

# 「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説」の改定について

辰巳 大介\*・岡田 理\*\*・山本 修司\*\*\*

\* (一財) 沿岸技術研究センター 研究主幹

\*\* 前 (一財) 沿岸技術研究センター 企画部 主任研究員

\*\*\* (一財) 沿岸技術研究センター 参与・洋上風力研究室長

「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説」は、港湾区域に洋上風力発電設備を設置することを主な対象として、平成30年3月に策定された。その後、「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」が平成31年4月に施行され、一般海域にも洋上風力発電設備を設置する環境が整備されたことから、「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説」は令和2年3月に改定された。本論文は、改定に係る技術的検討をとりまとめたものである。

キーワード：洋上風力発電，技術基準

## 1. はじめに

深刻化する地球温暖化への対策として、世界全体で温室効果ガスの排出削減が求められており、再生可能エネルギーの導入促進が喫緊の課題となっている。風力発電は主要な再生可能エネルギーの1つであるが、陸上風力発電の導入可能な適地が限定的な我が国においては、大規模な風車を設置することが可能な洋上風力発電の導入拡大が、再生可能エネルギーの主力電源化のために必要不可欠である。

このような背景をふまえ、平成28年度には、港湾法が改正され、公募手続きによって港湾区域内の水域を発電事業者が長期に占有可能とする制度が創設された。

洋上風力発電設備を港湾区域に設置する場合、電気事業法に基づく発電用風力設備に関する技術基準及び電気設備に関する技術基準に加えて、港湾法に基づく公募対象施設等の技術基準と港湾の施設の技術上の基準に適合する必要がある。電気事業法と港湾法の各法に基づく審査が必要とされているなかで、事業者の負担軽減や審査手続きの合理化を図るため、両法の統一的な考え方を解説することを目的として、平成30年3月に、「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説」(以下「統一的解説」という。)が策定された<sup>1)</sup>。なお、統一的解説の適用対象は洋上風力発電設備等であり、具体的には、洋上風力発電設備、洋上変電設備、海底送電線、観測塔及び通信ケーブルであるが、本論文では洋上風力発電設備を中心に説明する。

平成30年3月版の統一的解説は、港湾区域に洋上風力発電設備を設置する場合を主な対象としており、洋上風力発電設備の支持構造物の構造形式としては、港湾区域内での設置が見込まれる着床式を対象としている。平成30年3月版の統一的解説の詳細については、岡田ら(2018)<sup>2)</sup>を参照いただきたい。

統一的解説が平成30年3月に策定された後、洋上風力発電の導入をより一層促進するため、平成31年4月には、「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」(以下「再エネ海域利用法」という。)が施行された。再エネ海域利用法の施行により、一般海域にも洋上風力発電設備を設置する環境が整備された。

一般海域では、海域利用の方法や船舶航行の状況等が港湾区域とは異なるため、港湾区域とは一部異なる要求性能が規定された。また、一般海域は港湾区域よりも相対的に水深が深くなるため、支持構造物の構造形式として着床式ではなく、浮体式が検討対象となる可能性が考えられる。

このため、再エネ海域利用法の施行をふまえ、統一的解説を見直す必要が生じたことから、必要となる技術的検討を行い、「洋上風力発電施設検討委員会」及び「洋上風力発電施設検討委員会設計技術ワーキンググループ」における議論を経て、令和2年3月に統一的解説の改定が行われた。

なお、沿岸技術研究センターは、経済産業省商務情報政策局産業保安グループ電力安全課、国土交通省港湾局海洋・環境課、(一社)寒地港湾技術研究センターと共に、洋上風力発電施設検討委員会設計技術ワーキンググループの事務局を務め、今般の改定作業に参画したものである。

## 2. 統一的解説の改定事項

令和2年3月の改定事項を大別すると、①設置場所として港湾区域に一般海域を併記したこと、②洋上風力発電設備の支持構造物の構造形式として着床式に浮体式を併記したこと、③洋上風力発電設備の主要な国際規格である国際電気標準会議(IEC)の規格改定を反映したこと、④その他所要の改定、に大別される。

表-1 は、統一的解説の章節ごとに改定事項 (①～④) 各節で解説する。  
を整理したものであり、各改定事項については、2 章の

表-1 統一的解説の改定概要

「統一的解説」目次	①一般海域に関する改定	②浮体構造に関する改定	③IEC改定に係る改定	④その他所要の改定
<b>第1章 総則</b>				
1.1 適用範囲	再エネ海域利用法の並記	浮体構造の記載		
1.2 定義		浮体構造関係の用語の記載		
1.3 関連規格・関連法規	再エネ海域利用法関係の規格・法規の並記	浮体構造関係の規格・法規の記載		港湾技術基準細目告示の追加
<b>第2章 洋上風力発電設備等の要求性能</b>				
2.1 外力に対して安全な構造	港湾L2地震動に対する性能照査が不要である旨の記載	浮体に対応したDLCの例示を記載	地震時に作用する風荷重の見直し DLC2.1/2.2(発電中の故障)の定義の見直し	気温の変化に対する配慮の明示
2.2 風車の構造				
2.3 風車の安全な状態の確保	落雷対策に関する事項を追記			一般海域に関する事項を並記したことを受け、港湾区域の事項をより明確化
2.4 取扱者以外の者の接近の防止				
2.5 圧油装置及び圧縮空気装置の危険の防止				
2.6 公害等の防止				
2.7 電気システム(付属書から移動)				
2.8 送電線等の敷設	一般海域における敷設の留意事項の記載			電気設備に関する技術基準の引用
2.9 腐食・洗掘等の防止				腐食について、発電用風力設備に関する技術基準、電気設備に関する技術基準の引用
2.10 港湾機能及び周辺海域の利用等に影響を与えない洋上風力発電設備等の設置	一般海域における配置計画の留意事項の記載	浮体構造に必要な離隔距離の考え方の記載		
2.11 航行船舶からの視認性の向上				
2.12 船舶等との接触の防止				
2.13 施工及び維持管理への対応				
<b>第3章 洋上風力発電設備等に作用する自然条件等</b>				
3.1 風荷重			地震時に作用する風荷重の見直し	
3.2 潮位				
3.3 波浪荷重				
3.4 津波荷重				
3.5 水の流れによる荷重				
3.6 洗掘				
3.7 地盤				工学的基盤の深度の検討に関する留意事項の追記
3.8 地震荷重	一般海域における港湾L2地震動に対する性能照査が不要である旨の記載			
3.9 地盤の液化化・沈下				
3.10 接岸荷重				
3.11 固定荷重				
3.12 その他の荷重				
3.13 腐食作用				
3.14 材料				
<b>第4章 洋上風力発電設備等の設計</b>				
4.1 構造解析		浮体構造の設計フローを記載		
4.2 荷重抵抗係数設計法による設計				
4.3 許容応力度設計法による設計				
4.4 タワーの設計				
4.5 モノパイル構造の設計				
4.6 ジャケット構造の設計				
4.7 重力式基礎の設計				
(新規) 4.8 浮体構造の設計		浮体構造の設計について、節を新規作成		
4.9 接合部の設計				
4.10 運転や維持管理に必要な設備の設計				電気設備に関する技術基準の引用
4.11 防食設計				
<b>付属書</b>				
1 電気システム(本編2.7に移動)				
1 発電時における終局強度解析のための気象海象パラメータの統計的外挿				
2 コーン貫入試験による地盤評価				
3 洗掘の検討				
4 水荷重に対する洋上風力発電設備等の支持構造物の設計				
5 抵抗係数の設定例				
6 安全性照査に関する許容応力度の設定例				
7 安定性照査に関する許容支持力及び安全率の設定例				
8 疲労設計				
(新規) 9 熱帯性低気圧地域での安全レベルの調整			IEC 61400-3-1 Annex Iの反映	

## 2.1 一般海域に設置する場合の考え方

洋上風力発電設備に適用される技術基準は、設置場所に関わらず満たすべきものと、設置場所に依って満たすべき基準に分けられる (図-1 参照)。

洋上風力発電設備は、設置場所に関わらず、電気事

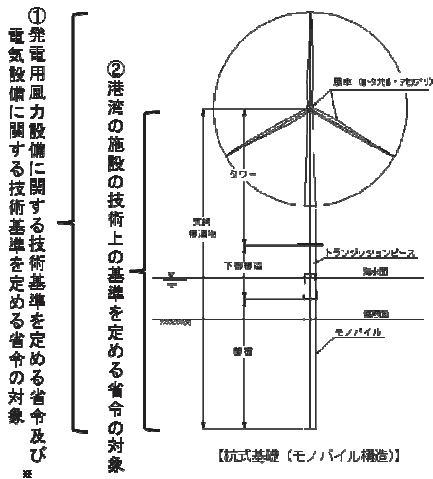
業法に基づく「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令」及び「電気設備に関する技術基準を定める省令」に適合する必要がある。さらに、洋上風力発電設備の下部工(支持構造物)は、設置場所に関わらず、港湾法(第56条の2の2)に基づく「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」に適合する必要がある。

一方、設置場所に応じて満たすべき基準としては、港湾法（第37条の5）に基づく「公募対象施設等及びその維持管理の方法の基準」（港湾法施行規則第3条の9）と再エネ海域利用法に基づく「海洋再生可能エネルギー発電設備及びその維持管理の方法の基準」（再エネ海域利用法施行規則第5条）が挙げられる。洋上風力発電設備を港湾区域（再生可能エネルギー源を活用する区域）に設置する場合は「公募対象施設等及びその維持管理の方法の基準」が、一般海域（海洋再生

可能エネルギー発電設備整備促進区域）に設置する場合は「海洋再生可能エネルギー発電設備及びその維持管理の方法の基準」が、それぞれ適用される。

このように、洋上風力発電設備を港湾区域と一般海域に設置する場合においては、適用される技術基準が異なるわけであるが、最も明確な差異の1つが、性能照査で用いる地震動である（表-2 参照）。

設置場所に関わらず満たすべき基準



設置場所に応じて満たすべき基準

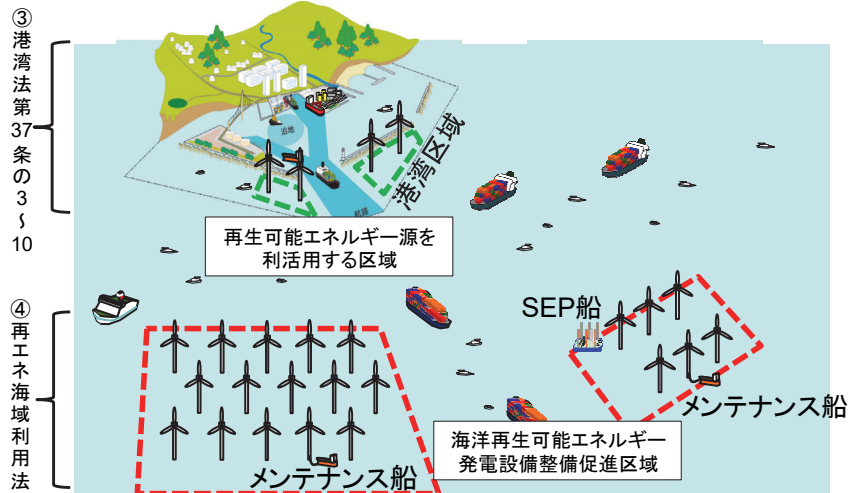


図-1 洋上風力発電設備の技術基準類の適用関係<sup>1)</sup>

表-2 性能照査で用いる地震動の比較

適用技術基準	港湾区域	一般海域
発電用風力設備に関する技術基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>・稀に発生する地震動</li> <li>・極めて稀に発生する地震動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・稀に発生する地震動</li> <li>・極めて稀に発生する地震動</li> </ul>
港湾の施設の技術上の基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>・港湾レベル1地震動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・港湾レベル1地震動</li> </ul>
公募対象施設等に関する基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計供用期間中に発生する可能性の高い地震動（稀に発生する地震動、港湾レベル1地震動）</li> <li>・設置する地点において発生するものと想定される最大規模の強さを有する地震動（極めて稀に発生する地震動）</li> <li>・港湾レベル2地震動（ただし、耐震強化施設の機能を確保するための航路及び泊地における船舶の交通に著しい支障を及ぼすおそれのある場合のみ）</li> </ul>	(適用外)
海洋再生可能エネルギー発電設備に関する基準	(適用外)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計供用期間中に発生する可能性の高い地震動（稀に発生する地震動、港湾レベル1地震動）</li> <li>・設置する地点において発生するものと想定される最大規模の強さを有する地震動（極めて稀に発生する地震動）</li> </ul>

設置場所に関わらず適用される、発電用風力設備に関する技術基準と港湾の施設の技術上の基準では、稀に発生する地震動・極めて稀に発生する地震動・港湾レベル1地震動の3種類の地震動の照査が必要である。

これに加えて、港湾区域においては、耐震強化施設の機能を確保するための航路及び泊地における船舶の交通に著しい支障を及ぼすおそれのある場合に限って、港湾レベル2地震動の照査が必要である。一方、一般

海域に洋上風力発電設備を設置する場合は、港湾レベル2地震動の照査は不要である。

地震動の他に、港湾区域に設置する場合と一般海域に設置する場合で設計の考え方が異なるものとして、送電線等の敷設(2.8節)及び港湾機能及び周辺海域の利用等に影響を与えない洋上風力発電設備等の設置(2.10節)が挙げられる。

送電線等の敷設に関しては、港湾区域に設置する場合、埋設が原則である。一方、一般海域に設置する場合は、港湾区域と比較すれば、投走錨等により送電線等が損傷する危険性は相対的に低いと考えられるため、船舶の航行や漁労活動等に支障とならず、公衆安全を確保するよう十分な防護を行えば、必ずしも埋設することを原則とする必要はない。なお、一般海域において、送電線等の埋設を行わない場合には、防護管を取付ける方法、捨石被覆工法、グラウト袋やコンクリートマットレスを設置する方法等によって、送電線等を確実に保護する必要がある。

港湾機能及び周辺海域の利用等に影響を与えない洋上風力発電設備等の設置に関しては、一般海域には、港湾施設である航路や泊地が無いことから、航跡等を基に検討を行い、定期航路や一定の船舶が頻繁に航行する航路から一定の離隔距離を確保するように、洋上風力発電設備を設置する必要がある。また、災害時の緊急物資輸送に利用される航路等を考慮する必要がある。

## 2.2 支持構造物を浮体式とする場合の考え方

着床式洋上風力発電導入ガイドブック<sup>3)</sup>に記載のとおり、一般的には、設置水深が50~60mよりも深くなると、着床式洋上風力発電設備よりも浮体式洋上風力発電設備の方が経済性で優位になると言われている。

港湾区域に設置する場合を主たる対象とした平成30年3月版の統一解説では、支持構造物の構造形式として、主に着床式を前提としていた。しかし、洋上風力発電設備を一般海域に設置する場合は、設置水深が50~60mよりも深くなるのが十分に予想されるため、支持構造物の構造形式として浮体式も対象とする必要がある。

まず、浮体式洋上風力発電設備の構造形式は、セミサブ・スパー・TLP(テンションレグプラットフォーム)・バージ等に細分化される(図-2)。さらに、係留方式に着目すると、カテナリー係留・トート係留・緊張係留等に細分化することも可能である。

次に、浮体式洋上風力発電設備に適用される技術基準は、2.1で説明した「設置場所に関わらず満たすべき基準」と「設置場所に応じて満たすべき基準」に加えて、船舶安全法に基づく「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、国海安第286号(令和2年3月3日))に適合する必要がある。

浮体式洋上風力発電設備は、着床式洋上風力発電設備と適用される技術基準が一部異なるため、荷重組み合わせ・要求性能・照査項目も異なる点が存在する。

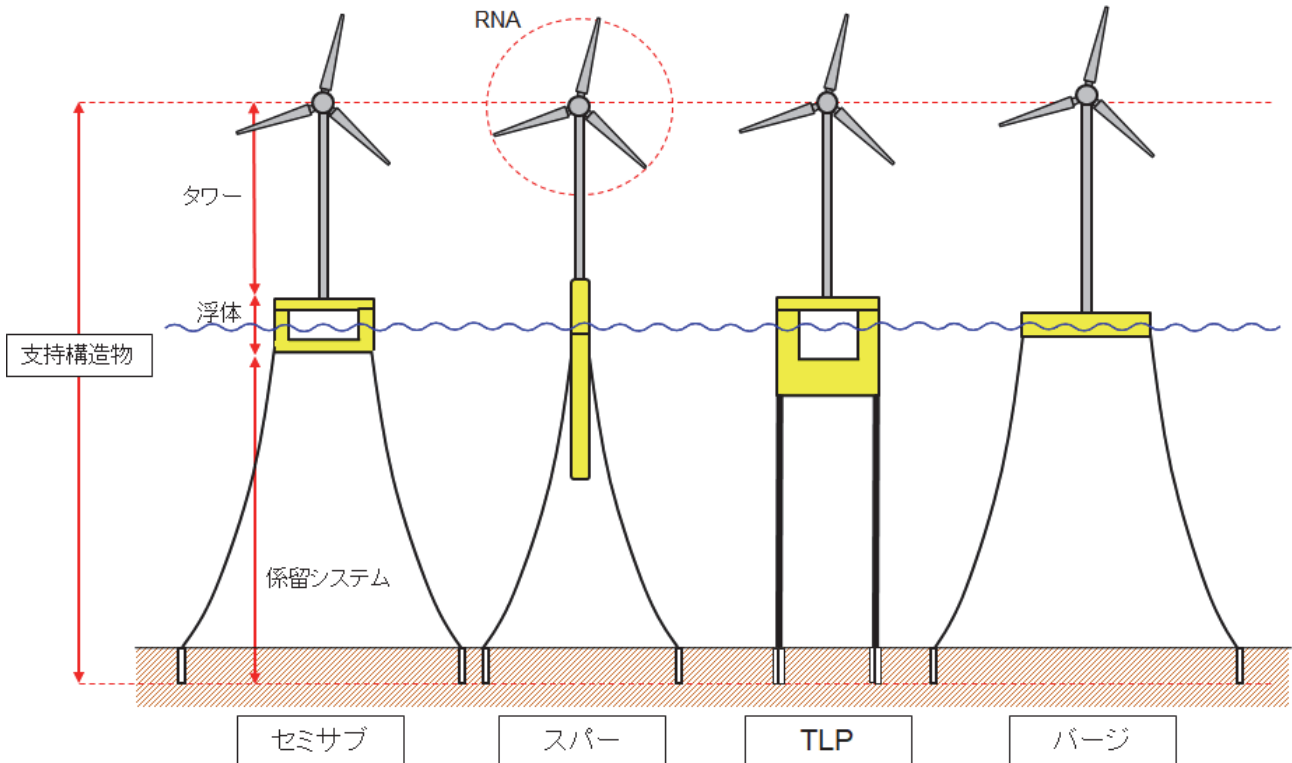


図-2 浮体式洋上風力発電設備の代表的な構造形式<sup>1)</sup>

表-3 浮体式洋上風力発電設備の荷重組み合わせ (短期荷重及び疲労荷重の場合)<sup>1)</sup>

荷重組み合わせ		照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
<b>【短期荷重及び疲労荷重】</b>		タワー	港湾の施設の技術上の基準・同解説 <sup>4)</sup> 、浮体式洋上風力発電施設技術基準及び必要に応じて信頼のける国際・国内指針	損傷せず、発電施設としての機能を満足する	構造の安全性 1) 部材応力度 2) 疲労損傷度  位置保持  復原性
発電時	1. 1-1. 6	浮体			
発電中の故障	2. 1-2. 6	係留システム			
発電開始時	3. 1-3. 3				
通常発電停止	4. 1-4. 3				
緊急停止	5. 1				
停止時	6. 1-6. 4				
休止時 (故障)	7. 1-7. 2				
輸送・設置・メンテナンス・修理時	8. 1-8. 4				
発電時 (索破断, 浮体浸水)	9. 1-9. 3				
停止時 (索破断, 浮体浸水)	10. 1-10. 3				
海水作用時					

表-3 は、浮体式洋上風力発電設備の短期荷重及び疲労荷重に対する設計方法を整理したものである。荷重組み合わせに着目すると、多くの荷重組み合わせは着床式洋上風力発電設備と共通であるが、特に DLC 9.1～9.3 や DLC 10.1～10.3 は、浮体式洋上風力発電設備に固有の荷重組み合わせである。浮体式洋上風力発電設備では、風車が発電時と停止時のそれぞれの場合において、係留索が 1 本破断した場合の過渡状態（発電時 DLC 9.1/停止時 DLC 10.1）、係留索が 1 本破断した状態（発電時 DLC 9.2/停止時 DLC 10.2）、浮体が一部浸水した状態（発電時 DLC 9.3/停止時 DLC 10.3）を想定する必要がある。なお、「浮体が一部浸水した状態」とは、「浮体が損傷し、計画された喫水の上方 5.0m から下方 3.0m までの範囲に設けられる区画における 1 区画への浸水が生じた状態」と定義される。

また、照査項目に関しても、着床式洋上風力発電設備の場合は構造の安全性（部材応力度、疲労損傷度）・構造の安定性（支持力、滑動、転倒）であるが、浮体式洋上風力発電設備の場合は構造の安全性（部材応力度、疲労損傷度）・位置保持・復原性である。

対象となる外力は、着床式であっても浮体式であっても、短期荷重・疲労荷重・地震荷重（稀に発生する地震動、極めて稀に発生する地震動、港湾レベル 1 地震動、港湾レベル 2 地震動）・津波荷重は共通である。ただし、着床式と異なり、浮体式洋上風力発電設備では、長期荷重の照査は不要である。

### 2.3 国際規格 IEC の改定内容の導入

統一的解説が平成 30 年 3 月に策定された後、洋上風力発電設備の主要な国際規格である国際電気標準会議 (IEC) の規格が改定された。具体的には、風力発電設備全般の国際規格 IEC 61400-1<sup>5)</sup>、着床式洋上風力発電設備の国際規格 IEC 61400-3-1<sup>6)</sup>、浮体式洋上風力発電設備の国際規格 IEC TS 61400-3-2<sup>7)</sup>が、2019 年 (平成 31 年) 4 月に改定された。なお、IEC TS 61400-3-2 は、正確には国際規格ではなく、国際規格の前段階である TS (技術仕様書) である。

平成 30 年 3 月版の統一的解説は、改定前の IEC を参照している事項が存在したため、IEC の改定事項を統一

的解説に反映させる必要がある。

具体的には、第 1 に、地震時に作用させる風荷重が年平均風速から定格風速へ変更された。ここで、定格風速とは、風車が定格出力に達するハブ高さにおける最小の風速のことである。IEC 61400-1 の "11.6 Assessment of earthquake conditions"において、地震時に作用させる風荷重は、次の①～③の中の最大の荷重とされている。

- ①定格風速における通常発電中の平均荷重
- ②定格風速において決定される緊急停止時の荷重
- ③無風時のアイドリングまたは待機状態及びカットアウト風速時点での荷重 (カットアウト風速とは、風車が発電を行うハブ高さにおける最大の風速のことである)

IEC の第 2 の改定事項は、一部の荷重組み合わせ (DLC) において、荷重の部分安全率の補正が可能となったことである。IEC 61400-1 の "7.4 Design situations and load cases"において、DLC 6.1 及び 6.2 では、年最大風速の変動係数が 15% を超える場合、50 年再現極値風速を補正することが可能となり、補正式が提案された。ここで、DLC 6.1 及び 6.2 とは、再現期間 50 年の極値風速及び極値波浪が作用し、風車が停止している状態の荷重組み合わせのことである。この規定が設けられた背景は、IEC の設計規則は、全般的に温帯低気圧を前提としたものであるが、熱帯性暴風雨に関連した気象・海象条件は温帯性暴風雨に関連した気象・海象条件よりも大きな変動性を示すことがあり、このような場合は補正が必要となることがあるためである。

なお、これに関連して、IEC 61400-3-1 の "Annex I Recommendations for alignment of safety levels in tropical cyclone regions"において、熱帯性低気圧地域での安全性レベルの調整に関する参考情報が追加された。この Annex I の内容は、付属書 9 として統一的解説へ追加された。

### 2.4 その他所要の改定事項

平成 30 年 3 月版の統一的解説が設計実務で使用され、また、各種の行政手続や設計審査業務等で参照される中で、記載をより明確化した方が良い事項等が見つけ

られた。令和2年3月の改定では、これら所要の改定についても対応が図られた。

その他所要の改定事項の一例として、地盤(3.7節)が挙げられる。工学的基盤の深度は、原則として、せん断波速度が400m/s以上の層であり、その層以深で400m/s以下の層が現れないことを確認する必要がある。ただし、せん断波速度が400m/s前後の層が混在して連続的に存在する場合もあるため、このような場合は、工学的基盤の深さをパラメータとした地震応答解析を実施し、深さによる影響が無い位置を工学的基盤として推定する手法を追加した。なお、地震応答解析によって工学的基盤の位置を推定する場合は、その推定の妥当性について、外部有識者に確認していただくことが必要である。

### 3. おわりに

本論文で示した技術的検討の内容をふまえ、統一的解説は令和2年3月に改定された。今後は、統一的解説の改定事項を周知し、洋上風力発電設備の設計実務が円滑に行われるようにすることが重要であると考えられる。

また、我が国では、洋上風力発電事業が今後一層活発になるものと期待され、実際の事業における設計・施工・維持管理の知見が蓄積されていくものと見込まれる。さらに、欧州をはじめとする世界各地でも、洋上風力発電事業が進展し、国際規格の改定等も行われるものと予想される。洋上風力発電に関するこれらの国内外の動向を適切にフォローアップし、必要に応じて統一的解説を適宜改定していくことも重要である。

### 謝辞

本論文は、国土交通省港湾局発注の「一般海域における洋上風力発電設備に関する技術基準の策定に関する検討業務」の成果の一部をとりまとめたものである。

調査にあたっては、「洋上風力発電施設検討委員会」(委員長：牛山泉 足利大学理事長)及び「洋上風力発電施設検討委員会設計技術ワーキンググループ」(委員長：清宮理 早稲田大学名誉教授)の各委員、国土交通省港湾局の関係者から貴重なご意見、ご指導をいただいた。ここに記して厚く御礼申し上げる。

### 付録 用語の解説<sup>1), 4), 8)</sup>

港湾レベル2地震動：技術基準対象施設を設置する地点において発生するものと想定される地震動のうち、

最大規模の強さを有するもの。

工学的基盤：地震応答解析を行うために地震波を入力・設定するための地盤。

短期荷重：稀に発生する風、波、水の流れ、積雪の作用に対する設計を実施するための荷重。

疲労荷重：風、波の繰返し作用によって生じる疲労損傷に対する設計を実施するための荷重。

位置保持：計画された運転条件に対して、浮体施設を所定の位置に保持する性能。

復原性：浮体施設が外力に抵抗して直立の姿勢を保とうとする性能。

カテナリー係留：海底に展張したチェーンの一端を吊り上げたときに形成されるカテナリー(懸垂線)形状の係留ラインの自重によって係留力を得るもの。

トート係留：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。

緊張係留：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を堅く保持し、係留ラインの張力によって、浮体施設の上下揺、縦揺れおよび横揺れを堅く保持しようとするもの。

### 参考文献

- 1) 洋上風力発電施設検討委員会：洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説(令和2年3月版), 183 p., 2020
- 2) 岡田理, 大村厚夫, 山本修司：洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説(平成30年3月版)について, 沿岸技術研究センター論文集, No. 18, pp. 1-8, 2018
- 3) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構：着床式洋上風力発電導入ガイドブック, 376 p., 2018
- 4) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2218 p., 2018
- 5) International Electrotechnical Commission: IEC 61400-1 “Wind energy generation systems, Part 1 - Design requirements”, 168 p., 2019
- 6) International Electrotechnical Commission: IEC 61400-3-1 “Wind energy generation systems, Part 3-1 - Design requirements for fixed offshore wind turbines”, 148 p., 2019
- 7) International Electrotechnical Commission: IEC TS 61400-3-2 “Wind energy generation systems, Part 3-2 - Design requirements for floating offshore wind turbines”, 51 p., 2019
- 8) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構：浮体式洋上風力発電導入ガイドブック, 172 p., 2018