

遮蔽構造による長周期動揺対策の検討

A COUNTERMEASURE AGAINST LOW FREQUENCY MOTIONS OF A MOORED SHIP USING SHIELDING STRUCTURE

谷垣信吉¹・松浦正己²・木原一禎³

Shinkichi TANIGAKI, Masami MATSUURA and Kazuyoshi KIHARA

¹正会員 工修 三菱重工業株式会社 長崎研究所 (〒851-0392 長崎市深堀町5-717-1)

²非会員 工修 三菱重工業株式会社 長崎研究所 (〒851-0392 長崎市深堀町5-717-1)

³正会員 工修 三菱重工橋梁エンジニアリング株式会社 (〒108-8215 東京都港区港南2-16-5)

This paper shows a countermeasure against low frequency motions of a moored ship. It is difficult to decrease the low frequency surge motions of the ship moored by fiber ropes, because breakwater cannot prevent the entrance of low frequency components of ocean waves. Furthermore the very small damping force of surge motion interferes reducing resonance motions in the low frequency range.

The shielding structure, which is close to the weather side of the ship, is prevent the flow due to the low frequency waves so it decreases the wave exciting force. Then the effect of the shielding structure is confirmed by the tank tests. Moreover, the effect of the structure, which consists of flame structure and membrane, is also confirmed.

This shielding structure effectively decreases the low frequency surge motions of a moored ship.

Key Words : Low frequency motion, moored ship, shielding structure, membrane, tank test

1. 研究の背景

近年, 港内が静穏であるにもかかわらず, 大型の係留船舶が大きく動揺する事例が報告されている¹⁾. この原因の一つとして, 波浪中にわずかに含まれる波の長周期成分が, 係留系の固有周期で同調したものと考えられている. (財) 沿岸技術研究センターでは, 平成16年に「港内長周期波影響調査マニュアル²⁾」をまとめており, 長周期波の特性やその対策について説明されている.

波の長周期成分は, 防波堤による遮蔽効果がほとんど期待できないため, 減衰することなく港内に進入する. これまで, 長周期動揺の対策として

- a) 消波工付きの岸壁による波の減衰³⁾
- b) 係留系の調整による固有振動数の変更⁴⁾

等が考えられている. これらの対策でも効果が得られるものの,

- a) 外力周期が長く, 消波工で減衰しにくい
- b) 対象とする外力周期の幅が広く, 固有周期調整にも幅が必要となる

等を考えると, 他の手法を含めた多重の対策が必要である.

動揺が長周期であるため, 運動および外力の減衰はあ

まり期待できないが, 浅海域における長周期の波はゆっくりした往復流であると考えることができ, 遮蔽構造を係留船舶のごく近傍に設置することで船体前面からの外力を低減できる可能性がある.

そこで, 係留船舶の波上側のごく近傍に, 遮蔽構造を設置した場合の係留船舶のサージ (前後揺) の低減効果について, 実験的に検証した.

2. 水槽での長周期波生成の検証

試験水槽では, 水槽壁での反射影響が避けられないため, 長周期の造波は難しいと考えられている. また, 造波板のストロークが十分なければ, 有意な水位変動が得られない. そこで, まず水槽内における長周期波の生成について, その有効性を検証した.

長さ42m, 幅15m, 深さ1.2mの水槽を使用した. 造波板はフラップ型で, 浅水深での試験のために, 中央の計測位置で仮底を設置して嵩上げした. この様にすることで, 深水深域に配置された造波板によって与えられた長周期の造波エネルギーが, 滑らかに浅水域に伝播されることを狙った.

また, 水槽壁による反射波を低減する対策として, 係

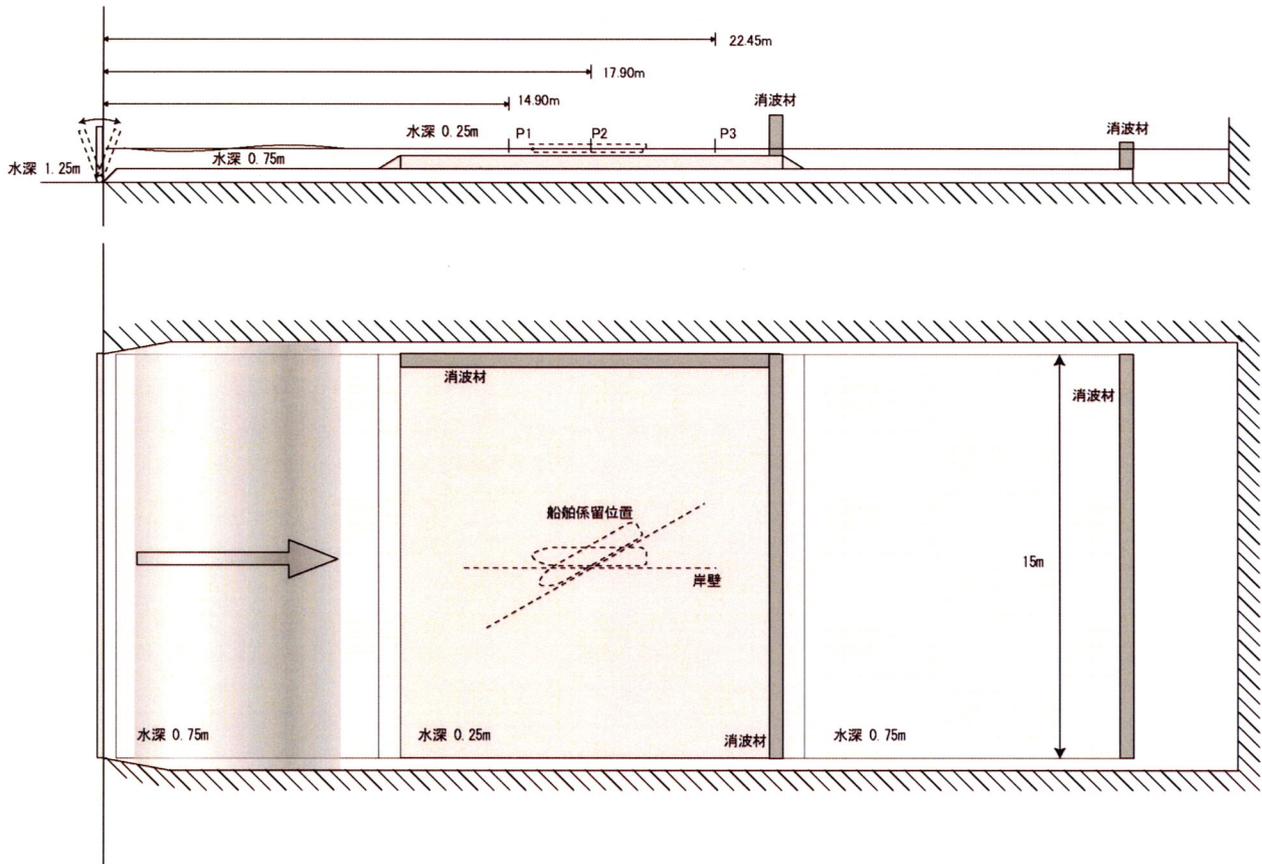


図 1 仮底の外形と波高計の設置位置
(破線は船舶の係留位置)

留想定位置のすぐ背後に消波装置を配置した。その効果は小さいと思われるが、浅水深（水深250mm）による伝播中の波の減衰とあわせて、反射影響を低減することを目指した。

図 1 に仮底および消波工の配置を示す。あわせて後述する船舶模型の係留位置を示している。この配置で、造波板から14.90m (P1)、17.90m (P2)、22.45m (P3) の位置に波高計を設置し、次の2ケースの造波を行った。

- ① 2波造波後に停止：反射波の影響確認
- ② 連続造波：伝播中の減衰状況の確認

①の場合（波周期12.7s）のP1～P3での水位変動のタイムヒストリーを図 2 に示す。浅水深であるため、波速は $(gh)^{0.5}=1.57\text{m/s}$ であり、反射の影響があれば30～40s後付近に現れると思われるが、その影響はほとんどない、すなわち反射波が水槽中央部の水位変動に与える影響は小さいことがわかる。また、各場所で波形が異なるが、これは仮底による水深の変化が原因であると考えられる。

次に②の場合の各点でのタイムヒストリーを図 3 に、波高の分布を図 4 に示す。造波板から10m付近で水深が50cm浅くなっており、その影響が15mの付近の波高に現れている。波の伝播に伴う波高の減衰も現れており、場所によって波高が異なっている。しかし、図 3 に示すよ

うに、生成波の時系列は安定しており、長周期波浪成分による船体動揺の影響を調べることは可能であると考えられる。

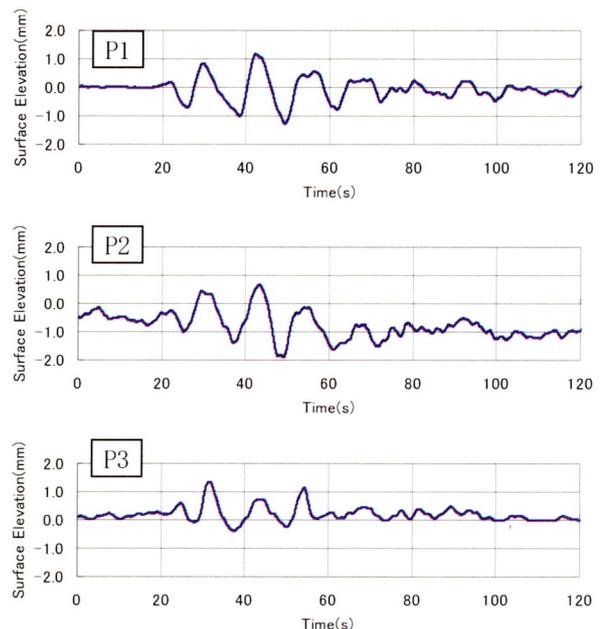


図 2 2波造波時の水位変動のタイムヒストリー

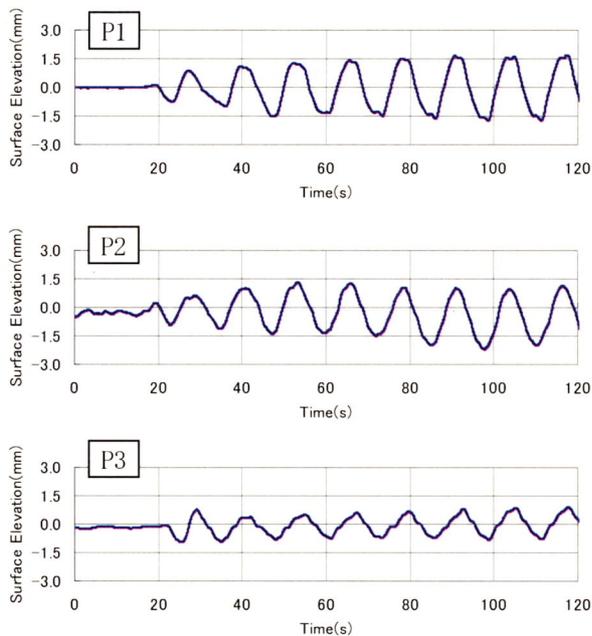


図 3 連続造波時の水位変動のタイムヒストリー

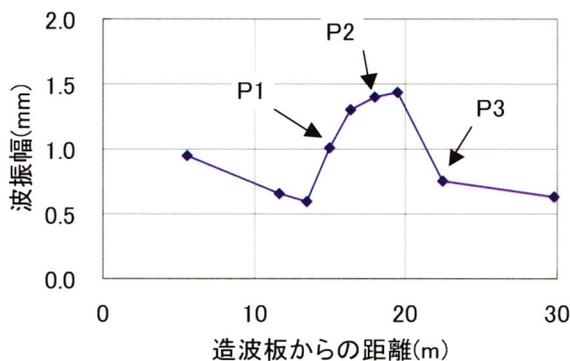


図 4 連続造波時の波高分布

3. 長周期動揺対策工の水槽試験

(1) 長周期動揺対策工のアイデア

防波堤では長周期波の進入を防ぐことは難しい。これは、極めて周期が長く、湾口を回りこんで港内に進入するためである。また、長周期の運動に対する減衰力を期待することは、基本的に難しい。

港内に進入する波浪を低減できず、動揺の減衰も期待できないことから、波浪による強制力を何らかの方法で低減することを検討した。長周期動揺を引き起こす強制力は、主に船体前後の圧力差によって生じる前後力である。そこで船体の波上側近傍に遮蔽構造を取り付ける構造形式を考えた。この遮蔽構造により、船体波上側の流れにともなう圧力は少なくとも低減できると考えられる。

本検討では、この遮蔽構造による長周期動揺低減効果を、水槽試験により検討した。

(2) 遮蔽構造の影響調査試験

a) 模型の要目

前述の水槽にて、長周期動揺対策工についての水槽試験を実施した。試験に使用した模型の要目を表 1 に示す。本検討ではサージ運動で着目しているため、船体の横方向の動きを柔らかいバネで拘束した。船体運動を計測する際には、船体のサージ固有周期が95s相当なることを想定して、前後方向の係留バネのバネ定数を設定した。

b) 遮蔽構造の要目

遮蔽構造は、なるべく係留船舶の直近に設置することとした。岸壁から板を張り出すだけの構造では、板を回り込んでくる波が大きいことと、斜めからの波に対する遮蔽効果が得られないことから、図 5 に示したように船首部分を取り囲むような構造形式を想定した。遮蔽構造の要目を表 2 に示す。基礎データとなる遮蔽構造物がない Case 1 と、張り出し幅 $b=1.5B$ とし、張り出し長さ l 、および船体 FP (船首垂線) からの距離 δ を変化させた Case 2~4 について試験を実施した。

c) 波条件

波の長周期成分との共振現象についての検証を行うため、波は一方向規則波とした。波周期は、想定固有周期 90~105s 付近で変化させて、共振曲線の様子を調べた。波振幅は 0.15m 相当 (模型で 3mm) とした。また、波方向は縦波 (180度) だけでなく、斜め波 (150度) についても実施した。波方向の定義は図 5 に示すとおりである。

表 1 係留船舶模型の主要目

		模型	実機
縮尺		1/50	1/1
船長	L_{pp}	4.05 m	202.5 m
船幅	B	0.661 m	33.05 m
喫水	d	0.122 m	6.1 m
排水量	Δ	232 kg	29000 t
係留バネ定数	K	0.053 N/mm	132.5 kN/m

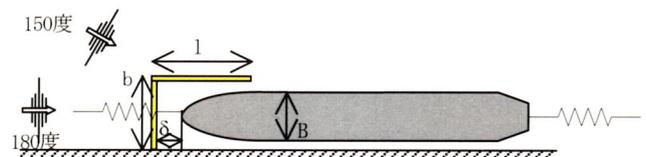


図 5 遮蔽構造物の配置と波方向

表 2 遮蔽構造の要目

	l	b	δ
Case 1	0.0B	0.0B	—
Case 2	1.0B	1.5B	0.75B
Case 3	1.0B	1.5B	0.5B
Case 4	2.0B	1.5B	0.5B

d) 試験結果

Case 1~4における単位波振幅あたりのサージ振幅を実機スケールで表して図 6に示す。後述のように単位波振幅あたりの波強制力は、波周期が長くなるにしたがって大きくなるため、サージ振幅も大きくなっている。船体からの距離 δ を0.75Bから0.5Bに変えてもほとんど効果が得られないが、張り出し長さ l を2.0Bにすることで、大幅なサージの低減が得られた。波周期95s相当での波、およびCase 1, 4におけるサージの時系列を図 7に示す。また、付加マスの影響で固有周期が若干のびており、明確なピークが得られていない。波振幅0.1m相当の波に対して、Case 1では振幅8m程度までサージが大きくなって

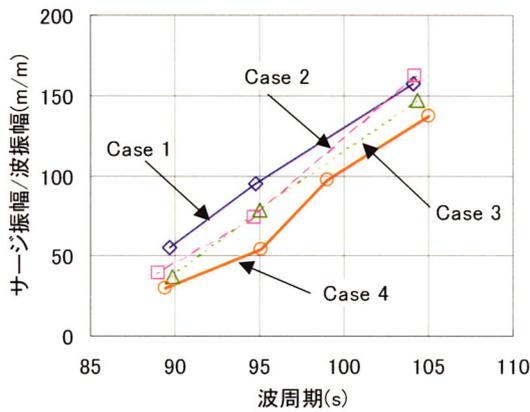


図 6 単位波振幅あたりのサージ振幅

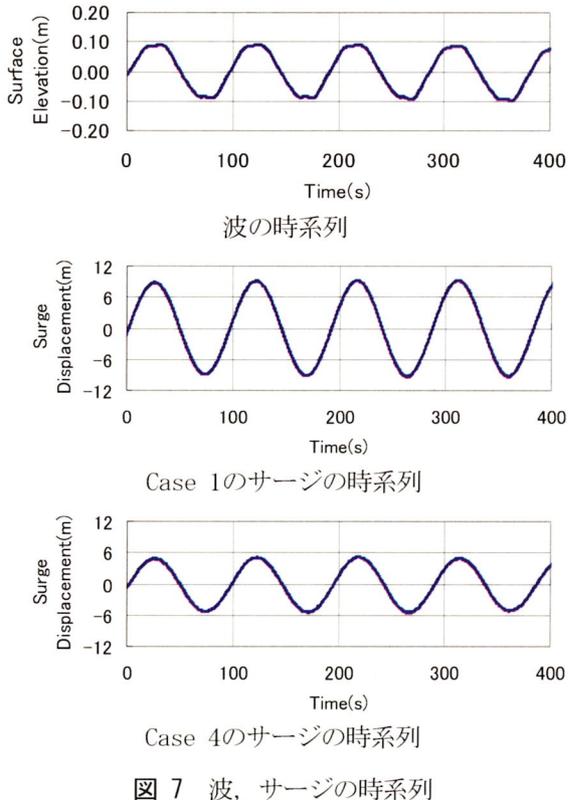


図 7 波、サージの時系列

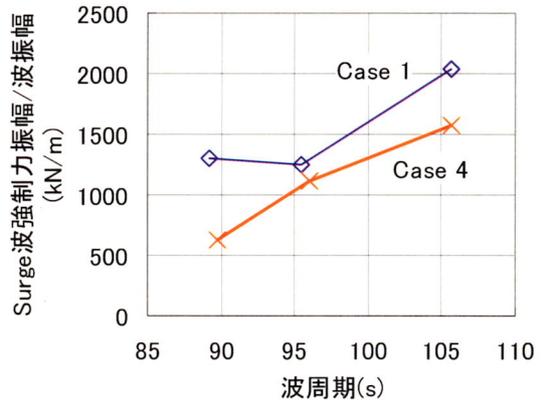


図 8 単位波高あたりの波強制力

いるのに対して、Case 4では5m程度にサージ振幅が低減されていることがわかる。

(3) 遮蔽構造による波強制力の変化

動揺を低減できる遮蔽構造の効果については実験的に検証できたが、その要因の一つと考えられる波強制力低減効果についての計測を、Case 1, 4のケースにて実施した。波強制力計測の際には前後の係留用のバネを外して剛な係留に変更した。

単位波振幅あたりの波強制力を図 8に示す。波強制力と動揺の振幅は比例するが、動揺の低減率ほど波強制力は低減していない。動揺試験でより大きな効果が出ている原因として、動揺に伴う船と遮蔽構造の相対位置が変化することにより、

- ・ 外力および位相差が変化
- ・ 船体-遮蔽構造間の隙間の流れに伴う減衰

等が考えられる。しかしながら、現象を解明するには、さらに詳細な実験もしくは数値計算が必要と考えられる。

(4) 膜による遮蔽構造での効果

遮蔽構造物は、係留船舶のごく近傍に設置することで効果が得られるが、係留作業時には邪魔なものとなる。したがって、遮蔽構造物は収納可能とする必要がある。剛壁の遮蔽構造物を収納するには、図 9のように岸壁側に折りたたんで収納するか、図 10のように剛壁をそのまま海底に収納する方法が考えられるが、収納場所が大きくなり、現地での工事でも長期間必要となる。

そこで、剛壁に替えて、図 11のように枠構造に膜を張り付けた構造について検討することとし、その動揺低減効果を確認した。この場合、海底部に収納する必要はあるが、構造的に荷重を受け持つのは、一部の杭であり、杭収納場所の工事が現地工事の大半で済むことになる。また、膜構造にすることで重量が軽減でき、設置、収納のハンドリングがしやすくなるとともに、膜前後の水圧差が小さいため厳密な水密性を確保する必要はなく、コストも低減できる可能性がある。そこで、Case 4の遮蔽構造を膜に替え、Case 5として実験を実施した。膜構造

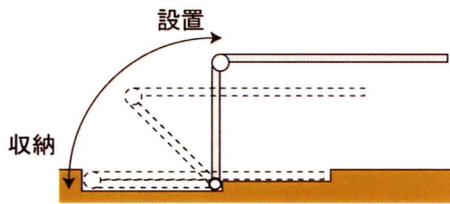


図 9 折りたたみによる収納 (平面図)

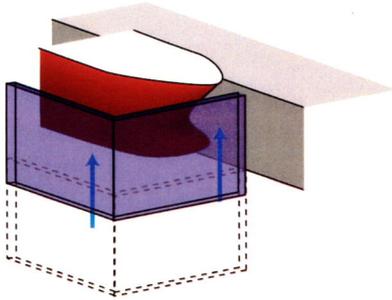


図 10 剛壁引出しによる収納

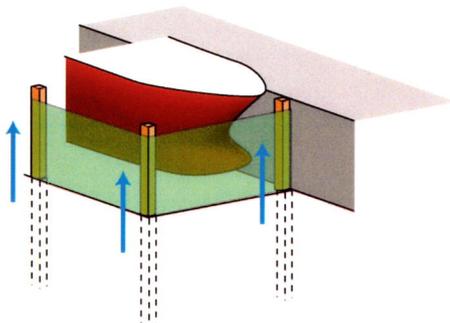


図 11 膜構造による遮蔽

による遮蔽構造の設置状況を写真 1 に示す。

波方向180度における, Case 1, 4, 5での単位波振幅あたりのサージ振幅を図 12 に示す。ここで, 膜を使用した Case 5 については, 膜の張力が緩いケースと高いケースそれぞれの計測を行った。膜の張力が低いケースではほとんど低減効果が得られていないが, 膜張力を上げることで剛壁による遮蔽効果と同等, 周期域によってはそれ以上の低減効果が得られている。

また, 波方向150度における Case 1, 5の単位振幅あたりのサージ振幅を図 13 に示す。150度でも動揺が低減しており, 長周期動揺を励起すると考えられる波方向150~180度の波周期域で, 効果的に動揺を低減できることがわかった。

膜張力により動揺低減効果が異なるため, 膜の設置収納方法とあわせて張力を高めるための機構について検討する必要がある。また, 遮蔽構造の設計を行うには, 膜の挙動を含めたシミュレーションが必要となる。

(5) 船尾側設置時の影響

岸壁に係船する際に, 岸壁が1隻の専用であれば, 上

記のような対策が可能であるが, 複数の船舶が縦列に係船されるような岸壁では, 遮蔽構造に係留船舶の波下側に設置されるケースも想定される。そこで, 後方に設置された遮蔽構造が波上側に係船された船舶の動揺に与える影響を調べた。

遮蔽構造の配置を図 14 に示す。船体から遮蔽構造までの距離を1.6Bとした (Case 6とした)。

波方向180度における, Case 1, 6での単位波振幅あた



写真 1 遮蔽構造設置状況

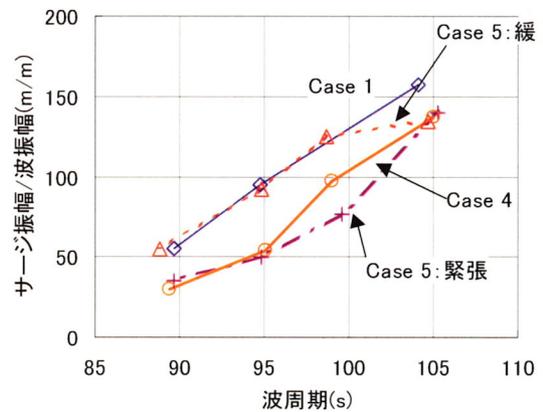


図 12 膜構造による動揺低減効果 (波方向180度)

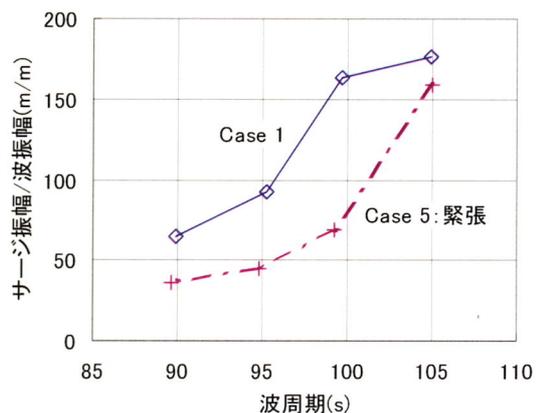


図 13 膜構造による動揺低減効果 (波方向150度)

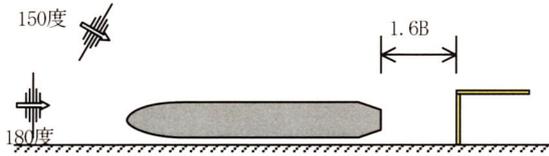


図 14 波下側遮蔽構造の配置

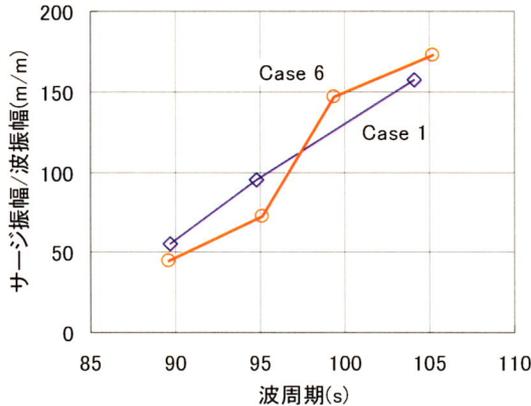


図 15 波下側遮蔽構造の影響

りのサージ振幅を図 15 に示す。比較的船体に近い場所に設置しているにもかかわらず、大幅な動揺の増加はみられない。すなわち、遮蔽構造が船体波下側にあっても、ほとんど動揺を増加させることがないため、縦列係船を行う岸壁でも本構造が適用できると考えられる。

3. まとめ

本研究では、水槽での長周期波の造波の可能性を検討するとともに、その長周期波を使用した係留船舶の長周期動揺の低減策として、ごく近傍に設置した遮蔽構造による動揺低減効果を検証した。結論を下記に示す。

- ① 水槽中央部計測位置の水槽底を高上げして造波することで、長周期波を発生させることができる。波の伝播にしたがって減衰する影響等により、水槽壁での反射波影響はほとんど無視できる。
- ② 船体波上側のごく近傍に、船首を取り囲む遮蔽構造を設置することで、長周期のサージを低減することができる。
- ③ 遮蔽構造により波強制力は低減するが、その他の要因も動揺低減に影響している。
- ④ 膜を使用した遮蔽構造でも低減効果は期待できる。
- ⑤ 縦列に係船するような岸壁にも適用可能である。

また、今後の課題としては、次の事項が挙げられる。

- ① 動揺低減のメカニズムを詳細に検証し、明確にする必要がある。
- ② 膜の設置収納ができ、膜に張力を与える機構を検討する必要がある。
- ③ 膜による遮蔽構造の設計を行うには、膜の挙動を含めたシミュレーション法を開発する必要がある。

謝辞：本研究を進めるにあたり、北海道工業大学白石悟教授より貴重なご意見、助言をいただきました。厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 神谷昌文, 渥美洋一, 菅沼史典, 小泉信男: 苫小牧東港における船体動揺に関する現地観測, 海洋開発論文集, Vol. 11, pp.339-344, 1995.
- 2) 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, 沿岸技術ライブラリー, No.21, 2004.
- 3) 平石哲也, 永瀬恭一: 長周期波対策護岸の最適構造に関する実験, 海岸工学論文集, 第51回, pp.721-725, 2004.
- 4) Haruo Yoneyama, Satoru Shiraiishi and Hirakazu Satoh: Fundamental Model Experiments of a Reduction System for Low-Frequency Ship Motions, Proc. of 14th Int. Offshore and Polar Eng. Conf., pp471-478, 2004.