

# 洋上風力発電浮体の設計・施工

## — 博多湾浮体式海上風力発電の実証実験 —

左東 有次\*1・堤 忠彦\*2・吉田 賀一\*3・経塚 雄策\*4

現在、風力発電は再生可能エネルギーの1つとして注目されている。とくに、国土の狭いわが国では、海上での風力発電は今後有望であるといえる。博多湾浮体式海上風力発電は、九州大学が独自に開発した高効率の風レンズ風車と六角形のコンクリート製浮体を組み合わせた世界に例のない発電施設である。浮体は、直径3.5mの円筒浮体6基を、トラス部材と連結材で連結した対角線長18mの六角形構造であるが、海上部という環境条件から円筒浮体やトラス部材には耐久性に優れたPC構造が採用された。本報告では、海上風力発電の全体計画、浮体構造の設計および施工の概要について報告するものである。

キーワード：洋上風力発電、六角形浮体、風レンズ風車、円筒浮体、PCトラス

### 1. はじめに

現在、わが国では再生可能エネルギーの開発・有効利用が求められており、風力発電はその1つとして注目されている。とくに、国土が狭いわが国においては、風況環境が安定し、広大な海上での風力発電は今後有望である。

このような状況を踏まえ、九州大学では独自に開発した高効率の風レンズ風車<sup>1)</sup>を核とする洋上風力発電の実用化を目的として、「風レンズを核とする革命的中型・小型風車システムの導入に関する技術開発」(研究代表者：大屋裕二教授)の研究プロジェクトの一環として、博多湾において浮体式の海上風力発電の実証実験を行っている。なお、「洋上風力発電」という言い方が一般的であるが、博多湾は内湾であるため、ここでは「海上風力発電」ということにした。

この浮体式の海上風力発電は、六角形のコンクリート製の浮体の上部に風レンズ風車を設置した、世界に例のない発電施設となっている。浮体は、6つの円筒浮体を内側と外側で囲むようにトラス部材が配置され、トラス部材間を連結材で連結する六角形構造である。この浮体構造は、設置場所が海上部という環境条件から円筒浮体やトラス部材には耐久性に優れたPC構造が採用されている。

本報告では、海上風力発電の全体計画、浮体構造の設計および製作・施工の概要について報告する。

### 2. 浮体式海上風力発電の実証実験の概要

#### 2.1 実験の概要

浮体式海上風力発電の実証実験の概要を以下に示す。

事業名：博多湾浮体式海上風力発電の実証実験

事業委託者：環境省

事業責任者：九州大学

実施場所：福岡県福岡市博多湾内

実験期間：平成23年12月～平成24年12月

風車：風レンズ風車3kW級 2基

太陽光パネル：1.0kW, 0.5kW 2種類

浮体式海上風力発電の完成図を図-1に示す。風力発電施設としては、3kW級の風レンズ風車2基を円筒浮体の2箇所に設置しており、浮体のバランスをとるため、対角の浮体に観測小屋を設置している。また、浮体上部のデッキ部分には、再生可能エネルギーである太陽光発電用の発電パネルを2種類(1.0kW, 0.5kW)を設置している。

海上風力発電の設置位置を図-2に示す。この設置場所は博多湾内の海岸から約650mの沖合に位置している。この海域は博多湾内であるため、水深は5m程度と浅く、比較的波浪は小さいが、風の通り道であり、風力発電には適した場所である。浮体は、円筒浮体上部に固定した鋼製の係留ボラードから6本の係留索で海底に設置した6個のコンクリートアンカーに固定している。

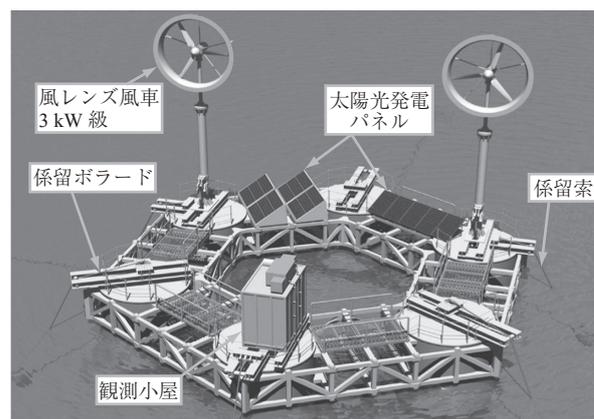


図-1 浮体式海上風力発電完成図

\*1 Yuji SATO : (株) 富士ピー・エス

\*2 Tadahiko TUTUMI : (株) 富士ピー・エス

\*3 Yoshikazu YOSHIDA : (株) 日本港湾コンサルタント

\*4 Yusaku KYOZUKA : 九州大学大学院 総合理工学研究院

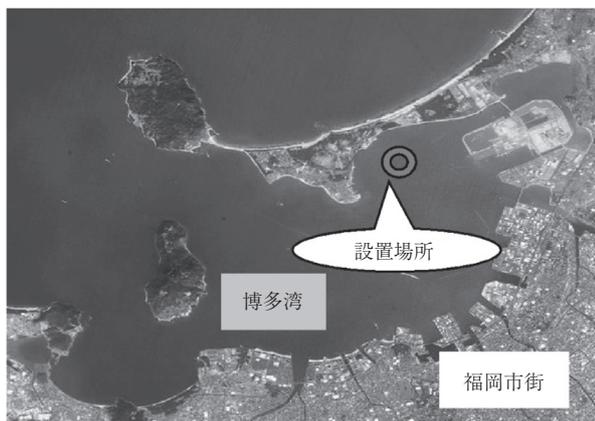


図 - 2 浮体式海上風力発電の設置場所

今回の実験では、発電量、風速、風向、波高および係留力などを1年間計測する予定である。

## 2.2 浮体の構造概要

海上風力発電の浮体構造の概要を以下に示す。

構造形式：コンクリート製六角形浮体

円筒浮体：プレキャスト PC 構造

トラス部材：プレキャスト PC 構造

天蓋：鋼製

対角線長：18.0 m

辺長：9.0 m

円筒浮体径：3.5 m

円筒浮体高：4.0 m

喫水：2.4 m

浮体の全体構造図を図 - 3 に示す。浮体は対角線長 18 m、辺長 9 m、高さ 4 m の六角形構造であり、直径 3.5 m、高さ 4.0 m のプレキャスト PC 構造の円筒浮体 6 基を、内側・外側のプレキャスト PC 構造のトラス部材および連結材で結合した構造である。

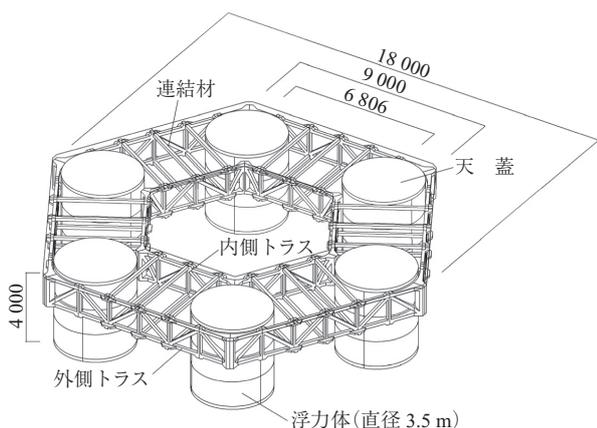


図 - 3 海上風力発電浮体一般図

円筒部の天蓋は、軽量化および風車等の機装品の設置を考慮して鋼製とし、表面を耐久性に優れた防錆材で塗装している。また、係留ボラードなどの鋼製治具も耐久性を考慮して溶融亜鉛メッキ処理している。連結材の上部には、

エキスパンドメタルの歩廊と手摺を設置し、計測時やメンテナンス時の通路としている。

浮体の全体重量は、風車等の機装品をすべて含んだ状態で約 1 400 kN、喫水は約 2.4 m である。

## 3. 浮体の設計

### 3.1 浮体の設計条件

本実験における浮体の要求性能は以下のとおりである。

- ① 浮力：風車等の機装品を搭載した状態で、所定の喫水を確保すること。また、浮体吊上げ用の起重機船の能力から、できるだけ軽量化すること。
- ② 安定性：暴風時に転覆しないこと。
- ③ 安全性：暴風時に風車が転倒したり、浮体が破壊したりしないこと。
- ④ 耐久性：塩分等で鋼材が腐食しないこと。

また、浮体の設計条件は以下のとおりである。

風速条件 30 年確立風速 22 m/s

波浪条件 30 年確立波高  $H_{1/3} = 0.90$  m

$$H_{\max} = 1.6 \text{ m} \quad T_{1/3} = 2.3 \text{ s}$$

ただし、本浮体は実証実験用の構造物であり、計測期間も1年間と短期間であるため、前記の安全性、耐久性については以下の方針で設計を行った。

- ① 暴風時に浮体が破壊しない構造とする。ただし、暴風時には風車を支柱の途中から折り畳み、水平に固定することで、風車の転倒を防止する。
- ② 浮体の吊上げ時、浮体の曳航時および風車を水平にしてのメンテナンス時には、浮体にひび割れが発生しない構造とする。
- ③ 浮力を確保するため、コンクリートのかぶりには必要最小限とし、耐久性を確保するため、防食性の高い材料をできるだけ使用する。

浮体の主要材料を表 - 1、2 に示す。浮体は基本的に PC 構造とし、耐久性を考慮して、耐久性に優れたコンクリートやモルタルおよびエポキシ樹脂被覆 PC 鋼材など、防食性の高い材料をできるだけ使用した。

表 - 1 主要使用材料 (コンクリート・モルタル)

部材	種類	設計基準強度
円筒 (側壁)	モルタル	100 N/mm <sup>2</sup>
円筒 (底版)	コンクリート	50 N/mm <sup>2</sup>
トラス材	コンクリート	50 N/mm <sup>2</sup>
連結材	コンクリート	50 N/mm <sup>2</sup>

表 - 2 主要使用材料 (PC 鋼材)

使用部位	種類	呼び名
円筒 (水平方向)	アンボンド PC 鋼より線	1S17.8 mm
円筒 (鉛直方向)	エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線	1S12.7 mm
トラス材接合部		
連結材接合部	異形 PC 鋼より線	3 φ 2.9 mm
トラス材		

### 3.2 浮体の設計方法

浮体は円筒部材とトラス部材より構成された複雑な構造である。そのため、円筒部材およびトラス部材の断面力は、立体骨組解析を用いて算出した。円筒とトラスの接合部や風車の支柱取り付け部等の局部応力については、3次元FEM解析で算出した。FEM解析モデルを図-4に示す。

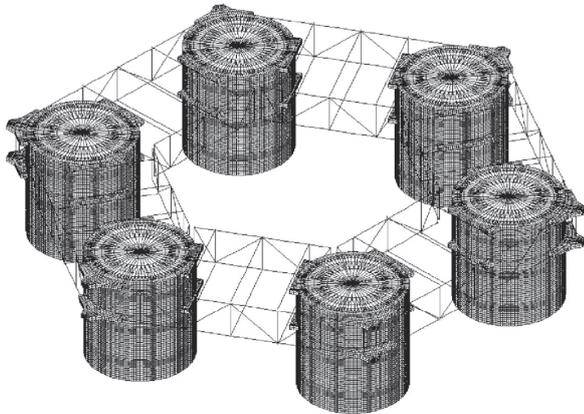


図-4 3次元FEM解析モデル

設計で考慮した荷重およびその組合せを表-3に示す。荷重の組合せに対して、吊上げ時、曳航時および風車メンテナンス時は、曲げモーメントおよび軸力に対するコンクリートの引張応力の制限値を曲げひび割れ発生限界以下とし、セグメント継目部には引張応力を発生させないこととした。

暴風時には、円筒浮体、トラス材、連結材等が、曲げ、せん断およびねじりで破壊しないことを確認した。ただし、暴風時（風車の設計風速 42.5 m/s）では、風車に作用する風荷重で円筒部およびトラス材に過大な引張応力が発生するため、台風等の暴風時には、風車の支柱をジャッキで折り畳み、水平に固定することで、風車に作用する風荷重の影響を低減させた。また、トラス材のねじり剛性向上のため、トラス部材同士は亜鉛メッキ処理した鋼製ターンバックルで緊結した。

表-3 荷重の組合せ

	①自重	②浮力	③波力	④係留力	⑤風荷重	⑥風車の転倒モーメント	⑦水平時モーメント	⑧曳航時波力
①暴風時	○	○	○	○	○	△※		
②吊上げ時	○							
③風車メンテナンス時	○	○					○	
④曳航時	○	○						○

※暴風時には風車を水平に固定させているので、風車の風による転倒モーメントは考慮しないが、浮体の局所的な検討では転倒モーメントを考慮する。

### 3.3 円筒浮体の設計

円筒浮体の構造図を図-5に示す。円筒浮体は、浮力を確保し、さらに水密性を確保する必要があった。そのため、側壁厚を40mmと薄くするとともに、鉛直方向、円周方向をPC構造とした。

側壁部は薄く、鋼材のかぶりも外面側で20mmとしたため、耐久性、充填性を考慮し、側壁部の材料は、シリカ

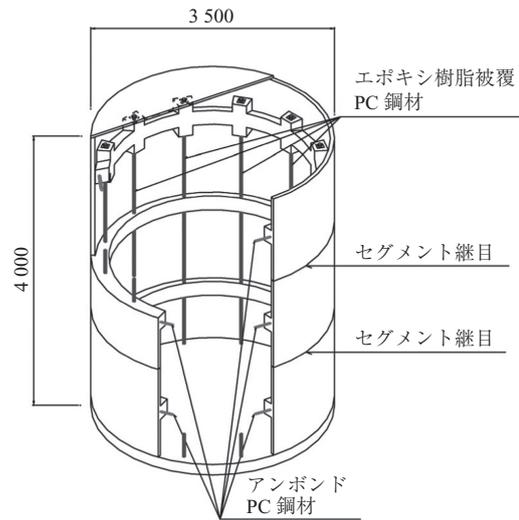


図-5 円筒浮体構造図

ヒュームを混合した設計基準強度 100 N/mm<sup>2</sup> の超高強度モルタルとした。このモルタルには狭隙部への充填性を考慮し、短繊維は混入せず、側壁部を溶接金網（φ 3.2 mm × 50 mm）で補強した。

円筒浮体は、モルタルの品質管理、部材の精度管理および現場工期の短縮を目的として、工場製作のプレキャスト部材とした。そのため、円筒浮体は運搬を考慮し、鉛直方向に3分割のセグメントとし、組立てヤードでエポキシ樹脂被覆PC鋼材 1S12.7 mm、12本を鉛直方向に緊張し一体化する構造とした。セグメント間には10mmの隙間を設け、無収縮モルタルを充填するウエットジョイント構造とした。

また、円筒の円周方向もアンボンドPC鋼材 1S17.8 mmを各ブロックに1本ずつ配置した。

鉛直方向のPC鋼材は、上段のセグメントのリブと底版に定着した。円周方向のPC鋼材は、各セグメントに設けた水平方向のリブに配置した。PC鋼材の配置や緊張は厚さ200mmのリブ部で行ったが、PC鋼材緊張時の円筒浮体の安全性を確認するため、3次元FEM解析で緊張時に側壁部に発生する応力を算出した。

水平方向、鉛直方向のPC鋼材緊張時の円筒外側の発生応力度を図-6に示す。海水に接する円筒外側の発生応力は、コンクリートの引張強度（4.0 N/mm<sup>2</sup>）以下であることを確認した。また、海水に接しない円筒内側において、発生応力がコンクリートの引張強度を超過する部分は、エポキシ樹脂塗装鉄筋で補強した。

暴風時に円筒浮体の外面に発生する応力度の一例を図-7に示す。円筒浮体とトラス部材との接合部には、応力が集中し、コンクリートの引張強度を超過している。そのため、この応力の超過する部分は、ひび割れの発生を防止するため、エポキシ樹脂塗装鉄筋で補強した。

底版はRC構造として設計し、鉄筋は耐久性を考慮して、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した。

### 3.4 トラス部の設計

トラス部の構造図を図-8に示す。トラス部材は、上

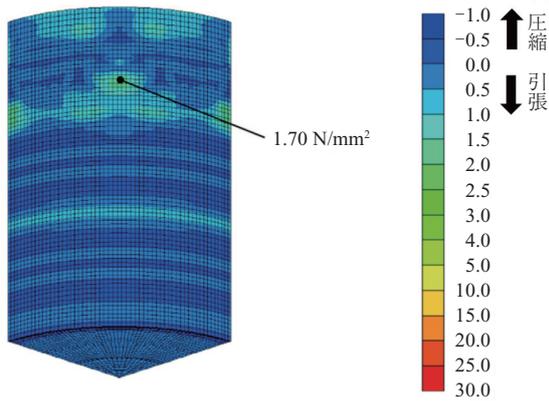


図 - 6 PC 鋼材緊張時の円筒の応力分布

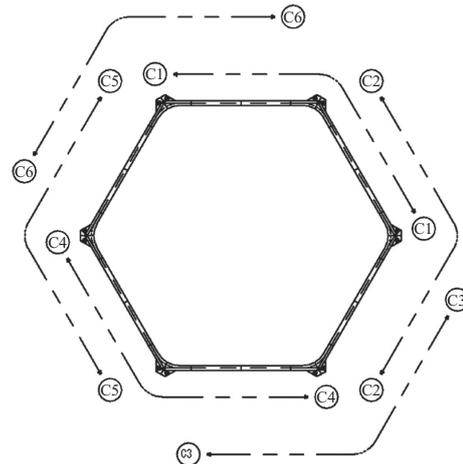


図 - 9 トラス部 PC 鋼材配置図

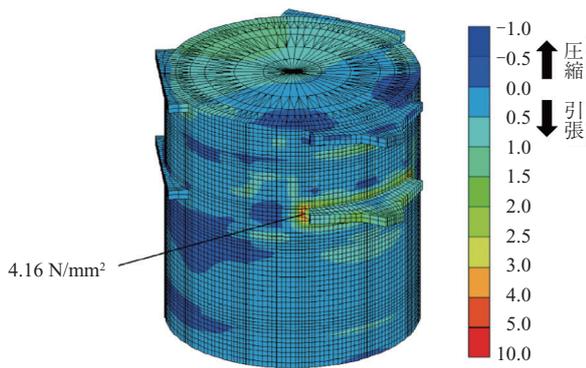


図 - 7 暴風時の円筒部表面の応力分布

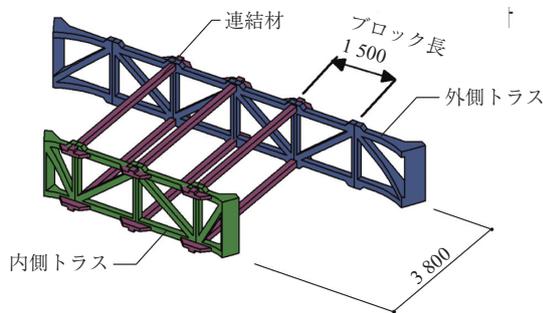


図 - 8 トラス部構造図

下弦材、鉛直材および斜材で構成されたブロックをプレテンション方式で一体で製作し、ブロック同士をポストテンション方式で接合する構造とした。

トラス部材は、重量低減と部材強度を考慮して、各弦材は高さ 140 mm × 幅 140 mm の寸法とした。また、実験期間が 1 年間の短期間であるため、鋼材のかぶりは 20 mm とした。PC 鋼材は、格点部にプレストレスを有効に導入するため、付着長の短い異形 PC 鋼より線 3 φ 2.9 mm を使用し、上下弦材、鉛直材および斜材に交錯して配置した。

トラスブロック接合用のポストテンション方式の PC 鋼材配置を図 - 9 に示す。PC 鋼材は耐久性を考慮し、エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材 1S12.7 mm を上下弦材にたすき状に

配置した。ブロック間の目地部は 10 mm の隙間を設け、無収縮モルタルを充填するウエットジョイント構造とした。

内側と外側のトラス部材間には、連結材（高さ 140 mm × 幅 210 mm）を上下に 3 本ずつ配置し、エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材 1S12.7 mm を各連結材で 2 本ずつ緊張して、トラス材と連結材を一体化させた構造とした。トラス材と連結材の結合部もトラス部と同じウエットジョイント構造とした。

### 3.5 接合部の設計

円筒浮体と連結材の接合部を写真 - 1 に示す。円筒部とトラス部の接合部は、円筒側壁と外側トラス材や連結材間にステンレス鋼棒を配置し、目地部に無収縮モルタルを充填する構造とした。外側のトラス材および連結材と円筒部の隙間は 10 cm 程度しかないため、ステンレス鋼棒は接合部に発生するせん断力に抵抗するように設計した。また、ステンレス鋼棒には、接合部の目地が開かないように、設計時に発生する引張力相当の軸力をトルクで導入することとした。



写真 - 1 円筒浮体・連結材接合部

内側のトラス材と円筒の接合部は、50 cm 程度離れているため、曲げモーメントが作用する。そのため、接合部には PC 鋼棒 φ 26 mm を配置し、プレストレスを導入する構

○ 工事報告 ○

造とした。また、PC 鋼棒は防食性を考慮し、防錆材を塗布した PC 鋼棒とした。

接合部の無収縮モルタルは耐久性を考慮し、圧縮強度 100 N/mm<sup>2</sup> の高強度の無収縮モルタルとし、はく離防止としてポリプロピレン短繊維を添加することとした。

4. 浮体の製作・施工

4.1 工場製作

(1) 円筒浮体

円筒浮体の側壁は図 - 5 のように三分割で製造した。円筒は壁厚が 40 mm と薄く、圧縮強度も 100 N/mm<sup>2</sup> の超高強度が求められたため、円筒の材料としてはシリカヒュームをプレミックスしたセメントを用いる流動性、充填性および塩分浸透抵抗性に優れた超高強度モルタルを使用した。

打設後の蒸気養生は、事前に実機試験練りによって確認した温度履歴のパターンをプログラム調節計にインプットして温度管理を行った。シリカヒュームプレミックスセメントの水和を活性化させるため、温度 30℃ の一次養生を行い、次に温度 80℃ の二次養生を行った。

部材が薄いことによる急激な温度変化によるひび割れを防止するため、緩やかな勾配で徐冷を行った結果、ひび割れの発生を防止することができた。横締めのアンボンドケーブル 1S17.8 mm の緊張は工場で行い、緊張完了後特殊トレーラーで組立てヤードまで運搬した。完成した円筒ブロックを写真 - 2 に示す。

(2) 円筒浮体底版

円筒浮体の底版のコンクリートは耐久性を考慮して、結合材として高炉スラグと早強セメントを使用した。底版は海中に沈む RC 構造であり、エポキシ樹脂塗装鉄筋のかぶりも 20 mm と小さいため、確実にかぶりを確保できるように、プレファブ化した鉄筋を使用した。

(3) トラス部材

製作したトラス部材を写真 - 3 に示す。トラス部材は、



写真 - 2 円筒ブロック



写真 - 3 トラス部材

上下弦材、鉛直材および斜材に PC 鋼材 (3 φ 2.9 mm) を配置し、コンクリート打設、養生後、全部材にプレテンション方式でプレストレスを同時に導入した。

トラス部材の断面は小さく、PC 鋼材や鉄筋が錯綜しており、さらにかぶりも 20 mm のため、コンクリートは、結合材に高炉スラグと早強セメントを用いて、耐久性と充填性に優れた高流動コンクリートを使用した。

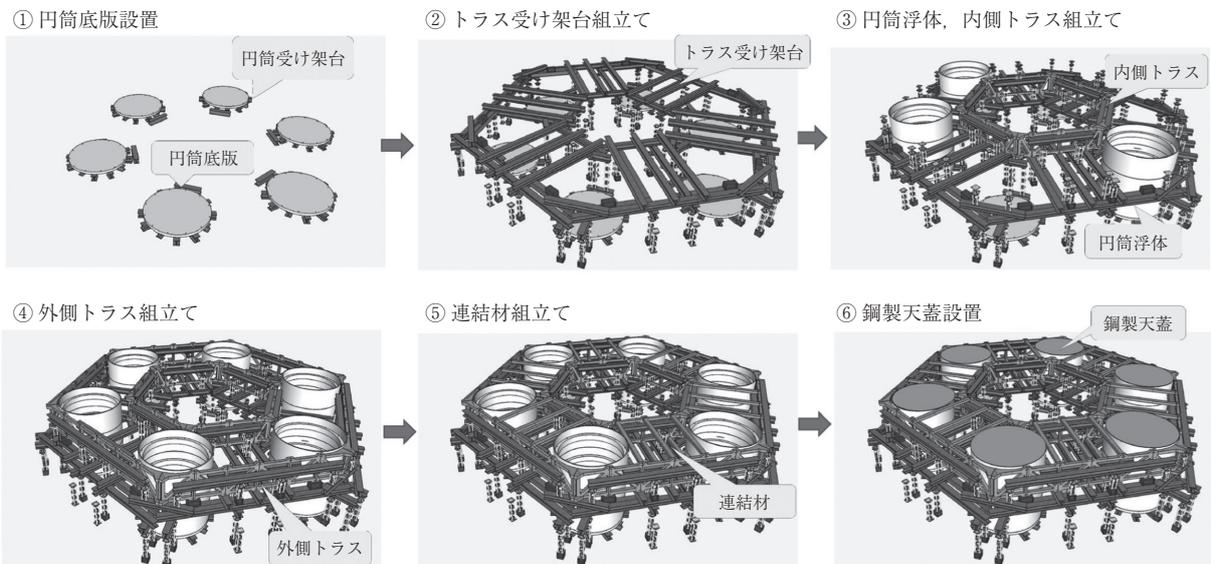


図 - 10 施工フロー図

#### (4) 連結材

連結材はポストテンション方式の梁部材として製作した。シースは耐久性を考慮し、ポリエチレン管を使用し、コンクリートもトラス材と同様の高流動コンクリートを使用した。また、連結材には、塩分に対する鋼材の耐久性を比較するため、一部の連結材に鉄筋の代わりに炭素繊維補強材を使用した。

#### 4.2 現場施工

##### (1) 施工フロー

浮体の組立ては、プレキャスト部材を工場で製作後、博多湾に面した組立てヤードに運搬し行った。

現場施工のフロー図を図 - 10 に示す。

##### (2) 底版設置

円筒の底版は、H型鋼を放射状に設置した架台上に設置した。底版の設置精度は、浮体全体の組立て精度に影響するため、六角形の中心に基準を設け、正六角形配置となるように底版の中心位置を決め、6枚の底版の天端がすべてレベルとなるように高さ調整を行った。

##### (3) 円筒浮体の組立て

円筒浮体の組立て状況を写真 - 4 に示す。



写真 - 4 円筒浮体組立て状況

円筒浮体の組立て精度は、円筒浮体単体の製作精度に加え、円筒浮体とトラス材との結合精度に影響を及ぼすため、円筒ブロック間の目地部で厚さの異なる硬質プラスチック製のライナープレートにより高さ調整を行い、水平管理した。また、平面位置や設置方向は、あらかじめ工場製作時に部材に記した基準線を基にトータルステーションで管理を行った。

高さ調整後の、円筒ブロック間の目地部には、充填性に優れたスラリー型無収縮モルタル使用し、透明型枠で充填確認を行った。また、円筒ブロック同士や円筒ブロックと底版の目地部の防水対策としては、写真 - 5 に示すように円筒外面の目地部にエポキシ樹脂製の防水材を塗布した。

円筒ブロックと底版の接合のため、円筒内側に鉛直方向のエポキシ樹脂被覆 PC 鋼材 (1S12.7mm)、12本を配置し、2台の緊張ジャッキを使用して、偏心荷重をかけないように対角線上に順番に緊張した。また、PC 鋼材長が約 3m と短く、セットによるプレストレスの減少も大きいため、アンカープレートと定着具 (メスコーン) 間にシム (セットロス量に相当する 9mm の厚さ) を設置すること

でセットロスを補正した (写真 - 6)。

底版下面の定着具は露出しているため、緊張定着後、定着具と PC 鋼材端部にエポキシ樹脂系の防錆塗料を塗布し、写真 - 5 に示すようにプラスチック製のカバーに無収縮モルタルを充填した。また、円筒内の定着具は、トラス材と連結材の接合後、無収縮モルタルで保護した。

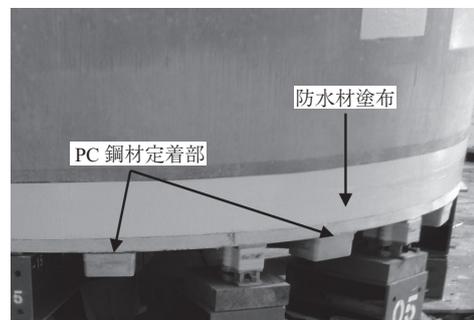


写真 - 5 PC 鋼材定着部 (底版下面)

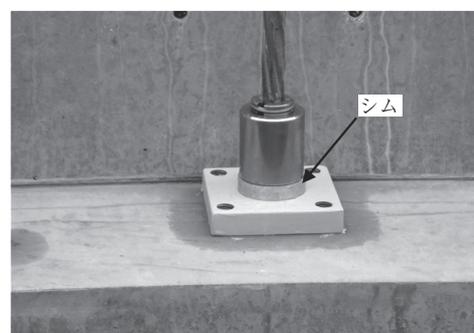


写真 - 6 シム設置状況 (円筒内)

##### (4) トラス材の組立て

トラス材の組立ては、内側トラス、外側トラスの順番に行った。トラス材の組立状況を写真 - 7 に示す。トラス材は鋼製のトラス受け架台上に設置し、2本の山留材でトラス材を挟んで仮固定した。トラス部材間には 10mm の隙間を確保し、スラリー型無収縮モルタルを充填した。

トラス材の上弦材と下弦材には、エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材 (1S12.7mm) を 2本ずつ配置し、内側トラス、外側トラスの順番に緊張を行った。トラス材の緊張は 6台の緊張ジャッキを使用し、3本のケーブルを同時に緊張した。緊張時には、トラス材の水平変位をつねに測定し、偏圧が

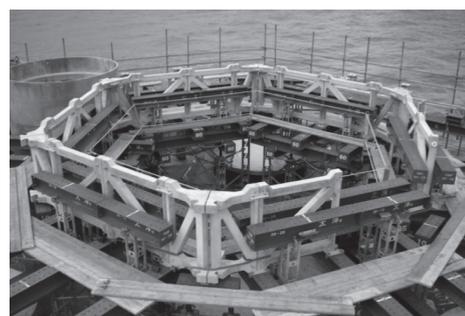


写真 - 7 内側トラス組立て状況

かからないように管理した。その結果、外側トラス材の6箇所の頂点の内側への変形は事前解析とほぼ等しい2mm以内となった。また、内側トラスは、解析、実測ともほぼ移動なしであった。

トラス材の接合ケーブルは、ケーブル長が短く、エポキシ樹脂被覆PC鋼材でセットロスの影響が大きいので、シムを使用してセットロスを補正した。

緊張終了後、定着具、PC鋼材端部に防錆塗料を塗布した後、定着部を無収縮モルタルで跡埋し、さらにエポキシ樹脂系の防水材で表面を保護した。

#### (5) 連結材の組立て

連結材の組立て状況を写真 - 8 に示す。

連結材は、内側トラスと外側トラス間に10mmの隙間を確保して設置し、目地部にスラリー型無収縮モルタルを充填した。プレストレスの導入は、連結材1本あたり2本配置したエポキシ樹脂被覆PC鋼材(1S12.7mm)を内トラス側と外トラス側の両方向から同時に緊張し、連結材に偏心がかからないように注意した。また、この鋼材もトラス材と同様にシムによりセットロスを補正した。

定着部はトラス部と同様に定着具とPC鋼材端部に防錆塗料を塗布した後、無収縮モルタルで跡埋めを行い、さらにエポキシ樹脂系の防水材で保護した。

#### (6) 結合工

円筒浮体と連結材の接合部を写真 - 1 に示す。

円筒浮体と連結材および外側トラス材の結合部は、ステンレス鋼棒配置後、無収縮モルタルを打設した。ステンレス鋼棒はコンクリートとの付着を防止するため、ウレタン樹脂アンボンド材を塗布してアンボンド化し、無収縮モル

タル硬化後軸力を導入した。

#### (7) 発泡スチロール設置、蓋、機装品取付

円筒浮体のコンクリート部材完成後、円筒浮体内に成形した発泡スチロールを充填した。発泡スチロールの充填状況を写真 - 9 に示す。この発泡スチロールは、漂流物の衝突等で円筒浮体が破損した場合に、円筒浮体の浮力を確保するために設置している。

鋼製天蓋の設置状況を写真 - 10 に示す。鋼製天蓋は、円筒部に設置したステンレスボルト(M20)12本で固定した。鋼製天蓋と円筒部の接合部には、防水のためコーキングを充填し、天蓋の表面は耐久性に優れた無機系複合金属シリコン防錆剤を塗布した。

鋼製天蓋の上部には、円筒浮体の吊上げ用の金具を兼用した係留用金具および風車支柱固定用の金具を設置した。金具の固定は円筒浮体に設置したエポキシ樹脂被覆の総ネジPC鋼棒φ26mmで行った。吊上げ時および風車運転時の円筒浮体の鋼棒定着部の安全性は、FEM解析で検証した。

#### (8) 吊上げ、進水

完成した浮体を写真 - 11 と写真 - 12 に示す。完成した浮体は、起重機船で吊上げ、海上に進水させた。

浮体の吊上げ状況を写真 - 13 に示す。浮体の重量は約140tのため、浮体の吊上げは310t吊りの起重機船で行った。浮体の吊上げは、6基の円筒浮体に設置した吊金具で行ったが、トラス部材の変形や結合部に過大な応力の発生を防止するため、6基の円筒浮体を均等に持ち上げる必要があった。そのため、専用の六角形の鋼製吊棒を使用し、吊りワイヤーの張力が一定となる治具(イコライザー)を



写真 - 8 連結材設置状況



写真 - 10 鋼製天蓋設置状況



写真 - 9 発泡スチロール設置状況



写真 - 11 海上風力発電浮体完成 (上空から)

使用して、浮体を吊上げ進水させた。進水後は、浮体を港内の船溜まりにタグボートで曳航し、護岸に係留した。

#### (9) 風レンズ風車設置、太陽光パネル設置

係留後、浮体に3kWの風車2基、2種類の太陽光パネルおよび観測小屋をトラッククレーンで設置した。風車は、メンテナンスを考慮して、支柱が途中で折り畳める構造のため、折り畳んだ状態で浮体に設置した後、油圧ジャッキで立ち上げた。

#### (10) 曳航、設置

浮体は、風車等の艀装品設置完了後、タグボートで博多湾の設置場所まで曳航した。曳航状況を写真-14に示す。曳航時は、安定性を向上されるため、風車の支柱は折り畳み水平に固定した。また、曳航時に浮体に発生する応力を低減するため、曳航速度を3ノット以下に制限した。

設置場所に到着後、浮体は6個のコンクリートアンカーに係留索で固定し、浮体周辺には、船舶の侵入や漂流物との衝突を防止するため、オイルフェンスを設置した。

#### (11) 完成、試験開始

海上風力発電の運転状況を写真-15に示す。高効率の風レンズ風車は、弱風でも風車が回転し、順調に発電を行っている。発電した電気は、観測小屋内に設置した蓄電池に蓄え、計測機器や空調機器の電力として使用している。

海上風力の実証実験は、今後平成24年12月まで風力発電の発電量、風速、風向、波高および係留力などの測定を

行う予定である。

## 5. おわりに

本実験用浮体は、円筒浮体とトラス部材を組み合わせた新しい構造であるため、FEM解析等による各種の構造検討を行い、浮体の設計を行った。また、施工においても、製品の品質管理や製作精度の向上およびFEM解析による施工時の応力検討等を行った結果、無事に浮体を完成することができた。

海上風力発電の実証実験は、まだ継続中であるが、社会的に再生可能エネルギーの開発が求められている状況では、今後海上風力発電の需要は増加すると考えられる。

なお、本実証実験は、環境省委託業務「平成23年度地球温暖化対策技術開発事業」(研究代表者:大屋裕二教授)の一環として実施した。

最後に、本実証実験を行うにあたりご協力いただいた関係各位に深く感謝するとともに、本報告が今後の浮体設計や施工に少しでも参考になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) Yuji Ohya, Takashi Karasudani: A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind-lens Technology, Renewable Energy 2010, 3, pp.634-649



写真-12 海上風力発電浮体完成（側面から）



写真-14 曳航状況



写真-13 浮体進水状況



写真-15 風力発電浮体設置完了

【2012年7月3日受付】