

洋上風力地盤調査船の稼働性評価

山田 瑞熙 深田サルベージ建設株式会社
岩下 遼 深田サルベージ建設株式会社
茂手木竜也 深田サルベージ建設株式会社

Operability study of geotechnical survey vessel for offshore wind

Mizuki YAMADA Fukada Salvage & Marine Works Co.,Ltd
E-mail:yamada.mizuki@fukasal.co.jp
Ryo IWASHITA Fukada Salvage & Marine Works Co.,Ltd
Tatsuya MOTEGI Fukada Salvage & Marine Works Co.,Ltd

Abstract

DP vessel, Stanford Hobby equipped drilling rig, has been conducted geotechnical survey for offshore wind in northern area of Japan Sea from May to November in 2019. During survey period, wave height and vessel motions were measured and compared with the analysis result of vessel motion characteristics. Generally offshore wind farms would be located in shallow water, this paper shows when DP vessels will be used for geotechnical survey for offshore wind, the estimating of operability should be considered the water depth of job site for acceptable DP deviation.

1 序論

平成 31 年 4 月より「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」が施行され、昨年末には、長崎県の五島市沖を全国で初めて法律に基づく促進区域に指定されるなど、我が国の洋上風力発電も漸く本格化する中、海底地盤調査の需要が急増している。

当社は、旗艦船 Poseidon-1 に加え、3000m 級海底設置型ボーリングロボット Unicorn-1 を地盤調査向けに改良し、台船での経済的な地盤調査を実現すべく投入した。¹⁾ 更に逼迫する調査船需要に対応すべく Poseidon-1 に加え、DPS (自動船位保持装置) を搭載した調査船を備船し、掘削リグを艀装して昨年 5 月から運用を開始、11 月末まで主として東北地方の日本海で CPT 他 60 本もの地盤調査を実施した。

本船導入に当っては稼働性の評価に耐航性に注目し、マイクロ波式波高計と動揺計による現地計測を行って解析結果と比較し良い一致を見た²⁾ が、稼働性の観点からは水深の浅い洋上風力対象海域では DPS による定点保持の偏差が支配的となり稼働性を左右する。

本報は従来の視程・潮流以外の主として風と波による作業限界の設定だけでは不十分で、耐航性を支配する波周期に加え、DP での水深影響が大きいことを稼働実績から特に示した。

2 調査船の概要と掘削リグの仕様

2.1 調査船「Stanford Hobby」の概要

本船は元タムーンプールを有する DSV (ダイビングサポートバessel) であり、この上に掘削リグを艀装した。船首側に 2 基のトンネルスラスト (各最大推力 600kW)、船尾側に 2 基のアジマススラスト (各最大推力 1838kW) を備えている。船

位保持装置には Kongsberg 製の DPS を装備している。



Fig. 1 地盤調査船「Stanford Hobby」

Table 1 「Stanford Hobby」の仕様

全長/全幅/型深さ	65.5m/16.0m/6.0m
総トン数	2499T
Moon Pool	4.5m×4.5m
船位保持装置	Kongsberg K-Pos DP II

DPS に使用する船位情報は DGPS の他、比較的浅い水深 12-500m で有効な測位装置 Taut Wire を利用しており、約 350kg のウェイトを海底に投入して、ワイヤーの角度を計測し、ウェイトに対する相対位置情報を取得する。

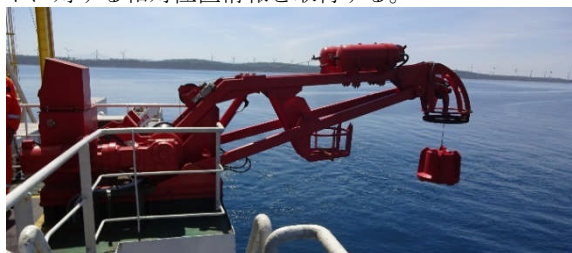


Fig. 2 Taut Wire

2.2 掘削リグ「Gaia-1」の仕様

本リグは Single Pole タイプのリグで、デッキ上に 1 本約 5m のドリルパイプを 60 本搭載しており、最大で 300m(水深含む)まで掘削可能である。また、Heave Motion Compensation により、上下揺±1.5m の変動まで対応可能である。

Table 2 掘削リグ「Gaia-1」の仕様

デリック高さ	22.0m
許容荷重	25MT
最大掘削長	300m

2.3 SBF(Sea Bed Frame)について

地盤調査の際にはムーンプールから Fig. 3 に示す SBF と呼ばれるドリルパイプのガイドを吊り降ろし海底に着座させ、Fig. 4 に示すようにドリルパイプで掘削する。CPT 調査はドリルビットの先端で固定された CPT ロッドを油圧で押し込んで先端抵抗、間隙水圧、周辺摩擦を計測する。SBF は CPT コーン貫入時、ドリルパイプを固定し貫入の反力となる。



Fig. 3 SBF(Sea Bed Frame)

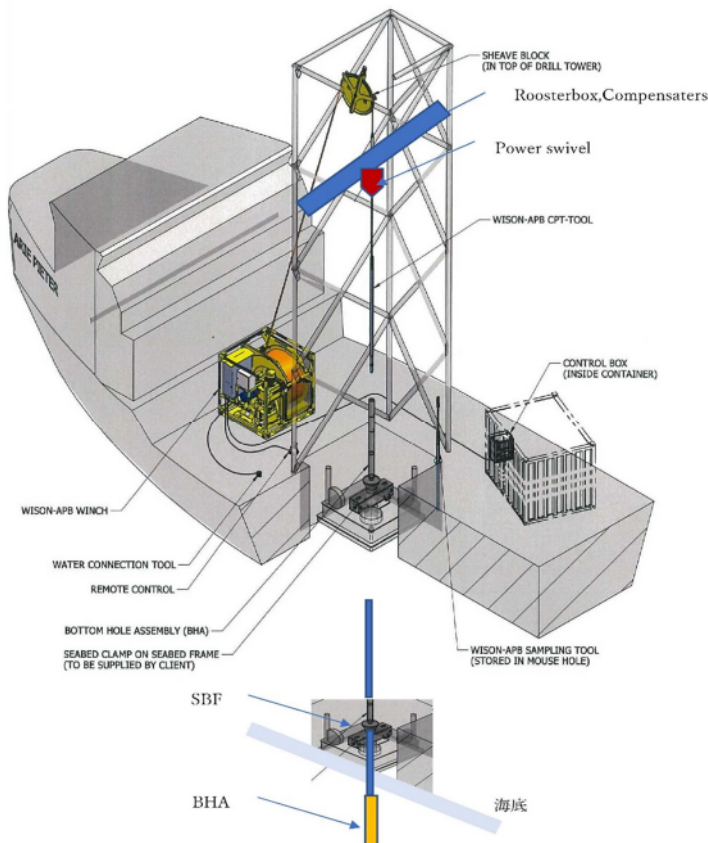


Fig. 4 地盤調査概要図

3 現地計測の概要

計測は昨年 6 月 1 日～18 日の間、東北地方日本海側沖合にて実施した。計測項目と計測方法を Table 3、計測機器の配置を Fig. 5 に示す。

Fig. 5 計測機器配置

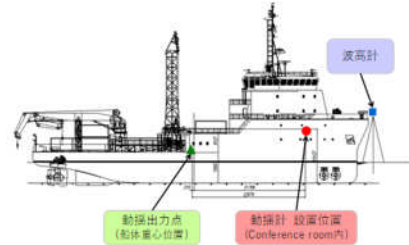


Table 3 計測項目と計測方法

計測項目	単位	計測方法
波高 時系列	m	マイクロ波式波高計
波向き	方位	目視観測
風速	m/s	風向風速計
風向	方位	
6 自由度運動	m,deg	動揺計(OCTANS)

船首から前方に張り出した鶴見精機製のマイクロ波式波高計を用いて 20 分間(サンプリング間隔 0.5sec)計測を行った。船体動揺は ixBule 社製の OCTANS を用いて船体重心位置における動揺を計測した。風向風速は本船装備の風向風速計の値を DP コンソールから読み取り記録した。先ず波高計のセンサーを張り出して計測の準備を行った。その後、波高と波向きを目視観測し、指定の波向きとなるよう船首方向を変更した。DP 保持にて船首方向を維持した状態で、20 分間の計測を行い、計測完了後、データチェックを実施した。

4 計測データの処理と応答関数

波及び動揺の時系列データに対してフーリエ解析で波と応答スペクトルを算出し、平滑化処理を行った。次に得られたスペクトルから下記式にて応答関数を算出した。

$$|H(\omega)| = \frac{S_m(\omega)}{\sqrt{S_w(\omega)}} \quad (1)$$

ω : 角周波数

$S_m(\omega)$: 応答スペクトル

$H(\omega)$: 応答関数RAO

$S_w(\omega)$: 波スペクトル

また、実測値と併せて船級協会 DNVGL の船体動揺解析プログラム SESAM による単一波向き規則波中における動揺計算値をプロットした。

4.1 横波中における動揺解析結果

船幅方向より波浪を受けるよう船首方向を指定し計測した時の喫水，海象を Fig.6 に示す。

平均喫水 : 4.50 m
 有義波高 : 0.68 m
 有義波周期 : 4.65 sec
 風速 : 2.1 m/sec

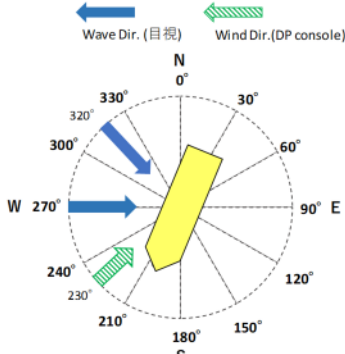


Fig. 6 横波中の波向き及び風向き

横波中での波スペクトルを Fig. 7 に示す。縦軸はパワースペクトル，横軸は波周期を示す。

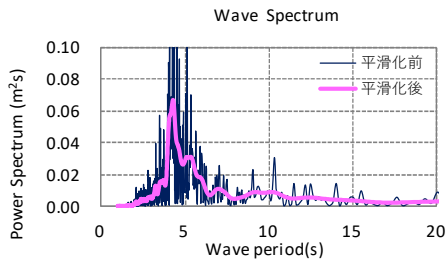


Fig. 7 横波中 波スペクトル

Fig. 8 に HEAVE を示す。単位波高あたりの動揺の両振幅で，横軸は波周期を示しており，実線が実測値，点線が計算値を示す。横揺れ固有周期と同じ 10.5sec でピークが現れているため，ROLL の影響が含まれていると考えられる。

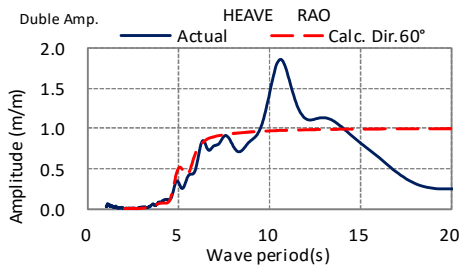


Fig. 8 横波中 HEAVE

Fig. 9 に示す ROLL を見ると，動揺のピークが 10.5sec で現れていることがわかる。従って固有周期は 10.5sec であると推定される。また，実測値と計算値は動揺のピークを除いて，良く一致している。

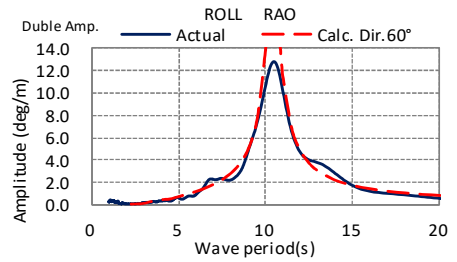


Fig. 9 横波中 ROLL

4.2 向波中における動揺解析結果

船首側より波浪を受けるよう船首方向を指定し計測した時の喫水，海象を Fig. 10 に示す。

平均喫水 : 4.50 m
 有義波高 : 0.56 m
 有義波周期 : 5.16 sec
 風速 : 3.6m/sec

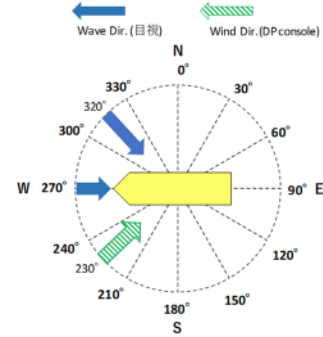


Fig. 10 向波中の波向き及び風向き

向波中での波スペクトルを Fig. 11 に示す。

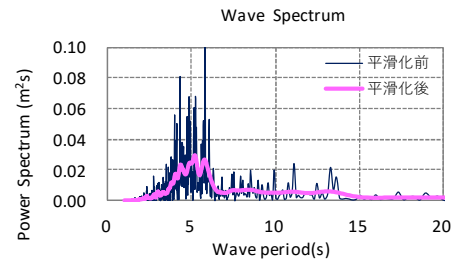


Fig. 11 向波中 波スペクトル

Fig. 12 に HEAVE を示す。周期 10sec より長い範囲で計算値より実測値が小さいのは横波中の HEAVE と同様，計測時の波浪に長周期成分が含まれていなかったためである。

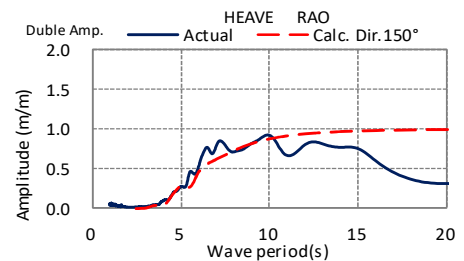


Fig. 12 向波中 HEAVE

Fig. 13 に PITCH を示す。固有周期は 7sec 程度であり、実測値と計算値は良く一致している。

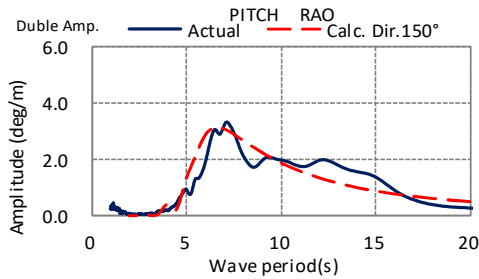


Fig. 13 向波中 PITCH

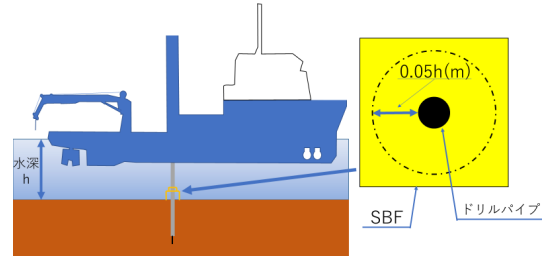


Fig 14 位置保持偏差の許容範囲

5 水深別作業限界

5月～11月の調査において、実績より作業時間、荒天待機時間、回航時間などを抜粋し稼働率を算出した。本船での地盤調査作業時の作業中止基準として、安全側に Table 4 を定め調査を開始した。

Table 4 作業中止基準

項目	中止基準値
波高	1.25m 以上
風速	10m/s
潮流	1knot 以上
視程	1000m 以下

昨年5月から11月までの期間で、地盤調査中に作業中止判断時の海象と主因は Table 5 の通りであった。

Table 5 作業中止判断時の海象

case	波					風		水深	中止判断の主因
	目視		(参)NOWPHAS			Dir.	速度 (m/s)	h (m)	
	Dir.	H(m)	Dir.	Hs(m)	Ts(s)				
1	NW	0.4	SW	0.85	5.0	SW	12.0	13.4	風による 位置保持不可
2	W	0.4	NNW	0.30	5.3	S	12.0	13.1	
3	ENE	1.0	N	0.57	4.7	E	13.0	12.7	
4	NW	1.5	NW	1.47	5.4	W	7.0	12.6	波による動揺
5	W	1.5	W	1.17	5.3	W	10.0	20.8	波による動揺
6	NNE	1.5	-	-	-	E	10.0	24.4	波による動揺
7	W	1.5	-	-	-	W	14.0	24.4	潮流による
8	NNW	1.8	***	1.50	4.9	NNW	14.0	22.5	波による動揺
9	NW	1.5	-	-	-	WNW	15.0	47.3	風による
10	NW	1.2	-	-	-	NW	16.0	47.3	

DPS による位置保持中の掘削作業では、ドリルパイプは SBF によって海底面で固定されるが、この時ドリルパイプの安全上、Fig 14 に示すように水深の 5% 程度までの位置保持偏差まで許容している。

大水深海域での掘削作業では、位置保持の許容偏差範囲は大きいですが、水深の浅い海域では浅ければ浅い程、この許容偏差は小さくなる。従って洋上風力地盤調査における海象による稼働率はこの水深影響を考慮して想定しないと過大評価となりかねない。

Table 5 の Case 3 では水深が 12m 程度の海域では DP 許容偏差が 60cm で波高が 1.0m 程度であったが、最大風速が 12m/s を超え風による位置保持が不可となり荒天待機となった。また、Case 8 では水深が 20m 以上の海域では波高が 1.8m、最大風速は 14m/s であったが、波による動揺により荒天待機となった。波高が 1.5m を超えていた場合でも作業続行出来る海象があった。

Table 6 水深別稼働率

水深	水深約 15m	水深約 30m
回航	9.0%	2.4%
調査	58.5%	82.0%
待機 (荒天外含む)	32.5%	15.6%
合計	100.0%	100.0%

5月～7月の同一海域での稼働率を水深別に整理し Table 6 に示す。上表の水深約 15m と水深約 30m の水深を比較すると水深が深い作業地点の方が稼働率が良いことがわかる。上表からも明らかに位置保持偏差による影響が大きい。

6 結言

水深によって位置保持偏差が確保出来る範囲が変わり、浅い海域では稼働率が低下する。また、深い海域では位置保持偏差が確保出来る範囲が広がる為、中止基準として設けた値を超えても作業続行できる。今後も陸側の水深 15m 以下の浅い水深での地盤調査が多くなると考えられ、計画の段階でより詳しく中止基準を確認したい。

参考文献

- 1) 高橋裕和他：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，海洋調査協会 第 34 回 技術発表会報告
- 2) 岩下遼他：洋上風力向け地盤調査船「Stanford Hobby」の現地動揺計測による耐航性評価，海洋調査協会 第 36 回 技術発表会報告