

国内初の杭式ジャケット基礎構造による 洋上風力基礎工事

Japan's first installation pin piled jacket substructure for offshore wind farm

① はじめに

日本初の8MW 大型風車を採用した国内最大規模の洋上風力発電所である「石狩湾新港洋上風力発電所」の商業運転が2024年1月1日より開始されました。当社は清水建設(株)とのJVにて洋上部分の工事を担当しました。

●石狩湾新港洋上風力発電所の概要

■発注者：

合同会社グリーンパワー石狩
((株)グリーンパワーインベストメントのSPC)

■事業場所：

北海道石狩湾新港 港湾区域の一部

■発電規模

112MW (8MW 風車を14基建設)

■設計・施工(乙型JV)：

清水建設(株)

日鉄エンジニアリング(株)

当社所掌は杭式ジャケット基礎の設計、製作、施工

■工期(洋上工事のみ)：

2022年5月～2023年10月

北海道石狩湾新港



図1 石狩湾新港洋上風力発電所

●杭式ジャケット基礎について

杭式ジャケット基礎とは、鋼管で製作された立体トラス構造であるジャケット部を、海底に打設した鋼管杭によって固定する基礎形式です。本案件では、ジャケットの脚部(レグ)を鋼管杭内に挿入し、間隙部にグラウトを充填して接合しています。

洋上風力発電所の商用機としては、秋田港、能代港、入善の各洋上風力発電所が先行して稼働していますが、基礎形式はいずれもモノパイル式でした。石狩沖では8MWの大型風車が搭載されることから、国内で初めて杭式ジャケット基礎が採用されました。当社は、国内の港湾・空港施設および海外での石油掘削プラットフォームにおいて、多数のジャケットの設計・製作・施工の実績があり、その知見を活かして、杭式ジャケット基礎として国内初となる洋上風力発電所の設計認証取得および建設工事を完了させることができました。

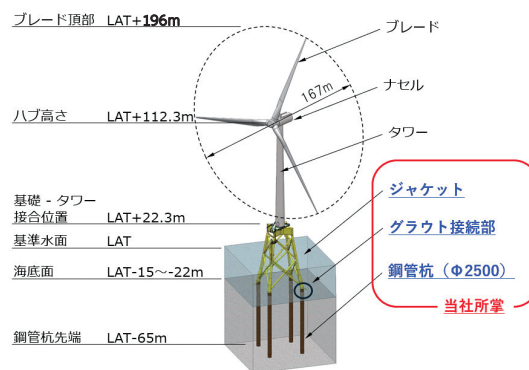


図2 洋上風力発電施設における杭式ジャケット基礎と本工事での当社所掌部分

② 工事概要

設置海域の石狩湾では、5月から8月までの期間以外は強い海風が吹き、海象も悪いため、起重機船による海上工事が困難な場所でした。限られた期間で

確実に工事を完了させるために洋上工事は2年に分けて行う計画としました。一方で、運転開始時期は発注者からの強い要望で後ろ倒しは難しい状況のため、EPC 案件の強みを活かし、鋼管杭の設計および材料調達を前倒し、2022年に鋼管杭56本を施工し、越冬対策を実施しました。翌2023年にジャケット据付工事とグラウト工事を実施しました。

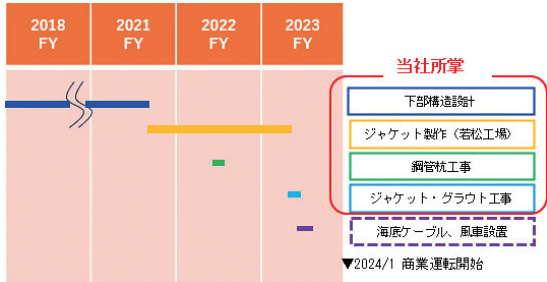


図3 プロジェクト工程

③ 本建設工事における主要管理項目

本建設工事における主な技術管理項目を3点紹介します。

杭式ジャケット基礎は、鋼管杭を先に打設し、その後ジャケットレグを鋼管杭に挿し込む先行杭施工方法のため、4本の鋼管杭の相対位置の施工精度が非常に重要でした。さらに、グラウト接続部の設計条件として、レグと鋼管杭の間隙にも許容値¹⁾が設定されており、それらも満足する必要がありました。

次に、ジャケットのインターフェースフランジ（風車タワーとの接続部分）の傾斜および標高は、風車メーカーから提示された厳しい出来形²⁾を満足するようにジャケットの据付精度も求められました。

最後に、グラウト施工では、レグと鋼管杭の間隙にグラウトを隙間なく充填し、確実に鋼管杭とジャケットを一体化させる必要がありました。

(1) 鋼管杭打設精度

上述した鋼管杭の出来形管理項目として、①杭の相対位置、②杭頭の絶対標高、③杭頭の相対高さ、④杭の鉛直度を、水中でかつ高精度で管理する必要がありました。

1) テンプレートによる杭相対位置の管理

杭の相対位置を管理するために、テンプレート³⁾

を採用しました。テンプレートを海底に設置する際に、水中位置と方位を計測することで、風車建設位置の精度を担保しました。その後、テンプレートの4隅に配置したガイドの中に鋼管杭を建て込むことで、4本の杭の相対位置を所定の許容値内に収めました。

2) 測量櫓とヤットコによる打ち止め高さ管理

通常、鋼管杭の打ち止め管理にはトータルステーションなどを用いた杭頭の標高測量が行われますが、動揺する起重機船の上では、精度よく杭頭を視準することは難しいため、別途洋上に設置した仮設の測量櫓から視準することにしました。また、鋼管杭の杭頭は海底面近くまで打ち込む必要があったため、水中での測量ではなく、杭に接続したヤットコ⁴⁾を気中で視準することで、測量精度を維持し、4本の杭頭の相対高さを所定の許容値内に収めることができました。

3) リアルタイムでの鉛直度管理

鋼管杭の打ち始めには、杭の鉛直度の修正が比較的容易なパイプロハンマーを採用しました。さらに、測量櫓に設置した杭施工支援システム(映像処理によるリアルタイム計測)を用いて、打設時の鉛直度を常時監視およびコントロールすることで、鉛直精度を確保しました。

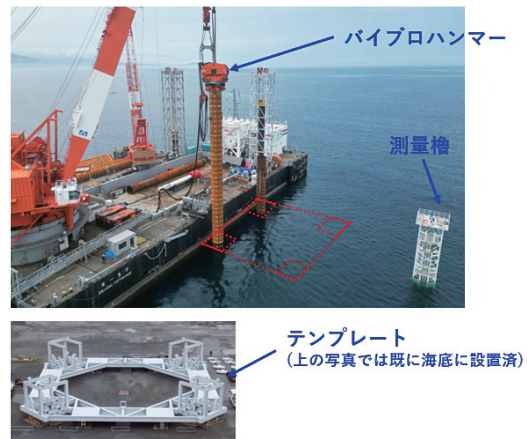


図4 鋼管杭施工の様子とテンプレート

(2) ジャケット据付精度

ジャケットのインターフェースフランジの標高および傾斜は、ジャケットの製作誤差に加えて、鋼管杭の杭頭相対高さの影響を受けますが、若松工場レグ毎の仮受け工の取り付け高さを決める際に、鋼

管杭の打設結果を反映することで、これらの誤差を吸収し、全14基のインターフェースフランジに対する厳しい出来形要求を満足しました。

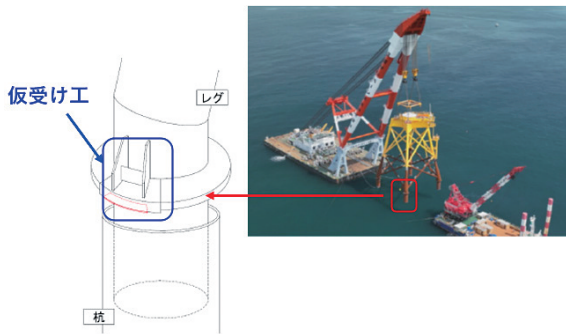


図5 ジャケット施工の様子と仮受け工概要図

(3) グラウト施工

鋼管杭とジャケットを一体化させるグラウトには、圧縮強度100MPaを超える超高強度グラウトが採用されました。このグラウトを水中で隙間なく確実に接続部に充填するために、ジャケットの設計段階から、施工性を考慮したグラウト配管ルートを設定しました。具体的には、レグ内に配置したグラウト配管を経由し、接続部下部からグラウトを立ち上げる構造⁵⁾を採用しました。また、計画の実現性を確認するために、実寸大のグラウト配管および接続部模型を製作し、事前の施工試験を実施して、万全の体制で洋上工事に臨みました。洋上工事では、起重機船上で練り上げたグラウトを、クレーンブームに設置した配管を経由してジャケット上部まで圧送する施工法を採用し、ジャケット施工と同じ施工速度となる1日2本の打設計画を実現しました。



図6 実物大打設性試験および充填性の確認

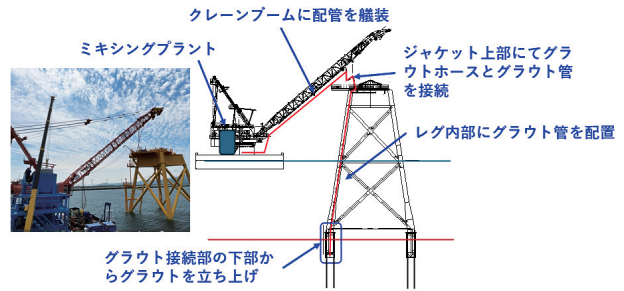


図7 グラウト施工の様子

④ ジャストインタイムデリバリー

本工事では、当社が担当する杭式ジャケット基礎工事の後工程に、ケーブル敷設とタワー架設工事が控えており、当社の施工工程厳守が求められていました。さらに、鋼管杭やジャケットの施工対象物を石狩湾新港で一時保管する場所がないという状況下で、短期集中型の連続施工を行うためには、現場の進捗に合わせて必要な量だけを配送するロジスティクス体制の構築も重要でした。

1年目の鋼管杭輸送は、韓国から石狩まで台船による海上輸送を行いました。コロナ禍により台船を曳航する国際近海船が不足する問題に直面しました。そこで、韓国～唐津間と唐津～石狩間に輸送ルートを分割し、唐津にて曳船を国際近海船から内航船に切り替えることで、この問題を解決しました。

2年目のジャケット輸送では、国内では数が少ない大型台船を短期間の傭船契約にもかかわらず、他案件との調整の上で確保しました。また、製作を担当した若松工場が、短期間でのジャケット製作・出航を綿密な計画のもとで実現し、ジャケットの連続出荷を可能にしました。これらにより、現地工事の進捗状況に合わせた石狩へのジャストインタイムデリバリーを実現しました。

⑤ おわりに(今後の取り組み)

国内初の杭式ジャケット基礎の設計・製作・施工案件で、技術課題を克服し、無事故、無災害かつ計画工程内で完工することができました。今後もカーボンニュートラルな社会を実現するために、一般海域⁶⁾への取り組みやより水深の深い地点でも対応可

能な浮体式基礎⁷⁾の設計・製作・施工など、洋上風力発電の発展に取り組んでまいります。

- 1) 2重管の間隙許容値は最小80mm，最大330mm
- 2) フランジ標高は ± 100 mm，フランジ傾斜許容値は ± 0.25 度
- 3) 特許取得済 出願番号2020-120502（基礎杭用テンプレート，基礎杭設置方法）
- 4) 打ち込み杭や中掘り杭の杭頭部を，地中または水中に打ち込むために用いる鋼管製の仮設継杭のこと。ヤットコを杭頭にかぶせて所定の深さまで打ち込んだ後，ヤットコを回収する
- 5) 特許取得済 出願番号2022-109513（海洋構造物）
- 6) これまでは港湾区域を中心に開発が進められてきたが，今後はより風況のよい沖合の一般海域にて洋上風力の開発が進む
- 7) 日本沿岸は水深が急に深くなるため，モノパイルやジャケット等の着床式ではなく浮体式のポテンシャルが高いとされる

〈参考文献〉

日鉄エンジニアリング技報 Vol. 14

洋上風力発電設備におけるジャケット構造の設計技術の確立

お問い合わせ先

日鉄エンジニアリング株式会社

海洋本部 洋上風力プロジェクト部