

$T_{lf(sig)}$: 長周期変動成分の張力の有義振幅

$T_{wf(sig)}$: 波の周期と同じ周期の変動成分の張力の有義振幅

長周期変動成分の最大張力 $T_{lf(max)}$ 及び波の周期と同じ周期の変動成分の最大張力 $T_{wf(max)}$ は、(8) に示す長周期運動及び波周期運動を算定する際の手法と同じ手法で算定する。

- (d) 単一ライン破断状態において、残された係留ラインは連鎖的に破断を引き起こさないものでなければならない。残された係留ラインの張力は、準静的手法により計算され、計算された張力がそれぞれの係留ラインの破断荷重に対して、表 3-1 に掲げる安全率以上であることを原則とする。ただし、風、波等の環境荷重の再現期間は 1 年として差し支えない。
- (e) 前(d)における単一ライン破断状態の解析について、当該浮体施設に近接して他の構造物が設置される場合、当該浮体施設の係留ラインのうち近接構造物の反対側

に施設されるものにあつては安全率を表 3-1 に掲げる値の 1.5 倍としなければならない。

(f) 前(b)に加えて下記の事項を考慮に含める場合は準静的解析手法において要求される係留ラインの安全率について斟酌することができる。

(i) 一般に水深の深い場所で使用される場合における係留ラインに働く減衰力及び慣性力による係留ラインの動的張力。

(ii) 係留ラインが十分弛緩した状態で使用される場合（一般に浮体施設の水平面内の動揺の固有周期が通常の波の周期より十分に長い場合）、不規則波中における浮体施設の長周期運動による係留ラインの準静的な長周期変動張力。

(g) トート係留システムの場合にあつては(a)から(e)までの事項に加え、次の事項についても適合すること。

(i) いずれの係留ラインにあつても張力変動によって緩みが生じないように設計されていること。

(ii) 干満時を含む潮位差による係留ラインの張力の変動を考慮していること。

(iii) 積載物の重量変化及び移動が係留ラインの張力に及ぼす影響に留意すること。

(iv) 係留ラインの非線形挙動の張力に及ぼす影響が無視できない場合は、非線形挙動による張力についても考慮されていること。

(10) 疲労強度

(a) 変動張力範囲 T 及びその繰返し数 n を考慮して係留ラインの疲労寿命を検討しなければならない。係留ラインの疲労寿命の評価は、変動張力範囲とラインが破断に損傷に至る繰返し数に関する線図 (T-N 線図) を適用し、マイナー則に基づき算定された疲労被害度 D_i による。

$$D_i = \frac{n_i}{N_i}$$

n_i : 与えられた海象状態 i における張力の間隔範囲 i 中の繰返し数 i ブロックにおける変動張力範囲の繰返し数

N_i : 変動張力範囲 T_i が作用した場合に対応する、ラインが損傷に至る繰返し数
全ての想定される海象状態 NN (波浪分布表に示されるもの) に対する累積疲労被害度 D は次式により算定される。

$$D = \sum_{i=1}^{NN} D_i$$

D に 3.0 を乗じた値は 1 を超えてはならない。

(b) 個々の係留ラインについては疲労寿命を検討すること。複合ラインの場合の T-N 曲線は疲労試験データ及び回帰解析に基づくものでなければならない。

(c) 係留ラインと浮体施設との結合部及び係留ラインと海底係留点との結合部の疲

労強度については特に留意する必要がある。

(d) 管海官庁が必要と認める場合においては、渦抵抗による振動の影響について考慮すること。

(11) 腐食及び摩耗

(a) チェーンについては、腐食及び磨耗に対して、設置海域の塩分濃度等を考慮してリンク径を適切に増やさなければならない。なお、腐食及び磨耗に対するリンク径の予備分は以下を標準とする。

飛まつ帯及び硬質地盤の海底との接触部 : 年間 0.2mm～0.4mm
 その他 : 年間 0.1mm～0.2mm

4. 係留ライン等の設計

(1) 係留ラインの構成要素及び海底係留点

(a) 係留システムの各構成要素は、それぞれ最も厳しい荷重条件を確認できる設計手法を用いて設計すること。係留ラインと浮体施設及び海底係留点との連結箇所に用いられる連結用シャックル、リンク等の強度は、係留ラインの破断張力又は当該構造の最終強度に対し次表 3-2 に示す安全率を有することを原則とする。

表 3-2 安全率

安全率	
非損傷時	2.50
単一索破断状態	1.43

(b) カテナリ係留システムの場合、係留ラインは十分長いものとし、想定している設計条件に対し海底係留点において揚力がかからないようにしなければならない。ただし、底質が軟粘土質である場合における単一ライン破断状態の検討においてはラインと海底面との間の微小角度を認めることがある。

(c) 海底面との水平摩擦力に依存する海底係留点の場合で、係留ラインの海中での単位長さあたりの重量が一定の場合、海底係留点に働く最大荷重 F_{anchor} は次により計算して差し支えない。

$$F_{\text{anchor}} = P_{\text{line}} - W_{\text{sub}} WD - F_{\text{friction}}$$

$$F_{\text{friction}} = f_{\text{sl}} L_{\text{bed}} W_{\text{sub}}$$

P_{line} : 係留ラインの最大張力

WD : 水深

f_{sl} : 滑っている状態での係留ラインの海底との摩擦係数で、海底土質と係留ラインの種類等を考慮して適切に定めた値とする。なお、軟土質、砂、粘土質の場合の f_{sl} 及び滑り始めの摩擦係数 f_{st} については表 3-3 の値によっても差し支えない。

L_{bed} : 設計上の荒天状態における海底の係留ライン長さであって係留ライン全長の20%を超えないもの

W_{sub} : 係留ラインの海中での単位長さ当たりの重量

なお、海中部にある係留ラインが単一でない場合や、中間シンカー又はブイを用いる場合については、その影響を考慮して上式を適用する。

- (d) カテナリ係留システム及びトート係留システムにおける海底係留点の水平保持力に関する設計上の安全率は表 3-4 を原則とする。必要とする保持力の最大値を係留ラインの動的挙動を考慮に入れた動的解析に基づき決定する場合はこの限りではない。
- (e) トート係留システムにおける海底係留点の鉛直保持力に関する設計上の安全率は表 3-5 を原則とする。なお、緊張係留システムについては、管海官庁が適当と認めるところによる。

表 3-3 摩擦係数 f

	滑り始め (f_{st})	滑っている状態 (f_{sl})
チェーン	1.00	0.70
ワイヤロープ	0.60	0.25

表 3-4 カテナリ係留システム及びトート係留システムの海底係留点の水平保持力に関する安全率

安全率	
非損傷時	1.50
単一索破断時極限状態	1.00

表 3-5 トート係留システムの海底係留点の鉛直保持力に関する安全率

安全率	
非損傷時	1.20
単一索破断時極限状態	1.00

5. 係留機器

(1) 一般的事項

- (a) 位置保持システムは十分な冗長性を有すること。
- (b) 機器の1つが作動不良になっても、位置保持システムの通常運転が維持又は復帰できるような措置を講じること。特に駆動装置については機能が喪失しないように考慮を払う必要がある。
- (c) 位置保持システムに使用される機器は下記に示す動的状態で作動するものであ

ること。ただし、浮体施設の形式、大きさ及び運転条件を考慮して管海官庁が認める場合にあつてはこの限りではない。

- (i) セミサブ型の浮体施設においては任意方向に 22.5° の動的傾斜
- (d) 緊張係留システムに用いられる係留機器等については、以下に掲げる事項に適合すること。
 - (i) 緊張係留ラインの敷設に際しては、全てのラインの初期張力がほぼ均一となるように調整すること。また、必要に応じて係留ラインの張力を調整できる動力装置を備えなければならない。
 - (ii) 各々の緊張係留ラインに対してラインの張力を監視できる装置を備え付けること
 - (iii) 海底支持基礎がいかなる設計荷重状態にあつても持ち上がらないように設計されたものであることを確認すること。
- (2) チェーン、ワイヤ等
 - (a) 係留システムに使用するチェーン、ワイヤ又は合成繊維ロープ、中間シンカー、中間ブイ、海底係留点となるアンカー、シンカー、パイル等は管海官庁が適当と認めたものでなければならない。
- (3) チェーンストッパ等
 - (a) 係留システムに使用されるチェーンストッパは、係留ラインの最大張力に対して管海官庁が適当と認める十分な強度を有するものでなければならない。
 - (b) トート係留ラインの敷設に際しては、全てのラインの初期張力がほぼ均一となるように調整すること。必要に応じ、係留ラインの張力を調整できる動力装置を備えなければならない。また、各々のラインの張力を監視できる装置を備えなければならない。
- (4) フェアリーダ
 - (a) 係留ラインにチェーンを用いる場合、フェアリーダとチェーンが接触する箇所の長さはチェーンの長径の7倍以上とすることを標準とする。
 - (b) 係留ラインにワイヤ又は合成繊維ロープを用いる場合、フェアリーダとワイヤが接触する箇所の長さはワイヤの呼び径の14倍以上とすることを標準とする。

第4章 設備に関する規則

1. 艀装等

- (1) 浮体施設及びタワーに設けられた点検等の際に使用するための通路、プラットフォーム及びはしご等については、通常海況において海水を被る高さよりも上方に配置されていること。
- (2) 通路の備え付け位置については、回転中のブレード先端部との垂直距離が考慮されていること。
- (3) 作業船など他の船舶が浮体施設に接舩することを考慮している場合においては、浮体施設の接舩箇所に防舩材等を設けなければならない。
- (4) 浮体施設における区画内部を安全に点検するための適当な措置を講ずること。

2. 機関に関する設備

機関に関する設備については、船舶機関規則（昭和59年運輸省令第28号）に定める規定によること。ただし、本規定により難い事項又は管海官庁が本規定によることが適当でないと認めたものについてはこの限りでない。

3. 電気に関する設備

電気に関する設備については、船舶設備規程（昭和9年逓信省令第6号）第6編に定める規定によること。ただし、風力発電設備に係る電気設備等、管海官庁が本規定によることが適当でないと認めたものについてはこの限りでない。

4. 防火設備及び消防設備

「火災の発生のお険が多い場所」として管海官庁が必要と認める箇所には、必要に応じて防火措置及び消防設備を備え付けること。

5. 昇降設備

昇降設備を有する場合においては、船舶設備規程（昭和9年逓信省令第6号）第7編第1章に定める規定によること。ただし、本規定により難い事項又は管海官庁が本規定によることが適当でないと認めたものについてはこの限りでない。

6. 回転翼航空機着船設備

回転翼航空機着船設備を有する場合においては、船舶検査心得3-1 附属書[9]に定める規定によること。ただし、本規定により難い事項又は管海官庁が本規定によることが適当でないと認めたものについてはこの限りでない。

7. その他

石綿を含む材料を使用してはならない。

第5章 復原性

1. 一般的事項

- (1) 浮体施設はすべての状態において本章で規定する復原性基準を満足すること。
- (2) 浮体施設の動揺がタワー及び風力発電設備に悪影響を及ぼさないよう、適切に浮体施設の動揺を抑制しなければならない。
- (3) 復原性の計算は、係留設備からの影響がない状態及び係留設備からの影響がある状態の両方について検討し、厳しい方の状態に基づかなければならない。
- (4) 復原性の計算を行う際には、タンク内の液体による自由表面の影響についても考慮すること。
- (5) 復原性の計算を行う際には、必要に応じてサイトのデータに基づく積雪及び着氷による荷重の影響についても考慮すること。

2. 風による傾斜モーメント

- (1) 風荷重については、第1章及び第2章第2節の規定によること。ただし、風荷重の算定を行う場合については1分間平均の風速値を使用すること。風速のデータが1分間の平均風速で与えられていない場合は、データから適当なスペクトルを求め、統計的手法を用いて1分間の風速に換算すること。
- (2) 損傷時復原性の検討にあたっては、風速 25.8 m/s（海面上 10m）の風を受けるものとするができる。
- (3) 風による傾斜モーメントを算定するための、この長さは、水線下浮体施設の横方向の抵抗中心又はできれば動的圧力中心から風による圧力中心までの垂直距離とすること。
- (4) 風による傾斜モーメントは、浮体施設の各状態における適当な傾斜角毎に対して計算を行うこと。
- (5) 風洞試験により、風による傾斜モーメントを決定しても差し支えない。この場合、モーメントの決定にあつては各傾斜角における抗力効果及び揚力効果を含むものとする。

3. 非損傷時復原性

(1) 一般的事項

- (a) 浮体施設は静水中の初期平衡状態において正の復原力を有していなければならない。
- (b) 浮体施設はあらゆる水平方向からの風による傾斜モーメント及び波による動揺に対して十分な復原性を有していなければならない。

- (c) 復原力曲線及び風による傾斜モーメント曲線については、図 5-1 に規定するとおりとする。
- (d) 復原力曲線及び風による傾斜モーメント曲線は、最も影響の大きい軸方向に関し、浮上中の十分な数の状態について考慮しなければならない。
- (e) 浮体施設は、直立時から図 5-1 に示される θ_3 の傾斜角まで正の復原力を有していなければならない。また、傾斜角は、風力発電設備のブレードが水面に接触しない角度までとしなければならない。
- (2) セミサブ型の浮体施設
 セミサブ型の浮体施設にあつては、図 5-1 において以下の条件を満足しなければならない。
 面積 $(A+B) \geq 1.3 \times$ 面積 $(B+C)$
 ただし、傾斜角は θ_2 までとする。
- (3) バージ型の浮体施設
 バージ型の浮体施設にあつては、図 5-1 において以下の条件を満足しなければならない。
 面積 $(A+B) \geq 1.4 \times$ 面積 $(B+C)$
 ただし、傾斜角は θ_2 又は θ_3 のうち小さい方の角度までとする。
- (4) スパー型の浮体施設
 スパー型の浮体施設は、セミサブ型と同等以上の復原性を有しなければならない。
- (5) TLP 型の浮体施設
 TLP 型の浮体施設は、管海官庁が適当と認める方法において適切な復原性を有していることを確認しなければならない。

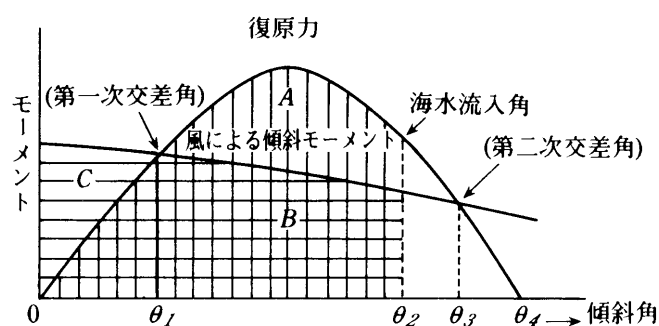


図 5-1 復原力曲線図

4. 損傷時復原性

- (1) 浮体施設は、計画された喫水の上方 5.0 メートルから下方 3.0 メートルまでの範囲に設けられる区画における 1 区画への浸水に対しても、あらゆる水平方向からの風による傾斜モーメント及び船舶の波による動揺に対して、十分な復原性を有していな

ればならない。ただし、当該浮体施設の設置海域における船舶の航行状況等を考慮して管海官庁が適当と認める場合にあつては、この限りではない。

- (2) 浮体施設における海底ケーブルの引き込み箇所や係留ラインからの反力を受ける箇所等、浸水の恐れがあるとして管海官庁が指示する区画については、当該区画における浸水を防止するための措置等を考慮して管海官庁が適当と認める場合を除き、当該区画への浸水時にあらゆる水平方向からの風による傾斜モーメント及び船舶の波による動揺に対して十分な復原性を有していなければならない。
- (3) 損傷時復原性の計算においては、損傷区画室の排水、バラスト調整、他の区画への漲水又は係留力を考慮することによる傾斜角の減少を考慮してはならない。
- (4) TLP 型の浮体施設にあつては、(1)から(3)までの規定に関わらず、管海官庁が適当と認める方法において適切な損傷時復原性を有していることを確認すること。

附則（令和２年３月３日）

（適用期日）

本改正は、令和２年３月３日から適用する。

（経過措置）

- (a) 令和２年３月３日前に建造され、又は建造に着手されたものについては、改正後の規定にかかわらず、なお従前の例によることができる。
- (b) 第２編第２節３．の設計条件及び荷重ケースについては、改正後の規定にかかわらず、当分の間、なお従前の例によることができる。