

港湾技研資料

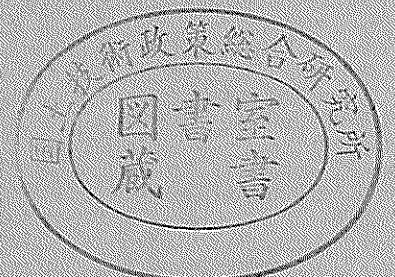
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 878 Sept. 1997

防舷材の劣化実態と機能評価について

寺内 潔
小泉 哲也
山本 修司
細川 浩二

運輸省港湾技術研究所



目 次

1. はじめに	3
2. 防舷材の実態調査	4
2.1 調査手法と調査内容	4
2.2 外観による劣化実態	4
2.3 取り替えの実態から見た耐用年数	22
2.4 設計に用いられる接岸速度	23
3. 採取防舷材の力学試験・物性試験	25
3.1 試験手順	25
3.2 対象防舷材	25
3.3 試験結果	31
4. 外観による性能判定とその劣化レベル	33
4.1 劣化レベルと試験結果の整理	33
4.2 劣化レベルと各指標の関係	36
5. 防舷材の劣化による係留施設への影響	42
5.1 対象とした施設	43
5.2 解析結果	44
6. 劣化した防舷材の機能評価手法の提案	45
6.1 劣化の判定フロー	45
6.2 劣化レベルの評価	45
結 論	45
謝 辞	47
参考文献	47
付 録 A	48
付 録 B	51

THE DETERIORATION ACTUAL STATE AND THE FUNCTION EVALUATION OF THE RUBBER FENDER

Kiyoshi TERAUCHI*
Tetsuya KOIZUMI**
Shuji YAMAMOTO***
Koji HOSOKAWA****

Synopsis

As the function of the rubber fender, the important purpose to prevent from the damage of the shipping and the mooring facilities at the time of the alongside pier is imposed. However, the maintenance of the fender after installation is not enough because it is generally handled as the attachment facilities.

In consideration of such a present situation, we investigated the deterioration situation and so on in the actual state, and the use condition of the part which is installed at the 316 facilities in the main 91 ports in the whole country for the V-type rubber fender which are most numbers of the use. Also, in confirming the decline of material efficiency about the partial sample from the dynamics examination and the material examination, the point of view of the function evaluation by the V-type rubber fender is gathered.

Key Words: Rubber Fender, Deterioration, Maintenance, Berthing Velocity, Load Test

* Senior Supervisor for Port Engineering, Engineering Division, Ports and Harbours Bureau,
Ministry of Transport

** Senior Research Engineer, Planning and Design Standard Division

*** Chief of Design Standard Laboratory, Planning and Design Standard Division

**** The 5th District Port Construction Bureau, Ministry of Transport

ADDRESS : 3-1-1 NAGASE, YOKOSUKA, KANAGAWA-KEN, 239, JAPAN

TEL : 0468-44-5037 FAX : 0468-44-1145 E-mail : koizumi@cc.phri.go.jp

防舷材の劣化実態と機能評価について

寺 内 潔¹⁾
小 泉 哲 也²⁾
山 本 修 司³⁾
細 川 浩 二⁴⁾

要 旨

防舷材の機能としては、船舶の接岸時及び係留時に船舶及び係留施設の損傷を防止するという重要な目的が課せられているが、一般的には附属設備として扱われている関係で設置後のメンテナンスが充分とはいえない状況にある。

本稿は、このような現状を踏まえ、利用数の最も多いV型防舷材を対象に、全国の主要な重要港湾及び特定重要港湾91港の316施設に設置されている部材の劣化状況、利用条件等を実態調査するとともに、一部の試料について力学試験及び物性試験も行い材質の性能低下を確認することで、V型防舷材の機能評価の考え方についてとりまとめたものである。

本稿で提案する機能評価手法によって劣化レベルが3点以上となった防舷材は、圧縮性能が低下している可能性が高く、所要の機能を維持していない可能性が高いことが確かめられた。

また、力学試験結果及び取り替え実態から、経過年数が20年を超える防舷材は、劣化の程度が大きいことが推定された。

キーワード：防舷材，劣化，劣化レベル，接岸速度，物性試験

1. はじめに

我が国において、1953年に横浜港で初めてゴム防舷材を採用して以来、40年以上になり、防舷材の種類、形状も製造技術の発達により色々なものが開発され利用されてきている。現在では、V型、サークル型、セル型、及び空気式防舷材等が用途に応じて使用されている¹⁾。その中でも最もポピュラーなものが、部材に中空部を有した定反力型ソリッド式ゴム防舷材であり、V型防舷材がその代表と言えよう。

防舷材の機能としては、接岸時及び係留時に船舶および係留施設の損傷を防止するという重要な目的が課せられているが、一般的には附属設備として扱われている関係で設置後のメンテナンスが十分とはいえない状況にある。例えば、棧橋のように係留施設の構造が柔構造の場合

は、防舷材の機能低下により作用反力が増大すると構造全体に大きく影響を及ぼす場合があり、十分なメンテナンスが不可欠である。また、港の中を見てよく気付くが、防舷材が脱落していたり、亀裂が入ったままであったり、欠損していたりするケースが比較的多い。このような状況では、船舶の安全な接岸を確保することも難しいし、港の美観上からも好ましいとは言えない。

本稿は、このような現状を踏まえ、利用数の最も多いV型防舷材を対象に、主要な港湾において部材の劣化状況、利用条件等を調査するとともに、物性試験等を行い材質の性能低下を確認し、V型防舷材の機能評価の考え方について取りまとめることで、適切な判断のもと、適切な時期に防舷材の交換がなされることを期待したものである。

1) 運輸省港湾局技術課 技術指導官 (前計画設計基準部 設計基準研究室長)

2) 計画設計基準部 主任研究官

3) 計画設計基準部 設計基準研究室長

4) 運輸省第五港湾建設局清水港工事事務所 (前計画設計基準部 設計基準研究室)

所在地：〒239 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1

TEL: 0468-44-5037 FAX: 0468-44-1145 E-mail: koizumi@cc.phri.go.jp

2. 防舷材の実態調査

2.1 調査手法と調査内容

(1) 調査手法

平成7年度に全国を対象に、防舷材の劣化状況と係留施設の利用状況等について調査表による調査を実施した。調査で対象とした港湾は特定重要港湾及び重要港湾とし、各都道府県で2～3港選定されるように配慮した。その結果、91港316施設のデータが収集できた。対象港の分布は、寒冷地から亜熱帯地までほぼ均等であり、潮位別のグルーピングでも偏りなく、好ましいデータが収集できたと考えられる。

さらに、実物試験用として5港から交換予定の防舷材を取り寄せ、各種試験を行った。

(2) 調査項目とその解析の考え方

調査項目は、付録Aに示す調査表の様式のとおりであるが、今回の調査においては、防舷材が一般的な利用のされ方をされている場合に、どのような条件が防舷材の劣化促進に強く影響を及ぼしているのかを把握することを第一の目的としていたため、その解析が可能となるような調査項目を設定している。劣化に大きく関与すると想定された項目は、係留施設の使用年数、利用総隻数、利用平均船型、利用総係留時間、当該施設前面水域の静穏度、設計上の想定接岸速度等であり、それらについては詳しく調査する仕様とした。また、防舷材の破損形態は定量的に把握しがたいところもあり、調査表を記入する人の個人差による影響が大きくなると不都合であるため、破損形態の定義と破損イメージ図を示した上で調査表の記入を依頼するとともに、現場の詳細写真（全景、側面、上面）の撮影も依頼した。

係留施設の利用実態については、本来防舷材を設置した以降全期間に亘って調査すべきものであるが、不可能であるため、過去3カ年（H4～H6）の実績より、年平均値を想定し存置期間中（交換した場合はそれ以降）の総利用数を便宜的に求めることとした。

利用船種の考え方は、利用頻度の多い上位2船種を対象とし、船種の種類も公共性を勘案して、貨物船、フェリー、客船、その他の4区分とした。

防舷材の破損は、接岸時と係留中の波浪による船舶動揺時に多く発生することを想定し、1バースの中で最も劣化の進行している防舷材の位置と最も劣化の少ない防舷材の位置について確認することにした。本稿では以降の記述において、次のように表現することとする。

◆ケース1：当該バースで最も劣化の進行している防舷材を対象としている場合

◆ケース2：最も劣化の少ない防舷材を対象としている場合

波浪による影響は港口からの当該バースまでの距離（厳密には来襲波浪の規模、頻度、波向、周期により前面波高が変化し、伝達距離だけでは同列の比較はできない）に比例すると仮定し図面上から距離を求め、劣化の程度と比較するようにした。

防舷材の外観だけでは、部材の劣化レベルを論ずることには無理があるため、現地において交換予定の防舷材をいくつか選定して、防舷材本体の力学性能、材質の変化等を確認し、適切に機能評価できるようにした。試験体数については、防舷材の管理者と筆者らの時期的都合などから、非常に少なくなり、5カ所の港湾から提供された計10本の防舷材について各種試験を行った。試験項目は正常圧縮試験、繰り返し圧縮試験、物性試験で各験体とも可能な限り実施できるように努力した。

2.2 外観による劣化実態

(1) 劣化の要因

ゴム防舷材の劣化の要因は、事象的に、次に示す3つに分類できる。

①自然環境による経時的劣化（自然劣化）は、酸素（オゾン）、紫外線、水質、温度などが要因として考えられているが、その影響度は定量的に解明されていない。

②繰り返し疲労による劣化（疲労劣化）は、船舶の接岸や係留時の繰り返し荷重により生じると考えられる。設計条件以内の荷重による疲労劣化はほとんどないと考えられているが、試験数も少なく解明されていない領域である。

③外力的要因による損傷又は破損は、船体防舷材のある船舶の接岸や船体の水抜き部分の接触等、通常の利用形態とは異なる状況下で生じるケースが多いと考えられる。

以上が現在考えられているゴム防舷材の劣化の要因と考えられるが、現実はいくつかの要因が相互に関連しあっているため、劣化の要因分析をさらに困難なものとしている。

(2) 劣化の形態

劣化の形態としては大きく2つに分けられる。1つは大きなエネルギーが一度にかかり、破損、損傷が生じる場合で、亀裂、割れ、欠損、欠落、永久変形が該当する。2つ目は、年数の経過により少しずつ変形が生じる場合で、チッピング、オゾンクラック、永久変形が該当する。

本稿では、現況を統一的な考え方で整理できるよう、以下に示す形態、考え方に分類して調査を取りまとめる

ことにしている。

①亀裂

図-1に示すとおり、防眩材受衝部、脚部において、ゴム表面が部分的に切れているが、中空部まで至っていない状態。

②割れ

図-2に示すとおり、防眩材受衝部、脚部に発生した亀裂が進行し、中空部にまで達した状態。

③欠損

図-3に示すとおり、防眩材受衝部のゴムが削り取られて、ある範囲が無くなっているが、その傷が中空部にまで至っていない状態。

④欠落

図-4に示すとおり、防眩材受衝部および脚部において本来あるべきゴムが無くなり、それが中空部に達し、割れや欠損の進行が進んだ状態。

⑤チッピング

図-5に示すとおり、防眩材受衝部のゴム表面が点々と損傷を受けている状態。

⑥永久変形

図-6に示すとおり、防眩材受衝部、脚部、取付フランジ部に永久変形を生じ、元の形状に戻らない状態。事例は少ない。

⑦オゾンクラック

防眩材受衝部、脚部、取付フランジ部のゴム表面に、自然環境におけるオゾンによる劣化で小さい亀裂が無数に発生している状態。

⑧アンカーボルトの損傷

アンカーボルトの曲がり、脱落、破損等。

(3) 調査表による劣化分析結果

a) 劣化レベルの考え方

このように防眩材の劣化の形態は多様であるので、劣化の形態が異なるものを同じレベルの劣化の程度と判断することは難しい。しかし、防眩材の取り替え時期を検討するためには、各劣化の形態に共通した何らかの劣化の指標を定めることが必要になる。

そこで、各形態毎に劣化の程度を5段階のランクに設定することとした。各ランクは防眩材の全長または全表面積に対し、どの程度の比率で亀裂や欠落といった各形態の劣化が進行しているかで分けることとし、

ランク(1)が10%未満、

ランク(2)が10～19%、

ランク(3)が20～29%、

ランク(4)が30～39%、

ランク(5)が40%以上

とした。

さらに、防眩材の劣化の程度を最高で10点とし、5段階の各ランクに劣化の程度に応じた配点を与える10点法で評価することとした。その内訳は表-2に示すとおりである。点数は劣化の形態毎に、その防眩材本体への影響の甚大性を勘案して、防眩材メーカーの意見も参考に決めて決めた。

即ち、“欠損”、“チッピング”、“亀裂”、“ボルト部破損”及び“老朽劣化”の劣化レベルは、特に性能への影響が大きい“欠落”、“割れ”及び“永久変形”の劣化レベルの半分程度と想定されるので、約半分の点を配点することとし、それぞれ20%以上及び40%以上の劣化が防眩材の性能を低下させると想定して点数を3点とした。また、6点以上は殆ど防眩材の機能がない状態であると仮定した他、その他については概ね比例して点数を配点した。

オゾンクラックについては、その影響が小さいと考えられるので、最大でも1点とした。

また、劣化の形態が2種類以上見られる場合は、主因と考えられるもの2形態のみの点数を合計することとし、この劣化の点数を防眩材の劣化を表す指標“劣化レベル”とする。

b) 劣化レベルと経過年数の関係

現地の防眩材の状況写真から各劣化の形態の劣化レベルを判定し、経過年数と劣化の程度の相関性をみると、以下に示すような状況となった。ただし、ここでいうデータは調査をした各バス毎において、最も劣化をしていた防眩材を対象にしたもので、ケース1の場合である。

①亀裂

事例は29例で、若干少ないこともあり、明瞭に経過年数と劣化の相関性がでないが、傾向的には年数とともに劣化が進行しているようである。年数がかなり経過していても劣化の程度がさほど変化しない理由の1つに、亀裂はその後、割れや欠損へ移行していくため、亀裂の変状としてカウントされにくい面があると考えられる(図-7参照)。

②割れ

経過年数と劣化レベルには相関性が見られず、5年以上たつと割れの程度は同様なレベルとなっている。これはいつの段階で割れたか確認されていないため、25年目に割れてもその時点でカウントされることから、早い時期との差が表面的に出てこないためと考えられる。また、施設の管理者も割れの現象の場合は、容易に機能低下が判断できることから、長期間放置せず取り替えを行う結果として、極端に割れの劣化が進行したものがないので

- 破損形態 : 亀裂
亀裂の定義 : 防舷材の受衝部または脚部にてゴム表面が部分的に切れているが、それが中空部まで至っていないもの。

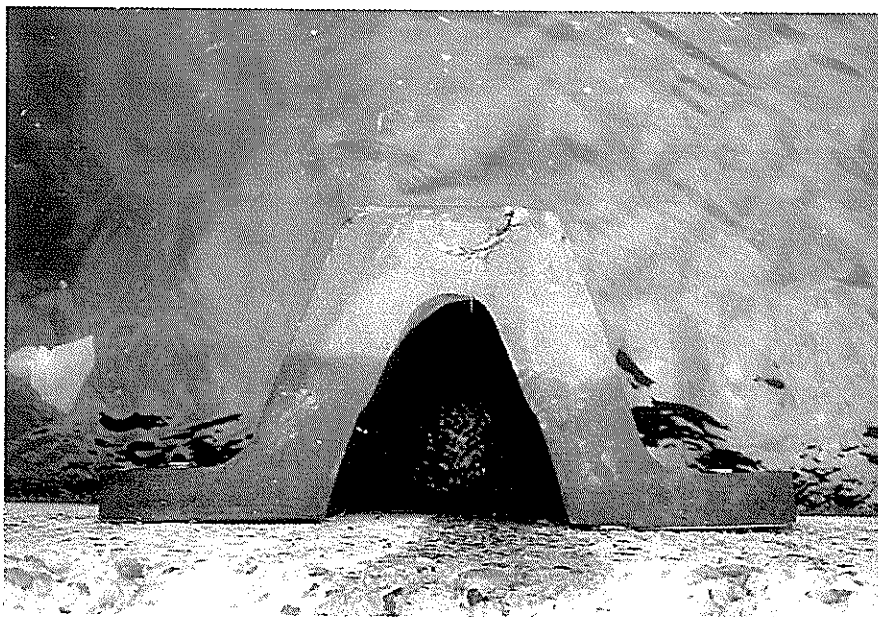


図-1 防舷材の破損状況（亀裂の例）

- 破損形態 : 割れ
割れの定義 : 防舷材の受衝部または脚部に発生した亀裂が進行し、その傷が中空部に至ったもの。

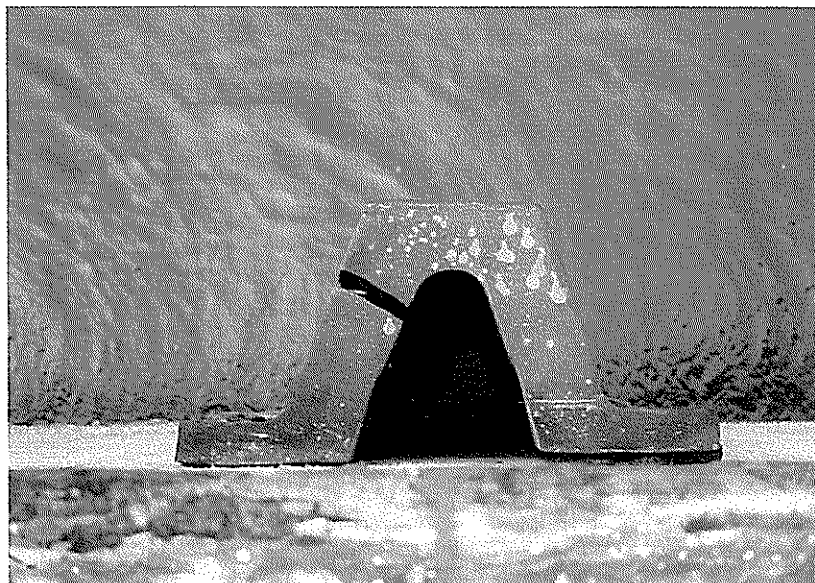


図-2 防舷材の破損状況（割れの例）

- 破損形態 : 欠損
欠損の定義 : 防舷材の受衝部にてゴムが削り取られてなくなっているが、それが中空部まで至っていないもの。



図-3 防舷材の破損状況 (欠損の例)

- 破損形態 : 欠落
欠落の定義 : 防舷材の受衝部または脚部にて本来あるべきゴムがなくなり、それが中空部まで至ったもの。

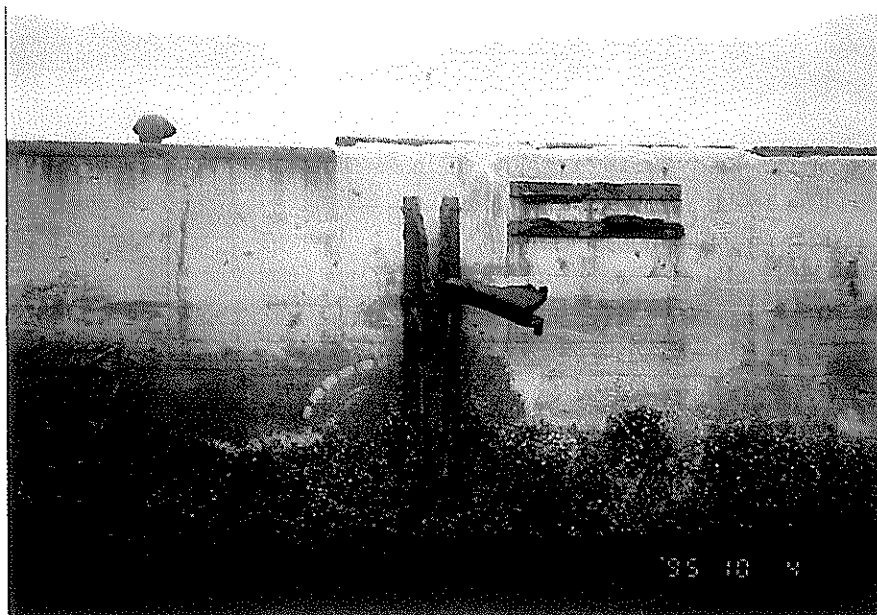


図-4 防舷材の破損状況（欠落の例）

破損形態 : チッピング
チッピングの定義 : 防舷材の受衝部にてゴム表面が点々と損傷を受けている状態。

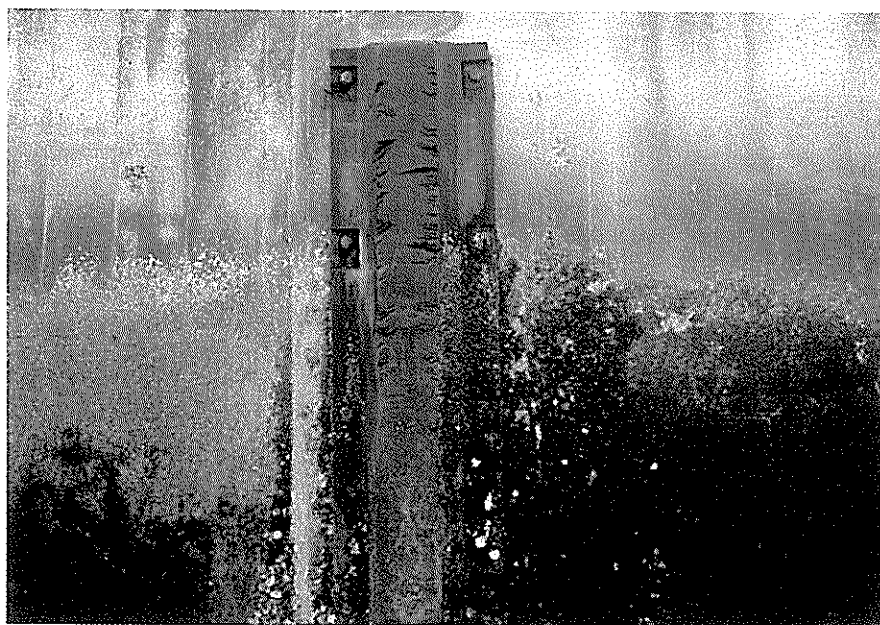
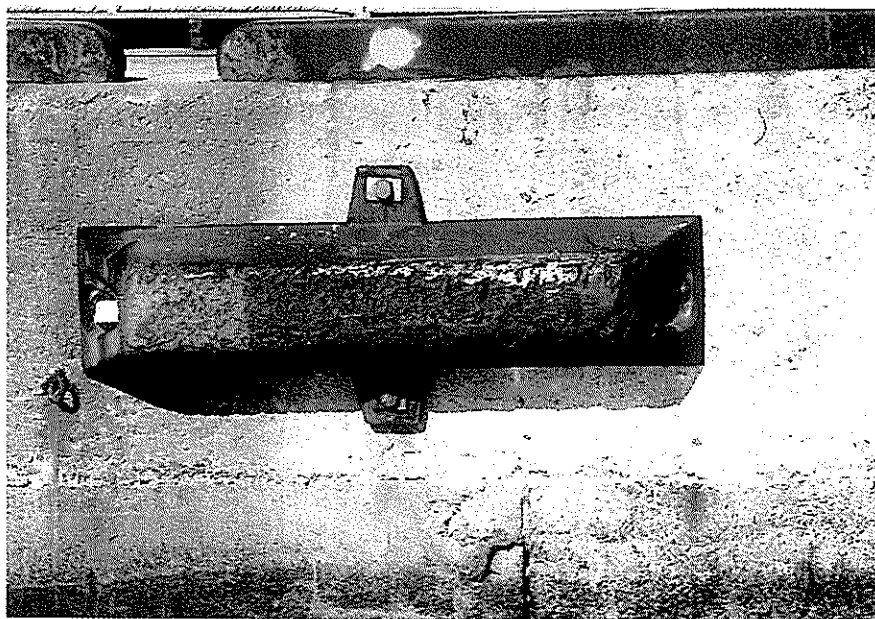


図-5 防舷材の破損状況（チッピングの例）

- 破損形態 : 永久変形
永久変形の定義 : 防舷材の受衝部、脚部または取付フランジに変形が生じ、元の形状に戻らないもの。



図-6 防舷材の破損状況（永久変形の例）

表-1 防舷材の劣化状況の現地実態調査の内容

調査対象の 選定条件	<ul style="list-style-type: none"> ・特定重要港湾及び重要港湾 ・各都道府県 2～3港選定 	
調査実施数	<ul style="list-style-type: none"> ・全国91港 316施設 	
調査項目	防舷材	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法（高さ、長さ） ・取付状況（横付け、縦付け） ・破損形態（欠落、割れ、永久変形等） <ul style="list-style-type: none"> ケース1：最も劣化の進行している防舷材 ケース2：最も劣化の少ない防舷材 ・詳細写真（全景、側面、上面） ・使用年数
	係留施設	<ul style="list-style-type: none"> ・船舶利用総隻数 ・利用船舶平均船型 ・船舶利用総係留時間 ・想定接岸速度 ・対象施設前面の静穏度 ・利用船種(4区分:貨物船, フェリー, 客船, その他)

表-2 劣化レベルの評価表

	ランク	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	劣化の程度	10%未満	10～19%	20～29%	30～39%	40%以上
劣化・損傷の種類別	劣化レベル					
欠落		0	2	3	5	6
割れ		0	2	3	5	6
永久変形		0	2	3	5	6
欠損		0	0	1	2	3
亀裂		0	0	1	2	3
チッピング		0	0	1	2	3
オゾンクラック		0	0	0	0	1
ボルト部損傷		0	0	1	2	3

- 劣化・損傷の程度を写真によりそれぞれ5段階のランクに判定し、本表により各劣化・損傷の種類別に劣化レベルを算定する。
- 劣化の程度は、全長または全表面積に対する割合とする。
- 2種類以上の劣化状況を有するものについては、主因2ケースのみ加算。

はないかと考えられる (図-8 参照).

③欠損

経過年数が増加しても劣化レベルが進行しないケースも多いようであるが、傾向的には年数の経過とともに劣化レベルが進行していくようである。このような傾向を

示す理由としては、欠損は傷がV型防眩材の中空部まで達していないものを指す関係で、管理者は防眩材が欠損状態であっても、まだ利用できるものと判断し、交換しない場合が多いのではないかと考えられる。その結果、長期間にわたり欠損状態のまま、劣化が進行している状

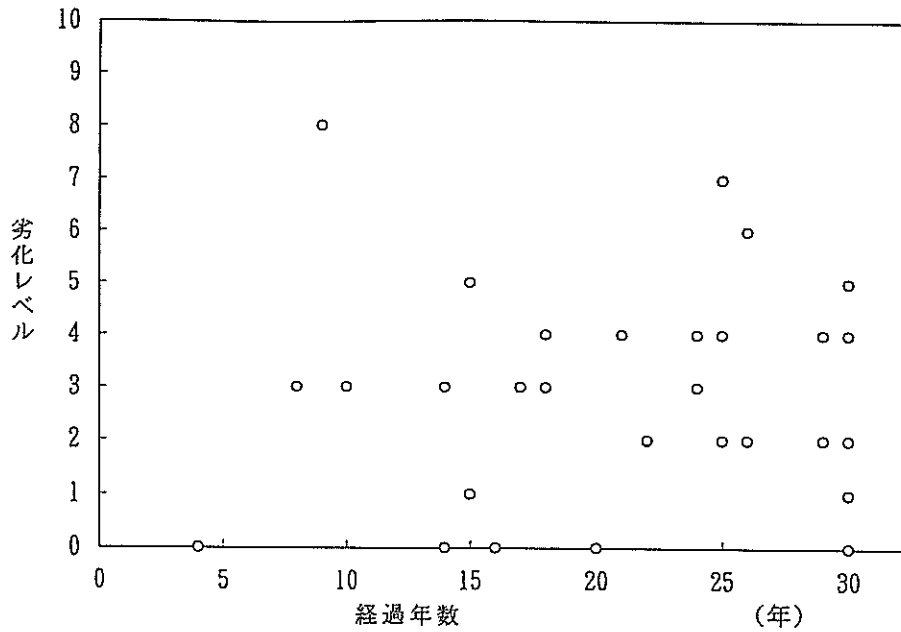


図-7 経過年数と劣化レベル (亀裂) との関係 (ケース1)
(当該バースで最も劣化の進行している防眩材を対象としている場合)

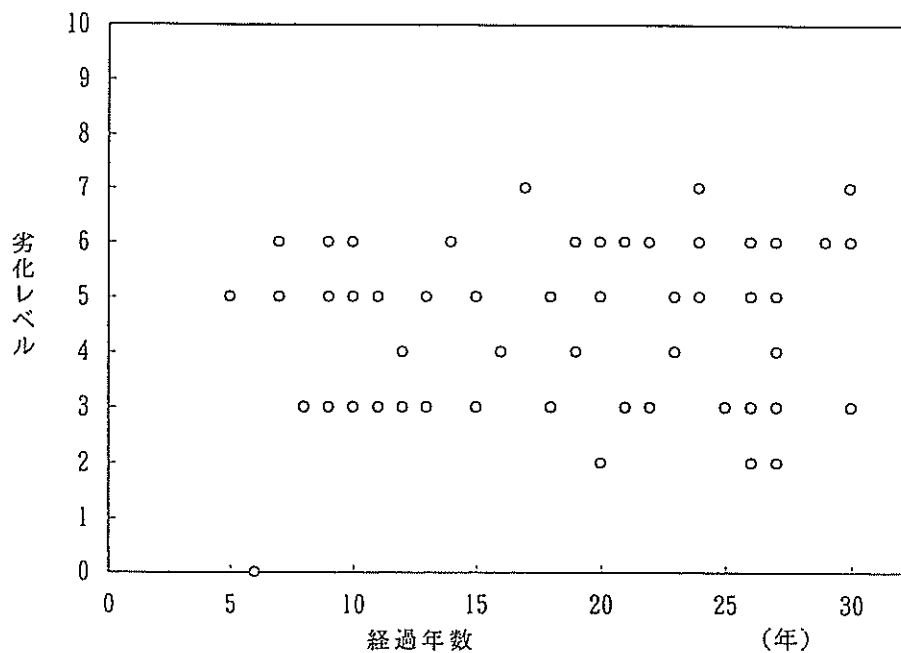


図-8 経過年数と劣化レベル (割れ) との関係 (ケース1)
(当該バースで最も劣化の進行している防眩材を対象としている場合)

況が示されることになったと考えられる (図-9 参照).

④欠落

経過年数10年から25年にかけては、劣化の程度に大きな変化は明瞭には見られないが、多少傾向的には年数とともに劣化の程度が大きくなる関係が見られるようであ

る (図-10参照).

⑤チッピング

この劣化の形態については、劣化の程度と経過年数との間に、他の形態の場合より、相当の相関性がみられる。このことは、チッピングの現象は船舶と防舷材の接触が

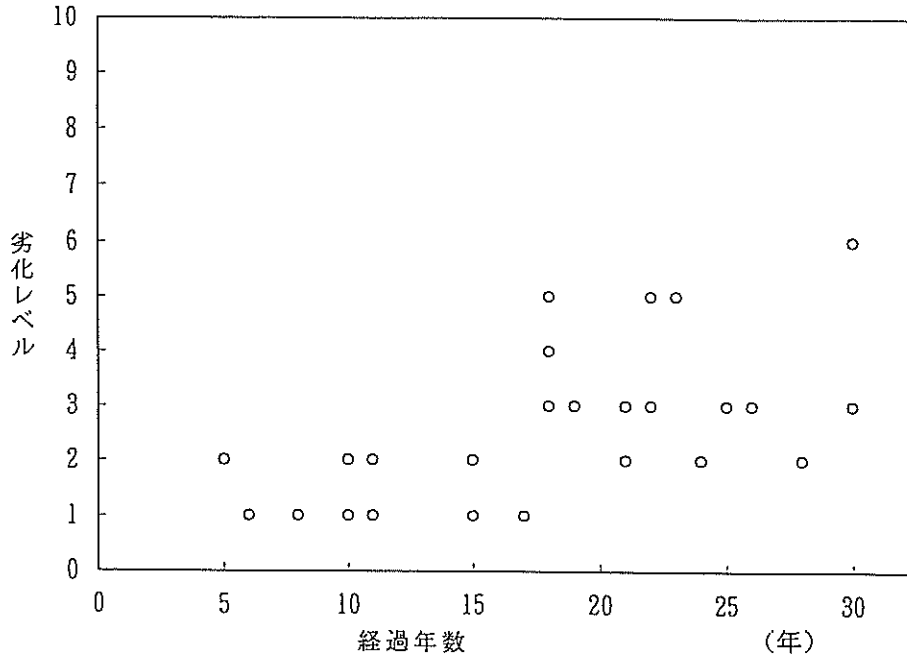


図-11 経過年数と劣化レベル (チッピング) との関係 (ケース1)
(当該バースで最も劣化の進行している防舷材を対象としている場合)

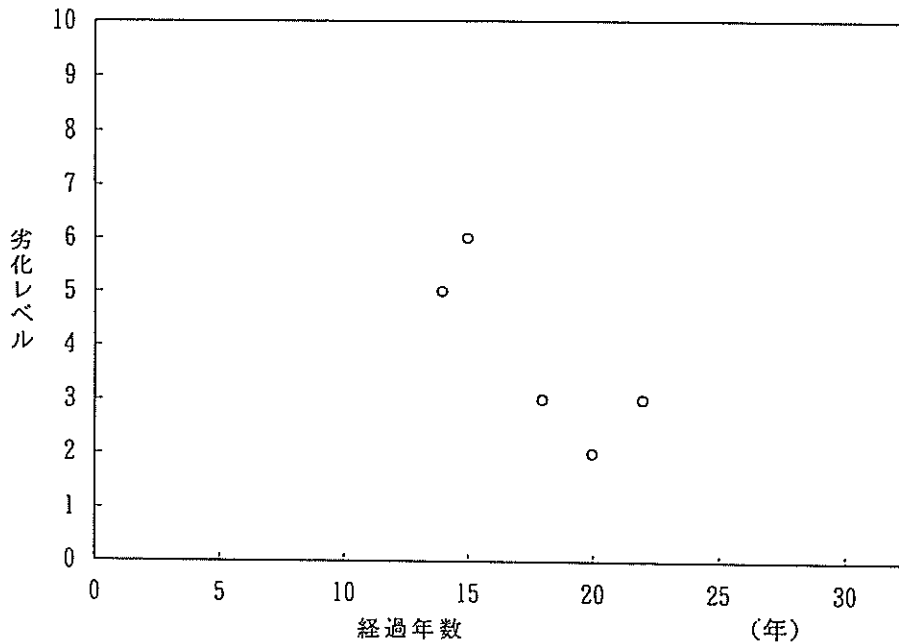


図-12 経過年数と劣化レベル (永久変形) との関係 (ケース1)
(当該バースで最も劣化の進行している防舷材を対象としている場合)

多ければ多いほどその程度が明瞭に進行していくこと、及び、チッピングの状況では管理者は防舷材を交換することはまずないことから、累積された損傷がデータとしてあらわれたことと考えられる（図-11参照）。

⑥永久変形

事例が5例しか存在しなかったため、劣化の程度と経過年数との間に、相関傾向は出ていない。この変状が出るケースは事故に近い接触の場合や、施工の不備による場合が想定されるため、本来経過年数には影響されないものと考えておくべきである（図-12参照）。

⑦オゾンクラック

オゾンクラックはゴム防舷材の初期劣化であり、表面の微細なクラックのため明確に経過年数との相関性は出てこないようである（図-13参照）。

c) 劣化レベルと接岸エネルギーの関係

平成4年～平成6年の3カ年において、当該施設を利用した総利用隻数と平均船型から接岸エネルギーを算定し、船舶の接岸エネルギーと劣化の程度との関連性を検討した。

接岸エネルギーは、港湾の施設の技術上の基準・同解説²⁾による式で算定した。その際、船舶の排水量は貨物船の換算式 ($\log W_s = 0.404 + 0.932 \log DW$) を用いた。接岸速度は当該施設の設計で採用している値を用いているため実速度ではない。これらの値から、年平均接岸エ

ネルギーを求めた後、使用年数を乗じ、総接岸エネルギーを求めた。図-14、図-15にその関係を示すが、ケース1の場合は異常な原因も含まれることが想定されることから相関性はみられない。しかしながら、ケース2の場合は時間と外力の影響が反映されやすいため、若干ながら接岸エネルギーの増大とともに劣化レベルが大きくなる傾向がみられる。

ただし、図-14、図-15での劣化レベルの意味は、ケース1、ケース2それぞれの場合における各種の劣化の形態の中で最も劣化の程度の大きいものをプロットしているため、各種の劣化の形態が混在したものとなっている。

d) 劣化レベルと総係留時間の関係

当該バースを利用する船舶の年平均係留時間に使用年数を乗じることで、総係留時間を算出し、使用時間の観点で劣化の傾向をみたものが、図-16および図-17である。ケース1の場合もケース2の場合も相関性は見られないようである。この理由としては、防舷材の劣化は多くの複雑な要因によっているため、時間だけの単純整理では表現しきれないためと考えられる。

なお、劣化レベルが6を超える比率は、ケース1の場合24%であり、ケース2の場合はない。

図-16、図-17においても劣化レベルはc)に示す内容と同様、各種の劣化の形態が混在したものとなっている。

e) 劣化レベルと利用隻数の関係

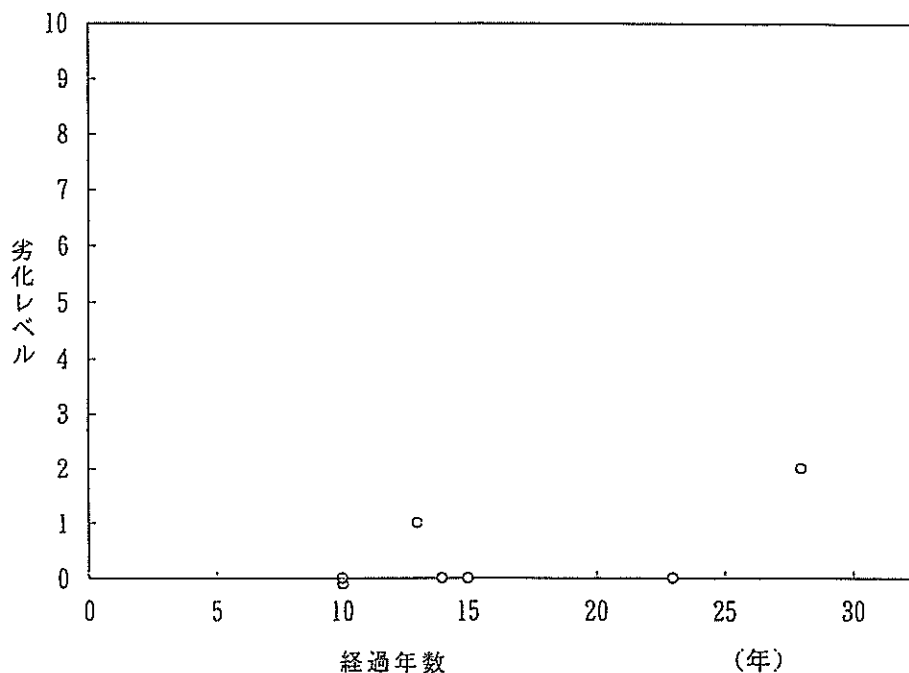


図-13 経過年数と劣化レベル（オゾンクラック）との関係（ケース1）
（当該バースで最も劣化の進行している防舷材を対象としている場合）

3カ年の総利用隻数から年平均利用隻数を求め、劣化レベルとの関係を図示したものが、図-18、図-19である。図から分かるようにケース1、ケース2の場合とも相関性はみられない。この理由も防舷材の接触回数だけでは劣化との関連性を表現しきれないためと考えられる。

図-18、図-19においても劣化レベルはc)に示す内容と同様である。

f) 劣化レベルと対象船型の関係

当該岸壁の対象船型の違いと各種の劣化の形態を総合した劣化レベル（ケース1）を比較した結果は、図-20に

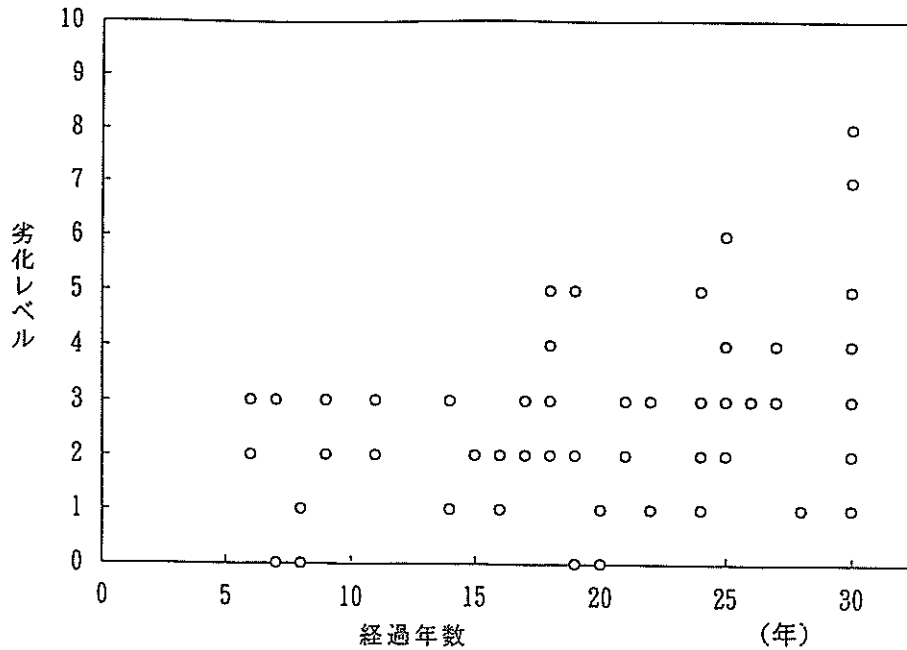


図-9 経過年数と劣化レベル（欠損）との関係（ケース1）
 （当該バースで最も劣化の進行している防舷材を対象としている場合）

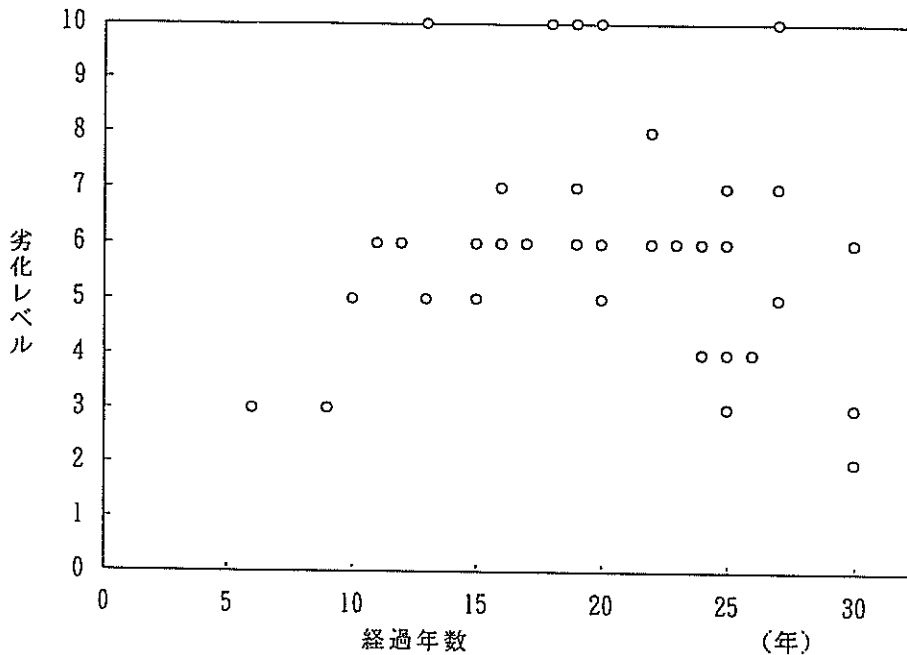


図-10 経過年数と劣化レベル（欠落）との関係（ケース1）
 （当該バースで最も劣化の進行している防舷材を対象としている場合）

示すとおりであるが、相関性は認められない。この理由は定かではないが、公共バースにおいては、必ずしもそれぞれの計画水深に相応するサイズの船舶が接岸するわけではなく、各種船型の船舶が利用するケースが多いた

め、船舶サイズによる防舷材の劣化差が生じていないのではないかと考えられる。なお、実態調査をもとに算定した当該バースの対象船型に対する接岸最大船型および接岸最小船型の比は、数パーセントから数百パーセント

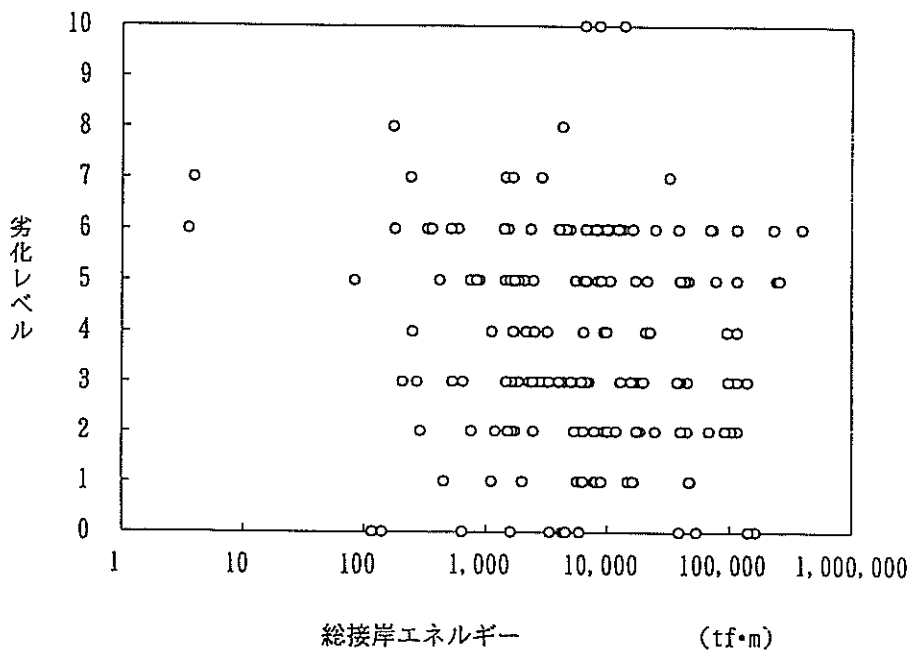


図-14 総接岸エネルギーと劣化レベルとの関係（ケース1）
（当該バースで最も劣化の進行している防舷材を対象としている場合）

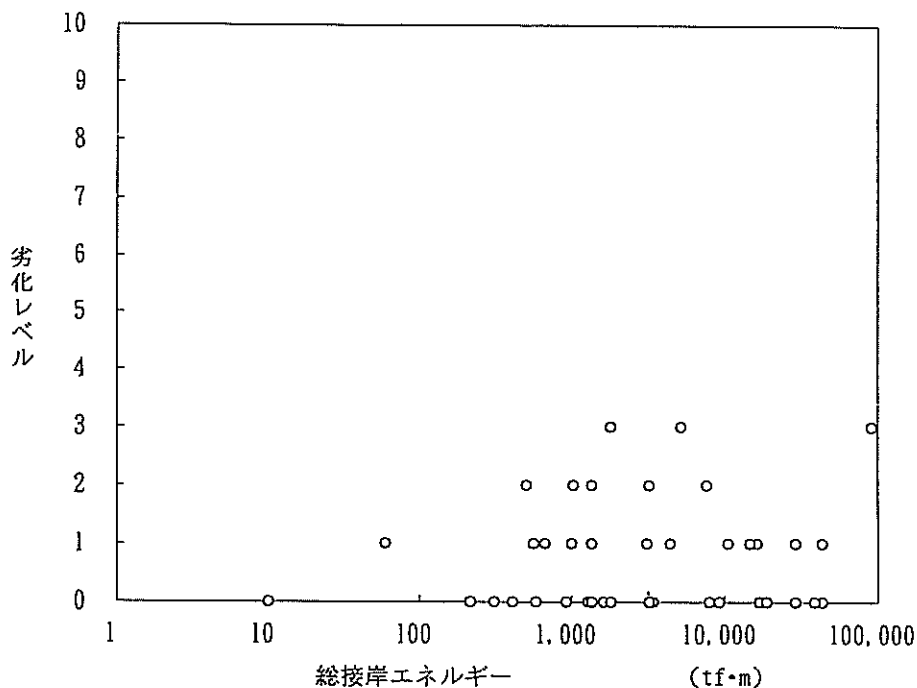


図-15 総接岸エネルギーと劣化レベルとの関係（ケース2）
（当該バースで最も劣化の少ない防舷材を対象としている場合）

にまで分布している。

g) 劣化レベルと潮位差の関係

潮位差の大きな海域では、船舶との接触点の変動の多さにより、他の海域よりも防舷材の劣化レベルが大きい傾向を示すのではないかという推定からデータを整理してみたが、図-21に示すとおり各種劣化形態の最大レベ

ルをプロットしてみると潮位差の大小による劣化の差は特に見られない。このことは実態調査では、潮位差の大きい所では防舷材の縦付け事例が多く、その他では横付け事例が多いことが確認されており、現況では各海域の特性に合わせて防舷材が適切に設置され、潮位変動の影響が生じないように工夫されていると理解できる。

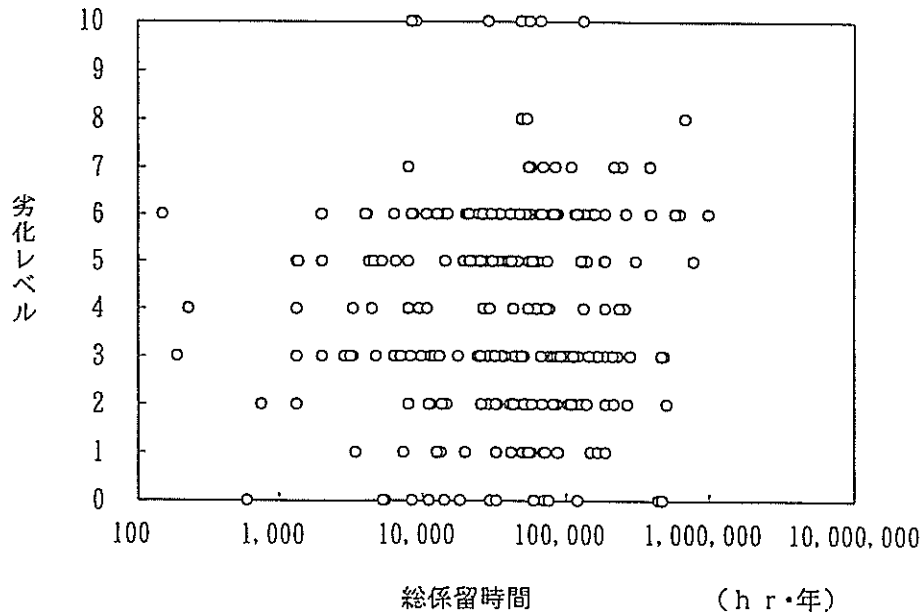


図-16 総係留時間と劣化レベルとの関係 (ケース1)
(当該バースで最も劣化の進行している防舷材を対象としている場合)

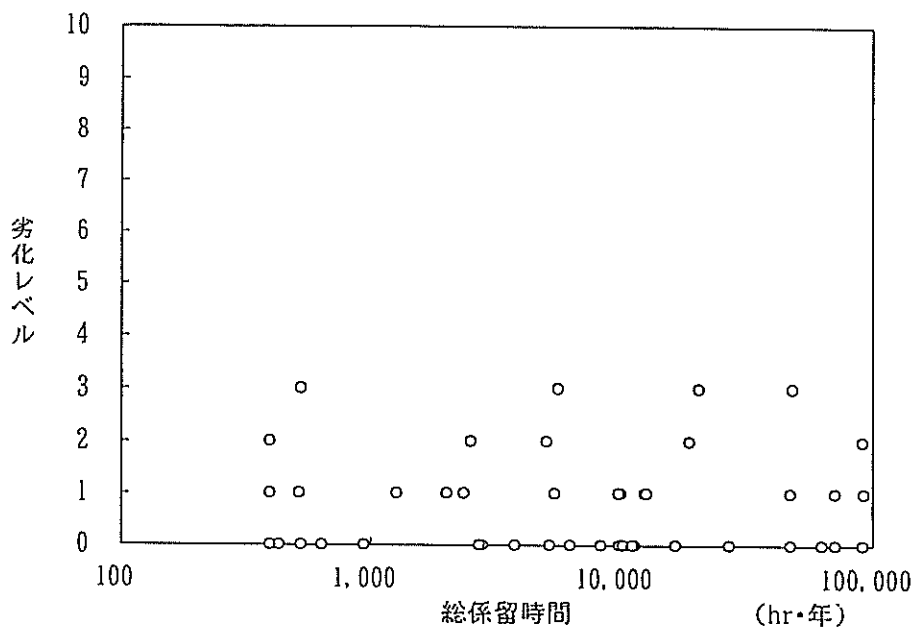


図-17 総係留時間と劣化レベルとの関係 (ケース2)
(当該バースで最も劣化の少ない防舷材を対象としている場合)

h) 劣化レベルと防舷材の高さの関係

使用されている防舷材の高さは、200～800mmであるが、図-22に示すように劣化レベル0～3においては600mmより高いものが600mm以下のものより多い傾向にある。一方、劣化レベル4～10の範囲では防舷材の高さ200～600mmの方が多くなっている。この理由については明確ではないが、防舷材のサイズが小さい方が当然ながら部材厚も小さく、大きな作用外力に対して破損す

る確率が高くなりやすく、また、小さい防舷材が取り付けられる小型係船岸は大型係船岸と比較して種々雑多な船舶の利用性が高いことから、乱暴な扱われ方をされやすいことも一因ではないかと考えられる。

i) 劣化レベルと防舷材の取り付け方法の関係

防舷材の取り付け方法については、潮位、係船岸の上部構造、対象船型などの条件により、縦付けや横付け等の取り付けが行われる。係留中には船舶は防舷材を圧縮

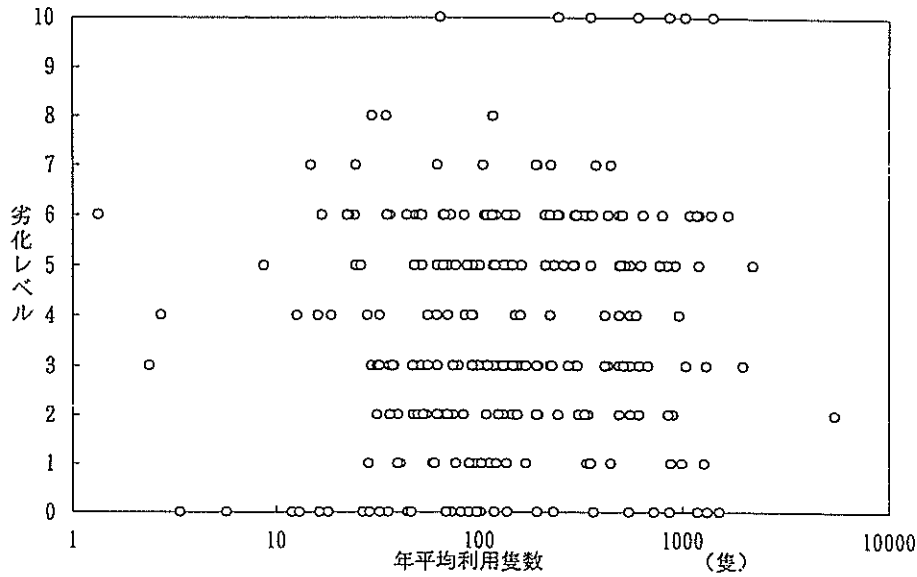


図-18 年平均利用隻数と劣化レベルとの関係 (ケース1)
(当該バースで最も劣化の進行している防舷材を対象としている場合)

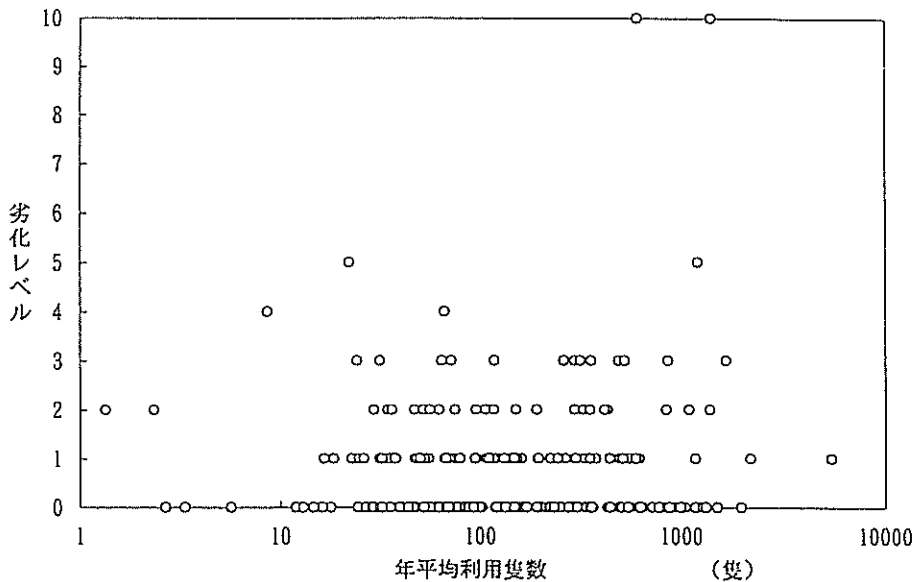


図-19 年平均利用隻数と劣化レベルとの関係 (ケース2)
(当該バースで最も劣化の少ない防舷材を対象としている場合)

する方向にのみならず、岸壁法線方向にも動揺するため、摩擦力で防舷材が水平方向にもかなり変形する。その際、防舷材の設置形状により劣化傾向に差が生じるのではとの想定から、取り付け方法と劣化の傾向について整理を

行った（図-23参照）。取り付け方法の違いによる劣化差は明確でなく、特に取り付け上、劣化面で留意することはなさそうである。ちなみに、取り付け方法は横付け方式が多く、縦付け方式はその8割弱となっている。

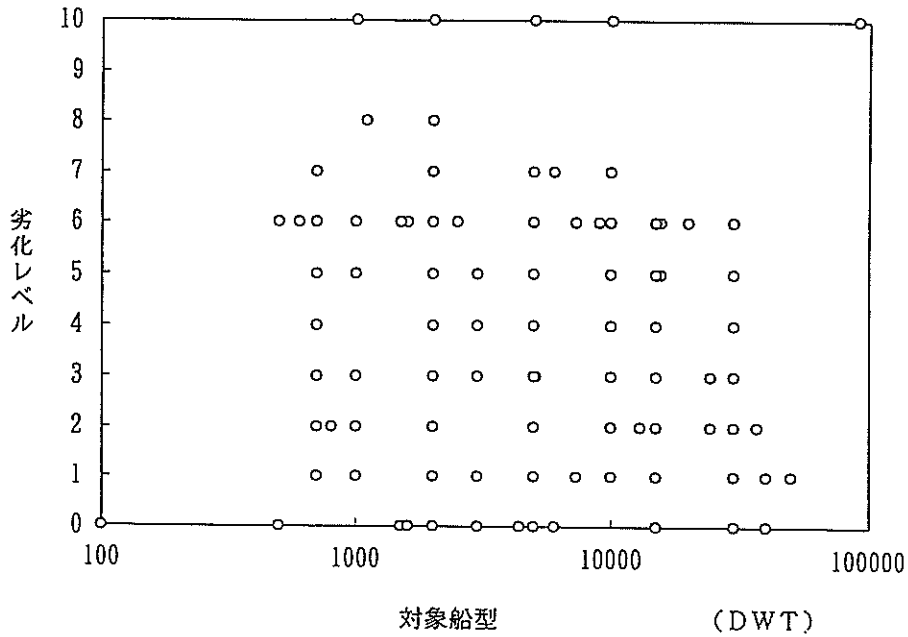


図-20 対象船型と劣化レベルとの関係（ケース1）
（当該バースで最も劣化の進行している防舷材を対象としている場合）

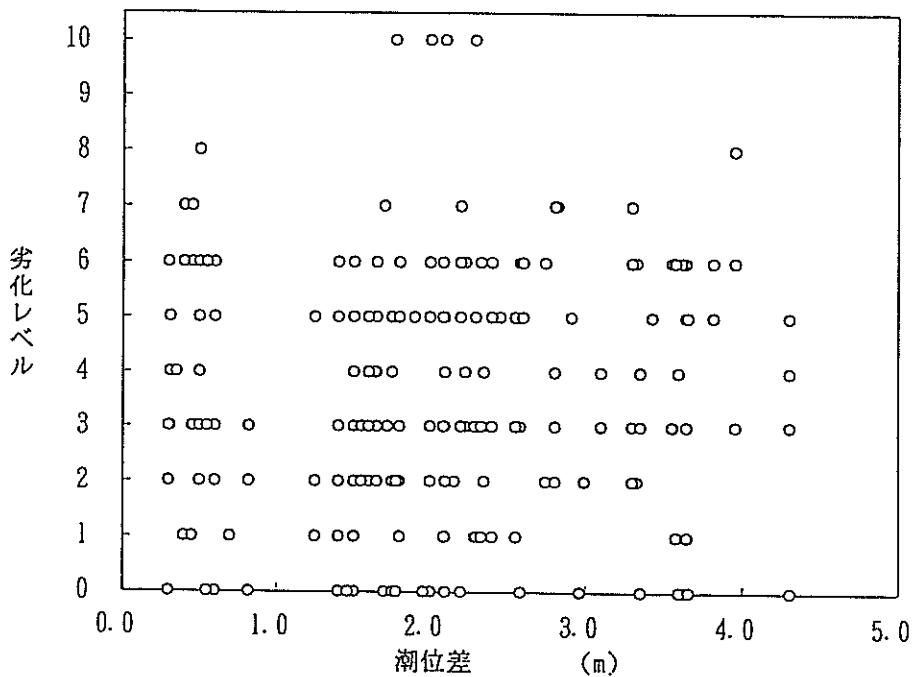


図-21 潮位差と劣化レベルとの関係（ケース1）
（当該バースで最も劣化の進行している防舷材を対象としている場合）

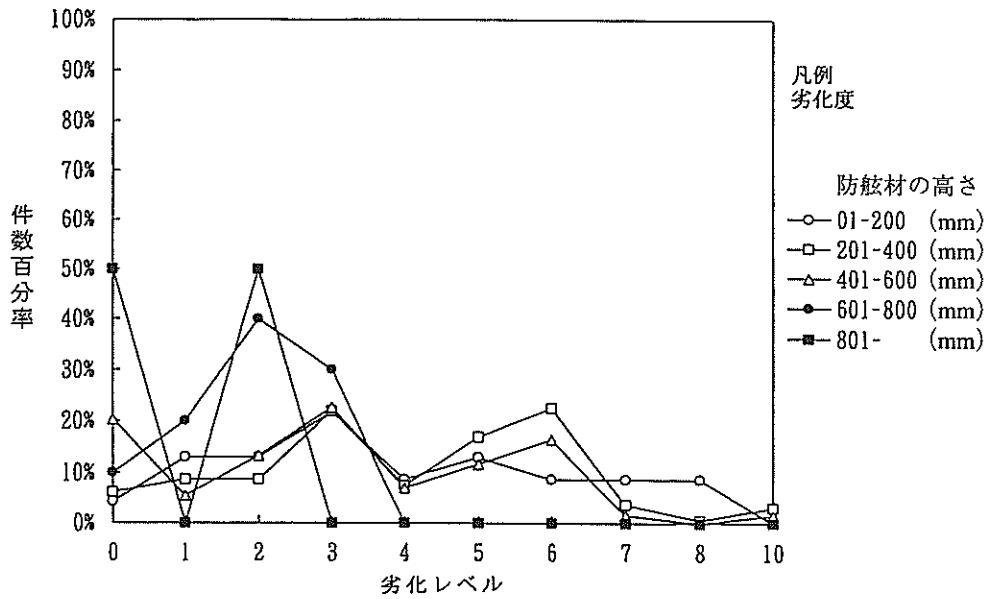


図-22 防眩材の高さにおける劣化レベルの分布 (ケース1)
 (当該バスで最も劣化の進行している防眩材を対象としている場合)

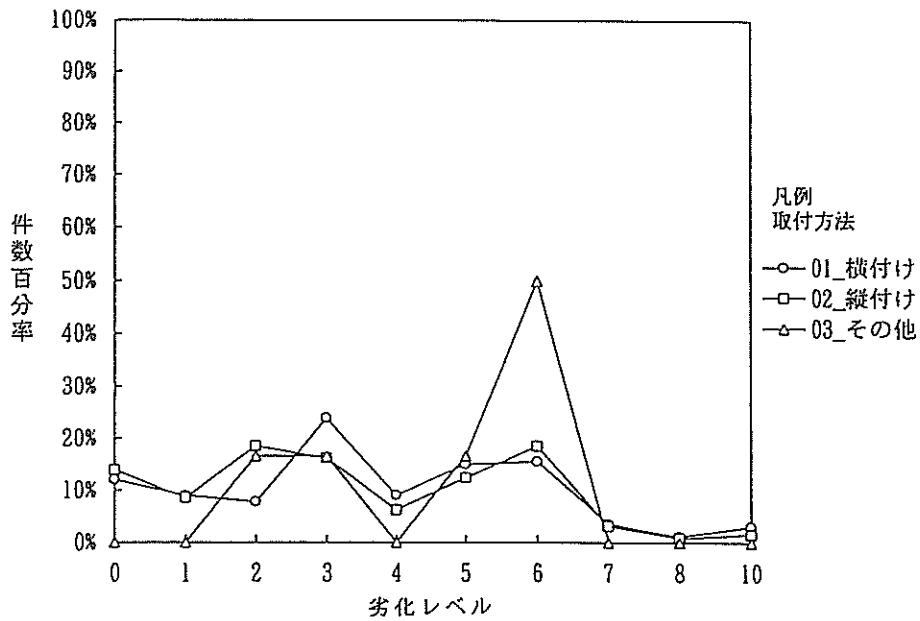
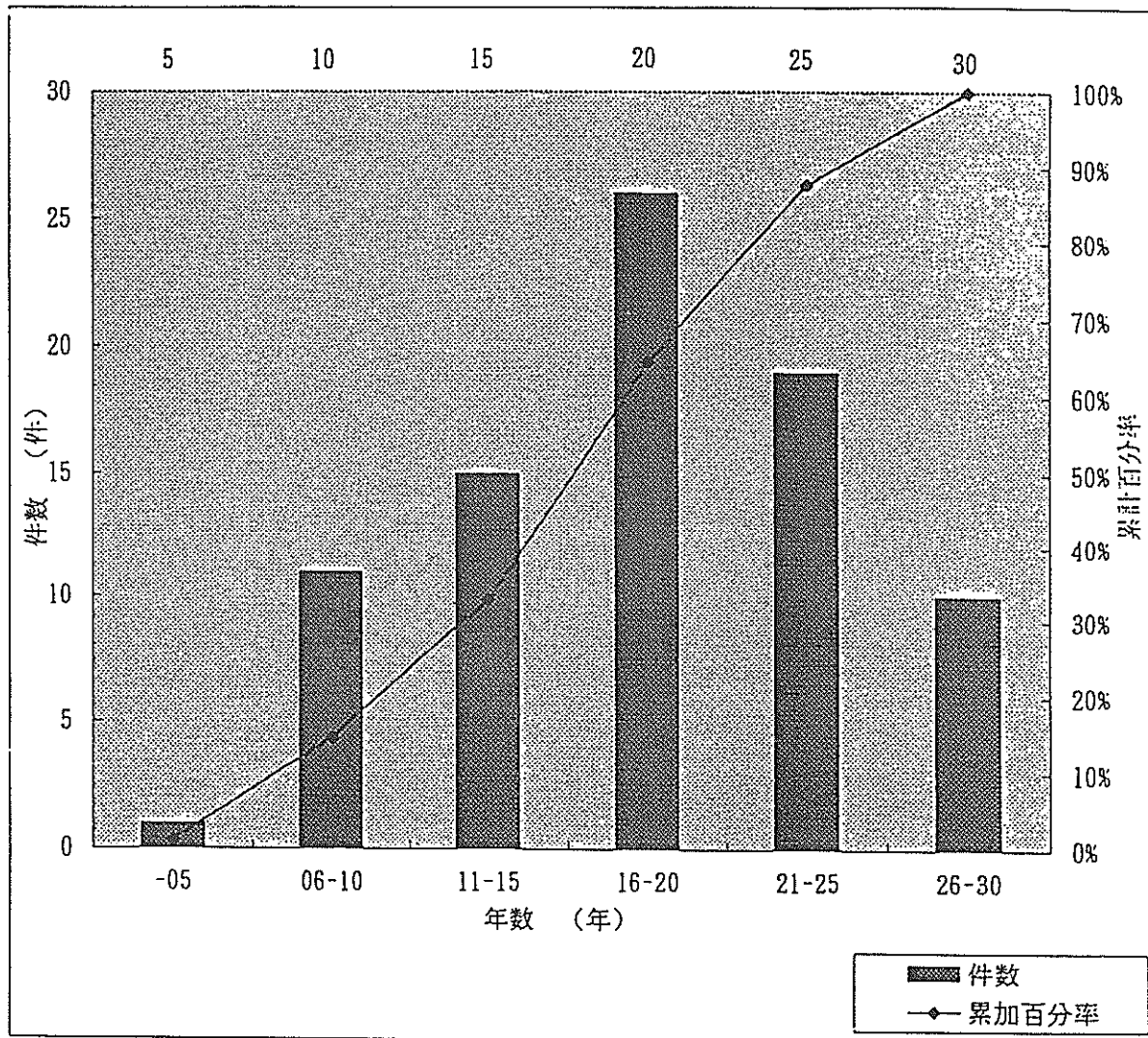


図-23 各取付方法における劣化レベルの分布 (ケース1)
 (当該バスで最も劣化の進行している防眩材を対象としている場合)

2.3 取り替えの実態から見た耐用年数

今回の実態調査では、防舷材の交換年数についても調査しており、それを取りまとめたものを図-24に示す。この図のとおり16年から20年で交換されるケースがもっ

とも多く約1/3を占める。また、使用期間25年までに全体の約9割は交換されている。これらの調査結果からのみ判断すると、防舷材の耐用年数は概ね20～25年くらいであると推定できる。



交換年数分布 (年)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
件数		1				1	2	5	3	6	2	2	2		3	
件数計					1				11						15	
累計百分率 (%)					1%				15%						33%	
交換年数分布 (年)	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	計
件数	3	7	4	6	6	7	1	5	2	4	4		1	3	2	82
件数計					26					19					10	82
累計百分率 (%)					65%					88%					100%	

図-24 交換迄の年数分布

2.4 設計に用いられる接岸速度

(1) 接岸速度

防舷材の設計に当たっては船舶の接岸速度が重要な要素であり、過去において調査されているが、実際の接岸速度については差が大きいため、基準等においても明確な指標がない。実際の設計においては概ね0.10m/s～0.20m/sが使用されている。今回の実態調査において、設計に使用された接岸速度についてもデータが集められたので、その傾向について分析を行った。

全体の傾向としては、図-25に示すとおり、接岸速度は0.05m/sから0.30m/sと幅広く分布しているが、0.10m/sと0.15m/sが多く採用されており、両者で8割以上を占めている。

対象船舶の大きさ毎に集計したものを、図-26～図-30に示す。

船舶の総トン数2,000GT以下（岸壁水深-5.5m以浅に相当）では、図-26及び図-27に示すように、接岸速度0.15m/sが50%以上、0.20m/sが10%以上あり、かなり速

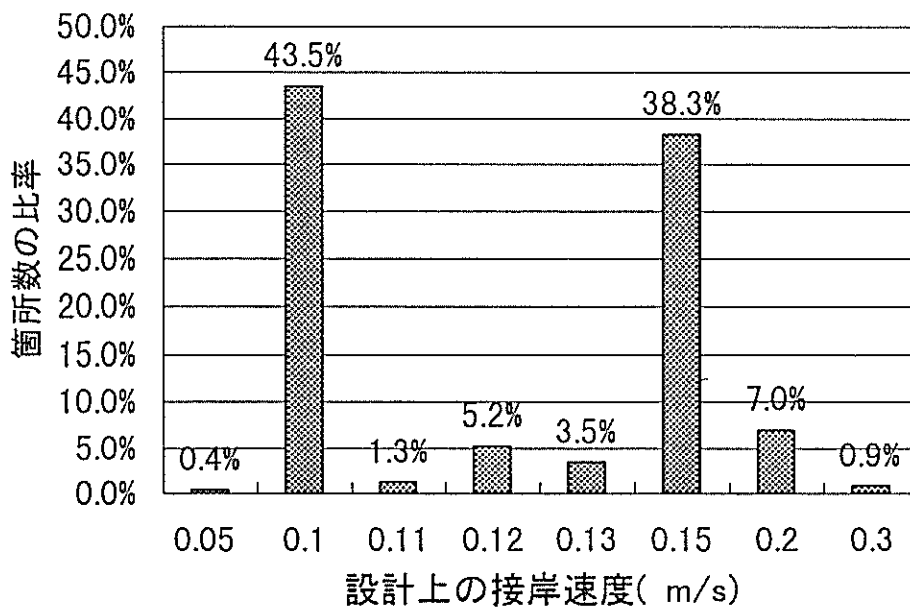


図-25 接岸速度の採用の比率（全体）

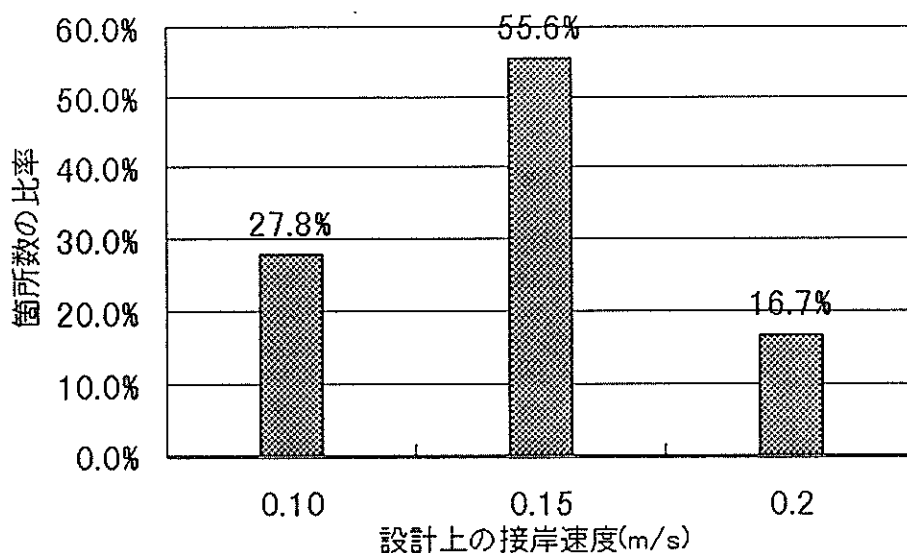


図-26 接岸速度の採用の比率（対象船型700GT以下/-4.5m岸壁以下）

い速度を想定していることが分かる。

総トン数2,000GTを超え5,000GT以下のクラス（岸壁水深-6.0m以深-7.5m以浅に相当）では、図-28に示すように、接岸速度0.10m/sと0.15m/sがそれぞれ40%程度を占めている。

総トン数5,000GTを超え10,000GT以下のクラス（岸壁水深-8.0m以深-10.0m以浅に相当）では、図-29に示すように、接岸速度0.10m/sが40%程度と最も多く、接岸速度が速くなるにともなってその頻度が減少している。

総トン数10,000GTを超えるクラス（岸壁水深-10.5m以深に相当）では、図-30に示すように、接岸速度0.10m/s

が80%以上を占め最も多くなっている。

(2)接岸速度と船舶の大きさ及び防舷材の高さ等との関係

船舶の接岸速度と防舷材の高さの関係を図-31に示す。接岸速度が大きい場合は対象船舶が小さいので、接岸エネルギーは小さくなり、防舷材の高さが小さくなる傾向にある。接岸速度0.10m/sでは、防舷材高さは大半が300～600mmであり、高さ500mmが最も多くなっている。接岸速度0.15m/sでは、高さ200～500mmのものが多くっており、高さ400mmが最も多い。

また、船舶の接岸速度と防舷材の長さの関係を図-32

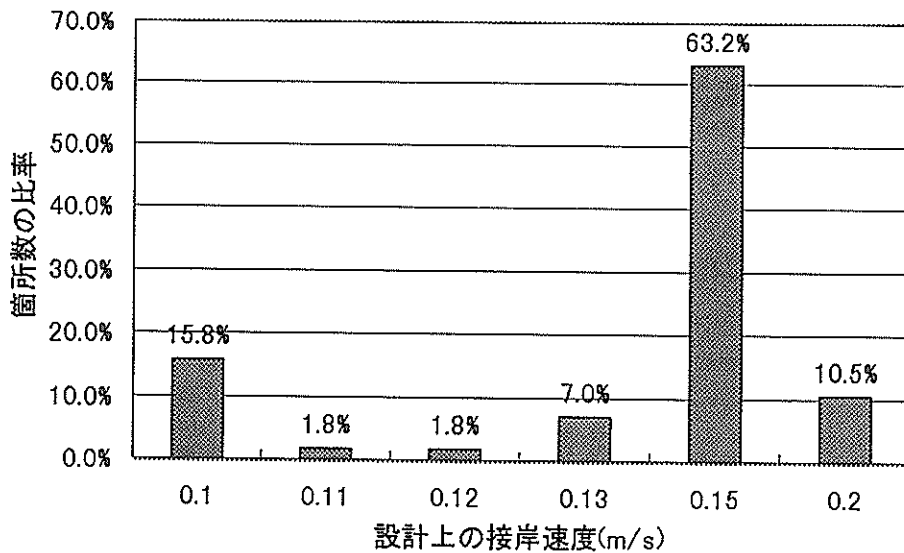


図-27 接岸速度の採用の比率 (対象船型700GTを超え2,000GT以下/-5.5m岸壁)

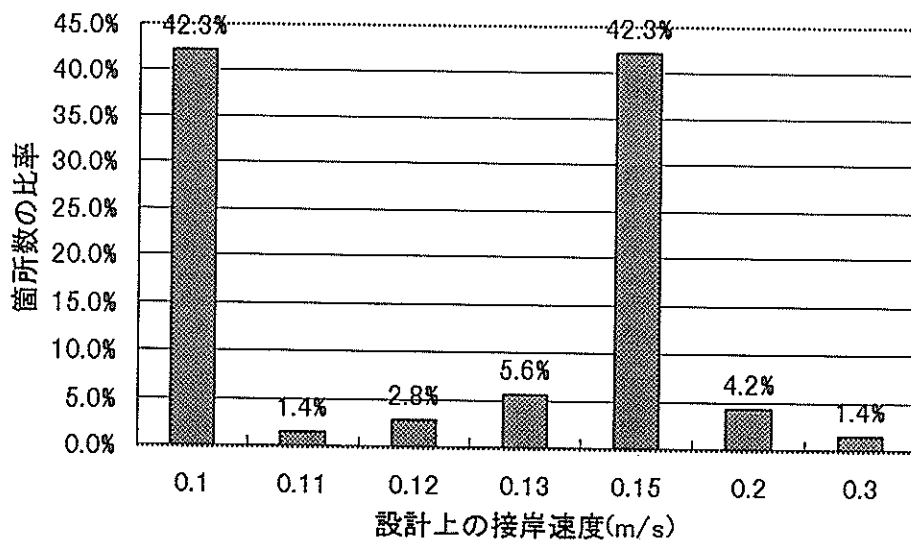


図-28 接岸速度の採用の比率 (2,000GTを超え5,000GT以下/-6.5m～7.5m岸壁)

に示す。全体としては、800mmから3,000mmと他種類の防舷材が使われているが、接岸速度が速くなると防舷材の長さは長くなる傾向である。これは、接岸エネルギーを防舷材の長さで吸収しようとした結果といえる。

3. 採取防舷材の力学試験・物性試験

実際に使用されていた防舷材の劣化の状態を評価するために、岸壁の工事や、防舷材の交換によって発生した実物を用いて、力学試験及び物性試験を行った。

3.1 試験手順

防舷材の試験は以下の手順によりJIS K 6301, 加硫ゴム物理試験方法³⁾に準じて実施した。

①寸法および外観チェック

②正常圧縮試験(写真-1参照)

③物性試験(JIS K-6301に準じて実施した。)

3.2 対象防舷材

以下に示す10本の防舷材について力学試験及び物性試験を行った。

①V型500H×2,000L:1本(NG港-12m岸壁)(写真-2参照)

②V型200H×1,000L:1本(KK港-3m物揚場)

③V型600H×1,900L:1本(TK港-10m岸壁)(写真-3参照)

④V型400H×1,500L:2本(TR港-7.5m岸壁)

⑤V型600H×2,500L:1本(KB港-12m岸壁)(写真-4参照)

⑥V型600H×2,000L:1本(KB港-12m岸壁)(写真-5参照)

⑦V型500H×1,000L:2本(KB港-9m岸壁)

(写真-6及び写真-7参照)

V型500H×1,200L:1本(同上)(写真-8参照)

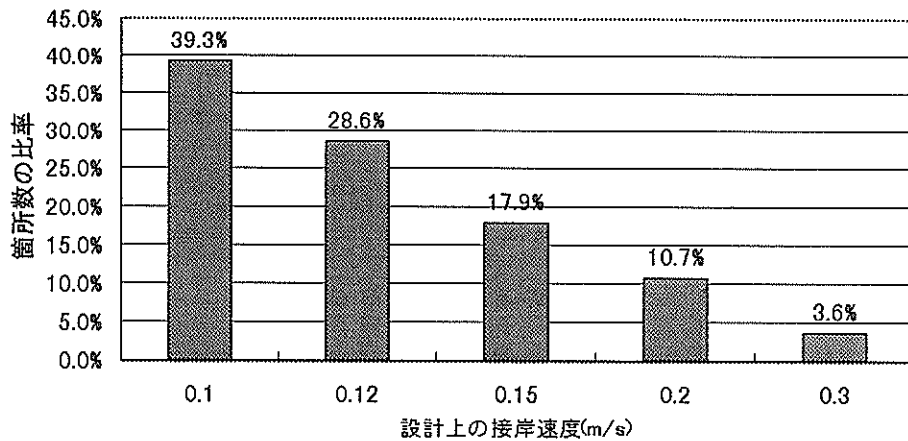


図-29 接岸速度の採用の比率 (5,000GTを超え10,000GT以下/-8.0m~-10.0m岸壁)

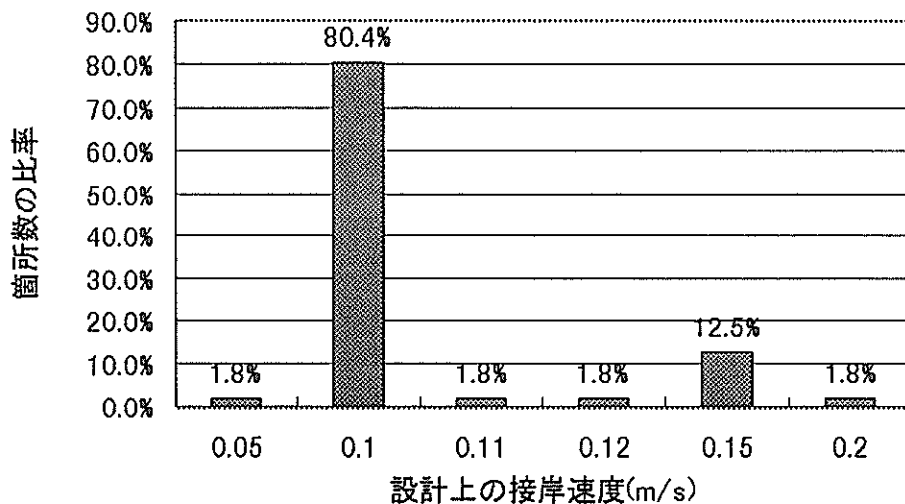


図-30 接岸速度の採用の比率 (10,000GTを超えるもの/-11m以上)

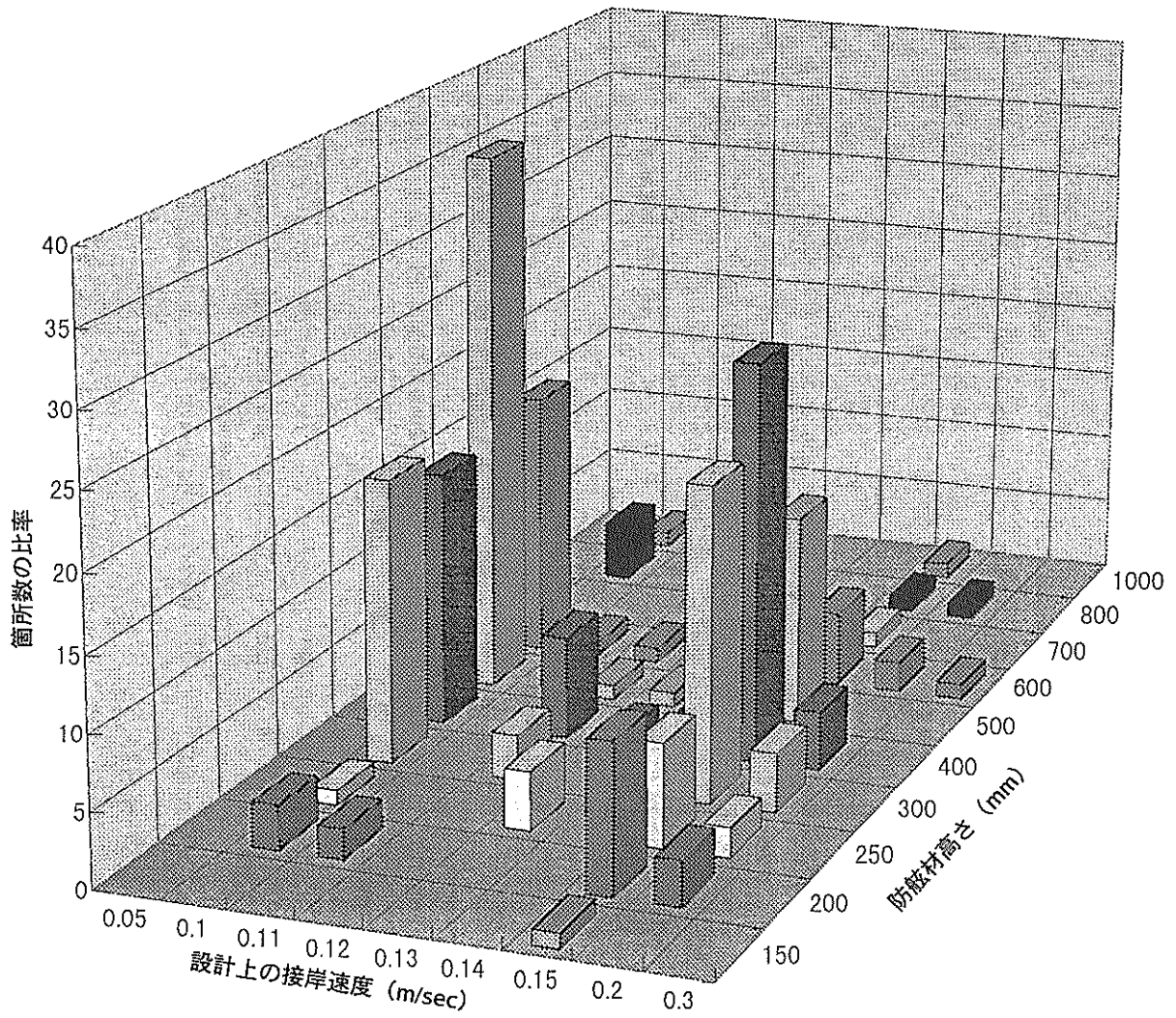


図-31 接岸速度と防舷材高さの採用の比率 (全体)

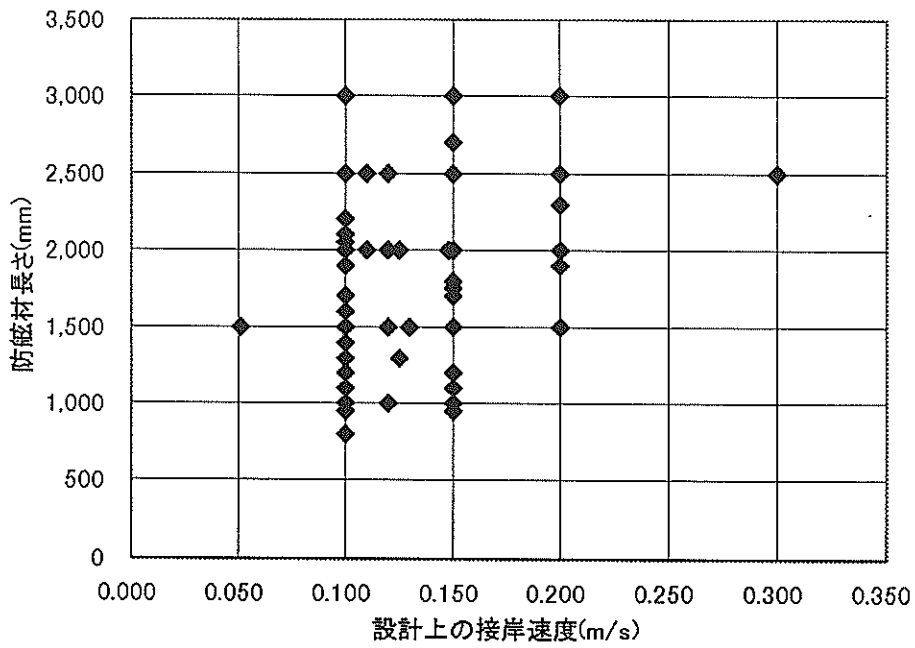


図-32 接岸速度と長さの関係

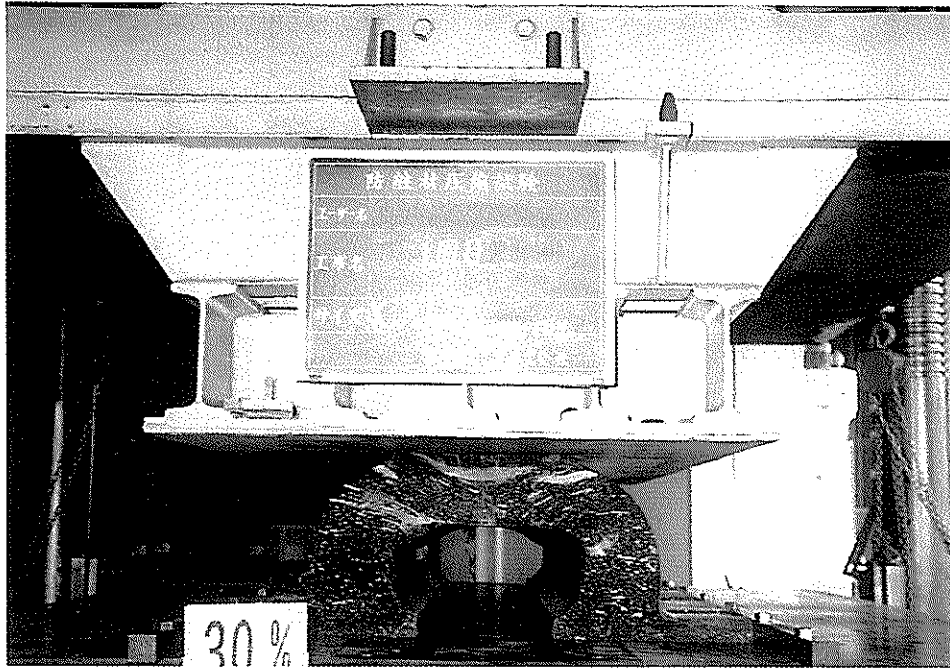


写真-1 正常圧縮試験

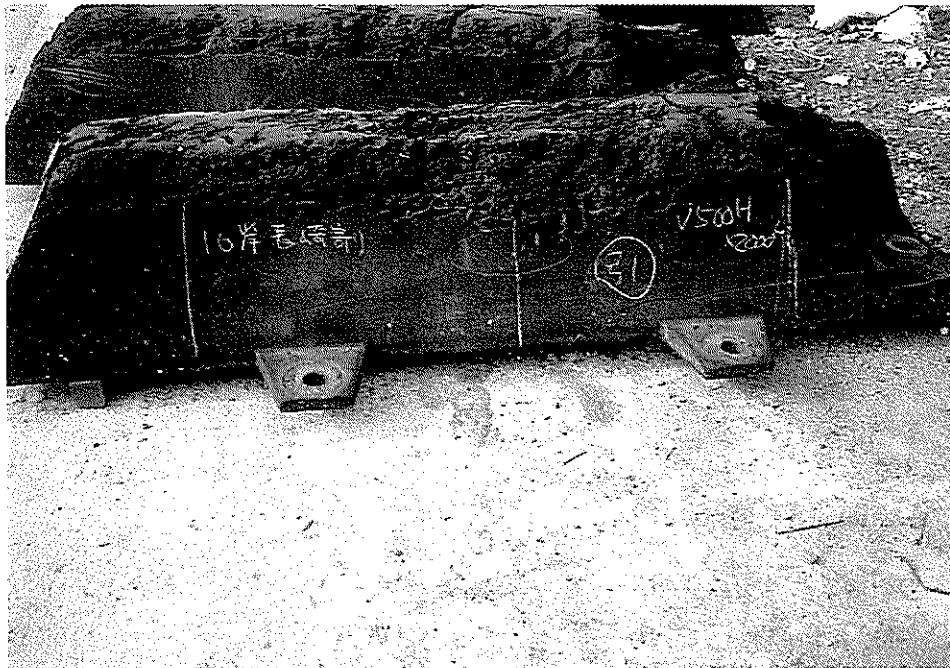


写真-2 防舷材損傷状況 (V型500H×2,000L)



写真-3 防舷材損傷状況 (V型600H×1,900L)



写真-4 防舷材損傷状況 (V型600H×2,500L)

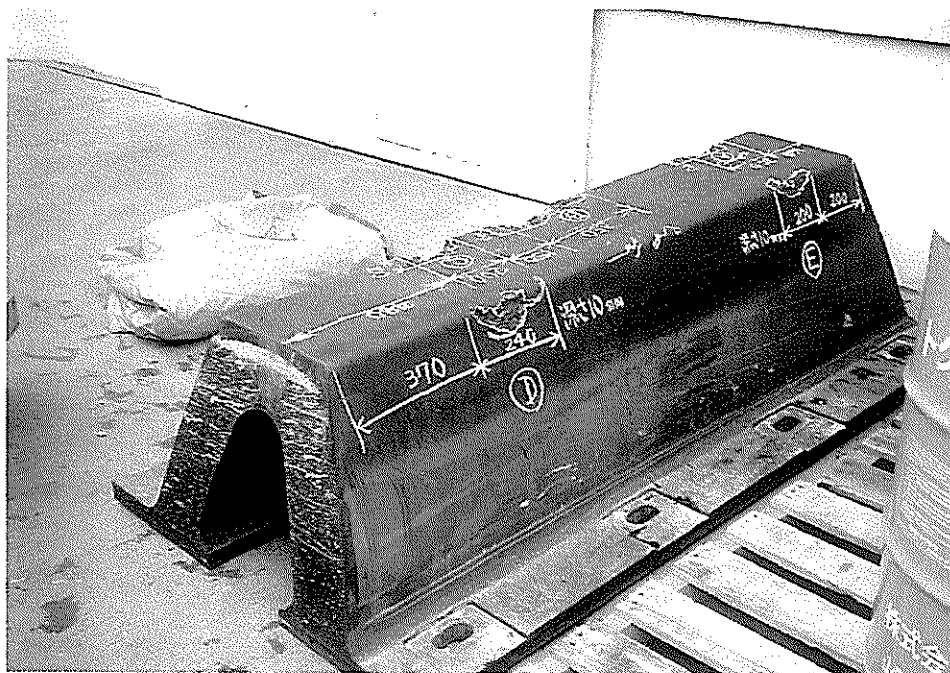


写真-5 防舷材損傷状況 (V型600H×2,000L)

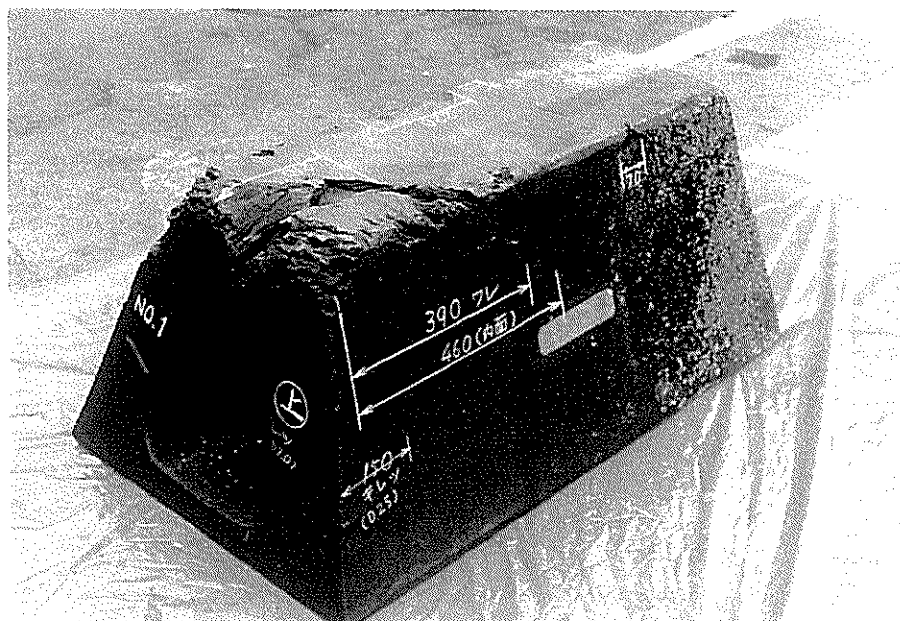


写真-6 防舷材損傷状況 (V型500H×1,000L)

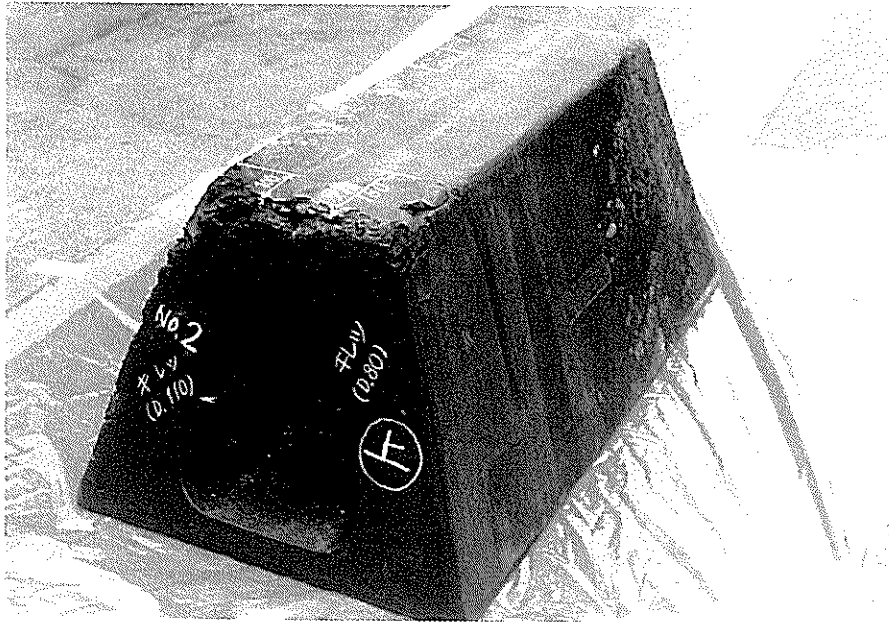


写真-7 防舷材損傷状況 (V型500H×1,000L)

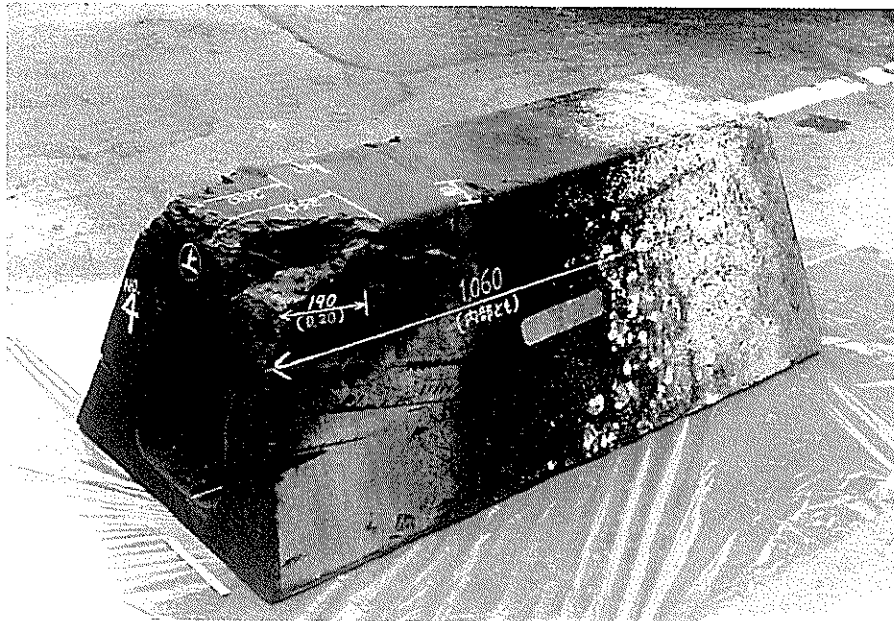


写真-8 防舷材損傷状況 (V型500H×1,200L)

3.3 試験結果

供試体によっては、頂部には亀裂がないと思われたが側部の亀裂が外観測定結果より大きく深く試験の続行が困難な場合や、既にかなり劣化していた場合等は、すべての試験項目を実施することはできなかった。

そこで、力学試験、物性試験が揃った代表的な試験結果を以下に示す。

(1) V型600H×1,900L (TK港-10m岸壁)

a) 仕様

- ・防舷材サイズ：V型600H×1,900L
- ・取付時期：1974年，21年経過

b) 正常圧縮試験

[試験方法]

- 圧縮速度 60mm/分
- 圧縮歪 55%
- 繰り返し圧縮回数3回
- 性能は2, 3回目平均値

結果を、図-33に示す。標準性能曲線値と比較して、反力は13%上昇している。

圧縮1回目歪み率45%以降にて防舷材側面に亀裂が発生した。

c) 物性試験

結果を、図-34に示す。

取り付け上面の外側部分の物性値が大きく変化している。部材内部については製造当時の物性値と同じ値を示している。

d) まとめ

正常圧縮時の性能は標準値と比較すると、反力が13%上昇している。物性値は、取り付け上面外側表面の験体において試験値は伸び50%，引張強さ8kgf/cm²と変化しているが表面より10mm～50mm程度より内部は製造当時とほぼ変わらない。

今回は正常圧縮での評価であり、実際の使用状態ではせん断、角度圧縮が加わり複合して作用するので、ゴム

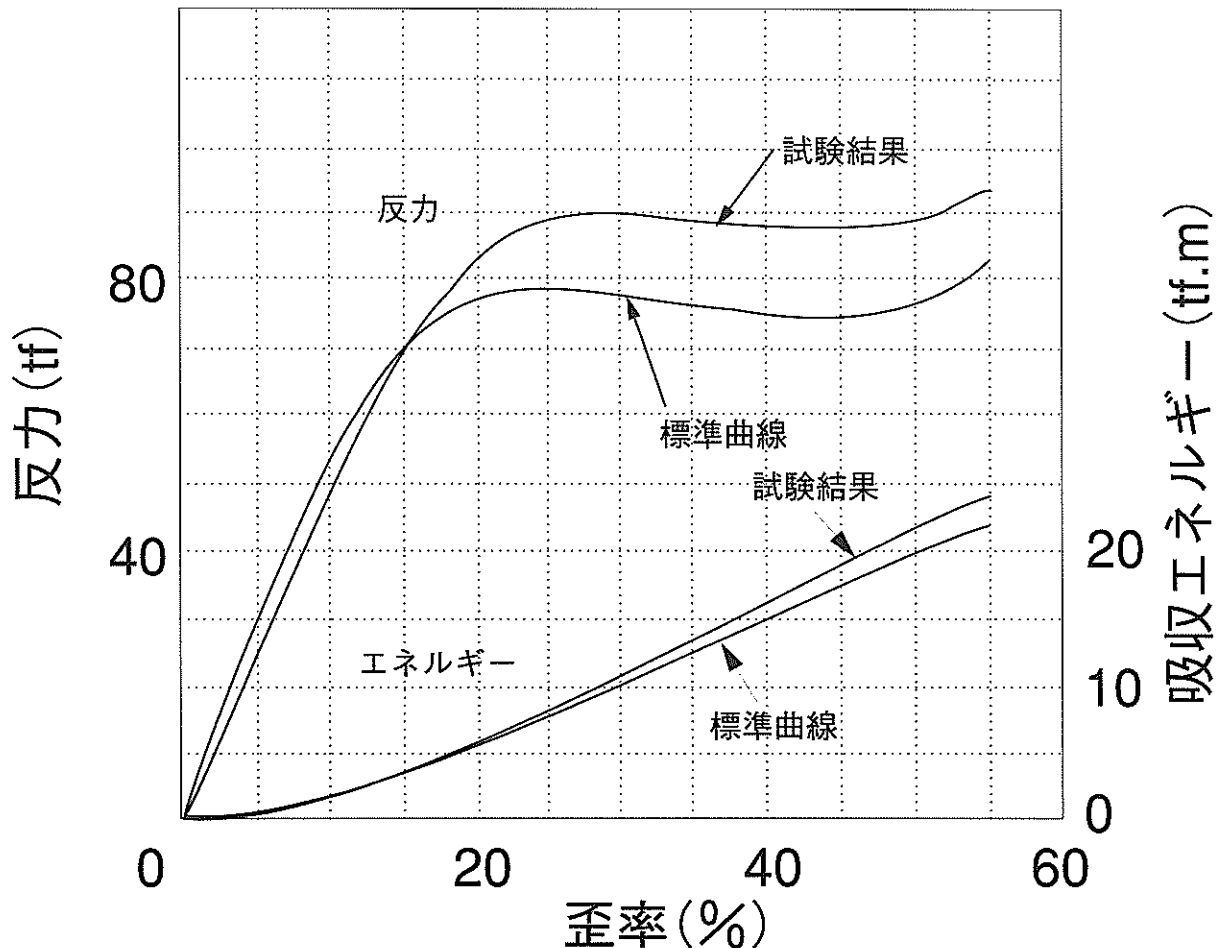


図-33 V型600H×1,900L性能曲線

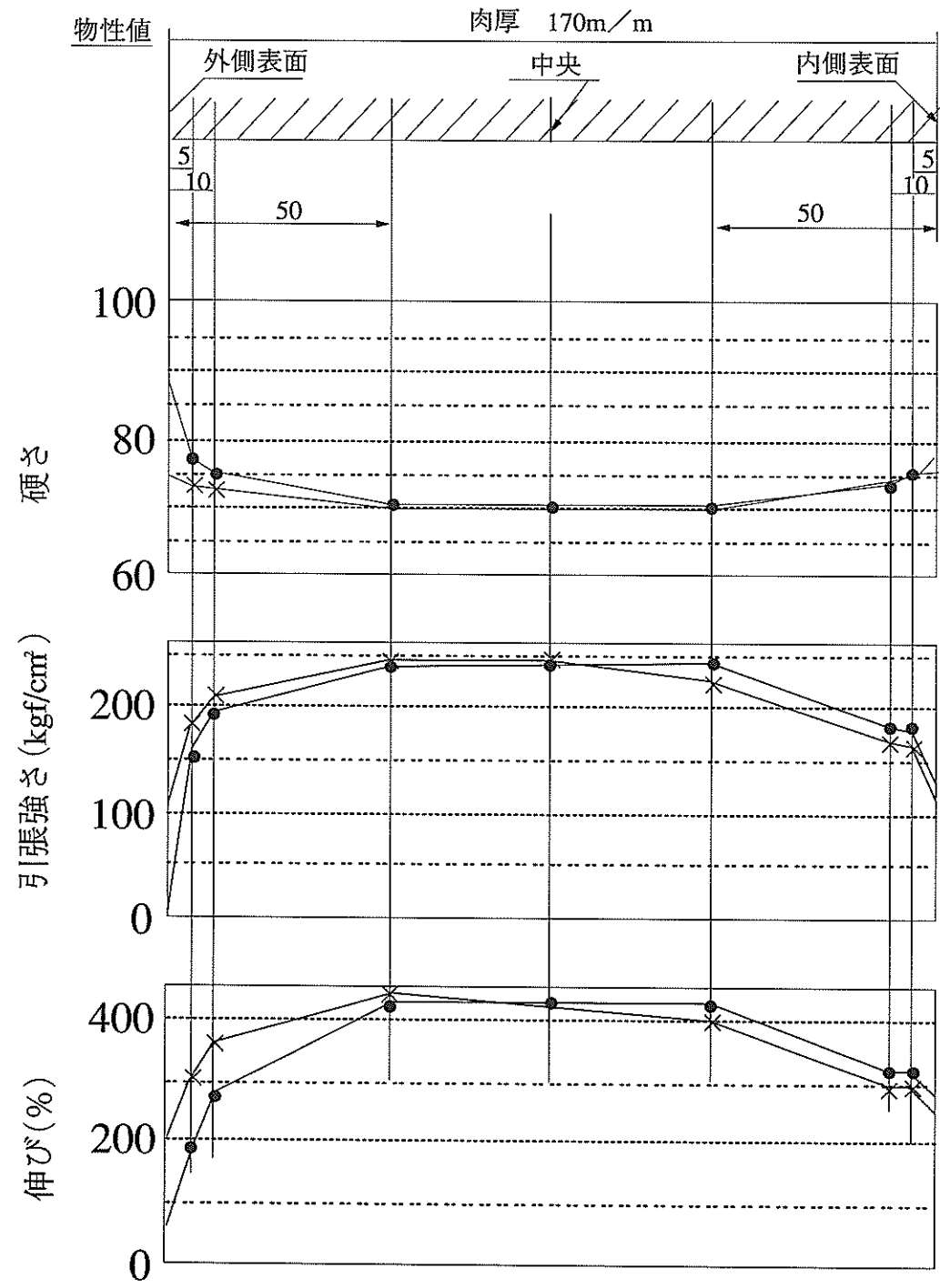
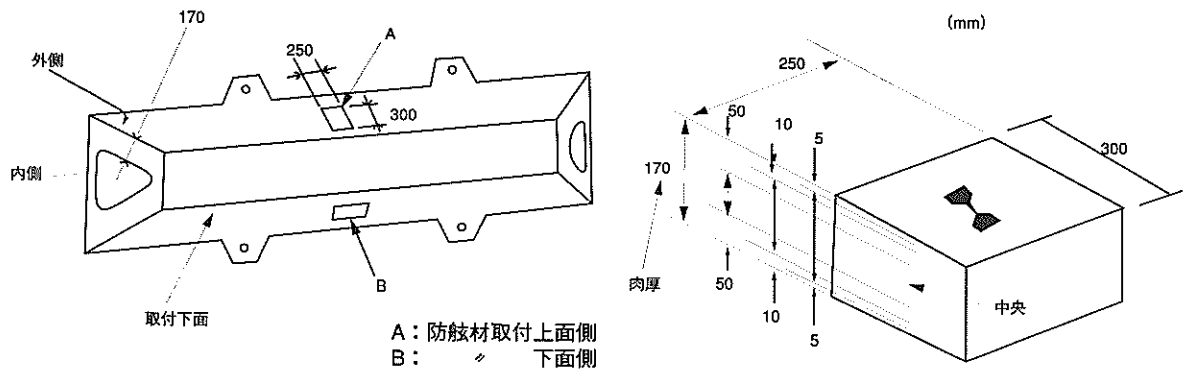


図-34 V型600H×1,900Lの物性試験結果

本体には局部荷重もかかることもあり、このような状態の防舷材を放置しておく、亀裂はもっと大きくなるものと思われる。

亀裂は、物性値の低下の激しい取付上面に多数生じた。

e) 当該岸壁の使用状況

- ・横付け，15.0mピッチ，取付け高さ+3.44m
- ・水深-7.5m，昭和51年完成
- ・潮位差2.30m
- ・貨物船，(客船)，対象船型10,000t
- ・設計接岸速度0.20m/s
- ・年平均利用隻数200隻（平成4～6年）
平均船型5,267t，最大船型33,400t
年総係留時間2,819hr
- ・当初は受衝板があったが，現在は受衝板なしの防舷材に交換。

(2)V型500H×1000L (KB港-9m岸壁)

V型500H×1200L (KB港-9m岸壁)

a) 仕様

- ・防舷材サイズ：V型500H×1000L，2本
V型500H×1200L，1本
- ・取付時期：1976年6月（20年経過）
- ・取付方法：縦付け

b) 試験結果

正常圧縮試験結果を図-35及び図-36に示す。

正常圧縮試験の性能については，損傷しているにも拘らず，さほど低下していない。その理由としては，表面ゴム硬度が長期の使用の間に上昇したためではないかと考えられる。

しかし，反力が25%～29%上昇しているので，継続して使用するには注意が必要な段階であると考えられる。

致命傷の割れを持った製品では，正常圧縮試験で定反力とならず，歪みの増加に従って反力も増加することが分かり，性能低下していることが確かめられた。（図-36参照）

ゴム物性については，外表面と内部との差は若干みられたが，表面ゴムの硬さの上昇以外は，経年による物性変化がさほどみられなかった。

(3)V型600H×2,000L (KB港-12m岸壁)

a) 仕様

- ・防舷材サイズ；V型-600H x 2,000L
- ・取付時期；1990年
- ・取付方法；横付け

b) 寸法及び外観

防舷材頭部で，ゴムが破損している（5ヶ所）。

これは船舶の突起物の接触により，生じたものと考えられ，これ以外にも深さ2～5mm程度の傷が多数確認できた。

c) 正常圧縮試験

試験

・圧縮スピード；50mm/min

・圧縮歪；45%

結果

・圧縮による破損はなく，変形形状も異常なかった。

・防舷材の反力は，カタログ標準値より25%程高くなっていた（図-37参照）。

d) 物性試験

〈サンプル採取〉

物性試験に供するゴムサンプルは，図-38に示す位置より採取し，各位置において肉厚方向の5層から，供試体を作成した。

〈項目〉

・硬度(Hs)

・引張試験【100%モジュラス(M100)，引張強さ(TB)，引張伸び(EB)】

・引裂き試験(TR-A)

〈結果〉(図-39，図-40参照)

・硬度(Hs)，100%モジュラス(M100)，引張強さ(TB)，伸び(EB)においては，各部位のゴムに相違はない。

・ただ，引裂き強度(TR-A)においては上脚部の表面近くのゴム層で強度が低下している。

4. 外観による性能判定とその劣化レベル

4.1 劣化レベルと試験結果の整理

圧縮試験を行った防舷材を「2.2(3)a)劣化レベルの考え方」で示した劣化レベルの評価方法で判定して，圧縮試験結果との相関性を調べて，劣化レベルの評価方法の妥当性を検証した。

力学（圧縮）試験に用いた防舷材の諸元や利用状況を表-3に，また，力学（圧縮）試験結果と物性試験結果を表-4に示す。試験結果の値は，その防舷材の規格値または標準値との比を%で表している。

なお，防舷材の反力及び吸収エネルギーに関して，防舷材の検査基準⁴⁾では±10%の公差を許容している。そのため，本試験に使用した防舷材の出荷時検査による実際の反力及び吸収エネルギーは，規格値と比較して±10%の範囲内で異なる可能性もあるが，現時点では出荷

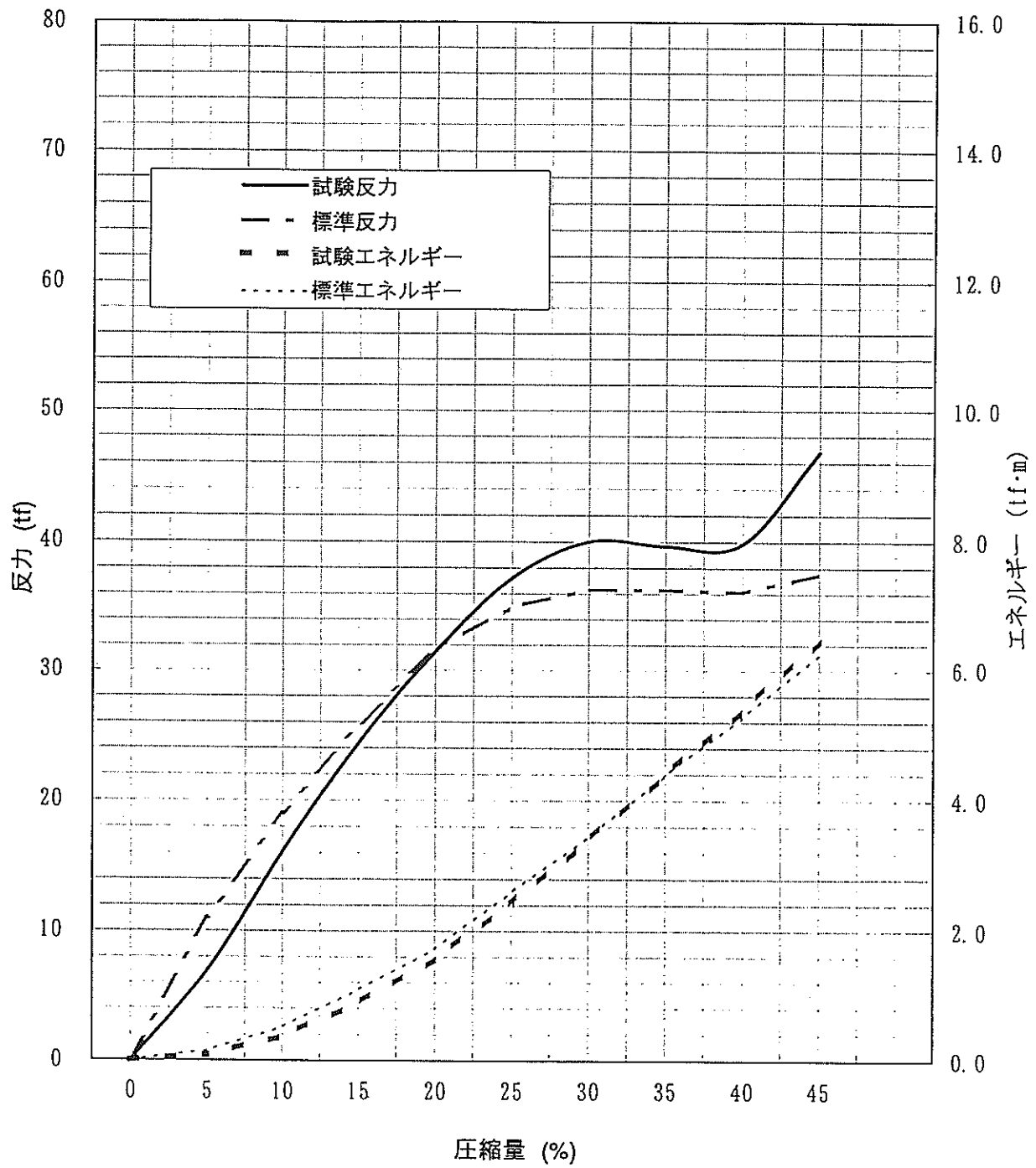


図-35 V型防舷材圧縮性能曲線 (V型500H×1,000L)

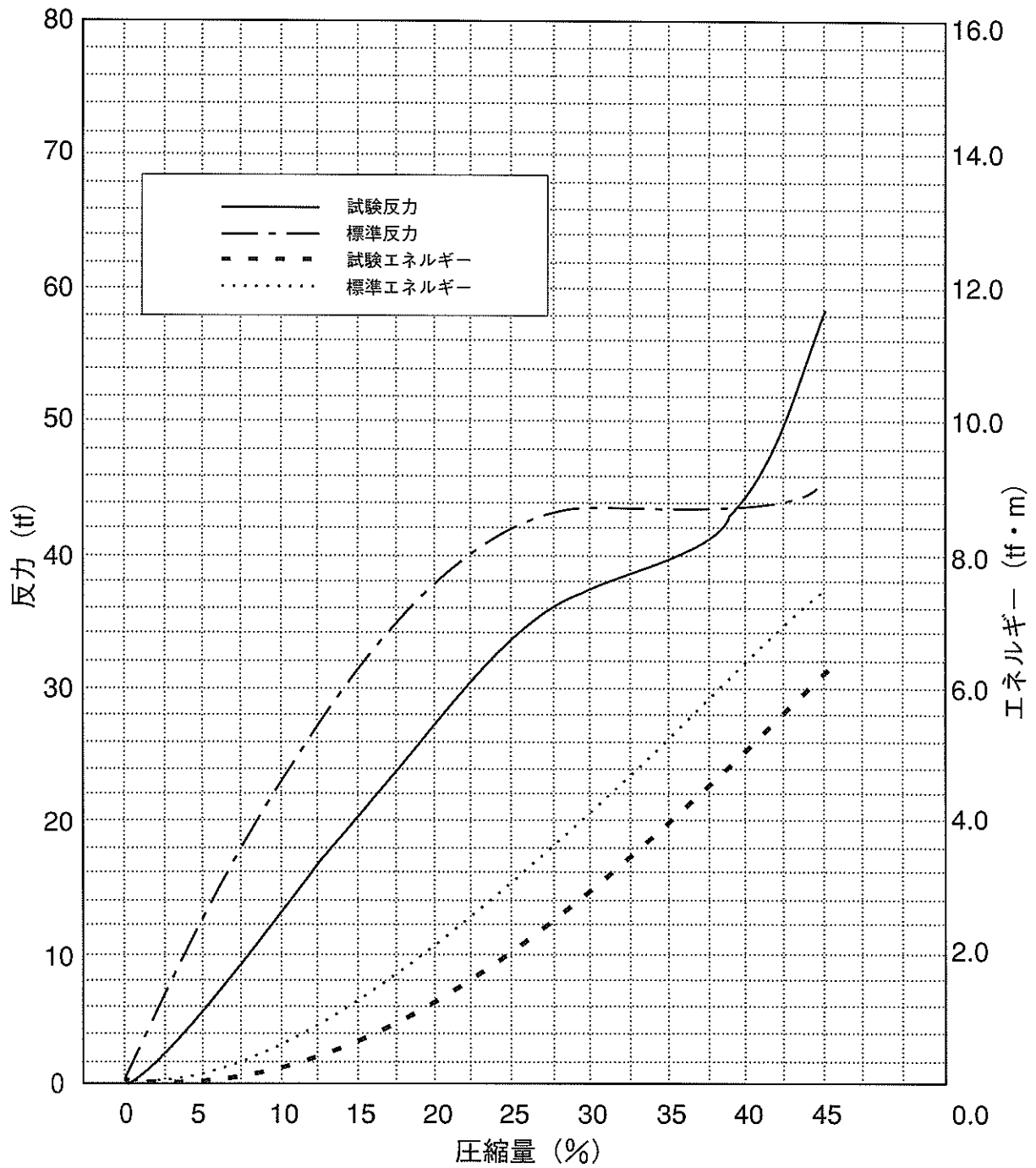


図-36 V型防舷材圧縮性能曲線 (V型500H×1,200L)

時の検査結果はほとんど分からないので、規格値を基準に評価することとした。

また、力学試験結果の値は、劣化した形状のまま圧縮して得られたものである。

4.2 劣化レベルと各指標の関係

(1)劣化レベルと経過年数

劣化レベルと経過年数の関係を図-41に示す。この図から判断すると、経過年数が増えると劣化レベルも大きくなる傾向にはあるが、その相関は低い。つまり、経過年数だけが劣化の要因となるのではなく、使用中に船舶が防舷材に与える損傷等の影響の方がより重要な要因となると考えられる。

(2)劣化レベルと力学試験の結果との関係

a) 図-42は、使用後の防舷材の力学試験結果と劣化レベルの関係を示したものである。

吸収エネルギーと反力は、防舷材の性能を示す代表的な指標であり、その低下は船舶の船体や岸壁構造物へ直接影響するものである。

また、防舷材は、前述のとおり、規格値に対して±10%の公差を持つので、±10%の幅を以て性能を判断する必要がある。そこで、図-42に示すように高いラインと低いラインで判断することとする。

b) 一般的に、防舷材の反力は、防舷材に大きな割れや欠落等がなく初期の形状を維持している段階では、老化によるゴムの硬化の影響で上昇し、さらに劣化が進行すると反力の上昇が頭打ちになった後、下降し始めるという特性を持つと考えられている。

図-42はこの特性を示しており、防舷材の反力は、大きな割れや欠落等がない劣化レベル1~3点では上昇し、劣化レベル4点くらいで頭打ちとなり、劣化レベル6点以降で下降し始めていることが分かる。

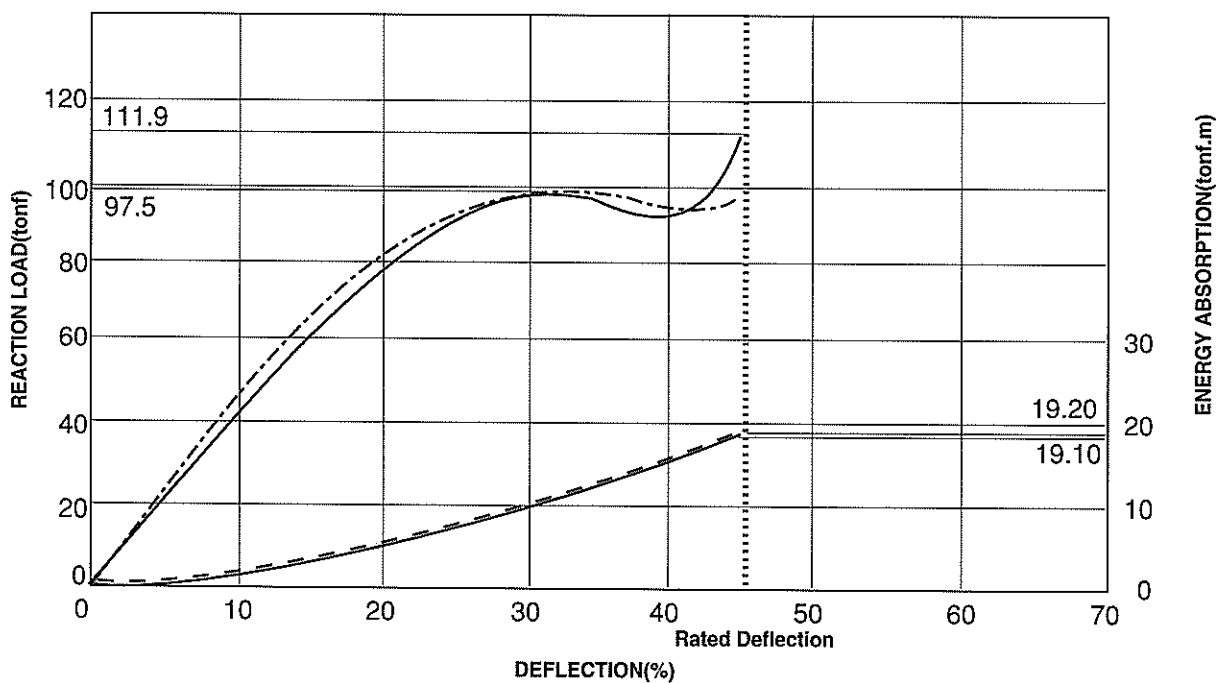


図-37 性能曲線 (正常圧縮試験) (V型600H×2,000L)

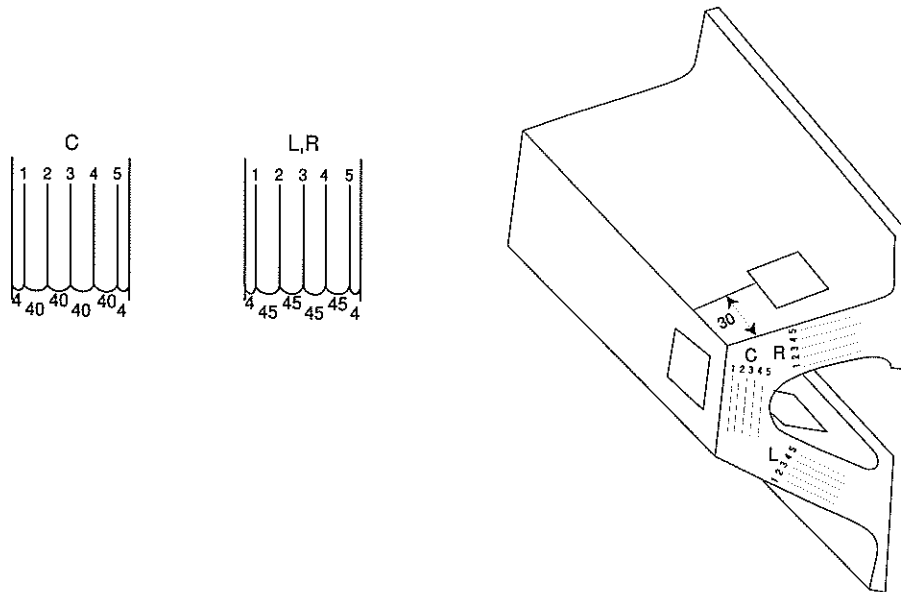


図-38 物性試験のサンプル採取位置

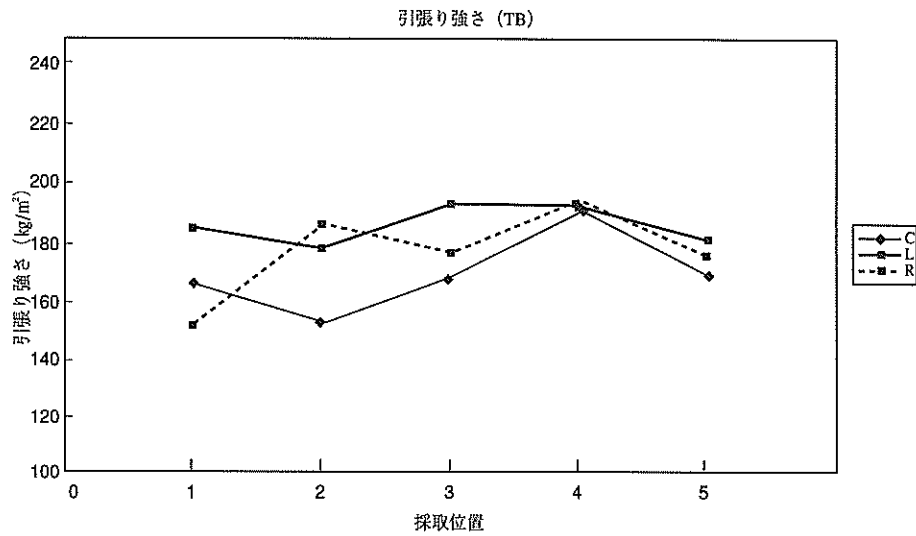


図-39 V型防舷材 (V型600H×2,000L) の物性試験結果①

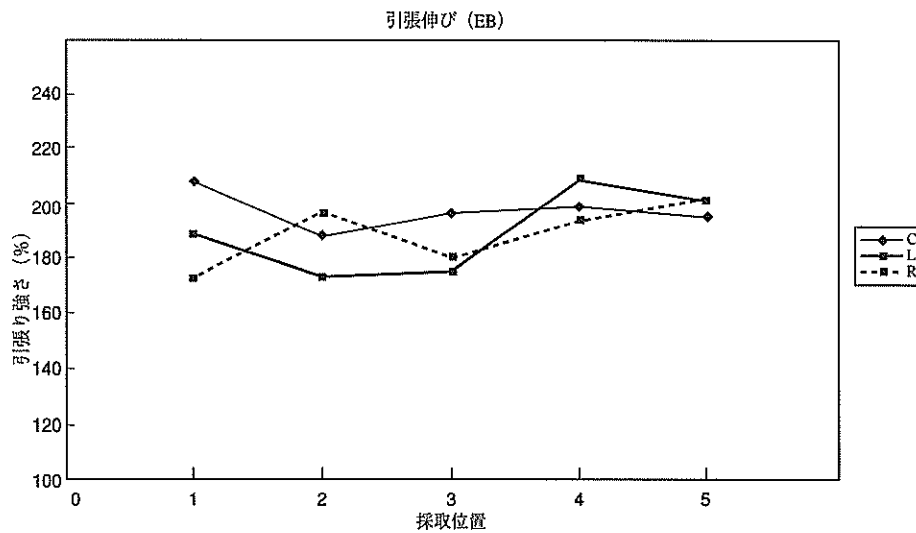


図-40 V型防舷材 (V型600H×2,000L) の物性試験結果②

表-3 力学試験・物性試験に使用した採取防舷材の諸元

	寸法：本数	設置施設	取付方法	ピッチ	取付高さ	受衝板	設置年	潮位差	対象船型	接岸速度	(平成4~6)			年平均総係留時間
											年平均利用隻数	平均船型	最大船型	
①	500H×2,000L	NG港-12m岸壁	横	15.0m	+3.50m	無し	昭和46年	3.30m	20,000DWT	—	146隻	2,374t	40,800t	7,532hr
②	200H×1,000L	KK港-3m物揚場	縦	9.0m	+2.50m	無し	昭和36年	1.82m	—	—	111隻	500t	900t	10,036hr
③	600H×1,900L	TK港-10m岸壁	横	15.0m	+3.44m	有り	昭和51年	2.30m	10,000DWT	0.20m/s	200隻	5,267t	33,400t	2,819hr
④	400H×1,500L：2本	TR港-7.5m岸壁	横	6.5m	+1.2m	無し	昭和51年	0.60m	6,000DWT	0.10m/s	17隻	2,534t	4,790	1,015hr
⑤	600H×2,500L	KB港-12m岸壁	横	—	—	無し	昭和49年	1.7m	30,000DWT	—	(120隻)	—	—	(3,600hr)
⑥	600H×2,000L	KB港-12m岸壁	横	—	—	無し	平成2年	1.7m	30,000DWT	—	(120隻)	—	—	(3,600hr)
⑦	500H×1,000L：2本 500H×1,200L：1本	KB港-9m岸壁	縦	—	—	無し	昭和51年	1.7m	10,000DWT	—	(230隻)	—	—	(4,500hr)

注：（ ）の値は、データが得られなかったため、全国の平均値を参考として掲載した。

表-4 防舷材の力学試験及び物性試験結果

	寸法	施設	外観	劣化レベル (点数)	経過 年数	総接岸数 (隻)	総係留時間 (時間)	物性試験		力学試験	
								引張り強度 (%)	伸び (%)	吸収エネルギー (%)	反力 (%)
①	500H×2,000L	NG港	欠落、割れ	9	26	146	7532			41	73
②	200H×1,000L	KK港			8	111	10036	81	73	80	140
③	600H×1,900L	TK港	欠損、オゾン	1	21	200	2819	3.3	12	109	120
④	400H×1,500L	TR港1	割れ、欠損	4	20	17	1015			103	149
	400H×1,500L	TR港2	割れ、欠損	3	20	17	1015			93	114
⑤	600H×2,000L	KB港 (-12M) (1)	亀裂、オゾン	1	20	120	3600	33	29	104	117
⑥	600H×2,000L	KB港 (-12M) (2)	欠損	2	5	120	3600	85	87	107	123
⑦	500H×1,000L	KB港 (-9M) (1)	割れ、欠損	6	19	230	4500			104	125
	500H×1,000L	KB港 (-9M) (2)	割れ、欠損	2	19	230	4500	88	85	108	128
	500H×1,200L	KB港 (-9M) (3)	割れ、欠損	7	19	230	4500			83	130

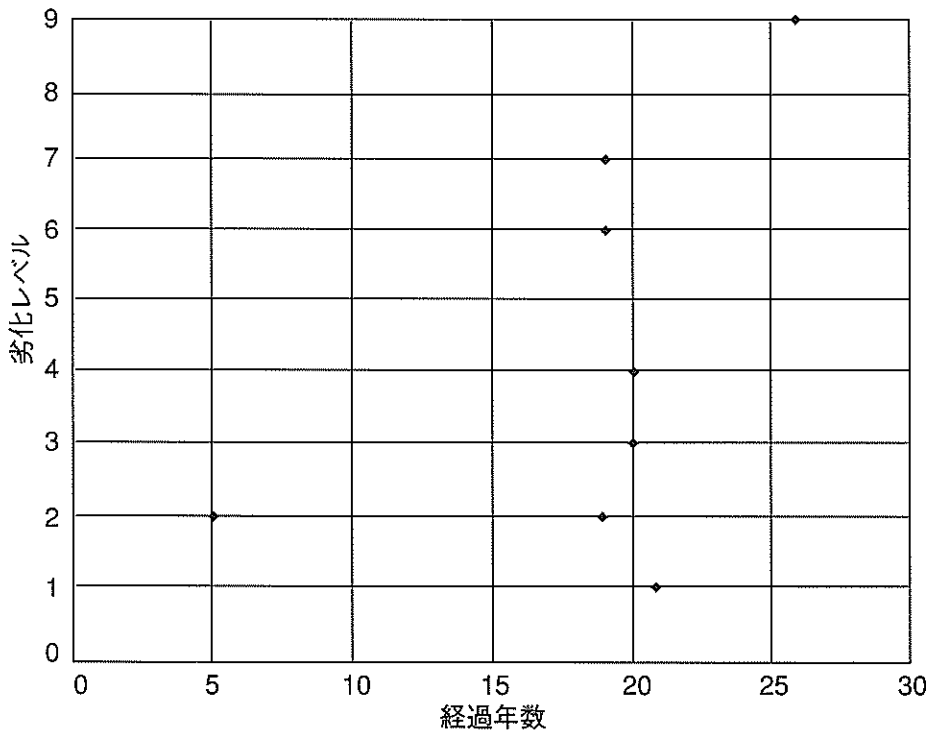


図-41 経過年数と劣化レベルの関係

防舷材の反力が25%程度上昇すると、横棧橋の鋼管杭の許容水平力を超えるケースも考えられる。このように、反力の上昇は構造物への影響が特に大きいので、反力が規格値の110%を超える場合は、機能を維持していない可能性が大きくなる。

図-42から判断すると、劣化レベル3点が防舷材の機能を評価する一つの境界と考えられる。劣化レベルが3点以上となるのは、欠落、割れ及び永久変形が20%以上に達するか、あるいは欠損、チッピング、亀裂が40%以上生じている場合である。このような場合、防舷材はゴムが硬化することにより、反力が大きくなるが、実際には反力を発揮できる有効長が減少していくことになり、防舷材としての機能を発揮できる形態ではなくなる段階に達していると考えられる。

さらに、6点以上の段階は、反力が低下しているので明らかに劣化していると判定すべきである。

c) 一方、吸収エネルギーは劣化レベル5点くらいまでは、試験結果の数値上はほぼ公差以内に入っている。防舷材が劣化すると硬度が大きくなる。この場合、劣化の前後において外力が同一であっても、劣化後は歪み量が小さくなり、吸収エネルギーは減少するはずである。しかし、硬度が大きくなると、一方で反力が大きくなるので、吸収エネルギーが上昇する。つまり、欠損等の劣化により、防舷材の有効長が減少し、吸収エネルギーは下がるはずであるが、ゴムの硬化による反力の上昇で見

かけ上は初期状態に近い数値を示していると考えられる。

従って、吸収エネルギーの数値が初期値と同程度であったとしても、劣化レベルが3点から5点の場合は、防舷材の標準的な性能が維持されているとはいえ、劣化が進行している状態であると判断される。

さらに、劣化レベル6点以上では、反力も上昇しなくなるので吸収エネルギーについても、下降していくことになる。

当然、6点以上では、所要の機能を維持していないと考えられる。

d) 以上から、劣化レベルと力学性能の関係は、概ね次のような3つの領域に分類できる。

◆Ⅰの領域（劣化レベル0以上3未満）：

反力が上昇する状態

◆Ⅱの領域（劣化レベル3以上6未満）：

反力が頭打ちになる状態

◆Ⅲの領域（劣化レベル6以上）：

反力、吸収エネルギーとも低下する状態

Ⅰの領域では多少、反力が上昇するが、劣化していないと判定することができると考えられる。

Ⅱの領域については、吸収エネルギーとしては初期の性能があるが反力が上昇しているので、当該岸壁の構造形式等も勘案した上で、劣化していると判定するか、詳細な試験により判定するか決定する必要があると考えられる。つまり、岸壁が棧橋式等の柔構造であれば防舷材

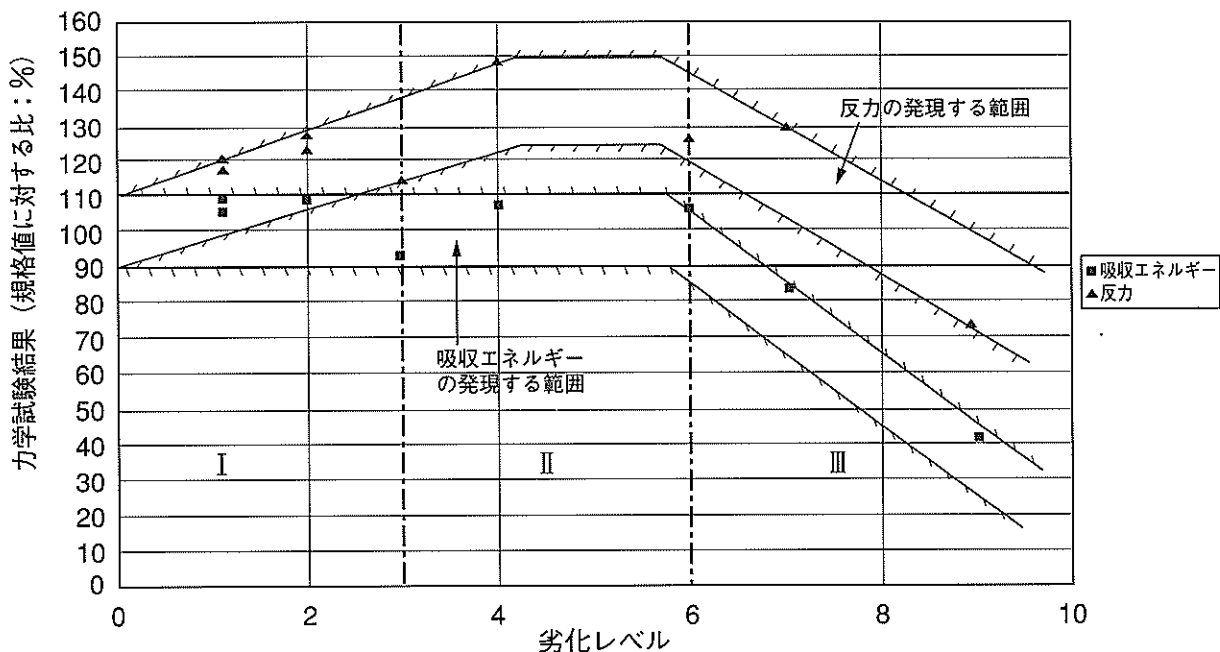


図-42 劣化レベルと力学試験結果の関係

の劣化の影響が大きいが、重力式等であれば影響は小さいので、船舶への影響も考慮し総合的に判断する必要がある。

また、Ⅲの領域は、反力、吸収エネルギーとも大きく低下するので、劣化していると判定すべきであるといえる。

これらを整理したものが、表-5である。

(3)劣化レベルと物性試験の結果との関係

劣化レベルと物性試験の試験結果との関係を図-43に示す。

ゴムの一般的な特性を調べる物性試験は、防舷材の材質を保証するものである。つまり、規格に適合した物性値と形状を保持していれば、所定の防舷材性能を保有しているものとされているので、防舷材の製造時点では、ゴム物性と防舷材性能は相関しているといえる。この相

関性が防舷材の現地での使用後にも適応できるかを検討した。

物性試験は回収した防舷材の力学試験が終了したものの適当な位置から試験片を採取してJIS規格に従って試験を行った。ゴムの劣化が表面からどの程度内部まで進行しているか調査するために、ゴム部材の厚さ方向に表面から内部に数枚切り取って試験片とした(図-38参照)。

防舷材表面付近のゴムの物性(引張強度、伸び)は、劣化レベルが低くてあまり劣化が進んでいない状態でも低い値しか出ないことが示された。一方、部材内部では、物性はほとんど低下していない。表面付近のゴムの物性が低下していてもその防舷材の吸収エネルギーや反力は初期の性能を維持している。つまり、防舷材のゴムの物性の低下は経過年数に応じて表面付近は進行していく

表-5 図-42に基づいて防舷材の劣化の程度を判定する表

図-42 に示す範囲	防舷材の性能の評価	劣化の程度の判定
I (0,1,2点)	機能を維持している可能性が大きい。	劣化していないと判定する。
II (3,4,5点)	機能を維持していない可能性が大きい。	劣化していると判定するか、または、試験等により判定する。
Ⅲ (6点以上)	機能を維持していない。	劣化していると判定する。

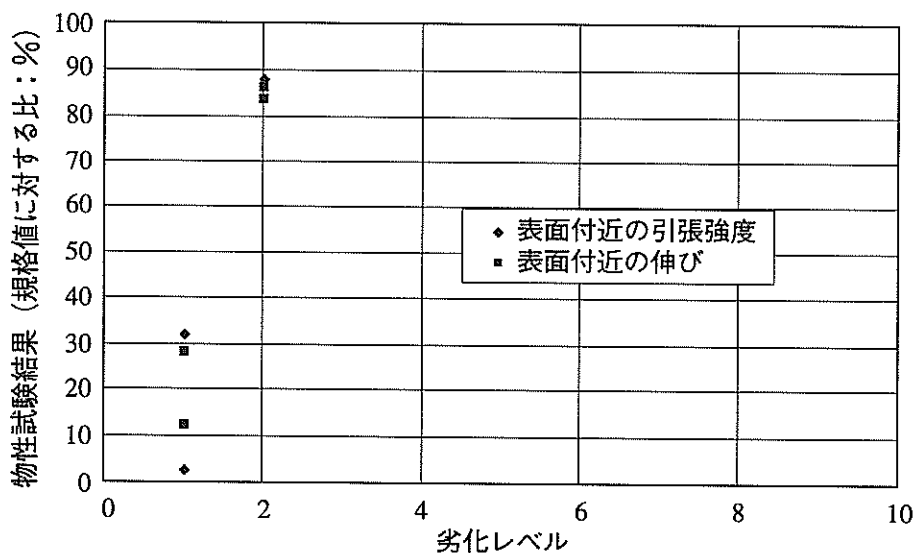


図-43 劣化レベルと物性試験結果の関係

が、20年程度では部材内部までは及ばないといえ、劣化レベルが低い場合（2点以下）防舷材の所要の性能は保持されていると考えられる。

(4) 経過年数と力学試験及び物性試験の結果の関係

経過年数と力学試験及び物性試験の結果を図-44及び図-45に示す。

経過年数だけで防舷材の性能の評価をすることは難しいが、反力、吸収エネルギーは20年程度までほとんど変化がなく、経過年数26年の防舷材は1ケースしかないが試験値が低い値を示していること、及び、2.3で述べたように取り替え実態から見た耐用年数が概ね20～25年であることを考えあわせると、防舷材は20年を超えると圧

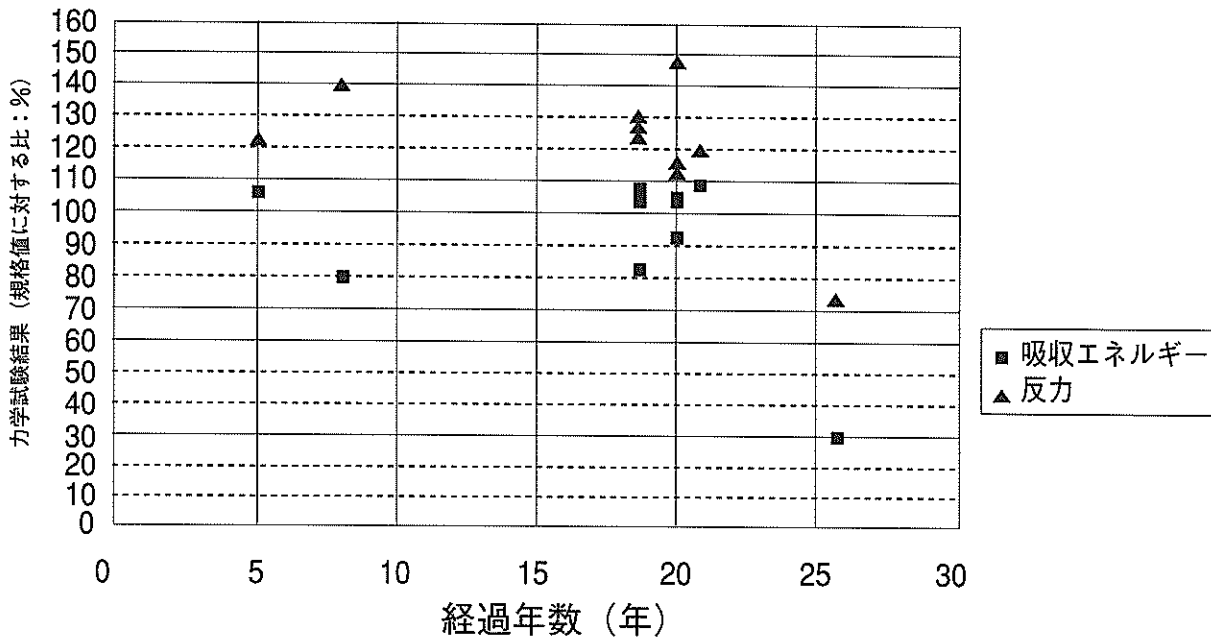


図-44 経過年数と力学試験結果の関係

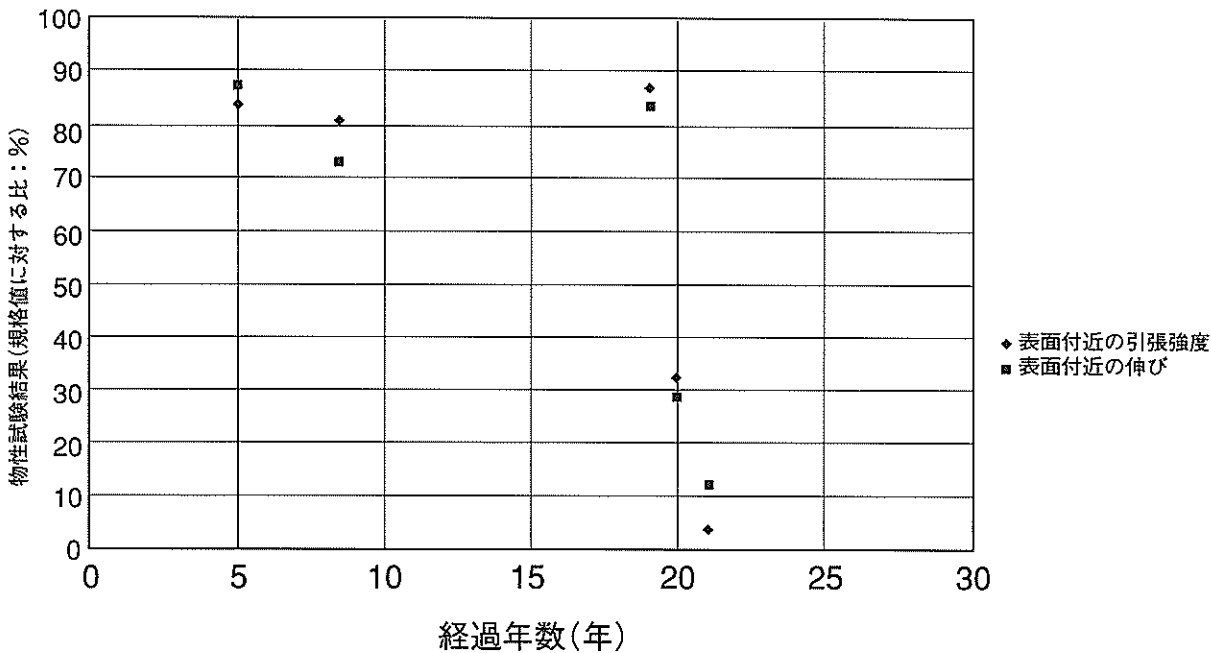


図-45 経過年数と物性試験結果の関係

縮性能が低下すると考えることもできる。

(5)船舶の影響と力学試験及び物性試験の結果の関係
船舶の接岸や係留が防舷材の劣化へ及ぼす影響を把握するために、船舶の接岸隻数及び平均年間係留時間と性能との関係を整理した(図-46及び図-47参照)。

これらの図から、劣化の程度は船舶の接岸回数や係留時間とはあまり関係がない。これは、船舶が防舷材に損傷を与えるのは特殊なときであり、それを定量化するのは難しいということを示していると考えられる。

(6)物性特性と力学特性の関係

防舷材表面の引張強度と力学試験結果の関係を図-48に示す。

引張強度が低くても初期の性能を満たしているものもあり、(3)でも述べたように表面付近の物性の低下は防舷材全体の性能の低下には結びつかないといえる。

5. 防舷材の劣化による係留施設への影響

これまで述べたように、防舷材が劣化することにより、防舷材の反力は大きくなる。その場合、係留施設への反力が大きくなるので、栈橋式係留施設等の柔構造の構造物は、当初の設計荷重を上回り、安全性を下回る可能性がある。そこで、防舷材の反力の上昇が係留施設の構造にどのような影響を及ぼすかについて検討を行った。

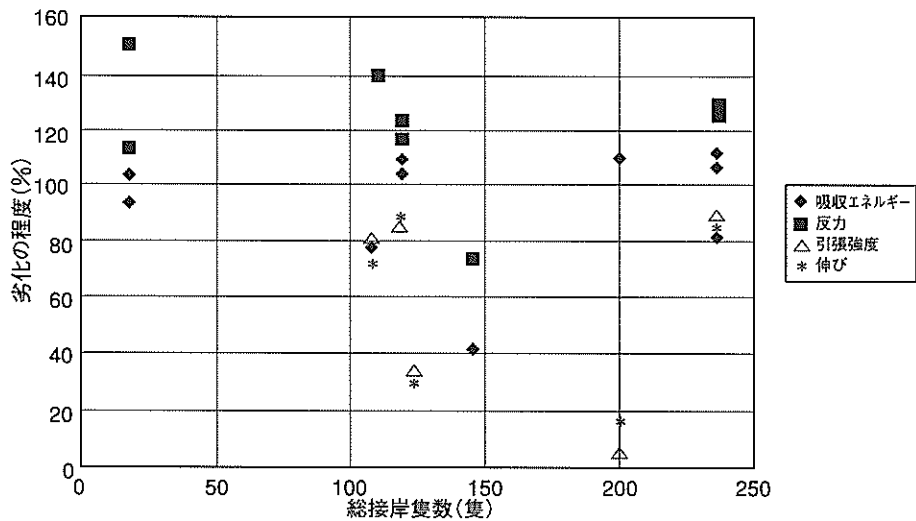


図-46 接岸隻数と劣化の関係

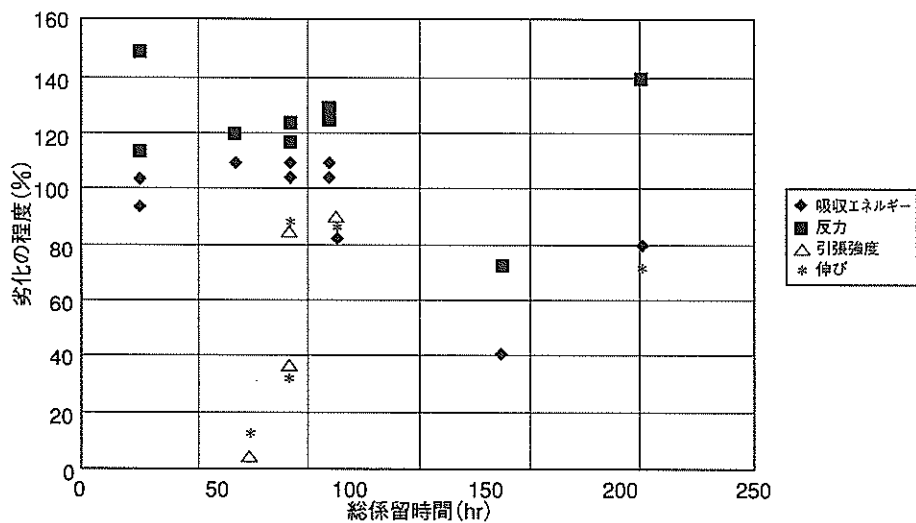


図-47 係留時間と劣化との関係

5.1 対象とした施設

係留施設の設計の際に防舷材の反力は、船舶の接岸時の設計条件として水平力が考慮される。その影響が大きくなると考えられるのは、棧橋式であるので、棧橋式の係留施設を対象とした。

棧橋式係留施設の設計においては、常時荷重、地震時

荷重、船舶の接岸時荷重の影響を検討することになるが、地震力の小さい場合には、船舶の接岸時の荷重で断面が決定されることになる。そこで、船舶の接岸時の検討で断面が算定されている棧橋式係留施設をモデルケースとして、防舷材の劣化に伴う反力特性の変化が杭等の応力に与える影響について検討した（図-49参照）。

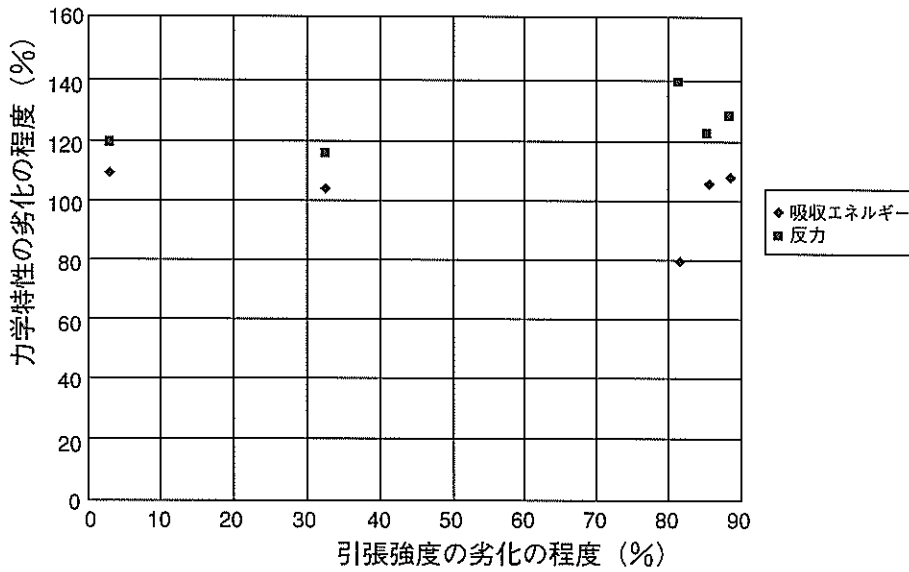


図-48 物性特性と力学特性の関係

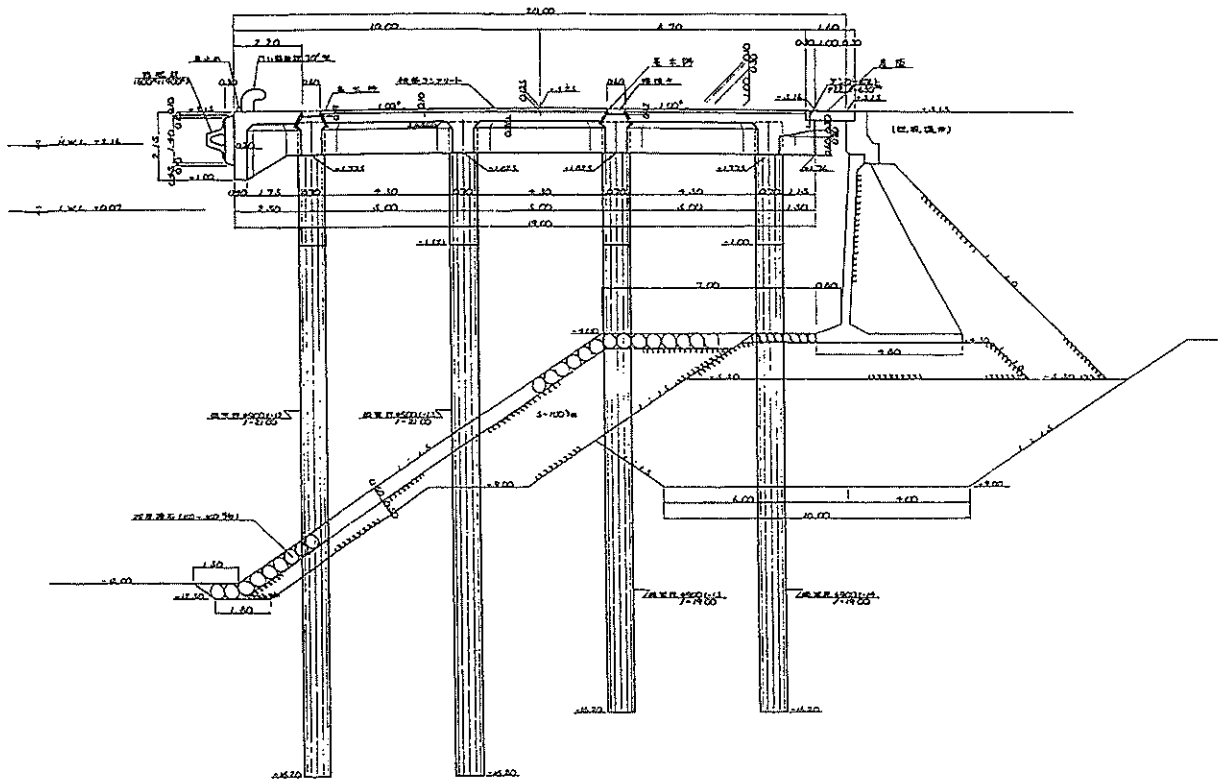


図-49 解析に用いた棧橋式係留施設のモデルの断面図

この栈橋のモデルに、反力の規格値にその5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%の値を加えたものを水平力として、栈橋上部工に作用させて、栈橋構造の変形及び応力の状態を算出した。

5.2 解析結果

図-50に解析結果を示す。防舷材の反力が上昇すると比例して、杭の応力も上昇することが確認された。

このケースの場合は、防舷材の反力に+10%の公差があるので、反力が規格値の25%を超えると、杭の許容応

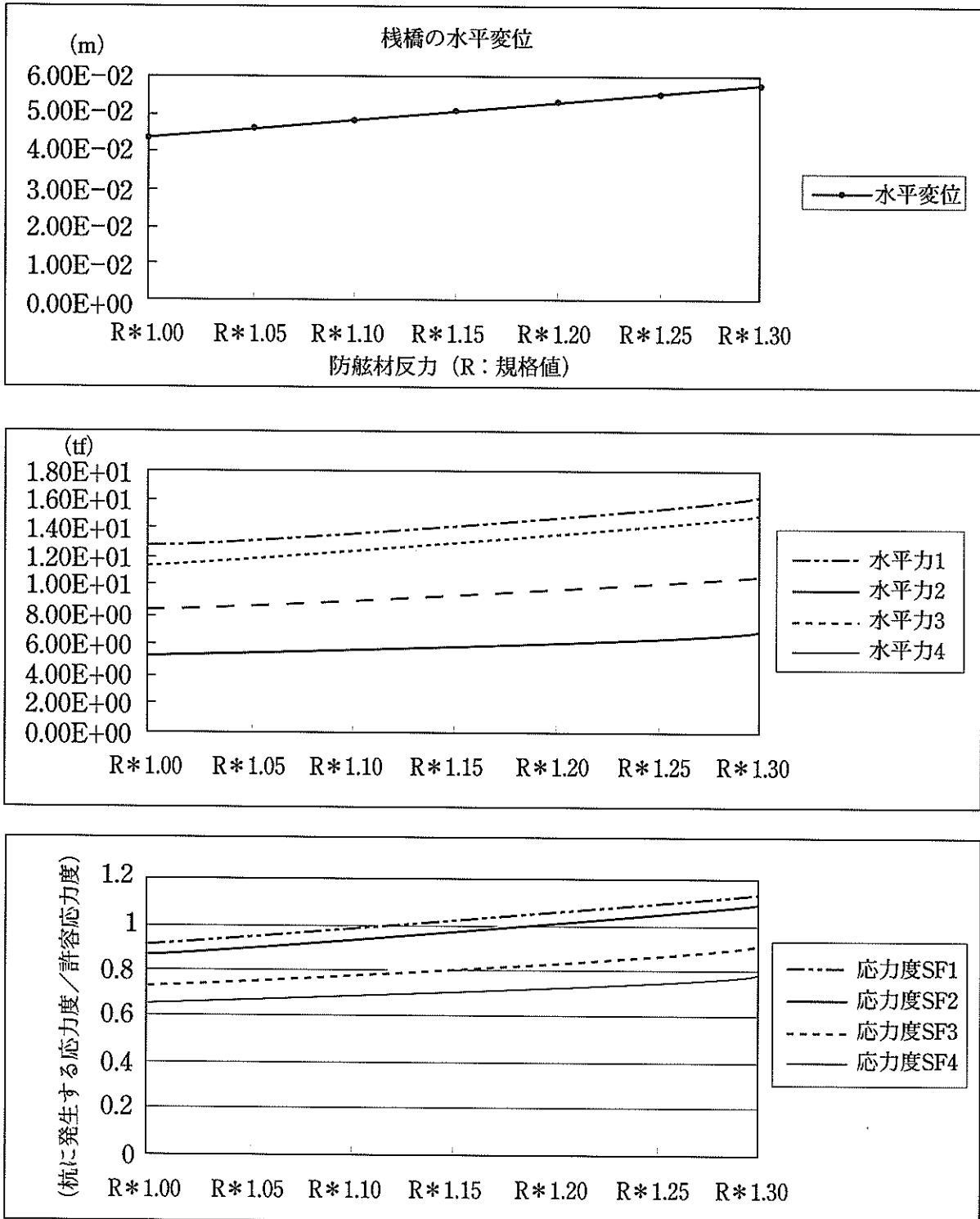


図-50 防舷材の反力を上げた時の栈橋構造への影響

力度を超えることになる。これは、劣化レベル3点以上は、構造物への影響が及ぶ可能性があることを示している。

横棧橋の設計では、通常、棧橋本体によるエネルギー吸収を考慮していない場合が多いので、応力的には多少の余裕はあるが、構造物にとっては防舷材の劣化は作用する水平力の増加をもたらす、許容応力度を超える可能性もあり、安全性の低下を招くものであることになる。このことから、防舷材の劣化により、構造物本体への悪影響が及ばないようにするために、防舷材の適切な交換が必要といえる。

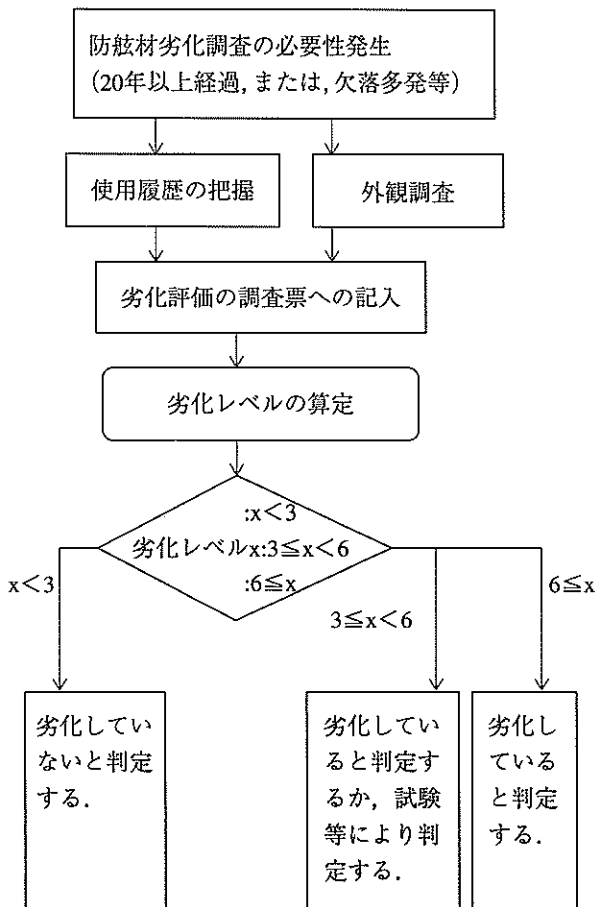
6. 劣化した防舷材の機能評価手法の提案

6.1 劣化の判定フロー

今回の研究を基に、防舷材の劣化の判定手法について提案を行う。

劣化の判定の方法は、以下の手順に従い、表-6に基づいて行うものとする。

なお、表-6は、当初に設定した表-2に基づきこれまで述べてきた内容を勘案して、実際の防舷材の劣化の判定に活用しやすいように若干修正したものである。



6.2 劣化レベルの評価

(1)劣化レベル3点未満の場合は、防舷材が機能を維持している可能性が大きいので、防舷材は劣化していないと判定することが妥当であると考えられる。

(2)劣化レベルが3点,4点及び5点の場合は、防舷材が機能を維持していない可能性が大きいので、劣化していると判定するか、または試験等により判定することとする。試験等による方法は、サンプルを採取して力学試験等の試験を行うことが望ましい。

しかし、試験を実施することが困難な場合は、防舷材の経過年数、岸壁の構造形式、船舶の利用状況、外観調査等をもとに専門家の意見を参考に総合的に判断することとし、その目安は、概ね以下のとおりと考えてよい。

- a) 防舷材の経過年数は、20年を超えると性能が低下するので、20年を超えるものは劣化していると判定する。
- b) 岸壁の構造が棧橋式のような柔構造の場合、構造物への影響が大きいので、安全側を見て劣化していると判定する。
- c) 船舶の利用状況は、図-16に示すとおり、総係留時間が10,000時間を超えると劣化レベルが高くなる傾向にあるので、総係留時間10,000時間を超える防舷材は、劣化している可能性が高い。

(2)劣化レベルが6点以上の場合、防舷材が機能が機能を維持していないと判断できるので、劣化していると判定する。

(3)これらの、判定の手順を整理したものを付録Bに示す。

結 論

本研究で得られた結論を取りまとめると以下のとおりである。

- ① 防舷材本体の劣化及び損傷は、防舷材の性能の低下と密接な関係にある。
- ② 限られた試料ではあるが、劣化した防舷材の力学性能は、外観調査に基づく方法と一定の関係が見られる。
- ③ 防舷材の劣化レベルは、本稿で提案している外観調査に基づく評価法で概ね推定できる。
- ④ ゴム防舷材の表面の引張強度、伸びは経過年数に伴い低下する傾向にある。一方、部材内部については引張強度、伸びはあまり低下しない。
- ⑤ ゴム防舷材の表面の引張強度、伸びの低下のみから、防舷材の全体としての力学性能を評価することは困難であるといえる。

表-6 防舷材の劣化レベルの評価表

劣化のランク (評価対象の割合)		40%以上	30～39%	20～29%	10～19%	10%未満
劣 化 レ ベ ル	欠落 (全面積)	6	6	6	4	0
	割れ (全長)	6	6	6	4	0
	永久変形 (全面積)	6	6	6	4	0
	欠損 (全面積)	3	2	1	0	0
	チッピング(全面積)	3	2	1	0	0
	亀裂 (全長)	3	2	1	0	0
	経過年数	20年以上	20年未満			
ボソクラック		1	0			

- ・劣化のランクは、全長または全表面積に対する割合とする。
- ・2つの要因がある場合でも、それぞれ当初の全長または全面積に対する割合とする。
- ・2項目以上該当する場合：主因2つのみ加算する。

防舷材の劣化の程度の判定

劣化レベル	防舷材の性能の評価	劣化の程度の判定
3点未満	機能を維持している可能性が大きい。	劣化していないと判定する。
3点以上6点未満	機能を維持していない可能性が大きい。	劣化していると判定するか、または、試験等により判定する。
6点以上	機能を維持していない。	劣化していると判定する。

- ⑥ 力学試験結果及び取り替え実態から、経過年数が20年を超える防舷材は、劣化の程度が大きいことが推定された。
- ⑦ 本研究では、力学試験のために得られた供試体は限られた数しかなかったので、機会をとらえて劣化した防舷材の試験を追加し、評価法の充実を図っていく必要がある。

謝 辞

本稿の取りまとめに際し、実態調査に御協力頂いた港湾管理者の方々、及び、防舷材の試験を実施して頂いた防舷材メーカー各社の担当者の方々、並びに、御助言を頂いた矢部計画設計基準部長に、末尾ながら、ここに記して謝意を表する。

(1997年6月30日受付)

参考文献

- 1) PIANC日本国内委員会：「係船岸の防衝システムの設計」, 1983年
- 2) 社団法人日本港湾協会：「港湾の施設の技術上の基準・同解説」, 1989.6
- 3) 財団法人日本規格協会：「JIS K 6301, 加硫ゴム物理試験方法」, 1975
- 4) 運輸省港湾局建設課：「固定型空気式ゴム防舷材の検査基準」, 1982. 3

防 舷 材 の 劣 化 状 況 調 査 表

調査の対象となっている各施設（1パス）毎に、外観上最も劣化の進行している防舷材と最も劣化の少ない防舷材を対象に以下に示す調査を行って下さい。劣化の意味はここにおいては、自然的材質劣化と外力作用による破損を含みます。但し、破損の場合で半分以上欠落している場合は調査の対象にせず、他の防舷材にして下さい。選択の場合は○印をつけて下さい。

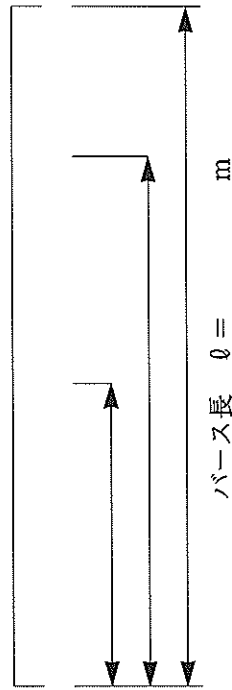
港 名	岸 壁 名	水 深	岸壁の完成年	岸壁工事事業者	
当該岸壁を利用する最も多い船種		1. 貨物船 2. フェリー 3. 客船 4. その他	主な取扱い貨物	岸壁天端高	
当該岸壁を利用する2番目に多い船種		1. 貨物船 2. フェリー 3. 客船 4. その他	潮位	HWL	LWL
防舷材について回答して下さい。					
1. 設計上の対象船形（単位はDWTまたはGT）および接岸速度（cm/s） 2. 防舷材のタイプおよび寸法（ 型），（ × ） 3. 防舷材の取り付け方法と取り付け間隔等 1. 横付け 2. 縦付け 3. その他，取り付け間隔 mピッチ，取り付け高 + m 4. 受衝板の有無および寸法 1. 有り 2. 無し ， 寸法 5. 防舷材の主な破損の理由（通常の利用による劣化破損か、何か異常な衝突等による破損かなどを記入して下さい。） 最も劣化の進行している防舷材の場合 理由： 最も劣化の少ない防舷材の場合 理由： 6. 対象防舷材が交換された実績がある場合はその年月 7. 防舷材の劣化状況判断と写真撮影については別添仕様により対応方お願い致します。					
** 過去3カ年間（H4～H6）の当該岸壁の利用総隻数と平均船型、最大船型、および岸壁利用総係留時間 （この設問は総作用荷重を推定する上で重要なため必ず回答方お願い致します。） 利用総隻数：H4 H5 H6 総計 平均船型：H4 H5 H6 総計 最大船型：H4 H5 H6 総計 最小船型：H4 H5 H6 総計 総係留時間：H4 H5 H6 総計					
記入者名			県名・役職 TEL		記入年月日
					平成7年 月 日

防舷材の劣化状況調査表

調査表その2

調査する岸壁1バースの中で最も劣化の進行している防舷材(ケース1)と最も劣化の少ない防舷材(ケース2)の場合について調査をお願いします。

1. 防舷材の位置 下の平面図に位置が判る様距離を記入して下さい。



2. 防舷材の劣化(破損)状況

参考として添付している破損形態図により判断し、該当する用語を記入して下さい。

ケース1の場合 ()

ケース2の場合 ()

そのバース全体における防舷材の劣化傾向 ()

3. 写真撮影

防舷材の状況を把握するため、以下の写真撮影をお願いします。

①海側から見たバースの全景写真

②防舷材1基の全景(正面)写真(ケース1, ケース2とも)

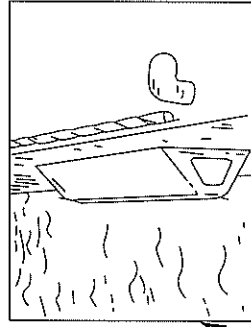
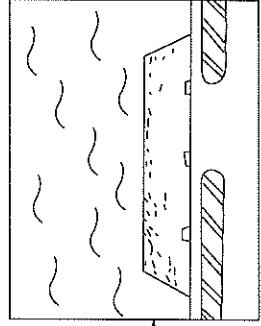
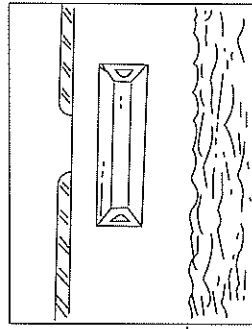
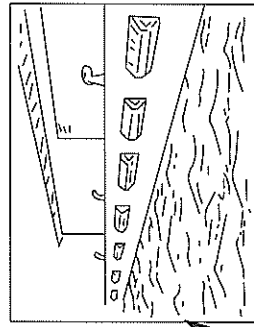
③防舷材1基の側面写真(ケース1, ケース2とも)

④防舷材1基の上面写真(ケース1, ケース2とも)

写真は別のB-4用紙に添付していただく様お願い致します。(計7枚)

添付用紙は調査表その3となります。

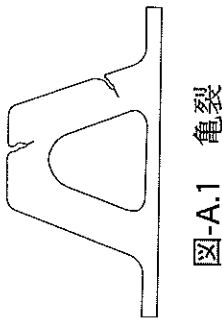
(写真のイメージ)



防眩材の破損形態の定義は以下に示すとおりですので参考にして下さい。

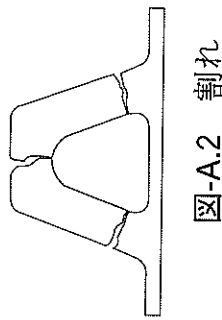
(1) 亀裂

図-A.1に示す如く、防眩材受衝部、脚部にてゴム表面が部分的に切れて、いるが中空部まで至っていない傷を「亀裂」という。



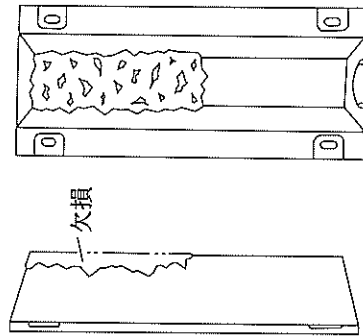
(2) 割れ

図-A.2に示す如く、防眩材受衝部、脚部に発生した亀裂が進行し、その傷が中空部に至ったものを「割れ」という。



(3) 欠損

図-A.3に示す如く、防眩材受衝部にてゴムが削り取られて無くなっているが、それが中空部まで至っていないものを「欠損」という。

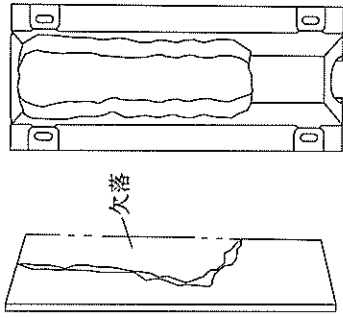


(4) オゾンクラック

防眩材受衝部、脚部、取付フランジ部にてゴム表面に小さい亀裂が無数に発生しているものを「オゾンクラック」という。

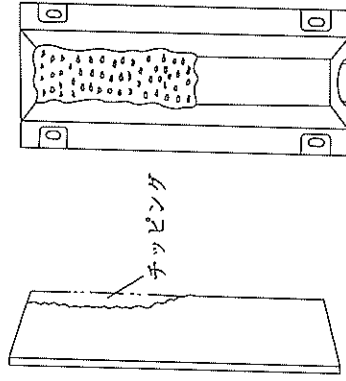
(5) 欠落

図-A.4に示す如く、防眩材受衝部、脚部にて本来あるべきゴムが無くなり、それが中空部に至ったものを「欠落」という。



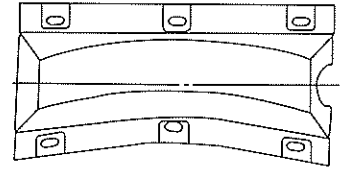
(6) チッピング

図-A.5に示す如く、防眩材受衝部にてゴム表面が点々と損傷を受けている状態を「チッピング」という。



(7) 永久変形

図-A.6に示す如く、防眩材受衝部、脚部、取付フランジ部に永久変形を生じ、元の形状に戻らないものを「永久変形」という。



[付録B]

防舷材の機能判定の指針

本指針は、「漁港用防舷材機能判定資料」（漁港新技術開発研究会，平成4年3月）を参考に取りまとめたものである。

1. 機能判定の手順

防舷材の機能判定に際しては、次の手順により行う。
(図-B.1参照)

[手順]

- | | |
|--------------------|--|
| 1) 全体の配置図準備 | 点検する防舷材が港湾内のどの位置に該当するかを明確にするために防舷材に番号を付け、港湾の全体平面図にその番号を記入する。 |
| 2) 防舷材点検表準備 | (添付「防舷材点検表」をコピー) |
| 3) 破損状況調査 | |
| 4) 破損箇所の分類 | (破損箇所が防舷材本体部か取付金具部かを大分類する。) |
| 5) 破損形態の分類 | |
| 6) 破損部の測定および破損率の計算 | (3項 破損部の測定および破損率の計算方法参照) |
| 7) 機能判定 | (4項 機能判定 参照) |
| 8) 点検表に記入 | (添付「防舷材点検表」参照) |

2. 点検方法

点検は防舷材の外部に現れた破損状況を目視観察により行う。点検は、機能判定を簡素化し、個人差による判定のバラツキを少なくするために、1項機能判定の手順にて△又は×印に該当する破損（割れ、欠落、永久変形）及び取付金具に異常（緩み、曲り、抜け、切断）の見られる防舷材を1本毎に添付「防舷材点検表」（図-B.2参照）に沿って破損状況を記録する。

3. 破損部の測定および破損率の計算方法

破損部における割れ、欠落の測定および破損率の計算は次に示す方法により行う。

ただし、永久変形は目視にて行う。

3.1 破損長の定義

防舷材の長手方向に発生している“割れ長さ”および“欠落長さ”を破損長 (l) とする。

破損長の測定に際しては次の事項を考慮して行う。

- (1) 破損が複数ある場合、長手軸の投影長の合計を破損長とする。
 - a) 図-B.3に示す如く、同一部分で発生した割れは、長手軸への投影長（例ではa部, $a > c$ ）のみを計算し、c部はa部に含まれるものとする。
 - b) 図-B.3のd部の如く防舷材の長手と直角方向に割れが発生した場合は、機能に影響しないものとして割れの計算には入れない。
 - c) 割れが図-B.4の如く斜めに入っている場合は長手方向長さ (e) にて測定する。
- (2) 破損が複合する場合、次の方法により破損長を決定する。
 - a) 割れに亀裂または欠損が連続している場合は、亀裂または欠損を割れに含めて破損長とする。
 - b) 欠落に亀裂または欠損が連続している場合は、亀裂または欠損を欠落に含めて破損長とする。
 - c) 割れと欠落が共存している場合はそれぞれを破損長とする。

3.2 破損率の定義および計算式

破損率は受衝部（長手）長 (L) に対する破損長 (l) の割合によって表示する。

$$\text{破損率(\%)} = \frac{\text{破損長 } (l)}{\text{受衝部(長手)長 } (L)} \times 100 \cdots \cdots (\text{式-B.1})$$

ただし、通常使用する範囲 (L') が限られている場合（図-B.5参照）は、これを L に置き換えて計算する。

3.3 破損率の計算例

破損率の代表的な計算例として割れおよび欠落の場合について示す。

(1) 割れの例

図-B.3に示す如く割れが数箇所発生している場合は、各割れの長さ (a , b , c 等) を測定して破損率を計算する。

$$\text{破損率(\%)} = \frac{\max. (a, c) + b}{L} \times 100 \cdots \cdots (\text{式-B.2})$$

(2) 欠落の例

図-B.6に示す如く欠落が発生している場合は、各欠落の長さ (f , g) を測定し、破損率を計算する。

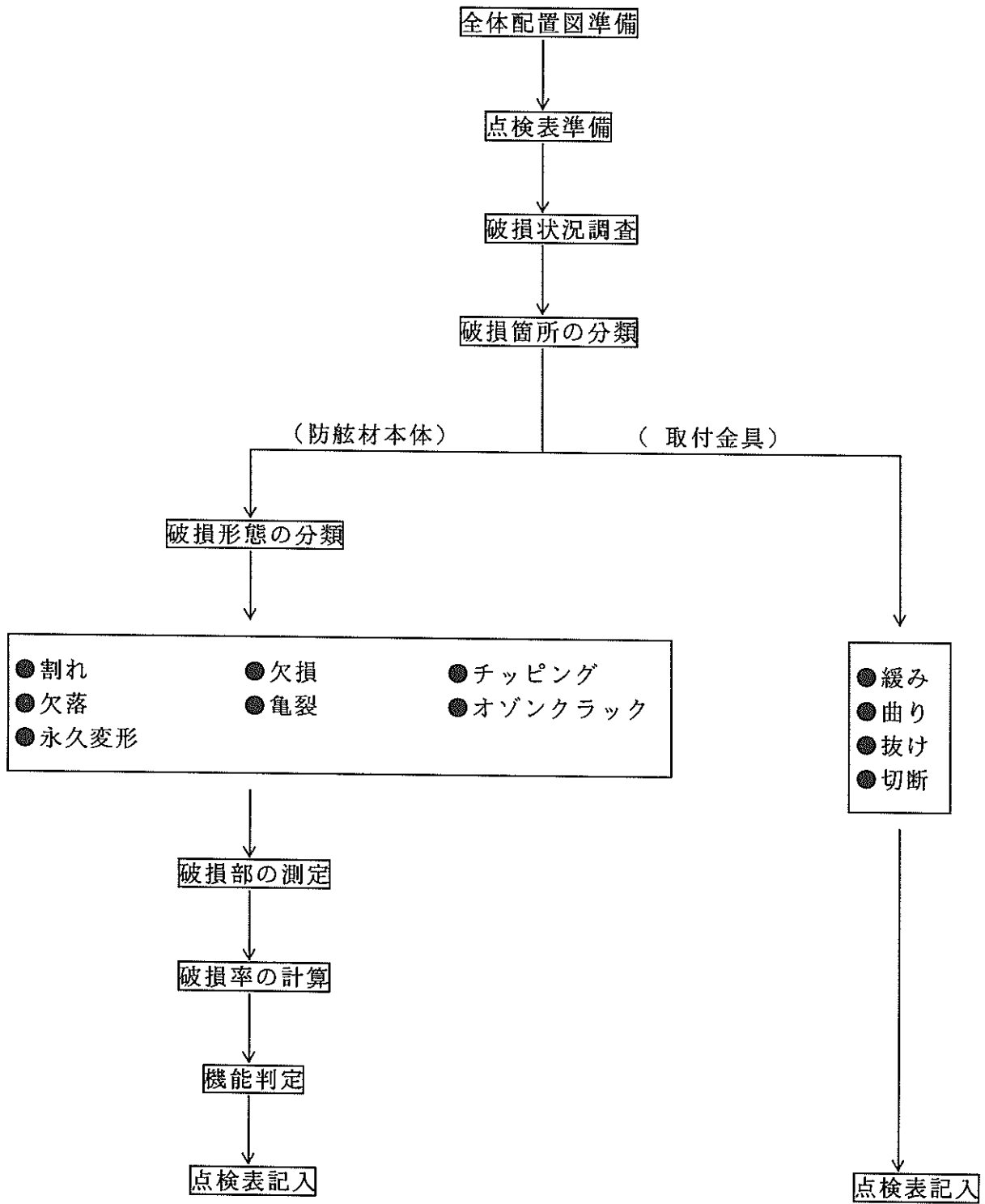


図-B.1 機能判定手順

県名		設置年月	年	月	日
港湾名		係船岸名			
防舷材サイズ	型	HX	L	防舷材No.	

1 防舷材本体

点検年月	年	月	日	年	月	日	年	月	日			
点検者												
項目	点検結果			点検結果			点検結果					
〔破損形態〕 亀裂 割れ 欠損 欠落 オゾンクラック チッピング 永久変形	破損形態	破損長	破損率	劣化レベル	破損形態	破損長	破損率	劣化レベル	破損形態	破損長	破損率	劣化レベル
		cm	%			cm	%			cm	%	
		cm	%			cm	%			cm	%	
		計			計			計			計	
	(2形態のみ) 加算				(2形態のみ) 加算				(2形態のみ) 加算			
劣化レベル												
処置内容	否 要 (完了)			否 要 (完了)			否 要 (完了)					

2. 取付金具

項目	点検結果	点検結果	点検結果
1) 緩み			
2) 曲り			
3) 抜け			
4) 切断			
処置内容	否 要 (完了)	否 要 (完了)	否 要 (完了)

3. 略 図

破損状況の略図			
---------	--	--	--

注：損傷状況について裏面に写真を添付すること。

図-B.2 防舷材点検表

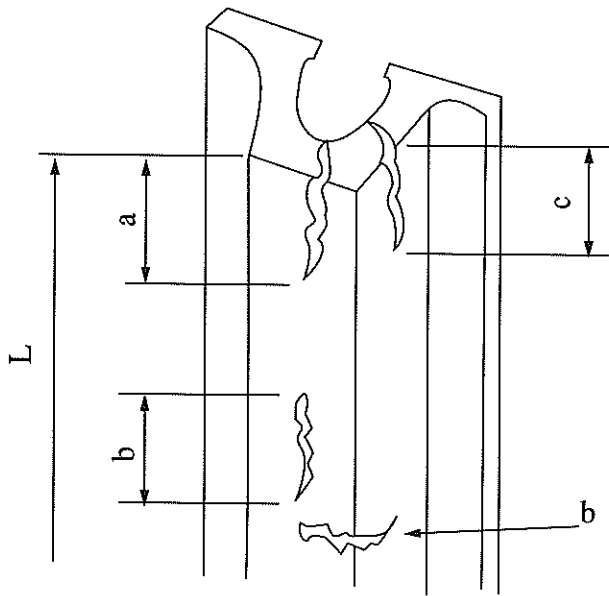


図-B.3 破損部状況 (割れ)

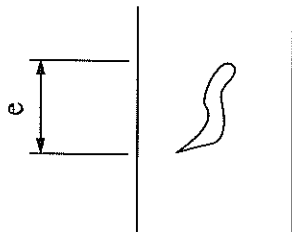


図-B.4 斜めの破損 (割れ)

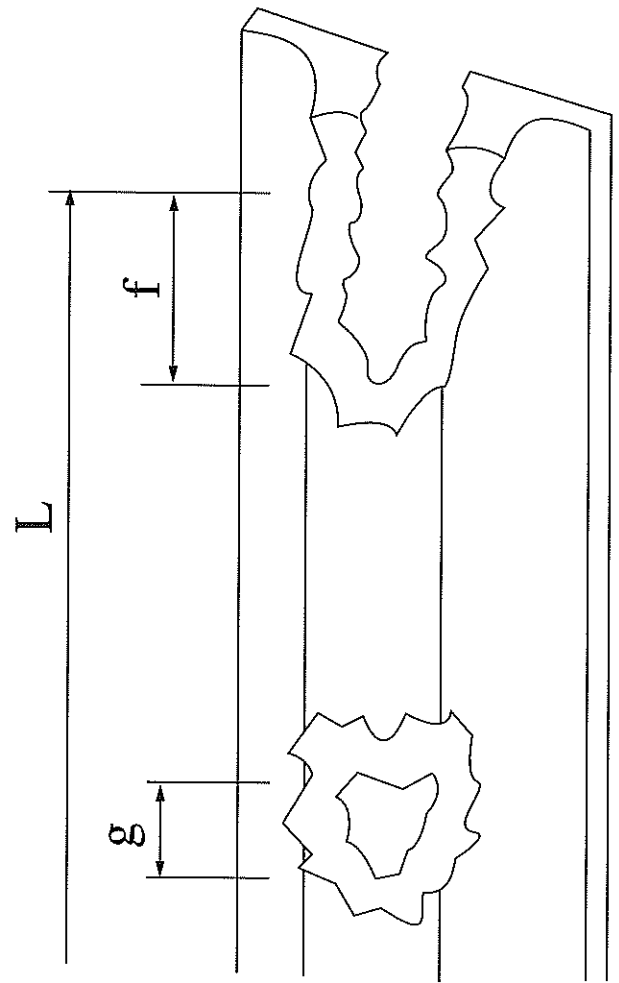


図-B.6 破損部状況 (欠落)

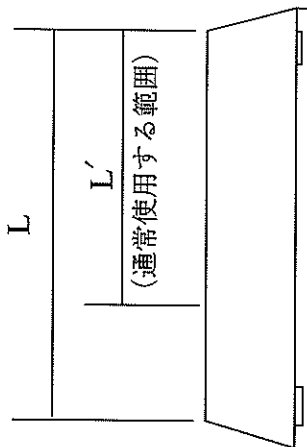


図-B.5 通常使用する範囲が限られている場合

$$\text{破損率(\%)} = \frac{f + g}{L} \times 100 \dots \dots \text{(式-B.3)}$$

4. 機能判定

破損個所の分類に際しては、「防眩材本体」と「取付金具」に大別する。

添付防眩材点検表に破損状況を記入する。

記入に際しては次の事項に注意する。

(1) 防眩材本体

防眩材本体の機能判定では、破損程度により、次の表-B.1に示す如く分類する。

(2) 取付金具

該当する個所に○、△または×印をつける。

その区分は次の表-B.2による。

表-B.1 防眩材の劣化レベルの評価表

劣化のランク (評価対象の割合)		40%以上	30～39%	20～29%	10～19%	10%未満
劣 化 レ ベ ル	欠落 (全面積)	6	6	6	4	0
	割れ (全長)	6	6	6	4	0
	永久変形 (全面積)	6	6	6	4	0
	欠損 (全面積)	3	2	1	0	0
	チッピング(全面積)	3	2	1	0	0
	亀裂 (全長)	3	2	1	0	0
	経過年数	20年以上	20年未満			
ワゴンラック		1	0			

- ・劣化のランクは、全長または全表面積に対する割合とする。
- ・2つの要因がある場合でも、それぞれ当初の全長または全面積に対する割合とする。
- ・2項目以上該当する場合：主因2つのみ加算する。

防眩材の劣化の程度の判定

劣化レベル	防眩材の性能の評価	劣化の程度の判定
3点未満	機能を維持している可能性 が大きい。	劣化していないと判定する。
3点以上6点未満	機能を維持していない可能 性が大きい。	劣化していると判定するか、ま たは、試験等により判定する。
6点以上	機能を維持していない。	劣化していると判定する。

表-B.2 機能判定表（取付金具）

記号	状 況
○	異常なし
△	変形はあるが取付金具が再使用可能のもの
×	変形程度が大きく取付金具が再使用不能のもの

注) 処置の要否を区別し、要の場合は処置の完了した日付を記入する。

[2項取付金具欄記入例]

- 1) 緩み：△（2本）（ボルトに緩みあり）
- 2) 曲り：○（曲りなし）
- 3) 抜け：×（1本）（ボルト、ワッシャー無し）
- 4) 切断：○（切断なし）

処置内容 1) 取換え時再設置

要否（完了○/○）

5. 点検表記入例及び解説

1. の「機能判定の手順」により記入する。

[タイトル欄記入例]

県名 : ○○県

港湾名 : ○○港

防舷材サイズ : ○型 150H×2000L

設置年月日 : ○○○○年○○月○○日

係船岸名 : -7.5m ○○岸壁

防舷材No : No6

注：防舷材Noの記入は全体配置図による。

[1項防舷材本体欄記入例]

点検年月 : ○○○○年○○月○○日

点検者 : 港研太郎

項目

割れ破損長 : 36cm 《実測》

式-B.1に代入して計算

$$\text{破損率 (\%)} : \frac{36}{200} \times 100 = 18\%$$

劣化レベルの評価

10~19% → 劣化レベル 4点

欠落破損長 : 32cm

式-B.1に代入して計算

$$\text{破損率 (\%)} : \frac{32}{200} \times 100 = 16\%$$

劣化レベルの評価

10~19% → 劣化レベル 4点

割れと欠落の劣化レベルを加算する。

$$4 + 4 = 8$$

機能判定 : 劣化していると判定する。

処置内容 : 取換え

破損形態 : 亀裂
亀裂の定義 : 防舷材の受衝部または脚部にてゴム表面が部分的に切れているが、それが中空部まで至っていないもの。



(評価)

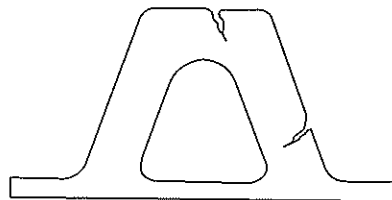
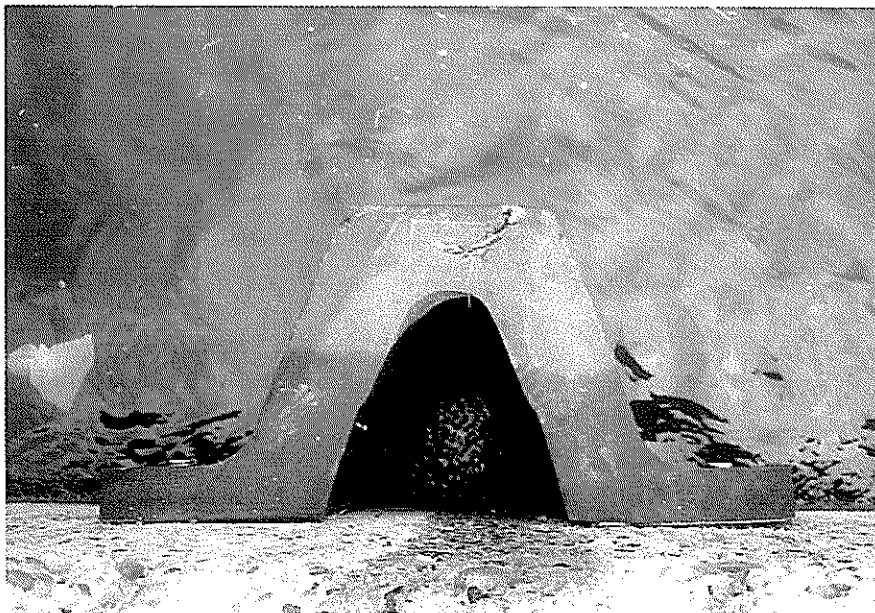
亀裂

20%



劣化レベル

1点



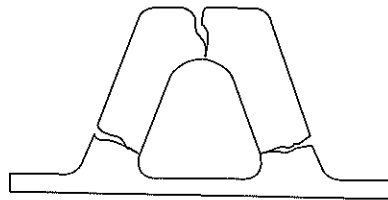
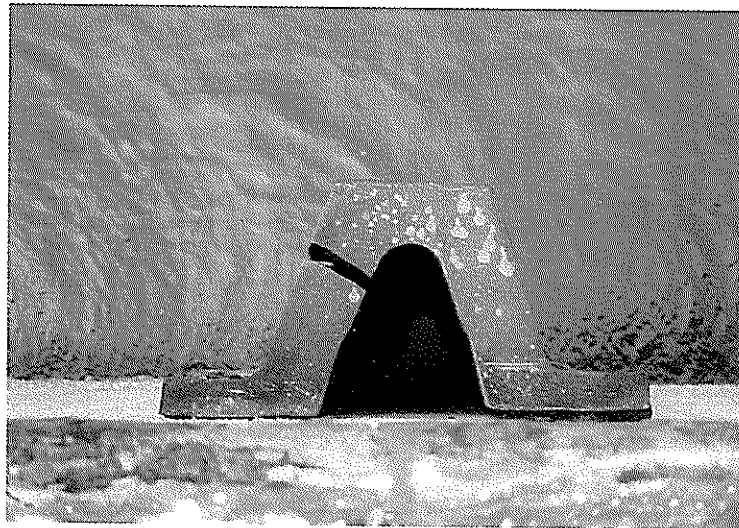
亀裂

図-B.7 防舷材の破損状況 (亀裂の例)

- 破損形態 : 割れ
割れの定義 : 防眩材の受衝部または脚部に発生した亀裂が進行し、その傷が中空部に至ったもの。



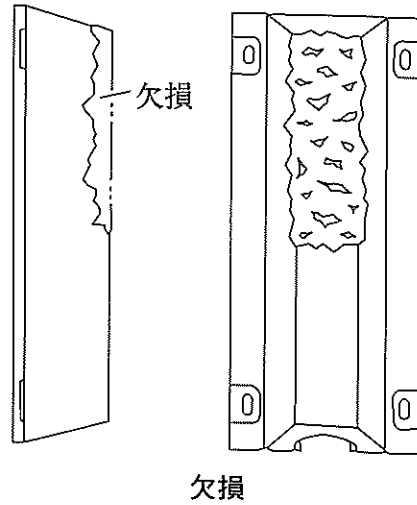
(評価)
割れ
10%
↓
劣化レベル
4点



割れ

図-B.8 防眩材の破損状況 (割れの例)

破損形態 : 欠損
欠損の定義 : 防舷材の受衝部にてゴムが削り取られてなくなっているが、それが中空部まで至っていないもの。



(評価)
← 欠損 → 劣化レベル
50% 3点

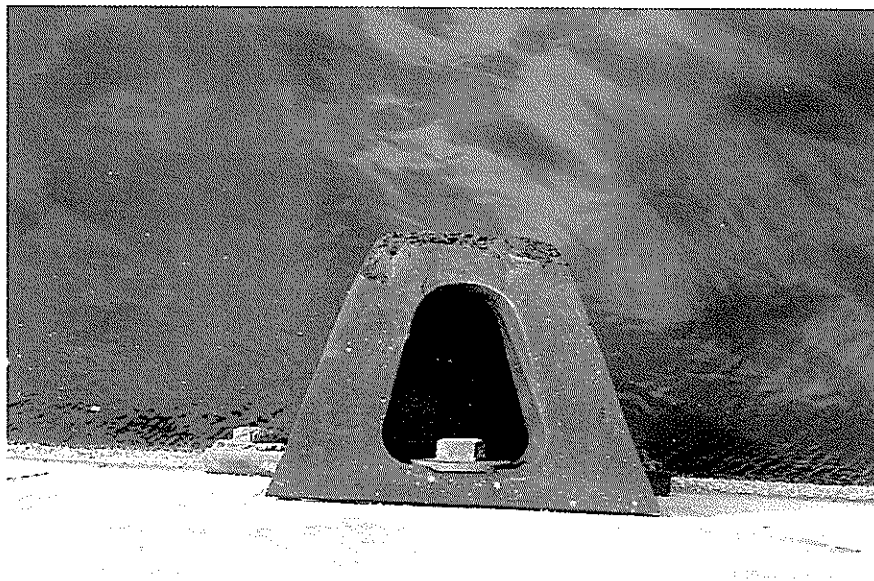
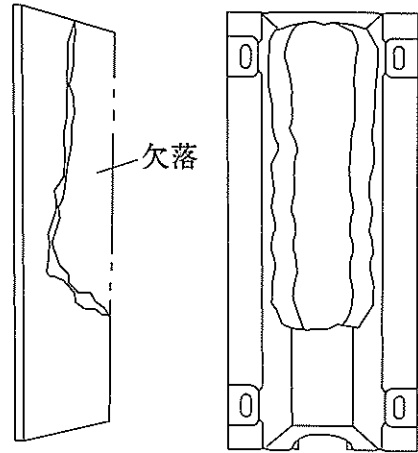


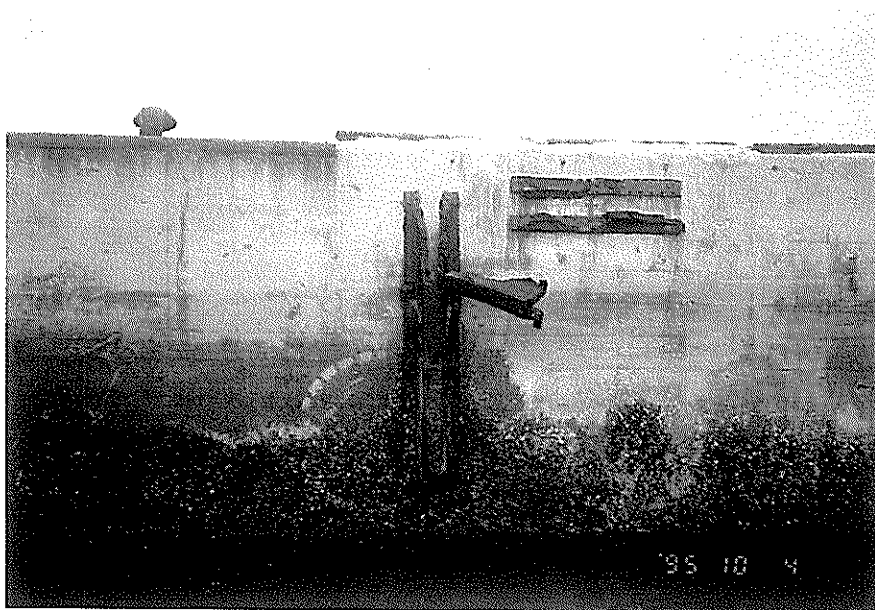
図-B.9 防舷材の破損状況 (欠損の例)

破損形態 : 欠落
 欠落の定義 : 防舷材の受衝部または脚部にて本来あるべきゴムがなくなり、
 それが中空部まで至ったもの。



欠落

(評価)
 ← 欠落 → 劣化レベル
 40% 6点

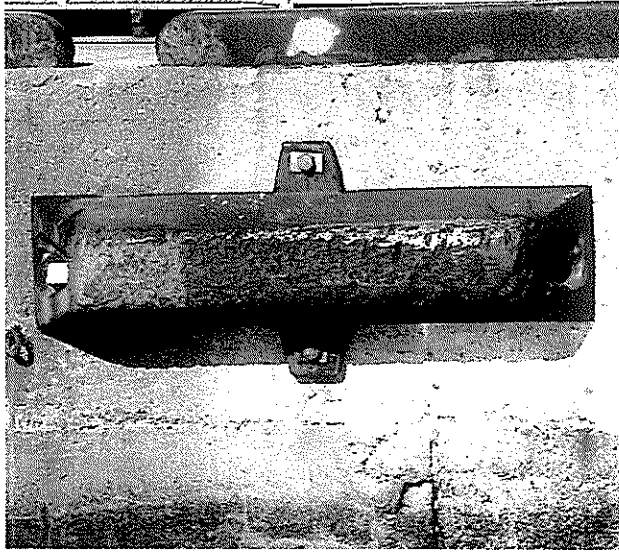


(右側)
 欠落
 100%
 ↓
 劣化レベル
 6点

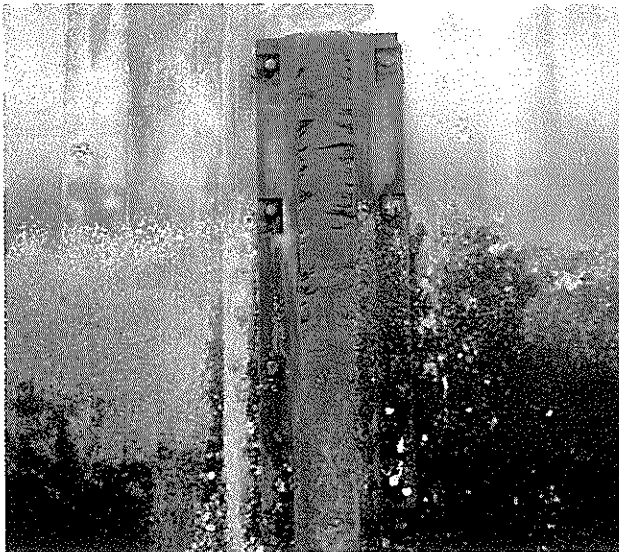
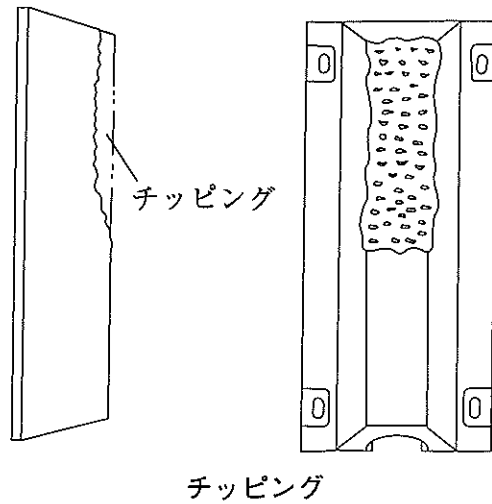
 (左側)
 欠落
 30%
 ↓
 劣化レベル
 6点

図-B.10 防舷材の破損状況 (欠落の例)

破損形態 : チッピング
 チッピングの定義 : 防舷材の受衝部にてゴム表面が点々と損傷を受けている状態。



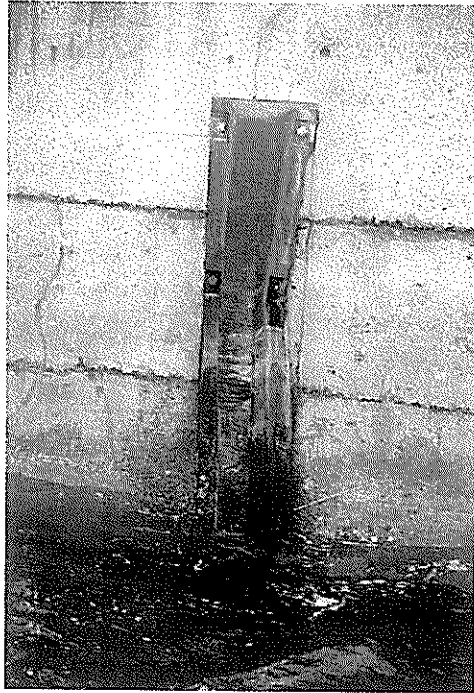
(評価)
 チッピング → 劣化レベル
 100% 3点



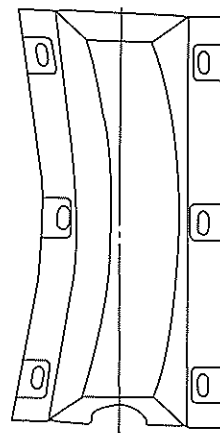
チッピング → 劣化レベル
 50% 3点

図-B.11 防舷材の破損状況 (チッピングの例)

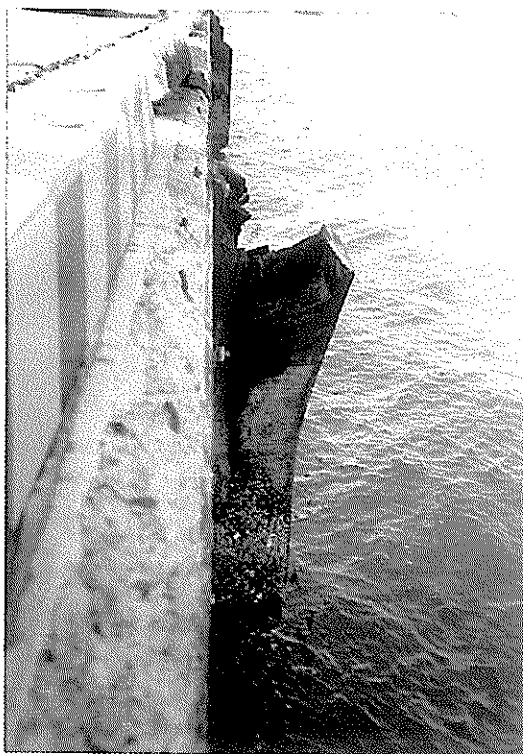
破損形態 : 永久変形
 永久変形の定義 : 防舷材の受衝部, 脚部または取付フランジに変形が生じ, 元の形状に戻らないもの.



(評価)
 永久変形 → 劣化レベル
 40% 6点



永久変形



永久変形 → 劣化レベル
 50% 6点

図-B.12 防舷材の破損状況 (永久変形の例)

港湾技研資料 No.878

1997・9

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 横浜ハイテクプリンティング株式会社

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

Copyright © (1997) 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。