

係留システムに関する基礎的研究 A fundamental study on the mooring system of floating

○吉岡久輝¹, 増田光一², 恵藤浩朗², 佐藤千昭³, 居駒知樹², 清水研⁴,
Hisaki Yoshioka¹, Koiti Masuda², Hiroaki Eto², Tiaki Sato³, Tomoki Ikoma², Ken Simizu⁴

Abstract: When installing a floating in the ocean, mooring system is essential. By creating a mooring system selection flow, it is necessary to clarify the initial planning of the mooring system. By making a trial calculation and investigation of the mooring system, and to create a flow, including economy and functionality. It is expected to be faster than the initial planning of the mooring system.

1. 緒言

現在国内外で海洋開発が進められ、洋上風力発電など浮体を用いた計画が多く提案されており、それら浮体の位置を保持するためには係留システムは必要不可欠である。しかし、係留システムを選定する上で、それぞれの係留システムの特徴がまとめられた資料はあるものの、具体的な選定方法を示す研究は少なく、設置海域の海象条件とともに設計者の経験をもとに設計されている。そこで本研究では、様々な係留システムの設計方法をまとめて整理し、試算をもとに係留システムを選定および経済性も含めた一連の流れを確立することを目的とする。このことから、係留システムの選定、初期計画をより迅速化することが期待される。

2. 研究方法

本研究では、数多く示されている係留システムの中からドルフィン係留とカテナリー係留に着目し検討を行う。検討する項目を下記に示す。

- 1) 係留システムの特徴、実施例の収集
- 2) 浮体の用途、規模等に応じた係留システム選定
- 3) 本研究室で提案している「石炭浮体」を対象とした係留システムの初期計画
- 4) 水深の差が係留システム計画に及ぼす影響を評価
- 5) 検討ステップを踏まえた選定フロー作成

これらから、ドルフィン係留、カテナリー係留を計画する際に必要な情報、計画の流れをまとめそれぞれの係留の選定フロー、初期計画の流れを作成する。

3. ドルフィン係留に関する試算

3.1 ドルフィン係留に関する計算式

ドルフィン係留は単杭として計算する^{[1][2]}。計算式を以下に示す。

作用点変位(m)

$$\delta_p = \frac{(1 + \beta h)^2}{3EI\beta^3} H \quad (1)$$

海底面変位

$$f = \frac{1 + \beta h}{2EI\beta^3} H \quad (2)$$

杭の特性値(m⁻¹)

$$\beta = \sqrt[4]{kh/4EI} \quad (3)$$

根入れ長さ(m)

$$\text{根入れ長さ} = \pi / \beta \quad (4)$$

但し E : ヤング係数, H : 水平外力, kh : $1.5 \times N$ 値,
 I : 断面二次モーメント, h : 作用点高さ

3.2 定常係留外力

石炭浮体の規模^[3]は長さ(L)519.6m, 幅(B)219.0m, 構造深さ(D)15.0m として計算を行う。石炭浮体は、石炭の搭載量によって喫水が変化し、浮体にさよようする定常係留外力が変化する。外力が大きくなればドルフィンの基数は増加することが予測される。定常係留外力の計算結果を Table1 に示す。定常係留外力は、定常波漂流力、風抗力、潮流力から算出した。また、ここでは浮体の重量や地震力等に関しては特に考慮せず計算を実施した。係留システムの許容変位量^[2]は Table2 のように設定した。

Table1. Stationary mooring external force

	Case1	Case2	Case3
石炭搭載状態	満載状態	軽荷重状態	空荷状態
定常係留外力	7,806kN	7,934kN	8,188kN

Table2. Allowable displacement

	作用点変位	海底面変位
カテナリー係留(m)	水深の 1/10	3.0
ドルフィン係留(cm)	30.0	

1: 日大理工・学部・海建 2: 日大理工・教員・海建 3: 日大理工・上席研究員・海建 4: 日大理工・院(前)・海建

3.3 計算結果

ドルフィン係留の計算結果について、Table3, 4 に示す。

Table3. Calculation result of 20m water depth

	Case1	Case2	Case3
杭径(cm)	121.9	121.9	121.9
基数	83	84	87
根入れ長さ(m)	16.2	16.2	16.2
作用点変位(cm)	29.7	29.8	29.7
海底面変位(cm)	1.6	1.6	1.6

Table4. Calculation result of 30m water depth

	Case1	Case2	Case3
杭径(cm)	121.9	121.9	121.9
基数	207	211	218
根入れ長さ(m)	16.2	16.2	16.2
作用点変位(cm)	29.9	29.9	29.8
海底面変位(cm)	0.8	0.8	0.8

水深を比較した計算を行った結果、ドルフィン係留は水深 30.0m になると著しくドルフィンの本数が増加する。水深 20.0m では最大 87 基、水深 30.0m では最大 218 基のドルフィン杭が必要になることが分かった。これは、水深の変化から作用点高さが高くなり、杭にかかる曲げモーメントが増大したためである。これだけのドルフィン杭を施工することは経済的に非常に難しいことが想定される。このことから、ドルフィン係留は単杭だけでなく、組杭での検討も必要になる。それに伴い、水深の変化がドルフィン係留の計画にとっても大きな影響を与えることが明確になった。単杭式のドルフィンが一般的に大型浮体および水深の深いところに不向きであると一般的に言われているが、試計算を通して再確認した。今後カタナリー係留に関しても同様の検討を行う。

4. 係留システム選定フローの作成

今後、経済性・機能性の面から係留システムが可能な Fig.1^[4]で示すフローを提案する。現在全体を 4Step に区分している。最も詳細なフローが必要なのは Step2 で、係留システムごとのフローが必要になる。経済性に関しては、大まかな計画を行うことで鋼材量や施工費用から予算の概算が可能になる。このことから経済性の検討を行う。以上を踏まえて、機能性と経済性の面からも係留システムの選定が可能なフローを作成する。

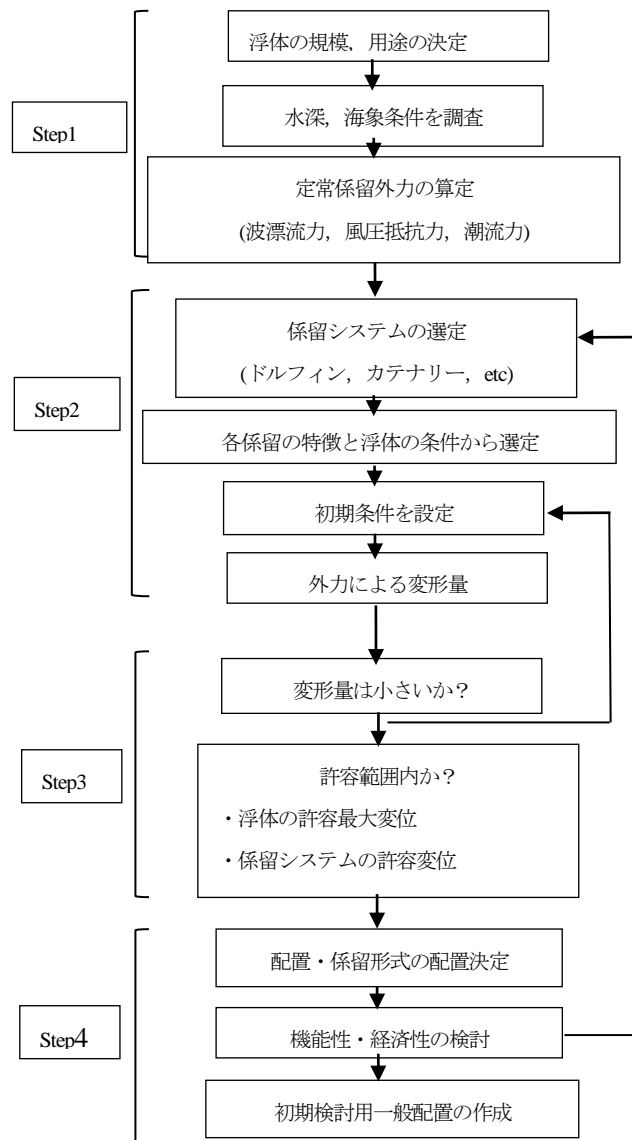


Figure1. Mooring system selection flow

5. 結言

本研究で検討した項目を以下に列挙する。

- ・各係留の特徴と係留システムの設計指針の整理
- ・定常係留外力の算定
- ・単杭式のドルフィン係留の試計算

今後、ドルフィン係留に限らず、カタナリー係留など他の係留方法についても同様に検討を行い係留システム選定フローを提案できるよう研究を実施する。

参考文献

- [1] 国土交通省, 港湾施設に関する技術上の基準・解説, 2007
- [2] 日本ビーチ・マリーナ協会, プレジャーボート用浮棧橋設計マニュアル, 2009
- [3] 菊地幸司, 木下大輔, 大型石炭貯蔵の隔壁配置に関する基礎的研究, 日本大学理工学部卒業論文, 2013
- [4] 日本船舶工学会, 船舶海洋工学シリーズ⑩海洋構造物, 2013