

牽引時に回転を伴う場合のサクシオンアンカー把駐力に関する遠心模型実験

東海大学 正会員 ○北 勝利
九州大学 正会員 宇都宮智昭
(株)海洋河川技術研究所 正会員 関田 欣治

1. はじめに 日本近海における洋上風力浮体係留基礎としてのサクシオンアンカーの適用性に関する実証プロジェクトでは、3点係留において1点が効力を失った場合の把駐力検討を行っている。ここでは、通常時の係留索方向より水平面内で約60度回転した方向に牽引した場合の把駐抵抗について、遠心模型実験により調査した。

2. 実験概要 実験では、地盤材料として8号硅砂 ($D_{50} \div 0.06\text{mm}$, $U_c \div 3.5$)及び梶島沖海底表層土 ($D_{50} \div 0.09\text{mm}$, $U_c \div 35$)を用いて、矩形土槽(内寸幅510mm, 奥行200mm, 深さ350mm)内の脱気水(後出表1中ケース2, 4では粘性20mPasの増粘剤水溶液)の上方より乾燥

土粒子を降下させた後、脱気及び20G遠心力場において自重圧密することにより水平地盤を作成した。20G場においてミニチュアコーン貫入試験(CPT)を実施した後、アンカー模型(図1)を鉛直方向に滑動するガイドロッドに固定し、所定位置まで最終的に手で地盤中に押し込み設置した。アンカーよりガイドロッドを取り外し、20G遠心力場でアンカーに連結した係留索ワイヤーを固定滑車等を介して定速度で斜め上方に牽引した。アンカーの初期姿勢が、上から見てアンカー中心と係留索連結点を結ぶ線が土槽長手方向に対し60度回転している場合(回転牽引)と、両者が同方向の場合(正面牽引)について、牽引抵抗性状を比較した(図2)。

実験ケースを表1に示す。表中 ϕ_{CPT} はCPT結果より Lunne and Christoffersen²⁾式を用いて評価した内部摩擦角である。また P_{DC} は, Deng and Carter³⁾法で内部摩擦角として ϕ_{CPT} , ダイラタンシー角 $\psi = 5^\circ$, 土圧係数 $K = 0.5$ として求めた把駐力計算値を示している。

3. 実験結果と検討 実験で観測されたワイヤー引張量と張力の関係を図3に示す。正面方向に牽引する場合(図中実線), 硅砂の場合で張力が200N, 海底土の場合で130~140N程度まで剛性が高く, その後剛性が連続的に低減している。一方回転牽引(破線)の場合は, 硅砂の場合で90N程度(ケース3)または70N程度(ケース4), 海底土の場合で50N程度において最初の明確な剛性低下(降伏点)が認められ, その後最大張力 T_{max} 付

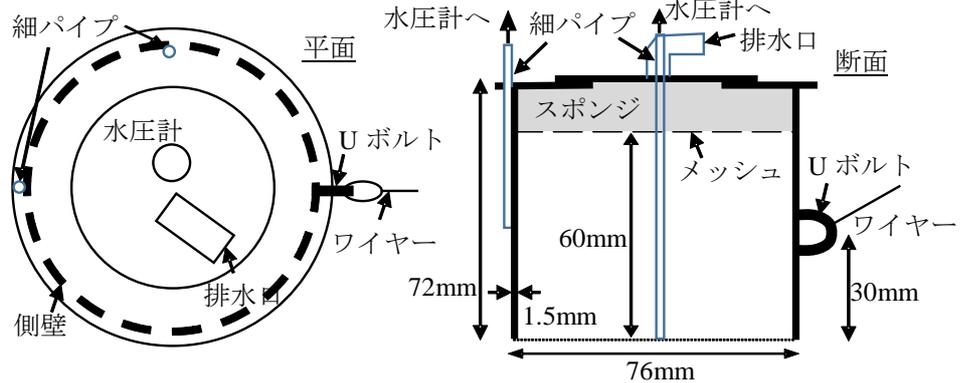
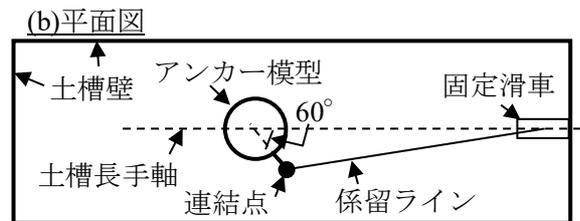
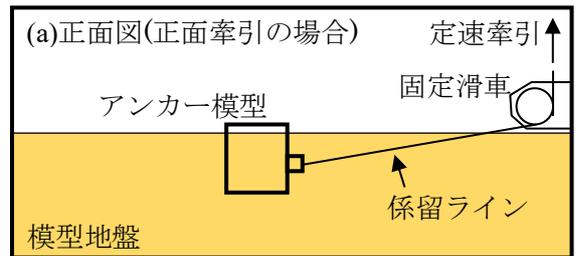
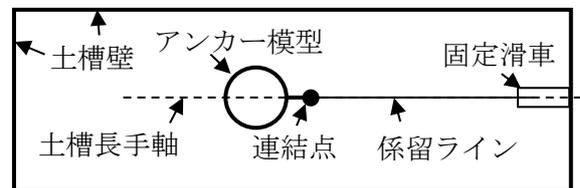


図1 アンカー模型



回転牽引(牽引時に水平面内に回転が生じる場合)



正面牽引(アンカー前方正面に牽引する場合)

図2 実験概要

キーワード 浮体係留, サクシオンアンカー, 把駐力, 回転, 遠心模型実験

連絡先 〒424-8610 静岡市清水区谷田 3-20-1 東海大学海洋学部環境社会学科 TEL 054-334-0411

近で再度明確な剛性変化が見られるトリリニア型張力応答となっている。

次に地盤の透水性が低く牽引速度が大きなケースについて、アンカー天板直下における水圧挙動を図4に示す。正面牽引のケース2では張力の増大過程で負圧が堅調に成長しているのに対し、ケース4では牽引初期段階で正の水圧が発生後、降伏点以降徐々に水圧が低下、負圧に推移している。

今アンカーが中心軸の水平移動や傾斜、鉛直変位を伴わず純粋に水平面内でねじり回転する場合の張力 P_y について、牽引張力によるアンカー中心軸回りの回転モーメント、アンカー外周面摩擦抵抗のモーメント効果とアンカー底面での地盤せん断強度に基づく回転抵抗モーメント効果間のつり合いより求めると、次式が得られる。

$$P_y = \frac{\pi \gamma' R^2 L}{4 r_M \cos \theta \sin \theta_H} \left\{ LK \tan \delta + \frac{R^3}{3} \tan \phi \right\}$$

ここに、 γ' :地盤の有効単位体積重量、 ϕ :内部摩擦角、 δ :壁面摩擦角、 K :静止土圧係数、 R :アンカー直径、 L :根入、 r_M :アンカー中心軸からワイヤー連結点までの水平距離、 θ :牽引仰角、 θ_H :牽引方向の水平偏角である。なお上式では計算の簡単化のため、アンカーの側壁厚を0、アンカー底面でのせん断強度を根入に対応する有効土被り圧で評価している。ここで、 $\phi = \phi_{CPT}$ 、 $\delta = \phi/3$ 、 $K=0.5$ 、 $\theta_H=60^\circ$ とした P_y の計算結果を表1に示す。実験での降伏張力 T_y は P_y に対し、珪砂を用いたケースで1.4~1.5倍、海底土を用いたケースではほぼ同等となる。

一方緩速牽引の場合における実測最大張力 T_{max} と Deng and Carter 法による把駐力計算値 P_{DC} を比較すると、正面牽引の場合で $T_{max}/P_{DC} \cong 1.5$ (ケース1) または 1.64 (ケース5) に対し、回転牽引の場合で $T_{max}/P_{DC} \cong 1.25$ (ケース3) または 1.4 (ケース6) となり裕度が小さくなるものの、依然 P_{DC} は安全側の値となっている。

謝辞 本研究は環境省平成29年度CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「浮体式洋上風力発電施設における係留コストの低減に関する開発・実証」の一部として行われたものである。記して謝意を表します。

参考文献 1)九州大学 他：環境省平成27年度CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「浮体式洋上風力発電施設における係留コストの低減に関する開発・実証」委託業務成果報告書，2016。2)Lunne and Christoffersen：OTC4464, 1983。3)Deng and Carter：OTC12196, 2000。

表1 実験ケース

ケース	1	2	3	4	5	6
土試料	珪砂				海底土	
牽引方向	正面	正面	回転	回転	正面	回転
牽引速度(mm/s)	0.52	1.94	0.53	1.97	0.49	0.51
間隙比 e	1.09	1.11	1.08	1.11	1.77	1.76
根入 L(mm)	62	61	63	58	59	61
内部摩擦角 $\phi_{CPT}(^\circ)$	34.6	29.1	34.4	29.0	32.2	33.2
初期牽引仰角 $\theta(^\circ)$	15.5	18.0	13.3	14.8	15.1	13.7
降伏張力(実験) $T_y(N)$			90	70		50
降伏張力(計算) $P_y(N)$			64	47		46
最大張力 $T_{max}(N)$	246	291	222	245	184	172
把駐力計算値 $P_{DC}(N)$	164	133	177	126	112	123

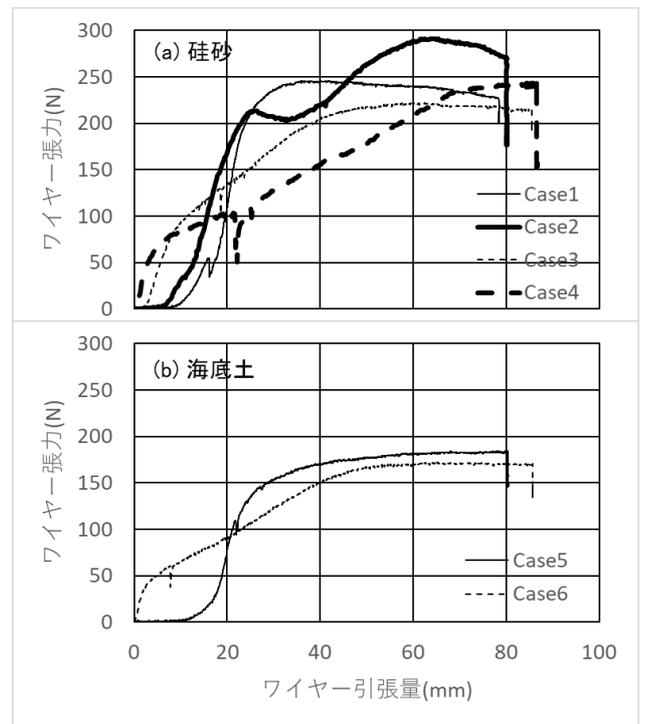


図3 ワイヤー引張量～張力関係

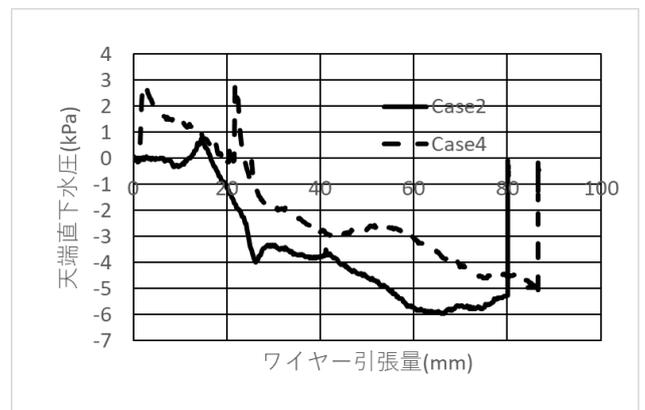


図4 ワイヤー引張量～天端直下水圧関係