

スカートサクシヨン基礎の水平抵抗に対する解析的評価（その2：有効応力解析）

(株)大林組 正会員 ○佐藤 伸 栗本 卓 伊藤政人 松岡義博

(株)大林組技術研究所 正会員 粕谷悠紀 高橋真一

1. はじめに

スカートサクシヨン基礎における水平抵抗は周辺地盤の受働・主働土圧抵抗、底面地盤の支持力のみならず、スカート内に発生する負圧（いわゆるサクシヨン力）にも依存する。水平荷重を受けると、図-1 に示すように、スカート自体に偶力による変形が生じる。引張側については、変形の鉛直成分によって体積膨張が生じようとするものの、スカート外側からの透水が十分でないとスカート内側に負の間隙水圧（サクシヨン）が発生する。一方、圧縮側については体積圧縮に伴い、正の間隙水圧が生じることになる。そこで、本検討では、スカートサクシヨン基礎の実海域試験を有限要素法によりモデル化して、有効応力解析を実施してサクシヨン効果の検証を行った。

2. 解析概要

(1) モデル化方針

実海域試験の試験体を3次元でモデル化した。解析モデルを図-2 に示す。地盤のモデル化領域は水平方向がスカート部外径 D (5.0m) の3倍、鉛直方向は20mまでモデル化した。スカート部と地盤の間は不連続体とし、すべりと剥離を考慮できるようにした。詳細はAbaqus マニュアル²⁾を参照願いたい。頂版と地盤の間の水圧を表現するため、極小の剛性を有し、ポアソン比を0.499とした水をモデル化する要素を配置した¹⁾。サクシヨン基礎はシェル要素でモデル化し、地盤はソリッド要素でモデル化した。スカート部先端と地盤間には剥離が可能なようにジョイント要素を配置した。モデル化概要図を図-3 に示す。境界条件のうち、力学については、法線方向固定及び接線方向自由の条件を与えた。水理については、全て不透水境界とした。

(2) 解析コード、材料構成モデル及び材料パラメータ

本解析で使用した解析コードはAbaqus2017²⁾を使用し、大変形まで追従できるように幾何学的非線形性を考慮した。適用した材料構成モデルはサクシヨン基礎を弾性体とし、地盤は弾塑性構成モデルである修正Cam-Clayモデルとした。なお、地盤は砂質土であることから、正規圧密状態とした。水をモデル化した要素については、多孔質弾性体とした。

地盤の材料パラメータは原位置ボーリングデータの N 値から推定する。ただし、適用する材料構成モデルは修正Cam-Clayモデルであることから、膨潤指数及び圧縮指数が必要となる。そこで、 N 値から推定したヤング係数 ($E=2800N$) と各層中心位置における鉛直応力を用いて体積弾性係数から膨潤指数を算出した。この時、ポアソン比は0.33とした。圧縮指数については、膨潤指数の10倍とし、限界状態指数 M は ϕ から算出した。なお、内部摩擦角 ϕ については、小山ら³⁾で用いた値を使用している。砂の透

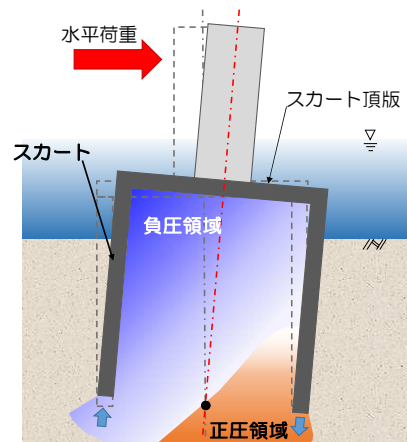


図-1 スカート内の水圧分布の概念図

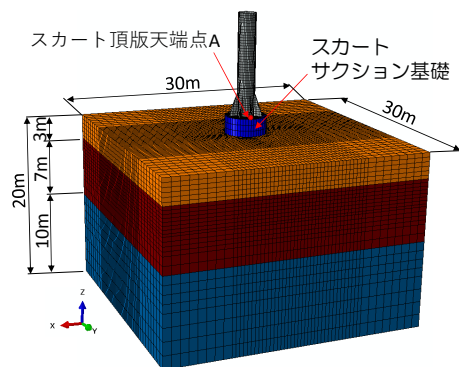


図-2 解析モデル

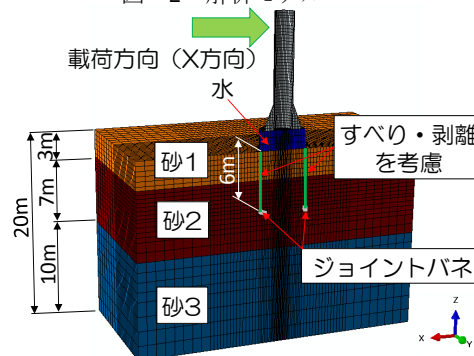


図-3 モデル化概要図

表-1 材料パラメータ

地層	N値	単位体積重量 $\gamma(kN/m^2)$	ポアソン比 ν	膨潤指数 κ	圧縮指数 λ	限界状態指数 M
砂1	1	8.0	0.33	0.014	0.145	1.113
砂2	20	10.0	0.33	0.002	0.020	1.549
砂3	30	10.0	0.33	0.004	0.041	1.679

キーワード スカートサクシヨン基礎, サクシヨン, 有効応力解析法

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組生産技術本部設計第二部 TEL 03-5769-1307

水係数は現地の砂のサンプリングによる20%粒径 D_{20} からCreagerの推定式より $1.6E-5m/s$ とした。解析に用いた材料パラメータを表-1に示す。

(3) 初期応力及び解析ステップ

地盤の初期状態を作成するため、初期応力解析を初めに実施し、その後、スカートサクシヨン基礎の水平変位制御による有効応力解析を実施した。初期応力の作成は、地表面で水深11.5m分の水圧が生じるものとし、地圧は有効応力下で乾燥密度に応じた地圧分布となるように釣合い計算を行った。

3. 解析結果

解析結果として、スカート頂版天端A点における水平変位 δ と水平載荷荷重 P との関係を図-4に示す。比較のため、小山ら³⁾が実施した全応力解析の結果も合わせて示す。ここで、有効応力解析における耐力については、実験結果と概ね一致する結果を得た。また、全応力解析に比べ、有効応力解析の方が、基礎の変形剛性が高いのが分かる。これは、サクシヨン効果による基礎の変形剛性の増加を示している。次に、スカート頂版天端A点の水平変位とスカート内で計測された水圧との比較を行った。比較結果を図-5に示す。ここで、実験と解析では同様な傾向を示す結果となり、特に頂版下の水圧の再現性が良い。これは、頂版と地盤間の水を模擬した要素の剛性を小さくしたことにより、変形によって体積変化しやすい条件になっていることによる。先端については、スカート部の偶力変形の鉛直変位成分によって体積膨張が起こり、間隙水圧が低下したものと言える。スカート内の過剰間隙水圧分布を見るため、図-6に変形ごとの分布図を示す。変形が増加すると、スカート内部及び周辺の間隙水圧が低下あるいは増加するが、増加部分は小さい。

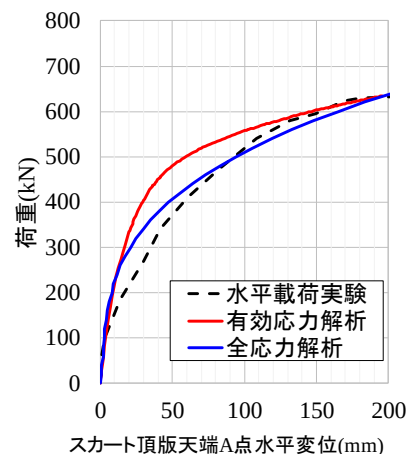


図-4 P- δ 関係

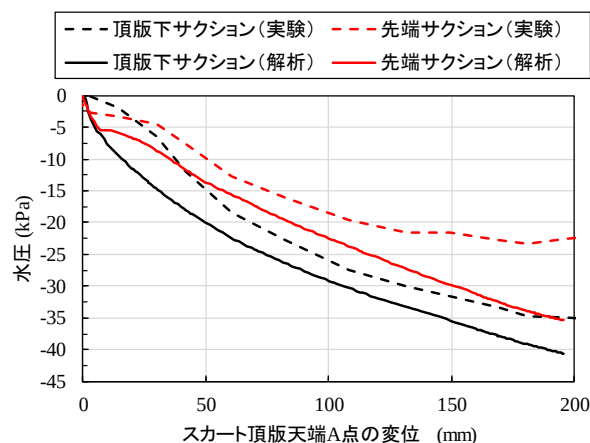


図-5 水平変位-サクシヨン圧関係

4. おわりに

本検討では有効応力法を用いた解析による、スカートサクシヨン基礎の水平載荷試験に対する再現解析を行った。検討の結果、P- δ 曲線の最終耐力は実験とほぼ一致する結果となり、水平変位サクシヨン関係も実験に対して良好な再現性が得られた。今後は遠心模型実験における単調載荷試験、動的試験の再現解析を行うことで解析手法の妥当性の検証を進めていく予定である。

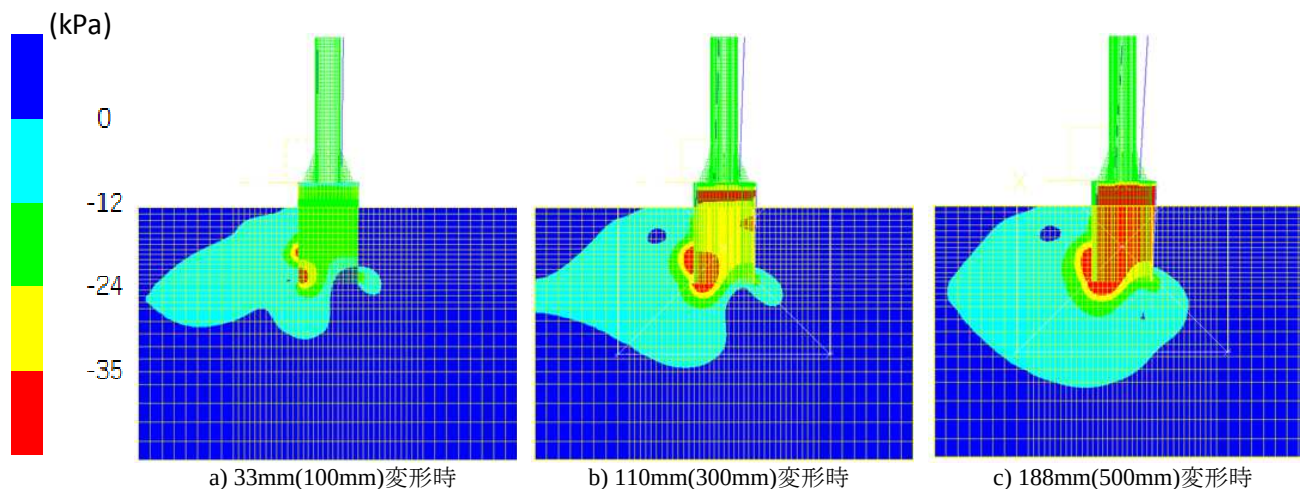


図-6 過剰間隙水圧分布 (変形量はスカート頂版の水平変位量, ()内は鋼管天端の変形量) (変形倍率: 2倍)

参考文献 1) Martin et al.: Numerical Simulation of the Tensile Resistance of Suction Buckets in sand, Journal of Ocean and Wind Energy, vol. 1, No.4, pp.231-239, November 2014., 2) Dassault System: ABAQUS 2017 analysis user's manual., 3) 小山ら: スカートサクシヨン基礎の水平抵抗に対する解析的評価(その1: 全応力解析), 第72回土木学会年次学術講演会, 2017年9月。