

長周期波及びうねりに対する船体動揺防止に係る技術検討調査について

TECHNICAL STUDY ON PREVENTION MEASURES AGAINST SHIP MOTION CAUSED BY LONG PERIOD WAVES AND SWELLS

宮田亮¹・佐々木暢彦¹・藤井秀和¹・岡良²・二宮敦³

Ryou MIYATA, Nobuhiko SASAKI, Hidekazu FUJII, Ryou OKA and Atsushi NINOMIYA

¹国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所 (〒651-0082 神戸市中央区小野浜町7-30)

²正会員 財団法人沿岸技術研究センター (〒160-0004 東京都千代田区隼町3-16)

³正会員 株式会社日本港湾コンサルタント (〒651-0084 神戸市中央区磯辺通三丁目1-2)

This study examines how to assure safe mooring under influence of long period waves and swells for a passenger ship (50,142 GT) and a large wood-chip carrier (40,245GT) by means of numerical ship motion simulations. In the Port of Shingu, an offshore breakwater is still under construction, which allows the incident waves from the outer sea to reach the quay wall (depth of the water 11m) directly depending on the wave direction. This requires urgent countermeasures against unfavorable motion of the moored ships at the wharf in the port. The purpose of this study is to discuss how to secure safe mooring, considering progress of the breakwater construction.

As a result of the study, it is concluded that, while the breakwater should be completed as soon as possible, installation of air-type fenders on the existing quay wall makes mooring of the examined vessels safe even before completion of the breakwater.

Key Words : Long period wave, undulation, ship motion simulation, air-type fender

1. はじめに

(1) 長周期波とその被害

近年の船舶の大型化に伴い、周期が 10 秒以上のうねりや 30 秒以上の長周期波に対する船体動揺が問題となっている。周期の長い海面変動のため、目視で捉えることが難しく、大きな波浪が伴っていないにも関わらず、係留中の大型船舶が大きく動揺し、荷役作業の中断、係留索の切断等が発生することがある。これまでにうねりや長周期波に関する研究、そして長周期波が原因とされる船体動揺に関する研究は多々行われている¹⁾²⁾³⁾が、有効な対策案が講じられた事例は少なく、うねり及び長周期波による被害は顕著に減少していないのが実情である。

(2) 新宮港における被害

平成 18 年 11 月、和歌山県新宮港岸壁(-11m)にクルーズ客船が入港接岸した際、長周期波及びうねりによると思われる船体動揺で係留索を切断し、乗客を降ろさずに出港するという事例があった。同船は平成 19 年 1 月にも同港へ寄港したが、荒天により入港を断念した経緯がある。また、同岸壁にはクルーズ船だけではなく、大型チップ船も着岸する。大型チップ船はクルーズ船よりも重量トン数が大きく、長周期波による影響をより大きく受ける可能性

がある。新宮港は沖合に計画されている防波堤が整備中であり、波向きによっては岸壁(-11m)前面に直接外海から波浪が進入することがあり、係留船舶の船体動揺対策が当面の課題となっている。

(3) 検討の目的

本調査は新宮港をモデルとし、今後も同港に入港する可能性があるクルーズ船(50,142 GT)及び大型チップ船(40,245 GT)を対象に、船体動揺シミュレーション解析を行い、同船を岸壁に係留する場合の有効な係留方式について検討するものである。また、防波堤の整備状況を踏まえても安全に係留できる具体的な対策を提案し、その効果を定量的に評価・検討することを目的としている。

ここで、安全な係留とは、動揺量を後述する許容値を目安に「係留索が破断しない、かつ防舷材が過圧縮とならない係留」とした。最終的には、計画中の防波堤完成時の波浪条件下で、動揺についても許容値内となるような係留方法を検討する。

2. 検討方法

(1) 検討手法

本調査は、船舶係留に関する諸条件を変え、船体動揺シミュレーションを実施し、その結果より対策

案の基本的特性を把握した。なお、動揺量は船体の断面毎の2次元断面の流体力を特異点分布法により求め、ストリップ法を適用して、3次元の流体力として求めた。なお、プログラムは、(株)三井造船船島研究所の係船動揺解析システム MOSQ2⁴⁾を用いた。

(2) 検討条件

a) 対象船舶

本調査で対象とした船舶の諸元を表-1に示す。

b) 港湾形状

対象とした新宮港の平面図を図-1に示す。新宮港では沖合に計画する防波堤(300m+150m)が整備中であるため、東よりの波向きでは当該岸壁前面に直接外海から波浪が進入することがある。

c) 波浪条件

検討に用いた波浪スペクトルは、図-2に示す整備中の防波堤が完成する前後の二種類とした。スペクトルは2006年11月に発生した係留索破断事故の際の波浪より推算した。その結果、長周期波高は現況時で5cm、計画完成時で4cmとなった。なお、波向きは港口から進入する向きとした。

d) 風条件

検討に用いた風条件は、係留索破断事故が発生した当日の気象庁データより、以下の通り設定した。なお、シミュレーションではDavenport型の変動風として入力した。

風速：3 m/s， 風向：西北西

e) 係留索

検討に用いた係留索は、表-2の通りとした。本調査では現有索に加え対象船の係留力を変化させるため、現有係留索と荷重伸度特性が異なる超高分子量ポリエチレンロープを用いた検討も行った。ここ

表-1 対象船舶

	クルーズ船	大型チップ船
全 長	241 m	199.9 m
船 幅	29.6 m	32.2 m
満 載 喫 水	7.5 m	11.55 m
総 ト ン 数	50,142 t	40,245 t
載荷重量トン数	5,037 t	50,052 t

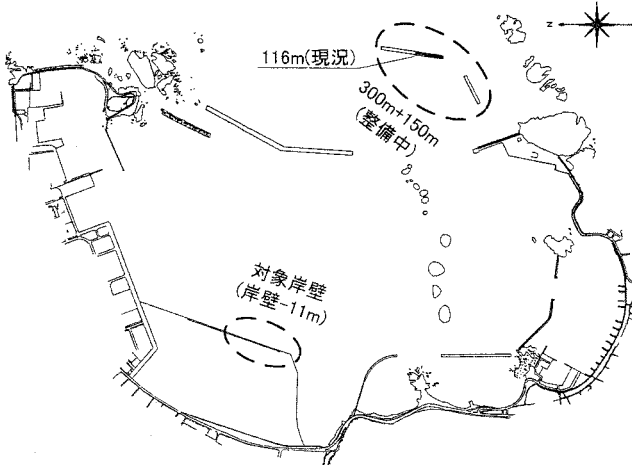


図-1 新宮港平面図

で、合成繊維の破断時の伸び率は約20%、ナイロンは約30%であるのに対し、超高分子量ポリエチレンは約5%である。

改良索にはテールロープに合成繊維を用い、破断強度は現有索と同程度とした。また、破断の危険性の判定には、安全率3.0を考慮した。

f) 防舷材

検討に用いた防舷材は表-3のとおりである。当該岸壁にはV600H×3200Lが18.65mピッチに設置されている。本調査では既設防舷材の検討に加え、サイズを大きくしたV型防舷材、低反力型V型防舷材そして空気式防舷材の3種類についても検討を行った。図-3に発生反力の違いを示す。

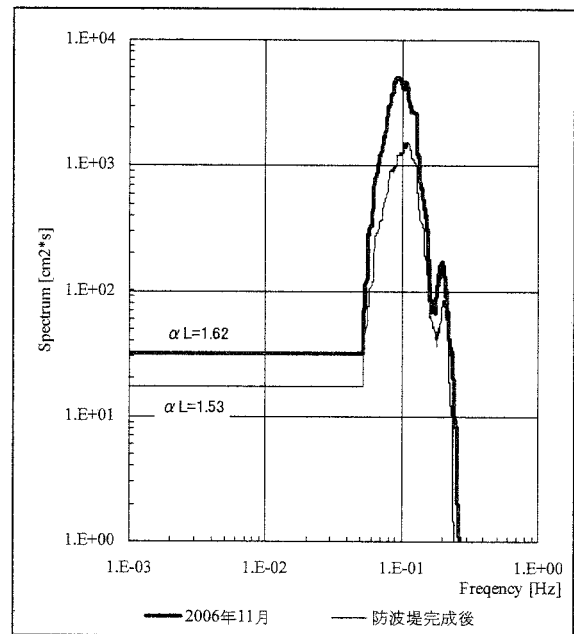


図-2 波浪スペクトル

表-2 係留索諸元

対象船	寸法	材質	破断強度 (kN)	許容張力 (kN)
クルーズ船	φ70	合成繊維	662	220
	φ48	超高分子量ポリエチレン	1020	220
	φ60	合成繊維	660	
大型チップ船	φ75	ナイロン	906	302
	φ48	超高分子量ポリエチレン	1020	336
	φ75	合成繊維	1010	

表-3 検討に用いた防舷材

防舷材	発生反力 (kN)	吸収エネルギー (kJ・m)	許容変位量 (%)	個数 (基)	備考
V600H×3200L	1413	282	45	11	V型防舷材
V1000H×2500L	1840	612	45	11	V型防舷材
V1000H×2200L	1489	625	52.5	11	低反力V型防舷材
φ2500×4000L	1370	654	60	3	空気式防舷材

g) 許容値

船体動揺結果の判定には表-4 に示す許容値を目安として用いた。これらは「港内長周期波影響評価マニュアル」⁵⁾に示された値である。

ここで、表-4 の Sway の許容値は岸壁からの移動距離で、冲向きへの許容値となっている。本調査では、後述する検討結果にプラスの値が出てくるが、これは岸壁に近づく動揺であり許容値内と判断した。また、船体動揺のパターンを図-4 に示す。

h) 係留モデル

係留モデルは、既往の係留実績及び船社ヒアリング等より想定しうるモデルを考慮し図-5 の通りとした。図中左上にはケース名を示している。なお、シミュレーションの座標は係留モデルの船首方向を X 軸の正とする右手座標系とした。Sway 方向は岸壁から離れる方向がマイナス方向となる。

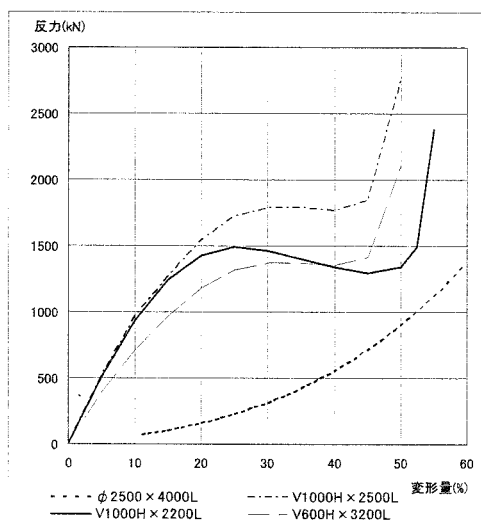


図-3 発生反力の違い

表-4 船体動揺の許容値

対象船	クルーズ船	大型チップ船
Surge	±0.4m	±1.0m
Sway	-0.5m	-0.75m
Heave	±0.4m	±0.5m
Roll	±1.0°	±2.5°
Pitch	±0.5°	±1.0°
Yaw	±0.5°	±1.5°

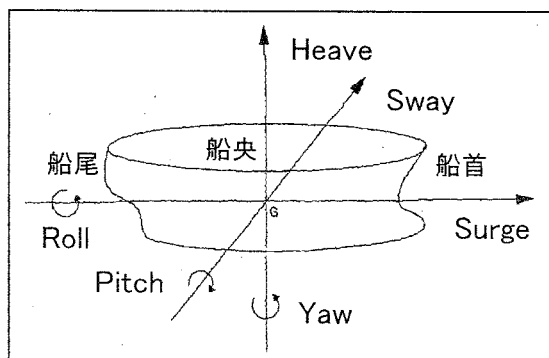


図-4 船舶の動揺成分

(3) 検討の流れ

a) 一次検討

現況係留での動揺特性を把握するため、クルーズ船及び大型チップ船が実際に新宮港に入港した際の再現を行い、これをベース案とした。なお、使用波浪条件は、新宮港にてクルーズ船の係留索破断事故が発生した 2006 年 11 月 23 日の波浪スペクトルを推算したものである。(検討ケース A-1 及び T-1)

b) 二次検討

二次検討では、係留系の変更による各動揺モードの動揺量の変化を把握する。係留系の変更では、配索、防舷材及び係留索の種類の変更とした。(検討ケース A-2, 3 及び T-2~5)

c) 三次検討

三次検討では、一次及び二次検討の結果を踏まえ、許容値を考慮した安全な係留方法について検討を行った。(検討ケース A-4~7 及び T-6~9)

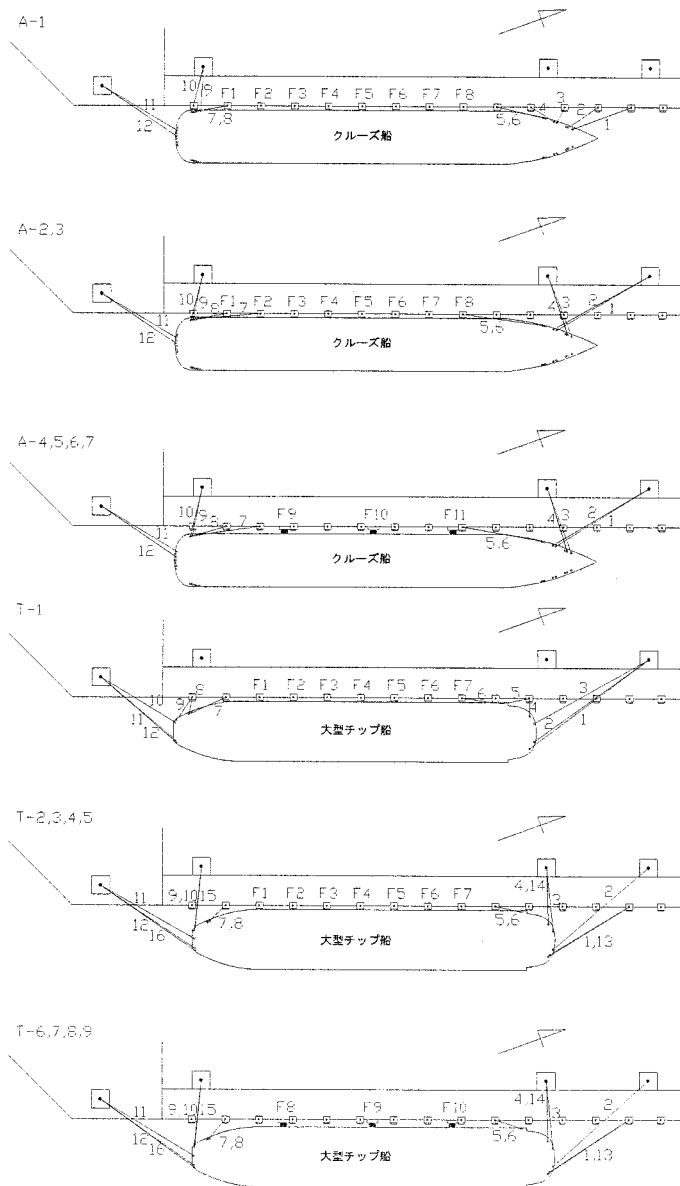


図-5 係留モデル

(4) 検討ケース

本調査で行った検討ケースは表-5 に示すとおりで、クルーズ船については A-1~7, 大型チップ船については T-1~9 の計 16 ケースである。表中の太文字斜体は係留要素の改良案を示している。

ここで、A-2 及び T-2 は船社にアンケートを行い、新宮港において有利と思われる配索で行ったケースである。なお、表中の BL は破断強度を示す。

3. 一次検討結果

(1) 動揺量

一次検討の検討結果のうち動揺量を表-6 に示す。なお、表中の太文字斜体は許容値を超過する動揺である。

これを見ると、クルーズ船では Surge, Sway, Roll 及び Yaw の動揺量が許容値を上回っている。

また、大型チップ船でも Surge 及び Sway の動揺が許容値を上回っている。

次に、動揺周期をみると、大型チップ船の Surge が 116 秒程度と長く、長周期波浪に対して共振しているものと思われる。

(2) 係留索の発生張力

発生張力のまとめを表-7 に示す。なお、表中の太文字斜体は許容値を超過した係留索である。これを見ると、両船共に短い係留索(breast)が許容値を超え、破断する危険性が高いことが分かる。2006 年 11 月 23 日に破断した係留索も breast であり、事故の現象と一致する。

(3) 防舷材の変形率

防舷材の変形率を表-8 に示す。なお、表中の太文字斜体は許容値を超過する防舷材である。これを見ると、全防舷材において過圧縮状態であり、防舷材の性能が不足しているものと思われる。

表-5 検討ケース

検討ケース	波浪スペクトル	防舷材	係留索	配索
A-1	2006. 11. 23	600H×3200 L	φ 70 (B L 662)	2006. 11. 23
A-2	2006. 11. 23	600H×3200 L	φ 70 (B L 662)	改良タイプ
A-3	2006. 11. 23	600H×3200 L	φ 48 (B L 1020) + φ 60 (B L 660)	改良タイプ
A-4	2006. 11. 23	φ 2500×4000 L	φ 70 (B L 662)	改良タイプ
A-5	2006. 11. 23	φ 2500×4000 L	φ 48 (B L 1020) + φ 60 (B L 660)	改良タイプ
A-6	防波堤完成後	φ 2500×4000 L	φ 70 (B L 662)	改良タイプ
A-7	防波堤完成後	φ 2500×4000 L	φ 48 (B L 1020) + φ 60 (B L 660)	改良タイプ

検討ケース	波浪スペクトル	防舷材	係留索	配索
T-1	2006. 11. 23	600H×3200 L	φ 75 (B L 906)	2007. 8. 29
T-2	2006. 11. 23	600H×3200 L	φ 75 (B L 906)	改良タイプ
T-3	2006. 11. 23	600H×3200 L	φ 48 (B L 1020) + φ 75 (B L 1010)	改良タイプ
T-4	2006. 11. 23	1000H×2500 L	φ 75 (B L 906)	改良タイプ
T-5	2006. 11. 23	1000H×2200 L	φ 75 (B L 906)	改良タイプ
T-6	2006. 11. 23	φ 2500×4000 L	φ 75 (B L 906)	改良タイプ
T-7	2006. 11. 23	φ 2500×4000 L	φ 48 (B L 1020) + φ 75 (B L 1010)	改良タイプ
T-8	防波堤完成後	φ 2500×4000 L	φ 75 (B L 906)	改良タイプ
T-9	防波堤完成後	φ 2500×4000 L	φ 48 (B L 1020) + φ 75 (B L 1010)	改良タイプ

(4) 一次検討の考察

両船共に許容値を超えた動揺が発生しており、クルーズ船では Surge, Sway, Roll 及び Yaw が、大型チップ船では Surge, Sway が大きく、荷役作業に支障があると思われる。

また、破断する危険性がある係留索はクルーズ船に多くみられ、防舷材は全て過圧縮となった。

これらの検討結果より、防舷材の大きな変形率から発生する防舷材反力が動揺(Sway や Yaw)を増長し、その結果として係留索張力の増大、そして破断を招いていると推察される。

4. 二次検討結果

(1) 配索の変更による効果の把握

船社アンケートを参考に船首尾の配索が対称に近くなるよう変更した動揺結果を表-9 に示す。なお、表中括弧内の値は A-1, T-1 との比率を示し、太文字斜体は低減された動揺である。

これを見ると、両船共に Surge 及び Sway について若干の動揺低減がみられる。T-2 では Roll が増大するが、Surge 及び Sway は低減される。これは 4 本の増索の効果と考えられる。

表-6 A-1 及び T-1 の動揺量(片振幅, 最大値)

モード	許容値	A-1		許容値	T-1	
		動揺量	動揺周期		動揺量	動揺周期
Surge	±0.4 m	0.56 m	43.4 s	±1.0	1.42 m	116.4 s
Sway	-0.5 m	-2.95 m	23.2 s	-0.75	-2.80 m	19.8 s
Heave	±0.4 m	0.38 m	11.6 s	±0.5	-0.32 m	13.4 s
Roll	±1.0°	-5.40°	16.4 s	±2.5	-1.57°	35.6 s
Pitch	±0.5°	-0.30°	11.0 s	±1.0	0.17°	11.8 s
Yaw	±0.5°	0.91°	22.2 s	±1.5	-1.08°	29.6 s

表-7 A-1 及び T-1 の発生張力(最大値)

	許容値	A-1		許容値	T-1
bow	220 kN	135 kN	bow	302 kN	78 kN
bow		280 kN	bow		78 kN
breast		578 kN	bow		73 kN
breast		284 kN	breast		423 kN
spring		102 kN	breast		72 kN
spring		102 kN	spring		123 kN
spring		167 kN	spring		87 kN
spring		181 kN	breast		176 kN
breast		284 kN	breast		167 kN
breast		342 kN	stern		95 kN
stern		125 kN	stern		94 kN
stern		143 kN	stern		93 kN

表-8 A-1 及び T-1 の防舷材変形率

	許容値	A-1	T-1
F1	45%	72 %	91 %
F2		64 %	62 %
F3		58 %	52 %
F4		57 %	47 %
F5		57 %	50 %
F6		56 %	56 %
F7		61 %	79 %
F8		63 %	—

(2) 防舷材の変更による効果の把握

ここでは既設防舷材よりも吸収エネルギーが大きく反力特性の異なる防舷材にて検討を行う。なお、検討は排水量の大きい大型チップ船にて行った。検討ケースと使用防舷材は表-10 に示すとおりである。

検討結果を表-11, 12 に示す。なお、表中括弧内の値はT-2 との比率である。また、低減された動揺を太文字斜体で示した。

まず表-11 をみると、吸収エネルギーの大きい防舷材を用いるほど、Sway 及び Yaw が低減されている。この傾向は空気式防舷材を用いた場合に顕著で、Surge が若干増加するが、Sway 及び Yaw ではT-2 の半分程度まで減少する。

防舷材の変形率をみると、V 型防舷材を用いたケースでは全ての防舷材が、低反力V型防舷材を用いたケースでも4基の防舷材が過圧縮となっている。これに対し、空気式防舷材を用いたケースでは、全ての防舷材が許容値内で変形している。

次に、表-12 をみると空気式防舷材を用いた T-6 の発生張力の減少が顕著で、船首尾の係留索で70%程度まで、breast 及び spring で50%程度まで減少している。

(3) 係留索の変更による効果の把握

現有の係留索から改良索に変更した場合の検討結果を表-13 に示す。なお、表中括弧内の値はそれぞれA-2 及びT-2 との比率である。そして、表中の太文字斜体は低減された動揺である。

この表をみると、両船共に Surge, Sway 及び Yaw が大きく低減されているが、Roll が増大していることが分かる。また、係留索発生張力が増大し、破断する危険性が増大する。

5. 三次検討結果

ここでは、一次及び二次検討の結果を踏まえ、最適な係留方法を検討する。検討に当たっては、二次検討で把握された係留索の変更による効果のうち、配索及び防舷材の変更を必須とし、これに係留索の変更及び防波堤の延長を考慮し検討を行った。

表-9 配索変更の動揺結果(片振幅、最大値)

	A-1	A-2	T-1	T-2
Surge(m)	0.56	0.54 (0.96)	1.42	-0.95 (0.67)
Sway(m)	-2.95	-2.79 (0.95)	-2.80	-2.17 (0.78)
Heave(m)	0.38	0.38 (1.00)	-0.32	-0.32 (1.00)
Roll(°)	-5.40	-4.39 (0.81)	-1.57	-2.21 (1.41)
Pitch(°)	-0.30	-0.30 (1.00)	0.17	-0.17 (1.00)
Yaw(°)	0.91	-1.04 (1.14)	-1.08	-0.97 (0.90)

表-10 使用防舷材

T-1	V600H×3200L	V型防舷材(既設)
T-4	V1000H×2500L	V型防舷材
T-5	V1000H×2200L	低反力V型防舷材
T-6	φ2500×4000L	空気式防舷材

なお、変更後の防舷材は、二次検討で最も有効と判断された空気式防舷材(φ2500×4000L)である。表-14 に三次検討で行った検討ケースを示す。

(1) 防波堤が現況の場合の検討

ここでは、防波堤延長が現況(116m)の場合での検討結果を示す。表-15 及び 16 に検討結果を示す。表中の太文字斜体は動揺の許容値を満足しない動揺である。また、表中には動揺周期も併せて示した。

これらの表をみると、防舷材を変更したケースではクルーズ船では Surge 及び Roll が、大型チップ船では Surge の動揺量が許容値を超過している。

次に、防舷材及び係留索を変更したケースでは、両船共に Surge の動揺量は改善されるが、Roll の動揺量は大きくなり許容値を超過する。

表-11 動揺量及び防舷材変形率(最大値)

	T-2	T-4	T-5	T-6
Surge(m)	-0.95	-0.92(0.96)	-0.94(0.99)	-1.01(1.06)
Sway(m)	-2.17	-2.4(1.10)	-1.86(0.86)	1.13(0.52)
Heave(m)	-0.32	-0.32(1.0)	-0.32(1.0)	-0.32(1.0)
Roll(°)	-2.21	-2.4(1.09)	-2.04(0.92)	-1.42(0.64)
Pitch(°)	-0.17	0.17(1.0)	-0.17(1.0)	-0.17(1.0)
Yaw(°)	-0.97	-0.99(1.02)	-0.81(0.84)	0.35(0.36)
防舷材	全て過圧縮	全て過圧縮	4基過圧縮	全て許容値内

表-12 係留索発生張力(係留索種類の平均値)

	T-2	T-4	T-5	T-6
bow	99.5	105.5(1.06)	91.0(0.91)	63.5(0.64)
船首breast	132.7	112.0(0.84)	119.3(0.90)	60.3(0.45)
spring	120.0	131.0(1.09)	124.0(1.03)	75.5(0.63)
船尾breast	133.7	146.7(1.10)	130.0(0.97)	69.0(0.52)
stern	90.8	95.5(1.05)	86.0(0.95)	81.0(0.89)

(kN)

表-13 係留索変更の動揺結果(片振幅、最大値)

	A-2	A-3	T-2	T-3
Surge(m)	0.54	-0.38(0.70)	-0.95	0.63(0.66)
Sway(m)	-2.79	-2.01(0.72)	-2.17	-1.53(0.71)
Heave(m)	0.38	0.38(1.0)	-0.32	-0.34(1.06)
Roll(°)	-4.39	-5.65(1.29)	-2.21	-5.36(2.42)
Pitch(°)	-0.30	-0.32(1.07)	-0.17	-0.21(1.24)
Yaw(°)	-1.04	0.72(0.69)	-0.97	0.6(0.62)
係留索	4本 破断	9本 破断	全て許容値内	8本 破断
防舷材	全て過圧縮	7基 過圧縮	全て過圧縮	全て過圧縮

表-14 三次検討での検討ケース

	防波堤の延長	係留索の変更
A-4, T-6	現況(116m)	なし
A-5, T-7	現況(116m)	あり
A-6, T-8	計画完成(300+150m)	なし
A-7, T-9	計画完成(300+150m)	あり

表-15 クルーズ船での検討結果(片振幅、最大値)

	許容値	A-4		A-5	
		動揺量	動揺周期	動揺量	動揺周期
Surge	±0.4m	-0.46m	49.8 s	-0.21m	21.0 s
Sway	-0.5m	1.07m	10.4 s	1.01m	10.8 s
Heave	±0.4m	0.38m	11.6 s	0.38m	11.6 s
Roll	±1.0°	-1.16°	10.0 s	-1.25°	11.0 s
Pitch	±0.5°	-0.29°	11.0 s	-0.30°	10.8 s
Yaw	±0.5°	-0.28°	10.8 s	-0.27°	11.0 s

なお、この 4 ケースの係留索発生張力及び防舷材の変形率は全て許容値内であった。

(2) 防波堤が完成した後の検討

ここでは、防波堤が完成した後の A-6, 7 及び T-8, 9 について、これらの検討結果を表-17 及び 18 にそれぞれ示す。これらの表をみると、全ての動揺で許容値を満足していることがわかる。また、この 4 ケースの係留索発生張力及び防舷材の変形率は全て許容値内であった。

(3) 考察

防舷材のみの変更では防波堤が完成するまで動揺量が若干許容値を超過するが、防波堤が完成すれば全て許容値内となる。ここで、許容値の超過量は Surge で数 cm, Roll の鉛直移動では 10cm 程度であり、船舶の規模を考慮すれば大きな超過量ではなく、現況と比較して岸壁利用の支障は格段に少なくなる。

また、防舷材及び係留索を変更するケースでも、防波堤完成前に Roll の動揺量が許容値を超過するが、この超過量も Roll の鉛直移動では 10cm 程度であり、岸壁利用の支障は格段に少なくなる。なお、防波堤完成後には両ケース共に全ての動揺量が許容値内となる。

表-19 にベースケース(A-1 及び T-1)と A-4, T-6 の比率を示す。両船ともに Sway 及び Yaw の低減が大きいことがわかる。クルーズ船については Roll の低減効果も大きい。

6. まとめ

(1) 最適な係留方法

三次検討の結果より、防波堤が完成するまでの間でも、防舷材を変更するもしくは防舷材及び係留索を変更することにより、船体動揺については許容値を満足しないまでも、岸壁利用に支障が出ない程度の動揺量に低減可能であることを把握した。

これらについて経済性を考慮すれば、防舷材のみ変更するケースは係留索を装備する費用が不要で、有利であると思われる。

これより、当該港における船体動揺対策として、現在整備中の沖合防波堤が完成するまでの対策として、現岸壁に空気式防舷材を設置することである程度安全な係留が確保できるものと思われる。

(2) おわりに

重量トン数が大きな船舶は、Surge が長周期波に共振し易いことは従来から言及されている。本調査においても大型チップ船にその傾向が見られた。また、大型チップ船、クルーズ船共に周期 10 秒前後のうねりに Sway で共振する傾向にあることも分かった。これらの共振動揺量に対し、本調査で明らかにされた空気式防舷材による低減効果は、長周期波に対する同規模船舶の安全な係留方法を検討する

表-16 大型チップ船での検討結果(片振幅、最大値)

	許容値	T-6		T-7	
		動揺量	動揺周期	動揺量	動揺周期
Surge	±1.0m	-1.01m	116.4 s	-0.81m	54.6 s
Sway	-0.75m	1.13m	11.0 s	1.08m	11.8 s
Heave	±0.5m	-0.32m	13.4 s	-0.32m	13.4 s
Roll	±2.5°	-1.42°	20.0 s	-2.84°	30.8 s
Pitch	±1.0°	-0.17°	11.6 s	0.18°	11.6 s
Yaw	±1.5°	0.35°	11.2 s	-0.41°	11.2 s

表-17 クルーズ船での検討結果(片振幅、最大値)

	許容値	A-6		A-7	
		動揺量	動揺周期	動揺量	動揺周期
Surge	±0.4m	0.30m	55.2 s	0.15m	26.4 s
Sway	-0.5m	0.66m	9.8 s	0.59m	10.2 s
Heave	±0.4m	-0.24m	11.8 s	-0.24m	11.8 s
Roll	±1.0°	-0.71°	9.8 s	-0.80°	10.6 s
Pitch	±0.5°	-0.17°	10.6 s	-0.17°	10.6 s
Yaw	±0.5°	-0.15°	10.4 s	-0.15°	10.8 s

表-18 大型チップ船での検討結果(片振幅、最大値)

	許容値	T-8		T-9	
		動揺量	動揺周期	動揺量	動揺周期
Surge	±1.0m	-0.95m	116.6 s	-0.34m	50.4 s
Sway	-0.75m	0.91m	11.2 s	0.75m	12.4 s
Heave	±0.5m	-0.21m	14.0 s	0.21m	14.2 s
Roll	±2.5°	-1.42°	29.8 s	-1.45°	30.6 s
Pitch	±1.0°	0.11°	12.0 s	0.11°	11.8 s
Yaw	±1.5°	0.25°	12.0 s	0.25°	11.8 s

表-19 ベースケースとの比較

	A-4 / A-1	T-6 / T-1
Surge	0.82	0.71
Sway	0.36	0.40
Heave	1.00	1.00
Roll	0.21	0.90
Pitch	0.97	1.00
Yaw	0.31	0.32

のに有効な情報を提供しているものと考えられる。

謝辞：本調査を遂行するにあたり、(独)港湾空港技術研究所海洋水工部長 平石哲也氏には、多くの貴重なご意見、ご指導を賜り、深く感謝致します。

参考文献

- 1) 運輸省港湾技術研究所：長周期波による港湾施設の被害特性とその対策工法に関する調査，港湾技研資料 No873，1997。
- 2) 白石・久保・上田・榊原：係留システムに着目した長周期波に対する船舶の動揺抑制対策，海岸工学論文集，第 42 巻，pp941 - 945，1995。
- 3) 平石・国栖・水谷：船体動揺から評価した長周期波対策岸壁の性能，海岸工学論文集，第 51 巻，pp696 - 700，2004。
- 4) 小林・島田・藤平：複合外力下における係留浮体の応答シミュレーションプログラム，三井造船技報第 125 号別冊，pp10 - 18
- 5) 財団法人沿岸技術研究センター：港内長周期波影響評価マニュアル，2004。