模型実験に基づくサクションアンカーの液状化後の引抜き挙動に関する基礎的検討

東北大学 学 〇小室諒祐 正 加村晃良 フ 風間基樹 東京電力ホールディングス 正 富田真之

1. 研究背景と目的

サクションアンカー(以下, SA)とは,底部が開口し ている円筒状の基礎を海底に設置し,内部を強制排水 することにより発生する基礎内外の水圧差(サクショ ン)を利用して,海底地盤に根入れする基礎形式である. SA は海上での施工合理性から重用されるが,液状化時 の引抜き挙動についての先行研究が少なく,SA 周辺地 盤の有効応力と極限引抜力等の関係について定量的評 価がなされていない現状である.地震時の液状化挙動 については,サクションバケット基礎を対象としたも のに限られる¹⁾.本研究では,基礎的研究として,模型 実験による液状化後の SA の引抜き挙動の評価を試み た.SA の引抜き耐力と周辺地盤の間隙水圧の変化に着 目した評価を実施した.

2. 実験方法

液状化後の SA 引抜き挙動に着目するため, 土槽の底 面より水頭を付与し,静的に液状化させた基礎地盤を 用いて、1G場で引抜き試験を実施した. 土槽の寸法は 400 mm × 600 mm × 500 mm であり(図 1), 縮尺 1/100 のアクリル製の SA 模型を用いた(写真 1). 寸法は高 さ100 mm で, 円筒の直径が50 mm, 70 mm, 100 mm の3種類を設定した.実験装置は、土槽の上流側にオー バーフロー水槽を接続し, 土槽上面(下流側) との水頭 差を一定に保持しつつ土槽底面から通水し、静的に液 状化を生じさせる機構とした, 土試料には岐阜硅砂7号 を用い, 層厚 500 mm で相対密度 50% となるよう締固め 法により作成した. 土槽断面の中央部と端部(土槽の壁 面から 50 mm) には、底面から 150 mm 間隔で 8 箇所に 間隙水圧計(東京測器社製, KPH-50KPA)を設置し,う ち1つはSA内に配置された(P8). 土槽中央の上部に はレーザー変位計(キーエンス社製, IL-600)を設置し, 引抜き時の鉛直変位を計測した. SA 上部にはロードセ ル (東京測器社製, TCLZ-50NA, TCLZ-100NA)を設定 し、変位と同期をとって荷重計測を実施した.

SA 模型の挿入は,水頭差を付与した状態(有効応力 がゼロの状態)で行った.挿入後に一旦排水し,静水圧 に戻して初期状態とした(後述の結果は,この状態を時 刻0秒としてプロット).引抜き荷重測定時は,再び土 槽内部を静的液状化の状態にし,水圧が定常状態であ ることを確認したのち,SA を引き抜いた.このとき, 引き抜きは荷重増分10 N/s となるようロードセル計測 値をモニタリングしながら行った.以上の手順をSA 模 型3ケースについて,それぞれ実施した.



高さはいりれ 100mm写真1 使用した SA 基礎模型(縮尺 1/100)

D=100

D=70

実験結果と考察

D=50

図2から4は、SA模型を鉛直方向に引き抜いた際の、 引抜き荷重と鉛直変位の関係を示したグラフである. 引抜き実験は3回実施し、再現性に問題ないことを確 認した.結果より、直径が大きくなるほど引抜き耐力が 大きくなることが分かる.また、どの直径においても最 大荷重を示したときの鉛直変位が50~70 mm 程度であ った.これは、基礎の根入れの約半分が引き抜かれたと きに最大引抜き耐力が発揮されることを示している. このことは、SAの引抜き抵抗が、単にSAと地盤間の 摩擦抵抗によるものだけではないことを意味している.

図5から7は、SA模型を引き抜いた際の荷重と間隙 水圧計各々の時刻歴を両軸グラフで示したものである. これらより、SA模型内部の間隙水圧(P8)が、引き抜 かれている間に減少していることが分かる.また、間隙 水圧の最小値をとる時刻が概ね最大引抜力を記録した 時刻に一致する.これら挙動は、SA模型を引き抜くこ とによって、SA模型円筒内の間隙水圧が静水圧よりも 低下し、土を模型円筒内に保持するようにサクション が作用したと解釈することができる. さらに、有効応力 の観点で考えると、液状化していた模型地盤の有効応 力が回復することにより、SA 模型内壁と土の間で周面 摩擦力が発揮されたことも考えられる.

なお, SA 模型直下 100 mm の位置の間隙水圧計(P7) も,引き抜いている間に減少していることが分かるが, 直径が大きくなるほど下がり幅が大きくなる傾向を示 した.これは,基礎の直径の大きさによって深度方向の 影響範囲が異なることを示している.



図2 模型直径 D=50 mm での荷重-鉛直変位関係



図3 模型直径 D=70 mm での荷重-鉛直変位関係



図4 模型直径 D=100 mm での荷重-鉛直変位関係



図5 模型直径 D=50 mm での荷重と水圧の時刻歴変化



図6 模型直径 D=70 mm での荷重と水圧の時刻歴変化



図7 模型直径 D=100 mm での荷重と水圧の時刻歴変化

4. まとめ

模型実験による液状化後の SA の引抜き挙動の評価 を試みた.得られた知見は以下のとおり.

- SAの根入の約半分が引き抜かれたとき(間隙水圧 が最小値をとるとき)に最大引抜き耐力を示した.
- 引抜き時に、SA 模型円筒内の間隙水圧が低下し、 土を模型円筒内に保持するようにサクションが作 用したことで抵抗力が増加した。

参考文献

 K. Ueda, R. Uzuoka, S. Iai and T. Okamura : Centrifuge model tests and effective stress analyses of offshore wind turbine systems with a suction bucket foundation subject to seismic load, Soils and Foundations, Vol. 60, No. 6, December 2020, pp. 1546-1569.