

# コンクリート製浮体式洋上風力発電基礎の建設

三井住友建設株式会社 ○澤井 淳司、正会員 矢野 安則、正会員 津田 和夏希  
三井住友建設鉄構エンジニアリング株式会社 西 和宏  
イデオルジャパン合同会社 木村 健太郎  
Bygging-Uddemann AB Anders Axelsson

## 1. はじめに

現在、洋上風力発電は、沿岸で水深が浅い箇所の海域入札が第2ラウンドまで終了し、第3ラウンドが進行中である。その海域は水深が10m～30m程度で、モノパイル形式の着床式洋上風力発電が主である。今後、水深の30mより深い海域が主流となり、浮体式洋上風力が主となる予定である。

浮体式洋上風力は、厳しい気象条件および海流・潮流などの影響下でも安定した発電が求められており、特に大型風車を支える本浮体式洋上風力発電基礎の要素技術の確立が必要である。

## 2. コンクリート製浮体式洋上風力発電基礎

浮体式洋上風力発電基礎もその構造形式が、一般にバージ型、セミサブ型、スパー型及び、TLP型の4型式に大別される<sup>1)</sup>。



写真-1 2MW 実証機  
(写真出典: BW Ideol /V. Joncheray)

本論文の対象とするコンクリート製浮体式洋上風力発電基礎は、BWイデオル社が開発した中央にムーンプールを設けたバージ式であり、かつコンクリート製である。すでに写真-1に示すように出力2MWの実証機がフランス大西洋沖に2017年に建設係留されて、現在まで順調に供用中である。本構造形式の主な特徴としてはドーナツ形状により構造的にシンプルで耐波浪性に優れており、かつコンクリート製であるので、耐久性に優れる。その他、コンクリート製浮体基礎の炭素排出量は、同じ寸法の鋼製の1/2であり、供用時だけでなく建設時の炭素排出量削減に大

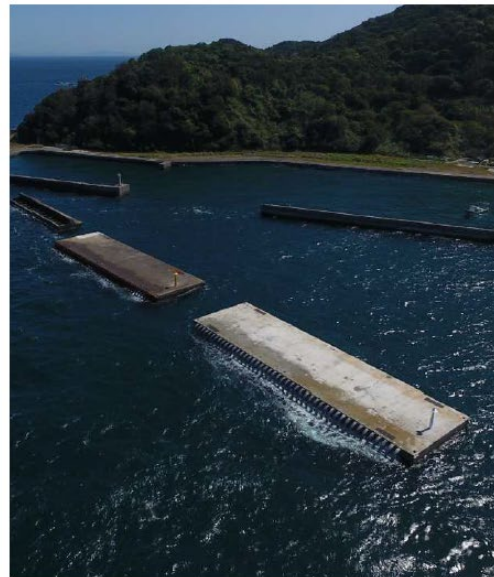
きく貢献する<sup>2)</sup>。さらにコンクリート、鉄筋などの地元からの調達及び、作業員の地元からの雇用を通じて、地元への経済効果も大きい。

日本で最初のコンクリート製バージは、当社前身の三井建設と三井造船が1977年に建設し、プレストレストコンクリート製バージ(長さ20m、幅10m深さ3.6m)として日本海事協会より国内最初に承認され<sup>3)</sup>、現在も供用中である。その後、その構造を発展させた三井住友建設鉄構エンジニアリングが、写真-2に示す浮防波堤や、浮棧橋などで約800基の実績を有している。

キーワード 浮体式洋上風力発電, バージ式, スリップフォーム工法, プレキャスト, 高強度繊維補強コンクリート, 連絡先 〒104-0051 東京都中央区佃二丁目1番6号 三井住友建設(株)土木本部 TEL03-4582-3054.



↑浮防波堤FC進水 据付完了⇒



大分県保戸島漁港 浮体寸法：長さ 60m×幅 17.5m×高さ 5.2m チェーン係留  
写真-2 コンクリート製浮防波堤

### 3.建設手順

現在、想定される複数の海域の近傍で、FS（実現可能性調査）を行っている。その際、洋上風力発電基礎は、2年ほどの短期間で数十基以上の建設が必要である。今後開催が想定される浮体式を対象とした水深の深い海域の再エネ海域利用法の下での公募入札を経て、建設及び供用により発電される電力を売電することにより、その建設費を賄うことになる。売電価格のみで建設費を含む事業費を賄う必要があるため、いかに早く、大量に、品質を確保し、かつ経済的に浮体式洋上風力発電基礎を建設するかが我々に課された課題である。

これに対して、従来工法を発展改良して実現する計画であり、その内容、検討結果及び実験結果を記述する。この計画はBW イデオル社とBYUM社（Bygging-Uddemann AB）が共同で開発した計画を三井住友建設が日本サイト向けに最適化させたものである。

図-1 に建設ヤード全景を示す。全体建設工程の最適化を図った結果、陸上工事を6つの工種に分けて、それぞれの工種作業位置に浮体基礎を、その下に配置した移動装置により順次移動する。図-1 建設ヤード全景の左側より対応する建設手順（STA1～STA6、STAは作業位置）を、図-2示す。STA1：底版構築、STA2：壁構築（スリップフォーム工法）、STA3：TP（トラジションピース）基礎とフレーム上部構築、STA4：プレキャスト床板による上床板構築、STA5 プレストレス導入及びバラスト及び、STA6：TP 設置と塗装がある。その後の建設手順として浮体基礎の進水台船への引出と進水などの海上工事がある。

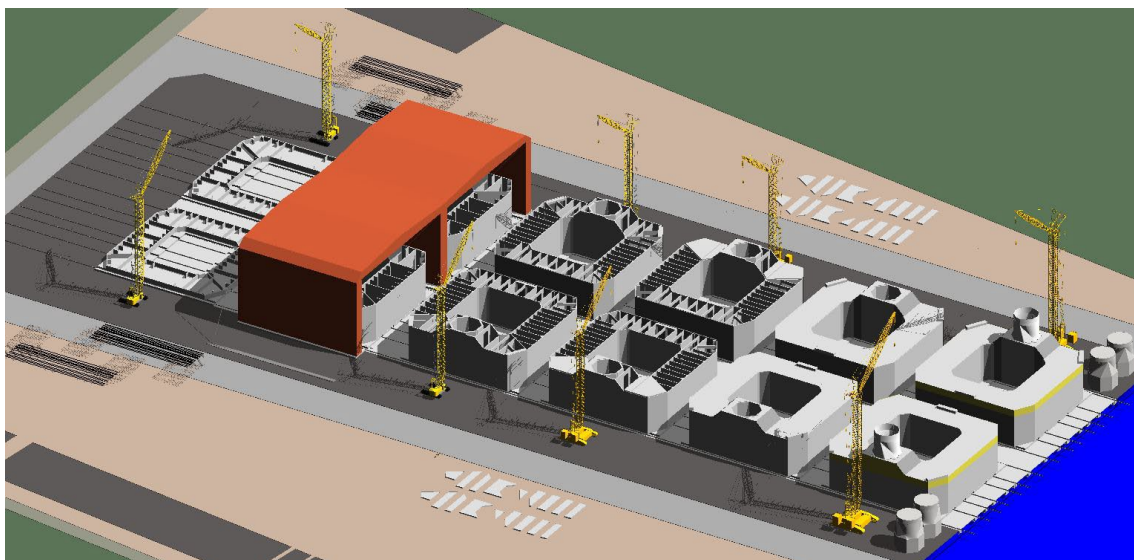


図-1 建設ヤード全景

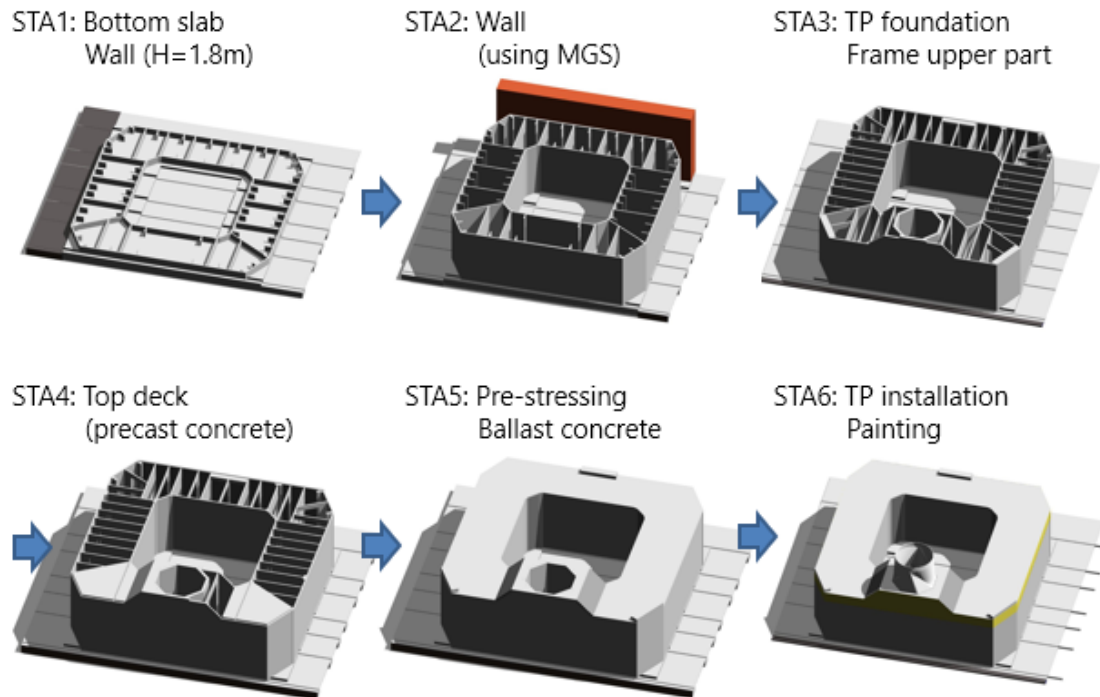


図-2 各工種の STA

ここで、建設時の特徴的な要素技術は、STA2：壁構築（スリップフォーム工法）と STA4：プレキャスト床板による上床板構築である。この2つの工種を細述する。

#### 4. 壁構築（スリップフォーム工法）(STA2)

##### (1) ガントリースリップフォーム工法



スリップフォーム工法は、高い塔状の構造物を急速施工するために開発、発達した工法である。今回採用の BYUM 社 (Bygging-Uddemann AB) のスリップフォーム工法の従来型は、写真-3 で示す当社施工のインド国石炭火力発電所の高さ 273m の煙突の施工で円筒状壁部を 6 カ月で急速施工している<sup>4)</sup>。

写真-3 煙突（高さ 273m）の  
在来型スリップフォーム施工状況<sup>4)</sup>



写真-4 港湾の岸壁や防波堤のケーソン側壁部を構築するガントリースリップフォーム工法

その後、写真-4 に示す港湾の岸壁や防波堤のケーソン壁部を構築するガントリースリップフォーム工法が開発された。在来型は一つの壁部の施工を終了した後に、型枠を解体し別の基礎位置まで移動させ、別の基礎の壁部用に型枠を組みなおしていた。対して、ガントリースリップフォーム工法の型枠は組立解体せず、そのままの平面位置で門型形状の架構に設置した油圧ジャッキで型枠を上下させ、その代わり構築対象の基礎を門型形状の架構位置まで移動させる工法である。これにより、ほぼ平面形状が鉛直方向に等しい壁部を高さ 3m/日の速度で施工可能としている。

今回ガントリースリップフォーム工法を壁部施工に採用して、3m/日の急速施工で計画している。

## (2) モックアップテスト



写真-5 港湾のケーソン用モックアップテスト例

今回のガントリースリップフォーム工法の採用に当たり、壁部材の厚さ、形状、配筋、PC シースと定着部を実寸で再現し施工するモックアップテストを写真-5 の例を基に、計画している。

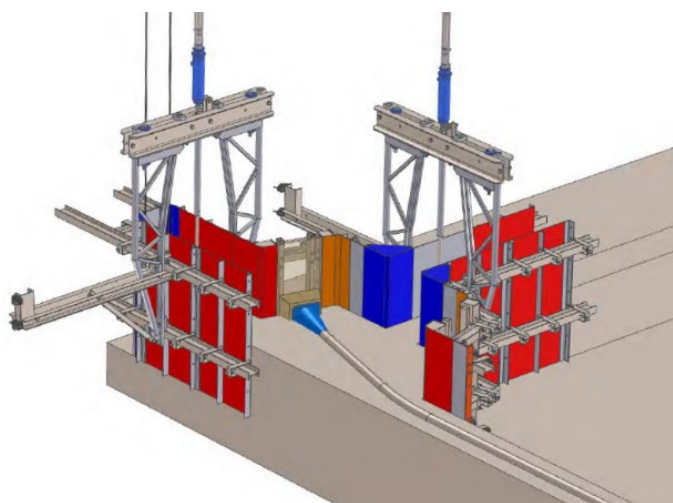


図-3 今回の PC 定着部のある壁を対象としたモックアップテストの計画

本スリップフォーム工法の実績のある港湾防波堤などのケーソンに比べて、本構造は、平面的にフレームなどの梁がある複雑な形状、密度が高く複雑な配筋状況及び、PC 定着部等の存在がある。そのため、これらを実物大で再現した図-3 に示すようなモックアップテストを事前に施工することにより、施工時の品質を事前に確認し、確保する。

## 5. プレキャスト床板による上床板構築 (STA4)

### (1) 上床板施工方法

図-4 のように上床板をプレキャスト床板で構築するが、プレキャスト床板間などの継目を高強度繊維補強コンクリートで接合する。

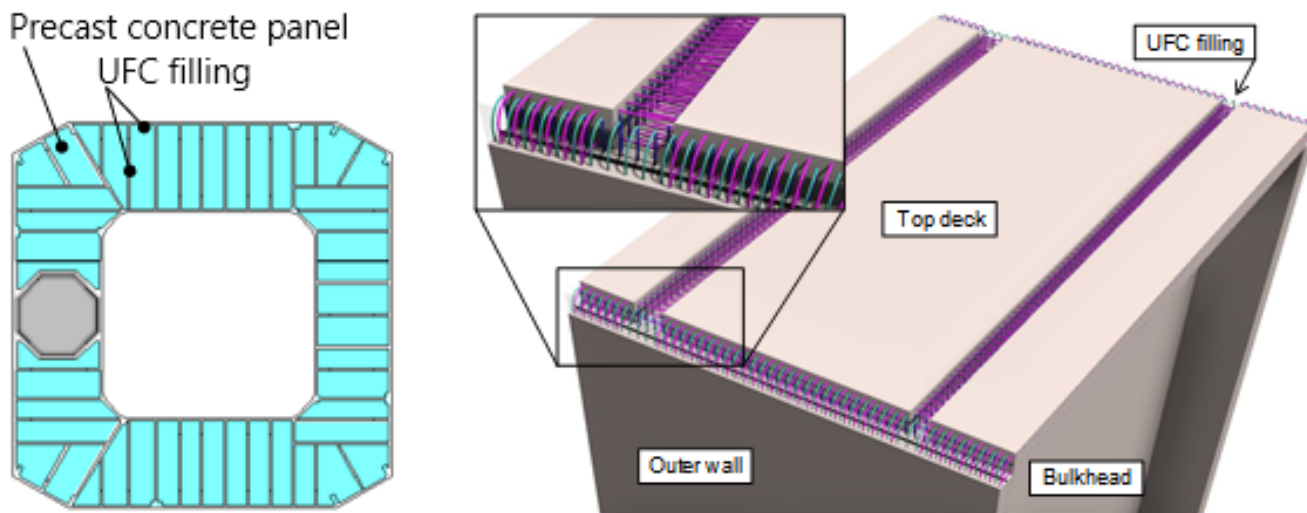


図-4 プレキャスト床板間の継目

### (2) 接合部構造の載荷試験

プレキャスト床板のスパン長、部材厚、配筋状況、継目、高強度繊維補強コンクリート (UFC) による接合を再現し、その安全性を確認するために、曲げ破壊試験を実施した。実構造物の配筋を再現した継手部の配筋状況と供試体の曲げ破壊実験の終局状況を写真-6 と写真-7 にそれぞれ示す。なお、供試体は暴風時の波浪による波圧を受ける壁附近の支点部を再現しているため、供試体の上と下が実構造物とは逆である。



写真-6 実構造物の配筋を再現した継手部の配筋状況



写真-7 供試体の曲げ破壊実験の終局状況

供試体のひび割れ状況を図-5 に荷重変位曲線結果を図-6 に示す。  
 載荷試験の結果、ひび割れ状況及び最終状況も通常の継ぎ目なしと同等の結果が得られた。

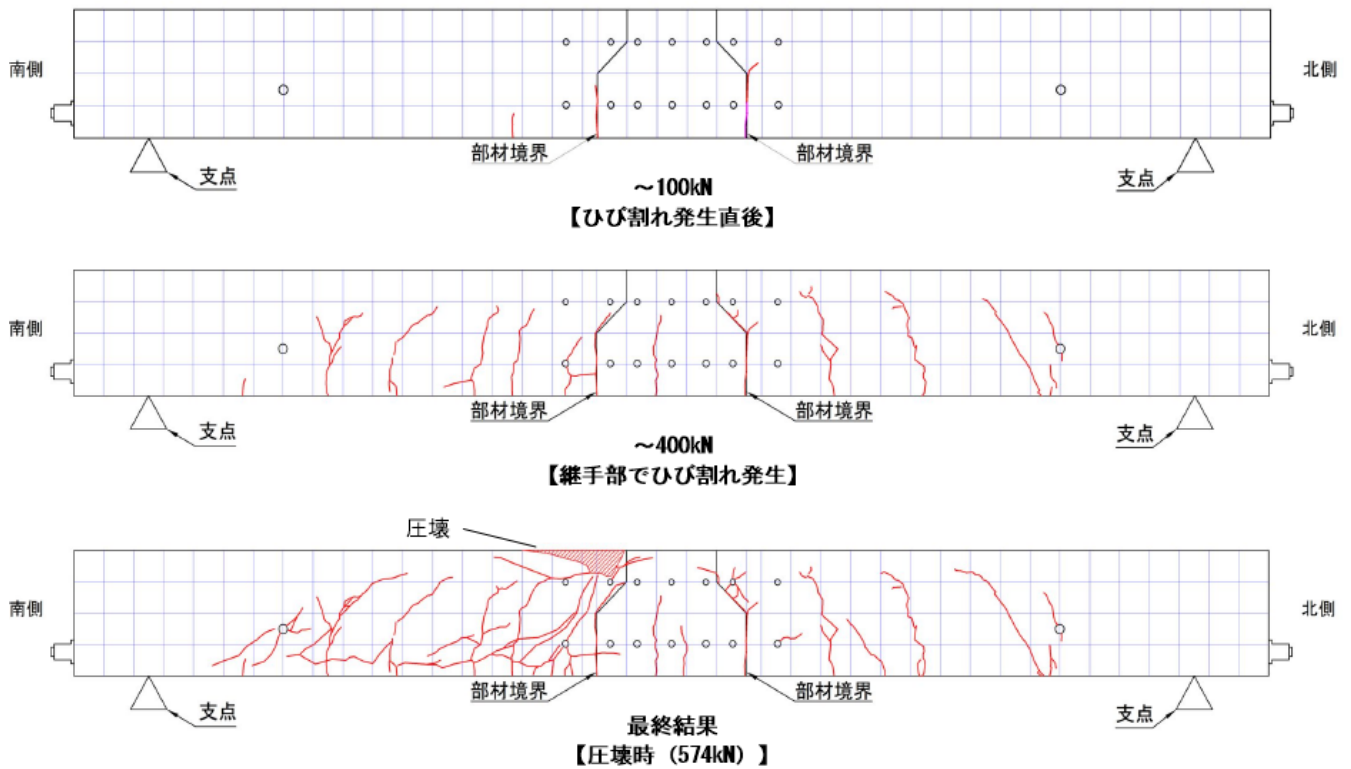


図-5 試験供試体のひび割れ

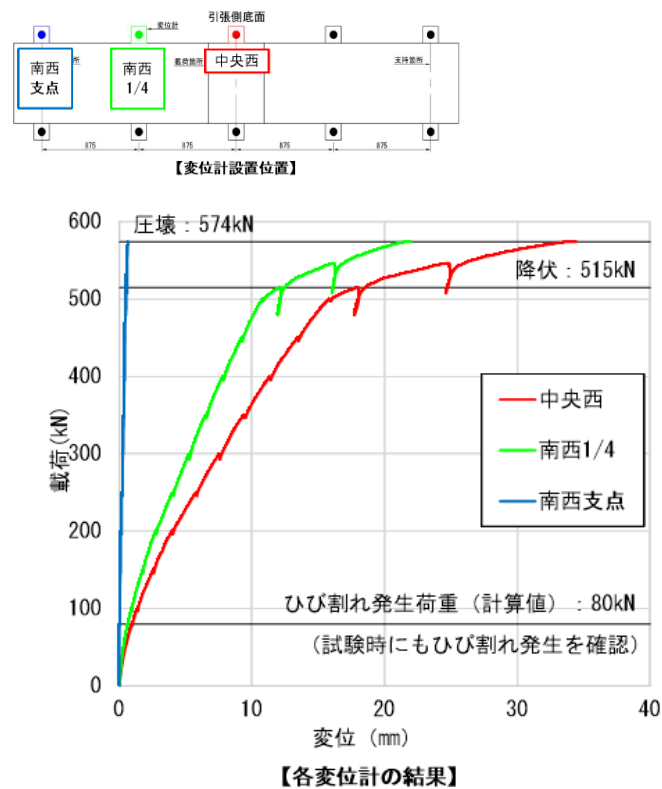


図-6 荷重変位曲線結果

## 6. 今後の計画

BW イデオル社の設計するコンクリート製浮体式洋上風力発電基礎は、ガントリースリップフォーム工法に特に適しているが、複雑な箇所への施工は施工の前に十分に事前検討を実施し、経済的に大量生産出来るようにする必要がある。

三井住友建設は、日本の建設基準に従って BYUM スリップフォーム工法技術を使用した BW Ideol のコンクリート浮体基礎の建設方法を継続的に検討し、今回実施したプレキャスト床板間の接合部構造の載荷試験や、必要に応じてモックアップテストを提案する。このような検討は、今後 4 ～ 5 年以内に計画されている最初の浮体式洋上風力発電所プロジェクトの実施に合わせてこれからもタイムリーに実施していく。

## 参考文献

- 1) コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン、国土交通省海事局、2023 年 3 月
- 2) Thomas Choynet 他 : INITIAL COMPARISON OF CONCRETE AND STEEL HULLS IN THE CASE OF IDEOL'S SQUARE RING FLOATING SUBSTRUCTURE, WWEC 2016
- 3) 三井建設(株)、三井造船(株) : PC バージ実験船の応力測定、共和技報第 237 号、1977 年 11 月
- 4) 溝田順一、澤井淳司 : 海外フィールド素描悠久の大地インド、土木学会誌、1993 年 3 月号