

ハイブリッドスパー構造による浮体式洋上風力発電施設の開発

戸田建設(株) 佐藤 郁 ○牛上 敬 京都大学 宇都宮智昭
 日本ヒューム(株) 水上大樹 佐世保重工業(株) 高 清彦

1. 目的

風力発電は再生可能エネルギーの主力と考えられているが、国土が狭く遠浅の海域の少ない日本では、浮体式洋上風力発電が期待されている。本稿はハイブリッドスパー構造による浮体式洋上風力発電施設の開発初期に、京都大学、戸田建設(株)、日本ヒューム(株)、佐世保重工業(株)の共同研究で行った1/10モデルの実海域実験について報告する。

2. 浮体式洋上風力発電施設の形式

現在、実用化に向けて検討されている主な浮体形式は、スパー型、セミサブ型、TLP型の3種類に大別できる(図-1)。特にスパー型は細長く単純な形状で、既存の岸壁など様々な場所で建造できること、波浪や津波などの外力に対しても有利であること、設計はもちろん建造にも既存技術を活用できることから、スパー型を選定し開発を行っている。スパー型はタワー頂部に作用する風による転倒モーメントに抵抗するために、なるべく水深の深い位置に大きな重量を配置する必要がある。2MWモデル(タワー頂部海上高60m)で、喫水(水面からの深さ)80m、直径8m程度となるため、最深部は軸力、曲げ、ねじりに加え80N/mm²の水圧を考慮する必要がある。鋼構造では座屈に抵抗するためにどうしても板厚が増加しコストが上昇してしまう。そこで、水圧の卓越する深海部にPCコンクリート構造を採用し、逆に水圧による圧縮力を生かしたプレストレスト状態とした。一方、浮体を全てコンクリートとした場合、風車重量を支える浮力を確保するためには、浮体の直径の拡大か喫水の延長が必要となる。波や流れの影響を考慮すると、浮体はなるべく細い方が有利であるため、喫水が100mを超え水深100m程度の沿海域での立地が困難となる。そこで、水圧が低い浅海部を鋼製に、水圧が高い深海部をコンクリート製とするハイブリッドスパー構造を採用し、構造はもちろんコスト面でも有利な形状とした。しかし、ハイブリッドスパー構造による浮体式洋上風力発電施設は世界的にも前例が無く、実験やシミュレーション等による設計、建造上の課題を克服する必要があった。

3. 1/10モデルによる実海域実験

設計手法の確立、鋼製部とPCコンクリート部接合手法の開発、バラスト水の注排水を利用した施工法の開発などを目的に、鋼・PCコンクリート複合構造では世界初となる、ハイブリッドスパー構造の1/10モデルによる実海域実験を行った。実験概要を表-1に、実験モデルを図-2に示す。

実験機建造において、PC部は高さ460mmの円管8ピースを

キーワード 風力発電 浮体 ハイブリッドスパー PCコンクリート

連絡先 〒104-8388 東京都中央区京橋1-7-1 戸田建設株式会社 アーバンルネッサンス部 TEL03-3535-1602

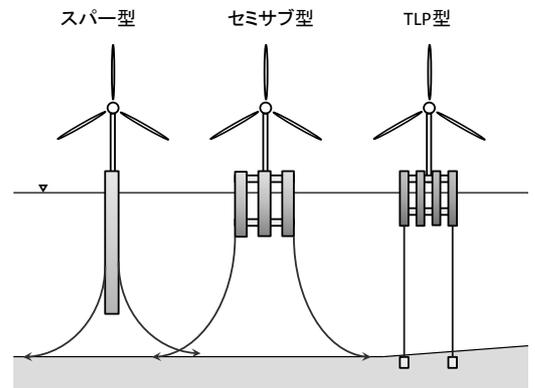


図-1 浮体式洋上風力発電の浮体形式

表-1 実験概要

期間	2009年8月26日(浮体設置)～9月10日(浮体撤去)
場所	佐世保重工業(株)佐世保造船所蛇島南岸壁西端沖 合約30m
水深	約10m(干潮時)、潮位差は2.51m(実験期間)
喫水	喫水7.0m、ハブ高さ5.5m(水面高)、浮体8.0m、直径(上部浮体0.5m、下部浮体0.92m)
風力発電機	定格出力1kW(ロータ直径2.058m)(A-WINGインターナショナル(株))
係留	3点係留カタナリー方式(鋼製チェーン16mm、コンクリートシンカー)
重量	総重量3,800kg(PC部 3100kg、鋼製部 540kg、タワー130kg 風車30kg)

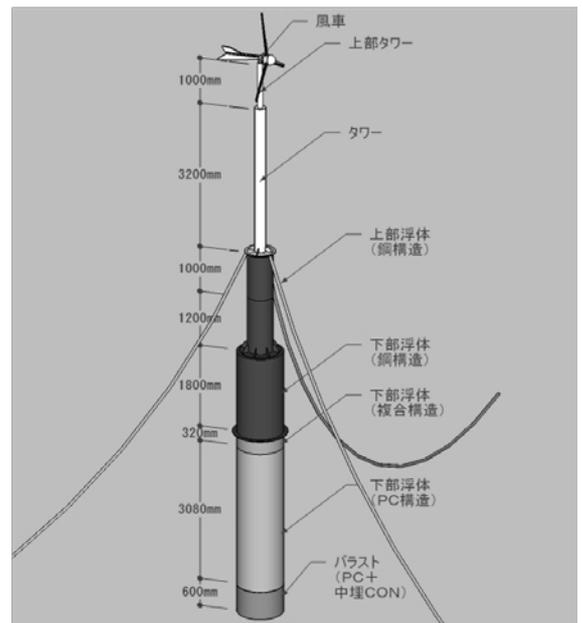


図-2 実験モデル

鉛直に接合し、最下部に1m バラストコンクリートを打設した。鋼製部とPC部の接合は、中埋めコンクリートを打設した高さ320mm 複合構造円筒(合成部)を製作し、PC部分とはPC鋼棒で接合、合成部と鋼製部とはボルトによるフランジ接合とした。合成構造の採用により、鋼製部とPC部の設計手法を変更することなく、円滑な応力伝達を可能とした。完成したPC部と合成部は、埼玉県松山市から長崎県佐世保市までトラック輸送し、佐世保市内の鉄工所で鋼製部と接合、浮体が完成した(図-3)。タワー部も佐世保市内の鉄工所で製作、組立を行い、風車を取り付けた。



図-3 完成した浮体

施工は、まず、浮体を実証海域岸壁までトラック運搬し、浮体上部に治具を取付け、クレーンにより台船上で立て起こした上で、直立状態で進水させた。係留は海底に係留チェーンを取り付けたコンクリートシンカーをダイバーにより設置した。同時に係留接続時の安定性と係留接続時の施工高さを確保するため、浮体内部にバラスト水を投入した。アンカーチェーン3本を浮体に接続し、係留チェーンの鉛直角度により係留による初期張力を確認、チェーン長を調整した。その後バラスト水を設計喫水よりも風車・タワー重量分だけ排出し、風車とタワーを一括架設した。タワーと浮体はフランジによるボルト接合のため、ボルト孔間に長パイプを挿入し効率的な位置あわせを行った。浮体より送電ケーブルと計測線をフレキシブルパイプでまとめ、陸地岸壁まで海底に設置した。最後に浮体側面に設置したハンドホールよりバラスト水を注水し、喫水位置を最終調整、ハンドホールに蓋を設置して設置が完了した(図-4)。実験期間中は、風速、風向、発電出力、浮体動揺、水深(潮位)、波高、スパーおよびタワーのひずみ、チェーン張力等を計測した。コンクリート部や合成部からの漏水が心配されたが、設置時と撤去時のバラスト水の水位差は-10mmと水位が低下していた。水位低下の理由は、気温上昇によるバラスト水の蒸発散によるものと考えられ、漏水はなく、ハイブリッドスパー構造の遮水性能が確認された。



図-4 設置完了

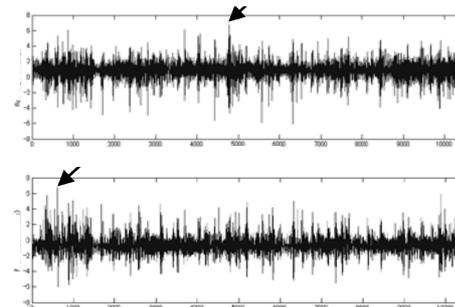


図-5 ロール・ピッチ最大時波形

4. 実験結果と今後の予定

図-5に実験期間中、ロール(左右の傾き)およびピッチ(前後の傾き)が最大になった時の波形を示す。また、実験とシミュレーションの比較結果を表-2に示す。実験とシミュレーションは良い一致を示しているが、ヨー(鉛直回り回転)については実験値が大きな値となっている。これは実験において湾内の風の乱れに風車が大きく向きを変えたため、その反力が浮体のヨーに影響を与えたものと考えられる¹⁾²⁾。

表-2 実験とシミュレーションの比較

	実験(a)	演算(b)	比(b/a)
ロール角度(度)	1.91	2.65	1.39
ピッチ角度(度)	2.29	2.30	1.00
ヨー速度(度/秒)	2.41	1.09	0.45
係留張力(N)	19.10	18.60	0.97

現在、平成22年度から平成27年度まで、我が国最初となる浮体式洋上風力発電実証機1基を外洋域に設置することを目指して、環境省の実証事業が実施されている。平成24年度は1/2モデルとなる小規模試験機、平成25年度は2MWの実証機を長崎県五島市に設置する予定となっている。

参考文献

- 1) 宇都宮智昭, 松熊秀和, 高瀬彦, 浜村英樹, 小林修, 佐藤郁, 野本慎久, 安井賢太郎: 洋上風力発電用ハイブリッドスパーの1/10モデルによる実海域実証実験, 第31回風力エネルギー利用シンポジウム, 2009.
- 2) Utsunomiya, T., Sato, I., Kobayashi, O., et al.: On sea experiment of a hybrid spar for floating offshore wind turbine using 1/10 scale model, Proc. 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Shanghai, China, OMAE2010-20730, 2010.