

弾性チェーンによる衝撃張力低減効果を 考慮した係留索の経済的設計法に関する検討

ECONOMICAL DESIGN PROCEDURES OF BUOY MOORING SYSTEM
CONSIDERING THE EFFECT OF ELASTIC CHAIN ON IMPULSIVE TENSION

徳渕克正¹・高山知司²

Katsumasa TOKUBUCHI, Tomotsuka TAKAYAMA

¹正会員 農修 シンバタ工業株式会社 海洋土木事業部 (〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾1058)

²フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所海岸海域分野 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

One point mooring systems have generally been used for maritime floating structures like ship mooring buoys, navigation signal buoys and etc. These mooring systems are effective on loading and unloading of the vessels. However the mooring systems have frequently damaged by storm waves. A main cause of the damage is the breakage of mooring chain due to impulsive tension, which is produced by large buoy motion. Therefore, the reduction of the impulsive tension is significant to protect the breakage of the mooring chain. The authors has suggest that Elastic Chain is effective on the reduction of impulsive tension. However, Elastic Chain is much more expensive than the steel chain. It is better to shorten the length of the Elastic Chain as possible as the impulsive tension sustains the value smaller than the allowable one. We have developed numerical simulation model for estimation of impulsive tension. And, we present an optimization procedure to minimize the cost of mooring line with Elastic Chain. The cost of the mooring line is about 50% to the case of using only steel chain that can be applied for impulsive tension.

Key Words : mooring chain, impulsive tension, rubber material, cost optimization, economical design

1. 結論

わが国は多くの島によって構成された島嶼国であり、多くの離島が存在している。これらの離島は過疎と高齢化の進行によって経済的に苦しい状況となっているが、その一方で、排他的経済水域の保全、海洋資源の利用、および、自然環境の保全に重要な役割を担っているものも多い。特に、前者二項目の役割を考慮した場合、離島における住民の生活の安定が非常に重要となっている。そのためには円滑な物資の輸送が重要であり、船舶による交通が、周辺海域での経済活動あるいは離島への物資や人員の輸送において大きな位置を占めている。このような海上交通においては、船舶の安全の確保、たとえば座礁などの防止を目的とした航路標識の整備や、荷役のための港湾整備が必要となる。

離島港湾における施設は、各島の地形や自然条件、住民の構成に合わせたものが整備される。例えば、防波堤や護岸の建設が困難な箇所では船舶に係船ブイに係留して荷役を行う場合や、潮位差に追従することで船舶の乗降に負担の少ない浮桟橋を使用する場合がある。係船ブ

イや浮桟橋は浮体構造物であり、離島港湾では多数の浮体構造物が用いられている状況である。

このような浮体構造物は、鋼製チェーンなどで係留されることが一般的であるが、台風の来襲時など、高波の影響でチェーンが緊張して発生する衝撃張力や、海底面との接触による磨耗のために強度が低下し、係留チェーンが破断する場合がある。係留チェーンが破断すると浮体構造物が流失し、離島住民の生活や安全面に大きな影響を及ぼすことが考えられる。よって、このような災害を防止するためには、何らかの方法によって係留チェーンの破断を防止する必要がある。

筆者らは係留チェーンの破断防止のために、ゴム材の衝撃緩和効果に着目し、係留索に「弾性チェーン」の利用を提案しているが、弾性チェーンは初期導入コストが高く、経済的に厳しい状況である離島ではその効果と経済性について十分な検討が必要となる。しかし、双方の条件を満たす有効な検討方法は用いられていないことが現状である。そこで、筆者らは、数値計算を用いて弾性チェーンの衝撃低減効果を考慮し、弾性チェーンを含む係留索の経済的設計方法について検討を行った。

2. 弾性チェーンの基本構造と静的載荷特性

弾性チェーンの断面構造は図-1に示すように、ゴム材の円柱に鋼製チェーンを埋め込み、それぞれを接着した構造を持つ。鋼製チェーンは、リンク間に隙間を開けた状態で配置されており、リンク間にもゴム材が充填されている。

弾性チェーンに張力が作用したとき、チェーンリンク間に充填されたゴム材が圧縮されることにより弾性チェーン全長には伸び変位が生じる。図-2は、呼び径φ16のJIS F 3303（第2種）鋼製チェーンを使用した外径φ90mm×長さ0.94mの弾性チェーン、および、同じ長さおよび呼び径の鋼製チェーンの静的載荷における伸び量と張力の関係を示したものである。張力10kNのとき、そ

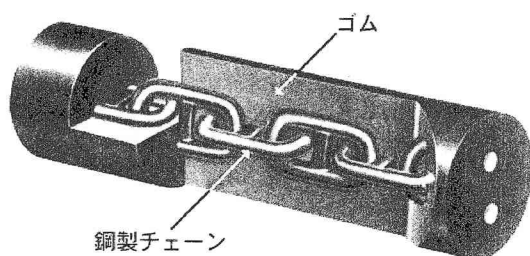


図-1 弾性チェーンの断面構造

れぞれの伸び量を比較すると、弾性チェーンの伸び量は鋼製チェーンのおよそ20倍の値を示しており、弾性チェーンには鋼製チェーンと比較してバネ定数の低い領域が現れることがわかる。

以上のことから、弾性チェーンに作用する張力を適切に推定することによって、係留索に働く衝撃張力を低減することが可能であると考えられる。

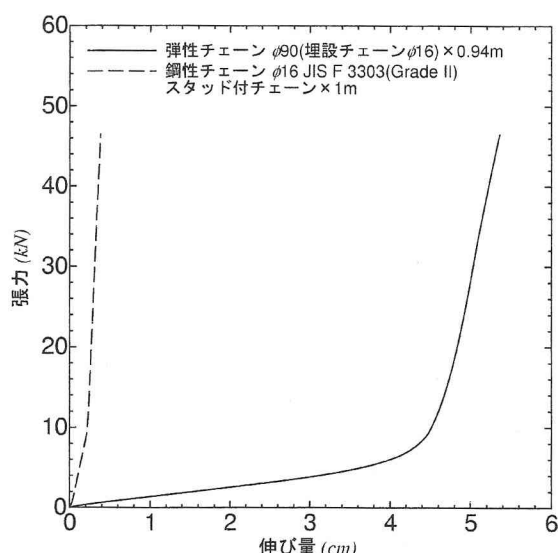


図-2 弾性チェーンおよび鋼製チェーンの伸び-張力特性。

3. 弾性チェーンの衝撃張力低減特性に関する実験的検討

(1) 実験目的

弾性チェーンは係留索に働く衝撃張力の低減に対して有効であると考えられる一方、弾性チェーンに要するコストは、一般的な鋼製チェーンにゴム材を追加した構造であるため、必然的に上昇する。弾性チェーンの適用による係留索全体のコスト上昇を抑えるためには、係留索に対する弾性チェーンの適用長さを必要最小限としなければならない。そこで、特に弾性チェーンの長さや衝撃張力の低減効果の関係について実験的に検討した。

弾性チェーンの衝撃低減効果については、山形県由良港沖で行われた浮体式海洋構造物の緊張係留に関する実海域実験に際して緩衝材として使用するために検討された事例¹⁾があるが、弾性チェーンの長さや衝撃低減効果については検討されていない。また、平石らは、ブイを対象として弾性チェーンを模擬した棒状ゴム材を用いた係留索の衝撃張力低減に関する水理模型実験²⁾を行っており、弾性チェーンの長さや効果に関して示唆している。

筆者らは、これらの検討事例を参照しつつ、弾性チェーンの係留索への適用長さの最適化を視野に入れ、種々の長さの模型弾性チェーンと鋼製チェーンに関する衝撃載荷実験を行い、弾性チェーンの長さや衝撃低減効果に関する実験的な検討を行った。

(2) 実験方法

弾性チェーンの衝撃実験方法は、一般的な方法が規定されていないため、先の浮体式海洋構造物の緊張係留の検討¹⁾において用いられた振り子式重錘落下衝撃載荷装置による実験方法を参考に、図-3に示した同様な実験装置を用いて行うものとした。

重錘の振り上げ角は20°～60°、重錘高さ0.1～0.6mとし、発生張力は実験装置に取り付けたロードセルで測定するものとした。

弾性チェーン模型は外径φ40mmとし、埋設した鋼製

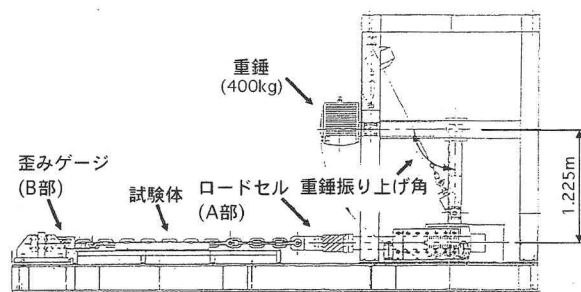


図-3 実験装置の概要

チェーンは線径φ8mm、耐力荷重39.2kN、破断荷重78.4kN、使用荷重15.7kNのものを用いた。弾性チェーンとの比較に用いた鋼製チェーンも、埋設した鋼製チェーンと同等のものを用いた。それぞれの形状と仕様を図-4および表-1に示す。

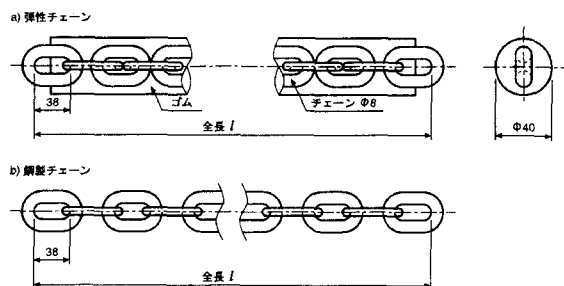


図-4 実験に用いた模型の形状

表-1 実験に用いた模型の仕様

模型種別	記号	リンク数	全長(mm)
弾性チェーン	RJ08S	7	220
	RJ08M	9	295
	RJ08L	15	498
鋼製チェーン	SC08S	7	266
	SC08M	9	342
	SC08L	15	570

(2) 弾性チェーンの長さに対する衝撃低減効果の変化

図-5は、各弾性チェーン模型と鋼製チェーンにおける重錘高さと発生張力を比較したものである。弾性チェーンの長さが最も長いチェーンリンク数15リンクの場合、発生張力は、重錘高さ0.1～0.3mの範囲で埋設チェーンの使用荷重を下回っているが、弾性チェーンが短くなるというずれの重錘高さでも発生張力がチェーンの使用荷重15.7kNを上回る傾向を示している。

一方、弾性チェーン長さにおける鋼製チェーンとの発生張力比を比較すると、いずれのケースでも発生荷重が鋼製チェーンを用いた場合より小さい値を示している。重錘高さ0.1～0.45mの範囲では、弾性チェーンの鋼製チェーンに対する発生張力比はいずれのケースでも0.2～0.6となっており、弾性チェーンは鋼製チェーンのみを用いた場合と比較して20～60%の発生張力となる。

以上の実験結果より、弾性チェーンは全長が短い場合でも鋼製チェーンに対して60%程度に張力に低減されることがわかる。ただし、衝撃張力の低減効果が有効に発揮される範囲は、弾性チェーンの長さが長い場合と比較して制限される傾向が現れている。よって、実際の係留索に弾性チェーンを適用する場合、外力を適切に考慮する必要がある。

3. 数値計算による弾性チェーンを用いた係留索の経済的設計法に関する検討

(1) 検討目的

弾性チェーンは係留索に作用する衝撃張力を低減する効果があり、係留索破断の有効な対策であると考えられるが、一方、先述のように係留索に弾性チェーンを使用する場合、弾性チェーンのコストが鋼製チェーンと比較して高いものとなるため、係留索全体のコストが上昇する懸念がある。よって、係留索に作用する衝撃張力の低減を行う場合、必要最小限の弾性チェーンを用いてコス

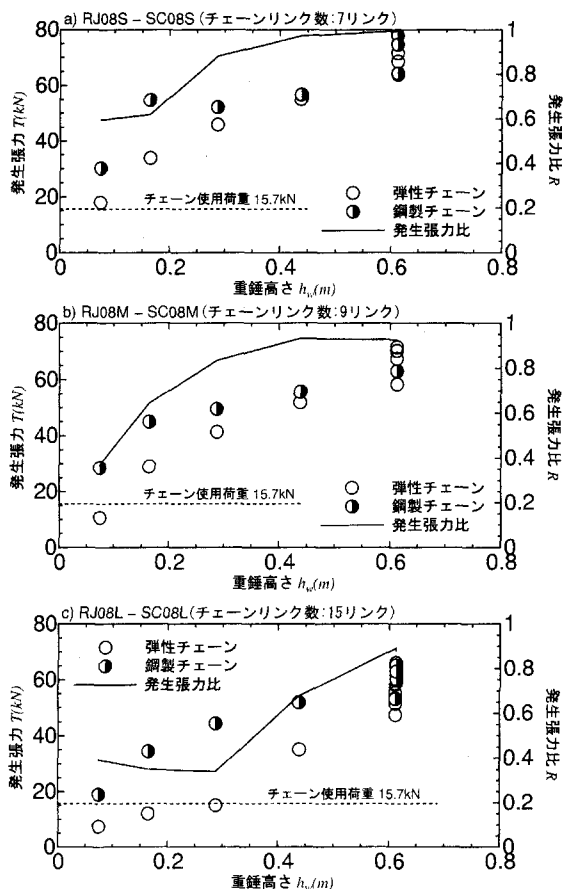


図-5 各弾性チェーンにおける重錘高さと発生張力

トの上昇を抑えることが考えられる。しかしながら、先の実験結果で示したように、弾性チェーンの長さが短くなるに従って、張力低減効果を発揮する係留索に入力されるエネルギーあるいは外力の範囲が狭くなっていく。

そこで、数値計算により想定される波条件に対して発生する張力を推定する手法を用いて、係留索に弾性チェーンを適用する場合の係留索に要するコストを最適化する方法について検討を行った。

(2) 係留索に働く衝撃張力の数値計算

係留索に働く衝撃張力の推定は、ブイを含んだ係留系をLumped-mass modelとして取り扱うものとした。各質点間の運動方程式は、式(1)のように表すものとした。

$$\left. \begin{aligned} m_i \ddot{x}_{i(j)} &= F_{Hi(j)} \\ &\quad + T_{i(j-1)} \cos \phi_{i(j-1)} - T_{i+1(j-1)} \cos \phi_{i+1(j-1)} \\ m_i \ddot{z}_{i(j)} &= F_{Vi(j)} \\ &\quad + T_{i(j-1)} \sin \phi_{i(j-1)} - T_{i+1(j-1)} \sin \phi_{i+1(j-1)} \\ &\quad + f_i + m_i g \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 ρ :海水の密度、 C_M :質量係数(1.2)、 C_D :抗力係数(2.4)、 $A_{xi(j)}$ 、 $A_{zi(j)}$:各要素の水平・鉛直方向投影面積、 $V_{i(j)}$:各要素の体積、 $F_{Hi(j)}$ 、 $F_{Vi(j)}$:各要素に働く水平・鉛直方向の流体力、 $\phi_{i(j)}$:各質点のなす角、 $f_{i(j)}$:各要素の浮力、 m_i :各質点の質量、 j :計算時刻である。

流体力 F_H, F_V は、各質点の位置における水粒子の加速度 $\ddot{u}_{i(j)}, \ddot{w}_{i(j)}$ および速度 $\dot{u}_{i(j)}, \dot{w}_{i(j)}$ をStokes波の第4次近似式³⁾を用いて計算するものとし、式(2)のように求めるものとする。なお、入射する波は規則波としている。

$$\left. \begin{aligned} F_{Hi(j)} &= \rho C_M V_{i(j)} (\ddot{u}_{i(j)} - \ddot{x}_{i(j)}) \\ &\quad + \frac{1}{2} \rho C_D A_{xi(j)} |\dot{u}_{i(j)} - \dot{x}_{i(j)}| (\dot{u}_{i(j)} - \dot{x}_{i(j)}) \\ F_{Vi(j)} &= \rho C_M V_{i(j)} (\ddot{w}_{i(j)} - \ddot{z}_{i(j)}) \\ &\quad + \frac{1}{2} \rho C_D A_{zi(j)} |\dot{w}_{i(j)} - \dot{z}_{i(j)}| (\dot{w}_{i(j)} - \dot{z}_{i(j)}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

計算時刻 j における各質点間の速度 $\dot{x}_{i(j)}, \dot{z}_{i(j)}$ と位置 $x_{i(j)}, z_{i(j)}$ は、計算時刻の刻み幅 Δt に関して式(3)、(4)のように求める。

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_{i(j)} &= \frac{\Delta t}{2} (\ddot{x}_{i(j)} - \ddot{x}_{i(j-1)}) + \ddot{x}_{i(j-1)} \\ \dot{z}_{i(j)} &= \frac{\Delta t}{2} (\ddot{z}_{i(j)} - \ddot{z}_{i(j-1)}) + \ddot{z}_{i(j-1)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} x_{i(j)} &= \frac{\Delta t}{2} (\dot{x}_{i(j)} - \dot{x}_{i(j-1)}) + \dot{x}_{i(j-1)} \\ z_{i(j)} &= \frac{\Delta t}{2} (\dot{z}_{i(j)} - \dot{z}_{i(j-1)}) + \dot{z}_{i(j-1)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

各質点間に働く張力 $T_{i(j)}$ は、フックの法則に従うものとして、計算時刻 $j, j-1$ における質点の位置から式(5)のように求めるものとする。

$$T_{i(j)} = k_i \left\{ \sqrt{(x_{i-1(j)} - x_{i(j)})^2 + (z_{i-1(j)} - z_{i(j)})^2} - L_{i(0)} \right\} \quad (5)$$

また、各質点間のバネ定数 k_i は、弾性チェーンを用いる場合、その伸び量と張力の関係が図-2のように非線形性を示すため、バネ特性を低バネ部、変曲部、高バネ部の3領域に分割し、それぞれの領域でバネ定数を設定するようにした。また、鋼製チェーンについては、式(6)を用いて鋼製チェーンの伸び量を推定した結果からバネ

定数を求めるものとする⁴⁾。

$$\Delta l_s = (2 + 42.65\beta) \frac{1}{\pi E d^2} \quad (6)$$

式(1)~(6)のモデルの妥当性を確認するために平石らによる係船ブイを対象とした衝撃張力低減方法に関する水理模型実験の結果⁴⁾と比較を行った。係留系は、直径3.6m、高さ1.5m、質量10.0tonの係船ブイを呼び径 ϕ 60mmのスタッドリンクチェーンで係留した場合を対象とした。なお、係留索の長さは、水深30mに対して35mとした。波条件は、波高 $H_{1/3} = 6 \sim 10$ m、周期 $T_{1/3} = 9.9 \sim 13.4$ sとし、計算時間はモデル内において120sとした。ただし、実験では不規則波を用い、最大張力 T_{rmax} の検討は $H_{1/40}$ を、そして、ピーク張力の平均値 $\bar{T}_r$ の検討は $H_{1/100}$ を用いていることから、計算においても有義波高 $H_{1/3}$ からRayleigh分布に従って $H_{1/40}$ 、 $H_{1/100}$ を求めて入射波の条件とした。図-6は、ブイ直下およびアンカー直上における計算時間内の T_{rmax} と $\bar{T}_r$ を計算結果と実験値の間で比較したものである。

図-6より、数値計算による T_{rmax} は実験値に対して1.5~2.5倍、また、 $\bar{T}_r$ は、1.5倍程度の張力を推定する傾向を示している。これは、実験が不規則波で行われていることに対して、数値計算では規則波を対象としており、不規則波と比較して一定した高い波高の波が連続的に係留系に入射することとなり、その結果、計算値が実験値と比較して大きな張力となる傾向を示していると考えられる。しかしながら、計算値は概ね実験値と比較して高い張力を推定する傾向であることから、安全側の数値を示していると言える。よって、係留索の検討に、ここで示した手法を用いた場合でも、発生する張力を過小に評価する可能性は少ないと考えられる。

(2) 弾性チェーンを用いた係留索の経済的設計

a) 係留索の経済的設計手順

次に、先に示した係留索張力に関する数値計算モデルを用いた係留索の経済的設計方法に関する検討を行う。

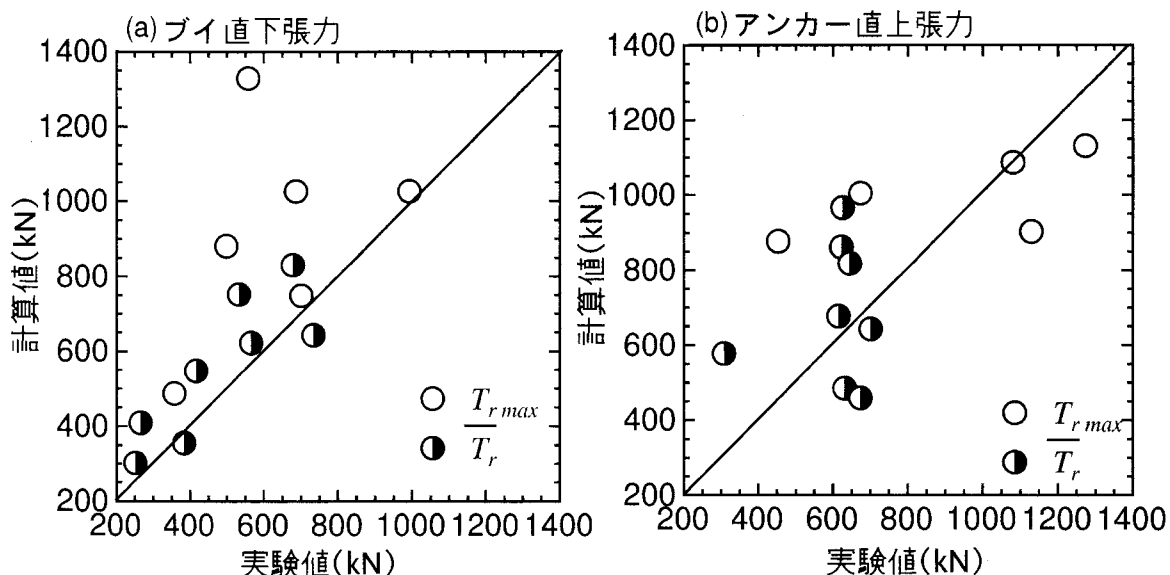


図-6 計算値と実験値における係留索長力の比較

一般に、係留索の設計は、係留する浮体に作用する波力などの外力によって生じる変動周期が長く、静的な張力と考えられる力に対して行われる。しかしながら、係留索には暴風時の波浪による衝撃張力が作用する場合もある。

衝撃張力は係留索を破断させる場合もあるが、このような張力を発生させる波浪の来襲頻度は低く、対応可能な強度の鋼製チェーンは呼び径が非常に大きなものとなり、静的張力で設計された係留索と比較してコストも上昇する。一方、静的な張力に対して設計された係留索のすべてを弾性チェーンに置換えた場合、衝撃張力の低減効果は高いものの、鋼製チェーンの場合と同様、コストの上昇を招く。そこで、係留索に作用する衝撃張力を先の数値計算方法を用いて推定し、弾性チェーンによる衝撃張力の低減を加味して強度および経済性において最適な係留索の設計手法について検討する。

係留索の設計手順は、係船ブイを対象として以下に示すものとする。(i)係船ブイの係留索に働く張力は静的な牽引力をもとに設定する⁵⁾ことから、まず、ブイに船舶が係留される限界として荷役限界波高 H_c を考慮して船体に働く波力 F_s を計算し、このとき係留索に働く静的張力 T_s を求め、これに対応した鋼製チェーンを選定する。船体に働く波力 F_s は、式(7)で求める⁶⁾。

$$F_s = \begin{cases} 2\rho g H_c L_{pp} d_s \frac{B}{L_A} \cdot \frac{d_s}{2} \geq H_c \\ \rho g \left\{ \left(\frac{H_c}{2} + d_s \right)^2 L_{pp} \frac{B}{L_A} \right\} \cdot \frac{d_s}{2} < H_c \end{cases} \quad (7)$$

ここに、 L_{pp} :係留船舶の垂船間長、 d_s :係留船舶の軽荷喫水、 B :係留船舶の型幅、 L_A :荷役限界時の波長である。

また、静的張力 T_s は、図-7のように係留船舶が波力によって移動し、係船ブイの係留索が緊張して張力が作用する場合を想定し、幾何的に求めるものとする。

次に、(ii) T_s から求めた強度を持つ係留索に、荒天時の波高 H_t が作用したときに生じる衝撃張力 T_s' を数値計算によって求め、これに対応する強度を有する鋼製チェーンを選定し、その費用 C_s を求める。そして、(iii)検討している係留索の全長を弾性チェーンに置換した場合の荒天時波高における張力 T_r' を求め、 $T_r' < T_s'$ となるか確認する。(iv) $T_r' < T_s'$ であれば、係留索を弾性チェーンに置換する長さを変え、係留索に要する費用が最小となる弾性チェーンの置換率および使用する鋼製チェーンの呼び径 d_c を求める。なお、係留索の費用 C_s はチェーン呼び径に対して図-8に示した関係となっており、これを式(8a)、(8b)のように定義する。係留索の一部を弾性チェーンに置換した場合の費用は、弾性チェーンの置換率を γ として、式(8c)のように表されるものとする。

$$C_s = 31.177 - 1.701d_c + 0.059d_c^2 \quad \text{鋼製チェーンのみ} \quad (8a)$$

$$C_s = 9.144 + 2.586d_c + 0.039d_c^2 \quad \text{弾性チェーンのみ} \quad (8b)$$

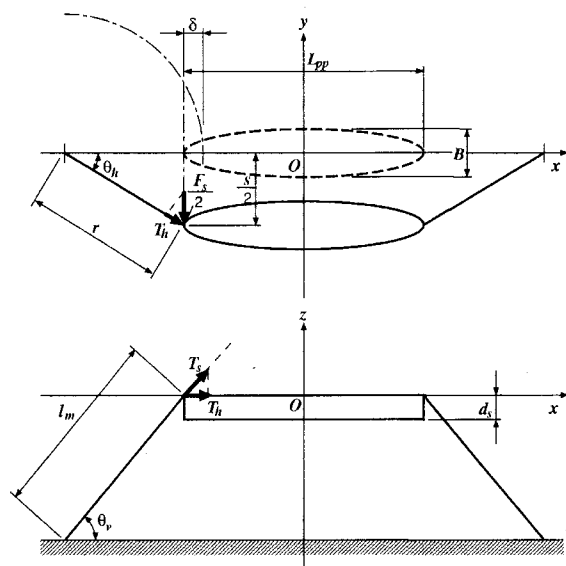


図-7 船舶係留時の係留索の模式図

$$C_s = \gamma \left(9.144 + 2.586d_c + 0.039d_c^2 \right) + (1-\gamma) \left(31.177 - 1.701d_c + 0.059d_c^2 \right) \quad (8c)$$

また、鋼製チェーンの使用荷重 P_u は破断試験荷重 P_b に対して3倍の安全率を見込むものとし、 $P_u > T_s'$ および $P_u > T_r'$ を満たすものとする。

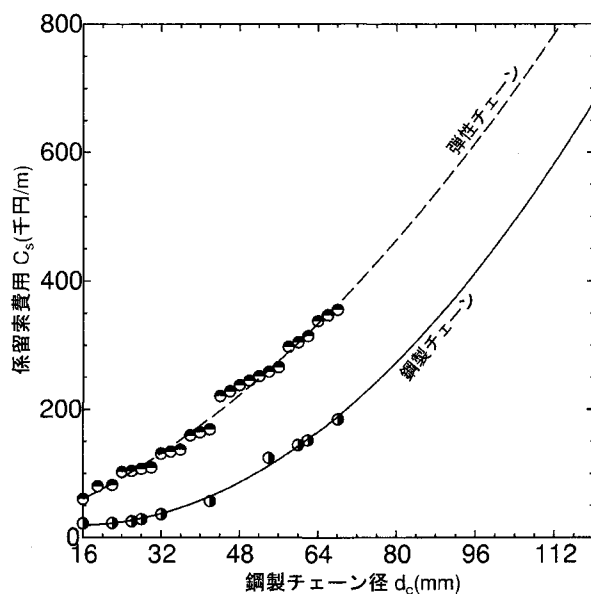
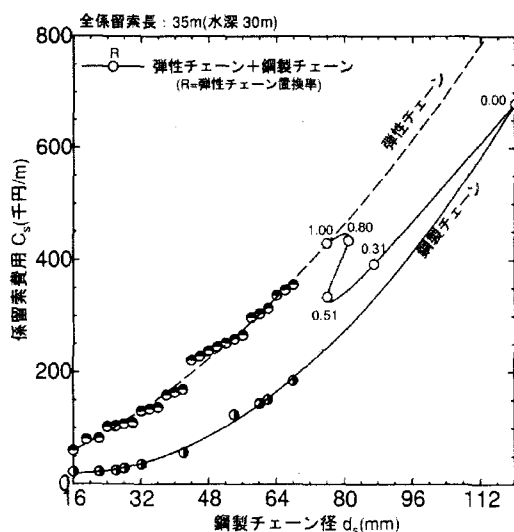


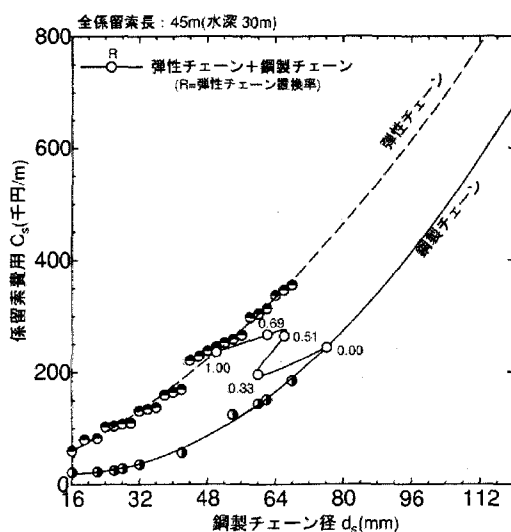
図-8 鋼製チェーンの呼び径と費用

a) 係留索の試設計

上述の手順に従って、係留索の試設計を行う。想定する海域は南大東島周辺とし、荒天時の波高は、この海域の波高観測資料⁷⁾から $H_t = 18.0\text{m}$ 、波周期を 15.0s とする。また、荷役限界波高は $H_c = 1.0\text{m}$ 、波周期を 12.0s とする。船舶の使用は、現地に就航している貨客船の資料から $L_{pp} = 67.42\text{m}$ 、 $B = 11.0\text{m}$ 、 $d_s = 2.54\text{m}$ 、総トン数699トンとする⁸⁾。また、係船ブイの仕様は直径3.6m、高さ1.5m、質量10.0tonとし、係留索の長さは水深30mに対して35mと45mの2種類のケースについて検討する。



(a) 係留索長35m



(b) 係留索長45m

図-9 各係留索に要する費用の検討結果

以上の検討条件における船舶に働く波力、静的張力、そして、静的張力で選定した鋼製チェーン使用時に荒天時波高により生じる衝撃張力は係留索長35mのとき2185.6kN、45mのとき1161.0kNとなり、これに対応できる鋼製チェーンはJIS F 3303第2種のチェーンを用いた場合、係留索長35mのときφ120mm、45mのときφ76mmとなる。

そこで、弾性チェーンへの置換率を係留索全長の30～100% ($\gamma=0.3\sim1.0$)とした場合の係留索に要する費用の計算結果を図-9に示す。弾性チェーンの適用位置は、数値計算による弾性チェーン位置と張力低減効果の検討し、加えて、係留索の摩耗防止を考慮した結果、アンカー直上としている。なお、 $\gamma=0.0$ は、係留索が全て鋼製チェーンの場合である。

この結果より、係留索に要する費用が最小となる弾性チェーンへの置換率は、係留索長が35mの場合 $\gamma=0.51$ 、45mの場合 $\gamma=0.33$ となる。係留索長が短い場合、弾性チェーンの適用による費用の減少が明確となり、鋼製チェーンだけで衝撃張力に対応した場合と比較しておおよそ50%の費用となる。一方、係留索長が長い場合、係留索の描くカタナリー曲線による衝撃低減効果も付与されるため置換する弾性チェーンの長さは短いものとなり、鋼製チェーン使用時に対する費用減少も10%程度となり、弾性チェーンの優位性が小さくなる結果となった。一般に、係留索長は水深の1.5倍程度とされることが多いが、係留索の長さを短くした方がブイの振れ回り半径を小さくすることができ、係船ブイなどの利用の観点からは有利となる。よって、係留索に要する費用と利便性の双方からみた場合、係留索の全長を短いものとし、衝撃張力に対して一部に弾性チェーンを適用することが有効であると考えられる。

4. 結論

以上の検討結果をまとめると次のことが言える。

- (1) 弾性チェーンは衝撃張力の低減効果を有しており、

振り子式衝撃载荷装置による実験では、鋼製チェーンでの発生張力に対して20～60%の張力となり、衝撃張力低減効果を有する。

- (2) 係留索全長に対する弾性チェーンへの置換率を変化させ、そのときに作用する衝撃張力に対応可能な鋼製チェーン径を探索することによって、弾性チェーンを用いた係留索の費用最小となる組み合わせを検討することが可能である。
- (3) 係留索全長を短くすることは、係船ブイなどの利便性の面から有利となるが、弾性チェーンを適用することにより鋼製チェーンのみを使用した場合と比較して経済性の面でも有利な係留索を設計することができる。例えば、水深30mに対して係留索長を35mとした場合、弾性チェーンへの置換率を50%とすることで鋼製チェーンのみで衝撃張力に対応するときのおおよそ50%の費用となる。

参考文献

- 1) 工藤君明, 生駒信康, 荒川 仁: 浮体式海洋構造物の緊張係留に関する研究(第3報), 日本造船学会論文集, 第159号, pp. 171-180, 1985.
- 2) 平石哲也, 富田康広: 係船ブイに作用する衝撃張力の低減法に関する模型実験, 港湾技研資料, No. 816, 1995.
- 3) Tsuchiya, Y., Yamaguchi, M.: *Some Considerations on Water Particle Velocities of Finite Amplitude Wave Theories*, Coastal Engineering in Japan, Vol.15, pp.43-57, 1972.
- 4) 高山知司, 平石哲也, 永井紀彦, 古川正美: 一点係留ブイにチェーンで係留された船舶の振れ回り運動の特性, 港湾技研資料, No. 508, 1984.
- 5) (社) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻), pp.797-803, 1999.
- 6) (社) 日本マリーナ・ビーチ協会係留施設研究会: プレジャーボート用浮桟橋設計マニュアル, pp.15-17, 1998.
- 7) 独立行政法人 海上安全技術研究所: 海象気象データベース, <http://www.nmri.go.jp/wavedb/wave2.html>.
- 8) (社) 日本海運集会所: 日本船舶明細書, 2001.