

サクシオンアンカーの把駐特性に関する遠心模型実験 Centrifugal Experiments on Holding Capacity of Suction Anchors

北 勝利¹

1 東海大学・海洋学部・kita@scc.u-tokai.ac.jp

概 要

サクシオンアンカーは、浮体式海洋構造物の係留基礎として杭や平板式アンカーに比べ大水深域での施工性や設置精度の点で有利であり、洋上風力発電や海底資源開発基地への適用が期待される。本報告では、テンションレグプラットフォームなど緊張係留を念頭に、鉛直および高仰角の斜め上方引き抜き荷重に対するゆる詰め細砂地盤中のサクシオンアンカーの把駐抵抗やアンカー内の水圧発現挙動に及ぼす係留索引き抜き速度の影響について、10g 遠心力場模型実験による検討を試みた。実験より、鉛直上方牽引では牽引速度増大に伴い最大把駐抵抗が大きくなる効果とピーク後の把駐抵抗低減の抑制効果が見られた、斜め上方引き抜きの場合と比較して鉛直上方引き抜きでは小さな変位で引き抜き抵抗がピークに至った、などの結果を得た。

キーワード：サクシオンアンカー，把駐力，緊張係留，細砂地盤，遠心模型実験

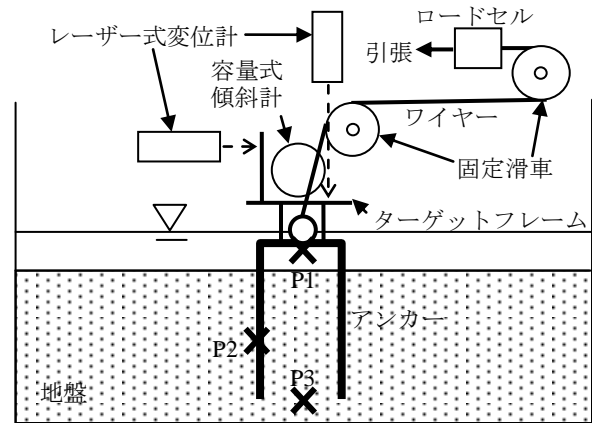
1. はじめに

サクシオンアンカーは、大水深域における浮体構造物の係留基礎として、海外における海底油ガス田掘削プラットフォームにおいて多くの採用実績がある¹⁾²⁾。杭やドラッグ式アンカーと比較して大水深域での施工性や設置精度などの点で有利であり、洋上風力発電基地などにおける浮体構造物の係留基礎として有望と考えられる。海外では粘土地盤への適用事例が豊富であるのに対し、日本近海における利用にあたり、砂～シルト質地盤での把駐挙動³⁾について検討する必要がある。

本報告では、テンションレグプラットフォームなど鉛直または高仰角の緊張係留を念頭に、ゆる詰め砂質地盤中のサクシオンアンカーの把駐挙動に及ぼす係留索引き抜き速度の影響について、10g 遠心力場における単調引き抜き試験により検討する。

2. 実験方法

内寸で幅 510mm、奥行 200mm、深さ 350mm の矩形土槽内にメトロス水溶液(粘性係数 12~13mPa・s)を入れ脱気後、土槽上端位置より気乾状態の 8 号珪砂(土粒子密度 2.64g/cm³、平均粒径 D₅₀=0.095mm、最大間隙比 1.29、最小間隙比 0.74)を落下させ、さらに脱気後 10g 遠心力場で 30 分間自重圧密することで、層厚 148~155mm、相対密度 23~35%のゆる詰め水平地盤を作成した。次にアンカー模型をアンカー天板の排水口を開口した状態で鉛直ガイドロ



× P1-P3:水圧計測位置

図1 引き抜き実験概要

ッドに沿って 10g 遠心力場において地盤中に自沈させた後、アンカー内部水を排水口より負圧を用いて吸水することにより、アンカーを沈設した。排水口を閉塞しアンカーをガイドロッドから外した後、アンカー天板に連結したワイヤーを、滑車を介して電動アクチュエータにより鉛直または斜め上方に定速度で牽引した。引き抜き段階での実験概要を図 1 に示す。

実験で用いたアンカー模型の概略図を図 2 に示す。高さ 87mm、外径 50mm、肉厚 1.2mm の下端開口円筒で、天板にはワイヤー連結のための U ボルト、排水口、水圧センサが設置されている。また円筒部内面には下端位置(図 1 中 P3 の位置)まで、外面後側には下端から 36mm 位置(図 1 中 P2 の位置)まで細パイプが接着されている。これらのパ

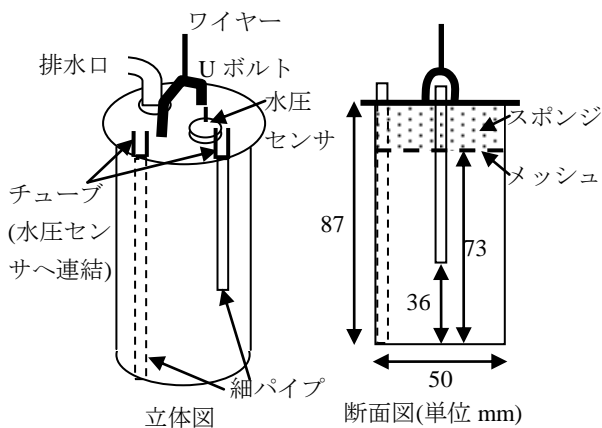


図2 アンカー模型

ワイヤ上端はチューブを介して水圧センサに連結されている(図2 立体図参照)。アンカー内部は金属メッシュを境に2室に分かれており、上室には負圧による吸水時における土粒子フィルタリング用途のスポンジを挿入している。引き抜き実験時には、アンカー上方に容量式傾斜計を固定したフレームを設置し、アンカー傾斜角を計測するとともに、水平および鉛直変位計測のためのレーザー式変位計のターゲットとして用いた。ただし、鉛直上方引き抜き実験では、水平変位および傾斜角は計測していない。

実験ケース一覧を表1に示す。ケース1-1~1-3では鉛直上方に、ケース2-1、2-2では初期仰角58度の斜め上方にワイヤを牽引している。実験では、急速な間隙圧消散の抑制を目的として動的遠心実験における粘性スケールングを参考に、高粘性のメトロース水溶液(粘性係数12~13mPa・s)を間隙流体として用いている。

表1 実験ケース一覧

ケース	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2
地盤厚(mm)	150	148	151	155	155
相対密度(%)	25	35	30	31	23
根入(mm)	87	74	72	86	85
牽引速度(mm/s)	1.9	0.71	0.32	1.9	0.52
牽引方向	鉛直上方			斜め上方	

層厚及び相対密度はアンカー沈設前の値

自重圧密後に10g遠心力場で実施した簡易コーン貫入試験(底部直径10mm)における、貫入抵抗(周面摩擦抵抗を含む)の深度分布を図3に示す。ケース1-2のみ貫入抵抗がやや大きくなっているものの、概ね再現性があるものと考えられる。

3. 実験結果

鉛直上方に急速牽引したケース1-1における、アンカー鉛直変位とワイヤ張力の関係を図4(a)に示す。張力約50Nまでアンカー変位はほぼ0で、その後張力の増大と共に変位も進行し、変位1.7mmで張力の最大値77Nに至る。

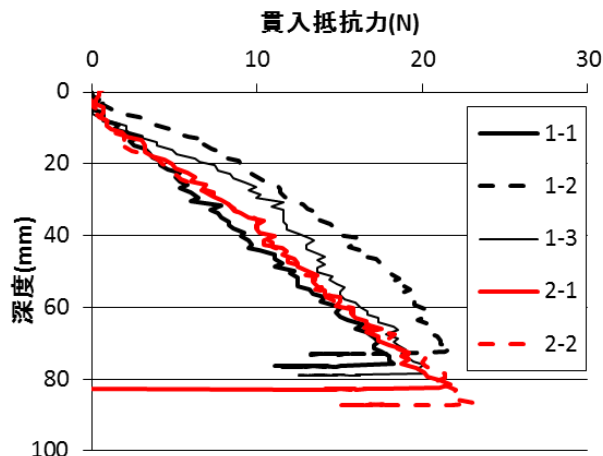


図3 コーン貫入抵抗の深度分布

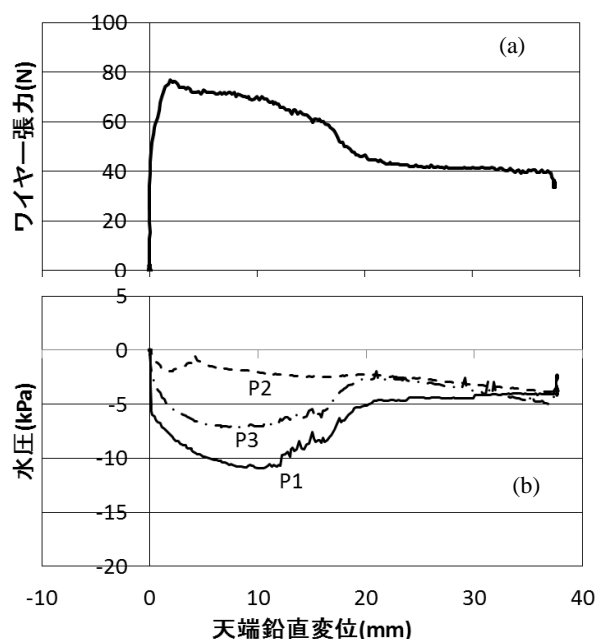


図4 実験結果(ケース1-1)

変位10mmまでは張力70N以上を維持するが、その後張力は変位と共に漸減し、変位20mm以降牽引停止まで約60Nで概ね一定となっている。同ケースにおける、アンカー天端直下内部(P1)、アンカー外側面で下端から36mm上側(P2)、アンカー下端位置(P3)での水圧とアンカー変位の関係を図4(b)に示す。各水圧はアンカー引き抜き直前時からの変動値で表しており、引き抜きに伴いセンサ深度が減少することから変位とともに負圧は発達することとなる。アンカー天端位置では、牽引開始直後に-6kPaの負圧が発生した後、変位の増大と共に徐々に負圧が発達し、10mmでピーク値(-11kPa)に至る。変位が10mmから大きくなるに従い負圧が消散し、20mm以降はその傾向が緩慢となる。この負圧消散過程はワイヤ張力の低下過程と良く対応している。アンカー下端においても天端直下と同様の水圧挙動を示しているが、負圧ピーク時の変位が小さく、変位20mm以降では変位にほぼ比例して負圧が進展している。アンカー外側(P2)では引き抜き初期に負圧ピークに達し

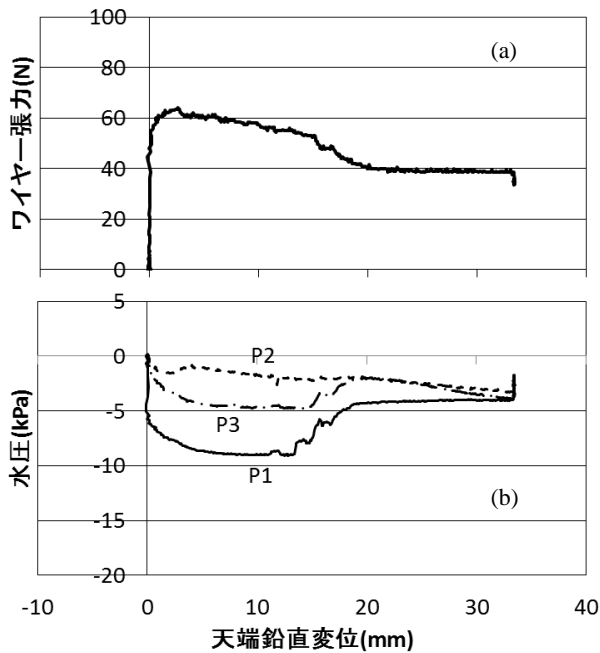


図5 実験結果(ケース 1-2)

た後一旦消散し、その後アンカー変位に比例して負圧が発達している。

ワイヤー牽引速度が遅いケース 1-2 および 1-3 における実験結果を図-5 および図-6 に示す。ケース 1-2 の牽引速度はケース 1-1 の約 2.5 分の 1 である。ケース 1-2 での最大ワイヤー張力は 64N で、ケース 1-1 に対して 20% 低い値となっている。ピーク発現後、アンカー鉛直変位が 15mm 程度まで張力の低減傾向は緩慢だが、その後変位 20mm まで張力の低下が加速し、20mm 以上の変位域では約 40N で一定となっている。天端直下(P1)およびアンカー下端(P3)での負圧のピーク値はそれぞれ-9kPa と-5kPa で、牽引速度

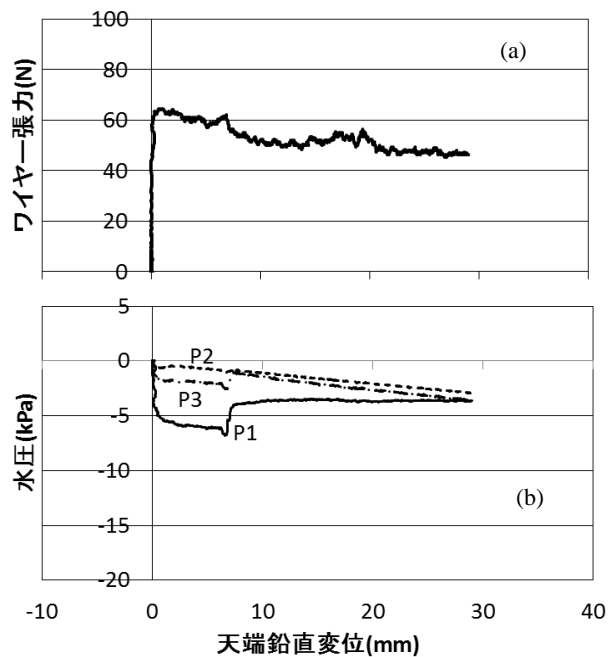


図6 実験結果(ケース 1-3)

の速いケース 1-1 と比較して絶対値が小さくなっている。牽引速度がケース 1-1 の約 6 分の 1 であるケース 1-3 については、ワイヤー張力のピーク値は 64N でケース 1-2 と同等であるが、ケース 1-1、1-2 に比べ小さな変位域で張力ピークに至り、変位と共にピーク後の張力が速やかに低減している。即ちケース 1-1 と 1-2 の比較では、牽引速度による最大把駐抵抗の影響が見られたのに対し、ケース 1-2 と 1-3 の比較では、牽引速度により把駐抵抗のピーク後の「靱性」に違いが生じる結果となっている。またケース 1-3 における水圧の負圧ピーク値に注目すると、天端直下で-7kPa、アンカー下端で-3kPa と、ケース 1-2 よりさらに絶

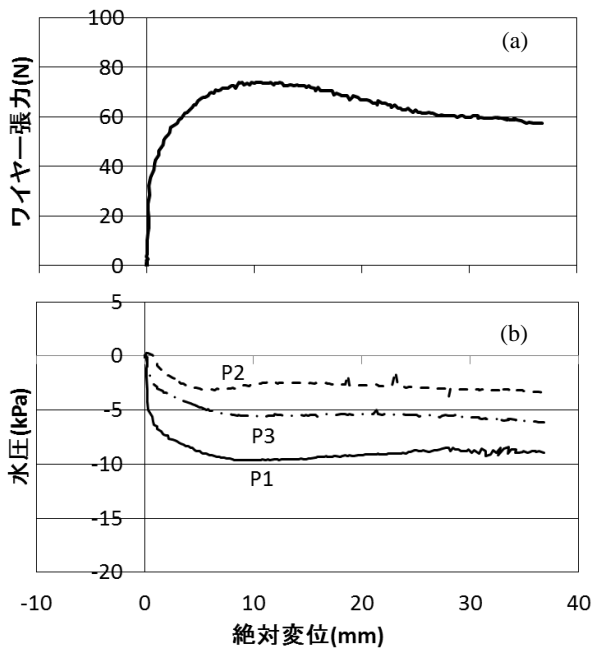
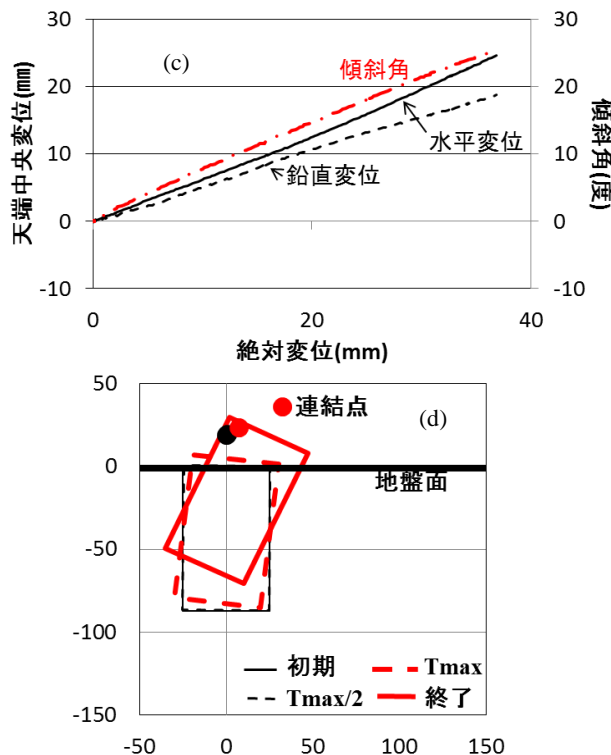


図7 実験結果(ケース 2-1)



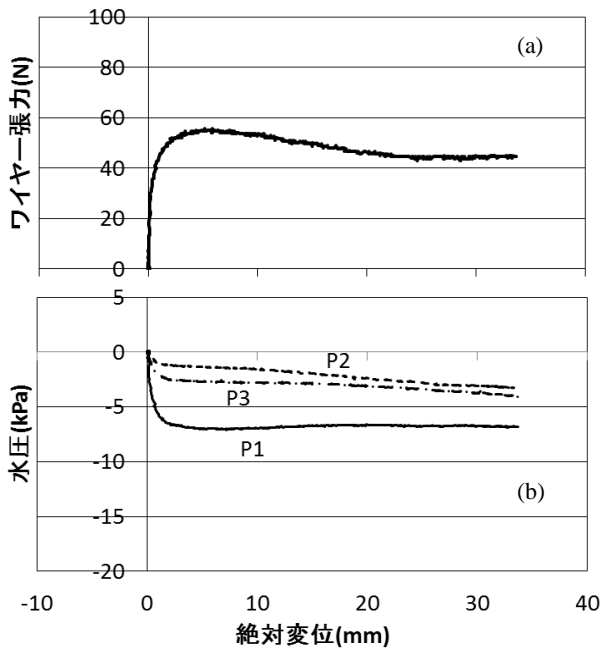
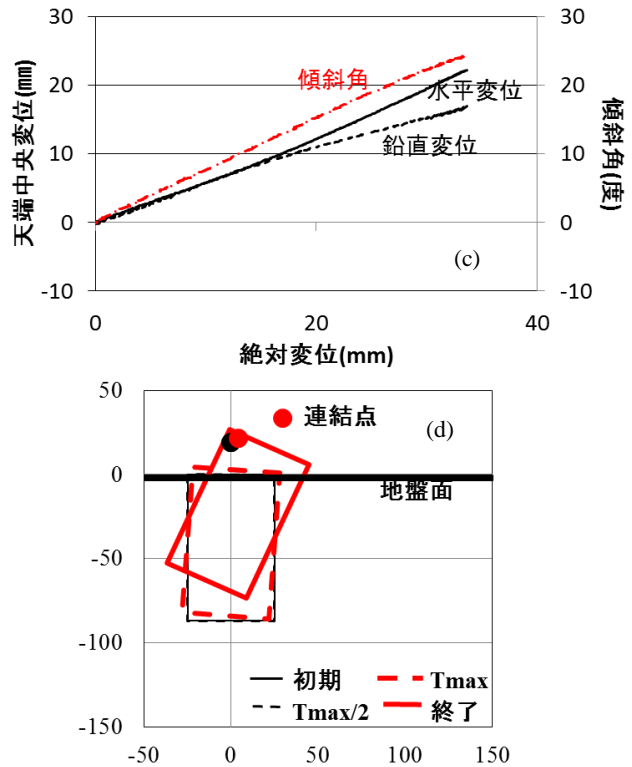


図8 実験結果(ケース 2-2)

対値が小さくなっている。

次に、斜め上方急速引き抜きの場合のケース 2-1 における、ワイヤー張力とワイヤー連結点における絶対変位の関係を図 7(a)に示す。牽引初期ではワイヤー張力 30N 強まで変位はほとんど発生しないが、30N を越えて徐々に変位が増大し、絶対変位 10mm において張力の最大値 74N に達した後、張力は変位の増大に伴い漸減する。鉛直上方引き抜きのケース 1-1 と比較して、最大把駐抵抗発現時の牽引量が大きくなっている。同図(b)の天端直下(P1)およびアンカー下端(側面位置, P3)における水圧挙動に着目すると、ワイヤー張力ピーク時とほぼ同じ変位量で負圧のピークを迎えている。鉛直引き抜きの場合と異なり、負圧ピーク到達後の消散は緩慢である。連結点での絶対変位とアンカー天端中央での水平鉛直変位およびアンカー傾斜角の関係を同図(c)に示す。初期の牽引仰角 58 度に対し、鉛直変位より水平変位が大きくなっている。また傾斜角が絶対変位にほぼ比例して変化している。牽引方向が高仰角でアンカー上面に連結点がある本ケースでは、水平方向地盤反力に比べ負圧効果で引き抜き抵抗が大きいこともあり、回転運動とともに水平変位が大きくなると考えられる。水平および鉛直変位と傾斜角の計測結果より計算した、牽引前、最大張力の半分(Tmax/2)到達時、張力最大(Tmax)時および計測終了時の 4 時点におけるアンカー姿勢と連結点位置を同図(d)に示す。

斜め上方緩速牽引ケース 2-2 の実験結果を図 8 に示す。ワイヤー張力と連結点絶対変位の関係より、最大張力が 56N とケース 2-1 と比較して 24%小さく、張力ピーク時の変位量も小さくなっている。水圧応答(同図(b))においては、



ケース 2-1 に比べ牽引初期に負圧ピークが急速に発達していることがわかる。また急速牽引のケースと比較して、各点のピーク時負圧の絶対値は小さくなっている。天端中央変位挙動(同図(c))に着目すると、変位量 17mm 程度までは水平変位と鉛直変位はほぼ等しく、ケース 2-1 と比較すると鉛直変位が相対的に大きくなっているが、これより大きな変位域では水平変位が卓越してくる。

4. おわりに

細砂地盤中のサクシオンアンカーの鉛直および斜め上方牽引時の挙動特性について、10g 遠心力場模型実験による検討を行った結果、以下の知見を得た。

- 鉛直上方牽引では、牽引速度増大に伴い最大把駐抵抗が大きくなる効果と、ピーク後の把駐抵抗減少抑制の効果が見られた。
- 斜め上方牽引の場合、鉛直上方牽引と比較して大きな変位領域で把駐抵抗のピークに到達した。

参考文献

- 1) Andersen, K.H., Murff, J.D., Randolph, M.F., Clukey, C.T., Erbrich, C.T., Jostad, H.P., Hansen, B., Aubeny, C., Sharma, P. and Supachawarote, C.: Suction Anchors for Deepwater Application, Proc. 1st International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics, pp.3-30, 2005.
- 2) 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, 2003, 270pp.
- 3) Iskander, M., El-Gharbawy, S. and Olson, R.: Performance of Suction Caissons in Sand and Clay, Canadian Geotechnical Journal, Vol.39, pp.576-584, 2002.