

PS-23 スラスタアシスト係留の安全性評価手法確立に向けた 数値的研究

海洋開発系 大坪 和久、*渡邊 充史

1. はじめに

近年、係留系とダイナミックポジショニング（以降、DP と略）を組み合わせたスラスタアシスト係留が注目されており、多くの海洋構造物に採用されてきている。昨今、この技術を導入した幾つかの海洋構造物において係留系破断事故が多発しており¹⁾、この原因究明が現在行われている。DP は船体の水平運動抑制を目的とした技術であるが、スラスタの推力及び首振方位によっては、ロール、ピッチが副次的に発生する可能性がある。これを Thruster Induced Motion（以降、TIM と略）と呼ぶ。一般的な DP ではこのような事象はあまり問題視されないが、スラスタアシスト係留の場合には無視できない現象となる。

本論文では本問題に対する原因究明を目的に TIM の発生現象に注目して、数値シミュレーションによる検討を行った。

2. 対象浮体

2. 1 船体諸元

研究対象とする浮体の諸元については表 1 に示す通りである。尚、詳細な情報を入手することが出来なかったものについては類似のリグデータを参考にしながら設定した。推進器は 3,800kW のアジマススラスタを 6 基搭載し、DP-class は DP3 である。DP 性能としても十分な性能を有するものと予測される。

表 1 研究対象の浮体諸元

項目	単位	状態	値
全長	m		104.5
幅	m		65.0
型深	m		39.9
喫水	m	Operating	17.8
		Transit	9.5
		Survival	15.8
排水量	ton	Operating	30,480
		Transit	22,452
推進器	Kw	出力	3,800
	基	基数	6

2. 2 係留システム

係留系については具体的仕様情報が開示されていないため、本論文では NTNU の Brown²⁾らが行った計算条件を参考にしながら設定した。表 2 と 3 にその係留ラインの仕様を、図 1 に係留ライン全体図を示す。

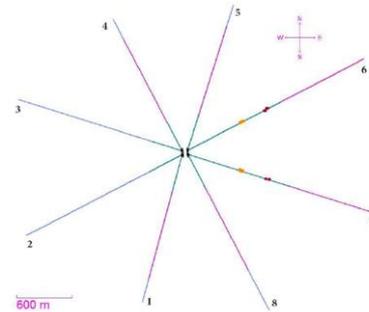


図 1 係留ライン全体図²⁾

表 2 構成係留ラインの特性

	Chain 1	Chain 2	Wire
外形	0.14 m	0.15 m	0.09 m
質量	0.11 ton/m	0.13 ton/m	0.03 ton/m
許容張力	6,003 kN	7,210 kN	7,250 kN
軸剛性	508,158 kN	620,973 kN	667,983 kN

表 3 係留ラインの構成

Line No.	構成ライン	全長
1	Chain 2	250 m
	Chain 1	1,013 m
	Wire	398 m
2	Chain 2	1,513 m
	Wire	398 m
3	Chain 2	1,513 m
	Wire	350 m
4	Chain 2	250 m
	Chain 1	1,659 m
	Wire	350 m
5	Chain 2	250 m
	Chain 1	1,013 m
	Wire	398 m
6	Chain 1	1,013 m
	Wire	1,141 m
7	Chain 1	1,013 m
	Wire	1,141 m
8	Chain 2	500 m
	Chain 1	1,013 m
	Wire	398 m

2. 3 制御システム

装備されたアジマススラスタの最大推力 DNV の簡易推定式で求めた。また、スラスタの推力到達速度と首振角速度については、弊所が持つデータ等に基づき設定した。

表 4 推進器の物理特性

最大推力	kN	568.8
推力到達速度	kN/sec	95.6
首振角速度	deg./sec	14.9

3. 解析手法

DP は本来、波周期運動抑制を目的としたものでないために長周期運動モデルに対する運動評価が行われる。本研究では将来的には係留系の疲労被害度評価を行うことも念頭にあったため、波周期も含めた 6 自由度運動モデルに対しての評価も行っている。6 自由度運動の数値シミュレーションは OrcaFlex を使用した。また、船体に作用する環境外力の内、波漂流力については WAMIT を使用した。得られた数値シミュレーション結果については、スラスタが及ぼす船体誘起現象の発生の有無に焦点を当てて調査するため、波入力に対する周波数及びスペクトル解析を行った。

4. 解析結果

4. 1 線形応答

はじめに浮体運動の特徴を把握するため、波浪に対するロールの応答関数を求めた。その結果を図 2 に示している。横軸は周波数 (Hz) で縦軸は振幅 (dB) を表記している。参考までにその時のコヒーレンスも併せて示している。図中には制御系の影響をより明確に確認するために、制御系ゲインをいくつか変更したものを併記している。基本ゲイン B は A を 2 倍したものであり、C は 10 倍したものである。

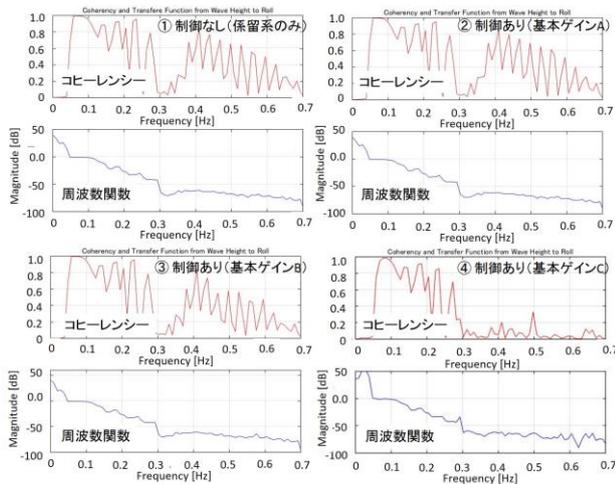


図 2 線形応答解析

線形関数であるため、コヒーレンスは波周期帯のみで高い値を示している。総じて波周期帯においては制御系の有無や制御系ゲインの影響はほとんどない。一方で長周期帯におい

ては違いが確認でき、特に C になると振幅が急増している様子が確認できる。これはスラスタアシスト制御系が長周期運動を抑制しようとしていることから副次的に発生する誘導現象であると考えられる。

4. 2 クロスバースペクトル

長周期域におけるスラスタアシストがロールに及ぼす影響をさらに特徴づけるため、クロスバースペクトル解析を行った。その結果を図 3 に示す。縦軸と横軸はそれぞれ入射波周波数 (Hz) であり、ロール応答値のコンター図となっている。TIM は波周期の差に起因する現象であるため、本論文では本結果の第四象限または第二象限に着目して分析した。制御無しの結果においては、周期が 50 秒よりも大きな周波数帯においてピークが確認される。この結果を基準にして制御系が加算された結果を見ていくと明らかにピーク形状の変化が確認される。特に④の場合においては、ピークが多峰化しており、さらにそれが急勾配化している。最終的には係留系被害度評価をする必要があるが、この長周期ロールの変化が係留系へ悪影響を及ぼす可能性があることを意味している。また、今回の結果からは制御系のゲインが大きくなるほどピーク形状も単調に変化するのではなく、例えば C の場合はピーク領域が若干小さくなるものの広域化するという特徴がある。係留系の影響を含めた全体最適設計の必要性を示唆している。

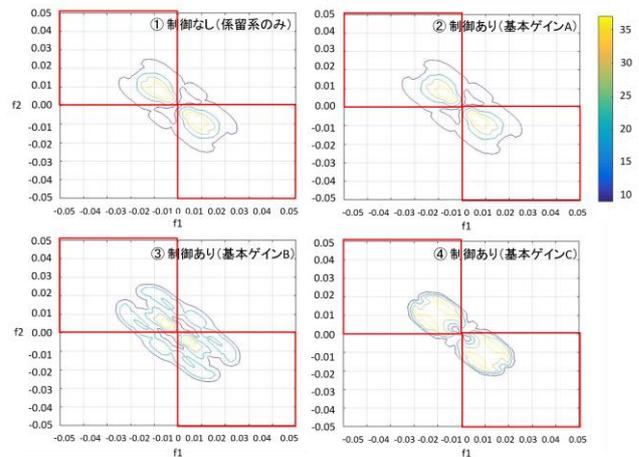


図 3 クロスバースペクトル解析

5. まとめ

本論文では、近年、海洋構造物の位置保持技術として採用されつつあるスラスタアシスト係留について調査し、TIM の影響に関する数値的研究を行った。

参考文献

- Arne Kvitrud: Lessons Learned from the Norwegian Mooring Line Failures 2010-2013, OMAE 2014-23095
- V. C. Browne: Assessment of Low-Frequency Roll Motions on the Semisubmersible Drilling Rig COSL Pioneer, NTNU, 2013