

## 洋上風力基礎スカートサクシオンの実海域実験 (その3: 水平支持性能の検証)

(株)大林組 正会員 ○小林英華 伊藤政人 栗本卓 小山宏人

## 1. はじめに

本報告(その3)では、実海域で高波浪を受けた際のスカートサクシオンの挙動について計測結果を示すとともに、3次元FEMにより水平支持性能について検証した結果を報告する。

## 2. 高波浪作用時の挙動

本試験体が設置された海域では、2021/1/29 および 2/16 に高波浪が発生した。基礎設置位置近傍のナウファス波高計の観測値を **Table 1** に示す。1/29 のスカートサクシオンのタワー部の曲げひずみ (E-W 方向) の経時変化を **Fig.1** に示す (2/16 の高波浪時には電源を失ったため計測データが取れていない)。観測された波向きは 270° (西方向) であり、タワーには西方向からの波力によって西側引張の曲げひずみが、波力の作用周期である約 10sec ごとに大きく発生している。**Fig.2** に発生した最大曲げひずみ分布を示す。図には観測された有義波高、周期からモリソン式によって算出した波力を作用させた際のタワー部の曲げひずみの計算値を示している。おおよそ計算値程度のひずみが発生しており、観測された有義波高に基づく設計波力の算定方法が妥当であることを示している。

**Fig.3** にタワー天端傾斜角の経時変化を示す。曲げひずみ同様、波力によって 10sec ごとに大きく東側に傾斜している。傾斜計は内部に振り子を持つタイプであるため、波力を受けた際に内部の振り子が揺れることで実際の傾斜よりも大きい値を示すと考えられるが、大きな波力を受けた後は有害な残留傾斜は生じていないのがわかる。

## 3. FEM による水平挙動解析

## (1) 解析条件

波力を受けるスカートサクシオンの水平支持性能を検証するために、土/水連成 3次元 FEM 解析を行った。用いた解析コードは PLAXIS3D である。**Fig.4** に解析メッシュを示す。解析モデルは 1/2 とした。地盤の構成モデルは、砂層: Mohr-Coulomb、粘土層: NGI-ADP モデルを用い、水理境界条件として地盤底面・地盤対称面を非排水境界、それ以外の面は、排水境界を設定した。**Table2** に地盤入力定数を示す。地盤の変形係数および強度定数は、現地採取試料による三軸圧縮試験から求め、透水係数は  $D_{20}$  からクレーガーの式より設定した。スカートおよびタワー部の

Table 1 ナウファス波高計観測値

	有義波高(m)	有義波周期(sec)
2021/1/29 16:00	6	11
2021/2/16 21:00	8.5	12

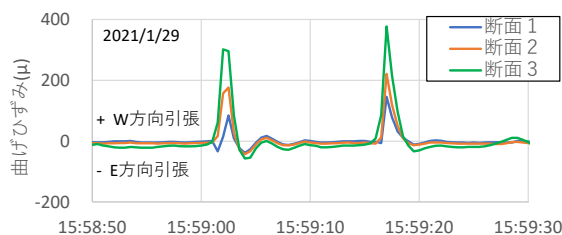


Fig. 1 タワー部曲げひずみの経時変化

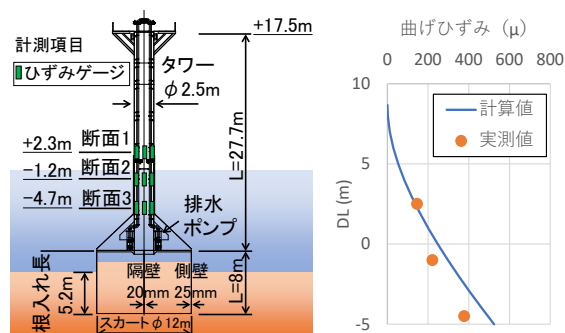


Fig. 2 タワー部最大曲げひずみ分布

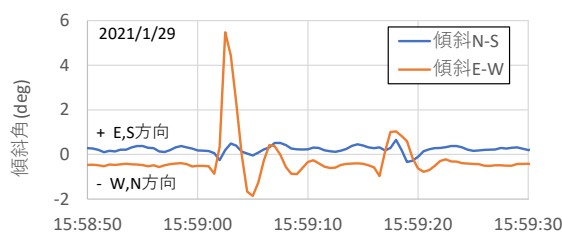


Fig. 3 タワー天端傾斜角の経時変化

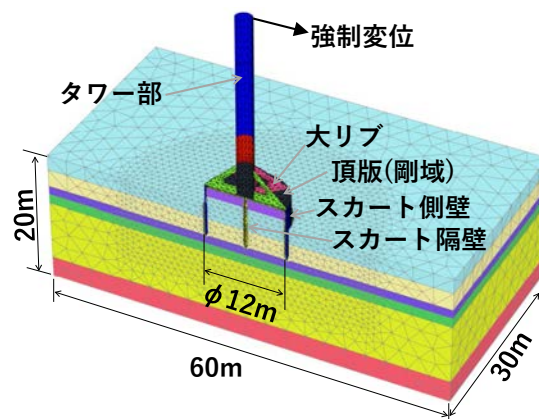


Fig. 4 解析メッシュ

キーワード スカートサクシオン基礎, 水平支持性能, 3D FE 解析, 変位速度

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟(株)大林組 TEL03-5769-1307

入力定数を **Table3** に示した。スカートと地盤の間には、インターフェイス要素を設置し、インターフェイスの強度は地盤強度の 0.65 倍とした。基礎への水平荷重の荷重は、タワートップに強制変位を与えることで表現した。解析ケースは、変位速度を 2 通りとし、比較のため連成させない条件での解析も行った (**Table4**)。

## (2) 解析結果

**Fig.5** に頂版位置での作用モーメント  $M$  (=水平荷重×作用高さ)-傾斜角  $\theta$  を示す。非連成よりも連成解析は同じ傾斜角でのモーメントが大きく、大きい水平支持性能を示している。連成解析では変位速度が大きい方が大きい支持性能を示している。

**Fig.6** に  $M=36,000\text{kNm}$  時の変位速度  $1.0(\text{mm}/\text{sec})$  と変位速度  $0.01(\text{mm}/\text{sec})$  の過剰間隙水圧コンターを示す。速度が大きいケースではスカート内に負の過剰間隙水圧が発生しており、速度が小さいケースではその発生量は小さい。これは、スカートが引抜けようとする際に、速度が大きい場合に背面側のスカート頂版と地盤の間の体積が増大することに間隙水の流入が追い付かないためであり<sup>1)2)</sup>、このことが、**Fig.5** において大きな変位速度ほど大きい支持性能を示す要因と考えられる。

**Fig.5** には、観測された有義波高、周期からモリソン式によって算出した波力による基部モーメントの値も示してある。2/16の観測波高から算定される基部に作用する曲げモーメントは  $36,000\text{kNm}$  となり、このレベルでの傾斜角を比較すると、スカート内にサクシオン圧が発生している  $v=1\text{mm}/\text{sec}$  のケースでは、非連成のケースに比べ傾斜角は 6 割程度に抑えられている。実際に作用したと思われる  $36,000\text{kNm}$  が周期 10sec で作用する荷重速度を、载荷点の速度に換算すると  $v=30\text{mm}/\text{sec}$  程度となると考えられ、スカート内の受働サクシオンが傾斜を抑える効果はさらに大きかったものと予想される。設計時に想定した基部作用モーメントは  $30,000\text{kNm}$  であり、2/16に作用した荷重は設計荷重を上回っていた可能性が高い。それでも基礎に有害な残留変位が生じていなかったのは、高波浪時の荷重速度はスカート内に受働サクシオンを発生させるのに十分大きく、それにより抵抗モーメントが設計時に想定した値より大きかったためと考えられる。

## 4. まとめ

スカートサクシオンの実海域実験において、高波浪を受けた際の挙動は設計値を越える波浪を受けたが残留変位はみられなかった。3次元 FEM 解析により高波浪を受けた際のスカートサクシオンの水平支持性能を検証したところ、実際に受けた波力の荷重速度は負の過剰間隙水圧が発生するのに十分な大きさであり、これにより抵抗モーメントが設計時に想定した値より大きかったためと推定された。

【参考文献】1) 伊藤政人, 栗本卓, 粕谷悠紀, スレンソッキアン: スカートサクシオン基礎の水平支持特性におけるサクシオンの影響, 第 52 回地盤工学研究発表会, pp1127-1128, 2017. 7. 2) 伊藤政人, 栗本卓, 粕谷悠紀, 小山宏人: スカートサクシオン基礎遠心力模型実験の再現解析 (その 1: 水平載荷実験), 第 53 回地盤工学研究発表会, pp1221-1222, 2018. 7.

**Table 2** 地盤入力定数

層	層下端 深さ m	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	$E'$ kN/m <sup>2</sup>	$\nu$ -	$c'$ ref kN/m <sup>2</sup>	$\phi^\circ$	K m/sec
As1-1	2.3	8.0	32,480	0.33	0.1	37.0	1.4.E-05
As1-2	5.0	8.0	82,880	0.33	0.1	40.0	1.4.E-05
As1-3	6.3	8.0	140,000	0.33	0.1	40.0	2.0.E-06
As1-4	7.8	8.0	82,880	0.33	0.1	40.0	1.4.E-05
Ds1	20.0	8.1	140,000	0.33	0.1	37.8	2.0.E-06

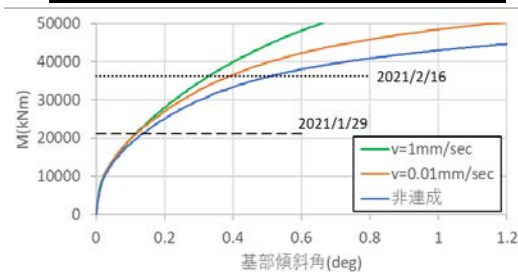
層	層下端 深さ m	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	Gur / SuA -	$\nu$ -	SuAref kN/m <sup>2</sup>	K m/sec
Ac	16.8	6.4	639.5	0.495	79.90	1.0.E-09

**Table 3** 構造物入力定数

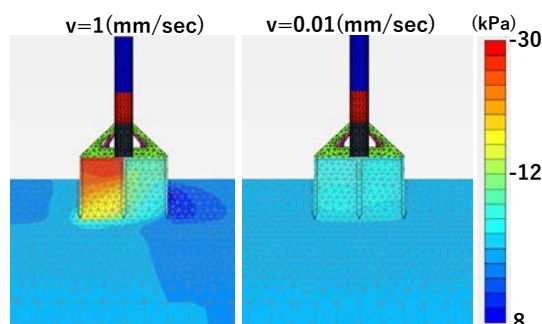
部位	$E$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$ (-)	t (mm)
タワー部	2.0E+08	0.3	25.0
大リブ	2.0E+08		30.0
頂版(剛域)	2.0E+11		30.0
スカート側壁	2.0E+08		25.0
スカート隔壁	2.0E+08		20.0

**Table 4** 解析ケース

変位速度	解析種別
1mm/sec	連成
0.01mm/sec	連成
—	非連成



**Fig. 5** 基部作用モーメントー基部傾斜角



**Fig. 6** 過剰間隙水圧コンター