

弾性体の特性変化に伴う弾性係留システムの係留設計に関する基礎的研究

Fundamental study on mooring design of elastic mooring systems due to changes in properties of elastic bodies

○野田有里子¹, 鈴木渉¹, 菅原幹将², 惠藤浩朗³, 岡崎雄一⁴

* Yuriko Noda¹, Wataru Suzuki¹, Mikimasa Sugahara², Hiroaki Eto³, Yuichi Okazaki⁴

Abstract: The authors have proposed a series of procedures that contribute to the design of elastic mooring systems that allow the selection of elastic mooring line specifications. However, that proposal did not sufficiently consider the scale of the floating structure, oceanographic conditions, and changes in the properties of the elastic body. Therefore, the characteristics of an elastic mooring system using elastic bodies with different properties were confirmed, and the proposed series of procedures was demonstrated to be usable.

1. はじめに

既存研究^[1]では、設計者がその用途や運用方法から決められる許容動揺振幅を満足する弾性係留索の諸元を選定可能な弾性係留システム設計に資する一連の手順を示されたが、浮体の規模や作用している海象条件、弾性係留索に使用される弾性体の種別に対しては限定的である。そこで本研究では、異なる特性を有する弾性体ごとに C_r （復元力特性）と θ_m （浮体取付け点角度）の関係性や L_e （弾性体長さ）と L_r （繊維ロープ長さ）の関係性を系統計算から整理し、弾性体の特性が変化しても、既存研究で提案された弾性係留システム設計の一連の手順^[1]が適用可能か確認することを目的として研究を行った。

2. 計算条件

2.1. 浮体および弾性係留索の概要

Figure 1 に浮体規模および係留索配置の例を示す。また本研究で使用する弾性係留索は、複数本束ねられた弾性体と、その上部に合成繊維ロープが繋がるかたちで構成され、弾性係留索の詳細な設定パラメータについては Table 1 に示す通りである。また弾性体^[2]の応力と伸び率の関係性を Figure 2 に示す。本研究では弾性体であるゴム材の径が 25.5mm のものを Case 1, 36.0mm のものを Case 2 とし、この2つの特性の異なる弾性体による係留特性に関する検討を行った。

2.2. 自然環境条件

自然環境条件は春先の東京湾口の累積出現頻度が99%となる波高 2.6m, 波周期 5.6s, 風速 24m/s, 潮流速度 0.5m/s といった、メガフロートのプロジェクト設計条件^[3]の中の1つの条件を採用した。

2.3. 浮体の許容動揺振幅

Figure 3 は 2.2 に示す自然環境条件下で不規則波中

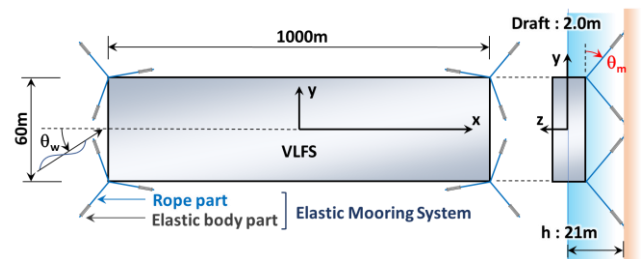


Figure 1 Scale of floating structure and layout of elastic mooring system.

Table 1 Mooring conditions

Initial length of rubber rope (L_e)	5-40 [m]
Length of rope (L_r)	5-150 [m]
Number of rubber ropes connected to one corner (N_r)	1200-3000 [m]
Initial elongation	0.5
Weight per unit length of rubber rope	0.012 [kN/m]
Weight per unit length of rope	9.7×10^{-4} [kN/m]
Nominal diameter of rope	0.185 [m]
Diameter of rubber rope	25.5, 36.0[mm]

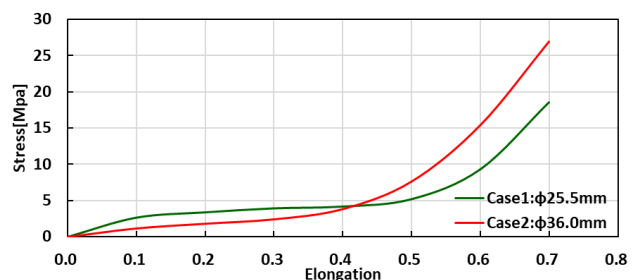


Figure 2 Stress and elongation of elastic bodies.

の Sway 方向の浮体の運動応答の最大値 (δ_{2max}) と C_r の関係性を示すグラフである。このグラフから C_r が等しければ弾性係留索の設定パラメータが異なっても δ_{2max} は同じ値となることが確認され、弾性係留索の設定パラメータを適宜変化させ、その設定条件下で C_r を算出すれば、 δ_{2max} を予測できることを表している。そこで本研究では、許容する δ_{2max} を 3.0m とし、それを満たす C_r が 10700kN/m となる条件で検討を行った。

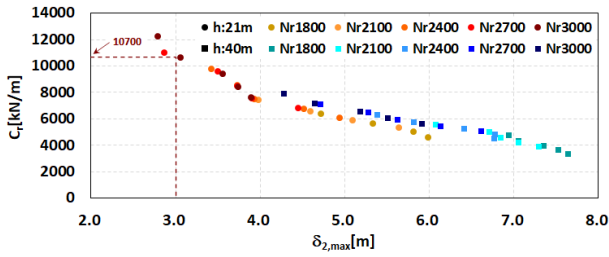
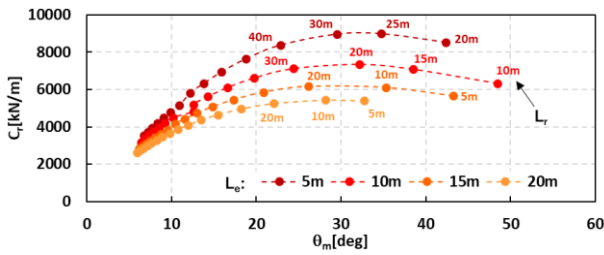
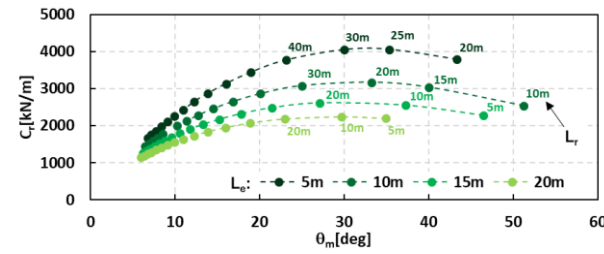


Figure 3 C_r due to changes in δ_{2max} at different water depths



a) Case 1 (Diameter of rubber rope 36.0mm)



b) Case 2 (Diameter of rubber rope 25.5mm)

Figure 4 C_r per θ_m due to changes in L_e and L_r

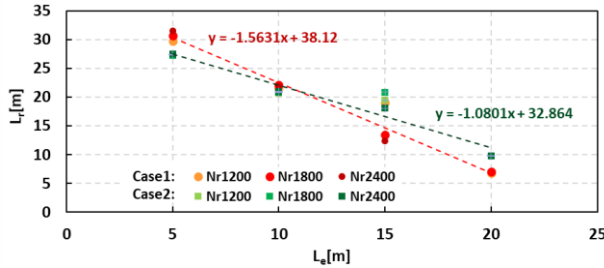


Figure 5 L_r for each L_e indicating the maximum C_r obtained for each case and various N_r

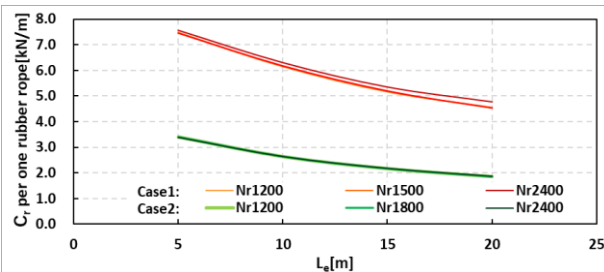
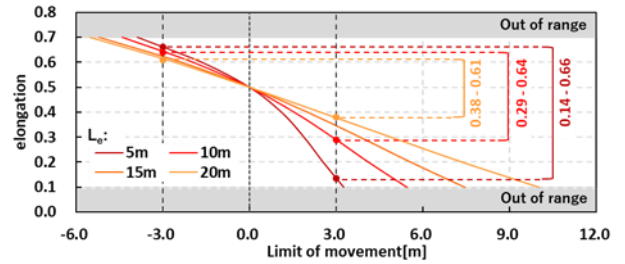


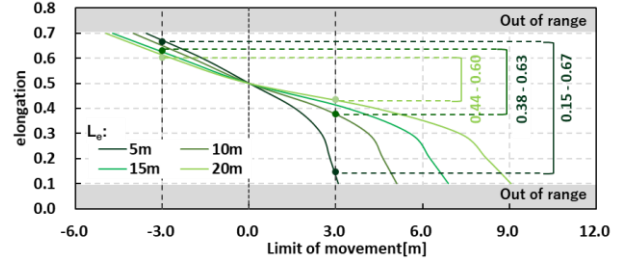
Figure 6 C_r per one rubber rope per L_e in each case

3. 計算結果

Figure 4 は L_e ごとの L_r の変化に伴う C_r と浮体側係留索取り付け角度 (θ_m) の関係性を各 Case 1, Case 2 で示したグラフである。Case 1, 2 とともに, C_r の値こそ異なるが L_r の変化に伴いグラフが両者ともに山なりとなる傾向を示すことが確認され, 30 度付近の θ_m で最も復



a) Case 1 (Diameter of rubber rope 36.0mm)



b) Case 2 (Diameter of rubber rope 25.5mm)

Figure 7 Usable range of elongation for each L_e within the allowable sway motion

元性能を発揮する結果を示した。Figure 5 は Figure 4 でピークを迎えた L_r との L_e の関係性を示す。この結果から弾性体の特性が変化しても結果が 1 本の線に乗る傾向を示していることが確認された。次に Figure 6 に各隅角部の係留索総本数 (N_r) の L_e と弾性係留索 1 本あたりの C_r の関係性を示す。こちらも Case1, Case2 でそれぞれ 1 本の線に乗ることが確認され, 弾性体の特性が変化しても同等の傾向を示すことが明らかとなった。また Figure 7 に許容動揺振幅を満たす各 L_e の伸び率の使用範囲を示す。Figure 3 で示した許容動揺振幅 3.0m を満たす L_e の伸び率もこのグラフに示す通り, Case1, Case2 でそれぞれ同様に検討可能であることが確認された。

4. おわりに

本研究より, 弾性係留索に使用される弾性体の直径や, それに伴い変化する応力と伸び率などの弾性体の特性が変化しても Figure 3~7 に示すグラフを用意することで, 許容動揺振幅を満足する弾性係留索の諸元を選定可能であることが明らかとなった。

参考文献

- [1] 惠藤浩朗, 鹿島瞳, 菅原幹将, 鈴木湧大, 岡崎雄一: 弾性係留システムを適用した超大型浮体式構造物の係留索諸元選定に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B3(海洋開発) Vol. 78, No. 2, pp.271-276, 2022.
- [2] Superflex Mooring System: <http://supflex.com/>, 2021.7 参照
- [3] メガフロート技術研究組合: メガフロートの空港利用に関する実証的研究, 2021