

超大型浮体構造物に適用した弾性係留システムの復元力特性に関する基礎的研究

Restoring force characteristics of elastic mooring system applied to VLFS

○菅原幹将¹, 雄倉佐彩¹, 野原さくら¹, 鹿島瞳², 鈴木湧大², 惠藤浩朗³* Mikimasa Sugahara¹, Saya Ogura¹, Sakura Nohara¹, Hitomi Kashima², Yudai Suzuki², Hiroaki Eto³

Abstract: Elastic mooring system have not been applied to large floating structures over 500m. Therefore, the analysis was performed by changing the conditions of the elastic mooring lines, and the restoring force characteristics according to the response amount of the floating body when multiple elastic mooring lines were connected to the floating body were compared and examined.

1. はじめに

超大型浮体の係留方法には一般的にジャケットタイプのドルフィン係留やカテナリー係留が挙げられる。しかし超大型浮体に対してドルフィン係留を採用すると、設置環境条件による大規模の係留装置の複数配置を要すると予想される。またカテナリー係留は係留索の自重で位置保持するシステムであり、水深が深い海域では有効だが、浅い海域において十分にその係留力を発揮することは難しい。そこで本研究では超大型浮体の係留システムに弾性係留索の適用を考えた。弾性係留索では、常に係留索に張力が作用しているため安定した支持力が得られ、浮体動揺を抑える効果を発揮する。しかし弾性係留索は主に栈橋や養殖施設など小型構造物の係留に使用されているものの、500mを超える超大型浮体に適用された例はみられない。そこで惠藤ら^[1]は弾性係留索により係留された大型浮体の動揺特性把握に努めたが、係留索条件の設定については膨大な準備計算の結果から決定しており、弾性係留索の特性を把握した上での検討を行っていない。そこで本研究では超大型浮体に接続する弾性係留索の配置条件を変化させた際の浮体の移動量に伴い発生する復元力特性の把握を目的として研究を行った。

2. 係留条件

弾性係留索は Figure 1 に示すように複数束ねられた弾性体（ラバーロープ）と、その上部に接続する大型

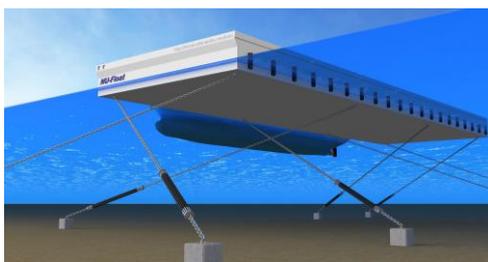


Figure 1 Image of elastic mooring system

チェーンにより構成される。複数の弾性係留索による浮体の係留方法をここでは「弾性係留システム」と呼ぶ。また本研究では Figure 2 および Table 1 に示す 4 種類 (EM1~4) の弾性係留索の条件を準備した。係留索は、外力の受圧面積が最大となる 75deg の入射角の波入射により発生する Yaw の動揺抑制を狙い、浮体と係留索のなす角 45deg を基本として、係留索を隅角部に設置した。EM1 では 45deg を中心に $\pm 5deg$ で 2 本の係留索を配置し、それらを円周に対して均等に 120deg ずらし、第一象限の隅角部に 6 本、合計で 24 本の係留索を隅角部に集中して配置している。また EM2 は EM1 の係留索を 60deg 回転させた配置とし、EM3, 4 では EM1 と同様に浮体と係留索のなす角を 45deg とし、第一象限でいうところの隅角部に 3 本、係留索に重ならない点に 3 本、合計で 24 本の係留索を配置し、弾性体の本数および係留索の呼び径を変化させている。また本研究で使用する弾性係留索の弾性体部分の伸び率の適用範囲は 0.1~0.7 であり^[2]、ここでは平均水深である水深 30m に設置された状態で、弾性体の伸び率を 0.5 と設定し復元力特性の把握に努めた。

3. 弾性係留索の復元力特性

係留システムごとの復元力特性を Figure 3, 4 に示す。

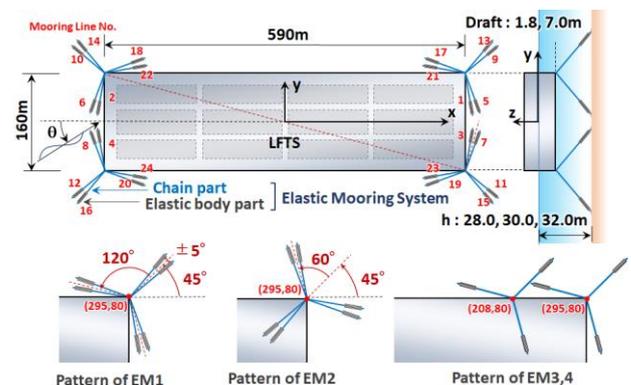


Figure 2 Scale and mooring arrangement of LFTS

3.1. 係留索の角度変化に伴う復元力特性

Figure 3a, b に係留索のなす角を変化させた際の水平方向の復元力と Yaw の復元モーメントをそれぞれ示す. Figure 3a, b より弾性係留索の 120deg ごとの均等な配置は変更せず, 配置する角度を 60deg 変化させた EM1, 2 では, 水平方向と Yaw の復元力特性は同等の傾向を示すことが確認された. そのため浮体の中心に対して各象限に点対象に係留索を配置する場合, 係留索を円周に対して均等に配置すればその角度を変化させても同等の係留効果を得られることが明らかとなった.

3.2. 係留索の取付点変化に伴う復元力特性

EM1 では浮体の隅角部に 6 本の係留索が集中して配置されることから係留索取付点の強度に懸念を残す. そこで EM1 の係留索と同じ係留索は使用すが配置を変更した EM3 と, EM3 と同じ配置で同等の復元モーメントが得られる EM4 の条件で解析を行った. Figure 4a, b に EM1 と 3, 4 の水平方向の復元力と Yaw の復元モーメントをそれぞれ示す. Figure 4a より係留索取付点の変化しても水平方向に対する係留索条件は変化しないことから EM1, 3 の復元力特性は同じ傾向を示し, ラバーロープの連数が多い EM4 ではもちろん大きな復元力特性が得られた. Figure 4b よりモーメントには距離が関係しているため係留索取付点が重心に近い EM3 の復元力は当然小さい結果を示した. また EM3 と同じ係留索配置であっても, EM4 で示すように弾性係留索の諸元を調節することで EM1 と同等の係留効果が期待できることが復元力特性による評価から確認された.

4. おわりに

本研究から得られた知見を以下にまとめる.

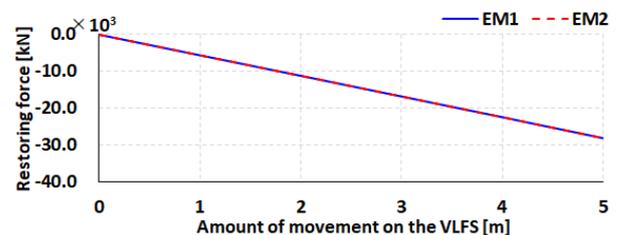
- 弾性係留システムは弾性係留索のなす角を円周に対して均等に配置すれば, 弾性係留索の角度は必ずしも波入射角度に対して垂直に配置しなくても同様の効果を得られることが確認された
- 弾性係留索の基数や諸元, 取付点座標を変化させた際の係留効果については, 水平方向の復元力と Yaw の復元モーメントなどの復元力特性から評価可能であることを確認した

5. 参考文献

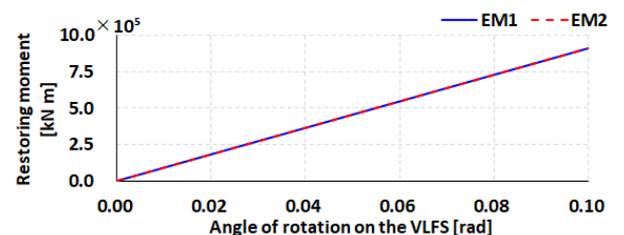
[1] 惠藤浩朗, 鹿島瞳, 居駒知樹: 弾性係留システムの係留条件の変化に伴う大型石炭貯蔵浮体の運動応答特性, 土木学会海洋開発 vol.77, No.2, 2021
 [2] Superflex Mooring System : <http://supflex.com/>, 2021.9 参照

Table 1 Mooring conditions

Elastic Mooring	EM1	EM2	EM3	EM4
Number of mooring lines	24			
Attachment point coordinates (x,y)	(295,80)		(295,80) (208,80)	
Diameter of rubber rope	36[mm]			
Number of rubber ropes	403		505	
Length of rubber rope	50[m]			
Initial elongation	0.50 (Rubber rope)			
Use range of rubber rope	Elongation: 0.10 – 0.70			
Nominal diameter of chain	φ130[mm]		φ147[mm]	
Length of upper chain part	20[m]			
Breaking load of chain	11100[kN]		13600[kN]	

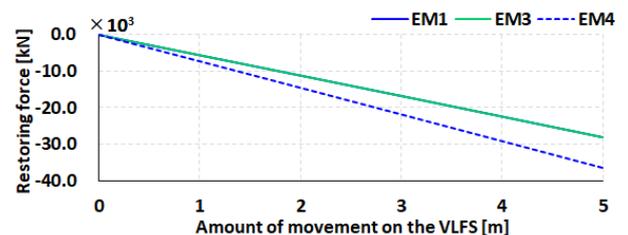


a) Surge restoring forces

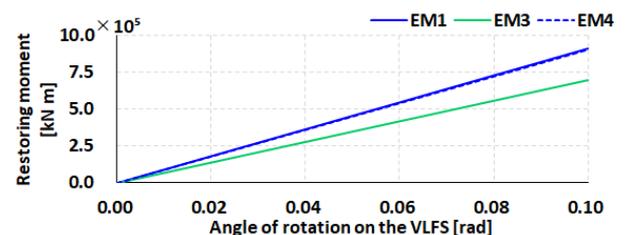


b) Yaw restoring moments

Figure 3 Comparison of restoring forces and moments under calculation condition EM1 and 2



a) Surge restoring forces



b) Yaw restoring moments

Figure 4 Comparison of restoring forces and moments under calculation condition EM1, 3 and 4