

## 洋上風力基礎スカートサクシジョンの実海域実験（その2：貫入・撤去）

(株)大林組

正会員 ○小山宏人 伊藤政人 栗本 卓

(株)大林組技術研究所

正会員 山田祐樹 粕谷悠紀

## 1. はじめに

スカートサクシジョン基礎は、スカート内部から排水することで海底地盤中に貫入して安定性を確保し、逆に注水することで撤去が可能である。この貫入撤去を確実にを行うためには、地盤調査結果に基づき、あらかじめ正確な抵抗予測をすることが求められる。そこで本報告（その2）では、実海域大型模型実験での貫入抵抗および撤去抵抗の実測値と国内外の既往予測式による算定値を比較、評価した結果について報告する。

## 2. 貫入実験

試験体は鋼製タワー部（外径 2.5m、高さ 27.7m）と鋼製スカート部（外径 12.0m、スカート長 8.0m、スカート厚 25mm）からなる（Fig 1）。スカート内部に十字状の隔壁（板厚 20mm）を設け 4 分割し、それぞれに 8 インチ水中ポンプを配置した。当該地の水深は約 13m、標準貫入試験およびコーン貫入試験より  $N=5\sim 50$  程度、 $q_c=0\sim 40\text{MN/m}^2$  程度の砂層である。

貫入実験は、クレーン船にて試験体を所定の場所まで吊曳航し、その後海中に吊りおろして自重により所定量貫入させた後、排水ポンプおよびバキュームポンプによりスカート内の水圧を下げることでスカートを所定の深さまで地盤に貫入させる手順とした。主な計測項目は、スカート内外の間隙水圧、排水流量および注水流量、試験体の傾斜角および変位（ $x, y, z$ ）、クレーン吊り荷重である。

貫入量の経時変化を Fig.2 に示す。自重により約 0.5m 貫入させた後、通水のため開けていた頂版貫通孔を閉塞し、排水を開始した。排水流量はポンプ 1 台あたり  $1.2\sim 1.3\text{m}^3/\text{min}$  でほぼ一定で、その時の貫入速度は約  $45\text{mm}/\text{min}$  であった。貫入開始から完了まで要した時間はおよそ 110 分であった。

Fig.3 に標準貫入試験の N 値分布を、Fig.4 に貫入量と貫入抵抗の実測値およびサクシジョン基礎構造物技術マニュアルリでの算定値を示す。貫入抵抗実測値は、自重（約  $2,000\text{kN}$ ）+サクシジョン荷重（サクシジョン圧×スカート内面積）-クレーン吊り荷重 として算定した。

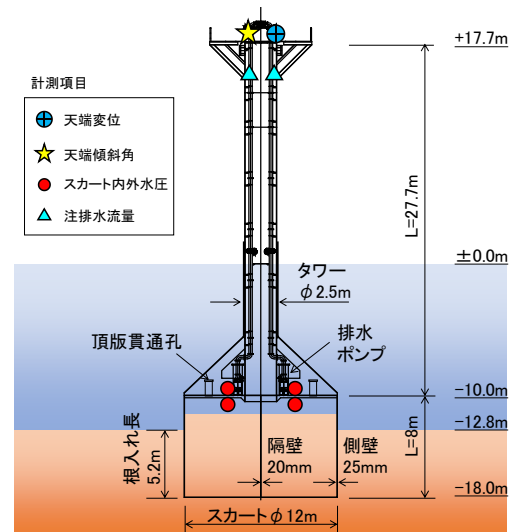


Fig. 1 試験体及び計器配置図

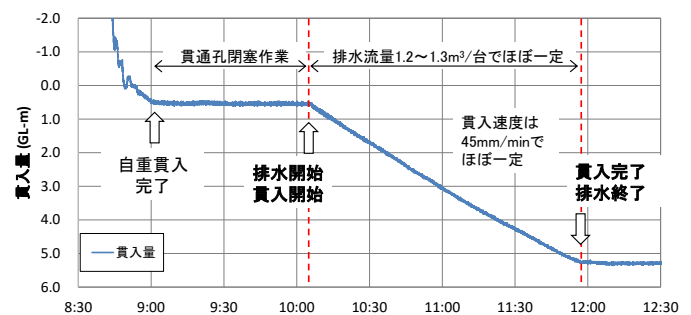


Fig. 2 貫入量の経時変化（貫入実験）

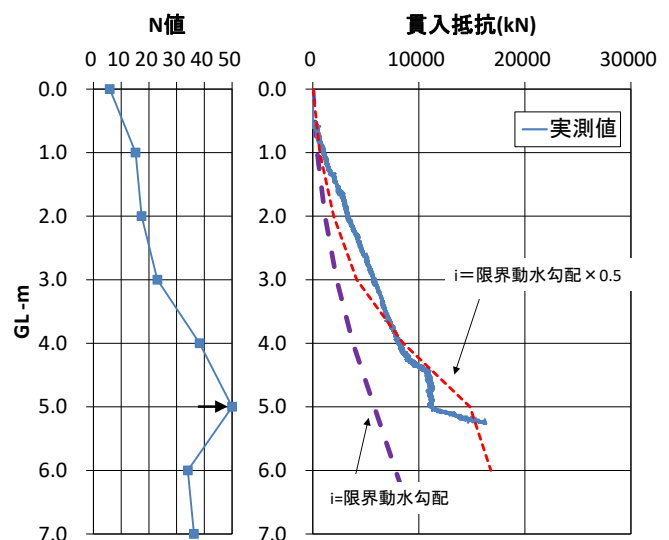


Fig. 3 N値分布

Fig. 4 貫入量-貫入抵抗（その1）

キーワード スカートサクシジョン基礎、サクシジョン、貫入抵抗、引抜抵抗

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 TEL 03-5769-1307

サクシオンマニュアルによる貫入抵抗は、先端抵抗を  $N_q \sigma'_v$  ( $N_q$ : 支持力係数,  $\sigma'_v$ : 有効土被り圧 =  $\gamma'z$ ), 周面抵抗を  $\mu K_0 \sigma'_v$  ( $\mu$ : 摩擦係数;  $K_0$ : 静止土圧係数) として算出する. この時の  $\sigma'_v$  はサクシオンにより生じる上向きの動水勾配  $i$  の効果を考慮した ( $\sigma'_v = (\gamma' - i\gamma_w)z$ ). 今回, 基礎内側を限界動水勾配  $i_{cr}$  の 1/2 程度とした場合に実測値と概ね一致した.

Fig.5 にコーン貫入試験の  $q_c$  値分布を, Fig.6 に DNVGL-RP-C212<sup>2)</sup>での貫入抵抗予測値を示す. DNVGL による貫入抵抗は, 先端抵抗および周面抵抗の  $q_c$  値にそれぞれ係数 (Most probable, Highest expected の 2 種類) を乗じることで求める. 先端抵抗および周面摩擦に乗じる係数は, Highest expected に比べ Most probable の方が実測値に近いことが分かる.

### 3. 撤去実験

貫入完了から約 1 年間放置した後, 注水ポンプを用いて海水をスカート内へ注水して引抜撤去を行った. 撤去実験での貫入量の経時変化を Fig.7 に示す. 注水開始からスカートを 1m 程度引き抜くまでの間は, 注水流量を  $0.5 \sim 1.5 \text{ m}^3/\text{min}$  まで段階的に増加させた. 注水流量  $1.5 \text{ m}^3/\text{min}$  でほぼ安定時の引抜速度は約  $54 \text{ mm}/\text{min}$  であった. スカートの根入れが  $0.5 \text{ m}$  程度になるまで試験体を引き抜いた後, クレーンにより完全に持ち上げて撤去を完了した. 引抜開始から完了までの時間はおおよそ 110 分であった.

Fig.8 に貫入量と引抜抵抗の実測値, サクシオンマニュアルおよび DNVGL (API 法<sup>3)</sup>)での算定値を示す. 引抜抵抗実測値は, サクシオン荷重+クレーン吊り荷重-自重として算定した. サクシオンマニュアルでの周面抵抗は  $\mu K_0 \sigma'_v$  で算定され,  $\sigma'_v$  に下向きの動水勾配を考慮した ( $\sigma'_v = (\gamma' + i\gamma_w)z$ ). 算定値は  $K_0$  を 0.75 としたときに実測値に近くなっており, これはスカート貫入時の排土によりスカート面に作用する静止土圧が増加した影響が残っていた可能性が考えられる. 一方で, API 法の周面抵抗は地盤の相対密度に応じて  $\sigma'_v$  にある係数に乗じて求める方法であり, API 法による算定値は実測値と概ね一致した.

### 4. まとめ

スカートサクシオン基礎の実海域大型模型での貫入/撤去実験を行い, 実験で得られた貫入/撤去抵抗実測値と国内外の既往予測式による算定値を比較した. ①貫入も撤去も 2 時間以内で終了し実機でも半日程度の作業で終わることを検証した, ②貫入/引抜速度は排水/注水量で制御可能である, ③貫入時は DNVGL 式で概ね一致し, サクシオンマニュアルでは動水勾配  $i$  の設定が重要である, ④撤去時は API 法で概ね一致し, サクシオンマニュアルでは  $K_0$  設定が重要である.

### 参考文献

- 1) 財団法人沿岸開発技術研究センター:サクシオン基礎構造物技術マニュアル,平成 15 年 3 月, 2) DNVGL:DNVGL-RP-C212, Edition August 2017, 3) American Petroleum Institute : API-RP-2GEO Addendum 1, October 2014.

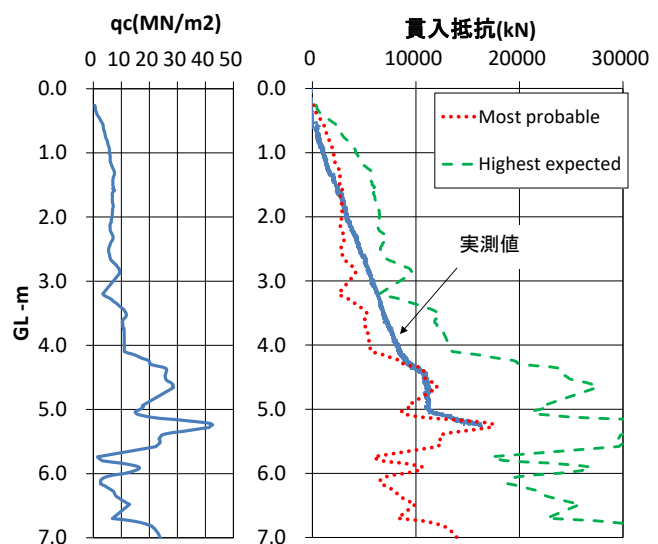


Fig. 5  $q_c$  値分布 Fig. 6 貫入量-貫入抵抗 (その 2)

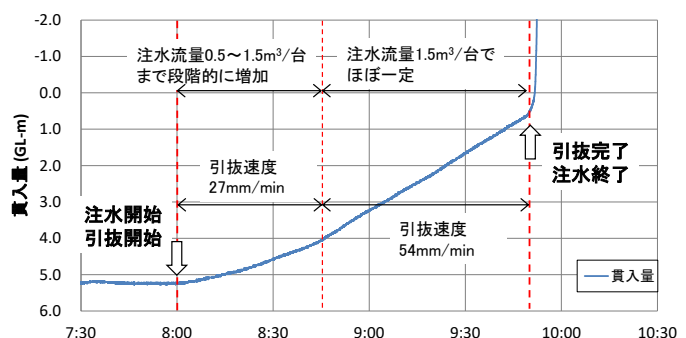


Fig. 7 貫入量の経時変化 (撤去実験)

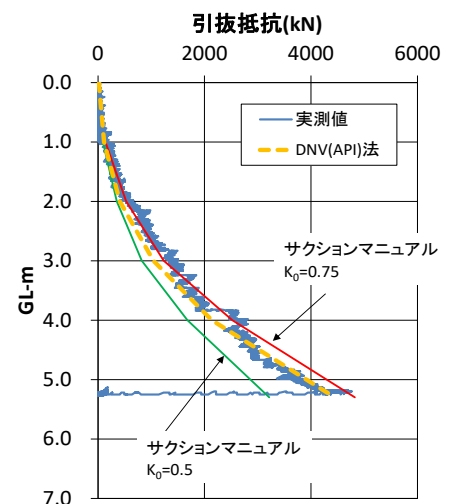


Fig. 8 貫入量-引抜抵抗