

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14884

研究課題名（和文）大深度係留用サクシオンアンカーに関する把駐力評価手法の構築

研究課題名（英文）Development of Evaluation Method for Holding Power of Suction Anchor for Deepwater Mooring

研究代表者

藤 公博 (Toh, Kimihiro)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教

研究者番号：80790716

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、汎用非線形有限要素解析ソフトLS-DYNAに実装されているALE機能および独自に開発したDEM（個別要素法）に基づく数値シミュレーションを用いて、土壌・アンカー間の連成解析を実施した。併せて、実験室レベルの基礎試験と、二次元のランキン土圧理論に基づく簡易評価式を三次元修正したものについて検討した。

その結果、アンカー寸法・土壌の物性値などにより変わりうる土壌の崩壊モードのいくつかに対しては、最大把駐力などの傾向を簡易評価式にて比較的精度よく推定することが可能であることを確認した。なお、土壌の崩壊モード依存のない把駐力推定式の構築に関しては今後の課題となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、海洋資源開発の際の要素技術の1つとなりうるアンカーの把駐力について検討を行った。

これまでに実績の多い欧米の粘土質地盤に対し、日本周辺海域に多い砂質地盤に対する適用例は稀だと言える。そこで、数値シミュレーションによる砂質を想定した土壌・アンカー間の連成解析に加え、解析的なアプローチに基づく簡易的な把駐力評価手法に関する検討を行った。

その結果、評価式には改善の余地が認められたが、土壌の崩壊モードによっては、その定性的な傾向を捉えられているところもあり、本研究により得られた知見をさらに発展させることで、定量的な評価手法の確立が望まれる。

研究成果の概要（英文）： In this study, some coupled analyses between soil and anchor structures were performed using the ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) function implemented in the general-purpose nonlinear finite element analysis software, LS-DYNA, as well as a numerical simulation based on the in-house code of the DEM (Distinct Element Method) to predict a holding power of suction anchors.

In addition, basic laboratory experiments and a simplified evaluation formula based on the two-dimensional Rankine's earth pressure theory regarding the holding power of suction anchors were investigated.

As a result, it was confirmed that a qualitative tendency of the maximum holding power might be assessed by the simplified evaluation formula as for some collapse modes of soil. More investigation about the comprehensive simplified evaluation formula is one of the future works.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：把駐力評価 サクシオンアンカー 数値シミュレーション 個別要素法 簡易評価式

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

日本近海には多くの海洋資源や洋上風力エネルギーの存在が確認されており、欧米に比べて比較的大深度となる海洋資源開発および洋上風力発電用浮体では、把駐力特性に優れた係留が必要となる。この係留システムとして、現在一般的にドラッグアンカーと係留チェーンによるカテナリー係留システムが用いられているが、この方式では係留半径が水深の約3倍と広く、加えてアンカーの把駐力試験が必要不可欠といったデメリットが挙げられる。一方、サクシオンアンカーは、上端が閉塞、下端が開放された鋼製円筒杭の形状をしており、内外部の水圧差を利用して海底に打設するもので、基本的に把駐力試験が不要であると同時に、鉛直引抜きに対する耐力を考慮できるため、係留ライン長および係留範囲を短縮できる。したがって、比較的大深度となる日本周辺海域では、サクシオンアンカーとポリエステルロープを用いたトート係留システムのメリットは大きい。

しかしながら、サクシオンアンカーを用いたトート係留システムは、海外における海洋オイル&ガスの分野での適用実績は多くあるものの、日本周辺海域での適用実績はほとんどないのが実情である。この点に関して、土質力学的な検討も進められているが、種々のアンカー形状に対して適用可能な効率的かつ精度よい把駐力評価手法、ならびに、最適アンカー形状を模索するための手法が十分に提供されているとは言えない状況である。

### 2. 研究の目的

当該分野のこれまでの研究では、把駐力評価、アンカー方式・形状の検討について、主として実験的に行われてきたが、数値計算による評価が可能となれば、新形式のアンカーの開発設計に有用となる。そこで、本研究では、海底土壌を粒状体でモデル化可能な、汎用非線形有限要素解析ソフト、ならびに、個別要素法を用いて、アンカーと土壌との連成影響を考慮しつつ、土壌の3次元運動を評価できる効率的な解析手法を開発し、上記の数値シミュレーションを援用することで、サクシオンアンカーに関する把駐力評価手法の構築とアンカー形状の開発に資する簡易評価式の確立を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 汎用非線形有限要素解析ソフト (LS-DYNA)

汎用(商用)有限要素解析ソフト LS-DYNA における ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) 機能を適用するにあたり、アンカー(構造体)を Lagrange 要素で、砂粒子(流体)を Euler 要素でモデル化した。そのうえで、重力影響を考慮し、強制変位による変位制御によって把駐力シミュレーションを実施した。

#### (2) 個別要素法 (DEM : Distinct Element Method)

上記(1)に相当する計算を独自に開発した DEM により行った。なお、本 DEM においては、土壌の挙動を再現するために、モール・クーロンの破壊基準に従う設定を用いた。

#### (3) 実験室レベルの試験

把駐力特性に関する基礎的な情報を得るために実験室レベルの試験を行った。その際のパラメータは以下とした。

引張り角度  
パッドアイ深さ  
外径  
貫入深さ

#### (4) 簡易評価式に関する検討

一般的に広く用いられる(二次元の)ランキン土圧理論をベースに、三次元修正、ならびに、アンカー形状(円筒形)修正を考慮したものについて検討した。

### 4. 研究成果

最大把駐力に関して、試験値(上記(3))と簡易評価式(上記(4))との比較の一例を図1~4に示す。

図1~4の最大把駐力の値について、多少のばらつきが見られるものの、全体的に推定値は試験結果の傾向を捉えていることから、基礎設計における把駐力の目安としては用いるために十分な精度であると考えられる。

ただし、土壌の崩壊モードによらない評価式の確立には、土壌の粘着力の分布(深度分布、不規則性)に着目し、別手法での検討が必要であろう。

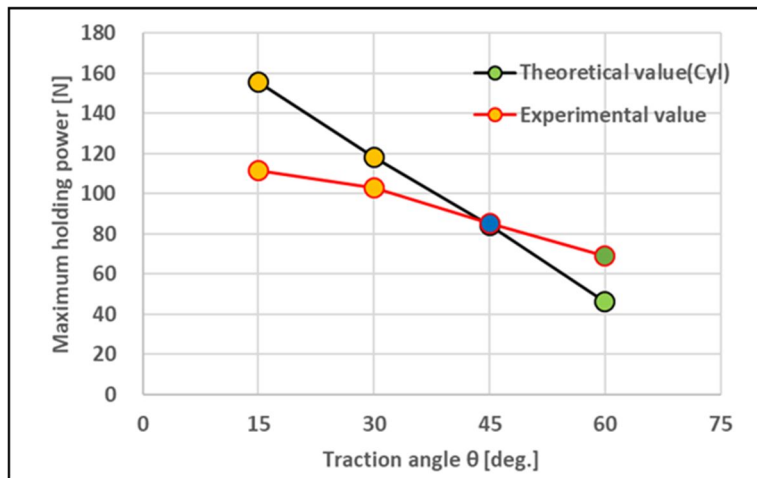


図1 引張り角度と最大把駐力の関係

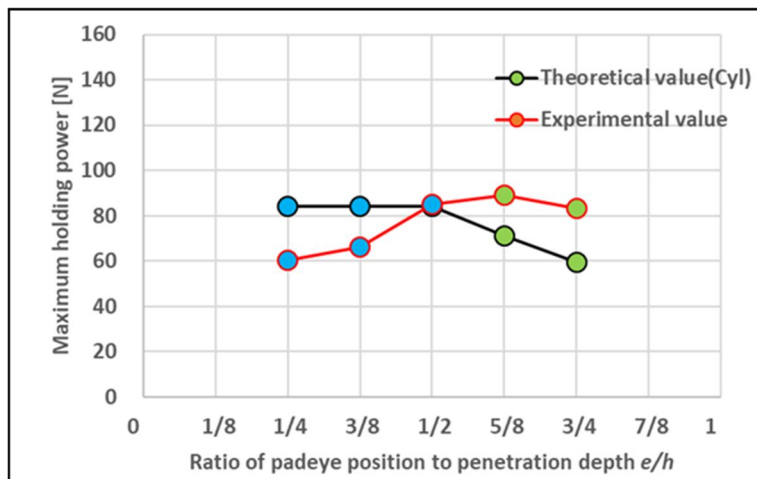


図2 パッドアイ深さと最大把駐力の関係

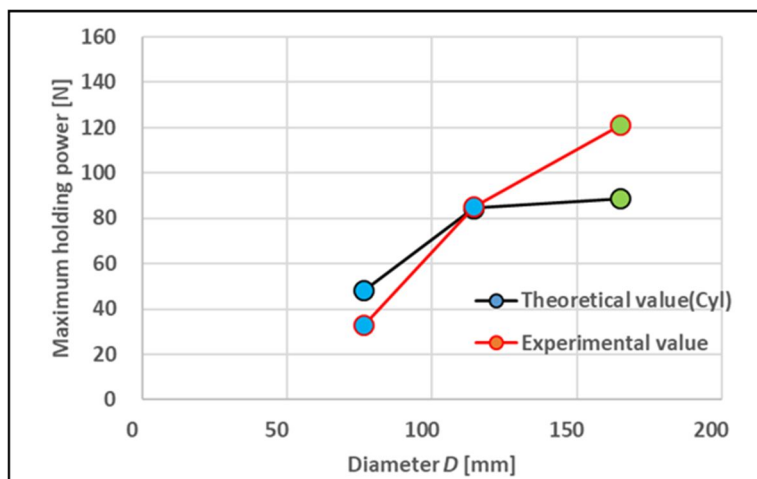


図3 外径と最大把駐力の関係

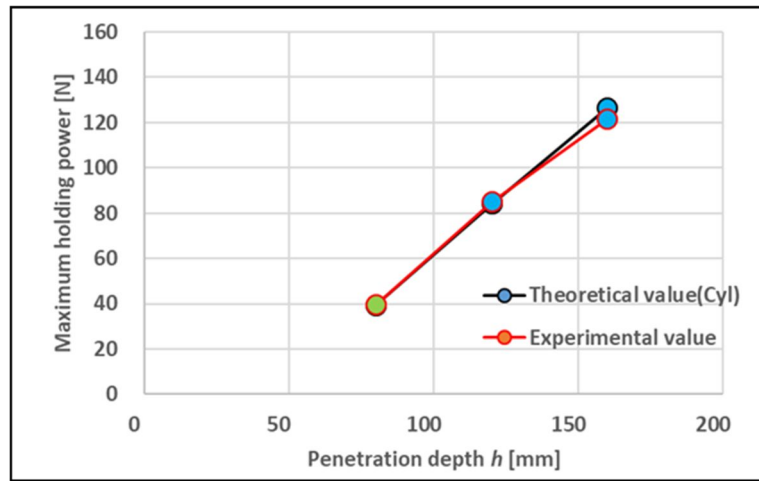


図4 貫入深さと最大把駐力の関係

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 松田章紘, 藤公博, 柳原大輔, 吉川孝男	4. 巻 28
2. 論文標題 個別要素法による係留用アンカーの把駐力評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 607-612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 吉用 智也, 松田 章紘, 藤 公博, 柳原 大輔, 吉川 孝男	4. 巻 26
2. 論文標題 砂質土地盤におけるサクシオンアンカーの把駐力評価に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 257-262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kimihiro Toh, Yusuke Fukumoto, Takao Yoshikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY ON HOLDING POWER OF RECTANGULAR-SHAPED ANCHORS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tomoya Yoshimochi, Akihiro Matsuda, Kimihiro Toh, Daisuke Yanagihara, Takao Yoshikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 A Study on Holding Power of Suction Anchor in Sandy Soil	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 32nd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures	6. 最初と最後の頁 265-271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kimihiro Toh, Yusuke Fukumoto, Takao Yoshikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental and Numerical Study on Holding Power of Rectangular-shaped Anchors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 吉用 智也
2. 発表標題 砂質土地盤におけるサクシオンアンカーの把駐力評価に関する研究
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kimihiro Toh
2. 発表標題 EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY ON HOLDING POWER OF RECTANGULAR-SHAPED ANCHORS
3. 学会等名 ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoya Yoshimochi
2. 発表標題 A Study on Holding Power of Suction Anchor in Sandy Soil
3. 学会等名 32nd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kimihiro Toh, Yusuke Fukumoto, Takao Yoshikawa
2. 発表標題 Experimental and Numerical Study on Holding Power of Rectangular-shaped Anchors
3. 学会等名 International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----