

スカートサクシオン基礎貫入時における基礎先端周りの地盤の局所変形

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. 概要

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の壁（スカート）を海底地盤中に貫入させて安定性を確保する新形式の海上基礎で、スカート内の水を排水して生じるスカート内外の水位差（サクシオンと呼ぶ）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で有効応力が低減し、貫入抵抗が低減する特長を持つ。SS基礎貫入の制御には、浸透流による基礎貫入時挙動のメカニズムを理解することが重要である。既往の研究では、SS基礎を模擬した円筒模型基礎を用い、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基礎先端周りの地盤の変形を可視化できるように半円筒模型を用い、実験及び解析を実施した。

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、各実験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10cmは断面がC型となっており、観察面との境界から水が浸入することを防ぎ、かつ摩擦を低減するために観察面との接地面には弾性のある両面テープ

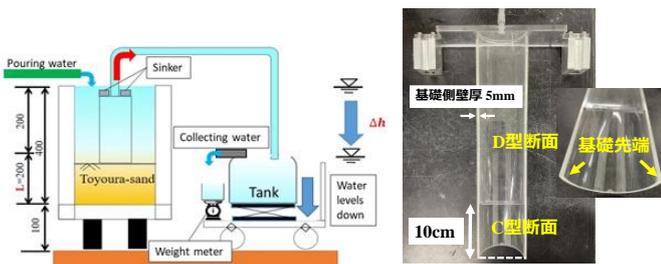


図-1 実験装置概略図

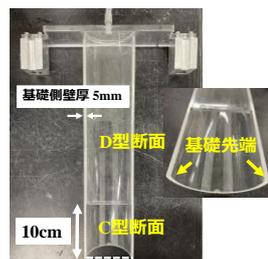


図-2 半円筒基礎模型

と、その上に養生テープを貼っている。実験条件を表-1に示す。貫入力は、以下の式で表される。

$$I_p = Mg + F_{suc} - \rho gV - F \quad (1)$$

ここで、 I_p :貫入力(N)、 M :自重(kg)、 g :重力加速度(m/s^2)、 F_{suc} :サクシオン力(N)、 ρ :水密度(kg/m^3)、 V :模型体積(m^3)、 F :摩擦力(N)である。サクシオン力 F_{suc} は以下の式で表される。

$$F_{suc} = \gamma_w(h_0 - h) \times A \quad (2)$$

ここで、 γ_w :水の単位体積重量(9.8kN/m^3)、 h_0 :基礎外の水深(m)、 h :基礎内の水深(m)、 A :頂板面積(m^2)である。半円筒模型実験では円筒模型実験とは異なり、サクシオン力と重力のほかに、浮力と観察面との間の摩擦の影響がある。既往の円筒模型実験との整合性をとるために、初期の貫入力（重量）として5Nを与えている。

3. 実験結果と考察

3.1. 噴砂の有無と境界からの水の流入について

Case1は図-3のように実験開始26分で右側の基礎先端付近から小さな噴砂が見られたため、26分で実験を終了した。Case2,3,4については、噴砂は発生せず、基礎内の地盤高さが基礎の下から10cmの断面変化部に到達したところで実験を終了した。すべてのケース

表-1 実験ケース一覧

	形式	初期貫入力 (N)	根入れ深さ (mm)	外力 (水位降下) (mm/min)
Case1	半円筒	5	25	3
Case2	半円筒	5	25	6
Case3	半円筒	5	25	9
Case4	半円筒	5	25	12

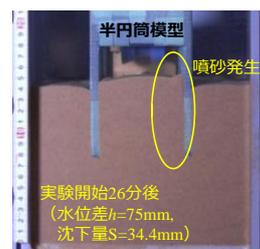


図-3 基礎内側で発生した噴砂の様子

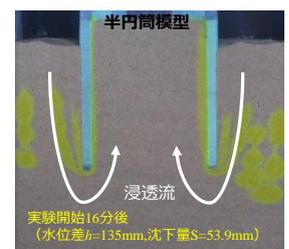


図-4 基礎先端から浸透流が基礎内部に流入する様子

(Case1 : $t=26\text{min}$, $\Delta h=75\text{mm}$) (Case3 : $t=16\text{min}$, $\Delta h=135\text{mm}$)

において観察面と模型の境界付近に浸透流を可視化するためのウラン溶液 (図-4 の黄色部分) を注入した。結果, 図-4 に示すように浸透流は基礎と観察面の境界部からは流入しておらず, 基礎先端を回り込んでいることがすべてのケースで観察された。

3.2. 外力の载荷速度, 貫入力—沈下量の関係

図-5 に各実験ケースにおける時間-沈下量の関係を示す。結果, 外力 (水位降下) の载荷速度が大きいほど沈下速度が速いことが分かる。図-6 には各実験ケースの貫入力-沈下量の関係を示す。Case2,3,4 は同じ貫入力の時には凡そ同じ沈下量になっており, 貫入力により沈下量を定量的に算定できると考える。Case1 は図-5 に示すように, 初動時に大きな沈下があったため, 他のケースとやや異なった経路となっている。貫入力が 1.5N 以降の貫入力-沈下量との関係について, Case1 は Case2,3,4 に比べ傾きが約 2 倍となっている。

3.3. PIV 解析を用いた, 基礎先端の土粒子の動き

図-7 は Case1 の実験開始 16 分後 (水位差 45mm) の基礎沈下時の基礎先端左側付近の PIV 解析結果である。基礎内部で速度の大きい領域と小さい領域の境界があることが分かる。また, 基礎先端付近の土粒子が基礎内部に進行する様子が見られる。次に基礎先端の土粒子の動きを詳細に見るために, 沈下初期 (沈下量/基礎側壁厚=約 1.04) と沈下中 (沈下量/基礎側壁厚=約 1.94) における鉛直, 水平方向の速度の PIV 解析結果を示す (図-8)。沈下初期の鉛直方向の速度を見てみると基礎直下の土粒子が貫入方向に動いている様子が確認できる (図-8, 左上)。これは基礎直下の地盤は圧縮されようとしているものと考えられる。水平方向については, 基礎付近の土粒子が基礎内部と外部の両方向に動いている様子が確認できる (図-8, 右上)。圧縮されようとする地盤が側方に広がろうとしたためであると考えられる。一方, 沈下中の鉛直方向の速度を見てみると, 基礎直下の土粒子が貫入方向に動いている様子が確認できるが, 沈下初期ほど変化領域は大きくないことが分かる (図-8, 左下)。水平方向については, 基礎付近の土粒子は主に基礎内側に入っていく様子が確認でき, 浸透流の流れる方向と一致する (図-8, 右下)。

4. 結言

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。

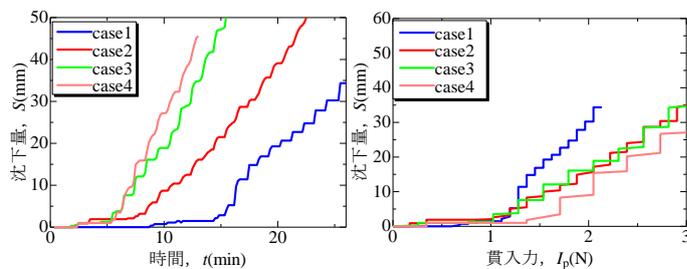


図-5 時間-沈下量の結果

図-6 貫入力-沈下量の結果

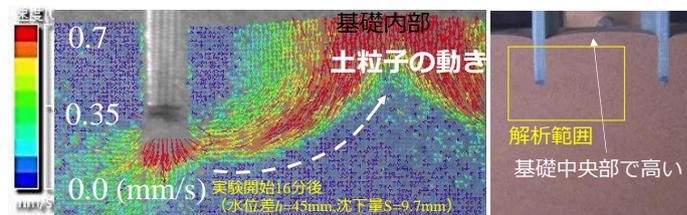


図-7 PIV 解析結果による基礎先端の土粒子の動き (合成速度)

(Case1 : $t=16\text{min}, \Delta h = 45\text{mm}$)

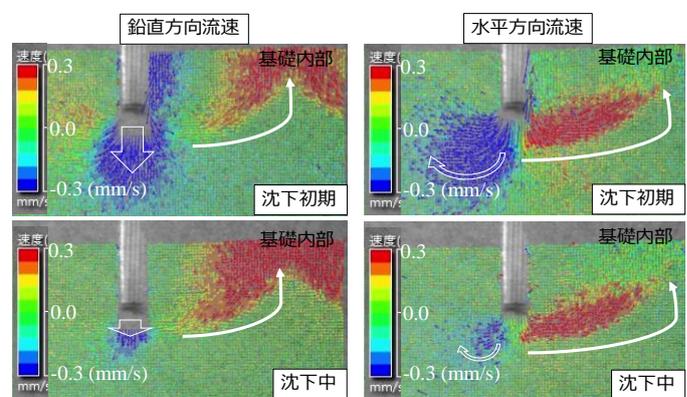


図-8 PIV 解析結果による基礎先端の土粒子の動き

(鉛直, 水平方向) (Case1 : $t=16\text{min}, \Delta h = 45\text{mm}$)

- 1) 半円筒模型においても, 既往の円筒模型実験と同じく沈下量は貫入力で定量的に算定できると考えられる。
- 2) 沈下初期において基礎先端付近の土粒子は貫入力の増加に伴い, 圧縮されようとしていると考えられる。沈下時においては, 基礎先端付近の圧縮されようとする地盤が側方に広がることにより, 基礎先端付近の土粒子が基礎内部の方向に移動することで, 基礎先端付近の地盤がゆるみ, その瞬間に沈下が発生していると考えられる。

今後は色砂を用いた半円筒模型により, 地盤のせん断やひずみの様子, および浸透流について詳細に見る予定である。

・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.