

## スカートサクシオン基礎貫入時の支持力低下メカニズム解明に向けた地盤の変形の可視化

名古屋工業大学 学 〇村瀬 颯生 正 前田健一  
学 丹羽 俊介 学 安部友規  
(株)大林組 正 小山 宏人

## 1. はじめに

再生可能エネルギー分野で洋上風力発電は特に成長が見込まれている。日本においては、広い海と安定した風が得られる地域があり、今後洋上風力発電の発展が期待されている。スカートサクシオン基礎（以下、SS 基礎）は基礎頂版より下方に伸びた円筒形（スカート）を海底地盤に根入れさせて安定性を確保する新形式の海上基礎である。貫入の原理は、スカート内の水を排水することによって生じるスカート内外の水圧差（サクシオン）を利用する。サクシオンによる下向き荷重が生じるのに加え、スカート内側地盤に上向きの浸透流が発生することにより、スカート内の地盤の有効応力が低下し、貫入抵抗が低減するという特長を持つ。SS 基礎貫入の制御には、浸透に伴う支持力低下のメカニズムを解明することが重要である。既往の研究<sup>1)</sup>では、SS 基礎を模擬した円筒模型を用い、基本的な貫入挙動について整理した。本研究では、基礎貫入時における地盤の変形を可視化するために半円筒模型を用いて実験と解析を行った。

## 2. 実験概要

実験で用いた装置の概略図を図-1 に示す。実験は高さ 300mm、幅 200mm、奥行 200mm の土槽を用いた。水タンクは基礎模型とチューブで接続されており、手で操作できる昇降機上に設置した。土槽には随時水を注入することで土槽内の水位を一定

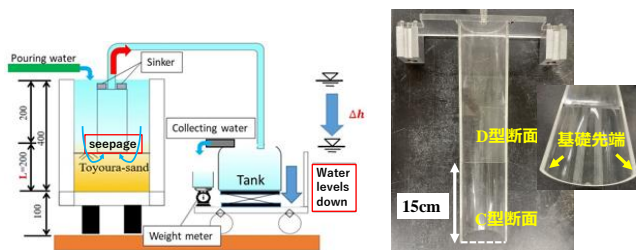


図-1 実験装置概略図

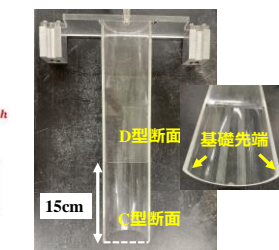


図-2 半円筒基礎模型

表-1 実験ケース一覧

実施ケース	Dr(%)	初期沈下量(mm)	水位降下(mm/min)
Case1	40	25	0
Case2	40	25	3

とした。地盤材料は豊浦砂（平均粒径  $D_{50}=0.173\text{mm}$ 、透水係数  $k=2.21\times 10^{-4}\text{m/s}$ ）を用い、各ケースとも相対密度  $D_r$  は 40%とした。実験模型（図-2）は半円筒型で基礎の下から 15cm は断面が C 型になっている。また、観察面との摩擦を低減するために弾力性のあるテープとグリスをを用いて実験装置を加工した。実験条件を表-1 に示す。実験はサクシオンありとなしの場合について PIV を用いて土粒子の動きを可視化した。サクシオンがない場合については、重りを載荷することで基礎を沈下させている。

## 3. 実験結果と考察

## 3.1. PIV 解析による土粒子の挙動の可視化

Case1（サクシオンなし）の場合の PIV 解析結果を示す（図-3）。鉛直方向の土粒子の動きについて、基礎直下の土粒子が貫入方向に動いている様子が観察される（図-3、左）。水平方向の動きについては、基礎先端付近の土粒子が基礎内部と外部の両

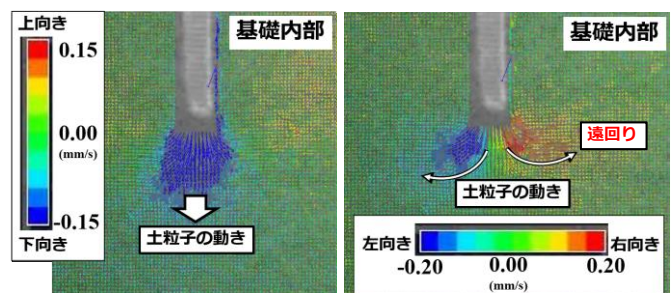


図-3 サクシオンなしの場合の土粒子の挙動

(Case1: 貫入力  $F=34.3\text{N}$ , 沈下量  $S=17\text{mm}$ )

左図: 鉛直方向, 右図: 水平方向

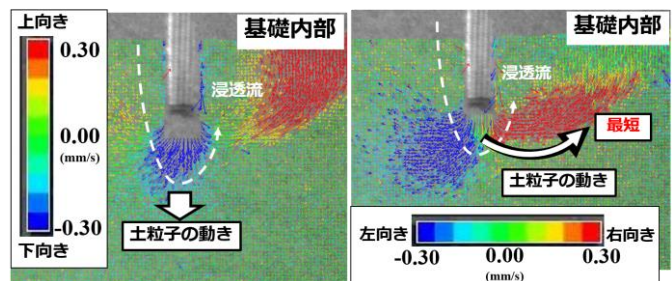


図-4 サクシオンありの場合の土粒子の挙動

(Case2: 水位差  $h=45\text{mm}$ , 沈下量  $S=10\text{mm}$ )

左図: 鉛直方向, 右図: 水平方向

キーワード SS 基礎 浸透流 サクシオン

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 16 号館 227 号室 TEL052-735-5497

方向に動いている様子が観察される (図-3, 右). 地盤の支持力理論<sup>2)</sup>によると, 貫入力が増加とともに基礎直下の地盤が圧縮されようとしていると考えられる. しかし, 地盤は横に広がるようとするため, 水平方向において基礎内外の方向に速度が出ていると考えられる. Case2 (サクシオンあり) の場合の PIV 解析結果を示す (図-4). 鉛直方向の土粒子の動きについて, 基礎直下の土粒子が貫入方向に動いている様子が観察される (図-4, 左). 水平方向の土粒子の動きについては, 主に基礎内部の方向に動いている様子が観察される (図-4, 右). サクシオンがある場合とない場合の水平方向の土粒子の動きには違いがあった. サクシオンがない場合は基礎直下の土粒子が遠回りして基礎内部に動いている様子が観察された (図-3, 右). 対してサクシオンがある場合は直下の広い領域の土粒子が最短で基礎内部に動いていた (図-4, 右). これは上向き浸透流により, 基礎内側周辺の土圧が小さくなり, 基礎先端に押された土粒子がスカート内に移動しやすくなっているためであると考えられる.

### 3.2. ひずみ速度についての考察

PIV から得られた速度勾配テンソルを計算し, ひずみ速度について考察する. 基礎沈下時におけるせん断変形の様子を最大せん断ひずみ速度を計算することにより検討する. 最大せん断ひずみ速度を以下の式で定義する.

$$\frac{1}{2} \gamma_{max} = \sqrt{\left\{ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right\}^2 + \left\{ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\}^2} \quad (1)$$

ここで,  $1/2 \gamma_{max}$ : 最大せん断ひずみ速度(1/s),  $u$ : 水平方向速度,  $v$ : 鉛直方向速度である. 式(1)の平方根の中の第1項は, 純粋せん断を表しており, 鉛直方向に縮んで水平方向に広がる速度である. 第2項は, 単純せん断を表しており, ずり変形する速度である. Case1 (サクシオンなし) の最大せん断ひずみ速度の分布を示す (図-5, 左). 図中で白の実線で囲まれた部分が基礎先端を表している. せん断はスカート周面および先端で集中しており, 変形の局所化が見られる. また, 基礎先端で二等辺三角形をした主働くさびのような領域があり, その頂点からす

べり線のようなものがスカート内外に向かって, ほぼ左右対称に伸びているのが分かる. このことから, 基礎直下の地盤はある程度は基礎と一体となって剛体として, 地盤の中に押し込まれていると考えられる. そして, このくさびが沈もうとすることで左右の土塊で抵抗が働き, 破壊し, 沈下すると考えられる.

Case2 (サクシオンあり) の最大せん断ひずみ速度の分布を示す (図-5, 右). Case1 と同様に, せん断はスカート周面および先端で集中しており, 変形が局所化していることが分かる. 基礎先端で主働くさびのような領域が見られたが, その形は Case1 の時とは異なり, 不等辺三角形をしていることが分かる. また, すべり線のようなものはスカート内外に向かって発達しているのではなく, スカート内部に向かう方向に発達していることが分かる. これはスカート内部の方が上向き浸透流により地盤の有効応力が低下し, 受働抵抗が小さいため, 内部に発達しているものと考えられる.

### 4. まとめ

SS 基礎貫入時の基礎先端周りの地盤の変形を可視化するという目的で半円筒模型を用いた実験及び解析を実施し, 以下の知見が得られた.

- 1) 貫入力が増加とともに基礎直下の地盤は圧縮されようとし, 土粒子は貫入方向に移動する.
- 2) 圧縮されようとした地盤は横に広がるようとするが, サクシオンがある場合, 基礎直下の広い領域の土粒子が浸透流により上向きに最短で基礎内部に移動する. これは上向き浸透流により, 基礎内側周辺の土圧が小さくなり, 基礎先端に押された土粒子が基礎内に移動しやすくなっているためであると考えられる.
- 3) せん断はスカート周面および先端で集中しており, 変形の局所化が見られた.
- 4) サクシオン作用下において, 基礎先端で不等辺三角形をした主働くさびのような領域が観察された. このことから, 基礎直下の地盤はある程度は基礎と一体となって剛体として, 地盤の中に押し込まれていると考えられる.
- 5) サクシオン作用下において, すべり線のようなものがスカート内部に向かう方向に発達していることが観察された. これは, スカート内部の方が上向き浸透流により地盤の有効応力が低下し, 受働抵抗が小さいため, 内部に発達しているものと考えられる.

### 参考文献

- 1) 小山宏人ら, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.76, No.2, I\_883-I\_888, 2020.
- 2) 河上房義・森芳信・柳沢栄司 (2012年) 『土質力学』 森北出版株式会社

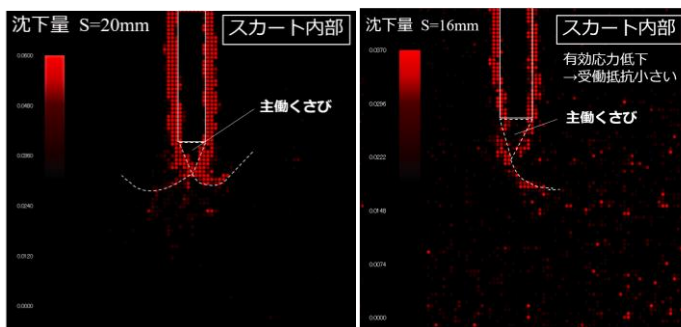


図-5 最大せん断ひずみ速度の分布

左図: Case1 (サクシオンなし, S=20mm)

右図: Case2 (サクシオンあり, S=16mm)