

S A L M型ブイ係留タンカーの避泊実験

運輸省港湾技術研究所 正会員 高山 知司
 正会員 平石 哲也
 正会員 古川 正美
 三井海洋開発(株) 正会員 佐尾 邦久
 正会員 奥野 直哉

1. まえがき

台風などの来襲によって港内の波や風が強くなると予想される場合には、数千トン以上の船舶は港外に退避するように勧告され、港外で錨泊して悪天候がおさまるのを待つことになる。そのため、船舶が走錨して、防波堤に衝突するなどの事故が起こっている。港外避泊は港内で避泊しようとしても港内隻数が多く、中大型船舶が避泊するだけの水域がないことが大きな原因である。それゆえ、荒天時に安全に港内に避泊係船できる施設に対する要望が強くなってきている。港内における避泊係留としては、タワーあるいはブイ係留の他に、岸壁係留等が考えられるが、小型船舶は係岸避泊、中大型船舶はブイ避泊が有利だと考えられている。本研究では、中大型船舶用のSALM(Single Anchor Leg Mooring)型ブイシステムによる避泊の問題を取り扱っている。SALM型ブイに船首単点係留されたタンカーは、風の影響を受けて振れ回り運動をすることが知られている。このとき、係船索およびブイ係留チェーンには大きな張力が作用するので、SALM型ブイ避泊システムの設計にあたっては、避泊係留に必要な水域面積と係留力を算定しておくことが重要となる。そこで、鈴木ら¹⁾は、実験室内で定常風を作用させ、模型船を用いて振れ回り運動に対する波と風の影響を実験的に検討するとともに、定常風作用下におけるブイ係留船舶の振れ回り運動の数値計算法を開発している。著者ら²⁾は、むつ小川原港沖合のSALM型ブイを用いて現地観測を行ない、ブイとタンカーの運動および係船索張力に関して、その現地特性を明らかにした。現地観測の結果、係船索張力の変動には、周期数分程度の長周期変動成分と、周期10数秒以下の短周期変動成分が含まれており、長周期成分は、主に風と潮流によって船が水平運動を行なうことによって生じ、短周期成分は、波によるブイの運動によって生じることが判明した。さらに、風速が大きくなると、係船索張力においては、長周期変動成分が支配的になり、この長周期の張力変動は風圧力および流圧力の係数を適切に設定することによって数値計算で推定できることがわかった。現地観測期間中は有義波高が最大で1.5mと比較的小さかったが、波高が大きくなれば張力変動成分に占める短周期変動の割合が大きくなり、長周期成分に対する検討だけでなく短周期変動成分も含めた検討が重要になると思われる。

そこで、本研究では、荒天時に波高が大きい場合を想定して、SALM型ブイにタンカーを避泊係留したときに作用する張力の変動特性を実験によって検討した。そして、波高と短周期および長周期の張力変動との関係を調べた。また、実際の海の波は多数の方向から来る波が重なり合っており、通常の造波機で起こされるような一方向波ではないので、サーペント型造波機³⁾によって多方向不規則波を起こし、一方向不規則波中における実験結果との比較を行なって多方向不規則波を用いた実験の必要性を検討した。

表-1 タンカーの諸元

DWT	30 000	5 000	3 000
Scale	1/40.3	1/50	1/41
L _{FP}	417cm(168.1m)	200cm(100.0m)	200cm(82.0m)
B	80cm(32.2m)	33cm(16.4m)	33cm(13.4m)
d	11cm(4.4m)	5.4cm(2.7m)	5.4cm(2.2m)

表-2 ブイの諸元

Type	A	B
Diameter	3.0m	6.4m
Height	9.7m	8.1m
Draft	7.7m	6.7m
Weight	25.5t	63.5t
Pre-Tension	37.3tf	155.4tf

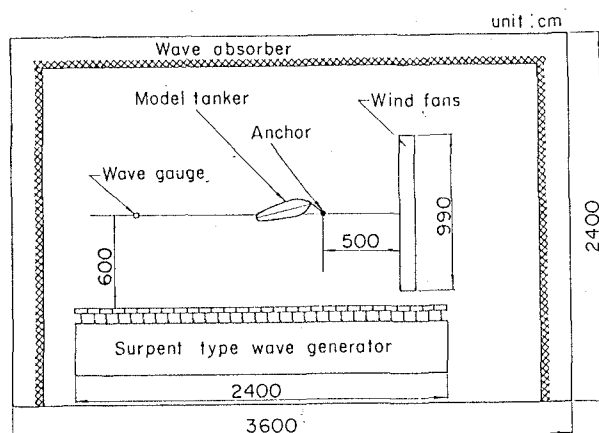


図-1 水槽平面図

2. 実験条件

(1) 実験装置

実験は当所の大水海洋構造物実験棟内の中型平面水槽で行なった。図-1に水槽平面図および実験装置の配置を示す。水槽の側壁に沿ってサーベント型造波機が設置されており、この造波機は造波板幅80cmのピストンタイプの造波機30台からなっている。各造波機にそれぞれ独立の造波信号が入力できるようになっているので、各造波機の入力信号を調整することによって多方向不規則波を発生させることができる。送風機は、径1mのファンを9台並べたもので、ファンの回転数の制御で風速を変えることができる。

(2) 船およびブイの模型と係船索の伸び特性

模型船は主に30000 DWTクラスのタンカー模型を使用した。5000 DWTおよび3000 DWTクラスのタンカー模型を使った実験も行なった。実験では、タンカーは空載状態にあるものとした。表-1に模型縮尺および模型の主要諸元を示す。表-1の中で、 L_{PP} は船長、 B は船幅、 d は喫水であり、()の数値は現地換算値である。

SALM型ブイの模型は、直径7.5cmで高さ24cmおよび直径16cm高さ20cmの円筒型ブイで、水中単位重量134gf/mのチェーンで水底のアンカーに係留した。表-2に、縮尺を1/40.3として現地換算値で示したブイの諸元を示す。タイプAは細長く、初期張力を比較的小さくしたブイで、タイプBはタイプAより径が大きく、それだけ係留チェーンの初期張力を強くしたブイである。ブイとチェーンの間には超小型張力計をつけて係留チェーン張力を測定した。

タンカーをSALM型ブイに係留する係船索は、伸び率が極めて小さい釣り糸で製作した。しかし、現地においては係船索としてナイロンロープが使われることが多く、このロープの伸び特性と相似させるために、実験ではバネ定数の異なる3本のコイルバネを釣り糸と直列につないで用いた。図-2は、実験で用いた模型係船索の伸びを現地換算値で示した図である。バネの種類が一種類しかないために、模型の縮尺によって係船索の伸びは変化しており、30000 DWTと3000 DWTの模型船を対象とした実験ケースでは伸びがほぼ等しくなるが、5000 DWTの模型船を使ったケースでは、係船索の伸びは他ケースに比べると小さくなった。なお、バネの精度が若干悪く、模型係船索の伸び特性は、対応するナイロンロープよりも若干伸び易いものとなった。実験では、係船索長は30mおよび60mの2ケースとし、釣り糸とバネとの間に超小型張力計をつけて係船索張力を測定した。

(3) 実験に用いた波と風の特性

予備実験として、模型を設置した実験領域の風速の分布特性を調べるために、熱線式風速計を用いて風場の測定を行なった。測定点は15点で、各点で水面から10cmおよび15cmの高さの風速を測定した。その結果、模型船の動揺範囲では、送風機からの距離によって風速が変化することはなく、水面からの高さ方向に関しても、最大で20%程度しか風速は変化していなかった。実験では、アンカーの地点から3m離れた模型船の設置位置における平均風速が所定の風速となるように、ファンの回転数をあらかじめ設定しておいた。

実験波としては、一方向不規則波および多方向不規則波を用いた。単一方向不規則波としては、Bretschneider-光易型の周波数スペクトルを持つ波を用い、多方向不規則波としては、光易型方向関数およびBretschneider-光易型の周波数スペクトルを持つ波を用いた。

模型を設置する前に通過波の測定を行ったところ、一方向不規則波については、実験波のスペクトルは、ほぼ目標とするスペクトルに一致した。多方向不規則波については、造波板の中央部から6m離れた地点で正三角形の3点および中心点に波高計を設置したアレイを使って波高を同時測定し、磯部⁴⁾が示したMLM法を用いて解析した。図-3に、4点アレイで測定した解析結果を示す。図-3は、周波数スペクトルのピーク周波数における方向関数を示している。図中の方向角 θ は、造波板の法線方向を 0° として示されており、 B は4点アレイの中心点と三角形の頂点との距離である。 L_0 は有義波高および有義波周期から求めた代表波長である。図の一点鎖線は、方向集中度パラメータ S_{max} を10、6、および5としたときの理論値を示す。造波信号のシミュレーション

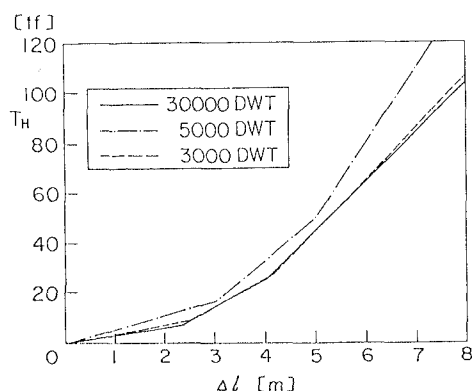


図-2 係船索の伸び

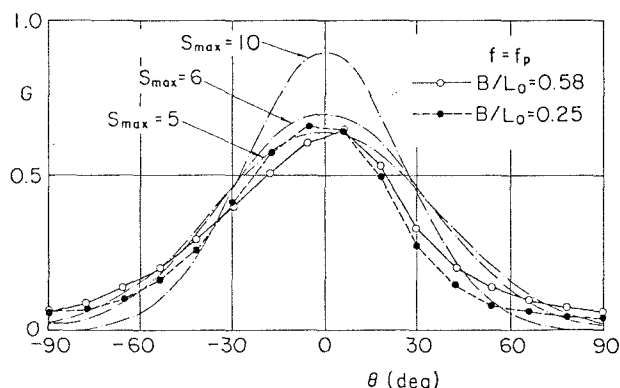


図-3 実験波の方向関数

ンでは、 $S_{max}=10$ の多方向不規則波を起こすようにしたけれども、実験から得られた多方向不規則波はこれより分散性が強く、 $S_{max}=5\sim6$ 程度になることがわかった。これは、造波板および消波工等による反射の影響を受けることと、造波板が有限であり回折の影響を受けること、さらには解析方法の精度が原因となっていると推測される。

模型実験の風と波の条件は、荒天時を想定して、風速15~40m/s、有義波高1.5~5mとし、風と波の相対角は90°とした。実験は主に、一方向不規則波を用いて行っており、以下で特に記述のあるケースについての多方向不規則波を用いた。

実験においては、避泊域の水深としては17.3mを想定し、タンカーが風と波の作用を受けて水平運動をすることによって係船索および係留チェーンに初期張力以上の張力が作用した後、現地換算地で約22分間計測を行なった。また、タンカーからの反射波等の影響を受けている位置に波高計を設置して、実験時の波の諸元を求めるようにした。

3．係留チェーンおよび係船索張力の変動特性

(1) 張力変動の一般的特性

図-4は、水位 η 、係船索張力 T_H 、係留チェーン張力 T_C の測定結果の一例である。上から2段目が係船索張力 T_H 、4段目が係留チェーン張力 T_C 、最下段が水位 η のそれぞれの時系列変化を示している。ただし、 T_C には、初期張力も含まれた値である。図に示されるように、張力の変動には、周期2~3分の長周期の変動と、波の周期と同程度の短周期の変動が重なり合っていることがわかる。短周期変動は波の周期とほぼ同程度であり、短周期変動は主として波によって起こされていると推測される。そこで、30秒間のデータの移動平均を2回行なって短周期の変動成分を除去した。図-4の1段目、3段目は、移動平均の結果で、それぞれ係船索張力の長周期変動成分 $\overline{T}_H$ と、係留チェーン張力の長周期変動成分 $\overline{T}_C$ を示す。 $\overline{T}_H$ と $\overline{T}_C$ を比較すると、変動特性はほぼ一致しており、 $\overline{T}_C$ が大きくなると $\overline{T}_H$ も大きくなる。また、 $\overline{T}_C$ には37tfの初期張力が含まれているので、初期張力成分を除くと $\overline{T}_C$ と $\overline{T}_H$ の値はほぼ等しい。

T_C および T_H の短周期変動の振幅は、長周期変動張力が大きくなると増大する傾向にある。これは、係船索および係留チェーンに小さな張力しか作用していない場合には、係留系の伸び特性曲線の傾きがゆるやかであり、波によってブイが運動しても張力は大きく変動しないが、大きな張力が作用している状態では、伸び特性曲線の傾斜がきつくなるため、係船索の伸びが少し変化すると、張力が大きく変動するためである。

このように張力変動には長周期変動と短周期変動が重なり合っているため、以下においては、最大係船索張力および最大係留チェーン張力をそれぞれ T_{Hmax} 、 T_{Cmax} として整理するとともに、長周期変動張力の最大値を $\overline{T}_{Hmax}$ および $\overline{T}_{Cmax}$ として示した。

(2) ブイタイプおよび係船索長による張力の変化

図-5は、ブイタイプの変化による最大張力の変化を示した図である。横軸に初期アンカーチェーン張力 T_0 を、縦軸に初期張力をひいた最大係留チェーン張力と最大係船索張力を示した。有義波高 $H_{1/3}=2.9m$ 、風速 $V=35m/s$ および $H_{1/3}=4.2m$ 、 $V=25m/s$ の2ケースについて、ブイタイプAおよびBの場合の最大張力を比較すると、長周期変動張力の最大値は、 $H_{1/3}=2.9m$ のときタイプAで $\overline{T}_{Hmax}=73.8tf$ 、 $\overline{T}_{Cmax}=81.7tf$ 、タイプBで $\overline{T}_{Hmax}=88.0tf$ 、 $\overline{T}_{Cmax}=106.7tf$ と、係船索張力は14%、係留チェーン張力は29%増加している。しかし、最大張力を比較すると、 T_{Hmax} は143.0tfから138.0tfへ減少している。 $H_{1/3}=4.2m$ のときは、タイプBのブイの場合には、タイプAのブイに比べて $\overline{T}_{Hmax}$ が7%、 $\overline{T}_{Cmax}$ が10%程度増加している。また、 T_{Cmax} は25%、 T_{Hmax} は7%増加している。したがって、SALM型ブイの径を太くし、初期張力の大きなブイを用いた場合には、初期張力が小さい細長いブイに比べて、作用張力はわずかに増大している。このことは、SALM型ブイを用いた係留システムでは、ブイ径を大きくし初期張力を変えても、係船索張力や係留チェーンを小さくすること

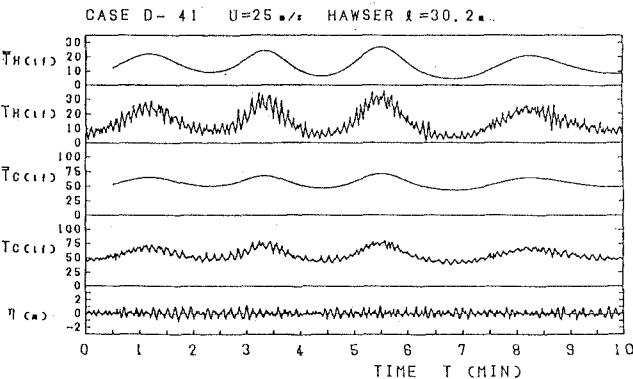


図-4 張力および水位の変動

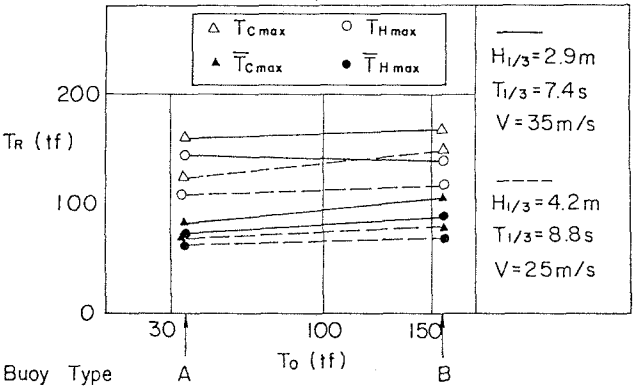


図-5 ブイタイプによる張力の変化

はできず、作用張力の大きさはほとんど変化しないことを示している。

図-6は、係船索長を変化させたときの最大張力の変化を調べた図である。ただし、係留チェーン張力は初期張力を含んだ値で示している。図-6に示されるように係船索長 l は30.2mから60.4mと2倍に変化させたが長周期変動張力の最大値 $\bar{T}_{Hmax}$ および $\bar{T}_{Cmax}$ はほとんど変化しない。一方、最大値 T_{Cmax} 、 T_{Hmax} は係船索長を長くすると減少する傾向にある。著者らの数値計算⁵⁾によれば、長周期変動張力も係船索長が増加すると減少する結論を得ている。本実験で長周期変動張力が係船索長によって変化しなかった原因としては、同一のバネを用いたため係船索長が変化してもバネの伸びが同一であり、係船索長が長くなれば、係船索長に比してそれだけ堅いバネを用いたことになることが考えられる。ブイ避泊においては、係船索長を長くすると最大張力が小さくなるので、SALM型ブイシステムの係船索としては長くするのが良い。ただし、長い係船索を用いると船舶の振り周り運動領域が広くなり、その結果、避泊水域を広くとる必要が生じる。そのため、最大張力が許容範囲にある限りは短い係船索を用いるのがよい。

(3) 風速および波高による張力の変化

図-7は、一方向不規則波の波高、ブイ形状、係船索長を一定として風速 V を変化させたときの、最大張力の変化を示した図で、横軸に風速 V 、縦軸に最大張力をとっている。ただし係留チェーン張力は初期張力を含んだ値である。図-7において $\times$ および $\times$ 印は、波のない風だけの場合の T_{Hmax} および T_{Cmax} を示す。波がない場合には、短周期変動張力が非常に小さく、最大値 T_{Cmax} 、 T_{Hmax} は $\bar{T}_{Cmax}$ 、 $\bar{T}_{Hmax}$ にほぼ等しかった。図-7でわかるように、長周期変動張力の最大値は波が作用すると波のない場合に比べて増加しており、長周期変動張力には、風によって起こされる成分の他に、波による漂流力によって起こされる成分も含まれていることがわかる。係船索張力について、波高 $H=0$ の場合の最大張力 T_{Hmax0} の長周期変動張力の最大値 $\bar{T}_{Hmax}$ に対する比 $T_{Hmax0}/\bar{T}_{Hmax}$ をとってみると、 $V=15\text{m/s}$ の場合0.27、 $V=25\text{m/s}$ の場合0.55、 $V=35\text{m/s}$ の場合0.76となり、風速が大きくなるに従って、風によって起こされる長周期変動張力の割合が大きくなる。図-7のグラフの傾きが $V>35\text{m/s}$ の範囲でも変化しないものとすれば、 $V=40\text{m/s}$ のときには、長周期変動張力の、90%が風によって起こされるものと推測される。 $\bar{T}_{Hmax}/T_{Hmax}$ を調べると、 $V=15\text{m/s}$ のとき0.63、 $V=35\text{m/s}$ で0.83となり、風速が増加するに従って長周期変動成分の張力変動に占める割合はほぼ増加する。また長周期変動張力 $\bar{T}_{Cmax}$ 、 $\bar{T}_{Hmax}$ は風速とともに増大するが最大張力 T_{Cmax} 、 T_{Hmax} は $V>25\text{m/s}$ 以上では、長周期変動張力ほどには、風速によって増大することはない。

以上のことから、有義波高が同一の場合には、風速が小さいときは風によって起こされる長周期変動張力の張力の値に占める割合は小さいが、その割合は風速が増加するにつれて増加することがわかる。

図-8は風速を25m/sで一定とし、一方向不規則波の波高を変化させて最大張力の変化を調べた図である。図において $H_{1/3}=0$ は波を作用させずに風だけを作用させた場合を示す。図-8で示された範囲では、 $H_{1/3}$ が増加すると最大張力はいずれも増加する。 $H_{1/3}=0$ のときの最大張力 T_{Hmax0} を風によって起こされる張力変動成分と考えると、最大張力の値から $H_{1/3}=0$ における値 T_{Hmax0} をひいた張力の値 $(\bar{T}_{Hmax}-T_{Hmax0})$ は、波の漂流力によって生じる長周期変動成分を示すことになる。 $(\bar{T}_{Hmax}-T_{Hmax0})$ の値は、 $H_{1/3}=1.5\text{m}$ のとき14tf、 $H_{1/3}=2.9\text{m}$ のとき30tf、 $H_{1/3}=4.3\text{m}$ で50tfとなり波高にほぼ比例して増加することがわかる。 $(\bar{T}_{Hmax}-T_{Hmax0})$ の値も、それぞれ32tf、69tf、92tfとなり、波高に比例して増加している。 $T_{Hmax0}=16\text{tf}$ であるから、風によって起こされる張力の割合は、 $H_{1/3}=1.5\text{m}$ のとき33%、 $H_{1/3}=2.9\text{m}$ のとき19%、 $H_{1/3}=4.3\text{m}$ のとき15%となり波高が増大するにつれて小さくなる。波の漂流力によって起こされる長周期変動張力と短周期変動成分を比較するために、 $(\bar{T}_{Hmax}-T_{Hmax0})/(T_{Hmax}-T_{Hmax0})$ を求めると、 $H_{1/3}=1.5\text{m}$ のとき0.44、 $H_{1/3}=2.9\text{m}$ のとき

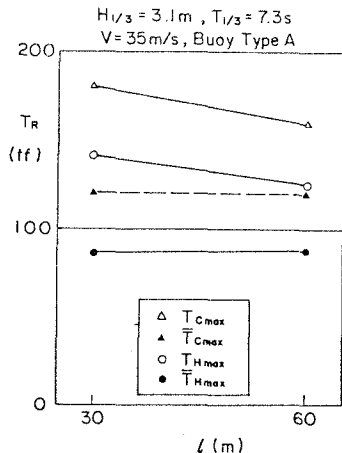


図-6 係船索長による張力の変化

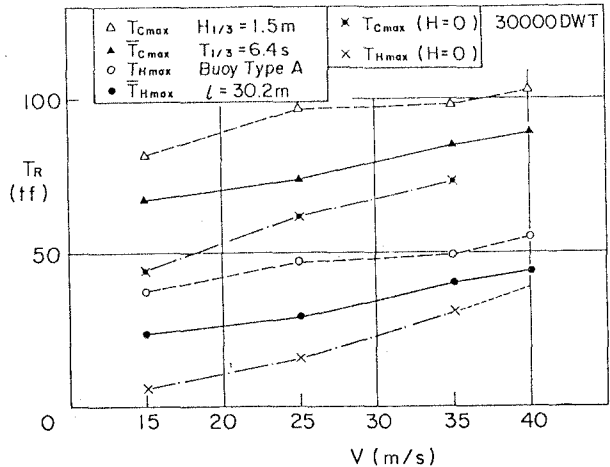


図-7 風速による張力の変化

0.43、 $H_{1/3}=4.3\text{m}$ のとき0.54となりほぼ一定している。

以上のことから、風速が一定の場合、波高が増大すると張力は大きくなり、風による長周期変動張力の割合は風速と波高との関係で変化すること、波による長周期変動張力と最大張力との比はほぼ一定で0.5程度であることがわかった。

(4) 入射波の特性およびタンカー長による張力の変化

図-9は、一方向不規則波と多方向不規則波を作用させたときの最大張力の変化を示した図である。図-9の横軸の S_{max} は方向集中度パラメータを示し、 $S_{max}=\infty$ が一方向不規則波、 $S_{max}=10$ が多方向不規則波の場合であることを示す。 $H_{1/3}=2.6\text{m}$ 、 $V=35\text{m/s}$ および $H_{1/3}=1.9\text{m}$ 、 $V=25\text{m/s}$ の2条件について最大張力を比較すると、多方向不規則波を作用させた場合の最大張力は、一方向不規則波の場合より小さくなる。たとえば、 $H_{1/3}=2.6\text{m}$ のとき、 T_{Hmax} は一方向不規則波を作用させた場合75tfであったが、多方向不規則波を作用させると57tfになり、 T_{Hmax} は144tfから85tfに減少した。このことから、長周期変動張力は、多方向不規則波の場合でも一方向不規則波の場合と比べてそれほど大きくは減少しないが、最大張力は、一方向不規則波の場合の60%程度に減少することがわかる。

実際の海の波は多方向不規則波であるから、一方向不規則波を作用させて得た実験結果は作用張力を実際より大きく見積もることになる。従来、係留システムの設計条件を求めるための模型実験では一方向不規則波が用いられてきているが、一方向不規則波を用いた実験結果から導かれた設計荷重は、危険側ではないが、過大設計となる可能性がある。以上のことから、実際の海における作用張力をよりの確に算定し、適切な設計荷重を得るためには多方向不規則波を用いた模型実験が必要と思われる。

次に、3海象条件について、係留タンカーを30000DWT、5000DWT、3000DWTと変化させた場合の最大係船索張力 T_{Hmax} の変化を調べた。図-10は、横軸に各タンカーの船長をとり縦軸に T_{Hmax} を示し、タンカーの大きさが係船索張力におよぼす影響を示した図である。3000DWTタンカーの場合には、 $H_{1/3}=2.9\text{m}$ 、 3.8m および 5.7m のとき T_{Hmax} はそれぞれ24tf、36tfおよび49tfとなり、その差は10tf程度である。30000DWTタンカーの場合には、それぞれ85tf、170tfおよび285tfとなり、その差は100tf程度になる。すなわち、いずれの海象条件においても、タンカーが大きくなると作用張力が増加し、海象条件の変化に対する張力の変動量も大きくなる。したがって、SALM型ブイ避泊システムの設計にあたっては、避泊対象船舶のうち最も重量トンの大きい船舶を対象とした模型実験を実施し、設計荷重を求める必要がある。

3. 短周期変動張力の分布特性

2.で述べたように、係留チェーンおよび係船索張力は、数分の長周期変動および波周期とほぼ等しい短周期変動から成っている。長周期変動は風による船体の振れ回りや波漂流力による船体の長周期動揺に伴う張力変動で、風による船体運動および係船索張力については、既に述べたように数値計算によってある程度推定できることがわかっている。また、波による長周期変動張力は、2.(3)で述べたように、波高が一定なら風速が大きくなるほど、長周期変動張力の中に占める割合が減少し、短周期変動張力も含めた最大値の0.5倍程度の値である。このように、波による長周期変動張力は、短周期変動張力と密接に関係しているため、ここでは、短周期変動張力の分布特性について調べた。

張力の時系列に移動平均を施して、時系列値から移動平均値を差し引くことによって長周期成分を取り除き、残った短周期成分に関して張力の極大値分布を調べた。ただし、短周期張力には、さらに短い変動成分が加わっているため、そのままの状態では極大値を求めると、非常に数多くの極大値が現れるので、波とほぼ同じ周期の間における最大の極大値を用いて張力の分布を調べた。解析は、図-8に示した3ケースについて行ない、超過確率の平均値で張力の分布を示した。

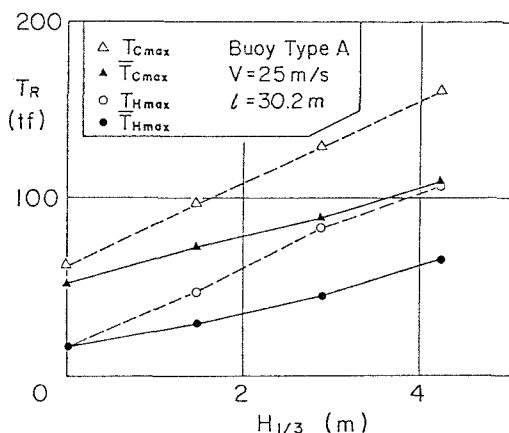


図-8 波高による張力の変化

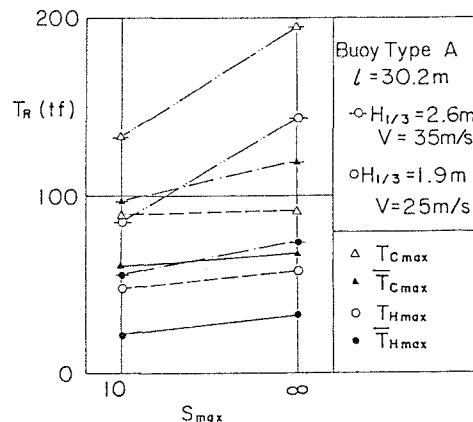


図-9 入射波の特性による張力の変化

図-11は、解析した3ケースの平均超過確率の分布を示しており、図中には、波高の超過確率分布も示している。図の横軸は張力あるいは波高を平均値で無次元化した値を示している。図-11において、波高分布はレーリー分布と非常に良く一致している。しかし、係留チェーンや係船索張力の分布は、レーリー分布から大きくずれ、張力が增大しても超過確率は緩やかにしか下がらない。特に、平均張力の2倍以上の張力の超過確率はレーリー分布から推定されるものより非常に高い。例えば、超過確率0.05、つまり20波に1回現れる程度の波高は平均波高の2倍程度であるのに対して、張力の場合は平均張力の3倍になっている。短周期変動成分が波高に比例する場合には、張力は波高と同様にレーリー分布に従うはずであるが、図-11に示されるように、張力の分布はレーリー分布から大きくずれ、大きな張力の出現確率が高い。つまり、張力は波高の2乗あるいは3乗に比例するような非線形関係にあると思われる。そのため、短周期変動成分の最大値を、波に関してレーリー分布から求まるような最高波高と平均波高の比をそのまま用いて推定したのでは、過小評価することになる。

4. あとがき

本研究では、荒天時で波高が大きいときに、SALM型ブイに避泊係留されたタンカーの係船索およびブイ係留チェーンに作用する張力を模型実験によって検討した。得られた主な結果をまとめると次のようになる。

- 1) 係船索および係留チェーンの張力はブイ径を大きくして、係留チェーンの初期張力を大きくしても、ほとんど変化しない。また、係船索長を長くすると、最大張力は減少する傾向にある。
- 2) 張力変動には長周期および短周期の変動成分が重なり合っており、長周期変動張力は風および波の漂流力によって生じ、短周期変動張力は主に波によって起こされる。
- 3) 波高が一定の場合、風速が増大すると、風による長周期変動張力成分の割合が増大する。また、風速が一定の場合、波高が増大すると、張力は波高に比例して増大し、波による長周期張力成分は最大張力の約半分になる。
- 4) 同一波高の一方向波と多方向波を作用させた場合を比較すると、多方向波を作用させた方が最大張力は小さくなるので、一方向波を用いた実験の結果から設計荷重を算定すると過大設計となる可能性があり、多方向不規則波を用いた実験を行なう必要がある。
- 5) 入射波の超過確率分布はレーリー分布とよく一致するのに対して、短周期変動張力の超過確率はレーリー分布からずれ、大きな張力の出現確率が高い。そのため、短周期変動成分の最大値を、波に関してレーリー分布から求まるような最高波高と平均波高の比をそのまま用いて推定したのでは、過小評価することになる。

(参考文献)

- 1) 鈴木康正・諸石一幸；ブイ係留船舶の荒天時の振れ回り運動、港湾技術研究所報告、Vol. 21, No. 2, pp. 107~150, 1982.
- 2) 高山知司 他；一点係留ブイの運動と係船索張力に関する現地観測、港湾技研資料、No. 542, 38p, 1985.
- 3) 高山知司・永井紀彦・合田良実；サーベント型造波装置の制御方式と造波特性、港湾技研資料、No. 509, 30p, 1984.
- 4) 磯部雅彦・近藤浩右；入・反射波の共存場における方向スペクトルの推定方法、第30回海岸工学講演会論文集, pp. 44~48, 1983.
- 5) 高山知司 他；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, 28p, 1984.

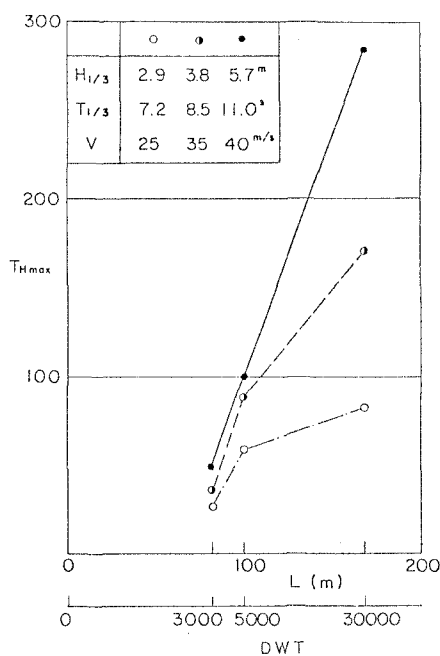


図-10 船の大きさによる張力の変化

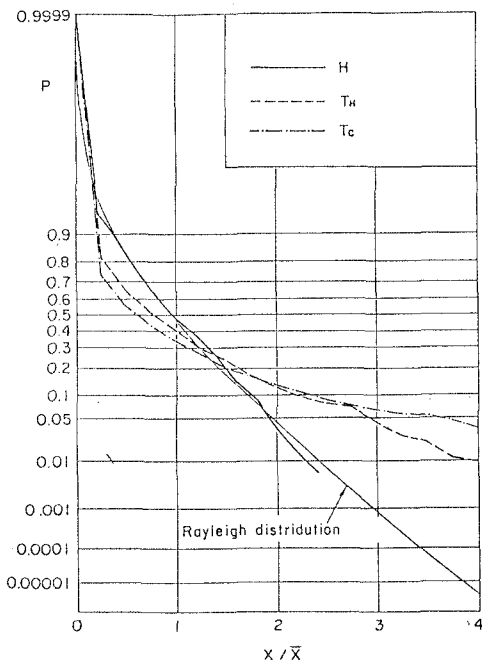


図-11 短周期変動成分の超過確率