

港 湾 技 研 資 料

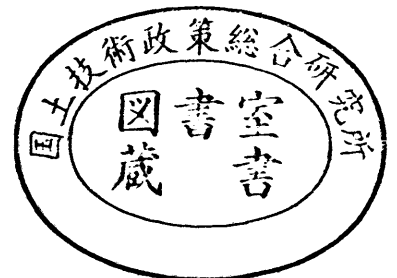
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 729 June 1992

係留船舶の動揺に基づく防衝工の設計について

上 田 茂
白 石 悟

運輸省港湾技術研究所



目 次

要旨	3
1. まえがき	3
2. 検討の方法	4
2.1 数値シミュレーションの条件	4
2.2 計算対象船舶の諸元および計算条件	5
2.3 係留条件	8
2.4 計算の対象とする防衝工の選定	9
3. 係留船舶の動揺と防衝工の変位との関係	13
3.1 計算結果	13
3.2 波向と防衝工の変位との関係	22
3.3 波周期と防衝工の変位との関係	26
3.4 波高と防衝工の変位との関係	26
3.5 風速と防衝工の変位との関係	27
3.6 吸収エネルギーと防衝工の変位との関係	27
3.7 船型と防衝工の変位との関係	27
4. 係留船舶の動揺に基づく防衝工の設計の手順	28
4.1 選定の手順	28
4.2 選定の事例	28
5. 結論	29
6. あとがき	29
参考文献	29
主要記号表	30
付録 A. 係留船舶の動揺計算の自動計算プログラム	30
付録 B. 防衝工の特性と最大変位の関係	33

On the Design of Fenders Based on the Ship Oscillations Moored to Quay Walls

Shigeru UEDA *
Satoru SHIRAISHI **

Synopsis

In the Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan, with regarding to oscillations of moored ships to quay walls, it is described that "when a ship moored to the mooring facility is subjected to the action of waves, winds, currents and other factors, the external forces generated by the oscillation of the moored ship should be taken into account".

A ship moored to the mooring facilities located offshore or near the port entrance, a ship moored to the mooring facilities in the port where the incursion of long-period waves is expected, or a ship moored during the rough weather will be sometimes oscillated by the action of load from waves, winds or currents. The kinetic energy due to the oscillation of moored ship sometimes exceeds the ship's berthing energy. Because of this, in the design of fenders, the impact force caused by the oscillation of the moored ship should be taken into account.

Although the oscillation of moored ship should be determined by dimensions of ship, waves, winds, conditions of mooring facilities, characteristics of fenders and mooring ropes, and so forth, the analytical solutions cannot be obtained because of non-linearity of load-deflection characteristics of mooring system and irregularities of forces due to oscillations of moored ship. Then, it had better to obtain the impact force due to oscillation of moored ship by means of the numerical simulation method. In this report, the numerical simulations of oscillations of moored ship for general cargo ships and tankers are carried out by the function of the ship size, the condition of waves and winds, and the load-deflection characteristics of fender. Total number of numerical simulations cases are about 3,300. The computed results are analyzed and the figures and tables for selection of fenders taking into account oscillations of moored ship are proposed.

According to the results of the numerical simulation of oscillations of moored ship, the relationship between the maximum fender displacement and conditions of ship size, wave incident angle, significant wave period, average wind speed and so on are obtained. And the relationship between the ratio of the energy absorption of fender E to the allowable fender displacement δ_a versus to the ratio of the maximum fender displacement δ_{max} to allowable fender displacement δ_a are analyzed. It is found that if E/δ_a is smaller, δ_{max}/δ_a is smaller for fenders of same energy absorption. Then, by means of these results the method of selection of fenders taking into account of oscillations of moored ship is proposed.

Major results obtained in this report are as follows.

- 1) As for fenders of same energy absorption, the smaller E/δ_a is the smaller δ_{max}/δ_a is. Then, when oscillations of moored ship affect on design of fender, it is better to design the fender of smaller E/δ_a .
- 2) In the case of wave incident angle of 30 degrees, fender deflection due to ship oscillations may be less than the allowable deflection. But in the case of wave incident angle of 60 or 90 degrees, the maximum displacement of fender may exceed the allowable displacement of the fenders. In this case, fenders shall be designed taking into account the oscillation of moored ship.
- 3) Fenders installed at berths for large sized ship designed according to ship's berthing energy can absorb the energy due to oscillations of moored ship, but fenders for middle sized ship may not absorb it, therefore, fenders at those berth should be design taking into account the oscillations of moored ship.

Key Words: Mooring Facilities, Design of Fenders, Motions of Moored Ship, Energy Absorption, Ship's Berthing Energy

* Chief of the Offshore Structures Laboratory, Structural Engineering Division

** Senior Research Engineer, Structural Engineering Division

係留船舶の動揺に基づく防衛工の設計について

上田 茂*
白石 悟**

要 旨

港湾施設の技術上の基準・同解説では係留船舶の動揺について、以下のように記述されている。「係留施設に係留される船舶が波、風、流れ等の作用を受ける場合には、必要に応じ、係留船舶の動揺によって生じる外力を考慮するものとする。」すなわち、係留施設の防衛工の設計において、係留船舶の動揺による衝撃力を考慮しなければならない。これは、外洋もしくは港口付近に設置された係留施設、長周期波の侵入が予想される港湾の係留施設に係留されている船舶、または荒天時に係留されている船舶が、波、風、流れなどによる荷重の作用を受けて動揺すると、係留船舶の運動エネルギーが接岸エネルギーを超えることがあり、接岸時の条件で設計した防衛工の許容変位を超える変位が生じる恐れがあるからである。

係留中の船舶の動揺は、船舶、波浪、風、係留岸の条件、防衛工、係留索の諸量の関数であるが、係留系の変位復元力特性が非線形であることと、荷重が不規則に変動することから解析解が得られないので、係留船舶の動揺によって生ずる衝撃力は動揺数値シミュレーションを実施して求めることが望ましい。本資料では、一般貨物船、タンカーについて船型ごとに波浪および風の条件、また防衛工の変位復元力特性を変えて合計約3,300ケースの動揺数値シミュレーションを行い、その結果をとりまとめて、係留船舶の動揺を考慮して防衛工を選定する図表を作成した。

係留船舶の動揺数値シミュレーション結果から、船型、波向、波周期、風速などの条件と防衛工の最大変位の関係を求め、条件別に防衛工の吸収エネルギー E と防衛工の許容変位 δ_a の比 E/δ_a と、係留動揺による防衛工の最大変位 δ_{max} と許容変位 δ_a の比 δ_{max}/δ_a との関係を整理した。検討の結果、同一吸収エネルギーで選定した防衛工については E/δ_a が小さいほど δ_{max}/δ_a が小さいことがわかった。また、これらの結果を用いて係留船舶の動揺を考慮した防衛工の選定法を提示した。

本資料において得られた主要な結論は以下のとおりである。

- 1) 同一吸収エネルギーで選定した防衛工については、 E/δ_a が小さいほど δ_{max}/δ_a が小さい。したがって、係留船舶の動揺による影響が大きな場合には E/δ_a が小さい防衛工を選定するのが良い。
- 2) 波向30°の場合には、接岸時の条件で選定した防衛工であっても係留船舶の動揺による防衛工の変位は許容変位以下である。しかしながら、波向60°または90°の場合には、防衛工の最大変位が許容変位を超える事例がみられるので、このような条件にある係留施設の防衛工の設計においては、係留船舶の動揺を十分に考慮して適切に防衛工を選定する必要がある。
- 3) 大型船では、接岸時の条件で選定した防衛工であっても係留船舶の動揺を吸収することが可能であるが、中型船では吸収できないことがあるので、係留船舶の動揺を考慮して十分な吸収エネルギーをもつ防衛工を選定する必要がある。

キーワード：係留施設、防衛工の設計、係留船舶の動揺、吸収エネルギー、接岸エネルギー

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)では係留船舶の動揺について、以下のように記述されている。「係留施設に係留される船舶が波、風、流れ等の作

用を受ける場合には、必要に応じ、係留船舶の動揺によって生じる外力を考慮するものとする。」すなわち、係留施設の防衛工の設計において、係留船舶の動揺による衝撃力を考慮しなければならない。これは、外洋もしくは港口付近に設置された係留施設、長周期波の侵入が予想

* 構造部 海洋構造研究室長
** 構造部 主任研究官(浮体構造担当)

される港湾の係留施設に係留されている船舶、または荒天時に係留されている船舶が、波、風、流れなどによる荷重の作用を受けて動揺すると、係留船舶の運動エネルギーが接岸エネルギーを超えることがあり、接岸時の条件で設計した防衝工の許容変位を超える変位が生じる恐れがあるからである。

著者の1人²⁾はゴム防げん材の損傷の実態を調査しているが、ゴム防げん材の損傷がみられたバースが比較的港口に近い位置にあり、しかも大型船用バースであることに着目すると、波の作用によって船舶の動揺が大きくなり、接岸エネルギーを十分に吸収する能力があるゴム防げん材といえども、船舶の動揺によるエネルギーを吸収することができず、過圧縮されたり、擦過されたりすることも損傷の原因の一つと考えられることを示している。このほか、ゴム防げん材の損傷の原因には船舶接岸時および係留時の傾斜圧縮荷重によるゴム防げん材のせん断変形も考えられる。著者の1人が原油タンカーバースにおいて観測したところによると、大型原油タンカーの動揺によって生ずるゴム防げん材の変形が、接岸時のそれに匹敵するほど大きいこと、また、大型原油タンカーが平面的にはその重心が楕円を描くように動揺するので、ゴム防げん材はバース法線に垂直方向の圧縮変形とこれに直角方向のせん断変形の二方向の強制的な変形を受けていることを観察した。その結果は言うまでもないが、ゴム防げん材には圧縮力とせん断力とが同時に作用することになり、その程度によっては、ゴム防げん材の一部に亀裂が生ずる事態を招くことになるであろうことが想像された。以上の事例から、係留船舶の動揺によるゴム防げん材の圧縮変形およびせん断変形を設計において考慮することが重要であると言える。

係留中の船舶の動揺は、以下の諸量の関数であるが、係留系の変位復元力特性が非線形であることと、荷重が不規則に変動することから、解析解が得られないので、係留船舶の動揺によって生ずる衝撃力は、動揺数値シミュレーション³⁾を実施して求めることが望ましい。

- ①船舶の諸元 : 船の長さ、船幅、喫水、排水量、重心、慣性モーメント、水面上投影面積
- ②波浪条件 : 波向、有義波高、有義波周期
- ③風の条件 : 風向、平均風速
- ④係船岸の条件 : 非透過性(岸壁等)、透過性(栈橋等)
- ⑤防衝工 : 種類、材質(ゴム質のグレード)、サイズ(高さ、長さ等)、個数、間隔、取り付け位置、変位復元力特性
- ⑥係留索 : 種類、本数、取り付け位置、変位復元力特性

本資料では、一般貨物船、タンカーについて船型ごとに波浪および風の条件、また防衝工の変位復元力特性を変えて合計約3,300ケースの動揺数値シミュレーションを行い、その結果をとりまとめて、係留船舶の動揺を考慮して防衝工を選定する図表を作成した⁴⁾。計算結果をとりまとめた図面は付録Bに掲載した。

なお、動揺数値シミュレーションには新たに開発した『係留船舶の動揺計算の自動計算プログラム』を用いた。このプログラムを用いて行った動揺計算結果はすべてデータベースに出力されることになっている。自動計算プログラムの入力データ等については付録Aに記載した。

2. 検討の方法

2.1 数値シミュレーションの条件

動揺数値シミュレーションは以下の条件で行った。

①船舶の条件

技術基準に示されている標準船型のうち、以下に示す船型について計算した。ただし、タンカーについては標準船型として示されている船型は、80,000dwt以下であるが、100,000dwt以上の超大型船についても計算した。あらかじめ計算した結果によれば、同一船型については空載状態のときに防衝工の変位が大きいことがわかったので、本資料においては載荷状態は空載状態についてのみ計算した。

- 一般貨物船 ; 1,000dwt, 3,000dwt, 5,000dwt,
(8種) 10,000dwt, 30,000dwt, 50,000dwt,
100,000dwt, 150,000dwt
- タンカー ; 1,000dwt, 3,000dwt, 5,000dwt,
(9種) 10,000dwt, 30,000dwt, 50,000dwt,
100,000dwt, 150,000dwt, 200,000dwt
- 載荷条件 ; 空載

②波浪条件

技術基準では泊地の静穏度として、中・大型船(おおむね500~50,000総トン級)については荷役限界波高が0.5mとされている。技術基準に示された荷役限界波高は係船岸による反射波を考慮した係船岸前面における有義波高である。本資料においてはこの荷役限界波高に対して計算する。また、横栈橋などでは反射波が小さいので、有義波高0.5mであっても、係留船舶の動揺は直立岸壁の場合とは異なる。すなわち、入射波の波高を0.5mとしたが、直立岸壁については反射波があるので、係船岸前面の波高は技術基準に示されているものより大きめである。なお、一部の船種・船型では有義波高0.5m以外の波高についても計算を行った。

波向、有義波周期は係留施設の立地条件によっても異

なるが、ここでは以下に示す条件とした。太平洋側の外洋に面した港湾においては、有義波周期12sを超える長周期波が観測されているが、超過確率は0.3%~2.4%と小さいこと、また、5,000dwt級以下の船舶については波向60°および90°で有義波周期が12s以上では動揺が著しく大きくなるので、これらの条件は除外した。以上のことから、以下の条件で計算を行った。

- 波向 ; 30°, 60°, 90°
- 有義波高 ; 0.3m, 0.5m, 0.7m, 1.0m
- 有義波周期 ; 6s, 8s, 10s (5,000dwt以下)
8s, 10s, 12s (10,000dwt以上)

③風の条件

船体を防衛工に押しつける方向に作用する場合は防衛工の変位が大きくなる。この場合風圧モーメントを考慮すると風向が120°前後の場合について防衛工の変位が最大となること、係留施設の荷役限界または係留限界として定められている最大風速が15m/s前後であることから以下の条件により計算を行った。風速0m/sは、係留船舶がサブハモニックモーションを起こし、スウェイの動揺が大きくなる影響を検討するためのものである。以上のことから、以下の条件で計算を行った。

- 風向 ; 90°, 120°
- 平均風速 ; 0m/s, 10m/s, 15m/s

④係船岸の構造

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~200,000dwtについてはドルフィン構造とし、反射率を0とした。

⑤防衛工

我が国で製造されているゴム防げん材を検討の対象とし、技術基準に示されている接岸エネルギーの計算法に基づいて、船種・船型別に防衛工を選定した。詳細については2.4で示す。

特性の種類 ; 179種類

⑥係留索

係留索の特性が防衛工の変位に及ぼす影響は、防衛工の特性が防衛工の変位に及ぼす影響に比べて小さいと思われるので、係留索および係留方法は各船型ごとに同一とした。

以上の①~⑤の条件に従ったが、船種・船型によっては上記の計算条件の一部についてのみ計算した。したがって、上記の条件以外は別途検討する必要があるが、これについては4.2で述べる。

図-1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。座標は船艀のミッドシップを通る直交する軸の船首方向をサージングの正、左

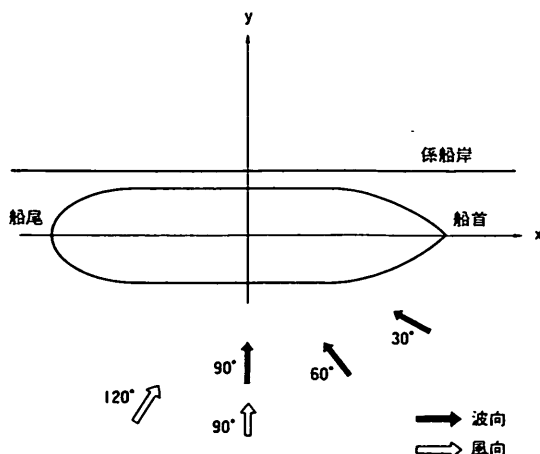


図-1 計算における座標と波向、風向

げん方向をスウェイの正とした。また、鉛直方向は海底面を原点として上方を正とした。風および波の方向は、船首方向から作用するものを0°とし、時計回りの方向を正とする。計算はすべて、左げん接岸として行った。

動揺数値シミュレーションは25分間行ない、そのうちの最初の5分間の計算結果を除いた残り20分間のデータを統計処理して、防衛工の最大変位を求めた。なお、不規則波の発生にはブレッドシュナイダー・光易のスペクトラム、また、変動風の発生にはダーベンポートのスペクトラムを用いて時系列を作成した。

2.2 計算対象船舶の諸元および計算条件

表-1および表-2は、それぞれ、一般貨物船およびタンカーについて、計算対象船舶の主要な諸元および計算に用いた風抗力係数⁵⁾を示したものである。また、図-2および図-3は表-1および表-2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

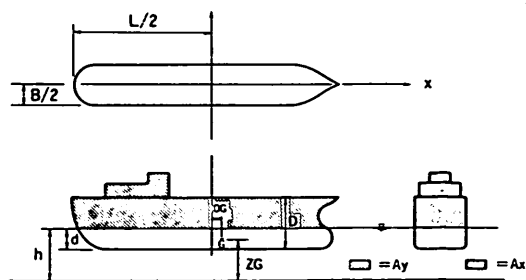


図-2 船舶の諸元(縦断面図)

表-1 計算条件一覧表 (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	137	186	216	259	290
垂線間長	L_{pp} (m)	58.7	85.0	102	128	174	203	244	274
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	10.1
排水トン数	DT (t)	739	2043	3570	7130	17900	28200	54053	79696
方形係数	C_B	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	0.73	0.73
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	68.4
	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{BG} (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	6.16	7.18	8.27	9.91	10.5	12.7	14.2
メタセンター高さ	\overline{GM} (m)	0.439	0.636	0.427	0.669	2.46	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_r	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
横揺れ固有周期	$T\phi$ (s)	12.1	13.8	19.4	18.8	13.4	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
風抗力係数 (風向90°)	C_x	-	-	-	-0.26	-	-	-	-
	C_y	-	-	-	1.24	-	-	-	-
	C_m	-	-	-	0.01	-	-	-	-
風抗力係数 (風向120°)	C_x	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
	C_y	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
	C_m	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08
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-2 計算条件一覧表 (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	130	185	219	223	254	313
垂線間長	L_{pp} (m)	56.4	82.0	97.2	122	175	208	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)	1190	2457	3948	10326	20433	32892	69281	72173	116000
方形係数	C_B	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{KG} (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_m	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_s	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	$T\phi$ (s)	8.21	10.5	11.6	12.3	12.1	11.7	12.3	13.4	14.1
水面上正面投影面積	A_x (m ²)	88.4	156	203	291	513	668	956	1179	1370
水面上側面投影面積	A_y (m ²)	288	534	912	1050	1950	2599	3837	4819	5660
レーバー長さ	l (m)	-0.27	-0.50	-0.67	-0.54	0.47	1.44	1.70	1.86	2.28
風抗力係数 (風向90°)	C_x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C_y	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C_m	-	-	-	-	-	-	-	-	-
風抗力係数 (風向120°)	C_x	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
	C_y	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
	C_m	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07
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_R	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0

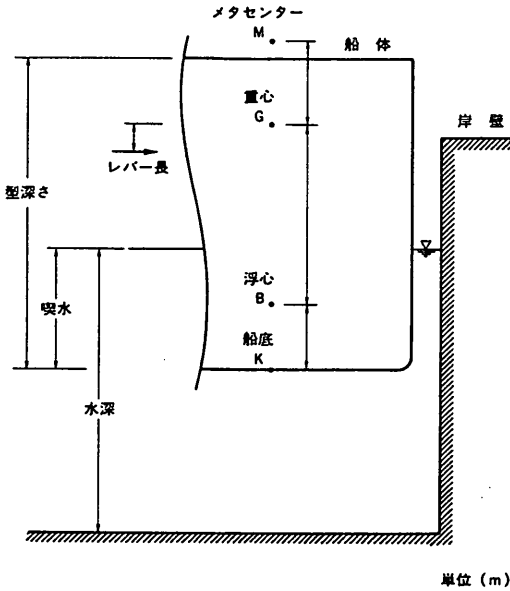


図-3 船舶の諸元 (横断面図)

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回帰式^{6),7),8),9)}を用いて求めた。環動半径、 \overline{KG} , \overline{GM} , 横揺れ固有周期は造船設計便覧¹⁰⁾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。

2.3 係留条件

図-4は一例として、10,000dwtの一般貨物船に対する防舷工と係留索の配置を示したものである。図中でRは係留索をFは防舷工を指す。係留索はすべて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および本数は船種・船型ごとに艀装数に基づいて定められた標

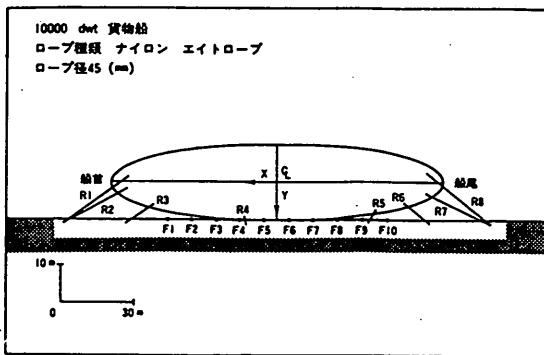


図-4 防舷材, 係留索の配置 (一般貨物船, 10,000dwt)

準係船装備¹¹⁾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。

係留索の変位復元力特性は、図-5の各種織維索の強伸度曲線に示されるもののうち、ナイロンエイトロープのものから求めた。図-5に示すナイロンエイトロープの強伸度曲線は径が12.5mmの供試体の試験結果であるが、使用ロープの強伸度曲線はこれに相似である。図-6は計算に用いた変位復元力特性の一例で、径45mm, 長さ28mのナイロンエイトロープのものである。動揺数値シミュレーションにおいては、係留索の変位復元力特性の上に15~20点を設け、復元力と変位の配列 (復元力, 変位) を作成し入力する。入力した各点間の変位に対しては復

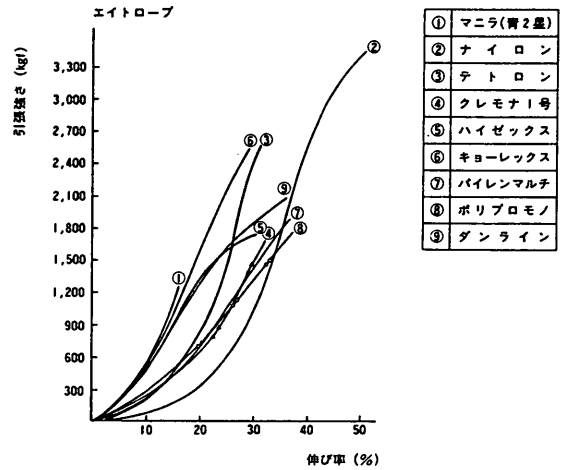


図-5 各種エイトロープの強伸度曲線

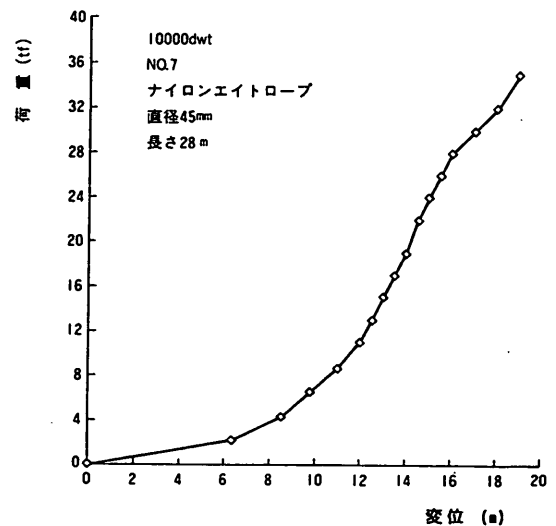


図-6 係留索の変位復元力特性の一例

元力は線形補間して求める。

2.4 計算の対象とする防衝工の選定

(1)変位復元力特性の分類

ここでは防衝工としてゴム防げん材を考える。ゴム防げん材の種類はその変位復元力特性から大別して定反力型ゴム防げん材と反力漸増型ゴム防げん材とに分類できる。定反力型ゴム防げん材の代表的なものはV型であるが、H型、セル型、パイ型、サークル型などがこれに分類される。また、反力漸増型の代表的なものは空気式であるが、丸型等の防衝工もこれに分類される。本資料では、我が国で製造されている39タイプのゴム防げん材を検討の対象としているが、ユーザーの要求性能に対応するため、各タイプごとにゴム質にグレードを設けて硬さを変えられている。すなわち、同一タイプの同一サイズのゴム防げん材であっても、ゴム質によって反力および吸収エネルギーが異なる。また、各タイプごとに各種のサイズのものを取りそろえている。そこで、これらの変位復元力特性を整理し、代表的な特性を選定した。以下にその手順を示す。

(2)ゴム防げん材の特性のモデル化

a) 定反力型ゴム防げん材

図-7を用いて、定反力型ゴム防げん材のモデル化について説明する。定反力型ゴム防げん材の載荷時の変位復元力特性は点O、D、E、B、Fを結ぶ曲線であるが、線分OA、AB、BFを結ぶ骨格でモデル化する。

- ①原点Oと変位10%の点Dを結びその勾配をばね定数 k_1 (tf/m) とする。
- ②許容変位 (定格変位など) に対する反力のB点と定反

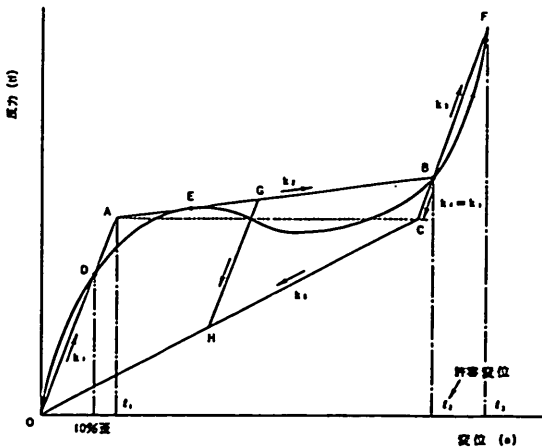


図-7 定反力型ゴム防げん材の変位復元力特性

力部分において最大反力を示すE点を結び、その勾配をばね定数 k_2 (tf/m) とする。ただし、 $k_2 > 0$ とする。また、許容変位を l_2 (m) とする。

- ③線分ODの延長線と線分BEの延長線の交点をA点とする。A点に対する変位を l_1 (m) とする。
 - ④防衝工の変位 l_2 (m) を設定し、この変位に対する変位復元力特性上の点をFとし、線分BFの勾配を k_3 (tf/m) とする。ただし、 $k_3 > k_1$ となるように設定する。
 - ⑤B点より線分OAに平行な線分を引き、この線分上で、A点の反力に等しい点をC点とする。線分BCの勾配 k_4 は、 $k_4 = k_1$ (tf/m) である。
 - ⑥⑤で求めたC点と原点Oを結び、その勾配をばね定数 k_5 (tf/m) とする。
- 除荷の場合には、線分FB、BC、COを防げん材の変位復元力特性の骨格とする。
- ⑦線分ABの途中の点Gから除荷する場合には、線分BCに平行に線分GHに沿って除荷することとする。
 - ⑧上記のルールにより、 $k_2 = 0$ または $k_2 < 0$ となる場合(B点の反力がE点の反力と等しいまたは、小さい場合) には、E点の反力よりも反力が大きな点B'を定め、上記のルールに従い、ばね定数 $k_1 \sim k_5$ および変位 l_1, l_2 を定める。

b) 反力漸増型ゴム防げん材

このタイプのゴム防げん材の場合には、係留索の変位復元力特性と同様にして、防衝工の変位復元力特性の上を15~20点を設け、これらについて復元力と変位の配列(復元力、変位)を作成し入力する。入力した各点間の変位に対する復元力は線形補間して求める。

(3)防衝工の選定

まず式(1)で計算される船舶の接岸エネルギー^{1),2)}を吸収しうる防衝工を選定する。

$$E_f = \frac{W_s V^2}{2g} \times C_e \times C_m \times C_s \times C_c \quad (1)$$

ここに、

E_f : 接岸エネルギー (tf·m)

g : 重力加速度 (m/s²)

W_s : 満載時排水量 (tf)

V : 接岸速度 (m/s)

C_e : 偏心係数

C_m : 仮想質量係数

C_s : 柔軟性係数

C_c : パースの形状係数
である。

本資料では、一般貨物船およびタンカーを対象とし、接岸速度を0.10または0.15m/s、偏心係数を0.5または0.7として、各船型ごとに、これらの組み合わせで得られる4つの条件または1つの条件に対する接岸エネルギーを計算し、それらの接岸エネルギーを吸収できる適当な防衝工を選定した。技術基準には「船舶の接岸速度は、対象船舶の船型、載荷状態、係留施設の位置および気象状況、ひき船の有無、大きさ等を考慮して、実測値又は既往の接岸速度の実測資料に基づいて定めるものとする。」と述べられており、接岸速度の数値については規定されていないが、既往の実績が0.10~0.15m/sであることから、本資料においては0.10m/sおよび0.15m/sを用いることとした。また、偏心係数については、技術基準に計算式が提示されているが、ここでは、0.5または0.7とし検討することとした。

表-3 接岸エネルギー

船種	船型 dwt	接岸速度 V (m/s)	偏心係数 C _c	接岸エネルギー E _i (tf·m)
貨物船	1,000	0.1	0.5	0.83
		0.15	0.5	1.87
	3,000	0.1	0.5	2.26
	5,000	0.1	0.5	3.73
	10,000	0.1	0.5	7.25
		0.1	0.7	10.1
		0.15	0.5	16.3
		0.15	0.7	22.8
	30,000	0.1	0.5	18.1
	50,000	0.1	0.5	28.3
100,000	0.1	0.5	54.6	
150,000	0.1	0.5	77.6	
タンカー	1,000	0.1	0.5	0.75
		0.15	0.5	1.70
	3,000	0.1	0.5	2.14
	5,000	0.1	0.5	3.46
	10,000	0.1	0.5	6.62
	30,000	0.1	0.5	18.2
	50,000	0.1	0.5	29.5
	100,000	0.15	0.7	178.0
150,000	0.15	0.7	255.5	
200,000	0.15	0.7	333.6	

表-3は各船種・船型、接岸速度、偏心係数とその条件に対する接岸エネルギーを示す。例えば、10,000dwtの一般貨物船については、7.25tf·m、10.2tf·m、16.3tf·m、22.8tf·mの接岸エネルギーを吸収できるゴム防げん材のすべてを選定した。

(4)動揺数値シミュレーションに用いる特性の選択

先に選定した防衝工の特性のうち、動揺数値シミュレーションに用いるゴム防げん材の変位復元力特性は以下の手順で選定した。

まず、ある接岸エネルギーを吸収できる適当なゴム防げん材について、すべての変位復元力特性を同一図面上に描いた。例えば、10,000dwtの一般貨物船の場合では、接岸エネルギー7.25tf·m、10.2tf·m、16.3tf·m、22.8tf·mごとに、これらを吸収できるゴム防げん材の変位復元

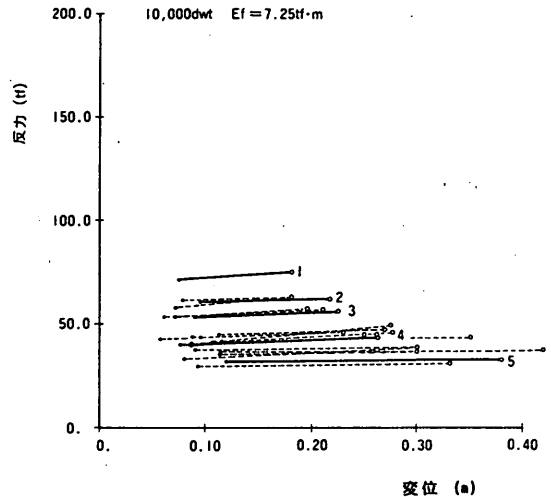


図-8(1) 定反力型ゴム防げん材の変位復元力特性の骨格
(一般貨物船、接岸エネルギー7.25tf·m相当)

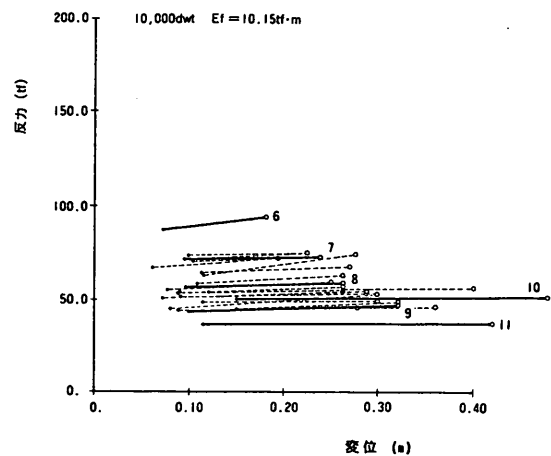


図-8(2) 定反力型ゴム防げん材の変位復元力特性の骨格
(一般貨物船、接岸エネルギー10.2tf·m相当)

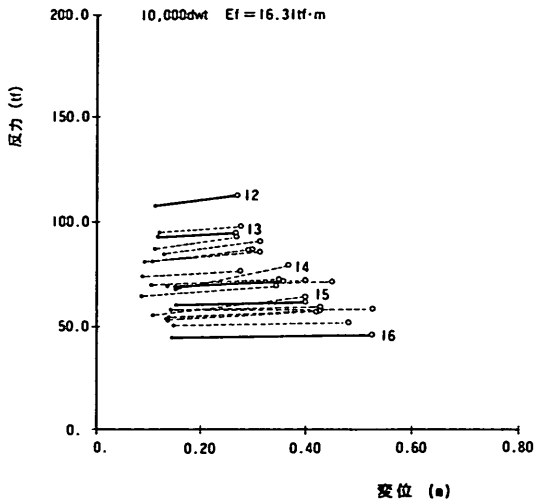


図-8(3) 定反力型ゴム防げん材の変位復元力特性の骨格
(一般貨物船, 接岸エネルギー16.3tf·m相当)

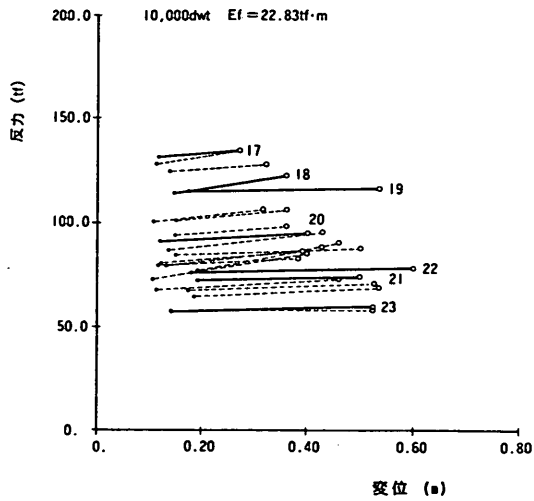


図-8(4) 定反力型ゴム防げん材の変位復元力特性の骨格
(一般貨物船, 接岸エネルギー22.8tf·m相当)

力特性を、定反力型については図-8(1)~(4)に、反力漸増型については図-9(1)~(4)のように図示した。ただし、定反力型ゴム防げん材については、図-7で示した変位復元力特性上のA点とB点のみをそれぞれ●と○で表示して示した。A点は勾配 k_1 の線分OD上においてゴム防げん材の高さの約14%に対応する点である。また、B点は、A点とゴム防げん材の定反力部分の最大反力を示すE点とを結ぶ線分AE上において防衛工の許容変位に対応する点である。このように図示すると吸収エネルギーが

ほぼ同一のものであっても反力が大きく変位の小さいもの、また、これとは逆に反力が小さく変位の大きいもの、その中間のものなどがあることが分る。そこで、各接岸エネルギーごとに5種類のゴム防げん材を選定することにした。図-8(1)~(4)および図-9(1)~(4)の各図において変位復元力特性の右肩に番号を付けたもの(図中の実線で表記したもの)が本資料において計算に用いたゴム防げん材の特性である。たとえば、10,000dwtの一般貨物船については、定反力型ゴム防げん材として23個、また、反力漸増型ゴム防げん材として12個の防衛工を選定し、

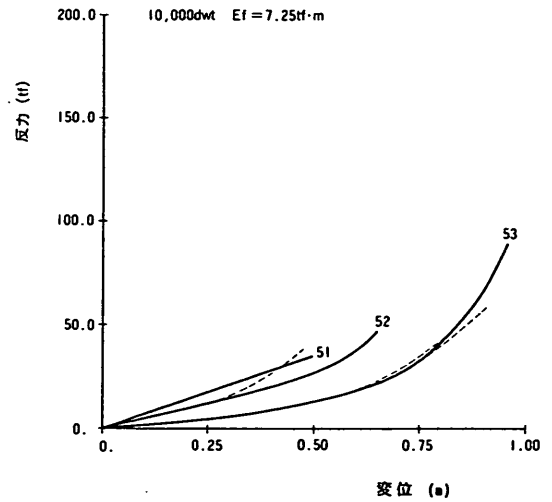


図-9(1) 反力漸増型防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 接岸エネルギー7.25tf·m相当)

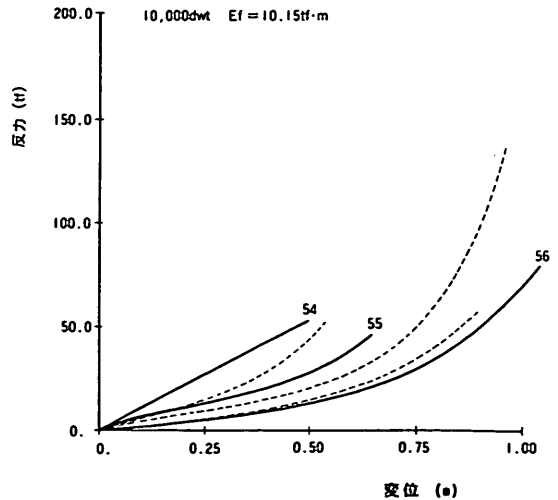


図-9(2) 反力漸増型防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 接岸エネルギー10.2tf·m相当)

表-4 計算防衝工一覧 (一般貨物船)

載荷重量 γ (dwt)	接岸 エネルギー (tfm)	番号	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	1	150	0.952	0.068	14.0	
		2	250	1.78	0.122	14.6	
		3	250	1.50	0.125	12.0	
		4	300	1.14	0.150	7.60	
		5	400	1.00	0.190	5.26	
	51	300	0.944	0.150	6.29		
	52	600	2.57	0.390	6.59		
	53	700	1.70	0.420	4.05		
	1.87	6	200	2.58	0.090	28.7	
		7	200	2.10	0.090	23.3	
		8	300	1.70	0.195	12.6	
		9	400	2.71	0.200	13.6	
		10	500	2.10	0.238	8.82	
		54	400	2.12	0.200	10.6	
		55	600	2.57	0.390	6.57	
56		1000	2.81	0.650	4.32		
3,000		2.26	1	200	2.58	0.090	28.7
			2	250	2.58	0.113	22.8
	3		250	2.67	0.122	21.9	
	4		300	2.62	0.158	16.6	
	5		500	2.70	0.238	11.3	
	51	500	2.64	0.250	10.6		
	52	600	2.57	0.390	6.59		
	53	1000	2.81	0.650	4.32		
	5,000	3.73	1	300	4.50	0.135	33.3
			2	300	4.23	0.150	28.2
3			400	4.19	0.214	19.6	
4			400	4.22	0.230	18.4	
5			630	4.83	0.331	14.6	
51		600	4.76	0.300	15.9		
52		800	6.10	0.520	11.7		
53		1200	4.86	0.840	5.8		
10,000		7.25	1	400	10.0	0.180	55.5
			2	483	9.35	0.217	43.1
	3		500	9.38	0.225	41.7	
	4		500	8.68	0.267	32.5	
	5		800	9.50	0.380	25.0	
	51		1000	8.58	0.500	17.2	
	52		1000	11.9	0.650	18.3	
	53		1200	9.10	0.960	9.5	
	10.15		6	400	12.3	0.180	68.5
			7	530	12.9	0.239	54.0
			8	500	11.7	0.263	44.5
		9	600	11.4	0.321	35.4	
		10	1000	18.8	0.480	39.1	
	11	800	12.7	0.420	30.2		
	16.31	54	1000	13.2	0.500	26.4	
		55	1000	11.9	0.650	18.3	
56		1500	13.1	0.975	13.5		
12		600	22.5	0.270	83.3		
13		600	18.9	0.270	70.0		
14		800	19.2	0.360	53.3		
15		800	18.8	0.400	47.1		
16		1000	19.5	0.525	37.1		
57		1200	19.0	0.600	31.7		
58	1200	20.6	0.780	26.4			
59	2000	22.5	1.300	17.3			

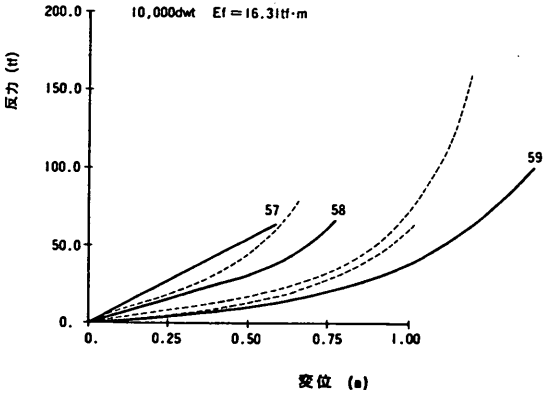


図-9(3) 反力漸増型防げん材の変位復元力特性 (一般貨物船, 接岸エネルギー16.31tf·m相当)

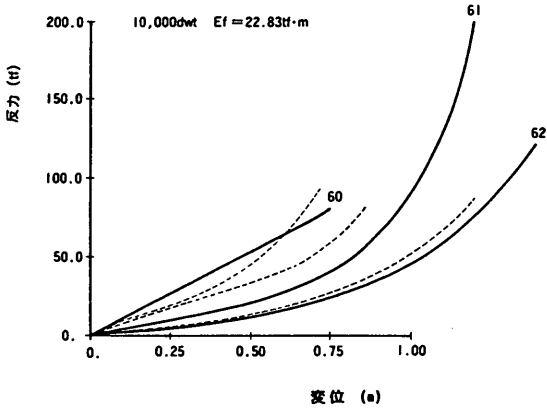


図-9(4) 反力漸増型防げん材の変位復元力特性 (一般貨物船, 接岸エネルギー22.83tf·m相当)

動揺数値シミュレーションを実施した。

以上のようにして、一般貨物船およびタンカーの各船型について、動揺数値シミュレーションに用いたゴム防げん材は表-4および表-5に示す179種類である。表-4は、一般貨物船について、船型およ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 (tf·m),許容変位 δ_a (m),吸収エネルギーと許容変位との比 E/δ_a (tf)を示したものである。同様に、表-5はタンカーについて示したものである。表中の番号はゴム防げん材の種類を表し、各船種・船型ごとに定反力型は1番から、反力漸増型は51番から順に番号を付けている。

図-10(1)~(2)は、図-8および図-9に示した手順で選定されたゴム防げん材の動揺数値シミュレーションにおける変位復元力特性のモデルを船種・船型別に示したものである。ただし、定反力型ゴム防げん材については除荷

表-4 計算防衝工一覧（一般貨物船）続き

載荷重量ト (dwt)	接岸 工深 (tfm)	番号	サイズ (mm)	吸収 工深 E (tfm)	許容 変位 δ. (m)	E/δ. (tf)	
10,000	22.83	17	600	27.0	0.270	100.0	
		18	800	32.6	0.360	90.7	
		19	1150	47.5	0.535	88.8	
		20	800	29.1	0.400	72.8	
		21	1000	28.3	0.500	56.6	
		22	1250	37.3	0.600	62.2	
		23	1000	25.4	0.525	48.4	
		60	1500	29.8	0.750	39.7	
		61	1500	25.9	1.200	21.6	
	62	2000	26.8	1.300	20.6		
	30,000	18.13	1	600	23.7	0.270	87.6
			2	600	23.8	0.345	69.0
3			800	21.7	0.400	54.3	
4			1000	25.4	0.525	48.4	
5			1150	23.8	0.604	39.4	
51		1100	19.6	0.660	29.8		
52		1200	20.6	0.780	26.4		
53		2000	22.5	1.300	17.3		
50,000		28.30	1	760	37.9	0.342	110.8
	2		800	32.4	0.360	90.0	
	3		900	35.9	0.450	79.8	
	4		1000	34.0	0.500	68.0	
	5		1000	33.0	0.575	57.4	
	51	1350	36.1	0.810	44.6		
	52	1700	32.1	1.360	23.6		
	53	2500	47.3	1.625	29.1		
	100,000	54.58	1	1000	80.5	0.480	168.
2			1000	70.4	0.525	134.	
3			1300	74.4	0.650	115.	
4			1450	77.4	0.761	102.	
5			1600	64.1	0.840	76.3	
51		1800	85.7	1.08	79.4		
52		2000	61.4	1.60	38.4		
53		2500	60.9	1.63	37.5		
150,000		77.56	1	1000	101.	0.480	210.
	2		1000	93.8	0.525	179.	
	3		1300	93.0	0.585	160.	
	4		1450	103.	0.725	142.	
	5		1450	89.4	0.761	118.	
	51	2000	118.	1.20	98.2		
	52	2500	95.0	1.00	95.0		
	53	3000	105.	1.95	53.9		

表-5 計算防衝工一覧（タンカー）

載荷重量ト (dwt)	接岸 工深 (tfm)	番号	サイズ (mm)	吸収 工深 E (tfm)	許容 変位 δ. (m)	E/δ. (tf)	
1,000	0.75	1	150	0.845	0.068	12.4	
		2	200	1.00	0.090	11.1	
		3	150	0.85	0.086	9.88	
		4	300	1.14	0.150	7.60	
		5	400	1.00	0.190	5.26	
		51	300	0.891	0.150	5.94	
		52	500	1.03	0.350	2.94	
		53	600	0.84	0.390	2.15	
		1.70	6	200	2.00	0.090	22.2
			7	315	2.49	0.142	15.8
	8		300	2.25	0.158	14.2	
	9		400	2.17	0.200	10.9	
	10		400	2.81	0.230	8.61	
	54		400	2.12	0.200	10.6	
	3,000	2.14	1	200	2.50	0.090	27.8
			2	250	2.46	0.113	21.8
			3	315	2.49	0.142	17.5
			4	300	2.61	0.161	16.3
5			500	2.70	0.238	11.3	
51			500	2.48	0.250	9.92	
52		600	2.57	0.390	8.57		
53		1000	2.81	0.650	4.32		
5,000		3.46	1	250	4.48	0.113	39.6
			2	300	4.10	0.158	25.9
			3	400	4.44	0.210	21.1
			4	500	4.24	0.250	17.0
	5		630	3.90	0.331	11.8	
	51	600	4.05	0.300	13.5		
	52	800	6.10	0.520	11.7		
	53	1000	3.90	0.650	6.00		
	10,000	6.62	1	300	7.68	0.147	52.2
2			460	7.98	0.207	38.6	
3			500	7.50	0.225	33.3	
4			500	8.25	0.288	28.6	
5			800	7.60	0.420	18.1	
51		800	8.44	0.400	21.1		
52		1000	11.9	0.650	18.3		
53		1300	8.19	0.910	9.00		
30,000		18.2	1	600	22.5	0.270	83.3
	2		800	24.3	0.360	67.5	
	3		800	26.0	0.384	67.7	
	4		800	20.5	0.428	47.9	
	5		1150	23.8	0.604	39.4	
	51	1300	22.4	0.650	34.5		
	52	1200	20.6	0.780	26.4		
	53	2000	22.5	1.300	17.3		
	50,000	29.5	1	760	37.9	0.342	111.
2			800	39.0	0.384	102.	
3			900	35.9	0.450	79.8	
4			1000	34.0	0.500	68.0	
5			1000	28.5	0.500	57.0	
51		1350	36.1	0.810	44.6		
52		1470	37.9	0.960	39.5		
53		2500	47.3	1.63	29.1		

時の特性は省略して図示している。また、変位復元力特性に付けた番号は表-4および表-5の各ゴム防げん材に付けたものと同一である。

3. 係留船舶の動揺と防衝工の変位との関係

3.1 計算結果

動揺数値シミュレーションは2.1で示した条件で約3,300ケース行なった。10,000dwtの一般貨物船に対する計算ケース数が最も多い。そこで、ここでは、10,000dwtの一般貨物船の計算結果の一部について、波浪および風

表-5 計算防衛工一覧 (タンカー) 続き

載荷重量ト (dwt)	接岸 エネルギー (tfm)	番号	サイズ (mm)	吸収 エネルギー E (tfm)	許容 変位 δ . (m)	E/ δ . (tf)
100,000	178.0	1	1000	201.	0.480	419.
		2	1300	200.	0.585	342.
		3	1300	205.	0.745	275.
		4	1600	211.	0.920	230.
		5	2000	203.	1.05	194.
		51	2400	203.	1.44	141.
		52	3000	207.	2.40	86.9
		53	4000	249.	2.80	88.9
150,000	255.5	1	1000	302.	0.480	629.
		2	1800	268.	1.04	258.
		3	2500	313.	1.25	250.
		4	2250	289.	1.20	239.
		5	2500	288.	1.31	219.
		51	2700	289.	1.62	178.
		52	3500	329.	2.80	118.
		53	4500	355.	3.15	113.
200,000	333.6	1	2500	385.	1.34	288.
		2	2250	418.	1.18	354.
		3	3000	548.	1.44	381.
		4	2250	460.	1.29	357.
		5	2500	375.	1.25	300.
		51	3200	391.	2.08	188.
		52	4500	478.	2.70	177.
		53	3500	388.	2.80	139.

条件と係岸船舶の動揺による防衛工の最大変位との関係を述べる。その他の船種・船型については付録Bに最大変位と許容変位の比に対する吸収エネルギーと許容変位の比の関係で図示するにとどめ記述は省略する。ここでは、波向30°, 60°, 90°, 有義波高0.5m, 有義波周期8s, 10s, 12s, 風向120°, 平均風速0m/s, 10m/s, で計算した結果を示す。

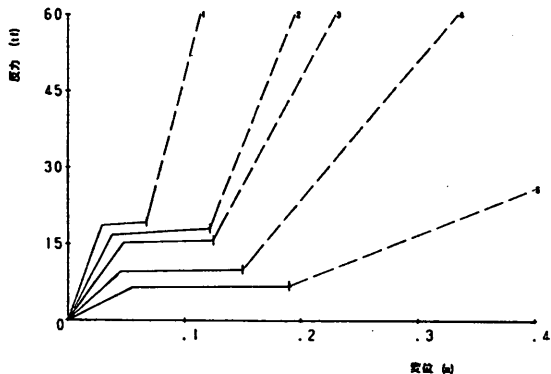


図-10(1a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 1,000dwt, $E_f=0.83tf \cdot m$)

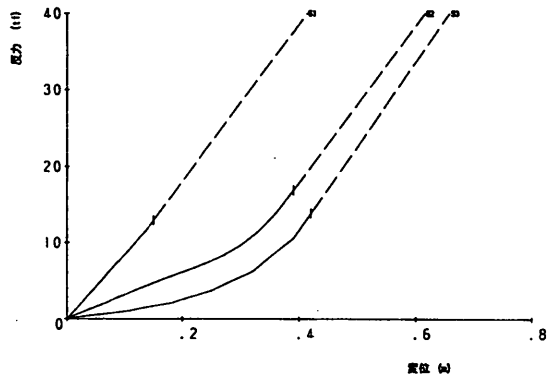


図-10(1b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 1,000dwt, $E_f=0.83tf \cdot m$)

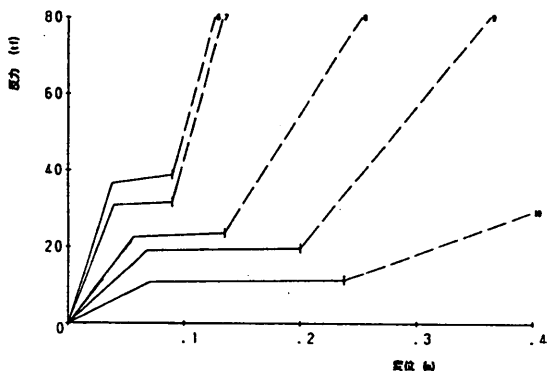


図-10(2a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 1,000dwt, $E_f=1.87tf \cdot m$)

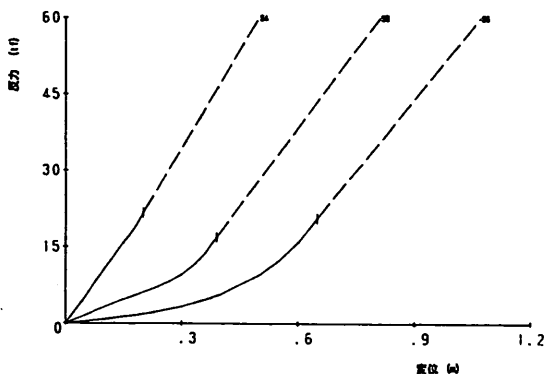


図-10(2b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 1,000dwt, $E_f=1.87tf \cdot m$)

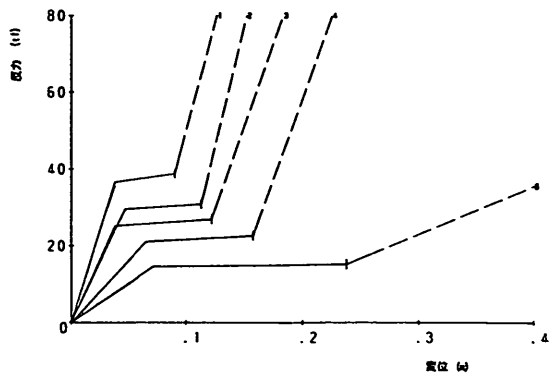


図-10(3a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 3,000dwt, $E_f=2.26\text{tf}\cdot\text{m}$)

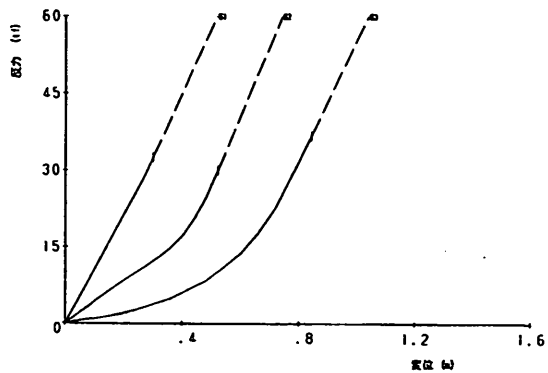


図-10(4b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 5,000dwt, $E_f=3.73\text{tf}\cdot\text{m}$)

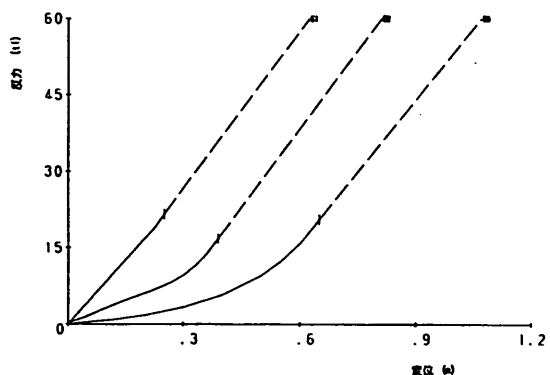


図-10(3b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 3,000dwt, $E_f=2.26\text{tf}\cdot\text{m}$)

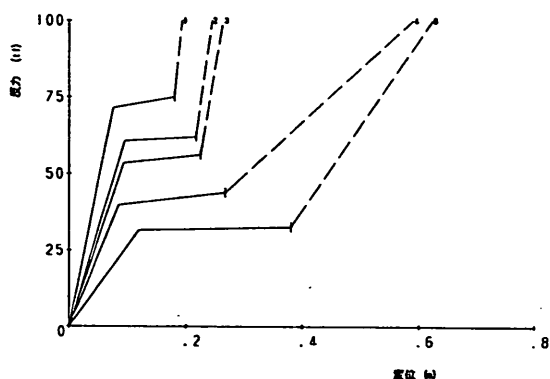


図-10(5a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 10,000dwt, $E_f=7.25\text{tf}\cdot\text{m}$)

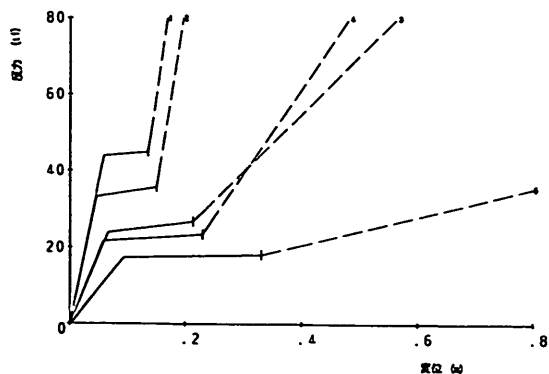


図-10(4a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 5,000dwt, $E_f=3.73\text{tf}\cdot\text{m}$)

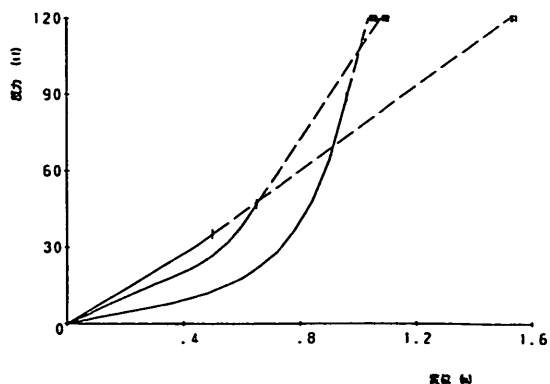


図-10(5b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 10,000dwt, $E_f=7.25\text{tf}\cdot\text{m}$)

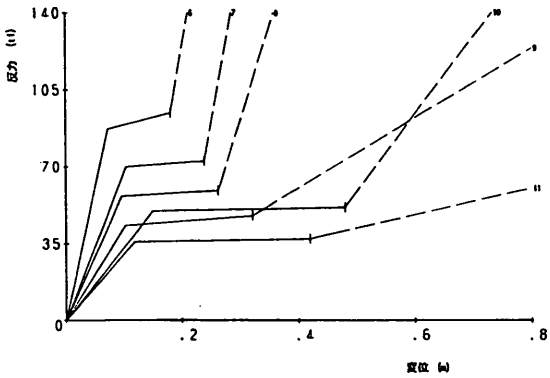


図-10(6a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 10,000dwt, $E_f=10.1\text{tf}\cdot\text{m}$)

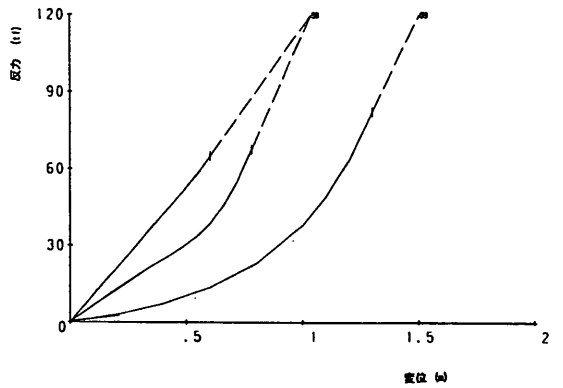


図-10(7b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 10,000dwt, $E_f=16.3\text{tf}\cdot\text{m}$)

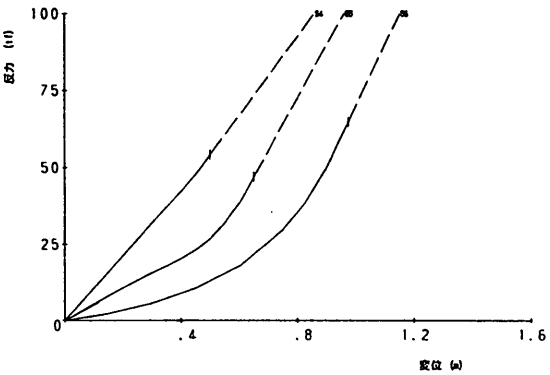


図-10(6b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 10,000dwt, $E_f=10.1\text{tf}\cdot\text{m}$)

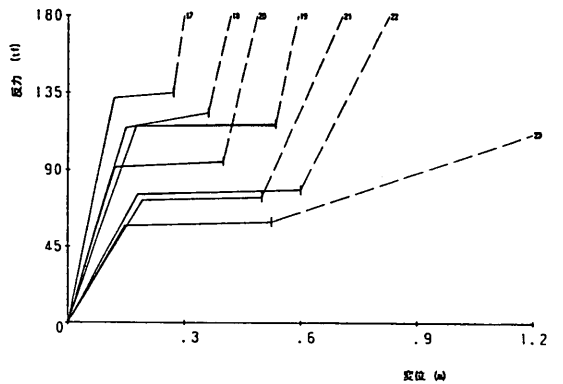


図-10(8a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 10,000dwt, $E_f=22.8\text{tf}\cdot\text{m}$)

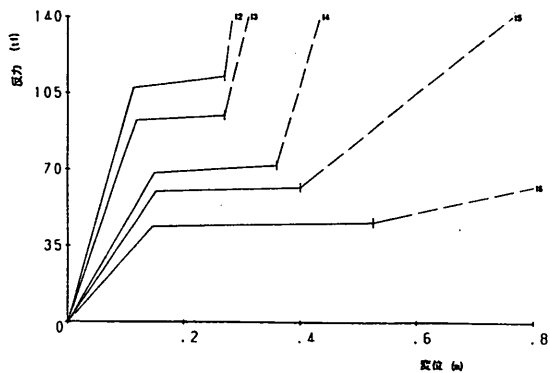


図-10(7a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 10,000dwt, $E_f=16.3\text{tf}\cdot\text{m}$)

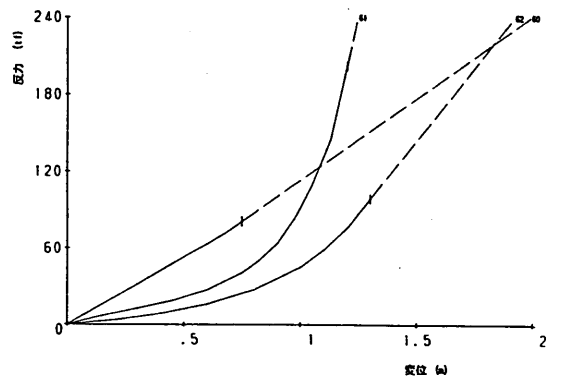


図-10(8b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 10,000dwt, $E_f=22.8\text{tf}\cdot\text{m}$)

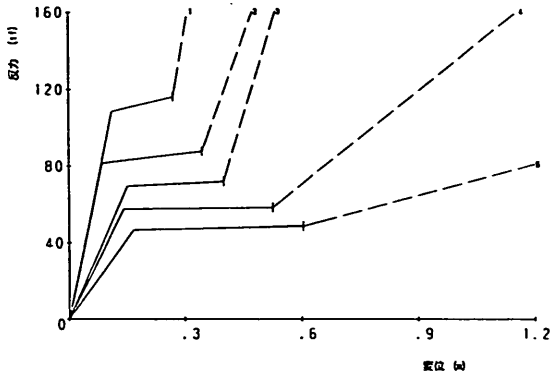


図-10(9a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 30,000dwt, $E_f=18.1\text{tf}\cdot\text{m}$)

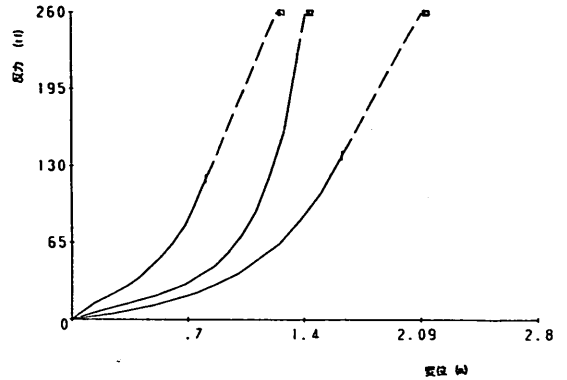


図-10(10b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 50,000dwt, $E_f=28.3\text{tf}\cdot\text{m}$)

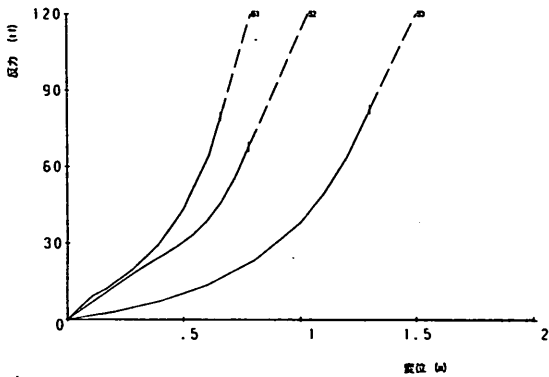


図-10(9b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 30,000dwt, $E_f=18.1\text{tf}\cdot\text{m}$)

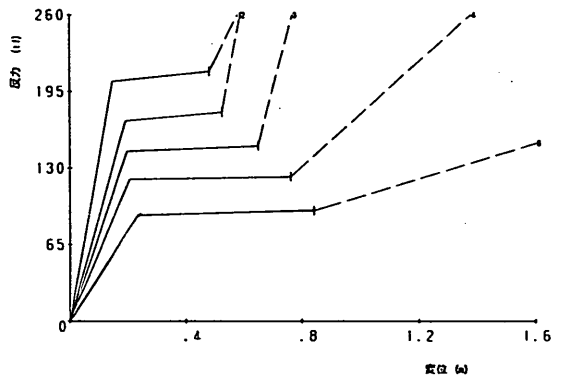


図-10(11a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 100,000dwt, $E_f=54.6\text{tf}\cdot\text{m}$)

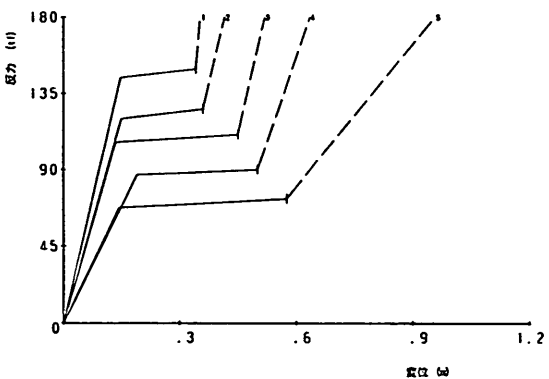


図-10(10a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 50,000dwt, $E_f=28.3\text{tf}\cdot\text{m}$)

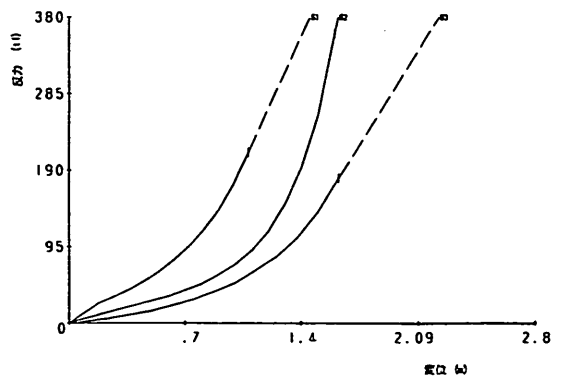


図-10(11b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 100,000dwt, $E_f=54.6\text{tf}\cdot\text{m}$)

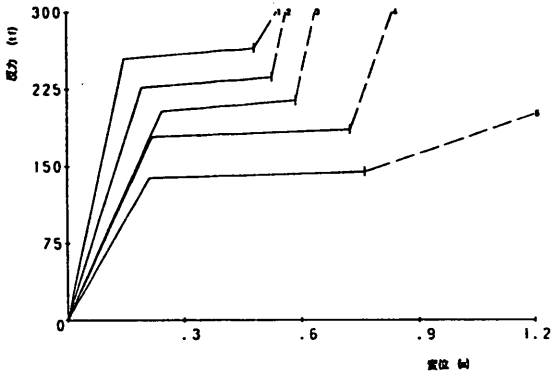


図-10(12a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 150,000dwt, $E_f=77.6\text{tf}\cdot\text{m}$)

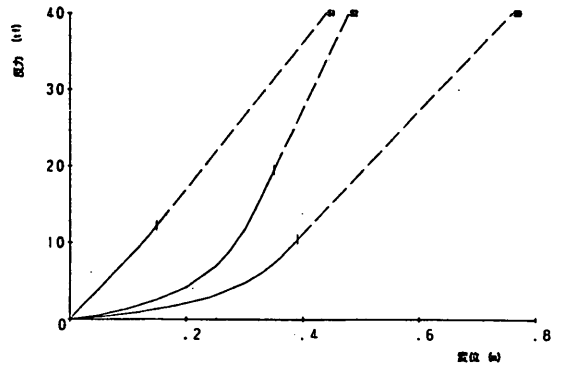


図-10(13b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 1,000dwt, $E_f=0.75\text{tf}\cdot\text{m}$)

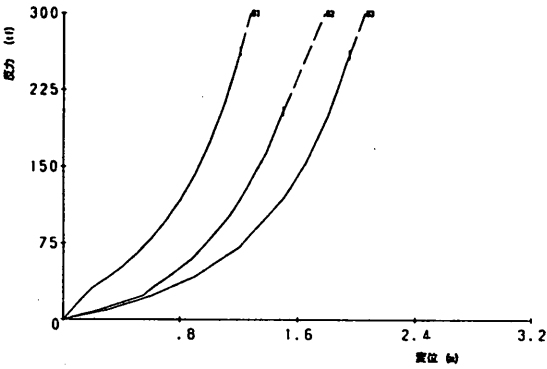


図-10(12b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(一般貨物船, 150,000dwt, $E_f=77.6\text{tf}\cdot\text{m}$)

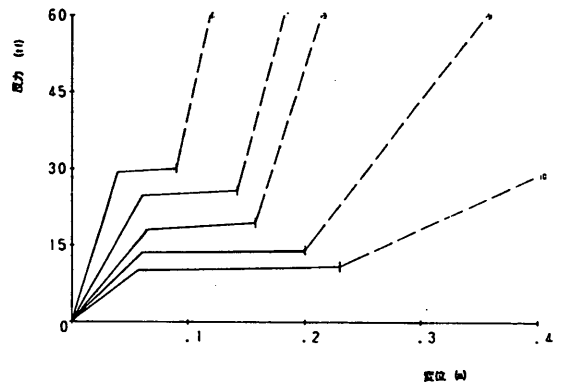


図-10(14a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 1,000dwt, $E_f=1.70\text{tf}\cdot\text{m}$)

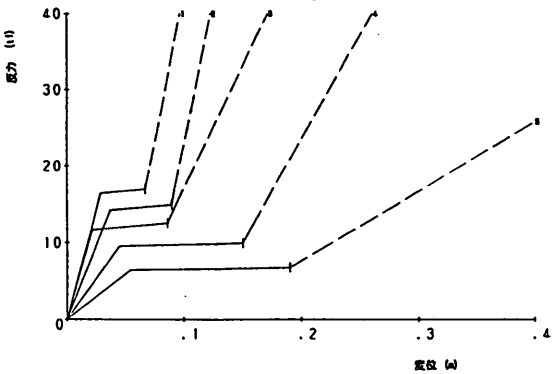


図-10(13a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 1,000dwt, $E_f=0.75\text{tf}\cdot\text{m}$)

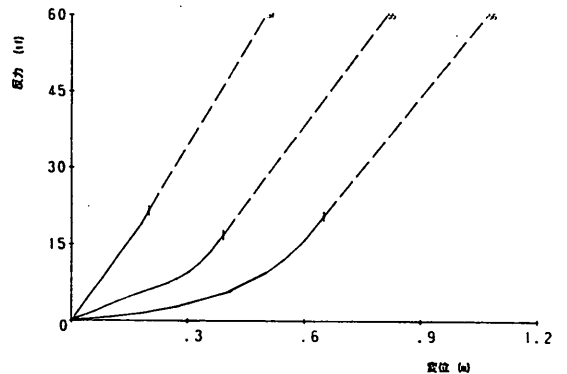


図-10(14b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 1,000dwt, $E_f=1.70\text{tf}\cdot\text{m}$)

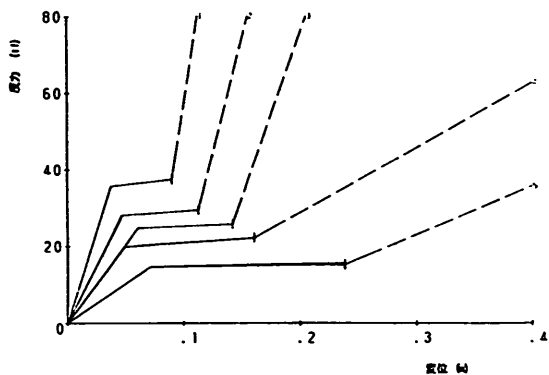


図-10(15a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 3,000dwt, $E_f=2.14\text{tf}\cdot\text{m}$)

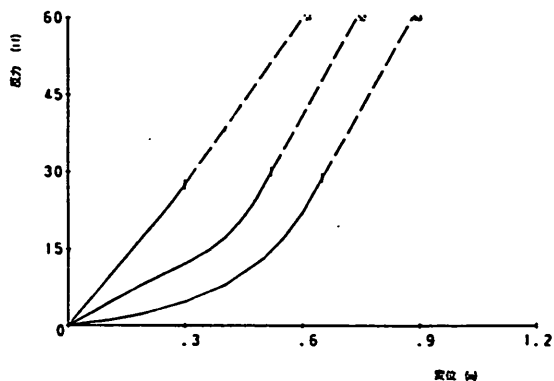


図-10(16b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 5,000dwt, $E_f=3.46\text{tf}\cdot\text{m}$)

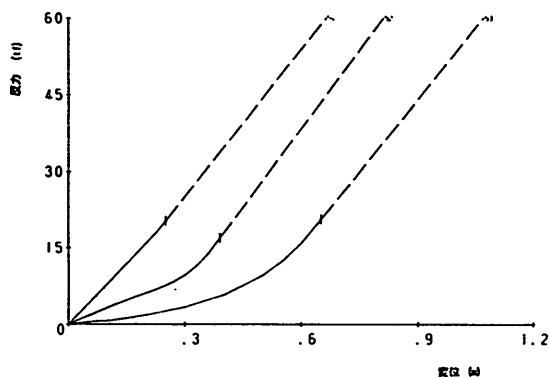


図-10(15b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 3,000dwt, $E_f=2.14\text{tf}\cdot\text{m}$)

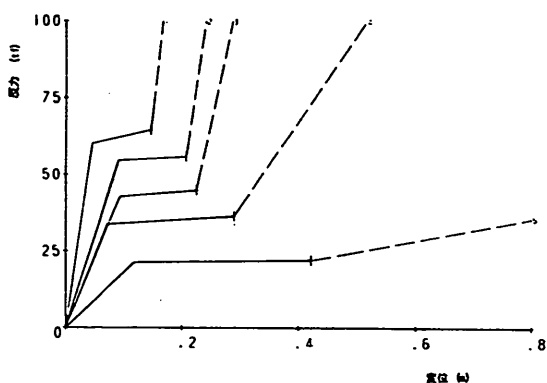


図-10(17a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 10,000dwt, $E_f=6.62\text{tf}\cdot\text{m}$)

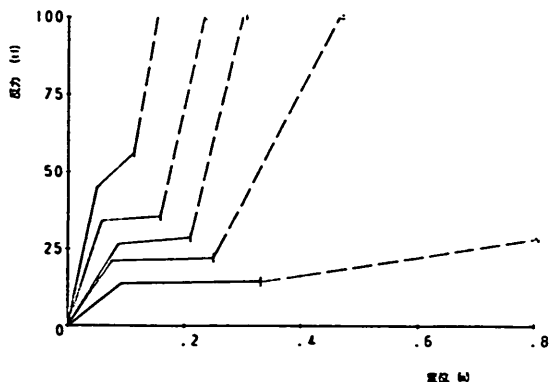


図-10(16a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 5,000dwt, $E_f=3.46\text{tf}\cdot\text{m}$)

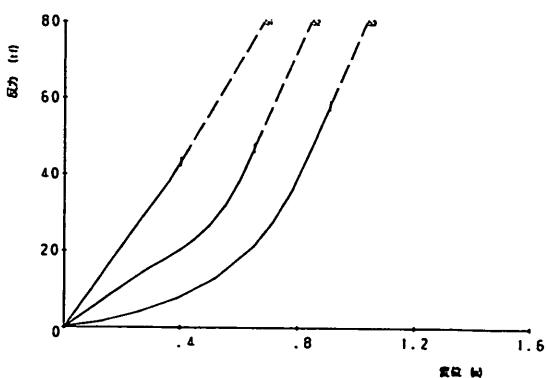


図-10(17b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 10,000dwt, $E_f=6.62\text{tf}\cdot\text{m}$)

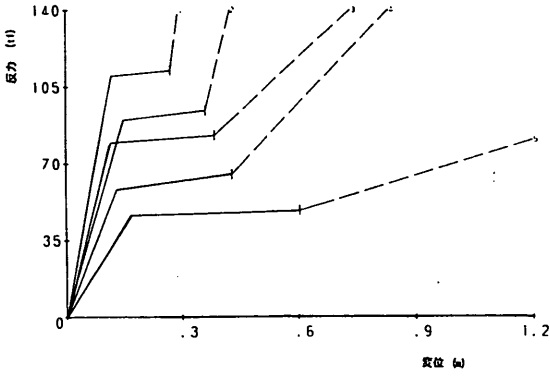


図-10(18a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 30,000dwt, $E_f=18.2\text{tf}\cdot\text{m}$)

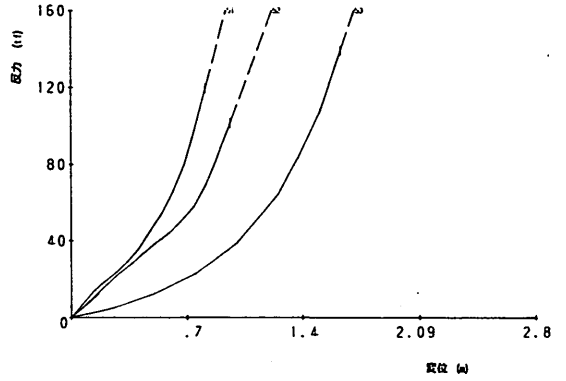


図-10(19b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 50,000dwt, $E_f=29.5\text{tf}\cdot\text{m}$)

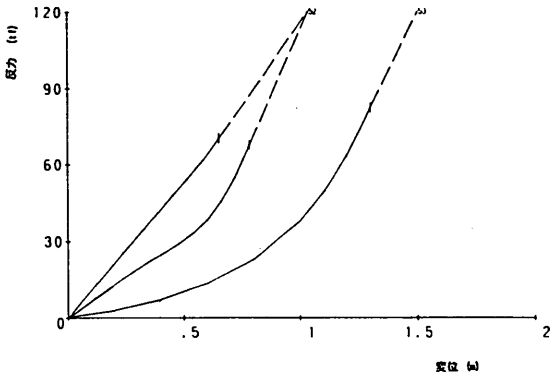


図-10(18b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 30,000dwt, $E_f=18.2\text{tf}\cdot\text{m}$)

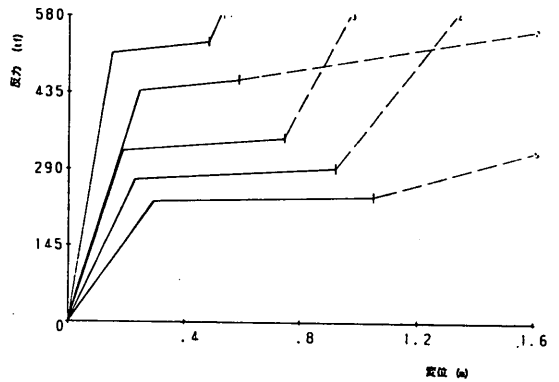


図-10(20a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 100,000dwt, $E_f=178.0\text{tf}\cdot\text{m}$)

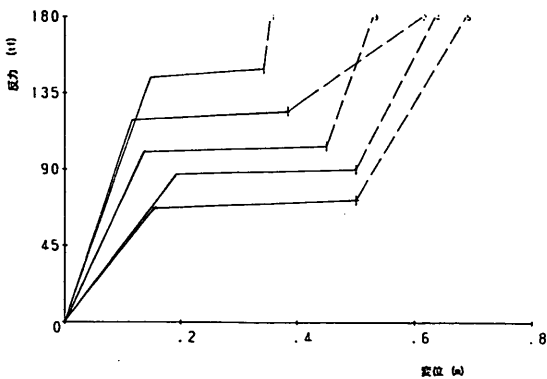


図-10(19a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 50,000dwt, $E_f=29.5\text{tf}\cdot\text{m}$)

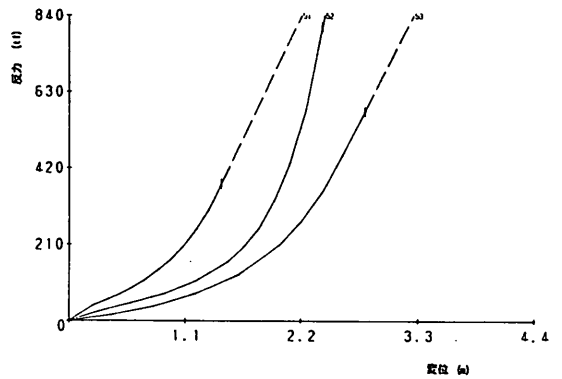


図-10(20b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 100,000dwt, $E_f=178.0\text{tf}\cdot\text{m}$)

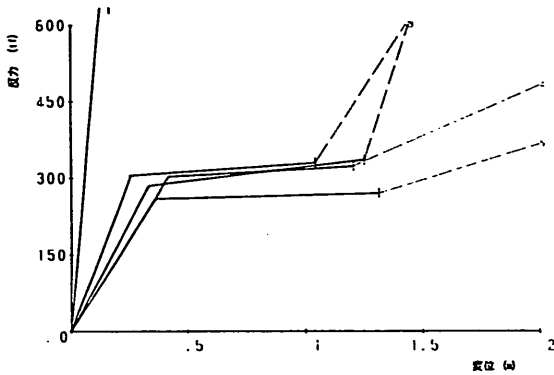


図-10(21a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 150,000dwt, $E_f=255.5\text{tf}\cdot\text{m}$)

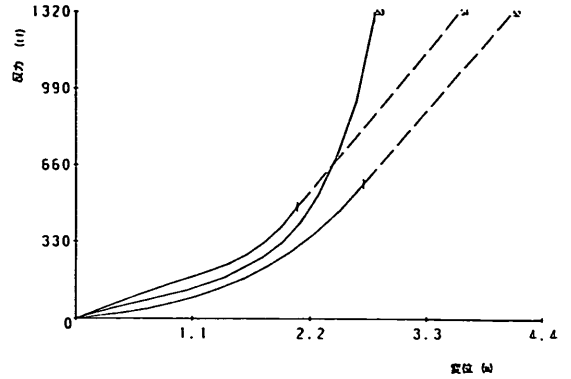


図-10(22b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 200,000dwt, $E_f=333.6\text{tf}\cdot\text{m}$)

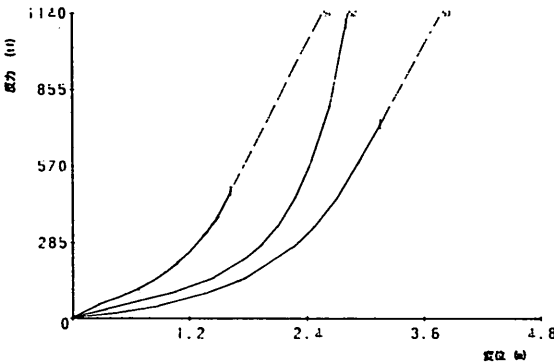


図-10(21b) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 150,000dwt, $E_f=255.5\text{tf}\cdot\text{m}$)

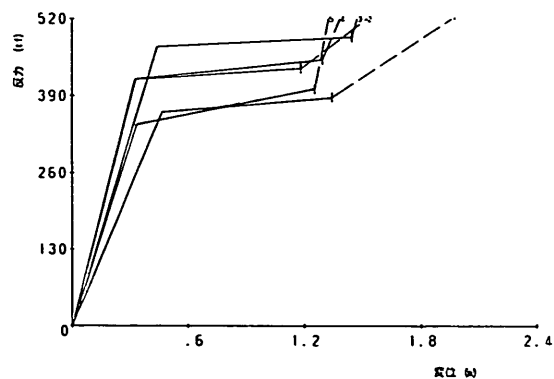


図-10(22a) 計算に用いるゴム防げん材の変位復元力特性
(タンカー, 200,000dwt, $E_f=333.6\text{tf}\cdot\text{m}$)

図-11(1)~(4)は定反力型ゴム防げん材5種および反力漸増型ゴム防げん材3種の合計8種の防衛工(接岸エネルギー7.25tfmの条件で選定したもの)について、その変位復元力特性上に、上記の各波浪および風条件における係留船舶の動揺による防衛工の最大変位を波向および有義波周期別に示したものである。図中の防衛工の変位復元力特性の実線部分は許容変位以内の範囲を示す。ただし、防衛工の最大変位が図に示した変位復元力特性の範囲にないものについては図示していない。

(1)定反力型ゴム防げん材についての計算結果

まず、風速0 m/sの場合には、図-11(1)に示すように波向30°および60°では、計算したすべての防衛工の最大変位が許容変位以下である。しかし、波向90°の場合について

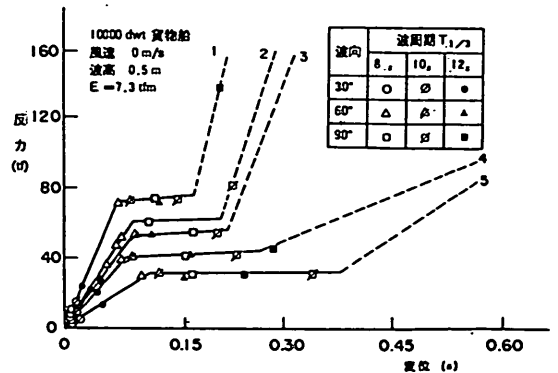


図-11(1) 係留船舶の動揺による防衛工の最大変位
(定反力型ゴム防げん材, 風速0m/s, 有義波高0.5m)

ては、有義波周期10sでは特性2の、また、有義波周期12sでは特性1, 2, 3, 4の防衛工の最大変位が許容変位を超える。それ以外の条件ではいずれも許容変位以下である。

次に、平均風速10m/sの場合には、図-11(2)に示すように波向30°では、いずれの特性についても防衛工の最大変位は許容変位以下であるが、波向60°のときには、有義波周期8sでは特性1の、また、有義波周期10sおよび12sではいずれの特性の防衛工の最大変位が許容変位を超える。また、波向90°では有義波周期8s, 10s, 12sのいずれの周期でもここで選定したどの特性の防衛工の最大変位も許容変位を超える。

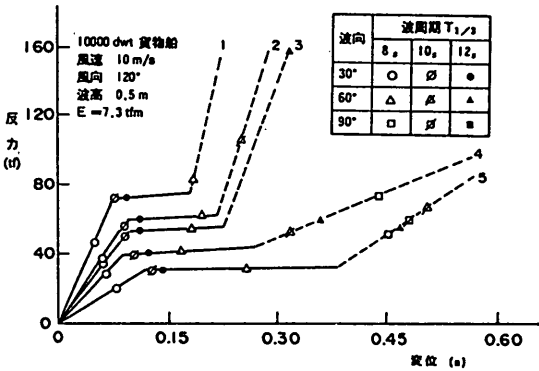


図-11(2) 係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 (定反力型ゴム防げん材, 風向120°, 風速10m/s, 有義波高0.5m)

(2)反力漸増型ゴム防げん材についての計算結果

まず、風速0 m/sの場合には図-11(3)に示すように、いずれの特性においても防衛工の最大変位は許容変位以下である。

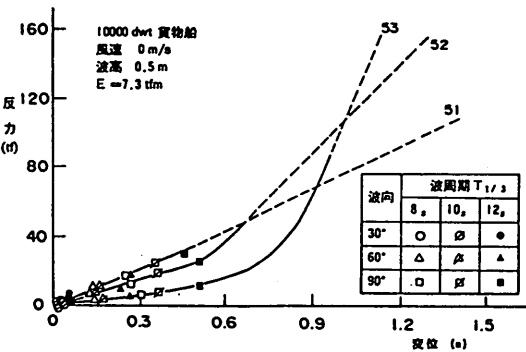


図-11(3) 係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 (反力漸増型ゴム防げん材, 風速0m/s, 有義波高0.5m)

次に、平均風速10m/sの場合には、図-11(4)に示すように、波向30°のときにはいずれの特性の防衛工の最大変位も許容変位以下である。しかし、波向60°のときには、有義波周期12sで特性51および52の、また、波向90°のときには、有義波周期8sで特性51の、有義波周期10sで特性51および52の、有義波周期12sで特性51, 52, 53の防衛工の最大変位が許容変位を超える。

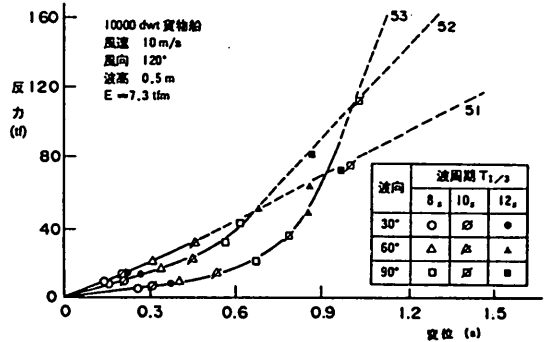


図-11(4) 係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 (反力漸増型ゴム防げん材, 風向120°, 風速10m/s, 有義波高0.5m)

(3)計算結果の考察

以上に示したように、波向が係留岸に対して60°または90°で有義波周期が8s以上であるときには有義波高0.5mであっても、係留船舶の動揺による防衛工の最大変位が接岸時のそれを上回ることがあるので、防衛工の設計において係留船舶の動揺を考慮する必要がある。

3.2 波向と防衛工の変位との関係

図-12(1)~(6)は、10,000dwtの一般貨物船を対象に、接岸エネルギー7.25tfm相当で選定した8種の防衛工(定反力型5種, 反力漸増型3種)について、波向30°, 60°, 90°, 有義波高0.5m, 有義波周期8s, 10s, 12s, 風向120°, 平均風速0m/s, 10m/s, の条件の組合わせて、係留船舶の動揺による防衛工の最大変位を計算した結果を示したものである。

図の横軸は防衛工の吸収エネルギー E (tf·m) と許容変位 δ_a (m) との比 E/δ_a (tf) を、縦軸は係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 δ_{max} (m) と許容変位 δ_a との比 δ_{max}/δ_a である。 E/δ_a は同一吸収エネルギーに対する防衛工の平均的な反力に相当するもので、 E/δ_a が小さいほど柔らかい特性であることを意味する。図中には波向30°, 60°, 90°に対する計算値をそれぞれ、○, △, □で示している。また、図中の実線は各波向別の E/δ_a と

δ_{max}/δ_a の関係の回帰計算結果を示したものである。これらの図を見ると、同一吸収エネルギーの防衛工であっても、 E/δ_a が小さいほど δ_{max}/δ_a が小さいことがわかる。また、防衛工の最大変位 δ_{max} が許容変位 δ_a 以下(すなわち、 $\delta_{max}/\delta_a < 1$)となる E/δ_a を、平均風速および有義波周期別に整理すると、およそ以下のとおりである。

無風状態のとき (風速0m/s)

①有義波周期8s [図-12(1)]

波向30°, 60°, 90°とも検討したすべての防衛工の最大変位は許容変位以下である。

②有義波周期10s [図-12(2)]

波向30°, 60°では検討したすべての防衛工の最大変位は許容変位以下である。

波向90°では $E/\delta_a \leq 49tf$ において防衛工の最大変位は許容変位以下である。

③有義波周期12s [図-12(3)]

波向30°, 60°では検討したすべての防衛工の最大変位は許容変位以下である。

波向90°では $E/\delta_a \leq 29tf$ において防衛工の最大変位は許容変位以下である。

平均風速10m/sのとき

④有義波周期8s [図-12(4)]

波向30°では検討したすべての防衛工の最大変位は許容変位以下である。

波向60°では $E/\delta_a \leq 55tf$ において、また、

波向90°では $E/\delta_a \leq 16tf$ において防衛工の最大変位は許容変位以下である。

⑤有義波周期10s [図-12(5)]

波向30°では検討したすべての防衛工の最大変位は許容変位以下である。

波向60°では $E/\delta_a \leq 26tf$ において、また、

波向90°では $E/\delta_a \leq 10tf$ において防衛工の最大変位は許容変位以下である。

⑥有義波周期12s [図-12(6)]

波向30°では検討したすべての防衛工の最大変位は許容変位以下である。

波向60°では $E/\delta_a \leq 10tf$ において防衛工の最大変位は許容変位以下である。

しかし、波向90°ではすべての E/δ_a において、防衛工の最大変位が許容変位を超える。

なお、一般貨物船の他の船型およびタンカーについては、図-12(1)~(6)と同様の整理を行って付録Bに結果を示す。ここでは、表-6に一般貨物船およびタンカーにつ

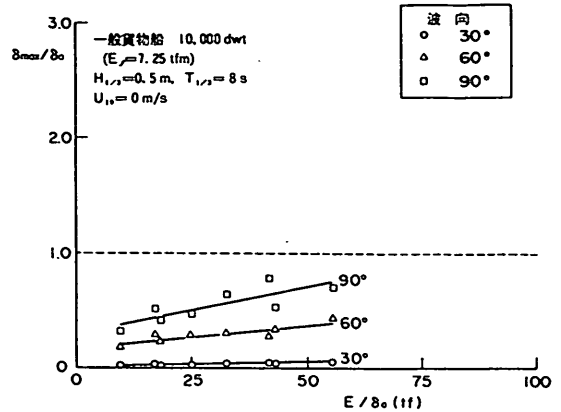


図-12(1) E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係 (平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s)

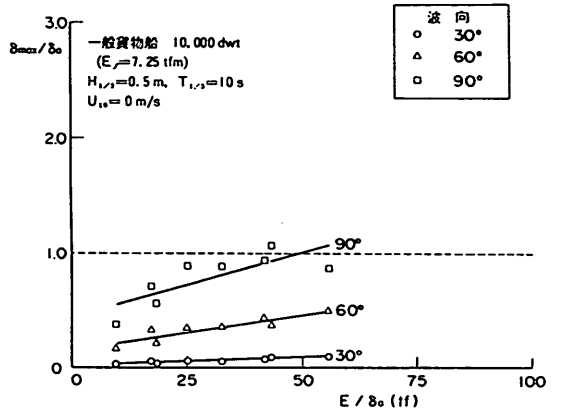


図-12(2) E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係 (平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s)

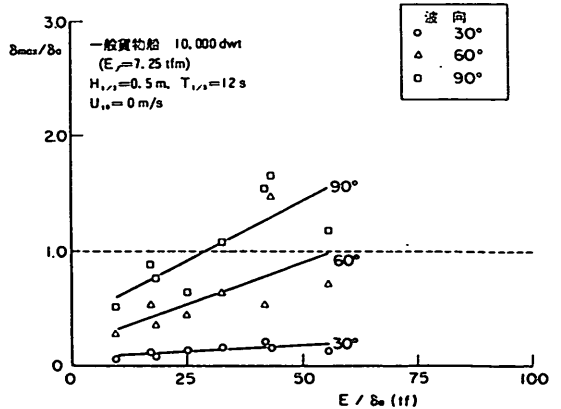


図-12(3) E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係 (平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s)

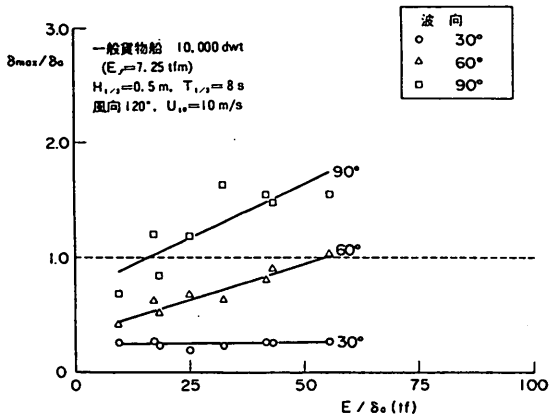


図-12(4) E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係
(風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s)

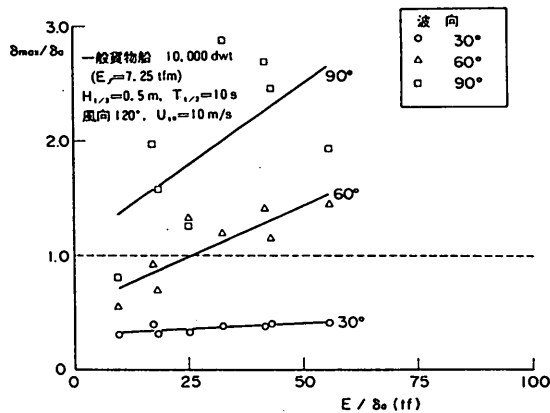


図-12(5) E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係
(風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s)

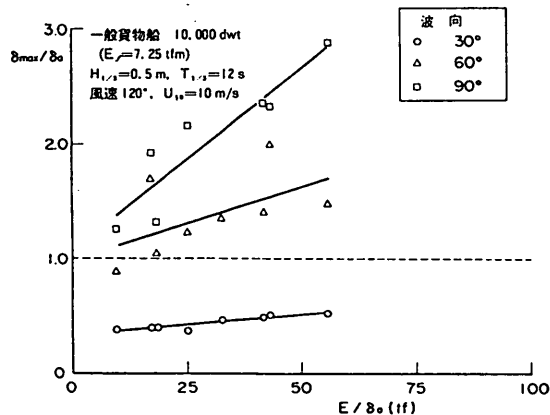


図-12(6) E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係
(風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s)

いて船型, 波向, 有義波周期, 平均風速別に $\delta_{max}/\delta_a < 1$ となる E/δ_a を示した。表中の E/δ_a の数値は, 各条件において, E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係について図-12と同様にして回帰直線を求め, $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ となる E/δ_a を示したものである。ただし, 計算した防衛工について, すべてが $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$, すなわち, 最大変位 δ_{max} が許容変位 δ_a よりも小さい条件については○を, また, すべてが $\delta_{max}/\delta_a > 1$, すなわち, 最大変位 δ_{max} が許容変位 δ_a よりも大きな条件については×を記入した。表-6において, ×または数値を記入した条件では, ここで選定したゴム防げん材の全部または一部が適当でないことを意味する。したがって, これらの条件においては係留船舶の動揺を考慮してここで検討したものより吸収エネルギー性能のよい防衛工の選定を行なう必要がある。以下に概略を説明する。

波向30°かつ有義波高0.5mでは, 無風状態のときには係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 δ_{max} は計算したすべての防衛工について許容変位 δ_a 以下である (表中では○表示)。また, 同じく波向30°で, 風向120°・平均風速10m/sのときには, 1,000dwtの一般貨物船で10s, 1,000dwtのタンカーで8s, 10s, 3,000dwtのタンカーで12sのときを除いて, ここで検討したすべての防衛工の最大変位 δ_{max} は許容変位 δ_a 以下である。

波向60°かつ有義波高0.5mでは, 無風状態のときでも, 一般貨物船の1,000~5,000dwt, タンカーの1,000~10,000dwtの場合には, 係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 δ_{max} は許容変位 δ_a を超えることがある。また, 同じく波向60°かつ有義波高0.5mで, 風向120°・平均風速10m/sのときには, 1,000~50,000dwtの一般貨物船, 1,000~30,000dwtのタンカーの場合には, 係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 δ_{max} は許容変位 δ_a を超えることがある。このように, 波向60°の場合には, 係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 δ_{max} が許容変位 δ_a を超える条件が30,000および50,000dwt程度的大型船まで及ぶことがわかる。

波向90°かつ有義波高0.5mで無風状態のときには, 1,000~10,000dwtの一般貨物船, 1,000~10,000dwtのタンカーの場合には, 係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 δ_{max} が許容変位 δ_a を超えることがある。また, 同じく波向90°かつ波高0.5mで, 風向120°・風速10m/sのときには, 1,000~50,000dwtの一般貨物船, 1,000~50,000dwtのタンカーの場合には, 係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 δ_{max} が許容変位 δ_a を超えることがある。波向90°の場合には, 係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 δ_{max} が許容変位 δ_a を超える船型は波向60°の場合とほ

表-6 $\delta_{max}/\delta_a < 1$ となる E/δ_a の値

船種	船型 (dwt)	V (m/s)	C _θ	E f (tfm)	平均風速 0 m/s																										
					波向 30°				波向 60°				波向 90°				波向 120°、平均風速 10 m/s														
					有載波周期 (s)		有載波周期 (s)		有載波周期 (s)		有載波周期 (s)		有載波周期 (s)		有載波周期 (s)		有載波周期 (s)		有載波周期 (s)												
貨物船	1000	0.1	0.5	0.83	6	8	10	12	6	8	10	12	6	8	10	12	6	8	10	12											
貨物船	1000	0.15	0.5	1.87	○	○	○	○	14	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×											
貨物船	3000	0.1	0.5	2.26	○	○	○	○	○	21	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×											
貨物船	5000	0.1	0.5	3.73	○	○	○	○	○	○	25	8	○	○	○	8	×	×	×	×											
貨物船	10000	0.1	0.5	7.25	○	○	○	○	○	○	○	26	○	○	30	19	11	○	22	9	×	8	×	×	×						
貨物船	10000	0.1	0.7	10.1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	49	29	○	○	55	26	×	○	16	×	×					
貨物船	10000	0.15	0.5	16.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	23	○	○	○	○	39	14	○	29	×	×				
貨物船	10000	0.15	0.7	22.8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	45	○	○	○	○	○	37	○	49	25	×				
貨物船	30000	0.1	0.5	18.1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	59	×	×			
貨物船	50000	0.1	0.5	28.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	66	74	39	×			
貨物船	100000	0.1	0.5	54.6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	104	○	104	46		
貨物船	150000	0.1	0.5	77.6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
タンカー	1000	0.1	0.5	0.75	○	○	○	○	○	○	4	×	×	○	×	×	×	○	9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
タンカー	1000	0.15	0.5	1.70	○	○	○	○	○	○	15	3	×	○	6	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
タンカー	3000	0.1	0.5	2.14	○	○	○	○	○	○	○	8	×	○	7	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
タンカー	5000	0.1	0.5	3.46	○	○	○	○	○	○	○	18	×	○	10	9	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
タンカー	10000	0.1	0.5	6.62	○	○	○	○	○	○	○	44	31	○	42	22	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
タンカー	30000	0.1	0.5	18.2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
タンカー	50000	0.1	0.5	29.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
タンカー	100000	0.15	0.7	178.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
タンカー	150000	0.15	0.7	255.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
タンカー	200000	0.15	0.7	339.6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表中の数値は $\delta_{max}/\delta_a < 1$ となる E/δ_a の値 (回帰直線より求めた数値)
 ○ : 計算した E/δ_a の値ではすべての防衛工が $\delta_{max}/\delta_a < 1$ となる
 × : 計算した E/δ_a の値ではすべての防衛工が $\delta_{max}/\delta_a > 1$ となる

は同じである。ただし、同一船型において、 $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ 、すなわち、最大変位 δ_{max} が許容変位 δ_a 以下となる E/δ_a の数値は波向90°の場合のほうが波向60°の場合に比べて小さい。すなわち、波向90°では波向60°の場合より係留船舶の動揺の影響が大きく、 E/δ_a がさらに小さな防衛工を選定する必要がある。

なお、表-6は有義波高0.5mで、風向120°、平均風速0 m/sまたは10m/sの場合について示したものである。3.4および3.5で示すように E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係は有義波高、平均風速によっても異なるので、有義波高や平均風速が異なる場合には類似の条件の計算結果を考察するなどして適切な防衛工を選定する必要がある。

3.3 波周期と防衛工の変位との関係

図-13(1)~(2)は10,000dwtの一般貨物船について防衛工の吸収エネルギー特性と係留船舶の動揺による防衛工の変位との関係を図示したものである。ここでは波向60°、有義波高0.5m、有義波周期8s、10s、12s、風向120°、平均風速0m/s、10m/sの条件の場合について示している。図-12と同様に、図の横軸は防衛工の吸収エネルギー E と許容変位 δ_a との比 E/δ_a を、縦軸は係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 δ_{max} と許容変位 δ_a との比 δ_{max}/δ_a である。図には有義波周期8s、10s、12sに対する計算値をそれぞれ、○、△、□で示している。また、図中の実線は各周期別の E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係の回帰計算結果を示したものである。

図-13(1)は無風状態(風速0m/s)について図示したものであるが、有義波周期12sにおいて、 E/δ_a が40tfの場合は係留中の船舶の動揺による防衛工の最大変位が許容変位を超えているが、有義波周期8s、10sの場合にはいずれ

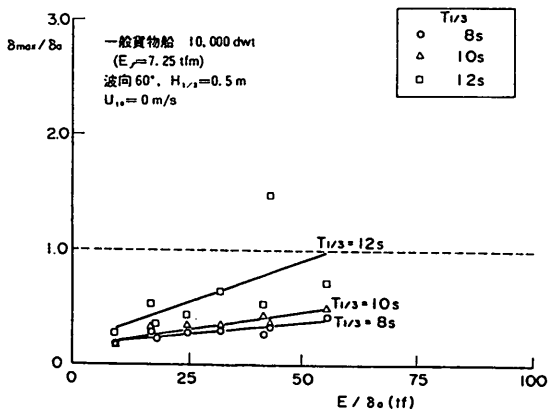


図-13(1) E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係 (平均風速0m/s、波向60°、有義波高0.5m)

の防衛工であっても係留船舶の動揺による防衛工の最大変位は許容変位以下である。また、図より E/δ_a が小さいほど、 δ_{max}/δ_a が小さいことがわかる。

図-13(2)は風向120°、平均風速10m/sの場合について図示したものであるが、係留船舶の動揺による防衛工の最大変位が許容変位以下となる E/δ_a は有義波周期8s、10s、12sに対し、それぞれ、55、26、10tfであって、有義波周期が長いほど小さい。これは、長周期波に対しては E/δ_a が小さな防衛工を選定することが必要であることを意味する。すなわち、同一吸収エネルギー E に対しては許容変位 δ_a の大きな防衛工を選定する必要がある。

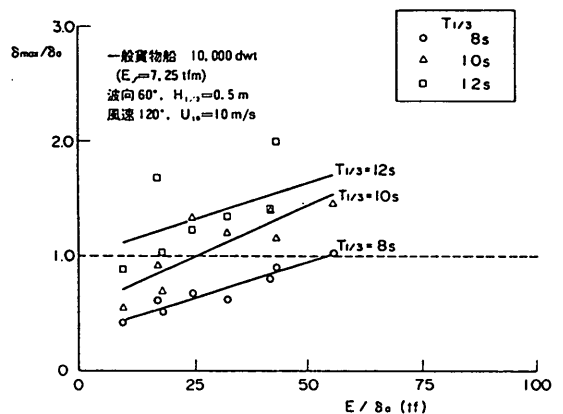


図-13(2) E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係 (風向120°、平均風速10m/s、波向60°、有義波高0.5m)

3.4 波高と防衛工の変位との関係

図-14は、10,000dwtの一般貨物船について、風向120°・平均風速10m/s、かつ、波向60°・有義波周期8sで、有義波高0.5m、0.7m、1.0mに対する E/δ_a と δ_{max}/δ_a との関係を図示したものである。図には有義波高0.5m、0.7m、1.0mに対する計算値をそれぞれ、○、△、□で示している。また、図中の実線は各有義波高別の E/δ_a に対する δ_{max}/δ_a の関係の回帰計算結果を示したものである。

有義波高が0.5mの場合には $E/\delta_a \leq 50$ tfで $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ となるが、有義波高が0.7mの場合は $E/\delta_a \leq 40$ tfで $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ となる。また、有義波高が1.0mの場合には $E/\delta_a \leq 20$ tfで $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ となる。このことから、係留船舶の動揺が大きいときには、 E/δ_a が小さな防衛工すなわち許容変位が大きい防衛工を選定する必要があると言える。

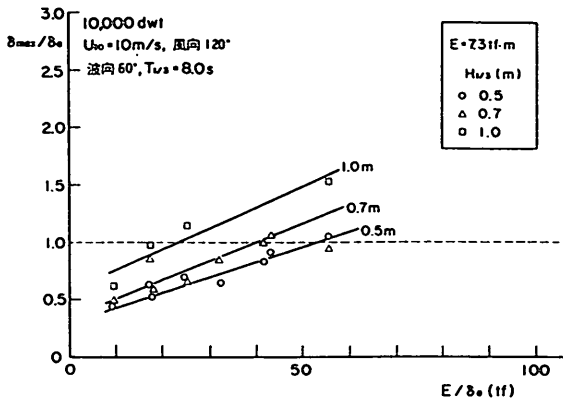


図-14 E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係
(有義波高の影響)

3.5 風速と防衛工との変位との関係

図-15は、10,000dwtの一般貨物船について波向60°, 有義波高0.5m, 有義波周期10sで、平均風速0m/sおよび平均風速10m/sについて風向120°および90°, 平均風速15m/sについて風向120°の場合について E/δ_a と δ_{max}/δ_a との関係を図示したものである。図には平均風速0m/s, 10m/s (風向120°), 10m/s (風向90°), 15m/s (風向120°)に対する計算値をそれぞれ、○, △, ▲, □で示している。また、図中の実線は各平均風速別の E/δ_a に対する δ_{max}/δ_a の関係の回帰計算結果を示したものである。

平均風速0m/sの場合にはいずれの E/δ_a においても $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ であるが、平均風速10m/sの場合には風向120°および90°のとき $E/\delta_a \leq 25$ tfで $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ となる。また、平均風速15m/sの場合には風向120°のときには $E/\delta_a < 15$ tfで $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ となる。風向が同一であれば

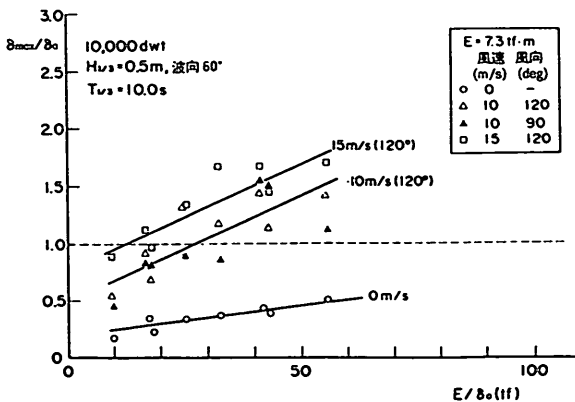


図-15 E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係
(平均風速の影響)

ば、平均風速が大きいほど $\delta_{max}/\delta_a < 1$ となる E/δ_a は小さい。したがって、船舶に作用する平均風速が大きくなるときには E/δ_a が小さな防衛工を選定する必要がある。

3.6 吸収エネルギーと防衛工の変位との関係

図-16は10,000dwtの一般貨物船について、波向60°, 有義波高0.5m, 有義波周期10sかつ風向120°, 平均風速10m/sの条件に対する計算結果を防衛工の吸収エネルギー別に整理して E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係を示したものである。図には吸収エネルギー7.25tf·m, 10.2tf·m, 16.3tf·m, 22.8tf·mに対するものをそれぞれ、○, △, □, ▽で示す。また、図中の実線は各吸収エネルギー別の E/δ_a に対する δ_{max}/δ_a の関係の回帰計算結果を示したものである。

吸収エネルギーが7.25tf·mの場合には $E/\delta_a \leq 26$ tfで、また、吸収エネルギーが10.2tf·mの場合には $E/\delta_a \leq 39$ tfで $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ である。これに対して、吸収エネルギーが16.3tf·mおよび22.8tf·m相当である防衛工ではいずれの特性に対しても $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ である。16.3tf·mおよび22.8tf·mの吸収エネルギーは接岸時の条件で選定される防衛工の吸収エネルギーよりかなり大きい。したがって、係留船舶の動揺の影響が大きな場合には、 E/δ_a が小さく、かつ、吸収エネルギーが大きい防衛工を選定することがその対策となる。

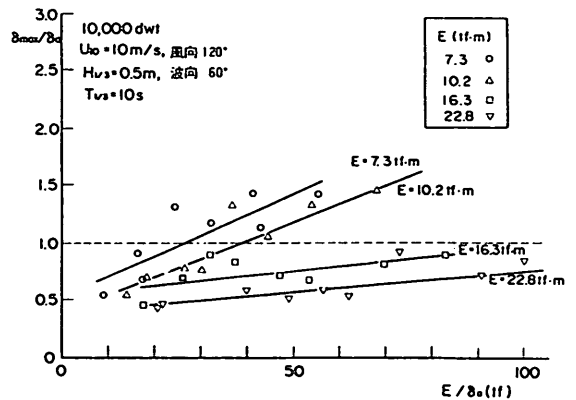


図-16 E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係
(接岸エネルギーの影響)

3.7 船型と防衛工の変位との関係

図-17は1,000, 5,000, 10,000, 30,000, 50,000dwtの一般貨物船について、波向60°, 有義波高0.5m, 有義波周期8sかつ風向120°, 平均風速10m/sの条件の結果計算を、船型別に整理して E/δ_a に対する δ_{max}/δ_a の関係を示したものである。図には1,000, 5,000, 10,000, 30,000,

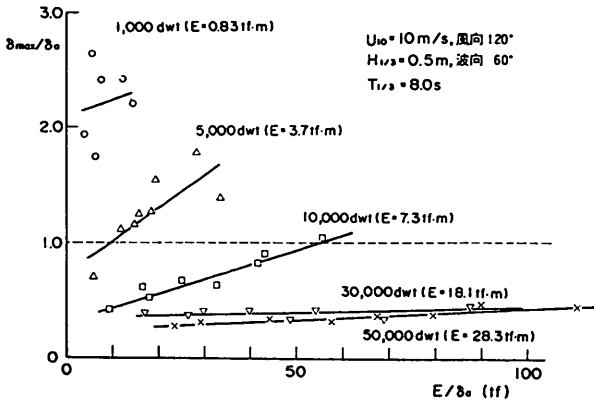


図-17 E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係 (船型の影響)

50,000dwt に対する計算値をそれぞれ, ○, △, □, ▽, × で示している。また, 図中の実線は各船型別の E/δ_a に対する δ_{max}/δ_a の関係の回帰計算結果を示したものである。

大型船(30,000dwt および 50,000dwt)では, 防衛工の最大変位 δ_{max} はすべて許容変位 δ_a 以下である。これに対して, 中型船(1,000dwt~5,000dwt)の 1,000dwt ではすべての防衛工の最大変位 δ_{max} が許容変位 δ_a を超え, また, 5,000dwt では $E/\delta_a > 9tf$ で防衛工の最大変位 δ_{max} が許容変位 δ_a を超える。

先に示した表-6をみると, たとえば, 有義波高0.5m のとき中型船 (1,000dwt~5,000dwt) では, $\delta_{max}/\delta_a > 1$ となる場合(×で表示)が多いのに対し, 大型船(30,000dwt および 50,000dwt) では, $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ となる場合(○で表示)が多いことがわかる。

以上のことから大型船については, 接岸時の条件で選定した防衛工であっても係留船舶の動揺を吸収することが可能であるが, 中型船については吸収できないことがあるので, 係留船舶の動揺を考慮して E/δ_a が小さく, かつ, 吸収エネルギーが大きい防衛工を選定することがその対策となる。

4. 係留船舶の動揺に基づく防衛工の設計の手順

4.1 選定の手順

本資料で提示した計算結果を用いて, 図-18に示す手順で係留船舶の動揺を考慮した防衛工の選定を行うことができる。

- ①船舶の接岸速度, 偏心係数等の条件より式(1)で接岸エネルギーを計算し, 防衛工を選定する。
- ②選定した防衛工について防衛工の吸収エネルギー E

と許容変位 δ_a の比 E/δ_a を求める。

- ③対象施設の設計条件 (波向, 有義波周期, 平均風速) と表-6の波向, 有義波周期, 平均風速の条件とを比較し, 条件が合致するケースにおける $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ となる $(E/\delta_a)_o$ を求める。
- ④ $E/\delta_a \leq (E/\delta_a)_o$ であれば, ①で選定した防衛工は係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 δ_{max} は許容変位 δ_a 以下であり, 係留船舶の動揺を考慮しても適当である。
- ⑤逆に, $E/\delta_a > (E/\delta_a)_o$ であれば, 係留船舶の動揺により生ずる最大変位 δ_{max} が許容変位 δ_a を超えるので防衛工をあらためて選定する。この場合, $E/\delta_a \leq (E/\delta_a)_o$ となるような許容変位 δ_a に注意して防衛工を選定する必要がある。

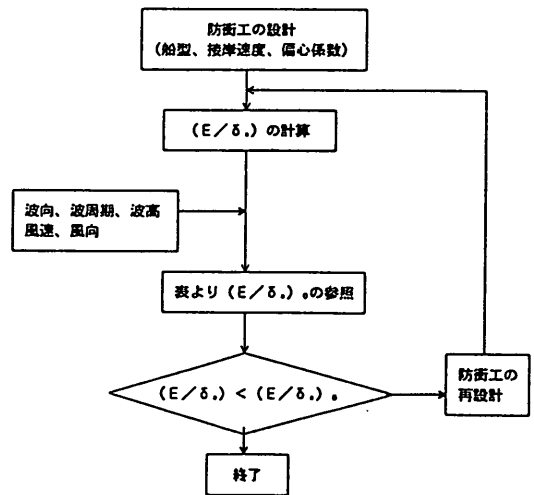


図-18 防衛工選定のフローチャート

4.2 選定の事例

ここでは, 10,000dwt の一般貨物船を対象として, 4.1 に示した手順に従って係留施設の防衛工を選定する事例を示す。

- ①船舶の接岸条件は, 接岸速度 $V=0.1m/s$, 偏心係数 $C_e=0.5$ として, 高さ500mm, 長さ1500mm, 吸収エネルギー-9.38tfm, 許容変位0.225mの防衛工(図-10(5a)の特性3)を選定する。
- ②この防衛工の E/δ_a を計算すると41.7tfである。
- ③対象バースにおける船舶係留時の条件が, 波向60°, 有義波高0.5m, 有義波周期10s かつ風向120°, 平均風速10 m/s であるとする。このとき, 表-6より上述の条件に対しては, $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ となるためには $(E/\delta_a)_o \leq 26$

ttであることが必要である。

④①で選定された防衛工に対しては $(E/\delta_a) > (E/\delta_a)_0$ であるので、あらためて防衛工を選定する。

⑤次に、高さ800mm、吸収エネルギー $9.50\text{tf}\cdot\text{m}$ 、許容変位 0.380m の防衛工 $(E/\delta_a=25.0\text{tf})$ 、図-10(5a)の特性5)を選定すれば、 $E/\delta_a < (E/\delta_a)_0$ となる。

なお、対象バースにおける係留時の波浪条件が波向 30° 、有義波高 0.5m 、有義波周期 10s 、風条件が風向 120° 、平均風速 10m/s であるときには、表-6より接岸速度 $V=0.1\text{m/s}$ 、偏心係数 $C_e=0.5$ の条件で選定されるすべての防衛工について $\delta_{\max}/\delta_a \leq 1$ である(○で表示)ので、接岸時を対象に選定した防衛工であっても係留船舶の動揺による防衛工の最大変位 δ_{\max} が許容変位 δ_a 以下である。

以上は $10,000\text{dwt}$ の一般貨物船について防衛工の選定の事例を示したが、表-6に示されていない船型の場合、また、波向、波周期の条件が表-6以外の場合には、船型、波向、波周期について、表の数値を内外挿して $(E/\delta_a)_0$ 求めると良い。その結果、係留船舶の動揺の影響が大きいと判断され、詳細な検討が必要と判断される場合には動揺数値シミュレーションを行い防衛工の設計を行うものとする。

5. 結論

係留施設の防衛工の設計において、係留船舶の動揺による衝撃力を考慮することが望ましい。これは、外洋もしくは港口付近に設置された係留施設、長周期波の侵入が予想される港湾の係留施設に係留されている船舶、または荒天時に係留されている船舶が、波、風、流れなどによる荷重の作用を受けて動揺すると、係留船舶の動揺により防衛工の変位が接岸時よりも大きくなるためである。

係留船舶の動揺によって生ずる衝撃力は動揺数値シミュレーションを実施して求めなければならない。そこで、本資料では、一般貨物船、タンカーについて船型ごとに波浪および風の条件、また防衛工の変位復元力特性を変えて動揺数値シミュレーションを行い、その結果をとりまとめて、係留船舶の動揺を考慮して防衛工を選定する図表を作成した。

本資料で得られた結論は以下である。

- 1) 同一吸収エネルギーで選定した防衛工については、 E/δ_a が小さいほど δ_{\max}/δ_a が小さい。したがって、係留船舶の動揺による影響が大きい場合には E/δ_a が小さい防衛工を選定するのが良い。
- 2) 波向 30° の場合には、接岸時の条件で選定した防衛工

であっても係留船舶の動揺による防衛工の変位は許容変位以下である。しかしながら、波向 60° または 90° の場合には、防衛工の最大変位が許容変位を超える事例がみられるので、このような条件にある係留施設の防衛工の設計においては、係留船舶の動揺を十分に考慮して適切に防衛工を選定する必要がある。

- 3) 大型船では、接岸時の条件で選定した防衛工であっても係留船舶の動揺を吸収することが可能であるが、中型船では吸収できないことがあるので、係留船舶の動揺を考慮して接岸エネルギーより大きな吸収エネルギーをもつ防衛工を選定する必要がある。

6. あとがき

本資料では係留船舶の動揺を考慮し、係留施設の防衛工を設計するための手順および資料を提示した。防衛工の特性が係留船舶の動揺に影響することは筆者の1人が指摘している³⁾が、防衛工の選定に当たってはこの点にも留意する必要がある。本研究に用いた計算結果は、港湾技術研究所と(財)沿岸開発技術研究センターが共同研究¹³⁾として行った約2,000ケースに加えて、その後、筆者らが行った約1,300ケースの合計約3,300ケースである。これらの計算結果を設計者が利用しやすいよう整理し、図化してとりまとめたものである。共同研究においては上記二者のほか(株)ブリヂストン、横浜ゴム(株)、西武ポリマ化工(株)、住友ゴム工業(株)、シバタ工業(株)、明治ゴム化成(株)が参画された。共同研究における計算、3.1に示したデータの処理および図化は(株)エコーの南将人氏の努力によるものである。ここに、同氏に深甚なる謝意を表するものである。

(1992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、上巻p.20
- 2) 上田茂、大井栄二郎：港湾の係留施設における防衛工の設計について、港湾技研資料、No.596、1987.9、127p
- 3) 上田茂：係留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
- 4) 上田茂、白石悟：係留船舶の動揺に基づく防衛工の設計について、第17回関東支部技術発表会講演概要集、土木学会関東支部、1990.3、pp.130~131
- 5) 辻豊治、高石敬史、菅信、佐藤辰治：船体に働く風圧力に関する模型実験、船舶技術研究所報告、第7巻第5号、1972.9、pp.13~37

- 6) 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.
- 7) 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
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 関西造船協会編: 造船設計便覧(第3版), 1978
- 11) 日本海事協会: 鋼船規則集, 1978, pp.176~178
- 12) S.Ueda, S.Shiraishi: The Allowable Ship Motions for Cargo Handling at Wharves, Report of PHRI, Vol.27, No.4, Dec.1988, pp.3~61
- 13) 運輸省港湾技術研究所, (財)沿岸開発技術研究センター: 係留船舶の動揺を考慮した防げん材の設計に係わる資料, 1990.1, 158p

- 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_{pp} : 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_a : 防衝工の許容変位(m)
- x_e : 横揺れ無次元減衰係数

主要記号表

- A_m : 船長方向付加質量係数
- A_x : 水面上正面投影面積(m²)
- A_y : 水面上側面投影面積(m²)
- B : 船幅(m)
- C_B : 方形係数
- C_e : 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_c : 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・m)
- E_f : 船舶の接岸エネルギー(tf・m)
- \overline{GM} : メタセンター高さ(m)
- h : 水深(m)
- g : 重力加速度(m/s²)
- K_R : 係船岸反射率
- K_{xx} : X軸まわり環動半径(m)
- K_{yy} : Y軸まわり環動半径(m)
- K_{zz} : Z軸まわり環動半径(m)
- \overline{KG} : 船底より重心までの距離(m)

付録 A 係留船舶の動揺計算の自動計算プログラム

A.1 プログラム作成の目的

動揺数値シミュレーションを行なう際の船舶の諸元, 防げん材や係留索などの係留系の変位復元力特性などのデータ作成および動揺数値シミュレーション結果の統計処理を自動的に行い, 動揺数値シミュレーションを容易にする。

A.2 システムの設計

(1) 全体のシステム設計について

係留船舶の動揺計算の自動計算プログラムのシステムの設計にあたっては, 動揺数値シミュレーションを行なう際に必要となるデータを必要最小限の入力項目から自動的に作成するようにした。すなわち, 流体力, 風荷重および, 動揺数値シミュレーションのためのデータは付表-1.1に示す船種・船型, 波および風の条件, 防げん材, 係留索などに関する必要最小限の情報から自動的に作成できる。このために必要な船舶の断面形状, 風抗力係数, 防げん材と係留索の変位復元力特性など各種のデータはあらかじめファイルに登録されている。

本システムは以下の3つのプログラムから構成される。

a) データファイル作成, メインテナンスプログラム

以下の8つのデータファイルから構成される。

- ①船舶の線図
- ②風抗力係数

付表-1.1 係留船舶の動揺計算の自動計算プログラムの入力項目

入力項目	データ項目
船種、船型	船種（コード）、船型（載荷重量トンまたは総トン）、 載荷状態（満載、半載、空載）、接岸速度、偏心係数
バース条件	バースの計画水深、潮位、船体の中心と係船岸の距離、 係船岸の反射率
波および風の条件	波向、有義波高、有義波周期、風向、平均風速
防舷材	防舷材設置個数、設置間隔、設置高さ、一箇所の設置個数、 種類（コード）、グレード（コード）、サイズ（高さ、長さ等）
係留索	係船柱間隔、係船柱本数、係留索種類（コード）、係留索の径、 係船岸天端高さ、係船柱取り付け位置、初期張力

- ③防げん材特性
 - ④標準防げん材（船種、船型、接岸条件別）
 - ⑤防げん材の配置間隔
 - ⑥係留索特性
 - ⑦係船柱の配置間隔
 - ⑧係留索の標準配置
- b) 係留船舶の動揺計算の自動計算プログラム
以下の8つのプログラムから構成される。
- ①データの自動作成
 - ②船舶のルイスフォーム近似による断面流体力の計算
 - ③ストリップ法による三次元流体力および波力の計算
 - ④風荷重の計算
 - ⑤動揺数値シミュレーション
 - ⑥ファイル変換（動揺数値シミュレーション結果のファイル書込形式の変換）
 - ⑦統計量計算
 - ⑧動揺数値シミュレーション結果のデータベース出力
- ①のデータの自動作成ルーチンは②～⑧の各プログラムのデータをプログラム内部で自動的に作成し、相互に連結するためのルーチンである。②～⑦は、従来開発したプログラムを自動計算プログラムとして、若干の改良を行ったものである。⑧は動揺数値シミュレーション結果をデータベースに出力するものである。データベースへの出力項目は付表-1.2に示すとおりである。また、付図-1.1および付図-1.2は一連のプログラムの流れと使用するデータファイルの相互の関係を示したものである。
- c) 動揺量データベース検索プログラム
データベースに登録されているデータ(付表-1.2参照)の検索、作表、図化を行なう。検索プログラムは以下の

機能を有する。

①全計算結果の出力

データベースに登録されている全計算結果を出力する。その際、以下の様に出力する項目の選択ができる。

- イ) 全データ
- ロ) 計算条件と防げん材の最大変位
- ハ) 計算条件と動揺量の最大値および統計量
- ニ) 計算条件と動揺量の有義値

②特定の計算条件の結果の出力

船種・船型、波条件、風条件などの検索項目と条件が合致する計算条件の結果を出力する。

③特定の計算条件の結果の図化

船種・船型、波条件、風条件などの検索項目と条件が合致する計算条件の結果を図化する。横軸としては、船型、波高、波周期、波向などが、縦軸としては各成分の動揺量、防げん材の変位、防げん材の反力、係留索の伸び、係留索の張力などを選択できる。

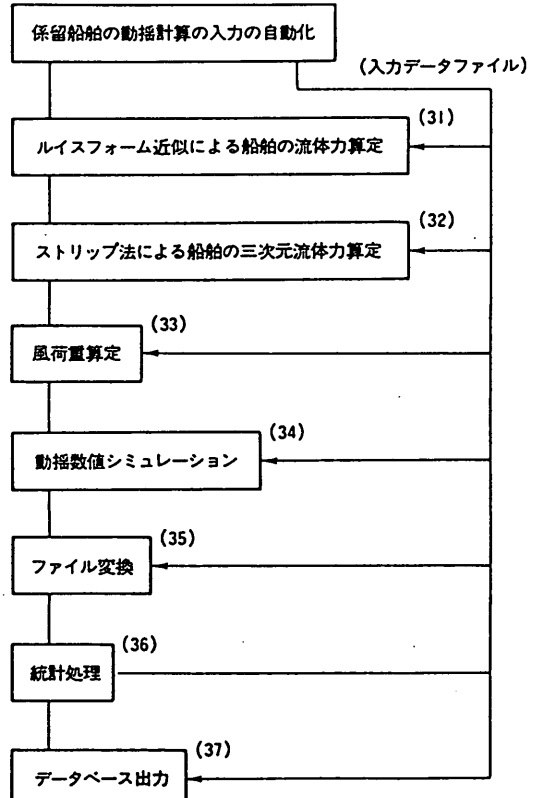
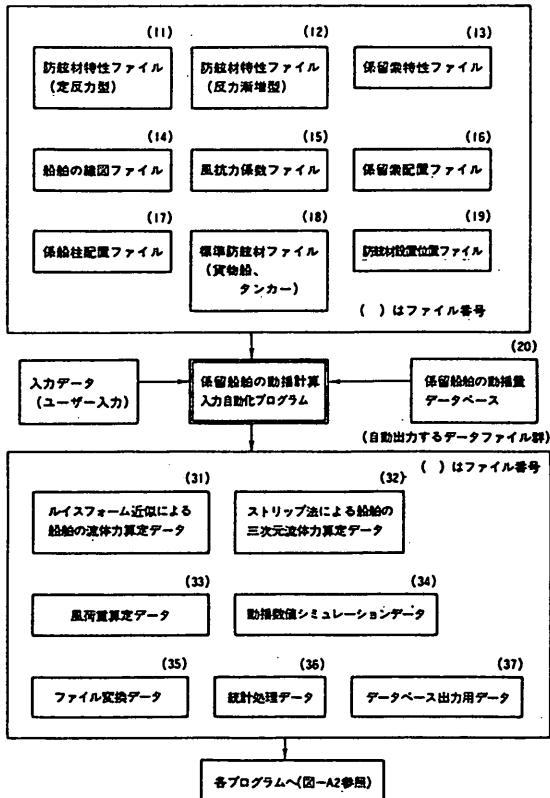
(2)座標系

動揺数値シミュレーションの座標系は、船舶の左げんが接岸する場合と右げんが接岸の場合とに別けて付図-1.3に示す座標系とする。動揺数値シミュレーションにおける座標原点は、船舶の重心直下の海底面である。非透過性の係船岸の場合には波向の範囲は、左げん接岸の場合は0°から180°、右げん接岸の場合は180°から360°である。

防げん材および係船柱の設置位置を入力する場合の座

付表-1.2 データベースの出力項目

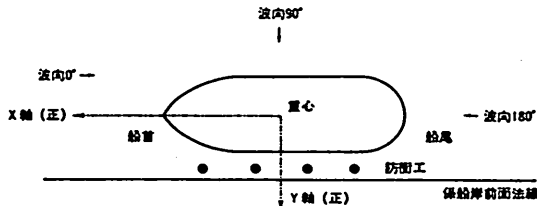
項目	出力内容
計算条件	付表-1. 1 参照
波高、周期	最高波の波高・周期、1/10および1/3有義波の波高・周期 平均波高・平均周期
荷重	波浪荷重、風荷重、荷重の合計値について 最大値、最小値、平均値 荷重振幅の最大値、1/10および1/3有義値、平均値 および周期
動揺量	最大値、最小値、平均値 動揺振幅の最大値、1/10および1/3有義値、平均値 および周期
防舷材の変位、反力	最大値、最小値、平均値 変位および反力の最大値、1/10および1/3有義値、平均値 および周期
係留索の変位、張力	最大値、最小値、平均値 変位および張力の最大値、1/10および1/3有義値、平均値 および周期



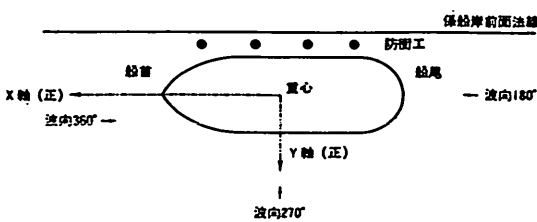
付図-1.1 係留船舶の動揺計算の自動計算プログラムで使用されるファイル

付図-1.2 使用するファイルの相互関係について

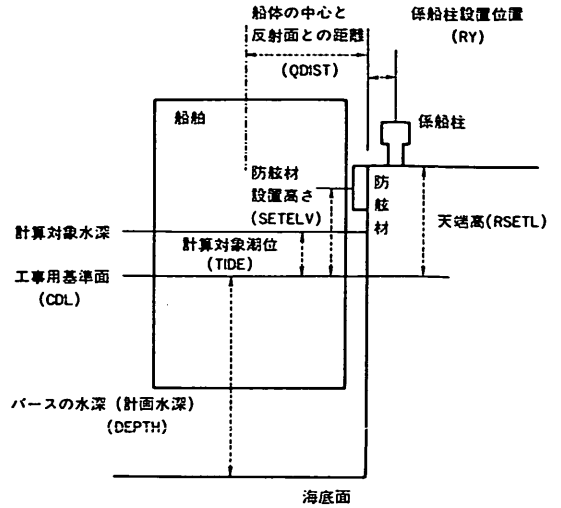
左舷接岸の場合



右舷接岸の場合



付図-1.3 動揺計算の座標系



付図-1.4 主要な入力項目と位置関係

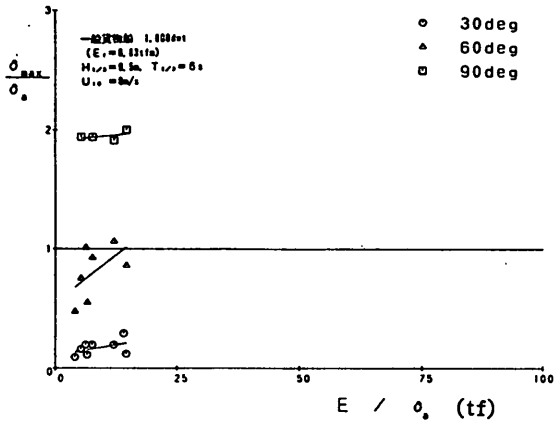
標原点は係船岸の前面法線とし、高さ方向には工事用基準面を0とし、上方に位置する場合は正值、下方に位置する場合は負値とする。付図-1.4に主要な入力項目についての位置関係を示す。

付録B 防衛工の特性と最大変位の関係

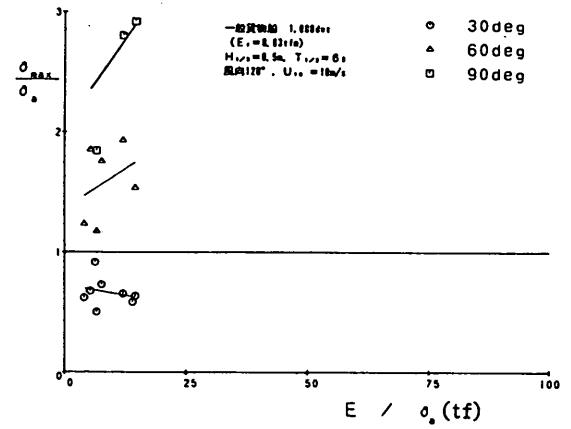
船種・船型別に係留船舶の動揺による防衛工の最大変位を付図-2.1~2.22に示す。ここで図示した船種・船型は本文中の表-3に示したものである。図の横軸は防衛工の吸収エネルギー E (tf・m) と許容変位 δ_a (m) との比 E/δ_a (tf), 縦軸は係留船舶の動揺による防衛工の最大

変位 δ_{max} (m) と許容変位 δ_a との比 δ_{max}/δ_a である。図は有義波高0.5m, 有義波周期6s, 8s, 10s(または8s, 10s, 12s), 風向120°, 平均風速0m/s, 10m/sとして, その条件の組合わせごとに一枚の図面中に波向30°, 60°, 90°の計算結果をそれぞれ○, △, □で示している。また, 図中の実線は各波向別の E/δ_a に対する δ_{max}/δ_a の関係を回帰計算結果を行って示したものである。

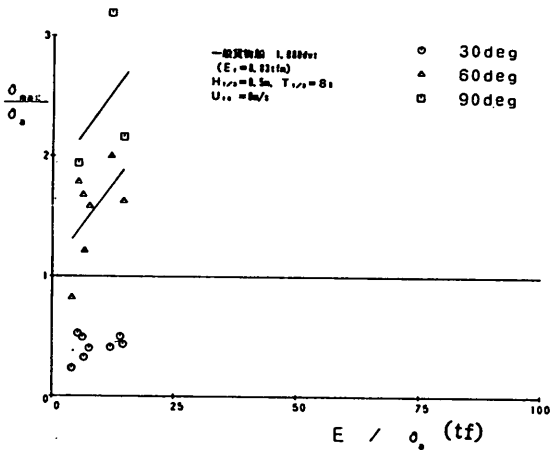
これらの図を用いることによって, 選定した防衛工の E/δ_a を計算すれば, E/δ_a と δ_{max}/δ_a の関係より防衛工の最大変位 δ_{max} が推定できる。また, $\delta_{max}/\delta_a \leq 1$ となる防衛工の条件が推定できる。



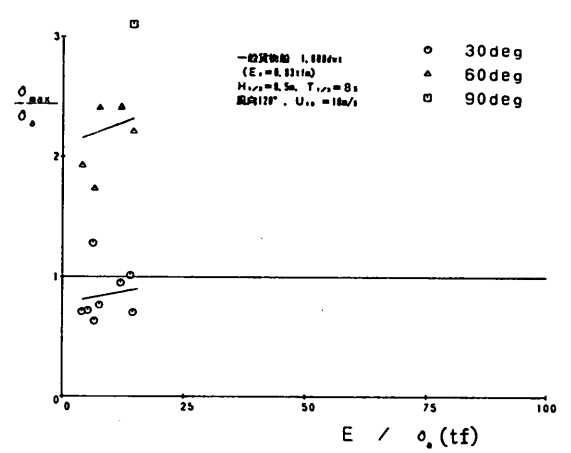
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期6s



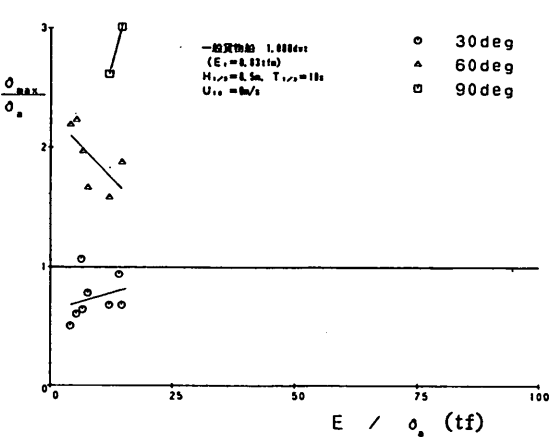
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期6s



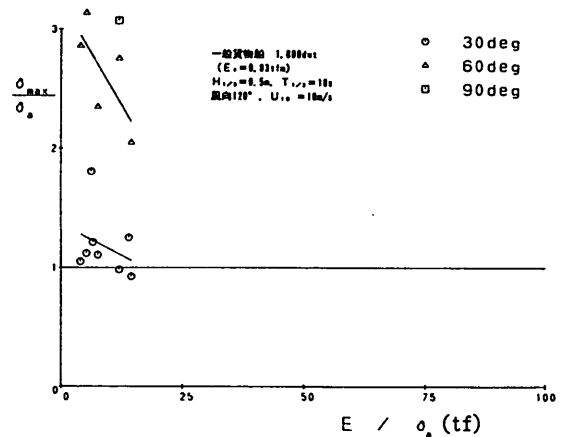
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s

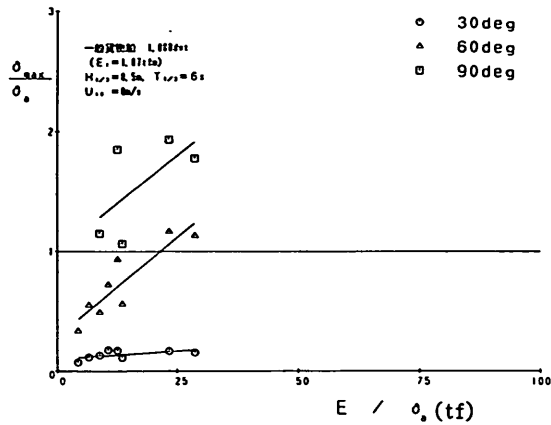


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

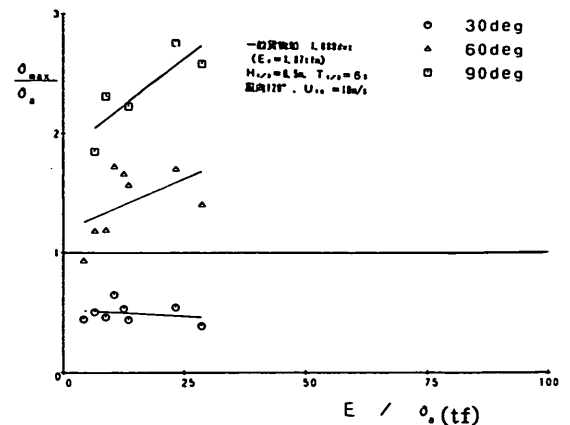


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

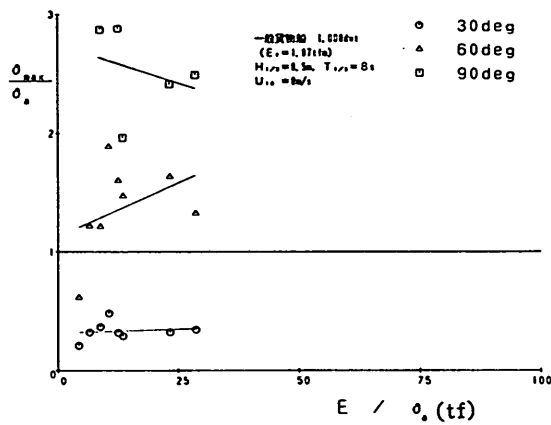
付図-2.1 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係(一般貨物船, 1,000dwt, 接岸エネルギー0.83tf·m)



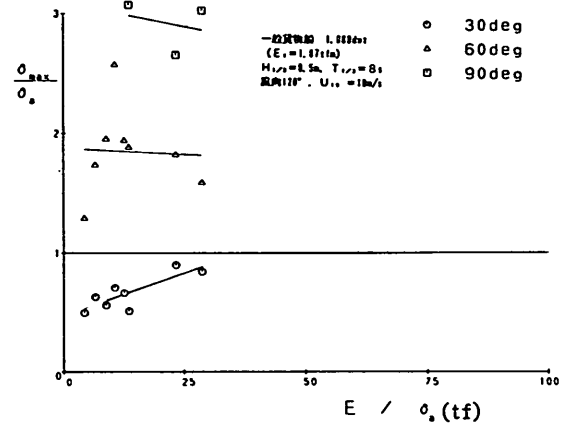
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期6s



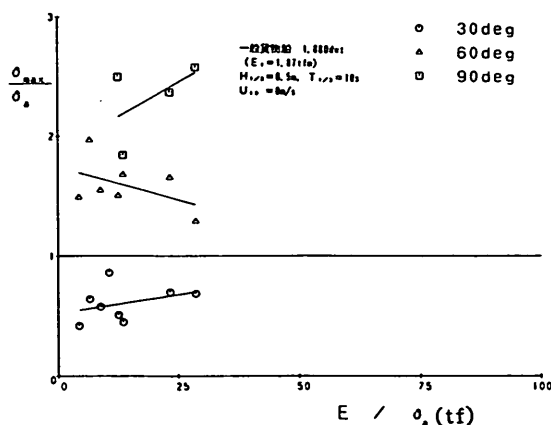
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期6s



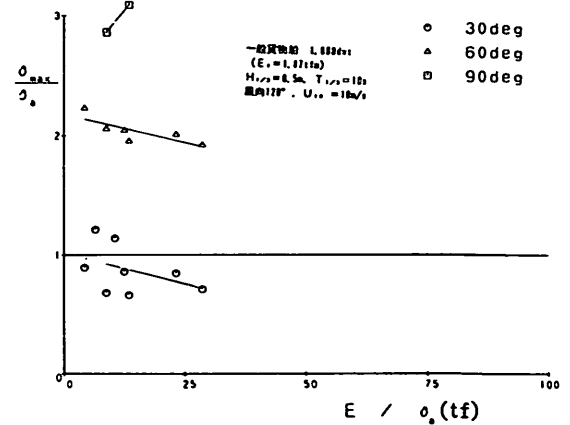
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s

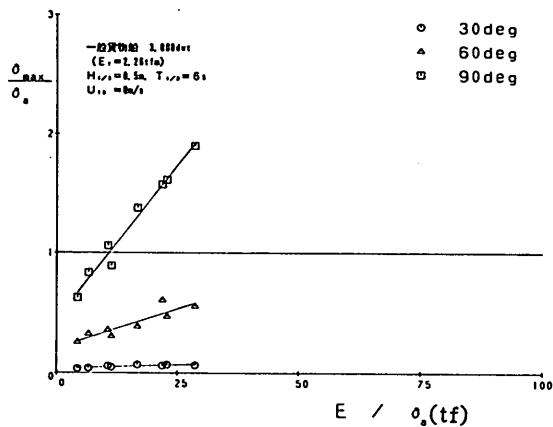


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

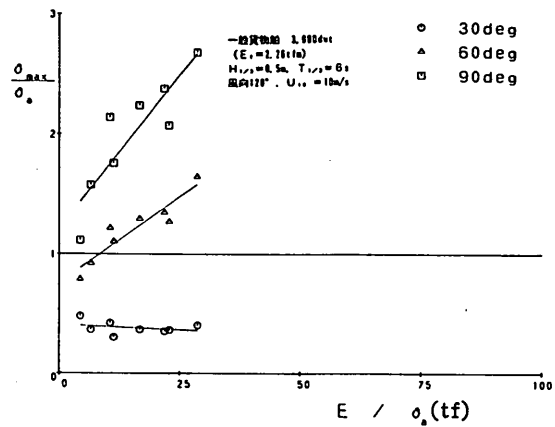


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

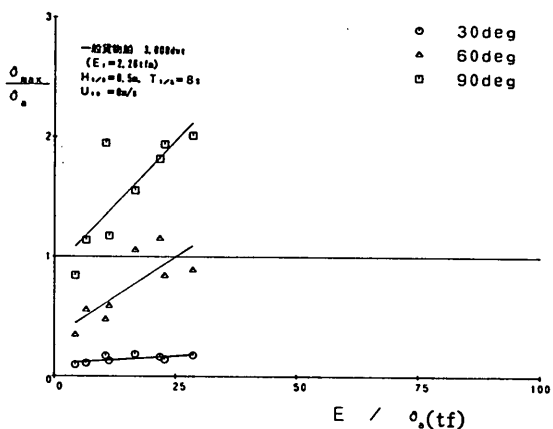
付図-2.2 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の關係(一般貨物船, 1,000dwt, 接岸エネルギー1.87tf·m)



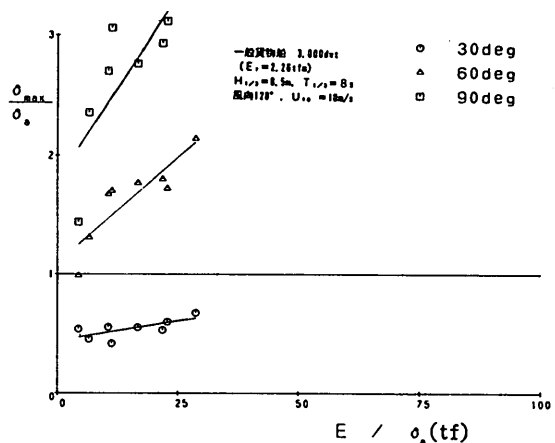
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期6s



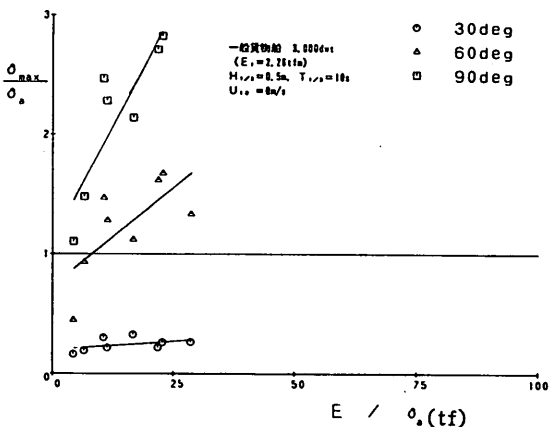
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期6s



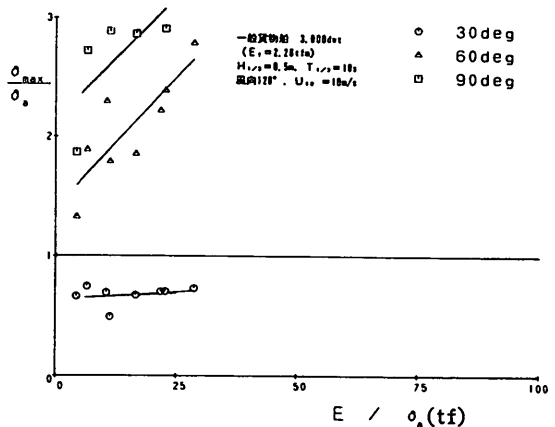
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s

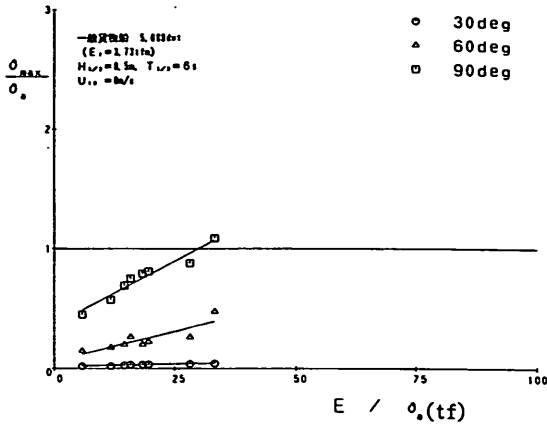


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

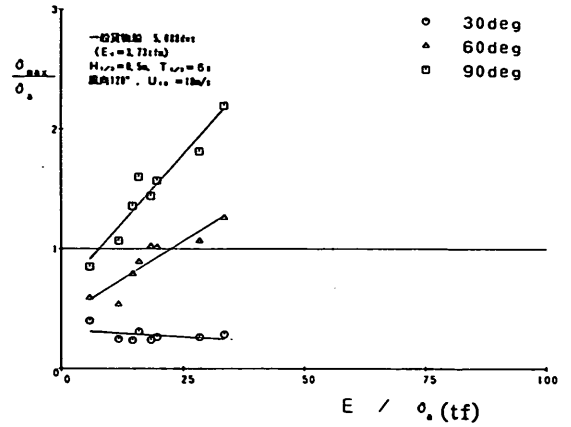


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

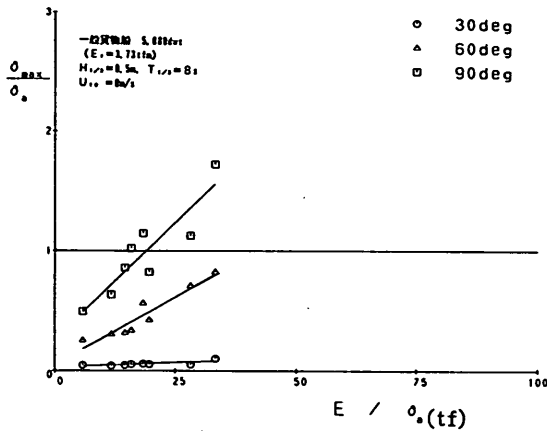
付図-2.3 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係 (一般貨物船, 3,000dwt, 接岸エネルギー2.26tf·m)



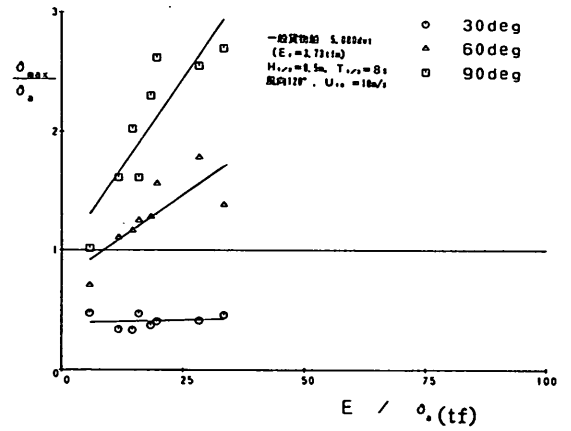
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期6s



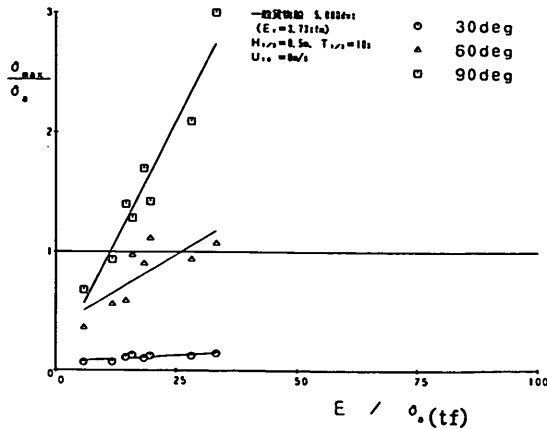
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期6s



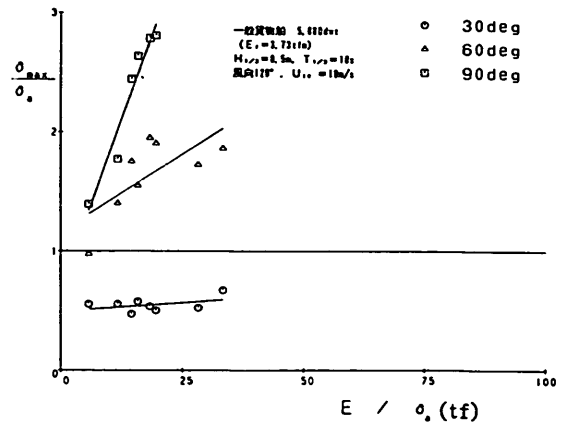
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s

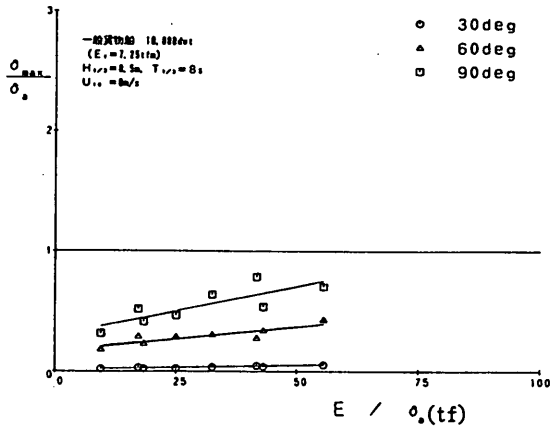


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

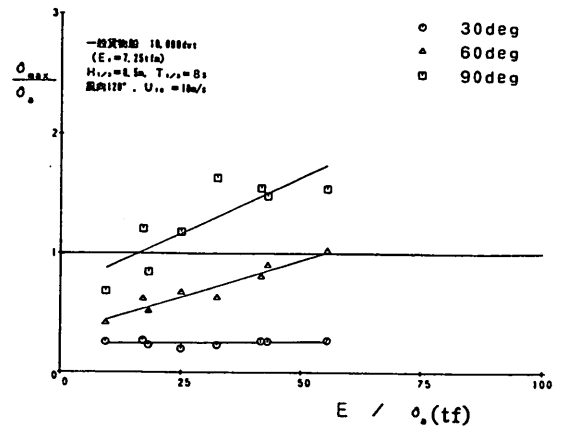


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

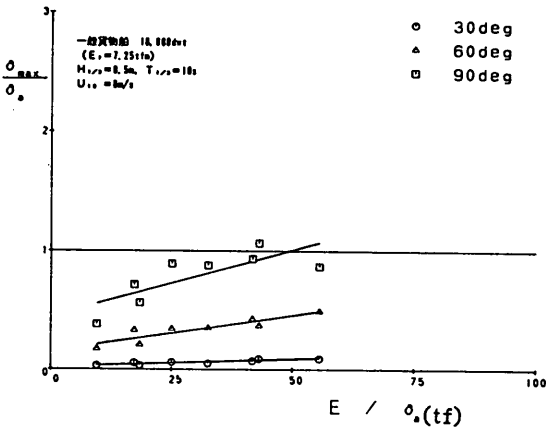
付図-2.4 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係 (一般貨物船, 5,000dwt, 接岸エネルギー3.73tf·m)



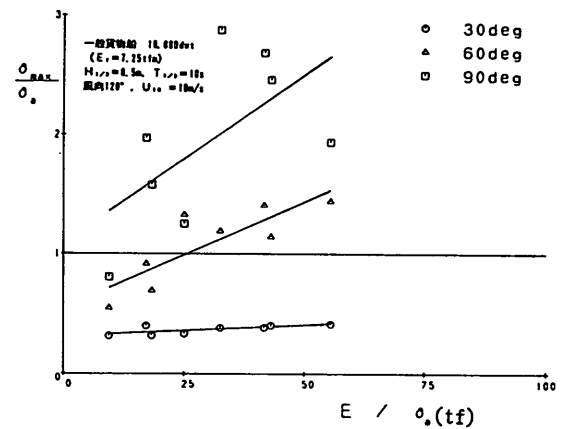
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



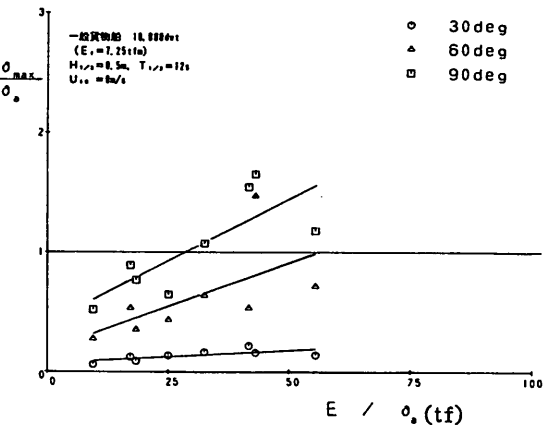
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



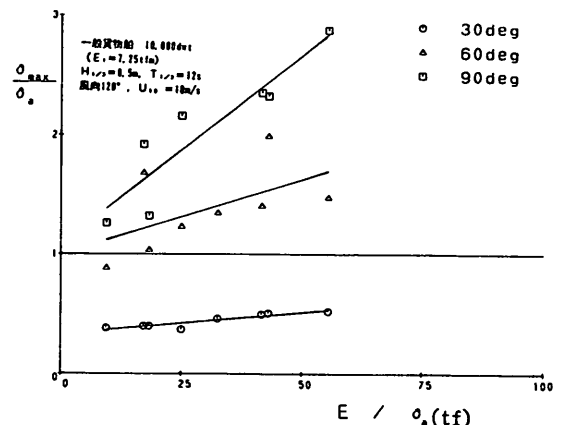
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

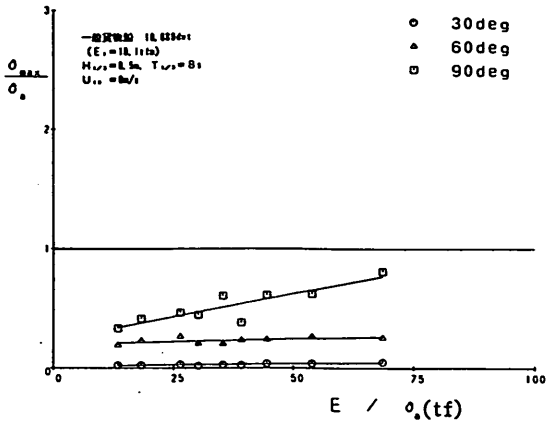


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

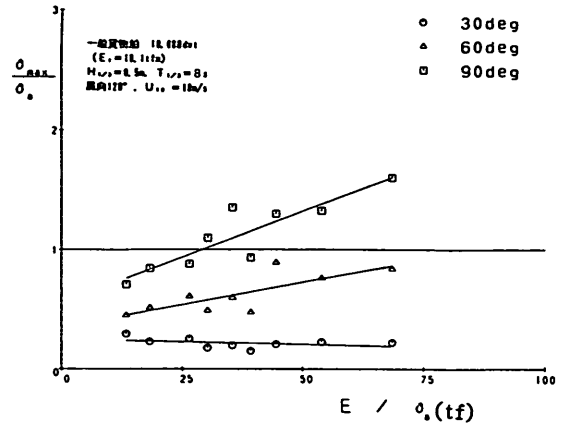


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

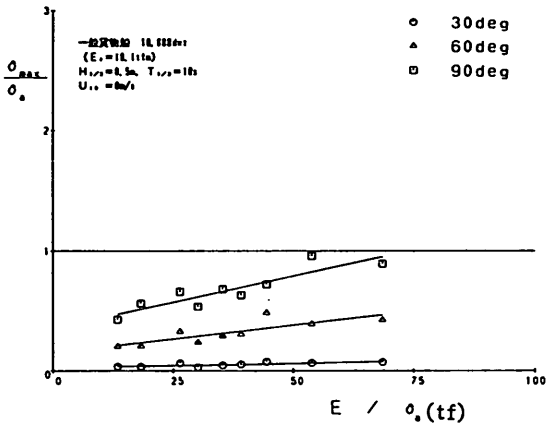
付図-2.5 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係(一般貨物船, 10,000dwt, 接岸エネルギー7.25tf·m)



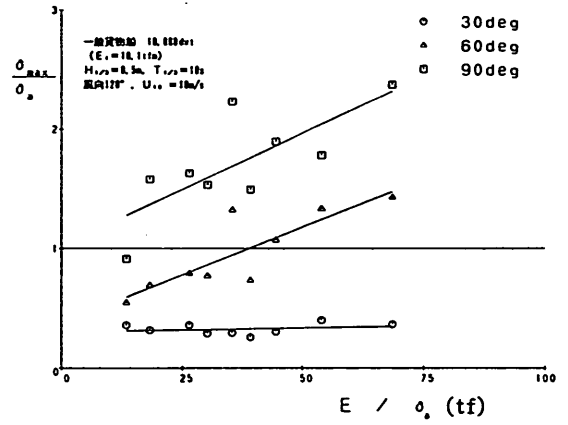
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期 8 s



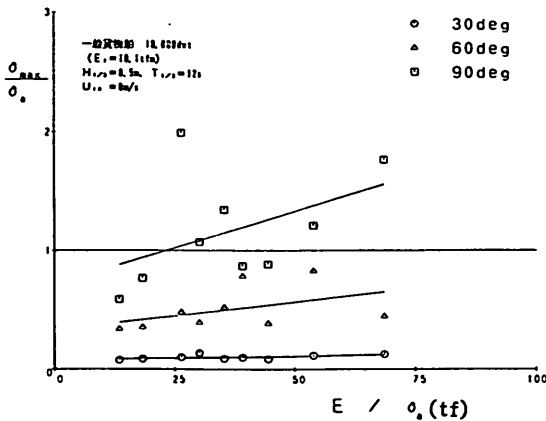
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期 8 s



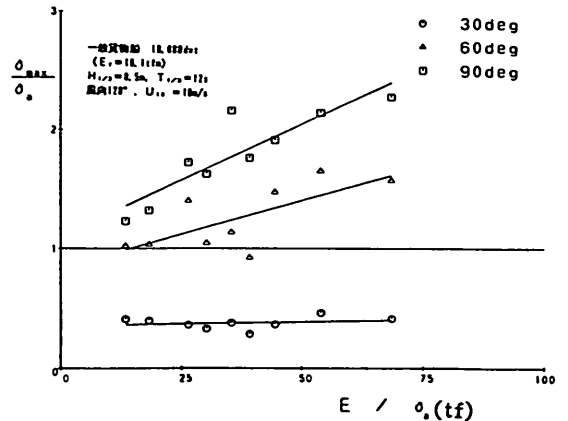
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

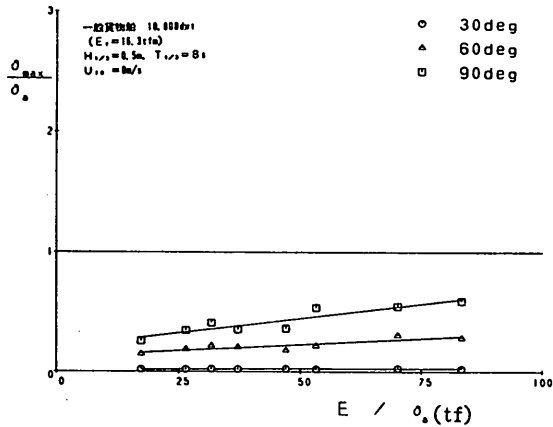


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

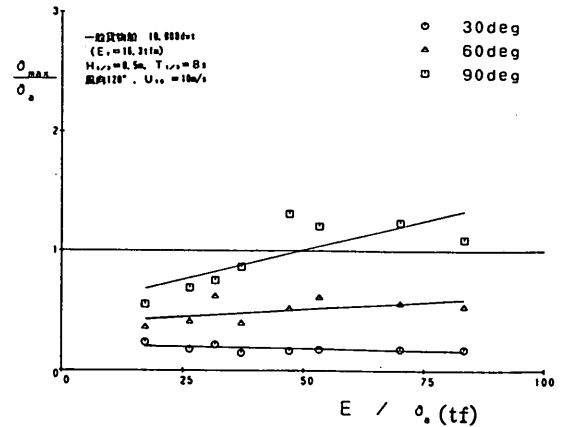


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

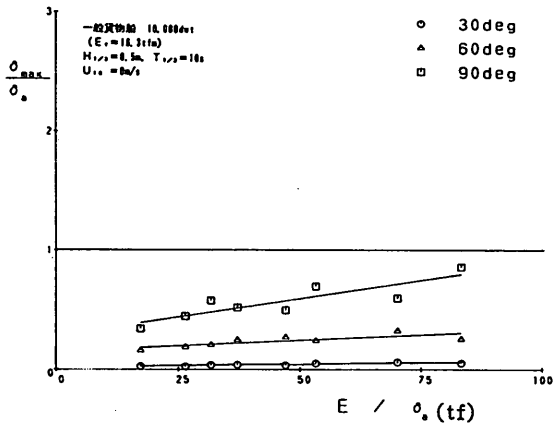
付図-2.6 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の關係(一般貨物船, 10,000dwt, 接岸エネルギー10.1tf·m)



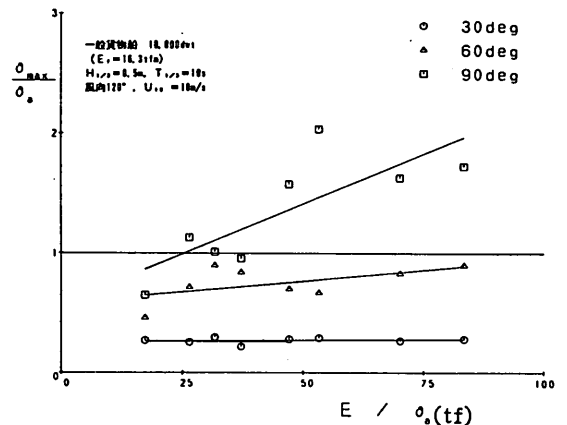
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



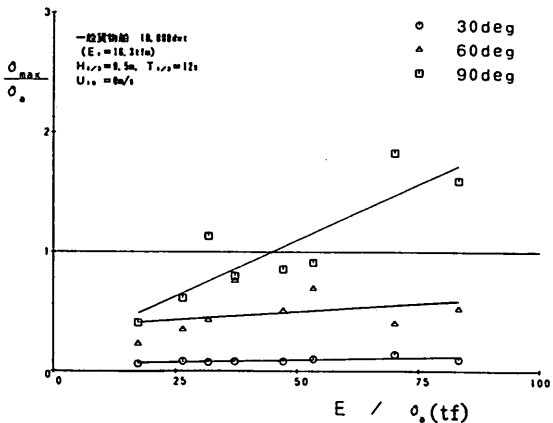
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



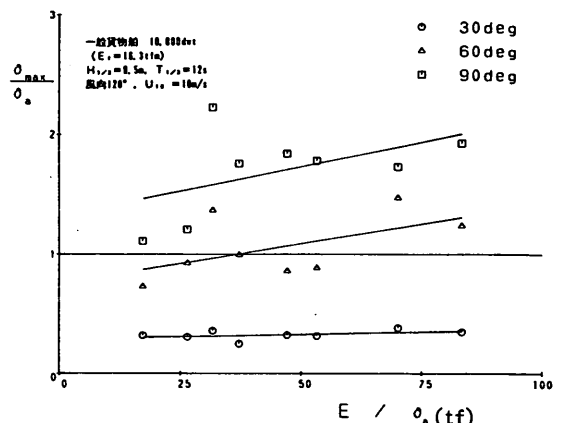
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

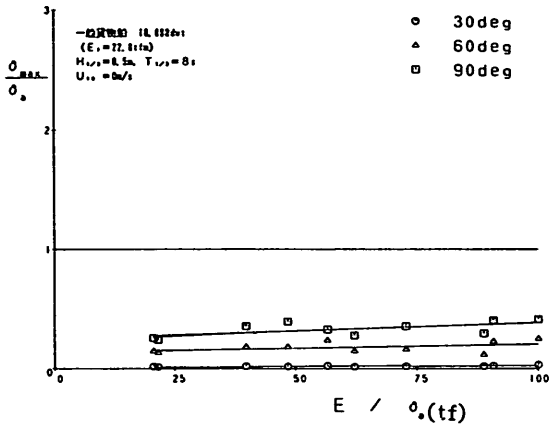


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

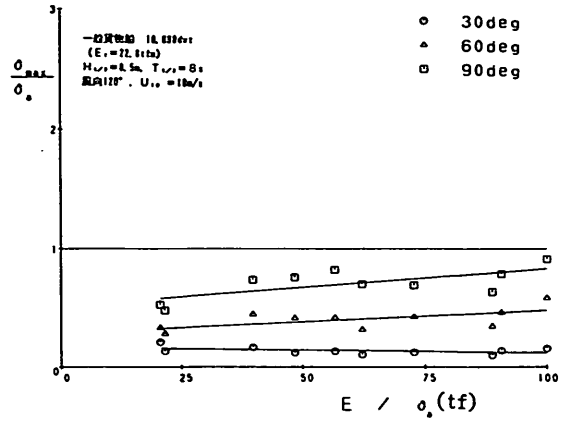


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

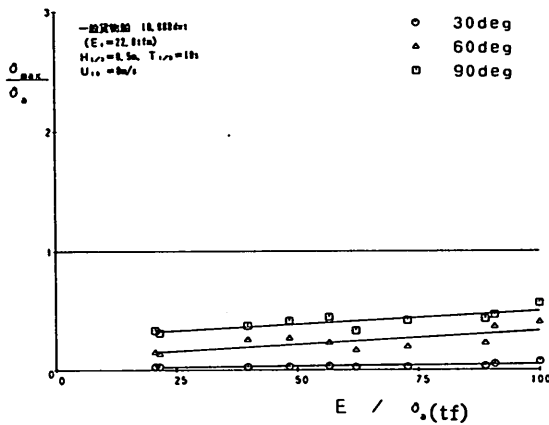
付図-2.7 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係(一般貨物船, 10,000dwt, 接岸エネルギー16.3tf·m)



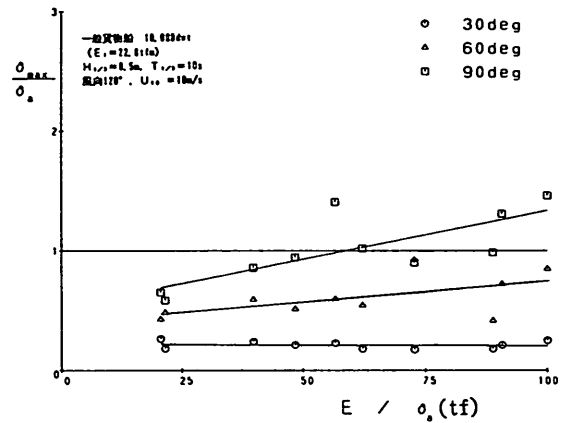
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



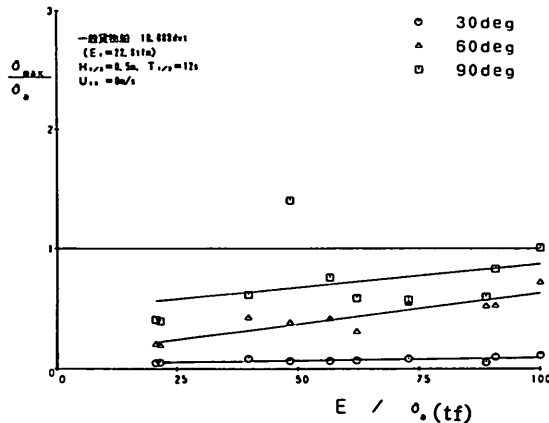
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



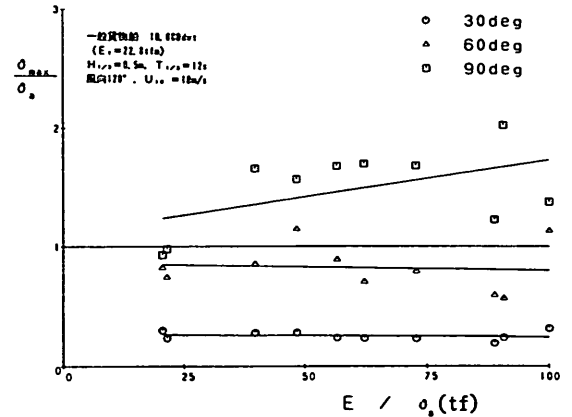
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

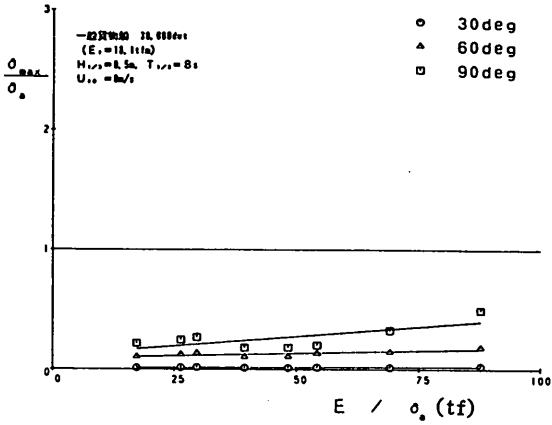


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

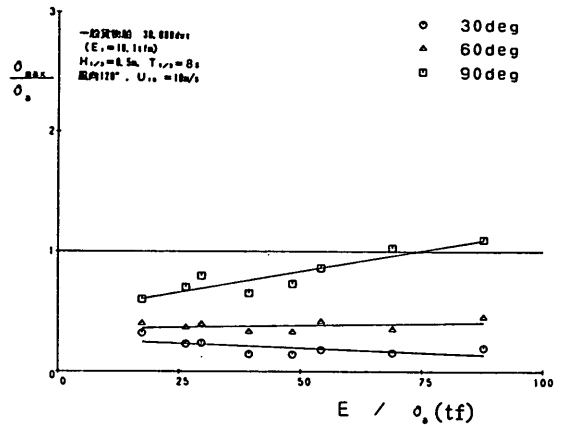


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

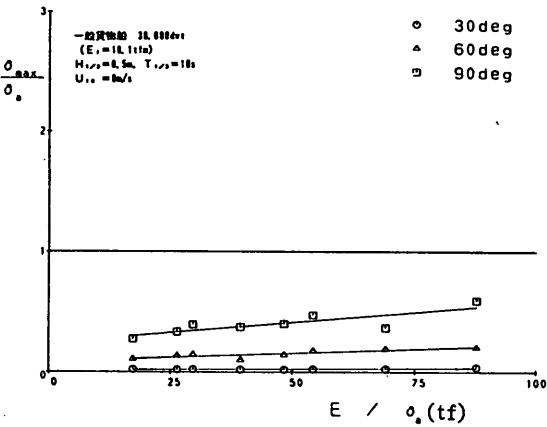
付図-2.8 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係 (一般貨物船, 10,000dwt, 接岸エネルギー22.8tf·m)



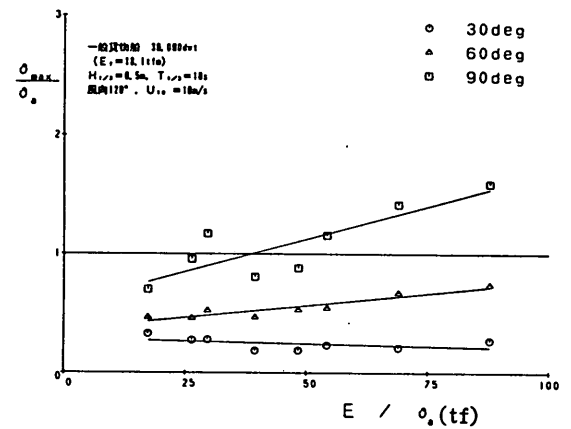
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



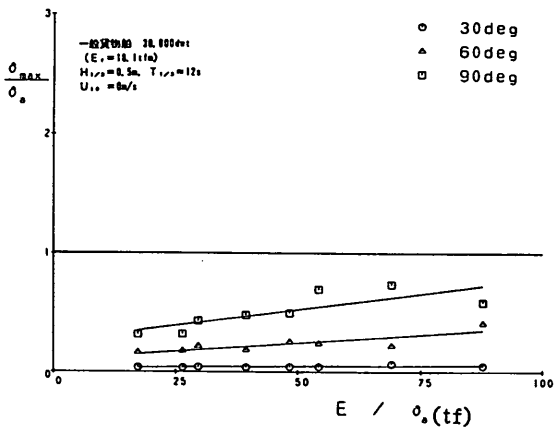
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



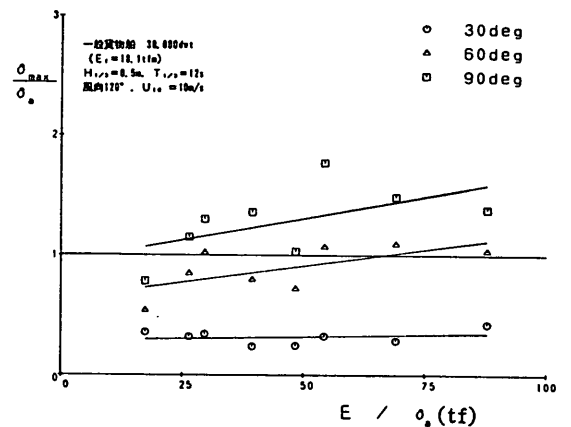
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

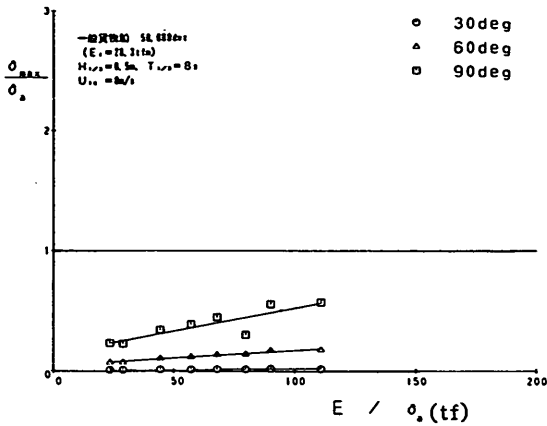


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

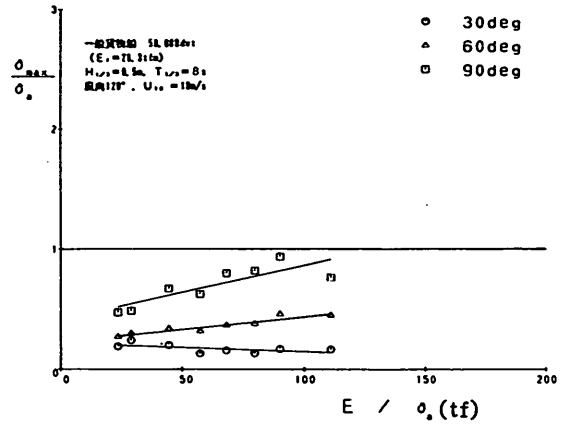


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

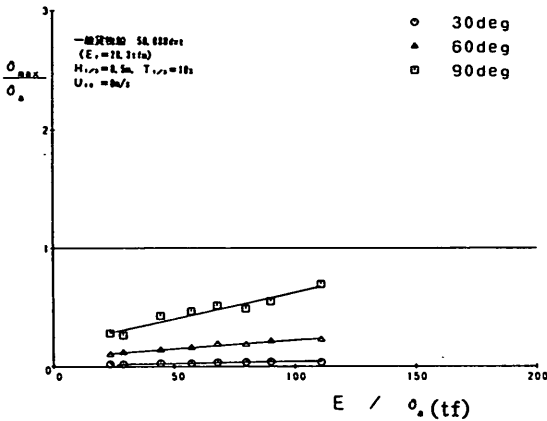
付図-2.9 E / σ_a と δ_{max} / δ_a の關係(一般貨物船, 30,000dwt, 接岸エネルギー18.1tf·m)



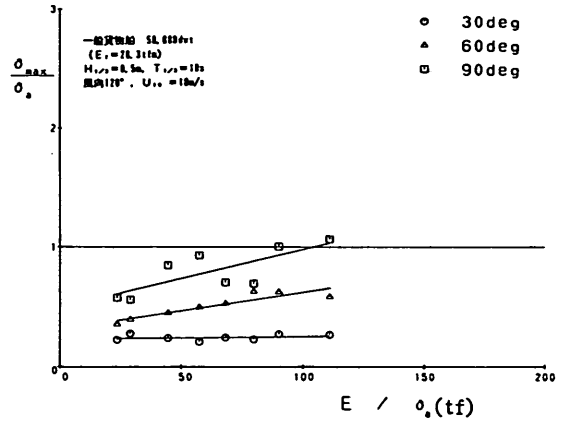
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



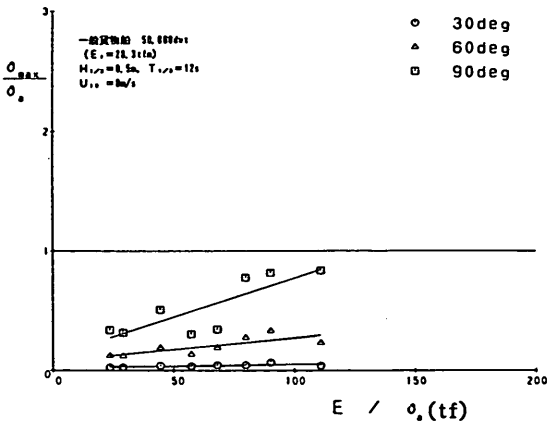
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



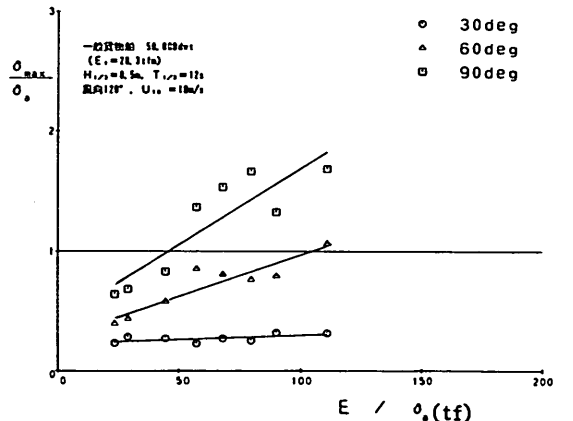
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

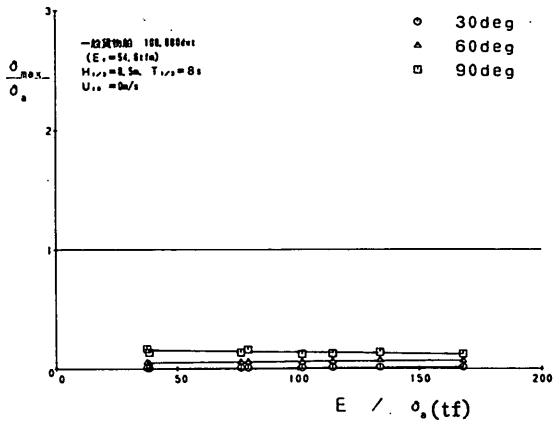


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

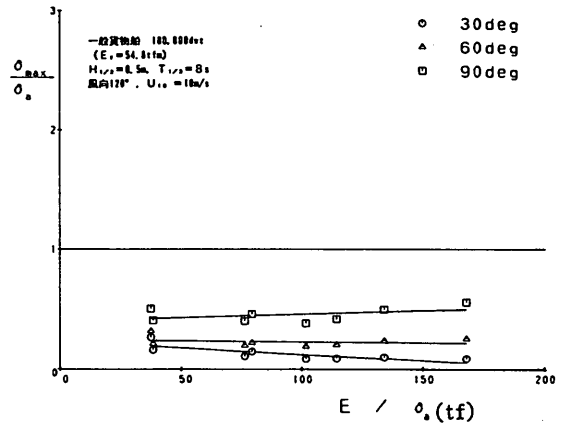


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

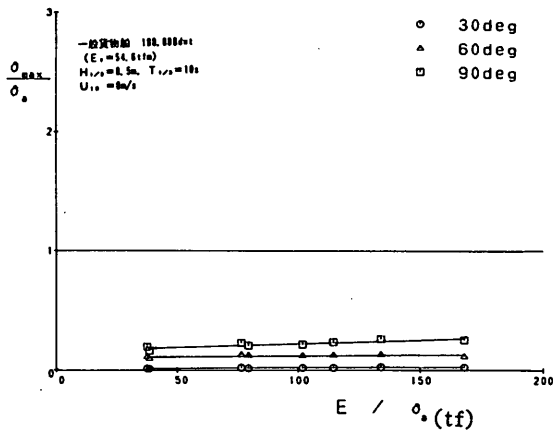
付図-2.10 E / σ_a と δ_{max} / δ_a の関係(一般貨物船, 50,000dwt, 接岸エネルギー28.3tf·m)



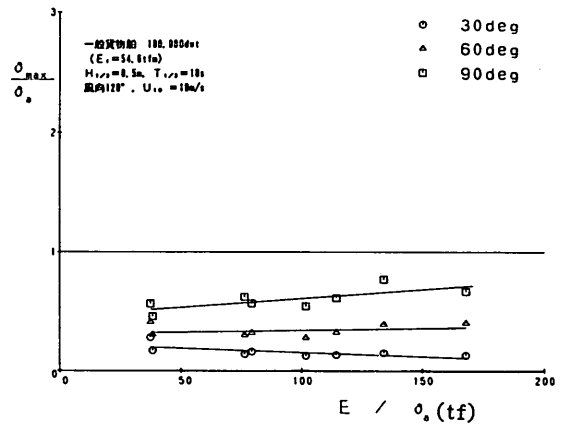
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



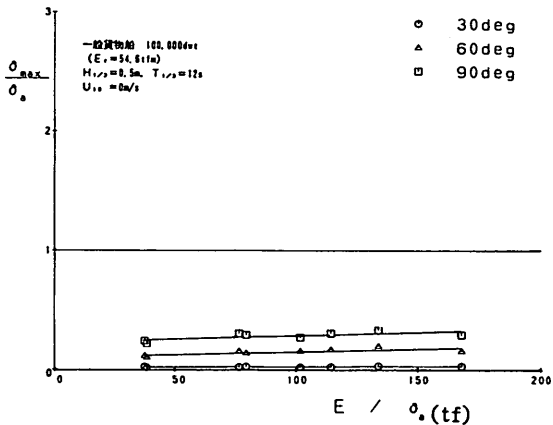
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



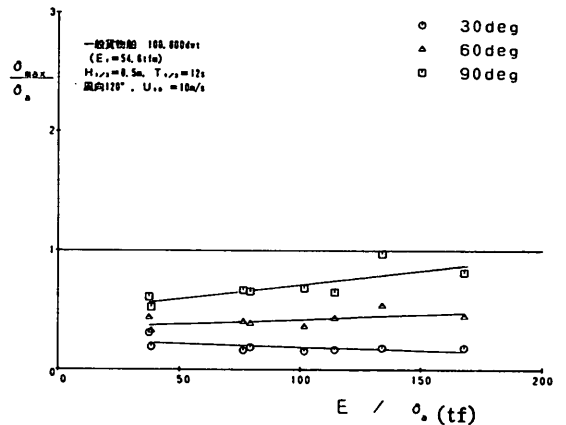
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

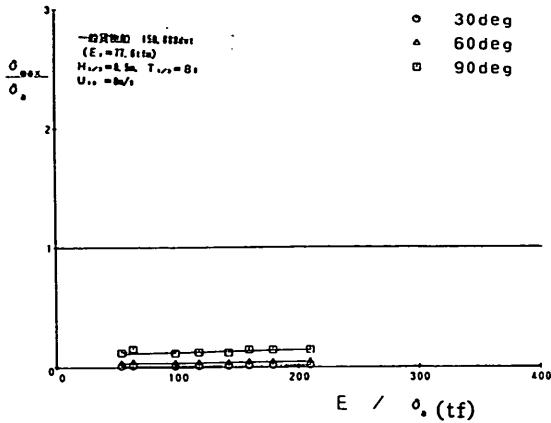


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

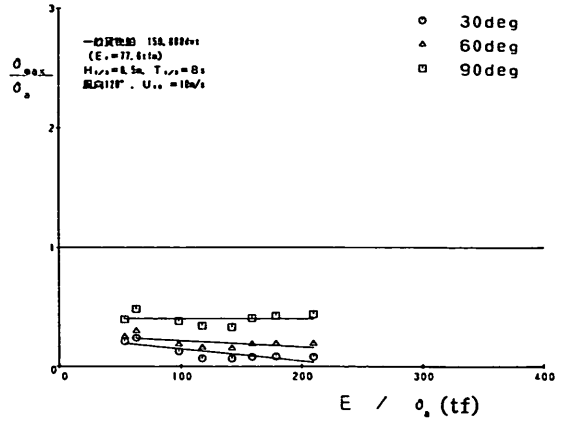


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

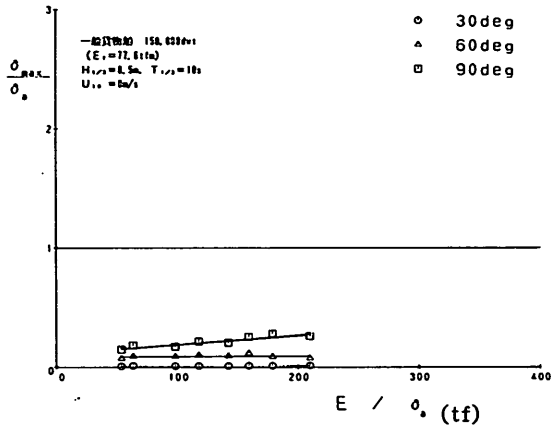
付図-2.11 E / δ_a と $\delta_{\text{max}} / \delta_a$ の関係(一般貨物船, 100,000dwt, 接岸エネルギー54.6tf·m)



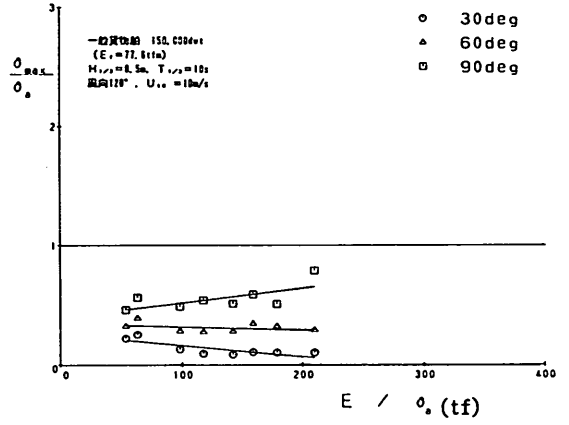
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



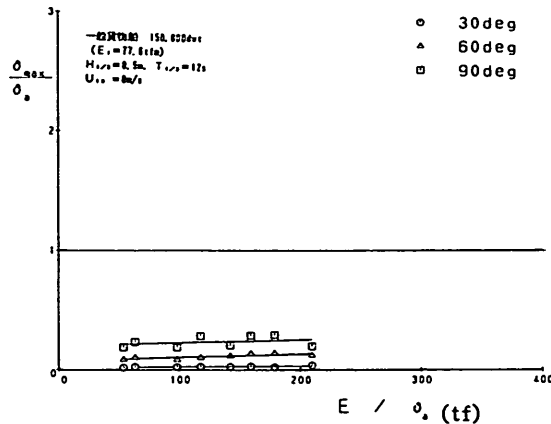
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



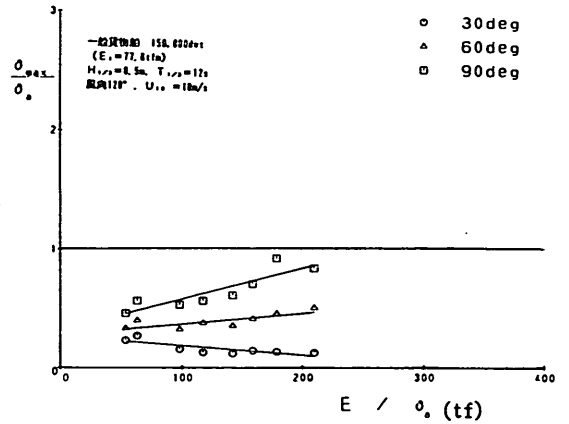
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

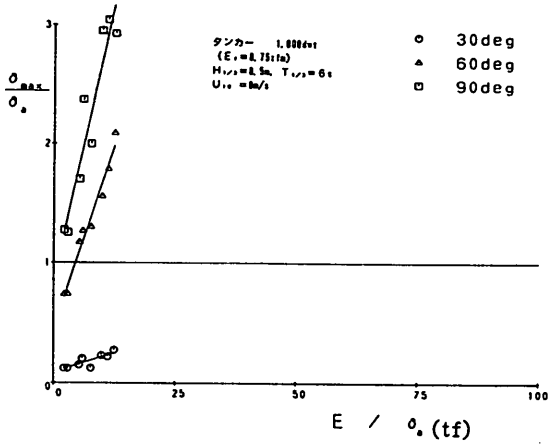


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

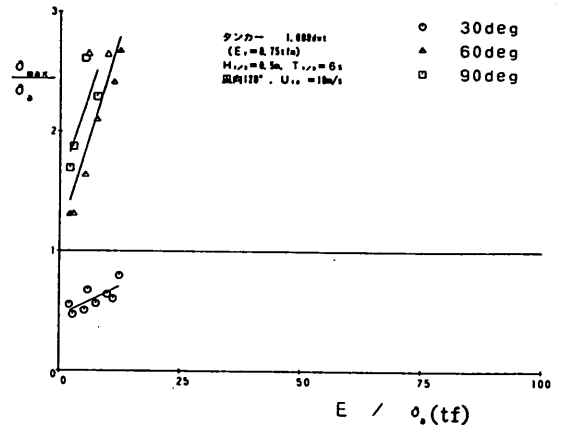


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

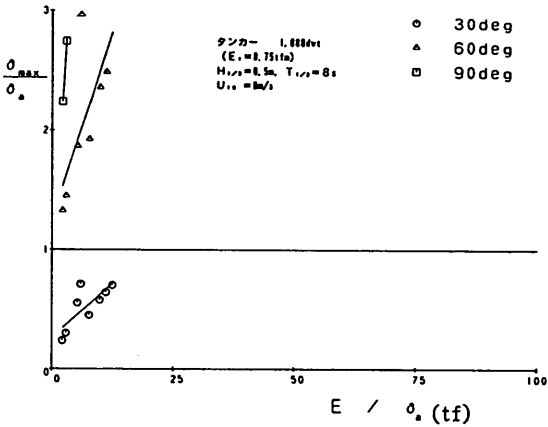
付図-2.12 E / δ_a と δ_{\max} / δ_a の関係(一般貨物船, 150,000dwt, 接岸エネルギー77.6tf·m)



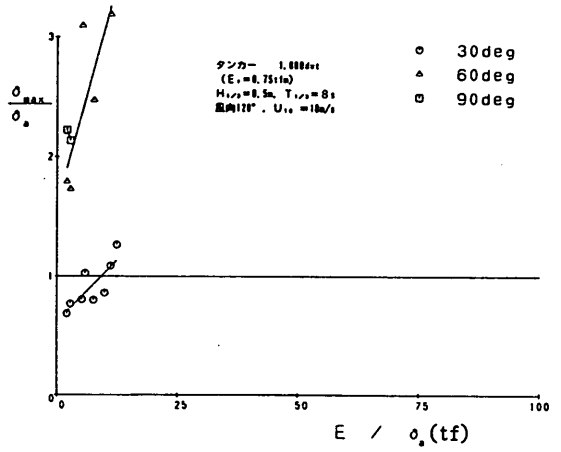
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期6s



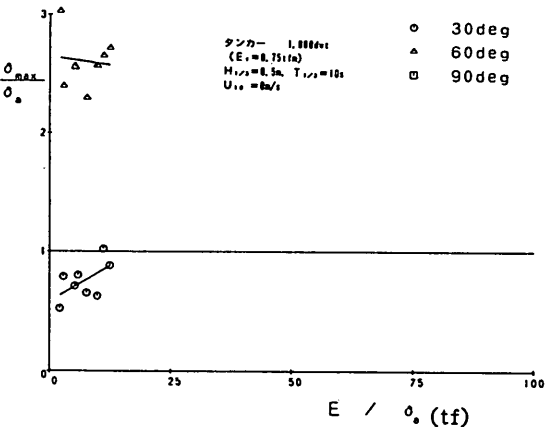
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期6s



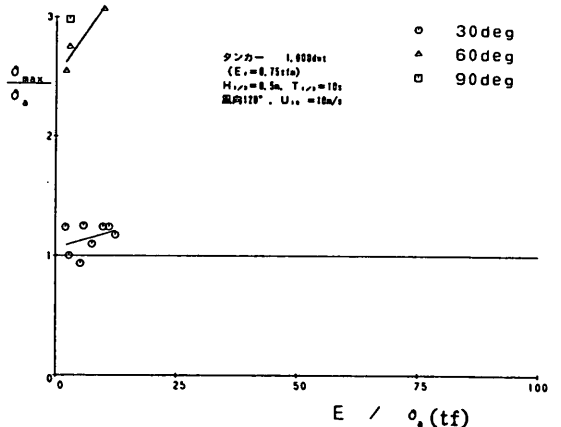
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s

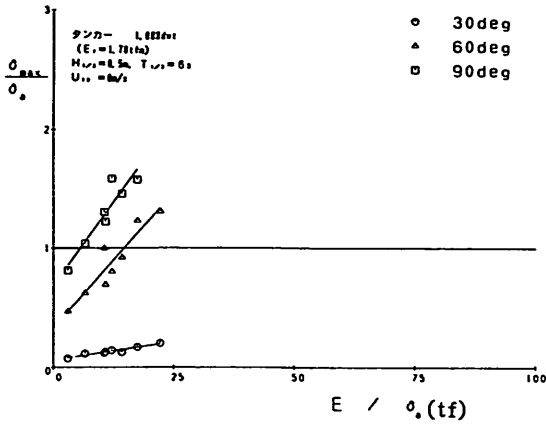


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

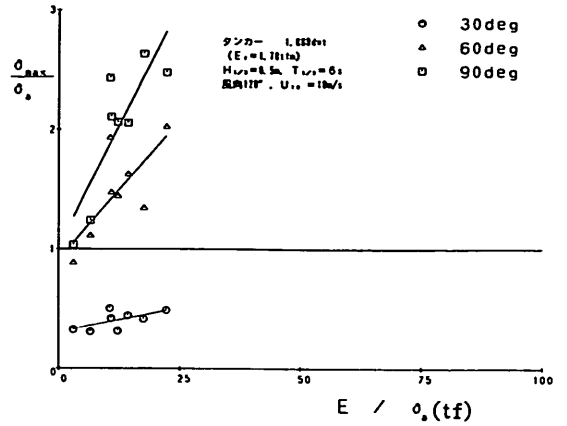


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

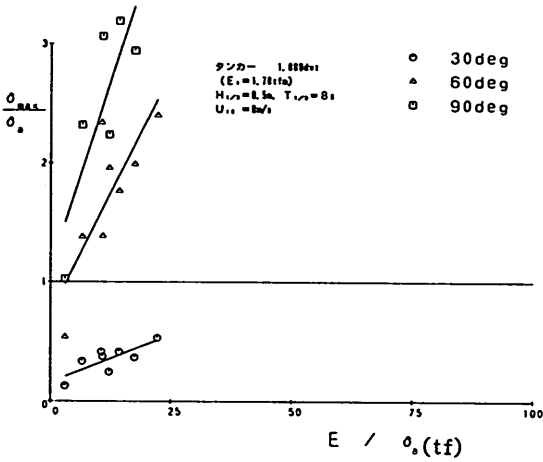
付図-2.13 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係 (タンカー, 1,000dwt, 接岸エネルギー $0.75 \text{tf} \cdot \text{m}$)



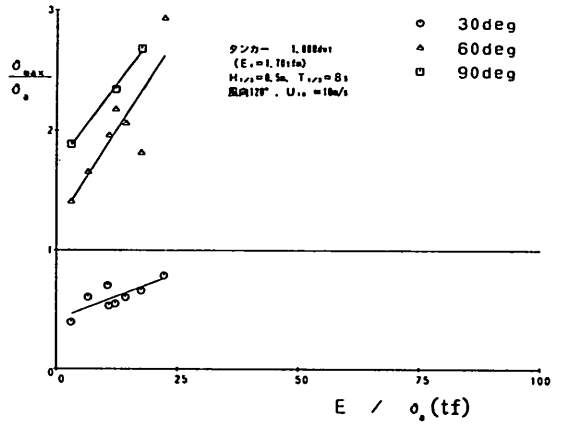
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期6s



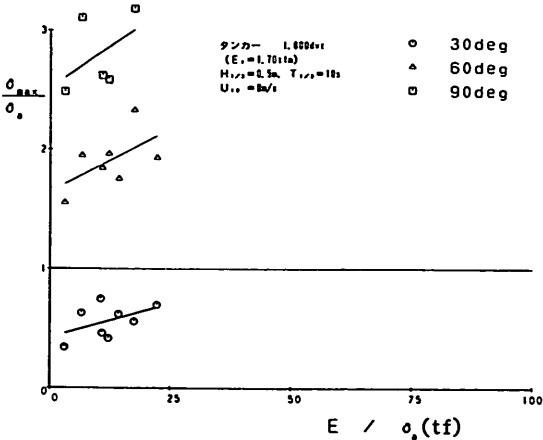
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期6s



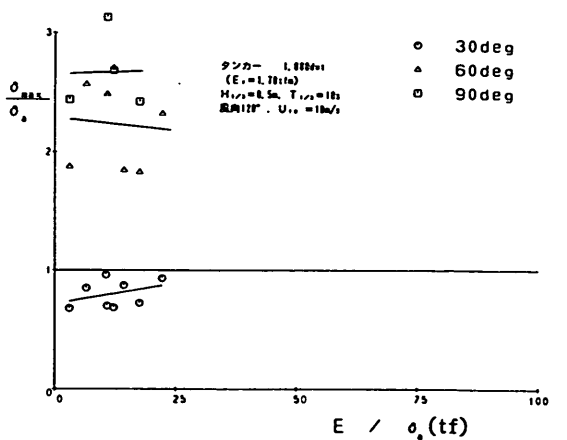
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s

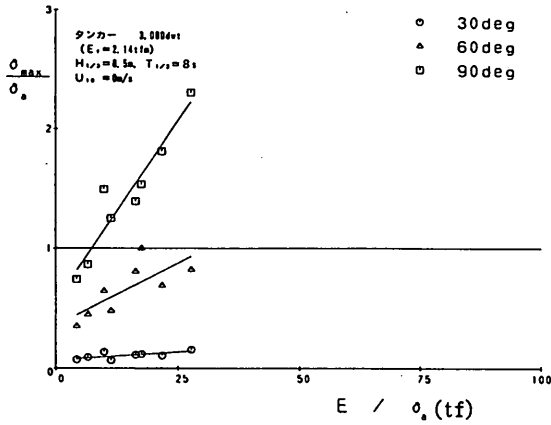


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

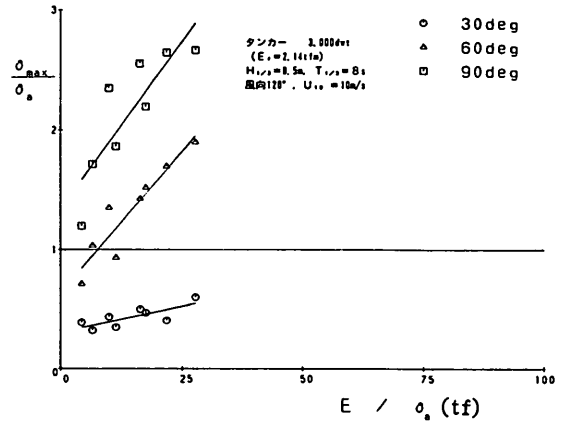


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

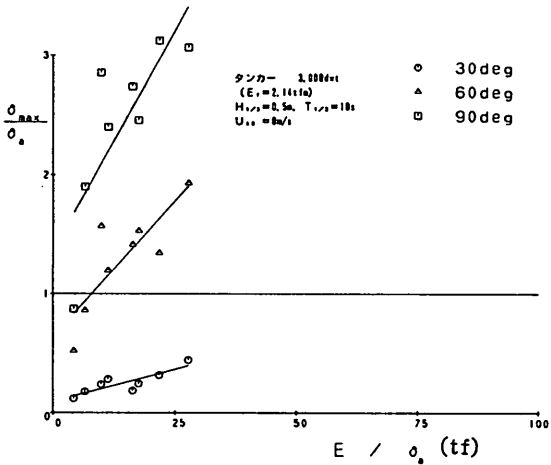
付図-2.14 E / σ_a と δ_{max} / δ_a の関係 (タンカー, 1,000dwt, 接岸エネルギー1.70tf・m)



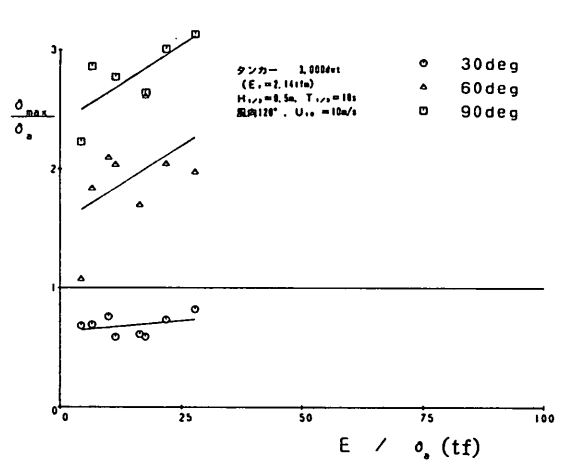
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



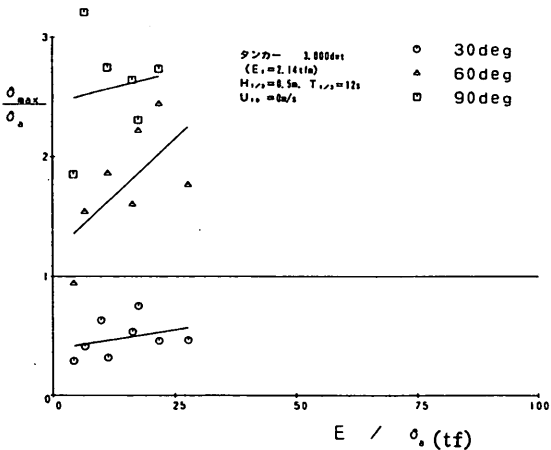
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



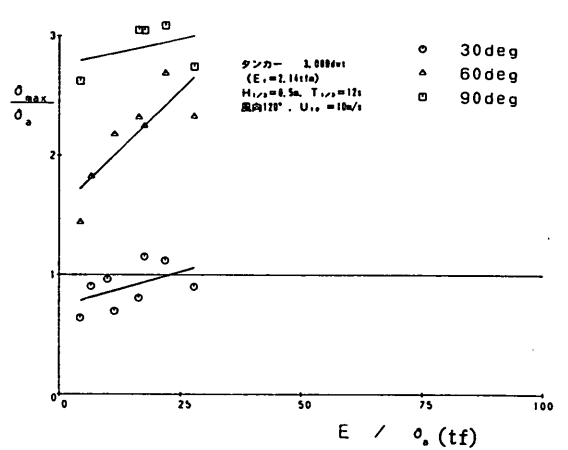
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

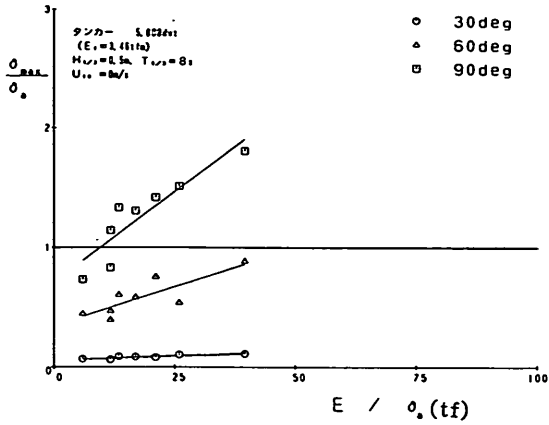


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

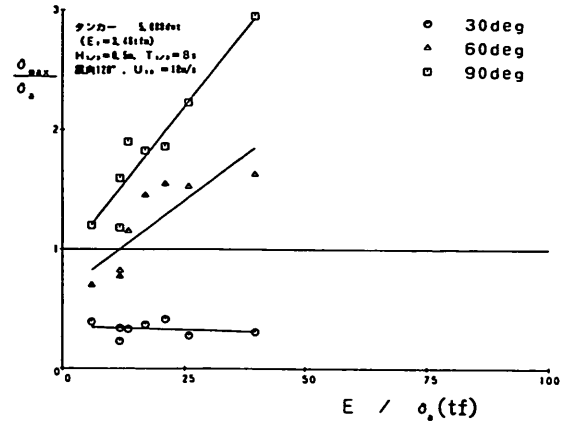


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

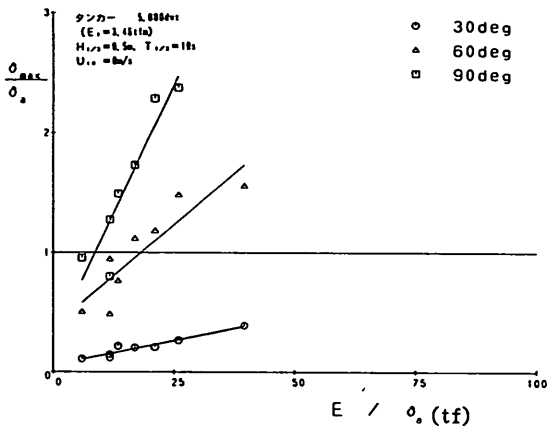
付図-2.15 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係(タンカー, 3,000dwt, 接岸エネルギー2.14tf·m)



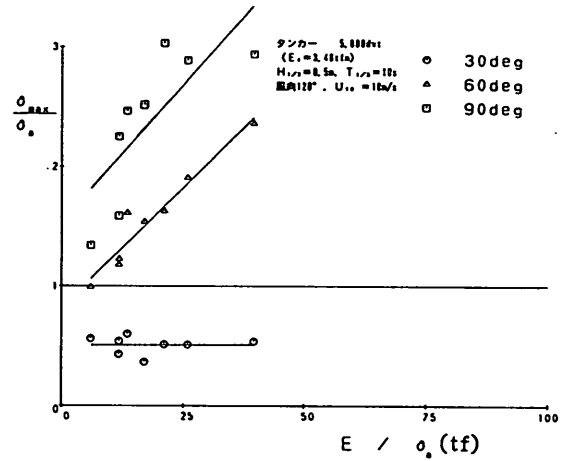
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8 s



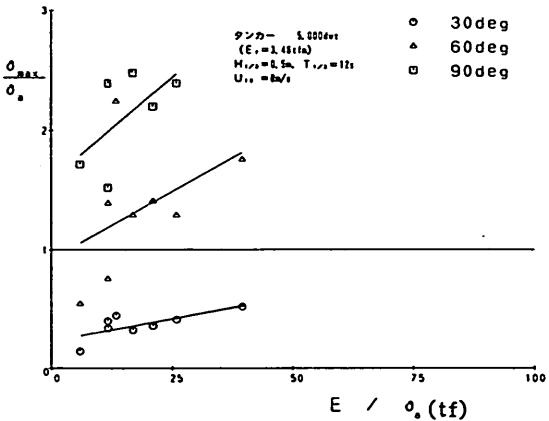
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8 s



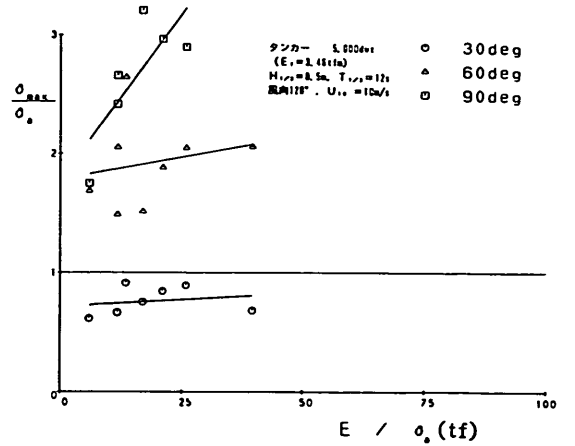
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

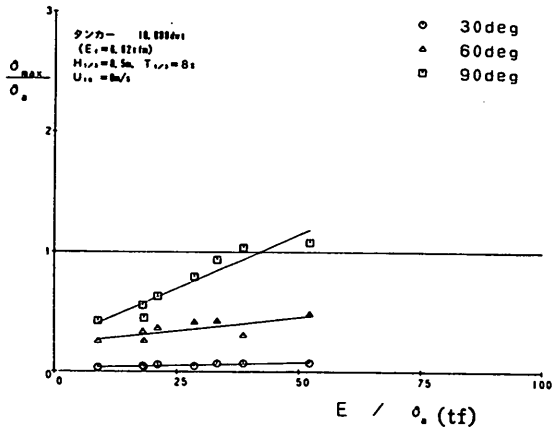


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

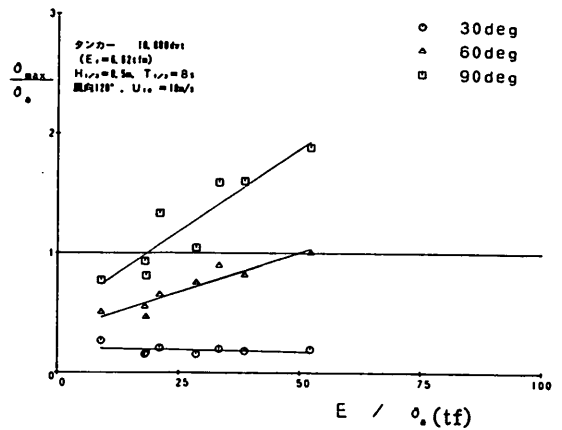


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

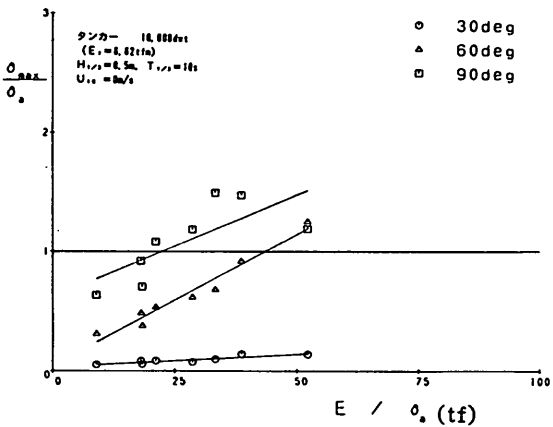
付図-2.16 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係(タンカー, 5,000dwt, 接岸エネルギー-3.46tf·m)



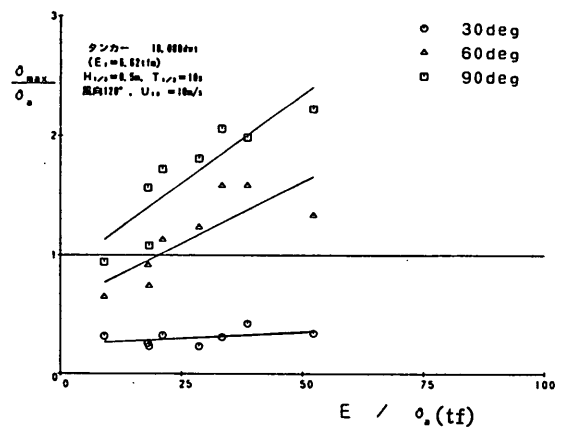
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



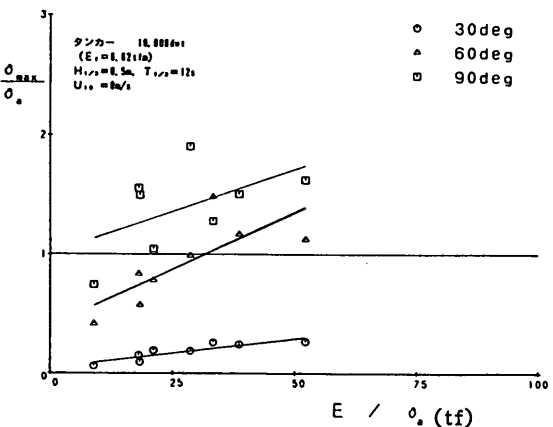
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



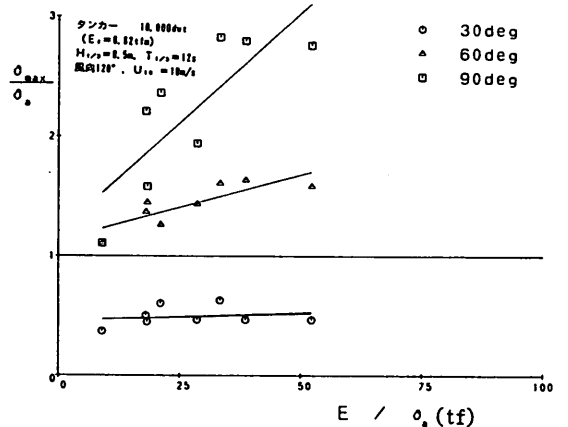
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

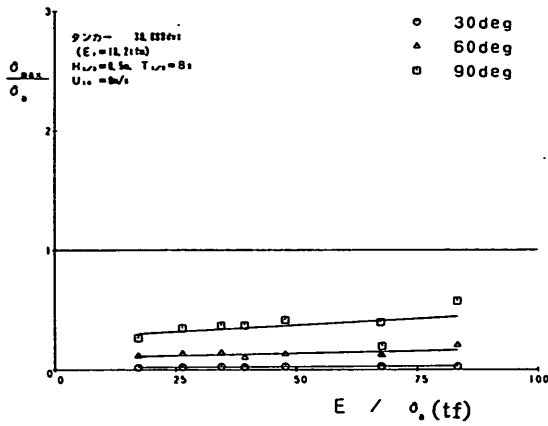


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

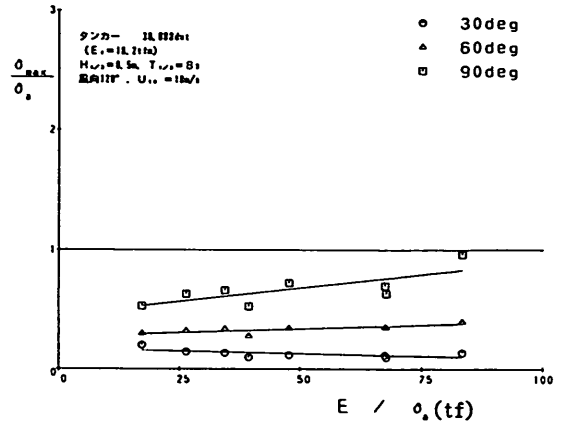


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

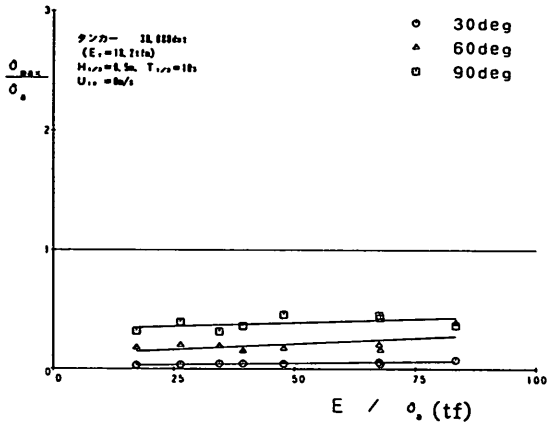
付図-2.17 E / δ_a と $\delta_{\text{MAX}} / \delta_a$ の関係(タンカー, 10,000dwt, 接岸エネルギー6.62tf·m)



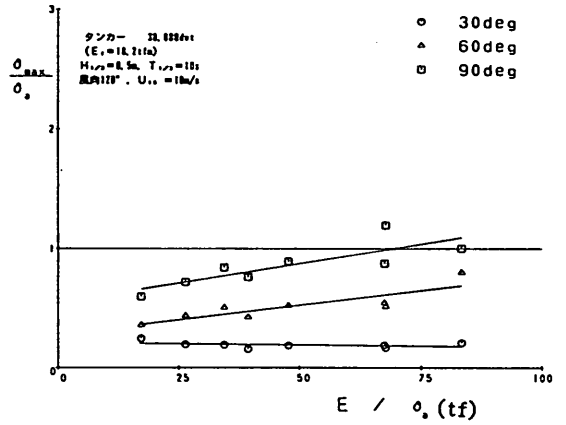
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



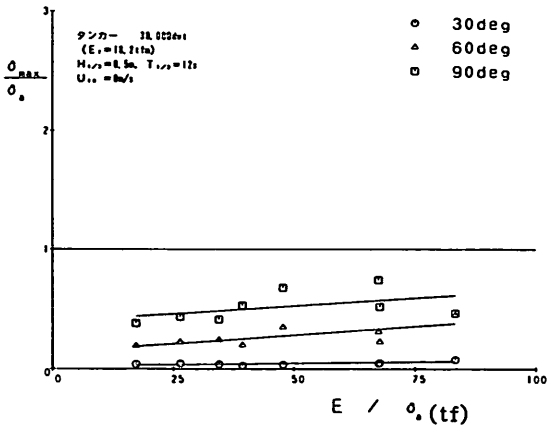
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



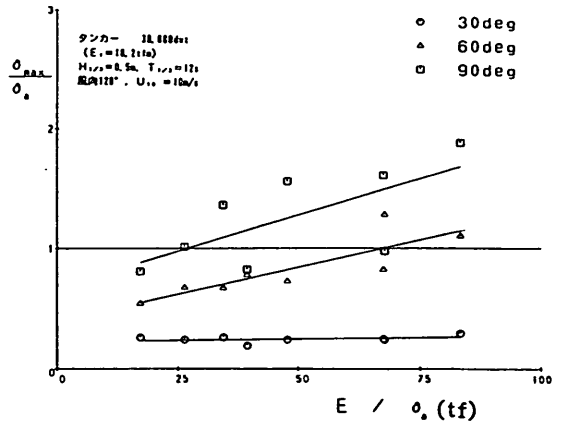
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

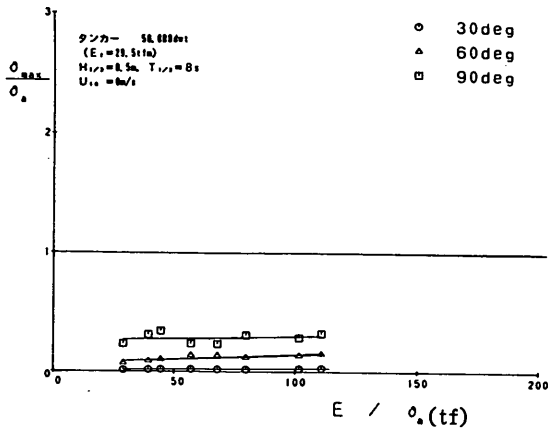


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

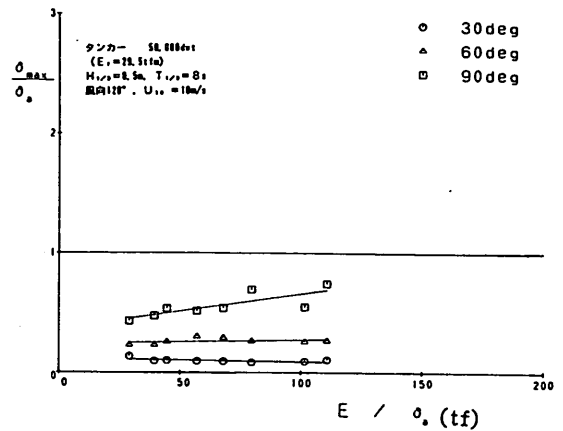


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

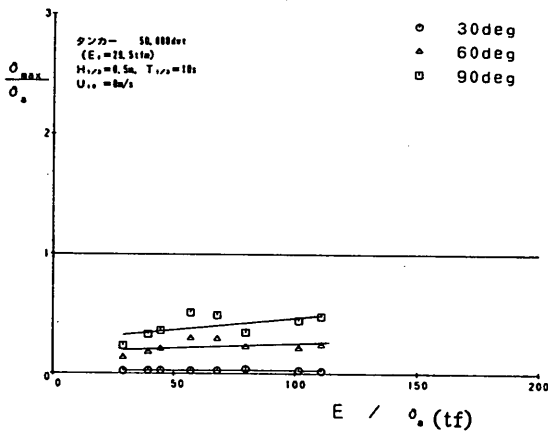
付図-2.18 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係(タンカー, 30,000dwt, 接岸エネルギー18.2tf·m)



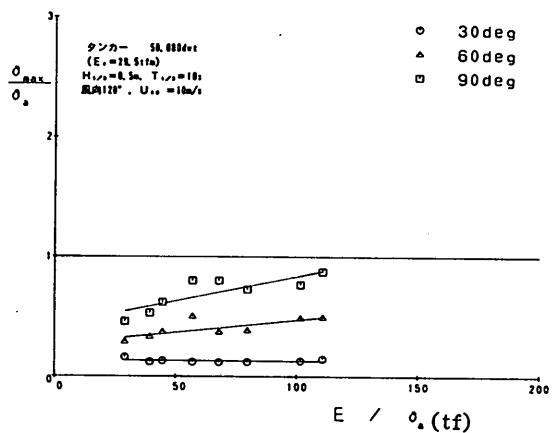
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



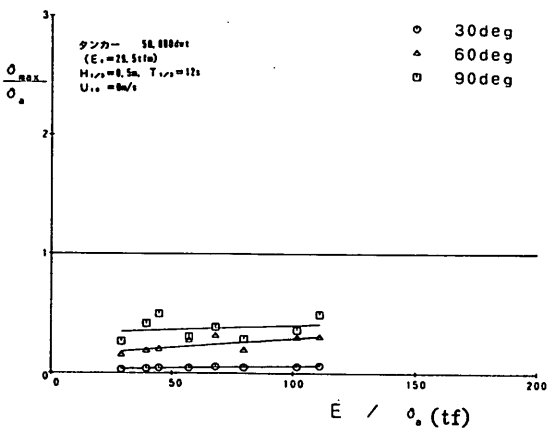
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



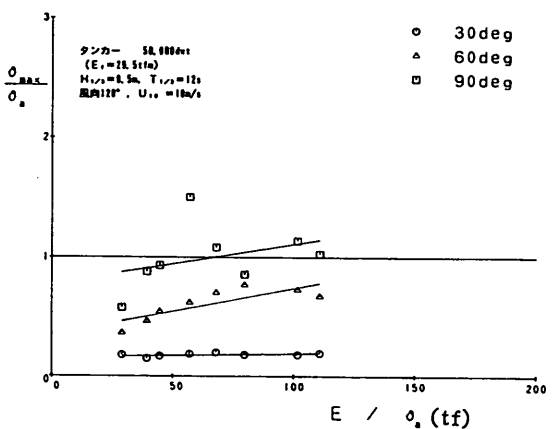
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

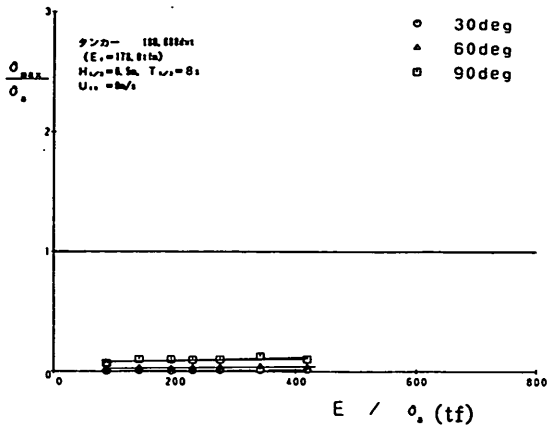


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

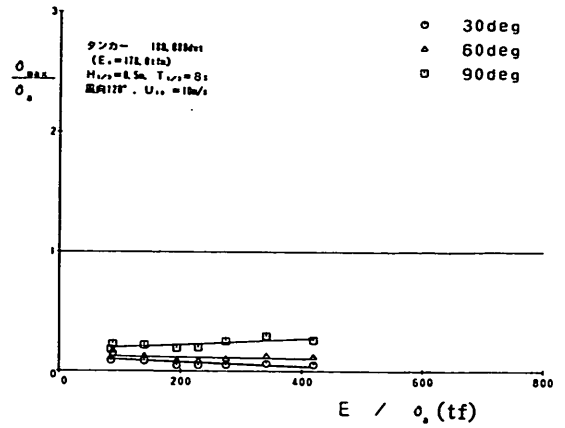


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

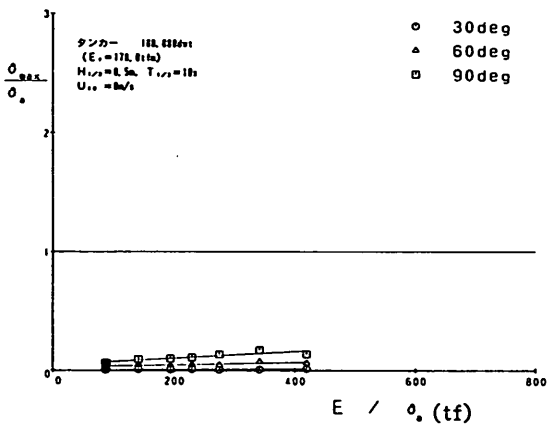
付図-2.19 E / δ_a と $\delta_{\text{MAX}} / \delta_a$ の関係(タンカー, 50,000dwt, 接岸エネルギー29.5tf·m)



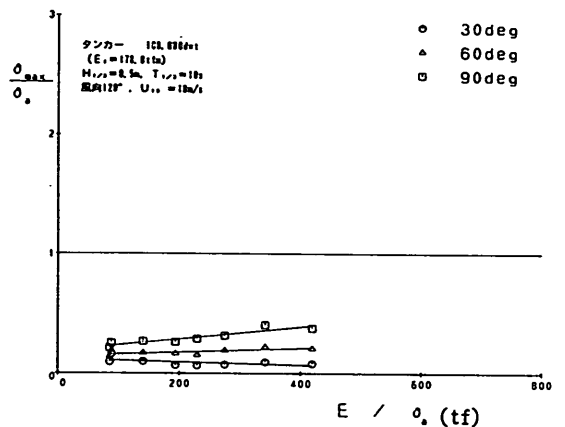
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



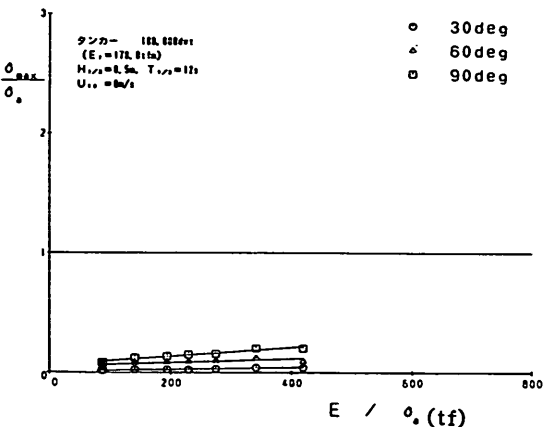
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



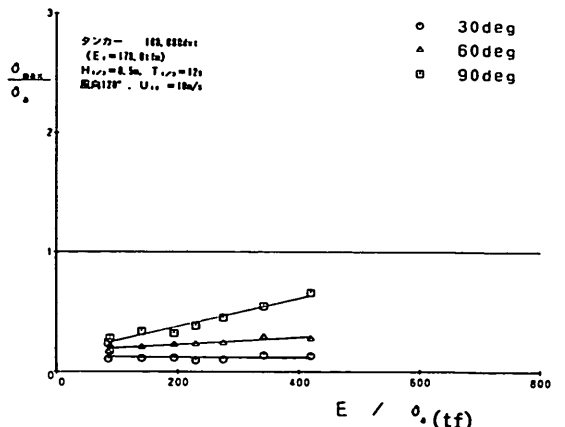
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

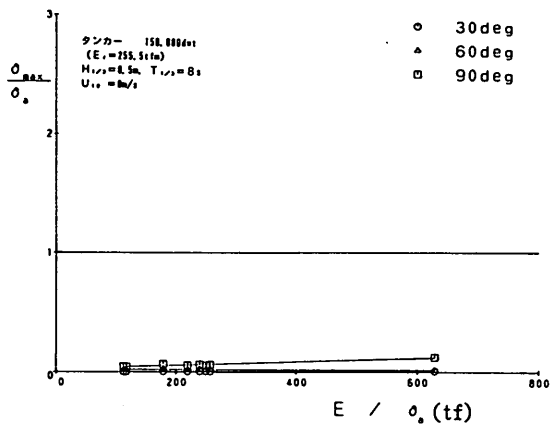


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

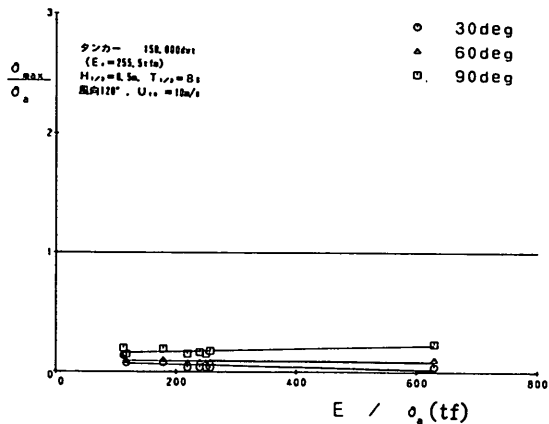


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

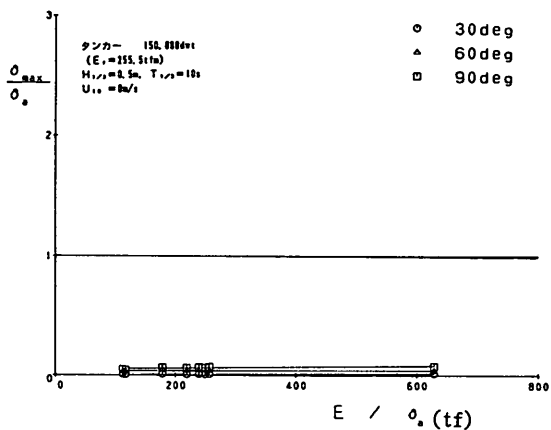
付図-2.20 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係(タンカー, 100,000dwt, 接岸エネルギー178.0tf·m)



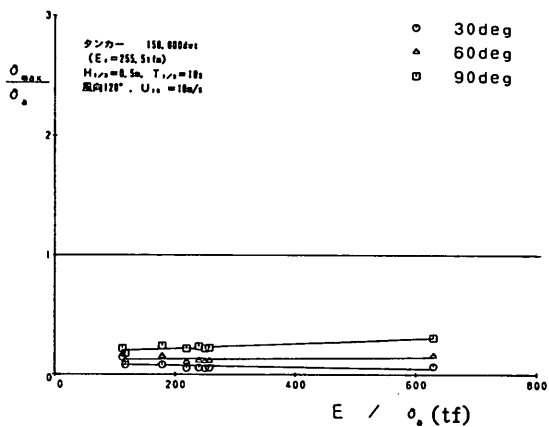
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



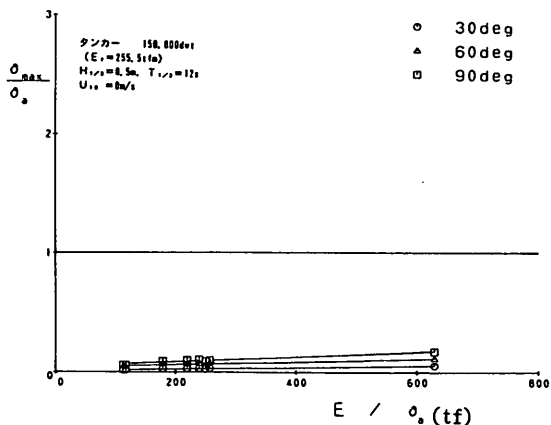
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



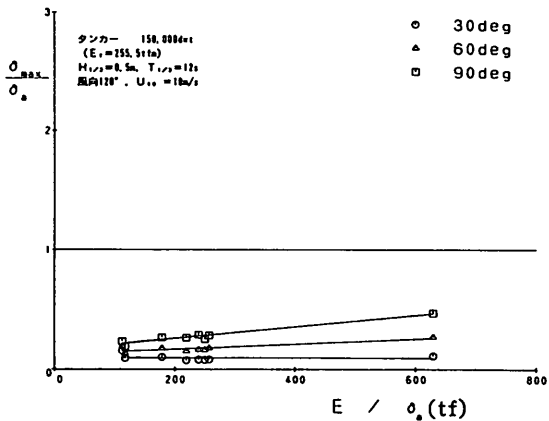
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s

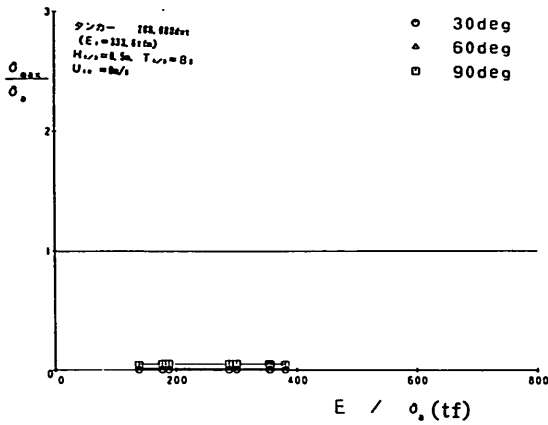


c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

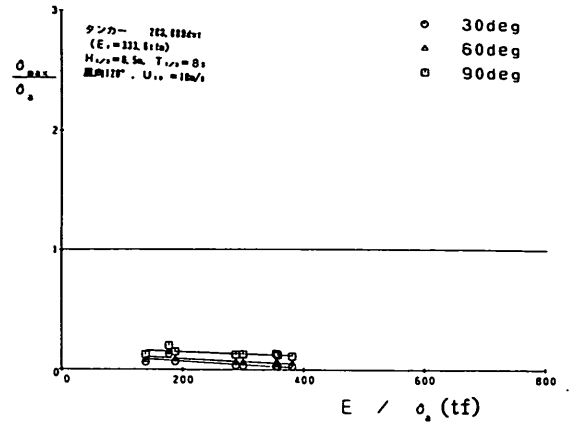


f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

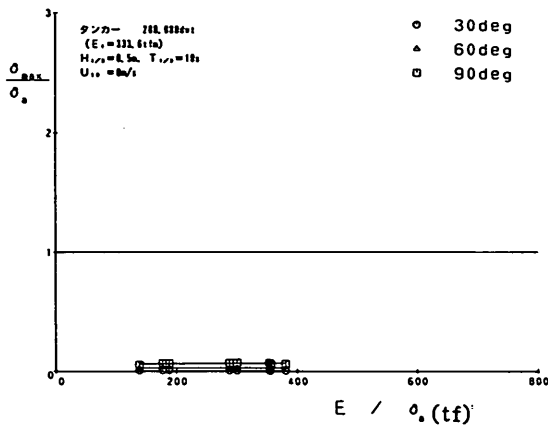
付図-2.21 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係(タンカー, 150,000dwt, 接岸エネルギー-255.5tf·m)



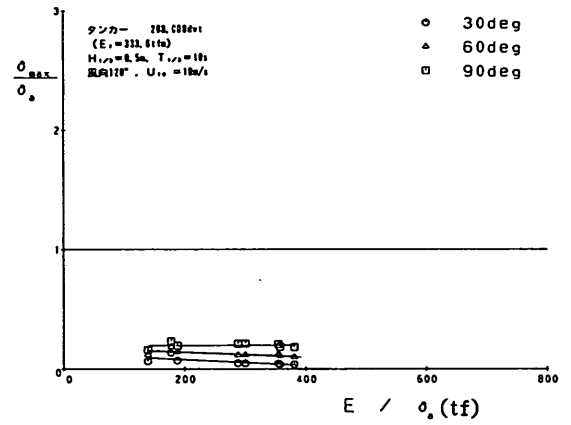
a) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



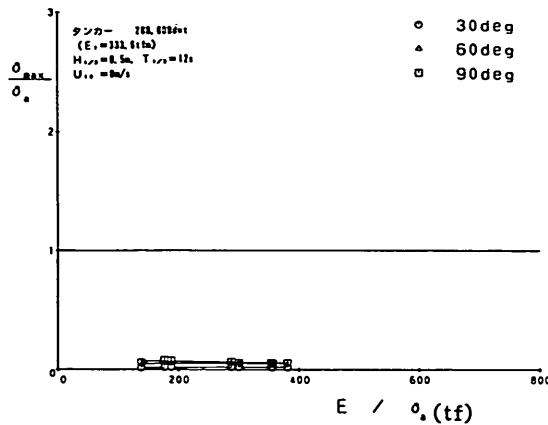
d) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期8s



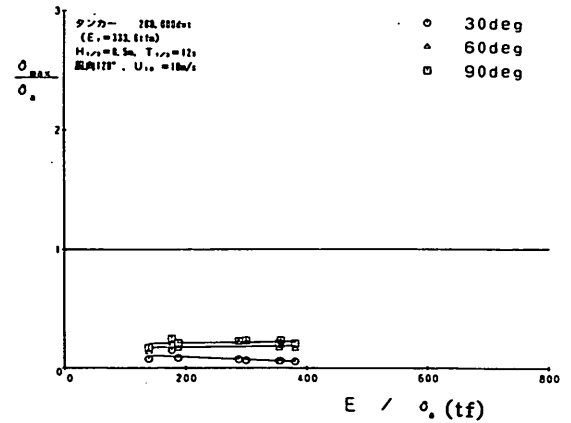
b) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



e) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期10s



c) 平均風速0m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s



f) 風向120°, 平均風速10m/s, 有義波高0.5m, 有義波周期12s

付図-2.22 E / δ_a と δ_{max} / δ_a の関係(タンカー, 200,000dwt, 接岸エネルギー-333.6tfm)

港湾技研資料 No. 729

1992・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 阿部写真印刷株式会社

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

Copyright © (1992) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated 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。