

# 港 湾 技 研 資 料

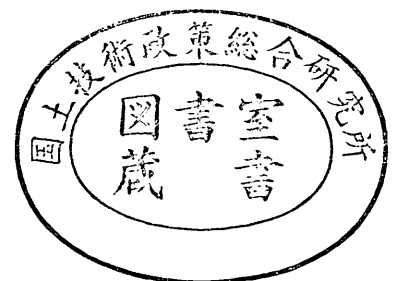
TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 596      Sept. 1987

港湾の係留施設における防衝工の設計について

上   田            茂  
大   井            榮 二 郎

運輸省港湾技術研究所



# 目 次

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 要 旨 .....                       | 5  |
| 1. 概 説 .....                    | 5  |
| 2. 接岸エネルギーに基づく防衛工の設計法と事例 .....  | 8  |
| 2.1 船舶の接岸による衝撃力 .....           | 8  |
| 2.2 現行の防衛工の設計法 .....            | 12 |
| 2.3 船舶の接岸エネルギー .....            | 13 |
| 2.4 接 岸 速 度 .....               | 13 |
| 2.5 偏 心 係 数 .....               | 16 |
| 2.6 仮想質量係数 .....                | 18 |
| 2.7 柔軟性係数 .....                 | 23 |
| 2.8 パースの形状係数 .....              | 27 |
| 2.9 接岸エネルギーの試算と防衛工の選定 .....     | 27 |
| 3. 係留船舶の動揺に基づく防衛工の設計法と事例 .....  | 32 |
| 3.1 係留船舶の動揺 .....               | 32 |
| 3.2 係留船舶の動揺の計算法 .....           | 36 |
| 3.3 船舶に作用する波力 .....             | 37 |
| 3.4 造 波 抵 抗 力 .....             | 41 |
| 3.5 船舶に作用する風荷重 .....            | 42 |
| 3.6 潮流による流圧力 .....              | 42 |
| 3.7 漂 流 力 .....                 | 43 |
| 3.8 係留系の特性 .....                | 43 |
| 3.9 数 値 積 分 .....               | 43 |
| 3.10 係留船舶の動揺の計算例および防衛工の選定 ..... | 44 |
| 4. 防衛工の設計法における安全率に対する考察 .....   | 47 |
| 4.1 設計用応力度および安全率 .....          | 47 |
| 4.2 剰余吸収エネルギー（リザーブエネルギー） .....  | 49 |
| 4.3 鋼管杭の変形による吸収エネルギー .....      | 51 |
| 4.4 常時荷重と異常時荷重の取り扱い .....       | 56 |
| 5. 防衛工の設計法の提案および設計例 .....       | 59 |
| 5.1 概 説 .....                   | 59 |
| 5.2 荒天時の避泊を考えない場合の事例 .....      | 59 |
| 5.3 荒天時の避泊を考える場合の事例 .....       | 61 |
| 5.4 ゴム防げん材の特性についての試験および結果 ..... | 61 |
| 5.5 ゴム防げん材の設置状況調査 .....         | 68 |
| 6. 結 論 .....                    | 77 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 付録-1. 防衝工開発の経緯 .....    | 82  |
| 付録-2. 接岸エネルギーの計算例 ..... | 83  |
| 付録-3. 無係留船舶の動揺計算例 ..... | 104 |
| 付録-4. 係留船舶の動揺計算例 .....  | 110 |
| 付録-5. 防衝工の種類 .....      | 122 |
| 記号表 .....               | 78  |

# On the Design of Fending Systems for Mooring Facilities in a Port

Shigeru UEDA\*  
Eijiro OOI\*\*

## Synopsis

This paper is a consolidation as a material for design of fending systems for mooring facilities in a port to meet a purpose of both berthing and mooring ships.

Followings are major conclusions of this paper.

- (1) Pointed out the necessity for fending systems to have a performance absorbing ship's impact caused by ship motions against mooring facilities, and proposed the revised design method of fending systems considering of conditions both berthing and mooring.
- (2) Collected and put together data of added mass, berthing speed and eccentricity factor of berthing ships as a consolidation of material for design of fending systems.
- (3) Discussed on the treatment berthing impacts as extraordinary loadings and increasing allowable stress of such as steel members larger than that for normal loading.
- (4) Investigated and put together the present state of rubber fenders at berths available for conventional general cargo ships. Correlation between ship size and such items as fender kinds, size, setting height and setting interval are obtained. And, presented materials for standardization of fenders (rubber fenders) for absorbing ship's berthing impact.

---

\* Chief of the Offshore Structures Laboratory, Structures Division

\*\* Member of the Offshore Structures Laboratory, Structures Division

# 港湾の係留施設における防衝工の設計について

上 田 茂\*

大 井 栄二郎\*\*

## 要 旨

本論文は、係留施設における防衝工について、接岸および係留（利用時の係留および荒天時の係留を含む）の目的に適合する防衝工の設計法に資することを目的として取りまとめたものである。

本論文の主要な成果は以下のとおりである。

- ① 防衝工が係留船舶の動揺による衝撃力を緩和する機能を有する必要性を示し、係留施設の防衝工の設計においては、接岸時および係留時の両条件を考慮して行うことを提案した。
- ② 付加質量、接岸速度および偏心係数などの諸量について実測および実験に基づいて得られた数値を取りまとめ、防衝工設計の参考資料とした。
- ③ 現行の防衝工設計法において、船舶の接岸力を異常時荷重として取り扱い、鋼材などの許容応力度を割り増していることについての問題点を指摘しこの点について考察した。
- ④ 一般貨物船等の在来船に提供される係留施設に設置されているゴム防げん材についての実態調査を行い、その結果を取りまとめ、ゴム防げん材の種類、規模、設置位置、間隔などの項目と船型との相関を示した。また、一般貨物船等の在来船について、接岸による衝撃力を緩和する目的で設置する防衝工（この場合はゴム防げん材を意味する）の標準化のための資料を示した。

## 1. 概 説

本論文では船舶の接岸時および係留時に船舶が係船岸に衝突することによって生じる衝撃力（以下、これらを、接岸による衝撃力、係留船舶の動揺による衝撃力、および、総称して船舶による衝撃力という）と、衝撃力を和らげる目的で設置する防衝工の設計について記述する。

現在、港湾施設の係留施設に設置される防衝工は接岸時の船舶の接岸エネルギーを吸収することを前提にして、また、接岸による衝撃力を和らげることを目的として、設計されている。この理念は我が国はもとより全世界に共通である。しかし、防衝工の開発の歴史を振り返ってみると、現在、多くの係留施設でみられる高性能のゴム防げん材はほんのこの四半世紀の間に開発され急速に普及したにすぎない。16世紀に始まる大型船による近代海運の歴史の大半において、係留施設には防衝工が設置されていないかといって過言ではない。

筆者は、かつて、ロンドン港やサザンプトン港などのイギリスの主要港を見学したとき、30,000 DWT級の最

新鋭のコンテナ船の係留施設に防衝工が全く設置されていないことに気づき、案内をしてくれたポートオーソリティの技師に質したところ、『ドックの中では波がないから、係留中に船舶が動揺することがないからだ。』との返答であった。また、接岸のときのことを心配して尋ねると、『係船岸はコンクリートブロック構造なので、船舶のほうで注意して接岸するさ。』という次第である。イギリスに限らずヨーロッパの諸国では係留施設をドックとすることがある。そもそもが河川港でしかも大潮位差があり、これを克服するためにエンクローズドドックとしたことによる。サザンプトン港はいわゆるエンクローズドドックではない。しかし、ワイト島によって遮蔽された天然の良港であるので波は大きくない。ただし、サザンプトン港のコンテナ船用の係船岸は矢板式構造であるから、コンクリートブロックに比べると堅固とはいえない。それでも、係留施設のほうが強いからとたかをくくっている。最新鋭のコンテナ船の係留施設においてさえこうであるから、これより以前に建設された大方の係留施設には防衝工が設置されていないよう筈がない。かのクィーン

\* 構造部 海洋構造研究室長

\*\* 構造部 海洋構造研究室

エリザベスⅡ世号の専用岸壁もしかりである。ただし、ごく一部の埠頭、たとえばロンドン港ではテムズ河沿いの穀物埠頭に、また、サザンプトン港ではフェリー埠頭のランプ側にゴム防げん材が設置されている。穀物埠頭では河川を航行する船舶の航走波による係留船舶の動揺があるためだという。フェリーの場合にはシフト時の接岸速度の制御が難しいようである。このほか、ミルフォードヘイブン港の大型原油タンカー用のバースには大型のゴム防げん材が設置されている。大型原油タンカー用のバースは水深25~30mに深に設置されるので、固定式シーバースでは経済性からみて鋼管杭式ドルフィン型式になることが多いが、大型原油タンカーほどの巨大船の接岸エネルギーを鋼管杭だけで吸収するためには、よほどの大きな断面係数が必要であり、不経済\*であるので、ゴム防げん材によって接岸エネルギーを吸収する必要があったためである。このように、ゴム防げん材の吸収エネルギーが大きくその効用が実証されていても、依然として、ドックの係留施設には防衛工が設置されない現状をさして、同じイギリスのある技術者は『古き良き伝統さ。』と批判的である。

イギリスの実情をみて、それが望ましいというわけではないが、少なくとも、接岸に関しては防衛工がなくても船舶はなんとかやってきている。しかしながら、船舶に損傷がないように接岸するための船舶側の努力はなみたいていのではない。

この経験の後、筆者は、船舶の接岸や係留の様子を注意して観察してきた。観察には、研究所にほど近い久里浜港で十分にこと足りる。観察を通して、船舶が接岸や係留に際し自ら細心の注意を払っていることを理解した。たとえば、甲板員が網の袋に入った球状のものを舷側から吊っていて、いよいよ係船岸に接触するというとき、船舶と係船岸との間にこれを挿入する。球状のものは、おそらく、ゴムかフォームかであろう。ゴムボールかもしれない。古タイヤをぶら下げている船もある。久里浜港のフェリー埠頭にはゴム防げん材などは設置されておらず、大きな角材をたばねてこれに鉄板を巻きつけたものを係船岸の前面に鉛直に吊り下げている。フェリーがランプ側へシフトするときに船舶が係船岸を擦るようにして移動するので、通常のゴム防げん材ではひとたまりもないためである。したがって、フェリーは接岸速度を抑えて接岸し、また、古タイヤなどを係船岸と船舶との間に挿入して摩擦力を働かせて接岸速度をこらしている。

\* 近年、高張力鋼を用いたMono-Pile構造が採用されていて、鋼杭構造にゴム防げん材を用いた場合より経済性が高い場合がある。

フェリーには船体防げん材が船腹に鉢巻状に取り付けられている。船体防げん材そのものは鋼製であるが、その一部には木材がはめ込まれていて、係船岸と接触しかつ擦られるときにはこの木材が摩擦または損傷して摩擦力に抗する。

かつて、筆者の一人は大型原油タンカーの接岸速度や接岸力などを実在のバースで測定した<sup>1)</sup>。このとき、ある原油タンカーバースの鋼管杭式ドルフィンが設置後まもなく破損した事例のあることが見出された。この事例の検討などからその原因を考察した結果、防衛工の設計の重要性、鋼管杭式ドルフィンなどの設計においては、接岸力に対して断面を検討する際に、許容応力度について十分な検討が必要であることを明らかにした。

さらに、筆者は係留中の大型原油タンカーの動揺を詳細に調査したことがある。この成果はすでに港湾技術研究所報告<sup>2)</sup>として取りまとめているが、大型原油タンカーの動揺によって生じ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。その結果はいうまでもないが、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じる事態を招くことになるであろうことが想像された。

また、過日、台風一過の東京港で、3,000GT級のRO-RO船が、係留施設に設置されているゴム防げん材より背丈の大きい浮遊型の防げん材を海上に投入して、この防げん材を介して係留し、余波を凌いでいる様子を見た。浮遊型の防げん材の背丈が十分に大きいので、波の作用によって船舶が動揺しても、係船岸および既設のゴム防げん材に接触することがなかった。

大型タンカー用バースに設置されるゴム防げん材は大型タンカーの接岸エネルギーが大きいことから、背丈が2,000mm以上の大型のものであるので、係留船舶の動揺によってゴム防げん材が定格変形量(rated deflection)を上回るほどに過圧縮されることはまれであるが、在来の一般貨物船用のバースに設置されるゴム防げん材の背丈はせいぜい400~600mm程度であるから、条件によってはゴム防げん材の定格変形量を超えるような変形をすることもあり、その場合には、過大な荷重の発生によって船舶はもちろんゴム防げん材自身ひいては係留施設までもが損傷する恐れがある。

筆者は、外洋に面した港湾においてこのような事態が

生じている可能性があるものと想定し、北海道の数港において、ゴム防げん材の損傷の事例調査を行った。ゴム防げん材の損傷は係留時のみならず、接岸時に関連する原因による場合も多々あるが、事例調査において得られたゴム防げん材の損傷事例の多くが、港口部に近い、いわゆる外洋の波の影響が大きい係留施設にみられたことは、これらの損傷事例においては係留船舶の動揺が主要な原因であることを裏付けるものとする。

イギリスおよび我が国における数少ない体験ではあるが、接岸および係留に関する港湾施設における係留施設の付属設備についてはいまだ十分な水準に達しているとはいえない。バースの新設時には立派な防衛工が設置されていても、十分なメンテナンスがなされていないために、数年も経過すると、損傷、脱落などをすることがあり、しかも、それがそのまま放置されているため、結局防衛工が設置されていない係留施設になっているということもある。このようにみると、現状では、まだまだ、船舶に負担をしいている面がなきにしもあらずである。

さて、現行の接岸エネルギーに基づく防衛工の設計法についてもこの10余年の間に様々な研究がなされた。その中心的な課題は、船舶接岸時の仮想質量（見かけの質量ともいい、船舶の質量と付加質量との和）、接岸速度、偏心係数であった。1977年にレニングラードで開催された、PIANCの第24回通常総会において、防衛工の設計の現状を取りまとめ体系化することを目的とする「Fender Commission = 防衛工委員会、ランゲフェルド委員長」の設置が決議され、ベルギー、イギリス、フランス、オランダ、ポルトガル、西ドイツ、アメリカ、日本の代表者で構成される委員会が設置され、1981年のエジンバラにおける第25回通常総会において中間報告を行い、ついで、1985年のベルギーにおける第26回通常総会において最終報告書を提出している。その間、実に15回もの委員会を開催し熱心な討議を行った。我が国からも、開催されたほとんどすべての委員会に代表者を派遣し、筆者の一人も一度限りではあるが参加する機会を得た。この期に、我が国においても、PIANC日本国内委員会に「防衛工委員会、松並仁茂および石渡友夫委員長」が、運輸省港湾局、農水省水産庁漁港部、運輸省港湾技術研究所、同船舶技術研究所、防げん材メーカーからのメンバーによって構成され、ブラッセルにおける通常総会に本委員会が最終報告書を提出するのに先立って、日本における防衛工の設計および防衛工の現状を取りまとめた英文の報告書<sup>3)</sup>を本委員会に提出するとともに、和文の報告書<sup>4)</sup>を広く我が国の港湾および漁港関係機関に配付した。故ウィリアムス前PIANC会長はこの防衛工委員会の活動

に極めて熱心であられ、ブラッセルで開かれる防衛工委員会の席を常に暖められたが、PIANC100年を記念する第26回通常総会を目前にして逝去されている。

本論文においては、PIANC防衛工委員会の報告書<sup>5)</sup>から多くの引用を行い、我が国の現行設計法との比較を行う。しかしながら、約8年間にわたる討議を経て、防衛工の設計に関してすべての問題が論議しつくされ、統一的な見解が示されたわけではない。防衛工の機能に対する各国の認識に大きな開きがあり、統一的な設計法を提案することは困難であった。統一見解が示されなかった主要な項目は、設計用の接岸エネルギーの計算法、仮想質量や接岸速度の決定法などである。これらの項目については、PIANC防衛工委員会は、防衛工の設計の現状を取りまとめた報告書を参考にして各ポートオーソリティが適切に処置することを、期待するに留った。

PIANC防衛工委員会がかくのごとき次第であるのに筆者ごときが防衛工の設計法について抜本的な見直しをし、あらたに設計法を提案するなど全く潜越なことではあるが、ここでは、接岸による衝撃力を緩和する目的で設置する防衛工の設計についてはPIANCの報告書を十分に尊重するとともに、我が国においてなされた多くの研究者の方々および筆者らの研究成果を踏まえて、設計法を整理する。とくに、付加質量、接岸速度および偏心係数などの諸量については実測および実験に基づいて得られた設計の参考資料となる数値を提供する。また、現行の設計法において船舶の接岸力を異常時荷重として取り扱い、鋼材などの許容応力度を割り増していることについての問題点を指摘、考察し、論議する。なお、筆者は一般貨物船等の在来船に提供される係留施設に設置されているゴム防げん材についてその実態を調査して、ゴム防げん材の種類、規模、設置位置、間隔などの項目と船型との相関を求めている。その結果、一般貨物船等の在来船については、特殊な場合を除いて、接岸による衝撃力を緩和する目的で設置する防衛工（この場合はゴム防げん材を意味する）を標準化できるものと考えたので、そのための資料を提示することとする。

さらに、従来ほとんどすべての係留施設の設計において考慮されてはならず、また、PIANCの防衛工委員会においても論議の対象にはならなかった、係留船舶の動揺による衝撃力を緩和する目的で設置する防衛工の設計法について提案する。

以上二つの項目について併記し、これらの双方を考慮して係留施設の防衛工の設計を行うことを提案するものである。

## 2. 接岸エネルギーに基づく防衝工の設計法と事例

### 2.1 船舶の接岸による衝撃力

物体の衝突によって物体間には衝撃力が作用する。衝突は短時間の現象であるから、衝撃力の力積は衝撃力が働く直前と直後の運動量の変化として表すことができる。

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \int_0^{\tau} F dt = m(v_0 - v_{\tau}) \dots\dots\dots (2.1)$$

このような定義は衝突物体を完全弾性体としたときに適用されるが、実際の物体は塑性的性質を含んでいるものが多いので、反発係数(coefficient of rebound) $\xi$ を導入する。 $\xi$ の値は一般につきのようになる。

|       |           |
|-------|-----------|
| 完全弾性体 | $\xi = 1$ |
| 塑性体   | $\xi < 1$ |
| 完全塑性体 | $\xi = 0$ |

船舶の接岸においては、係船岸に防衝工が設置されることから、 $\xi = 1$ と考えるよい。

式(2.1)において力積は物体の質量と速度の関数として与えられる。式(2.1)では、質量を定数として与えているが、一般的には物体の質量は衝突現象のような微小な時間を問題にする場合においても時間的に変化すると考えるべきである。運動する物体の質量は、摩擦、崩壊、消耗などにより刻々変化する。また、空中や水中においては物体の運動に伴って流体の運動が誘起されるので、物体の速度の変化に応じて物体周辺の流体の速度が変化すると仮定すると、あたかも物体の質量が変化しているように見える。

以上のことから、流体中における物体の衝突問題は、①物体の衝突時の速度変化を知ること、②物体の衝突時の質量を知ること、③衝撃の時間 $\Delta t$ を知ること、に帰着される。いま、物体がある振動系にあるとき、上記を知れば衝撃力 $F$ を求めることができる。

さて、ここで、船舶の接岸時およびのちに3で述べる船舶の係留時の衝撃力の解析のために運動方程式を立式する。この式は係留船舶の動揺解析における基本式であるが、2.2以降の文章を読む際に直接必要がないので、飛ばして読んでいただいてもよい。

いま、係船岸に固定した座標系を( $O'-XYZ$ )とし、座標軸をそれぞれ $X, Y, Z$ 軸とする。また、船舶が、移動座標系の上にあるものとし、これを( $O_0-x_0y_0z_0$ )とする。つぎに、船舶を剛体と考えて、船舶に固定し海面を原点とする座標系を( $O-xyz$ )とし、船首尾軸を $x$ 軸、これと直角に $y$ 軸、上下方向に $z$ 軸をとる。また、船舶の重心を原点とする座標系を( $O_b-x_b y_b z_b$ )とし、船首

尾軸を $x_b$ 軸、これと直角に $y_b$ 軸、上下方向に $z_b$ 軸をとる(図-2.1参照)。

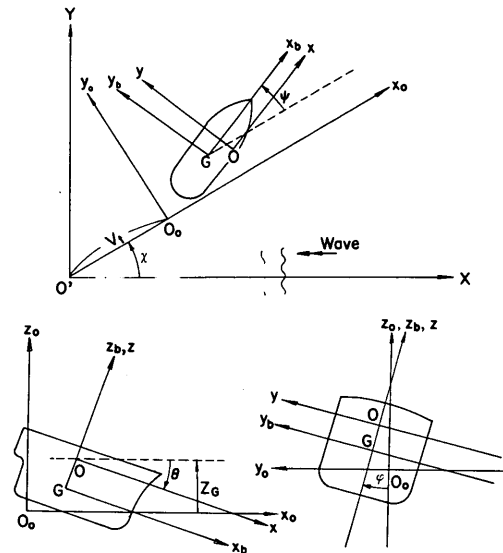


図-2.1 座 標 系

a. ( $O-xyz$ )系と( $O_b-x_b y_b z_b$ )系との関係  
 ( $O-xyz$ )を $(0, 0, -OG)$ 平行移動すれば( $O_b-x_b y_b z_b$ )系となる。

$$\begin{vmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x \\ y \\ z + OG \end{vmatrix} \dots\dots\dots (2.2)$$

b. ( $O_b-x_b y_b z_b$ )系と( $O_0-x_0 y_0 z_0$ )系との関係  
 つぎに、 $x_b, y_b, z_b$ の回りに $(-\phi, -\theta, -\psi)$ だけ回転し、 $(-x_c, -y_c, -z_c + OG)$ だけ平行移動させれば( $O_0-x_0 y_0 z_0$ )系となる。

$$\begin{vmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\phi & 0 & \cos\theta \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c - OG \end{vmatrix}$$

$$= \begin{vmatrix} 1 - \phi\theta & & \\ \phi & 1 - \phi & \\ -\theta & \phi & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c - OG \end{vmatrix} \dots\dots\dots (2.3)$$



c.  $(O_0-x_0y_0z_0)$ 系と  $(O'-XYZ)$ 系との関係

さらに、 $(O_0-x_0y_0z_0)$ 系を  $z_0$  軸の回りに  $(-\chi)$  だけ回転させ、 $(-v_x t, -v_y t, 0)$  だけ平行移動させれば  $(O'-XYZ)$ 系となる。

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \chi & -\sin \chi & 0 \\ \sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} v_x t \\ v_y t \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

d. 以上を整理すると、

$$\begin{pmatrix} x_b - y_b \phi + z_b \theta + x_c \\ x_b \phi + y_b + z_b \phi + y_c \\ -x_b \theta + y_b \phi + z_b + z_c - OG \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \cos \chi - Y \sin \chi - v_x t \\ Y \cos \chi + X \sin \chi - v_y t \\ Z \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

e. 上式に a. の関係を代入して整理すると、

$$\begin{aligned} v_x t + x_c + x - y \psi + (z + OG) \theta &= X \cos \chi + Y \sin \chi \\ v_y t + y_c + y + x \phi - (z + OG) \phi &= Y \cos \chi - X \sin \chi \\ z + z_c - x \theta + y \phi &= Z \end{aligned} \quad (2.6)$$

すなわち、

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \psi & -\theta \\ -\psi & 1 & \phi \\ \theta & -\phi & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & \psi & -\theta \\ -\psi & 1 & \phi \\ \theta & -\phi & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \cos \chi - Y \sin \chi - v_x t \\ Y \cos \chi + X \sin \chi - v_y t \\ Z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

いま、船舶が  $x, y$  軸方向にそれぞれ  $v_x, v_y$  なる速度を有し、かつ  $z$  軸回りに  $\omega$  なる角速度を有して、係船岸に接岸する状態を考える。時刻  $t = t_0$  に船舶の舷側上の  $a$  点が係船岸の  $A$  点  $(L, 0, s - OG)$  に接岸したとする。このときの  $x$  軸と  $X$  軸とのなす角を  $\alpha$  とする。また、 $a$  点は船舶の重心より  $l$  の位置、また、 $s$  の高さにあるものとする(図-2.2参照)。

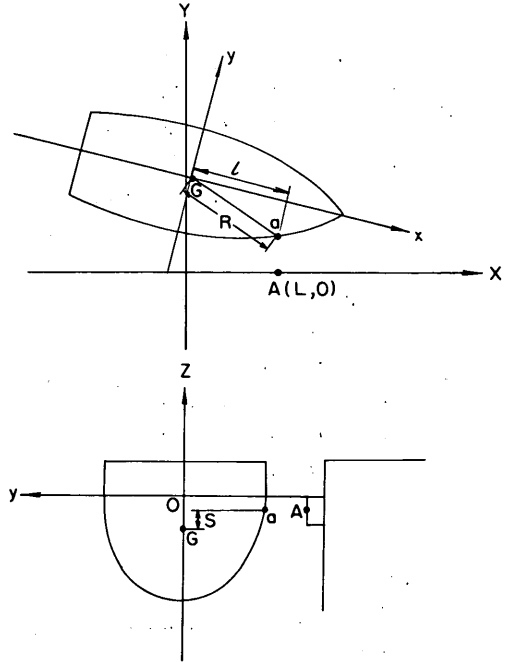


図-2.2 船舶の接岸点の位置

船舶に関する運動方程式は以下のように書ける。

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + BX + R = F \quad (2.8)$$

ここに、 $M, C, B, R, F, X$  は、それぞれ質量または慣性モーメント、減衰係数、静水圧的復元力、係留系による拘束力、強制力のマトリックス、船舶の変位であり、以下のように記述される。

$$M = \begin{pmatrix} M & 0 & 0 & 0 & Mz_G & 0 \\ 0 & M & 0 & -Mz_G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -Mz_G & 0 & I_4 & 0 & 0 \\ Mz_G & 0 & 0 & 0 & I_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_6 \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

$$m = \begin{pmatrix} m_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{22} & 0 & m_{24} & 0 & m_{25} \\ 0 & 0 & m_{33} & 0 & m_{35} & 0 \\ 0 & m_{42} & 0 & m_{44} & 0 & m_{45} \\ 0 & 0 & m_{53} & 0 & m_{55} & 0 \\ 0 & m_{62} & 0 & m_{64} & 0 & m_{65} \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

$$C = \begin{pmatrix} C_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_{22} & 0 & C_{24} & 0 & C_{26} \\ 0 & 0 & C_{33} & 0 & C_{35} & 0 \\ 0 & C_{42} & 0 & C_{44} & 0 & C_{46} \\ 0 & 0 & C_{53} & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & C_{62} & 0 & C_{64} & 0 & C_{66} \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B_{26} \\ 0 & 0 & B_{33} & 0 & B_{35} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & B_{44} & 0 & B_{46} \\ 0 & 0 & B_{53} & 0 & B_{55} & 0 \\ 0 & B_{62} & 0 & B_{64} & 0 & B_{66} \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

$$R = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \\ R_5 \\ R_6 \end{pmatrix} = KX \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

$$K = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} & K_{16} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} & K_{26} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} & K_{35} & K_{36} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} & K_{45} & K_{46} \\ K_{51} & K_{52} & K_{53} & K_{54} & K_{55} & K_{56} \\ K_{61} & K_{62} & K_{63} & K_{64} & K_{65} & K_{66} \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

$$F = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

$$X = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \phi \\ \theta \\ \psi \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

いま、係船岸に固定した座標系(O'-XYZ)のXYZに平行に  $k_x, k_y, k_z$  のばね定数のばねに船体が接岸するも

のとする。船舶に固定し海面を原点とする座標系(O-xyz)に対しては、以下のように表される。

係船岸に固定した座標系(O'-XYZ)の座標軸XYZに対する船舶に固定し海面を原点とする座標系(O-xyz)の座標軸xyz軸の方向余弦を  $l_1, l_2, l_3, m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3$  とすると、xyz座標軸に対するばね定数は以下のように書ける<sup>5)</sup>(図-2.3参照)。

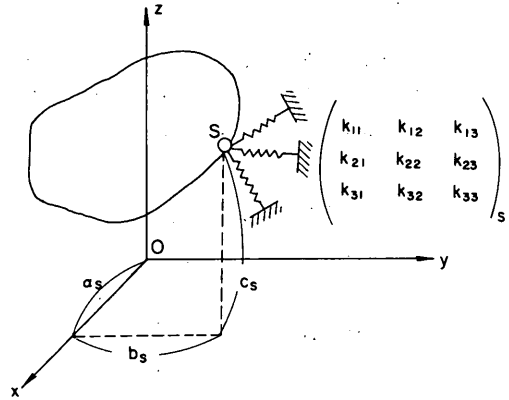


図-2.3 座標系およびばね定数

$$\begin{aligned} k_{11} &= k_x l_1^2 + k_y l_2^2 + k_z l_3^2 \\ k_{22} &= k_x m_1^2 + k_y m_2^2 + k_z m_3^2 \\ k_{33} &= k_x n_1^2 + k_y n_2^2 + k_z n_3^2 \\ k_{23} &= k_{32} = k_x m_1 n_1 + k_y m_2 n_2 + k_z m_3 n_3 \\ k_{31} &= k_{13} = k_x n_1 l_1 + k_y n_2 l_2 + k_z n_3 l_3 \\ k_{21} &= k_{12} = k_x l_1 m_1 + k_y l_2 m_2 + k_z l_3 m_3 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

したがって、船舶に対するばね定数のマトリックス式(2.14)の各要素  $K_{ij}$  は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} K_{11} &= k_{11}, \quad K_{22} = k_{22}, \quad K_{33} = k_{33} \\ K_{44} &= k_{22} (s-OG)^2 + k_{33} (\sqrt{R^2-l^2}/2)^2 - 2k_{23} \sqrt{R^2-l^2}/2 (s-OG) \\ K_{55} &= k_{33} l^2 + k_{11} (s-OG)^2 + 2k_{31} (s-OG) l \\ K_{66} &= k_{11} (\sqrt{R^2-l^2}/2)^2 + k_{22} l^2 - 2k_{12} l \sqrt{R^2-l^2}/2 \\ K_{12} &= k_{12}, \quad K_{13} = k_{13}, \quad K_{23} = k_{23} \\ K_{14} &= k_{13} \sqrt{R^2-l^2}/2 - k_{12} (s-OG) \\ K_{15} &= k_{11} (s-OG) - k_{13} l \\ K_{16} &= k_{12} l - k_{11} \sqrt{R^2-l^2}/2 \\ K_{24} &= k_{23} \sqrt{R^2-l^2}/2 - k_{22} (s-OG) \\ K_{25} &= k_{12} (s-OG) - k_{23} l \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{26} &= k_{22} l - k_{12} \sqrt{R^2 - l^2} / 2 \\
K_{34} &= k_{33} \sqrt{R^2 - l^2} / 2 - k_{23} (s - OG) \\
K_{35} &= k_{13} (s - OG) - k_{33} l \\
K_{36} &= k_{23} l - k_{13} \sqrt{R^2 - l^2} / 2 \\
K_{45} &= k_{13} \sqrt{R^2 - l^2} / 2 (s - OG) + k_{23} (s - OG) l \\
&\quad - k_{12} (s - OG)^2 - k_{33} l \sqrt{R^2 - l^2} / 2 \\
K_{46} &= k_{12} \sqrt{R^2 - l^2} / 2 (s - OG) + k_{23} l \sqrt{R^2 - l^2} / 2 \\
&\quad - k_{12} (\sqrt{R^2 - l^2} / 2)^2 - k_{22} (s - OG) l \\
K_{56} &= k_{12} l \sqrt{R^2 - l^2} / 2 + k_{13} l \sqrt{R^2 - l^2} / 2 \\
&\quad - k_{23} l^2 - k_{11} \sqrt{R^2 - l^2} / 2 (s - OG) \\
&\dots\dots\dots (2.18)
\end{aligned}$$

ただし、ここでは、 $K_x = 0$  とし、また、 $Z$  軸と  $z$  軸は平行とすると、

$$\begin{aligned}
l_3 &= m_3 = n_1 = n_2 = 0, \quad n_3 = 1 \\
l_1 &= \cos \alpha, \quad m_1 = \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (2.19) \\
l_2 &= \sin \alpha, \quad m_2 = -\sin \alpha
\end{aligned}$$

となるので、これを式(2.16)に代入すると、 $k_{ij}$  式は(2.20)で表される。

$$\begin{aligned}
k_{11} &= k_x l_1^2 + k_y l_2^2 \\
k_{22} &= k_x m_1^2 + k_y m_2^2 \\
k_{33} &= 0 \quad \dots\dots\dots (2.20) \\
k_{23} &= k_{32} = 0 \\
k_{31} &= k_{13} = 0 \\
k_{12} &= k_{21} = k_x l_1 m_1 + k_y l_2 m_2
\end{aligned}$$

したがって、船舶に対するばね定数のマトリックス式(2.14)の各要素  $K_{ij}$  は以下の式で表される。

$$\begin{aligned}
K_{11} &= k_{11}, \quad K_{22} = k_{22}, \quad K_{33} = 0 \\
K_{44} &= k_{22} (s - OG)^2 \\
K_{55} &= k_{11} (s - OG)^2 \\
K_{66} &= k_{11} (\sqrt{R^2 - l^2} / 2)^2 + k_{22} l^2 - 2k_{12} \\
&\quad l \sqrt{R^2 - l^2} / 2 \\
K_{12} &= k_{12}, \quad K_{13} = 0, \quad K_{23} = 0 \\
K_{14} &= k_{12} (s - OG) \\
K_{15} &= k_{11} (s - OG) \\
K_{16} &= k_{12} l - k_{11} \sqrt{R^2 - l^2} / 2 \\
K_{24} &= k_{22} (s - OG) \\
K_{25} &= k_{12} (s - OG) \\
K_{26} &= k_{22} l - k_{12} \sqrt{R^2 - l^2} / 2 \\
K_{34} &= 0 \\
K_{35} &= 0 \\
K_{36} &= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{45} &= k_{12} (s - OG)^2 \\
K_{46} &= k_{12} \sqrt{R^2 - l^2} / 2 (s - OG) - k_{12} (\sqrt{R^2 - l^2} / 2)^2 \\
&\quad - k_{22} (s - OG) l \\
K_{56} &= k_{12} l \sqrt{R^2 - l^2} / 2 - k_{11} \sqrt{R^2 - l^2} / 2 (s - OG) \\
&\dots\dots\dots (2.18)
\end{aligned}$$

したがって、剛性マトリックスは以下のとおりである。

$$K = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & 0 & K_{14} & K_{15} & K_{16} \\ K_{21} & K_{22} & 0 & K_{24} & K_{25} & K_{26} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ K_{41} & K_{42} & 0 & K_{44} & K_{45} & K_{46} \\ K_{51} & K_{52} & 0 & K_{54} & K_{55} & K_{56} \\ K_{61} & K_{62} & 0 & K_{64} & K_{65} & K_{66} \end{vmatrix} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

式(2.8)を時刻  $t = t_0$  の以下の初期条件で解けばよい。

$$\begin{aligned}
x &= l \\
\dot{x} &= v_x \\
y &= -\sqrt{R^2 - l^2} \quad \dots\dots\dots (2.20) \\
\dot{y} &= v_y \\
\psi &= 0 \\
\dot{\psi} &= \omega
\end{aligned}$$

さらに簡略化すると、 $K_x = K_z = 0$  とし、また、 $X$  軸と  $x$  軸また  $Z$  軸と  $z$  軸は平行とし、船舶が行脚(ゆきあし)をもたない( $v_x = 0$ )とすると、

$$\begin{aligned}
l_2 &= l_3 = m_1 = m_3 = n_1 = n_2 = 0, \\
l_1 &= m_2 = n_3 = 1 \quad \dots\dots\dots (2.21)
\end{aligned}$$

となるので、これを式(2.16)に代入すると、 $k_{ij}$  は、式(2.22)で表される。

$$\begin{aligned}
k_{11} &= k_y l_2^2 \\
k_{22} &= k_y m_2^2 \\
k_{33} &= 0 \quad \dots\dots\dots (2.22) \\
k_{23} &= k_{32} = 0 \\
k_{31} &= k_{13} = 0 \\
k_{12} &= k_{21} = 0
\end{aligned}$$

したがって、船舶に対するばね定数のマトリックス式(2.14)の各要素  $K_{ij}$  は以下の式で表される。

$$\begin{aligned}
K_{11} &= 0, \quad K_{22} = k_{22}, \quad K_{33} = 0 \\
K_{44} &= k_{22} (s - OG)^2 \\
K_{55} &= 0 \\
K_{66} &= k_{22} l^2 \\
K_{12} &= 0, \quad K_{13} = 0, \quad K_{23} = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{14} &= 0 \\
K_{15} &= 0 \\
K_{16} &= 0 \\
K_{24} &= k_{22}(s-OG) \dots\dots\dots (2.23) \\
K_{25} &= 0 \\
K_{26} &= k_{22}l \\
K_{34} &= 0 \\
K_{35} &= 0 \\
K_{36} &= 0 \\
K_{45} &= 0 \\
K_{46} &= -k_{22}(s-OG)l \\
K_{56} &= 0
\end{aligned}$$

したがって、剛性マトリックスは以下のとおりである。

$$K = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{22} & 0 & 0 & 0 & K_{26} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{42} & 0 & K_{44} & 0 & K_{46} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{62} & 0 & K_{64} & 0 & K_{66} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2.24)$$

式(2.24)を時刻  $t = t_0$  の以下の初期条件で解けばよい。

$$\begin{aligned}
x &= l \\
\dot{x} &= 0 \\
y &= -\sqrt{R^2 - l^2} \dots\dots\dots (2.25) \\
\dot{y} &= v_y \\
\psi &= 0 \\
\dot{\psi} &= \omega
\end{aligned}$$

この条件における詳細な解は林<sup>13)</sup>によって求められている。林の計算結果によると、接岸後の船舶のローリングおよびヨウイングによるエネルギー消費は、それぞれ約10%、40%であって、ヨウイングによるものが大きいのでさらに簡略化し、ローリングがないものすなわち船舶の重心の高さにおいて防衛工に衝突するものとする、剛性マトリックスは以下ようになる。

$$K = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{22} & 0 & 0 & 0 & K_{26} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{62} & 0 & K_{64} & 0 & K_{66} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2.26)$$

したがって、式(2.8)はスウェイングとヨウイングに関する2元2階連立微分方程式となる。この方程式の解

は、波力等の外力が無い場合に、係船岸についてEgging<sup>7)</sup>によって、またドルフィンについて筆者の一人<sup>1)</sup>によって求められている。

## 2.2 現行の防衛工の設計方法

港湾構造物に設置する防衛工の設計において、現在最も一般的な方法は、船舶の接岸エネルギーを一組の防衛工で吸収するように適切に防衛工を選定するものである。

船舶の接岸エネルギーを求める方法には、以下に示す運動力学的方法、統計的方法、水理模型実験による方法、流体力学的方法などがあるが、運動力学的方法が最も一般的に用いられている。運動力学的方法については2.3で詳述するが、他の方法については参考文献を挙げ略述するに留める。

### (1) 運動力学的方法

運動力学的方法は古典的な方法ではあるが、最も広く用いられている方法である。

接岸船舶の運動エネルギー(= $E_s$ , 単位 tfm または kNm)は、船舶が横方向にのみ移動するものとすれば、

$$\frac{1}{2}(M_s V^2) \dots\dots\dots (2.27)$$

に等しい。

ここに、 $M_s$  = 船舶の質量(船舶の排水質量で、単位はkg, または、N(ニュートン)をg(重力の加速度、単位m/s<sup>2</sup>)で除したもの)、 $V$  = 船舶の接岸速度(単位m/s)。したがって、 $E_s = (M_s V^2)/2$ である(一般に、船舶の大きさはdwt = 重量トンで表されるので排水トンに換算する必要がある)。

しかし、船舶がドルフィン、防衛工を設置した岸壁および防衛桁などに接岸する場合には、防衛システムによって吸収されるべきエネルギー、すなわち船舶の接岸エネルギーは、

$$E = f \times E_s \dots\dots\dots (2.28)$$

となる。

ここに、

$$f = C_e \times C_m \times C_s \times C_c \dots\dots\dots (2.29)$$

で、 $C_e$ は偏心係数、 $C_m$ は仮想質量係数、 $C_s$ は柔軟性係数、 $C_c$ はバースの形状係数である。

### (2) 統計的方法

この方法は、実際のバースにおいて計測された接岸エネルギーに基づく方法である。したがって、標本値は観測地点の条件の影響を受ける。また、接岸エネルギーの観測値には、防衛工の配置、施設の構造、たとえば、ドルフィンの間隔や船舶の荷役の方法などの影響もある。これらの影響を除去しようとする、多数の観測地点に

おける多数の観測値が必要であるが、現在のところ十分な数の観測値は得られていない。

(3) 水理模型実験による方法

小スケールの模型を用いる接岸実験を行って接岸エネルギーを求める方法であるが、この方法によって得られる結果は、縮尺および粘性の影響を受けるので、経験の豊富な設備の良い水理研究所または船舶試験所で行う必要がある。

(4) 流体力学的方法

この方法は現段階ではまだ開発中であって、いまのところ実船による接岸エネルギーの実測値との比較が行われていない。

2.3 船舶の接岸エネルギー

(1) 船舶の接岸エネルギーは運動力学的方法によれば式(2.30)で計算される。

$$E = \frac{W_s V^2}{2g} \times C_e \times C_m \times C_s \times C_c \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

ここに、E；船舶の接岸エネルギー(tf・m)、g；重力の加速度(m/s<sup>2</sup>)、g=9.8m/s<sup>2</sup>、W<sub>s</sub>；船舶の排水量(tf)、V；船舶の接岸速度(m/s)、C<sub>e</sub>；偏心係数、C<sub>m</sub>；仮想質量係数、C<sub>s</sub>；柔軟性係数、C<sub>c</sub>；バースの形状係数。

(2) 防衛工の設計においては、一組の防衛工が上記の船舶の接岸エネルギーを吸収するように適切な防衛工を選定する。一組の防衛工とは、船舶接岸時に一体となって働き船舶の接岸エネルギーを吸収する一個または複数の防衛工を指し、係船岸にはこれらが一定の間隔をもって配置されているものとする。

(3) 船舶の排水量は対象船舶が特定される場合はその諸元に基づいて計算するが、対象船舶が特定されない場合には標準船型より計算する。

(4) 船舶の接岸速度、偏心係数、仮想質量係数、柔軟性係数、バースの形状係数などの値は、実測値または以下に示す値を参考にして決定する。

2.4 接岸速度

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構造、気象および海象状況、引船の有無・大きさ等を考慮して、当該バースにおける実測値または類似のバースにおける既往の接岸速度の実測資料に基づいて定める。

(1) 船舶の接岸エネルギーは接岸速度の二乗に比例するので、力学的方法によって防衛工の設計を行う場合には、接岸速度は最も重要である。接岸速度の大きさは、船舶の接岸操船における制御の度合に係わる。操船条件、遮蔽条件、タグボートの使用、風、波、流れ、船舶の大

きさと種類、などの要因がこの制御に影響する。したがって、設計接岸速度はこれらの要因の影響を考慮して、当該バースにおける実測値、または類似のバースにおける既往の接岸速度の実測資料に基づいて定めなければならない。

(2) 大型貨物船の接岸状況を見ると、船舶は係船岸から10~20m離れた位置に係船岸と平行になるように一旦停止し、その後、数隻の引船で緩やかに押しながらか接岸する。また、風が係船岸に向かって強く吹送するような場合には、逆に引船で引張りながらか接岸することもある。このような接岸方法を採用している場合には、既往の実績に基づいて10~15cm/s程度の設計接岸速度をとる場合が多い。

(3) 大型タンカーの接岸状況は大型貨物船の場合と類似していて、船舶は係船岸から50~100m離れた位置に係船岸と平行になるように一旦停止し、その後総馬力数がタンカーの排水量の約7%になる数隻の引船で緩やかに押しながらか接岸する。大型タンカーの接岸においては目標接岸速度をおおむね5cm/s程度に設定して慎重に行われている。

(4) フェリー、コンテナ船(主としてRO-RO船)などの特殊船、あるいは小型貨物船などは、タグボートを使用せず自力で接岸したり、船首または船尾にランプがある場合には係船岸に添ってシフトしたりするなど、いわゆる大型船などの場合とは異なった接岸方法をとることがあるので、それらの、接岸方法に注意して実測値に基づいて慎重に接岸速度を決める必要がある。

(5) 図-2.4は経験的なデータに基づいて作成された、操船条件および船型と接岸速度との関係を示す図である。

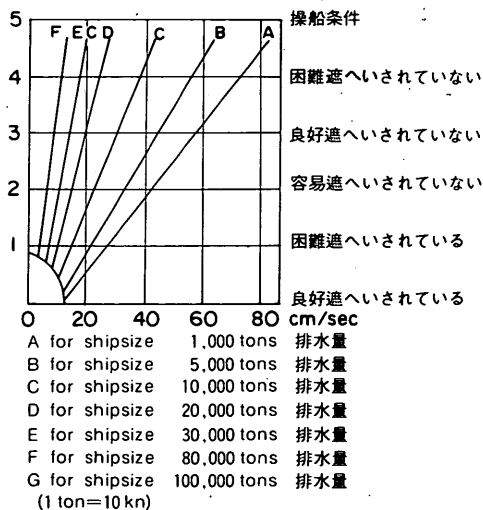


図-2.4 操船条件および船型と接岸速度との関係

この図が作成されたのはかなり以前であるが、現在でもよく用いられている<sup>8)</sup>。

(6) 接岸速度に関する調査結果によると、一般の貨物船では大半が10cm/s以下で、10cm/sを超えるものは少ない(図-2.5)<sup>9)</sup>。シーバースを利用する大型タンカーの接岸速度も10cm/sを超えるものは少ない(図-2.6参照)<sup>1)</sup>。また、自力で接岸するフェリーの場合も10cm/s以下が大半であるが、15cm/sを超えるような場合もみられるので、フェリー埠頭の設計には十分な注意が必要である(図-2.7参照)<sup>9)</sup>。

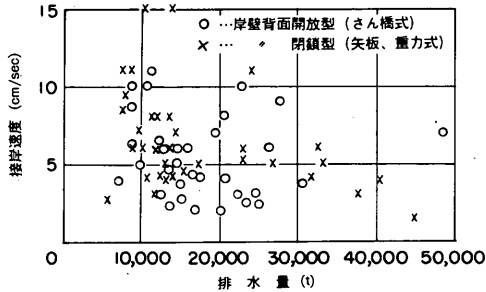


図-2.5 貨物船の接岸速度の測定例

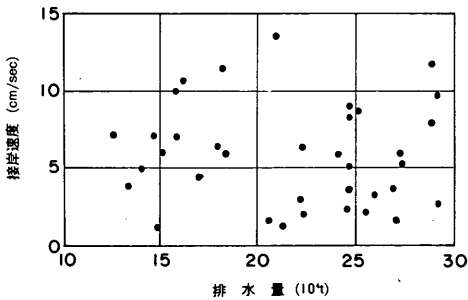


図-2.6 大型タンカーの接岸速度の測定例

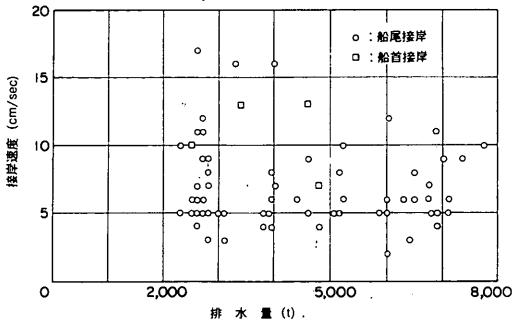


図-2.7 フェリーの接岸速度の測定例

また、上記の調査結果より、船舶の載荷状態が接岸速度にかなりの影響を及ぼしていることが明らかになった。すなわち、満載状態で余裕水深が小さいと接岸速度が小さくなり、逆に軽荷状態で余裕水深が大きくなると、接岸速度が大きくなる傾向がある。

(7) 20万 dwt級の大型タンカー用のシーバースにおける接岸速度の実測記録をもとに求めた接岸速度の頻度分布(図-2.8参照)をみると、接岸速度の実測値の最大値

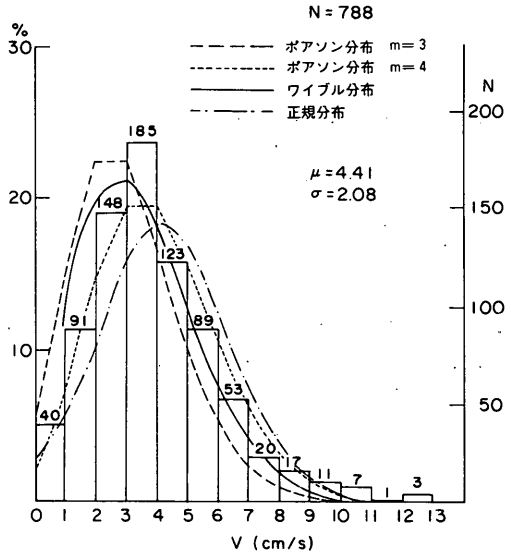


図-2.8 大型タンカーの接岸速度の頻度分布

は13cm/sである。これは、累積発生確率で、99.6%に当たる。また、平均値 $\mu$ は4.4cm/s、標準偏差 $\sigma$ は2.08cm/sである。これから、確率密度を計算してワイブル確率紙にプロットして、確率密度 $f(t)$ を求めると式(2.31)のようになる。

$$f(t) = \frac{t}{0.8} \times \exp\left(-\frac{t^{2.0}}{1.6}\right) \quad \dots\dots (2.31)$$

また、1/1000期待接岸速度を求めると14.5cm/sとなる。なお、接岸速度の実測を行ったシーバースの設計接岸速度は15または20cm/sである<sup>1)</sup>。

(8) 小型貨物船や漁船などの小型船舶は接岸時に引船を用いず自力で制動して接岸するので、大型船に比べて一般に接岸速度が大きく、場合によっては、30cm/s以上になることがあるので注意を要する。とくに、小型船舶の場合は実測値等に基づいて慎重に定める必要がある。

(9) 上記のような慎重な接岸方法をとらない場合や、流れがあるバースにおける中型・小型船舶などの接岸に対しては漂流速度を考慮し、また、港湾管理者、水先人

などの意見、実測資料などに基づいて接岸速度を決める必要がある。船舶の漂流速度は式(2.32)によって求めることができる<sup>10)</sup>。

$$V^2 = \frac{1}{750} \times \frac{S_1}{S_2} U^2 \times \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{120 S_2 g X}{W_v}\right) \right\} \quad (2.32)$$

ここに、

V : 漂流速度 (m/s)

d : 余裕水深 (m)

H : 水深 (m)

S<sub>1</sub> : 船舶の水面上投影面積 (m<sup>2</sup>)

S<sub>2</sub> : 船舶の水面下投影面積 (m<sup>2</sup>)

W<sub>v</sub> : 船舶の仮想重量 (tf)

$$W_v = W \left( 1 + \frac{\pi}{2 C_b} \cdot \frac{D}{B} \right) \quad (2.33)$$

X : 船舶と係船岸との距離 (m)

g : 重力の加速度 (m/s<sup>2</sup>), g = 9.8 m/s<sup>2</sup>

U : 風速 (m/s)

図-2.9は船舶の漂流速度を計算して図示したものである。ただし、計算においては { } の exp の項は零に等しい。

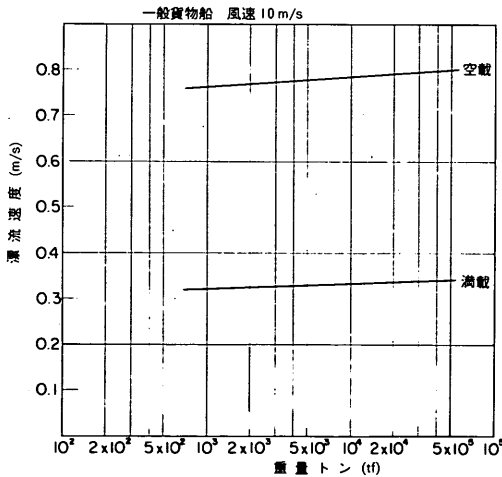


図-2.9 船舶の漂流速度の計算例

(10) Brotsma<sup>11)</sup>ほか(1977)は、遮蔽されていないが接岸しやすいバースに分類されるヨーロッパの港における3,000回の接岸速度の観測結果に基づいて、外挿から図-2.10を求めた。この図およびSaurin<sup>12)</sup>(1963)の成果ならびに図-2.4とを合せて考えると、図-2.11に示すように設計接岸速度は操船条件とタンカーの大き

さの関数であるといえる。

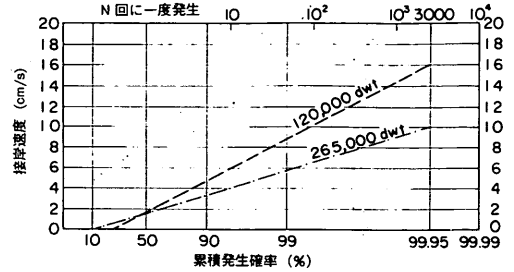


図-2.10 タンカーの接岸速度の発生確率, ヨーロッパにおける3,000回の接岸(Brolsma<sup>12)</sup>ほか, 1977)

操船条件

- 5. 困難・遮へいされていない
- 4. 良好
- 3. 容易
- 2. 困難・遮へいされている
- 1. 良好

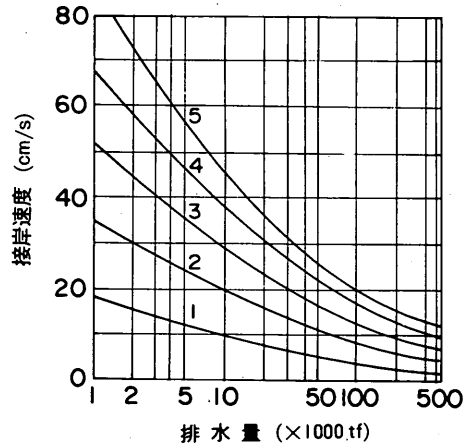


図-2.11 設計接岸速度と操船条件およびタンカーの排水量との関係(Brolsma<sup>12)</sup>ほか, 1977)

図-2.11は大型船の接岸速度がむしろ小さいことを示している。この図は実際の計測に基づいて作成されたものであるが、設計者は大型船は一層注意深く接岸するものと仮定している。しかし、一方では、そのうちに大型船(たとえばVLCC)の接岸にも一種の慣れが生じて注意を怠って、その結果大きな接岸エネルギーを防衛システムで吸収しなければならなくなるとするむきもある。

さらに、統計的な観点からみると図-2.12に示す四つの石油精製基地における観測値<sup>5)</sup>が示すように、立地場所による差異が非常に大きくなる。

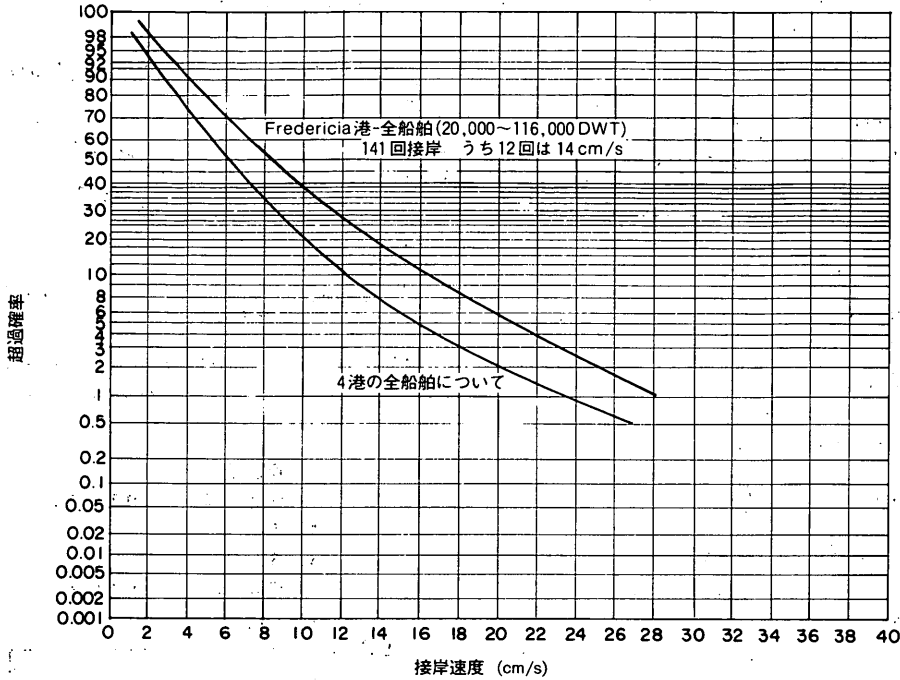


図-2.12. 接岸速度の超過確率(実測結果の代表例<sup>14)</sup>)

(11) PIANCに設置された防衛工委員会は5年間にわたる研究成果報告において、大型船に対する一般的な指針として、防衛システムの設計に用いる接岸速度として以下の値を推奨している。

|                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| 良好な条件のとき                          | 10 cm/s |
| 通 常                               | 15 cm/s |
| 真横からの流れがあったり、<br>風が強かったりして条件が悪いとき | 25 cm/s |

しかし、同時にこれらの設計接岸速度を超える確率はかなり高いことを指摘し、立地場所に特有な要因等を考慮し、設計接岸速度を決めるに当たっては、十分な注意を払う必要があるとしている。その意味で、図-2.4や図-2.11に示される値は単に大きさの程度を示すものにすぎないと理解すべきであるとし、非常に条件が良い場合でも、特別の理由がないかぎり10cm/s以下の値をとらないように注意している<sup>5)</sup>。

### 2.5 偏心係数=C。

(1) 船舶接岸時の偏心係数は、操船状況、船舶の諸元、防衛工の配置などを考慮して決める。実測等により、船舶が係船岸と接触する位置が明らかなる場合は式(2.34)を用いて計算してよい。なお、(2)~(9)に既往の研究成果を列挙するが、それらの値はこの式で計算したものと大差

ない。

$$C_e = \frac{1}{1 + (l/r)^2} \dots\dots\dots (2.34)$$

ここに、 $l$  = 係船岸に平行に測った接触点から船舶の重心までの距離(m)、 $r$  = 水平面で船舶の重心を通る鉛直軸まわりの回転半径(m)。

(2) 接岸操船中に船舶はバース法線に平行ではないので、船舶は係船岸と接触した後、接触点を中心にして回転(ヨウイング)を始め、また、ローリングをする。その結果、運動エネルギーの一部が消費される(林, 1961)。しかし、ローリングによるエネルギーの消費は運動エネルギーの8~12%、ヨウイングによるものは40%であり<sup>13)</sup>、ローリングによるエネルギーの消費は無視できるので、ここで提案する方法ではヨウイングによるエネルギー消費のみを考える。

(3) Saurin<sup>12)</sup> (1963)は、船舶を幅が非常に小さい剛な棒とみなして防衛工の接岸エネルギーを解析し、偏心係数として式(2.34)を得た。

(4)  $r/L$  ( $L$ =船長)は船舶のブロック係数の関数であり、図-2.13に示されるところによれば次式で近似される。



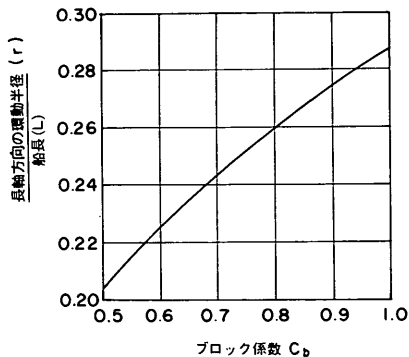


図-2.13 長軸方向の環動半径とブロック係数との関係 (Myers<sup>19</sup> 1969)

$$r = (0.19C_b + 0.11)L \quad \dots\dots\dots (2.35)$$

(大型タンカーに対しては  $r$  は約  $0.25L$ )

(4) Vasco Costa<sup>15)</sup> は、バース法線に直角方向の横方向の移動のほかに、船幅および、行脚(ゆきあし)、防衛工と接触したときの回転などを考慮して、接岸エネルギーを式(2.36)で与えた。

$$E = \frac{1}{2} M_v V^2 \frac{r^2 + R^2 \cos^2 \gamma}{r^2 + R^2} - M_v V \omega \frac{Rr^2 \sin \gamma}{r^2 + R^2} + \frac{1}{2} M_v \omega^2 \frac{r^2 R^2}{r^2 + R^2} \quad \dots\dots (2.36)$$

いま、船舶が防衛工に接触するとき、回転がなく単に横方向の移動のみであったとすると、

$$C_e = \frac{r^2 + R^2 \cos^2 \gamma}{r^2 + R^2} \quad \dots\dots (2.37)$$

ここに、 $E$  : 船舶の接岸エネルギー(tfm)、 $R$  : 重心と、防衛工との接触点との距離(m)、 $\gamma$  :  $R$  と速度ベクトルとのなす角、 $r$  : 船舶の環動半径(m)、 $V$  : 接岸速度(m/s)、 $\omega$  : 重心回りの各速度( $s^{-1}$ )(図-2.14参照)。

上記の式は、防衛工が最大の変形をするときに以下の仮定を満足するときに成立する。

- 船舶は接岸点を中心に回転する。
- 防衛工と船側外板との間に滑りがないかまたは非常に小さい。
- タグボート、風、流れなどによる力は、防衛工の反力に比べて無視できるほど小さい(ただし、引続いて起こる接岸に対して)。

(5) 接岸角度(船側とバース法線との角度)としては、通常 $0^\circ$ 、最大 $10^\circ$ (1対8)がとられる。

(6) 二つの接岸ドルフィンから構成されるバース(ドルフィンは通常中心間隔 $L/3$ に設置される)では、どちら

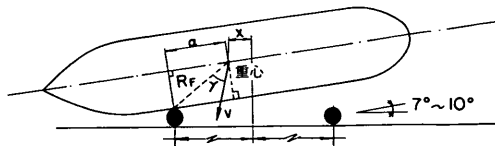


図-2.14 船舶の接岸の状況

の防衛工に接触しても $C_e$ が最小になるようにするには、船舶の重心がドルフィン間の中心に一致するようにすればよい。(接岸操船中にそうなるようにするが)。その場合式(2.34)では、

$$l = L/6 \text{ であるから,}$$

$$C_e = \frac{(0.25L)^2}{\frac{1}{6}L^2 + (0.25L)^2} = 0.69 \quad \dots\dots\dots (2.34)$$

また、同じく、二つの接岸ドルフィンから構成されるバースでは、船舶が重心位置でドルフィンに接岸する場合に $C_e$ は最大値をとる。その場合には $l = 0$ であるから $C_e = 1.0$ である。しかし、このようなことはまれであるし、しかも接岸操船によって避けなければならない。

(7) 防衛工が連続的に配置されているバース(例えば、接岸梁)では、 $l$ は船側の形状、防衛工の構造、接岸角度によって決まる。石油タンカーでは、連続的に防衛工が配置されているときには、 $l = 0.30L$ であるから、

$$C_e = \frac{(0.25L)^2}{(0.30L)^2 + (0.25L)^2} = 0.41 \quad \dots\dots\dots (2.39)$$

となる。これは、二つのドルフィンから構成されるバースの場合よりかなり小さい。しかしながら、貨物船はこれとは異なった形状をしているので、大型貨物船の場合には、およそ $C_e = 0.55 \sim 0.60$ ぐらいになる(Rupert<sup>16)</sup> 1976)。

(8) 一般に二つまたは四つのドルフィンから構造されるバースでは、外側のドルフィンの $C_e$ の設計値は $0.7 \sim 0.8$ の間にある。我が国で20万dwt級の大型タンカーで実測した結果によると、外側のドルフィンの $C_e$ の値は、図-2.15に示すように $0.5 \sim 0.7$ の間ではほぼ一様に分布している<sup>1)</sup>。

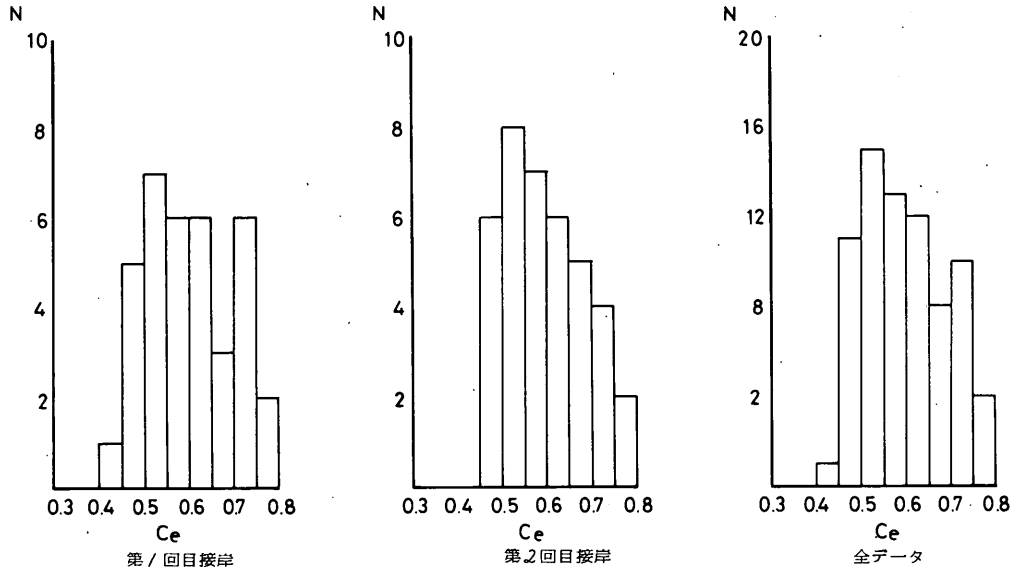


図-2.15 偏心係数の実測値の分布

(9) 実測によると、満載の20万タンカーの重心はやや船首側にあり、重心とマニホールドのセンターとの距離は最大13m程度である。また、バース側の荷役用ドルフィンのローディングアームと船舶のマニホールドとの距離は、最大14m程度である。大型タンカーの接岸操船においては船舶のマニホールドを、荷役用ドルフィンのローディングアームに一致させるようにするので、大型タンカーにおいては、ドルフィンの中心と船舶の重心との距離は15m程度とみなせる(図-2.14の距離X)。

## 2.6 仮想質量係数 = $C_m$

(1) 船舶の接岸時には、船舶の質量( $M_s$ )と船舶の周辺の水塊の質量( $M_w$ )が同時に減速される。したがって、この水塊の質量による慣性力が船舶に付加されることになる。

このことから、仮想質量係数は式(2.40)で定義される。

$$C_m = \frac{M_s + M_a}{M_s} \quad \dots\dots\dots (2.40)$$

ここに、 $C_m$ : 仮想質量係数、 $M_s$ : 船舶の質量、 $M_a$ : 船舶の付加質量

(2)  $C_m$ を決めるための理論的根拠については、いまだ実物における観測調査が不足しているが、既設の係船岸の設計においては $C_m$ として、1.2~2.0の間の数値が用いられている。

(3) 船舶と共に動く水塊の質量に基づいて、仮想質量係数 $C_m$ の値を一つに定めることは仮想質量が以下に挙げる諸要因の関数であることになかなか難しい。

- 水深、(アンダーキールクリアランス)、対象物までの距離、直立壁、または岸壁など。
- 船の水線面下の形状(水線面上の長さ、幅、喫水、それらの関係、さらにブロック係数)。
- 船舶の接岸速度、接岸角度、流れ。
- 船舶が減速されるまでの運動の変化;これは防衛工の剛性(ばね特性)船舶の質量とその防衛工との相対位置などの関数として得られる。
- 船舶の水線面下の滑らかさ。

(4) PIANCの防衛工委員会の報告<sup>23)</sup>書によれば、接岸時における接岸速度および防衛工の変形を測定する努力がいくつかなされていて、後者(防衛工の変形)からドルフィンと防衛工とによって吸収されたエネルギーを計算し、 $C_s$ 、 $C_e$ 、船舶の質量 $M_s$ を与件として、先の式を用いて $C_m$ の値を求める努力が多くの研究者によってなされている。しかし、それにもかかわらず、 $C_m$ を決めるためには、数多くの実測データが必要とされること、多くのまたは変化する上述した要因の効果、および接岸のときに計測されるべき多くのデータが必要であることを考えると、各研究者が異なった $C_m$ を提案し、また、すべての条件を満足する $C_m$ を決定することが難しいとし、仮想質量係数を求める方法を特定することを選び、多くの研究者によって発表された $C_m$ の種々の計算式と仮想質量係数の観測値をとりまとめている。これらと、我が国における研究成果をとりまとめて(8)に示し、かつ、本論文において仮想質量係数の提案を行う。

(5) とくに、アンダーキールクリアランスが小さいときには、水理模型実験から得られる $C_m$ の値は実船による観測値から求められるものよりもかなり大きくなるので注意を要する。いまのところこれを十分に説明することはできないが、実験において加速度モデルであれば慣性力と粘性抵抗力の和を計測することになるが、実船では減速モデルであるので慣性力と粘性抵抗力の差を計測することになる。もし、実験によって得られた値が正しいものとする、小さな $C_m$ の値を用いて設計した防衝システムが設置された係船岸では、もっと損傷が起こっているはずである。

(6) アンダーキールクリアランスや防衝工の剛性が、 $C_m$ におよぼす影響を知るために行った模型実験の結果は慎重に解釈しなければならない。模型実験結果と実船観測結果との相違が合理的に説明されるまでは、これらの値( $C_m$ )は定量的なものではなく定性的なものと考えべきである。

(7) PIANCの防衝工委員会の報告書によれば、設計者がとくに強い理由を持たなければ、 $C_m$ として1.5(アンダーキールクリアランスが大きい場合、たとえば、0.5×喫水)または1.8(アンダーキールクリアランスが小さい場合、たとえば、0.1×喫水)を用いることを勧告している。

(8) 付加質量係数 $C_m$ の値および計算式に関する既往の研究成果の代表的なものとして以下のものがある。

a. Grim<sup>17)</sup>(1955)

$$C_m = 1.3 + 1.8 \frac{D}{B} \dots\dots\dots (2.41)$$

ここに、 $D$ =喫水(単位m)、 $B$ =船幅(単位m)である。この式はハンブルグの船舶試験所で行われた模型実験結果に基づいて求められたものである。この式では、アンダーキールクリアランスと $C_m$ との関係はない。

b. Vasco Costa<sup>15)</sup>(1964)

$$C_m = 1.0 + 2.0 \frac{D}{B} \dots\dots\dots (2.42)$$

Vasco CostaはGrimが模型を加速した回転させるために必要な力を計測していたときに、模型を加速するためには慣性力と粘性抵抗力およびその他の力を上回る力が必要であるが、模型を減速するためには慣性力と粘性抵抗力の差を上回る力があれば十分であることを無視していたことを指摘した。このことは、浅海域においては粘性抵抗力と流れの乱れが大きくなるのでとくに重要である。Vasco Costaは、模型を減速するようにして実験を行うかぎりは仮想質量の算定において水深の影響を無視してもよいとし、彼が修正した式を用いると、同一

の $D/B$ に対してはGrimの式による計算値よりやや小さい値にはなるが安全側であると考えている。

Vasco Costaはアメリカの海洋土木研究所(NCEL)が1966年に行った実験が彼の式を追認するものであることを示している(Thorn)。

Tyrell<sup>18)</sup>(1966/1967)は $C_m$ に与える船舶の接岸速度の影響を求めようとした。彼は、 $C_m$ には接岸速度の影響はないこと、 $C_m$ は潮流の影響を受けることを示した。しかし、この論文からは、実用的な計算式を求めるのに必要なデータは得られなかった。

c. Saurin<sup>12)</sup>(1963)

$$C_m = 1.3 \dots\dots\dots (2.43)$$

Saurinは防衝工によって吸収されるべきエネルギーの計算値と実船による観測値とを比較するデータを示した最初の著者である。それらは、スコットランドのフィナート港においてBP(British Petroleum)が行った、16,000から50,000dwtの範囲の船舶の70回の接岸の観測値に基づいている。これらのバースは遮蔽されておらず比較的浅海域にあり、潮位変動による流速は0.5m/sを超えず、バース法線に平行である。低潮位における水深は18mであり、潮位差は4mである。したがって、これらの船舶にとっては、アンダーキールクリアランスは比較的大きい(満載の50,000dwtタンカーの喫水は約11.6mである)。

同じ文献に32,000dwtタンカー(喫水10.7m)の60分の1の模型を用いて軟らかい防衝工に接岸させた実験結果が掲載されている。この結果は注目に値する。これらの実験はアンダーキールクリアランスを0.3mから13.7mの間で変化させて行っている。

仮想質量係数が最大( $C_m \approx 3.5$ )になる特異なアンダーキールクリアランスは0.9m( $h = 1.1D$ )であり、このとき仮想質量係数は、アンダーキールクリアランスが非常に小さいとき( $C_m = 2.2$ ,  $UKC = 0.3m$ )または非常に大きいとき( $C_m = 2.0$ ,  $UKC = 1.5m$ ,  $h = 1.15D$ )のいずれの場合よりも著しく大きい。

この文献には模型実験結果と実船による計測の結果の差についての説明はなされていない。

この文献は $C_m = 1.3$ は合理的な平均値であると結論している。しかしながら、図-2.16にみられるように、測定された接岸力にはばらつきがある。安全側の立場をとり、大きめの値をとるとすれば、 $C_m = 1.8$ は観測値をも含むものと結論できる。

d. Rupert<sup>16)</sup>(1976)

$$C_m = 0.9 + 1.5 \frac{D}{B} \dots\dots\dots (2.44)$$

(注：水深喫水比については文献中に示されていない)

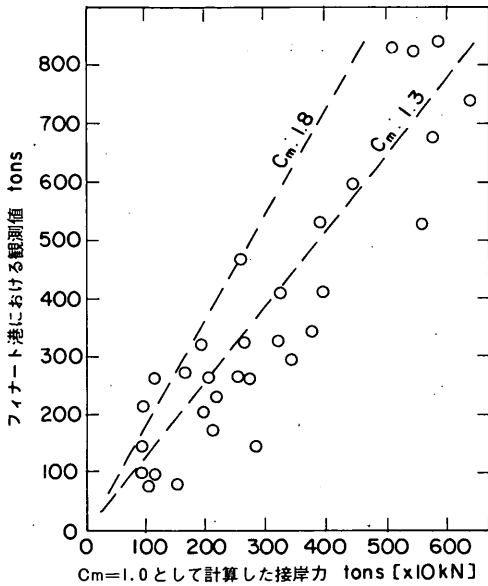


図-2.16 実測と計算との比較 (Saurin<sup>27)</sup> 1963)

Rupert は第2項に示した Vasco Costa の式をブレイメルハーヘン港および類似の条件に対して修正し上記の式を提示した。彼はコンテナ船の接岸を実船で観測し、これに基づいて修正を行った。これらの船舶の排水量は約30,000tf (3×10<sup>5</sup>kN)である。アンダーキールクリアランスは比較的大きく、 $h/D=1.30$ であった。

同一の  $D/B$  の値に対しては、この式を用いて計算した  $C_m$  の値は Vasco Costa の式を用いて計算した値よりやや小さい。また、この式にはアンダーキールクリアランスの効果は考慮されていない。

e. Giraudet<sup>19)</sup> (1966)

$$C_m = 1.2 + 0.12 \frac{D}{h-D} \dots\dots\dots (2.45)$$

ただし、 $h \geq 1.07 D$

この式は1965および1966年に47,300dwtの原油タンカーの50分の1の模型を用いて水深を5段階 ( $h/D$ は、それぞれ、1.07, 1.14, 1.90, 3.31, および3.81) 変化させて行った実験に基づいている。アンダーキールクリアランス ( $=h-D$ ) が、 $0.07D$  のとき、 $C_m$  は2.91となるので、この領域ではこれらの図は Saurin の実験から得られたものと比較することができる。しかし、大きなアンダーキールクリアランスに対しては、この式は小さな  $C_m$  の値を与える。たとえば、アンダーキールクリアランスが0.4

$D$  のとき、 $C_m$  は1.5である。

Vasco Costaの式とはただ一点についてのみ比較することができる。47,300dwtのタンカーは、幅  $B=27.5$  m、喫水  $D=10.5$  mである。Vasco Costaの式によると、 $C_m$  は、

$$1.0 + 2.0 \times (10.50/27.50) = 1.76 \quad (2.46)$$

f. Blok and Dekker<sup>20)</sup> (1979)

ワゲニンゲンの船舶試験所で225,000dwtタンカーの75分の1の模型でアンダーキールクリアランスが20%のときの実験を行っているとき、BlokとDekkerは以下のことを観測した。

- 付加質量は防衛工のばね定数および変位復元力特性に依存すること。

- 接岸速度が20cm/s以上のときには、防衛工のばね定数が増加すると吸収エネルギーおよび反力が減少すること。

この実験の場合には、 $C_m$  の値は、防衛工のばね定数が100tf/m (1,000 kN/m) のときには2.3であるが、防衛工のばね定数が2,000 tf/m (2×10<sup>4</sup> kN/m) のときには2.0であった。

この実験(この船舶試験所における長期計画の一部)においては、タンカーはスウェイのみ行うとし、また、その重心で防衛工に当たるものとした。

防衛工のばね定数としては最大1対10の比率になるような種々のものが用いられた。

運動量の変化による防衛工の変形の全過程における反力から、全防衛工について  $C_m$  を求めると、ややばらつきはあるが  $C_m$  の値は3.8であった。

しかし、防衛工が圧縮される過程と回復する過程(その区分は防衛工の反力が最大値に達し、船舶が停止するときとする)のそれぞれの過程についてみると、最初の過程における  $C_m$  の値はつぎの過程における  $C_m$  の値に比べて明らかに小さい(防衛工のばね定数の比率が異なると  $C_m$  の値の比率も異なる)ことがわかる。平均のばね定数が400 tf/mの防衛工については、減速時すなわち圧縮時には  $C_m=3.1$  であるが、回復時には  $C_m=5.2$  であった。

第二の過程においては船舶が上流側に向かって動くので仮想質量係数が大きいものと理解される。第一の過程で生じた水塊の運動が完全に止まっていなかったためである。したがって、防衛工への接触または接岸における付加質量については、相異なる二つの明らかな現象があることがわかる。

付加質量係数  $C_m$  は運動量の式とエネルギーの式では大きさが異なることがわかっているが、著者はこのことについては明確に説明していない。

実際には、第一の過程に対して防衛工の設計を行うので、著者はこの項の最初の段落で述べた接岸の観測に関する解析に力点を置いている。

この文献における解析および観測に関する知見は極めて興味深い、この文献は特定の船舶を対象とし、特定のアンダーキールクリアランスに対するものであり、また、同様の条件における実船観測との比較がなされていないことなどの理由により、防衛工の設計に関する一般的な結論には達していない。

g. T. E. Stelson<sup>21)</sup> (1955)の実験に基づく式

$$C_m = 1.0 + \frac{0.25 \pi D^2 L w_0}{\Delta} \quad \dots\dots\dots (2.47)$$

ここに、 $D$ =船舶の喫水、 $L$ =船舶の全長、 $w_0$ =そのバースにおける水の単位体積重量、 $\Delta$ =船舶の排水量。

この式によれば、満載のタンカーおよび満載の貨物船に対する $C_m$ の値は排水量に対し1.5ないし1.6となる。この式は我が国において船舶の接岸力の計算に用いられている。

この式はT. E. Stelsonほか(1955)が、直径1.7m 深さ0.83mの水槽内で、長さ5ないし50cmの物体を水中で振動させて実験した結果を記述した文献に基づいている。彼らの実験結果から、長い直方体が横方向に加振されるときには、 $C_m$ の値は直方体の幅に等しい直径を有する円柱の排水質量に対し2.05になることが解析および実験によって明らかになった。したがって、付加質量は、 $1.05 \times 0.25 \pi D^2 L w_0$ となる。ただし、この実験は、物体が完全に水中にあるのに対し船舶はそうではないこと、アンダーキールクリアランスが考慮されていないこと、物体が非常に小さいことなどの条件で行われているので、この結果を大型船舶に適用する場合には注意を要する(第i項を参照)。

BlokとDekker<sup>22)</sup>(1979)は、 $C_m = 1.0 + 0.25 \pi D^2 L w_0 / \Delta$ という表現は無限水深において幅と喫水の比が2の物体がスウェイ方向に振動するとき、ポテンシャル理論により求められる付加質量に基づいていることを指摘している。

h. ル. アーブル(フランス)における実船観測<sup>5)</sup>

1966年の10月15日から1968年11月30日までの間、ル. アーブル港の海事工業会社(Companie Industrielle Maritime)のNo8バースで原油タンカーの接岸の実船観測が行われた。この観測期間の間に200隻が接岸した。ドルフィンの変形は105回、また、接岸速度は37回の接岸について計測された。タンカーは70,000から130,000dwtの範囲のもので、接岸エネルギーは鋼管杭製のドルフィンで吸収される。外側ドルフィンは最大変形(1.1m)の

とき250tfm(2,500kNm)のエネルギーを吸収する。

接岸時の水深は23から25mであった。接岸速度は栈橋の固定点に取り付けられたピンによって図-2.17に示すようにドルフィン上のアルミ板の上にドルフィンの変形を記録して測定した。

ドルフィンの変形に基づいて計算した吸収エネルギーと、2.2節の方法で $C_m=1.0$ として計算した接岸エネルギーとを比較して図-2.18に示した。

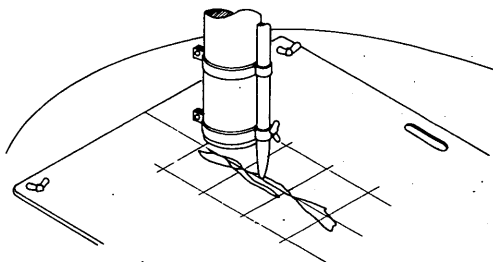


図-2.17 ドルフィンの杭の変形記録の一例

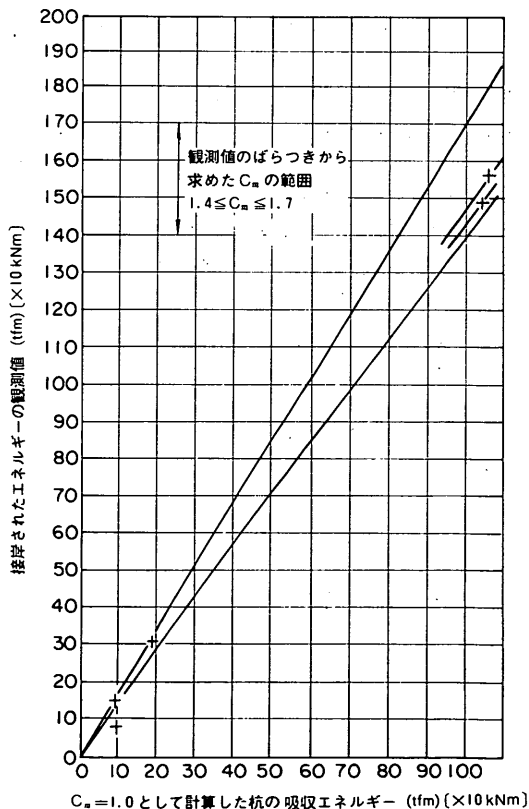


図-2.18 ル. アーブル港における接岸エネルギーの実測値と計算値との比較

この種の実測と計算につきものの不正確さにもかかわらず、また、実測値と計算値との比が多の場合ばついているにもかかわらず、これらの比は1.4から1.7のあいだにあり、また、平均値はほぼ1.5であった。

i. 上田<sup>1)</sup>(1981)

筆者は最近日本で稼動中のシーバースにおいて、約50隻の大型タンカーの接岸操船の実船観測を行った。実測接岸エネルギーと $C_m$ としてステルソンの式(第g項参照)を適用して得られる値を用いた計算接岸エネルギーとを比較した。その結果、実測値が計算値より大きいことがわかった。このことから、船舶接岸時の仮想質量に関する研究を模型実験によって行うことになった。実験における水深喫水比は1.10, 1.25, 1.50, 2.00, および2.50であった。防衝工のばね定数として、実物で33tf/cm( $33 \times 10^3$  kNm)および62.5tf/cm( $62.5 \times 10^3$  kNm)の2種類が用いられた。また、接岸速度は、5.0, 10.0, 15.6cmとした。

上記の実験の結果を要約すると、 $C_m$ は2.3から1.6の間で変化する。

筆者はステルソンの実験結果についても考察を加え、ステルソンの実験そのものは付加質量に対する正しい結果を示しているにもかかわらず、これを船舶接岸時の現象に適用する際に誤りがあったことを指摘し、この点を是正して仮想質量係数の新しい計算式を提案している。

ステルソンの実験では用いられた柱体および板は完全に水没しているが、船舶の場合はそうではない。したがって、物体周辺の流線は非常に異なっている。いま、対称面に対し、船舶の静水面下の形状の断面をもつ物体が水没していると考え、船舶の付加質量としてはこの断面に対する付加質量の半分を取ればよい。したがって、付加質量 $M_a$ は近似的に次式で与えられる。

$$M_a = \frac{0.5 \pi}{4g} (2D)^2 Lw_0 = \frac{\pi}{2g} D^2 Lw_0 \quad \dots\dots\dots (2.48)$$

したがって、付加質量はステルソンの式、

$$M_a = \frac{\pi}{4g} D^2 Lw_0 \quad \dots\dots\dots (2.49)$$

によって計算される値の2倍になる。

この式を変形すると、次式を得る。

$$M_a = \frac{\pi}{2C_b} \cdot \frac{D}{B} \quad \dots\dots\dots (2.50)$$

ここに、 $C_b$ はブロック係数で、 $A/(DLBw_0)$ である。

したがって、

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{2C_b} \cdot \frac{D}{B} \quad \dots\dots\dots (2.51)$$

となる。

この式はVasco Costa<sup>15)</sup>によって提案された $C_m$ の計算式(第b項参照)と類似である。ブロック係数が0.785のときには、

$$C_m = 1.0 + 2.0 \frac{D}{B} \quad \dots\dots\dots (2.52)$$

となって、同一である。

上田の実験結果および彼の提案式による計算結果との比較を図-2.19に示している。

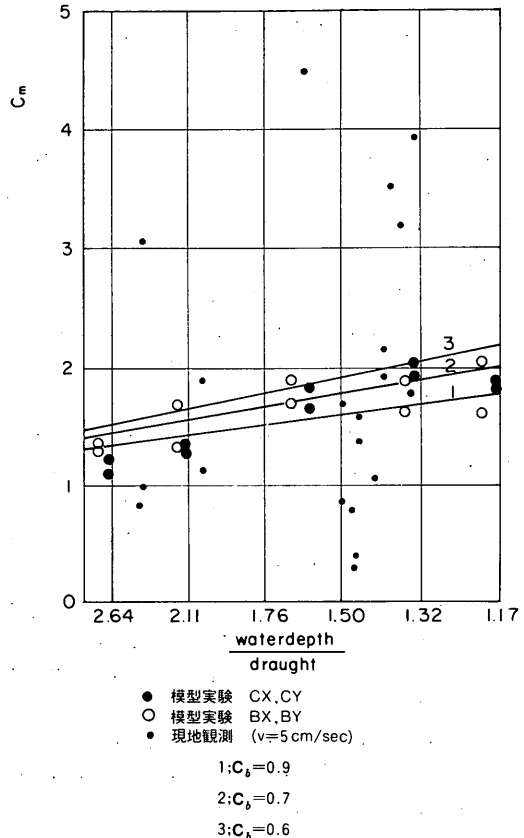


図-2.19  $C_m$ 実験値と上田の提案式による計算値との比較

この式はアンダーキールクリアランスを考慮していないが、図-2.18で $D/B=0.45$ は水深喫水比 $=h/D=1.17$ に、また、 $D/B=0.2$ は $h/D=2.64$ に対応する。

j. 元良<sup>22)</sup>(1959)

元良は加速法による実験結果をもとに左右揺れに対する仮想質量係数を求め、仮想質量係数を $L/B$ ,  $C_b$ ,  $d/B$ の関数として表しこれを図で示した。仮想質量係数は、 $L/B$ および $d/B$ が増加すると、また、 $C_b$ が減少すると

増加する。実験値は船型、喫水などによって異なるが、仮想質量係数は1.6~2.6の範囲にある。

k. 長沢<sup>23)</sup> (1959)

長沢は接岸実験より仮想質量係数を求めたが、仮想質量係数は1.9~2.1の範囲にある。

l. 林<sup>24)</sup> <sup>25)</sup> (1960~1962)

林は船底における摩擦抵抗から仮想質量係数を求めたが仮想質量係数は2.4~3.6の範囲にある。

m. 藤野<sup>26)</sup> (1968)

藤野は強制ヨウイング装置を用いて、東京丸型およびマリナー型船舶について、船舶が前進速度を持つ場合の仮想質量係数を求めたが、仮想質量係数は2.1~3.6の範囲にある。

n. 若桑<sup>27)</sup> (1960)

若桑は接岸時に船舶の両船側に作用する水圧差に基づいて接岸力を求める方法を示し、その結果を整理し仮想質量係数を求めたが、仮想質量係数は1.3~2.2の範囲にある。

以上の仮想質量に関する研究成果を取りまとめると以下ようになる。

| 提案者         | 算定式または $C_m$ の範囲                   |
|-------------|------------------------------------|
| Grim        | $C_m = 1.3 + 1.8 \frac{D}{B}$      |
| Vasco Costa | $C_m = 1.0 + 2.0 \frac{D}{B}$      |
| Saurin      | $C_m = 1.3$                        |
| Rupert      | $C_m = 0.9 + 1.5 \frac{D}{B}$      |
| Giraudet    | $C_m = 1.2 + 0.12 \frac{D}{h - D}$ |

ただし、 $h \geq 1.07 D$

Blok and Dekker  $C_m = 3.8$

ステルソンの実験に基づく式

$$C_m = 1.0 + \frac{0.25 \pi D^2 L w_0}{\Delta}$$

ル. アーブルにおける実船観測

$$C_m = 1.4 \sim 1.7$$

上 田  $C_m = 1 + \frac{\pi}{2C_b} \cdot \frac{D}{B}$

元 良  $C_m = 1.6 \sim 2.6$

長 沢  $C_m = 1.9 \sim 2.1$

林  $C_m = 2.4 \sim 3.6$

藤 野  $C_m = 2.1 \sim 3.6$

若 桑  $C_m = 1.3 \sim 2.2$

#### (9) 仮想質量係数の計算式の提案

従来、我が国における防衛工の設計においては、仮想

質量を T. E. Stelson の実験に基づく式によって計算していたが、これと他の研究者の提案値とを比較すると仮想質量係数で約3割ほど小さい。筆者の一人はすでに仮想質量係数の計算式を提案しているが、一般貨物船、原油タンカー、鉱石船の標準船型について、T. E. Stelson の実験に基づく式および筆者の一人が提案した式によって仮想質量係数を計算して比較し、図-2.20 に示す。筆者の一人が提案した式によって計算した仮想質量係数は船舶のブロック係수에反比例し、また、喫水船幅比 ( $D/B$ ) に比例する。しかし、船幅船長比 ( $B/L$ ) に対しては相関が小さい。これらの関係は式(2.51)から明らかである。また、仮想質量係数とブロック係数および喫水船幅比 ( $D/B$ ) との関係、元良<sup>22)</sup> の実験によって求められたものと筆者の一人が求めた計算式によるものとを比較して図-2.21 に示すが、両者はよく一致している。船種による仮想質量係数の相違はなく、ブロック係数および喫水船幅比 ( $D/B$ ) によって値が変化するが、T. E. Stelson<sup>21)</sup> の実験に基づく式では  $C_m = 1.36 \sim 1.55$  の範囲であるのに対し、筆者の一人が提案した式では  $C_m = 1.73 \sim 2.10$  の範囲にある。この値は前述した多くの研究成果の大半が示している値と一致する(図-2.22 参照)。仮想質量係数と標準船型の載荷重量トンとの関係は図-2.23 に示すように載荷重量トンが10,000dwt以下ではほぼ一定で  $C_m = 2.0 \sim 2.1$  であるが、載荷重量トンが10,000dwt以上では載荷重量トンに比例して減少する。これは載荷重量トン10,000dwt以上の船舶のブロック係数が載荷重量トンに比例して増加するため、式(2.51)から明らかなように仮想質量係数が減少する。

以上のことから、船舶接岸時の仮想質量係数を、式(2.51)で計算することを提案する。

#### 2.7 柔軟性係数 = $C_s$ <sup>5)</sup>

(1) この係数は船舶の剛性と防衛工の剛性との関係を表すもので、防衛工によって吸収される接岸エネルギーの比率を表す。ただし、一般には船舶による吸収エネルギーは無視し、柔軟性係数を1.0とすることが多い。

(2) 従来、柔らかい防衛工の場合には  $C_s = 1.0$  で、船舶の外板の変形はほとんど生じないものとし、また、硬い防衛工の場合には接岸エネルギーの約10%が船舶の外板の変形によって吸収されるものとみなし、その場合には  $C_s$  として0.9をとって設計されたバースがいくつかある。しかし、大型船の場合に船舶の外板で吸収されるエネルギーの比率が数パーセントであるかどうかはわからない。船体構造力学に基づいて計算してみると、船舶の外板の変形はかなり小さいようである。いま、たとえば吸収エネルギーが500tfm(5000kNm)で反力が500tf(5000kN)

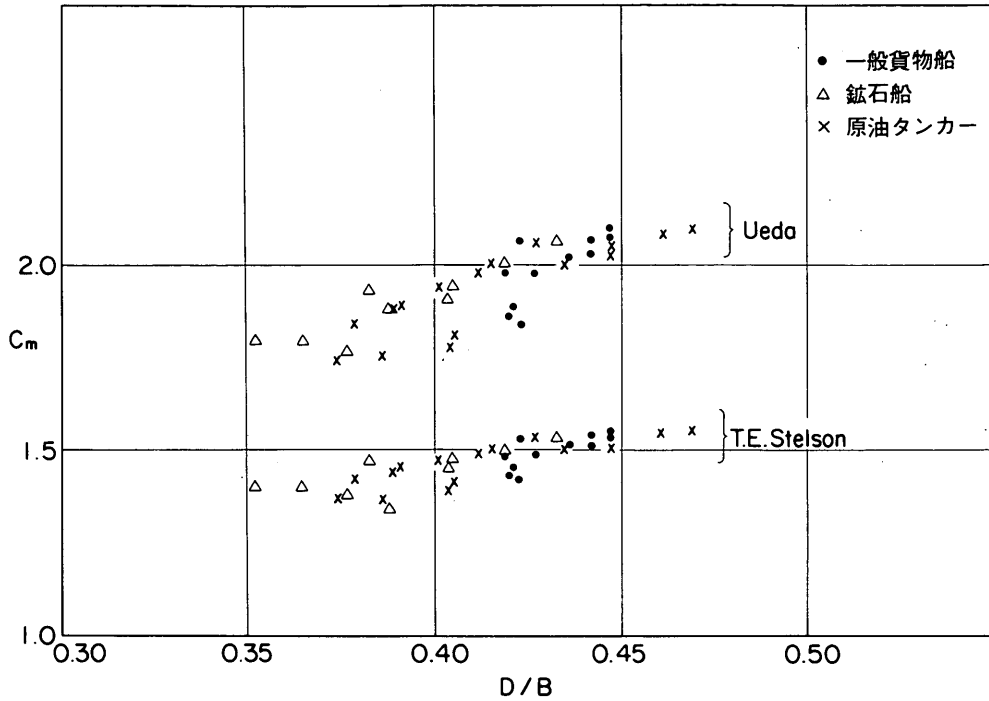


図-2.20(a) T. E. Stelsonの実験に基づく式および  
上田の式による仮想質量係数の比較

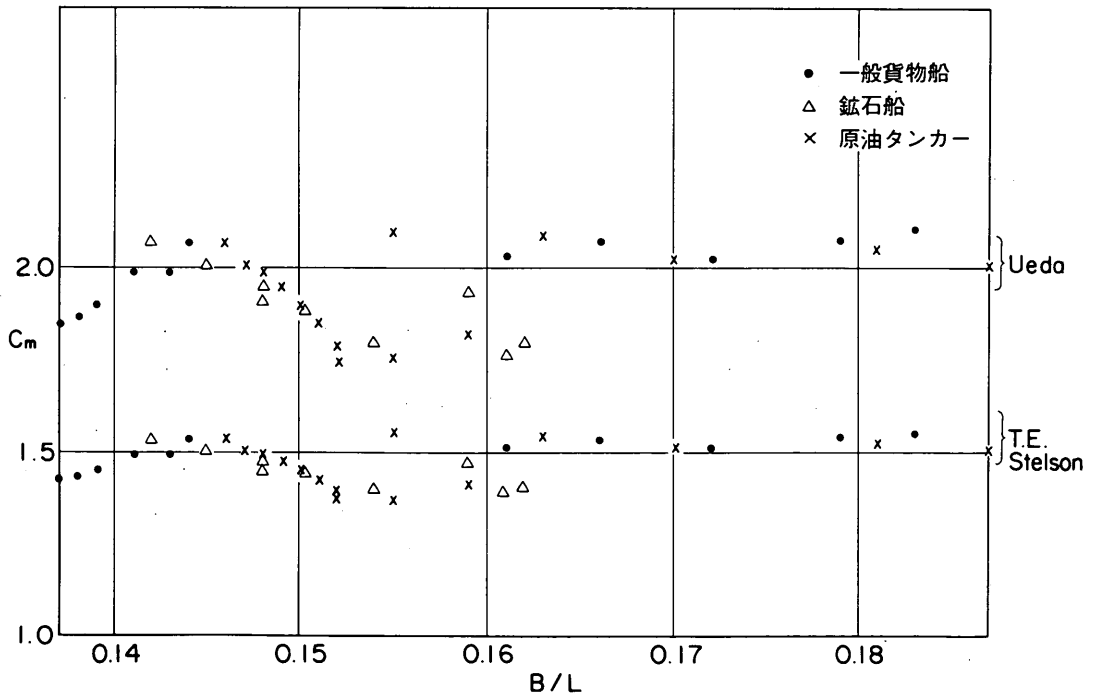


図-2.20(b) T. E. Stelsonの実験に基づく式および  
上田の式による仮想質量係数の比較



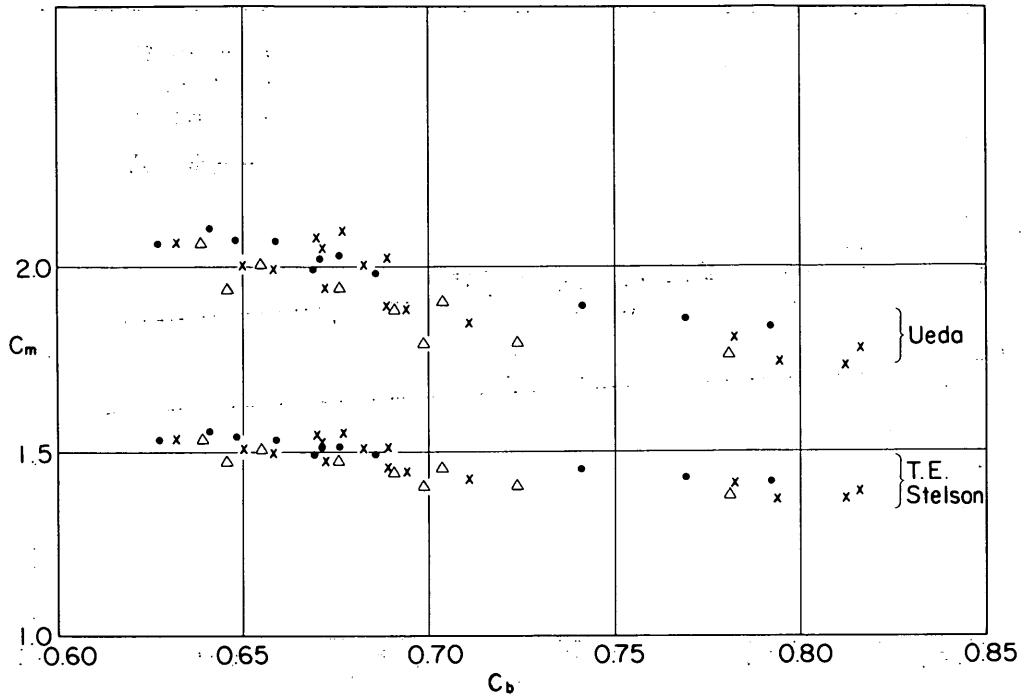


図-2.20(c) T. E. Stelsonの実験に基づく式および  
上田の式による仮想質量係数の比較

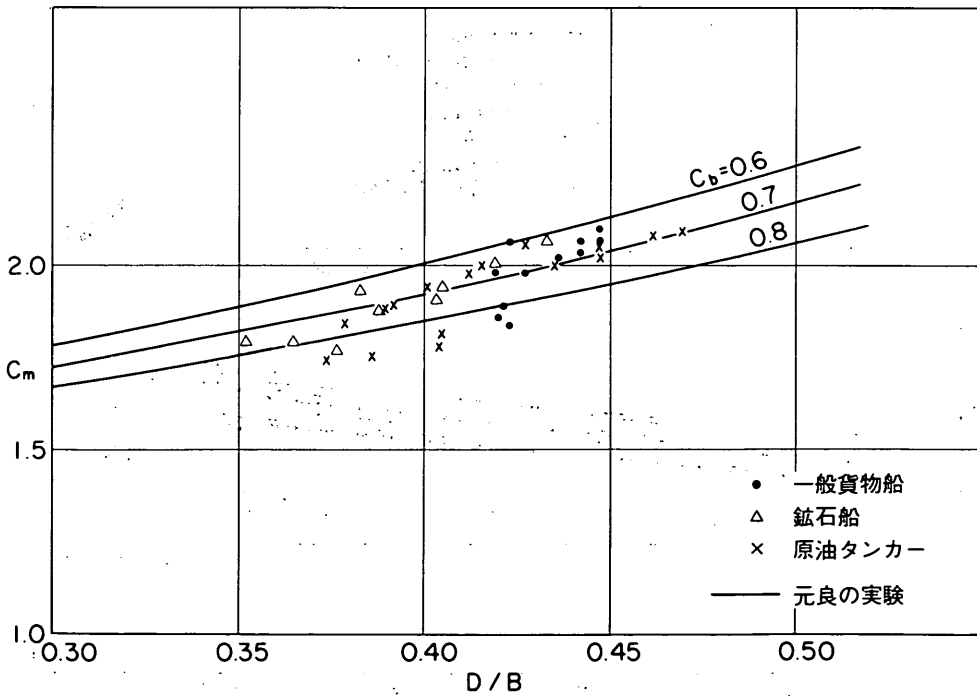


図-2.21(a) 仮想質量係数とブロック係数および喫水  
船幅比( $D/B$ )との関係

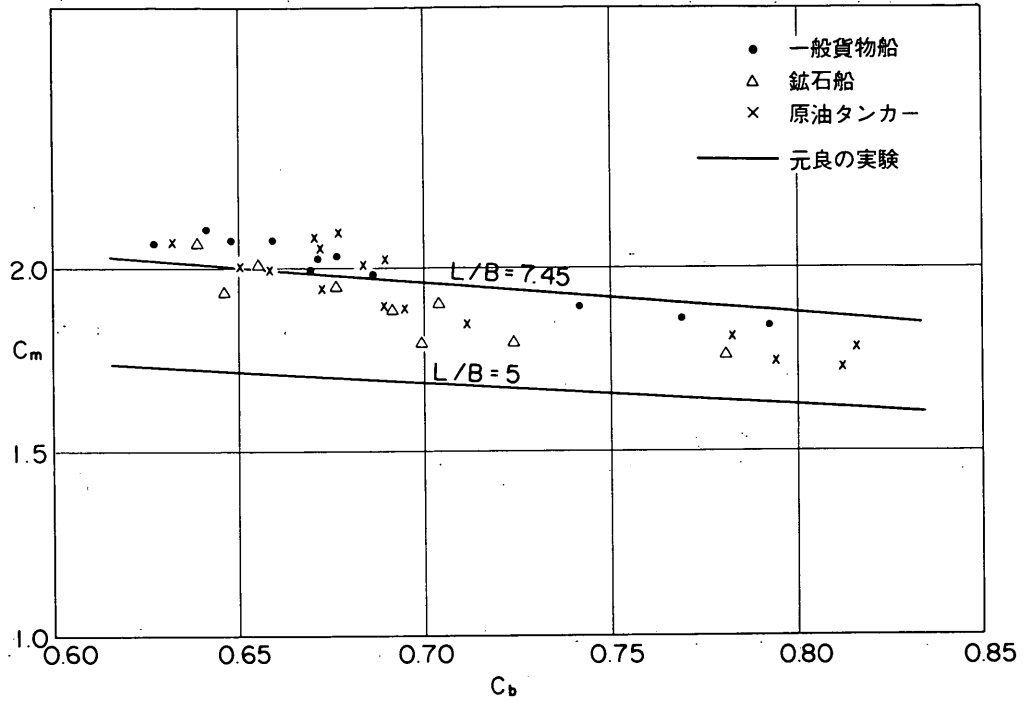


図-2.21(b) 仮想質量係数とブロック係数および喫水船幅比 ( $D/B$ ) との関係

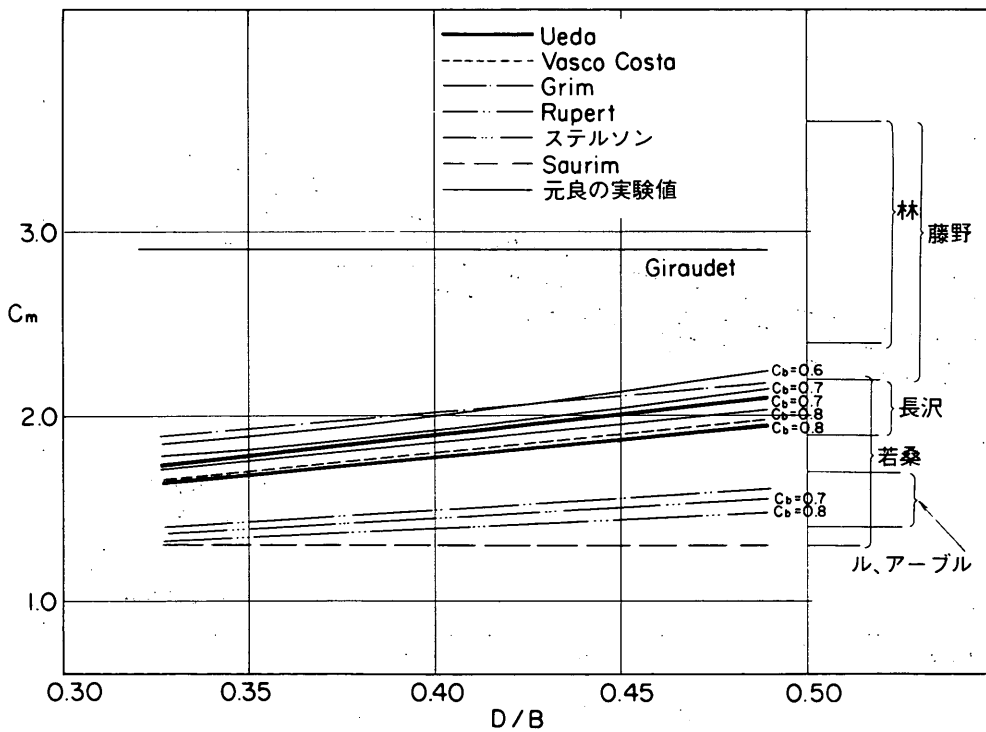


図-2.22 各提案式による仮想質量係数の比較

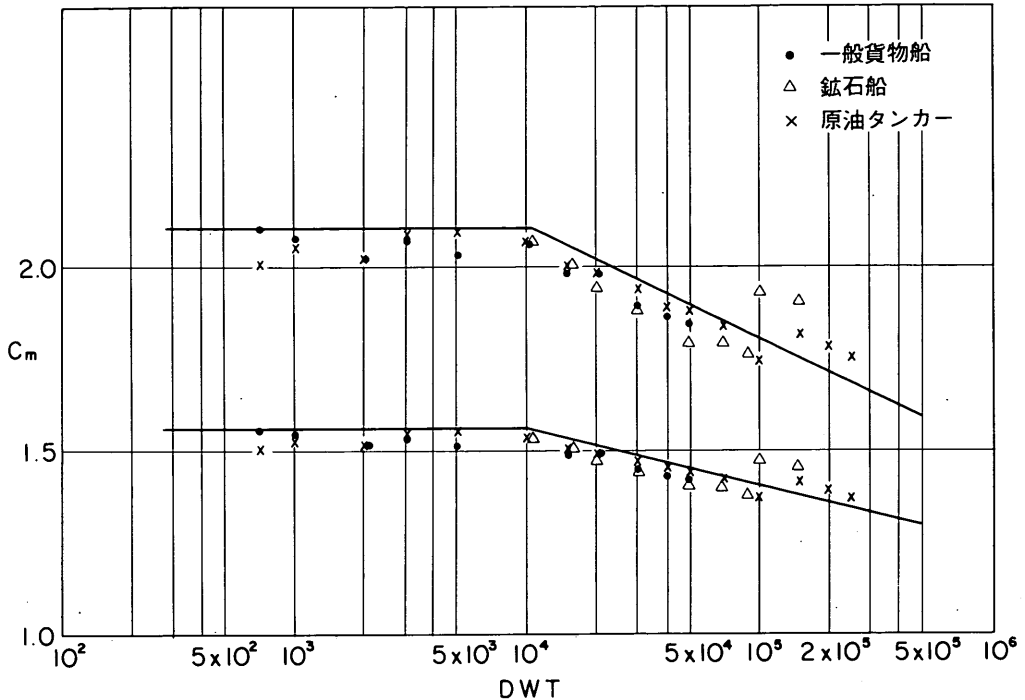


図-2.23 仮想質量係数と標準船型の載荷重量トンとの関係

の防衛工(硬い防衛工)を用いたときに、船舶の外板の変形を2cmとすると、船舶の外板によって吸収されるエネルギーは $0.5 \times 500 \times 0.02 = 5 \text{ tfm}$  (50 kNm) すなわち500 tfm (5000 kNm)の1%になる。すなわち、硬い防衛工の場合にも船舶によって吸収されるエネルギーは小さい。したがって、柔軟性係数を定めるに当たって、柔らかい防衛工と硬い防衛工との区別をすることはあまり意味がない。このことから、一般的には $C_e = 1.0$ の値がとられる。

### 2.8 パースの形状係数 = $C_e$ <sup>5)</sup>

(1) この係数は透過性係船岸(たとえば杭式棧橋)と非透過性の岸壁との相違を考慮するためのものであるが、一般にはパースの形状係数は1.0とすることが多い。

(2) 係船船舶の周囲の水塊が動き始める最初の段階では水塊は係船岸に何ら影響されないが、第二段階では船舶と係船岸との間の水塊は圧縮されて、クッションの効果を示し、これによって船舶に特別の荷重作用を与え、その結果、防衛工によって吸収されるべきエネルギーを減少させる。したがって、形状係数はこの効果を考慮して決めなければならない。この現象を定量的に説明するための研究は、あまりなされていないが、この現象は、接岸角度、船舶の外板の形状、アンダーキールクリアラ

ンスおよび接岸速度などに関するものと考えられている。実験によれば、非透過性の係船岸では約1/4の接岸エネルギーが水のクッション効果によって消費される。

(3) 接岸角度が $5^\circ$ 以下であって、防衛工の高さすなわち岸壁と船舶の間にあるクッション効果を示す水の厚さが十分あるとき、非透過性岸壁で法線と平行な状態で接岸するときには $C_e$ として0.8をとることができるが、透過性のパースや非透過性岸壁の端部においては $C_e = 1.0$ とする。また、パースの条件によっては $C_e$ にはこれらの中間の値をとる。ただし、操船状況によっては接岸角度が $5^\circ$ 以下になるとは限らないので、形状係数として1.0以下の数値をとる場合には、操船状況およびパースの構造等に留意して慎重に検討する必要がある。

### 2.9 接岸エネルギーの試算と防衛工の選定

#### (1) 概 説

ここでは、貨物船、原油タンカー、鉱石船について接岸速度および偏係数を変えて接岸エネルギーを計算し一部の船型について防衛工の選定例を示した。ただし、ここでは、ゴム防げん材を用いることとする。

船型は、港湾の施設の技術上の基準に示される標準船型とした。計算に当たって、船舶の重量トン(DWT)と排水トン(DT)、また、全長(L)と垂線間長(LPP)との

関係は以下の諸式によつた<sup>42) 43)</sup>。

船舶の重量トン(DWT)と排水トン(DT)との関係  
貨物船

$$\log DT = 0.177 + 0.991 \log DWT \dots\dots (2.53)$$

原油タンカー

$$\log DT = 0.263 + 0.963 \log DWT \dots\dots (2.54)$$

鉱石船

$$\log DT = 0.294 + 0.956 \log DWT \dots\dots (2.55)$$

全長(L)と垂線間長(LPP)との関係

貨物船

$$\log LPP = -0.081 + 1.024 \log L \dots\dots (2.56)$$

原油タンカー

$$\log LPP = -0.087 + 1.027 \log L \dots\dots (2.57)$$

鉱石船

$$\log LPP = -0.087 + 1.028 \log L \dots\dots (2.58)$$

船舶接岸時の仮想質量係数は、上田およびT. E. Stelsonの実験に基づく式(従来、設計基準に用いられていた式)の両者について計算し比較している。

接岸速度は、0.08, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30 m/s, また、偏心係数は、0.5, 0.6, 0.7, 0.8とした。図-2.24~2.35は、接岸エネルギーを図示したものである。なお、計算結果の詳細は巻末に付録として収録する。

ここでは、10,000dwtの貨物船および200,000dwtの原油タンカーについてゴム防げん材の選定例を示す。この場合仮想質量係数は、現行の設計基準に準ずるものと筆者の一人が提案したものの両方を用いて行い、その結果を比較する。ゴム防げん材の性能はメーカーが発行しているカタログに準拠した。ただし、ここでの検討は、いずれもゴム防げん材のみで接岸エネルギーを吸収するものとする。鋼管杭による吸収エネルギーを考える場合については4.3で述べる。

(2) ゴム防げん材の選定例

a. 10,000dwtの貨物船

$$W(DT) = 13,836 \text{tf}$$

$$D/B = (8.2/19.4) = 0.423$$

$$C_m = 2.06$$

$$C_{m2} = 1.53$$

1) 偏心係数 $C_e = 0.5$ のとき

|     |          |          |             |     |
|-----|----------|----------|-------------|-----|
| V   | 0.08     | 0.10     | 0.15        | m/s |
| E   | 4.65     | 7.27     | 16.4        | tfm |
| V型  | 400H     | 500H     | 600H        |     |
|     | 1500L×1  | 1500L×1  | 2000L×1     |     |
| セル型 | C630H RH | C800H RO | SUC1000H RO |     |
|     | ×1       | ×1       | ×1          |     |
| H型  | 400H     | 600H     | 800H        |     |

|                |          |          |          |     |
|----------------|----------|----------|----------|-----|
|                | 1500L×1  | 1500L×1  | 1500L×1  |     |
| 空気式            | 750H     | 800H     | 1000H    |     |
|                | 1000φ×1  | 1070φ×1  | 1330φ×1  |     |
| E <sub>2</sub> | 3.45     | 5.40     | 12.2     | tfm |
| V型             | 400H     | 400H     | 500H     |     |
|                | 1000L×1  | 1500L×1  | 2000L×1  |     |
| セル型            | C630H RO | C630H RH | C800H RS |     |
|                | ×1       | ×1       | ×1       |     |
| H型             | 400H     | 400H     | 800H     |     |
|                | 1500L×1  | 2000L×1  | 1000L×1  |     |
| 空気式            | 750H     | 800H     | 1000H    |     |
|                | 1000φ×1  | 1070φ×1  | 1330φ×1  |     |

ロ) 偏心係数 $C_e = 0.7$ のとき

|                |          |          |             |     |
|----------------|----------|----------|-------------|-----|
| V              | 0.08     | 0.10     | 0.15        | m/s |
| E              | 6.51     | 10.2     | 22.9        | tfm |
| V型             | 400H     | 500H     | 800H        |     |
|                | 2000L×1  | 2000L×1  | 1500L×1     |     |
| セル型            | C800H R1 | C800H RO | SUC1150H RS |     |
|                | ×1       | ×1       | ×1          |     |
| H型             | 600H     | 600H     | 800H        |     |
|                | 1000L×1  | 1500L×1  | 2000L×1     |     |
| 空気式            | 900H     | 1000H    | 1350H       |     |
|                | 1200φ×1  | 1330φ×1  | 1800φ×1     |     |
| E <sub>2</sub> | 4.84     | 7.56     | 17.0        | tfm |
| V型             | 400H     | 400H     | 600H        |     |
|                | 1500L×1  | 2000L×1  | 2000L×1     |     |
| セル型            | C630H RH | C800H RH | SUC1000H RS |     |
|                | ×1       | ×1       | ×1          |     |
| H型             | 400H     | 600H     | 800H        |     |
|                | 2000L×1  | 1500L×1  | 1500L×1     |     |
| 空気式            | 750H     | 900H     | 1200H       |     |
|                | 1000φ×1  | 1200φ×1  | 1600φ×1     |     |

b. 200,000dwtの原油タンカー

$$W(DT) = 233,288 \text{tf}$$

$$D/B = (19.0/47.2) = 0.403$$

$$C_m = 1.78$$

$$C_{m2} = 1.39$$

1) 偏心係数 $C_e = 0.5$ のとき

|     |             |             |             |     |
|-----|-------------|-------------|-------------|-----|
| V   | 0.10        | 0.15        | 0.20        | m/s |
| E   | 106         | 239         | 424         | tfm |
| セル型 | SUC1250H RS | SUC1600H RS | SUC1700H RS |     |
|     | ×2          | ×2          | ×3          |     |
| H型  | 1700H       | 1400H       | 1700H       |     |
|     | 2000L×1     | 2000L×3     | 2000L×4     |     |
| 空気式 | 1500H       | 2000H       | 2250H       |     |

|                         |                      |                      |                      |      |
|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|
|                         | 2000 $\phi \times 3$ | 2670 $\phi \times 3$ | 3000 $\phi \times 3$ |      |
| $E_2$                   | 83                   | 186                  | 331                  | tf m |
| セル型                     | SUC1150HRS           | SUC1450HRE           | SUC1600HRS           |      |
|                         | $\times 2$           | $\times 2$           | $\times 3$           |      |
| H型                      | 1400H                | 1700H                | 1700H                |      |
|                         | 1500L $\times 2$     | 2000L $\times 2$     | 2000L $\times 3$     |      |
| 空気式                     | 1800H                | 2000H                | 2100H                |      |
|                         | 2400 $\phi \times 2$ | 2670 $\phi \times 2$ | 2800 $\phi \times 3$ |      |
| ロ) 偏心係数 $C_e = 0.7$ のとき |                      |                      |                      |      |
| $V$                     | 0.10                 | 0.15                 | 0.20                 | m/s  |
| $E$                     | 149                  | 333                  | 529                  | tf m |
| セル型                     | SUC1450H RH          | SUC1600H RS          | SUC2000H RH          |      |

|       |                      |                      |                      |      |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|------|
|       | $\times 2$           | $\times 3$           | $\times 3$           |      |
| H型    | 1400H                | 1700H                | 2500H                |      |
|       | 2000L $\times 2$     | 2000L $\times 3$     | 2500L $\times 3$     |      |
| 空気式   | 1800H                | 2100H                | 2400H                |      |
|       | 2400 $\phi \times 2$ | 2800 $\phi \times 3$ | 3200 $\phi \times 3$ |      |
| $E_2$ | 116                  | 260                  | 463                  | tf m |
| セル型   | SUC1450H RO          | SUC1600H RE          | SUC2000H RO          |      |
|       | $\times 2$           | $\times 2$           | $\times 3$           |      |
| H型    | 1400H                | 1700H                | 2000H                |      |
|       | 1500L $\times 2$     | 2500L $\times 2$     | 2000L $\times 3$     |      |
| 空気式   | 1800H                | 2000H                | 2400H                |      |
|       | 2400 $\phi \times 2$ | 2670 $\phi \times 3$ | 3200 $\phi \times 3$ |      |

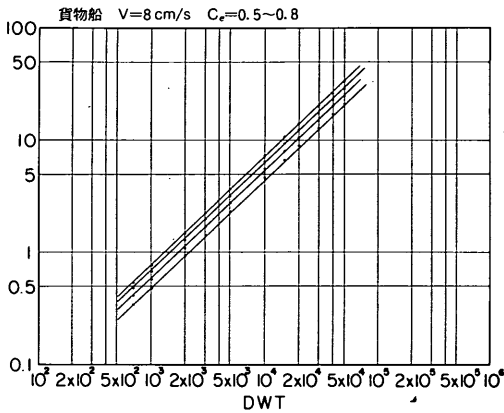


図-2.24 載荷重量トンと接岸エネルギーとの関係  
(貨物船,  $V=8$  cm/s,  $C_e=0.5\sim 0.8$ )

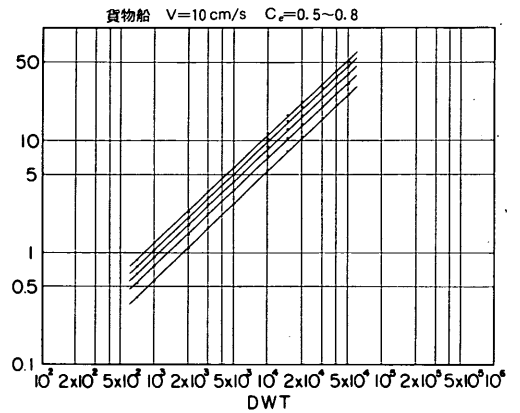


図-2.25 載荷重量トンと接岸エネルギーとの関係  
(貨物船,  $V=10$  cm/s,  $C_e=0.5\sim 0.8$ )

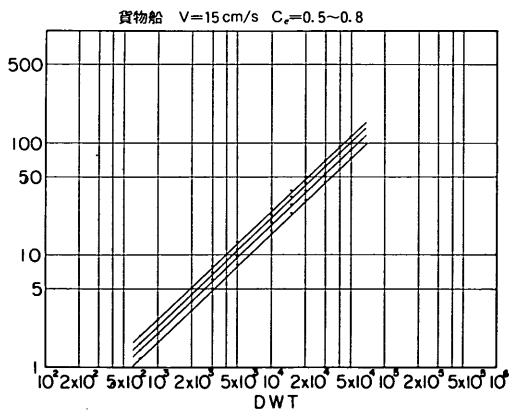


図-2.26 載荷重量トンと接岸エネルギーとの関係  
(貨物船,  $V=15$  cm/s,  $C_e=0.5\sim 0.8$ )

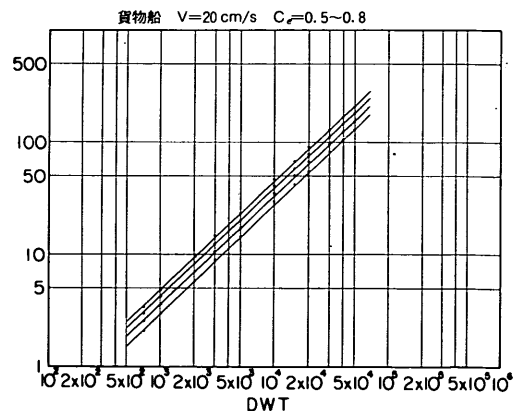


図-2.27 載荷重量トンと接岸エネルギーとの関係  
(貨物船,  $V=20$  cm/s,  $C_e=0.5\sim 0.8$ )

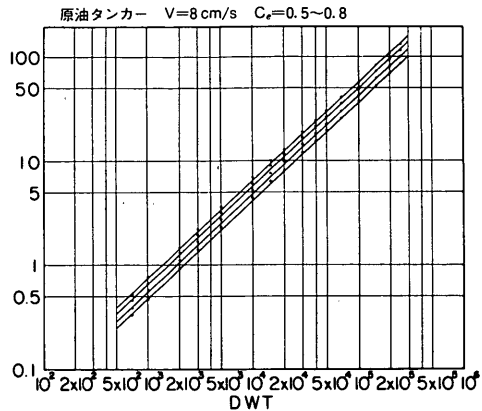


図-2.28 荷重量トンと接岸エネルギーとの関係  
(原油タンカー,  $V=8\text{ cm/s}$ ,  $C_e=0.5\sim 0.8$ )

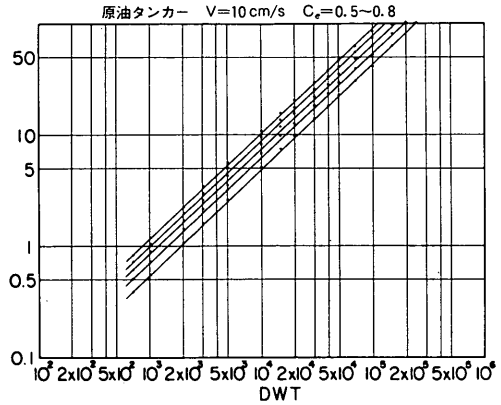


図-2.29 荷重量トンと接岸エネルギーとの関係  
(原油タンカー,  $V=10\text{ cm/s}$ ,  $C_e=0.5\sim 0.8$ )

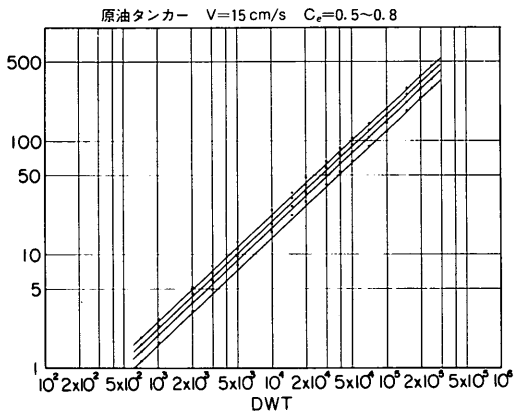


図-2.30 荷重量トンと接岸エネルギーとの関係  
(原油タンカー,  $V=15\text{ cm/s}$ ,  $C_e=0.5\sim 0.8$ )

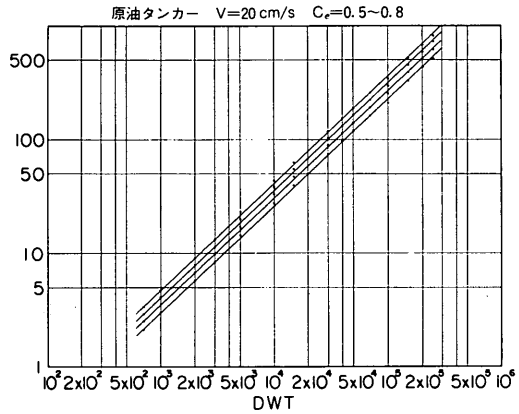


図-2.31 荷重量トンと接岸エネルギーとの関係  
(原油タンカー,  $V=20\text{ cm/s}$ ,  $C_e=0.5\sim 0.8$ )

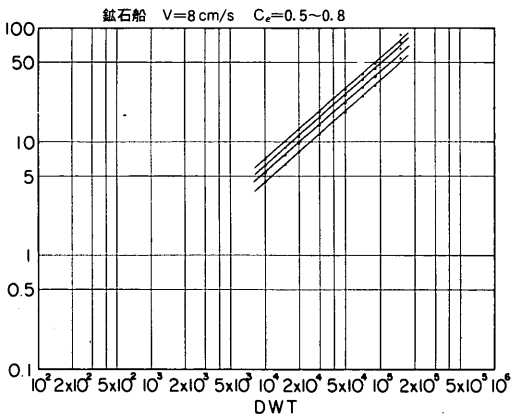


図-2.32 荷重量トンと接岸エネルギーとの関係  
(鉱石船,  $V=8\text{ cm/s}$ ,  $C_e=0.5\sim 0.8$ )

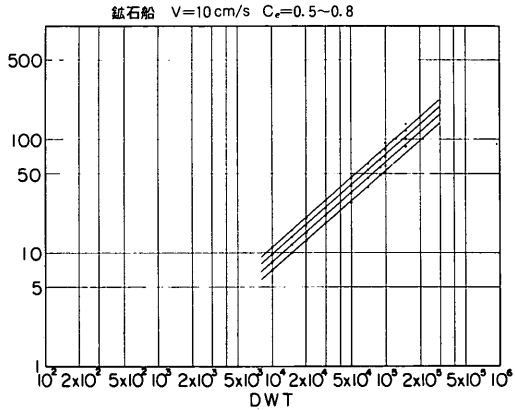


図-2.33 荷重量トンと接岸エネルギーとの関係  
(鉱石船,  $V=10\text{ cm/s}$ ,  $C_e=0.5\sim 0.8$ )

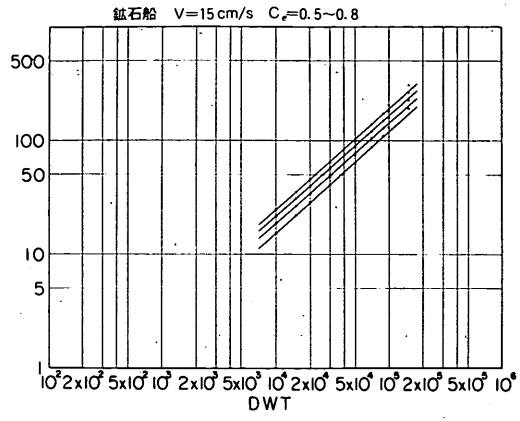


図-2.34 載荷重量トンと接岸エネルギーとの関係  
(鉾石船,  $V=15 \text{ cm/s}$ ,  $C_e=0.5\sim 0.8$ )

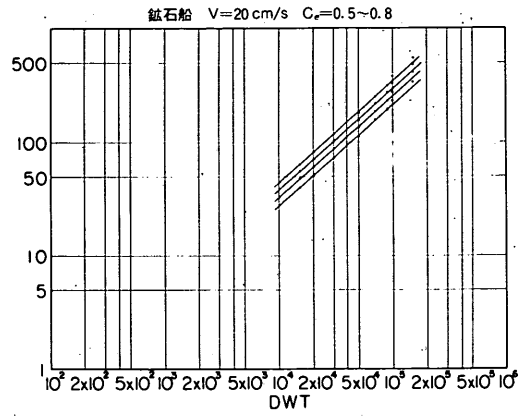


図-2.35 載荷重量トンと接岸エネルギーとの関係  
(鉾石船,  $V=20 \text{ cm/s}$ ,  $C_e=0.5\sim 0.8$ )

### 3. 係留船舶の動揺に基づく防衛工の設計法と事例

#### 3.1 係留船舶の動揺

係留船舶が、波、風、流れなどによる荷重の作用を受けて動揺し係船岸に衝突すると、係船岸および防衛工が変形し、係船岸に反力が生じる。反力の大きさは、係留船舶の形状、質量、波向、波周期、波高、風向、風速、流向、流速、係船岸および防衛工の変位復元力特性などの関数として与えられる。

すでに概説で述べたように、係留船舶が長周期波の作用を受けると動揺が大きくなり、係船岸に大きな速度で衝突する。たとえば、図-3.1～3.4は北海道の苫小牧港、釧路港、室蘭港、小樽港などでゴム防げん材の損傷の実態を調査したところ、ゴム防げん材に損傷が見られたバースを図示したものである。図中に太線を記入したバースでゴム防げん材の損傷がみられた。ゴム防げん材の損傷の型式は、脱落、われ、欠損、ボルトの脱落などであり、なかには船舶の外板に損傷を与えているものもある。北海道は寒冷地であるので、低温下においては、ゴム防げん材の変位復元力特性が常温(20℃を標準とする)のときに比べて著しく硬化する(図-3.5参照)ことが、これらの損傷の原因と考えられるが、ゴム防げん材の損傷が見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注目すると、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、擦過されたことも原因の一つと考えられる。図-3.6はゴム防げん材の損傷の状況を示したものである。

接岸エネルギーを吸収する目的で選定したゴム防げん材としては、エネルギー吸収特性のよい定反力型防げん材がよく用いられるが、このゴム防げん材は初期の変形に対する反力の立ち上がりが大きいため、変位復元力特性が比較的硬い。係船岸および防衛工の変位復元力特性が硬いと係船岸および防衛工の反力が大きくなり、かつ、船舶は大きな反発力を受けて係船岸から離され、このため動揺が増幅される。

係留船舶の動揺成分のうち、防衛工の設計に重要なものは、スウェィング、ロウリング、ヨウイングであり、これらはいずれも防衛工に圧縮変形を与える成分である。これに対し、サージングおよびヒービングは防衛工にせん断変形を与える成分である。係留船舶の運動エネルギーの大部分を吸収するのは防衛工の圧縮変形であり、せん断変形の寄与は小さい。ただし、後述するように、せん断変形は防衛工の圧縮の変位復元力特性を低下させるので、その意味では無視することはできない。

本節においては、係留船舶の動揺量の計算法とこれらを考慮した防衛工の設計法について述べる。

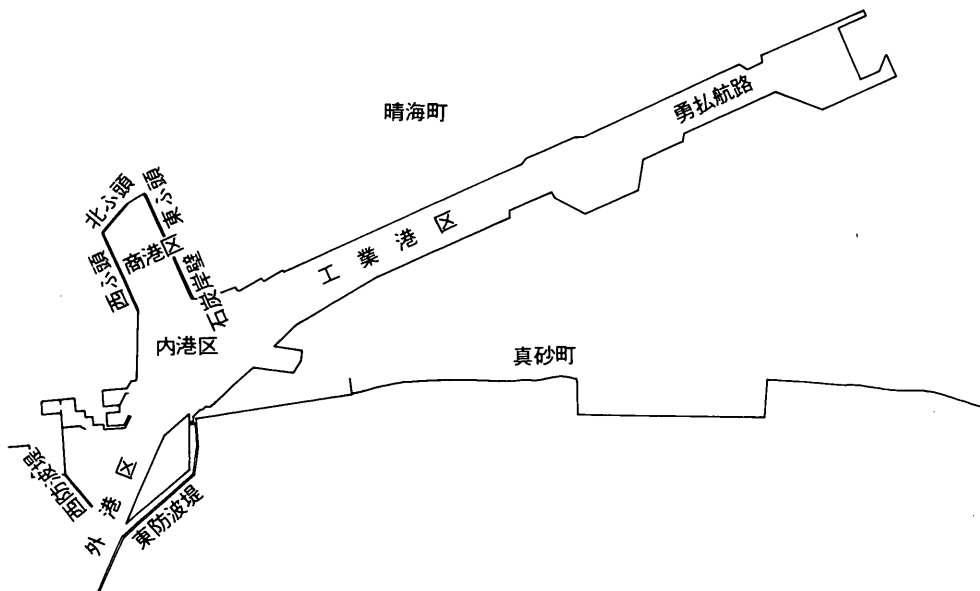


図-3.1 苫小牧港



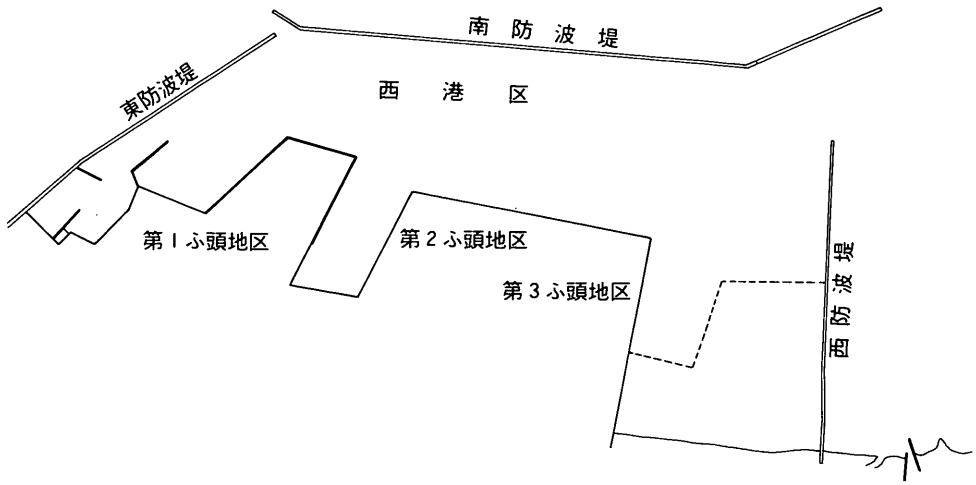


图-3.2(a) 釧路港

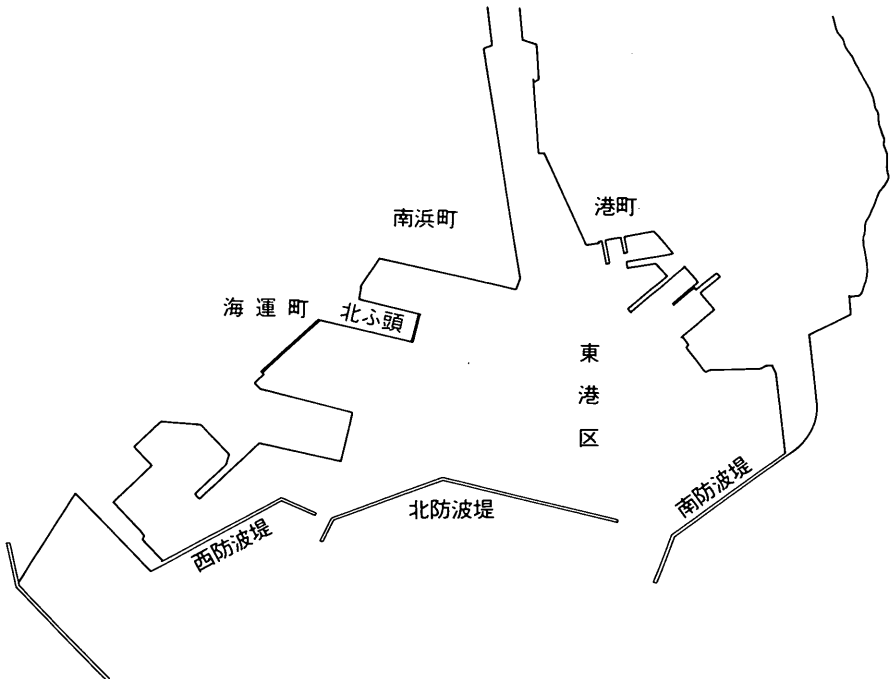


图-3.2(b) 釧路港

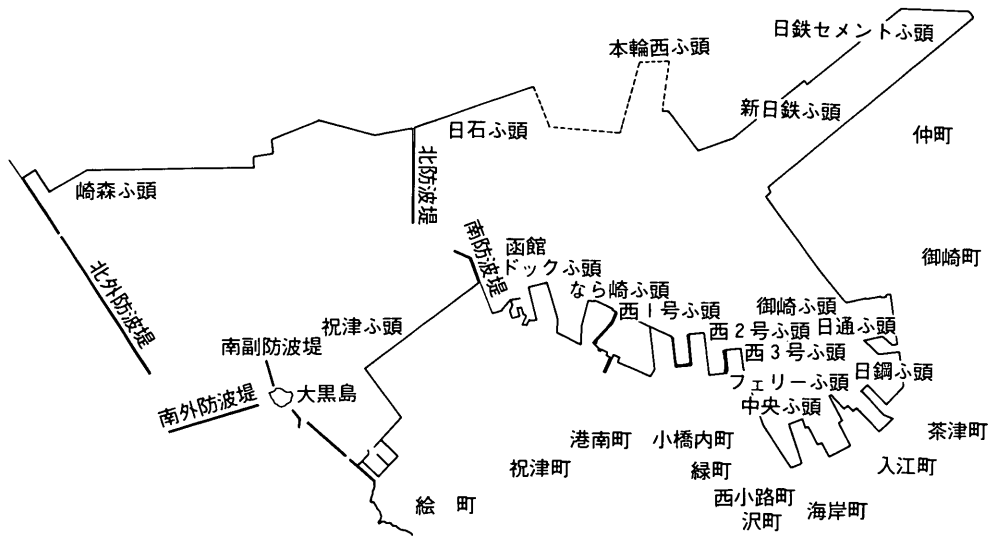


図-3.3 室蘭港

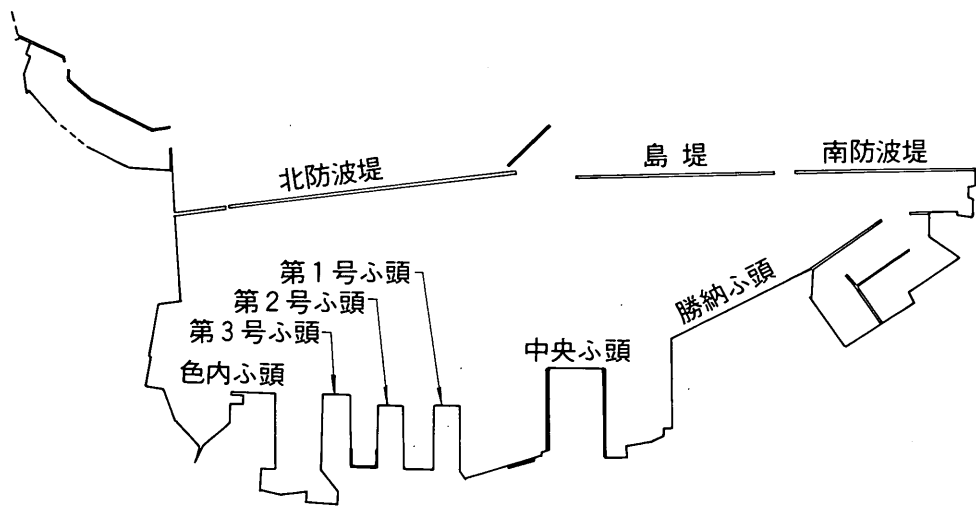


図-3.4 小樽港

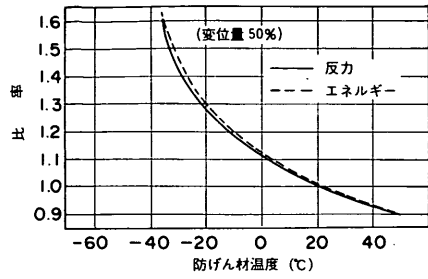


図-3.5 H型防げん材の圧縮特性の温度変化



図-3.6(a) 防げん材の損傷状況



図-3.6(b) 防げん材の損傷状況



図-3.6(c) 防げん材の損傷状況

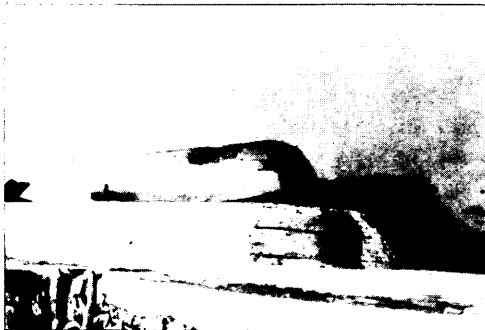


図-3.6(d) 防げん材の損傷状況



図-3.6(e) 防げん材の損傷状況

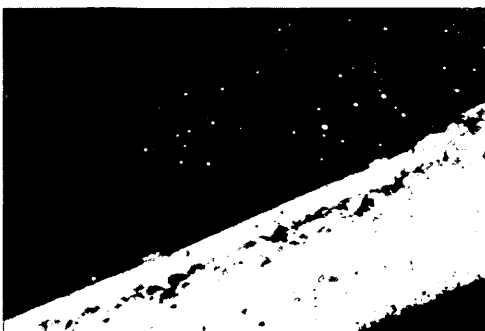


図-3.6(f) 防げん材の損傷状況

### 3.2 係留船舶の動揺の計算法<sup>28)</sup>

係留船舶の動揺は、荷重の不規則性、係留系の非線形を考慮して、数値シミュレーションによって求めることを原則とする。

係留船舶の動揺の運動方程式は次式のように書ける。

$$\begin{aligned} & \text{〔慣性力〕} + \text{〔減衰力〕} + \text{〔静水圧的復元力〕} \\ & + \text{〔係留系による反力〕} = \text{〔風による力〕} \\ & + \text{〔流れによる力や漂流力〕} \quad \dots\dots (3.1) \end{aligned}$$

式(3.1)を数式表示すると、式(3.2)のようになる。

$$\begin{aligned} (M+K)\ddot{x} + N\dot{x} + C\dot{x}|x| + B(x) + R(x) \\ = F_0 + F \quad \dots\dots (3.2) \end{aligned}$$

ここに、 $M$ ：船舶の質量または慣性モーメントマトリックス( $\text{kgfs}^2/\text{m}$ または $\text{kgfms}^2$ )、 $K$ ：付加質量または付加慣性モーメントマトリックス( $\text{kgfs}^2/\text{m}$ または $\text{kgfms}^2$ )、 $N$ ：線形減衰マトリックス( $\text{kgfs}/\text{m}$ または $\text{kgfms}$ )、 $C$ ：非線形減衰マトリックス( $\text{kgfs}^2/\text{m}^2$ または $\text{kgfms}^2$ )、 $B$ ：静的復元力マトリックス( $\text{kgf}/\text{m}$ または $\text{kgfm}$ )、 $R$ ：係留系の剛性マトリックス( $\text{kgf}/\text{m}$ または $\text{kgfm}$ )、 $F_0$ ：定常荷重を含む高次の荷重のベクトル( $\text{kgf}$ または $\text{kgfm}$ )、 $F$ ：変動荷重のベクトル( $\text{kgf}$ または $\text{kgfm}$ )、 $x$ ：変位ベクトル( $\text{m}$ または $\text{rad}$ )、 $\dot{x}$ ：速度ベクトル( $\text{m}/\text{s}$ または $\text{rad}/\text{s}$ )、 $\dot{x}|x|$ ：速度の二乗のベクトル( $\text{m}^2/\text{s}^2$ または $\text{rad}^2/\text{s}^2$ )、 $\ddot{x}$ ：加速度ベクトル( $\text{m}/\text{s}^2$ または $\text{rad}/\text{s}^2$ )、ただし、 $x = (x, y, z, \phi, \theta, \psi)$ 、 $x$  = サージング、 $y$  = スウェイング、 $z$  = ヒービング、 $\phi$  = ローリング、 $\theta$  = ピッチング、 $\psi$  = ヨウイング。

船体に作用する波力は、入射波による波強制力と、船体の動揺に伴って生ずる造波抵抗力とに分けて考える。入射波による波強制力は、船舶の動揺が拘束されているものとして計算される波力である。造波抵抗力は、船舶が各運動成分毎に単位振幅の運動をするとき、船体に及ぼす波力である。造波抵抗力は、船舶の運動の加速度に比例する項と速度に比例する項とに分離して表示することができ、それぞれ加速度および速度で除して、付加質量、減衰定数として表すことができる。

係留船舶に作用する波力は、船舶の断面をルイスフォーム近似し、断面ごとに求めた波力や位相を考慮して積分して求める。ただし、大型タンカーなどのような肥大船(ブロック係数 $C_b = \Delta/LBDw_0$ が0.7~0.8になる船舶)においては、船体を楕円柱体として、近似的に波力を求めることができる。また、作業船などのように箱型の断面形状を有する場合には、船体を矩形断面浮体または直方体浮体として波力を求めることができる。

係留船舶の動揺解析は本来非線形な問題である。これ

は、波が有限振幅波であるために、船舶に作用する波力に高次項があること、速度の二乗に比例する抗力があること、係留系の変位復元力特性が非線形であることなどが原因する。しかし、船舶の動揺が小さい場合には、波力の非線形項を無視しても結果に大きな差はない。そのような場合には、波力を線形とみなし波高に比例するものとし、係留系の変位復元力特性を線形として与えて解くことができる。このような場合には本節(2)に述べる周波数応答解によって係留船舶の動揺および係留力を求めることができる。しかし、船舶の動揺が大きいか、あるいは、係留系の変位復元力特性が著しく非線形な場合には、先のような取り扱いができないので本節(3)に述べる逐次数値積分法を用いた数値シミュレーションにより時刻歴解析を行って、係留船舶の動揺および係留力を求める。

#### (2) 周波数応答解

この方法では、まず、不規則波の成分波の各周期の規則波に対して、線形な係留系に係留された船舶の動揺および係留力を求め、周波数応答曲線を作成する。この応答曲線は入射波の波高で除して無次元化して表示される。この周波数応答曲線の値の二乗に不規則波のスペクトルの値を乗じて係留船舶の動揺および係留力の応答スペクトルを求めることができる。この応答スペクトルの積分値は係留船舶の動揺および係留力の二乗平均であるので係留船舶の動揺および係留力の確率密度分布が求めれば、 $N$ 回の出現回数に対する最高振幅、最高係留力などを求めることができる。

#### (3) 数値シミュレーションの概要

数値シミュレーションの手順は図-3.7のブロックチャートに示している。このような方法をとる主な理由は、船舶に作用する外力が不規則な変動荷重であることと、係留系の変位復元力特性が非線形であるために式(3.2)の運動方程式の解を解析的に求めることが困難であるためである。つまり、不規則波の成分波に対する周波数応答関数を求めて、線形重ね合わせをすることができないためである。数値シミュレーションにおいても、あらかじめ船体に作用する波や風による荷重と造波抵抗力を求めておいて、これを運動方程式の中に組み入れて行くが、その理由は、この作業を逐次積分の各ステップで行うと、計算機の処理時間を大幅に増加させることになるためである。また、造波抵抗力は船体運動に起因する抵抗力であり、船体運動の周波数の関数であるから、船体運動が不規則である場合には造波抵抗力を一義的に決めることが困難である。このため、数値シミュレーションにおいては、不規則波中の船体運動による造波抵抗力を後述す

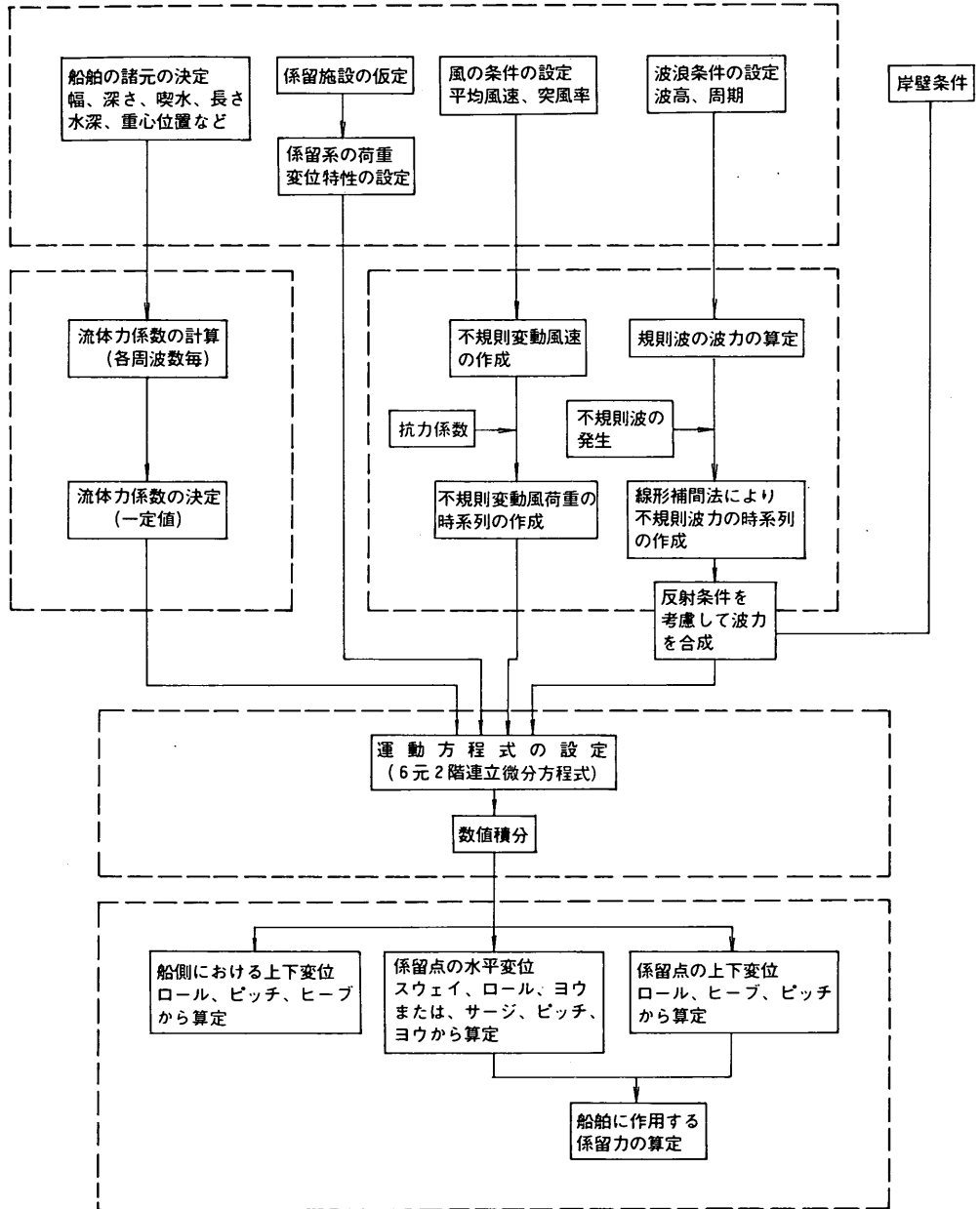


図-3.7 動揺計算のブロックチャート

るように一定値にする。このようにして、不規則な荷重を受け、非線形な係留系に係留された船舶の動揺計算を行う。数値シミュレーションにおける数値積分の方法には、線形加速法、ルンゲクッターギル法、ウィルソンの $\theta$ 法などがある。

### 3.3 船舶に作用する波力<sup>29)</sup>

係留船舶に作用する波力は、船型および波の諸元を考慮して適切な方法で計算する。波力の計算法としては以下に示すものがある。

- (1) ストリップ法による波力
  - a) 船体に作用する規則波の波力

船体に作用する波力は、フルードクリロフの力 (Froude Kriloff Force) と、船体による反射波の力 (Diffraction Force) の和として与えられる。

b) フルードクリロフの力

フルードクリロフの力は船体を通過する波による力である。ここでは、入射波の力と係船岸による反射波の力との和として与える。

いま、船体に固定された座標を図-3.8のように  $O-xyz$  とする。原点は静水面上の船体中心線上にあるものとする。すなわち、 $x$  軸を船首尾方向とし、 $y$  軸をこれに直角方向に、 $z$  軸を鉛直方向に正としてとる。船体に入射する波の角度を、 $x$  軸に対し時計回りを正として、 $\chi (\theta_1 = 2\pi - \chi)$  とする。

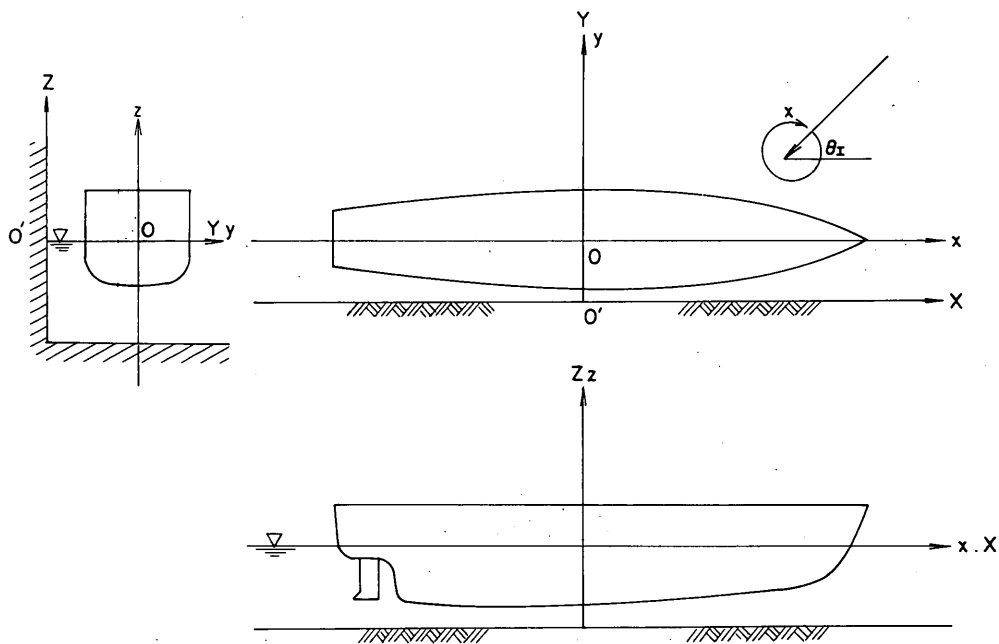


図-3.8 座 標 系

つぎに、係船岸  $O-xyz$  座標と、 $O'-XYZ$  との関係は  $O'-XYZ$  を考えると、

$$\begin{aligned} x &= X \\ y &= Y + y_B \\ z &= Z \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

と表される。

ただし、 $y_B$  は係船岸の法線と船体の船首尾方向の軸との距離、したがって、図-3.9に示すように、船体の  $x$  軸上においては、入射波と係船岸による反射波の間には次式で表される位相差がある。

$$2ky_B \sin(2\pi - \chi) \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

以上より、船体断面を通過する入射波と係船岸による反射波とが、船体断面に及ぼす圧力  $p_F$  は次式で求められる。

$$p_F = p_{F1} + p_{FR} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\begin{aligned} p_{F1} &= \rho g a \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \\ &\times \exp [i \{ kx \cos(2\pi - \chi) + k(y - y_B) \}] \\ &\times \sin(2\pi - \chi + \omega t) \quad \dots\dots\dots (3.6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{FR} &= K_R \rho g a \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \\ &\times \exp [i \{ kx \cos(2\pi - \chi) - k(y - y_B) \}] \\ &\times \sin(2\pi - \chi + \omega t) \quad \dots\dots\dots (3.7) \end{aligned}$$

ここに、 $i$  : 虚数単位、 $a$  : 入射波の振幅、 $\omega$  : 入射波の角振動数、 $k$  : 波数、 $h$  : 水深、 $\rho$  : 海水の密度、 $g$  : 重力の加速度、 $K_R$  : 反射率である。式(3.7)を断面の回りに沿って積分すると、断面に働く上下方向のフルードクリロフの力  $dF/dx$ 、左右方向のフルードクリロフの力  $dF/dy$

$dx$ , 重心回りのフリードリホフの力によるモーメント  $dM/dx$  などが得られる。たとえば上下方向に関しては、次式のように積分する。

$$\frac{dF_z^{F,K}}{dx} = \int_{-b}^b p_F dy \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

なお、ストリップ法においては、サージング方向の力を求めることができないので、元良の方法<sup>30)</sup>に従い、船体のある断面に働く水圧の前後方向の成分を船長方向に積分して求める。波強制力は次式で与えられる。

$$F_x = 0.5 \rho g a \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \times \gamma \times \cos \chi \int_L A(x) \cos(kx \cos \chi) dx \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

ただし、 $A(x)$ : 船体の水面下の面積,  $\gamma$ : 有効波傾斜係数(約0.948程度)である。

c) ディフラクション力

つぎに、船舶によるディフラクション力は、静止流体中を船舶がある速度をもって運動しているときの造波抵抗(Resistance Force)として求めることができる。こ

のときの船舶の速度は、船体断面と入射波の水粒子との相対速度に等しいと仮定する。この速度を等価相対速度と呼ぶ。

入射波と係船岸による反射波の水粒子速度の  $x, y, z$  成分は、入射波および反射波の速度ポテンシャルを  $x, y, z$  方向に沿って微分して求められる。これらを  $U_{XI}, U_{YI}, U_{ZI}, U_{XR}, U_{YR}, U_{ZR}$  と表す。また、入射波および反射波の水粒子の加速度を  $\dot{U}_{XI}, \dot{U}_{YI}, \dot{U}_{ZI}, \dot{U}_{XR}, \dot{U}_{YR}, \dot{U}_{ZR}$  と表す。等価相対速度および等価相対加速度として、船舶中心線面内の  $z = -T_m, y = 0$  (ただし、ここでは  $z$  軸と直交する船体横断面方向の座標軸とする) における速度および加速度を用いる。ただし、左右方向の力を求める時には、 $T_m = T_{m1} = d/2$  ( $d$ : 喫水) とし、上下方向の力を求める時には  $T_m = T_{m2}$  (矩形断面の時  $T_m = d$ , ルイスフォームについては後述する) のとき  $T_m = S/2b$  (ただし、 $S$ : 水没断面面積,  $b$ : 浮体の半幅) とする。船舶中心線面内における上下方向と左右方向の水粒子の速度は、 $\bar{U}_{ZI}, \bar{U}_{ZR}$ : 船舶中心線面内の入射波と係船岸による反射波の上下方向の水粒子の速度,  $\bar{U}_{YI}, \bar{U}_{YR}$ : 船舶中心線面内の入射波と係船岸による反射波の左右方向の水粒子の速度,  $\bar{U}_{ZI}, \bar{U}_{ZR}$ :

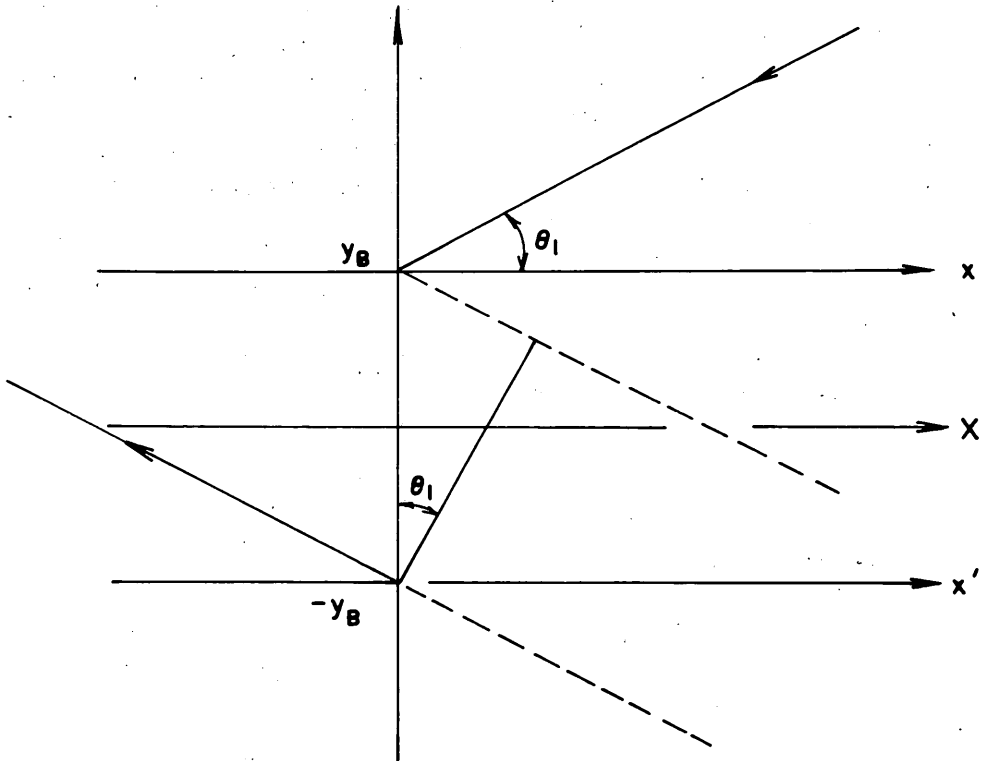


図-3.9 入射波と反射波の位相差

船舶中心線面内の入射波と係船岸による反射波の上下方向の水粒子の加速度、 $\bar{U}_{yI}, \bar{U}_{yR}$  : 船舶中心線面内の入射波と係船岸による反射波の左右方向の水粒子の加速度である。

ここで、任意の断面が、単位振幅の周期的速度  $e^{i\omega t}$  で振動するときの速度ポテンシャル(これを単位速度ポテンシャルという)を、

$$-(\varphi_s + i\varphi_A) \dots\dots\dots (3.10)$$

とすると、ディフラクション速度ポテンシャル  $\phi_{dy}, \phi_{dz}$  は等価相対速度  $\bar{U}_y, \bar{U}_z$  を用いて次式のように表される。

$$\phi_{dy} = \bar{U}_y (\varphi_{Sy} + i\varphi_{Ay}) = \bar{U}_y \varphi_{Sy} + \frac{\varphi_{Ay}}{\omega} \bar{U}_y \dots\dots\dots (3.11)$$

$$\phi_{dz} = \bar{U}_z (\varphi_{Sz} + i\varphi_{Az}) = \bar{U}_z \varphi_{Sz} + \frac{\varphi_{Az}}{\omega} \bar{U}_z \dots\dots\dots (3.12)$$

ベルヌーイの定理により、変動圧  $p_{dy}, p_{dz}$  を求めると次式ようになる。

$$p_{dy} = -\rho (-\varphi_{Sy} \bar{U}_y + \omega \varphi_{Ay} \bar{U}_y) \dots\dots\dots (3.13)$$

$$p_{dz} = -\rho (-\varphi_{Sz} \bar{U}_z + \omega \varphi_{Az} \bar{U}_z) \dots\dots\dots (3.14)$$

式(3.13)および(3.14)の圧力を断面の回りに沿って積分すれば、断面に働く力およびモーメントが求められる。

d) 船体全体に作用する力

船舶断面に作用するフルードクリロフ力およびディフラクション力を船長に沿って、 $x = -L/2$  から  $x = L/2$  まで積分することによって、船舶の全長に作用する波力を求めることができる。

(2) 回折波理論による波力

船舶が肥大船(ブロック係数  $C_b$  が 0.7~0.8 程度)であり、かつ、背後に係船岸などの反射構造物がなく、しかも、

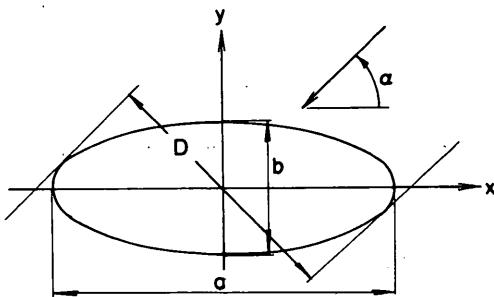


図-3.10 楕円柱体の諸元

その動揺が小さいとみなせる場合には、船舶を楕円柱体と仮定し、回折波理論に基づいた式(3.15)により波力を算定することができる<sup>31)</sup>(図-3.10)。

$$F_{zmax} = C_{mx} \frac{\sinh\left(2\pi \frac{h}{L}\right) - \sinh\left(2\pi \frac{h-d}{L}\right)}{\cosh\left(2\pi \frac{h}{L}\right)}$$

$$\times \frac{\pi \cos \alpha}{8} D^2 w_0 H$$

$$F_{ymax} = C_{my} \frac{\sinh\left(2\pi \frac{h}{L}\right) - \sinh\left(2\pi \frac{h-d}{L}\right)}{\cosh\left(2\pi \frac{h}{L}\right)}$$

$$\times \frac{\pi \sin \alpha}{8} D^2 w_0 H \dots\dots\dots (3.15)$$

ここに、 $F_{zmax}$  :  $x$ (長軸)方向分力の最大値( $t$ )、 $F_{ymax}$  :  $y$ (短軸)方向分力の最大値( $t$ )、 $C_{mx}$  :  $x$ 方向分力に対する慣性力係数、 $C_{my}$  :  $y$ 方向分力に対する慣性力係数、 $h$  : 水深(m)、 $d$  : 喫水(m)、 $D$  : 波の進行方向に対する船舶の遮蔽幅(m)、 $w_0$  : 海水の単位体積重量( $\text{tf/m}^3$ )、 $\alpha$  :  $x$ 軸に対する波の入射角(度)、 $L$  : 水深  $h$  における入射波の波長(m)、 $H$  : 入射波の波高(m)である。

係数  $C_{mx}, C_{my}$  については合田・吉村<sup>31)</sup>が算定図を示している。 $\alpha = 90^\circ, 75^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$  については図-3.11(a)(b)、図-3.12(a)(b)(c)(d)により求めればよい。

ただし、船舶の遮蔽幅  $D$  は式(3.16)で近似してよい。

$$D = (a-b) \sin \alpha + b \dots\dots\dots (3.16)$$

ここに、 $a$  :  $x$ 軸方向の長さ(m)、 $b$  :  $y$ 軸方向の長さ(m)である。

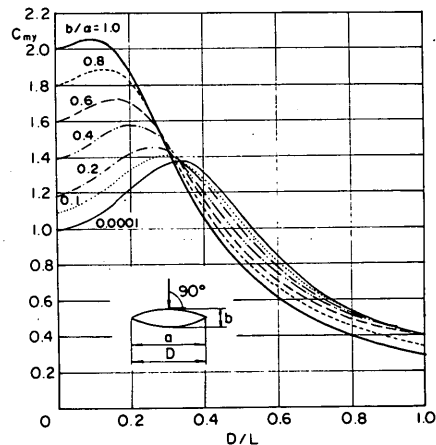


図-3.11(a) 慣性力係数  $C_{my}$  ( $D/L \leq 1.0$ )



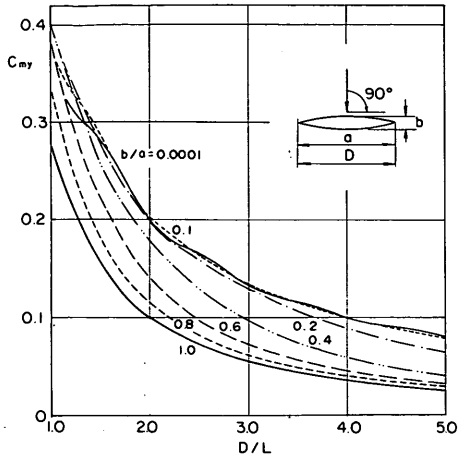


図-3.11(b) 慣性力係数  $C_{my}$  ( $D/L > 1.0$ )

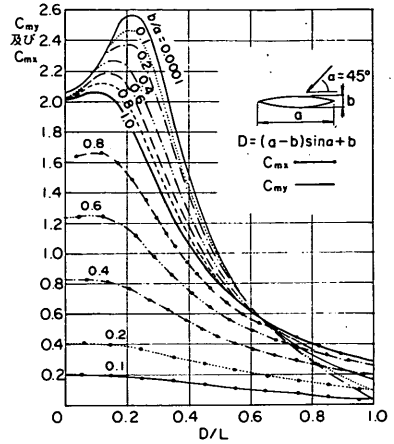


図-3.12(c) 慣性力係数  $C_{mx}$  および  $C_{my}$  ( $\alpha = 45^\circ$ )

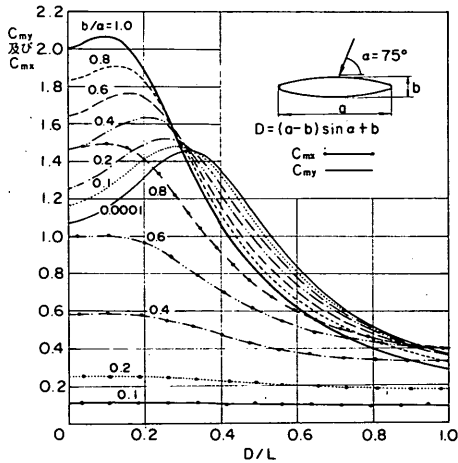


図-3.12(a) 慣性力係数  $C_{mx}$  および  $C_{my}$  ( $\alpha = 75^\circ$ )

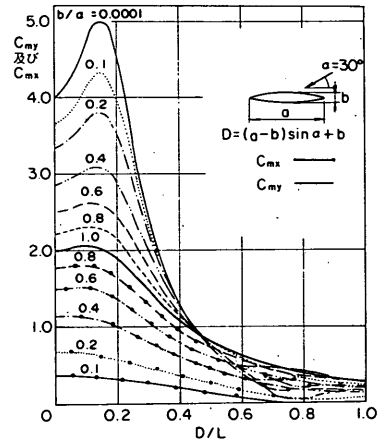


図-3.12(d) 慣性力係数  $C_{mx}$  および  $C_{my}$  ( $\alpha = 30^\circ$ )

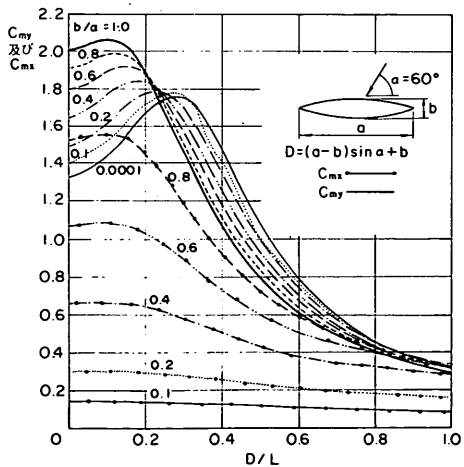


図-3.12(b) 慣性力係数  $C_{mx}$  および  $C_{my}$  ( $\alpha = 60^\circ$ )

### 3.4 造波抵抗力

係留船舶の動揺によって生じる造波抵抗力は船型および動揺周期を考慮して適切な方法で計算する。

#### (1) 造波抵抗力の意味

船舶が静水中で、スウェーイング、ヒービング、ローリングなどの運動をすると、船体周辺に造波が生じる。船舶は造波により抵抗力を受けるが、これを造波抵抗力という。造波抵抗力は船体運動との間に位相差があるので、これを船体運動の加速度に比例する成分すなわち付加慣性力と、速度に比例する成分すなわち減衰抵抗力とに分離することができる。付加慣性力の係数は付加質量に相当し、これを船舶の質量  $M$  で除したものは付加質量係数となる。また、後者の減衰抵抗力の係数は減衰係数となる。付加質量係数や減衰係数は流体力係数ともいわれる。

(2) 減衰抵抗に相当する造波抵抗力には、上記の他に速度の二乗に比例するいわゆる抗力が存在する。抗力は理論的に求めることができないので、実験などにより求める。抗力は非線形項であるが、線形減衰力が非線形減衰力よりも卓越する場合には、非線形減衰力を近似的に線形減衰力として取り扱うことができる。非線形減衰力はとくにローリングの成分に現れる。造船工学の分野では、ローリングの減衰係数は通常実験によって得られた数値を用いることが多い。したがって、ここでも、ローリングの減衰係数は原則として実験によって得られた数値を用いることとする。なお、ローリングの減衰係数の実験値が得られない場合には、高石ら<sup>32)</sup>が種々の船型の船舶に対して減衰係数の実験値を示しているのを、これを参考にして対象船舶に対する値を決めることができる。また、文献(33)にも数種の船舶に対して減衰係数の値が示されている。

### (3) 造波抵抗力の計算

船舶の造波抵抗力を求める方法としては、船体断面をリスフォーム近似し、ストリップ法によって求めるのが、いまのところ最も実用的とされている。

この他、3.2(2)に示した合田・吉村<sup>31)</sup>による船体を楕円柱体に近似して求める方法、矩形断面浮体、直方体浮体に対して求める方法などがあるが、詳細は文献を参照されたい。

### (4) 動揺計算における流体力係数の選定

流体力係数は船体運動の周波数の関数であるので、あらかじめ20～50の周波数に対して計算しておく。規則波中においては、船舶が波と同一周期で動揺するとして、波の周波数に対する流体力係数を用いて船舶の動揺を計算する。不規則波中の係留船舶の動揺計算においても、係留系の変位復元力特性が線形であれば、船舶の動揺には波周期と同一周期の動揺成分が含まれるので、まず、不規則波の成分波に対する船舶の動揺量を求め、これを線形重ね合せの原理に従って合成すればよい。その場合の流体力係数は、成分波の周波数に対する値を用いればよい。しかしながら、係留系の変位復元力特性が非線形であり、かつ、不規則な荷重が作用する場合には、船舶の動揺の周波数成分に不規則波にはなかった周波数成分が含まれることがある。多くの場合、非線形な係留系に係留された船舶の動揺周期は、係留系の変位復元力特性が柔らかいために、不規則波の代表周期より長くなる。したがって、不規則波の成分波に対する応答を重ね合せることができない。そのような場合には、数値シミュレーションにおいて、まず、流体力係数を一定にして計算を進め、船舶の動揺の周波数特性が、不規則波の周波数

特性または実際現象の周波数特性と異なれば、流体力係数を修正して、改めて計算を行うこととする。係留船舶の動揺が実際現象と適合するか否かは、実船による動揺観測結果や模型実験結果などと対比して判断する。

流体力係数の決め方には種々の方法が考えられる。たとえば、不規則波の成分波の重みづけ平均を取る方法や、不規則波の代表周期(たとえば有義波の周期)に対する流体力係数を用いる方法などがある。これらの二方法による比較を行ったところ、長周期波に対して両者の差異が大きい。とくに、スウェィングとヨウイングの減衰係数については、重みづけ平均によって求めた減衰係数は、代表周期に対して求めた減衰係数の数倍である。また、それらの流体力係数を用いて、係留船舶の動揺計算を行った結果をみると、不規則波の代表周期に対する流体力係数を用いた場合のほうが、動揺量および動揺周期のいずれについても、実験値とよく一致している。したがって、ここでは流体力係数として、一応、不規則波の代表周期に対する値を用いることとする。

ただし、防衝工の変位復元力特性が係留索の変位復元力特性に比べて硬く、すなわち係留系の変位復元力特性の非対称性が強く、かつ、無風状態の場合には、船舶が係船岸から大きく離されて、波周期よりかなり長い周期のスウェィングが生じることがある。この場合には、流体力係数の定義からみて不規則波の代表周期に対して求めた流体力係数を用いて数値シミュレーションを行うのは適当ではない。

### 3.5 船舶に作用する風荷重

係留船舶に作用する風荷重は式(3.17)により計算する<sup>50)</sup>。

$$R = 0.5 \rho C U^2 (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta) \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

ここに、 $R$  : 風荷重の合力(kgf)、 $\rho$  : 空気密度(kgfs<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)、 $\rho = 0.123 \text{ kgfs}^2/\text{m}^4$ 、 $U$  : 風速(m/s)、 $A$  : 水面上船体正面投影面積(m<sup>2</sup>)、 $B$  : 水面上船体側面投影面積(m<sup>2</sup>)、 $\theta$  : 風向が船体中心線となす角(°)、 $C$  : 風圧力係数である。

### 3.6 潮流による流圧力<sup>24)</sup>

#### (1) 船首方向からの流れによる流圧力

船首方向からの流れと船舶との間に生じる流圧力は、式(3.18)により計算する。

$$R_f = 0.14 S V^2 \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

ここに、 $R_f$  : 流圧力(kgf)、 $S$  : 浸水面積(m<sup>2</sup>)、 $V$  : 潮流の流速(m/s)。

#### (2) 船側方向からの流れによる流圧力、船側方向から

の流れによる流圧力は、式(3.19)により計算する。

$$R = 0.5 \rho C V^2 B \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

ここに、 $R$ ：流圧力(kgf)、 $\rho$ ：海水の密度(kgfs<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)、 $\rho = 104.5 \text{ kgfs}^2/\text{m}^4$ 、 $C$ ：流圧力係数、 $V$ ：流速(m/s)、 $B$ ：喫水線下の船側面積(m<sup>2</sup>)である。

### 3.7 漂流力

係留船舶の係留系が柔らかい場合には漂流力を考慮し、長周期動揺について検討する必要がある<sup>35) 36) 37) 38)</sup>。

### 3.8 係留系の特性

係留船舶の動揺計算に当たっては、係留索や防衝工などの係留系の変位復元力特性を適切にモデル化しなければならない。

### 3.9 数値積分

(1) 係留船舶の動揺の数値シミュレーションに当たっては、解の安定性が良い適切な数値積分法を用いなければならない。数値シミュレーションにおける数値積分法には、線形加速法、ルンゲークッターギル法、ウィルソンの $\theta$ 法などがある。

(2) 数値シミュレーションにおける解の安定性<sup>39)</sup>

数値シミュレーションによって得られた係留船舶の動揺および係留力は確率変数である。したがって、数値シミュレーションにおける初期値、数値シミュレーションの継続時間すなわち標本数が変われば異なった結果を与える。そのため、数値シミュレーションを行うに当たっては、用いる数値シミュレーション手法の、①初期値に対する数値シミュレーション結果の安定性と、②継続時間に対する数値シミュレーション結果の安定性、を検討し、一定時間内の数値シミュレーション結果から期待最大値を求める方法を検討しておかなければならない。期待最大値は、防衝工の最大変形量または最大反力、係留索の最大変形量または最大張力、および、係留船舶の動揺量の各成分の最大値などについて求める必要がある。

港湾技術研究所で開発した数値シミュレーション手法では継続時間を実時間で約20min程度を目安としている。かりに係留船舶の動揺周期が10s前後であれば、約100程度の標本値が得られる。

しかし、実際の暴風雨の継続時間は、台風の場合2～3時間であるし、また、冬季風浪の場合にはこれよりさらに長く、12時間以上になることもある。したがって、動揺量等の最大値を標本として得るためには、20min間のシミュレーション時間では十分であるとはいえない。また、数値シミュレーションにおける不規則波や変動風は乱数表を用いて発生させているが、そのときの初期値の取り方によって最高波高や有義波高が異なる。したが

って、数値シミュレーション結果も初期値の取り方によって異なる。これらの問題を解決するためには、シミュレーション時間を十分長く取るか、あるいは、初期値を変えて何回も数値シミュレーションを実施し、それらの最大値を求めればよいが、計算機の容量上の制約があることと、相当の労力と時間とを要する。港湾技術研究所で開発した数値シミュレーション手法では標本数が100程度あれば、十分安定した解が得られることが確認されている。

つぎに、期待最大値は、動揺両振幅の分布形が式(3.20)のレーリー分布、または、式(3.21)の正規分布に従うものとして求められる。

$$p(x)dx = 2a^2 \exp(-a^2 x^2) dx \quad \dots\dots (3.20)$$

$$p(A) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}\sigma} \times \exp\left[-0.5\left(\frac{A-\bar{A}}{\sigma}\right)^2\right] \quad \dots\dots (3.21)$$

ここに、 $x = A/A_0$ (動揺両振幅比)、 $A$ ：動揺両振幅、 $A_0$ ：任意基準動揺両振幅、 $\bar{A}$ ：動揺面振幅の平均値

$$a = \frac{A_0}{(8m_0)^{1/2}}, \quad 8m_0 = A_{rms}$$

$a$ の値は任意基準動揺両振幅の値によってつぎの数値をとる。

$$A_0 \text{ が有義値 } A_{1/3} \text{ に対し} \quad a = 1.416 \quad \dots\dots (3.22)$$

$$A_0 \text{ が平均値 } A_{1/2} \text{ に対し} \quad a = \frac{1}{2}\sqrt{\pi}$$

$N$ を期待最大値に対する標本数として、超過確率が、 $1/N$ となる動揺両振幅は $x_N$ は式(3.23)で表される。

$$x_N = \frac{1}{a} \times (\ln N)^{0.5} \quad \dots\dots\dots (3.23)$$

また、正規分布に対して超過確率が $1/N$ となる動揺両振幅 $A_N$ は式(3.24)で表される。

$$A_N = A + \mu N \sigma \quad \dots\dots\dots (3.24)$$

$x_N$ と $A_N$ を計算すると表-3.1のようになる。

表-3.1  $X_N$ および $A_N$   
( $x_N = A_N/A_{1/3}$ ,  $\mu_N$ )

| $N$          | 100  | 200  | 500  | 1000 | 10000 |
|--------------|------|------|------|------|-------|
| レーリー分布 $x_N$ | 1.52 | 1.63 | 1.76 | 1.86 | 2.14  |
| 正規分布 $\mu_N$ | 2.33 | 2.58 | 2.88 | 3.09 | 3.96* |

\* 近似値

### 3.10 係留船舶の動揺の計算例および防衛工の選定

ここでは、10,000dwt 級(船長  $L_{pp}=120.9\text{m}$ )、5,000dwt 級(船長  $L_{pp}=97.7\text{m}$ )、5,000dwt 級(船長  $L_{pp}=80.3\text{m}$ )の一般貨物船が係岸避泊をする場合について、防衛工の選定を行う<sup>39)</sup>。ただし、風速は35 m/sとする。

#### (1) 防衛工の選定手順<sup>39)40)</sup>

イ) 定反力型防げん材の場合(図-3.13(a)参照)

a) 防げん材の配置を仮定する。

b) 設計平均風速を定め、船舶に作用する風荷重を求める。風向は $30^\circ\sim 150^\circ$ とし、スウェィング方向の荷重および鉛直軸回りのモーメントを求める。

c) b)で求めた風荷重に対し、防げん材の変位復元力特性を線形と仮定して防げん材に作用する荷重( $F_{\text{mean}}$ )を計算する。

d) この防衛工荷重( $F_{\text{mean}}$ )が選定しようとする防げん材の10%ひずみ( $\delta_{10}$ )に対する反力( $R_{10}$ )を超えないようにする。

e) ガスト率を1.3として最大瞬間風速に対する防衛工荷重( $F_{\text{max}}$ )を求める。防衛工荷重( $F_{\text{max}}$ )が、選定しようとする防げん材の最大反力( $R_{\text{max}}$ )を超えないようにする。

f) 無係留船舶の動揺(付録-3参照)を計算し、スウェィング、ヨウイング、ローリングによる防げん材位置の船舶の動揺量( $\delta_s$ )を求める。最大瞬間風速に対する防衛工荷重( $F_{\text{max}}$ )による防げん材変形量( $\delta_f$ )にこの動揺量( $\delta_s$ )を加えた値が、防げん材許容変位( $\delta_a$ :高さの35%)以下であるように適当な防げん材を選定する。

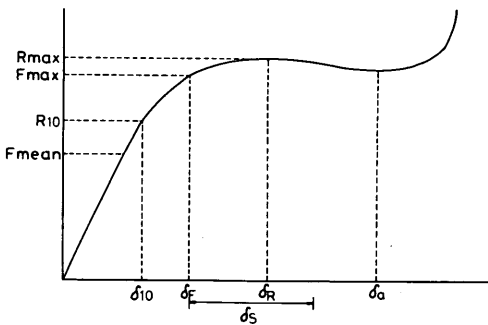


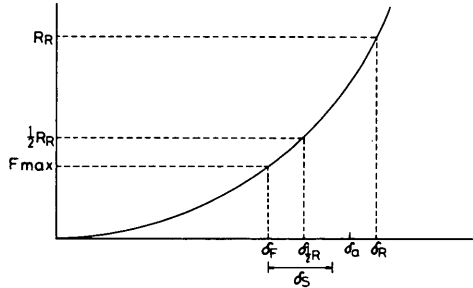
図-3.13 防げん材の変形と反力との関係

ロ) 反力漸増型防げん材(図-3.13(b)参照)

a) 設計平均風速に対しガスト率を1.3として最大瞬間風速を求め、この風速に対する風荷重および防衛工荷重( $F_{\text{max}}$ )を求める。この防衛工荷重( $F_{\text{max}}$ )が、選定しようとする防げん材の定格変形量( $\delta_R$ )に対する反力の

$\frac{1}{2}(\frac{1}{2}R_R)$ を超えないようにする。

b) 最大瞬間風速に対する防衛工荷重( $F_{\text{max}}$ )による防げん材変形量( $\delta_f$ )に、(1) f) に示した船舶の動揺量( $\delta_s$ )を加えた値が、防げん材許容変位( $\delta_a$ :高さの50%)以下であるように適当な防げん材を選定する。



#### (2) 風荷重および防衛工荷重の計算

上記の手順に従って、まず風荷重および防衛工荷重を計算する。ここでは、防げん材を2個または3個設置したとして計算する。その結果は表-3.2(a), (b)に示すとおりである。表には風向 $90^\circ$ 、 $120^\circ$ 、平均風速30 m/s、35 m/sのときの計算例を示している。

10,000dwt 級の一般貨物船に対して、定反力型防げん材を2個設置した場合の防げん材を選定する手順について述べる。設計平均風速を30 m/sとすると、平均風速に対する防衛工荷重が78tfであるから、この荷重に対する防げん材の変形量が防げん材高さの10%以下になるためには、高さが1,450 mmのものを選ぶ必要がある。また、最大瞬間風速に対する防げん材を求めると128tfであるから、防げん材の最大反力がこの荷重より大きい防げん材としては高さ1,600 mmのものを選ぶ必要がある。つぎに10,000dwt、5,000dwt、3,000dwt 級の一般貨物船の無係留状態のスウェィング、ヨウイングおよびローリングを付録-7.3を参照して読み取る。ここでは、波高0.5mの波に対して求めると、表-3.3のようになる。

いま、10,000dwtの一般貨物船に対して、高さ1,600 mmの定反力型防げん材を選定する。最大瞬間風速に対する防げん材の変形量に、表-3.3に示した波による動揺量を加えた値は合計325 mmとなるが、これは、防げん材高さの35%以下である。

反力漸増型防げん材については最大瞬間風速に対して求めた防衛工荷重が定格変形量に対する反力の $\frac{1}{2}$ 以下であるように、また、防衛工荷重に対する変形量に船舶の動揺量を加えた値が、防げん材の高さの50%以下になるように適当な防げん材を選定する。その結果、2個設置する場合には高さが2,000 mm、3個設置する場合に

は高さが1,800mmのものになる。表-3.4は各船型に対してこのように選定した防げん材とその許容変形量および許容反力を示したものである。

(3) 係留船舶の動揺計算

ここでは、図-3.14のように、防げん材と係留索で係留された船舶の動揺および防げん材の反力ならびに係留索の張力を計算する。表-3.5は係留索の諸元と許容張

力を示したものである。

ここに示す船舶の動揺計算は、風向120°、風速30m/s、波向30°、有義波周期10s、有義波高0.5mの場合のものである。図-3.15はサージング、スウェイング、ローリング、ヨウイングを、また、表-3.6は防げん材の反力および係留索の張力を示したものである。

表-3.2 防げん材諸元

(a) 防げん材を2個取り付けたときの反力

|             | 平均風速に対し    |             |            |            | 最大風速に対し    |             |            |            |
|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
|             | $F_Y$ (tf) | $M_Z$ (tfm) | $R_1$ (tf) | $R_2$ (tf) | $F_Y$ (tf) | $M_Z$ (tfm) | $R_1$ (tf) | $R_2$ (tf) |
| 1000 DWT    |            |             |            |            |            |             |            |            |
| 90°(30m/s)  | 79.38      | -299.7      | 33.48      | 45.9       | 131.49     | -494.1      | 55.62      | 76.14      |
| 120°(30m/s) | 65.07      | -1077.3     | 7.56       | 57.51      | 106.11     | -1749.6     | 12.69      | 93.42      |
| 120°(35m/s) | 88.29      | -1458.0     | 10.26      | 78.03      | 144.99     | -2397.6     | 17.01      | 127.98     |
| 150°(30m/s) | 38.34      | -1093.5     | 0          | 44.82      | 62.37      | -1782.0     | 0          | 73.17      |
| 5000 DWT    |            |             |            |            |            |             |            |            |
| 90°(30m/s)  | 52.11      | -162.0      | 20.79      | 31.59      | 86.40      | -259.2      | 34.56      | 51.84      |
| 120°(30m/s) | 42.66      | -567.0      | 2.43       | 40.23      | 69.66      | -923.4      | 4.05       | 66.96      |
| 120°(35m/s) | 67.77      | -769.5      | 3.51       | 54.81      | 95.04      | -1271.7     | 5.13       | 89.91      |
| 150°(30m/s) | 25.11      | -575.1      | 0          | 31.86      | 40.77      | -939.6      | 0          | 51.84      |
| 3000 DWT    |            |             |            |            |            |             |            |            |
| 90°(30m/s)  | 41.58      | -121.5      | 14.58      | 27.00      | 65.88      | -170.1      | 27.27      | 38.61      |
| 120°(30m/s) | 32.67      | -356.4      | 1.62       | 34.29      | 53.19      | -583.2      | 7.29       | 46.17      |
| 120°(35m/s) | 44.28      | -486.0      | 0          | 46.44      | 72.90      | -801.9      | 9.72       | 76.68      |
| 150°(30m/s) | 19.17      | -364.5      | 0          | 27.81      | 31.05      | -589.4      | 0          | 35.64      |

(b) 防げん材を3個取り付けたときの反力

|             | 平均風速に対し    |             |            |            |            | 最大風速に対し    |             |            |            |            |
|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
|             | $F_Y$ (tf) | $M_Z$ (tfm) | $R_1$ (tf) | $R_2$ (tf) | $R_3$ (tf) | $F_Y$ (tf) | $M_Z$ (tfm) | $R_1$ (tf) | $R_2$ (tf) | $R_3$ (tf) |
| 1000 DWT    |            |             |            |            |            |            |             |            |            |            |
| 90°(30m/s)  | 79.38      | -299.7      | 19.44      | 26.46      | 33.48      | 131.49     | -494.1      | 31.86      | 43.74      | 55.89      |
| 120°(30m/s) | 65.07      | -1077.3     | 0          | 21.60      | 47.25      | 106.11     | -1749.6     | 0          | 35.37      | 76.95      |
| 120°(35m/s) | 88.29      | -1458.0     | 0          | 29.43      | 64.26      | 144.99     | -2397.6     | 0          | 48.33      | 105.30     |
| 150°(30m/s) | 38.34      | -1093.5     | 0          | 12.69      | 38.88      | 62.37      | -1782.0     | 0          | 20.79      | 63.18      |
| 5000 DWT    |            |             |            |            |            |            |             |            |            |            |
| 90°(30m/s)  | 52.11      | -162.0      | 11.88      | 17.28      | 21.06      | 86.40      | -259.2      | 20.25      | 28.89      | 37.53      |
| 120°(30m/s) | 42.66      | -567.0      | 0          | 14.31      | 33.21      | 69.66      | -923.4      | 0          | 23.22      | 54.00      |
| 120°(35m/s) | 67.77      | -769.5      | 0          | 19.44      | 45.09      | 95.04      | -1271.7     | 0          | 31.59      | 73.98      |
| 150°(30m/s) | 25.11      | -575.1      | 0          | 8.37       | 27.54      | 40.77      | -939.6      | 0          | 1.35       | 45.36      |
| 3000 DWT    |            |             |            |            |            |            |             |            |            |            |
| 90°(30m/s)  | 41.58      | -121.5      | 0          | 13.77      | 34.56      | 65.88      | -170.1      | 13.50      | 21.87      | 30.51      |
| 120°(30m/s) | 32.67      | -356.4      | 0          | 10.80      | 28.62      | 53.19      | -583.2      | 0          | 17.82      | 46.98      |
| 120°(35m/s) | 44.28      | -486.0      | 0          | 14.85      | 39.15      | 72.90      | -801.9      | 0          | 24.30      | 64.53      |
| 150°(30m/s) | 19.17      | -364.5      | 0          | 6.48       | 24.57      | 31.05      | -589.4      | 0          | 10.26      | 40.23      |

表-3.3 無係留船舶の動揺量 ( $H_{1/3} = 0.5\text{ m}$ ,  $T_{1/3} = 10\text{ s}$ )

| 波向  | 10000 DWT    |                |                       | 5000 DWT     |                |                       | 3000 DWT     |                |                       |
|-----|--------------|----------------|-----------------------|--------------|----------------|-----------------------|--------------|----------------|-----------------------|
|     | Swaying<br>m | Rolling<br>rad | Yawing<br>rad         | Swaying<br>m | Rolling<br>rad | Yawing<br>rad         | Swaying<br>m | Rolling<br>rad | Yawing<br>rad         |
| 30° | 0.067        | 0.004          | $1.93 \times 10^{-3}$ | 0.036        | 0.030          | $2.71 \times 10^{-3}$ | 0.095        | 0.023          | $2.46 \times 10^{-3}$ |
| 45° | 0.113        | 0.006          | $2.54 \times 10^{-3}$ | 0.153        | 0.041          | $3.38 \times 10^{-3}$ | 0.143        | 0.031          | $3.00 \times 10^{-3}$ |
| 60° | 0.163        | 0.006          | $2.47 \times 10^{-3}$ | 0.184        | 0.049          | $3.18 \times 10^{-3}$ | 0.188        | 0.038          | $2.75 \times 10^{-3}$ |
| 90° | 0.221        | 0.006          | $2.52 \times 10^{-4}$ | 0.235        | 0.054          | $2.21 \times 10^{-4}$ | 0.232        | 0.040          | $3.22 \times 10^{-4}$ |

表-3.4 防げん材とその許容変形量および許容反力

|           | 10000 DWT              | 5000 DWT               | 3000 DWT  |
|-----------|------------------------|------------------------|-----------|
| 定反力型防げん材  | 1600mm 2個              | 1250mm 2個              | 1150mm 2個 |
| 反力漸増型防げん材 | 2000mm 2個<br>1800mm 3個 | 1800mm 2個<br>1500mm 3個 | 1500mm 2個 |

表-3.5 係留索の諸元と許容張力

|   | 10000 DWT |           |           |       |      | 5000 DWT  |           |           |       |      | 3000 DWT  |           |           |       |      |
|---|-----------|-----------|-----------|-------|------|-----------|-----------|-----------|-------|------|-----------|-----------|-----------|-------|------|
|   | 本数<br>(本) | 径<br>(mm) | 長さ<br>(m) | 切断荷重  | 許容張力 | 本数<br>(本) | 径<br>(mm) | 長さ<br>(m) | 切断荷重  | 許容張力 | 本数<br>(本) | 径<br>(mm) | 長さ<br>(m) | 切断荷重  | 許容張力 |
| 1 | 6         | 50        | 46.8      | 216.0 | 68.7 | 6         | 50        | 47.8      | 216.0 | 68.7 | 6         | 40        | 34.3      | 168.6 | 44.4 |
| 2 | 1         | 45        | 44.7      | 34.5  | 9.1  | 1         | 40        | 45.0      | 28.1  | 7.4  | 1         | 40        | 38.1      | 28.1  | 7.4  |
| 3 | 3         | 45        | 44.7      | 103.5 | 27.2 | 3         | 40        | 45.0      | 84.3  | 22.2 | 3         | 40        | 36.1      | 84.3  | 22.2 |
| 4 | 3         | 45        | 44.1      | 103.5 | 27.2 | 3         | 40        | 43.1      | 84.3  | 22.2 | 3         | 40        | 35.3      | 84.3  | 22.2 |
| 5 | 1         | 45        | 44.1      | 34.5  | 9.1  | 1         | 40        | 43.1      | 28.1  | 7.4  | 1         | 40        | 36.6      | 28.1  | 7.4  |
| 6 | 6         | 50        | 52.2      | 261.0 | 68.7 | 6         | 50        | 48.2      | 261.0 | 68.7 | 6         | 40        | 34.2      | 168.6 | 44.4 |

表-3.6 防げん材の反力および係留索の張力

| 貨物船<br>の種類   | 防げん材の<br>種類 | 防げん材        |             | 係留索         |             |             |             |  |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
|              |             | (1)<br>(tf) | (2)<br>(tf) | (2)<br>(tf) | (3)<br>(tf) | (4)<br>(tf) | (5)<br>(tf) |  |
| 10000<br>DWT | 定反力型        | 118         | 138         | 0.16        | 0.57        | 0.54        | 0.15        |  |
|              | 反力漸増型       | 67          | 123         | 0.17        | 0.63        | 0.54        | 0.14        |  |
| 5000<br>DWT  | 定反力型        | 89          | 91          | 0.17        | 0.49        | 0.48        | 0.15        |  |
|              | 反力漸増型       | 54          | 93          | 0.16        | 0.54        | 0.54        | 0.16        |  |
| 3000<br>DWT  | 定反力型        | 76          | 76          | 0.56        | 1.50        | 0.70        | 0.20        |  |
|              | 反力漸増型       | 50          | 106         | 0.29        | 0.73        | 0.46        | 0.13        |  |

|     | 定反力型防げん材 | 反力漸増型防げん材 |
|-----|----------|-----------|
| MAX | ○        | △         |
| MIN | ●        | ▲         |

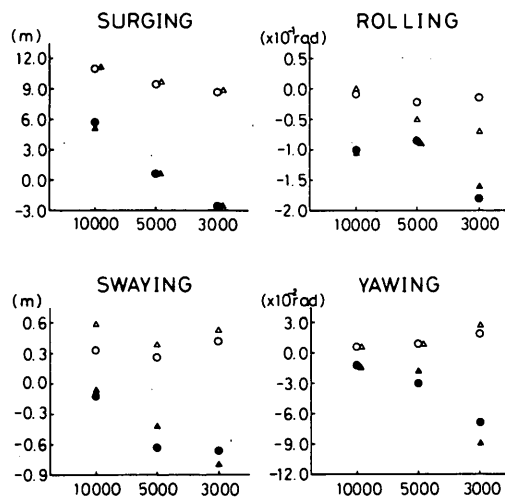


図-3.14 船舶の係留, 防げん材および係留索の配置

図-3.15 係留船舶の動揺量

#### 4. 防衛工の設計における安全率に対する考察

##### 4.1 設計用応力度および安全率

上述した方法によって、船舶の接岸エネルギーすなわち防衛工によって吸収されるべきエネルギーが求められれば、これを吸収するために最も適切な防衛システムを選定する。このとき、係留施設および防衛工の個々の要素について、許容荷重、ゴム防げん材の等級、許容応力度、安全率などを適切に決めなければならない。

防衛工の種類および防衛工の様々な設計法を考えると、許容荷重、ゴム防げん材の種類および等級、許容応力度、安全率などを適切に決めることはかなりむずかしい。ここでは、PIANCの報告書<sup>5)</sup>の記述を引用し、かつ、資料を追加して事例的に記述し、許容荷重、ゴム防げん材の等級、許容応力度、安全率について考察する。なお、PIANCの防衛工委員会においては、筆者の一人が資料を作成して本委員会に提出し、これをも含めて論議がなされ、その結果が報告書に示されている。

さて、剛な下部構造物に柔らかい防げん材が取り付けられている状況を図-4.1に図示している。この場合には計算された全エネルギーは防げん材 $F$ で吸収されなければならない。図-4.2に吸収エネルギー $E_f$ と反力 $R$ との関係、を二つの代表的な防げん材、すなわち、曲線①で示される空気式防げん材(以下、反力漸増型防げん材という)と、曲線②で示される座屈型防げん材(以下、定反力型防げん材という)とについて示している。これらの二つの防げん材はそれらの定格エネルギー吸収能力(50%の圧縮ひずみに対する値であるが、曲線①のものは曲線②のものよりも変形が大きい)に対する反力がほぼ同一になるように選定している(図-4.2ではこれらの点は×で示されている。また、他の40, 45, 55%の点は黒丸で示されている)。

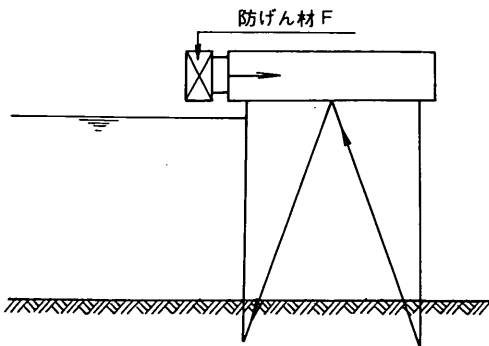


図-4.1(a) 剛な下部構造(杭)と柔らかい防げん材

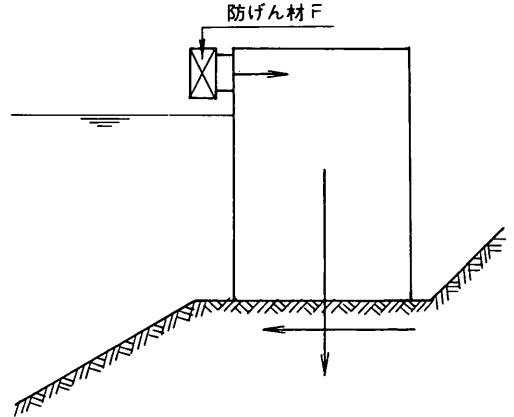


図-4.1(b) 剛な下部構造(ケーソン)と柔らかい防げん材

このような条件では水平力に抵抗する下部構造物の鋼管杭の許容応力度は通常降伏応力度の $\frac{2}{3}$ とされる。すなわち、降伏応力度( $\sigma_y$ )に対する安全率は1.5である。

しかし、図-4.2をみると、防げん材が過圧縮された場合には二つのタイプの防げん材の状況が異なってくることがわかる。防げん材の圧縮ひずみが50%を超えて鋼管杭に発生する応力度が降伏応力度に達したとすると、曲線①(反力漸増型防げん材)のものについては吸収エネルギー $E_f$ は圧縮ひずみが50%のときの吸収エネルギーの70%も増加するが、曲線②(定反力型防げん材)のものについては吸収エネルギー $E_f$ は圧縮ひずみが50%のときの吸収エネルギーの20%増加するにすぎない。つまり、鋼管杭の許容応力度を降伏応力度の1.5分の1としても、エネルギー吸収能力についてみれば、降伏応力度に対する吸収エネルギーと許容応力度に対するエネルギーの比は反力漸増型防げん材では1.7であるのに対し、定反力型防げん材では1.2でしかない。したがって、鋼管杭の降伏応力度と許容応力度との比を安全率というのは適切ではない。

いま、鋼管杭の設計条件として安全率1.5を守ろうとすれば、定反力型防げん材の場合には吸収エネルギーに十分な余裕をもって選定されなければならない。この場合定格変形量を50%としないで、たとえば、40%とすれば、吸収エネルギーを50%増加するに必要な反力の増加は50%以下になる。

捨石マウンド上に設置されるケーソン型の構造物に取り付けられる防げん材(図-4.1(b))に対しては、転倒に対する安全率が必要である。鋼管杭式の構造物の場合には杭の応力度が降伏応力度に達したのちにも、終局応力度に達するまではなおエネルギー吸収に余裕があるが、ケ

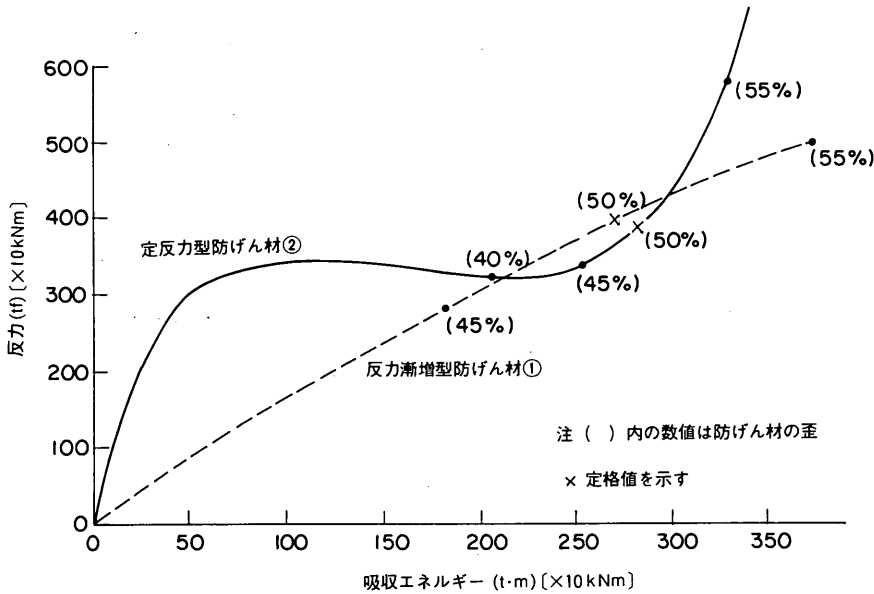


図-4.2 二つのタイプの防げん材と吸収エネルギーとの関係

ーソン式の構造物の場合には、構造物をもつ大きな質量（防げん材反力が底面の摩擦力を超えるとケーソンは滑動する）以外には防衝システムのエネルギー吸収能力はほとんどない。

以上のことから、防衝システムの設計における安全率の選定においては、設計荷重を超えた場合の防げん材および下部構造物の挙動に配慮しなければならない。

図-4.2は一例であり、防げん材の大きさや形状が異なる場合には結果は異なる。しかし、安全率を論議する場合には、とくに防げん材が過圧縮される場合の性質に注意を払わねばならないといえる。

図-4.3に一本の円形の杭に木材のプロテクターを取り付けた杭式ドルフィンを示す。この場合には全エネルギーは杭の曲げによって吸収される。このドルフィンの変形  $\delta$  は接岸力の水平成分  $P$  の一次関数である。ドルフィンの吸収エネルギーは、 $E_f = 0.5 \delta P$  であるから、 $E_f$  は  $P$  の二乗の関数である。杭の曲げモーメントは  $P$  の一次関数であるから、 $E_f$  は  $\sigma$  の二乗の関数、すなわち、 $\sigma$  は  $\sqrt{E_f}$  に比例する。一般の鋼構造物では、許容応力度は規定された鋼の最小降伏応力度の3分の2である。したがって、この鋼製ドルフィンの安全率1.5は防衝システムのエネルギーが  $1.5^2 = 2.25$  倍まで許容できることを意味する。しかし、防衝システムが図-4.3に示すように鋼管杭式ドルフィンのみであったとすると、防衝システムの許容応力度は防衝システムの吸収エネルギーの安全率

に基づいて決めるのがよいと考えられる。その場合、鋼製ドルフィンの許容応力度は降伏応力度  $\sigma_y$  の  $1/\sqrt{1.5}$  倍、すなわち、 $0.82 \sigma_y$  となる。

このように、鋼製ドルフィン杭の設計において、鋼の許容応力度を規定された最小応力度の80%とする設計例もある。

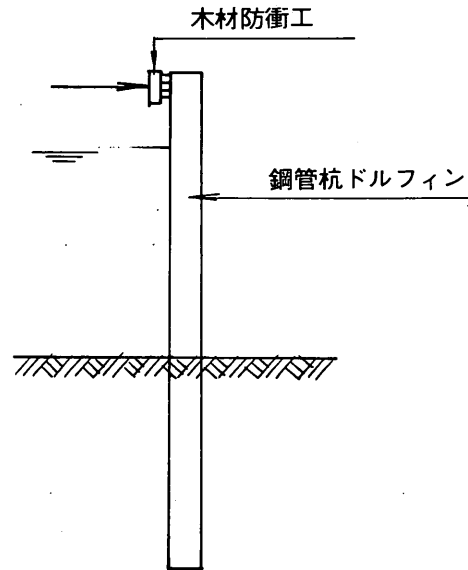


図-4.3 たわみ性ドルフィン



#### 4.2 剰余エネルギー（リザーブエネルギー）

図-4.4に示すように、たわみ性ドルフィンに柔らかい防げん材が取り付けられた場合にはやや複雑になる。つぎに実際に建設されたドルフィンの事例を示す。ドルフィンは鋼製で直径1,500mmの鋼管杭6本からなり、水平方向のばね定数は14.2tf/cmである。鋼の降伏応力度は2,700kgf/cm<sup>2</sup>(270MN/m<sup>2</sup>)である。また、防げん材は定反力型防げん材である。なお、実際の設計においては荷重(防げん材の反力と同じ)320tfに対して鋼管杭の応力度が許容応力度以下になるように、杭の諸元を決めている。我が国においては、従来、船舶の接岸時を異常時として取り扱っているので、 $\sigma_{all} \leq \sigma_y$ としている。図-4.5では横軸に変形量をとって、防げん材とドルフィンの反力と吸収エネルギーとを示している。しかし、この図に示すように、荷重(防げん材の反力と同じ)320tfに対して鋼管杭の応力度が降伏応力度の $\frac{2}{3}$ または0.82になるようにしようとして、かつ、直径および肉厚が同一の鋼管杭を用いるとすれば、本数を増やさなければならない。たとえば、 $\sigma_{all} = \frac{2}{3} \times \sigma_y$ とすれば、9本の鋼管杭が必要になる。水平方向のばね定数は21.3tf/cmとなり、

たとえば、 $\sigma_{all} = \sigma_y$ のときの鋼管杭の吸収エネルギーは24tfmとなって、ここで計算するものより小さくなる。しかし、杭の水平方向のばね定数を変えて計算するのは、結果の解釈を幅狭させるだけであるので、ここでは、許容応力度をどのように設定しても杭の水平方向のばね定数は14.2tf/cmであるとする。つまり、鋼管杭の直径または肉厚を水平方向のばね定数一定の条件で変更したものと仮定して議論を進める。

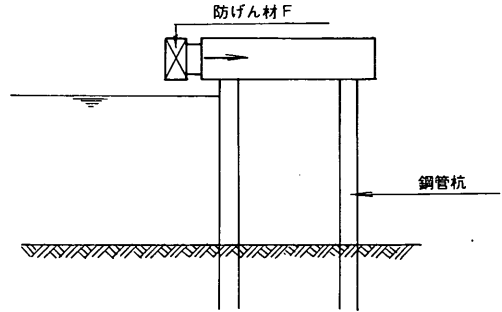


図-4.4 たわみ性ドルフィンと柔らかい防げん材

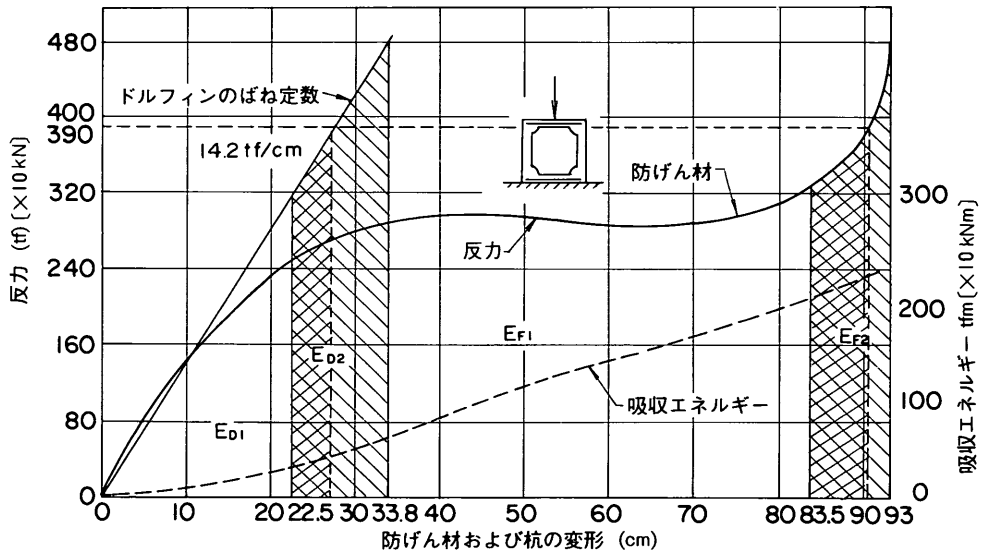


図-4.5 杭式ドルフィンの杭と防げん材の反力と吸収エネルギーとそれらの変形との関係(定反力型防げん材)

ここで、以下のように定義をする。

$E_1$  = 杭の応力度が許容応力度に達するまでに防衛システム全体で吸収する全エネルギー、 $E_{F1}$  = 杭の応力度が許容応力度に達するまでに防げん材が吸収するエネルギー、 $E_{D1}$  = 杭の応力度が許容応力度に達するまでにドルフィン

が吸収するエネルギー、 $E_2$  = 杭の応力度が降伏応力度に達するまでに防衛システム全体で吸収する全エネルギー、 $E_{F2}$  = 防げん材の剰余吸収エネルギー、 $E_{D2}$  = 鋼製ドルフィンの剰余吸収エネルギーである。

したがって、

$$E_2 = E_1 + E_{F2} + E_{D2}$$

となる。

ここで、鋼製ドルフィンに許容応力度を  $\sigma_{all} = \frac{2}{3} \sigma_y$  または、 $\sigma_{all} = 0.82 \sigma_y$  として、防衛システムの全吸収エネルギーを計算すると表-4.1 のようになる。 $\sigma_{all} = \frac{2}{3} \sigma_y$  で設計されているときには、ドルフィンに作用する水平力(防げん材反力)が320 tf で  $\sigma = \frac{2}{3} \sigma_y$  であり、480 tf で  $\sigma = \sigma_y$  となる。また、 $\sigma_{all} = 0.82 \sigma_y$  で設計されているときには、ドルフィンに作用する水平力(防げん材反力)が

320 tf で  $\sigma = 0.82 \sigma_y$  であり、390 tf で  $\sigma = \sigma_y$  となる。

これは、許容応力度を  $\sigma_{all} = 0.82 \sigma_y$  とすると、鋼製ドルフィンの応力度が降伏応力度に達する間の残余エネルギーが僅かに13%しかなく、また、許容応力度を  $\sigma_{all} =$

表-4.1 定反力型防げん材を用いた場合の係留システムの残余エネルギー (tfm)

| $\sigma_{all}$         | $E_{F1}$ | $E_{D1}$ | $E_1$ | $E_{F2}$ | $E_{D2}$ | $E_2$ | $E_2/E_1$ |
|------------------------|----------|----------|-------|----------|----------|-------|-----------|
| $\frac{2}{3} \sigma_y$ | 210      | 36       | 246   | 38       | 45       | 329   | 1.33      |
| $0.82 \sigma_y$        | 210      | 36       | 246   | 15       | 17       | 278   | 1.13      |

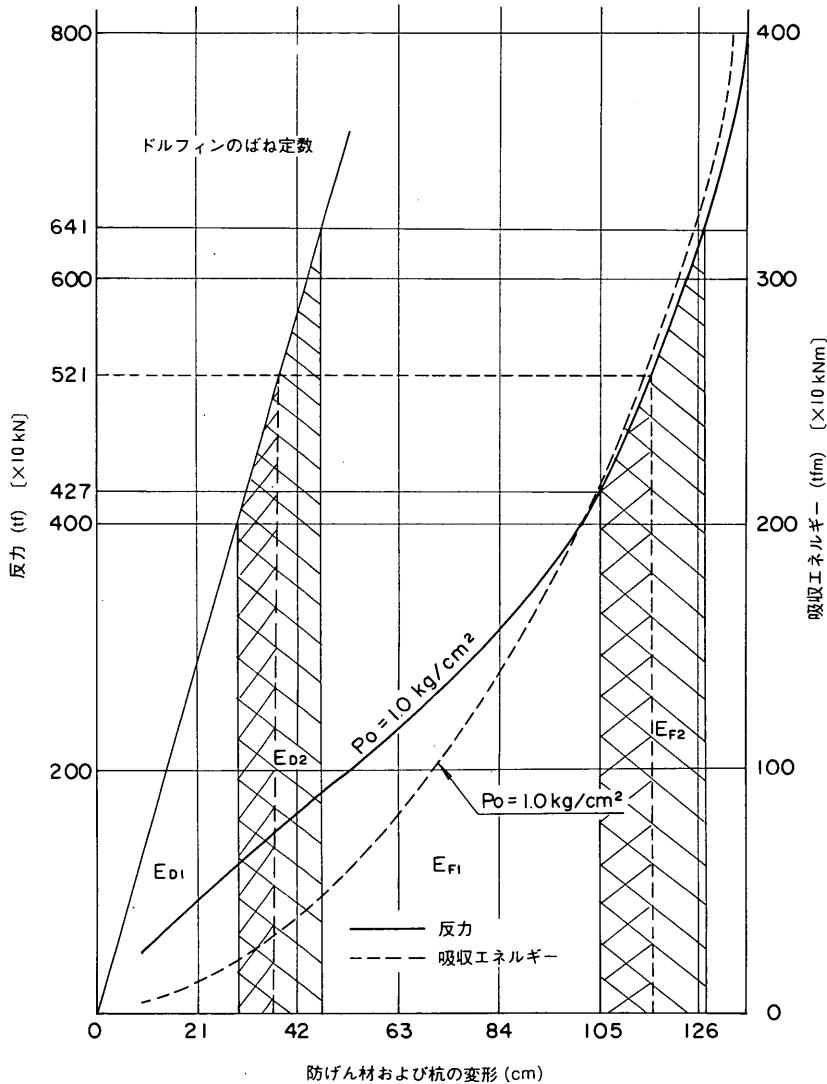


図-4.6 杭式ドルフィンの杭と防げん材の反力と吸収エネルギーとそれらの変形との関係(反力漸増型防げん材)

$\frac{1}{3} \times \sigma_y$ とすると、剰余エネルギーが33%であることを意味する。すなわち、定反力型防げん材を用いる場合には、定格変形量を大きく取るために鋼管杭の応力が降伏応力度に対するまでの間に防げん材の吸収エネルギーがほとんど期待できないということになる。

これに対し、反力漸増型防げん材を用いた場合には、防げん材とドルフィンの反力と吸収エネルギーとの関係は図-4.6のようになり、剰余エネルギーは表-4.2のように計算される。さきと同じように $\sigma_{all} = \frac{1}{3} \sigma_y$ で設計されているときには、ドルフィンに作用する水平力(防げん材反力)が427tfで $\sigma = \frac{1}{3} \sigma_y$ であり、641tfで $\sigma = \sigma_y$ となる。また、 $\sigma_{all} = 0.82 \sigma_y$ で設計されているときにはドルフィンに作用する水平力(防げん材反力)が427tfで $\sigma = 0.82 \sigma_y$ であり、521tfで $\sigma = \sigma_y$ となる。

表-4.2 定反力型防げん材を用いた場合の係留システムの剰余エネルギー (tfm)

| $\sigma_{all}$         | $E_{F1}$ | $E_{D1}$ | $E_1$ | $E_{F2}$ | $E_{D2}$ | $E_2$ | $E_2/E_1$ |
|------------------------|----------|----------|-------|----------|----------|-------|-----------|
| $\frac{1}{3} \sigma_y$ | 210      | 64       | 274   | 104      | 81       | 459   | 1.68      |
| $0.82 \sigma_y$        | 210      | 64       | 274   | 41       | 31       | 346   | 1.26      |

なお、この場合には選定した防げん材の反力が、吸収エネルギー210tfmに対し427tfである。すなわち、定反力型防げん材を用いたときの320tfの約1.33倍であるので、さきと同じ鋼管杭を用いるとすれば8本必要で、そのときの、水平方向のばね定数は18.9tf/cmとなる。しかし、さきに述べたように単純に取り扱うことにし、ここでも、杭の水平方向のばね定数を14.2tf/cmとして計算している。

反力漸増型防げん材を用いた場合には、許容応力度を $\sigma_{all} = 0.82 \sigma_y$ とすると、鋼製ドルフィンの応力度が降伏応力度に達する間の剰余エネルギー26%、また、許容応力度を $\sigma_{all} = \frac{1}{3} \times \sigma_y$ とすると、剰余エネルギーが68%であることを意味する。すなわち、反力漸増型防げん材を用いた場合には鋼管杭の応力度が降伏応力度に達するまでの間に剰余エネルギーが68%ほど期待できることになる。

#### 4.3 鋼管杭の変形による吸収エネルギー

さきに、たわみ性ドルフィンの例を4.1に示した。従来、大型タンカーの接岸ドルフィンに用いられる鋼管杭はSTK41~50程度の強度のものであったので、4.2に示した例では、鋼管杭の吸収エネルギーと防げん材の吸収エネルギーとの比は、 $\sigma_{all} = \frac{1}{3} \sigma_y$ または、 $\sigma_{all} = 0.82 \sigma_y$ として、1:3程度であった。許容応力度を割り増して $\sigma_{all} = \sigma_y$ としたときには、1:8程度である。我が国では

多くのシーバースの設計において、従来、 $\sigma_{all} = \sigma_y$ として設計してきているので、鋼管杭による吸収エネルギーは安全サイドに見積り、接岸エネルギーのすべてを防げん材で吸収するように防げん材を選定している。

しかし、近年、高張力鋼を用いることによって、鋼管杭のたわみ性を増し、吸収エネルギーを増加する様式が考えられ、すでに欧米において実用化されている。本項においては、杭の横抵抗の計算を種々の方式で行いこのような構造様式の可能性について検討する。

#### (1) Mannesmann社のたわみ性接岸ドルフィン<sup>41)</sup>

図-4.7はMannesmann社のたわみ性接岸ドルフィンである。図-4.8はその構造図である。このドルフィンは直径2.32mの高張力鋼鋼管杭1本で構成され、頭部に受衝板が取り付けられている。

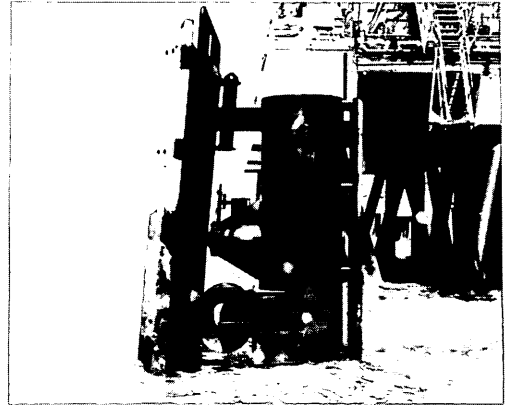


図-4.7 Mannesmann社のたわみ性ドルフィン

設計接岸エネルギーは267,000dwtのタンカーを対象として、接岸速度15cm/s、仮想質量係数 $C_m = 1.7$ 、偏心係数 $C_e = 0.7$ 、柔軟性係数 $C_s = 0.9$ として、約360tfmであるが安全をみて450tfm(1.25倍)である。杭の横抵抗およびたわみの計算はBlumの式に準拠している。Blumの式による計算は以下の手順で行う。

#### ① 最大曲げモーメントおよびその発生位置

$$M_{max} = \frac{f_w}{24} x_m^2 [3x_m^2 + x_m(4h + 8b) + 12hb] \dots\dots\dots (4.1)$$

ここに、

- $M_{max}$  = 最大曲げモーメント(13,866tfm)、ただし、 $\sigma_{all} = \sigma_y = 7,000 \text{ kgf/cm}^2$ として計算した。
- $h$  = 海底面から載荷点までの高さ(25.5m)
- $b$  = くい幅(2.32m)
- $x_m$  = 最大曲げモーメントの発生位置

$f_w$  = 地盤反力係数 :  $\lambda_{ph} \times \gamma_a$   
 $\lambda_{ph}$  = 受動土圧係数 :  $\tan^2(45^\circ + \phi/2)$   
 $\gamma_a$  = 土の水中の単位体積重量 (1.0 tf/m<sup>3</sup>)  
 式(4.1)に上記の数値を代入すると  $x_m = 7.5$  mを得る。  
 ② つぎに、次式より杭の打込み長を計算する。

$$t_0^3 \frac{t_0 + 4b}{t_0 + h} = 4x_m^2(x_m + 3b) \dots\dots\dots (4.2)$$

その結果、 $t_0 = 17.36$  mを得る。

③ また、次式より最大横抵抗力を計算する。

$$P_m = t_0^3 \frac{t_0 + 4b}{t_0 + h} \times \frac{f_w}{24} \dots\dots\dots (4.3)$$

その結果、 $P_m = 450$  tfを得る。

④ 杭頭部のたわみは次式により求まる。

$$f = \frac{P_m(h + 0.78t_0)^3}{3EI} \dots\dots\dots (4.4)$$

$E$  = ヤング係数 (2.1 × 10<sup>6</sup> kgf/cm<sup>2</sup>)

$I$  = 断面二次モーメント (22.97 × 10<sup>6</sup> cm<sup>4</sup>)

したがって、 $f = 1.84$  mを得る。

⑤ このときのエネルギー吸収能力は  $E_D = 415$  tfm であるが、杭の肉厚が全長にわたって一様でなく、頭部に近くなるに従って薄くなっていることを考慮して、 $f = 2.0$  mと考え、エネルギー吸収能力を 450 tfmとしている。

(2) 港研方式および Y. L. Chang の式による杭の横抵抗およびたわみの計算<sup>34)</sup>との比較

ここでは、 $P_m = 450$  tf、 $\sigma_{all} = \sigma_y = 7,000$  kgf/cm<sup>2</sup> として、港研方式および Y. L. Chang の式による杭の横抵抗およびたわみならびに吸収エネルギーの計算を行い、Blumの式によって計算される杭頭部の変形量および杭のエネルギー吸収能力を比較する。計算の詳細は港湾の施設の技術上の基準に詳述されているので省略し、結果のみを記述する。なお、横抵抗係数(港研方式  $k_g$ : kgf/cm<sup>35</sup>) および地盤反力係数(Y. L. Changの式  $k_h$ : kgf/cm<sup>3</sup>) は、それぞれ、 $k_g = 0.03$  または  $0.01$  kgf/cm<sup>35</sup>、 $k_h = 3$  または  $1$  kgf/cm<sup>3</sup> としたが、さきに示した Blum の式で計算したときには、 $N$  値が14程度に相当するので、ここで与えた地盤条件よりはやや軟らかい。なお、ここではすべて杭頭自由杭とした。

表-4.3はその結果を示したものである。Blumの式で計算した結果は、同一条件で港研方式または、Y. L. Changの式で計算したものより大きな杭頭変位およびエネルギー吸収能力を与える。また、港研方式および Y. L. Changの式で計算した結果はここで用いた横抵抗係数および地盤反力係数については全く同一である。

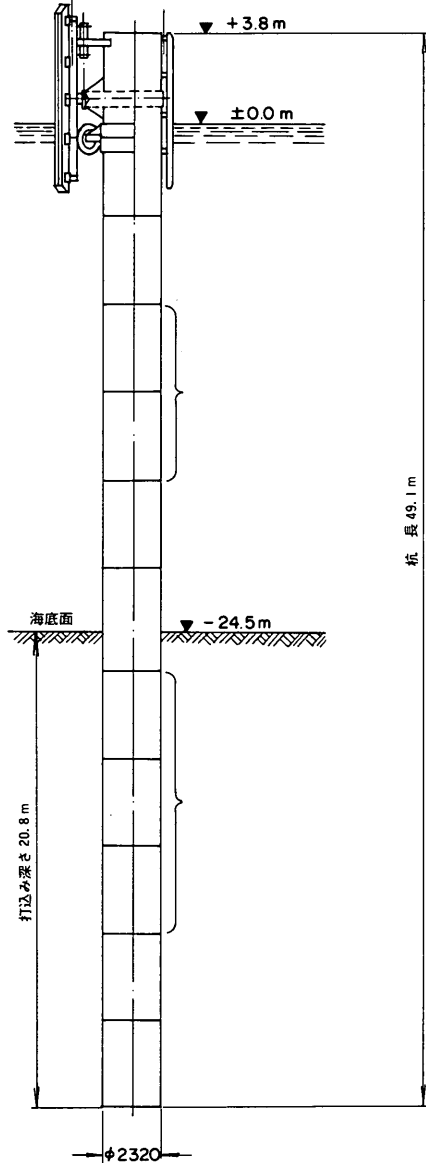


図-4.8 たわみ性ドルフィンの構造図

表-4.3 各計算法による杭頭変位およびエネルギー吸収能力の比較

|                 | Blum  | 港 研 方 式 |       | Y. L. Chang |       |
|-----------------|-------|---------|-------|-------------|-------|
|                 |       | 0.01    | 0.03  | 3           | 1     |
| $k_g$ または $k_h$ |       | 0.01    | 0.03  | 3           | 1     |
| 水平力 $P_m$ (tf)  | 415tf | 415tf   |       | 415tf       |       |
| 杭頭変位 $f$ (m)    | 1.84m | 1.01m   | 1.25m | 1.01m       | 1.25m |
| 曲げモーメント (tfm)   | 13866 | 11200   | 11500 | 10760       | 10880 |
| 吸収エネルギー (tfm)   | 382   | 210     | 259   | 210         | 259   |

上記の計算は杭頭自由杭として行ったが、V.L.Changの式で杭頭固定として計算すると、杭頭変位は $k_h=3$ または $1 \text{ kgf/cm}^3$ に対して、それぞれ、 $0.26 \text{ m}$ 、 $0.32 \text{ m}$ となり、杭頭自由杭の場合の $1/3$ である。ただし、この計算は高張力鋼を用いた場合のもので、普通の鋼材を用いた場合には杭頭変位はこれより小さくなる。従来、我が国で建設されたシーバースの接岸ドルフィンには普通の鋼材を用い、杭の変形の計算はY. L. Changの式で杭頭固定として行われていたので、鋼管杭によるエネルギー吸収能力は小さく、ほとんどの場合安全側にみて無視していた。しかし、杭頭自由と考えること、高張力鋼を用いることにより、杭の大変形すなわちエネルギー吸収を期待できる。

そこで、以下に、杭の許容応力度を2700, 3600, 4500, 5400, 6300, 7000  $\text{kgf/cm}^2$ 、杭の直径を2.0, 2.25, 2.5, 3.0 mとして合計24種の杭について、Blumの式、港研方式、Y. L. Changの式によって杭頭変位および吸収エネルギー計算し、これらと比較して杭の横抵抗の計算法の問題点を指摘する。横抵抗係数(港研方式  $k_s: \text{kgfcm}^{3.5}$ ) および

地盤反力係数(Y. L. Changの式  $k_h: \text{kgfcm}^3$ ) は、それぞれ、 $k_s=0.001, 0.01, 0.03, 0.1 \text{ kgf/cm}^{3.5}$ 、また、 $k_h=0.1, 1, 3, 10 \text{ kgf/cm}^3$ とした。Blumの式を適用する場合には土の内部摩擦角が必要であるが、上記の横抵抗係数および地盤反力係数に対応する $N$ 値を仮定し、大崎の式(4.5)を用いて推定した。

$$\phi = \sqrt{20N} + 15 \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

表-4.4は横抵抗係数( $k_s: \text{kgf/cm}^{3.5}$ )、地盤反力係数( $k_h: \text{kgf/cm}^3$ )、内部摩擦角( $\phi$ )を $N$ 値と対応させて示したものである。

表-4.5は $\sigma_{all}=\sigma_y$ として計算した各杭の許容最大荷重(tf)を、表-4.6は杭頭部の変形と杭の吸収エネルギーを、また、図-4.9は $\phi 2,500 \text{ mm}$ について、 $\sigma_{all}=2,700$ および $7,000 \text{ kgf/cm}^2$ としたときの横抵抗係数または地盤反力係数に対する、杭の横抵抗の各計算式で計算した杭頭変位を比較して図示したものである。

表-4.4  $N$ 値と、 $k_s$ ,  $k_h$ ,  $\phi$ との関係

| $N$ 値 | $k_s$ | $k_h$ | $\phi$     | $f_w$ |
|-------|-------|-------|------------|-------|
| 65    | 0.1   | 10    | $51^\circ$ | 7.97  |
| 16    | 0.03  | 3     | $33^\circ$ | 3.38  |
| 5     | 0.01  | 1     | $25^\circ$ | 2.46  |
| 0     | 0.001 | 0.1   | $21^\circ$ | 1.70  |

表-4.5 各杭の許容最大荷重(tf)

| 杭径 (m)                                  | 2.0 | 2.25 | 2.5 | 3.0 |
|---|-----|------|-----|-----|
| 肉厚 (mm)                                 | 45  | 45   | 45  | 45  |
| 断面二次モーメント ( $\text{cm}^4 \times 10^8$ ) | 132 | 190  | 261 | 456 |
| $\sigma_{all}$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )    |     |      |     |     |
| 2700                                    | 146 | 187  | 232 | 337 |
| 3600                                    | 195 | 249  | 309 | 450 |
| 4500                                    | 244 | 311  | 387 | 562 |
| 5400                                    | 293 | 374  | 464 | 657 |
| 6300                                    | 342 | 436  | 541 | 788 |
| 7000                                    | 380 | 485  | 602 | 875 |

表-4.6(a) 各種の杭の横抵抗の計算式による鋼管杭のたわみと吸収エネルギー

( $k_s=0.001 \text{ kg/cm}^{3.5}$ ,  $k_h=0.1 \text{ kg/cm}^3$ ,  $\phi=15^\circ$ )

たわみ (m)

| 杭径 (mm)        | $\phi 2000$ |       |       | $\phi 2250$ |       |       | $\phi 2500$ |       |       | $\phi 3000$ |       |       |
|----------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
|                | 港研          | チャン   | ブルーム  | 港研          | チャン   | ブルーム  | 港研          | チャン   | ブルーム  | 港研          | チャン   | ブルーム  |
| $\sigma_{all}$ |             |       |       |             |       |       |             |       |       |             |       |       |
| 2700           | 1.070       | 1.131 | 0.676 | 1.006       | 1.084 | 0.630 | 0.954       | 1.045 | 0.591 | 0.873       | 0.986 | 0.532 |
| 3600           | 1.490       | 1.508 | 0.961 | 1.405       | 1.445 | 0.897 | 1.334       | 1.392 | 0.844 | 1.223       | 1.316 | 0.762 |
| 4500           | 1.928       | 1.884 | 1.264 | 1.823       | 1.806 | 1.183 | 1.735       | 1.743 | 1.115 | 1.591       | 1.644 | 1.010 |
| 5400           | 2.385       | 2.261 | 1.584 | 2.256       | 2.168 | 1.484 | 2.144       | 2.090 | 1.401 | 1.976       | 1.974 | 1.273 |
| 6300           | 2.856       | 2.638 | 1.918 | 2.701       | 2.529 | 1.800 | 2.566       | 2.437 | 1.701 | 2.374       | 2.305 | 1.549 |
| 7000           | 3.236       | 2.931 | 2.188 | 3.055       | 2.810 | 2.054 | 2.909       | 2.712 | 1.943 | 2.687       | 2.559 | 1.772 |

吸収エネルギー (tfm)

| 杭径 (mm)        | $\phi 2000$ |        |        | $\phi 2250$ |        |        | $\phi 2500$ |        |        | $\phi 3000$ |         |        |
|----------------|-------------|--------|--------|-------------|--------|--------|-------------|--------|--------|-------------|---------|--------|
|                | 港研          | チャン    | ブルーム   | 港研          | チャン    | ブルーム   | 港研          | チャン    | ブルーム   | 港研          | チャン     | ブルーム   |
| $\sigma_{all}$ |             |        |        |             |        |        |             |        |        |             |         |        |
| 2700           | 83.94       | 82.97  | 42.17  | 100.73      | 101.47 | 49.57  | 118.78      | 121.22 | 57.12  | 158.24      | 166.07  | 73.47  |
| 3600           | 155.94      | 147.49 | 78.51  | 188.08      | 180.25 | 92.43  | 221.53      | 215.06 | 106.65 | 296.37      | 296.10  | 137.50 |
| 4500           | 252.35      | 230.26 | 127.27 | 305.61      | 281.67 | 150.02 | 361.19      | 337.31 | 173.27 | 482.41      | 461.82  | 223.80 |
| 5400           | 375.43      | 390.28 | 188.97 | 454.14      | 405.66 | 222.97 | 535.54      | 484.87 | 257.74 | 720.98      | 666.26  | 333.38 |
| 6300           | 525.01      | 451.41 | 264.09 | 634.75      | 552.21 | 311.84 | 747.25      | 659.19 | 360.72 | 1012.00     | 907.97  | 467.15 |
| 7000           | 659.95      | 557.24 | 332.04 | 797.71      | 681.66 | 392.29 | 943.67      | 816.18 | 453.99 | 1272.75     | 1119.56 | 588.41 |

表- 4.6 (b) 各種の杭の横抵抗の計算式による鋼管杭のたわみと吸収エネルギー

( $k_s = 0.01 \text{ kg/cm}^{3.5}$ ,  $k_h = 1 \text{ kg/cm}^3$ ,  $\phi = 25^\circ$ )

たわみ (m)

| 杭径 (mm)        | φ2000 |       |       | φ2250 |       |       | φ2500 |       |       | φ3000 |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                | 港研    | チャン   | ブルーム  | 港研    | チャン   | ブルーム  | 港研    | チャン   | ブルーム  | 港研    | チャン   | ブルーム  |
| $\sigma_{all}$ |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 2700           | 0.602 | 0.636 | 0.626 | 0.554 | 0.594 | 0.581 | 0.516 | 0.560 | 0.543 | 0.457 | 0.507 | 0.486 |
| 3600           | 0.825 | 0.847 | 0.886 | 0.762 | 0.792 | 0.824 | 0.710 | 0.746 | 0.773 | 0.630 | 0.677 | 0.694 |
| 4500           | 1.054 | 1.069 | 1.162 | 0.976 | 0.990 | 1.083 | 0.911 | 0.934 | 1.018 | 0.808 | 0.846 | 0.917 |
| 5400           | 1.291 | 1.271 | 1.452 | 1.195 | 1.188 | 1.356 | 1.114 | 1.120 | 1.276 | 0.992 | 1.016 | 1.153 |
| 6300           | 1.532 | 1.483 | 1.755 | 1.418 | 1.386 | 1.641 | 1.321 | 1.306 | 1.546 | 1.180 | 1.186 | 1.401 |
| 7000           | 1.721 | 1.647 | 1.999 | 1.593 | 1.540 | 1.871 | 1.488 | 1.453 | 1.764 | 1.327 | 1.316 | 1.600 |

吸収エネルギー (tfm)

| 杭径 (mm)        | φ2000  |        |        | φ2250  |        |        | φ2500  |        |        | φ3000  |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | 港研     | チャン    | ブルーム   | 港研     | チャン    | ブルーム   | 港研     | チャン    | ブルーム   | 港研     | チャン    | ブルーム   |
| $\sigma_{all}$ |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 2700           | 46.17  | 46.61  | 39.81  | 54.29  | 55.60  | 46.70  | 62.79  | 64.93  | 53.72  | 80.88  | 85.43  | 68.87  |
| 3600           | 84.42  | 82.88  | 73.97  | 99.64  | 98.76  | 86.92  | 115.12 | 115.19 | 100.11 | 148.92 | 152.33 | 128.68 |
| 4500           | 134.90 | 129.39 | 119.74 | 159.76 | 154.34 | 140.88 | 185.21 | 180.68 | 162.43 | 239.02 | 237.59 | 209.16 |
| 5400           | 198.48 | 186.33 | 177.60 | 243.84 | 222.30 | 209.14 | 271.68 | 259.78 | 241.35 | 353.11 | 342.74 | 311.25 |
| 6300           | 275.00 | 253.66 | 247.96 | 325.26 | 302.59 | 292.23 | 375.67 | 353.15 | 337.47 | 490.85 | 467.10 | 435.76 |
| 7000           | 343.51 | 313.11 | 311.55 | 406.23 | 373.53 | 367.39 | 471.30 | 437.28 | 424.47 | 613.29 | 575.94 | 548.55 |

表- 4.6 (c) 各種の杭の横抵抗の計算式による鋼管杭のたわみと吸収エネルギー

( $k_s = 0.03 \text{ kg/cm}^{3.5}$ ,  $k_h = 3 \text{ kg/cm}^3$ ,  $\phi = 32.9^\circ$ )

たわみ (m)

| 杭径 (mm)        | φ2000 |       |       | φ2250 |       |       | φ2500 |       |       | φ3000 |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                | 港研    | チャン   | ブルーム  | 港研    | チャン   | ブルーム  | 港研    | チャン   | ブルーム  | 港研    | チャン   | ブルーム  |
| $\sigma_{all}$ |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 2700           | 0.496 | 0.521 | 0.588 | 0.453 | 0.480 | 0.544 | 0.419 | 0.450 | 0.508 | 0.366 | 0.401 | 0.452 |
| 3600           | 0.675 | 0.694 | 0.829 | 0.619 | 0.643 | 0.769 | 0.573 | 0.600 | 0.720 | 0.502 | 0.536 | 0.644 |
| 4500           | 0.860 | 0.868 | 1.086 | 0.789 | 0.803 | 1.009 | 0.731 | 0.751 | 0.946 | 0.640 | 0.669 | 0.849 |
| 5400           | 1.048 | 1.041 | 1.354 | 0.962 | 0.964 | 1.261 | 0.891 | 0.901 | 1.184 | 0.783 | 0.804 | 1.065 |
| 6300           | 1.240 | 1.215 | 1.634 | 1.138 | 1.125 | 1.524 | 1.053 | 1.050 | 1.432 | 0.928 | 0.938 | 1.291 |
| 7000           | 1.390 | 1.350 | 1.859 | 1.276 | 1.249 | 1.735 | 1.184 | 1.168 | 1.632 | 1.041 | 1.042 | 1.473 |

吸収エネルギー (tfm)

| 杭径 (mm)        | φ2000  |        |        | φ2250  |        |        | φ2500  |        |        | φ3000  |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | 港研     | チャン    | ブルーム   | 港研     | チャン    | ブルーム   | 港研     | チャン    | ブルーム   | 港研     | チャン    | ブルーム   |
| $\sigma_{all}$ |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 2700           | 37.65  | 38.20  | 37.98  | 43.99  | 45.12  | 44.49  | 50.54  | 52.24  | 51.09  | 64.21  | 67.60  | 65.33  |
| 3600           | 68.44  | 67.90  | 70.47  | 80.28  | 80.15  | 82.66  | 92.01  | 92.65  | 95.07  | 117.57 | 120.56 | 121.86 |
| 4500           | 109.05 | 106.02 | 113.93 | 128.00 | 125.24 | 133.81 | 147.23 | 145.34 | 154.05 | 187.71 | 188.01 | 197.85 |
| 5400           | 159.72 | 152.69 | 168.81 | 187.33 | 180.38 | 198.46 | 215.05 | 208.91 | 228.68 | 275.90 | 271.27 | 294.14 |
| 6300           | 220.48 | 207.85 | 235.49 | 258.49 | 245.53 | 277.08 | 296.61 | 284.03 | 319.50 | 381.91 | 369.66 | 411.49 |
| 7000           | 274.74 | 256.56 | 295.72 | 322.04 | 303.10 | 348.14 | 371.45 | 361.04 | 401.64 | 475.85 | 455.80 | 517.74 |

表-4.6(d) 各種の杭の横抵抗の計算式による鋼管杭のたわみと吸収エネルギー  
 ( $k_s=0.1\text{kg/cm}^{3.5}$ ,  $k_h=10\text{kg/cm}^3$ ,  $\phi=51^\circ$ )

たわみ (m)

| 杭径 (mm) | φ2000 |       |       | φ2250 |       |       | φ2500 |       |       | φ3000 |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | 港研    | チャン   | ブルーム  | 港研    | チャン   | ブルーム  | 港研    | チャン   | ブルーム  | 港研    | チャン   | ブルーム  |
| 2700    | 0.420 | 0.438 | 0.504 | 0.382 | 0.402 | 0.463 | 0.351 | 0.372 | 0.429 | 0.303 | 0.327 | 0.378 |
| 3600    | 0.570 | 0.584 | 0.705 | 0.518 | 0.537 | 0.649 | 0.476 | 0.496 | 0.604 | 0.412 | 0.437 | 0.534 |
| 4500    | 0.722 | 0.730 | 0.917 | 0.658 | 0.670 | 0.845 | 0.605 | 0.621 | 0.788 | 0.524 | 0.545 | 0.699 |
| 5400    | 0.877 | 0.876 | 1.139 | 0.799 | 0.804 | 1.052 | 0.735 | 0.745 | 0.981 | 0.638 | 0.655 | 0.872 |
| 6300    | 1.033 | 1.022 | 1.368 | 0.942 | 0.938 | 1.266 | 0.866 | 0.868 | 1.182 | 0.753 | 0.764 | 1.052 |
| 7000    | 1.156 | 1.135 | 1.551 | 1.054 | 1.042 | 1.437 | 0.971 | 0.966 | 1.342 | 0.843 | 0.849 | 1.197 |

吸収エネルギー (tfm)

| 杭径 (mm) | φ2000  |        |        | φ2250  |        |        | φ2500  |        |        | φ3000  |        |        |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|         | 港研     | チャン    | ブルーム   | 港研     | チャン    | ブルーム   | 港研     | チャン    | ブルーム   | 港研     | チャン    | ブルーム   |
| 2700    | 31.66  | 32.13  | 33.74  | 36.74  | 37.62  | 39.33  | 41.90  | 43.19  | 44.98  | 52.65  | 55.08  | 57.08  |
| 3600    | 57.27  | 57.12  | 62.31  | 66.59  | 66.82  | 72.76  | 75.85  | 76.62  | 83.32  | 95.75  | 98.21  | 106.01 |
| 4500    | 90.71  | 89.18  | 100.40 | 105.72 | 104.42 | 117.36 | 120.85 | 120.18 | 134.55 | 152.05 | 153.17 | 171.52 |
| 5400    | 132.40 | 128.43 | 148.34 | 154.18 | 150.39 | 173.58 | 175.90 | 172.77 | 199.18 | 222.65 | 220.96 | 254.31 |
| 6300    | 182.22 | 174.85 | 206.44 | 212.13 | 204.70 | 241.78 | 241.65 | 234.14 | 277.64 | 307.21 | 301.13 | 354.97 |
| 7000    | 226.61 | 215.82 | 258.84 | 263.75 | 252.69 | 303.31 | 301.67 | 290.83 | 348.48 | 381.94 | 371.31 | 445.95 |

φ2500 頭部自由ぐい

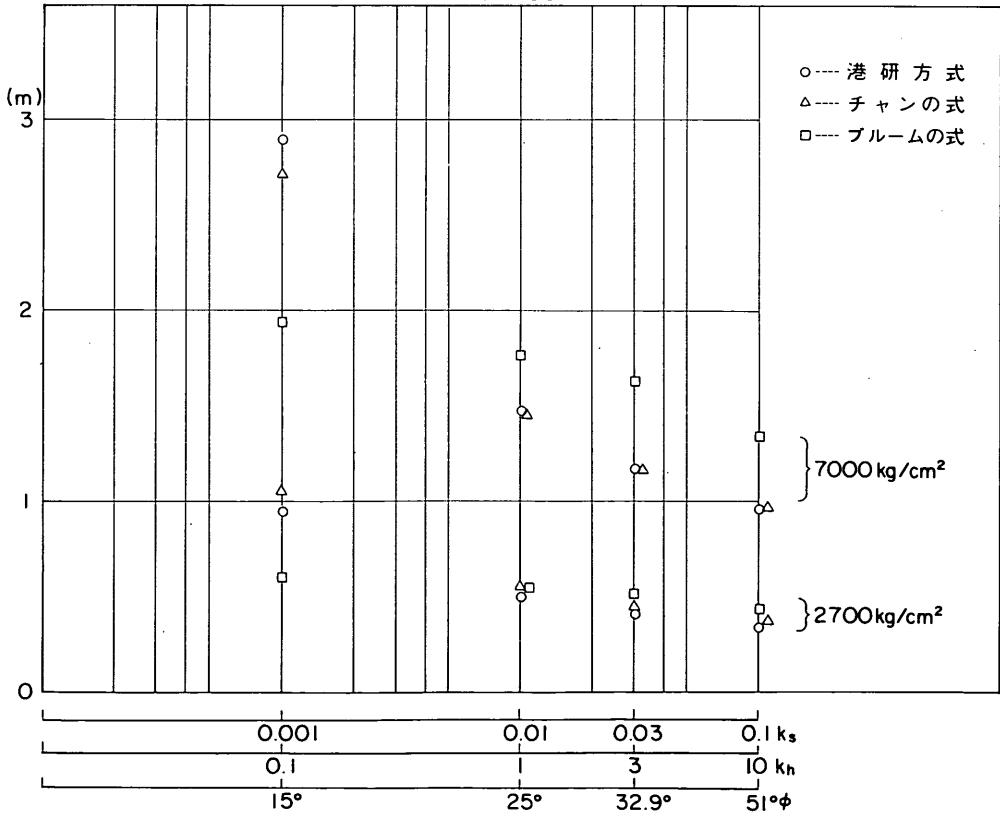


図-4.9 各種の杭の横抵抗の計算式による杭頭部変形

これらの表および図から、以下のことがいえる。

- ① 鋼管杭の許容応力度が大きければ、杭頭変位はいずれの計算法で求めてもかなり大きくなる。
- ② 横抵抗係数または地盤反力係数が小さいほど杭頭変位は大きい。
- ③ 杭径すなわち断面係数が小さいほど変形量が大きい。
- ④ 横抵抗係数または地盤反力係数が  $k_s = 0.001 \text{ kgf/cm}^3$  または、 $k_h = 0.1 \text{ kgf/cm}^3$  のように小さい場合には、Blumの式で計算した杭頭変位は港研方式または、Y. L. Changの式で計算した杭頭変位より小さい。これは、Blumの式で計算するときに必要な内部摩擦角を大崎の式で推定しているが、横抵抗係数または地盤反力係数が小さいときには適用範囲を超えるため、やや大きめの内部摩擦角を与えるためである。
- ⑤  $k_s = 0.01, 0.03 \text{ kgf/cm}^3$  または、 $k_h = 1, 3 \text{ kgf/cm}^3$  のときには、Blumの式で計算した杭頭変位は港研方式またはY. L. Changの式で計算した杭頭変位の1.2~1.4になる。
- ⑥ 港研方式またはY. L. Changの式で計算した杭頭変位はほぼ同一である。

以上のことを総括すると、高張力鋼を用いることにより、杭の大変形を期待することができ、大型係留施設の防衛工の改善が期待できることがわかる。しかし、ここで用いた三つの計算方式はそれぞれ異なった杭頭変位を与えるので、設計において用いる適切な計算法について検討をしなければならない。一般に杭が大変形をする場合の横抵抗の計算法としては上記のいずれも適当ではなく、複合地盤法などを適用するのが良いとされている。したがって、大変形する杭の横抵抗の計算法について、十分な検討が必要である。

#### 4.4 常時荷重と異常時荷重の取り扱い

我が国においては船舶の接岸は異常時の現象と考え、係留施設の鋼管杭の許容応力度を常時の値の1.5倍すなわちほぼ降伏応力度に近い値としている<sup>34)</sup>。しかしながら、定反力型防げん材を用いる場合には、許容応力度の割り増しをすると、前項に述べたことから、接岸エネルギーが小さいにもかかわらず鋼管杭に降伏応力度に近い応力度が発生することになる。図-4.5では定反力型防げん材の初期の変形においては40cmの変形量に対し300tfの反力が生じ、その後反力はやや低下するが、変形量が70cmを超えると再び増加する。図-4.5では、変形量が83.5cmのとき鋼管杭の応力度が許容応力度に達し、変形量が93cmのとき鋼管杭の応力度が降伏応力度になるとしている。しかし、我が国で行っているように許容応

力度の割り増しをすると、防げん材の変形が小さいにもかかわらず鋼管杭には降伏応力度に近い応力度が発生することになる。そのときの接岸エネルギーは、図-4.5の定反力型防げん材の場合には、約84tfmであるにすぎない。接岸速度にすると、偏心係数が0.5または0.7としてそれぞれ8.9cm/sまたは7.5cm/sとなる。この接岸速度は設計速度を15cm/s、または20cm/sとすると、その37%~59%にしかない。したがって、定反力型防げん材を用いる場合には、鋼管杭に許容応力度を割り増ししないこと、ならびに、定格変形量をあまり大きくしないで、十分な剰余エネルギーを確保するよう配慮しなければならない。

これに対し、反力漸増型防げん材を用いる場合には、鋼管杭に発生する応力度は吸収エネルギーに比例するので、接岸速度言い換えれば接岸エネルギーが小さいときに、鋼管杭に降伏応力度に近い応力度が発生することはない。したがって、鋼管杭に降伏応力度が発生するのは、設計接岸速度で船舶が接岸するときである。

いま、200,000 dwt級の原油タンカーバースの鋼管杭ドルフィンに定反力型防げん材または反力漸増型防げん材が取り付けられたとして、鋼管杭に発生する応力度の確率密度を計算してみる。ただし、ここでは、定反力型防げん材を用いる場合には、直径1,500mmの鋼管杭を6本 ( $\sigma_{all} = \sigma_y$ として設計)、8本(反力漸増型防げん材を用いて $\sigma_{all} = \sigma_y$ として設計したときの本数)、または、9本 ( $\sigma_{all} = \frac{2}{3}\sigma_y$ として設計)、反力漸増型防げん材を用いる場合には、同じく8本 ( $\sigma_{all} = \sigma_y$ として設計)または12本 ( $\sigma_{all} = \frac{2}{3}\sigma_y$ として設計)として計算する。そのとき、鋼管杭に降伏応力度が発生する荷重(防げん材反力)は、それぞれ320tf, 427tf, 480tf(定反力型防げん材)、427tf, 641tf(反力漸増型防げん材)である。大型タンカーの接岸速度および偏心係数の発生確率は、それぞれ、図-2.5および図-2.12をもとに図-4.10および図-4.11のようにする。船舶は同一船型のものとし満載で入港するものとする。また、仮想質量係数は筆者が提案する式(2.51)を用いる。

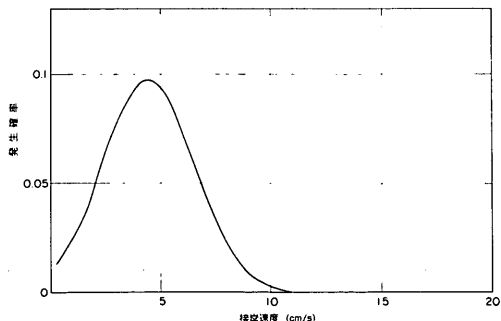


図-4.10 接岸速度の発生確率



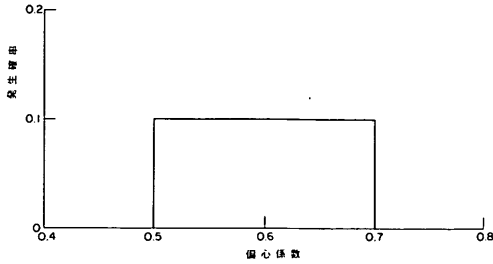


図-4.11 偏心率の発生確率

鋼管杭の応力度の累積発生確率は図-4.12のように計算される。また、鋼管杭の応力度が降伏応力度の50%、60%、70%、80%、90%、100%を超える発生確率は表-4.7のように計算される。これを見ると、定反力型防げん材を用いた場合には、降伏応力度に近い応力度の発生確率が高いことがわかる。たとえば、 $\sigma_{all} = \sigma_y$ として設計されたドルフィンに対して、 $\sigma > 0.5 \sigma_y$ になる発生確率を比べてみると、定反力型防げん材を用いた場合には0.273であるが、反力漸増型防げん材を用いた場合には0.023であって、10分の1の発生確率である。また、直径1,500mmの鋼管杭を8本（反力漸増型防げん材を用いて $\sigma_{all} = \sigma_y$ として設計したときの杭の本数）用いたドルフィンに対して $\sigma > 0.5 \sigma_y$ になる累積発生確率は、定反力型防げん材を用いた場合には0.187であるが、反力漸増型防げん材を用いた場合には0.023であって、8分の1である。ただし、発生確率の絶対値そのも

のは、 $\sigma > 0.5 \sigma_y$ になる発生確率で、0.273または0.187であって、必ずしも大きいとはいえない。これは、図-4.10に示したように、大型タンカーでは、接岸時の操船が細心の注意を払って行われるため大きな接岸速度の発生確率が小さいためである。しかし、3に述べたように、接岸のみならず係留船舶の動揺をも考慮して防げん材の選定を行う場合には、さらに応力度の繰り返し発生回数に注意しなければならない。

以上のことから、鋼管杭式ドルフィンの許容応力度の割り増しは、防げん材の種類、接岸および係留によって鋼管杭に発生する応力度の回数に留意して決定しなければならないと結論される。とくに、定反力型防げん材を用いる場合には割り増し係数を1.5とするのは適当ではないと考える。また、常時または異常時の取り扱いは、吸収エネルギーベースで考えるのが妥当であるが、鋼管杭に降伏応力度に近い応力度が発生しないという前提で考えねばならない。たとえば、累積発生確率が99%に相当する接岸エネルギーに対しては常時扱いとして許容応力度の割り増しは行わないが、それ以上の接岸エネルギーに対しては異常時扱いとして許容応力度を割り増してよいとするのも一つの方法である。ただし、常時の接岸エネルギーは防げん材の吸収エネルギーの1.5分の1以下でなければならない。また、常時の接岸エネルギーに対する鋼管杭の応力度は降伏応力度の0.82倍以下とする。常時と異常時との遷移区間については安全側になるよう処置する。

表-4.7 鋼管杭の応力度が降伏応力度の50%、60%、70%、80%、90%、100%を超える確率

|                         | 定                                   |   |   | 漸                                   |   |
|-------------------------|-------------------------------------|---|---|-------------------------------------|---|
|                         | $\sigma_{all} = \sigma_y$<br>320 tf | $\sigma_{all} = 0.9 \sigma_y$<br>427 tf | $\sigma_{all} = \frac{2}{3} \sigma_y$<br>480 tf | $\sigma_{all} = \sigma_y$<br>427 tf | $\sigma_{all} = \frac{2}{3} \sigma_y$<br>641 tf |
| $\sigma > 0.5 \sigma_y$ | 0.273                               | 0.187                                   | 0.130   | 0.023                               | $1.17 \times 10^{-4}$                           |
| $\sigma > 0.6 \sigma_y$ | 0.169                               | 0.086                                   | 0.010   | $3.73 \times 10^{-3}$               | $4.11 \times 10^{-6}$                           |
| $\sigma > 0.7 \sigma_y$ | 0.112                               | $8.36 \times 10^{-3}$                   | $3.57 \times 10^{-7}$                           | $5.06 \times 10^{-4}$               | $1.05 \times 10^{-7}$                           |
| $\sigma > 0.8 \sigma_y$ | 0.058                               | $1.64 \times 10^{-7}$                   | $4.62 \times 10^{-8}$                           | $1.51 \times 10^{-5}$               | $2.82 \times 10^{-9}$                           |
| $\sigma > 0.9 \sigma_y$ | 0.027                               | $6.29 \times 10^{-8}$                   | $1.23 \times 10^{-8}$                           | $1.75 \times 10^{-6}$               | $1.68 \times 10^{-10}$                          |
| $\sigma > 1.0 \sigma_y$ | $7.39 \times 10^{-7}$               | $2.90 \times 10^{-8}$                   | $3.11 \times 10^{-9}$                           | $1.64 \times 10^{-7}$               | $7.15 \times 10^{-12}$                          |

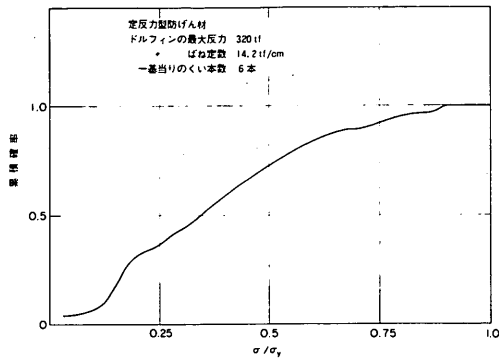


図-4.12(a) 鋼管杭の応力度の累積発生確率

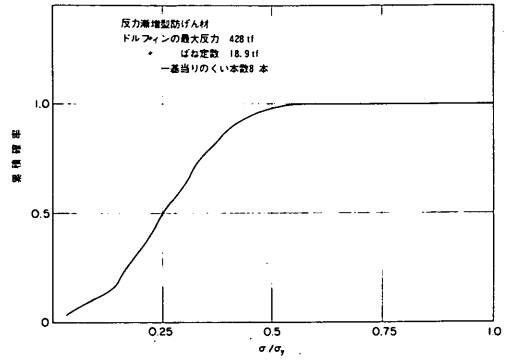


図-4.12(d) 鋼管杭の応力度の累積発生確率

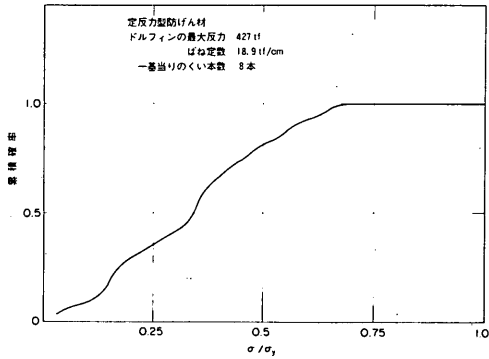


図-4.12(b) 鋼管杭の応力度の累積発生確率

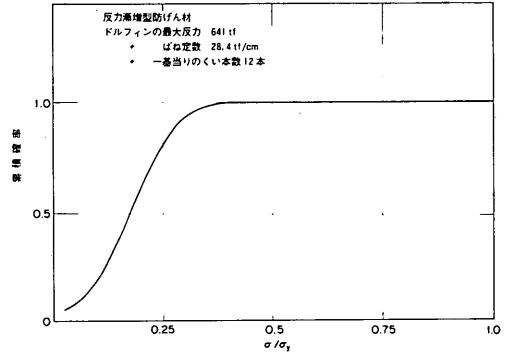


図-4.12(e) 鋼管杭の応力度の累積発生確率

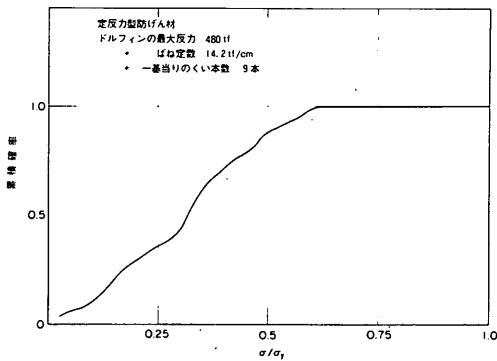


図-4.12(c) 鋼管杭の応力度の累積発生確率

## 5. 防衛工の設計法の提案

### 5.1 概 説

本章では2および3に示した防衛工の設計法をとりまとめ、船舶の接岸時および係留時を考慮して防衛工を設計する方法を提案する。また、防げん材の圧縮せん断特性および試作防げん材の特性について述べる。さらに、港湾構造物集覧および横浜港、神戸港における防げん材設置の実態調査の結果を示し、設計の参考とする。

ゴム式および空気式、くい式防げん材の設計は、接岸時および係留時を考慮して、一般に次に示す順序で行う。係留時の検討は、船舶が荒天時に避泊をする場合、避泊はしないが荷役時に長周期波の影響を受けて船舶の動揺が大きくなることが予想される場合について行う。荷役の限界風速は一般に15m/sと考えられている。したがって、荒天時は風速15m/s以上を考えねばならないが、台風または、季節風を対象として、最大平均風速で30~40

m/sまでは考慮しなければならない。

防衛工の設計法の詳細は2および3に示したとおりであるが、係留中の船舶の動揺を考慮した防衛工の選定に当たっては、波および風の条件を考慮して、適切に行わなければならない。一般に、防衛工の変位復元力特性は柔らかいものがよいが、荒天時に対しては定常風荷重に対する防衛工の変形量が大きすぎないように配慮しなければならない。以下の5.2および5.3においては、防衛工の設計事例を荒天時の避泊を考慮する場合と考慮しない場合について紹介する。また、係留中の船舶の動揺が大きい場合には、防衛工に圧縮およびせん断の多方向の力が作用するので、その場合の防衛工の変位復元力特性を調べておく必要がある。5.4にその試験結果および圧縮せん断特性を改善する目的で製作した防衛工について記述する。5.5においては港湾構造物集覧および横浜港、神戸港における防げん材設置の実態調査の結果を示す。

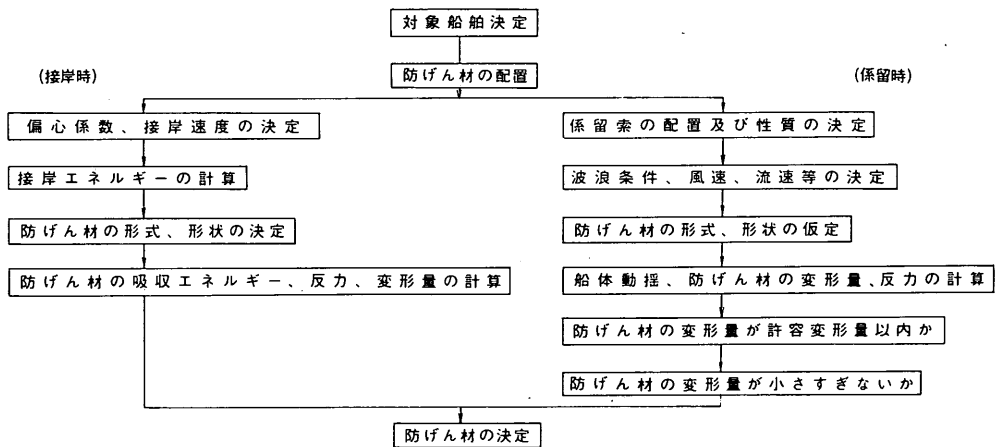


図-5.1 防げん材設計の手順

### 5.2 荒天時の避泊を考えない場合の事例

ここでは、長周期波の作用を受けて係留船舶が動揺し、荷役に支障をきたすおそれがある場合について、防衛工の選定例を示す。ただし、この検討では、荒天時の避泊をしないものとするので、船舶の係留時における風速は15m/s以下とする。対象船舶は3,000dwt級のタンカーで満載で入港するものとする。

まず、接岸に対して防衛工を検討する。接岸速度を10cm/sとすると、仮想質量係数を1.53、偏心係数を0.5とすると、接岸エネルギーは5tfmとなる。したがって、V型の防げん材（以下定反力型防げん材と記述する）400H

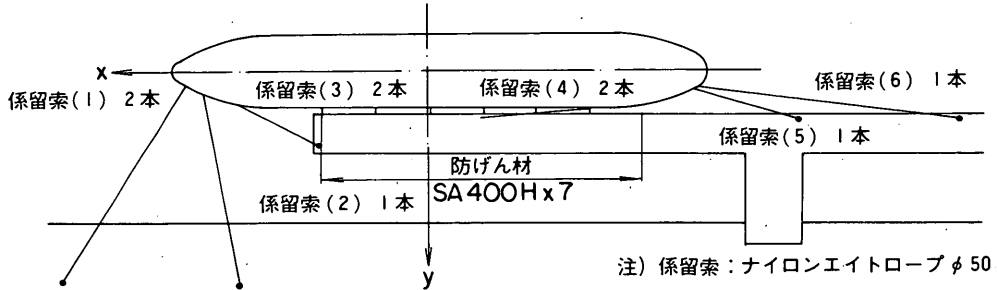
×1,500Lを用い8m間隔に7本設置する。接岸に対して、空気式防げん材（以下反力漸増型防げん材と記述する）を用いるとすれば、800H×1070φを用いることになるが、つぎに検討する係留中の船舶の動揺を考慮して選定したものと比較し、高さの大きいものを選定することにする。

つぎに、係留中の動揺を考慮して防衛工を選定する。すでに3.10で述べた手順に従って選定すると、反力漸増型防げん材1200H×1600φ、または、1000H×1330φ（いずれも内圧は1.0kgf/cm<sup>2</sup>）を用い24m間隔に2本設置する。上記の接岸に対して求めた防げん材と比較すると、係留中に対して求めたもののほうが高さ大きい

ので、ここでは1200H×1600φまたは、1000H×1330φ（いずれも内圧は1.0 kgf/cm<sup>2</sup>）を用いる。

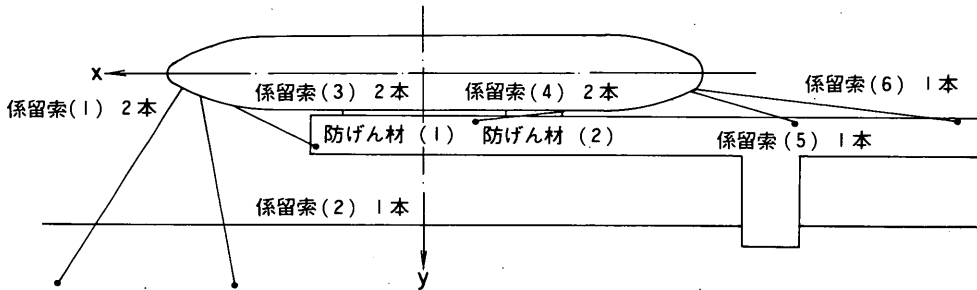
トロープとφ30mmのワイヤーロープのコンビネーションである。

図-5.2(a), (b)は船舶の係留図である。係留索はφ50mmのナイロンエイトロープまたはφ50mmのナイロンエイ



注) 係留索：ナイロンエイトロープ φ 50

図-5.2(a) 船舶の係留図



注) 防げん材：ABF-P 1000H 又は ABF-P 1200H

係留索：ナイロンエイトロープ φ 50 又は ナイロンエイトロープ φ 50 + ワイヤロープ φ 30

図-5.2(b) 船舶の係留図

図-5.3は船舶の動揺によって生じる防衝工の変形量と反力との関係を示したものである。定反力型防げん材を用いた場合には反力漸増型防げん材を用いた場合に比較して、防衝工の変形量は小さいが、反力は反力漸増型防げん材を用いた場合の2倍以上になることがわかる。とくに、長周期波に対してその差異が大きいが、同一周期の波に対しては、定反力型防げん材を用いた場合の有義波高が30cmのときの防衝工変形量は、反力漸増型防げん材を用いた場合の有義波高が50cmのときの防衝工変形量とはほぼ一致する。

図-5.4は係留船舶の動揺量を示したものである。横軸の0点は係留岸の法線である。正の方向が防衝工を圧縮する方向で、負の方向が係留岸から離れる方向である。定反力型防げん材を用いた場合には、反力漸増型防げん材を用いた場合に比べて係留岸から離れる方向の動揺量が大きい。この傾向はとくに長周期波が作用するときに

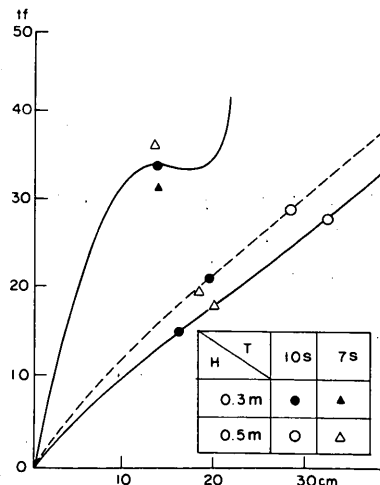


図-5.3 船舶の動揺によって生じる防げん材の変形量と反力との関係

大きい。防衛工の変位復元力特性が係留索の変位復元力特性に比較して相対的に硬いと、長周期波に対して係留船舶の動揺が大きくなって荷役に影響を及ぼすことがあるので、防衛工の選定には十分な注意を要する。

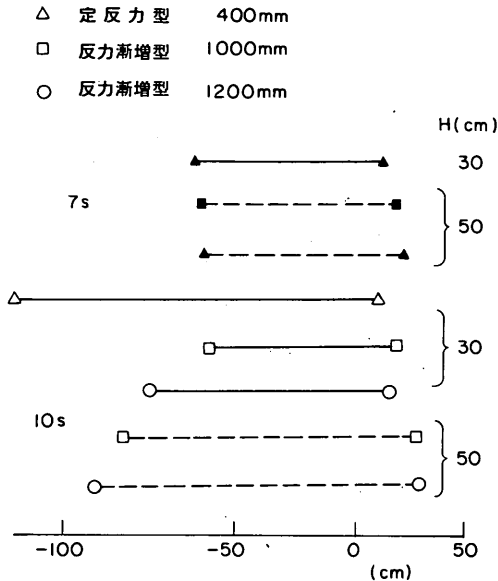


図-5.4 係留船舶の動揺量

### 5.3 荒天時の避泊を考える場合

#### (1) 概 説

ここでは、排水量が10,000 tf級の船舶について荒天時の避泊を考慮した防衛工の選定事例を示す。対象船舶の諸元は、全長130m、船幅19m、満載喫水6.87m、軽荷喫水6.26mである。

#### (2) 防衛工の選定

3.10に示した手順に従って、表-5.1に示す外力条件に対し防衛工の設計を行った。検討に当たっては、同種の防衛工からなる単一防衛工システムおよび複数の異種の防衛工からなる複合防衛工システムについて検討した結果、荒天時および利用時の安全性および稼働性を考慮して、図-5.5に示す複合防衛工システムを採用することとした。防衛工の配置は、係船岸中央部に定反力型防げん材(高さ1600mm)を3個、その両側に反力漸増型防げん材(高さ1800mm)を2個ずつとする。ただし、定反力防げん材の法線は反力漸増型防げん材の法線より15cm後退している。

なお、係留索はφ65mmのナイロンエイトロープおよびφ40mmのワイヤロープを図-5.5に示すように配置する。

### (3) 動揺シミュレーションによる検討

表-5.1に示した外力条件に対し動揺計算を実施した。その結果、表-5.2に示すように、風向310°、風速35m/s、波向270°、波周期12s、波高0.6mの外力条件に対し、軽荷時に防衛工2または7の反力が許容値を超える。

表-5.1 外力条件

| 条 件     | 諸 元 | 異 常 時  |       | 常 時        |
|---------|-----|--------|-------|------------|
|         |     | I      | II    |            |
| 波 浪 条 件 | 波 高 | 0.9 m  | 0.6 m | 0.1~0.2 m  |
|         | 波 向 | 335°   | 285°  | 285°, 335° |
|         | 波周期 | 12.0s  | 12.0s | 4~15s      |
| 風 条 件   | 風 速 | 35 m/s |       | 0~15m/s    |
|         | 風 向 | 0~360° |       | 310°       |

表-5.2 防げん材の反力が許容値を超える外力条件

| 風向(deg) | 風速(m/s) | 波向(deg) | 波高(m) | 周期(s) | 載荷条件 | 係留系  | 反力(tf) | 許容値(tf) |
|---------|---------|---------|-------|-------|------|------|--------|---------|
| 310     | 35      | 270     | 0.6   | 12.0  | 軽荷   | 防舷材2 | 155.14 | 111.5   |
| "       | "       | "       | "     | "     | "    | " 7  | 160.83 | "       |
| "       | "       | 265     | 0.5   | "     | "    | "    | 119.17 | "       |
| "       | "       | "       | 0.6   | "     | "    | "    | 133.42 | "       |
| "       | "       | "       | "     | "     | 満載   | "    | 129.68 | "       |

### 5.4 防衛工の特性について

#### (1) 概 説

係留船舶の動揺が大きい場合には防衛工の圧縮およびせん断の多方向の荷重が作用するので、そのときの防衛工の変位復元力特性と著しく異なることが予想される。この現象はとくにゴム防げん材に顕著であると考えられる。そこで、このような、圧縮およびせん断の多方向の荷重を受けるゴム防げん材の特性試験を行った。

#### (2) 実験の概要

実験は、電気油圧式振動疲労試験機(50 tf アクチュエーター、5 tf アクチュエーター)および防衛工特性試験用治具を用いて行った。鉛直方向は、50 tf アクチュエーターで圧縮力を、また水平方向は5 tf アクチュエーターでせん断力を作用させた。この圧縮力とせん断力との組み合わせで5種類の試験を行った。

##### a) 実験の全体計画

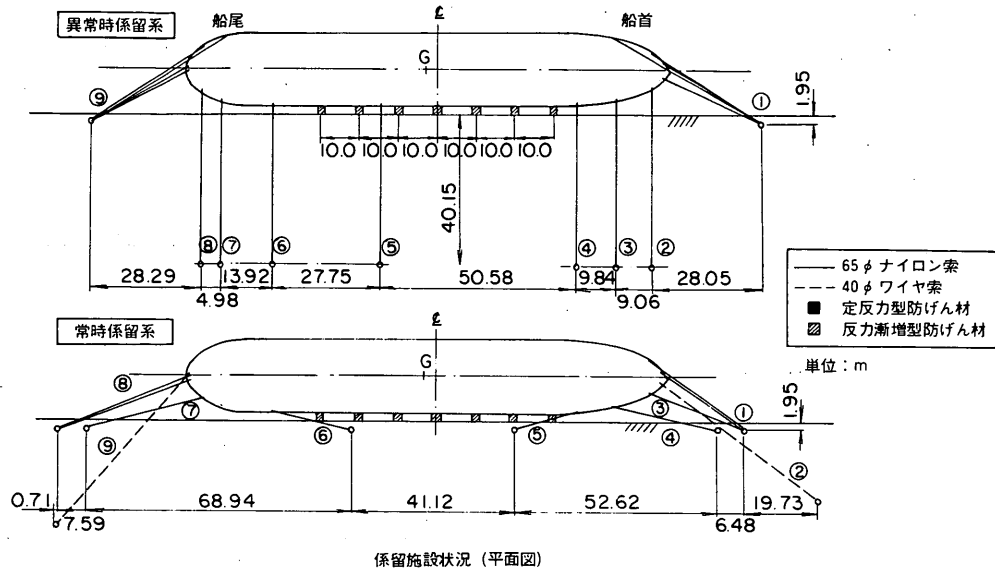
実験は、後述するTYPE A, B, Cの3種の防げん材に対し、表-5.3に示すように5種類の試験を行った。試験の内容は下記に示すとおりである。

##### イ) 単純圧縮試験

圧縮方向のみ一定の周期で作用させる。

##### ロ) 単純せん断試験

せん断方向のみ一定の周期で作用させる。



係留施設状況 (平面図)

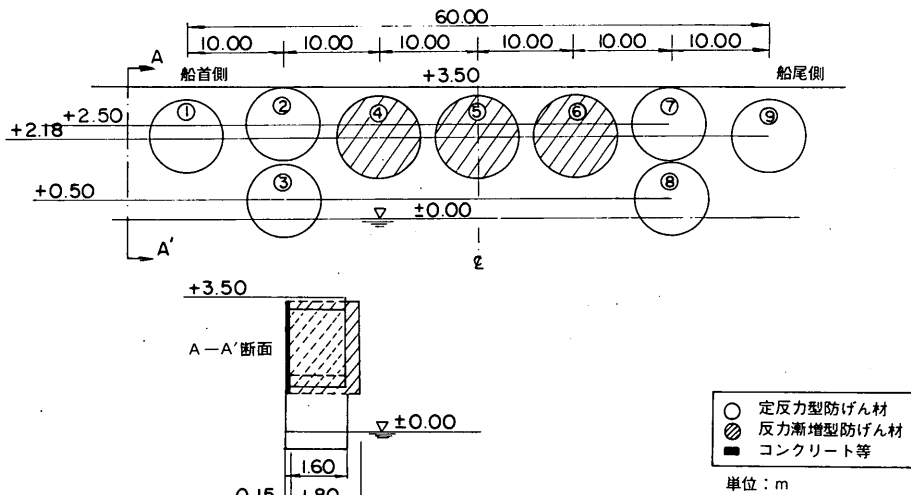


図-5.5 複合防げん材システム

ハ) 圧縮せん断試験

① 等圧縮せん断試験

圧縮方向に一定の変形を与え、せん断方向は一定の周期で繰り返し変形させる。

② 等せん断圧縮試験

せん断方向に一定の変形を与え、圧縮方向は一定の周期で繰り返し変形させる。

ニ) 繰り返し圧縮せん断試験

圧縮方向およびせん断方向に同時に一定の周期で繰り返し変形させる。

各周期に対する載荷回数は、以下のとおりとする。

|      |    |       |
|------|----|-------|
| 30 s | …… | 300回  |
| 20 s | …… | 500回  |
| 10 s | …… | 1000回 |
| 5 s  | …… | 2000回 |

また、表-5.3に示す圧縮せん断および繰り返し圧縮せん断の各試験の周期は、30, 20, 10, 5sである。

使用した防げん材は定反力型防げん材2種、(TYPE A, C), 反力漸増型防げん材1種 (TYPE B)とした。ただし、定反力型防げん材の一つ (TYPE C)は

方向性の検討を行う必要があるので、直交する二つの方向(方向を変えたものは、たとえばTYPE C 2Cなどと

ケース番号の末尾にCを付した)に対して検討した。

c) 試験装置と計測項目

1) 試験装置

防衛工の特性試験は図-5.6に示すように、電気油圧式振動疲労試験機を用いて行った。鉛直方向に50tfアクチュエーターで圧縮力を、また、水平方向に5tfアクチュエーターでせん断力(引張力)を与えた。

2) 計測項目および計測器

計測は、鉛直(圧縮)方向荷重、変位および水平(せん断)方向荷重、変位、温度について行った。使用した計測器は下記に示すとおりである。

- ①荷重計(ロードセル)…… アクチュエーターに付属するものを使用
- ②変位計(鉛直方向)…… ±100mm 2台使用  
(水平方向)…… ±200mm 1台使用
- ③温度計 …………… -50.0°~+99.9°測定可能
- ④動歪測定器(アンブ)…… 3ch. 使用
- ⑤データレコーダ …… 7ch. 使用
- ⑥電磁オシログラフ

計測器の接続は図-5.7のように行った。

表-5.3 実験ケース

| 実験内容         | 防げん材No         | 1   | 2   | 3  |
|--------------|----------------|-----|-----|----|
| 1. 単純圧縮      | 100s           | ○△□ | ○△□ | ○△ |
| "            | 30, 20, 10, 5s | ○△□ | □   | ○△ |
| 2. 単純せん断     | 100s           | ○△□ | ○△□ | ○△ |
| "            | 30, 20, 10, 5s |     | ○△  |    |
| 3. 圧縮せん断     |                |     |     |    |
| 3.1 等圧縮せん断   | 5%             |     | ○△  |    |
| 3.2 "        | 10%            |     | ○△  |    |
| 3.3 "        | 20%            |     | ○△  |    |
| 3.4 等せん断圧縮   | 5%             | ○△□ | □   |    |
| 3.5 "        | 10%            | △□  | □   |    |
| 3.6 "        | 20%            | △   |     |    |
| 4. 繰り返し圧縮せん断 |                |     |     |    |
| 4.1 圧縮せん断    | 5%             |     |     | ○△ |
| 4.2 "        | 10%            |     |     | ○△ |
| 4.3 "        | 20%            |     |     | △  |

(○:TYPE-A, △:TYPE-B, □:TYPE-C)

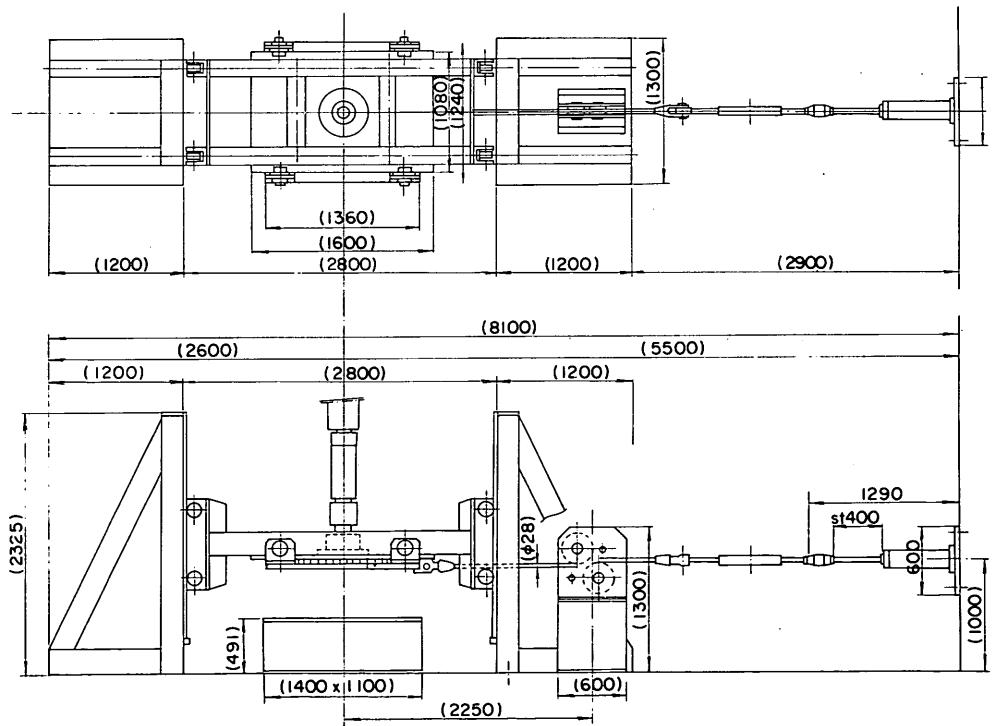


図-5.6 試験装置

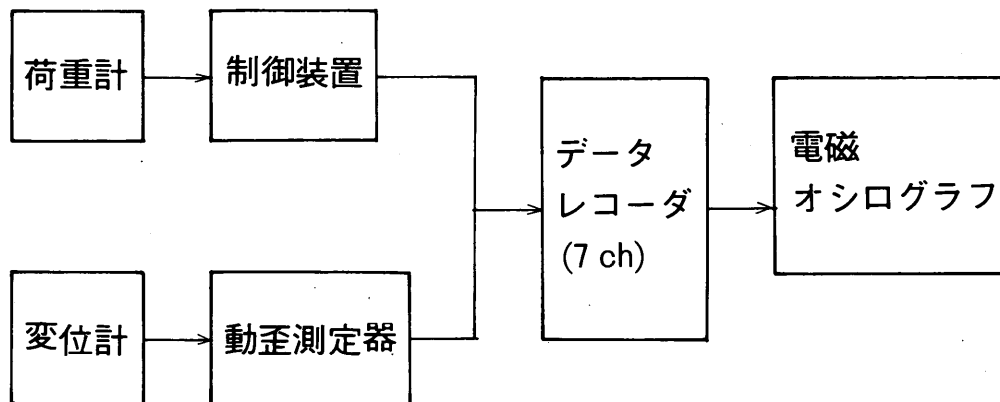


図-5.7 計測器の接続

(3) データの解析および結果

データレコーダにより記録されたデータは、A/D変換機でデジタルに変換し、パーソナルコンピュータを用い計算および作図を行った。

それらの結果は表-5.4~5.24に示すとおりである。まず、表-5.4~5.11は単純圧縮試験におけるゴム防げん材の反力に対する等せん断圧縮試験におけるゴム防げん材の反力の比を示したものである。これらを見ると定反力型防げん材の一部には、等せん断圧縮試験における防げん材の反力が単純圧縮試験におけるゴム防げん材の反力の60%程度になるものがあることがわかる。また、表-5.12~5.24は繰り返し载荷試験における反力の変化を示したものである。第10回目の载荷に対する反力を1として、これに対する比で表している。いずれのゴム防げん材についても、载荷回数とともに数%の反力の低下がみられるがさほど大きな変化ではない。また、一部に載

荷回数100回以上の反力が第10回目の反力より大きいものがある(表5.16)が、この場合に限り第10回目の反力の測定値がやや小さかったためである。しかし、これも、5%以下であるので、上記の結論を変更することはないと考える。なお、単純せん断試験および等圧縮せん断試験においては、せん断力を検出したが、TYPE A, Bの防げん材については所定のせん断変形に対するせん断力が小さく、すなわち、せん断剛性が小さく、出力にノイズが混入し解析が困難であったこと、また、TYPE Cの防げん材については所定のせん断変形を与えるためのせん断力が大きすぎて試験装置の能力を上回ったため試験を遂行することが困難であったことなどから、これらの試験結果は割愛する。また、繰り返し圧縮せん断試験においては圧縮荷重とせん断荷重とを同期させるよう試みたが、各载荷回数ごとに位相のずれが生じ、有意な結果が得られたとは判断できないので、これも割愛する。

表-5.4 等せん断圧縮試験と単純圧縮試験の防げん材の反力比

TYPE-A1 単純圧縮, 等せん断圧縮(圧15cm, せん5%)

| 周期(S)<br>载荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 0.67 | 0.64 | 0.53 | 0.74 |
| 101~110       | —    | 0.62 | —    | 0.64 |
| 191~200       | 0.64 | 0.59 | 0.54 | 0.64 |
| 291~300       | 0.64 | 0.59 | 0.55 | 0.61 |
| 391~400       |      | 0.58 | 0.59 | 0.60 |
| 491~500       |      | 0.58 | 0.57 | 0.60 |
| 591~600       |      |      | 0.59 | 0.58 |
| 691~700       |      |      | 0.58 | 0.60 |
| 791~800       |      |      | 0.59 | 0.59 |
| 891~900       |      |      | 0.58 | 0.60 |
| 991~1000      |      |      | 0.59 | 0.60 |
| 1241~1250     |      |      |      | 0.61 |
| 1491~1500     |      |      |      | 0.60 |
| 1991~2000     |      |      |      | 0.58 |

表-5.5 等せん断圧縮試験と単純圧縮試験の防げん材の反力比

TYPE-B1 単純圧縮, 等せん断圧縮(圧15cm, せん5%)

| 周期(S)<br>载荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 1.02 | —    | —    | 1.02 |
| 101~110       | 1.05 | 0.96 | 1.05 | 0.99 |
| 191~200       | 1.03 | 1.01 | 1.05 | 1.01 |
| 291~300       | 1.02 | 1.01 | 1.06 | 1.02 |
| 391~400       |      | 1.01 | 1.08 | 1.03 |
| 491~500       |      | 1.02 | 1.06 | 1.07 |
| 591~600       |      |      | 1.06 | 1.03 |
| 691~700       |      |      | 1.10 | 1.04 |
| 791~800       |      |      | 1.08 | 1.03 |
| 891~900       |      |      | 1.07 | 1.02 |
| 991~1000      |      |      | 1.07 | 1.02 |
| 1241~1250     |      |      |      | 1.01 |
| 1491~1500     |      |      |      | 1.03 |
| 1991~2000     |      |      |      | 1.02 |



表-5.6 等せん断圧縮試験と単純圧縮試験の防げん材の反力比

TYPE-B1 単純圧縮, 等せん断圧縮(圧・15cm, せん・10%)

| 周期(S)<br>載荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 1.06 | —    | —    | 0.90 |
| 101~110       | 1.05 | 0.95 | 1.01 | 0.90 |
| 191~200       | 1.04 | 0.98 | 1.01 | 0.90 |
| 291~300       | 1.04 | 1.00 | 1.04 | 0.94 |
| 391~400       |      | 1.00 | 1.03 | 0.94 |
| 491~500       |      | 1.02 | 1.03 | 0.96 |
| 591~600       |      |      | 1.11 | 0.95 |
| 691~700       |      |      | —    | 0.94 |
| 791~800       |      |      | 1.02 | —    |
| 891~900       |      |      | 1.03 | 0.94 |
| 991~1000      |      |      | 1.05 | 0.95 |
| 1241~1250     |      |      |      | 0.97 |
| 1491~1500     |      |      |      | 0.97 |
| 1991~2000     |      |      |      | 0.97 |

表-5.7 等せん断圧縮試験と単純圧縮試験の防げん材の反力比

TYPE-B1 単純圧縮, 等せん断圧縮(圧・15cm, せん・20%)

| 周期(S)<br>載荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 1.11 | —    | —    | 1.08 |
| 101~110       | —    | —    | 1.06 | 1.10 |
| 191~200       | 1.10 | —    | 1.05 | 1.10 |
| 291~300       | 1.09 | 1.14 | 1.06 | 1.09 |
| 391~400       |      | —    | 1.06 | 1.09 |
| 491~500       |      | —    | 1.06 | 1.10 |
| 591~600       |      |      | 1.05 | 1.13 |
| 691~700       |      |      | 1.10 | 1.09 |
| 791~800       |      |      | 1.10 | 1.08 |
| 891~900       |      |      | 1.08 | 1.04 |
| 991~1000      |      |      | 1.09 | 1.08 |
| 1241~1250     |      |      |      | —    |
| 1491~1500     |      |      |      | —    |
| 1991~2000     |      |      |      | 1.09 |

表-5.8 等せん断圧縮試験と単純圧縮試験の防げん材の反力比

TYPE-C1 単純圧縮, 等せん断圧縮(圧・20cm, せん・5%)

| 周期(S)<br>載荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 0.88 | 0.88 | 0.90 | —    |
| 101~110       | 0.89 | 0.90 | 0.89 | 0.90 |
| 191~200       | 0.89 | 0.89 | 0.91 | 0.93 |
| 291~300       | 0.91 | 0.90 | 0.92 | 0.92 |
| 391~400       |      | 0.90 | 0.92 | 0.92 |
| 491~500       |      | 0.90 | 0.92 | 0.93 |
| 591~600       |      |      | 0.93 | 0.93 |
| 691~700       |      |      | 0.92 | 0.93 |
| 791~800       |      |      | 0.91 | 0.93 |
| 891~900       |      |      | 0.92 | 0.93 |
| 991~1000      |      |      | 0.91 | —    |
| 1241~1250     |      |      |      | 0.94 |
| 1491~1500     |      |      |      | 0.94 |
| 1991~2000     |      |      |      | 0.95 |

表-5.9 等せん断圧縮試験と単純圧縮試験の防げん材の反力比

TYPE-C1 単純圧縮, 等せん断圧縮(圧・20cm, せん・10%)

| 周期(S)<br>載荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 0.91 | 0.90 | 0.95 | —    |
| 101~110       | 0.91 | 0.91 | 0.93 | 0.91 |
| 191~200       | 0.91 | 0.91 | 0.95 | 0.94 |
| 291~300       | 0.92 | 0.91 | 0.94 | 0.92 |
| 391~400       |      | 0.92 | 0.95 | 0.92 |
| 491~500       |      | 0.92 | 0.94 | 0.94 |
| 591~600       |      |      | 0.94 | 0.94 |
| 691~700       |      |      | 0.95 | 0.95 |
| 791~800       |      |      | 0.95 | 0.95 |
| 891~900       |      |      | 0.94 | 0.95 |
| 991~1000      |      |      | 0.94 | 0.95 |
| 1241~1250     |      |      |      | 0.95 |
| 1491~1500     |      |      |      | 0.95 |
| 1991~2000     |      |      |      | 0.96 |

表-5.10 等せん断圧縮試験と単純圧縮試験の防げん材の反力比

TYPE-C2C 単純圧縮, 等せん断圧縮(圧・20cm, せん・5%)

| 周期(S)<br>載荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 1.00 | 0.99 | 0.98 | 0.99 |
| 101~110       | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.99 |
| 191~200       | 0.99 | 0.97 | 0.99 | 0.98 |
| 291~300       | 0.98 | 0.97 | 0.98 | 0.98 |
| 391~400       |      | —    | 0.98 | 0.98 |
| 491~500       |      | 0.95 | 0.97 | 0.98 |
| 591~600       |      |      | 0.96 | 0.98 |
| 691~700       |      |      | 0.97 | 0.97 |
| 791~800       |      |      | 0.97 | 0.97 |
| 891~900       |      |      | 0.97 | —    |
| 991~1000      |      |      | 0.97 | 0.98 |
| 1241~1250     |      |      |      | 0.99 |
| 1491~1500     |      |      |      | 0.98 |
| 1991~2000     |      |      |      | 0.98 |

表-5.11 等せん断圧縮試験と単純圧縮試験の防げん材の反力比

TYPE-C2C 単純圧縮, 等せん断圧縮(圧・20cm, せん・10%)

| 周期(S)<br>載荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 0.97 | 0.99 | 0.95 | 1.05 |
| 101~110       | 0.97 | 0.98 | 0.95 | 1.03 |
| 191~200       | 0.97 | 0.96 | 0.96 | 1.01 |
| 291~300       | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 1.02 |
| 391~400       |      | 0.94 | 0.96 | 1.02 |
| 491~500       |      | 0.94 | 0.96 | 1.02 |
| 591~600       |      |      | 0.96 | 1.01 |
| 691~700       |      |      | 0.96 | 1.01 |
| 791~800       |      |      | 0.96 | 1.01 |
| 891~900       |      |      | 0.96 | 1.01 |
| 991~1000      |      |      | 0.96 | 1.01 |
| 1241~1250     |      |      |      | 1.02 |
| 1491~1500     |      |      |      | 1.02 |
| 1991~2000     |      |      |      | 1.02 |

表-5.12 繰り返し荷試験における防げん材の反力の  
変化

TYPE-A1 単純圧縮

| 周期(S)<br>荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|--------------|------|------|------|------|
| 1~10         | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 101~110      | —    | 0.96 | —    | 1.04 |
| 191~200      | 0.88 | 0.94 | 0.92 | 1.03 |
| 291~300      | 0.86 | 0.93 | 0.91 | 1.03 |
| 391~400      |      | 0.93 | 0.87 | 1.03 |
| 491~500      |      | 0.92 | 0.87 | 1.02 |
| 591~600      |      |      | 0.85 | 1.04 |
| 691~700      |      |      | 0.85 | 1.01 |
| 791~800      |      |      | 0.85 | 1.01 |
| 891~900      |      |      | 0.84 | 1.00 |
| 991~1000     |      |      | 0.84 | 0.99 |
| 1241~1250    |      |      |      | 0.98 |
| 1491~1500    |      |      |      | 0.98 |
| 1991~2000    |      |      |      | 0.98 |

表-5.13 繰り返し荷試験における防げん材の反力の  
変化

TYPE-A1 等せん断圧縮(圧・15cm, せん・5%)

| 周期(S)<br>荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|--------------|------|------|------|------|
| 1~10         | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 101~110      | 0.87 | 0.93 | 0.96 | 0.90 |
| 191~200      | 0.84 | 0.87 | 0.94 | 0.89 |
| 291~300      | 0.82 | 0.87 | 0.94 | 0.85 |
| 391~400      |      | 0.84 | 0.96 | 0.83 |
| 491~500      |      | 0.84 | 0.93 | 0.83 |
| 591~600      |      |      | 0.95 | 0.82 |
| 691~700      |      |      | 0.94 | 0.82 |
| 791~800      |      |      | 0.94 | 0.82 |
| 891~900      |      |      | 0.92 | 0.81 |
| 991~1000     |      |      | 0.93 | 0.80 |
| 1241~1250    |      |      |      | 0.81 |
| 1491~1500    |      |      |      | 0.79 |
| 1991~2000    |      |      |      | 0.77 |

表-5.14 繰り返し荷試験における防げん材の反力の  
変化

TYPE-B1 単純圧縮

| 周期(S)<br>荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|--------------|------|------|------|------|
| 1~10         | 1.00 | —    | —    | 1.00 |
| 101~110      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.98 |
| 191~200      | 1.00 | 0.97 | 1.00 | 0.96 |
| 291~300      | 1.00 | 0.97 | 0.99 | 0.96 |
| 391~400      |      | 0.97 | 0.99 | 0.96 |
| 491~500      |      | 0.97 | 0.99 | 0.95 |
| 591~600      |      |      | 1.00 | 0.96 |
| 691~700      |      |      | 0.99 | 0.96 |
| 791~800      |      |      | 0.99 | 0.96 |
| 891~900      |      |      | 0.99 | 0.97 |
| 991~1000     |      |      | 0.99 | 0.97 |
| 1241~1250    |      |      |      | 0.96 |
| 1491~1500    |      |      |      | 0.96 |
| 1991~2000    |      |      |      | 0.97 |

表-5.15 繰り返し荷試験における防げん材の反力の  
変化

TYPE-B1 等せん断圧縮(圧・15cm, せん・5%)

| 周期(S)<br>荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|--------------|------|------|------|------|
| 1~10         | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 101~110      | 1.03 | 1.02 | 0.98 | 0.95 |
| 191~200      | 1.01 | 1.04 | 0.98 | 0.95 |
| 291~300      | 1.00 | 1.04 | 0.98 | 0.95 |
| 391~400      |      | 1.05 | 1.00 | 0.96 |
| 491~500      |      | 1.05 | 0.98 | 0.99 |
| 591~600      |      |      | 0.99 | 0.96 |
| 691~700      |      |      | 1.01 | 0.97 |
| 791~800      |      |      | 1.00 | 0.98 |
| 891~900      |      |      | 0.99 | 0.97 |
| 991~1000     |      |      | 0.99 | 0.96 |
| 1241~1250    |      |      |      | 0.96 |
| 1491~1500    |      |      |      | 0.96 |
| 1991~2000    |      |      |      | 0.96 |

表-5.16 繰り返し荷試験における防げん材の反力の  
変化

TYPE-B1 等圧縮せん断(圧・15cm, せん・10%)

| 周期(S)<br>荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|--------------|------|------|------|------|
| 1~10         | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 101~110      | 0.99 | 1.01 | 0.99 | 0.98 |
| 191~200      | 0.98 | 1.01 | 0.99 | 0.96 |
| 291~300      | 0.98 | 1.03 | 1.01 | 1.00 |
| 391~400      |      | 1.03 | 1.00 | 1.00 |
| 491~500      |      | 1.05 | 1.00 | 1.01 |
| 591~600      |      |      | 1.01 | 1.01 |
| 691~700      |      |      | —    | 1.00 |
| 791~800      |      |      | 0.99 | —    |
| 891~900      |      |      | 1.00 | 1.01 |
| 991~1000     |      |      | 1.02 | 1.02 |
| 1241~1250    |      |      |      | 1.03 |
| 1491~1500    |      |      |      | 1.03 |
| 1991~2000    |      |      |      | 1.04 |

表-5.17 繰り返し荷試験における防げん材の反力の  
変化

TYPE-B1 等せん断圧縮(圧・15cm, せん・20%)

| 周期(S)<br>荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|--------------|------|------|------|------|
| 1~10         | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 101~110      | —    | —    | 0.97 | 1.00 |
| 191~200      | 0.99 | —    | 0.96 | 0.98 |
| 291~300      | 0.98 | 1.04 | 0.96 | 0.96 |
| 391~400      |      | —    | 0.97 | 0.97 |
| 491~500      |      | —    | 0.96 | 0.97 |
| 591~600      |      |      | 0.96 | 1.00 |
| 691~700      |      |      | 1.00 | 0.96 |
| 791~800      |      |      | 1.00 | 0.96 |
| 891~900      |      |      | 0.98 | 0.93 |
| 991~1000     |      |      | 0.99 | 0.96 |
| 1241~1250    |      |      |      | —    |
| 1491~1500    |      |      |      | —    |
| 1991~2000    |      |      |      | 0.97 |

表-5.18 繰り返し載荷試験における防げん材の反力の変化

TYPE-C1 単純圧縮

| 周期(S)<br>載荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 1.00 | 1.00 | 1.00 | —    |
| 101~110       | 0.95 | 0.95 | 1.00 | 1.00 |
| 191~200       | 0.94 | 0.95 | 0.97 | 0.96 |
| 291~300       | 0.94 | 0.94 | 0.96 | 0.96 |
| 391~400       |      | 0.93 | 0.95 | 0.95 |
| 491~500       |      | 0.93 | 0.95 | 0.94 |
| 591~600       |      |      | 0.95 | 0.93 |
| 691~700       |      |      | 0.94 | 0.93 |
| 791~800       |      |      | 0.94 | 0.93 |
| 891~900       |      |      | 0.94 | 0.93 |
| 991~1000      |      |      | 0.94 | 0.92 |
| 1241~1250     |      |      |      | 0.92 |
| 1491~1500     |      |      |      | 0.92 |
| 1991~2000     |      |      |      | 0.90 |

表-5.19 繰り返し載荷試験における防げん材の反力の変化

TYPE-C1 等せん断圧縮(圧・20cm, せん・5%)

| 周期(S)<br>載荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 101~110       | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 1.00 |
| 191~200       | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 |
| 291~300       | 0.96 | 0.96 | 0.98 | 0.98 |
| 391~400       |      | 0.96 | 0.98 | 0.97 |
| 491~500       |      | 0.96 | 0.97 | 0.97 |
| 591~600       |      |      | 0.97 | 0.96 |
| 691~700       |      |      | 0.97 | 0.96 |
| 791~800       |      |      | 0.96 | 0.96 |
| 891~900       |      |      | 0.96 | 0.96 |
| 991~1000      |      |      | 0.96 | —    |
| 1241~1250     |      |      |      | 0.95 |
| 1491~1500     |      |      |      | 0.95 |
| 1991~2000     |      |      |      | 0.95 |

表-5.20 繰り返し載荷試験における防げん材の反力の変化

TYPE-C1 等せん断圧縮(圧・20cm, せん・10%)

| 周期(S)<br>載荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 101~110       | 0.95 | 0.97 | 0.98 | 1.00 |
| 191~200       | 0.94 | 0.96 | 0.96 | 0.98 |
| 291~300       | 0.94 | 0.96 | 0.95 | 0.97 |
| 391~400       |      | 0.95 | 0.95 | 0.96 |
| 491~500       |      | 0.95 | 0.94 | 0.96 |
| 591~600       |      |      | 0.94 | 0.96 |
| 691~700       |      |      | 0.94 | 0.96 |
| 791~800       |      |      | 0.94 | 0.96 |
| 891~900       |      |      | 0.93 | 0.96 |
| 991~1000      |      |      | 0.93 | 0.96 |
| 1241~1250     |      |      |      | 0.96 |
| 1491~1500     |      |      |      | 0.95 |
| 1991~2000     |      |      |      | 0.95 |

表-5.21 繰り返し載荷試験における防げん材の反力の変化

TYPE-C1C 単純圧縮

| 周期(S)<br>載荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 101~110       | —    | 0.97 | 0.99 | 0.95 |
| 191~200       | —    | 0.96 | 0.99 | 0.95 |
| 291~300       | —    | 0.96 | 0.99 | 0.94 |
| 391~400       |      | 0.95 | 0.99 | 0.94 |
| 491~500       |      | 0.95 | 0.98 | 0.94 |
| 591~600       |      |      | 0.98 | 0.94 |
| 691~700       |      |      | 0.98 | 0.93 |
| 791~800       |      |      | 0.97 | 0.93 |
| 891~900       |      |      | 0.97 | 0.92 |
| 991~1000      |      |      | 0.97 | 0.92 |
| 1241~1250     |      |      |      | 0.92 |
| 1491~1500     |      |      |      | 0.92 |
| 1991~2000     |      |      |      | 0.92 |

表-5.22 繰り返し載荷試験における防げん材の反力の変化

TYPE-C2C 単純圧縮

| 周期(S)<br>載荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 101~110       | 0.97 | 0.99 | 0.98 | 0.99 |
| 191~200       | 0.96 | 1.00 | 0.96 | 0.99 |
| 291~300       | 0.95 | 1.00 | 0.96 | 0.98 |
| 391~400       |      | 1.01 | 0.95 | 0.98 |
| 491~500       |      | 1.01 | 0.95 | 0.98 |
| 591~600       |      |      | 0.96 | 0.97 |
| 691~700       |      |      | 0.95 | 0.97 |
| 791~800       |      |      | 0.95 | 0.97 |
| 891~900       |      |      | 0.95 | 0.96 |
| 991~1000      |      |      | 0.95 | 0.96 |
| 1241~1250     |      |      |      | 0.96 |
| 1491~1500     |      |      |      | 0.96 |
| 1991~2000     |      |      |      | 0.95 |

表-5.23 繰り返し載荷試験における防げん材の反力の変化

TYPE-C2C 等せん断圧縮(圧・20cm, せん・5%)

| 周期(S)<br>載荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 101~110       | 0.96 | 0.99 | 0.98 | 1.00 |
| 191~200       | 0.95 | 0.98 | 0.97 | 0.98 |
| 291~300       | 0.94 | 0.97 | 0.96 | 0.98 |
| 391~400       |      | —    | 0.95 | 0.97 |
| 491~500       |      | 0.97 | 0.94 | 0.97 |
| 591~600       |      |      | 0.94 | 0.96 |
| 691~700       |      |      | 0.94 | 0.96 |
| 791~800       |      |      | 0.94 | 0.96 |
| 891~900       |      |      | 0.94 | —    |
| 991~1000      |      |      | 0.94 | 0.96 |
| 1241~1250     |      |      |      | 0.96 |
| 1491~1500     |      |      |      | 0.95 |
| 1991~2000     |      |      |      | 0.94 |

表-5.24 繰り返し载荷試験における防げん材の反力の変化

TYPE-C2C 等せん断圧縮(圧:20cm,せん:10%)

| 周期(S)<br>载荷回数 | 30   | 20   | 10   | 5    |
|---------------|------|------|------|------|
| 1~10          | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 101~110       | 0.97 | 0.99 | 0.99 | 0.97 |
| 191~200       | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.95 |
| 291~300       | 0.94 | 0.97 | 0.97 | 0.95 |
| 391~400       |      | 0.97 | 0.97 | 0.95 |
| 491~500       |      | 0.97 | 0.97 | 0.95 |
| 591~600       |      |      | 0.97 | 0.94 |
| 691~700       |      |      | 0.97 | 0.94 |
| 791~800       |      |      | 0.97 | 0.93 |
| 891~900       |      |      | 0.96 | 0.93 |
| 991~1000      |      |      | 0.96 | 0.93 |
| 1241~1250     |      |      |      | 0.93 |
| 1491~1500     |      |      |      | 0.93 |
| 1991~2000     |      |      |      | 0.92 |

(4) 試作防げん材の特性試験

係留船舶の動揺に対してはせん断力の作用を受けたときに、防衛工の変位復元力特性が著しく低下しないことが必要である。また、荒天時の避泊を考える場合には、風の定常力による変形量を極力小さくする必要がある。この目的にかなう防げん材を試作し、特性試験を行った。

防げん材の形状は図-5.8に示すとおりである。試作防げん材は定反力型防げん材と反力漸増型防げん材の両方の長所を組み合わせたものである。すなわち、接岸力が小さいときまたは利用時において係留船舶の動揺を考慮する必要があるときには主として反力漸増型防げん材が変形し、定反力型防げん材はほとんど変形しない。接岸力が大きいときまたは荒天時において係留船舶が強風の作用を受けるときには反力漸増型防げん材の変形はストッパーによって抑えられ、定反力型防げん材が変形する。また、このとき、防げん材が圧縮と同時にせん断力を受けてもその変位復元力特性が変化しない構造とする。

防げん材の特性試験は以下の項目について行った。

単純圧縮 (圧縮……40%)

単純せん断 (せん断……20%)

等圧縮せん断

(圧縮…10%, せん断…20%)

(圧縮…20%, せん断…20%)

(圧縮…30%, せん断…20%)

等せん断圧縮

(圧縮…40%, せん断…5%)

(圧縮…40%, せん断…10%)

(圧縮…40%, せん断…20%)

繰り返し圧縮せん断

(圧縮…5%, せん断…5%)

(圧縮…10%, せん断…10%)

(圧縮…20%, せん断…20%)

上記の試験は、すべて周期20sで連続10回载荷を3回ずつ行った。図-5.9は試作前に目標とした変位復元力特性である。また、図-5.10は試作防げん材の単純圧縮試験時の変位復元力特性である。定反力型防げん材の変位復元力特性がやや硬めではあったが、おおむね目標値を満足した。また、圧縮せん断試験時の変位復元力特性は単純圧縮試験時の変位復元力特性とほぼ同一であり、せん断力の作用による反力の低下はなかった。

5.5 防衛工の設置の事例

(1) 概 説

既設の係船岸において防衛工の規模・配置等に関し、データを収集かつ整理し、これらと、船型、船種、設計接岸速度、係船施設の種類、波高、潮位、などとの関係を調査し、係留施設における防衛工の設置に関する現況を把握し、かつ、将来同種の施設の設計に資することを目的とした。ただし、ここではゴム防げん材のみを対象として調査した。

(2) 調査方法

a) 港湾構造物集覧によるもの

港湾構造物集覧から必要データを抽出し、図-5.11に示す様式の調査原票に記入した。ゴム防げん材に関する必要事項は、種類、名称、形状寸法、取り付け位置、取り付け間隔である。ゴム防げん材の吸収エネルギーと反力は、当該ゴム防げん材1セット当たりの値をゴム防げん材のカタログに記載された正常圧縮試験結果を基に作成した。

b) 主要2港における調査

横浜港および神戸港における全バースについて、所轄港湾建設局および港湾管理者を通して資料を入手し、調査原票を作成した。ただし、対象施設は、水深4.0m以上の全バースとしたが、民間企業の私設バースで調査困難なものは除いた。

c) 資料数

入手した資料数は以下のとおりである。

- ① 港湾構造物集覧によるもの 831
- ② 横 浜 港 96
- ③ 神 戸 港 100

合 計 1027

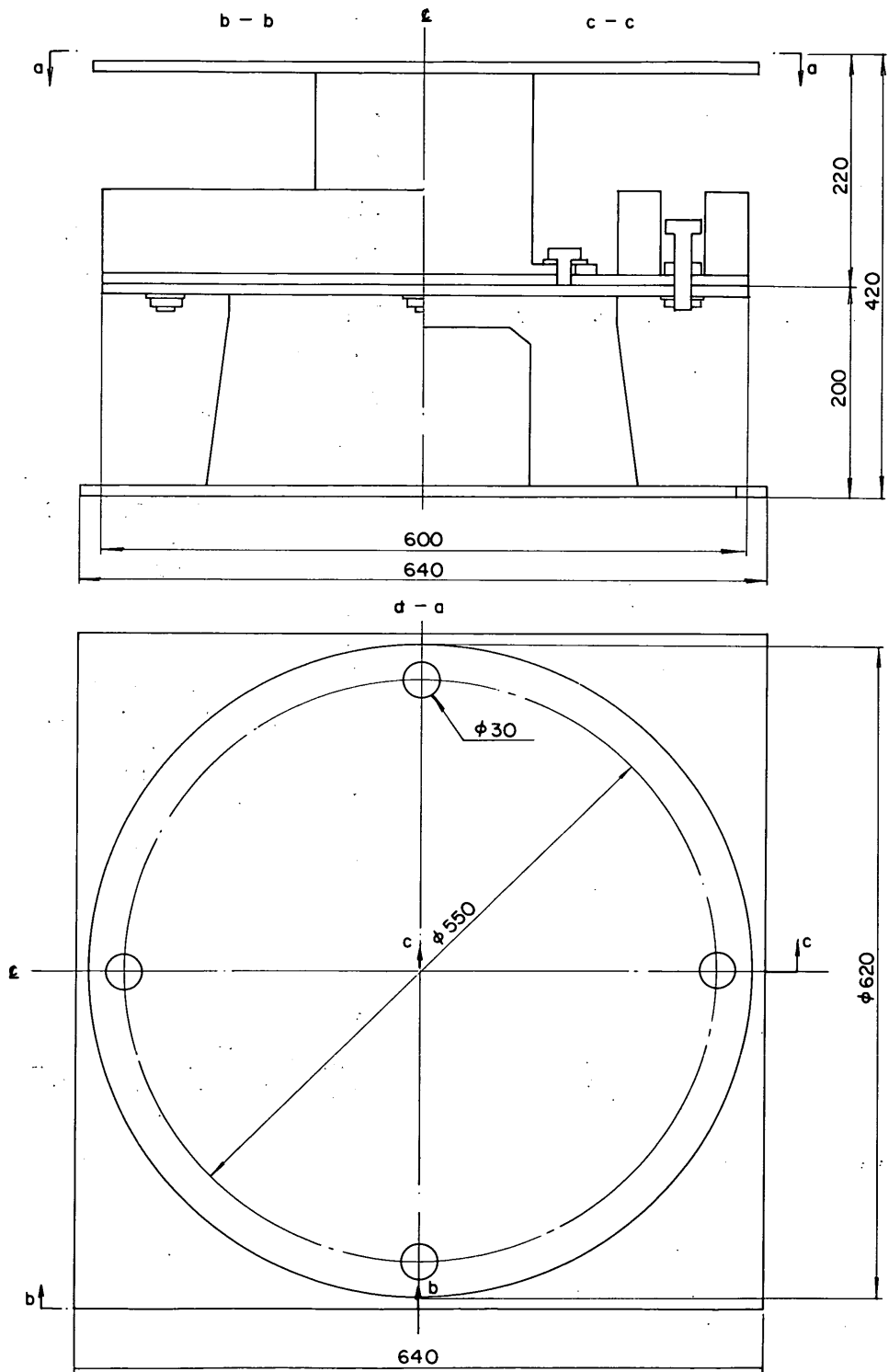


図-5.8 試作防げん材の形状

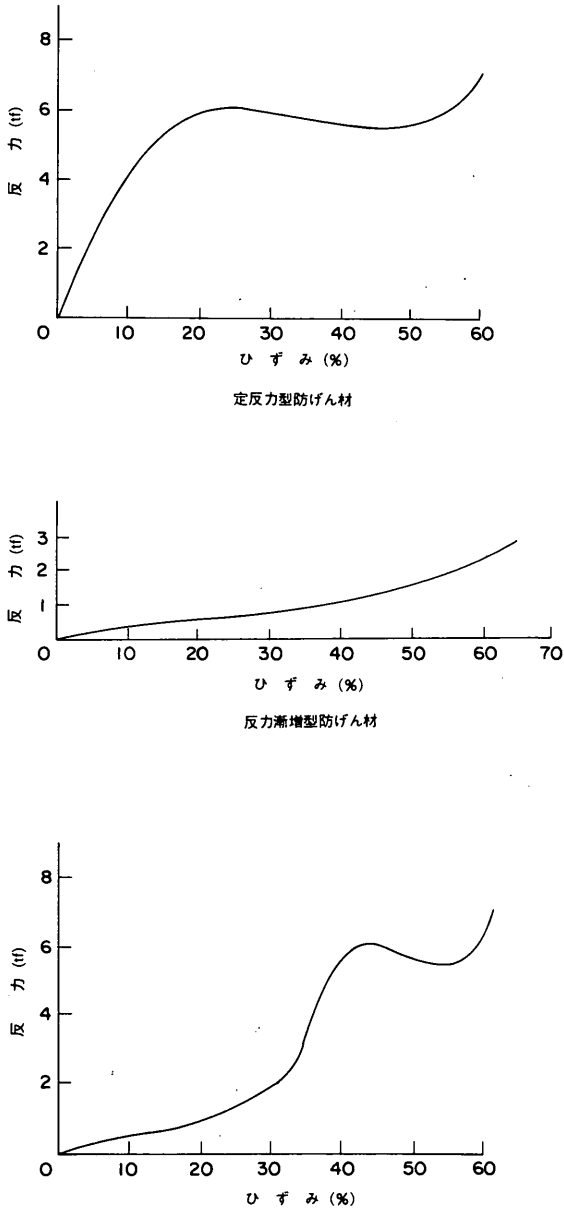


図-5.9 試作防げん材の変位復元力特性(目標)

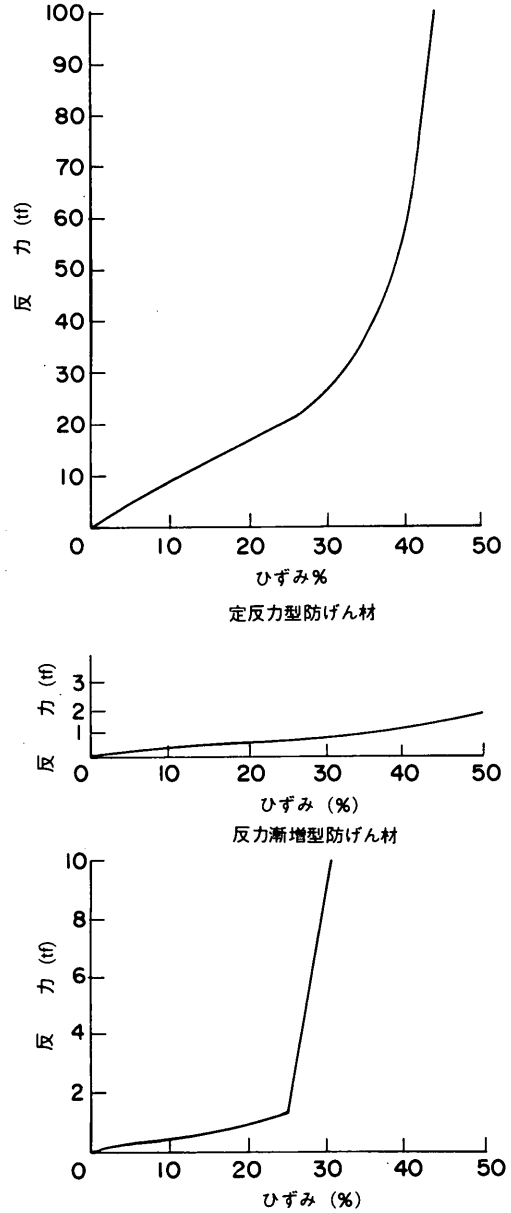


図-5.10 試作防げん材の変位復元力特性(試験結果)

(3) 解析方法

調査原票をもとにデータ解析を行うプログラムを作成し、これを用いてゴム防げん材の規模と配置に関する以下の項目相互間の相関を調べた。

- a) Aグループ
- |    |           |
|----|-----------|
| 船型 | DWT       |
| 船種 | 一般貨物船(雑貨) |
|    | 一般貨物船(バラ) |

- |        |
|--------|
| コンテナ船  |
| 油槽船    |
| カーキャリア |
| フェリー   |
| その他    |
| 係船岸    |
| ケーン    |
| 板      |

セル  
栈橋  
ドルフィン

波高  
潮位

Bグループ ゴム防げん材の種類  
ゴム防げん材の名称  
ゴム防げん材の形状寸法  
取り付け位置(縦, 横, 斜め)  
取り付け間隔  
接岸速度  
ゴム防げん材反力  
吸収エネルギー

(4) 解析結果

a) 頻度解析

各港および港湾構造物集覧について、各項目別の頻度の1位～3位の名称を表-5.25～5.27に示す。この表は各項目別の頻度分布図から、単に1位～3位のものを出しているため、各項目相互には関連はない。

b) 単相関

A, Bグループの相関散布図を求め、これから定量変数相互の相関マトリックスを求めると、表-5.28～5.30のようになる。AグループのDWTとBグループの各項目との相関が大きいがわかる。図-5.12(a)～(f)は、港湾構造物集覧について求めた、DWTとBグループの各項目相互の相関散布図である。順に、ゴム防げん材の規模、設置高さ、設置間隔、ゴム防げん材1基当たりの反力、接岸速度、吸収エネルギーとDWTとの相関を示している。データのばらつきは大きい、設置高さおよび設置間隔についてはその範囲をとらえることができる。それらの値は表-5.25～5.27に示したものと考えてよい。

ゴム防げん材の規模、1基当たりの反力、吸収エネルギーはDWTに比例するものと考えられる。接岸速度は必ずしもDWTに比例しないが段階的にDWTに追従して増加しているとみられる。接岸速度を設定するときに、10cm/sとか15cm/sなどのようにきりの良い数値にするためと考えられる。その意味では、ここに示した資料や、付録-1に示した表などを参考に船型に対し設計接岸エネルギーを設定することが、ゴム防げん材設計の標準化に結びつくものとする。

c) 複数項目間の相関

ここでは港湾構造物集覧のデータを対象に以下の項目相互間の相関を求める。

1) 船種 = 一般貨物船のみについて

DWTとBグループの各項目

表-5.25 頻度順位表(神戸港)

|        | 1位                    | 2位                  | 3位                   |
|--------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| DWT    | 10,000～<br>30,000 ton | 3,000～<br>6,000 ton | 6,000～<br>10,000 ton |
| 船種     | 一般貨物(バラ)              | その他(客船等)            | —                    |
| 係船岸    | その他                   | 鋼矢板セル               | 重力式(ケーソン)            |
| 波高     | 2.0～4.0m              | —                   | —                    |
| 潮位     | 1.5～2.0m              | —                   | —                    |
| 防げん材種類 | ゴム                    | —                   | —                    |
| 名称     | V型(西武ポリマ)             | ハバ-コース(住友)          | V型(その他)              |
| 寸法     | 600～800mm             | 400～600mm           | 0～200mm              |
| 取付位置   | 1.0～2.0 m             | 3.0～ m              | 2.0～3.0m             |
| 取付間隔   | 20.0～ m               | 15.0～20.0 m         | 10.0～15.0m           |
| 接岸速度   | 10.0～20.0cm/s         | 20.0～ cm/s          | 0～5.0cm/s            |
| 防げん材反力 | 40.0～                 | 80.0～               | 100.0～               |
| 吸収     | 5.0～                  | 20.0～               | 15.0～                |
| エネルギー  | 10.0tfm/組             | 25.0tfm/組           | 20.0tfm/組            |

表-5.26 頻度順位表(横浜港)

|        | 1位                    | 2位                  | 3位                  |
|--------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| DWT    | 10,000～<br>30,000 ton | 3,000～<br>6,000 ton | 1,000～<br>3,000 ton |
| 船種     | 一般貨物(バラ)              | その他(客船等)            | コンテナ船               |
| 係船岸    | さん橋                   | さん橋(鋼矢ぐい)           | 矢板式(控ぐい)            |
| 波高     | 1.0～2.0m              | —                   | —                   |
| 潮位     | 2.0～2.5m              | —                   | —                   |
| 防げん材種類 | ゴム                    | —                   | —                   |
| 名称     | V型(明治ゴム)              | 六角(明治ゴム)            | V型(西武ポリマ)           |
| 寸法     | 400～600mm             | 200～400mm           | 600～800mm           |
| 取付位置   | 2.0～3.0 m             | 3.0～ m              | —                   |
| 取付間隔   | 5.0～10.0 m            | 10.0～15.0 m         | 0～5.0 m             |
| 接岸速度   | —                     | —                   | —                   |
| 防げん材反力 | 40.0～                 | 20.0～               | 0～                  |
| 吸収     | 60.0tf/組              | 40.0tf/組            | 20.0tf/組            |
| エネルギー  | 0～                    | 5.0～                | 15.0～               |
|        | 5.0tfm/組              | 10.0tfm/組           | 20.0tfm/組           |

表-5.27 頻度順位表(集覧)

|        | 1位            | 2位                    | 3位                  |
|--------|---------------|-----------------------|---------------------|
| DWT    | 0～<br>500 ton | 10,000～<br>30,000 ton | 1,000～<br>3,000 ton |
| 船種     | 一般貨物(雑貨)      | 一般貨物(バラ)              | その他(客船)             |
| 係船岸    | 矢板式           | 重力式(ケーソン)             | 重力式(その他)            |
| 波高     | 2.0～4.0m      | 1.0～2.0m              | 0～1.0m              |
| 潮位     | 1.5～2.0m      | 0～1.0m                | 2.0～2.5m            |
| 防げん材種類 | ゴム            | —                     | —                   |
| 名称     | V型(その他)       | その他                   | スーパーアーチ(ブリヂストン)     |
| 寸法     | 200～400mm     | 400～600mm             | 0～200mm             |
| 取付位置   | 1.0～2.0 m     | 2.0～3.0m              | 3.0～ m              |
| 取付間隔   | 5.0～10.0 m    | 5.0～ m                | 10.0～15.0 m         |
| 接岸速度   | 10.0～20.0cm/s | 20.0～ cm/s            | 0～5.0cm/s           |
| 防げん材反力 | 20.0～         | 40.0～                 | 60.0～               |
| 吸収     | 40.0tf/組      | 60.0tf/組              | 80.0tf/組            |
| エネルギー  | 0.0～          | 5.0～                  | 10.0～               |
|        | 5.0tfm/組      | 10.0tfm/組             | 15.0tfm/組           |

ロ) 船種=一般貨物船のみについて

係船岸構造=矢板式構造のみについて

DWTとBグループの各項目

ハ) 船種=一般貨物船のみについて

ゴム防げん材種類=V型のゴム防げん材のみについて

DWTとBグループの各項目

図-5.13(a)~(f)~5.15(a)~(f)は港湾構造物集覧について求めた、DWTとBグループの各項目相互の相関散布図である。これらを見ると、単相関の相関散布図にみられたばらつきが僅かではあるが小さくなっていることがわかる。さきと同様に、ゴム防げん材の規模、1基当たりの反力、吸収エネルギーはDWTに比例するものと考えられる。その他の項目、たとえば、接岸速度、ゴム防げん材設置間隔、ゴム防げん材設置位置、などについてもその範囲を知ることができる。

表-5.28 単相関表(神戸港)

| A \ B | 形状寸法  | 取りつけ位置 | 取りつけ間隔 | 接岸速度   | 反力    | 吸収エネルギー |
|-------|-------|--------|--------|--------|-------|---------|
| DWT   | 0.775 | -0.351 | 0.920  | -0.390 | 0.128 | 0.003   |
| 波高    | —     | —      | —      | —      | —     | —       |
| 潮位    | —     | —      | —      | —      | —     | —       |

表-5.29 単相関表(横浜港)

| A \ B | 形状寸法  | 取りつけ位置 | 取りつけ間隔 | 接岸速度 | 反力    | 吸収エネルギー |
|-------|-------|--------|--------|------|-------|---------|
| DWT   | 0.092 | 0.070  | —      | —    | 0.268 | 0.398   |
| 波高    | —     | —      | —      | —    | —     | —       |
| 潮位    | 0.044 | -0.028 | —      | —    | 0.002 | 0.021   |

表-5.30 単相関表(集覧)

| A \ B | 形状寸法   | 取りつけ位置 | 取りつけ間隔 | 接岸速度   | 反力    | 吸収エネルギー |
|-------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|
| DWT   | 0.275  | 0.019  | 0.192  | -0.205 | 0.600 | 0.398   |
| 波高    | 0.111  | -0.011 | -0.036 | 0.004  | 0.122 | 0.127   |
| 潮位    | -0.003 | -0.015 | -0.022 | -0.024 | 0.001 | -0.008  |

調査表番号  施設番号

1 港名等

1-1 港名

1-2 港区名

1-3 地区名

1-4 施設名(名称)

1-5 管理者名

1-6 設計者名

1-7 設計年度  昭和  年度

2 設計条件(一般)

2-1 使用目的

a 取り扱い貨物

2-2 形状寸法

a 構造様式

b 当該構造物の延長  m

c 設計水深  m

d 原地盤高(水深)  m

e 天端高  m

f エプロン幅  m

g エプロン勾配  %

2-3 対象船舶

a 種類

b トン数  DWT

c 接岸速度  cm/sec

d 接岸方法

e 直柱に作用するけん引力  t/基

f 曲柱に作用するけん引力  t/基

2-4 波

a 設計波高  m

b 設計波長  m

c 設計波周期  sec

d 設計波方向

e 構造物に対する波向

2-5 潮位

a H.H.W.L  m

b H.W.L.  m

c M.S.L.  m

d L.W.L.  m

e L.L.W.L.  m

f 設計潮位(1)  m

g 設計潮位(2)  m

2-6 防衝工

a 種類

b 名称

c 形状寸法

d 取り付け位置  横形・たて形

e 配置間隔

f 取り付け方法

g 防げん材反力  tf/組

h 吸収エネルギー  tfm/組

2-7 係船柱

a 設計けん引力  直柱 t/基

b 設置間隔  曲柱 t/基

c 標準設計による場合  直柱 基/バース

d 標準設計によらない場合の理由  曲柱 基/バース

e 直柱 t型を使用

f 曲柱 t型を使用

2-8 係船岸の構造等

a ケーソンの諸元  高さ m

b  幅 m

c  長さ m

d  その他

e 横橋のブロック長  1ブロックの長さ

f セルの大きさ等  セルの大きさ

g  1ブロックの長さ

図-5.11 調査原票の様式



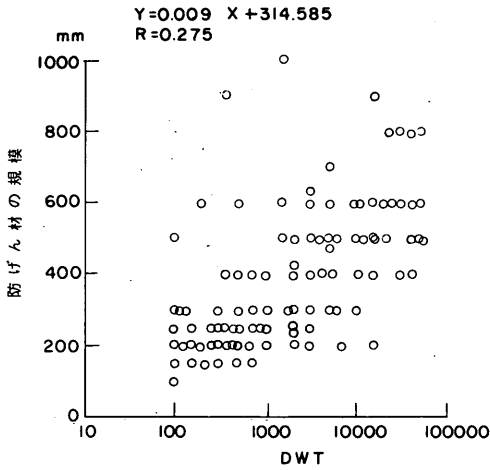


図-5.12(a) 相関散布図(集覧), DWTと防げん材の規模

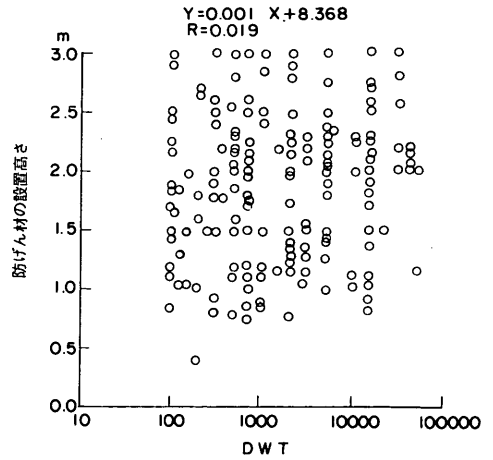


図-5.12(b) 相関散布図(集覧), DWTと設置高さ

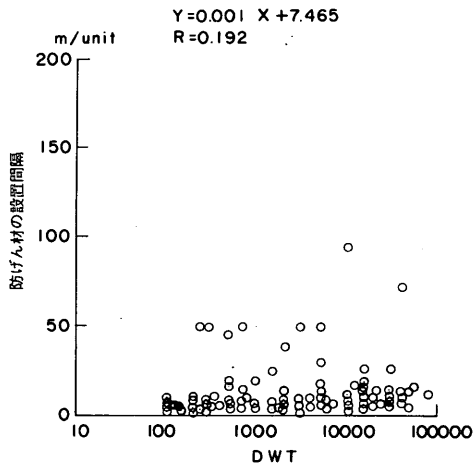


図-5.12(c) 相関散布図(集覧), DWTと設置間隔

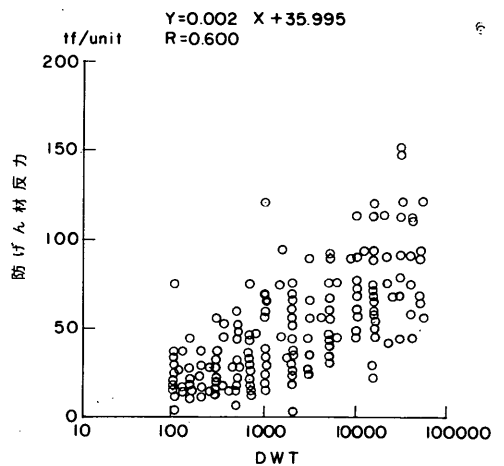


図-5.12(d) 相関散布図(集覧), DWTと防げん材反力

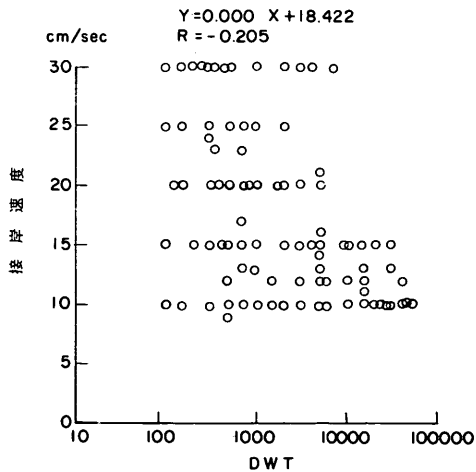


図-5.12(e) 相関散布図(集覧), DWTと接岸速度

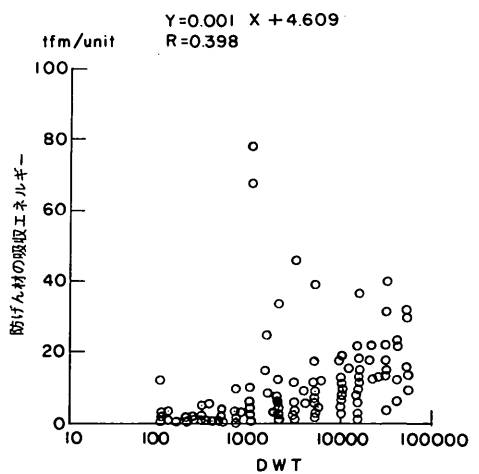


図-5.12(f) 相関散布図(集覧), DWTと吸収エネルギー

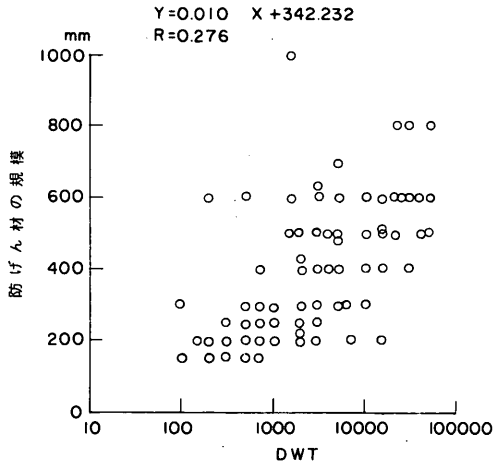


図-5.13(a) 複数項目間の相関散布図 (一般貨物船),  
DWTと防げん材の規模

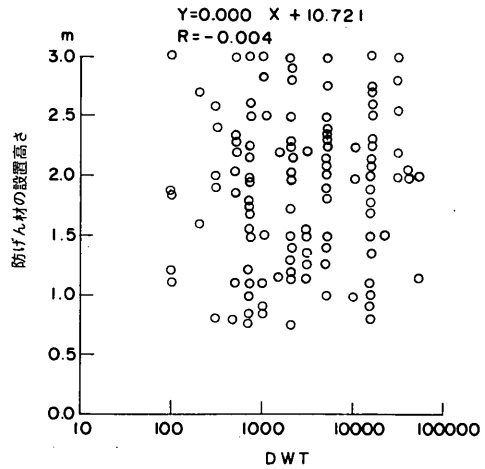


図-5.13(b) 複数項目間の相関散布図 (一般貨物船),  
DWTと設置高さ

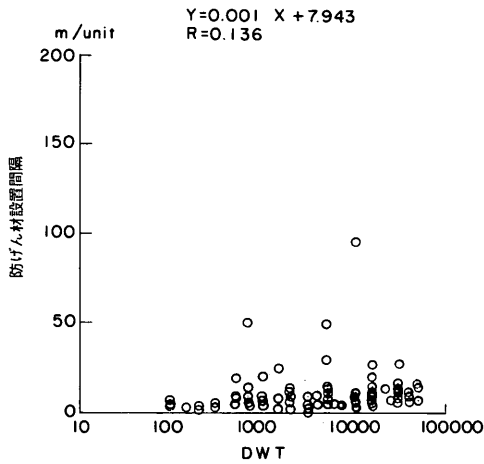


図-5.13(c) 複数項目間の相関散布図 (一般貨物船),  
DWTと設置間隔

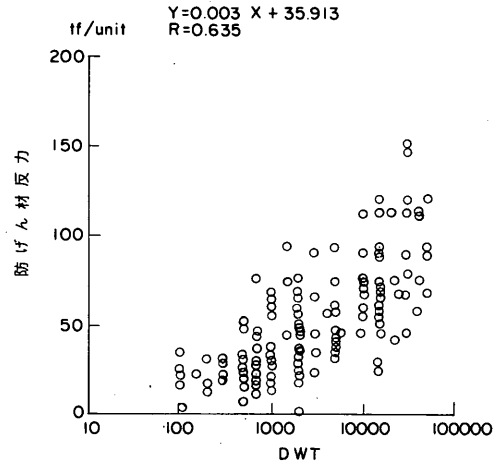


図-5.13(d) 複数項目間の相関散布図 (一般貨物船),  
DWTと防げん材反力

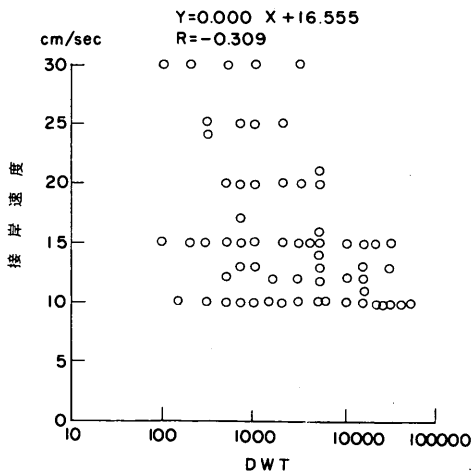


図-5.13(e) 複数項目間の相関散布図 (一般貨物船),  
DWTと接岸速度

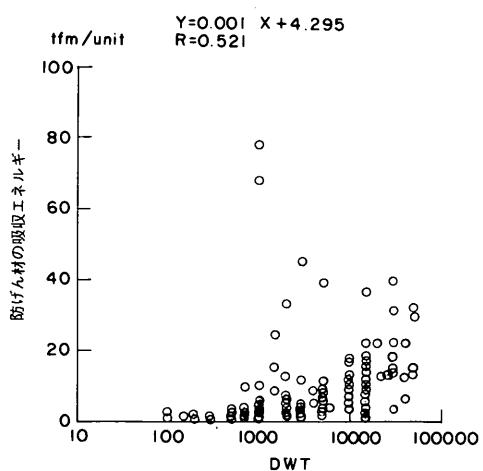


図-5.13(f) 複数項目間の相関散布図 (一般貨物船),  
DWTと吸収エネルギー

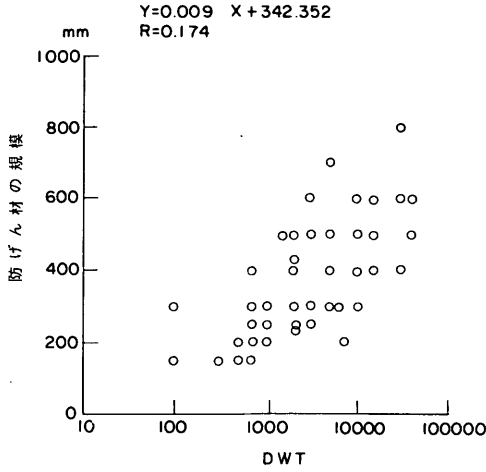


図-5.14(a) 複数項目間の相関散布図(一般貨物船, 矢板式構造), DWTと防げん材の規模

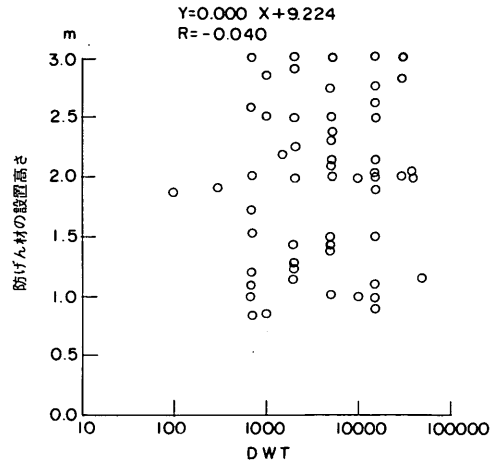


図-5.14(b) 複数項目間の相関散布図(一般貨物船, 矢板式構造), DWTと設置高さ

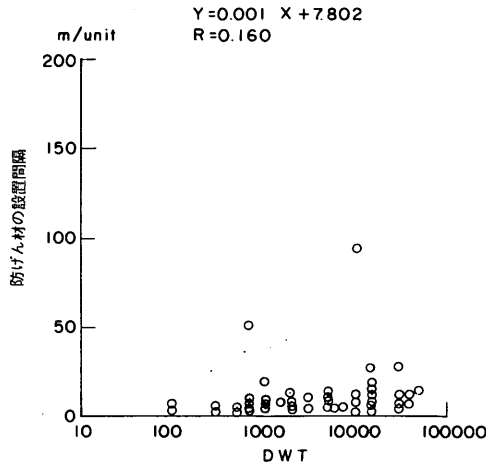


図-5.14(c) 複数項目間の相関散布図(一般貨物船, 矢板式構造), DWTと設置間隔

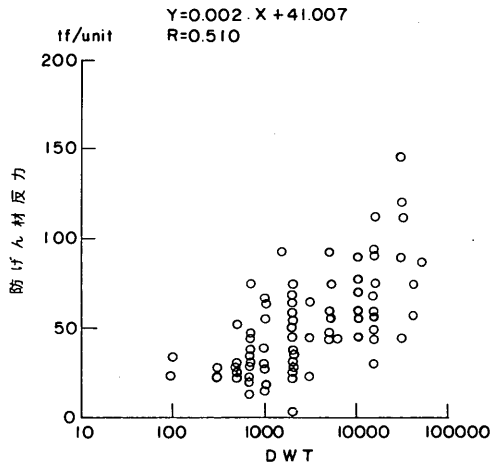


図-5.14(d) 複数項目間の相関散布図(一般貨物船, 矢板式構造), DWTと防げん材反力

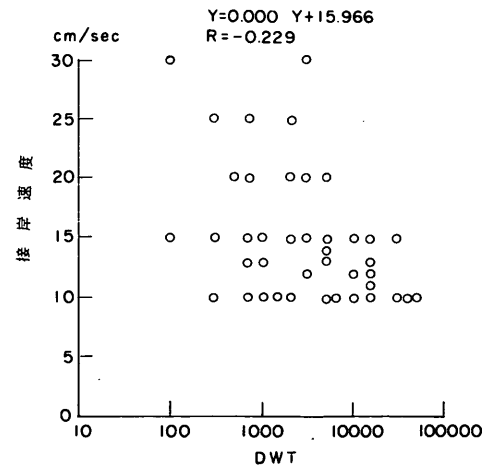


図-5.14(e) 複数項目間の相関散布図(一般貨物船, 矢板式構造), DWTと接岸速度

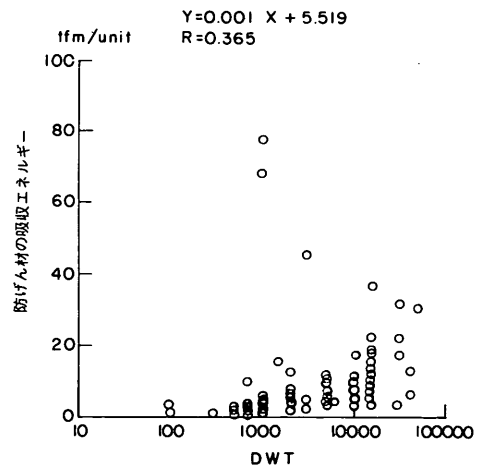


図-5.14(f) 複数項目間の相関散布図(一般貨物船, 矢板式構造), DWTと吸収エネルギー

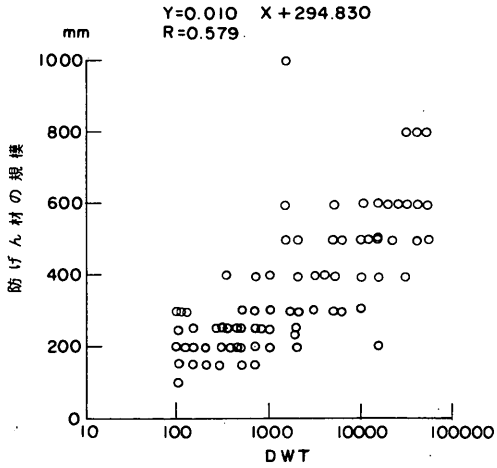


図-5.15(a) 複数項目間の相関散布図(一般貨物船, V型の防げん材) DWTと防げん材の規模

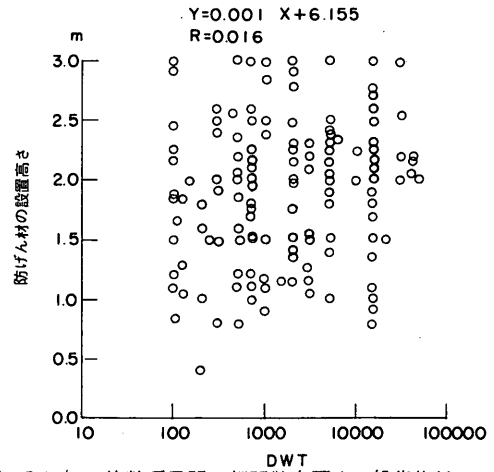


図-5.15(b) 複数項目間の相関散布図(一般貨物船, V型の防げん材) DWTと設置高さ

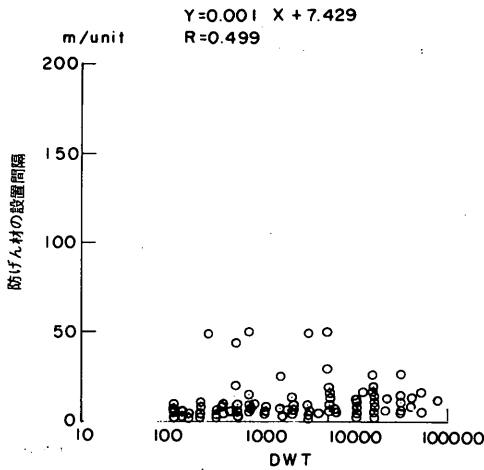


図-5.15(c) 複数項目間の相関散布図(一般貨物船, V型の防げん材) DWTと設置間隔

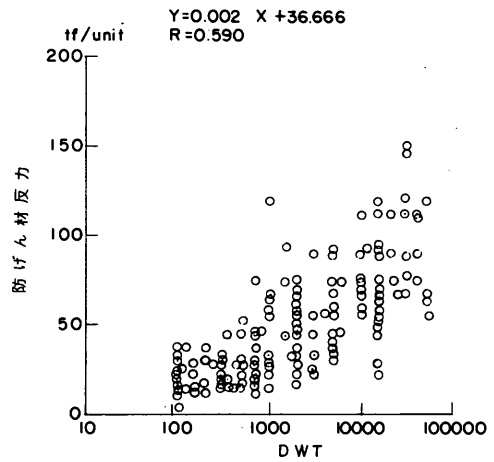


図-5.15(d) 複数項目間の相関散布図(一般貨物船, V型の防げん材) DWTと防げん材反力

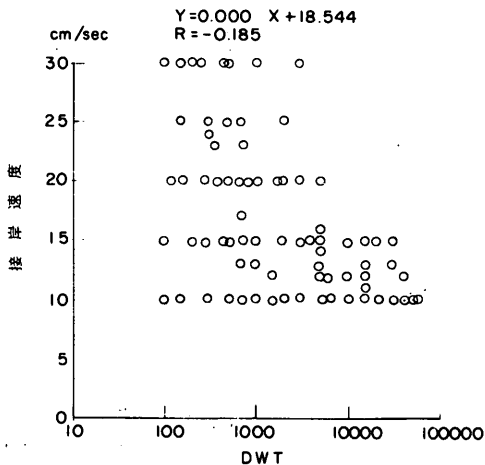


図-5.15(e) 複数項目間の相関散布図(一般貨物船, V型の防げん材) DWTと接岸速度

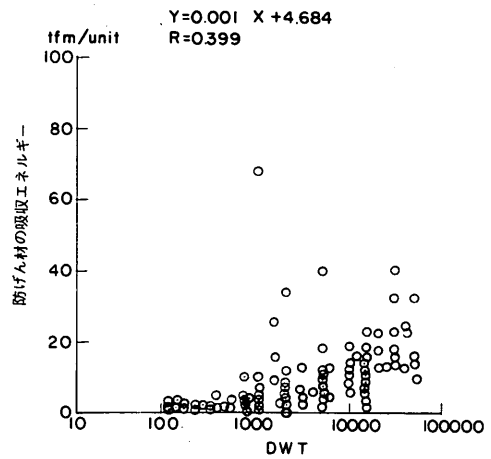


図-5.15(f) 複数項目間の相関散布図(一般貨物船, V型の防げん材) DWTと吸収エネルギー

## 6. 結 論

本論文は、係留施設における防衛工について、接岸および係留（利用時の係留および荒天時の係留を含む）の目的に適合する防衛工の設計法に資することを目的として取りまとめたものである。

本論文の主要な成果は以下のとおりである。

① 防衛工が係留船舶の動揺による衝撃力を緩和する機能を有する必要性を示し、係留施設の防衛工の設計においては、接岸時および係留時の両条件を考慮して行うことを提案した。

② 付加質量、接岸速度および偏心係数などの諸量について実測および実験に基づいて得られた数値をとりまとめ、防衛工設計の参考資料とした。

③ 現行の防衛工設計法において、船舶の接岸力を異常時荷重として取り扱い、鋼材などの許容応力度を割り増していることについての問題点を指摘しこの点について考察した。

④ 一般貨物船等の在来船に提供される係留施設に設置されているゴム防げん材について実態調査を行い、その結果を取りまとめ、ゴム防げん材の種類、規模、設置位置、間隔などの項目と船型との相関を示した。また、一般貨物船等の在来船について、接岸による衝撃力を緩和する目的で設置する防衛工（この場合はゴム防げん材を意味する）の標準化のための資料を示した。

（1987年6月30日受付）

## 謝 辞

本研究の実施にあたり、以下の方々および関係諸機関の御協力を戴いた。ここに記して深甚なる感謝の意を表する次第である。

運輸省港湾局

運輸省第二港湾建設局

運輸省第三港湾建設局

横浜市港湾局

神戸市港湾局

PIANC防衛工委員会およびそのメンバーの方々

運輸省港湾技術研究所設計基準部

（順不同）

## 参 考 文 献

1. 上田 茂：大型タンカーの接岸力に関する研究，港湾技術研究所報告，第20巻，第2号，1981，pp.169～209.
2. 上田 茂，佐藤喜一：係留中の大型タンカーの衝突力，港湾技術研究所報告，第19巻，第2号，1981，pp.67～114.
3. Japanese National Section of PIANC：Design of Fender Systems，March，1980，153p.
4. 運輸省港湾局建設課：係留岸の防衛システムの設計，1980，149p.
5. PIANC：Report of the International Commission for Improving the Design of Fender Systems，1984，158p.
6. 防振ゴム研究会：防振ゴム，1963，309p.
7. Baker，A.L.L.：The Impact of Ships when Berthing，etc.，Proc. Intert'l Navig. Congr. (PIANC)，Rome，1953，Sect II，Quest. 2，pp.111～142.
8. Eggink，E.：The Impact of Ship when Berthing，etc.，Proc. Intert'l Navig. Congr. (PIANC)，Rome，1953，Sect II，Quest. 2，pp.111～142.
9. 溝口正仁，中山種清：船舶接岸力調査，港湾技研資料，No.170，1973，58p.
10. Visioli，F. et al.：The Impact of Ships when Berthing，etc.，Proc. Intert'l Navig. Congr. (PIANC)，Rome，1953，Sect II，Quest. 2，pp.143～155.
11. Broolsma，J.U. et al.：On Fender Design and Berthing Velocities，Proc. Intert'l Navig. Congr. (PIANC)，Leningrad，1977，Sect II，Subject 4，pp.87～100.
12. Saurin，B.F.：Berthing Forces of Large Tankers，Proc. of 6th World Petroleum Congress，Frankfurt，Section VII，Paper 10，June，1963，pp.63～73.
13. 林 泰造，白井増次郎：接岸時船舶の衝撃力について，第8回海岸工学講演会講演集，1961，pp.101～106.
14. Myers，J. et al.：Handbook of Ocean and Underwater Engineering，McGraw-Hill，New York，1969.
15. Vasco Costa，F.：The Berthing Ship，The Dock & Harbour Authority，Vol.45，Nos.523，524，525，May，June，July，pp.22～26，49～52，90～94.
16. Rupert，D.：Zur Bemessung und Konstruktion von Fendern und Dalben，Mitteilungen des Franzius-Institute für Wasserbau und Küsten Ingenieurswesen der Technische Universität，Hanover，Heft 44.

17. Grim, O.: Das Schiff und des Dalben, *Schiff und Haven*, 7, p. 535.
18. Tyrell, B.G.: Mooring Dolphin- Evaluation of Forces and Principles of Design, *The Dock and Harbour Authority*, Vol.47, p. 115.
19. Giraudet, P.: Reseraches Experimentale sur l'energie d'accostage des navires, *Annales des Ponts et Chaussees* No2 de Mars-Arvil, 1966.
20. Blok, J. J. and J. N. Dekker: On Hydrodynamic Aspects of Ship Collisions with Rigid or Non-rigid Structures, 11 *th OTC*, 1979, # 3664, pp.2683~2698.
21. Stelson, T. E. and F. T. Mavis: Virtual Mass and Acceleration in Fluids, *Proc. of ASCE*, Vol.81, No 670, *EM*, 1955, pp. 670-1~670-9.
22. 元良誠三: 船体運動に関する付加質量及び付加慣性モーメントについて, 造船協会論文集, 第105号, 1959, pp. 83~92, および第106号, 1959, pp.59~68.
23. 長沢 準: 接岸時の船体損傷防止に関する研究(第2報), 造船協会論文集, 第107号, 1960, pp. 221~228.
24. 林 泰造, 白井増次郎: 接岸時船舶の衝撃と船舶の仮想質量, 第9回海岸工学講演会講演集, 1962, pp.112~115.
25. 白井増次郎, 林 泰造: 大型タンカー接岸時の仮想質量について, 第19回海岸工学講演会講演集, 1972, pp. 427~431.
26. 藤野正隆: 制限水路における船の操縦について, 造船協会論文集, 第124号, 1968, pp. 51~72.
27. 若桑 訥: 船舶の接岸力について, 船舶技術研究所報告, 第1巻, 第1号, 1964, pp.1~44.
28. 上田 茂, 白石 悟: 係留船舶の動揺計算法とその評価, 港湾技術研究所報告, 第22巻, 第4号, 1983, pp. 181~218.
29. たとえば, 小林正典ほか: 船舶の耐航性に関する理論計算プログラム, 三井造船技報, 第82号, 1973, pp. 18~51.
30. 元良誠三: Gravity Dynamometer による波浪中抵抗試験及び Surging について, 造船協会論文集, 第94号, 1953, pp. 43~52.
31. 合田良実ほか: 楕円体近似による固定船体に働く波力の理論および実験, 港湾技術研究所報告, 第12巻, 第4号, 1973, pp. 23~74.
32. 高石敬史ほか: 船体に働く横揺れ減衰力について(第1報) — 自由揺れ試験結果 —, 船舶技術研究所報告, 第16巻, 第45号, 1979, pp. 13~28.
33. 元良誠三監修: 船体と海洋構造物の運動学, 成山堂, 1982, 362p.
34. 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1979.
35. Maruo, H.: The Drift of a Body Floating on Waves, *Journal of Ship Research*, Vol.4, No3, 1960, pp.1~10.
36. 田才福造: 規則波中の二次元物体に働く漂流力について, 関西造船会誌, 第152号, 1975, pp. 69~77.
37. Hsu, F. H., and K. A. Blenkarn: Analysis of Peak Mooring Force Caused by Slow Vessel Drift Oscillation in Random seas, 2nd *OTC*, 1970, #1159, pp.1-135~1-146.
38. Pinkstar, J. A.: Low Frequency Second Order Wave Excitating Forces on Floating Structures, *Publication* No 650, *Netherlands Ship, Model Basin*, 1980, 204 p.
39. 上田 茂: 係岸船舶の動揺解析手法とその応用に関する研究, 港湾技研資料, No504, 1984, 372 p.
40. 上田 茂, 小熊康文: 荒天時の係岸避泊の限界条件と係船付帯設備の設計手順について, 第31回海岸工学講演会講演集, 1984, pp. 456~460.
41. Mannesmann: Mannesmann Dolphin, Oil Terminal Whihelmshaven, Catalogue.

## 記号表

- $A$  : 水面上船体正面投影面積, または動揺両振幅
- $A_0$  : 任意基準動揺両振幅
- $A_N$  : 正規分布に対して超過確率が  $1/N$  となる動揺両振幅
- $A(x)$  : 船体の水面下の面積
- $a$  : 入射波の振幅, または  $x$  軸方向の長さ
- $B$  : 減衰係数のマトリックス, または船幅, または静的復元力マトリックス, または水面上船体側面投影面積, または喫水線下の船側面積
- $B_{ij}$  : 減衰係数のマトリックスの要素
- $b$  : 浮体の半幅, または  $y$  軸方向の長さ, または杭の幅
- $C$  : 慣性モーメントのマトリックス, または非線形減衰マトリックス, または風圧力係数, または流圧係数
- $C_b$  : ブロック係数
- $C_c$  : バースの形状係数
- $C_e$  : 偏心係数
- $C_{ij}$  : 慣性モーメントのマトリックスの要素

- $C_m$  : 仮想質量係数  
 $C_{mz}$  :  $x$  方向分力に対する慣性力係数  
 $C_{my}$  :  $y$  方向分力に対する慣性力係数  
 $C_s$  : 柔軟性係数  
 $D$  : 喫水, または波の進行方向に対する船舶の遮蔽幅  
 $DT$  : 船舶の排水トン  
 $DWT$  : 船舶の重量トン  
 $d$  : 余裕水深, または喫水  
 $dwt$  : 重量トン  
 $E$  : 船舶の接岸エネルギー  
 $E_1$  : 杭の応力度が許容応力度に達するまでに防衛システム全体で吸収する全エネルギー  
 $E_2$  : 杭の応力度が降伏応力度に達するまでに防衛システム全体で吸収する全エネルギー  
 $E_D$  : ドルフィンの吸収エネルギー  
 $E_{D1}$  : 杭の応力度が許容応力度に達するまでにドルフィンが吸収するエネルギー  
 $E_{D2}$  : 鋼製ドルフィンの剰余吸収エネルギー  
 $E_{F1}$  : 杭の応力度が許容応力度に達するまでに防げん材が吸収するエネルギー  
 $E_{F2}$  : 防げん材の剰余吸収エネルギー  
 $E_f$  : 吸収エネルギー  
 $E_s$  : 接岸船舶の運動エネルギー  
 $F$  : 衝撃力, または係留系による拘束力のマトリックス  
 $F_0$  : 定常荷重のベクトル  
 $F_i$  : 係留系による拘束力のマトリックス  
 $F_{max}$  : 最大瞬間風速に対する防衛工荷重  
 $F_{mean}$  : 平均風速に対する防衛工荷重  
 $F_z$  : 波強制力  
 $F_{zmax}$  :  $x$  (長軸) 方向分力の最大値  
 $F_{ymax}$  :  $y$  (短軸) 方向分力の最大値  
 $f$  : 杭頭部のたわみ量  
 $f_w$  : 地盤反力係数  
 $f(t)$  : 確率密度  
 $g$  : 重力の加速度  
 $H$  : 入射波の波高  
 $H_{1/2}$  : 有義波高  
 $h$  : 水深, または海底面から載荷点までの高さ  
 $I$  : 断面二次モーメント  
 $i$  : 虚数単位  
 $K$  : 剛性マトリックス, または付加質量, 付加慣性モーメントマトリックス  
 $K_{ij}$  : 船舶に対するばね定数のマトリックス式の要素  
 $K_x$  : 係船岸に固定した座標系の  $X$  軸に平行なばねのばね定数  
 $K_y$  : 係船岸に固定した座標系の  $Y$  軸に平行なばねのばね定数  
 $K_z$  : 係船岸に固定した座標系の  $Z$  軸に平行なばねのばね定数  
 $k$  : 波数  
 $k_h$  : 地盤反力係数  
 $k_{ij}$  :  $x y z$  軸に対するばね定数の要素  
 $k_s$  : 横抵抗係数  
 $L$  : 係船岸上の A 点の  $X$  軸方向の距離, または船長, または水深  $h$  における入射波の波長  
 $LPP$  : 垂線間長  
 $l$  : 係船岸に平行に測った接触点から船舶の重心までの距離  
 $l_1$  : 係船岸に固定した座標系の  $X$  軸に対する船舶に固定し海面を原点とする座標系の  $x$  軸の方向余弦  
 $l_2$  : 係船岸に固定した座標系の  $X$  軸に対する船舶に固定し海面を原点とする座標系の  $y$  軸の方向余弦  
 $l_3$  : 係船岸に固定した座標系の  $X$  軸に対する船舶に固定し海面を原点とする座標系の  $z$  軸の方向余弦  
 $M$  : 質量のマトリックス, または質量, 慣性モーメントマトリックス  
 $M_a$  : 船舶の付加質量  
 $M_{max}$  : 最大曲げモーメント  
 $M_s$  : 船舶の質量  
 $m$  : 物体の衝撃時の質量  
 $m_{ij}$  : 付加質量および付加慣性モーメントの要素  
 $m_1$  : 係船岸に固定した座標系の  $Y$  軸に対する船舶に固定し海面を原点とする座標系の  $x$  軸の方向余弦  
 $m_2$  : 係船岸に固定した座標系の  $Y$  軸に対する船舶に固定し海面を原点とする座標系の  $y$  軸の方向余弦  
 $m_3$  : 係船岸に固定した座標系の  $Y$  軸に対する船舶に固定し海面を原点とする座標系の  $z$  軸の方向余弦  
 $N$  : 線形減衰マトリックス, または期待最大値に対する標本数, または  $N$  値  
 $O$  : 船舶に固定し海面を原点とする座標系の原点  
 $O'$  : 係船岸に固定した座標系の原点  
 $O_0$  : 移動座標系の原点

$O_b$  : 船舶の重心を原点とする座標系の原点  
 $OG$  : 船舶に固定し海面を原点とする座標系における原点と船舶の重心との距離  
 $P_m$  : 最大横抵抗力  
 $p_F$  : 船体断面に及ぼす圧力  
 $p_{dy}$  : 水平方向の変動圧  
 $p_{dz}$  : 上下方向の変動圧  
 $R$  : 静水圧的復元力のマトリックス, または重心と防衛工との接触点との距離, または係留系の剛性マトリックス, または風荷重の合力, または流圧力, 防衛工反力  
 $R_{10}$  : 防げん材の10%変形  $\delta_{10}$  に対する反力  
 $R_f$  : 流圧力  
 $R_i$  : 静水圧的復元力のマトリックス要素  
 $R_{max}$  : 防衛工の最大反力  
 $r$  : 水平面で船舶の重心を通る鉛直軸まわりの回転半径, または船舶の環動半径  
 $S$  : 水没断面積, 浸水面積  
 $S_1$  : 船舶の水面上投影面積  
 $S_2$  : 船舶の水面上投影面積  
 $s$  : 船舶の重心から a 点までの高さ  
 $T_{1/3}$  : 有義波周期  
 $T_m$  : 等価相対速度および加速度を求める場合の代表吃水  
 $T_{m1}$  : 等価相対速度および加速度を求める場合の代表吃水 (横方向の力を求めるとき)  
 $T_{m2}$  : 等価相対速度および加速度を求める場合の代表吃水 (上下方向の力を求めるとき)  
 $t$  : 時間  
 $t_0$  : 初期の時間, または杭の打ち込み長  
 $U$  : 風速  
 $U_{XI}$  : x 方向の入射波の水粒子の速度  
 $\dot{U}_{XI}$  : x 方向の入射波の水粒子の加速度  
 $U_{XR}$  : x 方向の反射波の水粒子の速度  
 $\dot{U}_{XR}$  : x 方向の反射波の水粒子の加速度  
 $\bar{U}_y$  : 左右方向の等価相対速度  
 $\dot{\bar{U}}_y$  : 左右方向の等価相対加速度  
 $U_{YI}$  : y 方向の入射波の水粒子の速度  
 $\dot{U}_{YI}$  : y 方向の入射波の水粒子の加速度  
 $\bar{U}_{YI}$  : 船舶中心線面内の入射波の左右方向の水粒子の速度  
 $\dot{\bar{U}}_{YI}$  : 船舶中心線面内の入射波の左右方向の水粒子の加速度  
 $U_{YR}$  : y 方向の反射波の水粒子の速度  
 $\dot{U}_{YR}$  : y 方向の反射波の水粒子の加速度

$\bar{U}_{YR}$  : 船舶中心線面内の係船岸による反射波の上下方向の水粒子の速度  
 $\dot{\bar{U}}_{YR}$  : 船舶中心線面内の係船岸による反射波の左右方向の水粒子の加速度  
 $\bar{U}_z$  : 上下方向の等価相対速度  
 $\dot{\bar{U}}_z$  : 上下方向の等価相対加速度  
 $U_{ZI}$  : z 方向の入射波の水粒子の速度  
 $\dot{U}_{ZI}$  : z 方向の入射波の水粒子の加速度  
 $\bar{U}_{ZI}$  : 船舶中心線面内の入射波の上下方向の水粒子の加速度  
 $U_{ZR}$  : z 方向の反射波の水粒子の速度  
 $\dot{U}_{ZR}$  : z 方向の反射波の水粒子の加速度  
 $\bar{U}_{ZR}$  : 船舶中心線面内の係船岸による反射波の上下方向の水粒子の加速度  
 $V$  : 船舶の接岸速度, または漂流速度, または潮流の流速  
 $v$  : 衝撃時の速度  
 $v_0$  : 初期の速度  
 $v_x$  : 移動座標系の  $x_0$  軸の移動速度  
 $v_y$  : 移動座標系の  $y_0$  軸の移動速度  
 $W_b$  : 船舶の排水量  
 $W_v$  : 船舶の仮想重量  
 $W_v = W \{ 1 + (\pi/2 C_b)(D/B) \}$   
 $w_0$  : 水の単位体積重量  
 $X$  : 船舶に固定した座標系の X 軸, または強制力のマトリックス, または船舶の重心とドルフィンとの中心との距離  
 $X_m$  : 最大曲げモーメントの発生位置  
 $x$  : 船舶に固定し海面を原点とする座標系の x 軸  
 $x$  : 変位ベクトル, または速度ベクトル, または加速度ベクトル  $x = (x, y, z, \phi, \theta, \psi)$ , またはサージング  
 $\dot{x}|\dot{x}|$  : 速度の 2 乗のベクトル  
 $x_0$  : 移動座標系の x 軸  
 $x_b$  : 船舶の重心を原点とする座標系の x 軸  
 $x_G$  :  $x_b$  の平行移動距離  
 $x_N$  : 標本数に対して, 超過確率が  $1/N$  となる動揺両振幅  
 $Y$  : 係船岸に固定した座標系の Y 軸  
 $y$  : 船舶に固定し海面を原点とする座標系の y 軸, またはスウェィング  
 $y_0$  : 移動座標系の y 軸  
 $y_B$  : 係船岸の法線と船体の船首尾方向の軸との距離  
 $y_b$  : 船舶の重心を原点とする座標系の y 軸  
 $y_G$  :  $y_b$  の平行移動距離



|                |   |                |  |
|----------------|---|----------------|--|
| $Z$            | : 係船岸に固定した座標系の $Z$ 軸                            | $\xi$          | : 発生係数 (coefficient of rebound)          |
| $z$            | : 船舶に固定し海面を原点とする座標系の $z$ 軸,<br>またはヒービング         | $\pi$          | : 円周率                                    |
| $z_0$          | : 移動座標系の $z$ 軸                                  | $\rho_a$       | : 空気の密度                                  |
| $z_b$          | : 船舶の中心を原点とする座標系の $z$ 軸                         | $\rho_w$       | : 海水の密度                                  |
| $z_G$          | : $z_b$ の平行移動距離                                 | $\sigma$       | : 接岸速度の標準偏差, または応力度                      |
| $\alpha$       | : $x$ 軸に対する波の入射角                                | $\sigma_{all}$ | : 鋼製ドルフィンの許容応力度                          |
| $\gamma$       | : $R$ と速度ベクトルとのなす角, または有効波傾<br>斜係数              | $\sigma_{sa}$  | : 鋼管杭の許容応力度                              |
| $\gamma_a$     | : 土の水中の単位体積重量                                   | $\sigma_y$     | : 鋼管杭の降伏応力度                              |
| $\Delta$       | : 船舶の排水量  | $\tau$         | : 微小な時間                                  |
| $\Delta t$     | : 衝撃の時間   | $\phi$         | : $z_b$ 軸回りの回転角度, またはローリング, また<br>は内部摩擦角 |
| $\delta$       | : ドルフィンの変形量                                     | $\phi_{dy}$    | : ディフラクション速度ポテンシャル                       |
| $\delta_{10}$  | : 防げん材の高さの10%に相当する変形量                           | $\phi_{dz}$    | : ディフラクション速度ポテンシャル                       |
| $\delta_a$     | : 防げん材の許容変位                                     | $\varphi_A$    | : 単位速度ポテンシャルの虚数部                         |
| $\delta_F$     | : $F_{max}$ による防げん材変形量                          | $\varphi_{Ay}$ | : " の $y$ 方向成分                           |
| $\delta_R$     | : 防げん材の定格変形量                                    | $\varphi_{Az}$ | : " の $z$ 方向成分                           |
| $\delta_s$     | : スウェイング, ヨウイング, ローリングによる<br>防げん材位置の船舶の動揺量      | $\varphi_S$    | : 単位速度ポテンシャルの実数部                         |
| $\theta$       | : $y_b$ 軸回りの回転角度, またはピッチング, また<br>は風向が船体中心線となす角 | $\varphi_{Sy}$ | : " の $y$ 方向成分                           |
| $\lambda_{ph}$ | : 受動土圧係数  | $\varphi_{Sz}$ | : " の $z$ 方向成分                           |
| $\mu$          | : 接岸速度の平均値                                      | $\chi$         | : 移動座標系の $z_0$ 軸回りの回転角度                  |
|                |   | $\psi$         | : $z_b$ 軸回りの回転角度, またはヨウイング               |
|                |   | $\omega$       | : 重心まわりの角速度, または入射波の角振動数                 |

## 付録 - 1 防衛工に関する研究および 防衛工開発の経緯

係留施設における防衛工の設計に関する研究は、第二次世界大戦後本格的に始められたといえる。もっとも、これは欧米のことであって、我が国においてはこれより約10年ほど遅れて研究が開始された。欧米においては、係留施設の防衛工は係留システムの一部と考えられ、その意味で、防衛工の設計に関する諸問題は、係船岸における船舶の係留問題として取り扱われてきている。

アメリカ西海岸のロスアンゼルス港や、南アフリカのケープタウン港では係留船舶の長周期動揺が生じ、係留施設を破損したり、係留索を切断するなどの事故が発生したので、それぞれ、1944年または1945年に係留船舶の動揺観測が実施され、その対策が講じられている。

1953年、ローマで開催された第18回国際航路会議(PIANC)において、係留施設の防衛工の設計に関する議題が取り上げられ、イタリア、ドイツ、ベルギー、アメリカ、フランス、オランダ、ポルトガル、イギリスの各国から、合計10編の論文が提出された<sup>1)</sup>。

論文の内容は、

- ① 各国の係留施設における防衛工の状況
- ② 船舶に作用する風荷重、潮流による荷重
- ③ 係船ドルフィンの抵抗試験
- ④ 接岸時に係船岸およびドルフィンに作用する荷重の計算
- ⑤ その他、防衛工の設計に関する事項

論文の内容から判断すると、当時の防衛工の主流は木材であった。当時において、目新しいものとしては、ベル式の重力式防衛工、鋼管杭式のドルフィンなどであった。この会議で提案された接岸時に係船岸およびドルフィンに作用する荷重の計算法は、今日においても防衛工の設計の基本式として用いられている。

我が国においてはPIANCにおける論議を契機に、係留施設における防衛工の設計を確立するための研究が開始され、1954年に防衛工分科会が運輸省港湾局のワーキンググループとして発足した。防衛工委員会においては、PIANCの成果を取り入れ、弾性防げん材の設計法をとりまとめた。また、ゴム防げん材の材質基準を設定した<sup>2)</sup>。この間、建設局等において、防衛工に作用する接岸エネルギーおよび衝撃力の実船観測が行われている。また、新しい防げん材の開発が進み、吸収エネルギー性能が良いV型のゴム防げん材が開発され、神戸港に設置された。この種の防げん材は定反力型防げん材(座屈型防げん材ともいう)と呼ばれるもので、防げん材の初期の変形に対

し反力の増加が大きく、かつ、定反力領域を有するので、単位反力当たりの吸収エネルギーが大きいという特徴をもつ。以来、防げん材の開発は、より吸収エネルギー性能が良い定反力型防げん材の開発の方向に進み、その後、1970年前後に、H型、セル型、サークル型、パイ型、また、これよりあと反力漸増型防げん材のABF-P、などの大型防げん材が開発され、今日に至っている。

船舶の接岸および係留に関する研究は、大型船の就航を契機に再び活発に行われ、接岸操船および係留船舶の動揺の実船観測などが各方面で実施された。NATOは、「船舶の接岸および係留に関するシンポジウム」を1965年リスボン、1973年イギリスのウォリングフォードで、開催した<sup>3)4)</sup>。また、本年9月にノルウェーのトロンドハイムで開催する。このシンポジウムには大学、研究機関、ポートオーソリティコンサルタント、防げん材メーカーなど、船舶の接岸および係留、ならびに防げん材の開発に携わる人々が出席し、この分野における研究の集大成を行うとともに今後の研究の課題を論議してきている。1977年6月ソ連のレニングラードで、第24回PIANC通常総会が開催され、議題4(S II-4)で、「棧橋および岸壁の弾性度を考慮にいれた、超大型船や高速コンテナ船やその他の大型船のための防衛工の設計について」が取り上げられ論議された<sup>5)</sup>。その後、PIANC防衛工委員会が設置され1985年に報告書<sup>6)</sup>が取りまとめられた経緯については本文で述べたとおりである。

### 参考文献

- 1) *Proc. of 18th International Association of Navigation Congresses. SII*
- 2) 調査設計室報告(第一報), 1962.
- 3) *Proc. of NATO Advanced Study Institute on Analytical Treatment of Problems of Berthing and Mooring Ships.* 1965, Lisbon, Portugal.
- 4) *Proc. of NATO Advanced Study Institute on Analytical Treatment of Problems of Berthing and Mooring Ships.* 1973, Wallingford, England.
- 5) *Proc. of 24th International Association of Navigation Congresses. SII*
- 6) *Report of the International Commission for Improving the Design of Fender Systems.* 1984.

付録 一 2 接岸エネルギーの計算例

接岸エネルギーの計算

記号

DWT=重量トン (tf)

V=接岸速度 (m/s)

CE=偏心係数

CB=ブロック係数

L=船長 (m)

B=型幅 (m)

D=吃水 (m)

CM=仮想質量係数 (上田による)

CM1=仮想質量係数 (バスコ・コスタタによる)

CM2=仮想質量係数 (スチルソンの実験による)

E=接岸エネルギー (tfm)

E2=スチルソンの実験に基づいて計算した接岸エネルギー (tfm)

S=船型, S=1; 貨物船, S=2; 原油タンカー, S=3; 鉱石船

重量トン (DWT) と排水トン (DT) の関係式

貨物船  $\log DT = 0.177 + 0.991 \log DWT$

原油タンカー  $\log DT = 0.263 + 0.963 \log DWT$

鉱石船  $\log DT = 0.294 + 0.956 \log DWT$

全長 (L) と垂線間長 (LPP) の関係式

貨物船  $\log LPP = -0.081 + 1.024 \log L$

原油タンカー  $\log LPP = -0.087 + 1.027 \log L$

鉱石船  $\log LPP = -0.087 + 1.028 \log L$

ケース数 42

接岸速度の数 5

偏心係数の数 4

V 接岸速度 (m/s)

0.08 0.10 0.15 0.20 0.30

CE 偏心係数

0.5 0.6 0.7 0.8

ケース No. 1 傾心係数  
V 接片速度 CE 0.5  
0.08m/s

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 0.34   | 0.25    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 0.48   | 0.35    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.53 | 0.93   | 0.69    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.07 | 1.87 | 1.53 | 1.42   | 1.05    |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 1.86   | 1.39    |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 2.30   | 1.72    |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.576 | 2.16 | 1.85 | 1.51 | 2.94   | 2.15    |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.594 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 3.37   | 2.48    |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.599 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 3.84   | 2.82    |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 4.23   | 3.13    |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.143 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 4.65   | 3.45    |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.141 | 0.419 | 0.669 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 6.70   | 5.04    |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 8.88   | 6.70    |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 12.70  | 9.71    |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 16.59  | 12.76   |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 20.48  | 15.81   |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 0.33   | 0.25    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 0.47   | 0.35    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 0.91   | 0.68    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 1.39   | 1.03    |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 2.28   | 1.69    |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.652 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 4.38   | 3.25    |
| 15000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 6.30   | 4.72    |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 8.23   | 6.19    |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 11.87  | 9.00    |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.699 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 15.30  | 11.69   |
| 50000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 18.86  | 14.44   |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 25.46  | 19.66   |
| 100000  | 119574 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 34.01  | 26.78   |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 52.37  | 40.62   |
| 200000  | 233288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 67.74  | 52.92   |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 82.47  | 64.84   |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 4.42   | 3.28    |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 6.32   | 4.74    |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 8.07   | 6.11    |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 11.53  | 8.83    |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.84 | 1.42 | 14.85  | 11.46   |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 17.89  | 13.93   |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 24.65  | 19.21   |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 30.77  | 24.14   |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 37.40  | 28.38   |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 54.28  | 41.40   |

ケース No. 2  
V 接岸運抵 CE 橋心係数  
0.08m/s 0.6

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 0.41   | 0.30    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 0.57   | 0.43    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 1.11   | 0.83    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 1.70   | 1.26    |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 2.24   | 1.66    |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 2.76   | 2.06    |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.676 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 3.53   | 2.58    |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.676 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 4.05   | 2.98    |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.676 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 4.60   | 3.39    |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 5.08   | 3.76    |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 5.58   | 4.15    |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 161.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.669 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 8.04   | 6.05    |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 10.66  | 8.02    |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 15.24  | 11.65   |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 19.91  | 16.31   |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 24.58  | 18.97   |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 0.39   | 0.30    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 0.67   | 0.42    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 1.10   | 0.82    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 1.67   | 1.23    |
| 5000    | 6686   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.166 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 2.74   | 2.02    |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 5.26   | 3.90    |
| 15000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 7.56   | 5.66    |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 9.87   | 7.42    |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 14.25  | 10.80   |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 18.36  | 14.03   |
| 50000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 22.63  | 17.33   |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 30.56  | 23.59   |
| 100000  | 119574 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 40.82  | 32.13   |
| 150000  | 176888 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.812 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 62.84  | 48.74   |
| 200000  | 233288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.821 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 81.29  | 63.50   |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 98.96  | 77.81   |

錠石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13132  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 5.31   | 3.94    |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 7.59   | 5.69    |
| 20000   | 26456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.408 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 9.68   | 7.33    |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 13.83  | 10.59   |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 17.82  | 13.75   |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 21.46  | 16.72   |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 29.58  | 23.05   |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 36.92  | 28.96   |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 44.88  | 34.05   |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 65.14  | 49.68   |

ケース No. 3  
V 接岸速度 CE 係数  
0.08m/s 0.7

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m)  | B/L   | D/B   | CB   | CM   | CM1  | CM2   | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 45.5   | 8.5  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 0.48  | 0.35   |         |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 0.67  | 0.50   |         |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 1.30  | 0.97   |         |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 1.98  | 1.47   |         |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 2.61  | 1.94   |         |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 3.22  | 2.41   |         |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 0.146 | 0.426 | 0.656 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 4.12  | 3.01   |         |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 0.146 | 0.426 | 0.656 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 4.72  | 3.47   |         |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 0.145 | 0.426 | 0.656 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 5.37  | 3.95   |         |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 5.92  | 4.39   |         |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 0.143 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 6.51  | 4.84   |         |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 0.143 | 0.419 | 0.669 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 9.38  | 7.05   |         |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 12.44 | 9.36   |         |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 17.79 | 13.59  |         |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 23.22 | 17.86  |         |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 28.67 | 22.13  |         |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m)  | B/L   | D/B   | CB   | CM   | CM1  | CM2    | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 0.46   | 0.35   |         |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 0.66   | 0.49   |         |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 1.28   | 0.95   |         |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 1.94   | 1.44   |         |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 3.19   | 2.36   |         |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 4.56   | 3.36   |         |
| 15000   | 19256  | 167.0 | 147.3  | 21.7 | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 8.81   | 6.61   |         |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 11.52  | 8.66   |         |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 16.62  | 12.60  |         |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 21.42  | 16.37  |         |
| 50000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 26.41  | 20.22  |         |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 35.65  | 27.53  |         |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 47.62  | 37.49  |         |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 73.32  | 56.87  |         |
| 200000  | 233288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 94.84  | 74.08  |         |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 115.46 | 90.78  |         |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m)  | B/L   | D/B   | CB   | CM   | CM1  | CM2   | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 6.19  | 4.60   |         |
| 15000   | 19355  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 8.85  | 6.64   |         |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 11.29 | 8.56   |         |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 16.14 | 12.36  |         |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 20.79 | 16.04  |         |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 25.04 | 19.51  |         |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 34.51 | 26.89  |         |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.40 | 43.08 | 33.79  |         |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 52.36 | 39.73  |         |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 75.99 | 57.97  |         |

ケース No. 4  
V 接岸速度 CE 偏心率  
0.08m/s 0.8

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 0.54   | 0.40    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 0.76   | 0.57    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 1.48   | 1.11    |
| 3000    | 4195   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.165 | 0.447 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 2.26   | 1.68    |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 2.98   | 2.22    |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 3.69   | 2.75    |
| 6000    | 8340   | 112.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.675 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 4.71   | 3.44    |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.145 | 0.426 | 0.694 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 5.40   | 3.97    |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.694 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 6.14   | 4.52    |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.12 | 1.85 | 1.54 | 6.77   | 5.01    |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 7.44   | 5.53    |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.669 | 2.06 | 1.84 | 1.53 | 7.44   | 5.53    |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 10.72  | 8.06    |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 14.21  | 10.70   |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 20.33  | 15.53   |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 26.54  | 20.41   |
|         |        |       |        |      |      |       |       |       | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 32.77  | 25.29   |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 0.53   | 0.39    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 0.76   | 0.56    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 1.46   | 1.09    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 2.22   | 1.64    |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 3.65   | 2.70    |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 7.01   | 5.21    |
| 15000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 10.07  | 7.56    |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 13.16  | 9.90    |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 19.00  | 14.40   |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 24.48  | 18.71   |
| 50000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 30.18  | 23.11   |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 40.74  | 31.46   |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.734 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 54.42  | 42.84   |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 83.79  | 64.99   |
| 200000  | 233288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 108.39 | 84.67   |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 131.95 | 103.75  |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 7.08   | 5.25    |
| 15000   | 19355  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.405 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 10.12  | 7.59    |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 12.91  | 9.78    |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 18.45  | 14.12   |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 23.76  | 18.33   |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 28.62  | 22.29   |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 39.44  | 30.73   |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 49.23  | 38.62   |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 59.84  | 45.41   |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 86.85  | 66.25   |

ケース No. 5  
V 接片速度 CE 係数  
0.10m/s 0.5

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 0.53   | 0.39    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 0.75   | 0.55    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 1.45   | 1.08    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.437 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 2.21   | 1.64    |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.658 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 2.91   | 2.17    |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 3.60   | 2.69    |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.594 | 2.16 | 1.85 | 1.56 | 4.60   | 3.36    |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.594 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 5.38   | 4.41    |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.599 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 5.99   | 4.41    |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 6.61   | 4.89    |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 7.27   | 5.40    |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.669 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 10.47  | 7.87    |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 13.88  | 10.45   |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 19.85  | 15.17   |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 25.92  | 19.93   |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 32.00  | 24.70   |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.653 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 0.51   | 0.39    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 0.74   | 0.55    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 1.43   | 1.07    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 2.17   | 1.61    |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.56 | 3.56   | 2.63    |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 6.84   | 5.08    |
| 15000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 9.84   | 7.37    |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 12.86  | 9.67    |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 18.55  | 14.06   |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 23.91  | 18.27   |
| 50000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 29.47  | 22.57   |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 39.79  | 30.72   |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.784 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 53.15  | 41.84   |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 81.83  | 63.47   |
| 200000  | 233288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 105.85 | 82.68   |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 128.86 | 101.32  |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 6.91   | 5.13    |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 9.88   | 7.41    |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 12.61  | 9.55    |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 18.01  | 13.79   |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 23.20  | 17.90   |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 27.95  | 21.77   |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 38.52  | 30.01   |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 13.5 | 0.161 | 0.357 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 48.08  | 37.71   |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.645 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 58.43  | 44.34   |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 84.81  | 64.69   |



ケース No. 6  
V 接岸速度 CE 偏心率係数  
0.10m/s 0.6

貨物船

| DWT(ttf) | DT(ttf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(ttfm) | E2(ttfm) |
|----------|---------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|---------|----------|
| 700      | 992     | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 0.64    | 0.47     |
| 1000     | 1413    | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 0.66    | 0.66     |
| 2000     | 2808    | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 1.74    | 1.30     |
| 3000     | 4196    | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 2.65    | 1.97     |
| 4000     | 5580    | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.447 | 0.658 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 3.49    | 2.60     |
| 5000     | 6961    | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 4.32    | 3.23     |
| 6000     | 8340    | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.676 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 5.52    | 4.04     |
| 7000     | 9716    | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.694 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 6.33    | 4.65     |
| 8000     | 11091   | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.699 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 7.19    | 5.29     |
| 9000     | 12464   | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 7.93    | 5.87     |
| 10000    | 13836   | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 8.72    | 6.48     |
| 15000    | 20678   | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.669 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 12.56   | 9.45     |
| 20000    | 27499   | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 16.66   | 12.54    |
| 30000    | 41099   | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 23.82   | 18.20    |
| 40000    | 54657   | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 31.10   | 23.92    |
| 50000    | 68184   | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 38.40   | 29.64    |

原油タンカー

| DWT(ttf) | DT(ttf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(ttfm) | E2(ttfm) |
|----------|---------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|---------|----------|
| 700      | 1007    | 60.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 0.62    | 0.46     |
| 1000     | 1419    | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 0.89    | 0.66     |
| 2000     | 2766    | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 1.28    | 0.93     |
| 3000     | 4088    | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 2.60    | 1.93     |
| 5000     | 6685    | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 4.28    | 3.16     |
| 10000    | 13032   | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 8.21    | 6.10     |
| 15000    | 19256   | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 11.80   | 8.85     |
| 20000    | 25403   | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 15.43   | 11.60    |
| 30000    | 37538   | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 22.26   | 16.88    |
| 40000    | 49520   | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 28.69   | 21.92    |
| 50000    | 61392   | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 35.37   | 27.08    |
| 70000    | 84885   | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 47.75   | 36.87    |
| 100000   | 119674  | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 63.78   | 50.21    |
| 150000   | 176838  | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 98.19   | 76.16    |
| 200000   | 233288  | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 127.02  | 99.22    |
| 250000   | 289212  | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 154.63  | 121.58   |

鉱石船

| DWT(ttf) | DT(ttf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(ttfm) | E2(ttfm) |
|----------|---------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|---------|----------|
| 10000    | 13122   | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 8.29    | 6.16     |
| 15000    | 19335   | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.405 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 11.86   | 8.89     |
| 20000    | 26456   | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 15.13   | 11.46    |
| 30000    | 37508   | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 21.62   | 16.55    |
| 40000    | 49382   | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 27.84   | 21.48    |
| 50000    | 61125   | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 33.54   | 26.13    |
| 70000    | 84317   | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 46.22   | 36.02    |
| 90000    | 107215  | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 57.69   | 45.26    |
| 100000   | 118577  | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 70.12   | 53.21    |
| 150000   | 174720  | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 101.78  | 77.63    |

ケース No. 7  
V 接岸速度 CE 偏心係数  
0.10m/s 0.7

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 0.74   | 0.55    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 1.05   | 0.77    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 2.03   | 1.51    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 3.10   | 2.30    |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 4.07   | 3.03    |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 5.04   | 3.76    |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.576 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 6.44   | 4.71    |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.594 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 7.38   | 5.43    |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.599 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 8.39   | 6.18    |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 9.25   | 6.85    |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 10.17  | 7.56    |
| 15000   | 20878  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.669 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 14.65  | 11.02   |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 19.43  | 14.63   |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 27.79  | 21.23   |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 36.29  | 27.90   |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 44.80  | 34.58   |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 0.72   | 0.54    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 1.04   | 0.77    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 2.00   | 1.49    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 3.04   | 2.25    |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 4.99   | 3.69    |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 9.58   | 7.12    |
| 20000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 13.77  | 10.32   |
| 30000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 18.00  | 13.54   |
| 40000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 25.97  | 19.69   |
| 50000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 33.47  | 26.58   |
| 70000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 41.26  | 31.59   |
| 100000  | 84885  | 250.0 | 237.6  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 55.70  | 43.01   |
| 150000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 74.41  | 58.57   |
| 200000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 114.56 | 88.86   |
| 300000  | 232888 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 148.19 | 115.75  |
| 400000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 180.40 | 141.85  |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 9.68   | 7.18    |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 13.84  | 10.37   |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 17.65  | 13.37   |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 25.22  | 19.31   |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 32.48  | 25.06   |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 39.13  | 30.48   |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 53.93  | 42.02   |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 67.31  | 52.80   |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 81.81  | 62.08   |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 118.74 | 90.57   |

ケース No. 8  
V 揚片速度 CE 偏心率数  
0.10m/s 0.8

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.541 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 0.85   | 0.63    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.548 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 1.19   | 0.89    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 2.32   | 1.73    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.444 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 3.54   | 2.63    |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 4.66   | 3.47    |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 5.76   | 4.30    |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.676 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 7.36   | 5.38    |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.676 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 8.43   | 6.20    |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.676 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 9.59   | 7.06    |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 10.58  | 7.83    |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 11.63  | 8.64    |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.619 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 16.75  | 12.59   |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.666 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 22.21  | 16.72   |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 31.76  | 24.27   |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 41.47  | 31.89   |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 51.20  | 39.52   |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 0.82   | 0.62    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 1.19   | 0.88    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.0  | 0.170 | 0.447 | 0.669 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 2.28   | 1.71    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 3.47   | 2.57    |
| 5000    | 6686   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.158 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 6.70   | 4.22    |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 10.95  | 8.14    |
| 15000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 15.74  | 11.80   |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 20.57  | 15.47   |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 29.69  | 22.50   |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 38.25  | 29.23   |
| 50000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 47.15  | 36.11   |
| 70000   | 84895  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.152 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 63.66  | 49.15   |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 85.03  | 66.94   |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.812 | 1.81 | 1.81 | 1.39 | 130.92 | 101.55  |
| 200000  | 233288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 169.36 | 132.29  |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 206.17 | 162.11  |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 11.06  | 8.21    |
| 15000   | 19336  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 15.81  | 11.85   |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 20.17  | 15.28   |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 28.82  | 22.07   |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 37.12  | 28.64   |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 44.72  | 34.83   |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.152 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 61.63  | 48.02   |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.151 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.38 | 1.38 | 76.93  | 60.34   |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.846 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 93.49  | 70.95   |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 135.70 | 103.51  |

ケース No. 9 CE 偏心係数  
V 接岸速度 0.5  
0.15m/s

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 1.19   | 0.88    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 1.26   | 1.68    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 3.26   | 2.43    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.165 | 0.447 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 4.98   | 3.69    |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 6.55   | 4.88    |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 8.10   | 6.05    |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.576 | 2.06 | 1.85 | 1.58 | 10.35  | 7.57    |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.145 | 0.426 | 0.594 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 11.86  | 8.72    |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.599 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 13.49  | 9.93    |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.87 | 1.54 | 14.87  | 11.01   |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 16.35  | 12.15   |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.659 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 23.55  | 17.71   |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 31.23  | 23.51   |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 44.66  | 34.13   |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 58.32  | 44.85   |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 72.00  | 55.57   |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 1.16   | 0.87    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 1.24   | 0.87    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 3.21   | 2.40    |
| 3000    | 4098   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 4.88   | 3.61    |
| 4000    | 5486   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 8.02   | 5.93    |
| 5000    | 6885   | 109.0 | 102.0  | 15.0 | 7.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 15.40  | 11.44   |
| 6000    | 8285   | 126.0 | 117.3  | 16.7 | 7.8  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 22.13  | 16.59   |
| 7000    | 9685   | 143.0 | 132.6  | 18.3 | 8.5  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 28.92  | 21.75   |
| 8000    | 11085  | 160.0 | 147.9  | 19.9 | 9.2  | 0.148 | 0.412 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 41.75  | 31.65   |
| 9000    | 12485  | 177.0 | 163.2  | 21.5 | 10.0 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 41.75  | 31.65   |
| 10000   | 13885  | 194.0 | 178.5  | 23.1 | 10.9 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 53.79  | 41.11   |
| 15000   | 20685  | 226.0 | 214.1  | 26.7 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 66.31  | 50.77   |
| 20000   | 27485  | 258.0 | 249.5  | 29.3 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 89.52  | 69.12   |
| 30000   | 41085  | 290.0 | 311.0  | 33.9 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.734 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 119.58 | 94.14   |
| 40000   | 54685  | 322.0 | 346.5  | 37.5 | 15.6 | 0.152 | 0.374 | 0.734 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 119.58 | 94.14   |
| 50000   | 68285  | 354.0 | 412.0  | 41.1 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.792 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 184.11 | 142.81  |
| 60000   | 81885  | 386.0 | 478.0  | 44.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 238.16 | 186.03  |
| 70000   | 95485  | 418.0 | 544.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 238.16 | 186.03  |
| 80000   | 109085 | 450.0 | 610.0  | 50.0 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 289.93 | 227.97  |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13222  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.699 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 15.55  | 11.54   |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 22.24  | 16.67   |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 28.36  | 21.49   |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 40.53  | 31.03   |
| 40000   | 49582  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 52.21  | 40.27   |
| 50000   | 61625  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 62.88  | 48.98   |
| 60000   | 73674  | 244.0 | 232.9  | 35.1 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 86.67  | 67.53   |
| 70000   | 85717  | 266.0 | 254.4  | 37.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 108.18 | 84.86   |
| 80000   | 97760  | 288.0 | 276.0  | 40.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 131.48 | 99.77   |
| 90000   | 109803 | 310.0 | 298.0  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 131.48 | 99.77   |
| 100000  | 121846 | 332.0 | 320.0  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 160.83 | 124.56  |
| 150000  | 174720 | 394.0 | 382.0  | 51.0 | 20.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 160.83 | 124.56  |

ケース No. 10  
V 接片選型 CE 偏心係数  
0.15m/s 0.6

貨物輸

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 1.43   | 1.06    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 2.02   | 1.49    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 3.91   | 2.92    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.669 | 2.07 | 1.89 | 1.52 | 5.97   | 4.43    |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 7.86   | 5.85    |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 9.72   | 7.26    |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.676 | 2.16 | 1.85 | 1.42 | 12.42  | 9.08    |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.694 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 14.23  | 10.46   |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.699 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 16.18  | 11.91   |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 17.85  | 13.22   |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 19.62  | 14.57   |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 161.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.669 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 28.26  | 21.25   |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 37.48  | 28.21   |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 53.60  | 40.95   |
| 40000   | 54557  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 69.98  | 53.82   |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.84 | 1.42 | 86.41  | 66.68   |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 1.39   | 1.04    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 2.00   | 1.49    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 3.85   | 2.88    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 5.86   | 4.34    |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 9.62   | 7.11    |
| 10000   | 13082  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 18.48  | 13.73   |
| 15000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 26.56  | 19.91   |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 34.71  | 26.10   |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 50.09  | 37.97   |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 64.55  | 49.33   |
| 50000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 79.57  | 60.93   |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 107.43 | 82.95   |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.724 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 143.50 | 112.96  |
| 150000  | 176388 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 220.93 | 171.37  |
| 200000  | 233288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 285.80 | 223.24  |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 347.92 | 273.56  |

鉱石輸

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 18.66  | 13.85   |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 26.68  | 20.00   |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 34.94  | 25.78   |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 48.63  | 37.23   |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 62.65  | 48.33   |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 75.46  | 58.78   |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.152 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 104.00 | 81.04   |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.151 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 129.81 | 101.83  |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.846 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 157.77 | 119.72  |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 229.00 | 174.67  |

ケース No. 11  
V 接岸速度 CE 係数  
0.15m/s 0.7

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 1.67   | 1.23    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 1.82   | 1.74    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 4.56   | 3.41    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 6.97   | 5.17    |
| 4000    | 5580   | 96.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 9.17   | 6.83    |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 11.34  | 8.47    |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 116.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.675 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 14.49  | 10.60   |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.694 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 16.61  | 12.21   |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.146 | 0.426 | 0.699 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 18.88  | 13.90   |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.426 | 0.616 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 20.82  | 15.42   |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.143 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 22.89  | 17.00   |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.669 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 32.97  | 24.79   |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 43.72  | 32.91   |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 62.53  | 47.78   |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 81.65  | 62.78   |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 100.81 | 77.80   |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 1.62   | 1.21    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 2.33   | 1.74    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 4.49   | 3.36    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 6.83   | 5.06    |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 11.23  | 8.30    |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.86 | 1.53 | 21.56  | 16.02   |
| 15000   | 19286  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 30.99  | 23.23   |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 40.49  | 30.45   |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 58.44  | 44.30   |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 75.31  | 57.55   |
| 50000   | 61332  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 92.84  | 71.08   |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 125.33 | 96.77   |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 267.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.724 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 167.41 | 131.79  |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.792 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 257.76 | 199.93  |
| 200000  | 232288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.162 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 333.43 | 260.45  |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 405.90 | 319.15  |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 21.77  | 16.16   |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.405 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 31.13  | 23.33   |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 39.71  | 30.08   |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.160 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 56.74  | 43.44   |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.163 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 73.09  | 56.38   |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.164 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 88.04  | 68.58   |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 121.33 | 94.54   |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.791 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 151.45 | 118.80  |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.169 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 184.07 | 139.68  |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 267.17 | 203.78  |

ケース No. 12  
V 接棒速度 CE 偏心係数  
0.15m/s 0.8

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.6   | 8.6  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 1.91   | 1.41    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 2.69   | 1.99    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 5.21   | 3.89    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.669 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 7.96   | 5.91    |
| 4000    | 5580   | 96.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 10.48  | 7.80    |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 12.96  | 9.68    |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.576 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 16.56  | 12.11   |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.594 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 18.98  | 13.95   |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.599 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 21.58  | 15.88   |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 23.80  | 17.62   |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 26.16  | 19.43   |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.669 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 37.68  | 28.34   |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 49.97  | 37.61   |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 71.46  | 54.60   |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 93.31  | 71.75   |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 115.21 | 88.91   |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.6  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 1.85   | 1.39    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 2.67   | 1.99    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 6.13   | 3.84    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 7.81   | 5.78    |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 12.83  | 9.49    |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 24.64  | 18.30   |
| 15000   | 19266  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.416 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 35.41  | 26.56   |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 46.28  | 34.80   |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 66.79  | 50.63   |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 86.07  | 65.77   |
| 50000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 106.10 | 81.24   |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 36.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 143.24 | 110.60  |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.71 | 1.37 | 191.33 | 150.62  |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 294.58 | 228.49  |
| 200000  | 232288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 381.06 | 297.65  |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 463.89 | 364.75  |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 24.86  | 18.47   |
| 15000   | 19535  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 35.58  | 26.67   |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 45.38  | 34.38   |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 64.85  | 49.65   |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 83.53  | 64.44   |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.366 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 100.62 | 78.38   |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.75 | 1.70 | 1.40 | 138.67 | 108.05  |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 173.08 | 135.77  |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 210.36 | 159.63  |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 305.33 | 232.90  |

ケース No. 13  
V 接岸速度 CE 偏心率係数  
0.20m/s 0.5

貨物船

| DWT(ttf) | DT(ttf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|----------|---------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|--------|---------|
| 700      | 992     | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 1.89 | 1.55 | 2.12   | 1.57    |
| 1000     | 1413    | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 1.88 | 1.54 | 2.99   | 2.21    |
| 2000     | 2808    | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 1.87 | 1.51 | 5.79   | 4.33    |
| 3000     | 4196    | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 1.87 | 1.53 | 8.85   | 6.56    |
| 4000     | 5680    | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 1.89 | 1.52 | 11.64  | 8.67    |
| 5000     | 6961    | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 1.88 | 1.51 | 14.40  | 10.75   |
| 6000     | 8340    | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.676 | 1.85 | 1.58 | 18.40  | 13.45   |
| 7000     | 9716    | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.694 | 1.85 | 1.56 | 21.09  | 15.50   |
| 8000     | 11091   | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.699 | 1.85 | 1.56 | 23.98  | 17.65   |
| 9000     | 12464   | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 1.85 | 1.54 | 26.44  | 19.58   |
| 10000    | 13836   | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 1.85 | 1.53 | 29.07  | 21.59   |
| 15000    | 20678   | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.659 | 1.84 | 1.49 | 41.87  | 31.48   |
| 20000    | 27499   | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.85 | 1.49 | 55.52  | 41.79   |
| 30000    | 41099   | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.84 | 1.45 | 79.40  | 60.67   |
| 40000    | 54657   | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.84 | 1.43 | 103.68 | 79.73   |
| 50000    | 68184   | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.85 | 1.42 | 128.01 | 98.79   |

原油タンカー

| DWT(ttf) | DT(ttf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|----------|---------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|--------|---------|
| 700      | 1007    | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 1.87 | 1.50 | 2.06   | 1.54    |
| 1000     | 1419    | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 1.89 | 1.52 | 2.96   | 2.21    |
| 2000     | 2766    | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 1.89 | 1.51 | 5.70   | 4.26    |
| 3000     | 4088    | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 1.92 | 1.54 | 8.68   | 6.43    |
| 5000     | 6685    | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 1.94 | 1.55 | 14.26  | 10.54   |
| 10000    | 13032   | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 1.85 | 1.53 | 27.38  | 20.34   |
| 15000    | 19256   | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 1.83 | 1.50 | 39.35  | 29.50   |
| 20000    | 25403   | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.82 | 1.49 | 51.42  | 38.67   |
| 30000    | 37538   | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.80 | 1.47 | 74.21  | 56.26   |
| 40000    | 49520   | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.45 | 95.63  | 73.08   |
| 50000    | 61392   | 225.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.44 | 117.89 | 90.27   |
| 70000    | 84885   | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.76 | 1.42 | 159.15 | 122.89  |
| 100000   | 118674  | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.37 | 212.59 | 167.35  |
| 150000   | 176838  | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.405 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.41 | 327.31 | 253.88  |
| 200000   | 233288  | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.81 | 1.39 | 423.40 | 330.73  |
| 250000   | 289212  | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.37 | 515.43 | 405.27  |

鉱石船

| DWT(ttf) | DT(ttf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|----------|---------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|--------|---------|
| 10000    | 13122   | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 1.87 | 1.53 | 27.65  | 20.52   |
| 15000    | 19335   | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 1.84 | 1.50 | 39.53  | 29.63   |
| 20000    | 25456   | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.47 | 50.42  | 38.20   |
| 30000    | 37508   | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.153 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.44 | 72.05  | 55.16   |
| 40000    | 49382   | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.42 | 92.81  | 71.60   |
| 50000    | 61125   | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.40 | 111.80 | 87.08   |
| 70000    | 84317   | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.40 | 154.07 | 120.06  |
| 90000    | 107216  | 250.0 | 238.0  | 38.5 | 14.5 | 0.162 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.38 | 192.31 | 150.86  |
| 100000   | 118577  | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.77 | 1.47 | 233.74 | 177.37  |
| 150000   | 174720  | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.81 | 1.45 | 339.26 | 258.77  |



ケース No. 14  
V 接岸速度 CE 偏心率  
0.20m/s 0.6

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 2.55   | 1.88    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 3.58   | 2.65    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 6.95   | 5.19    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 10.62  | 7.88    |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 13.97  | 10.40   |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 17.28  | 12.90   |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.575 | 2.15 | 1.85 | 1.58 | 22.08  | 16.14   |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.594 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 25.30  | 18.60   |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.599 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 28.77  | 21.18   |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 31.73  | 23.50   |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 34.88  | 25.91   |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.659 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 50.24  | 37.78   |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 66.63  | 50.15   |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 95.28  | 72.80   |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 124.42 | 95.67   |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 153.61 | 118.55  |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 2.47   | 1.85    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 3.56   | 2.65    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 6.84   | 5.12    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 10.42  | 7.71    |
| 4000    | 5685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 17.11  | 12.65   |
| 5000    | 7302   | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 32.85  | 24.41   |
| 10000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 47.22  | 35.40   |
| 15000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 61.71  | 46.41   |
| 20000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 89.05  | 67.51   |
| 30000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 114.76 | 87.70   |
| 40000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 141.47 | 108.32  |
| 50000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 190.98 | 147.46  |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.734 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 255.10 | 200.82  |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 392.77 | 304.65  |
| 200000  | 233298 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 508.08 | 396.87  |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 618.52 | 486.33  |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 33.17  | 24.62   |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 47.44  | 35.56   |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 60.51  | 45.84   |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 86.46  | 66.20   |
| 40000   | 49352  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 111.37 | 85.92   |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 134.15 | 104.50  |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 184.89 | 144.07  |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.731 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 230.78 | 181.03  |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 280.48 | 212.84  |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 407.11 | 310.53  |

ケース No. 15  
V 接岸速度 CE 偏心係数  
0.20m/s 0.7

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 2.97   | 2.19    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 4.18   | 3.10    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 8.10   | 6.05    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 12.38  | 9.19    |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 16.30  | 12.13   |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 20.16  | 15.05   |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.576 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 25.76  | 18.84   |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.594 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 29.52  | 21.70   |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.599 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 33.57  | 24.71   |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 37.02  | 27.41   |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 40.69  | 30.23   |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.659 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 58.62  | 44.08   |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.666 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 77.73  | 58.51   |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 111.16 | 84.94   |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 145.15 | 111.62  |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 179.21 | 138.31  |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 2.88   | 2.16    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 4.15   | 3.09    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 7.99   | 5.97    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 12.15  | 9.00    |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 19.96  | 14.76   |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 38.33  | 28.47   |
| 15000   | 19286  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 55.09  | 41.30   |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 71.99  | 54.14   |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 103.90 | 78.76   |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 133.89 | 102.32  |
| 50000   | 61332  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 165.04 | 126.37  |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 185.04 | 142.81  |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 267.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.74 | 1.37 | 297.62 | 234.29  |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 458.23 | 355.43  |
| 200000  | 233288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 18.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 592.76 | 463.02  |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 721.61 | 567.38  |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.699 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 38.70  | 28.72   |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 55.34  | 41.48   |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 70.59  | 53.48   |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 100.87 | 77.23   |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 129.93 | 100.24  |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 156.51 | 121.92  |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.76 | 1.70 | 1.40 | 215.70 | 168.08  |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.75 | 1.75 | 1.38 | 269.24 | 211.20  |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.169 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 327.23 | 248.31  |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 474.96 | 362.28  |

ケース No. 16  
V 接岸速度 CE 係数  
0.20m/s 0.8

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 3.39   | 2.51    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 4.78   | 3.54    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.435 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 9.26   | 6.92    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 14.15  | 10.50   |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 18.63  | 13.87   |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 23.04  | 17.20   |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.675 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 29.44  | 21.53   |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.594 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 33.74  | 24.80   |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.599 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 38.36  | 28.24   |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.12 | 1.85 | 1.54 | 42.30  | 31.33   |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 46.51  | 34.55   |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.669 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 66.99  | 50.38   |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 88.83  | 66.87   |
| 30000   | 41099  | 195.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.138 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.43 | 127.04 | 97.07   |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 165.89 | 127.56  |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 204.81 | 158.07  |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 3.29   | 2.47    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 4.74   | 3.53    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 9.13   | 6.82    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 13.89  | 10.28   |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 22.81  | 16.86   |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 43.81  | 32.54   |
| 15000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 62.96  | 47.20   |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 82.27  | 61.87   |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 118.74 | 90.01   |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 153.01 | 116.93  |
| 50000   | 61392  | 225.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 188.62 | 144.43  |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 254.64 | 196.62  |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 340.10 | 267.76  |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 523.70 | 406.21  |
| 200000  | 233288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 677.44 | 529.16  |
| 250000  | 293212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 824.69 | 648.44  |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 44.23  | 32.83   |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 63.25  | 47.41   |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 80.68  | 61.12   |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 115.28 | 88.26   |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 148.50 | 114.56  |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 178.87 | 139.33  |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 38.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 246.52 | 192.09  |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.70 | 1.38 | 307.70 | 241.37  |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 373.98 | 283.79  |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 542.81 | 414.04  |

ケース No. 17  
 V 接岸速度 CE 偏心係数  
 0.30m/s 0.5

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 4.77   | 3.53    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 6.72   | 4.98    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 9.74   | 7.14    |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 19.90  | 14.77   |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 26.19  | 19.50   |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 32.39  | 24.19   |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.576 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 41.40  | 30.27   |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.594 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 47.45  | 34.88   |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.599 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 53.95  | 39.71   |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 59.49  | 44.05   |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 65.40  | 48.58   |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.569 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 94.20  | 70.84   |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.586 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 124.92 | 94.03   |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 178.65 | 136.50  |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 233.28 | 179.38  |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 288.02 | 222.28  |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm)   | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|----------|---------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 4.62     | 3.47    |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 6.67     | 4.96    |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 9.59     | 7.14    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 19.53    | 14.46   |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 32.08    | 23.71   |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.425 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 61.60    | 45.76   |
| 15000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 88.54    | 66.37   |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 115.70   | 87.01   |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 166.98   | 126.58  |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 215.17   | 164.44  |
| 50000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 265.25   | 203.10  |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 358.09   | 276.49  |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 478.32   | 376.54  |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 736.45   | 571.23  |
| 200000  | 233288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.75 | 1.81 | 1.39 | 952.65   | 744.13  |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 1,159.72 | 911.86  |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 62.20  | 46.16   |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 88.94  | 66.67   |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 113.45 | 85.95   |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 162.12 | 124.12  |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 208.82 | 161.10  |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 251.54 | 195.94  |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 346.66 | 270.12  |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 432.70 | 339.43  |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 525.91 | 399.07  |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 763.33 | 582.24  |

ケース No. 18  
V 接岸速度 CE 偏心係数  
0.30m/s 0.6

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 5.73   | 4.23    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 8.06   | 5.98    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 15.63  | 11.68   |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.04 | 1.89 | 1.53 | 23.89  | 17.72   |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.658 | 2.07 | 1.89 | 1.52 | 31.43  | 23.40   |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 38.87  | 29.03   |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.576 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 49.67  | 36.33   |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.594 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 56.93  | 41.85   |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.599 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 64.74  | 47.65   |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 71.39  | 52.86   |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 78.48  | 58.30   |
| 15000   | 20878  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.569 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 113.05 | 85.01   |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.586 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 149.91 | 112.84  |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 214.38 | 163.81  |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 279.94 | 215.26  |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 345.62 | 266.74  |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm)   | E2(tfm)  |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|----------|----------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 5.55     | 4.16     |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 8.00     | 5.96     |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 15.40    | 11.51    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 23.43    | 17.35    |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 38.49    | 28.46    |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.532 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 73.92    | 54.91    |
| 15000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.550 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 106.24   | 79.65    |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.558 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 138.84   | 104.41   |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 200.38   | 151.90   |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.589 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 258.21   | 197.32   |
| 50000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.594 | 1.84 | 1.76 | 1.44 | 318.30   | 243.72   |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 429.71   | 331.79   |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 573.98   | 451.85   |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 863.74   | 685.47   |
| 200000  | 232888 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 1,143.18 | 892.96   |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 1,391.67 | 1,094.24 |

鉱石船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 74.64  | 55.40   |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 106.73 | 80.00   |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 136.14 | 103.14  |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.591 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 194.54 | 148.94  |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.84 | 1.40 | 260.59 | 193.32  |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 301.85 | 235.13  |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 415.99 | 324.15  |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 519.25 | 407.52  |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 631.09 | 478.89  |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 916.00 | 698.69  |

ケース No. 19  
V 接片速度 CE 偏心係数  
0.30m/s 0.7

貨物給

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 6.68   | 4.94    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 9.41   | 6.97    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 18.24  | 13.63   |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.07 | 1.89 | 1.53 | 27.87  | 20.68   |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.04 | 1.89 | 1.52 | 36.67  | 27.30   |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 45.35  | 33.86   |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.576 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 57.95  | 42.38   |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.145 | 0.426 | 0.594 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 66.42  | 48.83   |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.599 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 75.53  | 55.59   |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 83.29  | 61.67   |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 91.56  | 68.01   |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.669 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 131.89 | 99.18   |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 174.89 | 131.64  |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 250.11 | 191.11  |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 326.60 | 251.14  |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 403.22 | 311.19  |

原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm)   | E2(tfm)  |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|----------|----------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.435 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 6.47     | 4.85     |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 9.34     | 6.95     |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 17.97    | 13.43    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 27.34    | 20.24    |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 44.91    | 33.20    |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 86.24    | 64.07    |
| 15000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.416 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 123.95   | 92.92    |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 161.98   | 121.82   |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 233.77   | 177.22   |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.80 | 1.45 | 301.24   | 230.21   |
| 50000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 371.35   | 284.34   |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 501.33   | 387.09   |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 669.65   | 527.16   |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 1,031.03 | 799.72   |
| 200000  | 233288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.152 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 1,333.71 | 1,041.78 |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 1,623.61 | 1,276.61 |

鉾石給

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm)   | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|----------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 87.08    | 64.63   |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 124.52   | 93.33   |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 158.83   | 120.33  |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 226.96   | 173.76  |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.75 | 1.42 | 292.35   | 225.54  |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 352.16   | 274.31  |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 485.33   | 378.17  |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.75 | 1.38 | 608.79   | 475.20  |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 263.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 736.27   | 558.70  |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 1,068.66 | 815.13  |

ケース No. 20  
V 接岸速度 CE 偏心係数  
0.30m/s 0.8

貨物船

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm) | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 700     | 992    | 51.0  | 46.5   | 8.5  | 3.8  | 0.183 | 0.447 | 0.641 | 2.10 | 1.89 | 1.55 | 7.64   | 5.64    |
| 1000    | 1413   | 58.0  | 53.1   | 9.5  | 4.2  | 0.179 | 0.442 | 0.648 | 2.07 | 1.88 | 1.54 | 10.75  | 7.97    |
| 2000    | 2808   | 74.0  | 68.1   | 11.7 | 5.1  | 0.172 | 0.436 | 0.671 | 2.02 | 1.87 | 1.51 | 20.84  | 15.58   |
| 3000    | 4196   | 86.0  | 79.4   | 13.2 | 5.9  | 0.166 | 0.447 | 0.659 | 2.04 | 1.89 | 1.53 | 31.85  | 23.63   |
| 4000    | 5580   | 95.0  | 87.9   | 14.4 | 6.4  | 0.164 | 0.444 | 0.668 | 2.07 | 1.89 | 1.52 | 41.91  | 31.20   |
| 5000    | 6961   | 103.0 | 95.5   | 15.4 | 6.8  | 0.161 | 0.442 | 0.676 | 2.03 | 1.88 | 1.51 | 51.83  | 38.70   |
| 6000    | 8340   | 124.0 | 115.5  | 16.9 | 7.2  | 0.146 | 0.426 | 0.676 | 2.16 | 1.85 | 1.58 | 66.23  | 48.43   |
| 7000    | 9716   | 129.0 | 120.3  | 17.6 | 7.5  | 0.146 | 0.426 | 0.676 | 2.13 | 1.85 | 1.56 | 75.91  | 55.80   |
| 8000    | 11091  | 135.0 | 126.0  | 18.3 | 7.8  | 0.145 | 0.426 | 0.676 | 2.12 | 1.85 | 1.56 | 86.32  | 63.63   |
| 9000    | 12464  | 139.0 | 129.9  | 18.9 | 8.0  | 0.146 | 0.423 | 0.616 | 2.08 | 1.85 | 1.54 | 95.18  | 70.49   |
| 10000   | 13836  | 144.0 | 134.6  | 19.4 | 8.2  | 0.144 | 0.423 | 0.627 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 104.64 | 77.73   |
| 15000   | 20678  | 162.0 | 151.9  | 21.7 | 9.1  | 0.143 | 0.419 | 0.669 | 1.98 | 1.84 | 1.49 | 150.73 | 113.34  |
| 20000   | 27499  | 177.0 | 166.3  | 23.4 | 10.0 | 0.141 | 0.427 | 0.686 | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 199.88 | 150.45  |
| 30000   | 41099  | 199.0 | 187.5  | 26.1 | 11.0 | 0.139 | 0.421 | 0.741 | 1.89 | 1.84 | 1.45 | 285.84 | 218.41  |
| 40000   | 54657  | 217.0 | 204.9  | 28.3 | 11.9 | 0.138 | 0.420 | 0.769 | 1.86 | 1.84 | 1.43 | 373.25 | 287.02  |
| 50000   | 68184  | 232.0 | 219.4  | 30.0 | 12.7 | 0.137 | 0.423 | 0.792 | 1.84 | 1.85 | 1.42 | 460.83 | 356.56  |

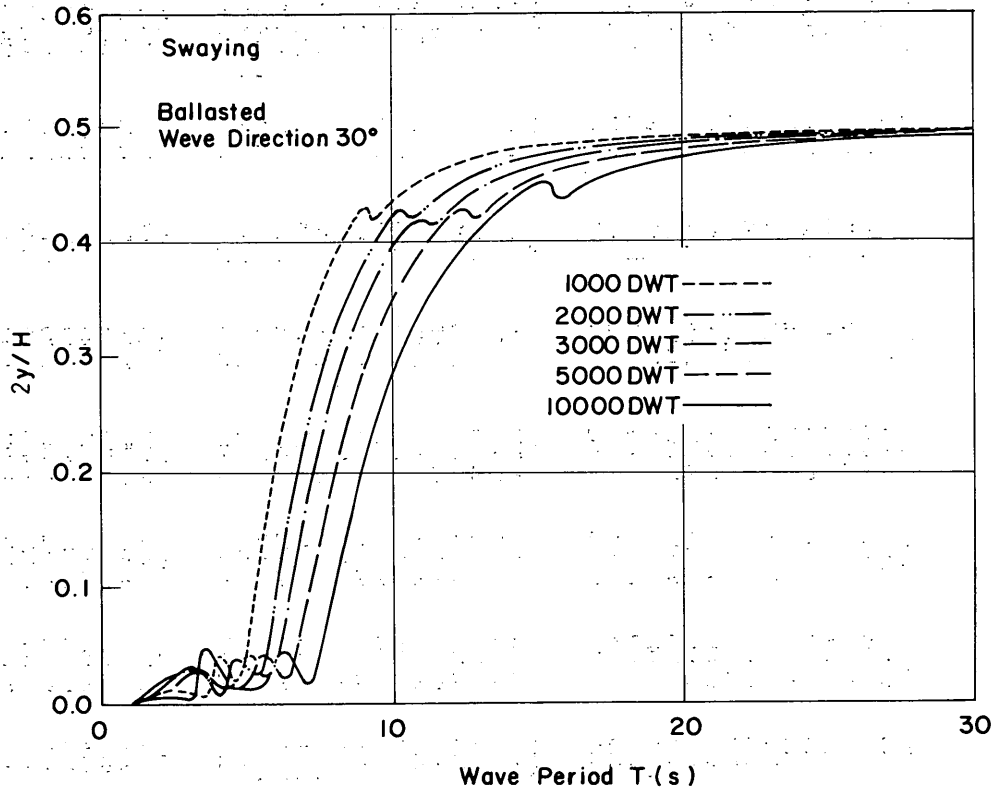
原油タンカー

| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm)   | E2(tfm)  |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|----------|----------|
| 700     | 1007   | 50.0  | 45.5   | 8.5  | 3.7  | 0.187 | 0.455 | 0.683 | 2.00 | 1.87 | 1.50 | 7.40     | 5.55     |
| 1000    | 1419   | 57.0  | 52.0   | 9.4  | 4.2  | 0.181 | 0.447 | 0.671 | 2.05 | 1.89 | 1.52 | 10.67    | 7.94     |
| 2000    | 2766   | 73.0  | 67.1   | 11.4 | 5.1  | 0.170 | 0.447 | 0.689 | 2.02 | 1.89 | 1.51 | 20.53    | 15.35    |
| 3000    | 4088   | 85.0  | 78.4   | 12.8 | 5.9  | 0.163 | 0.461 | 0.670 | 2.08 | 1.92 | 1.54 | 31.25    | 23.13    |
| 5000    | 6685   | 102.0 | 94.6   | 14.7 | 6.9  | 0.155 | 0.469 | 0.677 | 2.09 | 1.94 | 1.55 | 51.33    | 37.94    |
| 10000   | 13032  | 139.0 | 130.0  | 19.0 | 8.1  | 0.146 | 0.426 | 0.632 | 2.06 | 1.85 | 1.53 | 98.56    | 73.22    |
| 15000   | 19256  | 157.0 | 147.3  | 21.7 | 9.0  | 0.147 | 0.415 | 0.650 | 2.00 | 1.83 | 1.50 | 141.66   | 106.20   |
| 20000   | 25403  | 171.0 | 160.8  | 23.8 | 9.8  | 0.148 | 0.412 | 0.658 | 1.98 | 1.82 | 1.49 | 185.12   | 139.22   |
| 30000   | 37538  | 194.0 | 183.1  | 27.2 | 10.9 | 0.149 | 0.401 | 0.672 | 1.94 | 1.80 | 1.47 | 267.17   | 202.53   |
| 40000   | 49520  | 211.0 | 199.5  | 29.9 | 11.7 | 0.150 | 0.391 | 0.689 | 1.89 | 1.78 | 1.45 | 344.28   | 263.10   |
| 50000   | 61392  | 226.0 | 214.1  | 32.1 | 12.5 | 0.150 | 0.389 | 0.694 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 424.39   | 324.96   |
| 70000   | 84885  | 250.0 | 237.5  | 35.9 | 13.6 | 0.151 | 0.379 | 0.711 | 1.84 | 1.76 | 1.42 | 572.95   | 442.39   |
| 100000  | 119674 | 270.0 | 257.0  | 39.0 | 14.6 | 0.152 | 0.374 | 0.794 | 1.74 | 1.75 | 1.37 | 765.31   | 602.46   |
| 150000  | 176838 | 291.0 | 277.6  | 44.2 | 17.9 | 0.159 | 0.405 | 0.782 | 1.81 | 1.81 | 1.41 | 1,178.31 | 913.96   |
| 200000  | 233288 | 325.0 | 311.0  | 47.2 | 19.0 | 0.162 | 0.403 | 0.812 | 1.78 | 1.81 | 1.39 | 1,524.25 | 1,190.61 |
| 250000  | 289212 | 348.0 | 333.6  | 51.8 | 20.0 | 0.155 | 0.386 | 0.812 | 1.75 | 1.77 | 1.37 | 1,855.55 | 1,458.98 |

鉱石船

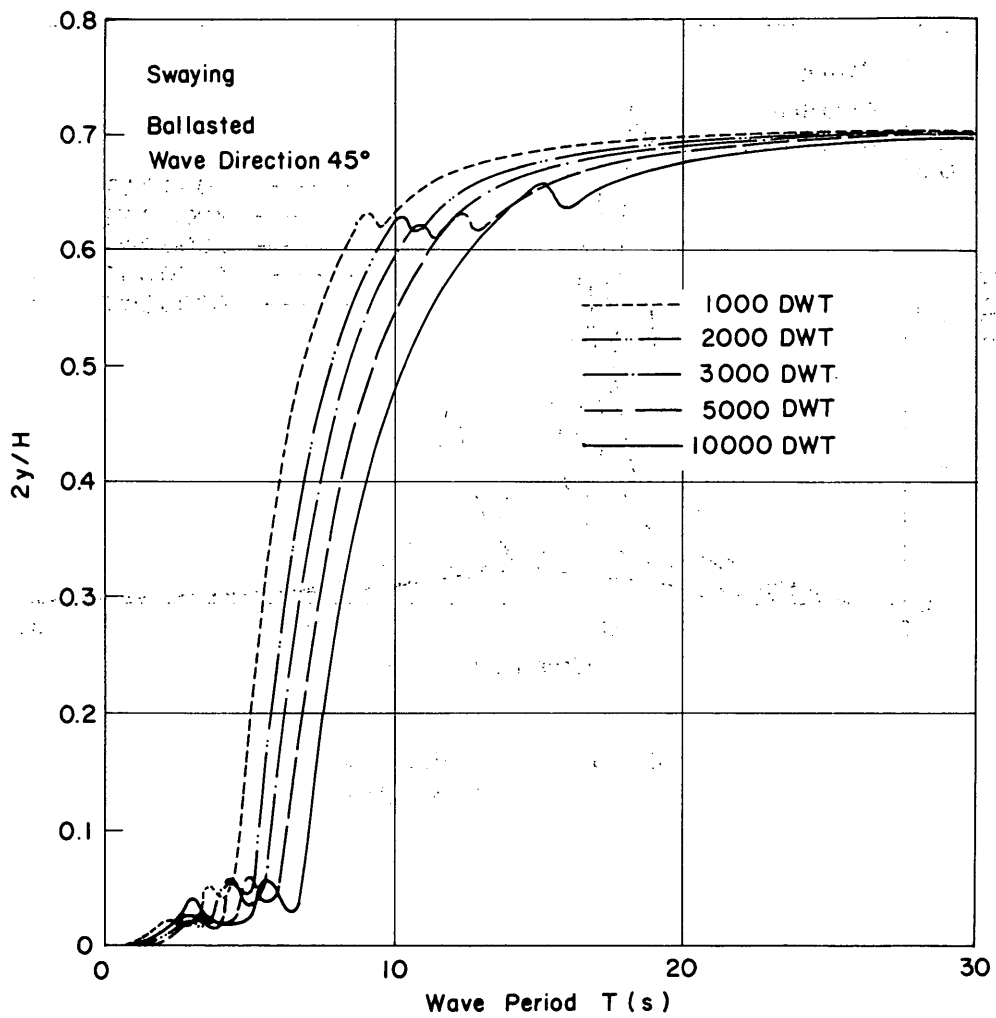
| DWT(tf) | DT(tf) | L(m)  | LPP(m) | B(m) | D(m) | B/L   | D/B   | CB    | CM   | CM1  | CM2  | E(tfm)   | E2(tfm) |
|---------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|----------|---------|
| 10000   | 13122  | 140.0 | 131.6  | 18.7 | 8.1  | 0.142 | 0.433 | 0.639 | 2.06 | 1.87 | 1.53 | 99.52    | 73.86   |
| 15000   | 19335  | 157.0 | 148.0  | 21.5 | 9.0  | 0.145 | 0.419 | 0.655 | 2.00 | 1.84 | 1.50 | 142.31   | 106.67  |
| 20000   | 25456  | 170.0 | 160.7  | 23.7 | 9.6  | 0.148 | 0.405 | 0.676 | 1.94 | 1.81 | 1.47 | 181.52   | 137.52  |
| 30000   | 37508  | 192.0 | 182.1  | 27.3 | 10.6 | 0.150 | 0.388 | 0.691 | 1.88 | 1.78 | 1.44 | 259.39   | 198.59  |
| 40000   | 49382  | 208.0 | 197.7  | 30.2 | 11.4 | 0.153 | 0.377 | 0.704 | 1.84 | 1.78 | 1.42 | 334.11   | 257.76  |
| 50000   | 61125  | 222.0 | 211.4  | 32.6 | 11.9 | 0.154 | 0.365 | 0.724 | 1.79 | 1.73 | 1.40 | 402.46   | 313.50  |
| 70000   | 84317  | 244.0 | 232.9  | 37.8 | 13.3 | 0.162 | 0.352 | 0.699 | 1.79 | 1.70 | 1.40 | 554.66   | 432.20  |
| 90000   | 107215 | 250.0 | 238.8  | 38.5 | 14.5 | 0.161 | 0.377 | 0.781 | 1.76 | 1.70 | 1.38 | 692.33   | 543.09  |
| 100000  | 118577 | 275.0 | 253.4  | 42.0 | 16.1 | 0.159 | 0.383 | 0.646 | 1.93 | 1.77 | 1.47 | 841.45   | 638.52  |
| 150000  | 174720 | 313.0 | 300.9  | 44.5 | 18.0 | 0.148 | 0.404 | 0.704 | 1.90 | 1.81 | 1.45 | 1,221.33 | 931.58  |

付録-3 無係留船舶の動揺計算例

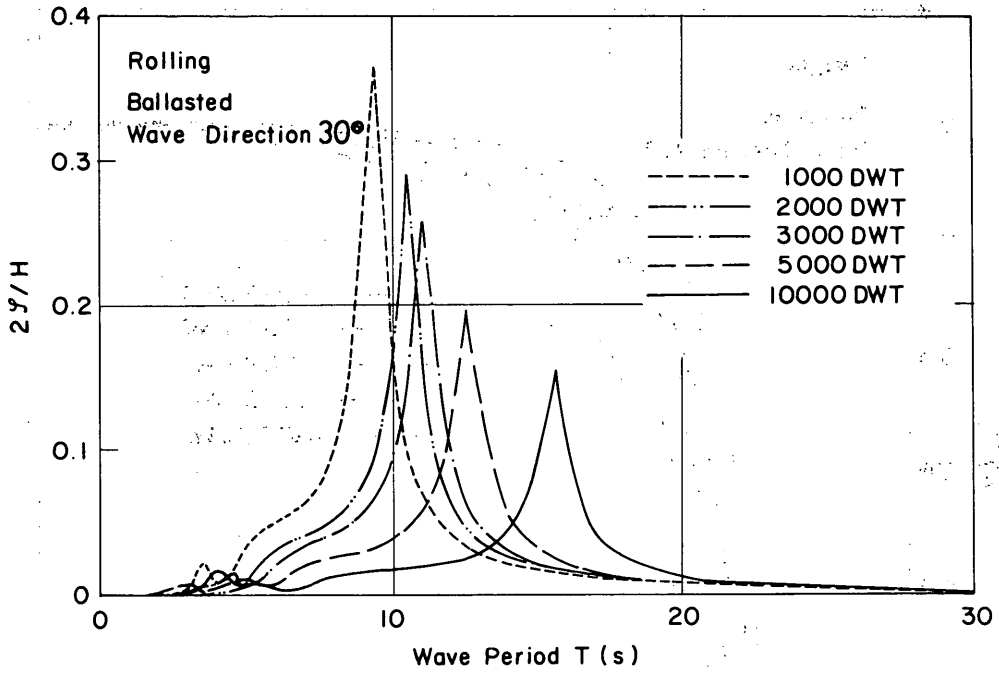


付図-3.1 スウェイングの動揺両振幅  
(空載, 波向30°, 規則波)

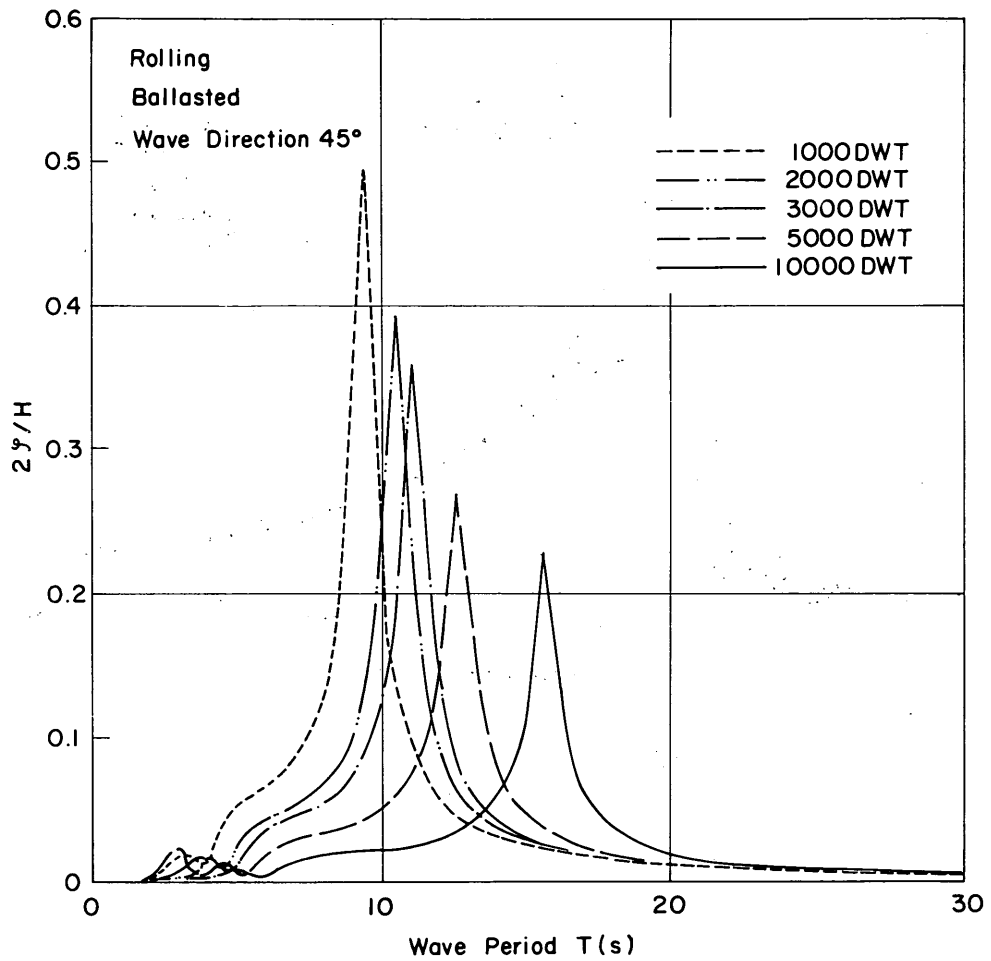




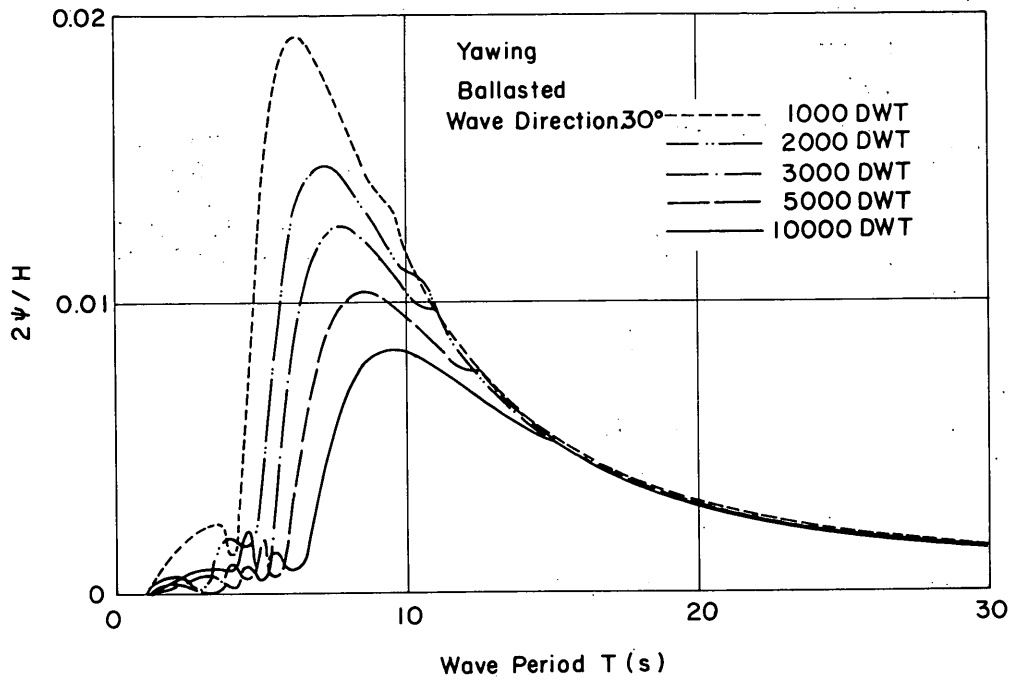
付図-3.2 スウェイングの動揺両振幅  
 (空載, 波向45°, 規則波)



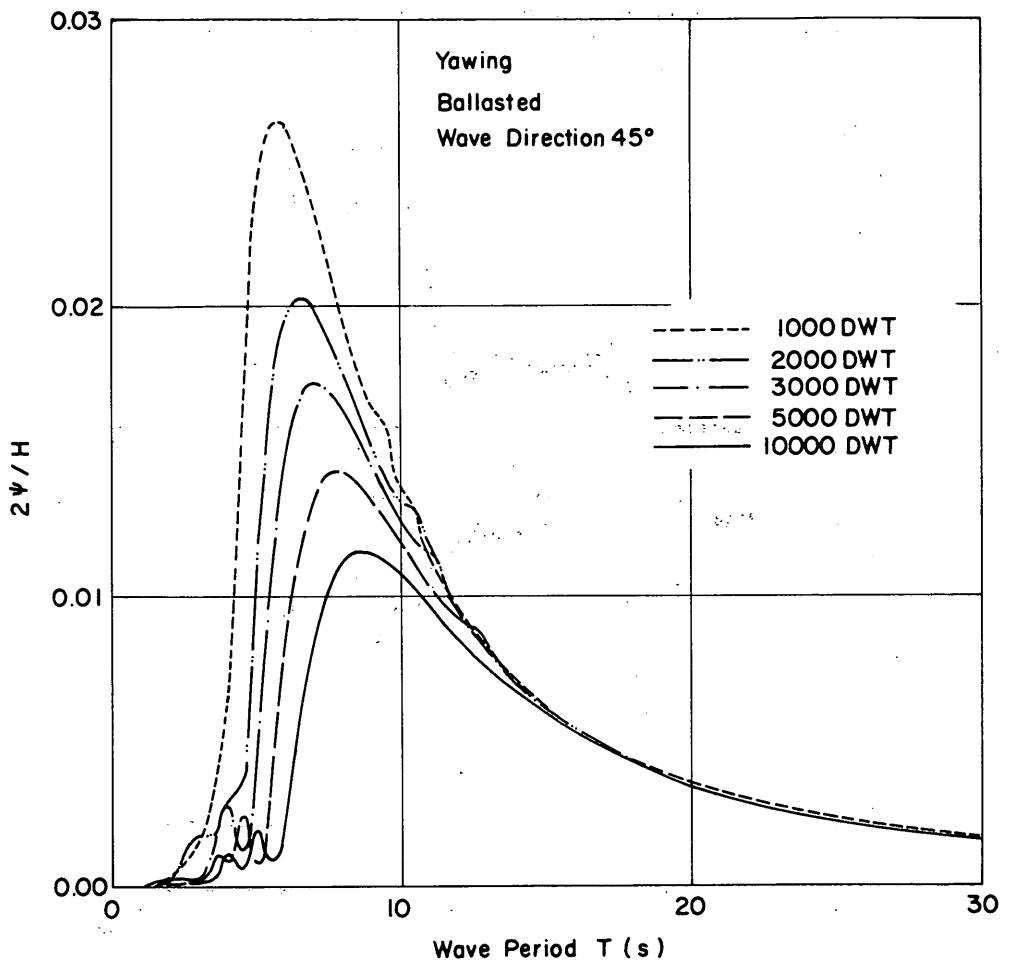
付図-3.3 ローリングの動揺両振幅  
(空載, 波向30°, 規則波)



付図-3.4 ローリングの動揺両振幅  
(空載, 波向45°, 規則波)

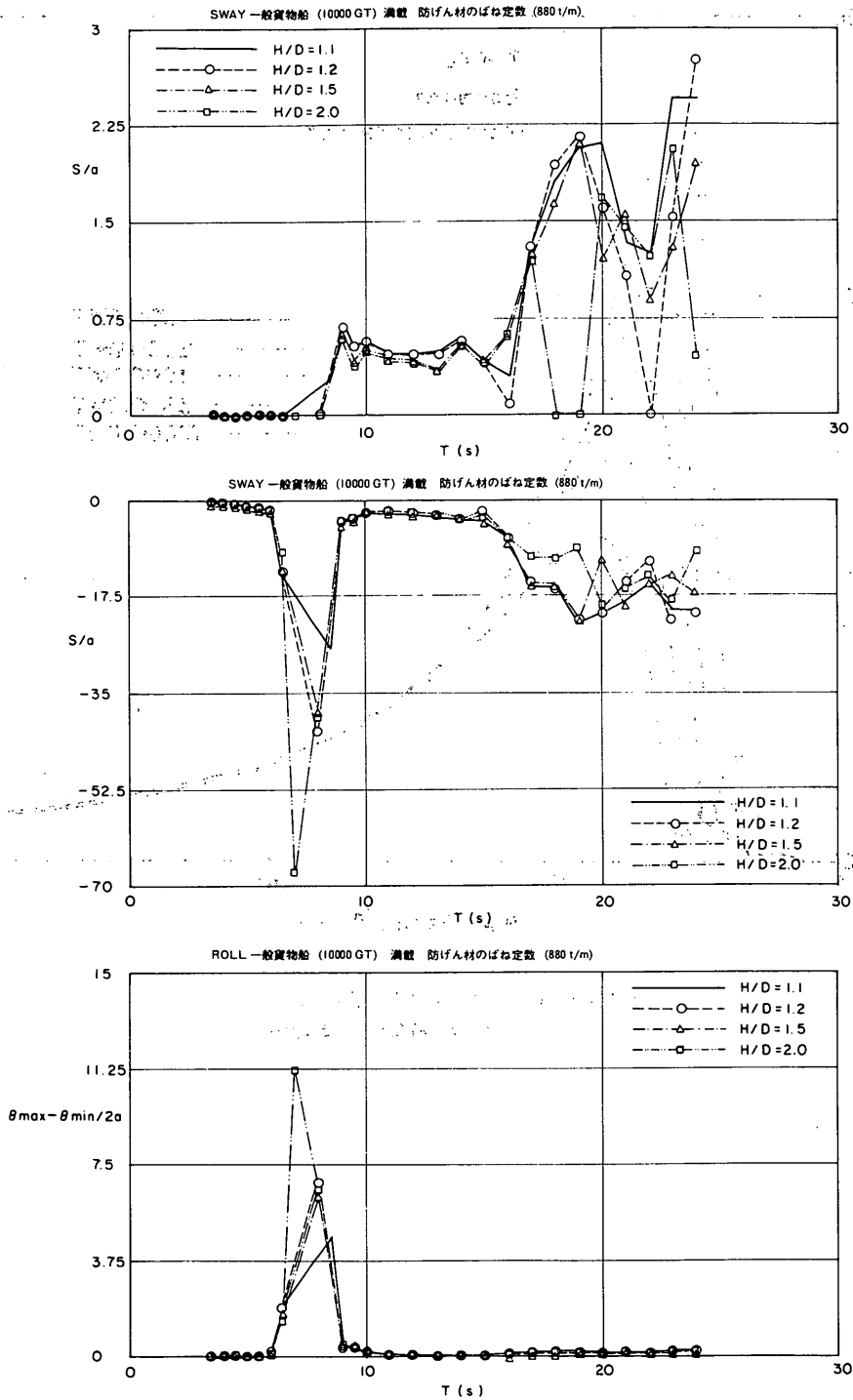


付図-3.5 ヨウイングの動揺両振幅  
(空載, 波向30°, 規則波)

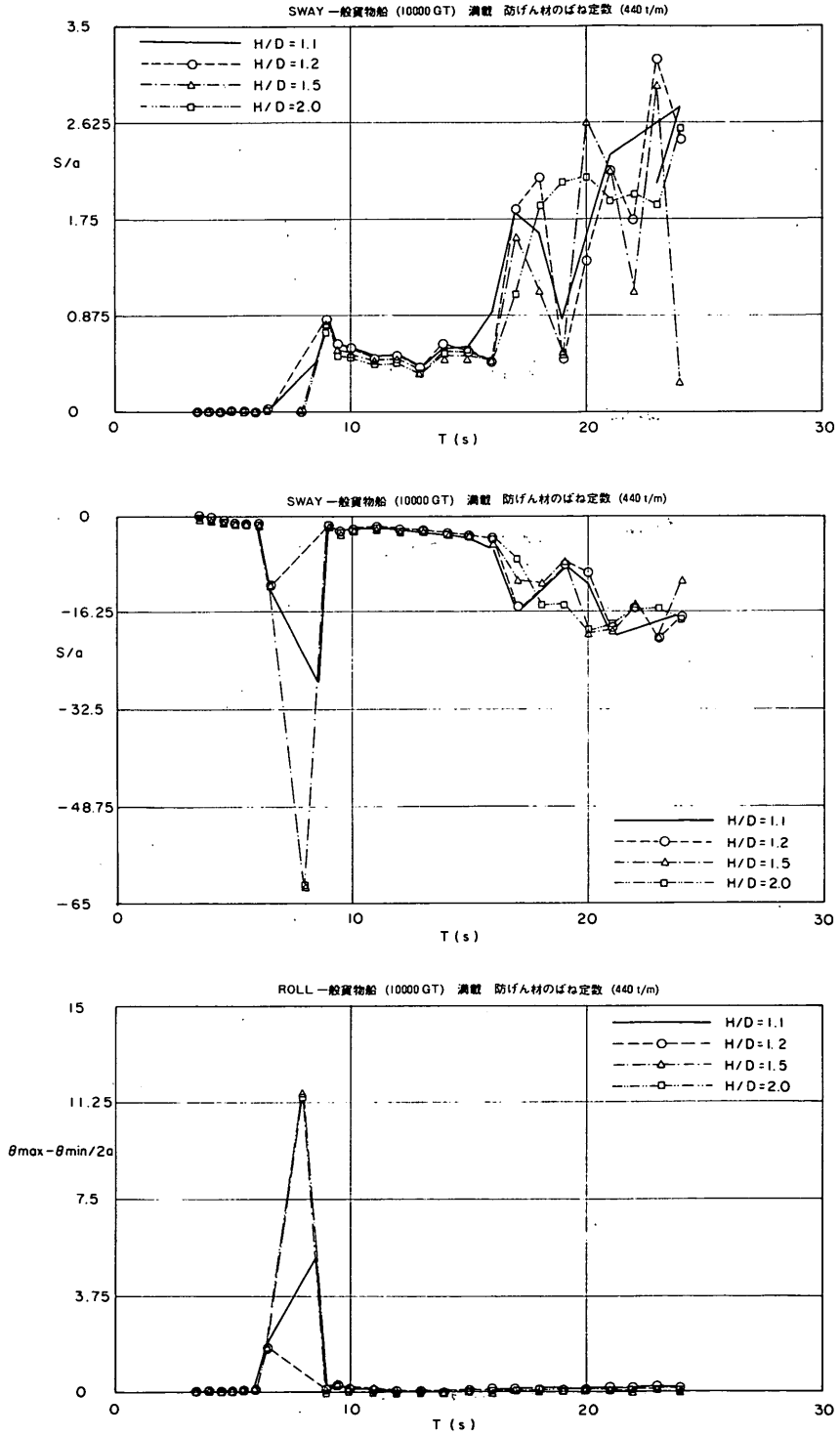


付図-3.6 ヨウイングの動揺両振幅  
 (空載, 波向45°, 規則波)

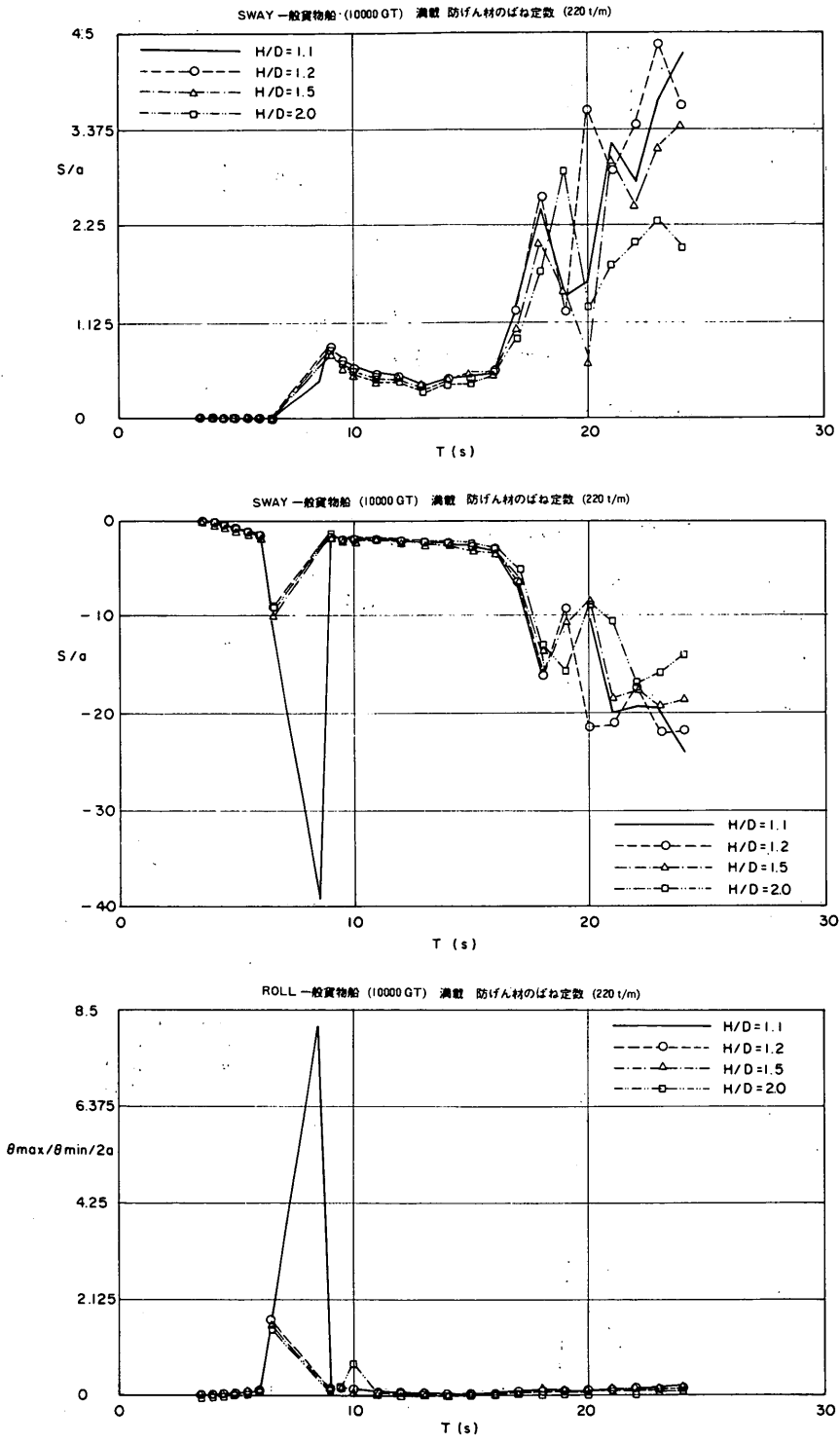
付録 4 係留船舶の動揺計算例



付図- 4.1 係留船舶の動揺計算例

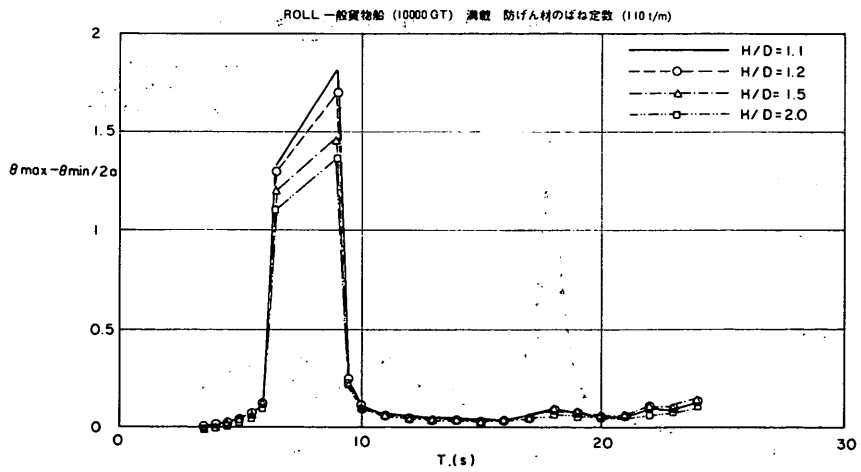
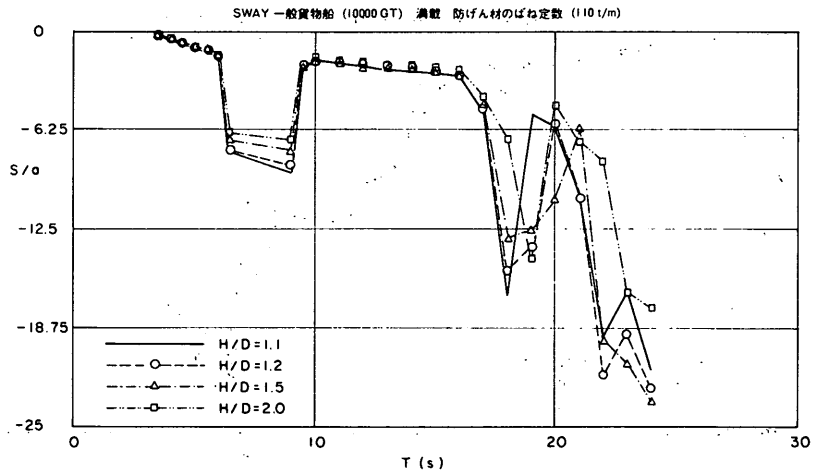
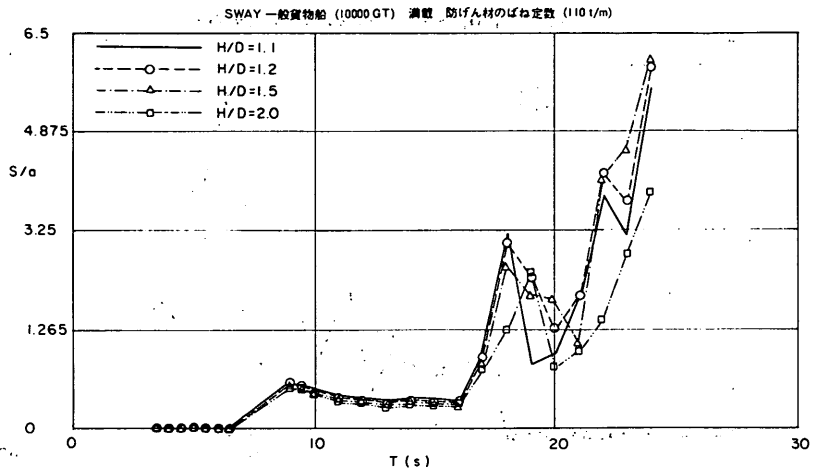


付図- 4. 2 係留船舶の動揺計算例

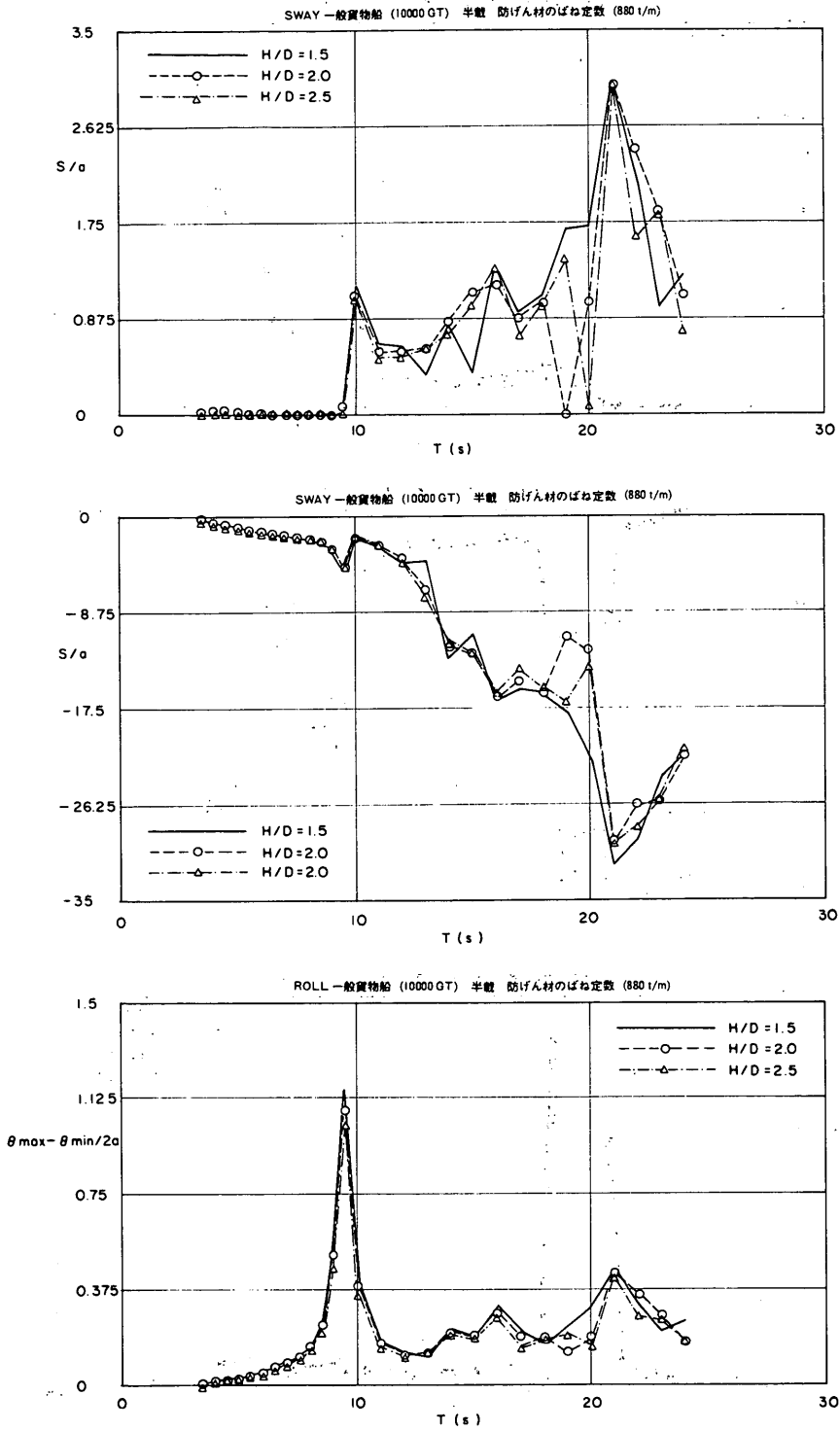


付図-4.3 係留船舶の動揺計算例

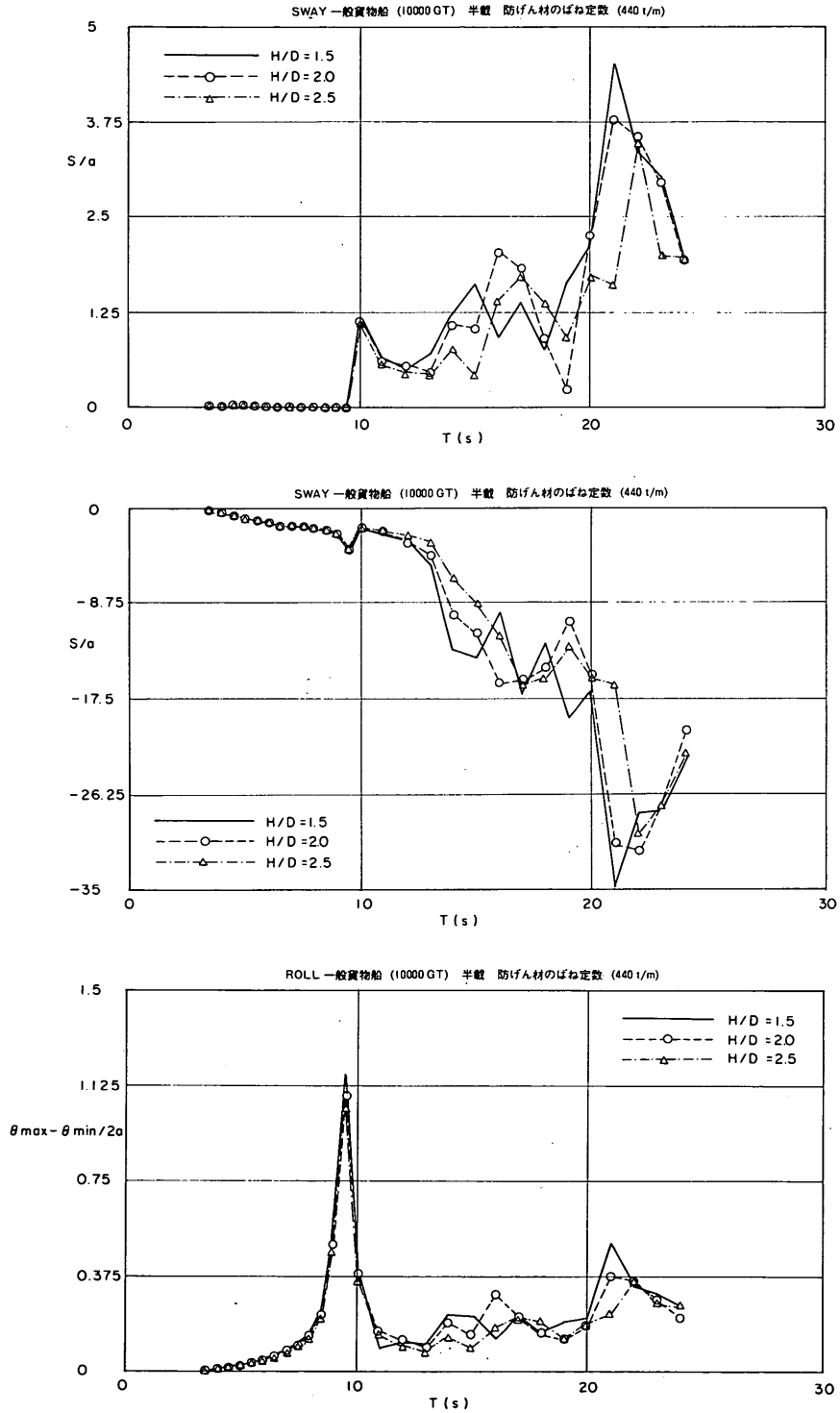




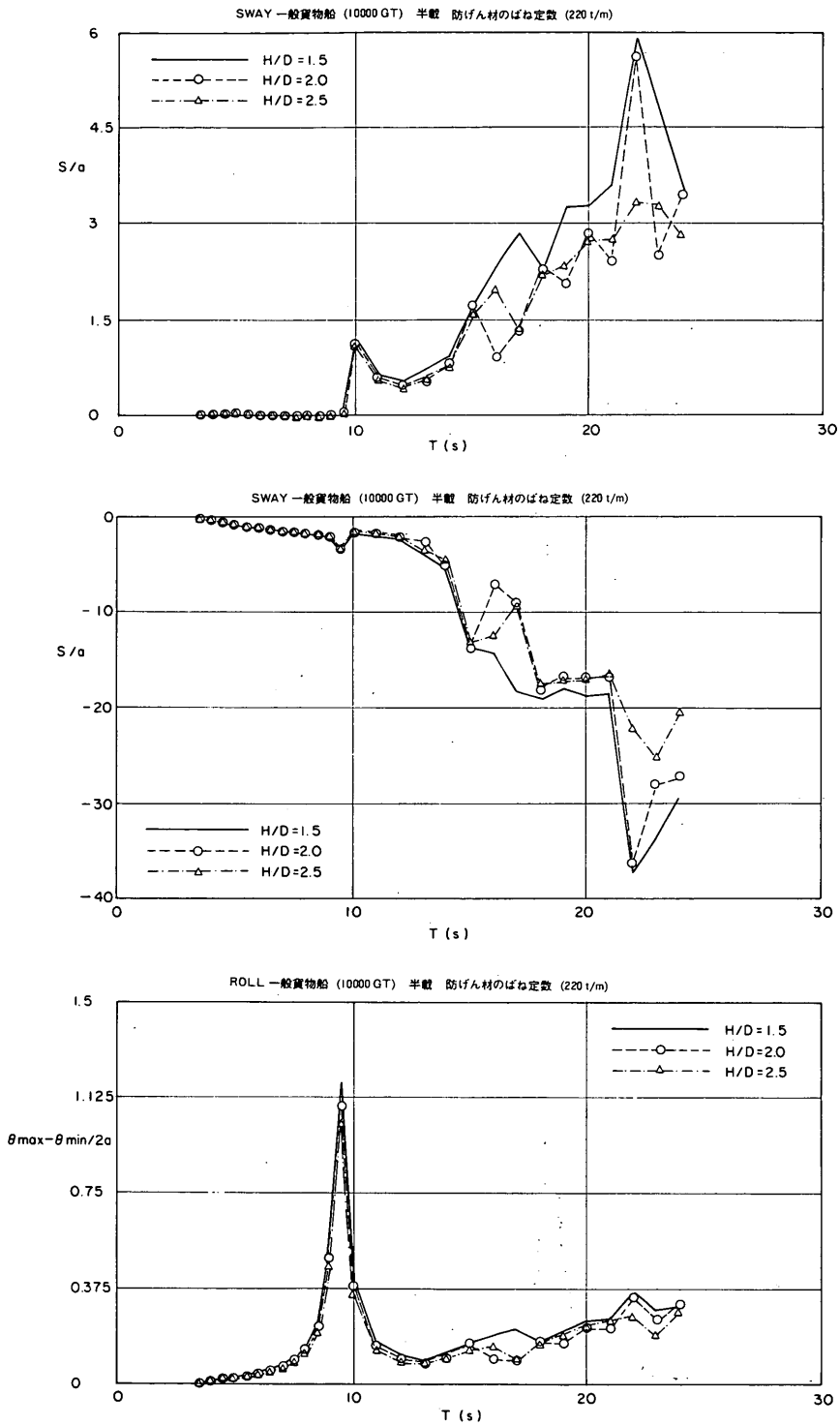
付図-4.4 係留船舶の動揺計算例



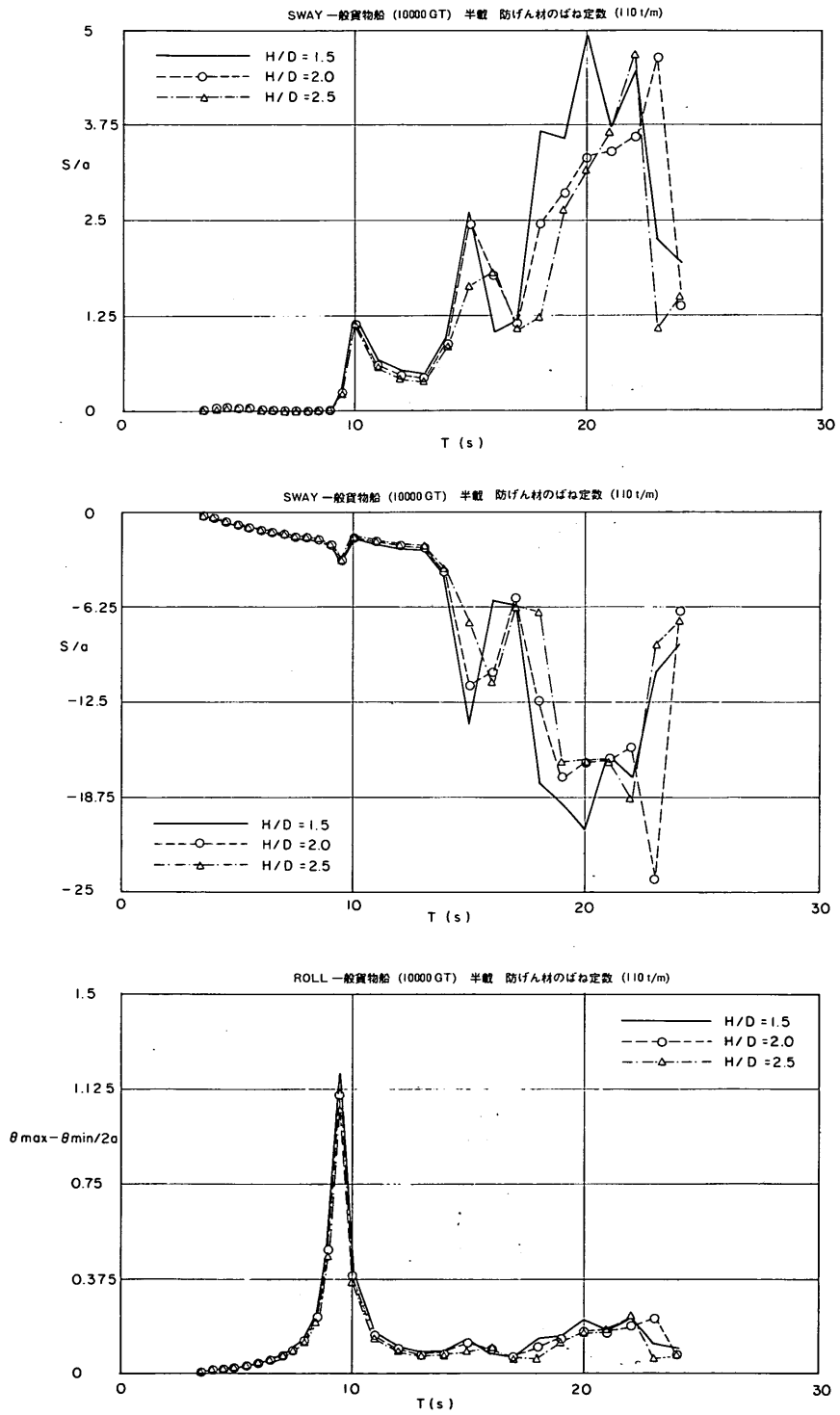
付図-4.5 係留船舶の動揺計算例



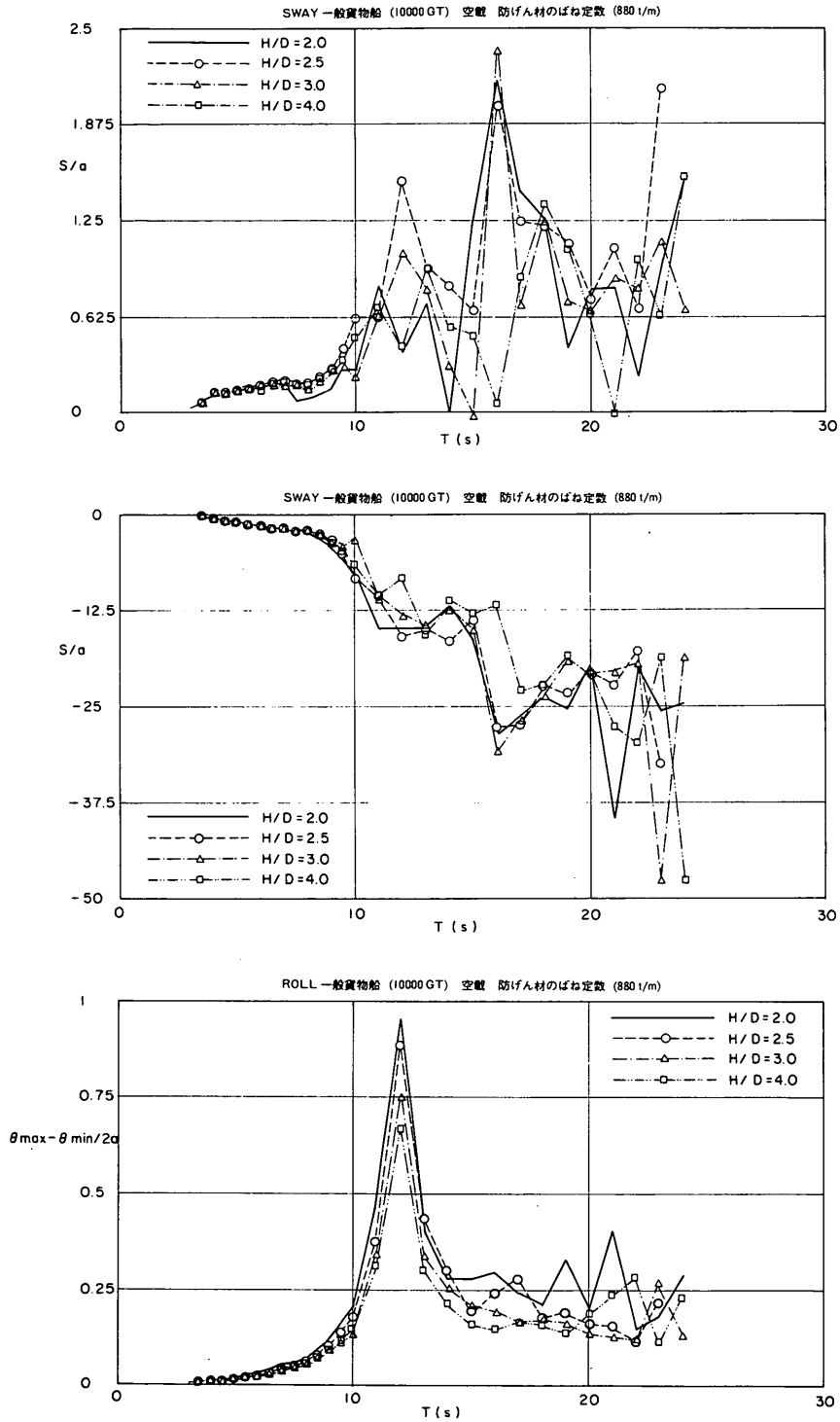
付図-4.6 係留船舶の動揺計算例



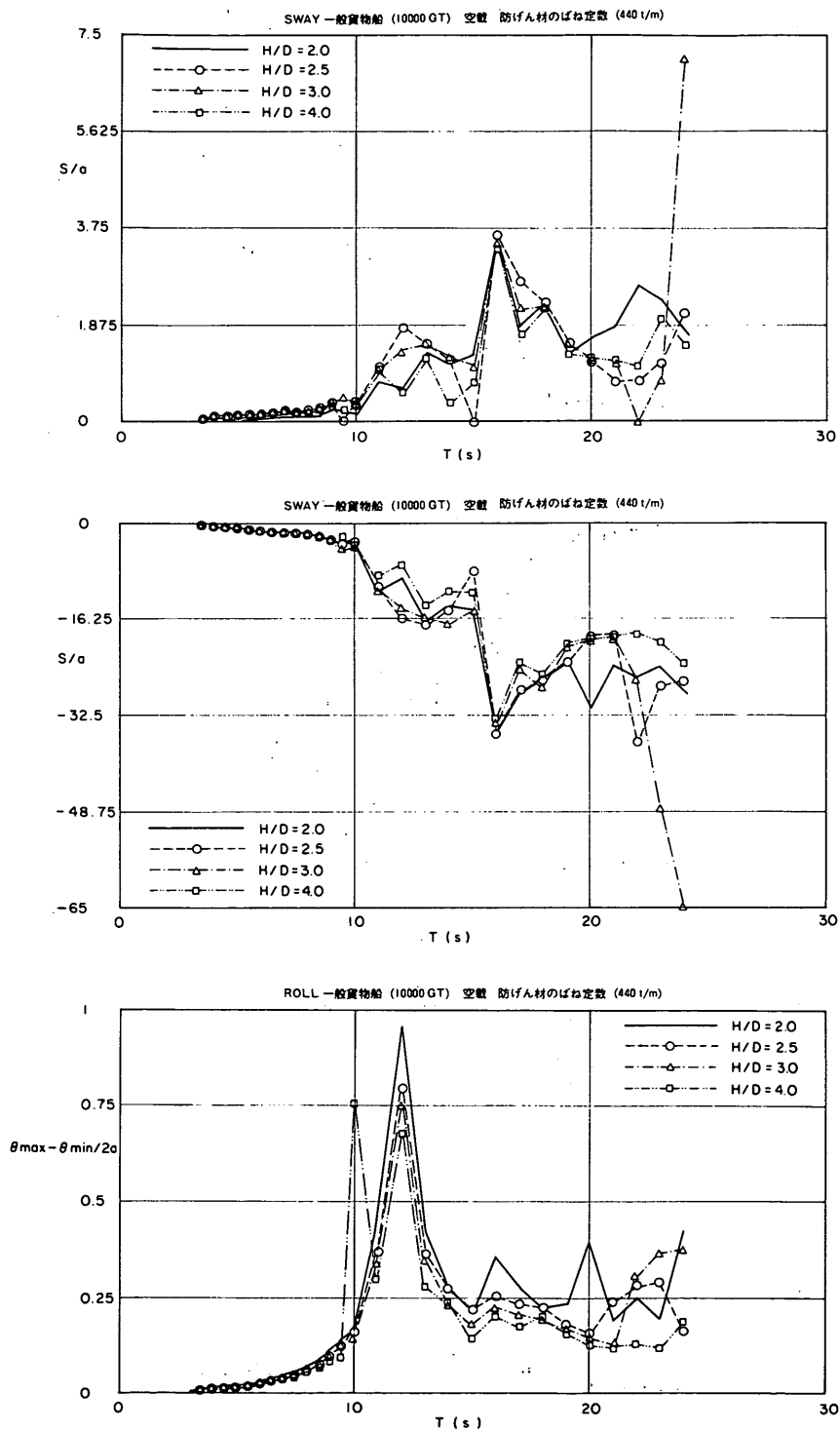
付図-4.7 係留船舶の動揺計算例



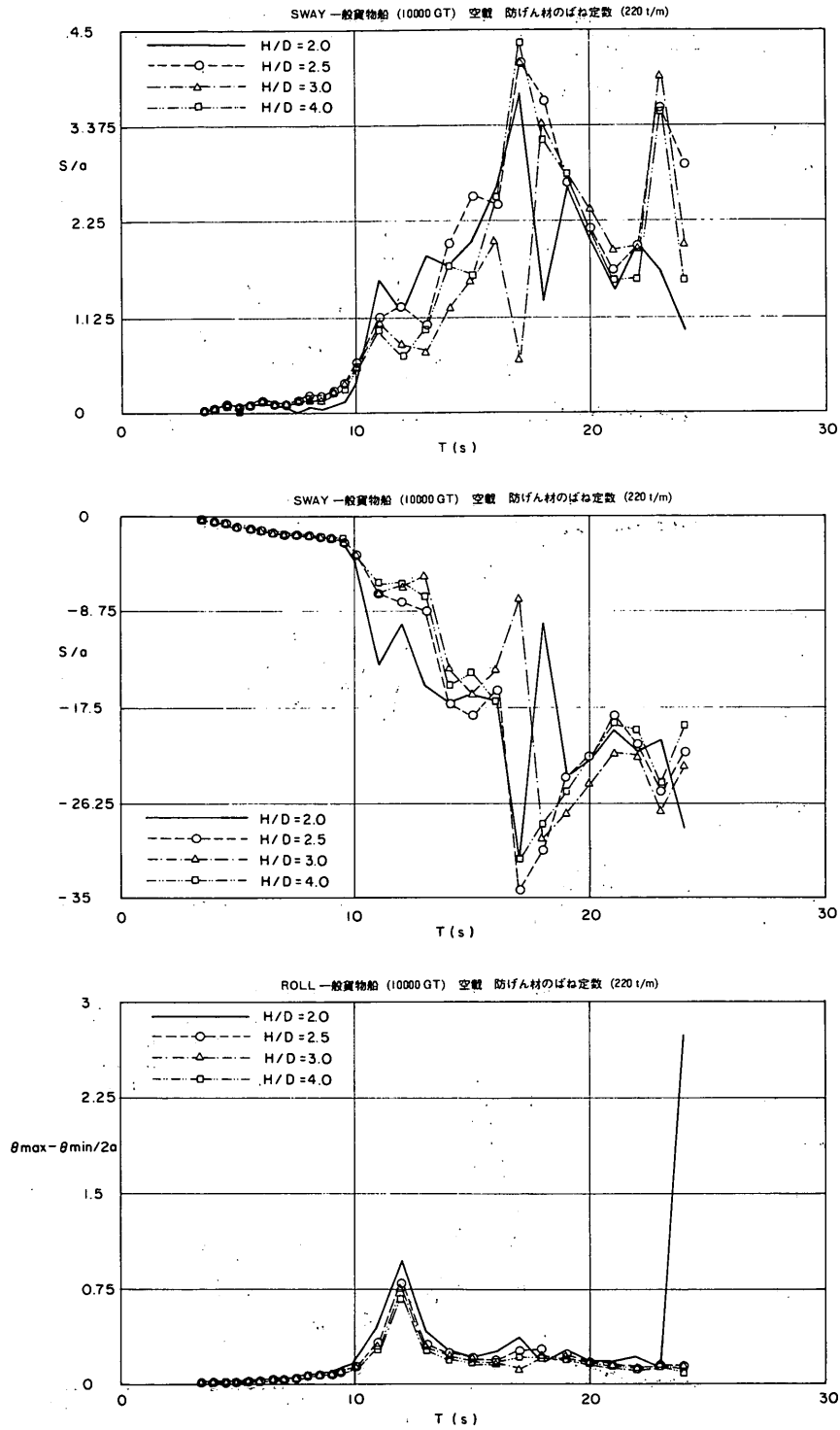
付図-4.8 係留船舶の動揺計算例



付図-4.9 係留船舶の動揺計算例

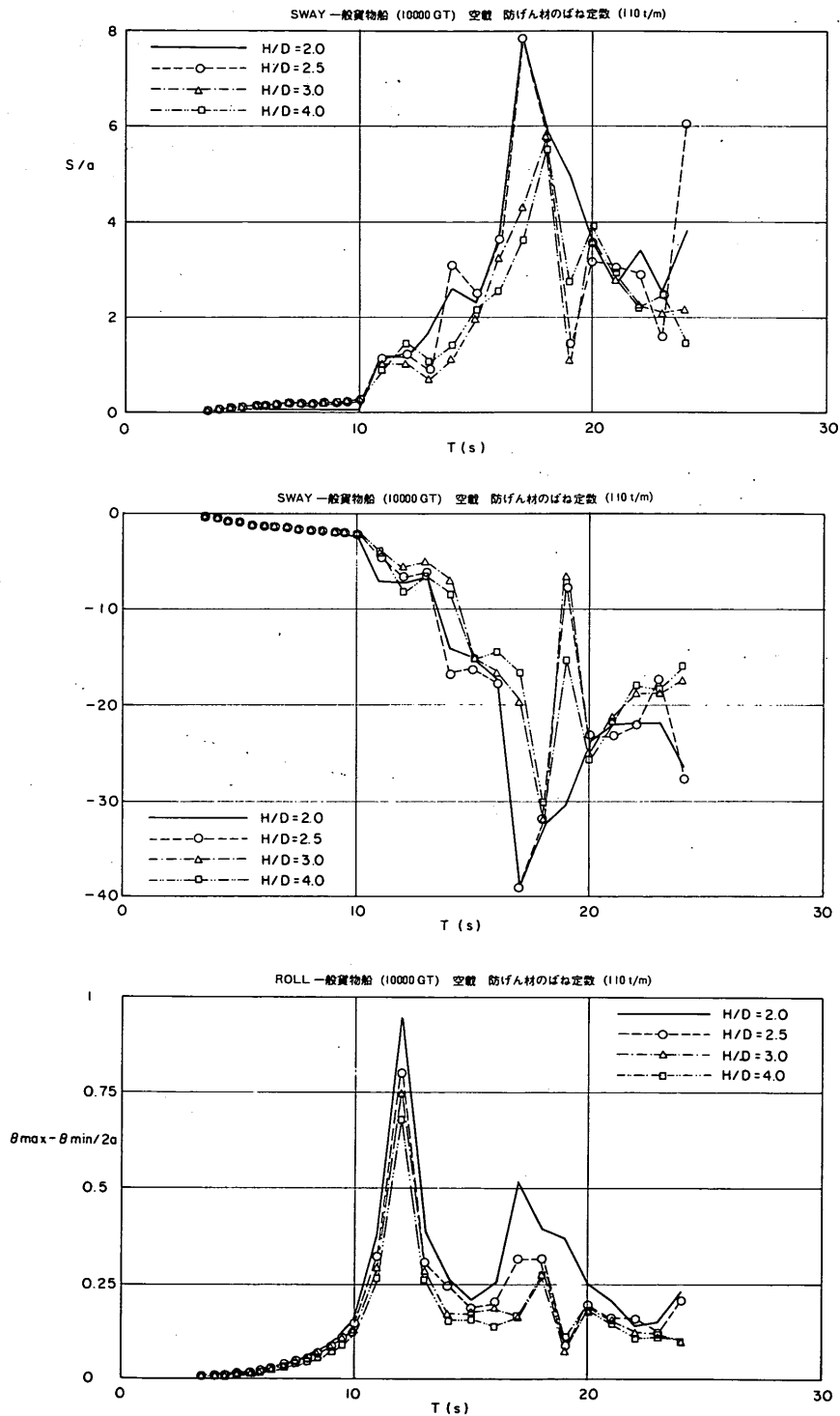


付図-4.10 係留船舶の動揺計算例



付図-4.11 係留船舶の動揺計算例





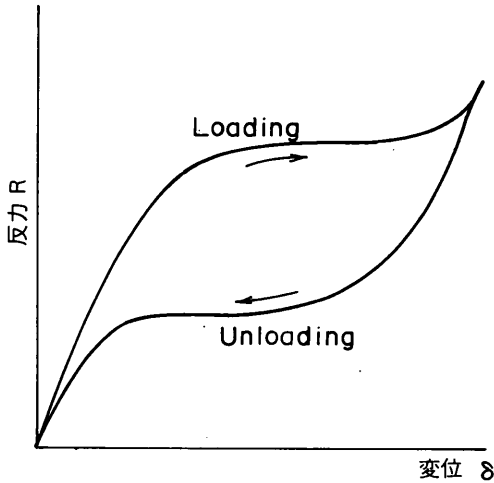
付図-4.12 係留船舶の動揺計算例

付録 - 5 防衝工の種類

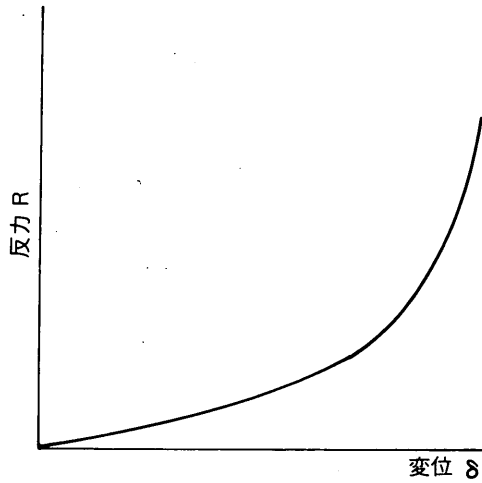
(a) ゴム防げん材 (付図 - 5.3 ~ 5.15 参照)

ゴム防げん材は、防げん材の弾性変形によって船舶の接岸エネルギーを吸収して接岸力を和らげる。ゴム防げん材には、その変位復元力特性に2種類あり、それぞれ、定反力型防げん材 (または座屈型防げん材) (付図 - 5.1 参照)、反力漸増型防げん材 (付図 - 5.2 参照) と呼ばれる。ゴム防げん材の吸収エネルギーは防げん材の形状、大きさ、ゴム質などによって決まるが、一般には、中空

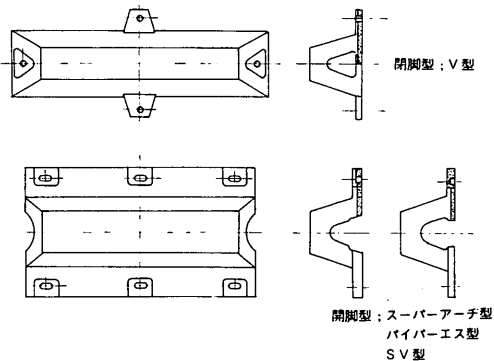
のものが性能が良く、中空でないものと比べると吸収エネルギー当たりの反力が小さい。定反力型防げん材の定格変形量に対する単位吸収エネルギー当たりの反力は、反力漸増型防げん材のそれに比べて小さい。したがって、反力漸増型防げん材の場合には、定反力型防げん材に比べて、同一接岸エネルギーに対してやや大きめのサイズのものを用いることになる。しかし、定反力型防げん材は小さな接岸エネルギーに対しても大きな反力が生じるが、これに対し、反力漸増型防げん材は小さな接岸エネルギーに対しては反力が小さい。



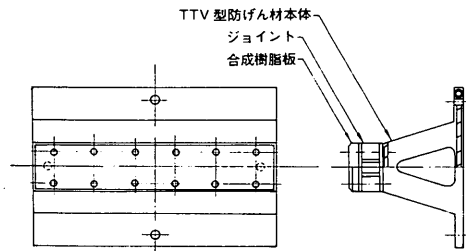
付図 - 5.1 定反力型防げん材



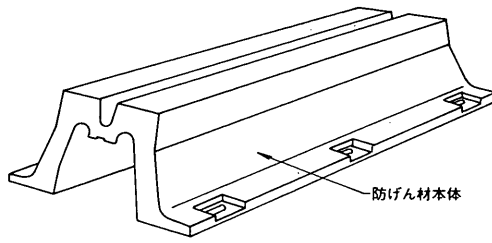
付図 - 5.2 反力漸増型防げん材



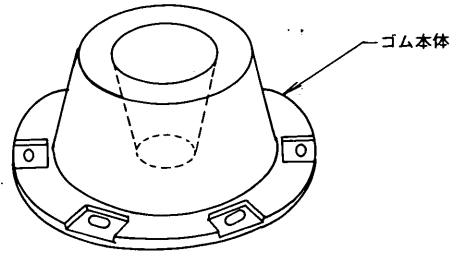
付図 - 5.3 V型類, ゴム防げん材



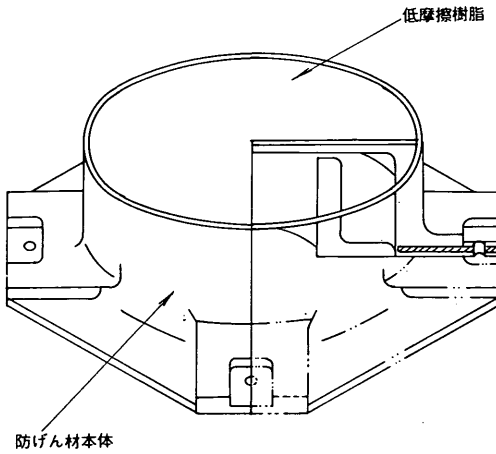
付図 - 5.4 TTV型ゴム防げん材



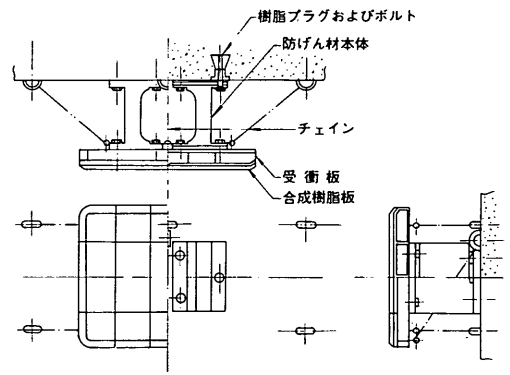
付図-5.5 スーパーM型ゴム防げん材



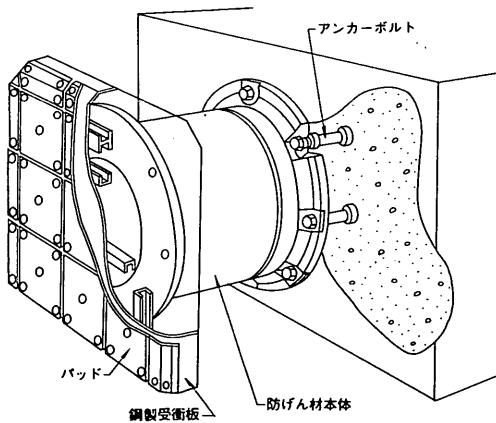
付図-5.6 サークル型ゴム防げん材



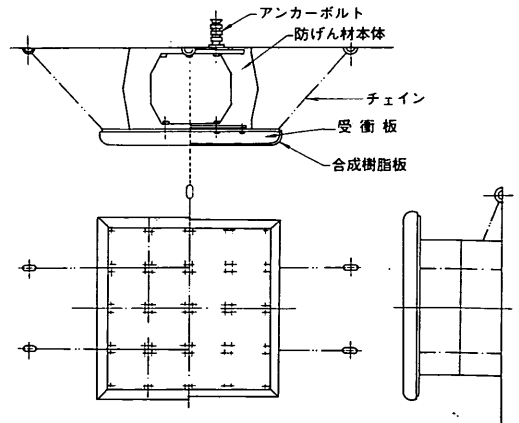
付図-5.7 スーパーポット型ゴム防げん材



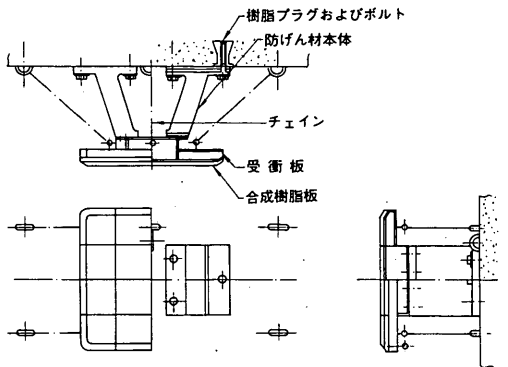
付図-5.8 H型ゴム防げん材



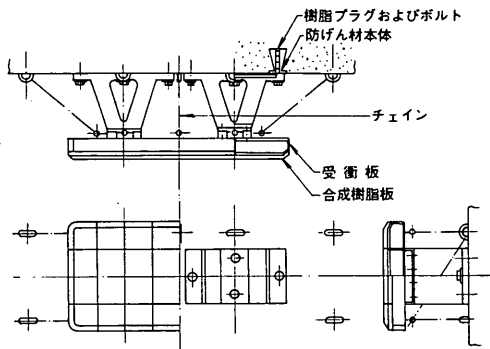
付図-5.9 セル型ゴム防げん材



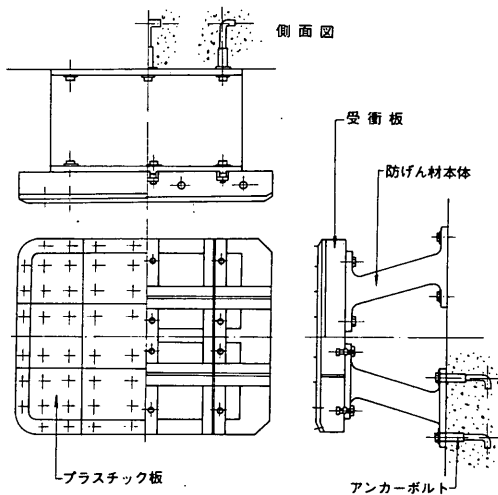
付図-5.10 六角型ゴム防げん材



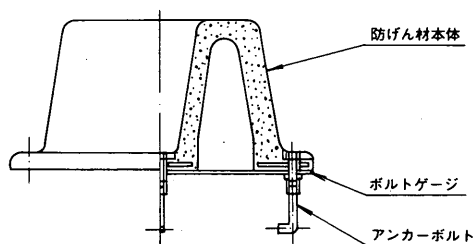
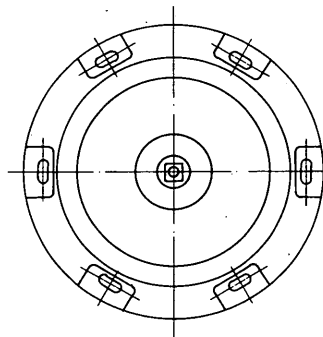
付図-5.11 ユニット型ゴム防げん材



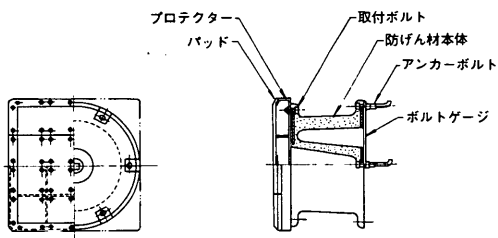
付図-5.12 TTVユニット型ゴム防げん材



付図-5.13 Pi型ゴム防げん材



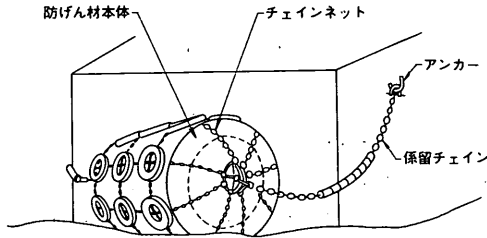
付図-5.14 サークル型ゴム防げん材 (CH型)



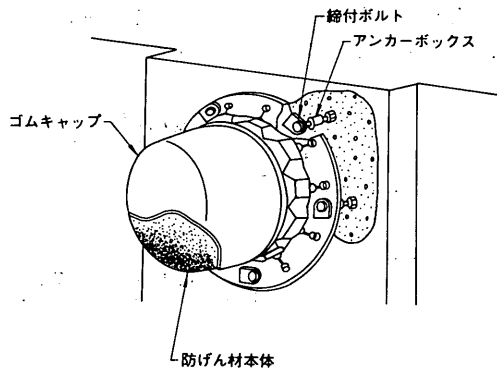
付図-5.15 サークル型ゴム防げん材 (CP型)

(b) 空気式防げん材 (付図-5.16～5.18 参照)

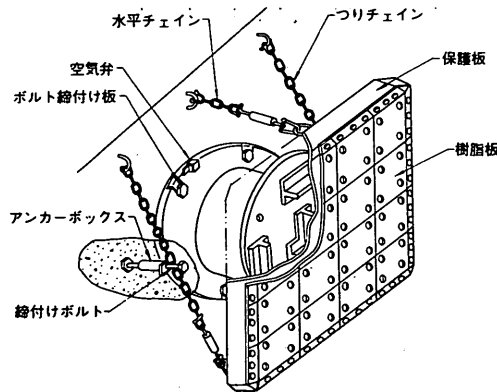
空気式防げん材は合成繊維で補強したゴム製の袋に圧搾空気を封入したもので、空気の圧縮弾性によって船舶の接岸エネルギーを吸収する。空気式防げん材の吸収エネルギーは、防げん材の大きさ、および内圧によって決まる。空気式防げん材には、係船岸に固定する固定型と、水面に浮かせて使う浮遊型とがある。いずれのものも反力漸増型の変位復元力特性を有する。



付図-5.16 空気式ゴム防げん材 (フローティング型)



付図-5.17 空気式ゴム防げん材 (固定式, A, B, F)



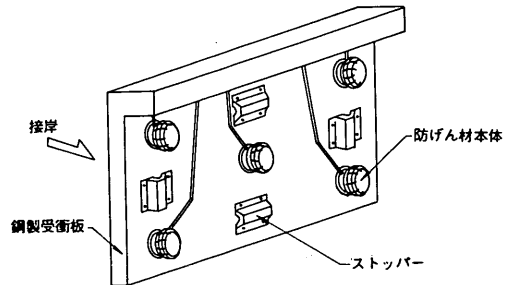
付図-5.18 空気式ゴム防げん材 (固定式, A, B, F-P)

(c) フォーム式防げん材

フォーム式防げん材は、ウレタン樹脂などを素材として、これに無数の小径の空隙を入れたものであり、反力漸増型の変位復元力特性を有する。

(d) 水圧式防げん材 (付図-5.19 参照)

水圧式防げん材はフェリー用に開発されたものである。フェリーやコンテナ船 (RO-RO 船) など、ランプが船首または船尾にあるものは、接岸時に一旦船側を係船岸に接岸させた後、ランプに向かってシフトさせる。この船側の接岸時の接岸力を和らげ、また、シフトするときの摩擦力による防げん材の損傷を少なくする目的で開発された。防げん材は、水を入れたゴム袋、受衝板、水タンク、ゴム袋と水タンクとの間の配管とからなる。船舶が接岸し防げん材を圧縮すると、ゴム袋の中の水圧が上昇し、加圧された水は配管を通過して水タンクに押し上げられる。ゴム袋内の水圧上昇は船舶の接岸速度に比例する。ただし、船舶の接岸による加圧の勾配が、加圧水が配管を通過して水タンクに押し上げられることによる減圧の勾配より小さければ、ゴム袋内の水は加圧されない。したがって、この条件を満足するような緩やかな接岸の場合には、理想的には反力はゼロである。また、これより大きな接岸速度を有する場合にも、一旦上昇した水圧は、船舶が減速することによって加圧の勾配が減圧の勾配より小さくなると、それ以上増加せず次第に低下する。



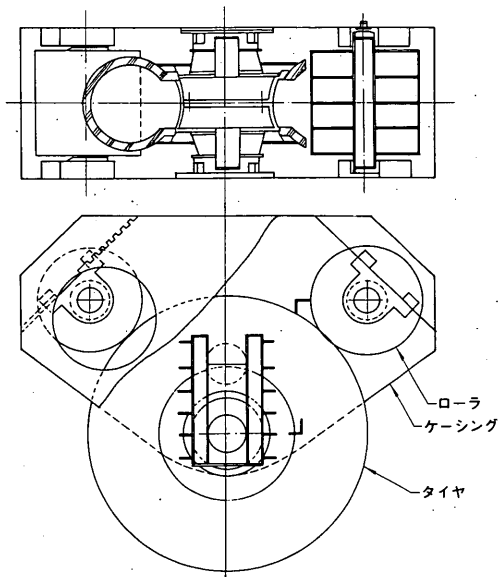
付図-5.19 水圧式ゴム防げん材

(e) 油圧式防げん材

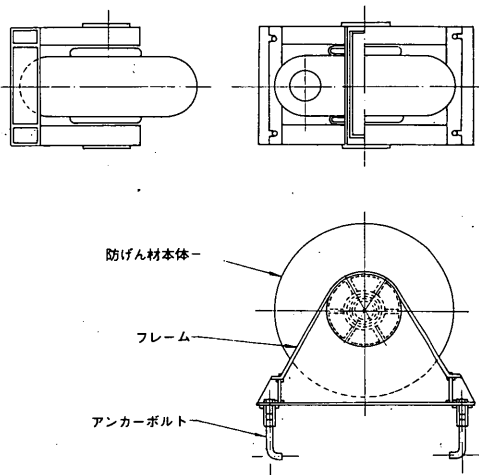
油圧式防げん材の原理は水圧式防げん材と同じで、油圧によって船舶の接岸エネルギーを吸収するもので、シリンダーと油だめとから構成される。船舶の接岸によってシリンダーの油圧が上昇し、これが一定の圧力に達するとシリンダーの弁が開き、シリンダー内の油が押し出されて油だめの中に流れ込む。油だめはシリンダーの上にあるので、接岸力が減少し一定の圧力以下になると油はシリンダーの中へ流れ込む。

(f) 回転式防げん材 (付図-5.20 参照)

この防げん材はゴムの弾性によってエネルギーを吸収するのみでなく、本体が回転することによって船舶の方向を転換し、船舶の移行時の船体および係船岸の損傷を防止する機能を有する。



付図-5.20(a) 回転式防げん材

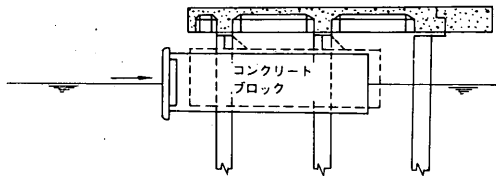


付図-5.20(b) 回転式防げん材

(g) 重力式防げん材 (付図-5.21 参照)

コンクリートまたは鉄などの重い物体の先端を、係船岸の法線より少し突出するように係船岸からぶら下げて

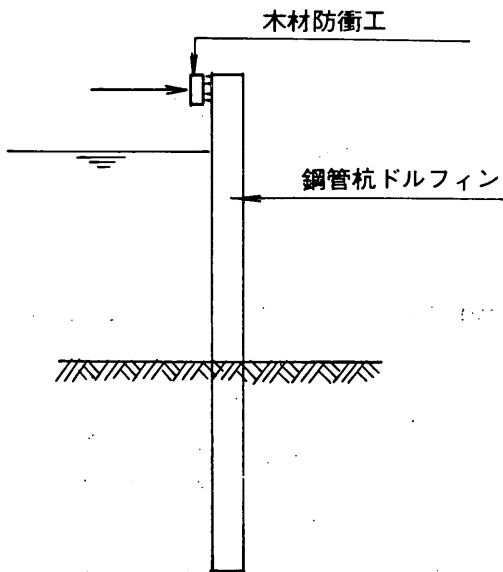
おくと、接岸船舶はまずこの物体に当たる。物体の支持方法には、滑車とケーブルを使った振り子式やトラニオン式などがある。ただし、現在では、使用例は少ない。



付図-5.21 重力式防げん材

(h) くい式防げん材 (付図-5.22 参照)

くいを海底に打ち込み、接岸エネルギーをくいのたわみによって吸収する防げん材で、諸外国においてよく利用されている。防げん材の性質上、くいの上端は自由にしておこうが効率が良いので、大部分の防げん材は上端が自由となっている。しかし、ときによっては、ゴム、木材、ばねなどを介して係船岸に固定しておくこともある。船舶が斜方向から接岸するときに、くいが損傷しないよう材料の選定に注意する必要がある。



付図-5.22 杭式防げん材

(i) 木材防げん材

木材防げん材は、変形し難いので、防げん材自体によるエネルギー吸収をしないとみなされており、単に接触面積を拡げることによって接触圧を軽減し、船体および

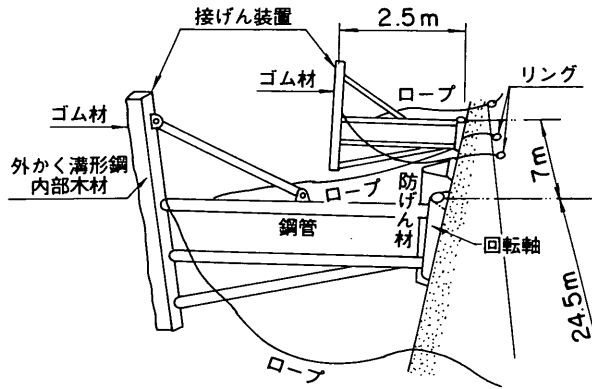
係留岸の損耗を防ぐ。このために、木材の破損は激しく、数年で交換が必要となる。

(j) 特殊な防衛設備（付図-5.23参照）

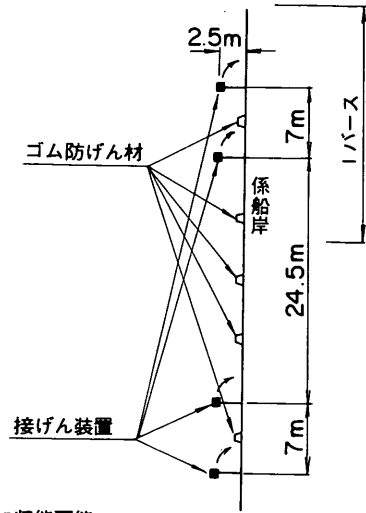
水中翼船など、特殊な船が係留する係船岸には、一般船舶と異なった防衛設備を考慮する必要がある。水中翼

船では、水中翼の形状と、接げん高さを考慮して、係船施設本体から張り出した数個の突出構造をもち、その先端に防げん材を取り付けているのが普通である。防げん材の取り付け施設が船からの乗降客の乗降に支障を与えぬように、特に考慮しなければならない。

取付状況図



平面図



注) 接げん装置は回転軸を中心に回転し係船岸に平行に収容可能

付図-5.23 特殊な防げん材（水中翼船用係留施設の例，神戸港）

港湾技研資料 No.596

1987・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 日青工業株式会社

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