

洋上風車の地盤調査船「伊良湖」での 改造 Unicorn-1 による CPT 調査

高橋裕和・岩下遼・平井俊治・越智裕也・子原守
(深田サルベージ建設)

1. はじめに

先行する欧州・中国の脱炭素社会への精力的な取組みの後塵を拝する我が国も、改正港湾法による占用公募制度を施行して、洋上風力発電も漸く港湾区域から動き出した。

電気事業法と港湾法に基づき、洋上風力発電施設の円滑な導入のため、審査手続きの合理化や事業者の負担軽減を図って、その普及を後押しすべく国土交通省・経済産業省の設計・施工の基準類の検討も進む。

さて、当社は平成 27 年に水深 3,000m 級海底設置型ボーリングロボット“Unicorn-1”を導入し、新潮丸を母船として商用運航を開始した¹⁾。

(図-1)

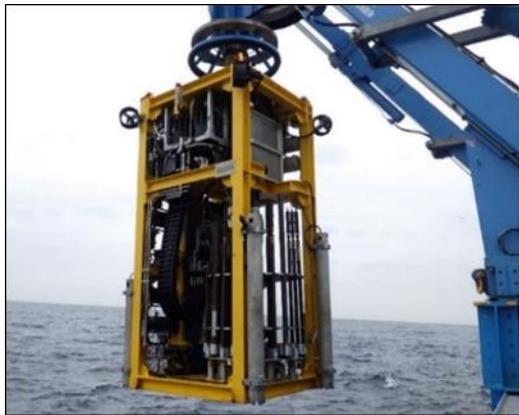


図-1 海底設置型掘削装置“Unicorn-1”

本機は海底熱水鉱床の掘削を目的に導入したが、堆積層向けに新規に脚を開発してこれに交換可能にし、地盤調査向けの機器を追加して、改造を加えた。

また、その母船も沿岸域での調査であれば、調査コストの極小化を図るべく、所有する 3,000 t クラスの台船を調査船用に改造して、特に洋上風力発電の地盤調査向けに供用を開始した。

本稿は、この改造 Unicorn-1 の詳細と調査母船の仕様について紹介し、昨年夏の CPT 調査航海での稼働実績について報告する。

2. 改造 Unicorn-1

2.1 展張式ドリル脚

Unicorn-1 は海底熱水鉱床域での傾斜 30 度の海底に着座を前提に設計された伸縮 4 点式の脚を装備しているが、これを堆積層、それも比較的軟弱な地盤でも着地できるように 1 m×3m の大きな草鞋の様な展張式の脚を開発し、地盤調査向けに既存の脚と交換可能にしている。

この脚は設計上、傾斜 20 度までの海底に着地させることができ、また、離着時に上には、この脚上部に堆積物が載っても、ばね式で回転してこれを落下させる工夫を施したマッドマット 7 列で構成している。

また、投入揚収時にはこれらのドリル脚を折り畳んで、A フレームを通過させる。



図-2 展張式ドリル脚

なお、この展張式ドリル脚は海底表層が堆積層で覆われた海底熱水鉱床域のコアリング時にも使われ、昨秋の熱水鉱床海域のコアリング航海では対象海域の海底地質を考慮してこの展張式の脚で実施した。

2.2 CPT 調査用機材・機器

欧州では比較的軟弱な地盤調査で一般的な原位試験であるコーン貫入試験 (CPT) を実施できるように機器を追加し、本体を改造した。

カルーセルは図-3 に示すように CPT ロッドを格納できるように改造、オペレーションソフトも CPT 調査に対応できるように更新した。

CPT コーンは、図-4 に示すスウェーデンの NOVATEC 社製 (断面積 10cm²) を採用した。



図-3 カルーセルの CPT ロッド格納カップ



図-4 NOVATEC 社製 CPT コーン

CPT 調査の取得データは、Unicorn-1 揚収後に CPT コーンからパソコンに取り込まれ (図-5)、直ちに先端抵抗・周面摩擦・間隙水圧をグラフ化 (図-6) して確認することができる。



図-5 CPT データのダウンロード

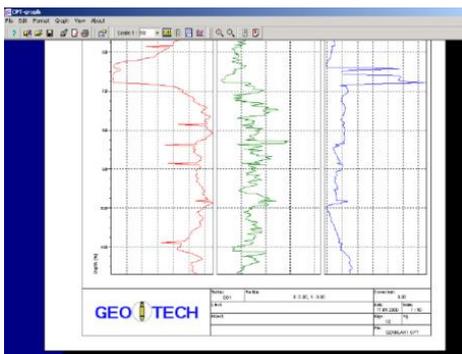


図-6 CPT データグラフ

3. 調査台船「伊良湖」

3.1 台船「伊良湖」の仕様

3,000m 仕様の Unicorn-1 の投入揚収装置 (LARS システム) は、図-7 に示すように水深 3,000m の海底に安全に着座させるために、アンビリカルケーブルをアクティブに繰出したり捲込んだりして上下揺を吸収する機構 (AHC) の付いた 22t ウィンチと、動揺する船上の高所であっても安全にメンテナンス作業ができるように工夫されたアクセスプラットフォームが付いた SWL15t の A フレームとで構成している。



図-7 Unicorn-1 の投入・揚収

一方、着底式の洋上風力発電施設の設置水深は基礎の構造形式がジャケット式でも 50m 程度までであり、一般のモノパイル式では 20-30m 程度である。

この水深での地盤調査に、総トン数 2,000t を超える DPⅡ 船の適用は性能過剰であり、港湾区域や海岸等の沿岸域では、調査母船として台船を用い、アンカー係留によって船位保持をする方がはるかに経済的である。

表-1 に調査母船とした 3,000 t 台船の「伊良湖」の要目を示す。

表-1 台船「伊良湖」要目

長さ	60.00m
幅	22.00m
型深さ	3.60m

この台船「伊良湖」に新潮丸とは別の投入揚収装置 (A フレームと一般のウィンチ)、ラボ・居住区、係留ウィンチとアンカーを艀装して調査母船とした。

改造 Unicorn-1 に電力や信号を送るアンビリカルケーブルも大水深仕様でない軽便なものに替え、本体はウィンチとワイヤーロープで吊上げ、投入揚収を行った。

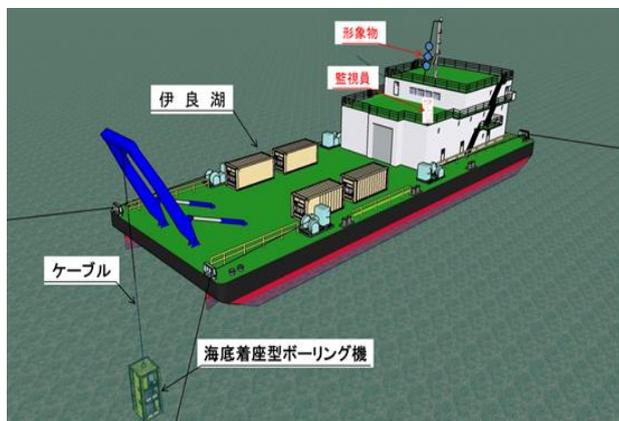


図-8 改造 Unicorn-1 投入の様子

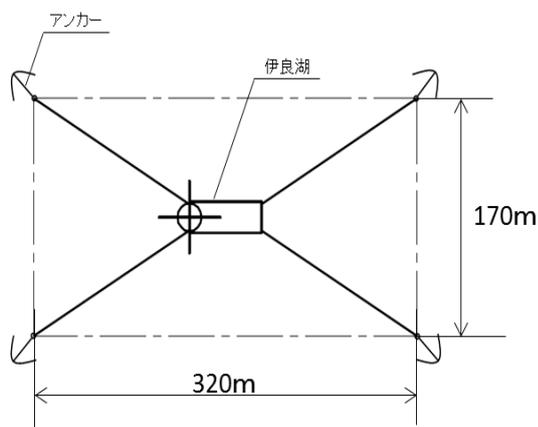


図-9 調査母船「伊良湖」係留パターン

作業中止基準は、表-2 に示す通り一般の台船と同様である。改造 Unicorn-1 の投入揚収、CPT オペレーションは 24 時間作業で行い、揚錨船によるアンカーの打ち替えを伴う調査台船のシフトのみは日中に実施した。

表-2 作業中止基準

風速	10 m/s 以上
有義波高	1.0m 以上
視程	1 海里以下
海流	1.0kt 以上

「伊良湖」のベッド数は 23 で、ドリラーと作業員は 24 時間 2 交代の二組で、調査要員等客先の乗船宿泊も可能である。

3. 2 「伊良湖」の動揺性能

「伊良湖」は 1.2m 程度の喫水で運用しているが、CPT 調査時には船首を沖側に向け、陸に向かって改造 Unicorn-1 を投入、船体運動としては上下揺と縦揺が主である。本船の規則波の RAO を DNVGL の SESAM-MARINE で解き、上下揺応答を図-10 に、縦揺応答を図-11 に、また横揺応答を図-12 に示す。なお、図中の波向きは 180 度が船首方向を示し、横浪方向は 90 度である。

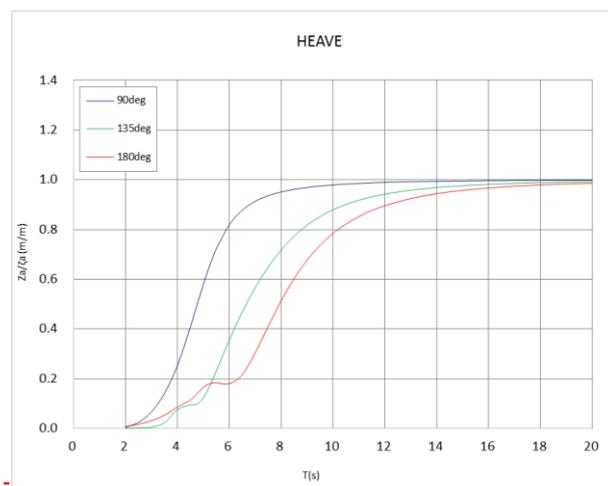


図-10 「伊良湖」上下揺(規則波)RAO

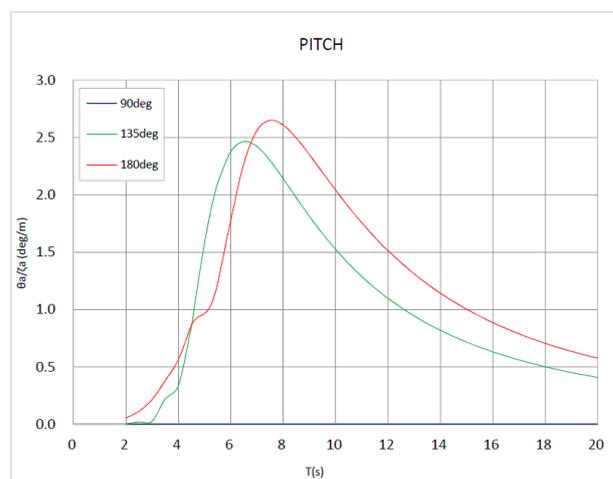


図-11 「伊良湖」縦揺(規則波)RAO

上下揺・縦揺とも、周期 7~8 秒の波で応答が大きくなるが、後述するように、夏の東北・北海道の日本海は、波高も小さい上、有義周期は殆ど 7.0 秒以下であり、船体動揺は殆ど問題にならず、高い稼働率が期待できる。

但し、横揺の固有周期は 5 秒弱で、横揺が稼働率に与える影響は考慮が必要である。(図-12)

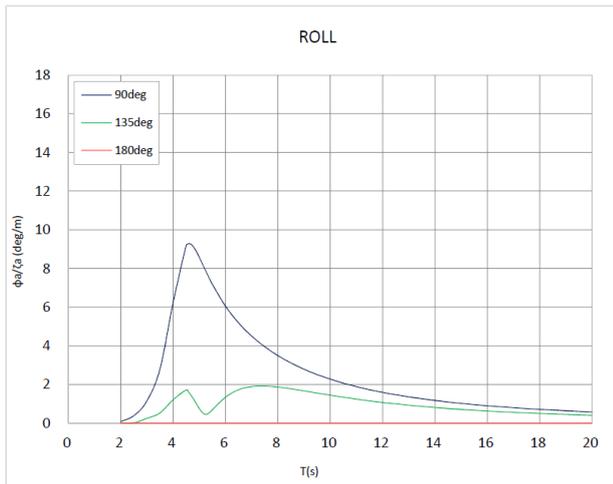


図-12 「伊良湖」横揺（規則波）RAO

4. 洋上ウィンドファームの CPT 調査

4. 1 調査母船「伊良湖」の稼働率推定

夏の日本海のような 3~5 秒程度の短い波周期の風浪では「伊良湖」による CPT 調査は問題なく高い稼働率で実施できる。

なお、ウネリ成分が大きくなると荒天待機となるが、これも 72 時間海象予報に基づき、この間に要員の交代・補給を実施した。

風力発電を計画している風況の良い東北・北海道地方の日本海側の沿岸の月別の稼働率を、作業限界である有義波高 1.0m 以下と平均風速 10m/s の出現頻度²⁾ から推定して図-13 に示す。



図-13 月別稼働率推定

4. 2 CPT 調査実績

冬季風浪は極めて厳しい東北・北海道の日本海側の海域でも 6 月~9 月には、8 割を超える稼働が期待された。

この時期に約 4 ヶ月に亘って実施された調査母船「伊良湖」での改造 Unicorn-1 による CPT 調

査の稼働実績も、ほぼこの推定値通りであった。

CPT 調査は、換算 N 値の検証を目的にウィンドファーム内の既往の標準貫入試験地点で調査に始まり、相当数の洋上風車の全設置予定地点で実施された。

モノパイル式、或いはジャケット式の基礎の設計に必要な深度まで効率よく実施され（図-14）、地点間のシフトを含め 1 カ所の調査は 2 日程度であった。



図-14 「伊良湖」での CPT 調査の風景

既往の港湾海岸構造物の設計基準類との関係から、海上での大規模な CPT 調査はこれまで実績が少なかったが、基準類も整備され普及を後押しすることが期待される。

昨年夏に長期間にわたり効率よく実施された CPT 調査は、台船による調査で経済性も向上した。本稿で紹介した海底設置型ボーリング機の機能拡張と調査コスト低減に向けた取組は、調査期間の大幅な短縮に繋がり、今後の我が国の本格的な洋上ウィンドファーム建設、ひいてはエネルギー供給での脱炭素社会へ潮流に向け、弾みが付くものと期待している。

参考文献

- 1) 増田康祐 他、3,000m 級海底設置型掘削装置 “Unicorn-1” 洋上試験報告、海洋調査協会技術発表会報告、2016
- 2) 詳細版「日本近海の風と波データベース」、海上技術安全研究所、2012.6