

## 洋上風力発電実験用浮体の施工について

(株)富士ピー・エス 正会員 ○平 真二  
 (株)富士ピー・エス 正会員 堤 忠彦  
 九州大学大学院総合理工学研究院 経塚 雄策  
 (株)日本港湾コンサルタント 吉田 賀一

### 1. はじめに

世界的なエネルギー問題、CO2 削減を背景に、再生可能エネルギーの開発・有効利用に注目が集まる中、環境省から委託された九州大学が博多湾において洋上風力発電の実証実験を行っている。

九州大学が発明した発電効率の良い風レンズ風車<sup>1)</sup>と、土台となるコンクリート造の六角形構造の浮体を組み合わせ、世界に例のない発電施設となっている。浮体は、直径 18m で、6 基の円筒の内側と外側を囲むようにトラス部材が配置され、トラス間を連結材で連結する構造である。本稿では、浮体の製作・施工について報告する。

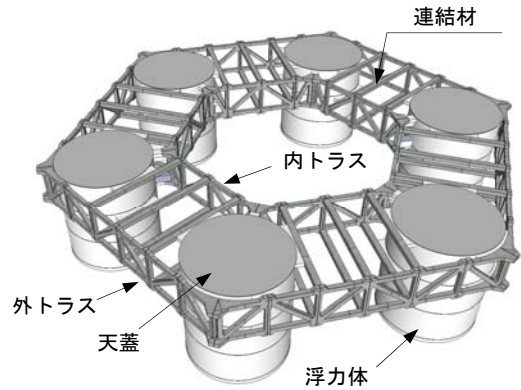


図-1 浮体完成図

### 2. 浮体の概要

構造形式：六角形浮体（図-1に浮体完成図，図-2に浮体構造図を示す。）

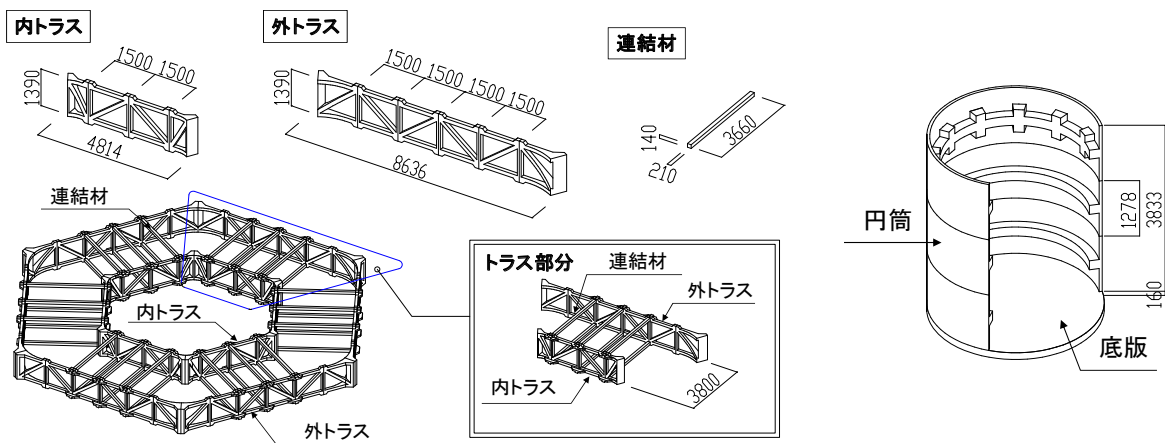
構造寸法：対角線長 18m，辺長 9m，高さ 4m

浮体構成：浮力体（φ3500）6基－底版【部材：RC部材】

円筒【部材：ポストテンション部材，接合：ポストテンション方式】

外・内トラス部材【部材：プレテンション部材，接合：ポストテンション方式】

連結部材【部材：ポストテンション部材，接合：ポストテンション方式】



(a) トラス部分図

図-2 浮体構造図

(b) 浮力体図

### 3. 施工概要

今回の実証実験では、実施期間が約1年間と短期間であることと、実験体として、部材の軽量化が重視されたことから、浮力体の側壁厚が40mm，トラス部材は厚さ140mmとすることが求められた。

そのため、浮力体のコンクリートの充填性や遮塩性の確保，ポストテンション部材におけるPC鋼材の配置，また，浮体進水時の構造体の安全性確保などが課題となった。

### 3. 1 工場製作

#### (1) 浮力体底版の製作

浮力体底版の材料として、鉄筋にエポキシ塗装鉄筋、コンクリートに高炉スラグを添加した高流動コンクリートを採用して、防錆や遮塩性を高めた。底版コンクリート打設前の状況を写真-1に示す。



写真-1 底版配筋状況

#### (2) 浮力体円筒の製作

今回の最大の課題であった厚さ40mmの浮力体の製作は、溶接金網を補強材とし、シリカヒュームプレミックスセメントを使用した設計基準強度100N/mm<sup>2</sup>の高強度モルタルを使用することで、粘性低減や流動性を確保し、充填性や遮塩性を確保した。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。また、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40～48時間行い、次に温度80℃の二次養生を20時間行った。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。

浮力体円筒は、内部の突起にアンボンドP C鋼材1S17.8(SWPR19L)を配置(1本/段)して、プレストレスの導入を行った。配筋状況を写真-2、型枠組立状況を写真-3に示す。



写真-2 配筋状況



写真-3 型枠組立状況

#### (3) トラス部材の製作

トラス部材は、上下弦材、垂直材および斜材のすべてにP C鋼材3φ2.9(SWPD)を配置し、プレテンション方式でプレストレスを導入するため、型枠とプレストレス導入用の反力台を備えた製作台を配置した。また、コンクリート硬化後のプレストレス導入は、各部材に偏圧が生じないように、2段階に分けて行った。写真-4にトラス部材の完成写真を示す。



写真-4 トラス部材

### 3. 2 現場組立

浮体の組立ては、プレキャスト部材を当社の工場で作製後、組立ヤード(博多湾みなと香椎埠頭内)に運搬し、架台を用いて行った。施工フローを図-3に示す。

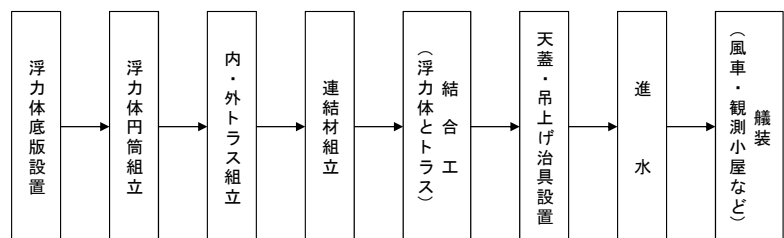


図-3 施工フロー

### (1) 浮力体底版設置

浮力体底版は、H鋼材を放射状に配置した架台上に設置した。浮力体底版の設置精度は、浮体全体の組立精度に影響するため、六角形の中心を基準として正六角形配置となるように浮力体底版の中心位置を決め、6基の底版すべてがレベルとなるように高さ調整を行った。

### (2) 浮力体円筒組立

浮力体円筒の組立精度は、浮力体単体の精度に加え、トラス材との結合精度に影響を及ぼすため、円筒の遊間10mmに厚さ数種類の硬質プラスチック製のライナープレートで高さ調整を行い、レベルで管理し、平面位置や設置方向は、予め工場製作時に部材にしる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。写真-5に組立状況を示す。高さ調整後の目地の充填は、遊間が少ないことから、スラリー型無収縮モルタルを使用し、透明型枠による充填確認を行った。また、目地部の防水対策として、エポキシ樹脂タイプの防水材を使用した。写真-6に目地充填状況を示す。

底版と円筒の接合は、エポキシ樹脂被覆鋼材1S12.7 (1基あたり12本、外ケーブル方式) を鉛直方向に配置し、2台の緊張ジャッキを対角に配置してプレストレスを導入するとともに、短尺ケーブルのセットロスによる損失を、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) を設置することで補正した。

また、浮力体の壁厚が40mmと薄いため、万が一の航行船舶の衝突などによる破損・浸水に備え、内部に発泡スチロールを充填した。写真-7に内部充填状況を示す。



写真-5 円筒組立状況



写真-6 目地充填状況



写真-7 内部充填状況

### (3) トラス材組立

トラス材の組立は、H鋼材を組み合わせた架台上で行い、この架台は、トラス材、連結材および連結目地部の型枠を支持する構造とした。写真-8に組立状況を示す。

トラス材の接合は、浮力体と同様に、目地部にスラリー型無収縮モルタルと透明型枠を使用して充填し、PC鋼材は、図-4に示すように、エポキシ樹脂被覆鋼材1S12.7を上下各2本ずつ (1本は定着、1本は通過ケーブル) をφ16mmのPE管内に配置して、シムによる補正によりプレストレス導入を行った。その際、偏圧がかからないように、トラスの変位を常に測定しながら、同時に6台の緊張ジャッキで緊張を行った。その結果、外トラスすべての頂点において内方への移動量が事前の解析結果どおり2mm以内となった。(内トラスは、解析、実測伴にはほぼ移動なし)



写真-8 組立状況

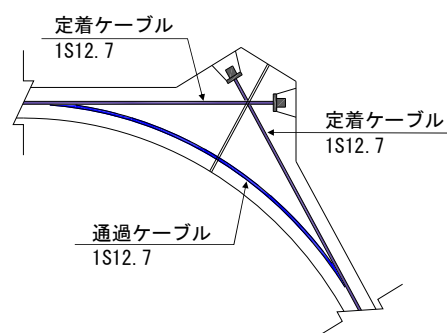


図-4 PC鋼材配置図

### (4) 連結材組立

内トラスおよび外トラス連結後、両トラス間に連結材を上下に配置し、トラスとの目地部はスラリー型無収縮モルタルで充填を行った。プレストレス導入は、連結材1本あたり2本配置したエポ



キシ樹脂被覆鋼材1S12.7を、内トラス側からと外トラス側から同時に片引きで緊張を行い、トラスに偏圧がかからない注意し、こちらもシムによるプレストレスの補正を行った。写真-9にシムセット状況を示す。

(5) 結合

浮力体とトラスの結合は、内トラス上頂部はφ26mmのP C鋼棒にプレストレスを導入、内トラス下頂部はR C構造、外トラス頂部と連結材はステンレスボルト (4本/箇所) で結合する構造とした。

写真-10にボルト結合部を示す。

ステンレスボルトの施工は、連結部材厚の制限でシース孔の配置が不可能であったため、ウレタン樹脂アンボンド材を塗布してアンボンド化し、結合部の無収縮モルタル充填後に軸力を導入する方法とした。

(6) 円蓋・吊上げ治具組立

浮力体とトラスの結合完了後、浮力体の頂部に円蓋取付用のステンレスボルトと吊上げ治具 (風車基礎アンカー兼用) 用アンカーのφ23mm P C鋼棒 (エポキシゲビンデ鋼棒) は、設置用の鋼製ゲージを使用して配置を行った。

また、円蓋および吊上げ治具は、地組により一体化し、一括して設置を行った。

(7) 浮体進水

浮体の吊上げは、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基の浮力体が均衡を保って吊上げられる必要があったため、吊ワイヤーの張力が一定となる治具 (イコライザー) を使用して吊上げ、進水させた。進水後、風車、太陽光パネル、観測小屋を浮体上に設置した。また、曳航時の浮体にかかる発生応力を許容値以内とするため、曳航速度を2ノット以下に制限した。進水・曳航・係留状況を写真-11、写真-12、写真-13に示す。

以上により、無事進水・曳航・係留と作業が進められ、現在も実証実験が進行中である。

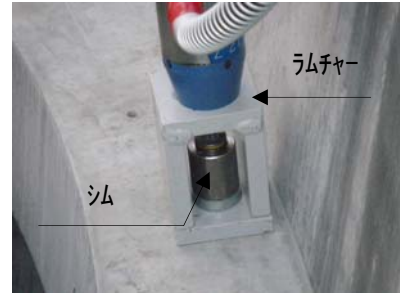


写真-9 シムセット状況



写真-10 ボルト結合部



写真-11 進水状況



写真-12 曳航状況



写真-13 係留状況

4. おわりに

今後、自然エネルギーの利用において、設置場所の選定やコスト縮減により、洋上風力発電が拡大されることに期待する。

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」「風レンズ技術を核とする革新的中型・小型風車システム導入に関する技術開発」(研究代表者:大屋裕二教授)で実施した。

最後に、本施工を行うにあたりご協力いただいた関係各位に厚くお礼申し上げるとともに、本報告が今後の施工に少しでも参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 九州大学 応用力学研究所 新エネルギー力学部門 風工学分野 研究室 ホームページ