

港湾技術資料

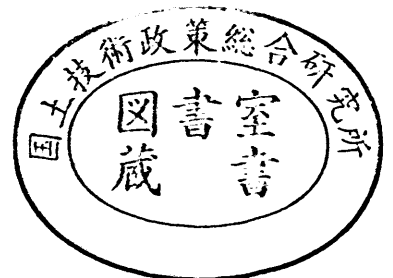
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 779 June 1994

係岸船舶の動揺に基づく荷役許容波高及び稼働率

上	田	茂
白	石	悟
大	島	弘
浅	野	恒
		平

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. まえがき	3
2. 荷役許容波高の算定方法	4
2.1 荷役許容波高の算定手順	4
2.2 数値シミュレーションの条件	5
3. 数値シミュレーションによる荷役許容波高の算定及び提案	13
3.1 荷役許容波高の算定	13
3.2 荷役許容波高の提案	21
4. 荷役許容波高に基づく稼働率の計算	26
4.1 計算条件	26
4.2 稼働率の計算結果	26
5. 結 論	30
6. あとがき	30
参考文献	30
主要記号表	30
付録A. 船舶の諸元	31
付録B. 係留条件	36

Allowable Wave Height and Wharf Operation Efficiency Based on the Oscillations of Ships Moored to Quay Walls

Shigeru UEDA*
Satoru SHIRAIISHI**
Hiroyuki OSHIMA***
Kohei ASANO****

Synopsis

In the Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan, harbour tranquility is provided by wave heights. The limitations of wave height for cargo handling in front of quay wall are 0.3m for small sized ships, 0.5m for middle and large sized ships, and 0.7~1.5m for very large sized ships, respectively.

Because of the oscillation of moored ship should be determined by dimensions of ship, waves, winds, structural conditions of mooring facilities, characteristics of fenders and mooring ropes, and so forth, it is reasonable to decided that the cargo handling at wharf is allowable or not taking into account conditions above mentioned. Then, in this report, allowable wave height for cargo handling is proposed taking into account the kind of ship, ship's size, wave incident angle and wave period.

Major results obtained in this report are as follows.

- 1) In this report, allowable wave heights for general cargo ships, tankers, container ships (LO/LO), container ships (RO/RO side), car carriers, grain carriers are provided.
- 2) Allowable wave heights become small when wave period become long.
- 3) For same wave period, allowable wave heights become large when wave incident angles near perpendicular to ship's hull.
- 4) For same wave incident angle and period, allowable wave heights become large when ship sizes become large.
- 5) The wharf operation efficiency is computed based on the proposed allowable wave height for cargo handling. The value taking into account the effect of ship motions is smaller than the value of the present method.

Keywords : Mooring Facilities, Harbor Tranquility, Allowable Wave Height for Cargo Handling, Motions of Moored Ship, Allowable Ship Motions, Wharf Operation Efficiency

* Director of Structural Engineering Division
** Chief of the Offshore Structures Laboratory, Structural Engineering Division
*** Trainee, (Toyo Construction Co., Ltd.)
**** Former Trainee, (Toyo Construction Co., Ltd.)

係岸船舶の動揺に基づく荷役許容波高及び稼働率

上 田 茂 *
白 石 悟 **
大 島 弘 之 ***
浅 野 恒 平 ****

要 旨

港湾施設の技術上の基準・同解説においては、泊地の静穏度は、波高に基づいて規定されている。すなわち、係留施設において荷役限界波高は、小型船においては0.3m、中・大型船においては0.5m、超大型船においては0.7～1.5m程度とされている。しかしながら、係船岸に係留される船舶の動揺は、船舶の諸元、波浪、風、係船岸の構造、防衝工、係留索などの諸量の関数であるので、係船岸における荷役の可否は、それらの諸条件を考慮して評価するのが合理的である。

そこで本資料では、係岸船舶の動揺数値シミュレーションを行ない、船種、船型、波向、波周期別に荷役許容波高を提案した。

本資料における主要な結論は以下のとおりである。

- 1) 本資料では、一般貨物船、タンカー、コンテナ船 (LO/LO)、コンテナ船 (RO/RO・Side)、自動車運搬船、穀物運搬船、鉱石運搬船について荷役許容波高を提案した。
- 2) 荷役許容波高は、波周期が長周期側になるにしたがって小さくなる。
- 3) 同一波周期において荷役許容波高は船舶に作用する波向が90°に近づくにしたがって小さくなる。
- 4) 同一波向、同一波周期については、船型が大型になるほど、荷役許容波高が大きくなる。
- 5) 荷役許容波高の提案値に基づいて、荷役の稼働率を計算した。荷役の稼働率は、従来から指摘されているように長周期波の作用する外洋性の港湾では、従来の指標値 (荷役限界波高) による計算値よりも低下する。

キーワード：係留施設、港内静穏度、荷役許容波高、係留船舶の動揺、荷役許容動揺量、稼働率

1. まえがき

港湾施設の技術上の基準・同解説¹⁾ (以下、技術基準) では、『泊地は停泊または係留の用に供され、利用状況に応じ、利用時または異常気象に対する避難時において十分静穏であり、係船岸前面のものにおいては、年間を通じ95～97.5%以上の停泊または係留日数を可能とする

静穏度を確保することが原則である。』とされており、対象船舶の船種、船型、荷役方式によっても異なるが、荷役限界波高 (有義波高、以下本資料では、波高は有義波高を指す。) は、小型船においては0.3m、中・大型船においては0.5m、超大型船においては0.7～1.5m程度とされている。このように技術基準においては、泊地の静穏度は波高に基づいて規定される。しかしながら、係船

* 船造部長 (現鳥取大学教授)
** 船造部海洋船造研究室長
*** 研修生 (東洋建設株式会社)
**** 前研修生 (東洋建設株式会社)

岸に係留される船舶の動揺は、船舶の諸元、波浪、風、係船岸の構造、防衝工、係留索等の諸量の関数であるので、係船岸における荷役の可否は、それらの条件を考慮して評価するのがより合理的である。実際に、外洋性港湾の一部においては、係船岸前面の波高が前述の波高以下であっても係留船舶の動揺により荷役に支障をきたしている事例がみられる。

著者の一人²⁾は、このような状況から係留船舶の動揺を考慮して荷役の稼働率を評価する手法を提案した。図-1は荷役の稼働率の計算手順を示したものである。稼働率の算定においては、まず、係留船舶の動揺数値シミュレーション結果に基づき、荷役の可否によって規定される係留船舶の荷役許容動揺量を用いて、船種、船型、波向、波周期別に荷役許容波高(港内波高)を求める。次に、数値計算または模型実験により得られる波高比(港外波の波高と港内の波高の比)を用いて荷役許容沖波波高を求め、これと波高と周期の結合頻度分布とから荷役の稼働率を計算する。

また、著者のうちの二人³⁾は荷役の中断事例を調査し、

これらの事例について行った係留船舶の動揺数値シミュレーション⁴⁾に基づいて荷役許容動揺量を提案した。しかし、荷役許容動揺量に基づいて稼働率を求めるには、個々のバースにおいて対象船舶ごとに膨大な計算をしなければならないため、港湾計画上極めて煩雑となる。そこで、本資料では、船種、船型ごとに、波向、波周期、波高を変えて係留船舶の動揺数値シミュレーションを行い、その結果に基づいて荷役許容波高を提案する。また、荷役許容波高に基づいて、港湾の稼働率の計算例を示す。

2. 荷役許容波高の算定方法

2.1 荷役許容波高の算定手順

図-2は荷役許容波高を計算する手順を示したものである。以下、図に従って説明を加える。

- ① 船種、船型ごとに、波浪条件(波向、波高、波周期)、係留条件(係留索、防舷材)などを変えて係留船舶の動揺シミュレーションを行う。計算結果は係留船舶の動揺量及び防舷材の変位の統計処理を行い、最大値・最小値を求める。動揺には図-3に示すように、原点

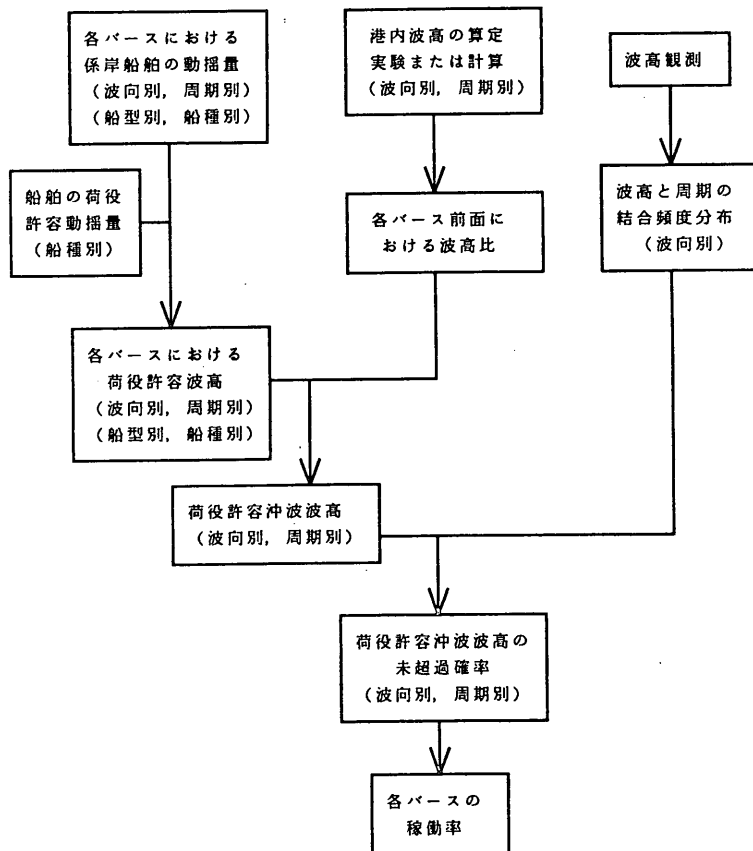


図-1 新しい静穏度の算定のフロー

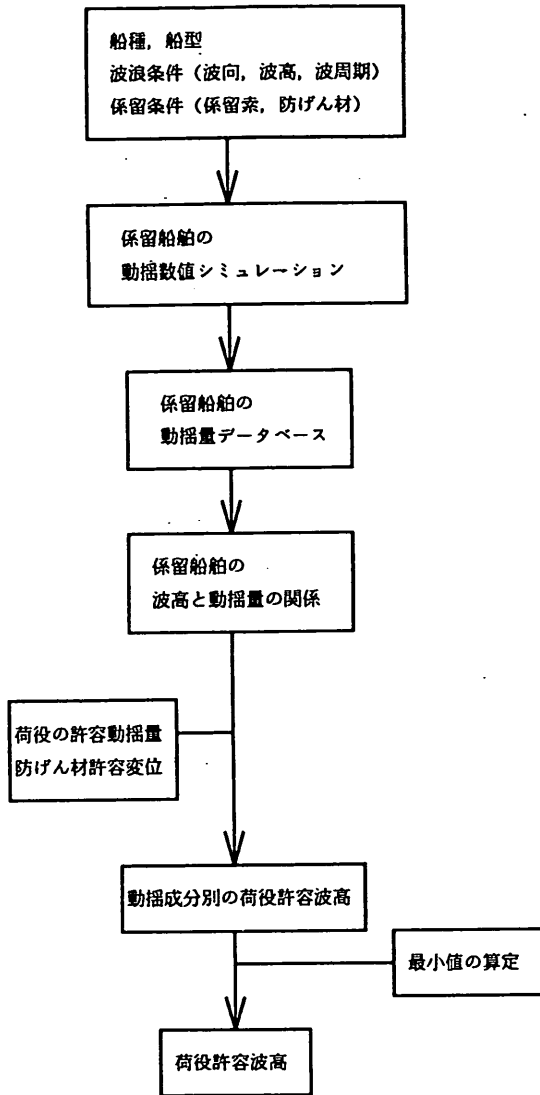


図-2 荷役許容波高の算定手順

からの平均的な移動量（ドリフト成分）があるので、動揺の平均値からの最大値・最小値の振幅を求める。ただし、スウェイは係船岸から離れる量が荷役の可否に影響するので、離れる量の最大値（動揺の原点からの振幅）を求める。

- ② 数値シミュレーションを行って求めた動揺量について、動揺成分別に、波高と動揺量の振幅の絶対値の最大値（図-3に示す最大値の振幅と最小値の振幅のうち絶対値の大きいもの）の関係を求める。すなわち、波高と各動揺成分の最大値との回帰式を求める。
- ③ ②で求めた回帰式を用いて、動揺成分ごとに船舶の動揺が荷役許容動揺量以下となる波高、すなわち、動揺成分別の荷役許容波高を求める。また、同様に防舷材の最大変位が許容変位を越えない波高を求める。係留船舶の荷役許容動揺量としては、表-1に示す値を用いる。このうち、一般貨物船、油槽船（内航及び外航）、穀物運搬船、鉱石運搬船については著者のうち二人³⁾が提案しているもの、その他の船種については、ブルン³⁾の提案値である。

表中の-は、荷役許容動揺量の値が提案されていないことを示す。また、自動車運搬船については、コンテナ船(RO/RO-Side)と同等とする。

- ④ 動揺成分別及び防舷材の最大変位から求められる荷役許容波高の最小値をもって当該条件における荷役許容波高とする。ただし、この値が現行の技術基準の荷役限界波高を越える波高については、技術基準の荷役限界波高を荷役許容波高とする。

2.2 数値シミュレーションの条件

係留船舶の動揺数値シミュレーションは以下の条件で行った。図-4は動揺数値シミュレーションにおける座標系と波向、風向を示したものである。

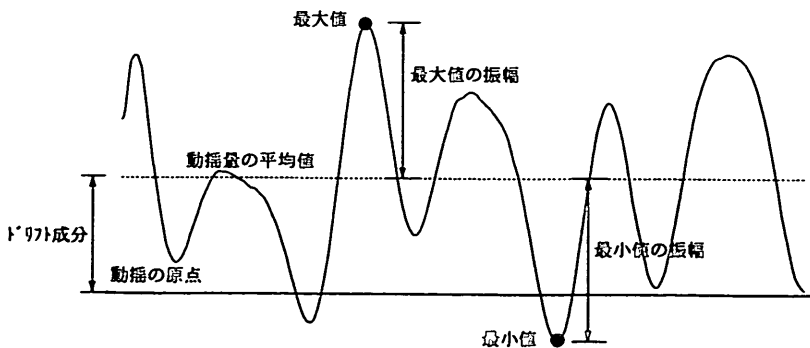


図-3 動揺量の最大値・最小値の定義

表-1 荷役における係留船舶の許容動揺量

船 種	動 揺 成 分					
	サージ (m)	スウェイ (m)	ヒーブ (m)	ロール (deg)	ピッチ (deg)	ヨウ (deg)
一般貨物船*	±1.0	+0.75	±0.5	±2.5	±1.0	±1.5
穀物運搬船*	±1.0	+0.5	±0.5	±1.0	±1.0	±1.0
鉱石運搬船*	±1.0	+1.0	±0.5	±3.0	±1.0	±1.0
油槽船(内航)*	±1.0	+0.75	±0.5	±4.0	±2.0	±2.0
油槽船(外航)*	±1.5	+0.75	±0.5	±3.0	±1.5	±1.5
コンテナ船** (LO/LO)	±0.5	+0.3	±0.3	—	—	—
コンテナ船** (RO/RO-Side)	±0.3	+0.2	±0.1	—	—	—
自動車運搬船**	±0.3	+0.2	±0.1	—	—	—

* Ueda, Shiraishiの提案値

** P. Brunnの提案値

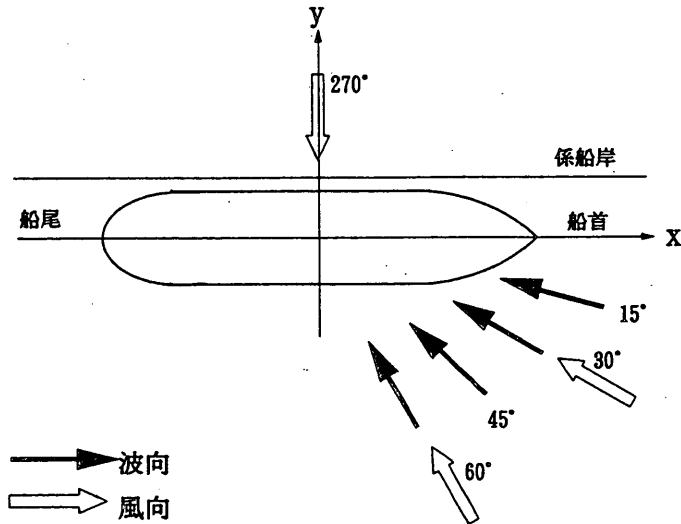


図-4 計算における座標と波向および風向

(1) 船舶の条件

a) 船種・船型

本資料で対象とする船舶は、一般貨物船、タンカー、コンテナ船(LO/LO)、コンテナ船(RO/RO-Side)、自動車運搬船、穀物運搬船、鉱石運搬船である。表-2

は、それぞれの船種について荷役許容波高の検討を行った船型である。表では技術基準に基づき、小型船、中・大型船、超大型船の3種に区分して示している。各船種・船型について、各々の諸元については、付録Aに示す。

表-2 船種および船型の計算条件

船種	船型		
	小型船	中・大型船	超大型船
一般貨物船 (8種)		1,000DWT, 3,000DWT 5,000DWT, 10,000DWT 30,000DWT, 50,000DWT	100,000DWT 150,000DWT
タンカー (9種)	1,000DWT	3,000DWT 5,000DWT, 10,000DWT 30,000DWT, 50,000DWT	100,000DWT 150,000DWT 200,000DWT
コンテナ船 (L0/L0) (4種)		20,000DWT, 30,000DWT 40,000DWT, 50,000DWT	
コンテナ船 (RO/RO-Side) (4種)		20,000DWT, 30,000DWT 40,000DWT, 50,000DWT	
自動車運搬船 (5種)		1,000GRT, 3,000GRT 5,000GRT, 10,000GRT 20,000GRT	
穀物運搬船 (5種)		20,000DWT, 30,000DWT 40,000DWT, 60,000DWT	100,000DWT
鉱石運搬船 (5種)		10,000DWT, 30,000DWT 50,000DWT	100,000DWT 150,000DWT

b) 載荷状態

検討に際して、船舶の載荷状態は満載状態及び空載状態を考慮した。両者を計算するには計算ケースが多くなるため、あらかじめ空載状態及び満載状態について計算を行い、動揺量を比較し荷役許容波高を求める際の載荷状態を求めた。

図-5(1)~(6)は、それぞれ一般貨物船(10,000DWT)の空載状態及び満載状態における各動揺成分の動揺量を比較したものである。ただし、船舶に対する波向は45°、波高は0.5mである。また、図には表-2で示した荷役許容動揺量を併記する。

サージ、スウェイ、ヨウについては空載時の動揺量が大きい。また、ヒープ、ロール、ピッチについては周期によって満載状態の方が空載状態の動揺量よりも大きいことがあるが、その差異はあまり大きくない。また、ロールの波周期4s~8sでは満載状態が空載状態よりも動揺量が大きい、これらの値は荷役許容動揺量よりも小さいので、荷役許容波高の提案に影響を及ぼさない。以上の結果より、動揺数値シミュレーションにおける船舶の

載荷状態は、動揺量が大きい空載状態とした。

(2) 波浪条件

表-3は波向、波高、有義波周期の計算条件を示したものである。波高は0.1~0.7mの範囲で計算しているが、超大型船については技術基準の荷役限界波高が0.7m~1.5mであるため、波高1.0m, 1.5m, 2.0mについても計算を行った。

(3) 風の条件

係留船舶の動揺には風向及び風速が影響する。図-6(1)~(4)は一般貨物船(10,000DWT・空載状態)についてサージ、スウェイ、ロール、ヨウの各動揺量について風向、風速の影響を示したものである。ここで、波向は60°、波高は0.5mとし、平均風速は10m/sまたは0m/s(無風)、風向は60°及び270°とした。なお、計算に用いた風抗力係数は、筆者らによる回帰式⁹⁾による値を用いた。ここでは、平均風速を10m/sとしているが、このとき瞬間最大風速は13~14m/sとなるので、荷役機械の稼働条件等から考えて風によって荷役が中断される限界の条件と考えられる。

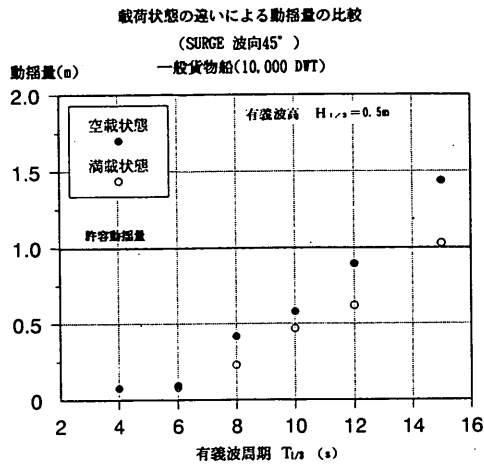


図-5 (1) 載荷状態の違いによる動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向45°, SURGE)

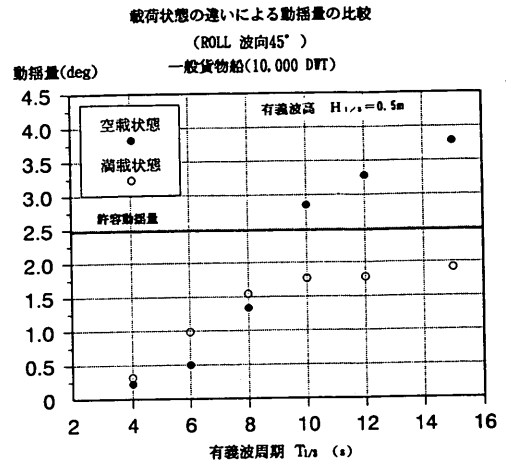


図-5 (4) 載荷状態の違いによる動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向45°, ROLL)

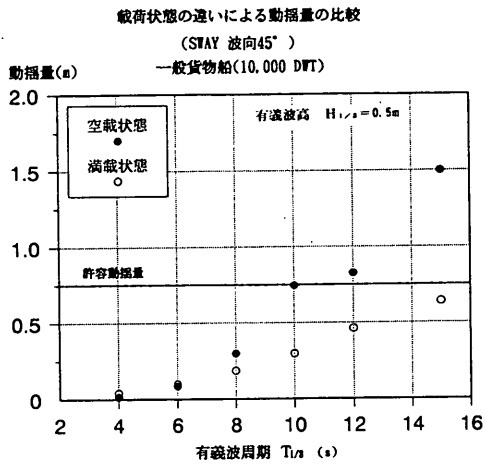


図-5 (2) 載荷状態の違いによる動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向45°, SWAY)

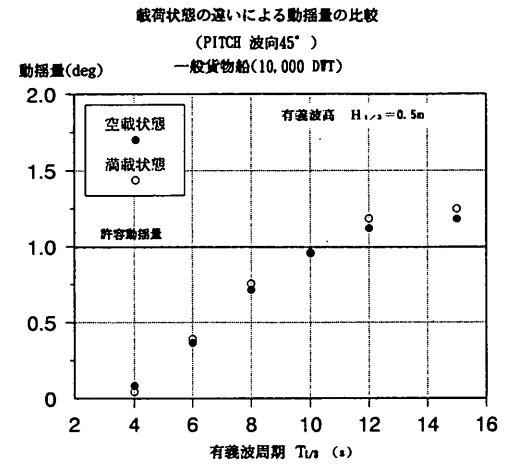


図-5 (5) 載荷状態の違いによる動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向45°, PITCH)

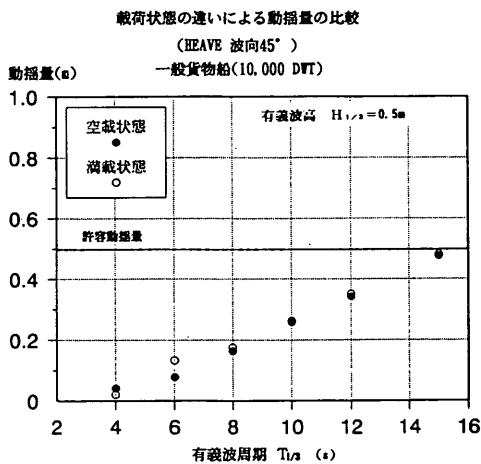


図-5 (3) 載荷状態の違いによる動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向45°, HEAVE)

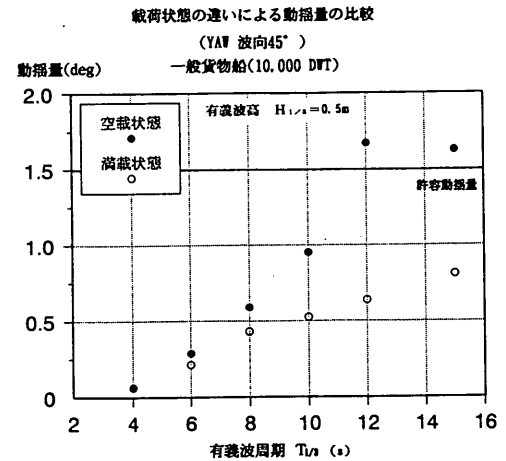


図-5 (6) 載荷状態の違いによる動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向45°, YAW)

表-3 波浪条件

波 向	15°, 30°, 45°, 60°
有義波高	0.1m, 0.2m, 0.3m, 0.5m, 0.7m, 1.0m*, 1.5m*, 2.0m*
有義波周期	4s, 6s, 8s, 10s, 12s, 15s

*有義波高1.0m~2.0mは超大型船のみ計算

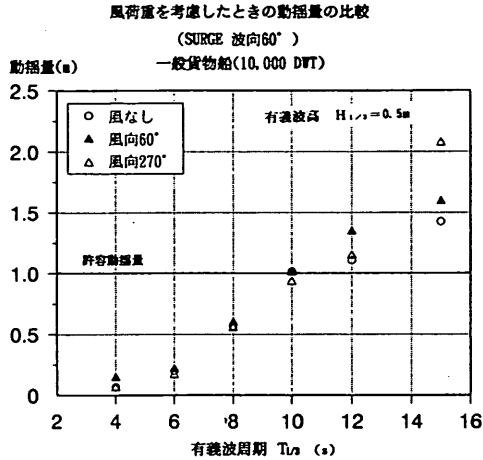


図-6 (1) 風荷重を考慮したときの動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向60°, SURGE)

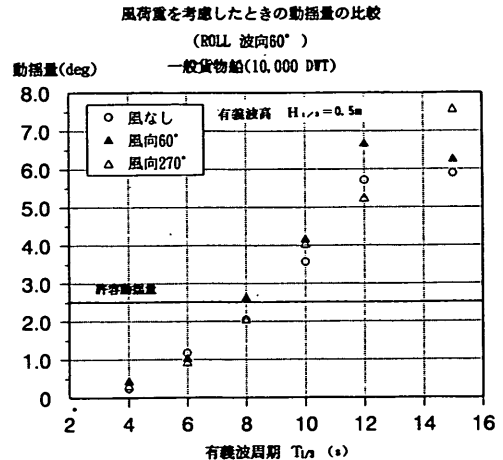


図-6 (3) 風荷重を考慮したときの動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向60°, ROLL)

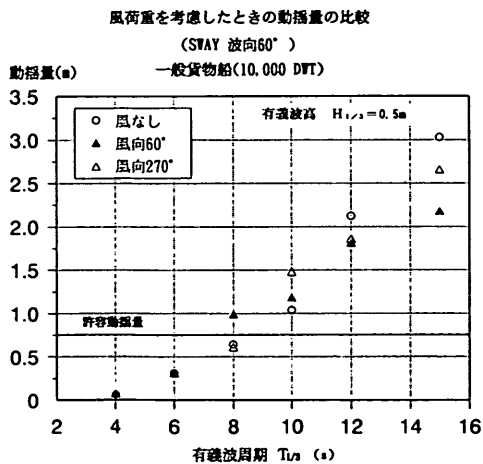


図-6 (2) 風荷重を考慮したときの動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向60°, SWAY)

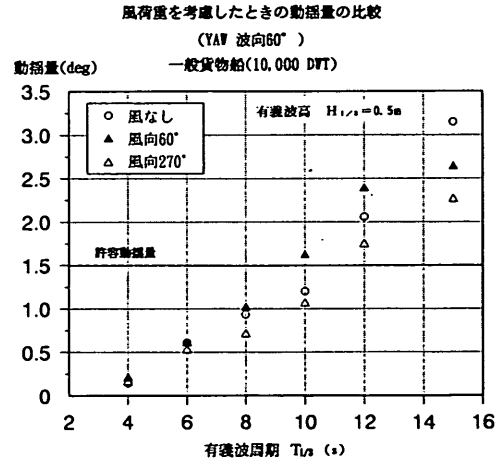


図-6 (4) 風荷重を考慮したときの動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向60°, YAW)

有義波周期が6s以下の場合、風荷重の有無による動揺量の差はあまりない。しかし、長周期波側になるにしたがい風向、風速による動揺量の差異が大きくなっていく傾向がみられる。ただし、動揺量が最も大きくなる風向、風速は波周期、動揺成分によっても異なる。

図-7(1)及び(2)は、一般貨物船(10,000 DWT・空載状態)について波向30°及び60°の条件について風の条件の相違による荷役許容波高を示したものである。波向30°の場合には、平均風速10m/s、風向30°と無風状態について比較したものであるが、両者の差異は小さ

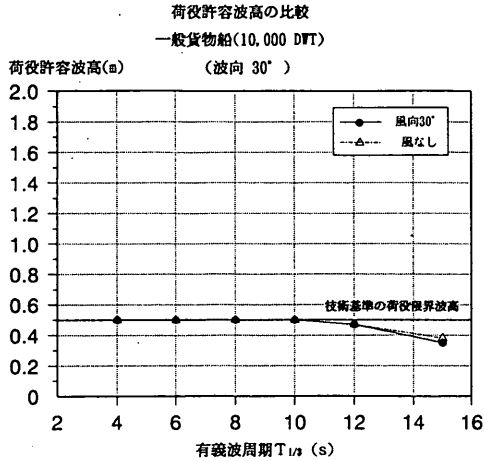


図-7 (1) 風荷重を考慮したときの荷役許容波高の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向30°)

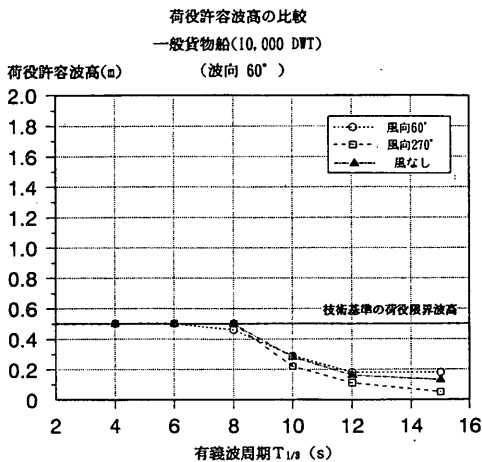


図-7 (2) 風荷重を考慮したときの荷役許容波高の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向60°)

い。また、波向60°では、平均風速10m/s、風向60°よりも無風状態の荷役許容波高は小さい。これに対して平均風速10m/s、風向270°の荷役許容波高は、無風状態及び平均風速10m/s、風向60°の条件の場合よりも小さい。風向270°は船舶を係船岸から離す方向に風が作用する条件であり、係留船舶の動揺に対しては風の影響が卓越しており、おおむね、係船岸から離れるスウェイの動揺量によって荷役許容波高が決まる。この場合には仮に防波堤を整備して港内の波高を低減させても稼働率はあまり向上しないことになる。したがって、荷役許容波高の算定においては、船舶を係船岸に押しつける風向のみを考えることとする。また、図-7(1)及び(2)に示すように、風の影響はそれ程大きくないことから、風の条件として

は無風状態として動揺数値シミュレーションを行うものとする。

(4) 係船岸の構造

係船岸の構造は直立岸壁として、係船岸の反射率を0.9とした。ただし、タンカーの100,000DWT~200,000 DWTについてはドルフィン構造として反射率を0.0とした。

(5) 防衛工

我が国で製造されているゴム防舷材を検討の対象にした。防衛工は港湾技研資料NO.729⁷⁾に示した方法で選定した。係留船舶の動揺量は防衛工の変位復元力特性により異なることが示されているが⁹⁾、ここでは、定反力型と反力漸増型の防衛工を用いた場合の動揺量を比較し、計算条件を決定する。防衛工の変位復元力特性による動揺量の比較は、一般貨物船(10,000 DWT・空載状態)について行う。なお、港湾技研資料NO.729では、一つの船種・船型に対して所定の接岸エネルギーを吸収できる適当なゴム防舷材を我が国で製造されているものの中からすべて抽出し、その中から代表的な変位復元力特性を定反力型について5種類、反力漸増型について3種類を選択して動揺数値シミュレーションを行ったが、ここではその選定の過程で得られた最も柔らかい変位復元力特性のものについて計算を行っている。図-8は比較計算を行った定反力型と反力漸増型の防衛工の変位復元力特性を示したものである。

図-9(1)~(3)は、一般貨物船(10,000 DWT・空載状態)について波向45°、波高0.5mの条件におけるスウェイ、ロール、ヨウの動揺量を定反力型と反力漸増型について比較して示したものである。また、図-10(1)~(3)は同様に波向60°、波高0.5mのときの動揺量を比較したものである。スウェイ、ヨウについては、波向が45°、

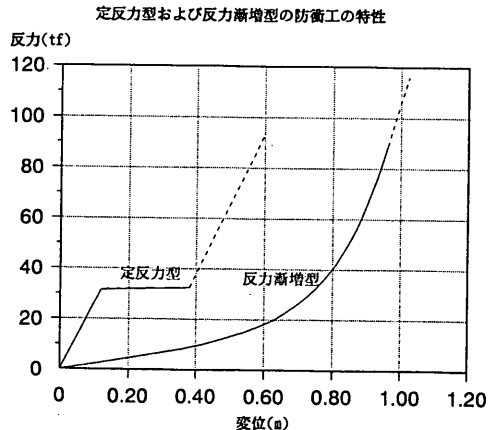


図-8 定反力型および反力漸増型の防衛工の変位復元力特性

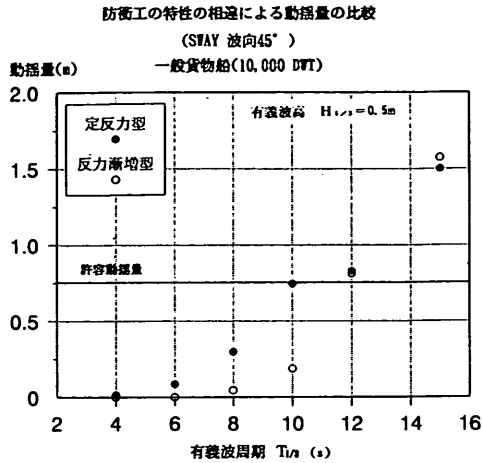


図-9 (1) 防衛工の変位復元力特性の相違による動揺量の比較 一般貨物船・10,000 DWT(波向45°, SWAY)

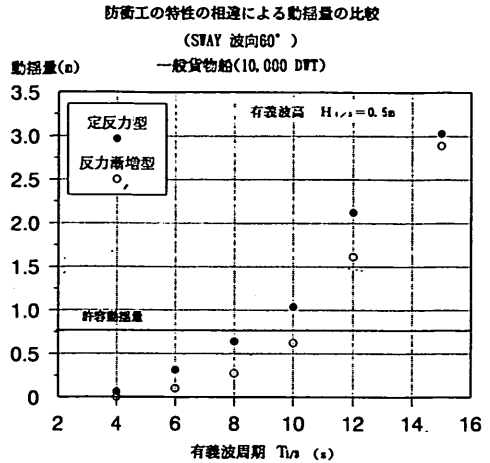


図-10 (1) 防衛工の変位復元力特性の相違による動揺量の比較 一般貨物船・10,000 DWT(波向60°, SWAY)

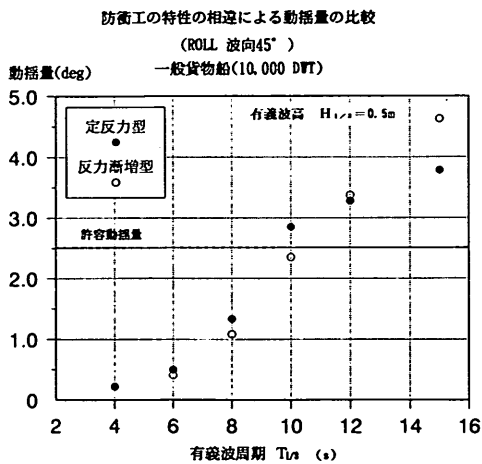


図-9 (2) 防衛工の変位復元力特性の相違による動揺量の比較 一般貨物船・10,000 DWT(波向45°, ROLL)

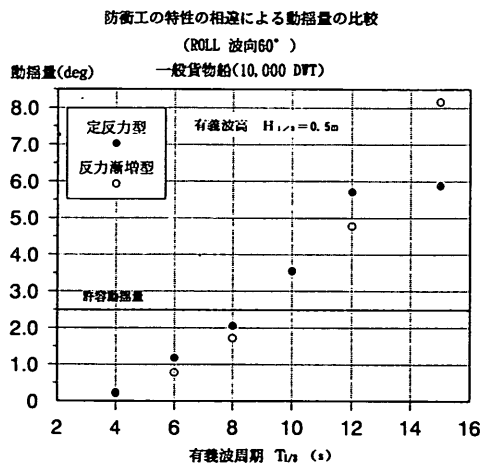


図-10 (2) 防衛工の変位復元力特性の相違による動揺量の比較 一般貨物船・10,000 DWT(波向60°, ROLL)

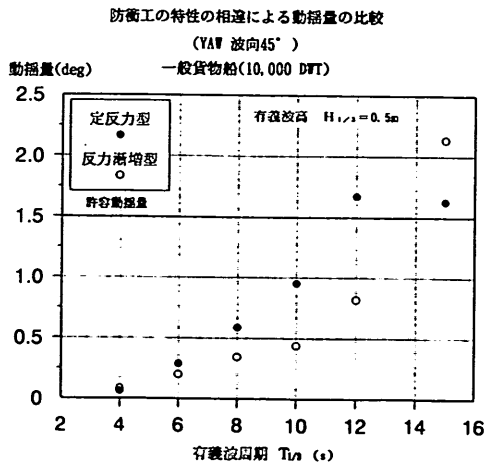


図-9 (3) 防衛工の変位復元力特性の相違による動揺量の比較 一般貨物船・10,000 DWT(波向45°, YAW)

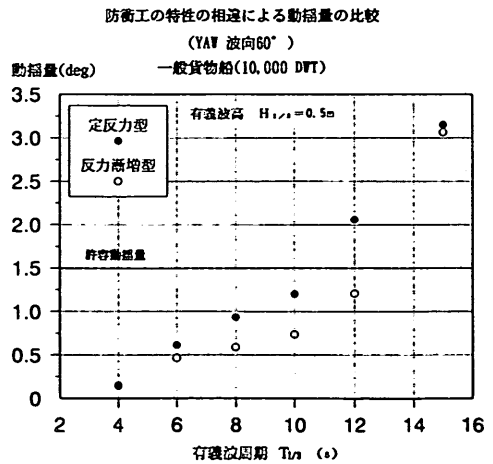


図-10 (3) 防衛工の変位復元力特性の相違による動揺量の比較 一般貨物船・10,000 DWT(波向60°, YAW)

有義波周期15sにおいて反力漸増型の方が定反力型に比べて動揺が大きくなっている。しかし、その他の条件では定反力型の方が反力漸増型に比べ動揺は大きい。また、ロールについては、波向45°の有義波周期12s、15s及び波向60°の有義波周期15sにおいて、反力漸増型の動揺量が定反力型よりも大きくなっている。しかしながら、その他の有義波周期では、やや定反力型のほうが動揺が大きい。

図-11(1)~(4)は一般貨物船(10,000 DWT・空載状態)について防衛工の特性の相違による荷役許容波高を示したものである。波向15°及び30°の場合には防衛工の変位復元力特性の相違による荷役許容波高の差異はない。波向45°及び60°の場合には、長周期側で定反力型の防衛

工の場合に荷役許容波高は小さくなる。したがって、ここでは定反力型のほうが、荷役許容波高を小さく与えるので、これを用いて荷役許容波高の計算を行うものとする。なお、船種、船型ごとに動揺数値シミュレーションに用いた防衛工の諸元及び変位復元力特性について付録Bに示す。

(6) 係留索

係留索及び係留方法は各船型ごとに同一とした。ただし、係留索の初期張力は切断荷重の7%相当とした。また、係留索の変位復元力特性及び係留索の配置については付録Bに示す。

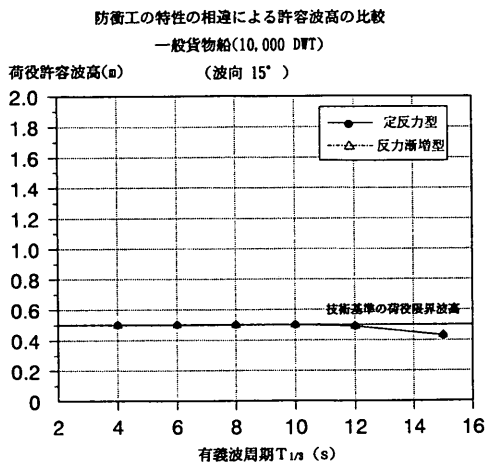


図-11 (1) 防衛工の変位復元力特性の相違による荷役許容波高の比較 一般貨物船・10,000 DWT (波向15°)

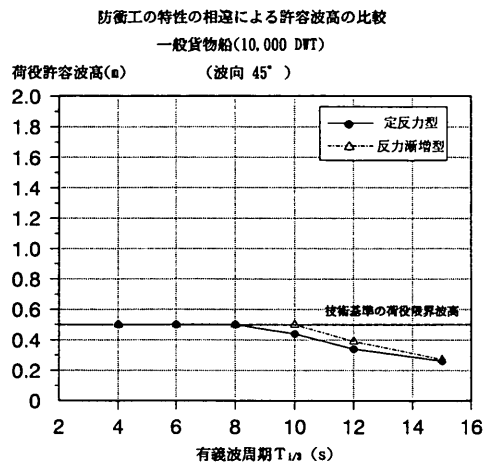


図-11 (3) 防衛工の変位復元力特性の相違による荷役許容波高の比較 一般貨物船・10,000 DWT (波向45°)

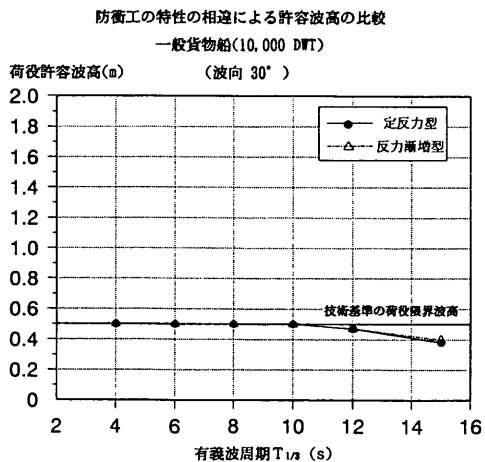


図-11 (2) 防衛工の変位復元力特性の相違による荷役許容波高の比較 一般貨物船・10,000 DWT (波向30°)

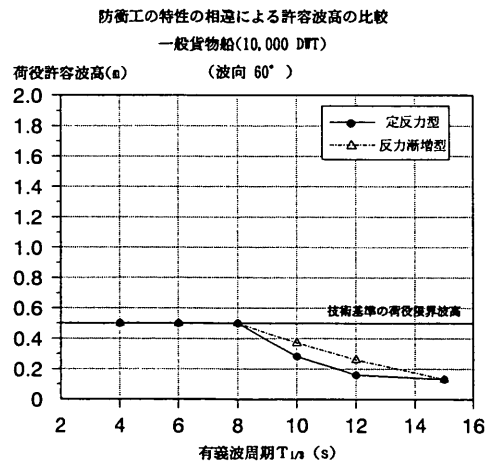


図-11 (4) 防衛工の変位復元力特性の相違による荷役許容波高の比較 一般貨物船・10,000 DWT (波向60°)

3. 数値シミュレーションによる荷役許容波高の算定及び提案

3.1 荷役許容波高の算定

(1) 荷役許容波高の算定方法

図-12(1)~(6)は、一般貨物船(10,000 DWT)について波向45°における波高と動揺量の最大値の関係を有義波周期4s, 6s, 8s, 10s, 12s, 15sにおいて動揺成分別に示したものである。以下、この図にしたがって荷役許容波高の算定方法の説明を行う。

波高と動揺量の最大値とは、おおむね線形な関係がみられるので、この両者の関係の回帰式を各波周期ごとに求める。次に、この回帰式と表-1で示した荷役許容動揺量との交点、すなわち荷役許容波高を波周期ごとに求める。これを各動揺成分ごとに各々求める。また、防舷材については最大変位とその許容変位とから同様にして荷役許容波高を求める。

表-4はその計算の一例を示したものである。表には、波周期ごとに各動揺成分及び防舷材最大変位についての許容波高を示しており、表中の枠で囲った値が各波周期における最小値を与えている。この枠で囲った許容波高のうち、技術基準の荷役限界波高を越えるものについては、技術基準の値を荷役許容波高とし、技術基準の値以下のものについては、枠で囲った許容波高を本資料で提案する荷役許容波高とする。

(2) 荷役許容波高の算定及び考察

(1)で示した方法により、表-2で示した各船種・船型について荷役許容波高を求める。図-13(1)~(8)は、それぞれ一般貨物船の各船型について求めた荷役許容波

高を示したものである。図では、波向15°, 30°, 45°, 60°に対する計算結果を●, ○, △, □で示している。また、図中の二点鎖線は、技術基準の荷役限界波高を示すものであり、本資料の荷役許容波高の上限とした。同様にして求めた他の船種についての計算結果の図は、下記に示すとおりである。

図-14(1)~図-14(9)・・・タンカー

図-15(1)~図-15(4)・・・コンテナ船(LO/LO)

図-16(1)~図-16(4)・・・コンテナ船(RO/RO・Side)

図-17(1)~図-17(5)・・・自動車運搬船

図-18(1)~図-18(5)・・・穀物運搬船

図-19(1)~図-19(5)・・・鉱石運搬船

以上の結果より、まず同一の波向において波周期に対する荷役許容波高の変化をみると、波周期が長くなるほど、荷役許容波高は小さくなる。これは長周期波側になるほど係留船舶の動揺量が大きくなるためである。また、同一波周期について比べると、船舶に対して船側方向から波が入射するほど荷役許容波高は小さくなる。すなわち、波向が90°に近づくにしたがって、スウェイ、ロールの動揺量が大きくなるためである。

次に、船舶の船型と荷役許容波高の関係を調べる。図-20は、一例として一般貨物船について波向45°, 有義波周期10sの条件で各船型と荷役許容波高の関係を示したものである。図-20に示すように同一波条件では船型が大きくなるにしたがって荷役許容波高は大きくなる。これは、大型船になるにしたがって係留船舶の動揺量が小さくなるためである。一般貨物船以外でも同様の傾向が示された。

表-4 動揺成分別の荷役許容波高

検索条件		許容動揺量・防舷材許容変位					
船種	一般貨物船	SURGE 1.0 m					
船型	10,000 DWT	SWAY 0.75 m					
風向	なし	HEAVE 0.5 m					
風速	0 m/s	ROLL 2.5度					
波向	45°	PITCH 1.0度					
		YAW 1.5度					
		防舷材許容変位 0.575 m					
		許容波高(m)					
波周期		4	6	8	10	12	15(s)
種類							
SURGE		7.87	5.10	1.37	0.77	0.51	0.34
SWAY		9.65	3.28	1.40	0.60	0.43	0.26
HEAVE		6.36	3.31	1.52	0.95	0.73	0.52
ROLL		6.02	2.23	0.97	0.44	0.34	0.31
PITCH		5.88	1.37	0.70	0.52	0.45	0.42
YAW		12.38	3.22	1.50	0.97	0.57	0.41
防舷材最大変位		9.28	3.20	1.49	0.94	0.55	0.45
荷役許容波高		0.50	0.50	0.50	0.44	0.34	0.26 (□)

注) □ で囲った部分は最小の波高を与える成分を示す。

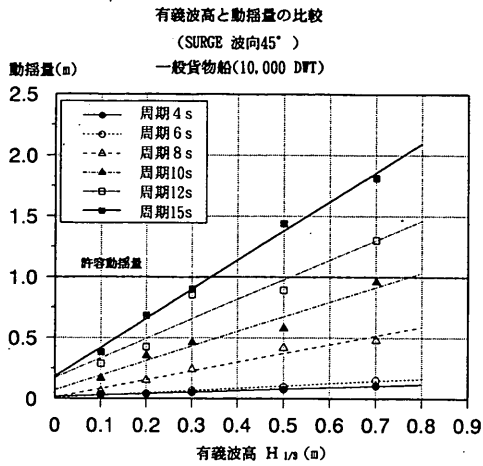


図-12 (1) 有義波高と動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向45°, SURGE)

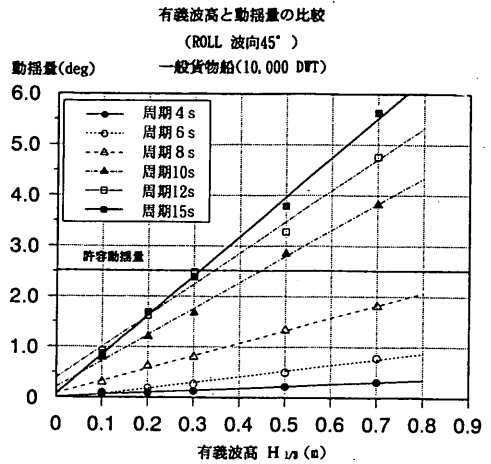


図-12 (4) 有義波高と動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向45°, ROLL)

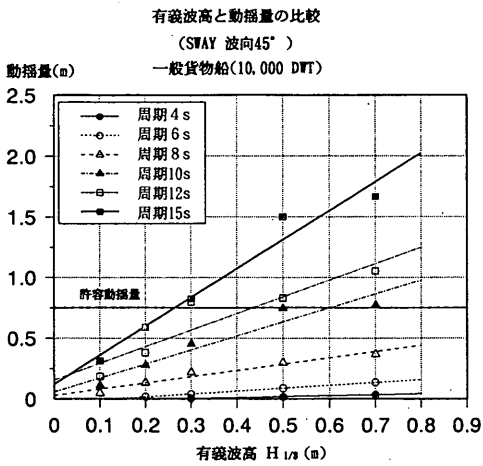


図-12 (2) 有義波高と動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向45°, SWAY)

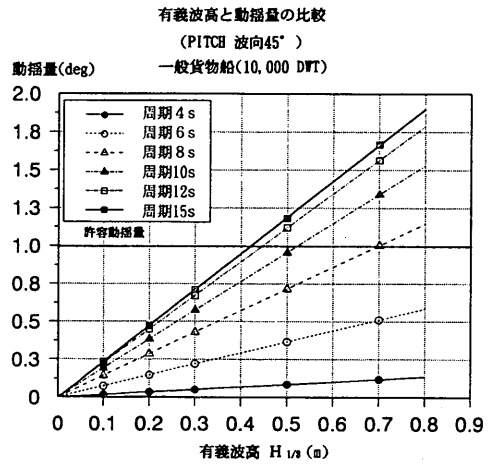


図-12 (5) 有義波高と動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向45°, PITCH)

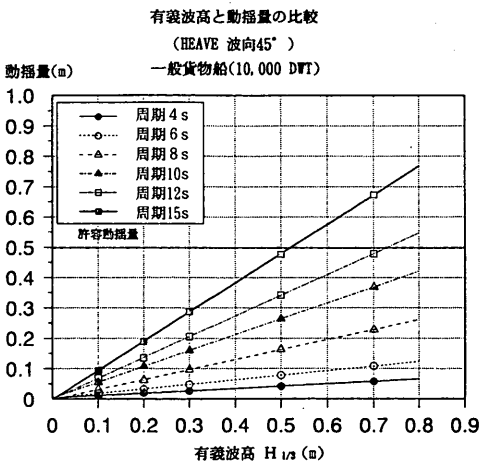


図-12 (3) 有義波高と動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向45°, HEAVE)

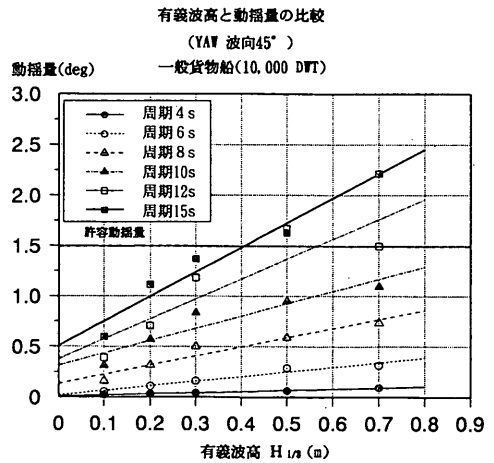


図-12 (6) 有義波高と動揺量の比較
一般貨物船・10,000 DWT (波向45°, YAW)

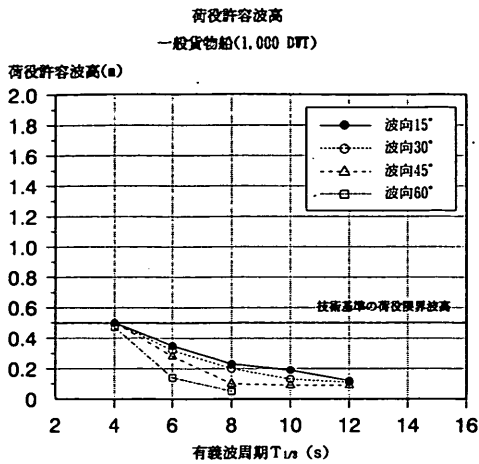


図-13 (1) 荷役許容波高 一般貨物船・1,000 DWT

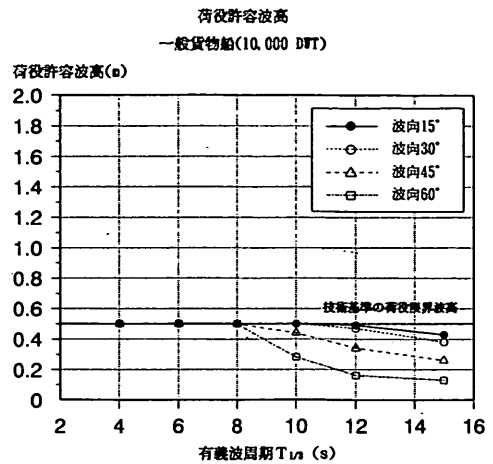


図-13 (4) 荷役許容波高 一般貨物船・10,000 DWT

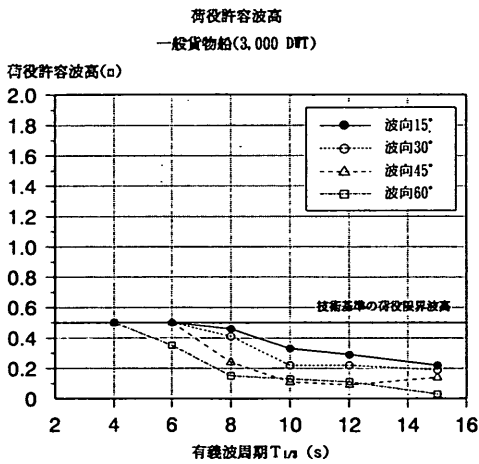


図-13 (2) 荷役許容波高 一般貨物船・3,000 DWT

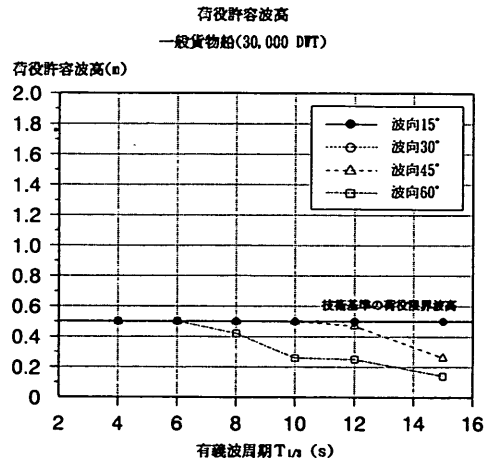


図-13 (5) 荷役許容波高 一般貨物船・30,000 DWT

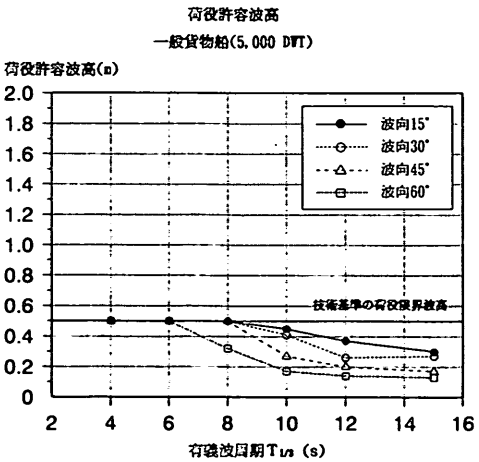


図-13 (3) 荷役許容波高 一般貨物船・5,000 DWT

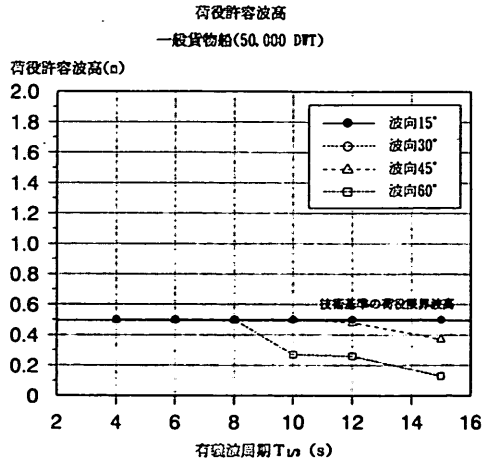


図-13 (6) 荷役許容波高 一般貨物船・50,000 DWT

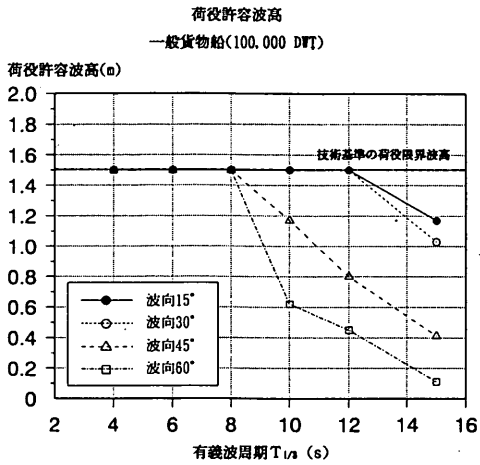


図-13 (7) 荷役許容波高 一般貨物船・100,000 DWT

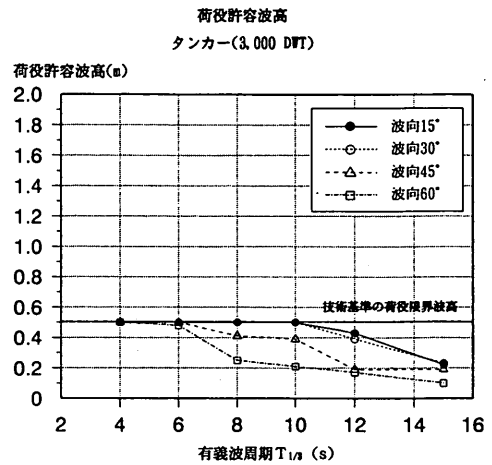


図-14 (2) 荷役許容波高 タンカー・3,000 DWT

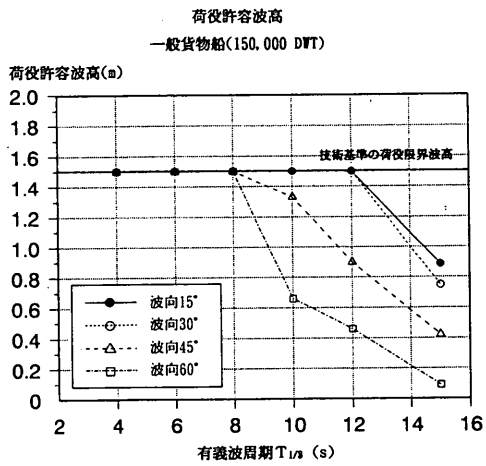


図-13 (8) 荷役許容波高 一般貨物船・150,000 DWT

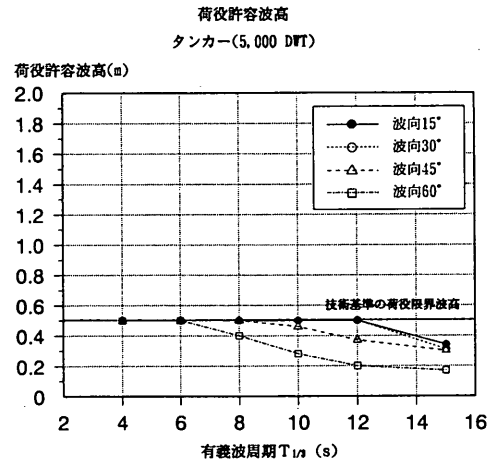


図-14 (3) 荷役許容波高 タンカー・5,000 DWT

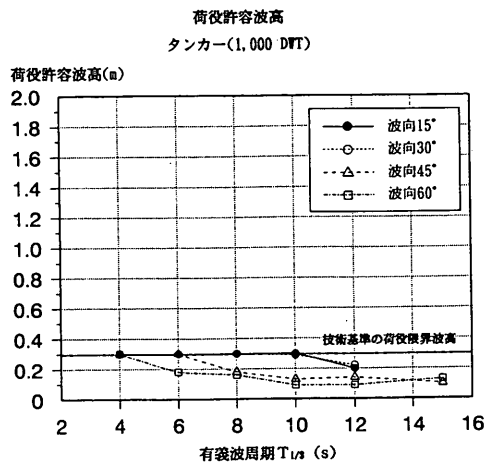


図-14 (1) 荷役許容波高 タンカー・1,000 DWT

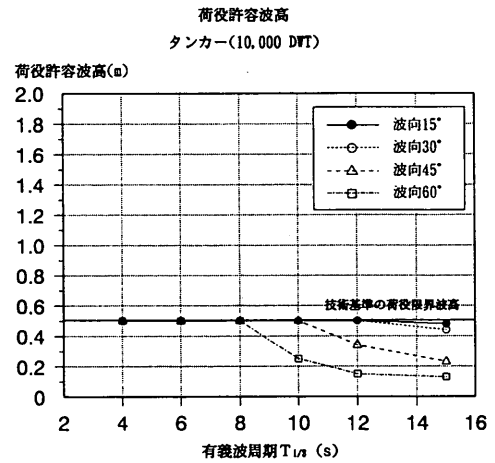


図-14 (4) 荷役許容波高 タンカー・10,000 DWT

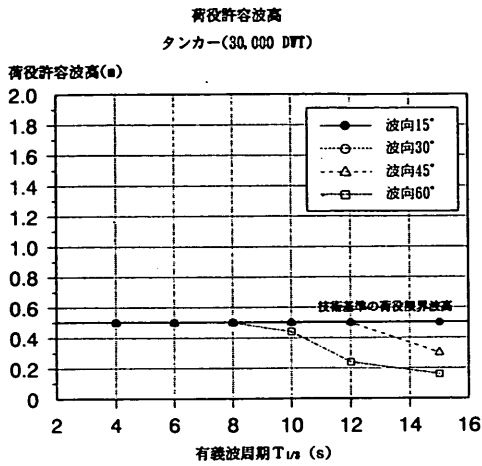


図-14 (5) 荷役許容波高 タンカー・30,000 DWT

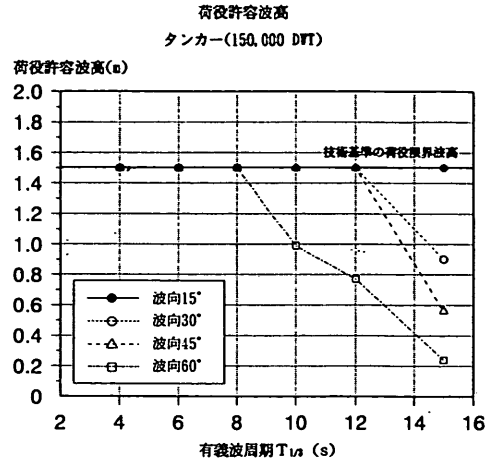


図-14 (8) 荷役許容波高 タンカー・150,000 DWT

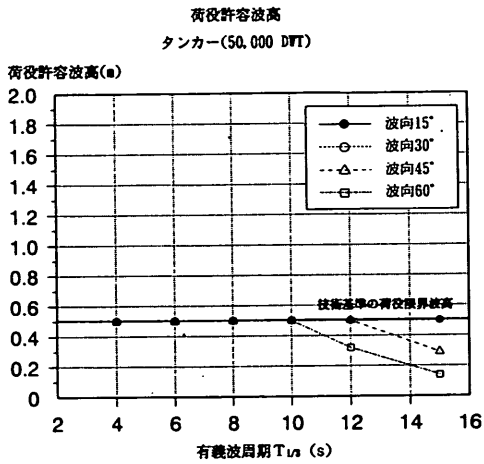


図-14 (6) 荷役許容波高 タンカー・50,000 DWT

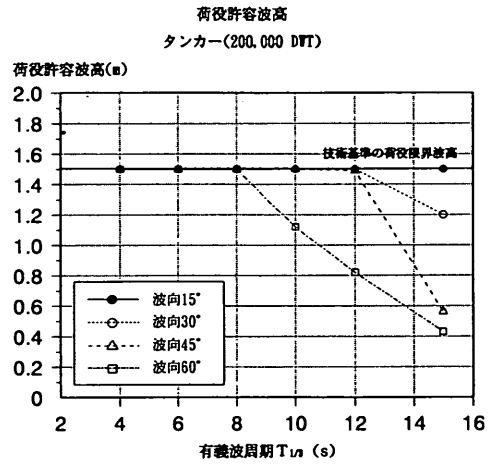


図-14 (9) 荷役許容波高 タンカー・200,000 DWT

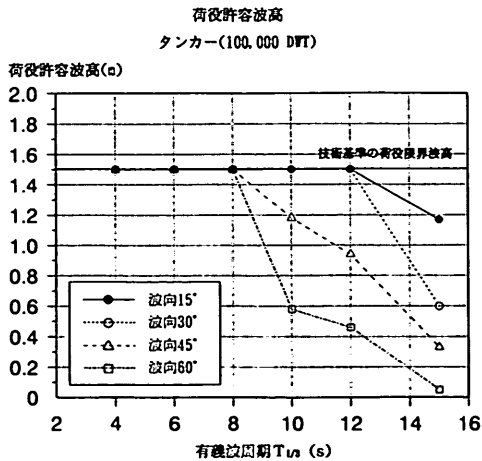


図-14 (7) 荷役許容波高 タンカー・100,000 DWT

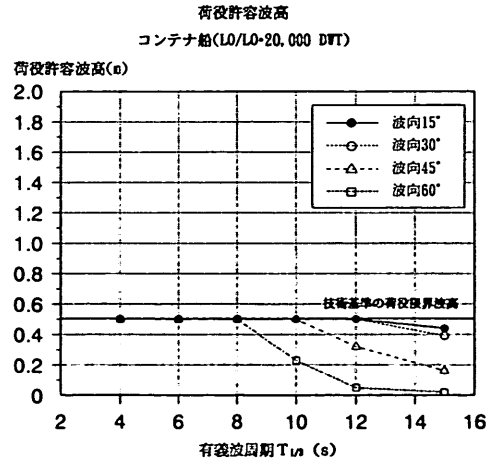


図-15 (1) 荷役許容波高 コンテナ船 (LO/LO) ・ 20,000 DWT

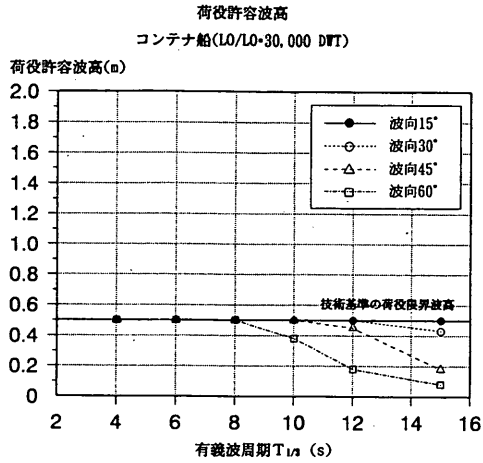


図-15 (2) 荷役許容波高 コンテナ船 (LO/LO) 30,000 DWT

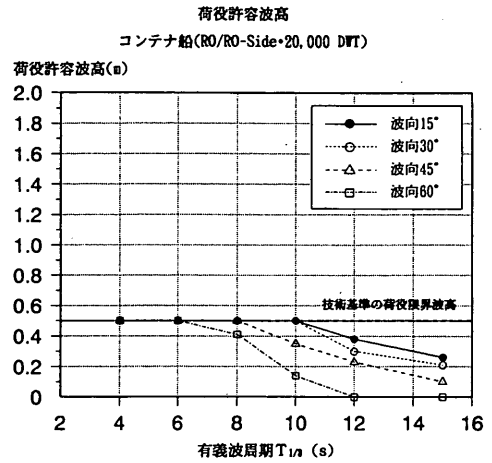


図-16 (1) 荷役許容波高 コンテナ船 (RO/RO-Side) ・ 20,000 DWT

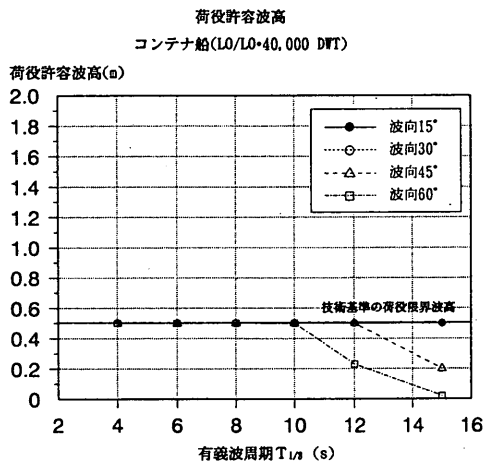


図-15 (3) 荷役許容波高 コンテナ船 (LO/LO) 40,000 DWT

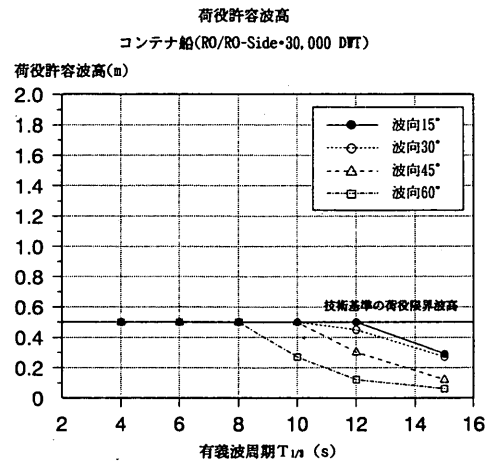


図-16 (2) 荷役許容波高 コンテナ船 (RO/RO-Side) ・ 30,000 DWT

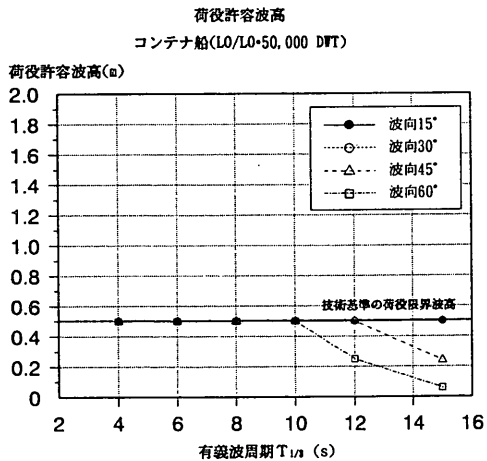


図-15 (4) 荷役許容波高 コンテナ船 (LO/LO) 50,000 DWT

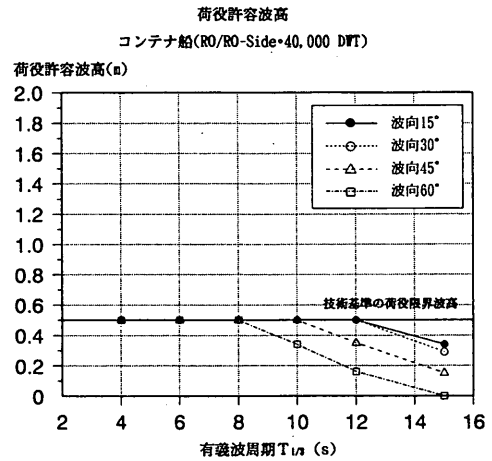


図-16 (3) 荷役許容波高 コンテナ船 (RO/RO-Side) ・ 40,000 DWT

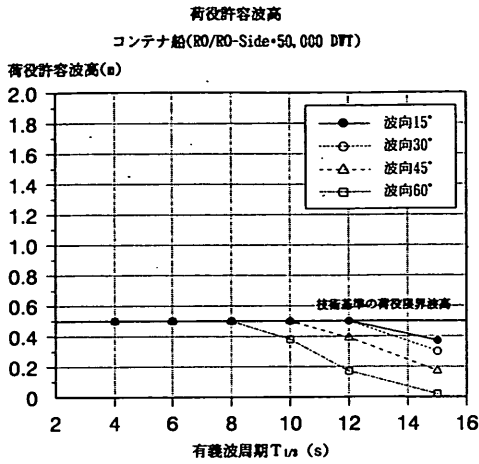


図-16 (4) 荷役許容波高 コンテナ船 (RO/RO-Side) ・ 50,000 DWT

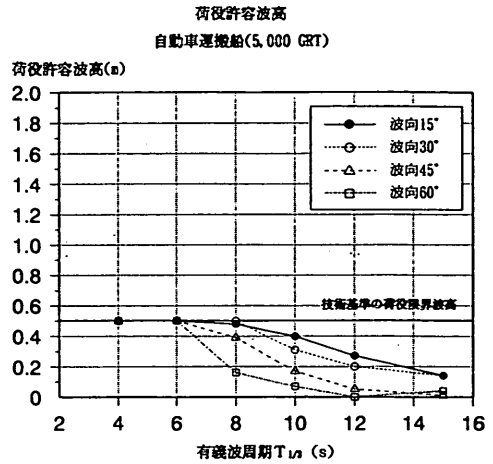


図-17 (3) 荷役許容波高 自動車運搬船 5,000 GRT

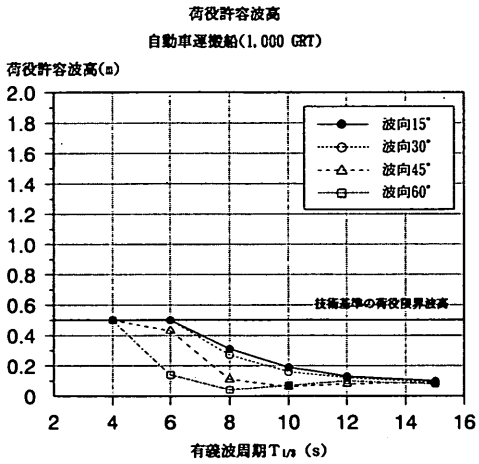


図-17 (1) 荷役許容波高 自動車運搬船 1,000 GRT

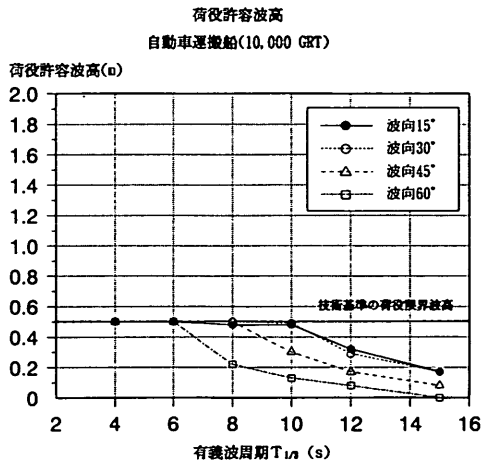


図-17 (4) 荷役許容波高 自動車運搬船 10,000 GRT

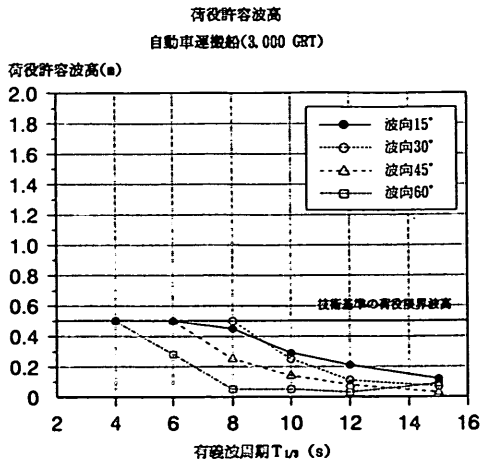


図-17 (2) 荷役許容波高 自動車運搬船 3,000 GRT

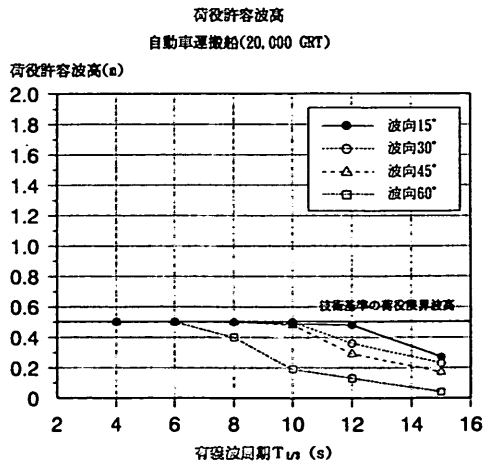


図-17 (5) 荷役許容波高 自動車運搬船 20,000 GRT

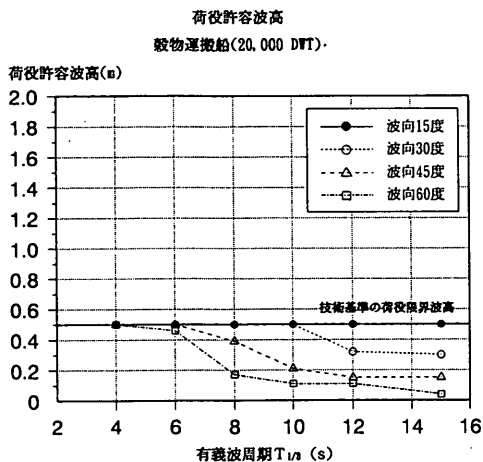


図-18 (1) 荷役許容波高 穀物運搬船・20,000 DWT

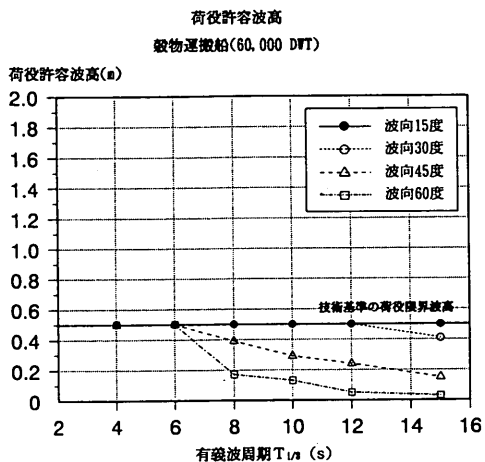


図-18 (4) 荷役許容波高 穀物運搬船・60,000 DWT

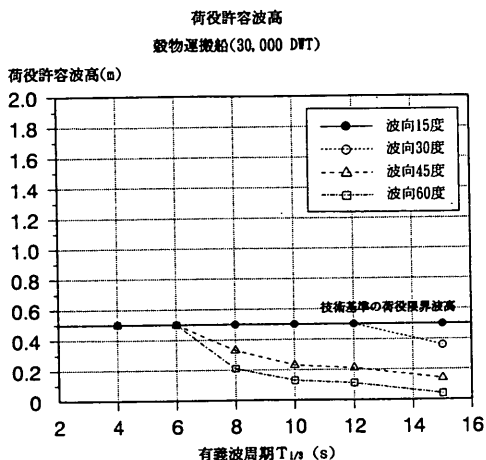


図-18 (2) 荷役許容波高 穀物運搬船・30,000 DWT

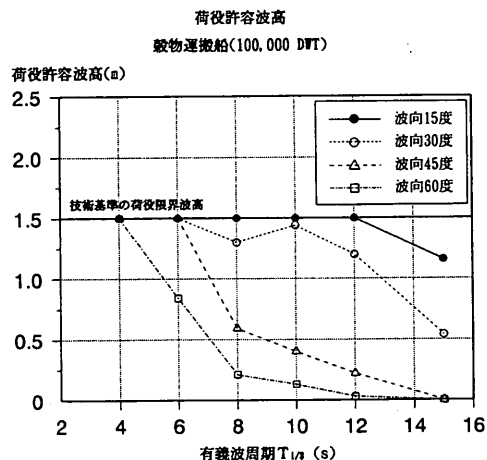


図-18 (5) 荷役許容波高 穀物運搬船・100,000 DWT

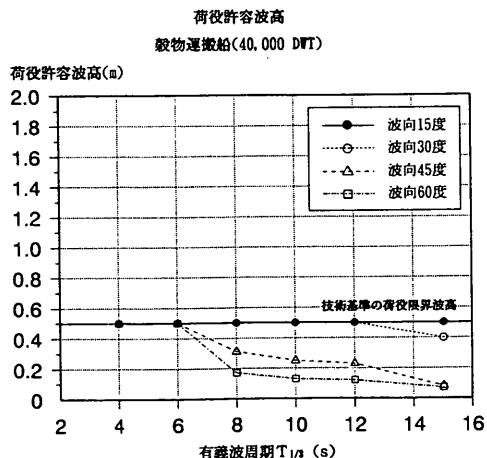


図-18 (3) 荷役許容波高 穀物運搬船・40,000 DWT

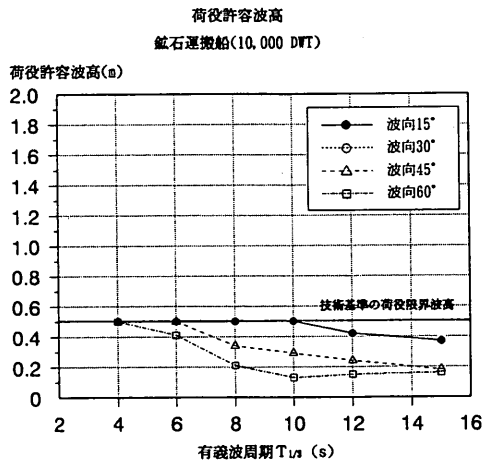


図-19 (1) 荷役許容波高 鉱石運搬船・10,000 DWT

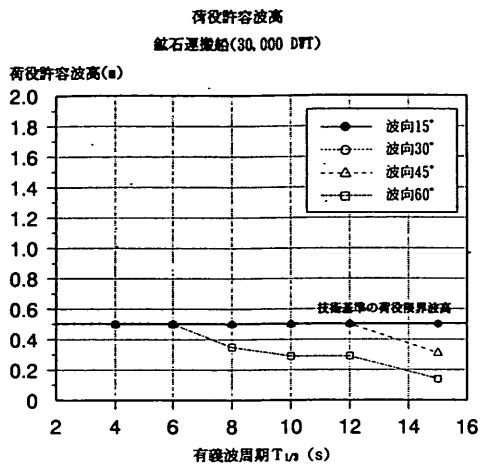


図-19 (2) 荷役許容波高 鉱石運搬船・30,000 DWT

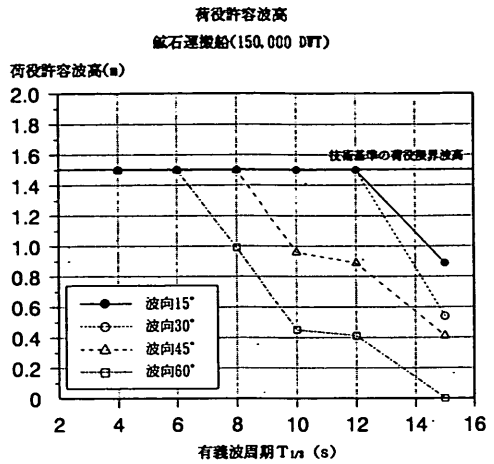


図-19 (5) 荷役許容波高 鉱石運搬船・150,000 DWT

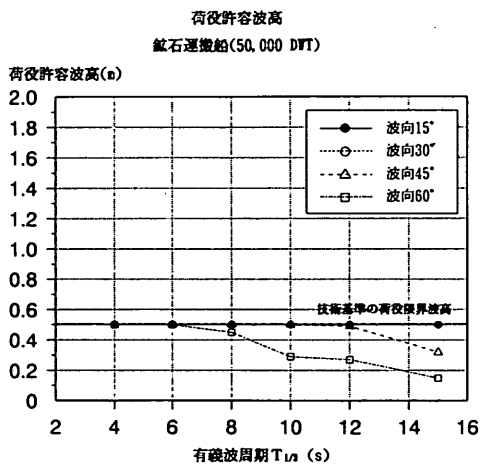


図-19 (3) 荷役許容波高 鉱石運搬船・50,000 DWT

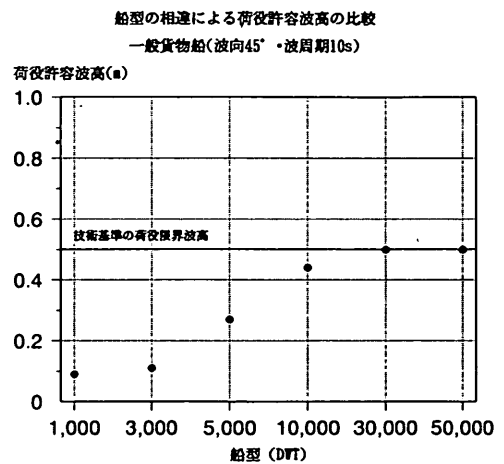


図-20 船型の相違による荷役許容波高の比較
一般貨物船(波向45°・波周期10s)

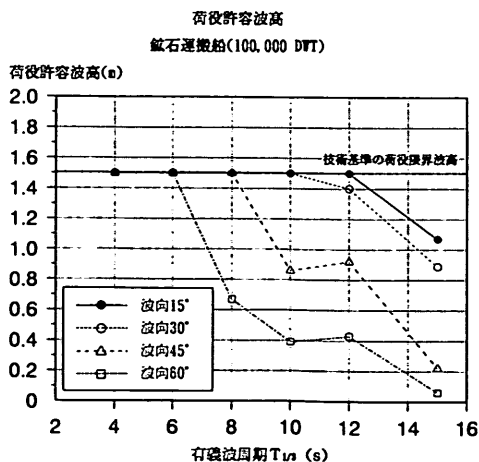


図-19 (4) 荷役許容波高 鉱石運搬船・100,000 DWT

3.2 荷役許容波高の提案

3.1で計算した荷役許容波高(単位:m)の小数点以下2桁を2捨3入または7捨8入し、0.05mごとに整理し、船種・船型別の荷役許容波高を提案する。表-5~表-11は、それぞれ、一般貨物船、タンカー、コンテナ船(LO/LO)、コンテナ船(RO/RO・Side)、自動車運搬船、穀物運搬船及び鉱石運搬船の荷役許容波高の提案値である。

表-5 荷役許容波高の計算結果の一覧 (一般貨物船)

船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
1,000 DWT	15	0.50	0.35	0.25	0.20	0.10	0.00
	30	0.50	0.30	0.20	0.15	0.10	0.00
	45	0.50	0.30	0.10	0.10	0.10	0.00
	60	0.45	0.15	0.05	0.00	0.00	0.00
3,000 DWT	15	0.50	0.50	0.45	0.30	0.30	0.20
	30	0.50	0.50	0.40	0.20	0.20	0.20
	45	0.50	0.50	0.25	0.10	0.10	0.15
	60	0.50	0.35	0.15	0.10	0.10	0.00
5,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.45	0.35	0.30
	30	0.50	0.50	0.50	0.40	0.25	0.25
	45	0.50	0.50	0.50	0.25	0.20	0.15
	60	0.50	0.50	0.30	0.15	0.15	0.10
10,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45	0.40
	45	0.50	0.50	0.50	0.45	0.35	0.25
	60	0.50	0.50	0.50	0.25	0.15	0.15
30,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45	0.25
	60	0.50	0.50	0.40	0.25	0.25	0.15
50,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.35
	60	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.15
100000 DWT	15	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.15
	30	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.05
	45	1.50	1.50	1.50	1.15	0.80	0.40
	60	1.50	1.50	1.50	0.60	0.45	0.10
150000 DWT	15	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.90
	30	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.75
	45	1.50	1.50	1.50	1.30	0.90	0.40
	60	1.50	1.50	1.50	0.65	0.45	0.10

表-6 荷役許容波高の計算結果の一覧(タンカー)

船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
1,000 DWT	15	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	----
	30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	----
	45	0.30	0.30	0.15	0.15	0.15	0.10
	60	0.30	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10
3,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45	0.20
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.20
	45	0.50	0.50	0.40	0.40	0.20	0.20
	60	0.50	0.45	0.25	0.20	0.15	0.10
5,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.35
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30
	45	0.50	0.50	0.50	0.45	0.35	0.30
	60	0.50	0.50	0.40	0.30	0.20	0.15
10,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.35	0.25
	60	0.50	0.50	0.50	0.25	0.15	0.10
30,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30
	60	0.50	0.50	0.50	0.45	0.25	0.15
50,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30
	60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.15
100000 DWT	15	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.15
	30	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.60
	45	1.50	1.50	1.50	1.15	0.95	0.30
	60	1.50	1.50	1.50	0.60	0.45	0.05
150000 DWT	15	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	30	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.90
	45	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.55
	60	1.50	1.50	1.50	1.00	0.75	0.25
200000 DWT	15	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	30	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.20
	45	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.55
	60	1.50	1.50	1.50	1.10	0.80	0.45

表-7 荷役許容波高の計算結果の一覧 (コンテナ船・LO/LO)

船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
20,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.15
	60	0.50	0.50	0.50	0.25	0.05	0.00
船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
30,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45	0.15
	60	0.50	0.50	0.50	0.40	0.15	0.10
船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
40,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20
	60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.00
船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
50,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25
	60	0.00	0.50	0.50	0.50	0.25	0.05

表-8 荷役許容波高の計算結果の一覧 (コンテナ船・RO/RO-Side)

船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
20,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.35	0.25
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.20
	45	0.50	0.50	0.50	0.35	0.25	0.10
	60	0.50	0.50	0.40	0.15	0.00	0.00
船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
30,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45	0.30
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.10
	60	0.50	0.50	0.50	0.25	0.10	0.05
船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
40,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.35
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.35	0.15
	60	0.50	0.50	0.50	0.35	0.15	0.00
船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
50,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.35
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.15
	60	0.50	0.50	0.50	0.40	0.15	0.00

表-9 荷役許容波高の計算結果の一覧（自動車運搬船）

船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
1,000 GRT	15	0.50	0.50	0.30	0.20	0.10	0.10
	30	0.50	0.50	0.25	0.15	0.10	0.10
	45	0.50	0.40	0.10	0.05	0.10	0.10
	60	0.50	0.15	0.05	0.05	0.10	0.05
3,000 GRT	15	0.50	0.50	0.45	0.30	0.20	0.10
	30	0.50	0.50	0.50	0.25	0.10	0.05
	45	0.50	0.50	0.25	0.15	0.10	0.05
	60	0.50	0.30	0.05	0.05	0.05	0.10
5,000 GRT	15	0.50	0.50	0.50	0.40	0.25	0.15
	30	0.50	0.50	0.50	0.30	0.20	0.15
	45	0.50	0.50	0.40	0.15	0.05	0.00
	60	0.50	0.50	0.15	0.05	0.00	0.05
10,000 GRT	15	0.50	0.50	0.50	0.45	0.30	0.15
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.15
	45	0.50	0.50	0.50	0.30	0.15	0.05
	60	0.50	0.50	0.20	0.10	0.05	0.00
20,000 GRT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45	0.25
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.35	0.25
	45	0.50	0.50	0.50	0.45	0.30	0.15
	60	0.50	0.50	0.40	0.20	0.15	0.05

表-10 荷役許容波高の計算結果の一覧（穀物運搬船）

船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
20,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30
	45	0.50	0.50	0.40	0.20	0.15	0.15
	60	0.50	0.45	0.15	0.10	0.10	0.05
30,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.35
	45	0.50	0.50	0.35	0.25	0.20	0.15
	60	0.50	0.50	0.20	0.15	0.10	0.05
40,000 DWT	15	0.53	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40
	45	0.50	0.50	0.30	0.25	0.20	0.10
	60	0.50	0.50	0.15	0.10	0.10	0.05
60,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.50	0.53	0.50	0.50	0.40
	45	0.50	0.50	0.40	0.30	0.25	0.15
	60	0.50	0.50	0.15	0.15	0.05	0.05
100000 DWT	15	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.15
	30	1.50	1.50	1.30	1.45	1.20	0.55
	45	1.50	1.50	0.60	0.40	0.20	0.00
	60	1.50	0.85	0.20	0.10	0.05	0.00

表-11 荷役許容波高の計算結果の一覧（鉱石運搬船）

船型	波向 (deg)	波 周 期 (s)					
		4	6	8	10	12	15
10,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.35
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.35
	45	0.50	0.50	0.35	0.30	0.25	0.15
	60	0.50	0.40	0.20	0.15	0.15	0.15
30,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30
	60	0.50	0.50	0.35	0.30	0.30	0.15
50,000 DWT	15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	30	0.50	0.54	0.50	0.50	0.50	0.50
	45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30
	60	0.50	0.50	0.45	0.30	0.25	0.15
100000 DWT	15	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.05
	30	1.50	1.50	1.50	1.50	1.40	0.90
	45	1.50	1.50	1.50	0.85	0.90	0.20
	60	1.50	1.50	0.65	0.40	0.40	0.05
150000 DWT	15	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.90
	30	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.55
	45	1.50	1.50	1.50	0.95	0.90	0.40
	60	1.50	1.50	1.00	0.45	0.40	0.00

4. 荷役許容波高に基づく稼働率の計算

4.1 計算条件

係留船舶の動揺を考慮した稼働率については、著者の一人²⁾が計算例を示しているが、そのときの計算においては荷役許容波高が厳密に設定されていなかったため、本資料では前章で提案した荷役許容波高の提案値を用いて検討を行う。

表-12(a)~(d)は、外洋性の港湾（A港）の波向別の港外波の波高と周期の結合分布表である。港湾に入射する波向は、東向き4方向、すなわち、E、ESE、SE、SSEである。表中の数値は百分率を示す。表-13は、A港の港内静穏度模型実験に基づいて求めた防波堤の整備前及び整備後のP2、P3、Tのバースの港外波に対する波高比を波向別に示したものである。また、表-14は、船種、船型、波向の条件を示したものである。図-21(1)~(3)は計算の対象とする3バースの対象船舶について技術基準における荷役限界波高と本資料で提案した

荷役許容波高を比較したものである。

4.2 稼働率の計算結果

表-15は、本資料の荷役許容波高の提案値より求めた稼働率の計算結果を示したものである。また、現行の技術基準の値による稼働率の計算結果についても併記している。

本資料の荷役許容波高の提案値を用いた荷役の稼働率は、長周期波の作用する外洋性の港湾では、現行の技術基準の方法による稼働率よりも低下する。防波堤の整備前についてP2バースにおける稼働率は、船舶の動揺量を考慮した荷役許容波高に基づくものは65.9%、従来の方法では80.8%である。以下、同様にP3バースではそれぞれ89.9%、97.5%、Tバースではそれぞれ63.8%、78.8%である。また、防波堤の整備後についてP2バースにおける稼働率は、船舶の動揺量を考慮した荷役許容波高に基づくものは96.1%、従来の方法では99.5%である。以下、同様にP3バースではそれぞれ98.1%、99.3%、Tバースではそれぞれ82.7%、96.3%である。

表-12(a) A港における波向別の結合分布表(波向 E)

波向 E 沖波波高 (c)	有 義 波 周 期 (s)													合計
	0-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	
0.00 - 0.50	0.03	0.08	0.16	0.28	0.42	0.42	0.35	0.23	0.11	0.03	0.01	0.00	0.00	2.13
0.50 - 1.00	0.00	0.03	0.10	0.25	0.45	0.48	0.33	0.19	0.12	0.06	0.03	0.01	0.00	2.05
1.00 - 1.50	0.00	0.00	0.02	0.07	0.09	0.16	0.17	0.11	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00	0.77
1.50 - 2.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.04	0.07	0.08	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.34
2.00 - 2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.06	0.04	0.04	0.03	0.00	0.00	0.23
2.50 - 3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.10
3.00 - 3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50 - 4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00 - 4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50 - 5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00 -	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.04	0.11	0.29	0.62	1.01	1.12	0.97	0.69	0.43	0.23	0.11	0.01	0.00	5.62

表-12(b) A港における波向別の結合分布表(波向 ESE)

波向 ESE 沖波波高 (c)	有 義 波 周 期 (s)													合計
	0-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	
0.00 - 0.50	0.18	0.45	0.86	1.54	2.32	2.27	1.91	1.27	0.59	0.18	0.05	0.00	0.00	11.63
0.50 - 1.00	0.04	0.30	1.10	2.62	4.78	5.16	3.55	2.03	1.27	0.68	0.30	0.08	0.00	21.89
1.00 - 1.50	0.00	0.00	0.18	0.52	0.70	1.18	1.29	0.85	0.66	0.29	0.07	0.04	0.00	5.78
1.50 - 2.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.10	0.15	0.24	0.27	0.17	0.07	0.05	0.00	0.00	1.12
2.00 - 2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.07	0.14	0.11	0.11	0.07	0.00	0.00	0.57
2.50 - 3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.07	0.03	0.00	0.00	0.20
3.00 - 3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
3.50 - 4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00 - 4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50 - 5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00 -	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.22	0.75	2.15	4.75	7.92	8.79	7.09	4.59	2.88	1.40	0.57	0.12	0.00	41.24

表-12(c) A港における波向別の結合分布表 (波向 SE)

波向 SE 沖波波高 (m)	有 義 波 周 期 (s)													合計
	0-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	
0.00 - 0.50	0.12	0.31	0.59	1.06	1.59	1.56	1.31	0.88	0.41	0.12	0.03	0.00	0.00	8.00
0.50 - 1.00	0.04	0.26	0.97	2.30	4.20	4.53	3.12	1.78	1.12	0.59	0.26	0.07	0.00	19.25
1.00 - 1.50	0.00	0.00	0.21	0.58	0.79	1.33	1.46	0.96	0.75	0.33	0.08	0.04	0.00	6.55
1.50 - 2.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.22	0.34	0.56	0.62	0.39	0.17	0.11	0.00	0.00	2.58
2.00 - 2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.07	0.14	0.11	0.11	0.07	0.00	0.00	0.57
2.50 - 3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.00	0.00	0.30
3.00 - 3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
3.50 - 4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00 - 4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50 - 5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00 -	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.16	0.57	1.77	4.12	6.85	7.80	6.58	4.43	2.87	1.43	0.61	0.12	0.00	37.31

表-12(d) A港における波向別の結合分布表 (波向 SSE)

波向 SSE 沖波波高 (m)	有 義 波 周 期 (s)													合計
	0-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	
0.00 - 0.50	0.06	0.15	0.28	0.51	0.76	0.75	0.63	0.42	0.20	0.06	0.01	0.00	0.00	3.84
0.50 - 1.00	0.02	0.12	0.43	1.03	1.88	2.03	1.39	0.80	0.50	0.27	0.12	0.03	0.00	8.60
1.00 - 1.50	0.00	0.00	0.08	0.23	0.31	0.53	0.58	0.38	0.30	0.13	0.03	0.02	0.00	2.60
1.50 - 2.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.07	0.12	0.13	0.09	0.04	0.02	0.00	0.00	0.56
2.00 - 2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.06	0.04	0.04	0.03	0.00	0.00	0.23
2.50 - 3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00 - 3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50 - 4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00 - 4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50 - 5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00 -	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.08	0.27	0.80	1.81	3.02	3.39	2.75	1.79	1.12	0.54	0.22	0.05	0.00	15.83

表-13 各バースにおける波高比

バース名	防波堤整備前				防波堤整備後			
	波向				波向			
	E	ESE	SE	SSE	E	ESE	SE	SSE
P2	0.26	0.66	0.21	0.25	0.23	0.16	0.10	0.15
P3	0.17	0.34	0.15	0.16	0.17	0.10	0.12	0.09
T	0.33	0.68	0.22	0.22	0.30	0.35	0.18	0.17

表-14 稼働率算定の条件

バース	船種	船型	波向
P2	タンカー	5,000 DWT	60°
P3	タンカー	3,000 DWT	45°
T	一般貨物船	30,000 DWT	60°

荷役許容波高(P2バース)
タンカー(5,000 DWT)

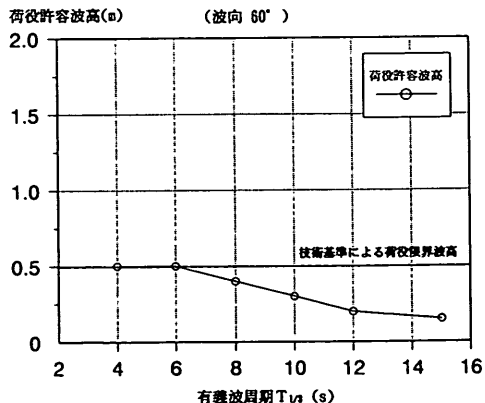


図-21 (1) P2バースにおける荷役許容波高
タンカー・5,000 DWT (波向60°)

荷役許容波高(P3バース)
タンカー(3,000 DWT)

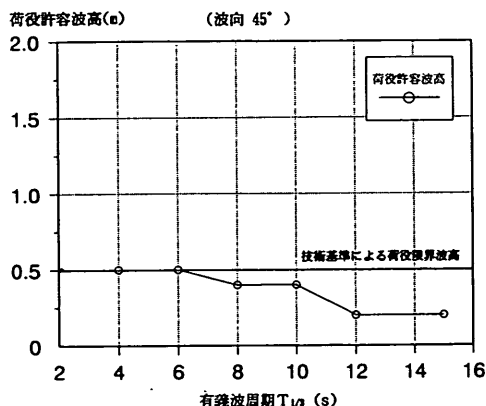


図-21 (2) P3バースにおける荷役許容波高
タンカー・3,000 DWT (波向45°)

荷役許容波高(Tバース)
一般貨物船(30,000 dwt)

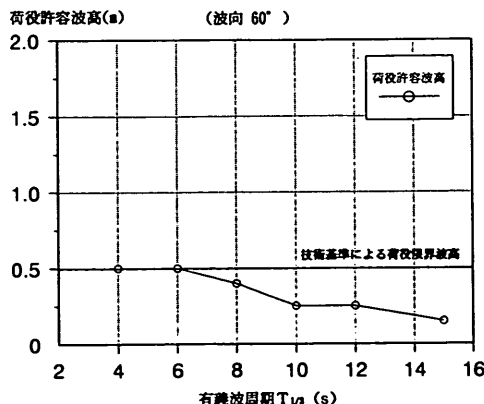


図-21 (3) Tバースにおける荷役許容波高
一般貨物船・30,000 DWT (波向60°)

著者の一人がすでに示しているように、長周期波の作用する外洋性の港湾においては、長周期波の作用による係留船舶の動揺を考慮して稼働率を求めると従来の方法よりも小さくなる。

A港における荷役の待機及び中断事例の調査結果によれば、1983~1984年(防波堤の整備前)のP3バースへの入港船舶は、658隻で、このうち、荷役中断は21隻、港外待機は71隻であった。中断と待機の合計は92隻で入港

船舶数に対する比率は14.0%である。稼働率は厳密には年間の荷役可能日数に基づいて計算しなければならないが、上記の中断と待機の事例からおよそ86.0%程度と考

表-15 稼働率の計算結果

バース	防波堤整備前		防波堤整備後	
	技術基準の値 による稼働率	本報告の提案値 による稼働率	技術基準の値 による稼働率	本報告の提案値 による稼働率
P2	80.8%	65.9%	99.5%	96.1%
P3	97.5%	89.9%	99.3%	98.1%
T	78.8%	63.8%	96.3%	82.7%

えられる。このバースについて、船舶の動揺を考慮して計算した稼働率は89.9%であり、両者はおおむね一致している。一方、従来の基準にしたがって計算される稼働率は97.5%であるので、稼働率の実態値とはかなり相違する。したがって、本資料で提案する荷役許容波高の提案に基づく稼働率の計算手法は長周期波の作用する外洋性港湾において有用であると言える。

5. 結論

本資料では、係岸船舶の動揺数値シミュレーションを行って、船種、船型、波向、波周期別に荷役許容波高を提案した。本資料における主要な結論は以下のとおりである。

- 1) 本資料では、一般貨物船、タンカー、コンテナ船(LO/LO)、コンテナ船(RO/RO・Side)、自動車運搬船、穀物運搬船、鉱石運搬船について荷役許容波高を提案した。
- 2) 荷役許容波高は、波周期が長周期側になるにしたがって小さくなる。
- 3) 同一波周期において荷役許容波高は船舶に作用する波向が90°に近づくにしたがって小さくなる。
- 4) 同一波向、同一波周期については、船型が大型になるほど、荷役許容波高が大きくなる。
- 5) 荷役許容波高の提案値に基づいて、荷役の稼働率を計算した。荷役の稼働率は、従来から指摘されているように長周期波の作用する外洋性の港湾では、現行の技術基準による計算値よりも低下する。

6. あとがき

本資料では、係岸船舶の動揺を考慮した荷役許容波高を提案した。筆者の二人が、稼働率の新しい計算方法についての検討を始め、約10年になる。この間に、荷役許容動揺量を1988年に提案した。しかしながら、係岸船舶の動揺を考慮して稼働率を計算するためには、多くの動

揺数値シミュレーションが必要となるため、港湾計画の実務に反映させるには、より簡便な指標値が望まれた。本提案による荷役許容波高を用いて荷役の稼働率を計算し、港湾計画を立案することにより、我が国の港湾整備水準が、より一層、向上することを期待する。

(1994年3月31日受付)

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説(改訂版), 1989.3, 下巻 p.12
- 2) Ueda, S. : "Motions of Moored Ships and Their Effect on Wharf Operation Efficiency", Report of Port and Harbour Research Institute, Vol.26, No.5, Dec.1987, pp.319~373.
- 3) Ueda, S. and S. Shiraisi : "The Allowable Ship Motions for Cargo Handling at Wharves", Report of Port and Harbour Research Institute, Vol.27, No.4, Dec.1988, pp.3~61.
- 4) 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, 港湾技研資料, No.504, 1984.12, 372p
- 5) Brunn, P. : "Port Engineering", 3rd Edition, Gulf Publishing, 1981, pp.350~351, and "Breakwater or Mooring System?", The Dock and Harbour Authority, Sept.1981, pp.126-129.
- 6) 上田 茂, 白石 悟, 浅野恒平, 大島弘之：新しい風抗力係数の計算式の提案及び係留船舶の動揺への影響の検討, 港湾技研資料, No.760, 1993.9, 57p.
- 7) 上田 茂, 白石 悟：係岸船舶の動揺に基づく防衛工の設計について, 港湾技研資料, No.729, 1992.6, 55p.

主要記号表

- A_m : 船長方向付加質量係数
 A_s : 水面上正面投影面積 (m²)

A_y	: 水面上側面投影面積 (m ²)
B	: 船幅 (m)
C_B	: 方形係数 (ブロック係数)
C_c	: 偏心係数
C_m	: 仮想質量係数または風のモーメント係数
C_s	: 柔軟性係数
C_v	: パースの形状係数
C_w	: 水線面積係数
C_x	: X軸方向風抗力係数
C_y	: Y軸方向風抗力係数
D	: 型深さ (m)
DT	: 排水トン数 (tf)
d	: 喫水 (m)
E	: 防衝工の吸収エネルギー (tf)
E_f	: 船舶の接岸エネルギー (tf)
\overline{GM}	: メタセンター高さ (m)
h	: 水深 (m)
g	: 重力加速度 (m/s ²)
K_R	: 係船岸反射率
K_{xx}	: X軸まわり慣動半径 (m)
K_{yy}	: Y軸まわり慣動半径 (m)
K_{zz}	: Z軸まわり慣動半径 (m)
\overline{KG}	: 船底より重心までの距離 (m)
k_1	: 定反力型の防衝工のヒステリシスモデルにおけるばね定数 (tf/m)
k_2	: 定反力型の防衝工のヒステリシスモデルにおけるばね定数 (tf/m)
k_3	: 定反力型の防衝工のヒステリシスモデルにおけるばね定数 (tf/m)
k_4	: 定反力型の防衝工のヒステリシスモデルにおけるばね定数 (tf/m)
k_5	: 定反力型の防衝工のヒステリシスモデルにおけるばね定数 (tf/m)
T_ϕ	: 横揺れ固有周期 (s)
L	: 船舶の全長 (m)
L_{sp}	: 垂線間長 (m)
V	: 接岸速度 (m/s)
W_s	: 船舶の満載時排水量 (tf)
δ_{max}	: 防衝工の最大変位 (m)
δ_s	: 防衝工の許容変位 (m)
κ_s	: 横揺れ無次元量減衰係数

付録A. 船舶の諸元

表-A.1～表-A.6は、それぞれ、一般貨物船、タンカー、コンテナ船、自動車運搬船、穀物運搬船、鉱石運搬船について、計算対象船舶の主要な諸元を示したものである。また、図-A.1及び図-A.2は表-A.1～表-A.6に示す主要な記号を説明したものである。主要な諸元のうち、全長、型幅、型深さは技術基準に標準船型として示されている数値である。垂線間長、空載喫水、水面上正面投影面積、水面上側面投影面積は船舶データに基づく回帰式^{1)~3)}を用い求めた。慣動半径、 \overline{KG} 、 \overline{GM} 、横揺れ固有周期は造船設計便覧⁶⁾に示されている関係を用いて求めた。また、排水トン数、方形係数、水線面積係数は計算に用いた船舶の線図データより求めた。

参考文献

- 1) 片山猛雄, 降旗健一, 本浩司, 早藤能伸: 船舶諸元の相互関係, 港湾技研資料, No.101, 1970.3, 130p.
- 2) 寺内潔, 吉田行秀, 奥山育英: 船舶の主要諸元に関する解析, 港湾技術研究所報告, 第17巻第4号, 1978.12, pp.265~328
- 3) 寺内潔, 吉田行秀: 船舶の主要寸法と力学的諸量の関係, 港湾技研資料, No.348, 1980.6, 115p.
- 4) 阿式邦弘, 根木貴史, 村田利治: 船舶の主要寸法の統計解析, 港湾技研資料, No.652, 1989.6, 43p.
- 5) 浜田賢二, 松本英雄, 黒田祐一, 早藤能伸: 外力算定のための船舶諸元及びマスト高の解析, 港湾技研資料, No.714, 1991.6, 62p.
- 6) 関西造船協会編: 造船設計便覧 (第3版), 1978

表-A.1 船舶の諸元および計算条件の一覧表 (一般貨物船)

載荷重量トン 載荷条件	DW(dwt)	1,000 空載	3,000 空載	5,000 空載	10,000 空載	30,000 空載	50,000 空載	100,000 空載	150,000 空載
全長	L (m)	64.0	92.0	109.0	137.0	186.0	216.0	259.0	290.0
垂線間長	L _{pp} (m)	58.7	85.0	101.0	127.5	174.1	202.8	244.0	273.9
船幅	B (m)	10.4	14.2	16.4	19.9	27.1	31.5	38.7	45.0
型深さ	D (m)	5.8	7.70	9.0	11.1	15.2	17.5	21.2	23.7
喫水	d (m)	1.89	2.71	3.33	4.32	5.79	6.73	8.94	10.10
排水トン数	DT (t)	739	2104	3567	7128	17867	28220	55675	82087
方形係数	C _a	0.621	0.626	0.628	0.631	0.635	0.637	0.640	0.642
水線面積係数	C _w	0.710	0.710	0.710	0.720	0.720	0.730	0.730	0.730
環動半径	K _{xx} (m)	4.00	5.47	6.31	7.66	10.4	12.1	14.9	17.3
	K _{yy} (m)	14.7	21.2	25.3	31.9	43.5	50.7	61.0	68.5
	K _{zz} (m)	14.7	21.2	25.3	31.9	43.5	50.7	61.0	68.5
重心(船体中心より)	\overline{KG} (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(船底より)	\overline{KG} (m)	4.64	6.04	6.82	7.83	9.30	10.5	12.7	14.2
メタセンター高さ	\overline{GM} (m)	0.44	0.71	0.79	1.11	3.07	3.91	4.39	6.00
船長方向付加質量係数	A _m	0.048	0.045	0.041	0.048	0.059	0.059	0.07	0.0
横揺れ無次元減衰係数	κ_0	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
横揺れ固有周期	T _φ (s)	12.1	13.0	14.3	14.6	12.0	12.3	14.3	14.2
水面上正面投影面積	A _x (m ²)	102	179	232	330	579	751	1070	1316
水面上側面投影面積	A _y (m ²)	383	688	903	1310	2350	3080	4458	5533
レーバー長さ	l (m)	-0.79	-0.96	-1.02	-0.56	0.59	1.62	2.35	2.67
水深	h (m)	5.0	6.50	7.5	10.0	12.0	14.0	18.0	20.0
係船岸反射率	K _R	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

表-A.2 船舶の諸元および計算条件の一覧表 (タンカー)

載荷重量トン 載荷条件	DW(dwt)	1,000 空載	3,000 空載	5,000 空載	10,000 空載	30,000 空載	50,000 空載	100,000 空載	150,000 空載	200,000 空載
全長	L (m)	61.0	88.0	104.0	130.0	185.0	219.0	223.0	254.0	313.0
垂線間長	L _{pp} (m)	56.4	82.0	97.2	122.1	175.0	207.9	214	243	300
船幅	B (m)	9.8	13.8	16.2	20.1	28.3	33.1	39.4	44.6	50.6
型深さ	D (m)	4.4	6.5	7.8	10.1	15.2	17.5	20.3	23.3	25.6
喫水	d (m)	2.09	2.89	3.34	4.09	5.51	6.38	7.46	8.39	9.69
排水トン数	DT (t)	894	2531	4067	7741	21046	45173	69281	72173	116000
方形係数	C _a	0.751	0.750	0.750	0.750	0.749	0.749	0.749	0.770	0.769
水線面積係数	C _w	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
環動半径	K _{xx} (m)	4.12	5.80	6.08	8.44	11.9	13.9	16.5	18.7	21.3
	K _{yy} (m)	14.1	20.5	24.3	30.5	43.8	52.0	53.5	60.8	74.9
	K _{zz} (m)	14.1	20.5	24.3	30.5	43.8	52.0	53.5	60.8	74.9
重心(船体中心より)	\overline{CG} (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(船底より)	\overline{KG} (m)	3.52	5.20	6.24	7.63	9.88	10.5	12.2	14.0	15.4
メタセンター高さ	\overline{GM} (m)	1.02	1.24	1.39	1.91	3.89	5.69	7.25	7.91	9.24
船長方向付加質量係数	A ₀	0.056	0.052	0.051	0.051	0.048	0.050	0.051	0.063	0.061
横揺れ無次元減衰係数	κ	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
横揺れ固有周期	T _s (s)	8.21	10.5	11.6	12.3	12.1	11.7	12.3	13.4	14.1
水深	h (m)	4.5	6.5	7.5	9.0	12.0	14.0	18.0	20.0	22.0
係船岸反射率	K _a	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0

表-A.3 船舶の諸元および計算条件の一覧表 (コンテナ船)

載荷重量トン 載荷条件	DW(dwt)	20,000 空載	30,000 空載	40,000 空載	50,000 空載
全長	L (m)	201.0	237.0	263.0	280.0
垂線間長	L _{pp} (m)	188.5	222.9	247.9	264.2
船幅	B (m)	27.1	30.7	33.5	35.8
型深さ	D (m)	15.6	18.4	20.7	22.6
喫水	d (m)	6.68	7.37	7.92	8.34
排水トン数	DT (t)	22475	43486	43426	66186
方形係数	C _a	0.640	0.640	0.641	0.641
水線面積係数	C _w	0.73	0.73	0.76	0.73
環動半径	K _{xx} (m)	10.43	11.82	12.90	13.78
	K _{yy} (m)	47.1	55.7	62.0	66.1
	K _{zz} (m)	47.1	55.7	62.0	66.1
重心(船体中心より)	\overline{CG} (m)	0.0	0.0	0.0	0.0
(船底より)	\overline{KG} (m)	9.72	11.04	12.42	13.56
メタセンター高さ	\overline{GM} (m)	2.00	2.39	2.34	2.33
船長方向付加質量係数	A ₀	0.057	0.059	0.057	0.059
横揺れ無次元減衰係数	κ	0.07	0.07	0.07	0.07
横揺れ固有周期	T _s (s)	14.9	15.4	16.9	18.1
水深	h (m)	12.0	13.0	14.0	15.0
係船岸反射率	K _a	0.9	0.9	0.9	0.9

表-A.4 船舶の諸元および計算条件の一覧表（自動車運搬船）

総トン 載荷条件	GT(gt)	1,000 空載	3,000 空載	5,000 空載	10,000 空載	20,000 空載
全長	L (m)	86.0	117.0	136.0	166.0	203.0
垂線間長	L _{pp} (m)	79.3	108.6	126.6	155.1	190.4
船幅	B (m)	14.1	19.1	22.0	26.6	32.2
型深さ	D (m)	8.0	12.7	15.8	21.2	28.4
喫水	d (m)	2.76	3.60	4.12	4.92	5.93
排水トン数	DT (t)	1423	3455	5329	9449	16983
方形係数	C _B	0.644	0.646	0.647	0.648	0.650
水線面積係数	C _w	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
環動半径	K _{xx} (m)	5.71	7.74	8.91	10.77	13.04
	K _{yy} (m)	19.8	27.1	31.6	38.8	47.6
	K _{zz} (m)	19.8	27.1	31.6	38.8	47.6
重心(船体中心より)	\overline{OG} (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(船底より)	\overline{KG} (m)	6.00	8.80	10.38	12.72	15.62
メタセンター高さ	\overline{GM} (m)	1.37	1.45	1.48	1.77	2.00
船長方向付加質量係数	A _m	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
横揺れ無次元減衰係数	κ_s	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
横揺れ固有周期	T _s (s)	9.8	12.9	14.7	16.3	18.5
水深	h (m)	5.5	7.0	7.5	9.0	11.0
係船岸反射率	K _a	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

表-A.5 船舶の諸元および計算条件の一覧表（穀物運搬船）

載荷重量トン 載荷条件	DW(dwt)	20,000 空載	30,000 空載	40,000 空載	60,000 空載	100,000 空載
全長	L (m)	163.0	182.0	196.0	208.0	250.0
垂線間長	L _{pp} (m)	152.7	170.3	184.0	205.2	235.4
船幅	B (m)	23.2	27.1	30.3	35.4	43.1
型深さ	D (m)	16.2	18.7	20.6	23.7	28.3
喫水	d (m)	4.79	5.29	5.66	6.24	7.06
排水トン数	DT (t)	11089	15955	20654	29716	46993
方形係数	C _B	0.633	0.634	0.635	0.636	0.638
水線面積係数	C _w	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73
環動半径	K _{xx} (m)	8.95	10.45	11.67	13.63	16.58
	K _{yy} (m)	38.2	42.57	46.0	51.3	58.9
	K _{zz} (m)	38.2	42.57	46.0	51.3	58.9
重心(船体中心より)	\overline{OG} (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(船底より)	\overline{KG} (m)	9.80	10.62	11.33	13.03	15.54
メタセンター高さ	\overline{GM} (m)	1.78	3.39	4.74	6.48	9.45
船長方向付加質量係数	A _m	0.057	0.059	0.057	0.064	0.070
横揺れ無次元減衰係数	κ_s	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
横揺れ固有周期	T _s (s)	13.5	11.4	10.8	10.8	10.8
水深	h (m)	11.0	12.0	12.0	13.5	15.0
係船岸反射率	K _a	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

表-A.6 船舶の諸元および計算条件の一覧表（鉱石運搬船）

載荷重量トン 載荷条件	DW(dwt)	10,000 空載	30,000 空載	50,000 空載	100,000 空載	150,000 空載
全長	L (m)	121.0	171.0	200.0	248.0	282.0
垂線間長	L _{pp} (m)	112.7	159.6	187.7	233.8	265.9
船幅	B (m)	19.9	27.7	32.3	39.9	45.1
型深さ	D (m)	9.2	13.3	15.9	20.0	23.0
喫水	d (m)	3.87	5.47	6.43	8.00	9.09
排水トン数	DT (t)	6058	17346	28288	54933	80991
方形係数	C _b	0.637	0.637	0.637	0.637	0.637
水線面積係数	C _w	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72
環動半径	K _{xx} (m)	7.65	10.67	12.45	15.36	17.37
	K _{yy} (m)	28.2	39.9	46.9	58.4	66.5
	K _{zz} (m)	28.2	39.9	46.9	58.4	66.5
重心(船体中心より)	真G (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(船底より)	KG (m)	7.11	9.07	9.90	12.03	13.80
メタセンター高さ	GM (m)	2.424	4.132	5.462	6.836	7.471
船長方向付加質量係数	A _{xx}	0.048	0.059	0.059	0.070	0.0
横揺れ無次元減衰係数	κ _{xx}	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
横揺れ固有周期	T _{xx} (s)	9.9	10.6	10.7	11.8	12.8
水深	h (m)	8.5	11.5	13.5	18.0	20.0
係船岸反射率	K _a	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

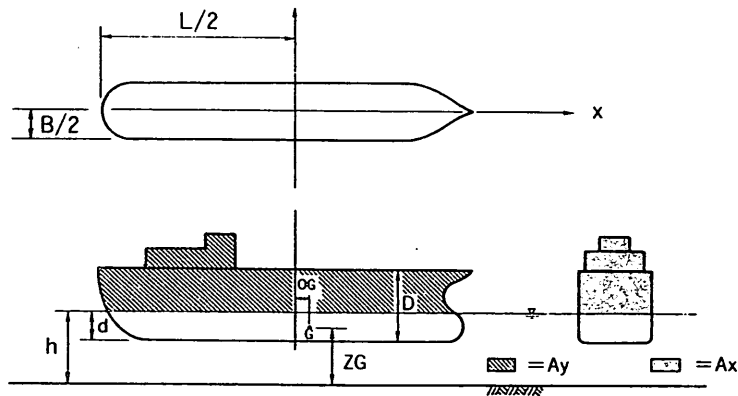


図-A.1 船舶の諸元（縦断面図）

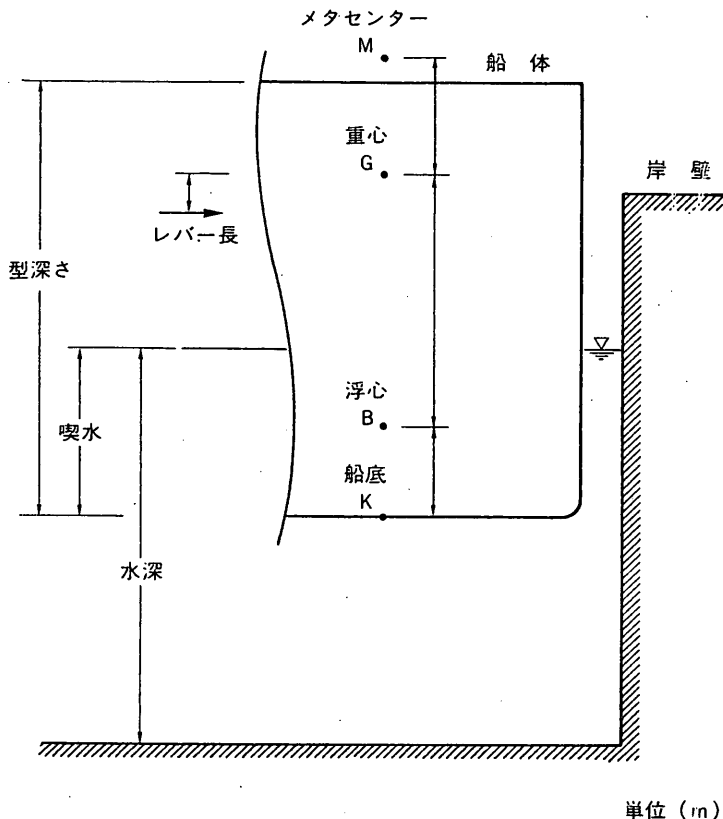


図-A.2 船舶の諸元（横断面図）

単位 (m)

付録B. 係留条件

(1) 防衝工

動揺数値シミュレーションに用いたゴム防げん材を表-B.1(1)~表-B.1(6)に示す。表-B.1(1)は、一般貨物船について、船型及び接岸エネルギー別に各ゴム防げん材の高さ(mm)、吸収エネルギー-E(tfm)、許容変位 δ .(m)、吸収エネルギーと許容変位との比 E/δ .(tf)を示したものである。同様に、表-B.1(2)~表-B.1(6)はタンカー、コンテナ船、自動車運搬船、穀物運搬船、鉱石運搬船について示したものである。

(2) 係留索

図-B.1(1)~(6)は各船種の代表的な係留索の配置を示したものである。例として、図-B.1(1)（一般貨

物船、10,000DWT）の防衝工と係留索の配置について説明を加える。図中でRは係留索をFは防衝工を指す。係留索は、100,000DWT未満ではポリプロピレン、100,000 DWT以上ではナイロンエイトロープとした。船舶に装備される係留索の径及び本数は船種・船型ごとに艀装数に基づいて定められた標準係留索装備¹⁾によるものとし、係留時の索の配置本数は実態に基づいて決めた。

表-B.2(1)~(6)は、船種、船型別に艀装数、計算に用いた係留索の種類、径、切断荷重、初期張力をとりまとめたものである。

参考文献

- 1) 日本海事協会：鋼船規則集，1978，pp.176~178

表-B. 1 (1) 計算に用いた防衝工の諸元および特性一覧（一般貨物船）

載荷重量ト (DWT)	接岸 エネルギー (tfm)	サイズ (mm)	吸収 エネルギー E (tfm)	許容 変位 δ_a (m)	E / δ_a (tf)
1,000	0.83	400	1.00	0.190	5.26
3,000	2.27	500	2.70	0.238	11.3
5,000	3.75	630	4.83	0.331	14.6
10,000	7.28	800	9.50	0.380	25.0
30,000	18.26	1150	23.8	0.604	39.4
50,000	28.54	1000	33.0	0.575	57.4
100,000	55.10	1600	64.1	0.840	76.3
150,000	78.38	1450	89.4	0.761	117.5

表-B. 1 (2) 計算に用いた防衝工の諸元および特性一覧（タンカー）

載荷重量ト (DWT)	接岸 エネルギー (tfm)	サイズ (mm)	吸収 エネルギー E (tfm)	許容 変位 δ_a (m)	E / δ_a (tf)
1,000	0.71	400	1.0	0.190	5.26
3,000	2.04	500	2.7	0.238	11.3
5,000	3.31	630	3.9	0.331	11.8
10,000	6.40	800	7.6	0.420	18.1
30,000	17.84	1150	23.8	0.604	39.4
50,000	29.07	1000	28.5	0.500	57.0
100,000	178.00	2000	203.3	1.050	193.6
150,000	255.50	2500	288.2	1.313	219.5
200,000	333.60	2500	375.0	1.250	300.0

表-B. 1 (3) 計算に用いた防衝工の諸元および特性一覧（フルコンテナ船）

載荷重量ト (DWT)	接岸 エネルギー (tfm)	サイズ (mm)	吸収 エネルギー E(tfm)	許容 変位 δ_a (m)	E/δ_a (tf)
20,000	17.99	1000	19.5	0.525	37.1
30,000	25.61	1150	29.7	0.604	49.2
40,000	32.78	1250	38.2	0.656	58.2
50,000	39.14	1450	47.7	0.761	62.7

表-B. 1 (4) 計算に用いた防衝工の諸元および特性一覧（自動車運搬船）

総トン (GRT)	接岸 エネルギー (tfm)	サイズ (mm)	吸収 エネルギー E(tfm)	許容 変位 δ_a (m)	E/δ_a (tf)
1,000	1.75	500	2.1	0.238	8.8
3,000	3.63	630	4.8	0.331	14.5
5,000	5.18	630	6.3	0.331	19.0
10,000	8.33	800	9.8	0.420	23.3
20,000	13.57	1000	15.6	0.525	29.7

表-B. 1 (5) 計算に用いた防衝工の諸元および特性一覧（穀物運搬船）

載荷重量ト (DWT)	接岸 エネルギー (tfm)	サイズ (mm)	吸収 エネルギー E (tfm)	許容 変位 δ_0 (m)	E/δ_0 (tf)
10,000	5.65	630	7.3	0.331	22.1
30,000	16.09	1000	19.5	0.525	37.1
50,000	26.19	1000	33.0	0.525	62.9
100,000	50.71	1450	59.6	0.761	78.3
150,000	74.64	1450	89.4	0.761	117.5

表-B. 1 (6) 計算に用いた防衝工の諸元および特性一覧（鉱石運搬船）

載荷重量ト (DWT)	接岸 エネルギー (tfm)	サイズ (mm)	吸収 エネルギー E (tfm)	許容 変位 δ_0 (m)	E/δ_0 (tf)
20,000	11.80	800	14.8	0.420	35.2
30,000	16.53	1000	19.5	0.525	37.1
40,000	21.03	1150	23.8	0.604	39.4
60,000	29.63	1150	38.7	0.604	64.1
100,000	45.80	1450	59.6	0.761	78.3

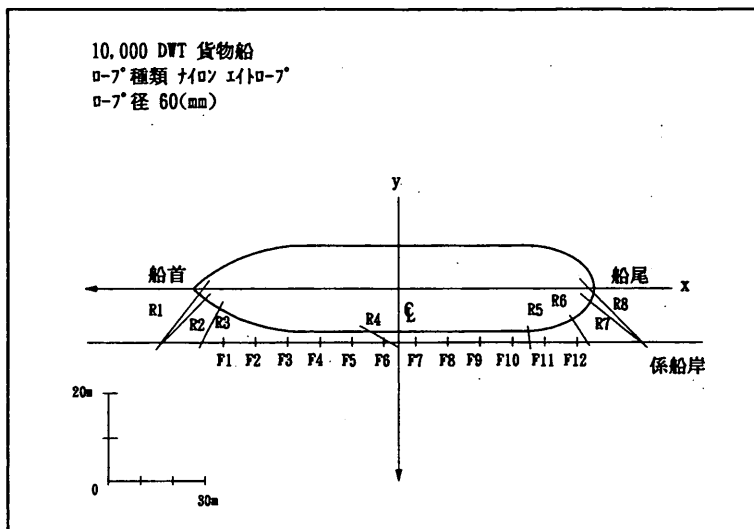


図-B. 1 (1) 防舷材、係留索の配置 (一般貨物船・10,000DWT)

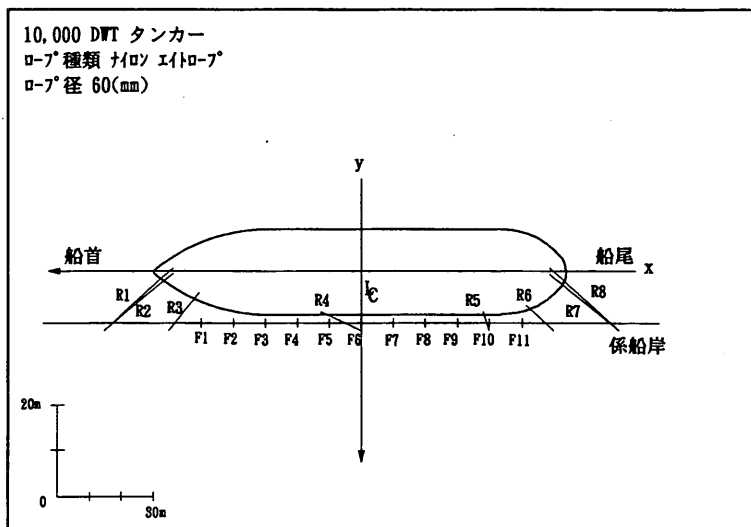


図-B. 1 (2) 防舷材、係留索の配置 (タンカー・10,000DWT)

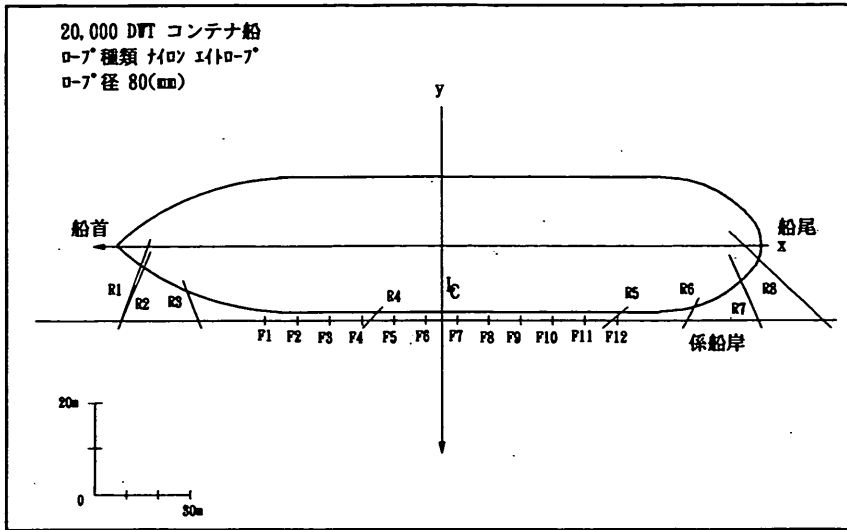


図-B. 1 (3) 防舷材、係留索の配置 (コンテナ船・20,000 DWT)

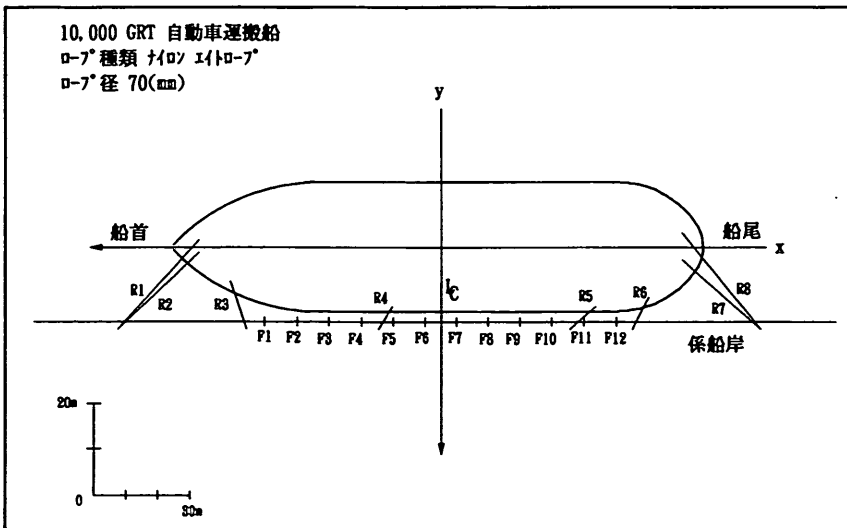


図-B. 1 (4) 防舷材、係留索の配置 (自動車運搬船・10,000 DWT)

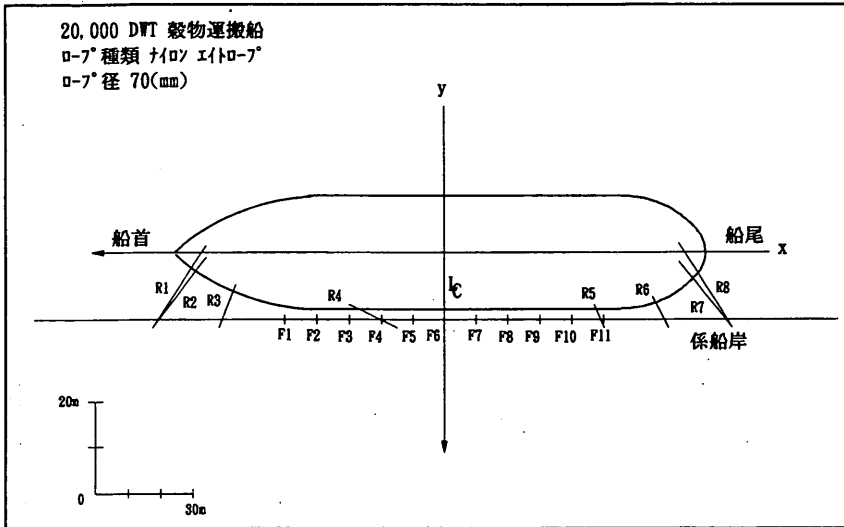


図-B. 1 (5) 防舷材、係留索の配置 (穀物運搬船・20,000 DWT)

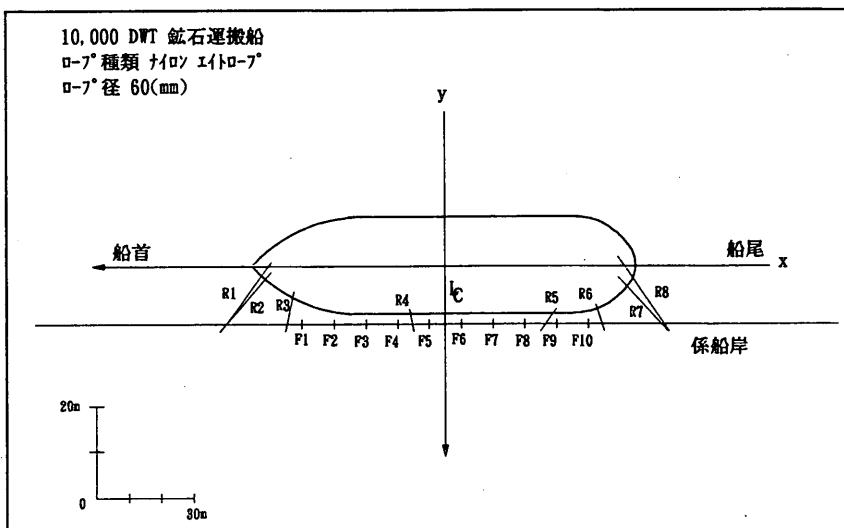


図-B. 1 (6) 防舷材、係留索の配置 (鉾石運搬船・10,000 DWT)

表-B.2 (1) 一般貨物船の場合の係留系

載荷重量 トン	係留索種類	積装数	係留索径 (mm)	切断荷重 (tf)	初期張力 (tf)	係留索本数 (本)
1,000	ポリエステル	451	35	12.0	0.77	8
3,000	ポリエステル	765	45	19.1	1.23	8
5,000	ポリエステル	979	50	22.8	1.54	8
10,000	ポリエステル	1367	60	32.5	2.21	8
30,000	ポリエステル	2321	75	49.1	3.22	10
50,000	ポリエステル	2969	80	55.5	3.57	10
100,000	ナイロン	4147	70	81.2	5.68	10
150,000	ナイロン	5042	70	81.2	5.68	10

積装数の回帰式

E. N. = 16.133 D^{0.442} (港湾技研資料No. 714, 1991)

表-B.2 (2) タンカーの場合の係留系

載荷重量 トン	係留索種類	積装数	係留索径 (mm)	切断荷重 (tf)	初期張力 (tf)	係留索本数 (本)
1,000	ポリエステル	385	32	10.0	0.63	8
3,000	ポリエステル	679	45	19.1	1.12	8
5,000	ポリエステル	884	50	22.8	1.44	8
10,000	ポリエステル	1265	60	32.5	2.03	8
30,000	ポリエステル	2232	75	49.1	3.22	10
50,000	ポリエステル	2907	80	55.5	3.57	10
100,000	ナイロン	4159	70	81.2	5.68	12
150,000	ナイロン	5129	70	81.2	5.68	12
200,000	ナイロン	5952	70	81.2	5.68	12

積装数の回帰式

E. N. = 10.815 D^{0.517} (港湾技研資料No. 714, 1991)

表-B.2 (3) フルコンテナ船の場合の係留系

載荷重量 トン	係留索種類	積装数	係留索径 (mm)	切断荷重 (tf)	初期張力 (tf)	係留索本数 (本)
20,000	ポリエステル	2429	80	55.5	3.43	10
30,000	ポリエステル	2963	80	55.5	3.57	10
40,000	ポリエステル	3413	90	68.9	4.20	10
50,000	ポリエステル	3808	95	76.1	4.62	10

積装数の回帰式

E. N. = 18.773 D^{0.401} (港湾技研資料No. 714, 1991)

表-B.2 (4) 自動車運搬船の場合の係留系

総トン	係留索種類	纜装数	係留索径 (mm)	切断荷重 (tf)	初期張力 (tf)	係留索本数 (本)
1,000	ㇿ°リフ°ロヒ°レン	629	40	15.3	1.05	8
3,000	ㇿ°リフ°ロヒ°レン	1089	55	27.6	1.79	8
5,000	ㇿ°リフ°ロヒ°レン	1406	65	37.6	2.31	8
10,000	ㇿ°リフ°ロヒ°レン	1989	70	42.9	2.87	8
20,000	ㇿ°リフ°ロヒ°レン	2812	80	55.5	3.50	10

纜装数の回帰式

E. N. = 19.885CT^{0.500} (港湾技研資料No. 714, 1991)

表-B.2 (5) 穀物運搬船の場合の係留系

載荷重量 トン	係留索種類	纜装数	係留索径 (mm)	切断荷重 (tf)	初期張力 (tf)	係留索本数 (本)
20,000	ㇿ°リフ°ロヒ°レン	1827	70	42.9	2.70	10
30,000	ㇿ°リフ°ロヒ°レン	2240	75	49.1	3.22	10
40,000	ㇿ°リフ°ロヒ°レン	2589	80	55.5	3.43	10
60,000	ㇿ°リフ°ロヒ°レン	3175	85	61.8	3.71	10
100,000	ナイロン	4105	70	81.2	5.68	10

纜装数の回帰式

E. N. = 12.540DW^{0.503} (港湾技研資料No. 714, 1991)

表-B.2 (6) 鉱石運搬船の場合の係留系

載荷重量 トン	係留索種類	纜装数	係留索径 (mm)	切断荷重 (tf)	初期張力 (tf)	係留索本数 (本)
10,000	ㇿ°リフ°ロヒ°レン	1289	60	32.5	2.03	8
30,000	ㇿ°リフ°ロヒ°レン	2240	75	49.1	3.22	10
50,000	ㇿ°リフ°ロヒ°レン	2897	80	55.5	3.57	10
100,000	ナイロン	4105	70	81.2	5.68	10
150,000	ナイロン	5034	70	81.2	5.68	10

纜装数の回帰式

E. N. = 12.540DW^{0.503} (港湾技研資料No. 714, 1991)

港湾技研資料 No.779

1994・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 つばき印刷技研

Published by the Port and Harbour Research
Institute. Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1994) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。