

(別冊)
コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の
設計施工ガイドライン

令和5年3月
国土交通省海事局

国土交通省は、令和1年度から令和4年度事業として4か年度にわたる検討を経て、ここにコンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工手法を取りまとめた。ここで、コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドラインとは、浮体式洋上風力発電施設の支持構造物であるコンクリート製浮体を対象に、それらの合理的かつ効率的な安全設計を促進するため、実設計者が実務的に参考にできる技術的解決策を体系的に提供するものである。設計の際は、本付録をもとに検査機関と相談されたい。

なお、鋼製浮体式洋上風力発電施設に共通する項目は「浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン、2020年3月」を参照している。さらに、海洋で使用するコンクリートについても、一般的事項は土木学会コンクリート標準示方書（2017年制定〔設計編〕、2017年制定〔施工編〕：以降は制定年を省略）を参照している。今後、これらのガイドラインや示方書が改訂された場合には、それらも参照することとする。

目 次

第1編	総則.....	1
1.	一般.....	1
2.	品質保証.....	6
第2編	技術基準.....	7
第1章	外部条件.....	7
1.	一般.....	7
2.	風条件.....	7
3.	海象条件.....	7
4.	地震および津波.....	7
第2章	構造に関する規則.....	8
1.	材料及び配合設計.....	8
1-1.	材料.....	8
1-1-1.	一般.....	8
1-1-2.	コンクリートの種類.....	8
1-1-3.	コンクリート材料.....	9
1-1-4.	補強材料.....	12
1-2.	配合設計.....	14
1-2-1.	一般.....	14
1-2-2.	配合設計の手順.....	14
1-2-3.	コンクリートの特性値の確認.....	14
1-2-4.	コンクリートのワーカビリティ.....	14
1-2-5.	配合条件の設定.....	14
1-2-6.	単位量の設定.....	17
2.	荷重.....	19
2-1.	一般.....	19
2-2.	設計条件および荷重ケース.....	19
2-3.	荷重計算.....	19
2-4.	使用性の照査に用いる荷重.....	19
3.	コンクリート製浮体施設の設計.....	20
3-1.	一般.....	20
3-2.	設計目標と設計条件.....	20
3-2-1.	一般.....	20
3-2-2.	要求性能の定義.....	21
3-2-3.	限界状態の定義.....	23
3-3.	設計フローと割増係数.....	24
3-4.	構造配置.....	26
3-4-1.	一般.....	26

3-4-2.	タワー固定部の構造配置	26
3-4-3.	係留設備	26
3-5.	全体強度解析	27
3-5-1.	一般	27
3-5-2.	解析手法	27
3-5-3.	解析モデル	28
3-6.	耐久性に関する照査	30
3-6-1.	一般	30
3-6-2.	ひび割れ幅の照査	30
3-6-3.	鋼材腐食に対する照査	31
3-6-4.	凍害に対する照査	36
3-6-5.	アルカリシリカ反応の抑制	36
3-7.	安全性に関する照査	36
3-7-1.	疲労に関する照査	37
3-8.	使用性に関する照査	39
第3章	位置保持システム	40
第4章	設備に関する規則	40
第5章	復原性	40
1.	一般	40
2.	非損傷時復原性	40
3.	損傷時復原性	40
4.	水密区画および閉鎖装置	40
5.	喫水線	40
参考1	コンクリート製浮体施設の施工	41
参考2	浮体施設に関する検査	49
参考資料	51

表目次

表 2-1	最小かぶりの標準値と水セメント比の上限の標準値	33
-------	-------------------------------	----

解説 図目次

解説 図 1-1	浮体施設における飛沫帯の定義	6
解説 図 2-1	要求性能の定義に関する土木学会コンクリート標準示方書と IEC 基準との比較	22
解説 図 2-2	土木学会コンクリート標準示方書による設計フロー	24
解説 図 2-3	2 段階解析フローの例	28
解説 図 2-4	弛緩係留されたセミサブ浮体を対象とした多質点系連成解析用モデルの例 ¹⁾	29
解説 図 2-5	浮体構造解析用有限要素解析 (FEA) モデルの例 ²⁾	29
解説 図 参考-1	温度ひび割れの制御対策の例	44

解説 表目次

解説 表 1-1	鋼製浮体施設とコンクリート製浮体施設の特徴	1
解説 表 1-2	浮体型式別の特徴、長所、短所	2
解説 表 1-3	代表的な係留方式の特徴、長所、短所	2
解説 表 2-1	割増係数の基準別比較	24
解説 表 2-2	水密性に対するひび割れ幅の設計限界値の目安 (mm)	31
解説 表 2-3	地域別飛来塩分量と換算された表面塩化物イオン濃度 ⁴⁾	32
解説 表 2-4	DNVGL-ST-C502 に記される最小かぶり (参考)	34
解説 表 2-5	鋼材腐食に関する照査結果	35

第1編 総則

1. 一般

国土交通省海事局による「浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン、2020年3月」（以下「国交省ガイドライン」という。）の「第1編 総則」を参照する。

【解説】 我が国では、CO₂の排出削減とエネルギーセキュリティーの観点から、再生可能エネルギーによる発電が注目を集めている。その中で洋上風力発電施設の実証試験や実用化が行われている。洋上風力発電施設には着床式と浮体式があり、我が国では着床式が多く、かつ、ほとんどの風車が鋼製で製作されており、コンクリート製浮体式のものは、2020年2月時点では国内で1例、世界でも2例にとどまっており、商用化に至っているものは1例にすぎない。

洋上風力発電施設における鋼製浮体施設とコンクリート製浮体施設の特徴を解説表 1-1 に示す。

解説表 1-1 鋼製浮体施設とコンクリート製浮体施設の特徴

項目		鋼構造	コンクリート構造	本ガイドライン 該当箇所
材料	材料の構成	・単一材料（鋼材）	・複合材料（セメント、練混ぜ水、骨材、混和材、混和剤、鉄筋、構造用鋼材、PC鋼材、補強繊維等）	第2編第2章1-1-3. コンクリート材料
	材料の性能	・必要に応じて材質を選定	・使用目的に応じた配合設計が必要	第2編第2章1-2. 配合設計
	材料の特性	・腐食性があるため、防食が必要。 ・一般に部材の細長比が大き く、座屈の照査や座屈防止対策が必要。	・コンクリートが圧縮、鉄筋が引張を負担する複合構造。 ・水密性が要求される個所では、コンクリートのひび割れを防止・制御するための方策（プレストレス等）が必要。 ・鉄筋腐食の防止対策が必要。	第2編第2章3-2. 設計目標と設計条件 3-6. 耐久性に関する照査 3-6-2. ひび割れ幅の照査
建造	建造方法	・工場で建造する方法と、工場 で製造した鋼製部材を現地で 接合して建造する方法がある。 ・工場製造は天候の影響を受 けない（屋外作業が必要なものを 除く）。	・現地で型枠にコンクリートを流し込 んで構造物を建造する方法と、工場 で製造したプレキャストコンクリートを 現地で接合して建造する方法がある。 ・天候の影響を受けないような施工方 法および管理が必要（工場製造が可能 なものは除く）。	参考1 コン クリート製浮体施 設の施工
	建造工程	・硬化時間は不要。	・コンクリートの強度発現に時間がか かるので、現地でコンクリートを打設 して構造物を建造する場合は工程に影 響する。	参考1 コン クリート製浮体施 設の施工 (2) (c) 養生
検査		・水圧試験および水密試験等 ・構造部材および溶接部の欠陥 （傷、クラック等）検査（目視 あるいは非破壊検査） ・塗装検査	・鉄筋かぶりの検査（非破壊検査） ・ひび割れ幅の検査 ・コンクリート打継ぎ部の検査 ・プレキャスト部材接合部の検査 ・水圧試験および水密試験	参考2 浮体施 設に関する検査

一方、石油・天然ガスの生産施設分野では、コンクリート製の海洋構造物が多く実用化されている。このような中で、深い水深では浮体式洋上風力発電施設のニーズが高くなっていることから、国土交通省では、浮体式洋上風力発電の建造・設置コストの低減、技術の普及促進を目的とする「コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン」の策定に着手した。

本ガイドラインは洋上風力発電施設の内、コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工に関するガイドラインを定めたもので、すでに建造されている鋼製浮体式洋上風力発電施設に共通する項目は国交省ガイドラインを参照している。さらに、海洋で使用するコンクリートについても、一般的事項は土木学会コンクリート標準示方書（2017年制定 [設計編]、2017年制定 [施工編]：以降は制定年を省略）を参照している。今後、これらのガイドラインや示方書が改訂された場合には、それらも参照することとする。

コンクリート製浮体式洋上風力発電施設は、一般に構造型式がバージ型、セミサブ型、スパー型、TLP（Tension Leg Platform）型の4型式に大別され、係留方式には、索鎖係留型のカテナリー係留（重力式）、トート係留（ばね式）、緊張係留の3方式がある。

浮体型式別の特徴、長所、短所を解説表 1-2 に、代表的な係留方式の特徴、長所、短所を解説表 1-3 に示す。

解説表 1-2 浮体型式別の特徴、長所、短所

浮体型式	特徴	長所	短所
バージ	箱型あるいは中空箱型の構造	構造が単純なため、建造コストを小さくすることができる。岸壁やドックで風車まで据え付けられる。	水線面積が大きく、波浪の影響を受けやすい。
セミサブ	複数の円柱系部材（コラム）が水線面を貫き、コラム同士はデッキやハルで接続する構造。	波から受ける外力が小さく、動揺しにくい。岸壁やドックで風車まで据え付けられる。	構造が複雑になり、建造コストが大きくなりやすい。
スパー	長大な円筒形の構造。没水部よりも水線部を細くし、外力をより小さくする場合もある。	構造が単純なため、本体の建造コストを小さくできる。波から受ける外力が小さく、動揺しにくい。	喫水が大きいため、水深の大きい設置海域が必要となる。浮体や風車の設置時に立て起し等の処理が必要となることがある。
TLP	強制的に半潜水させた浮体と海底に設置された基礎とを鋼製のテンドンで接続し、浮力によって生じる緊張力を利用して拘束する。	浮体動揺が小さい。	コストが高い。地震発生時の安全性に考慮が必要。

出典：「海洋開発工学概論 海洋再生可能エネルギー開発編 改訂第1版、国土交通省、p.110、2018」を一部修正

解説表 1-3 代表的な係留方式の特徴、長所、短所

係留方式	特徴	長所	短所
カテナリー	海底のアンカーと浮体を懸垂線状（カテナリー）になった、主として鋼製チェーンで係留する方法（重力式）。	実績が豊富。多様な水深に対応可能。	水深が小さい場合は係留設計が困難になる。鋼製チェーン本数が増えると浮体重量や設置コストの増加につながる。展開面積が大きい。
トート	合成繊維索を用い、初期張力を調整して索の伸びにより係留力を得る方法（ばね式）。	係留索の重量が鋼製チェーンよりも軽いため、より大水深に適用しやすい。係留展開面積をカテナリー係留よりも小さくすることができる。	アンカーは水平方向と鉛直方向の2種類に対抗する把駐力を保持しなければならない。係留索は浮体運動を過剰に拘束しないよう十分な弾性を有しなければならない。かつコストが高い。
緊張	海底と浮体を鋼製のテンドンで接続し、浮体を強制的に沈めて得られる浮力によりテンドンに発生する張力により係留する方法。	浮体運動を極めて小さくすることができる。係留展開面積を浮体面積とほぼ同等にすることができる。	設置コストが高い。

出典：「海洋開発工学概論 海洋再生可能エネルギー開発編 改訂第1版、国土交通省、p.112、2018」を一部修正

鋼とコンクリートを比較した場合のコンクリートとしての特性を以下に示す。

- (a) コンクリートはセメント、骨材、水、混和剤、混和材（高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等）を混合した複合材料であるので、材料の配合割合によって、コンクリートの品質が異なる。特に、水（W）とセメント（C）の質量比である水セメント比（W/C）は重要で、W/Cが小さくなる程、強度が高くなり、耐久性、水密性（水を通しにくい性質）も向上する。
- (b) セメントは水と接触した後、徐々に化学反応（水和反応）によって強度が増大する。コンクリートは一定期間養生した後に供用するので、供用するまでの間に、仮に欠陥が生じた場合でも修復可能である。
- (c) コンクリート製浮体施設の建造は、岸壁等で現場打ちのコンクリートで施工する場合と、工場で製作するプレキャストコンクリートを現地で接合する方法がある。現場打ちコンクリートをブロックに分けて施工する場合は、水密性を確保する観点から打継ぎ部に留意する必要があり、プレキャストコンクリートの場合は、現地での接合方法に留意する必要がある。
- (d) コンクリートは硬化する（強度が出る）間に水和反応によって温度が上昇し、場合によっては、水和熱に起因した温度ひび割れが生じる。型枠を外した後、空気に触れて表面が乾燥して乾燥収縮ひび割れ等が生じることがある。これらのひび割れは、コンクリートを供用するまでの間であれば修復可能である。
- (e) 鉄筋が高アルカリ環境であるコンクリート中に存在した場合、鉄筋周囲に不動態膜が形成され、腐食しにくい状態にある。しかし、多量の塩化物イオンに接すると、不動態膜が破壊され、腐食が開始・進行するので、コンクリート中への塩化物イオンの侵入を防止することが必要である。そのために、鉄筋とコンクリート表面との間隔（鉄筋のかぶり）を適切に確保するとともに、コンクリートのW/Cを小さくする、緻密なコンクリート材料を選定するなどの対策が必要である。
- (f) 浮体式洋上風力発電の場合、一般的な海洋構造物とは異なり、風車が風を受けることにより浮体施設に大きな引張荷重が繰返し作用する。そのため、一般にプレストレストコンクリート（以下「PC」という。）として、コンクリートに建造時に圧縮力を与えるなど、引張力による構造的なひび割れが生じ、それが進展しないように制御する必要がある。
- (g) 高耐久性で高強度の新しいコンクリート（UFC¹等）も開発されているので、高い応力が発生する部分には、このような新しいコンクリートの利用も検討するとよい。

(1) 適用

本ガイドラインは、洋上風車サイトに恒久的、あるいは長期にわたり係留され、原則として、保守、検査時以外は無人となる浮体式洋上風力発電施設におけるコンクリート製浮体の材料、設計、施工、復原性および喫水線に関する要件について規定する。

¹ UFCとは、Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete（超高強度繊維補強コンクリート）の略で、圧縮強度の特性値が150 N/mm²以上、ひび割れ発生強度の特性値が4 N/mm²以上、引張強度の特性値が5 N/mm²以上の繊維補強を行った超高強度セメント質複合材である。水結合材比（0参照）が小さく、緻密な硬化体が形成されることから、水や塩化物イオン等の物質の浸透に対する抵抗性が極めて高く、優れた耐久性を有している。

【解説】 一般的に、「施工」は構造物の設置まで含むが、本ガイドラインにおけるコンクリート製浮体施設の施工は、浮体施設の構築までの範囲とし、構築した浮体施設の曳航、設置、係留、保守および点検は含まない。

(2) 設計寿命

コンクリート製浮体施設の設計寿命（設計耐用期間）は、搭載する風力発電設備の設計仕様上の使用年数または20年のいずれか大きい方の値としなければならない。

(3) 要求性能

コンクリート製浮体施設に要求される性能は、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：本編 2章 要求性能〕を参照する。

要求性能は、「耐久性」、「安全性」、「使用性」とし、「復旧性」は対象外とする。

【解説】 コンクリート製浮体施設の要求性能は、風力発電施設の全体構造システムの要求性能からブレイクダウンされた要求性能となる。すなわち、浮体施設の要求性能は、搭載する風力発電設備の性能に依存することから、風力発電設備の要求に合わせた性能を浮体施設に設定し、所定の設計寿命においてその性能が確保されるか否かを判定する。

要求性能は、「耐久性」、「安全性」、「使用性」とし、「復旧性」は対象外とする。「復旧性」を対象外とする理由は「3-2-2. 要求性能の定義」で述べる。

(4) 用語および定義

本ガイドラインで使用する用語は、国交省ガイドライン〔第1編 2. 定義〕および土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕〔施工編〕〔維持管理編〕を参照する。

【解説】 主要な用語の定義を以下に示す。

(a) コンクリート関連用語

(i) コンクリート

セメント、水、細骨材、粗骨材および必要に応じて加える混和材料を構成材料とし、これらを練混ぜその他の方法によって混合したもの、または硬化させたもの。

(ii) モルタル

セメント、水、細骨材、および必要に応じて加える混和材料を構成材料とし、これらを練混ぜその他の方法によって混合したもの、または硬化させたもの。

(iii) セメントペースト

セメント、水および必要に応じて加える混和材料を構成材料とし、これらを練混ぜその他の方法によって混合したもの、または硬化させたもの。

(iv) 無筋コンクリート

鋼材で補強しないコンクリート。ただし、コンクリートの収縮ひび割れその他に対する用心のためだけに鋼材を用いたものも無筋コンクリートとする。

(v) 鉄筋コンクリート

鉄筋で補強されたコンクリート。

(vi) プレストレストコンクリート

PC (プレストレストコンクリート) 鋼材等によってプレストレスが与えられているコンクリート。広義には鉄筋コンクリートの一種。

(vii) 現場打ちコンクリート

木製や鋼製の型枠を組み立て、型枠の中にコンクリート製造設備から運搬したコンクリートを打設して打ち継ぎ、一体的に製作されたコンクリート。

(viii) プレキャストコンクリート

部材または製品として製作されたコンクリート。

(ix) フレッシュコンクリート：

まだ固まらない状態にあるコンクリート。

(x) 結合材

セメントペースト部分の硬化に寄与する粉体をさす。セメントのほか、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェーム、膨張材等、セメントと類似の結合効果をもたらす粉体材料も含めて、これらを総称する用語として用いる。

(xi) 水セメント比 (W/C)

フレッシュコンクリートまたはフレッシュモルタルに含まれるセメントペースト中の水とセメントの質量比。質量百分率で表されることが多い。

水セメント比は、結合材としてポルトランドセメントのみ、あるいは混合セメントを用いた場合の用語である。

(xii) 水結合材比

フレッシュコンクリートまたはフレッシュモルタルに含まれるセメントペースト中の水と結合材の質量比。水セメント比と同様に質量百分率で表されることが多い。

水結合材比は、セメントと混和材がプレミックスされていない結合材を用いた場合の用語である。混合セメントと結合材が同じ成分である場合もあるが、一般にはプレミックスされたものがセメント、練混ぜ時に混合されたものが結合材として呼称が使い分けられている。土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準〕においては、標準的な工事では混和材を用いるより混合セメントを使用することが一般的であることから、用語として水セメント比を用い、特に断りがない場合は水結合材比の意味も含むものとしている。

(xiii) ワークビリティ

材料分離を生じることなく、運搬、打込み、締固め、仕上げ等の作業のしやすさ。

(xiv) かぶり

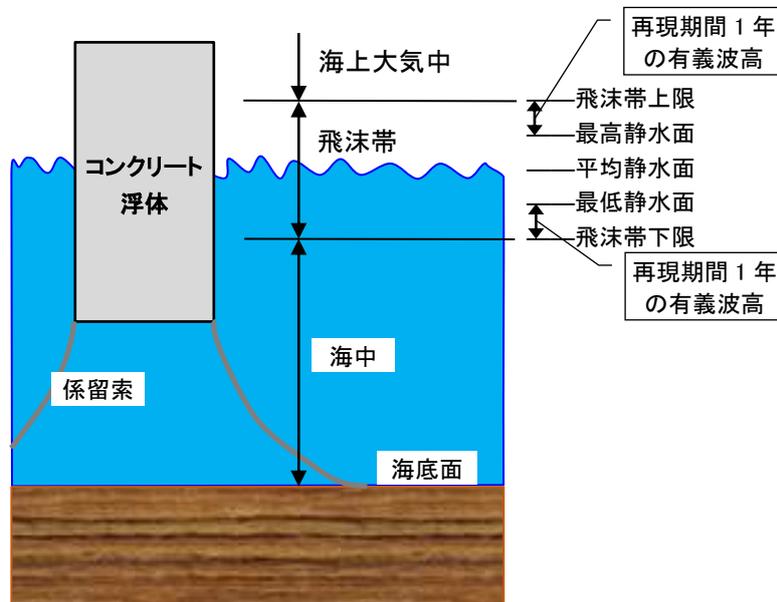
鉄筋あるいはシースの表面からコンクリート表面までの最短距離で計測したコンクリートの厚さ。

(b) その他

(i) 飛沫帯

浮体施設の中で、波や潮汐の変化によって頻繁に水に濡れる外側部分。再現期間 1 年の最高静水面に再現期間 1 年の有義波高に等しい波高の波の波頂高を加えたレベルから、再現期

間 1 年の最低静水面から再現期間 1 年の有義波高に等しい波高の波の谷を差し引いたレベルまでの領域と定義する（解説 図 1 - 1 参照）。なお、水位が変化した場合でも一定の喫水を有する浮体施設にあっては、静水面から上方 5m、下方 4m までの領域として差し支えない。



出典：「DNVGL-RP-0416、2016」を参考にして作成

解説 図 1 - 1 浮体施設における飛沫帯の定義

(ii) 静水面

波による変化は除外して、潮汐および高潮の影響を考慮して計算した概念上の水面。静水面は平均海水面より高い場合も等しい場合も低い場合もあり得る。

(iii) 有義波高

ある海況における波の高さの統計的指標で、ゼロアップクロス法による波全体の波高値の大きい方から 1/3 の平均波高、または σ を海面上昇の標準偏差とした場合に 4σ に等しい高さとして定義される。区別が必要な場合、前者の高さは統計的有義波高と呼び、後者的高さはスペクトル有義波高と呼ぶ。

2. 品質保証

品質システムは、ISO 9001 の要求事項に適合することを推奨する。

第2編 技術基準

第1章 外部条件

国交省ガイドライン [第2編第1章 外部条件] を参照する。

1. 一般

国交省ガイドライン [第2編第1章 1. 一般的事項] を参照する。

2. 風条件

国交省ガイドライン [第2編第1章 2. 風条件] を参照する。

3. 海象条件

国交省ガイドライン [第2編第1章 3. 海象条件] を参照する。

4. 地震および津波

国交省ガイドライン [第2編第1章 4. その他の環境条件] を参照する。

第2章 構造に関する規則

1. 材料及び配合設計

1-1. 材料

1-1-1. 一般

コンクリート製浮体施設に用いる材料は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 3章 材料〕および〔施工編：特殊コンクリート 7章 海洋コンクリート〕を参照する。本章では、コンクリート製浮体施設に使用する材料について特殊な配慮事項のみを示す。

【解説】 コンクリート製浮体施設は、海中、飛沫帯および海上大気中で供用され、波浪や海水飛沫の影響を受けるため、供用期間中にコンクリート自体の劣化や鋼材の腐食等によって、その機能が損なわれやすい環境にある。コンクリート製浮体施設に用いる材料は、海水の物理的作用および化学的作用、気象作用、波浪作用、漂流固形物や船舶の接舷等による衝撃、摩耗等の各種有害な作用のため損傷劣化を受けやすい。使用する材料は、これらの環境において品質の確認されたものでなければならない。

1-1-2. コンクリートの種類

- (1) コンクリート製浮体施設に用いるコンクリートは、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 3章 材料〕および〔施工編：特殊コンクリート 7章 海洋コンクリート〕を参照する。
- (2) コンクリート製浮体施設の主構造部材に用いるコンクリートの圧縮強度の特性値 f'_{ck} (設計基準強度) は、30 N/mm² 以上を標準とする。
- (3) コンクリート製浮体施設には、標準的なコンクリート (設計基準強度が 50N/mm² 未満、打込みの最小スランプが 16cm 以下の AE コンクリート) のほか、「流動化コンクリート」、「高流動コンクリート」、「高強度コンクリート」、「膨張コンクリート」、「短繊維補強コンクリート」、「プレストレストコンクリート」、「プレキャストコンクリート」、「工場製品」、「軽量骨材コンクリート」を単独あるいは組み合わせて使用する。また、「超高強度繊維補強コンクリート」(UFC) など、品質の確認された新しい機能を有するコンクリートの使用も検討するとよい。

【解説】 (2) について コンクリート製浮体施設のうち、バラスト等の非構造部材に関しては、この限りではなく、圧縮強度の特性値を任意に設定してよい。ただし、耐久性に関する照査を実施した上でコンクリートの仕様を決定するものとする。

(3) について コンクリート製浮体施設は、鉄筋、PC 鋼材が密に配置される構造となることが多い。このような場合には、コンクリート工事における施工の省力化や合理化、信頼性の確保とこれに伴う耐久性の向上という効果も踏まえ、優れた流動性と材料分離抵抗性を有する高流動コンクリートの利用を考えると望ましい。また、水密性や耐久性の観点から、ひび割れの制御が必要となる場合には、プレストレストコンクリート構造やプレキャストコンクリート部材を活用することも有効である。高い応力が発生する部位には、UFC 等の新しい機能を有するコンクリートを使用することで構造上の課題が解決できる場合もある。特殊コンクリートを使用する場合

には、土木学会から発刊されている各種指針類を参照するとともに、それぞれのコンクリートに関して十分な知識と経験を有する技術者の指導の下に入念に施工しなければならない。

1-1-3. コンクリート材料

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 3章 材料〕、〔施工編：特殊コンクリート 7章 海洋コンクリート〕および〔設計編：本編 5章 材料〕を参照する。

(1) 一般

材料は、品質の確かめられたものを選定する。

【解説】 コンクリート製浮体施設については、海水や海象等の作用に対してその構造物が所要の耐久性を有するように材料を選定する。JIS ならびに土木学会規準等の品質規格に適合した材料は、品質が確かめられたものとして選定することができる。それ以外の材料を用いる場合には、試験あるいは既往の実績等によって品質の適否を確認してから用いる。

(2) セメント

セメントは、ポルトランドセメント (JIS R 5210)、高炉セメント (JIS R 5211)、シリカセメント (JIS R 5212)、フライアッシュセメント (JIS R 5213) に適合するものを適切に選定する。

これらのセメントのうち、高炉セメントやフライアッシュセメント等の混合セメントを用いたコンクリートは、海水の化学的作用に対する抵抗性、アルカリシリカ反応の抑制効果および水や塩化物イオン等の物質の透過に対する抵抗性が一般に高く、コンクリート製浮体施設に用いるコンクリートには、これらを用いるのがよい。

浮体施設の設計寿命、要求性能、必要部材厚さ、使用する鉄筋種類等を考慮のうえ適切なセメントを選択する。

【解説】 各種セメントのうち、高炉セメントやフライアッシュセメント等の混合セメントは、これまでの研究や実構造物の実態調査によって、密実で海水の化学的作用に対する抵抗性が高いこと、アルカリシリカ反応の抑制に効果があること、またコンクリート内部への塩化物イオンの侵入の抑制に効果があることが明らかになっている（参考資料-1 に示す文献調査結果を参照）。例えば、高炉セメント B 種を用いた場合の塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査においては、後述の照査結果（解説 表 2-5）にも示されるように、普通ポルトランドセメントに比べて、鋼材腐食を防止するためのかぶりを小さくできるなど、部材の設計においても有利になることがある。

海水の作用を受けるコンクリート製浮体施設に用いるコンクリートに混合セメントを使用することは、水密性や耐久性ならびに設計上の観点から有効となることが多く、これらを踏まえて適切なセメントを選択するのがよい。なお、混合セメントの入手が困難な場合なども想定される。このような場合は、混和材として高炉スラグ微粉末やフライアッシュを混入することも考えられる（(5) 混和材料 参照）。

(3) 練混ぜ水

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 3章 材料〕を参照する。

浮体施設に用いるコンクリートには、海水は、練混ぜ水として使用してはならない。

【解説】 近年、海水をコンクリート用練混ぜ水として使用するための研究がなされているが、鋼材の腐食、アルカリシリカ反応による劣化に対する抵抗性が実証されているわけではない。したがって、本ガイドラインにおいては、海水と海砂の使用を前提としない。

(4) 骨材

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 3章 材料〕を参照する。

- (a) 骨材は、清浄、堅硬、耐久的で、適当な粒度を持ち、ごみ、どろ、有機不純物、塩化物等を有害量含まないものを用いる。
- (b) 海水の作用を受けるコンクリート製浮体施設では、アルカリシリカ反応が促進される場合があるので、アルカリシリカ反応性試験（JIS A 1145「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（化学法）」または JIS A 1146「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）」において、「無害」であることが確認された骨材を用いることを原則とする。さらに、「無害」と判定された骨材であっても、当該骨材が、港湾施設等の海洋環境下での十分な使用実績が確認できていない場合には、アルカリシリカ反応抑制対策を施すのがよい。
- (c) アルカリシリカ反応性が「無害でない」骨材を使用せざるを得ない場合には、アルカリシリカ反応抑制対策を施さなければならない。

【解説】 (a) について 軽量骨材を使用する場合には、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 1 3章 軽量骨材コンクリート〕の規定を満足するものを用い、耐摩耗性および耐凍害性を事前に十分に確認しておく。高炉スラグ粗骨材を使用する場合には、区分 N（絶乾密度が大きく、吸水率が小さいもの）に適合するものを用いるとよい。

フェロニッケルスラグ骨材（細骨材、粗骨材）や銅スラグ細骨材は密度が大きく、これらを使用するとコンクリートの単位容積質量が大きくなるため、バラストコンクリートのように浮体の重心を下げたい場合に有効な場合がある。これらを使用する場合には、浮力に及ぼす影響を十分に考慮しなければならない。なお、これらを高い混合率で使用する場合には、コンクリートの性状や取扱いが通常のコンクリートと異なる場合もあるため、それらの使用に際しては、土木学会発行の「フェロニッケルスラグ骨材を用いたコンクリートの設計施工指針」および「銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの設計施工指針」を参考にする。

(b)(c) について 海洋構造物であるコンクリート製浮体式施設には、多量の水、ならびに海水中に含まれるアルカリ金属（Na、K）が供給されるため、陸上の構造物の場合と比べて、コンクリートのアルカリシリカ反応が促進される可能性がある。コンクリート製浮体施設に用いるコンクリートにアルカリシリカ反応による劣化が生じた場合には、その事後対策は、陸上の一般的な構造物に比べて多大な労力と費用を要することが想定される。また、対策を施すことすらできない事態も想定される。そこで、コンクリート製浮体施設に用いるコンクリートには、骨材のアルカリシリカ反応性試験方法である「化学法」や「モルタルバー法」によって、アルカリシリカ反応に対して「無害」であることが確認された骨材を用いることを原則とした。一方で最近では、化学法やモルタルバー法では反応性を検出できない骨材の存在も確認されている。そのため、「JCI-S-010-2017：コンクリートのアルカリシリカ反応性試験方法」など、実際のコンクリートに用いられる材料と配合に基づいて作製したコンクリート供試体で反応性を評価する試験を行うのがよい。

ただし、この試験で得られる結果と実構造物における劣化状況とを関連付けるまでには至っておらず、アルカリシリカ反応による劣化の判定基準は明確になっていないのが実状である。これらを踏まえ、「無害」と判定された骨材であっても、当該骨材が、港湾施設等の海洋環境下での十分な使用実績が確認できていない場合には、以下に示す(i)～(iii)の3つの対策のうち、いずれか一つあるいは複数を組み合わせて抑制対策を講じるのがよい。

地域の特性上、「無害」骨材を調達し、使用することが困難であり、「無害でない」骨材を使用せざるを得ない場合には、この抑制対策を必ず講じた上で、施工を行わなければならない。

(i) コンクリート中のアルカリ総量の抑制

海水中のアルカリ金属イオンが供給されることを踏まえ、「コンクリート中のアルカリ総量(Na₂O換算)の抑制」の上限値である3.0kg/m³より十分に小さい値、例えば、2.2kg/m³以下に設定する^{注1)}。

(ii) アルカリシリカ抑制対策効果をもつ混合セメントの使用

スラグ混合率が40%以上となるような高炉セメントB種またはC種、あるいはフライアッシュ混合率が15%以上となるようなフライアッシュセメントB種またはC種を用いる。あるいは、高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の混和材をポルトランドセメントに混入し、アルカリシリカ反応抑制効果の確認された混合率で使用する。

(iii) アルカリシリカ抑制対策効果をもつ表面保護材の使用

アルカリ金属イオンや水の侵入を抑制する表面保護工を施す。表面保護工に用いる材料については、本ガイドライン「4.4.5 表面保護材」を参照し、性能の確認されたものを使用する。

^{注1)} 東日本旅客鉄道株式会社：土木工事標準仕様書

(5) 混和材料

混和材料として用いる混和材、混和剤は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 3章 材料〕を参照し、品質の確かめられたものでなければならない。品質や性能が確認された混和材・混和剤の使用は、コンクリートの品質の改善を図ることができるため、コンクリート製浮体施設に用いるコンクリートには、これらを有効に活用するのがよい。

(a) 混和材として用いるフライアッシュは、JIS A 6201 に、膨張材は、JIS A 6202 に、高炉スラグ微粉末は、JIS A 6206 に、シリカフェームは、JIS A 6207 に、それぞれ適合したものを標準とする。

(b) 混和剤として用いる AE 剤、減水剤、AE 減水剤、高性能 AE 減水剤、高性能減水剤、流動化剤および硬化促進剤は、JIS A 6204 に適合したものを標準とする。また、鉄筋コンクリート用防錆剤は、JIS A 6205 に適合したものを標準とする。

(c) (a)、(b) 以外の混和材料については、その品質を確かめ、その使用方法を十分に検討する。

【解説】 (a) について 所要の品質を満足する高炉スラグ微粉末やフライアッシュ、シリカフェーム等を適切に使用することによって、密実で海水の化学的作用に対する抵抗性が高いコンクリートとなる。また、コンクリート内部への塩化物イオンの侵入の抑制に効果がある。さらに、アルカリシリカ反応の抑制にも有効であるので、浮体施設に使用するコンクリートには、これらの混和材を有効に活用するのがよい。ただし、これらの混和材の使用の効果は、それらの物理的・

化学的性質、置換率、コンクリートの養生条件等によって異なるので、使用にあたっては、事前に試験により確認するか、もしくは過去の使用例等を参考にして、適切な使用方法を定めておく。

(b) について コンクリート用化学混和剤 (JIS A 6204) に規定される AE 剤、減水剤、AE 減水剤、高性能 AE 減水剤、高性能減水剤、流動化剤および硬化促進剤や鉄筋コンクリート用防錆剤 (JIS A 6205) に規定される防錆剤、その他収縮低減剤等の混和剤は、コンクリートのワーカビリティ、強度、劣化に対する抵抗性、物質の透過に対する抵抗性の改善に有効である。それぞれ条件に応じて適切に使用する。

(c) について (a) 以外の混和材としては、けい酸質微粉末、ポゾラン、石灰石微粉末および高強度用混和材等がある。また、(b) 以外の混和剤として代表的なものの一つとして収縮低減剤が挙げられる。これらの混和材料は未だ品質規格が整備されておらず、また、それらの使用方法も様々である。使用にあたっては、十分な調査や試験を行い、その品質と使用方法を確認しておく必要がある。

1-1-4. 補強材料

(1) 鉄筋

土木学会コンクリート標準示方書 [施工編：施工標準 3章 材料] を参照する。

【解説】 海洋環境という過酷な環境において、鉄筋の腐食対策として、エポキシ樹脂塗装鉄筋 (JSCE-E102) を使用する場合には、土木学会発行の「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針 [改訂版]」を参考にする。また、鉄筋コンクリート用ステンレス異形棒鋼 (JIS G 4322) を使用する場合には、土木学会発行の「ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計施工指針 (案)」を参考にする。ただし、ステンレス異形棒鋼を用いる場合には、異種金属接触腐食について十分に配慮し、絶縁等の対策を適切に講じなければならない。

(2) 構造用鋼材

土木学会コンクリート標準示方書 [施工編：施工標準 3章 材料] を参照する。

(3) プレストレストコンクリート用材料

プレストレストコンクリート構造に用いる以下の材料は、土木学会コンクリート標準示方書 [施工編：特殊コンクリート 10章 プレストレストコンクリート] を参照し、品質の確かめられたものでなければならない。

(a) PC 鋼材

(b) 定着具および接続具

(c) シース

(d) PC グラウト材料および PC グラウト注入補助材料

(e) 付着を生じさせない場合の緊張材被覆材料

【解説】 **(c) について** 一般に、シースは鋼製あるいはプラスチック製のものが使用される。そのうち、プラスチック製シースは、海洋環境下において腐食することがなく、2010年に土木学会規準が制定される等、品質の信頼性も向上しており、塩害対策として有効である。プラステ

ック製シースのうち、ポリエチレン製シースを使用する場合は、「プレストレストコンクリート工学会発行の「PE シースを用いた PC 橋の設計施工指針（案）」を参照するとよい。

(4) 補強繊維

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 3章 材料〕を参照する。
補強繊維を使用する場合には、その品質を確かめ、その使用方法を十分に検討する。

(a) 短繊維

コンクリートの力学特性の改善やひび割れ幅の抑制、剥落および爆裂防止を目的として、短繊維を用いた補強材料を使用してよい。

(b) 連続繊維

連続繊維補強材は、連続繊維を結合材で棒状に固めて鉄筋や PC 鋼材の代替として用いるものと、連続シート状に成型したものがあり、これらを使用してよい。

【解説】 補強繊維の中には、海水中やコンクリート中のアルカリ環境下において、材料劣化が生じるものもあるため、その使用にあたっては、あらかじめ十分に検討しておく必要がある。

(a) について 短繊維には、主に、鋼繊維と合成繊維があり、使用にあたっては、その用途ごとに適した直径、長さおよび形状が異なるので、事前に試験を行い、その品質を確認するとよい。鋼繊維の品質は、土木学会規準「JSCE-E101 コンクリート用鋼繊維品質規格」を、合成繊維の品質は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 6章 短繊維補強コンクリート〕を参考にするとよい。

(b) について 連続補強材に用いる繊維は、炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維、ビニロン繊維、およびこれらの混合品の 5 種類に大別される。最近では、玄武岩を主材料としたバサルト繊維や超高強度繊維（高密度ポリエチレン繊維等）も製品化されている。連続繊維の品質は、事前に土木学会規準「JSCE-E131 連続繊維補強材の品質規格」に基づく試験を行い、その品質を確認した上で使用する。また、連続繊維補強コンクリートの製造にあたっては、土木学会発行の「連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」を参考にするとよい。

(5) 表面保護材

すりへり、衝撃等の激しい物理的作用を受ける部分およびプレストレストコンクリート部材の PC 鋼材の定着部、部材の接合部等の耐久性上の欠陥部となりやすい部分は、適切な材料でコンクリート表面を保護するのがよい。

【解説】 表面保護工としては、(a) 表面に被覆を施す工法、(b) 表面近傍断面に表面含浸材の含浸層を形成させる工法、(c) 樹脂などの接着剤を用いて表面に FRP シートを巻き付ける工法、(d) 表面に鋼板を取り付ける工法、(e) 埋設型枠を用いる工法、(f) その他の特殊な工法があり、これらの工法を適用したコンクリート構造物の場合は、すりへり、衝撃等の物理的作用の緩和や外来劣化因子による構造物の劣化の進行の抑制が期待できる。これらの表面保護工を施す場合には、土木学会発行の「表面保護工法設計施工指針（案）」を参考にするとよい。

1-2. 配合設計

1-2-1. 一般

- (1) コンクリートの配合設計は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕に定められる手順を参照する。
- (2) コンクリートの配合は、所要のワーカビリティが得られる範囲で、単位水量をできるだけ少なくするように定める。

【解説】 (1) について この章では、前章で対象とした標準的なコンクリートの配合設計の方法について示すが、水セメント比および水結合材比、ならびに単位セメント量および単位結合材量以外の各項目については、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕に定められた方法を参照して配合設計を行う。また、高流動コンクリート、高強度コンクリートなどの特殊コンクリートの配合設計については、本ガイドライン参考1「(4) 特殊コンクリート」を参照して配合設計を行う。

1-2-2. 配合設計の手順

配合設計の手順については、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照する。

1-2-3. コンクリートの特性値の確認

配合設計に先立ち、設計基準強度、劣化に対する抵抗性、物質の透過に対する抵抗性およびその他の品質に関して設計図書に記載されたコンクリートの特性値を確認する。

【解説】 コンクリートの特性値の確認については、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照する。

1-2-4. コンクリートのワーカビリティ

ワーカビリティの設定は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照する。

1-2-5. 配合条件の設定

(1) 粗骨材の最大寸法

- (a) 施工の際、設計図書に記載された粗骨材の最大寸法が、部材寸法、鉄筋のあきおよびかぶり を考慮して決められていることを確認する。
- (b) 粗骨材の最大寸法は、鉄筋コンクリートの場合は部材最小寸法の $1/5$ を、無筋コンクリートの場合は部材最小寸法の $1/4$ を超えないことを標準とする。
- (c) 粗骨材の最大寸法は、はりおよびスラブの場合は鉄筋の最小水平あきの $3/4$ を超えてはならない。また、柱および壁の場合は軸方向鉄筋の最小あきの $3/4$ を超えてはならない。

- (d) 粗骨材の最大寸法は、かぶりの 3/4 を超えないことを標準とする。
- (e) 粗骨材の最大寸法は、最小断面寸法や鋼材の最小あきおよびかぶり等の構造条件に応じて土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照して定める。

【解説】 粗骨材の最大寸法の設定については、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照する。

(2) スランプ

- (a) スランプの設定にあたっては、運搬、打込み、締固め等の作業に適する範囲内ですできるだけスランプが小さくなるように、事前に、打込み箇所、締固め作業高さや棒状バイブレータの挿入間隔、1 回当りの打込み高さや打上がり速度等の施工方法等に考慮しなければならない。
- (b) スランプは、運搬、打込み、締固め等の作業に適する範囲内で、材料分離を生じないように設定する。
- (c) 打込みの最小スランプの目安は、構造物の種類、部材の種類と大きさ、鋼材量や鋼材の最小あき等の配筋条件、締固め作業高さ等の施工条件に基づき、部材の種別に応じて土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照して定める。
- (d) 荷卸しの目標スランプおよび練上がりの目標スランプは、打込みの最小スランプを基準として、これに荷卸しから打込みまでの現場内での運搬および時間経過に伴うスランプの低下、現場までの運搬に伴うスランプの低下、および製造段階での品質の許容差を考慮して設定する。
- (e) 打込む部材が複数ある場合で、部材ごとに個別にコンクリートを打込むことができる場合には、部材ごとに打込みの最小スランプを設定する。複数の部材を連続して打込む場合等で途中でスランプの変更ができない場合には、各部材の打込みの最小スランプのうちの大きい値を用いるのを標準とする。
- (f) 場内運搬でコンクリートポンプによる圧送を行う場合には、圧送に伴うスランプの低下を考慮して、圧送距離や輸送管の接続条件等の圧送条件、打込みの最小スランプ、環境条件等の諸条件に応じたスランプの低下量を見込む。

【解説】 スランプの設定については、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照する。

(3) 配合強度

配合強度の設定は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照する。

(4) 水セメント比および水結合材比

- (a) 高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェーム、膨張材等、セメントと類似の結合効果をもたらす各種結合材料を用いる場合には、セメントにこれら結合材も含めた水結合材比を水セメント比と同義的に扱う。
- (b) 水セメント比の上限は、飛沫帯および海上大気中に供される部材の場合は 40%、海中に供される部材の場合は 45%を標準とし、かつ、コンクリートに要求される強度、コンクリートの

劣化に対する抵抗性ならびに物質の透過に対する抵抗性等を考慮して、これらから定まる水セメント比のうちで最小の値を設定する。コンクリートの圧縮強度に基づいて水セメント比を定める場合は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照して定める。

- (c) コンクリートの劣化に対する抵抗性および物質の透過に対する抵抗性等を考慮した水セメント比が、設計図書に参考値として記載されている場合は、施工の際、その参考値以下の水セメント比となるように定める。

【解説】 (a) について 海洋で用いられるコンクリートにおいては、高炉スラグ微粉末やフライアッシュ、シリカフェーム等の結合材を適切に用いると、塩化物イオンの侵入抵抗性や海水の化学的作用に対する抵抗性を高められる。土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕では、これら潜在水硬性やポゾラン反応性を有する結合材を使用する場合には、セメントにこれら結合材も含めた水結合材比を水セメント比と同義的に扱っている。このため、本ガイドラインの水セメント比の設定においても、水結合材比を水セメント比と同義的に扱うこととした。

(b) について 「飛沫帯」とは、波しぶき等による乾湿の繰返しを受け、構造物にとって耐久性上最も厳しい環境であるため、コンクリート中の鋼材の腐食、凍害等の劣化が生じやすい。なお、本ガイドラインでは潮の干満による乾湿の繰返しを受ける環境にある「干満帯」は、「飛沫帯」に含めることとした。「海上大気中」とは飛沫帯の上方にあって常時潮風を受け、波しぶきをまれに受ける環境であり、「飛沫帯」に次いで厳しい環境である。一方、「海中」とは常時海中に没している部分で、海水の化学作用、海底の砂等による摩耗作用を受けるが、コンクリート中の鋼材腐食作用は飛沫帯、および海上大気中に比べて緩やかである。このため、「飛沫帯、および海上大気中」の環境下に部材が供される場合と、「海中」とで水セメント比の上限を区別・設定することとした。低水セメント比コンクリートの長期健全性を実証する2つの調査事例を、参考資料-3 に示す。

(5) 空気量

- (a) コンクリートの空気量は、粗骨材の最大寸法、その他に応じ、練上がり時においてコンクリート容積の4~7%を標準とする。
- (b) 凍結融解作用を受ける場合は、コンクリートの空気量を土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 7章 海洋コンクリート〕に示される、海洋コンクリートにおける空気量の設定値を参照して定める。
- (c) コンクリートの空気量試験は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照して行う。

【解説】 空気量の設定については、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照する。特に、凍結融解作用を受ける環境条件に供される場合は、同書に示される海洋コンクリートにおける空気量の標準値を参考に適切な空気量を定めて、凍結融解作用に対して十分な抵抗性を有するよう考慮する必要がある。

(6) 細骨材率

細骨材率の設定は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照する。

(7) 混和材料

混和材料の使用については、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照する。

1-2-6. 単位量の設定

(1) 単位水量

単位水量の設定は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照する。

(2) 単位粉体量

単位粉体量の設定は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 4章 配合設計〕を参照する。

(3) 単位セメント量および単位結合材量

(a) 高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェーム、膨張材等、セメントと類似の結合効果をもたらす各種結合材料を用いる場合には、セメントにこれら結合材も含めた単位結合材量を単位セメント量と同義的に扱う。

(b) 施工の際、単位セメント量は、設計図書に記載された参考値に基づき設定する。

(c) 単位セメント量に下限あるいは上限が規定されている場合には、これらの規定を満足させるが、特に規定の無い場合は以下を標準とする。

- ・ 飛沫帯、および海上大気中に供される部材

粗骨材の最大寸法 20 または 25mm : 330 kg/m³ 以上

粗骨材の最大寸法 40mm : 300 kg/m³ 以上

- ・ 海中に供される部材

粗骨材の最大寸法 20 または 25mm : 300 kg/m³ 以上

粗骨材の最大寸法 40mm : 280 kg/m³ 以上

【解説】 (a) について 1-2-5. (4)に示したように、水結合材比を水セメント比と同義的に扱うことと同様に、高炉スラグ微粉末やフライアッシュ、シリカフェーム等の結合材を使用する場合には、本ガイドラインではセメントにこれら結合材も含めた単位結合材量を単位セメント量と同義的に扱うこととした。

(c) について 単位セメント量の標準値は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コ

ンクリート 7章 海洋コンクリート] に示される、海洋コンクリートにおける単位セメント量の標準値を参照することとした。

(4) 試し練り

試し練りの方法は、土木学会コンクリート標準示方書 [施工編：施工標準 4章 配合設計] を参照する。

(5) 配合の表し方

配合の表し方は、土木学会コンクリート標準示方書 [施工編：施工標準 4章 配合設計] を参照する。

2. 荷重

国交省ガイドライン [第2編第2章 2. 荷重] を参照する。

2-1. 一般

国交省ガイドライン [第2編第2章 2.1 一般的事項] を参照する。

2-2. 設計条件および荷重ケース

国交省ガイドライン [第2編第2章 2.3 設計条件及び荷重ケース] を参照する。

2-3. 荷重計算

国交省ガイドライン [第2編第2章 2.4 荷重計算] を参照する。

2-4. 使用性の照査に用いる荷重

土木学会コンクリート標準示方書 [設計編：本編 6章 作用] および [設計編：標準 4編 使用性に関する照査] を参照する。

【解説】 2-4. について 本ガイドラインでは荷重については国交省ガイドラインを参照することとしているが、国交省ガイドラインにて規定されている荷重および荷重ケース (DLC1~8, E) は終局限界(U)および疲労限界(F)を照査対象としており、コンクリートのひび割れ、変位・変形、水密性などの使用性 (使用限界(S)) に関する項目は規定されていない。このため、ここでは「使用性の照査に用いる荷重」の節を追加し、その設定に当たっては、土木学会コンクリート標準示方書 [設計編] を参照することとした。

3. コンクリート製浮体施設の設計

3-1. 一般

国交省ガイドライン [第2編第2章 3.1 一般的事項] を参照する。

コンクリート製浮体施設の設計は、コンクリート特有の材料の劣化、ひび割れ、透水性、鉄筋等腐食を考慮して、十分な耐久性を確保した上で、安全性、使用性を満足するものでなければならない。

【解説】 鋼材を前提とする浮体設計において、透水やひび割れは前提とされていないが、コンクリートは材料の劣化、ひび割れ、透水性など、鋼と異なる性質を有するため、これらの性質を適切な構造設計により設計寿命にわたり制御することにより、十分な信頼性を有する浮体を設計しなくてはならない。特に、飛沫帯や海中部に限らず、浮体全体が塩害環境に長期間さらされることから、耐力や疲労強度の不足によってコンクリートに発生したひび割れ、かぶりの不足や水密性の不足による透水により、鋼材腐食による断面欠損や疲労強度の低下が急速に進行し、タワーの倒壊、浮体の破壊、係留の破壊などにより、漂流や沈没に発展する。したがって、コンクリート製浮体施設の構造設計にあたっては、材料の劣化や物質の透過に対する抵抗性を備えた材料を使用することで耐久性が確保されていることを前提に、十分な終局強度と疲労強度、水密性を満足するものでなければならない。

3-2. 設計目標と設計条件

3-2-1. 一般

コンクリート製浮体施設の設計目標は供用期間中において、耐久性が確保されていることを前提とし、安全性、使用性などの要求性能を確保することである。

バラストコンクリート等付属的な部材を除き、ひび割れが構造性能に悪影響を及ぼさない設計としなければならない。ただし、設計寿命を考慮した十分な検討と実績等による検証がなされ、かつ、設計的な余裕を十分に見込んでいる場合には、ひび割れの発生を許容することができる。

施工中に発生した温度ひび割れや乾燥収縮によるひび割れなど修復可能なひび割れは、供用前に修復し、耐久性を確保しなければならない。

設計にあたっては、適切な設計フローを設定し、適切な割増係数を選定し、必要な性能が確保されていることを照査しなければならない。

【解説】 浮体式洋上風力発電施設は、20年を超える供用期間において、継続的な稼働が前提とされており、浮体にコンクリートを使用する目的が風車を支持する構造物である浮体のコスト低減にあることから、高い頻度での点検や修繕は前提とされていない。浮体式洋上風力発電施設に重大な損傷が発生した場合、港湾での修繕費用だけでなく、係留や海底ケーブルの解除、曳航、再設置にも費用が必要となり、その費用が事業による収益を上回る可能性があるため、一般船舶のようなドッグインを前提とすることは現実的ではなく、供用期間全体において十分な健全性を備えることが求められている。

また、浮体式洋上風力発電施設は世界でも事例が少なく、2020年3月時点では国内で1例、世界でも2例にとどまっており、商用化に至っているものは1例にすぎない。特に、水圧環境下でひび割れに海水が浸入した後に、ひび割れに圧縮力がかかり海水が抜け出せない状態に陥った場

合、ひび割れ内の水圧が上昇してひび割れが進展する可能性が否定できず、その繰返し載荷による挙動については十分な検証がなされていない。したがって、十分な実績が整うまでの間はひび割れが構造性能に悪影響を及ぼさない設計としなければならないとした。一方、コンクリート製浮体技術の発展という側面から、設計寿命を考慮した海水条件下での繰返し載荷への十分な検討がなされ、実績等でひび割れ発生メカニズムの検証がなされている場合で、かつ、設計時に想定していない浮体の挙動の発生を考慮し、設計的な余裕を十分に見込んでいる場合には、有害でないひび割れの発生を許容することとした。

また、コンクリートの性質から、施工中などに温度ひび割れや乾燥収縮によるひび割れを完全に防止することは困難であることから、修復可能なひび割れや構造に直接影響しないバラストコンクリートなどの付属物については、供用前の修復を認めることとした。

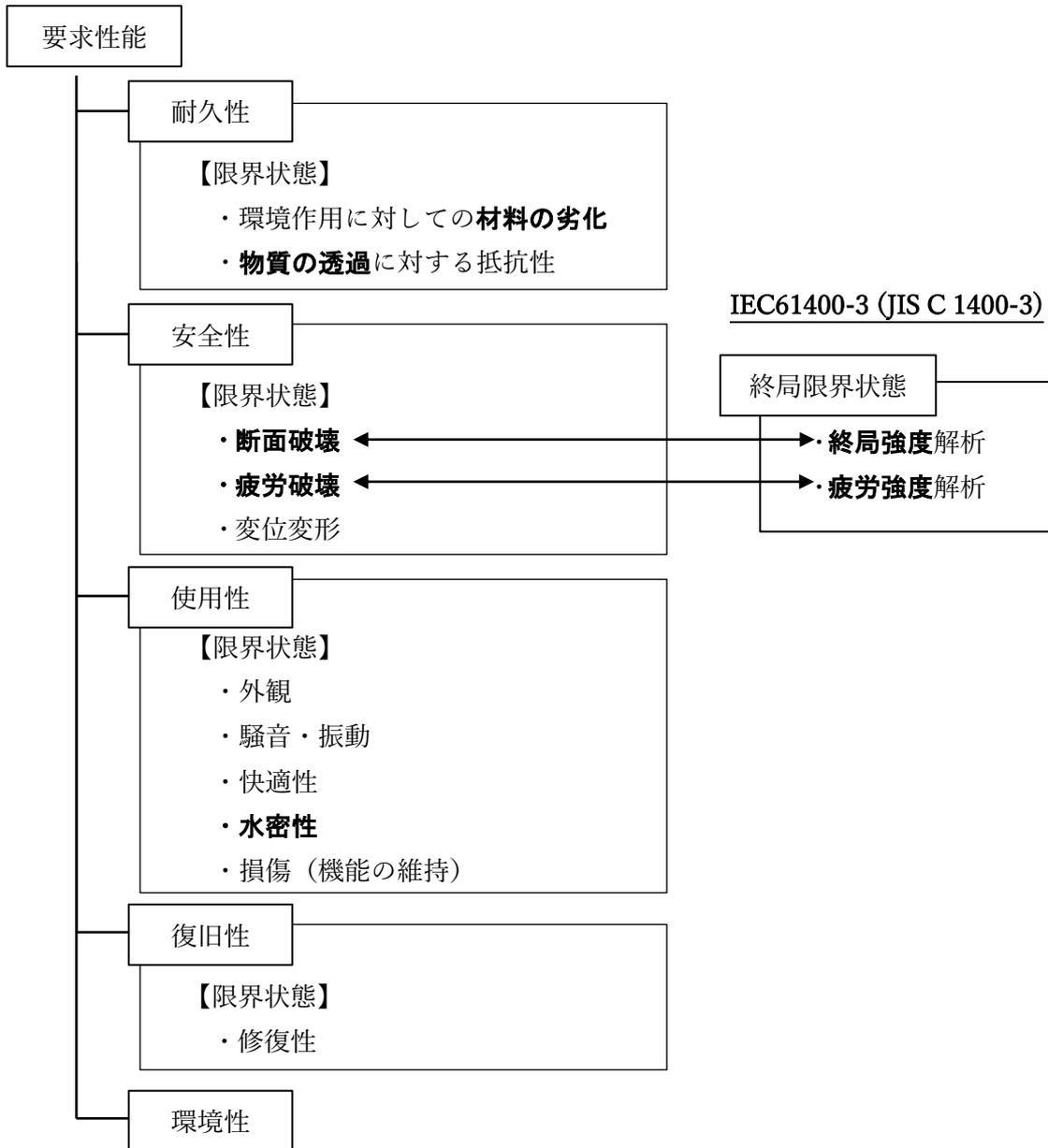
3-2-2. 要求性能の定義

要求性能は、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：本編 2章 要求性能〕を参照する。ただし、2.1 一般(1)、2.5 復旧性については対象外とする。

【解説】 要求性能の定義は、土木学会と IEC（国際電気標準会議）では異なる用語を使用しているので、注意が必要である。

解説 図 2-1 に示すように、IEC 基準では終局限界状態の終局強度、疲労強度として表現されているが、土木学会では安全性の断面破壊、疲労破壊として表現されている。本ガイドラインでは、原則として土木学会コンクリート標準示方書の表現を採用することとした。

土木学会コンクリート標準示方書 [設計編]



解説 図 2-1 要求性能の定義に関する土木学会コンクリート標準示方書と IEC 基準との比較

本ガイドラインでは、土木学会コンクリート標準示方書 [設計編：本編 2 章 要求性能 2.1 一般(1) 2.5 復旧性] を対象外とした。

2.1 一般(1) について 設計耐用期間は、1.1 一般で規定されていることから対象外とした。

2.5 復旧性 について :土木学会コンクリート標準示方書 [設計編：本編 1 1 章 復旧性に関する照査 11.1 一般(3)] では、復旧性に関する照査で対象とする偶発作用は、地震の影響、火災の影響、衝突とすると規定している。コンクリート製浮体施設に対する偶発作用は、作業船の衝突である。作業船の衝突については、3 章荷重で規定される荷重ケース DLC8.1 に含まれる。すなわち、作業船の衝突に対する照査は、終局限界の照査に含まれることから、本ガイドラインでは、要求性能から復旧性を対象外とした。

3-2-3. 限界状態の定義

限界状態は、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：本編 4章 性能照査の原則 4.1 一般〕を参照する。

【解説】 限界状態は、要求性能である耐久性、安全性および使用性に対して設定する。

(i) 耐久性

耐久性には、設計耐用期間中のすべての期間にわたり要求性能を確保するための限界状態として、以下の限界状態を設定する。

・材料の劣化

設計耐用期間中に、要求性能に関して材料の劣化による不具合が生じないための限界状態。

・物質の透過性

設計耐用期間中に、要求性能に関して物質の透過性による不具合が生じないための限界状態。

(ii) 安全性

安全性に関しては、構造物の破壊・崩壊に対する限界状態として、以下の限界状態を設定する。

・終局限界

設計耐用期間中に生じるすべての作用に対して、構造物が耐荷能力を保持可能な性能を表す限界状態。本ガイドラインでは、土木学会コンクリート標準示方書における断面破壊は、終局限界と同意として使用した。

・疲労限界

設計耐用期間中に生じるすべての変動作用の繰返しに対して、構造物が耐荷能力を保持可能な性能を表す限界状態。本ガイドラインでは、土木学会コンクリート標準示方書における疲労破壊を疲労限界と同意として使用した。

(iii) 使用性

浮体式洋上風力発電施設においては、風力発電施設の全体構造システムの使用性からブレイクダウンされた要件が、浮体施設に求められる使用性の要件となる。すなわち、全体構造システムの設計の結果から浮体施設に要求される使用性が決まり、それを満足するための制限値として規定すべきコンクリートの応力や変位・変形、浮体施設の傾斜等の物理量が定められることになる。コンクリート製浮体構造物の使用性の照査においては、必要となる照査指標を選定した上で、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：本編 10章 使用性に関する照査〕に則った照査方法で浮体施設の性能が所定の設計寿命において確保されるか否かを判定する。

ただし、水密性は、全体構造システムの設計に関わらず浮体施設の用途・機能から定まる使用性であることから、以下の限界状態を設定する。

・水密性

水密性を要するコンクリート構造物が、漏水や透水、透湿により用途・機能を損なわないための限界状態。

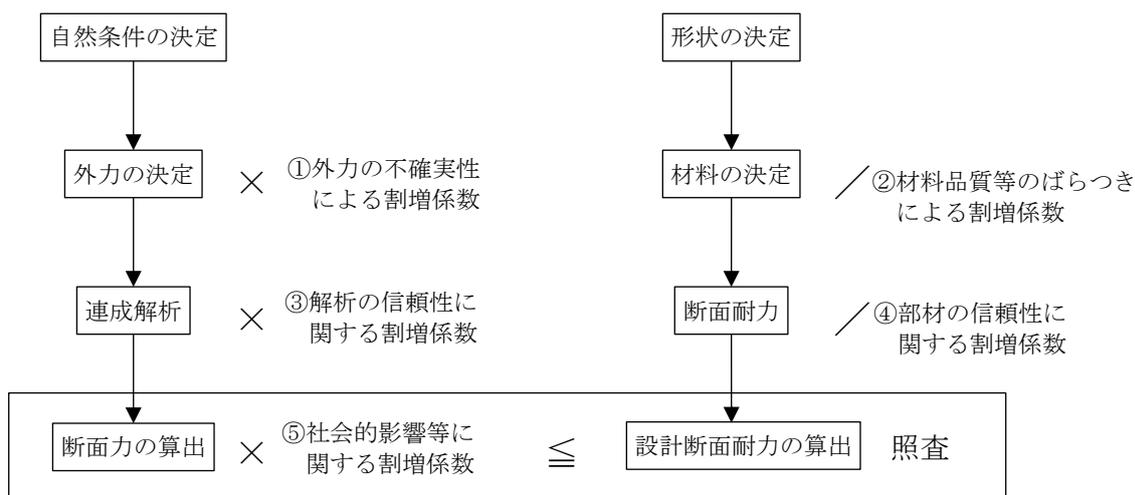
3-3. 設計フローと割増係数

- (1) 設計は、要求性能の設定、構造配置、構造詳細の設定、要求性能の照査というそれぞれの作業で構成され、これらの作業が一貫して実施されなければならない。
- (2) 設計にあたっては、それぞれの値や手法の信頼性に応じて適切な割増係数を選定することで、設計全体の信頼性を確保しなければならない。

【解説】 (1) について 設計にあたっては、適切な設計フローの設定が重要である。設計フローの例を解説 図 2-2 に示す。設計は一般に3つの段階によって実施する。まず、自然条件を決定し、外力を算定、風車、浮体、係留系の動的連成解析によって、発生する断面力を算定する。次に浮体の形状を決定し、材料を選定、断面耐力計算により設計断面耐力を算定する。最後に、設計断面耐力が発生する断面力よりも安全側にあることを確認する。

(2) について 特に、コンクリート製の浮体式洋上風力発電施設は世界的にも2例しか実績が無いことから、実施にあたっては、十分な実験、実証などにより、その信頼性を高めていくことで、割増係数を低減し、より経済的な設計に移行することが可能となる。

国交省ガイドラインと土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕の割増係数の比較を解説 表 2-1 に示すとともに、主要な基準類に記載されている割増係数等の詳細を参考資料-4 に示す。



解説 図 2-2 土木学会コンクリート標準示方書による設計フロー

解説 表 2-1 割増係数の基準別比較

	国交省ガイドライン	土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕	本ガイドライン
①外力の不確実性	設計荷重ケース	作用係数 1.0~1.2	国交省ガイドラインに準じる
②材料品質等のばらつき	許容応力度	材料係数 1.0~1.3	材料係数 1.0~1.3 (国交省ガイドライン対象を除く)
③解析の信頼性	特殊部分安全率	構造解析係数 1.0	構造解析係数 適切に設定
④部材の信頼性	②に含まれる	部材係数 1.0~1.3	部材係数 1.0~1.3

⑤社会的影響等	対象構造物別の基準	構造物係数 1.0～1.2	国交省ガイドラインに準じる
---------	-----------	---------------	---------------

① 外力の不確実性による割増係数

外力の不確実性の要因は、国交省ガイドラインに設計荷重ケース（DLC）として規定されている。土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕においては、作用係数として1.0～1.2が採用されているが、DLCでは1.35などが採用されている。これは、一般的な土木構造物に比べ、浮体式洋上風力発電に作用する外力の実績値が少なく、確率的に算出されているために、一般的な土木構造物よりも不確実性が高いことが原因と考えられる。したがって、本ガイドラインにおいては国交省ガイドラインを採用することとした。

② 材料品質等のばらつきによる割増係数

国交省ガイドラインでは、許容応力度法の考え方も採用されている。一般的に、鋼材はコンクリートよりも品質が安定しており、材料係数での評価が適当であるが、これは船舶設計において、許容応力度法を採用することで、部材強度計算を簡素化しているためと考えられる。

本ガイドラインでは、国交省ガイドラインで規定の無いコンクリート部材については限界状態設計法が一般的であること、コンクリート材料について国交省ガイドラインで規定されていないことから、限界状態による照査とし、コンクリートの材料強度の特性値に対して、適切な材料係数1.0～1.3を採用して照査するものとし、鋼製部については国交省ガイドラインを採用することとした。コンクリートの材料係数の例を下記に示す。

現場打ちコンクリート 1.3

特殊材料（都度検討）

③ 解析の信頼性に関する割増係数

土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕においては、解析手法が確立されていることから1.0と定められている。解析の信頼性には、解析手法だけでなく、モデル化手法、実海域での計測手法など、様々な要因が含まれる。実構造物と解析を完全に一致させることが困難な場合や、精度の高い解析に時間を要する場合には、この割増係数を適切に設定することで、より経済的な設計が可能になる。

④ 部材の信頼性に関する割増係数

部材の信頼性に関する割増係数とは、部材計算上の不確実性、部材寸法のばらつき、部材の重要度、破壊性状によって定めるものであり、国交省ガイドラインにおいては②に含まれていると考えられている。土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕においては部材係数として1.0～1.3が採用されていることから、本ガイドラインにおいてはコンクリート部材については、部材係数を採用する。部材係数は、下記を考慮して設定する。

- ・部材解析の信頼性 FEM等
- ・部材寸法のばらつき プレキャスト、鋼製型枠、木製型枠、出来形等
- ・部材の重要度 係留部、タワー基部、引張力作用部等
- ・破壊性状の違い 超高強度コンクリート等

⑤ 社会的影響等に関する割増係数

国交省ガイドラインにおいては対象構造物別の基準が整備されている。本ガイドラインにおいても目的が限定されており、DLCの定義段階で考慮されていると考えてよい。

3-4. 構造配置

3-4-1. 一般

コンクリート製浮体施設の構造配置は、国交省ガイドライン [第2編第2章 3.2 構造配置] を参照する。

【解説】 構造配置は、所定の要求性能を満足するように、施工方法、維持管理方法、環境性、経済性を考慮して、検討する必要がある。

浮体構造においては、台風などによりコンクリートが損傷し、ひび割れなどが発生した場合でも、地震のように短時間で収束することなく、数時間から数日にわたり繰返し荷重が作用し、海象条件によっては修復が困難になるため、損傷が加速度的に拡大する可能性がある。構造配置においては、タワー固定部、係留設備部など、暴風時において外力が継続的に作用する箇所については、DLC（設計荷重ケース）の要求解析時間にこだわらず、ひび割れ後の弾塑性解析を様々な条件で実施し、加速度的な破壊に至らないことを確認するなど、慎重な設計が必要である。

浮体施設を鋼・コンクリートの合成構造とする場合には、土木学会の「複合構造標準示方書」を参照する。また、浮体構造物では、点検口、バラスト取り入れ用開口部、内部区画からのドレン水の排水管等が必要になる。コンクリート構造部の開口部の構造・補強の設計は、土木学会コンクリート標準示方書 [設計編：標準 7編 4章その他の構造細目 4.4 開口部周辺の補強] を参照し、ハッチカバーなどの鋼製部材については、鋼船規則を参照する。

3-4-2. タワー固定部の構造配置

タワー固定部の構造配置は、土木学会風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 [2010年版] 8.1.2 定着部の形式および8.2.1 基本的な考え方を参照する。

【解説】 タワー部は、陸上風車や着床式洋上風車と同様に、アンカーボルト方式、アンカーリング方式等によりコンクリート製浮体施設に接合するため、タワー固定部のコンクリートには引張力が作用する。ただし、コンクリート製浮体施設の場合、陸上風車や着床式洋上風車とは異なり、コンクリート製浮体施設の6自由度の動揺により、タワー固定部に曲げ、せん断、ねじり、引張の大きな断面力が発生するため、設計にあたっては、タワー固定部のみならず、タワー固定部の周辺部への影響についても十分に配慮しなければならない。

3-4-3. 係留設備

コンクリート製浮体施設の係留設備は、国交省ガイドライン [第2編第3章 位置保持システム] を参照する。

【解説】 コンクリート製浮体施設と係留索との接合部は、パッドアイ、チェーンストップ等の鋼製部材で構成されるため、係留部は、鋼製部材とコンクリートとの複合構造となる。鋼製部材との接合方法としては、タワー固定部と同様にアンカーボルトや埋め込み金物を利用する方法が想定される。設計にあたっては、コンクリートに繰返し引張荷重が作用するため、コンクリートの損傷や損傷後の耐力はもちろん、疲労限界に対しても十分に配慮しなければならない。

3-5. 全体強度解析

3-5-1. 一般

- (1) コンクリート製浮体施設の構造解析に際しては、風車施設からタワーおよび浮体・係留施設に働く永続・変動荷重を考慮しなければならない。「第2編第2章2. 荷重」に記載する荷重および設計荷重ケースに対し、風車-タワー-浮体-係留系からなる全体構造系の連成解析を行うものとする。
- (2) コンクリート製浮体施設各部材の構造解析にあたっては、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：標準 1編〕を参照する。

【解説】 (1) について 浮体式洋上風力発電施設では、空力的な現象と水力的な現象が連成するため、風車-タワー-浮体-係留系に作用する風および波による荷重を考慮した時間領域での連成解析を行うことを基本とした。

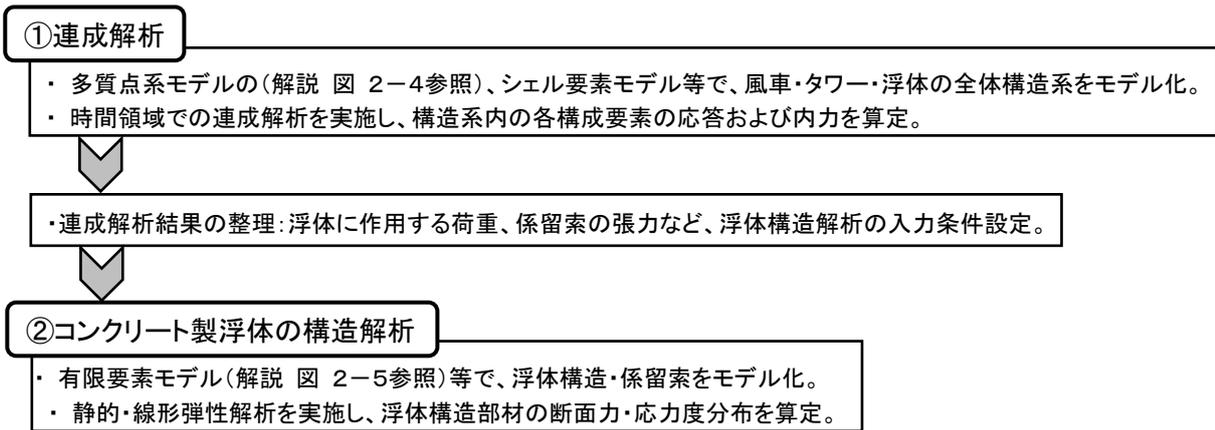
(2) について コンクリート製浮体施設の各部材の構造解析にあたっては、必要に応じて浮体をさらにモデル化し、上記連成解析結果に基づき、浮体本体、浮体とタワーの接合部およびその影響範囲、浮体と係留索の接合部およびその影響範囲などの検討に必要な断面力を算定する。算定にあたっては、砕波や越波による衝撃、大型浮体においては水面変形による方位別の水位差についても考慮する必要がある。各部材や構造の種類に応じた照査方法や構造細目については、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：標準 1編 部材の構造解析〕を参考としてよい。

3-5-2. 解析手法

- (1) コンクリート製浮体施設の構造設計には、全体構造系の動的連成解析を行った後、浮体構造物を静的に解く、いわゆる2段階解析法を適用してよい。
- (2) 風車-タワー-浮体-係留系からなる全体構造系の連成解析には、時間領域における動的応答解析手法を用いるのを標準とする。
- (3) コンクリート製浮体施設の構造解析は、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：本編 7章 応答値の算定 7.3 構造解析〕を参照する。
- (4) 設計荷重効果 S_{di} の算定は、解析の目的に応じて、国交省ガイドライン〔第2編第2章 3.3 全体強度解析〕(1)(i) 設計荷重効果に規定する方法(イ)または(ロ)を適宜選択するものとする。

【解説】 (1) について 連成解析のみからコンクリート製浮体施設を直接設計することも理論上は可能であるが、非常に多くの荷重ケース数やコンクリート微小要素モデルの組み込みを一般に要することから、計算時間が膨大となることが予想される。ここでは、浮体構造物の解析がより簡便となり、かつ安全側の設計となし得る2段階解析法を適用してよいこととした。

2段階解析フローの一例を解説図 2-3に示す。



解説 図 2-3 2段階解析フローの例

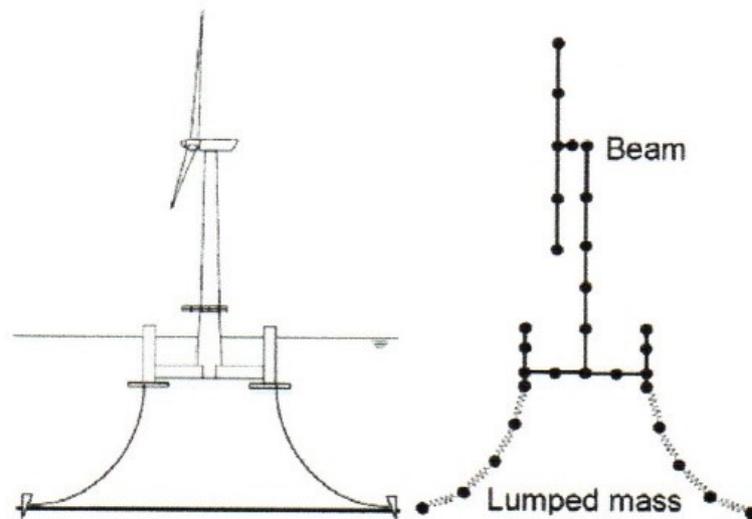
(2) について 全体構造系の連成解析には、空力・構造・制御システムの非線形性と連成効果を考慮できる時間領域での解析手法（時刻歴応答解析）を用いるのを標準とした。ただし、時間領域における解析結果と同等以上の安全性が確保される場合には、周波数領域における解析手法を採用してもよい。

(3) について コンクリート製浮体施設の構造解析は、一般に汎用構造解析コードを使用した静的構造解析としてよい。波・風による荷重は動的に作用するが、荷重値・分布作用などを安全側に単純化した静的荷重に変換するものとする。

3-5-3. 解析モデル

- (1) コンクリート製浮体施設構造のモデル化は、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：本編 7章 応答値の算定 7.2 モデル化〕を参照する。
- (2) コンクリート製浮体施設構造のモデル化に際しては、浮体に接続しているタワーおよび係留索も含み、接合部付近の断面力・応力度分布状態を再現し得るモデルを構築するものとする。
- (3) コンクリート製浮体施設の構造部材には、応答に応じて非線形性の影響を考慮することとする。ただし、部材の非線形性の影響が断面力などの照査指標に影響を及ぼさないか、安全側かつ合理的な評価を与えることが明らかな場合は、部材を線形として扱ってよい。
- (4) コンクリート製浮体施設をシェル要素でモデル化する場合、構造解析から得られたモーメントを面内力に置換え、面内力を受ける面部材として部材の性能照査を行ってよい。

【解説】 (1) について 作用による構造物の応答特性に応じて、解析範囲・解析次元の設定、作用や構造物のモデル化を行う必要がある。解説 図 2-4 および解説 図 2-5 に、構造系全体の連成解析を主眼に置いた多質点系モデルと、浮体構造に焦点を当てた有限要素モデルの例をそれぞれ示す。



解説 図 2-4 弛緩係留されたセミサブ浮体を対象とした多質点系連成解析用モデルの例¹⁾



解説 図 2-5 浮体構造解析用有限要素解析 (FEA) モデルの例²⁾

(2) について コンクリート製浮体施設とタワーまたは係留索の接合部には、

- ・ 繰返し荷重の作用
- ・ 部材断面の急変

等の影響が生じる。このため、構造系全体の応答と局所的な応答の整合を考慮したモデル化が必要となる。

(3) について コンクリート製浮体施設では、通常、水密性・耐久性などを弾性領域で検討し、それが部材設計を支配する。このためコンクリート製浮体施設は、安全側であることを検証した

上で発生応力を評価できる線形弾性体として扱ってもよい。また、その場合、鉄筋等の影響を無視したコンクリート全断面を有効と考えた部材剛性を用いることができる。

(4) について 既往のコンクリート製浮体施設では面部材が適用されていることから、浮体を主としてシェル要素でモデル化されることが想定される。この場合、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：標準 1 編 7.4 シェルおよび壁〕に示されるように、構造解析から得られたモーメントを面内力に置換え、部材の性能照査を行うことが考えられる。同様の手法が、DNVGL (Det Norske Veritas and Germanischer Lloyd：国際的第三者認証機関) 基準、ユーロコード等にも採用されている。

【参考文献】

- 1) 日本船舶海洋工学会：浮体式洋上風力特別検討委員会 最終報告書, 2015.
- 2) DTU Wind : Design Solutions for 10MW Floating Offshore Wind Turbines, 2017.

3-6. 耐久性に関する照査

3-6-1. 一般

耐久性に関する基本的な考え方は、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：本編 8 章 耐久性に関する照査〕および〔設計編：標準 3 章 耐久性に関する照査〕を参照する。ただし、化学的侵食に対する照査については、対象外とする。

【解説】 土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：本編〕では耐久性に関する照査として、中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食に対する照査、塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査、凍害に対する照査、化学的侵食に対する照査を規定している。海洋において化学的侵食によるコンクリートの劣化が問題となるのは、海底温泉地帯、酸性河口流域、海底熱水鉱床および酸性・硫酸塩土壌等に建造された構造物であるが、これらは特殊な自然環境であることから、浮体式洋上風力発電の立地としては考えにくい環境条件である。よって本ガイドラインでは化学的侵食に対する照査を対象外とした。

3-6-2. ひび割れ幅の照査

ひび割れ幅の照査は、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：標準 2 編 3 章 耐久性に関する照査〕を参照する。ただし、海洋環境下で供用される浮体施設であることを考慮し、以下を基本とする。

- (1) 供用期間を通じて、コンクリート表面におけるひび割れ幅が、鋼材腐食に対するひび割れ幅の限界値以下であることを確認する。
- (2) 鋼材腐食に対するひび割れ幅の限界値（許容ひび割れ幅）は、鉄筋コンクリート構造の場合は、 $0.005c$ (c ：かぶり)、PRC 構造の場合は、 $0.004c$ とする。ただし、飛沫帯に置かれる部材や主構造部材におけるひび割れ幅の限界値は、 0.2mm を上限とする。
- (3) 高い水密性を確保する必要がある部材におけるひび割れ幅の限界値は、 0.1mm を目安とする（解説表 2-2 参照）。

【解説】 コンクリート製浮体施設に発生するひび割れは、鋼材腐食による耐久性の低下、水密性・気密性の低下に伴う浮体機能の低下、ならびに美観の低下を引き起こすばかりでなく、構造物に過大な変形を生じさせることとなる。設計耐用期間中に施設機能（特に発電機能）が損なわ

ることがないように、ひび割れ幅を適切に制限しなければならない。

(1)、(2) について コンクリート構造物の耐久性に最も大きく寄与するのは鋼材腐食である。かぶりに過大な幅のひび割れが存在すると、局所的な鋼材腐食が生じる場合があること、腐食が生じるひび割れ幅には、かぶりの影響が認められることから、ひび割れ幅の限界値をかぶりの関数として定めた。この値は経験的に定めたもので、構造物が置かれる環境条件やひび割れ幅の算定方法と併せて、実状に応じて限界値を設定してもよい。ただし、コンクリート製浮体施設のうち、飛沫帯に置かれる部材や主構造部材においては、設計耐用期間中に鋼材の腐食を防ぐことを目的に、ひび割れ幅の限界値を 0.2mm とした。

(3) について コンクリート製浮体施設において、浮力を期待した容器構造で高い水密性が求められる部材に関しては、ひび割れからの透水が著しくならないようにひび割れ幅を小さくすることが望ましく、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：標準 4 編 使用性に関する照査〕を参照して、ひび割れ幅の設計限界値の目安を設けた（解説 表 2-2）。

解説 表 2-2 水密性に対するひび割れ幅の設計限界値の目安 (mm)

要求される水密性の程度		高い水密性を確保する場合	一般の水密性を確保する場合
卓越する 断面力	軸引張力	— ¹⁾	0.1
	曲げモーメント ²⁾	0.1	0.2

- 1) 断面力によるコンクリート応力は全断面において圧縮状態とし、最小圧縮応力度を 0.5 N/mm² 以上とする。なお、詳細解析により検討を行う場合には、別途定めるものとする。
- 2) 交番荷重を受ける場合には、軸引張力が卓越する場合に準じることとする。

出典：土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕、2017

3-6-3. 鋼材腐食に対する照査

(1) 中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食に対する照査

土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：標準 2 編 3 章 耐久性に関する照査〕を参照する。中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食に対して、鋼材腐食深さが設計耐用期間中に鋼材腐食深さの限界値に達しないことを確認する。

【解説】 中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食に対する照査にあたっては、以下の条件で実施することを基本とする。

- ・ Δc_e ：かぶりの施工誤差は 0mm としてよい。

細心の注意を払った入念な施工が行われること、型枠脱型後にかぶりの全数検査が行われることを前提に、照査における施工誤差は 0mm としてよいこととした。なお、施工誤差を想定する場合には、これを適切に設定し、照査してよい。

- ・ 設計寿命は、20 年を標準とする。
- ・ 常時乾燥している場合や、常時滞水している（海中にある）部材については、照査を省略してよい。

なお、“中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食深さ”を直接算定することが困難な場合には、中性化深さが設計耐用期間中に鋼材腐食発生限界深さに達しないことを確認することで鋼材腐食に対する照査に代えてもよい。

(2) 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査

土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：標準 3章 耐久性に関する照査〕を参照する。鋼材位置における塩化物イオン濃度が、設計耐用期間中に鋼材腐食発生限界濃度に達しないことを確認する。

【解説】 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査にあたっては、以下の条件で実施することを基本とする。

- ・ Δc_e ：かぶりの施工誤差は 0mm としてよい。

細心の注意を払った入念な施工が行われること、型枠脱型後にかぶりの全数検査が行われることを前提に、照査における施工誤差は 0mm としてよいこととした。なお、施工誤差を想定する場合には、これを適切に設定し、照査してよい。

- ・ C_0 ：コンクリート表面の塩化物イオン濃度は、構造物が供用される地域や海象条件によって異なるため、実績や実測データ (C_0 あるいは飛来塩分量) に基づいて設定することを基本とする。実測データがない場合には、以下の値を用いる。

$$\text{飛沫帯および海上大気中} \quad : C_0 = 18.0 \text{kg/m}^3$$

土木学会コンクリート標準示方書では、実績がない場合の C_0 として 13.0kg/m^3 を用いてよいとされているが、この C_0 は、沿岸部（湾内あるいは陸地）で供用される構造物を対象としたものである。本ガイドラインが対象とするコンクリート製浮体施設は、沖合で供用されるため、沿岸部に比べて飛来塩分量が多く、また、波によって多量の海水が供給されることから、実績がない場合の C_0 は、 18.0kg/m^3 を用いることとした。この値は、既往の調査報告^{1),2),3)}や土木学会 348 委員会（塩害環境の定量評価に関する研究小委員会）報告書の沖縄のデータ⁴⁾（解説 表 6.6-2）を参考に定めた。

なお、同種の海域での建設事例が増え、飛来塩分量や C_0 の実態を把握することで、照査の精度が高まり、合理的な設計が可能となる。供用中あるいは供用後にこれらの調査を行うのがよい。

- ・ 設計寿命は、20 年を標準とする。
- ・ 常時海中にある部材については、ひび割れ幅の限界値が満足できていれば、照査を省略してよい。

解説 表 2-3 地域別飛来塩分量と換算された表面塩化物イオン濃度⁴⁾

		飛来塩分量 mmd (mg-NaCl/dm ² /day) (海岸からの距離：10m)	換算された表面塩化物イオン濃度 C_0 (kg/m ³) (海岸からの距離：10m)
日本海 沿岸部	北海道	17.75	13.0
	東北	16.44	13.0
	北陸	12.63	12.0
	中国	1.87	3.6
太平洋 沿岸部	関東	4.52	6.0
	中部	1.66	3.4
	沖縄	27.74	17.4

出典：塩害環境の定量評価に関する研究小委員会（348 委員会）委員会報告書、土木学会、2015

【参考文献】

- 1) 取違 剛, 横関康祐, 戸井田克, 堤 知明 : 海岸環境下に 20 年間暴露したコンクリートの耐久性に関する研究, 鹿島技術研究所年報, Vol.60, 2012.
- 2) 木村嘉富, 田中良樹, 本間英貴 : 塩害橋の予防保全に向けた診断手法の高度化に関する研究, 土木研究所, 2013.
- 3) 土木研究所, プレストレスト・コンクリート建設業協会 : 海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書－暴露期間 30 年の研究成果－, 2016.
- 4) 土木学会 : 塩害環境の定量評価に関する研究小委員会 (348 委員会) 委員会報告書, p.47, 2015.

(3) 鋼材のかぶり

土木学会コンクリート標準示方書 [設計編 : 標準 第 2 編 耐久設計および耐久性に関する照査] [第 7 編 鉄筋コンクリートの前提および構造細目] を参照する。

- (a) 鉄筋のかぶりは、土木学会コンクリート標準示方書 [設計編 : 標準 第 7 編 鉄筋コンクリートの前提および構造細目] を参照する。
- (b) 鉄筋のかぶりは、(i) および (ii) の照査を行った上で設計寿命を満足するように、設定しなければならない。なお、その標準値を表 2-1 に示すが、(i) および (ii) によって設計寿命を満足することが確認できる場合には、この限りではない。
 - (i) 中性化と水の浸透深さに伴う鋼材腐食に対する照査 (前出 (1))
 - (ii) 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査 (前出 (2))

表 2-1 最小かぶりの標準値と水セメント比の上限の標準値

曝される環境区分	最小かぶりの標準値	水セメント比の上限の標準値
飛沫帯および海上大気中	60mm	40%
海中	50mm	45%

- (c) 上記の照査に合格することが困難な場合には、耐食性が高い補強材や防錆処置を施した補強材の使用、鋼材腐食を抑制するためのコンクリートの表面被覆、あるいは腐食の発生を防止するための電気化学的手法等を用いる等、適切な対策を施さなければならない。その場合には、維持管理計画を考慮した上で、それらの効果を適切な方法により評価しなければならない。
- (d) 鉄筋のかぶりは、粗骨材の最大寸法の 3/2 倍以上とする
- (e) 鉄筋のかぶりは、水セメント比とともにその値を設計図に明示しなければならない。また、施工誤差を想定する場合には、その値も記載する。
- (f) 緊張材、シースまたはシースグループおよび定着具のかぶりは、土木学会コンクリート標準示方書 [設計編 : 標準 第 8 編 プレストレストコンクリート] を参照し、鉄筋のかぶり以上とする。ただし、端部において、特別な防錆処理を行う場合には別途規定してもよい。

【解説】 (b) について DNVGL-ST-C502 では、解説表 2-4 のように、環境および鋼材の種類に応じた最小かぶりが見されている。本ガイドラインでは、これを参考にしつつ、土木学会コンクリート標準示方書を参照した鋼材腐食に対する照査を実施した上で、かぶりを決定するものとした。参考資料-2 に、鋼材のかぶりに関する NOTE を付記する。

解説表 2-4 DNVGL-ST-C502 に記される最小かぶり (参考)

	飛沫帯	飛沫帯以外	備考
水セメント比	≤40%	≤45%	—
腐食環境に鋭敏な鉄筋	60mm	50mm	設計寿命 50 年に対する値 上段は PC 鋼線および直径 5mm 未満の鉄筋、 下段はそれ以外の鉄筋
腐食環境にわずかに鋭敏な鉄筋	50mm	40mm	

参考として、コンクリートに用いるセメント種類、水セメント比 (W/C)、ひび割れ幅の設計応答値の算定に用いた鉄筋応力度の増加量から求まるひび割れ幅とひび割れ間隔の比 (w/l)、かぶりを水準として、土木学会コンクリート標準示方書 [設計編] に準じて供用期間 20 年における塩化物イオンの侵入に対する鋼材腐食を照査した結果を解説表 2-5 に示す。DNVGL-ST に記される最小かぶりでは、20 年の耐久性を確保することが難しく、鉄筋のかぶりについては、表 2-1 を標準値としつつ、照査によってこれを定めるものとした。

なお、解説表 2-5 からわかるように、塩化物イオンの侵入に対する鋼材腐食に関しては、高炉セメント B 種、普通ポルトランドセメント、低熱ポルトランドセメントの順にかぶりを小さく設定できる結果となっている。セメント種類は、水セメント比 (W/C) とともに重要な因子であり、浮体施設のコンクリートには、高炉セメント B 種などの混合セメントの使用が有効である。また、高炉スラグ微粉末などの混和材の使用も有効である。

(c) について これら対策工を適用する際には、土木学会から発行されている以下の指針を参考にするとよい。

- ・電気化学的防食工法設計施工指針 (案)
- ・エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針
- ・表面保護工法設計施工指針 (案)
- ・ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計施工指針 (案)

これらのほか、新たに開発された材料および工法の適用を検討するにあたっては、その特性を十分に理解した上で、施工条件や施工後の維持管理方法等についても考慮しなければならない。

(d) について コンクリート製浮体式施設は、外部 (海洋) から塩化物イオンの影響を受ける環境で供用される。鉄筋のかぶりは、土木学会コンクリート標準示方書 [設計編：標準 第 2 編 耐久設計および耐久性に関する照査 3.1.4 塩害環境下における鋼材腐食に対する照査] を参照し、鋼材腐食の防止の観点から、粗骨材の最大寸法の 3/2 倍以上とした。

解説表 2-5 鋼材腐食に関する照査結果

【飛沫帯および海上大気中】 $C_0 = 18 \text{ kg/m}^3$

セメント種類	W/C (%)	鉄筋応力度 (N/mm ²)	w/l	かぶり (mm)					
				60		80		100	
				上	下	上	下	上	下
高炉 B種	35	0	0.00015	○	0.58	○	0.32	○	0.30
				○	0.29	○	0.16	○	0.15
		60	0.00045	×	2.52	○	0.91	○	0.43
				×	1.27	○	0.46	○	0.21
	90	0.00060	×	3.57	○	1.44	○	0.62	
			×	1.79	○	0.73	○	0.31	
	120	0.00075	×	4.53	×	2.04	○	0.90	
			×	2.28	×	1.03	○	0.45	
	40	0	0.00015	○	0.76	○	0.34	○	0.30
				○	0.41	○	0.18	○	0.16
		60	0.00045	×	2.80	○	1.04	○	0.47
				×	1.49	○	0.55	○	0.25
90	0.00060	×	3.83	○	1.60	○	0.69		
		×	2.04	○	0.85	○	0.37		
120	0.00075	×	4.77	×	2.20	○	0.98		
		×	2.54	×	1.17	○	0.53		
45	0	0.00015	○	1.09	○	0.41	○	0.31	
			○	0.62	○	0.23	○	0.18	
	60	0.00045	×	3.19	○	1.24	○	0.54	
			×	1.80	○	0.71	○	0.31	
90	0.00060	×	4.19	×	1.82	○	0.79		
		×	2.39	×	1.04	○	0.45		
120	0.00075	×	5.09	×	2.43	○	1.11		
		×	2.90	×	1.38	○	0.63		
普通 ボルト	35	0	0.00015	○	1.86	○	0.64	○	0.35
				○	0.87	○	0.30	○	0.17
		60	0.00045	×	3.96	○	1.67	○	0.72
				×	1.85	○	0.78	○	0.34
	90	0.00060	×	4.88	×	2.28	○	1.03	
			×	2.29	×	1.07	○	0.48	
	120	0.00075	×	5.71	×	2.83	○	1.38	
			×	2.67	×	1.35	○	0.64	
	40	0	0.00015	×	2.74	○	1.01	○	0.46
				×	1.37	○	0.51	○	0.23
		60	0.00045	×	4.72	×	2.17	○	0.97
				×	2.36	×	1.08	○	0.48
90	0.00060	×	5.56	×	2.77	○	1.31		
		×	2.78	×	1.39	○	0.66		
120	0.00075	×	6.32	×	3.36	○	1.68		
		×	3.16	×	1.68	○	0.84		
45	0	0.00015	×	3.93	○	1.65	○	0.72	
			×	2.11	○	0.89	○	0.38	
	60	0.00045	×	5.68	×	2.86	○	1.36	
			×	3.05	×	1.54	○	0.73	
90	0.00060	×	6.43	×	3.45	○	1.74		
		×	3.50	×	1.85	○	0.93		
120	0.00075	×	7.09	×	4.01	×	2.13		
		×	3.81	×	2.15	×	1.14		

セメント種類	W/C (%)	鉄筋応力度 (N/mm ²)	w/l	かぶり (mm)					
				60		80		100	
				上	下	上	下	上	下
低熱 ボルト	35	0	0.00015	×	2.92	○	1.10	○	0.49
				×	1.75	○	0.66	○	0.29
		60	0.00045	×	4.87	×	2.27	○	1.02
				×	2.92	×	1.36	○	0.61
	90	0.00060	×	5.70	×	2.87	○	1.37	
			×	3.42	×	1.73	○	0.82	
	120	0.00075	×	6.44	×	3.46	×	1.74	
			×	3.87	×	2.08	×	1.05	
	40	0	0.00015	×	4.38	×	1.94	○	0.85
				×	2.80	×	1.24	○	0.55
		60	0.00045	×	6.05	×	3.42	○	1.54
				×	3.87	×	2.01	○	0.99
90	0.00060	×	6.76	×	3.72	×	1.92		
		×	4.32	×	2.38	×	1.24		
120	0.00075	×	7.39	×	4.27	×	2.31		
		×	4.73	×	2.73	×	1.48		
45	120	0.00075	×	6.20	×	3.26	×	1.62	
			×	4.23	×	2.23	×	1.10	

上段数字：鋼材位置における塩化物イオン濃度(kg/m³)
下段数字：照査結果, 1.0より小さければ○

w/l=0.00015 は、鋼材に引張応力を発生させない「場所打ち PC 構造」に該当

ここに、w/l：ひび割れ幅とひび割れ間隔の比

$$w/l = \sigma_{se} / E_s \text{ (または } \sigma_{pe} / E_p) + \epsilon'_{csd}$$

σ_{se} 、 σ_{pe} 、 ϵ'_{csd} の定義は、土木学会コンクリート標準示方書 [設計編] に準じ、

ひび割れ幅の設計応答値の算定に用いた値を用いる。

(ひび割れ間隔 (l)) は、一般的には、200~250mm と想定される)

(f) について 通常のポストテンション方式による部材においては、シースは、スターラップおよび軸方向鉄筋等に囲まれており、それらの内側に配置されていることが多い。この場合、コンクリートの表面に最も近い位置にある鉄筋に対してかぶりを決めれば、緊張材もしくはシースの

かぶりも土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：標準 2編および7編〕を満足することになる。しかし、シースがスターラップ等により囲まれずに用いられている場合には、一般にシースの直径以上のかぶりを設けるのがよい。

3-6-4. 凍害に対する照査

土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：標準 2編 3章 耐久性に関する照査〕を参照する。凍害に対する照査は、内部損傷と表面損傷（スケーリング）に対する照査に分けて行うことを原則とする。

【解説】 凍結融解作用によるポップアウト、スケーリング、微細ひび割れといった凍害によるコンクリートの劣化により、コンクリートの種々の材料特性は影響を受け、物質透過性は大きくなり、強度や剛性といった力学特性が低下する。特に、コンクリート製浮体施設が供用される海洋環境下においては、凍結融解作用による凍害が進行しやすい。

なお、以下の環境条件に合致する場合は、この照査を省略してよい。

- ・コンクリートが凍結する恐れのない場合
- ・凍結融解試験における相対動弾性係数の特性値が90%以上の場合
- ・水セメント比が45%以下かつ空気量が6%以上の場合

3-6-5. アルカリシリカ反応の抑制

アルカリシリカ反応に対して、適切な抑制対策を講じる。

【解説】 海洋構造物であるコンクリート製浮体式施設には、多量の水、ならびに海水中に含まれるアルカリ金属（Na、K）が供給されるため、陸上の構造物の場合と比べて、コンクリートのアルカリシリカ反応が促進される可能性がある。しかしながら、現状では、アルカリシリカ反応を短時間で適切に照査できる方法が確立されていない。そこで、アルカリシリカ反応に対しては、「1-1-3. (4) 骨材」に示す適切な抑制対策を講じることとした。

3-7. 安全性に関する照査

安全性に関わる終局限界および疲労限界の照査は、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：本編 9章 安全性に関する照査 9.1 一般 9.2 構造物の耐荷力に対する照査〕を参照する。ただし、安定に対する限界状態、構造物の用途・機能に応じた限界状態については、対象外とする。

【解説】 本ガイドラインでは、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：本編 9章 安全性に関する照査 9.1 一般(3)〕のうち安定に対する限界状態および(4)の用途・機能に応じた限界状態については対象外とした。

(3) について 破壊の限界状態として構造物の耐荷力と安定等を対象としているが、安定性については、浮体の復原性で評価するため、対象外とした。

(4) について 構造物の用途・機能に応じた限界状態としては、本ガイドラインが浮体式洋上風力発電に限定されていることから対象外とした。

3-7-1. 疲労に関する照査

- (i) 疲労に関する照査は、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：標準 3編 3章 疲労破壊に対する照査〕を参照する。
- (ii) 疲労の照査に用いる作用期間は、浮体・タワー等の設計寿命または20年のいずれか大きい方の値とする。また、建造から設置まで数か月間に及ぶ場合など、必要に応じて、曳航・設置作業時の応力状態も考慮する。
- (iii) コンクリート製浮体施設には、供用期間中に不規則な変動荷重が常時作用するため、この不規則性を考慮しなければならない。
- (iv) 変動荷重の周波数帯が構造系の共振域に近い場合には、共振の影響を適切に考慮する。
- (v) 減衰定数は、対象とする浮体構造物に応じた値を設定する。

(1) タワー固定部の疲労に関する照査

- (a) タワー固定部に作用する繰返しの影響では、一般に変動風荷重による断面力を主として考慮する。ただし、構造や条件により波の影響が卓越する場合には、変動波荷重を考慮するものとする。
- (b) タワー固定部は通常、海面上所定のエアギャップを確保した高さに設置されることから、コンクリート部材の疲労限界状態の照査では、空中コンクリート部材として取り扱ってよい。
- (c) 越波や砕波によって直接衝撃が作用する場合には、衝撃荷重が疲労に影響する場合もあるので、十分に留意しなくてはならない。

(2) 係留設備の接続部の疲労に関する照査

- (a) 係留設備の浮体への定着方法を考慮したモデルを用いて検討を行うものとする。
- (b) 係留設備の定着箇所が水中もしくは湿潤状態にある場合は、コンクリート部材の疲労限界状態の照査では、水中コンクリート部材として取り扱う。

【解説】 (i) について 一般に浮体式海洋コンクリート構造物には、セミサブ、スパー、TLPのような波浪による疲労に支配されにくい浮体型式が採用されるが、洋上の厳しい気象・海象環境下に常に曝されるため、耐疲労性に対する十分な照査が必要である。変動荷重を受ける部材は、変動荷重の大きさ・作用回数、永久荷重、部材の形状等を考慮し、疲労に対して十分な強度を有するものでなければならない。また、変動荷重の大きさ・作用方向・作用回数やそれらの組合せは、国交省ガイドライン〔表 2-1 設計荷重ケース〕、〔表 2-2 海氷の設計荷重ケース〕に基づき設定する。変動断面力の算出は、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：標準 3編 3章 疲労破壊に対する照査〕を参照し、レンジペア法（レインフロー法）が標準となるが、同手法による値より安全側であることが確認できる場合には、ワイブル分布などの適切な確率分布を用いて算出してもよい。

部材の疲労照査指標としては、断面力を対象とすることが多いが、有限要素法を用いる場合には、一般に、断面力を直接得ることができないため、断面内の応力分布を用いて、断面高さ方向に積分して算定してよい。

コンクリートの設計応力度を照査指標とする場合には、繰返し作用を受けるコンクリートには

残留ひずみが生じること；応力-ひずみ曲線の形が変形すること；中立軸位置が変化することなどから、その算定が難しく、また鉄筋コンクリートはりのコンクリート応力度には応力勾配があり、これに起因する応力再分配が疲労寿命に影響を及ぼすため、注意が必要である。

また、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：標準 3 編 3 章 疲労破壊に対する照査〕においては、構造物の露出状況により設計疲労強度を分けることとしており、水中あるいは絶えず湿潤状態にある場合には、コンクリートの設計疲労強度の低下を考慮することが求められている。

水中におけるコンクリートの疲労強度が気中に比べて低下することが報告されている既往の研究の多くは、水セメント比が 50%以上の一般的な強度レベルのものを対象としたものである。本ガイドラインで対象とする水セメント比の小さいコンクリートの水中疲労強度に関するデータは少ないが、一部の文献等では最大 15%程度低下するという報告¹⁾もある。

低水セメント比のコンクリートの水中の疲労強度については、十分なデータが蓄積されていないのが現状であることから、本ガイドラインにおいては土木学会コンクリート標準示方書に準じて、コンクリート製浮体施設のうち、水中もしくは絶えず湿潤状態にある部材については、コンクリートの疲労強度の低下を考慮することとする。なお、使用時にはひび割れを許容しない設計体系となっている超高強度繊維補強コンクリート（UFC）では、水中の疲労強度低下は見られないとの研究報告²⁾もある。このように、水中での耐疲労性状が疲労試験等により実証されている場合には、その結果に基づいて水中疲労強度の低下量を設定してもよい。

(iii) について コンクリート製浮体施設に作用する不規則な変動作用に対する疲労照査は、マイナー則を用いた累積損傷率によることができる。

$$D_c = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} \leq \eta$$

ここに、

D_c : 累積損傷率；

m : 供用期間中に作用する変動作用のブロック数で、 $m \geq 10$ を標準とする。

n_i : i 番目の変動作用ブロックに対する断面力の繰返し回数；

N_i : i 番目の変動作用ブロックに対する疲労寿命；

η : 許容累積損傷率で、以下の値を標準とする。

$\eta = 0.33$: 点検・修理が不可能な部位；

$\eta = 0.5$: 飛沫帯または飛沫帯より下部；

$\eta = 1.0$: 飛沫帯より上部

(1) (b) 条文に記載のように、通常、タワー固定部は気中コンクリート部材として取り扱ってよいが、固定部までを浮体とする構造の場合や、冬期波浪などの越波によって長期間湿潤状態になる場合には、水中コンクリート部材として取り扱う必要がある。

(2) (b) 疲労に対する限界状態の照査は、一般に繰返し引張応力を受ける主鉄筋およびせん断補強鉄筋の疲労破壊について行えばよいが、上述のように、軽量骨材コンクリートや湿潤状態にあるコンクリートの場合は、普通コンクリートや気乾状態のコンクリートに比べて疲労強度が低下するため、コンクリートの疲労についての照査も必要となる。さらに、水中にある部材ではせん断耐力が低下することから、せん断補強鉄筋を有する部材でも、せん断補強鉄筋の応力度の照査

のほか、せん断補強鉄筋以外の耐力寄与分、すなわち、せん断補強鉄筋のない部材としての疲労耐力も照査を行う必要がある。

【参考文献】

- 1) Carlos Eduardo Tino Balestra, Thiago Alessi Reichert, Gustavo Savaris : Contribution for durability studies based on chloride profiles analysis of real marine structures in different marine aggressive zones, Construction and Building Materials, Vol.206, pp.140-150, 2019.
- 2) 田中良弘, 横田弘, 岩波光保, 前堀伸平 : 超高強度繊維補強コンクリートの気中・水中曲げ疲労特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, pp.1309-1314, 2005.

3-8. 使用性に関する照査

コンクリート製浮体施設の使用性の照査は、水密性の照査として実施する。水密性の照査は、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編：本編 10章 使用性に関する照査 10.1 一般 10.6 水密性に対する照査〕を参照する。

【解説】 コンクリート製浮体施設は、常時、海水に接するため、水密性が要求される構造物である。一般に、浮体構造では透水は許容されないが、コンクリート構造物が十分な水密性を確保している場合、浮体の設計耐用期間においても透水量がわずかであることから、設計耐用期間中に、透水によりコンクリート製浮体施設の用途・機能が損なわないことを照査することで、透水を許容することとした。

第3章 位置保持システム

国交省ガイドライン〔第2編第3章位置保持システム〕を参照すること。

第4章 設備に関する規則

国交省ガイドライン〔第2編第4章設備に関する規則〕を参照すること。

第5章 復原性

国交省ガイドライン〔第2編第5章 復原性〕を参照する。

1. 一般

国交省ガイドライン〔第2編第5章 1. 一般的事項〕を参照する。

2. 非損傷時復原性

国交省ガイドライン〔第2編第5章 3. 非損傷時復原性〕を参照する。

3. 損傷時復原性

国交省ガイドライン〔第2編第5章 4. 損傷時復原性〕を参照する。

4. 水密区画および閉鎖装置

国交省ガイドライン〔第2編第2章 3.2 構造配置〕を参照する。

5. 喫水線

- (1) 浮体施設の乾舷は、浮体施設の復原性、水密性及び構造強度を考慮して指定する。
- (2) 喫水線付近には、ドラフトスケールを付けなければならない。

参考1 コンクリート製浮体施設の施工

(1) 一般

コンクリート製浮体施設の施工は、コンクリートプラントで製造されたレディーミクストコンクリートを用いて現地（岸壁等）で構築する方法、現地施工と工場等で製造されたプレキャストコンクリートの組合せによる方法、プレキャストコンクリートの組合せだけによる方法がある。

【解説】 コンクリート工事の施工に先立ち、個々の現場の条件に応じて、品質確保、工期、安全性、経済性、環境への影響を十分に考慮し、円滑な施工が実施できるように計画を立てる必要がある。第1編第1章1.(1)で記しているように、本ガイドラインにおけるコンクリート製浮体施設の施工は、浮体施設の構築までの範囲とし、構築した浮体施設の曳航、設置、係留、保守および点検は含まない。

(2) 現場打ちコンクリート

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準〕を参照する。

【解説】 所要の性能を有するコンクリート構造物を構築するためには、それらの要求性能を構造物に付与でき、かつ、適切な施工を行うことができるコンクリートを用いる必要がある。特に、海洋の厳しい環境下で供用されるコンクリート製浮体施設は、わずかな初期欠陥の存在が、構造物の機能を早期に低下させる恐れがある。そのため、均一で欠陥のないコンクリートが得られるように、綿密な施工計画を立て、運搬、打込み、締固め、養生等、現場打ちコンクリートの全工程において入念な施工を行わなければならない。そのうえで、工程管理および施工管理を行わなければならない。

(a) 製造

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 5章 製造〕を参照する。

【解説】 所要の品質を有するコンクリートを製造するためには、設備が所要の性能を有していること、製造方法が適切であること、ならびにコンクリートの品質を安定させる管理能力を有する技術者が品質管理を行うことが重要である。

(i) レディーミクストコンクリート

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 6章 レディーミクストコンクリート〕を参照する。

【解説】 レディーミクストコンクリートは、整備されたコンクリート製造設備を持つ工場から、荷下ろし地点における品質を指定して購入することができるフレッシュコンクリートの総称である。JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」には、レディーミクストコンクリートの種類、品質、配合、材料、製造、品質管理、試験方法が規定されている。

JIS 認証品を購入する場合には、コンクリート製浮体施設に求められる性能を考慮してコンクリートの品質について慎重に検討し、所要の品質のコンクリートが得られるように工場を選定し、レディーミクストコンクリートの種類を指定し、所定の受入れ検査を行うことが必要である。

コンクリートの使用目的、施工条件等によって、材料、配合、品質基準等が JIS A 5308 に適合しないコンクリートを購入する場合には、生産者と十分に協議し、必要に応じて試し練りを実施して、品質の確認および配合の決定を行う。この場合においても、JIS 認証品を製造している工場

を選ぶことが望ましく、JIS A 5308 の条項の趣旨を十分に尊重して仕様を定め、品質についての指定および受入れ検査を行う必要がある。

(ii) 現場設置式パッチャープラント

現場設置式パッチャープラントを設置して、コンクリートを製造する場合には、その設備は、所要の性能を有するコンクリートを安定して製造できるものでなければならない。その使用に際しては、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 5章 製造〕を参照する。

【解説】 現地にパッチャープラントを設置する場合には、良質な骨材の使用や条件に適したセメントおよび混和材料の選択が可能となり、少ない単位水量・単位セメント量で所要のワーカビリティを有する良質なコンクリートを製造することができる。さらに、コンクリートの運搬に要する時間が短縮され、時間経過に伴うコンクリートのワーカビリティの低下も抑制される。その結果、豆板やコールドジョイント等の初期欠陥の発生リスクが低下し、温度ひび割れや乾燥収縮ひび割れの発生リスクも低下する。初期設備投資等の経済性を勘案した上で、現場設置式パッチャープラントの使用を検討するのがよい。

なお、ここで製造されるコンクリートは、コンクリートの品質や製造に関する専門的な知識と経験を有する技術者による適正な管理の下で安定的に製造されなければならない。JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」の認証品を製造している工場と同等の製造管理と品質管理を行う必要がある。

(b) 打込み・締固めおよび仕上げ

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 7章 運搬・打込み・締固めおよび仕上げ〕を参照する。

【解説】 運搬、打込み、締固めおよび仕上げは、所要の性能を有するコンクリート構造物が得られる方法で実施しなければならない。このため、運搬、打込み、締固めおよび仕上げは、土木学会コンクリート標準示方書に記される趣旨を十分に理解した上で、所要の品質を満足するコンクリート構造物が得られるよう事前に検討し、計画した方法で実施する必要がある。

(c) 養生

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 8章 養生〕および〔施工編：特殊コンクリート 7章 海洋コンクリート〕を参照する。

特に、材齢5日目までは、海水に洗われないように保護しなければならない。

また、温度ひび割れの制御を目的として、必要に応じて養生時の温度を制御しなければならない。

【解説】 コンクリートは、打込み後の一定期間、硬化に必要な湿潤状態および温度を保ち、有害な作用の影響を受けない方法を定め、コンクリートが所要の品質を確保できるように養生しなければならない。コンクリートの養生に用いる水は、一般には上水道水等の清浄な淡水とし、海水を用いてはならない。

(d) 継目

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 9章 継目〕におよび〔施工編：特殊コンクリート 7章 海洋コンクリート〕を参照する。

コンクリート製浮体施設では、静水面から上60cmと下60cmの間には打継目を設けないよう

に計画することを原則とする。

【解説】 継目は、設計図書に示された構造とし、所定の位置に設けなければならない。また、設計図書に示されていない継目を設ける場合には、構造物の性能を損なわないように、その位置、方向および施工方法を施工計画書で定め、管海官庁に確認しなければならない。さらに、コンクリート製浮体施設は、止水性や劣化に対する抵抗性が求められる構造物であることから、静水面から上 60cm と下 60cm との間には打継目を設けないように計画する。ここに「静水面」とは、水位が変化した場合でも一定の喫水を有する浮体施設において、波による変化を除外して潮汐および高潮の影響を考慮して計算した概念上の水面である。

継目（水平打継目、鉛直打継目）の処理については入念な処理を行うとともに、必要に応じて止水板を設置する、表面保護工を施す等の適切な対策を施し、コンクリート表面からの劣化因子の侵入を抑制するのがよい。

なお、コンクリート製浮体施設の躯体には、伸縮目地を設けないことを原則とする。

(e) 鉄筋工

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 10章 鉄筋工〕および〔施工編：特殊コンクリート 7章 海洋コンクリート〕を参照する。

【解説】 鉄筋は、設計図書で定められた寸法および形状に、材質を害さない適切な方法で加工し、これを型枠の中の所定の位置に配置して、堅固に組み立てなければならない。鉄筋工において検討すべき事項は、「全体計画」、「鉄筋の発注、納入および保管」、「鉄筋の加工」、「鉄筋の配置および組立」である。

コンクリート製浮体施設においては、コンクリート中の鋼材の腐食対策の基本は、所要のかぶりの確保である。所要のかぶりを確保するために入念に鉄筋を組み立てるとともに、鉄筋の位置を保持して型枠に接するスペーサーには、原則として、本体コンクリートと同等以上の品質を有するモルタル製またはコンクリート製を使用するものとする。コンクリートの打込み・締固めの際には、かぶりが増えないよう、特に留意が必要である。

(f) 型枠および支保工

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 11章 型枠および支保工〕を参照する。

【解説】 型枠および支保工は、コンクリート構造物が設計図書に示されている形状、寸法となるように事前に作成した施工計画書に従い、設計、施工しなければならない。

型枠および支保工は、コンクリートがその自重および施工期間中に加わる荷重を受けるのに必要な強度に達するまで取り外してはならない。型枠および支保工の取外し時期と順序は、部材が受ける荷重、気温、天候、風通し等を考慮して、初期ひび割れおよび有害なひび割れが生じないように適切に定めなければならない。

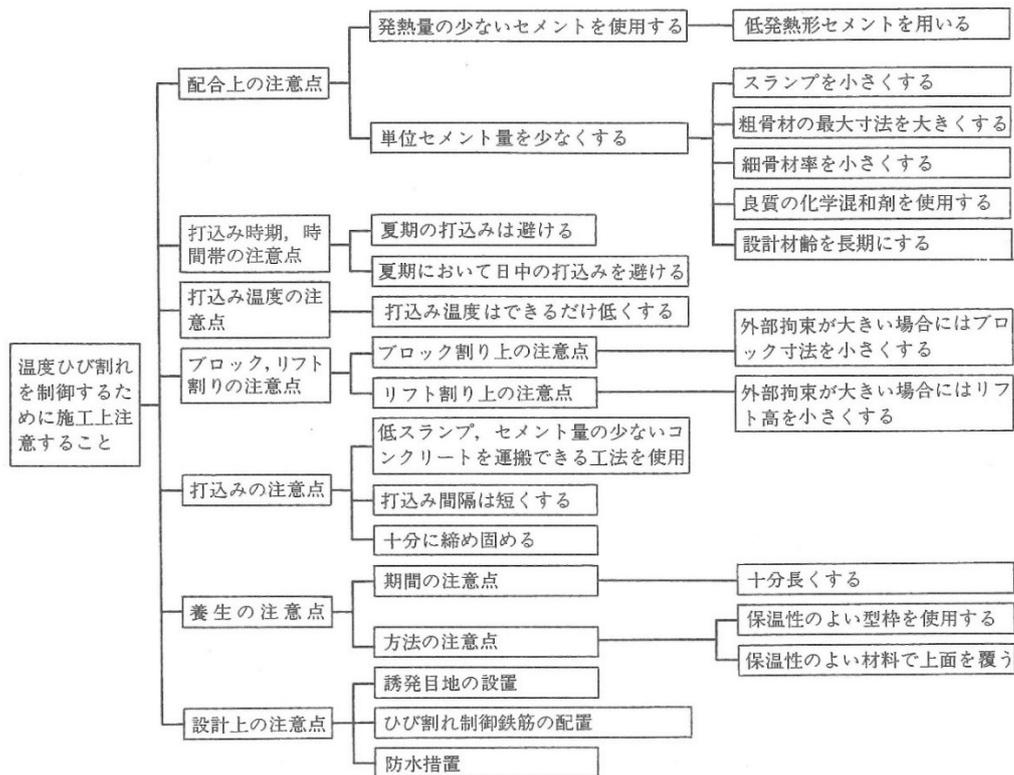
(g) マスコンクリート

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 14章 マスコンクリート〕を参照する。

【解説】 セメントの水和熱に起因した温度応力が問題となる場合には、マスコンクリートとして取り扱い、その対策を十分に検討しなければならない。マスコンクリートとして取り扱うべき構造物の部材寸法は、構造形式、コンクリートの使用材料、配合および施工の諸条件によりそれぞれ異なるが、広がりのあるスラブについてはおおよそ厚さ 80～100cm 以上、下端が拘束された

壁では厚さ 50cm 以上を目安としてよい。しかし、より薄い部材であっても富配合のコンクリートが用いられる場合には、拘束条件によってマスコンクリートに準じた扱いが必要になる。

コンクリート製浮体施設は、海洋構造物であり、ひび割れからの塩化物イオンの侵入に伴う劣化が進行しやすい。そのため、マスコンクリートのひび割れ制御には細心の注意を払わなければならない。ひび割れの対策については、日本コンクリート工学会発行の「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016」を参考にする（解説 図 参考－1 は、日本コンクリート工学会発行の「コンクリート技術の要点」より転載）。また、所要の耐久性を確保するためには、バラストコンクリートなどの付属部材を除き、ひび割れの調査・検査が重要となる。温度ひび割れは、初期ひび割れに分類され、部材の寸法や形状、拘束条件、コンクリートの使用材料や配合のほか施工条件に応じて、打込み後、数日から数週間のうちに発生することが多い。洋上でひび割れの調査や補修は困難であることから、コンクリート製浮体式施設を沖合に曳航する前に、ひび割れを調査し、必要に応じて補修する必要がある。ひび割れの調査やその補修・補強に際しては、日本コンクリート工学会発行の「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 2013」を参考にするとうよい。



出典：日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点、2019

解説 図 参考－1 温度ひび割れの制御対策の例

(h) 寒中コンクリート

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 12章 寒中コンクリート〕を参照する。

【解説】 日平均気温が4℃以下になるような気象条件の下では、凝結および硬化反応が著しく遅延して、夜間、早朝ばかりでなく日中でもコンクリートが凍結する恐れがあるので、寒中コンクリートとしての考慮が必要となる。

(i) 暑中コンクリート

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 13章 暑中コンクリート〕を参照する。

【解説】 コンクリートの打込み時における気温が30℃を超えると、コンクリートの諸性状の変化が顕著になる。日平均気温が25℃を超える時期に施工をする場合には、一般に暑中コンクリートとしての施工計画を立て、施工を行うことが望ましい。

(j) 品質管理

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 15章 品質管理〕を参照する。

【解説】 所要の品質を有するコンクリート構造物を経済的に造るためには、施工の各段階において品質管理を適切に行わなければならない。

(k) 施工記録

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準 16章 施工記録〕を参照する。

【解説】 施工者は、コンクリート工事の工程、製造方法、施工方法、天候、気温および品質管理等を記録する。

(3) プレキャストコンクリート

(a) 一般

- (i) プレキャストコンクリートは、所要の品質が得られるように製作しなければならない。また、プレキャストコンクリートは、その品質が損なわれなるとともに、組み立てられた構造物の性能が確保されるよう、運搬、保管、接合、架設および設置を行わなければならない。
- (ii) プレキャストコンクリートの施工は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 11章 プレキャストコンクリートまたは12章 工場製品〕を参照して行う。

(b) 製作

プレキャストコンクリートの製作は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 11章 プレキャストコンクリートまたは12章 工場製品〕を参照して行う。

(c) 運搬および保管

プレキャストコンクリートの運搬および保管は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 11章 プレキャストコンクリートまたは12章 工場製品〕を参照して行う。

(d) 接合

- (i) プレキャストコンクリートの接合は、設計図書に示された適切な方法によって行わなければ

ならない。

- (ii) プレキャストコンクリートの接合に用いる材料、接合方法等、プレキャストコンクリートの接合に関する事項は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 11章 プレキャストコンクリートまたは12章 工場製品〕に準じる。

【解説】 (i) および(ii) について 接合の方法や用いる材料においては防水性の確保、ならびに接合部に関わる鋼材においては防食性の確保について、各々留意する必要がある、接合部の構造は所要の性能を満足することを実験や解析等により確認されたものを適用することが望ましい。

(e) 架設および設置

プレキャストコンクリートの架設および設置は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 11章 プレキャストコンクリート〕を参照して行う。

(f) 品質管理

プレキャストコンクリートの品質管理は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 11章 プレキャストコンクリートまたは12章 工場製品〕を参照して行う。

(g) 検査

プレキャストコンクリートの検査は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 11章 プレキャストコンクリートまたは12章 工場製品〕を参照して行う。

(4) 特殊コンクリート

コンクリート製浮体施設に用いる「流動化コンクリート」、「高流動コンクリート」、「高強度コンクリート」、「膨張コンクリート」、「短繊維補強コンクリート」、「海洋コンクリート」、「プレストレストコンクリート」、「工場製品」、「軽量骨材コンクリート」の施工は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート〕を参照する。

超高強度繊維補強コンクリート(UFC)の施工は、土木学会発行の「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」を参照する。

(a) 高流動コンクリート

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 3章 高流動コンクリート〕を参照する。

【解説】 「1-1-2. コンクリートの種類」【解説】(3)に記したとおり、コンクリート製浮体施設は、鉄筋、PC鋼材が密に配置される構造となることが多い。このような場合には、コンクリート工事における施工の省力化や合理化、信頼性の確保とこれに伴う耐久性の向上という効果も踏まえ、優れた流動性と材料分離抵抗性を有する高流動コンクリートの使用を考えると望ましい。

自己充填性を有する高流動コンクリートの施工にあたっては、十分な知識と経験を有する技術

者の指導の下、材料、配合を選定し、製造、施工、品質管理の方法を適切に定めなければならない。その施工に際しては、土木学会発行の「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」を参考にするとよい。

なお、高流動コンクリートは、締固めを不要とするものであるが、実施工では万一の場合を想定し、施工条件や打設規模に応じた締固め装置を準備しておくのがよい。

(b) 高強度コンクリート

土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 4章 高強度コンクリート〕を参照する。

【解説】 高強度コンクリートは、設計基準強度 $50\sim 100\text{N/mm}^2$ のものを対象とする。高強度コンクリートの施工にあたっては、十分な知識と経験を有する技術者の指導の下、材料、配合を選定し、製造、施工、品質管理の方法を適切に定めなければならない。

設計基準強度が 100N/mm^2 を超えるコンクリートについても、上記と同様に、その強度レベルを有するコンクリートについて十分な知識と経験を有する技術者の指導の下、より入念な施工と管理を行うことで、コンクリート製浮体施設に適用してよい。

設計基準強度が 150N/mm^2 以上で、かつ短繊維補強により高じん性を有する超高強度繊維補強コンクリート（UFC）を使用する場合には、本ガイドライン「0(d) 超高強度繊維補強コンクリート」を参照する。

(c) プレストレストコンクリート

(i) 一般

プレストレストコンクリートの施工は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 10章 プレストレストコンクリート〕を参照して行う。

(ii) コンクリートの品質

(1) コンクリートは、所要の強度等、硬化後のコンクリートの品質を満足し、作業に適するワーカビリティを持ち、品質のばらつきが少ないものでなければならない。

(2) ワーカビリティ、プレストレスを与える時のコンクリートの強度等、コンクリートの品質は土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 10章 プレストレストコンクリート〕を参照する。

(iii) コンクリート工

プレストレストコンクリートにおけるコンクリート工は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 10章 プレストレストコンクリート〕を参照する。

(iv) 型枠および支保工

プレストレストコンクリートにおける型枠および支保工は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 10章 プレストレストコンクリート〕を参照する。

(v) プレストレス工

(1) プレストレス工の実施にあたっては、設計計算に定められたプレストレスが確実に与えられるように施工しなければならない。

(2) プレストレス工に用いる材料、緊張材の配置、緊張作業および管理、プレストレス工に関連する事項は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 10章 プレストレストコンクリート〕を参照する。

(vi) PC グラウト工

(1) PC グラウトは、品質のばらつきが少なく、ダクト内を充填して PC 鋼材を被覆し、鋼材を腐食させないよう保護するとともに、部材コンクリートと緊張材とを付着により一体とするものでなければならない。

(2) PC グラウトの施工は、ダクト内を確実に充填できる方法により行わなければならない。

(3) PC グラウトの施工にあたっては、PC グラウトに関する十分な知識を有する技術者の指導の下で行わなければならない。

(4) PC グラウトに用いる材料、PC グラウトの施工および管理、PC グラウト工に関連する事項は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 10章 プレストレストコンクリート〕を参照する。

(d) 超高強度繊維補強コンクリート

(i) 超高強度繊維補強コンクリート (UFC) の施工は、土木学会「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案)」を参照して行う。

(ii) 土木学会「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案)」に示される標準材料を用いた場合と同等の品質であることを確認された超高強度繊維補強コンクリートを使用する場合には、その材料に関する設計・施工マニュアル等に準じて施工しなければならない。

【解説】 (ii) について 土木学会「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案)」には、同指針 (案) で対象とする超高強度繊維補強コンクリートの強度特性値が示されており、これを満たす超高強度繊維補強コンクリートの配合、およびこれを構成する標準配合粉体、補強用繊維等の特定の使用材料が示されている。また、同コンクリートは熱養生を行うことを標準としている。しかし、標準配合粉体等とは異なる材料を用いるものや、熱養生を施さなくとも同等の品質が得られるもの等、各種の超高強度繊維補強コンクリートが提案・実用化されている。このような場合には、各々の超高強度繊維補強コンクリートに関する設計・施工マニュアル等に準じて施工する。

参考2 浮体施設に関する検査

(1) 一般

コンクリート製浮体施設に対する検査は、NK-ガイドライン [8章 浮体施設に関する検査] および土木学会コンクリート標準示方書 [施工編：検査標準] を参照する。

特に、コンクリート製浮体施設は、鉄筋のかぶり検査、コンクリートの打継ぎ部の検査、プレキャスト部材の接合部の検査、水圧試験および水密試験により、所定の材料の劣化や物質の透過に対する抵抗性および水密性が確保されていることを確認しなければならない。

【解説】 コンクリート製浮体施設は、鉄筋のかぶりが不足すると水の浸透や塩化物イオンの侵入に伴う鉄筋腐食により、設計耐用期間中に構造物の耐力が低下し、破壊に至る可能性がある。また、打継ぎやプレキャスト部材の接合が不完全な場合、水や塩化物イオンなどの劣化因子の侵入経路となり、鉄筋腐食や水密性が低下する。したがって、コンクリート製浮体施設に対しては、鉄筋のかぶり検査、コンクリート打継ぎ部の検査、プレキャスト部材の接合部の検査、水圧試験および水密試験を行い、所定の材料の劣化や物質の透過に対する抵抗性および水密性が確保されていることを確認する必要がある。

(2) 鉄筋のかぶり検査

コンクリート製浮体施設では、コンクリート中の鉄筋のかぶりが確実に確保されていることの確認が必要である。鉄筋のかぶりの検査は、配筋検査時や型枠検査時に加えて、コンクリート打設後の非破壊試験により実施しなければならない。鉄筋のかぶりの検査断面は、塩害の可能性のあるすべての最外縁鉄筋のかぶりが確保されていることが確認できる断面を、コンクリート製浮体施設の特性に応じてあらかじめ設定するものとする。鉄筋のかぶりの検査は、土木学会コンクリート標準示方書 [施工編：検査標準 8章 コンクリート構造物の検査 8.5 かぶりの検査] を参照する。鉄筋のかぶり検査が実施できない箇所は、鉄筋の防食措置、施工誤差を考慮したかぶりの設定等の対策を行うものとする。

【解説】 コンクリート製浮体施設は、水の浸透や塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食を防止するために、所定の鉄筋のかぶりを確保しなければならない。鉄筋のかぶりの検査は、組み立てた鉄筋の配置検査や型枠検査においても実施するが、その検査後でも、型枠、鉄筋およびスペーサーの状態によっては、コンクリートの打込み後にかぶりの値が変化する可能性がある。

一般に、土木構造物では、鉄筋のかぶり検査は、抜き取りによるが、コンクリート製浮体施設の場合には、鋼材腐食による耐力低下や漏水は致命的となるため、慎重に検査断面を設定する必要がある。部材の重要度、応力の厳しい（引張や曲げモーメントの卓越箇所等）点、配筋条件変化点、断面変化点、セグメント接合部等の特性にかかわらず、塩害の可能性のあるすべての最外縁鉄筋のかぶりが確保されていることが確認できる検査断面をあらかじめ設定し、コンクリートの打込み後に非破壊試験により鉄筋のかぶりの検査を実施する。検査方法は、施工者が適切な方法、頻度、箇所を提案し、事業者の承認を得ることとする。

(3) コンクリート打継ぎ部の検査

コンクリート打継ぎ部の検査は、土木学会コンクリート標準示方書 [施工編：検査標準 8章 コンクリート構造物の検査 8.3 表面の状態の検査] を参照する。

【解説】 コンクリート製浮体施設において、コンクリート打継ぎ部から水や塩化物イオンがコンクリート製浮体施設の内部に侵入すると、鋼材腐食による材料の劣化や水密性の低下が発生する。したがって、コンクリート製浮体施設の打継ぎ部は、新旧コンクリートの一体性が保たれているかどうかを目視により検査する。さらに、没水部など浸水が想定される部材については、第1編第1章1-1-1.(5)水圧試験および水密試験により確認する。

(4) プレキャスト部材の接合部の検査

プレキャスト部材の接合部の検査は、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート 11章 プレキャストコンクリート 11.7 検査〕を参照する。

【解説】 プレキャスト部材により建造されたコンクリート製浮体施設では、鋼材の接合不良や接着剤の不足等により、プレキャスト部材の接合が不十分となり構造の連続性が喪失した場合、接合部より水や塩化物イオンが内部に侵入し、鋼材腐食による材料の劣化や水密性の低下等が発生する。したがって、コンクリート製浮体施設は、設計で定められた接合の確実な実施を検査する。さらに、没水部など浸水が想定される部材については、第1編第1章1-1-1.(5)水圧試験および水密試験により確認する。

(5) 水圧試験および水密試験

水圧試験および水密試験は、NK-ガイドライン〔8.3.4 水圧試験および水密試験等〕を参照する。

【解説】 コンクリート製浮体施設は、高い水密性が要求される。コンクリート構造物の水密性は、ひび割れ、継目、プレキャスト部材の接合部等の不連続面における欠陥だけでなく、コンクリートの緻密性が低下することによっても低下する。したがって、水圧試験および水密試験は、コンクリート打継ぎ部やプレキャスト部材の接合部のみを対象とするのではなく、コンクリート製浮体施設全体を対象とする必要がある。

NK-ガイドライン〔8.3.4 水圧試験および水密試験等〕では、製造中登録検査における水圧試験、水密試験等は、鋼船規則 B 編 2.1.5 の規定によるものとしている。鋼船規則 B 編 2.1.5(1)によれば、タンクおよび水密区画の水密性および構造の妥当性並びにその他の構造および艀装の風雨密性を本会が適当と認める試験により確認しなければならないとしている。したがって、コンクリート製浮体施設の水密性は、日本海事協会が適当と認める水圧試験および水密試験による確認が必要である。

日本海事協会が適当と認める水圧試験および水密試験として、環境省による浮体式洋上風力発電実証事業で実施した気密試験、外観検査および射水試験を例示する。

気密試験：気密試験は、浮体に対して、浮体内部を試験圧力まで加圧後、内圧を保持した状態で浮体の溶接部、接合部に石鹼水を散布し、空気漏れおよび構造体に変形がないことを確認する。

外観検査：外観検査は、目視により有害な傷、変形がないことを確認する。

射水試験：射水試験は、浮体に対してホースの内圧が、0.2MPa 以上で、12 mm以上の径を有するノズルを用い、射水面までの距離が 1.5mを超えないように射水して、水漏れのないことを確認する。

参考資料

参考資料-1：混合セメントを使った実構造物および試験体の調査事例

著者・タイトル・文献名・巻号・発行年	主要な知見
P.Sandberg, L.Tang, A.Anderson : RECURRENT STUDIES OF CHLORIDE INGRESS IN UNCRACKED MARINE CONCRETE AT VARIOUS EXPOSURE TIMES AND ELEVATIONS, Cement and Research, Vol.28, No.10, 1998.	クラックが無いコンクリートスラブを海中、飛沫帯、および海上大気中に5年間放置し、塩化物イオンの浸透状況などについて試験した結果、結合材としてシリカヒュームが5～10%使用されたコンクリートは塩化物イオン侵入低減に非常に有効であった
島崎 泰、泉尾 英文、石中 正人、審良 善和：海洋環境下に長期暴露した各種セメントを用いたコンクリートの物性と鉄筋腐食、セメント・コンクリート論文集、Vol.65, No.1, pp.326-333, 2011.	混合セメントは、海浜および気中暴露環境下で中性化深さが大きい、感潮暴露環境下で高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを使用した混合セメントの鉄筋腐食抵抗性が高くなる。
依田 彰彦：35年間海水の作用を受けた高炉セメントコンクリートの耐久性、セメント・コンクリート論文集、Vol.59, No.1, pp.266-271, 2005.	海洋環境下において混合セメント（高炉セメントB種）を使用したコンクリートは、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートに比べて、圧縮強度の低下は小さく、長さ変化率および質量変化率は小さい。
Michael D.A. Thomas, Theodore Bremmer, Allan C. N. Scott : Actual and Modeled Performance in a Tidal Zone, Concrete International, Vol.33, pp.23-28, 2011.11.	高強度コンクリートとしてシリカヒュームを使用したコンクリートは、コンクリートの緻密化を図ることができ、コンクリート中の塩化物イオンの侵入を抑制することができる。塩化物イオンの抑制効果は、W/Cの影響よりも顕著である。
山路徹、審良善和、濱田秀則：海洋環境下におけるコンクリートひび割れ部での腐食挙動、コンクリート工学年次論文集、Vol.33, No.1, pp.857-862, 2011.	腐食環境として厳しい干満帯で、ひび割れを有する場合であっても、高炉セメントの使用が腐食抑制に有効である。
佐藤道生、蓮見亮、皆川浩、久田真：フライアッシュの混和によるコンクリートの遮塩性能の向上について、土木学会論文集、Vol.67, No.2, 2011.	フライアッシュの添加（10～15%）により、鋼材腐食が開始するまでの潜伏期間を大幅に伸ばすことができる。

参考資料-2 : 「第 2 編第 2 章 3 - 6 - 3 . (3) 鋼材のかぶり」に関する NOTE

【NOTE】

鋼材の腐食を防止して、コンクリート構造物の耐久性を確保するための一般的な手段としては、主として

①表面のひび割れ幅を小さくする方法

②かぶりを大きくする方法

③水セメント比を小さくする方法

が挙げられる。しかしながら、

①については、鉄筋量を増やし、かぶりを小さくすることで実現できるが、かぶりが小さいが故に劣化の進行を早めた事例がある（特に海外の構造物で）。

②については、自ずと部材断面が大きくなり、所要の浮力が得られなくなったり、不経済な施工となったりする。

③については、セメントの水和熱に伴う温度ひび割れの発生リスクが高まる。

といった課題がある。

コンクリート製浮体施設的设计においては、部材を軽量化したり、断面を薄肉化したりして所要の浮力を得ること、物量を抑えてより経済的な施工を行うことが志向される。そのため、かぶりができるだけ小さくなるような検討がなされる。

本ガイドラインを参照して、「ひび割れの発生やひび割れ幅を制御し、最小かぶりの標準値を参考にしながら、耐久性に関する照査を行い、設計者の思想により、合理的な構造を検討すればよい。具体的には、

1) 鉄筋を増やす・・・ひび割れ幅を抑制する、鉄筋が負担する応力を減じて w/l を小さくする。

2) プレストレストコンクリート構造とする・・・ひび割れを許容しない、あるいは、ひび割れ幅を制御する

3) 鋼材の防食対策を施す・・・エポキシ樹脂塗装鉄筋など耐食性の高い鋼材や表面被覆工、電気防食などを活用する

等が挙げられる。

参考資料-3：低水セメント比コンクリートの長期健全性の実証事例

【事例1】

対象施設	PC バージ C-BOAT500							
概要	<ul style="list-style-type: none"> 1978 年度に、日本船用機器開発協会と大成建設㈱との共同開発で試作された高強度軽量コンクリート製 PC バージ。 全長 37.0m、全幅 9.0m、全高 3.1m、満載吃水 2.6m。 人工軽量骨材を使用し、単位容積質量 1.8t/m³、圧縮強度 50N/mm²のプレキャストコンクリートブロックを縦方向にプレストレスを導入し、連結して建造。 建造後約 43 年間、主に香川県三豊市詫間町栗島で浮き棧橋として使われていたものを 2020 年 10 月に解体・廃棄。 							
コンクリート配合	設計基準強度 (kgf/cm ²)	配合強度 (kgf/cm ²)	単位容積重量 (t/m ³)	粗骨材最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)
	450	500	1.8±0.02	5	16±4	2.5±1	35	44.5
								
1985 年調査結果 （供用後 7.5 年）	<ul style="list-style-type: none"> 中性化深さはほとんど 0mm。 かぶり厚さがきわめて小さい箇所では鉄筋が腐食しているが、構造物としては健全。 圧縮強度試験結果は、配合設計強度 500kgf/cm²を十分満足。 鉄筋位置での塩分含有量は、当時の土木・建築両学会の許容塩化物含有量に比べて高濃度にもかかわらず、鉄筋の腐食は認められなかった。 							
2020 年調査結果 （ヒアリング結果、供用後 43 年）	<ul style="list-style-type: none"> 外観目視評価した結果、全般的には目立った損傷や劣化は認められず、構造体としては未だ十分利用可能な状態であった。 海中部に位置する箇所では、鉄筋の腐食はみられず、いずれも健全な状態。PC 鋼材のシース管表面にも発錆はみられず、内部グラウトも健全な状態。飛沫帯に位置する箇所でも軽微な腐食であったが、かぶり不足部分では鉄筋腐食あり。 圧縮強度は供用後 7.5 年経過した 1985 年時点と同等の結果が得られており、中性化についても同様に認められなかった。 塩化物イオン濃度は、供用後 7.5 年後の調査状態に比較して、飛沫帯部や甲板部では塩化物イオンの浸透が進展していたが、鉄筋腐食には至っていなかった。海中部では供用後 7.5 年後の調査状態から特段の進展は認められなかった。 							

1) 野口ら：PC バージの耐久性調査報告、コンクリート工学、Vol.25、No.6、pp.30-39、1987.

【事例2】

対象施設	ハイブリッドスパー型浮体																							
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・設置場所：長崎県五島市枕島沖合約 1km ・海水浸漬期間：2012年6月～2020年12月（8年6か月） ・2013年からは風車を取り外し、観測タワーとして活用 ・特徴：上部浮体部（鋼構造）と下部浮体部（コンクリート構造） コンクリート部は延8年以上、水深17m以深に没水 今回の調査対象は下部浮体部のコンクリート円筒部 																							
コンクリート配合	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">水結合材比(%)</th> <th colspan="7">単体量 (kg/m³)</th> </tr> <tr> <th>水</th> <th>セメント</th> <th>高炉スラグ微粉末</th> <th>膨張材</th> <th>細骨材</th> <th>粗骨材</th> <th>混和剤</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>28.3</td> <td>151</td> <td>324</td> <td>174</td> <td>35</td> <td>716</td> <td>1030</td> <td>6.41</td> </tr> </tbody> </table> <p>設計基準強度 50N/mm²、粗骨材の最大寸法 20mm、スランプ 6cm、細骨材率 42.0%、空気量 2.0%</p>	水結合材比(%)	単体量 (kg/m ³)							水	セメント	高炉スラグ微粉末	膨張材	細骨材	粗骨材	混和剤	28.3	151	324	174	35	716	1030	6.41
水結合材比(%)	単体量 (kg/m ³)																							
	水	セメント	高炉スラグ微粉末	膨張材	細骨材	粗骨材	混和剤																	
28.3	151	324	174	35	716	1030	6.41																	



2021年
調査結果

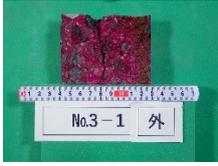
①外観調査

調査項目	調査結果
・剥離、損傷、欠損の有無	・無し
・鉄筋露出の有無	・無し

②圧縮強度・静弾性係数

採取箇所	記号	圧縮強度 (N/mm ²)		静弾性係数 (kN/mm ²)	
下部(WL-32m 付近) 	3-1	104	100	39.2	41.4
	3-4	96.9		42.6	
	3-8	100		42.4	
中央部(WL-26m 付近) 	6-2	99.1	93.9	43.8	45.1
	6-4	84.0		45.5	
	6-7	98.6		46.1	
上部(WL-20m 付近) 	9-1	91.1	88.1	45.6	41.6
	9-3	91.1		41.5	
	9-5	82.1		37.6	

③中性化深さ

採取箇所	記号	測定面	測定値(mm)					平均値 (mm)
			①	②	③	④	⑤	
ロット№3 	3-1	外	0	0	0	0	0	0
		内	0	0	0	0	0	0
	3-4	外	0	0	0	0	0	0
		内	0	0	0	0	0	0
	3-8	外	0	0	0	0	0	0
		内	0	0	0	0	0	0
ロット№6 	6-2	外	0	0	0	0	0	0
		内	0	0	0	0	0	0
	6-4	外	0	0	0	0	0	0
		内	0	0	0	0	0	0
	6-7	外	0	0	0	0	0	0
		内	0	0	0	0	0	0
ロット№9 	9-1	外	0	0	0	0	0	0
		内	0	0	0	0	0	0
	9-3	外	0	0	0	0	0	0
		内	0	0	0	0	0	0
	9-5	外	0	0	0	0	0	0
		内	0	0	0	0	0	0

参考資料-4:「解説 表 2-1 割増係数の基準別比較」の参考資料

ISO、国交省ガイドライン、コンクリート標準示方書、DNVGL における割増係数等の比較

※数値表示の○～○は条件に応じてこの範囲で適切な値を設定するという意味であり、○/○はどちらか保守的な値を選択するという意味である。

※ここに記載した各値は、各設計基準等に記載された数値の意味を解釈して転記したものもあり、また、各設計基準における各値の適用条件は同一ではない。実際の設計では各設計基準等で示された原則を十分理解した上で適切な数値を採用する必要がある。

【留意事項】

①材料強度の定め方

コンクリート圧縮強度に関して、ISO19903:2019 は材齢 28 日の試験強度に基づき、非超過確率 5%の値としている。コンクリート標準示方書は材齢 28 日の試験強度に基づき、試験値のばらつきを想定した上で、大部分の試験値がその値を下回らないことが保証される値としている。DNVGL は材齢 28 日の試験強度に基づき、非超過確率 5%の値としている。

鉄筋に関して、ISO19903 は最小降伏点強度を特性強度 F_{yk} とし、コンクリート標準示方書は JIS 規格の下限値を特性値 f_{yk} および f_{uk} としてよいとしている。DNVGL では f_{yk} は試験による非超過確率 5%値としている。

②作用側の荷重（流体力）の定め方

浮体全体および浮体の部材に働く流体力評価に関して、浮体式洋上風力発電技術ガイドブックではポテンシャル理論、モリソン式等により評価することとしている。ISO19903、国交省ガイドライン、コンクリート標準示方書に同流体力評価に関する具体的な記述は無い。DNVGL は浮体式洋上風力発電技術ガイドブックに記載の手法と基本同じと考えてよい。

③部材の製造誤差・施工誤差の考慮

ISO 19903 は海洋構造物における一般的な許容幾何公差を定義した上で、材料係数 (γ_M) の最小値の例を記載している。コンクリート標準示方書は材料係数 (γ_c, γ_s) および部材係数(γ_b)を製造誤差・施工誤差を考慮し定めるとしている。DNVGL は許容幾何公差以内の場合の値と許容幾何公差オーバーの場合とに分けて、材料係数 (γ_c, γ_s) を記載している。

1. 抵抗側の割増係数

限界状態	材料	ISO 19903 2019					国交省ガイドライン 2020.3					コンクリート標準示方書 設計編 2017					DNVGL 2018										
		係数の名称	記号	値	記載箇所	備考	係数の名称	記号	値	記載箇所	備考	係数の名称	記号	値	記載箇所	備考	係数の名称	記号	値	記載箇所	備考						
終局限界状態 ULS	コンクリート	Material factors for concrete	γ_M	1.4	8.1.17	EN 1992-1-1:2004, Annex A 記載の材料適用の場合	記載無し	材料係数	γ_c	1.3	1.43~1.69	設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	部材係数 γ_b は部材寸法のバラツキ等による	Material factors for concrete	γ_c	1.5	Table 5-2 DNVGL-ST-0126-2018	If the specified tolerances are not in excess									
	鋼材	Material factors for reinforcement	γ_M	1.1				部材係数	γ_b	1.1~1.3				1.1~1.3	Material factors for reinforcement	γ_s			1.15								
使用限界状態 SLS	コンクリート	記載無し	記載無し	記載無し	記載無し	材料係数		γ_c	1.0	1.0	設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2		Material factors for concrete	γ_c	1.0												
	鋼材					部材係数		γ_b	1.0				1.0	Material factors for reinforcement	γ_s	1.0											
事故限界状態 ALS	コンクリート					材料係数		γ_c	1.0	1.0	設計編 標準 5 編 解説表 3.5.1	耐震性能 2,3 の場合の応答値	Material factors for concrete	γ_c	1.3												
	鋼材					部材係数		γ_b	1.0				1.0	Material factors for reinforcement	γ_s	1.1											
疲労限界状態 FLS	コンクリート					材料係数		γ_c	1.3	1.3~1.69	設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	部材係数 γ_b は部材寸法のバラツキ等による	Material factors for concrete	γ_c	1.5												
	鋼材					部材係数		γ_b	1.0~1.3				1.05~1.365	Material factors for reinforcement	γ_s	1.1											

2. 作用側の割増係数

2.1 終局限界状態および使用限界状態

※構造物係数 γ_i (1.0~1.2) はここではすべて 1.0 とし、作用側の割増係数に入れている。

※コンクリート標準示方書においては、作用の規格値または公称値がその特性値とは別に定められている

場合には、作用の特性値は、その規格値または公称値に作用修正係数 ρ_t を乗じた値とするとしている。

限界状態	作用の名称	ISO 19903 2019					国交省ガイドライン 2020.3					コンクリート標準示方書 設計編 2017					DNVGL 2018										
		係数の名称	記号	値	記載箇所	備考	係数の名称	記号	値	記載箇所	備考	係数の名称	記号	値	$\gamma_f \times \gamma_a \times \gamma_i$	記載箇所	備考	係数の名称	記号	値	記載箇所	備考					
終局限界状態 ULS	永続作用	partial factor for permanent actions,	γ_G	1.0	6.4 Table 1	ULS (B)	荷重に対する部分安全率	γ_f	0.9/1.0	表 2.3	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。	永続作用(構造物の自重)の作用係数	γ_f	1.0	1.0	設計編 標準 3 編 2.2 表 2.2.1	設計編 標準 3 編 2.2 解説	for permanent load	$\gamma_f(G)$	0.9~1.1	Table 5-1 DNVGL-ST-0119-2018	The most conservative value of 0.9 and 1.1					
																							構造解析係数	γ_a	1.0	設計編 標準 3 編 2.3.2	部材を線形として設計応答値の算定を行う場合
																							構造物係数	γ_i	1.0	設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的経済的影響等による
	プレストレス力	Prestressing actions may be considered as actions resulting from imposed deformations.	γ_D	0.9/1.1	6.4 Table 1 note		荷重に対する部分安全率	γ_f	0.9	表 2.3	全体的な荷重応答を大幅に軽減する初期張力=プレストレス力とした場合。	永続作用(プレストレス力)の作用係数	γ_f	1.0	1.0	設計編 標準 3 編 2.2 表 2.2.1	設計編 標準 3 編 2.2 解説	for prestressing load	$\gamma_f(P)$	0.9/1.1	Table 5-1 DNVGL-ST-0119-2018	The most conservative value of 0.9 and 1.1					
																							構造解析係数	γ_a	1.0	設計編 標準 3 編 2.3.2	部材を線形として設計応答値の算定を行う場合
																							構造物係数	γ_i	1.0	設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的経済的影響等による
	変動作用	partial factor for environmental actions	γ_E	1.3	6.4 Table 1	ULS (B)	荷重に対する部分安全率	γ_f	1.35	表 2.3	設計条件のタイプの通常(N)	主たる変動作用の作用係数	γ_f	1.1~1.2	1.1~1.2	設計編 標準 3 編 2.2 表 2.2.1		for environmental load	$\gamma_f(E)$	1.35		Consequence class 1					
																							構造解析係数	γ_a	1.0	設計編 標準 3 編 2.3.2	部材を線形として設計応答値の算定を行う場合
																							構造物係数	γ_i	1.0	設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的経済的影響等による
使用限界状態 SLS	永続作用	partial factor for permanent actions,	γ_G	1.0	6.4 Table 1	SLS	記載無し				永続作用(構造物の自重)の作用係数	γ_f	1.0	1.0	設計編 標準 4 編 2.2 表 2.2.1		for permanent loads		1.0	Table 3-3 DNVGL-ST-0126-2018	Permanent loads included for example dead loads and pre-tension loads.						
																						構造解析係数	γ_a	1.0	設計編 標準 4 編 2.3.2	部材を線形として設計応答値の算定を行う場合	
																						構造物係数	γ_i	1.0	設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的経済的影響等による	
	プレストレス力	Prestressing actions may be considered as actions resulting from imposed deformations.	γ_D	1.0	6.4 Table 1	SLS	記載無し				永続作用(プレストレス力)の作用係数	γ_f	1.0	1.0	設計編 標準 4 編 2.2 表 2.2.1		for permanent loads		1.0	Table 3-3 DNVGL-ST-0126-2018	Permanent loads included for example dead loads and pre-tension loads.						
																						構造解析係数	γ_a	1.0	設計編 標準 4 編 2.3.2	部材を線形として設計応答値の算定を行う場合	
																						構造物係数	γ_i	1.0	設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的経済的影響等による	
	変動作用	partial factor for environmental actions	γ_E	1.0	6.4 Table 1	SLS	記載無し				主たる変動作用の作用係数	γ_f	1.1~1.2	1.1~1.2	設計編 標準 4 編 2.2 表 2.2.1		for environmental loads		1.0	Table 3-3 DNVGL-ST-0126-2018	Permanent loads included for example dead loads and pre-tension loads.						
																						構造解析係数	γ_a	1.0	設計編 標準 4 編 2.3.2	部材を線形として設計応答値の算定を行う場合	
																						構造物係数	γ_i	1.0	設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的経済的影響等による	

2.2 事故限界状態および疲労限界状態

※構造物係数 γ_i (1.0~1.2) はここではすべて 1.0 とし、作用側の割増係数に入れている。

※コンクリート標準示方書においては、作用の規格値または公称値がその特性値とは別に定められている

場合には、作用の特性値は、その規格値または公称値に作用修正係数 ρ_t を乗じた値とするとしている。

限界状態	作用の名称	ISO 19903 2019					国交省ガイドライン 2020.3					コンクリート標準示方書 設計編 2017					DNVGL 2018					
		係数の名称	記号	値	記載箇所	備考	係数の名称	記号	値	記載箇所	備考	係数の名称	記号	値	$\gamma_f \times \gamma_a \times \gamma_i$	記載箇所	備考	係数の名称	記号	値	記載箇所	備考
事故限界状態 ALS	永続作用	partial factor for permanent actions,	γ_G	1.0	6.4 Table 1	ALS	荷重に対する部分安全率	γ_f	0.9/1.0	表 2.3	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。	永続作用(構造物の自重)の作用係数	γ_f	1.0	1.0~1.2	設計編 標準 5 編 3.5	耐震性能 2 および 3	for permanent load	$\gamma_f(G)$	1.0	Table 5-1 DNVGL-ST-0119-2018	The most conservative value of 0.9 and 1.1
												構造解析係数	γ_a	1.0~1.2		設計編 標準 5 編 3 章耐震性に関する照査の原則 解説表 3.5.1	示方書で示す標準的な解析手法を用いる場合には、構造解析係数は、一般に 1.0 としてよい					
												構造物係数	γ_i	1.0		設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的経済的影響等による					
	プレストレス力	Prestressing actions may be considered as actions resulting from imposed deformations.	γ_D	0.9/1.1	6.4 Table 1	ALS	荷重に対する部分安全率	γ_f	0.9	表 2.3	全体的な荷重応答を大幅に軽減する初期張力=プレストレス力とした場合。	永続作用(プレストレス力)の作用係数	γ_f	1.0	1.0~1.2	設計編 標準 5 編 3.5	耐震性能 2 および 3	for prestressing load	$\gamma_f(P)$	0.9/1.1	Table 5-1 DNVGL-ST-0119-2018	The most conservative value of 0.9 and 1.1
												構造解析係数	γ_a	1.0~1.2		設計編 標準 5 編 3 章耐震性に関する照査の原則 解説表 3.5.1	示方書で示す標準的な解析手法を用いる場合には、構造解析係数は、一般に 1.0 としてよい					
												構造物係数	γ_i	1.0		設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的経済的影響等による					
	変動作用	partial factor for environmental actions	γ_E	1.0	6.4 Table 1	ALS	荷重に対する部分安全率	γ_f	1.1	表 2.3	設計条件のタイプの異常(A)	主たる変動作用の作用係数	γ_f	1.0	1.0~1.2	設計編 標準 5 編 3.5	耐震性能 2 および 3	for environmental load	$\gamma_f(E)$	1.0	Table 5-1 DNVGL-ST-0119-2018	Consequence class 1
												構造解析係数	γ_a	1.0~1.2		設計編 標準 5 編 3 章耐震性に関する照査の原則 解説表 3.5.1	示方書で示す標準的な解析手法を用いる場合には、構造解析係数は、一般に 1.0 としてよい					
												構造物係数	γ_i	1.0		設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的経済的影響等による					
疲労限界状態 FLS	永続作用	partial factor for permanent actions,	γ_G	1.0	6.4 Table 1	FLS	疲労強度評価において使用する荷重係数は 1.0	γ_f	1.0	表 2.3	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。	永続作用(構造物の自重)の作用係数	γ_f	1.0	1.0	設計編 標準 3 編 3.2 表 3.2.1		for permanent loads		1.0	Table 3-3 DNVGL - ST - 0126 - 2018	Permanent loads included for example dead loads and pre-tension loads.
												構造解析係数	γ_a	1.0		設計編 標準 3 編 3.3.2	部材を線形として設計応答値の算定を行う場合					
												構造物係数	γ_i	1.0		設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的経済的影響等による					
	プレストレス力	Prestressing actions may be considered as actions resulting from imposed deformations.	γ_D	1.0	6.4 Table 1	FLS	疲労強度評価において使用する荷重係数は 1.0	γ_f	1.0	表 2.3	全体的な荷重応答を大幅に軽減する初期張力=プレストレス力とした場合。	永続作用(プレストレス力)の作用係数	γ_f	1.0	1.0	設計編 標準 3 編 3.2 表 3.2.1		for permanent loads		1.0	Table 3-3 DNVGL - ST - 0126 - 2018	Permanent loads included for example dead loads and pre-tension loads.
												構造解析係数	γ_a	1.0		設計編 標準 3 編 3.3.2	部材を線形として設計応答値の算定を行う場合					
												構造物係数	γ_i	1.0		設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的経済的影響等による					
	変動作用	partial factor for environmental actions	γ_E	1.0	6.4 Table 1	FLS	疲労強度評価において使用する荷重係数は 1.0	γ_f	1.1~1.2	表 2.3	設計条件のタイプの異常(A)	主たる変動作用の作用係数	γ_f	1.1~1.2	1.1~1.2	設計編 標準 3 編 3.2 表 3.2.1		for environmental loads		1.0	Table 3-3 DNVGL - ST - 0126 - 2018	Permanent loads included for example dead loads and pre-tension loads.
												構造解析係数	γ_a	1.0		設計編 標準 3 編 3.3.2	部材を線形として設計応答値の算定を行う場合					
												構造物係数	γ_i	1.0		設計編 本編 4 章 解説表 4.5.2	構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的経済的影響等による					