

係留船舶の動揺に基づく LNG 岸壁の稼働率に関する検討

鳥取大学 工学部 フェロー会員 上田 茂
鳥取大学大学院 学生員 ○土屋 京助

鳥取大学 工学部 正会員 池内 智行
名古屋大学大学院 学生員 山本 直輝

1. はじめに：一般に泊池の静穏度は波高に基づいて規定されているが、係船岸における荷役の可否は係留船舶の動揺を考慮して評価するのが合理的である。その一事例として、本研究では、鳥取港において将来 LNG 受け入れ施設を計画するとして、この手法を用いて稼働率を検討したものである。

2. 静穏度の算定手順：図-1 は静穏度の算定フローである。まず、波浪回折計算により岸壁前面の港内波高比(港外波高と港内波高の比)を求める。次に、動揺シミュレーション結果に基づき、荷役の可否により規定される係留船舶の許容動揺量を用いて対象船舶の波向き別、波周期別の荷役許容波高(港内波高)を求める。そして、港内波高比と荷役許容波高をもちいて許容沖波波高を求め、波高と周期の結合頻度分布から荷役の稼働率を計算する。本研究において、波浪回折計算と動揺シミュレーションは、港湾技術研究所の波浪回折計算プログラムと浮体動揺解析プログラムで行った。

3. 港内波浪回折計算：港内波浪回折計算の計算ケースは、NNE～WNW までの方角からの入射波を想定し、図-2 に示すように第一防波堤延長 300m を CASE1、さらに第 1 防波堤を 200m 延長したものを CASE 2 と設定した。次に、沖波を 1.0 としたときの港内波高比を、波向き別、波周期別に計算した。この結果より得られた岸壁前面の波高比を表-1 に示す。これより、CASE1 より CASE2 のほうが、WNW、NNW、NW からの入射波を効果的に低減していることが確認できる。

4. 動揺シミュレーション：係留船舶の動揺シミュレーションは 3000DWT タンカーを対象とし、載荷状態を空載として行った。この船舶の諸元を表-2 に示す。係留状況を図-3 に示す。波浪条件及び風の条件は表-3 に示す通りである。これらの組み合わせを考え、640 ケースの動揺解析を行った。そして、図-4 に示すようなデータ処理による動揺量の最大値と最小値から動揺 6 成分の振幅をケース毎に求めた。

5. 稼働率の算定：波浪回折計算によって求めた波高比、動揺シミュレーションによって求めた動揺量、表-3 に示す係留船舶の許容最大動揺量を用いて、次式より沖波許容波高を求める。

$$(\text{荷役許容波高}) = (\text{許容最大動揺量}) \div (\text{動揺計算における波高})$$

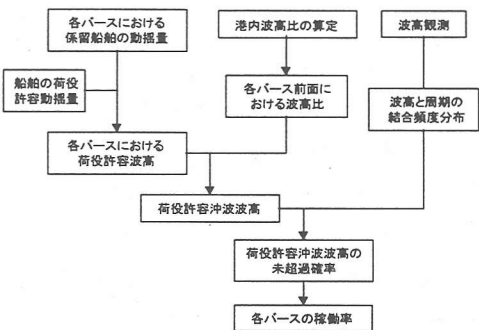


図-1. 静穏度算定フロー

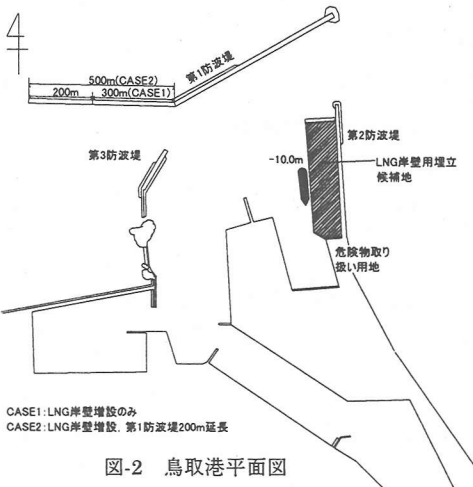


図-2 鳥取港平面図

表-1 岸壁前面の波高比

	CASE1						CASE2					
	周期	4	6	8	10	12	周期	4	6	8	10	12
LNG岸壁	WNW	0.38	0.33	0.27	0.21	0.20	WNW	0.17	0.16	0.13	0.12	0.09
	NW	0.27	0.27	0.16	0.19	0.19	NW	0.17	0.17	0.18	0.13	0.11
	NNW	0.15	0.16	0.15	0.14	0.15	NNW	0.11	0.13	0.16	0.13	0.12
	N	0.07	0.10	0.12	0.13	0.15	N	0.09	0.11	0.13	0.14	0.15
	NNE	0.10	0.14	0.17	0.19	0.20	NNE	0.10	0.14	0.17	0.19	0.21

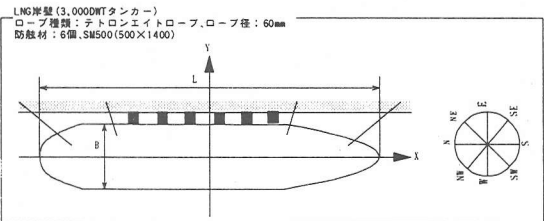


図-3 船舶係留状況

表-3 計算条件

岸壁	LNG岸壁
波向き(deg)	120,180
波周期 T(s)	4.0,6.0,8.0,10.0,12.0
波高 H(m)	0.1,0.3,0.5,0.7
風速 V(m/s)	0.0,5.0,10.0,15.0
風向(deg)	90,135,225,270

表-2 船舶諸元

対象船舶(タンカー)諸元		LNG岸壁
載荷重量トン	DWT	3,000
垂線間長	L_{pp} (m)	84.260
船幅	B (m)	14.300
喫水	d (m)	2.840
方形係数	C_B	0.750
重心	OG (m)	0.000
	KG (m)	5.280
メタセーター高	GM (m)	1.596

(許容沖波波高)=(荷役許容波高)÷(岸壁前面の波高比)

このとき、動揺計算における波高は、やや安全側であるが $H_{1/3}=0.7\text{m}$ とした。

次に、鳥取港での波の発生頻度と風の発生頻度、波高と周期の結合頻度分布表を用いて稼働率を求める。表-5は、鳥取港の波の発生頻度である。このとき、風向と波高は同一方向とし、風の発生頻度と波の発生頻度より、風速 0.0～5.0m/s のとき波高 0.0～2.5m、風速 5.0～10.0m/s のとき波高 2.5～4.5m、風速 10.0～15.0m/s のとき波高 4.5～6.5m、風速 15.0m/s 以上のとき波高 6.5m 以上の波が発生すると仮定して波高と周期の結合頻度分布を作成した。そして、これを考慮した上で、波向き別、風速別、波周期別、及び 6 成分別に求めた許容沖波波高を照らし合わせて、年間を通じての稼働率を求めた。これを表-6、表-7 に示す。

6. LNG 岸壁の稼働率の検討：LNG 岸壁での 6 成分別の稼働率を比較すると、CASE1、CASE2、いずれの場合にもスウェイに起因する稼働率が低い。CASE1 の場合、スウェイ、ロール、ヨウの 3 成分が目標値の 97.5% を下回った。しかし、CASE2 では稼働率はかなり向上し、スウェイ、ロールを除く 4 成分で目標値を満足した。スウェイの稼働率が低いことの原因として、西側開口部からの W 系の入射波が港内であまり反射せずに LNG 岸壁に進入することが考えられる。また、船舶の動揺解析結果からスウェイの動揺が許容最大動揺量を超えるケースが多いことがわかった。東側開口部からの入射波を想定した波向き 180° の場合、岸壁側から強い風が吹く場合、図-5 に示すような船体が岸壁から離れる方向へのドリフトが生じている。西側開口部からの入射波を想定した波向き 120° の場合は、図-6 に示すように係留系の非線形性に起因するサブハーモニックモーションが生じている。

8. 結論：本研究では、船体動揺に基づいて稼働率を求める手法について事例を示して検討した。ここで検討した LNG 岸壁の稼働率は、西側開口部からの W 系の波によるスウェイの動揺に支配されている。したがって、W 系の入射波の低減または、バース位置の検討などの対策が必要と考えられる。

参考文献：1) 上田 茂 「係岸船舶の動揺解析手法とその応用に関する研究」 港湾技術資料 NO.504 1984

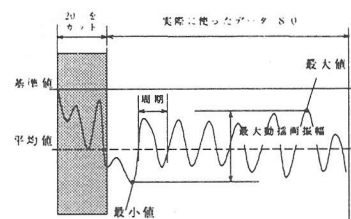


図-4 動揺量の振幅の定義

表-4 係留船舶の許容動揺量(内航タンカー)

サージング	スウェイ	ヒービング	ローリング	ピッチング	ヨウイング
±1.0	0.75	±0.5	±4.0	±3.0	±2.0

(m,deg)

表-5 鳥取港の波の発生頻度

W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	合計
3.04	14.30	8.69	18.87	20.96	20.83	8.89	4.33	0.00	100.00

表-6 波向き別の 6 成分の稼働率(CASE1)

	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	合計
surge	3.04	14.39	8.67	18.87	20.58	20.69	8.89	4.33	99.46
sway	2.99	13.84	8.16	14.80	17.59	19.10	8.83	4.32	89.63
heave	3.04	14.39	8.69	18.87	20.96	20.83	8.89	4.33	100
roll	3.04	14.39	8.40	17.10	20.36	20.45	8.86	4.33	96.93
pitch	3.04	14.39	8.69	18.87	20.96	20.83	8.89	4.33	100
yaw	3.04	14.39	8.55	17.89	20.73	20.58	8.87	4.33	98.38

表-7 波向き別の 6 成分の稼働率(CASE2)

	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	合計
surge	3.04	14.39	8.69	18.87	20.76	20.73	8.89	4.33	99.70
sway	3.04	13.34	8.12	18.61	19.37	19.45	8.58	4.32	94.83
heave	3.04	14.39	8.69	18.87	20.83	20.77	8.88	4.33	99.80
roll	3.04	14.26	8.46	18.66	20.03	19.82	8.84	4.32	97.43
pitch	3.04	14.39	8.69	18.87	20.96	20.83	8.89	4.33	100
yaw	3.04	14.26	8.69	18.87	20.56	20.58	8.88	4.33	99.21

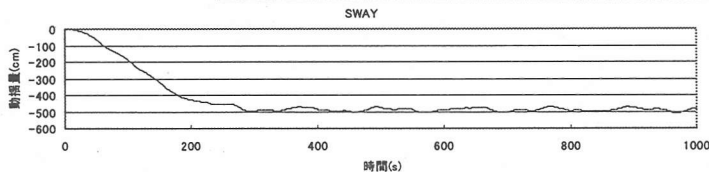


図-5 スウェイのドリフト

(波向:180、波高:0.3m、波周期:8秒、風向:270、風速:15m/s)

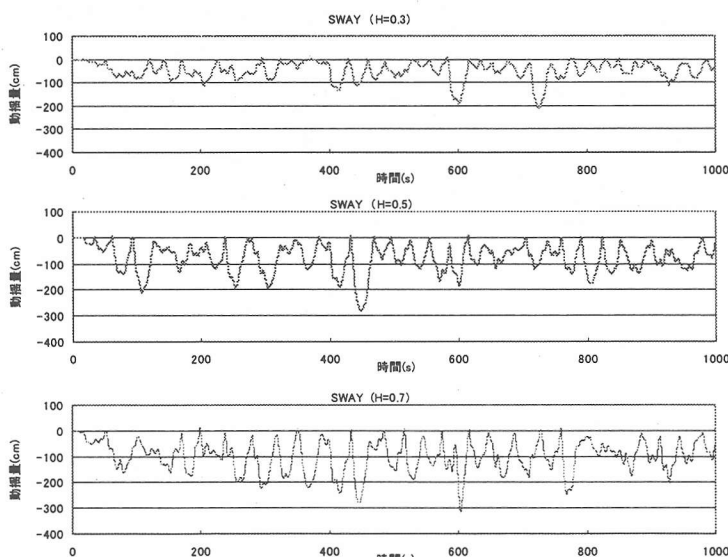


図-6 スウェイのサブハーモニックモーション

(波向:120、波高:0.3,0.5,0.7m、波周期:10秒、風なし)