

波浪中の船の横揺れに対する二、三の問題

(昭和37年10月13日漁船協会役員会に於て講演)

東京大学 元 良 誠 三

2年ばかりアメリカに行っておりましたので何か話しをするようにということでございますが、初めの1年半ほどはミシガン大学にありまして、かなり中央から離れており、問題といえば5大湖の鉱石船の問題とか、鉱石船の狭い水路の中での操縦性とか浅い湖での操縦性ということをやっております、余り御参考になるようなことはしなかつたのであります。

それからニューヨークの近くにありましてスチープンズ工科大学に移つて、半年ほどおりました。そこではアメリカの海軍あるいは管船局、そういつたところの委託研究をやっております、多少はアメリカでの全体の造船関係の研究の情勢といったものも知ることができたかと思ひます。しかし期間が短こうございまして、余り深く突つ込むこともできませんでした。今日は多少でも漁船に関係のあることをピックアップしてお話したいと思います。

アメリカの最近の研究の趨勢といったものをみますと、今こちらでもだんだん流行つてきております水中翼船、バウスラスター、そういうものを活発にやっております、特に水中翼船はマリタイムアドミニストレーションから発注がありまして、2万馬力の非常に高速の水中翼船が恰度できたばかりでございました。私がいつておりました時に造船協会の見学会がございまして、その時にそれが走るということで乗る予定になっておつたのですが、故障が多くて結局その時は乗る機会はございませんでした。

バウスラスター、これもかなりいろんな船につけられておりまして、5大湖の鉱石船はかなり付けられ、特に狭い水路では効力を発揮し、緩い速力で1ヶ所にいなければならないというものには有効であります。停つているとき、又はロースピードでドリフトを防ぐというような時には、船尾の舵だけでは効きませんで船首と両方に舵がなければならぬ。この点ではバウスラスターは有効のようでありまして、かなりいろいろの船に着けられ且つ、研究も進んでいるようでございます。

アンチ・ローリング・タンクは後ほど詳しくお話ししたいと思います、これはアメリカとして特殊な事情で最近ミサイルを力を入れてやつておりますが、そ

のミサイルの着弾の観測をしなければならない。そのためにマリナー・タイプの貨物船を観測船に改造したりしております。そうしますと着弾の観測には当然停つてなければならない。そしてレーダーとか何かを使ひますが停つてなければならないのでアンチ・ローリング・フィンを使えない。それで窮余の一策としてアンチ・ローリング・タンクが使われたのであります。

従来のU字管を使つたアンチ・ローリング・タンクを改良したオープンタイプのタンクを使つております。漁船の水槽なんかも設計次第によつてはかなり減揺効果を持たせる事ができるんじゃないのかと思ひますので後程詳しく申し上げたいと思ひます。

その他、私共から考えると多少ゲテ物と考えられるものもどんどん金を出してやつておられて、たとえば船尾の境界層を積極的にポンプで吸引して剝離を防ぐとか、あるいは船首から空気を吹き出して、その空気で船全体を包んでしまう。ホーバークラフトは違つたのですが、排水量型の船で空気で船全体を包んで摩擦抵抗を少なくするというような実験をやっております。

あるいはソーセージ型のバージといつておりますがプラスチックで長いソーセージ型のものを作つて、油なんかをバラ積みの形で積んで曳船で引つぱる。その場合は蛇行をして非常に不安定になります。実験と理論からどのくらいの長さ、どのくらいの太さまでは大丈夫かというようなことも、かなり真剣に石油会社等が金を出してやつているようであります。

設計方面では御存知のようにアメリカは人件費が高いので、人件費を減らすために衛星船団というようなことも考えているようであります。親船が1つある。そのまわりに小さい、といつても航洋船でございますが取囲んでいて、親船から有線又は無線で無人の船を操縦して、操縦者は親船にしか乗つていない。そうすると親船には普通の船の2倍とか3倍の人がいるわけですが、こちらの方は殆んど無人かあるいは精々保安要員だけで、あとはオートマチック・コントロールで親船が連れてゆく。港に近くなつたら解散して、港からタグボートがきて曳いてゆく。そういうことも考えてどのくらいのサイズが適するかというようなこともかなり真剣に研究しているようであります。

その他、セミ・サブマージドと申しますか殆んど船体は水の下にあつて極く細いストラットが出ているタイプの船も考えています。このタイプの船は水面を切る部分が小さいために波の影響は殆んどない。浮力の大部分は水面下に沈んだ部分が持ち、あとは潜水鑑と同様のコントロールで処理しています。あるいはもう少し浮き上がった普通の船に近いけれども、セクションからいつたら多少水面の所がくびれているもの、というようなものも研究されております。

こういう細かいものを一々お話しておりますときりがございまして、今日は多少トピックスをとり上げてまして、最初に申し上げましたアンチ・ローリング・タンクの話をお願いします。私、スチーブンスに参りました時、恰度海洋観測船に付けるアンチ・ローリング・タンクの実験をやつておりまして、私は丁度専門家だということでそれを任された訳でございまして、帰るまでに一応の結果を出してきたわけでございます。

従来からアンチ・ローリング・タンク、あるいは減揺水槽というものはございまして、その中でも有名なフレームの安定水槽というのは、U字管型でございます。これを船の中に置くと、船が傾いた時にもともとならばタンク水面が水線面と平行になるわけですがU字管の大きさを適当にすると、船が傾いた時に、タンクの水が逆に傾く様になることが出来ます。従つて船の横揺れをとめようとする方向にモーメントが働くというわけでありまして。

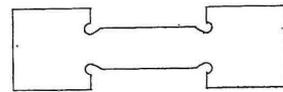
この場合はU字管の底の部分にバルブを付けてましてバルブで開けたてで、周期を調節します。たとえば、閉めてしまえば水は動かない、バルブを開けておくと多少周期が変る、それから位相が船の横揺れと逆にならなければならないのですが、その位相をバルブで調節するというのがこのU字管タイプの減揺水槽の原理だったのであります。

その後これが改良されまして、開放型と申しまして舷側に2つのタンクがあつて、この2つは外海に通じていてU字管の代りに外海を使つていようなタイプが考案されました。これは上はふさがつていますが、連結した空気にバルブを付けるというようなタイプも出来ておりまして、事実こういうタイプのものは幾つかの船に付けられて、かなりの効力を発揮したのでありますがこういうタイプの欠点の1つは周期を変えますのにバルブだけしか方法がない。

ここで最初に設計してこの大きさ、管の太さ等をきめてしましますと、周期は殆んど一定でありまして、あとバルブの開けたてで多少は変るがそう大きくは変

えられない。ところが船の種類によりましては積荷によりまして、周期がかなり大幅に変化したします。こういうタイプでは周期の調節が不十分であります。もう1つはこの空気バルブがヒュー・ヒューいつてうるさい。アメリカのペンサコラという船に付けられた例では、たまたま居住区のそばにバルブがあつて船員が夜寝られないので、折角作つたのにふさいだという例もございまして。それでだんだん型が變つてまいりまして、最近付けられるものはただの箱でありまして、ツインデッキになるべく幅の広い方がいいので船中いつばいに作つて、水を溜め第1図の様に、中央が少し

第1図



狭くしてあつて、ダクトと称しおりますがダクトを作つて、この水の流通を多少妨げるためにノズルを付ける、あるいはそこへコントローラブルなハネを付けて平行にしたり曲げたり、というようなことをやつて、周期を加減しております。

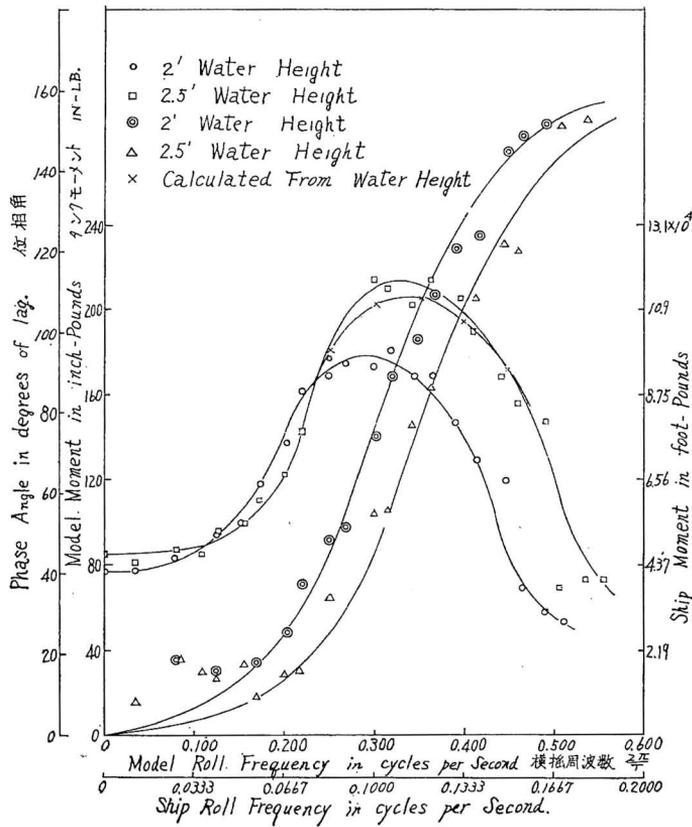
それから或る船は、ここへ丸い柱を何本か立てて、その柱にフィンを付けております。こういう部分が近接しているので水の流れを妨げる。何れにせよこの部分が、U字管の部分に相当しているのですが、このタイプの利点は、タンクの周期を水量を变化することによつて、容易に変えられるということでありまして。

船の載荷状態が違つて周期が變つてきた場合は、タンクの水を増減すればよろしいわけで、又若し設計が多少不適當の場合はタンクの水で調整できるという利点がございまして、最近造られる船は大体こういうタイプでございます。

一例として第2図にこの種のタンクの実験結果がございましてベースラインは周波数でありまして、 2π を周期で割つたもの、従つて周波数の数が多いほど早くゆれ、少いほどゆつくりゆれるわけでありまして。図には2つのカーブがプロットしてありますが、1つは揺れた時のモーメントでありまして、船が右舷に揺れる時にタンクのモーメントが同じ側に加つた時をプラスした図であります。

とに角このタンクの動きは、はじめゆつくりゆらしてやりますと、スタティカルに水が傾いて、水面は平ですからそのモーメントが周波数零の所にでるのであります。

第 2 図



それからタンクをだんだんと早く動かすとだんだんとモーメントが増えて或る周波数で一番タンクのモーメントが大きくなる。つまりこの場合にはタンクの水は水平面に対して、大きく傾斜側に動くわけであり、そういたしましてまた程度以上早く揺らしてゆくと、次にはタンクのモーメントが減つて最後にはモーメント零になつてしまう。

それがこの図でありまして、2通りあるのは1つは水の量が2フィートの場合、もう1つは2.5フィートの場合で、タンクが傾いた場合のモーメントは表面の水が一方から他方に移動するだけです。水が深かろうと浅かろうと関係がないわけですが、実際は揺らしてみますと水量の多い方がモーメントが大きくなります。

もう1つ、こういう斜めのカーブがございまして、位相差でありまして、船と一緒に傾くのが位相差180度、船の反対側に傾く場合を位相差0度としております。

最初に傾けますと船が傾いてもタンクの水は水平で

すから水は船の反対側に傾く。ですから位相差は零でありまして、それからだんだん位相差が出てきて位相差が90度というのがいわば同調でありまして、これがタンクの水の自己周期であります。それより更に揺らしてまいりますと水は船と同じ側へ傾くという恰好になつてまいります。

それで一体タンクの水の位相差をどういふふうに制御したらいいかということを考えますと、図に位相の曲線が2つ出ておりまして、2重丸でプロットしてあるのは2フィート、3角でプロットしてあるのは2.5フィートの時であります。

水量を変えると、位相差が90度になる周波数が変化します。即ち水量の大きい時は、タンクの水は早くゆれるわけでありまして、従つて船が計画より早くゆれる場合はタンクの水を増やす、計画より遅くゆれる場合はタンクの水を減らしてやればいいということになります。

それではこのピークがどこにあり、位相差がどういふふうになつていけば一番効果があるかということ

式で考えてみますと、横揺れの式は第1式の様にモー

$$\text{第1式} \quad I \frac{d^2\theta}{dt^2} + K \frac{d\theta}{dt} + W \cdot G.M. \cdot \theta = M$$

メント・オブ・イナーシャに角加速度プラス減衰係数かける角速度、即ち揺れるスピードに平行した抵抗、それから復元力、これが波の強制モーメント釣合うという恰好になっているわけでありす。

それで今、船の横ゆれ角度は $\cos \omega t$ 即ち時間的にはコサイン・カーブで変化していると考えますと、角度がコサインですから、角速度は微分しますので、サイン、角加速度はもう1回微分するので、マイナス・コサインになります。

今ここにタンクのモーメントがあるとしますと、これは時間的に変つていくわけす。これをどの項に入るようにやつたら、効きがいいかというわけでありす。若しこれがコサインの位相を持つているとすると角加速度か復元力の項に入るわけす。ということは角加速度の項に入りますと船のイナーシャが増える、あるいは減つたということで周期が変るわけす。しかし周期が変つてゆつくりゆれるということは望ましいのでありますが、周期を変えても意味がないので、振幅を減らさなければならぬ。

若しタンクのモーメントの中にサインの項があれば減衰項に入つて減衰が変るといふ結果になります。デザインが悪いとかえつて揺れが増えますが、或るデザインをして傾きが減るようにすれば船の揺れにくくなるというわけでありす。

先ほどの位相差の曲線で恰度90度の位相差の所を考えますと、ここではタンクの水と船の横揺れが90度の位相差を持つてい。従つて、この時仮りにモーメントがあるとしますと、この時のモーメントは全部船の抵抗を増やしている恰好になっているということがいわれるわけす。

いいかえれば位相差の角度を ϵ としますと、このモーメントの曲線に $\sin \epsilon$ のかけたものがこの抵抗になるというわけでありす。このモーメントに $\sin \epsilon$ をかけた値を成るべく大きくしてやる、しかも船の同調とこのへんで一番山が大きくなるようにしてやれば船は、横揺れをしなくなるということが言えるわけでありまして、従つてタンクのモーメントを作つてやりまして位相差とタンクのモーメントを計り、あるいは水位を計つてやりまして、その水の動きに位相差のサインをかけたものが、恰度船の横揺れの周期のところでも一番大きくなるようにしてやる、そういうふう

クを設計すればよろしいわけでありす。

それにはどうしたらいいかという、この $\sin \epsilon$ の曲線は恰度位相差が90度になつた時に大きくなる。位相差が90度というのはタンクの自己周期で、揺れた時に位相差が90度になるわけすから、従つてタンクの水の周期は、船の横揺れ周期に近いほどいいということが言えるのでありす。

実際は船の自己周期よりやや短いところにタンクの周期をもつてきた方が効きがいいようでありす。

何れにせよこういう作用によりましてタンクが船の横揺れを減少させるわけでありす。それではどれくらい効くかと申しますと先ほどいいましたように、大体タンクの幅は船の幅全体を使うくらいの広さにしないと、周期が船の周期と同じになりません。そういう場合に一体どのくらいの水量を使えばよろしいかと申しますと、大体船の排水量の1パーセントから最大3パーセントまでの水量が適当だと言われている。

そしてタンクのサイズはこんな水量を持つていればいくら幅は狭くてもいいかというそうでなくて、長さの方向にも限度がありまして、タンクの水が1度傾いた時のモーメントが、船が1度傾いたときに復元モーメント何パーセントくらいないと効かないというような標準がございまして、確か12%から最大40%の範囲にあつたと思ひますが、そのくらいのタンクのモーメントを持つように長さを決める必要があります。

その場合に、それではどのくらい船が揺れ難くなるかと申しますと、極く小角度即ち、波の小さい場合にはタンクの効きが比較的よろしい。と申しますのは波の傾斜が余り大きくない時は、船が余り大きく揺れません。その理由はここでは角速度の1乗に比例する抵抗が考えられておりますが、実際は抵抗は角速度の2乗・3乗の項がありまして、揺れれば揺れるほど抵抗は大きくなる。小角度の場合は船自体はダンピングが小さい。そこへタンクの効果が入つてまいりますので、その効果が非常に大きくなるわす。

ですから例えば2度とか3度くらいの波の傾斜の場合ですと、恐らく横揺れは3分の1あるいは4分の1くらいになります。

ところがだんだんと海が荒れてきて波が峻しくなりますと、船自体が揺れ難くなつてい。揺れ難くなる中でタンクは水がだんだんおどつてきまして、最後には天井へつかえてくるわけす。そうするとタンクの効きは大角度で悪くなつてゆきまして、従つて相対的な比は減つて参りまして、大体普通の嵐の中ですとタンクを付けました為

いに減るといのが、今迄いろんな船に付けられた結果から出ております。

仮りに、船の横揺れ角が半分が減つたとして、それではビルジキールに換算して、どのくらい違うかという大体横揺れ角はビルジキールの横揺れ抵抗係数の平方根に比例し船の横揺れ角度は第2式の様に表わされます。

$$\text{第3式} \quad \theta = \sqrt{\frac{\pi \gamma \theta \omega}{2N}}$$

Nはビルジキールの減衰係数でありまして、普通0.02というのがスタンダードの係数としてとられておりまして、運輸省の復元性基準でも0.02がとられておりますが、普通の長さをもち普通のプロポーシオンを持つたビルジキールですとこのくらいの値です。従つて横揺れ角度はダンピングの係数の平方根に逆比例しているわけです。

そこでこれを半分に減らすためにはどうしたらいいかというと、Nを4倍にしなければ半分にならない。従つてビルジキールとダンピング係数を4倍にしたくらいの効果があるということになります。

ダンピング係数は略々ビルジキールの幅に比例しております。そうすると普通のビルジキールの約4倍の深さのビルジキールを使つたことに相当する。また、ビルジキールのない船に比較すると非常に大きいビルジキールを付けたことに相当するわけです。

こういうタンクを付けました船を実際に揺らせてみまして、普通の横揺れ曲線をとつてみます。尚普通の所謂フリーローリングをやらせて記録をとりますとビルジキールを付けない船で、しかも丸いビルジを持つたものを考えますと、最初揺らしてはなすとなかなかダンブしない。20何回か揺れないとなかなか止らない。

従つて波の中で大きく揺れるわけですが、これにビルジキールを付けますと、10数回で船の横揺れがおさまる。非常にダンピングが、増えて参るわけでありませう。

アンチ・ローリングを付けました時の実験で私はこの時の周期を計るの必要がありまして、水を入れて揺らしましたが非常に効きまして、ちよつとゆれただけで横揺れがおさまりました。ピッチングをさせましてはなしませうと、2回くらいで揺れがとまる、この場合もそのくらい効きめがあるわけでありませう。

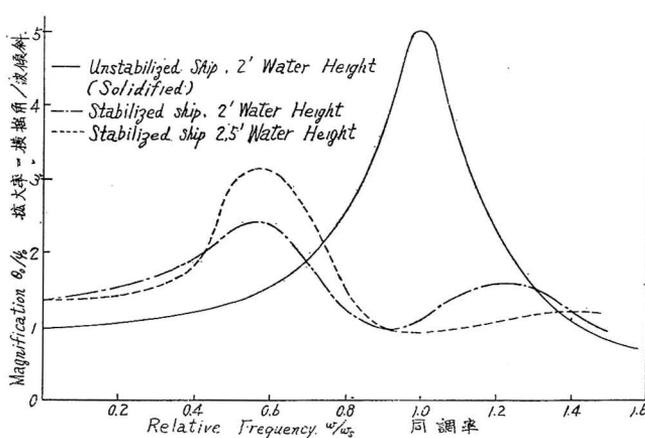
こういう船を波の中で揺らして、いろいろ周期の波を当てた時の横揺れの同調曲線をとつてみますと、無限に長い波がきた時は船は波のまにまに波と同じ角度で揺れるのであります。

従つて、縦軸に船の揺れる角度と波の傾斜角の比をとりますと無限に長い波では1になります。1から出発してだんだん波の周期を短くすると、この比はだんだんと増えてまいりまして、恰度船の周波数と波の周波数が合つた時に非常に大きく揺れる。それからだんだんとまた横揺れが減つて、うんと早い波の周期の中では船は殆んど揺れないというような結果が出てまいりますが、これにアンチ・ローリング・タンクを付けるとどうなるかと申しますと、もともと同調のところの山を下げるように、先ほど御説明いたしましたように同調の山を下げるように設計しましたわけですから、ここは確かに下がるわけです。

その結果、第3図にございますように、周波数の低いところで山が1度でき、それから下がつて、もう1度山ができて下がる。一般にこういうような傾向がございませう。

それで先ほどの説明を聞いて、或る周期の波のとこ

第 3 図



ろで却つてタンクの動きが船の揺れを助長するところが出てくるんじゃないかというふうに、疑問を持たれた方がいると思いますが確かにそれがあるわけでございます。

ところが船が普通最も大きく揺れる同調周波数のところでは山が下がるので問題ない。次に周期の長い所の山即ち第3図であります、ここで確かにタンクを付けない時よりも大きく揺れる。ところがここでは実は波の周期はかなり長い波の周期になつている。従つて普通の嵐でいろいろな周期の波に遭遇するわけですが、長い周期の波というのは頻度からいつて遭遇し難い。短い波が沢山あるわけです。

従つて長い波に遭遇する頻度は少い、その上に船はゆつくり揺れるわけですから、付けない時よりも多少揺れたとしても、乗り心地としてそう影響はない。従つて長周期側の山はあつてもよろしいが、短周期側の山は好ましくないというわけで、多少長周期側の山を高くして、短周期側はアンチ・ローリング・タンクを付けない時よりも増えないという程度の設計が望ましいということになるわけです。

事実ここにある曲線のうち、チェーン・ラインで示したものがタンク水量を2フィートにした場合、この船はほぼ理想の揺れ方をしており、略々理想のタンクの効果を示しているということになります。

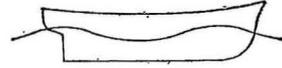
以上がアンチ・ローリング・タンクの最近發展されている傾向でございますが、先ほど申しましたように活魚槽などを仕切りを設けるというようなことで、漁船の場合にアンチ・ローリング・タンクとしていくらかの効果を期待することができるんじゃないかと考えております。若しビルジキールなどが操業の邪魔になつて嫌われるという場合は、普通のビルジキールくらの効果を持つたアンチ・ローリング・タンクを活魚槽を利用して作るということは可能なことじゃないかと思ひます。

あと余り目新しい話もございませんが、多少漁船の安定性等に関連したことといたしまして、縦波の中での船の不安定ということを少々申し上げたいと思ひます。

普通船の横揺れといひますと大体横から波がきて、その時に揺れることばかり考えているのであります、斜の波が船に当つた場合を考えますと、横波と又変つた現象がでてまいります。

斜めの波の場合船を横からみておると、第4図の様なウェーブ・プロファイルになります。そうすると水面の恰好が平水の時と変つてきます。平水の場合

第 4 図



に、スタビリティがいくらあつてGMがいくらあるということは、直線的な水面の時を考えているわけですが、この場合は水面が非常に變つてゐるわけです。

概ね漁船の場合は短いので、船の長さと同じ波長をもつた波に遭遇するという機会が非常に多いわけですから。そうすると波長線が船首と船尾にきて、真中にホローがきたという場合と、逆に真中に波の山がきた場合とでは、水線面の形が非常に變つて来て、従つて対応するGMも非常に變つて参ります。そしてこの変化は波の出会い周期と同じ周期を持つて居ります。

その上に斜波ですから、周期的に横揺れさそうとする力がかかつてきますので、GMが変化しつつ横揺れが起こるといふ現象が起きてきます。

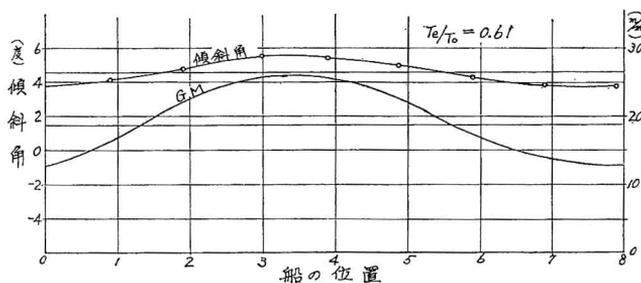
バネの強さは一定で、これにこういう周期的外力を加えたというのが普通の横波の中の横揺れですが、この場合はバネの力を周期的に強くしたり弱くしたりして、然も周期的外力を加えるという現象になるわけです。これはMITの Kerwin という教授とドイツの Grim という人が殆んど同時に取扱つておられて日本でも多少やられておりますが、こういう場合には運動方程式を書いてみますと、先ほどの慣性力の項と減衰係数かける角速度の項、減衰係数の項、それから、 $WGM \theta$ 、これが波の外力のモーメントに等しいといふわけですが、このGMが時間のファンクションだということになります。

どんな時間のファンクションかといひますと、先づ言えることは1波毎に変わるだろう、従つて波と同じ周期を持つた周期函数だということでありませう。割合にしてどのくらい変わるだろうかといふと、GMはもともと或る量があるわけでありまして、これが周期的に変るわけです。これがどのくらいの割合で変わるかといふことが大事な量でありまして、これがマイナスだということになると大きな問題になります。

1つの例として第5図に測定した例が示してあります。之は波長が1.53m、波高が5cmですから約1/30の波高を持つた波ですが、そういう波を持つた中で元々19cm位あつたGMが、約10cm位の幅でプラスになつたりマイナスになつたり変化しております。

この場合は、全体としてマイナスの部分が出ておませんが、仮りにこの現象が波の傾斜に比例すると考

第 5 図



えますと、1/30 の波でこれだけですから、たとえば 1/10 の波というのは非常にステープな波の中だとマイナスになることもあり得るわけです。

今迄計算されあるいは計られた例ではマイナスになった例はございませんが、もともと GM の半分以下に減り、或る時は増えるというような変化を、波の周期と同じ周期で繰返すということになります。そういう GM が時間的に変化しているところに外力が加わることになります。

そうすると横揺れの式は第 3 式の様になります。

$$\text{第 3 式 I} \frac{d^2\theta}{dt^2} + K \frac{d\theta}{dt} + W(GM_0 + \Delta GM \sin\omega t)\theta = M$$

これは Mathiew の方程式といわれる 1 つの非線型方程式でございます。この式はなかなか簡単には解けないのでありますが、こういう方程式の 1 つの特徴といたしまして、普通ならば波の周期が船自体の周期に

一致した時に一番揺れる、あるいは波の周期が船の周期の 2 倍の時にも揺れるというふうに、仮りに船の周期を T_s 、波の周期を T_w とすると、 T_w が T_s の整数倍の時に揺れる、これが横揺れの特徴であります。

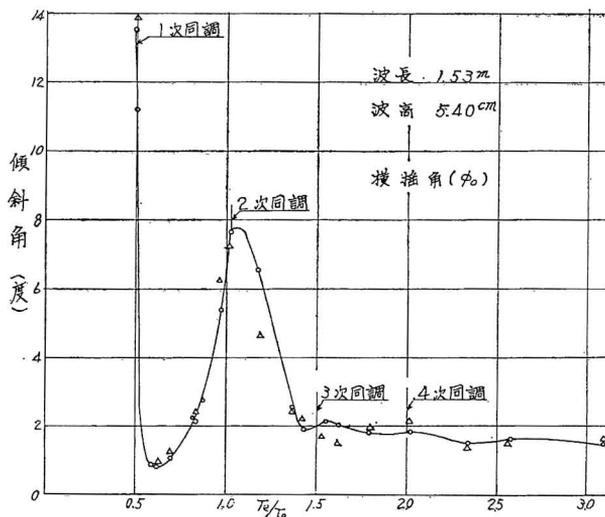
ところが第 3 式の様な場合には波の周期が船の周期が 1/2 の時に同調を起こすという特性がございます。

それから波の周期が船の周期に等しい時も揺れる。それから 3/2 の時にまた揺れるというふうに、小さきみに同調を起こすわけであります。

そうすると普通の横揺れならば所謂同調だけを考えればよいわけですが、斜め波の場合は普通の同調と、もう 1 つ船の周期の半分の周期のところで同調が起こるわけでそういう波というのは、非常に起こり易い。

こういう縦波と横波を同時に受ける、つまり斜波を受ける船の横揺れをいうのは、かなり危険な場合があり得るわけです。実験の結果が第 6 図に出ております

第 6 図



が、下に書いてあるのが波の周期と船の周期の比でございまして、 T_0 と書いてあるのが波と船の出会い周期でありまして T_0 は船自体の周期であります。

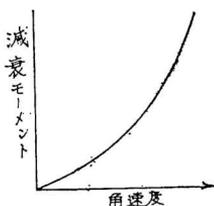
普通ならば1のところへ山が出て、それ以外は山が出ない筈のものが、この場合は0.5というところに非常に大きい山が1つ出ております。これは非常に不安定でございまして或る時は観測され、ある時は観測されなかつたりするわけですが、非常に大きな山です。

それから普通の同調、船の周期と波の周期が等しい時に2次同調として山が出来る。3次同調、4次同調は山らしいものは出ておりますが、余り問題にならない。結局問題になるのは1次同調でありまして、これが縦波の中を動いている船の横揺れの場合に、非常に警戒すべきことだということに、なるわけでございます。

これは非線型問題の1つでありまして、最近頃に採り上げられて来ている問題であります。線型の横揺れですと時間があつたらお話ししますが、不規則な波の中でどのくらい揺れるということが統計例でがなりの確に予想されるのでありますが、こういう非線型の問題の場合は別個にとり上げなければならない。統計例はあく迄も線型の横揺れを対象にしておりますので、こういう非常型量に基づく突発的横揺れ、あるいは大傾斜があり得るということを考えながら、統計例を使つてゆかなければならないということを御説明したわけでありまして。

もう1つは他の非線型の例としてやはりこの方程式を使わせていただきますと、ダンピングの項が或る1つのコンスタントかける船の横揺れの角速度として表わしてございます。所謂線型の表示をしておりますが実際はそうでないのであります。船は大きく揺れれば揺れるほど即ち、角速度が増えれば増えるほど、ダンピングは大きくなり角速度をベースにして表わすと、第7図の様になります。

第 7 図



つまり角速度に比例してダンピングは増えてゆくという形で表わしているわけですが、実際はそれに更に2次以上の項が加わつて、揺れれば揺れるほど比例以

上にダンピングが増えてゆくという非線型影響がございまして。

もう1つの非線型影響は復元力の項にもあります。復元力はGMに比例して、そうして角度に比例するというふうに考えております。つまり普通は便宜上、復元モーメントが角度に比例すると考えているわけでありまして。

ところが実際はよく御承知のように、途中から減少しても遂にはゼロになるのが実際の復元力でありましてある角度から先は全然この式は成り立たないのであります。

普通15度から20度くらいだと、マア直線とみなすことができるのでありますが、角度が大きくなると全然話が違つてくる、そういうところをもう少し詳しく突つてみたら思わぬ現象が出てくるんじゃないかというようなことから、最近そういう意味での非線型影響というものが論ぜられてきております。

なお、この非線型運動方程式は、最近ミサイルの安定理論というのがどうしても非線型になりまして、その必要上、ソ連で非常に進んできていたようであります。アメリカがそれを必死になつて翻訳して勉強しているという状態であります。

ミサイルの安定理論は自由度が6つありますので、物凄く高度なものですが、その中の1つをとつてここに持つてきて非常に役に立つんじゃないかと思うのです。

先ず減衰の非線型影響ですが、これは前々からわかっていたのです。線型理論で考えました時は、この解は非常に簡単に出てきまして、船の横揺れ角と波傾斜の比は波傾斜の如何に拘らずコンスタントになる。勿論周波数が変れば変わりますが、波傾斜の如何に拘らずコンスタントになるのであります。

これを拡大率又はマグニフィケーション・ファクターといつていのですが、要するに波傾斜の何倍揺れるかということは、波傾斜に拘らず、一定になるのであります。この拡大率は同調のところ非常にシャープな山を作ります。ピルジキール小がさければ小さいほどこの山が高い。しかし1つの船についていえば、波傾斜に関係なく一定であるというのが線型理論の解でございまして。そこで同調では波傾斜の10倍程揺れるというような結果が出るのであります。

波傾斜というのは、近似的には180度かける波の高さと波長との比でございまして。普通いわれるスタンダードのウェーブが1/20、最高1/10、それ以上は強風で吹き飛ばされてなだらかになつて、あり得ないと言わ

れておりますが、仮りに1/20の波という9度であります。9度の10倍も揺れると90度揺れるということになって、これは非常なナンセンスであります。

そういうふうに線型の解というのは大角度には通用しないものであります。この影響を入れましてこれを修正してまいりますと、当然のことながらこの解の恰好が周波数の他、波傾斜によつて変るという結果になってまいりまして、これが波傾斜によつてだんだん変わってくるわけです。

それで通常程度の子線型の船でどのくらいまで山が下がってくるかと申しますと、大体3度くらいの波傾斜。波傾斜が3度ということは1/20の波の傾斜が9度ですから、波強・波高の比が、1対60くらいの波ですね。そういう非常になだらかな波の時にこれが大体6くらいになります。つまり6倍揺れる。そうすると波傾斜が3度で6倍ですから18度揺れる。

それが波傾斜が9度になってまいりますと、非線型の部分が効いてきてまして、山の高さは減ってきます。どのくらいになるかという、大体3.5くらいになります。

更に18度という1/10の波、崩れる寸前の尖つた波を考えると、大体2倍から2.2倍くらいになりまして、船の横揺角は30なん度くらいになります。このくらいになりますとデッキ・エッチが浸つてきて揺れにくくなりますので、1/10の波で約40度足らず揺れるというのも大体妥当の値かと思ひます。

なお、私は船というものはデッキ・エッチが浸つたらそれ以上はそんなに揺れるものではないという見解を持つております。とに角これの影響は割合簡単に出てきますし、以前からよく知られておりまして、波の傾斜によつて揺れる倍数が減ってくるという形で表われてくるのであります。

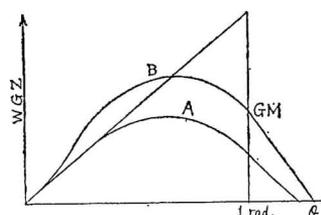
ところがもう1つ、復原力の項はどうかと申しますと、船によつては最初のGM曲線より1度高くなつてから減ずるもの、又は最初からGM曲線より下に離れてきてそのまま元のGMの曲線を越さない船がございます。何れにせよ曲線から離れて後であります、そういったしますと極く簡単に考えまして有効GMというようなものがあるわけでありまして、復原力曲線が直線から離れば離れるほど有効なGMが減つてくると考えられるのであります。

そういったしますと船の横揺れの周期はよく御承知の様に第4式で表わされます。

$$\text{第4式 } T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{W \cdot GM \cdot g}}$$

要するにGMが増えれば増えるほど船の周期は短くなる。従つて第8図Aの場合は、GMが減る一方ですから船の周期は長くなる。

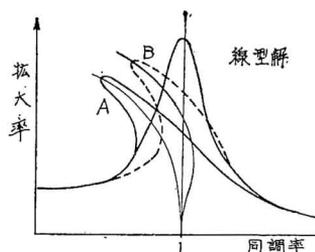
第8図



又Bの場合は、一度船の周期が短くなり、それから或る程度以上揺れると却つて周期が長くなる。そういうような変化を示すわけです。

そういう場合は、同調曲線は普通にはとれないわけでありまして、電子計算機が何かに入れて数値計算しないと出ないわけですが、忠実に解いてみますと、第9図の様な結果が出てきます。

第9図



Aの場合には、傾けば傾くほど周期が伸びるという形になるわけです。ですから極く小角度揺れている時は、元の周波数で同調していたわけですが、ところが同調の山を作ろうと大きく揺れると、周期が実は長くなつてしまう。

従つて山が、周期の長い側へ曲がつたような恰好になります。又、Bの場合には、最初周期が短くなりますので、こちら側にまがつてきて最後にはこちら側にくる。従つて非常に複雑な同調曲線が出てくるわけがあります。

今、Aの場合について考えますと、このへんは問題ない。或る周波数の波がくる、この角度で揺れている船は1つの波について1つの横揺れ角度があるのですが、例えば ω_1 という周波数の波を考えますと可能な解が3つございまして、こういう角度でも揺れる。それからこういう角度でもこういう角度でも揺れるということになります。

従つて、 ω_1 の周波数の波で小さい方の角度でゆれていた船に或る条件を加えると、突然大角度にジャンプすることがあり得るわけです。ここまで揺れると勢い余つて更に揺れるということがあるわけでありまして、そういう非線型に基づく不安定ということが考えられるわけです。

この現象をラーチといつておりますが、どういう初期条件が与えられたらここへジャンプするかということはハッキリしていないのであります。実験でここからここへジャンプしたという例はありませんが、ありうるわけでありまして、こういうものも線型統計理論から外して考えなければならぬんじゃないかと考えております。

一応細かいトピックスをお話したわけでございますが、時間があつたら統計の話なども耳新しいことではありませんが、お話ししようかと思つて用意はしておりますが、ここで一応休憩して、御質問があればお答えし、若し御希望があれば不規則な波の統計、あるいはその中での船の横揺れの統計というようなことをお話ししたいと思います。

問 ローリング・タンクは水の量だけで入れつばなしなわけですか。水の量だけ加減しておけばペリオドを合わすんですか。

答 そうです。

問 実物の実験をやつて、どれならば合うということをやらなければならぬんですか。

答 実物でも水を抜いたり入れたりして、一番ゆれないところを狙うこともできるかと思いますが、不規則波ですからそこの判定はむづかしいんじゃないかと思ひます。大体模型実験をやればGMがこのくらいの時にはこのくらいの水を入れればよいということが分るんじゃないかと思ひます。

問 あなたの実験の前にアメリカで実物実験がありましたね。あれは相当メドをつけて実験されたんですか。

答 私が実験する前にかなり何隻もミサイル観測船に付けてまして、満足な結果が出ていて、益々自信を高めているんな海洋観測船等に付けるようになったらと思うんです。

問 ここにおいでの方々のところで、じゃあやつてみようということになると、例えば何トンくらいの大さならば何トンくらいの水タンクがいるかということですね。

答 先ほど曖昧な説明をしましたが、船便で送つた

資料が着くとアメリカでの経験で大体この範囲という内規のようなものがございまして、それがくれば大体このくらいのものを付けたらいいというメドがつきます。それからタンクの水の周期でございませぬ。これも近似式が出てございませぬ。ただあくまでもUチューブから出発したものですからこれもUチューブと看做してこういうセクションを持つてゐることは持つてゐるんですが、こういう中心線を持つたUチューブと考へてゐるんですね。それで水はこう動くと思はれて余り現実に即さないんで、普通は四角の水の波を周期と考へた方がよかつたんじゃないかと思ふのです。

2・3実験すると割合よく合つております。しかし何パーセントか誤差が出ております。実際船に付けるのは四角なタンクはなくて、複雑な形をしておりますから、初期からこのくらいのものを付ければ大丈夫ということは申し上げかねるのであります。やはりタンクの模型を作つて強制動揺を与へまして、その時の水の動きを計らないと、せめて周期だけでも計らないといけませんと思ひます。

問 船の航海中、GMが変化してゆくわけですね。それがさつきの会合時に話題になりましたが、航海中のGMを機械的か電気的か何時もGMがどのくらいあるんだというような機械はアメリカにないんですか。

答 それはないようございませぬ。平水中でドラフトがどのくらいだからGMがいくらというのはあるようございませぬが、それもGMを計つてゐるのではなく、もともとGMを知つてゐて、ただドラフトを計つていくくらいといつてゐるだけで、まして波の中ですとGMを物理的に計るんでないといけませんし、それは非常にむづかしいと思ひます。

さつきの図ですが、どうやつて計つたかといひますと、船は実際にダイナ・メーターで摺んで走らせてその時、最初からモーメントをかけてあるのです。偏心加重をして本当ならばこう傾くところをバランスでグッと抑えて、その力を計つてゐるのです。そしてGMの変化により復元力が周期的に変わる、それを計つてゐるわけですね。

もう1つは、極く少し偏心加重を与へて、最初1度くらいに傾けて、本当の単純な縦波の中を走らせますと、若し波がなければ当然1度傾けたきりずつと走つてゐるわけですね。ところが波があるためにGMは変化する。従つて1度に対する復元力が周期的に変わるわけですね。そのために船がローリングする。そのローリングの角度を計つて、それからGMの変化が出る。

ですから他の影響が全然なければローリングを計つ

て出すことも出来るわけですが、風があり、波があり斜波があるという場合はそれも不可能であります。私の知っている範囲では物理的にGMを波の中で計れる機械や工夫はないようであります。

問 トインデッキのような高いところでいいと仰言つたんですが、ボトムにおけるのでは影響が悪いんですか。ボトムの幅が狭くなる、モデルシップを使えば別ですが、幅が狭くなると周期が小さくなります。単純な傾斜だけで波になるわけですね。こちら側へ衝突すると、このプレッシャーが重心より上にあれば復元側になり、重心より下にあるとむしろデスタビライズになるというので、成るべく上に付けたがるんですが、その影響は2次的で2割か3割です。無理に上に付けることはないと思います。

会長 漁船にとっては非常に大きい問題でして、大変有益なことを聞きましたが、これを実際に漁船あるいは大学とか官庁とかに使われる指導船あるいは実験船というようなものにアンチ・ローリング・タンクを実際に付けてそうしてこれが漁船界にはどうしたら使えるかということを実験して貰つたらいいですね。あるいは今の漁船に直ちにアンチ・ローリング・タンクを、今のようにボトムでやるか、あるいはちよつと上のところにGMの余り影響のない高さのところにこういうものを付けてやるのもいいが、漁船では直ちにやつてみようという人は、中々出ないだろうと思えますから、一応官庁あるいは大学で作られる船に、悪く言えば犠牲的になるだけですから、こういうことを実際に船にやつていただいたらいいと思うのです。

それでデーターをとつて漁船の網を使うというような船とか、あるいはそういう船でなく総ての漁船のスタビリティの問題、海難防止の一助のように、また波浪の最中にGMがどう変つてゆくかということをごんごんインジケートするというようなものはないようだから、それはそれとして、現在の御研究の範囲内において、漁船にはこうしたらよかろうというものを何か——、恰度高木さんもおられて大学でも実験船を作られるが、惜しい事には入札してしまつたから今更変える訳にはいかないが、次に大学でも作られると思えますし、あるいは地方の研究所・試験所、あるいは水産大学等でそういう船が何れできるでしょうから、そういう時はアンチ・ローリング・タンクをどういう形に作るのがいいのか、元良さんなんかと協議をしてやつたらいいんじゃないかと思えますね。官庁はそのくらいの犠牲を払つてもいいと思うのです。

高木 大変元気なお話を伺ひまして、漁船協会背負

つてもいいと言われるのかと思つたんですが——(笑) 恰度去年の今頃でしたか、ちよつと前でしたか、調査船のキャンプテン、ミラーが来てデザインの話をしたんです。ミラーが漁船協会のデーターが出ているから見てくれというので見ましたが、ああいう実物には大きい箱が付いているでしょう。ミラーさんのデザインを見ると相当の場所がないと出来ないんです。

両側にタンクを置いて、両側に管があるのです。水の通りがいいように2ヶ所管がついていて、その間が使えなくなるのです。なんかこつちがやる時は、と思いましたが、この間の入札が250トン、それでも入れても入れるところがなくて困っているんですが、250トン2はいくれないので——。それで同じ計画で今、大蔵省に320トン出しておりますので、それならば多少ゆとりがあると思います。それで元良さんのところにこういうのはどうですかと訊いたら、元良さん単独で、今やつているので結構だということでおいでを待つておつたのです。それで今会長からの話もありますが、失敗はしませんが気をつけてやりますから——。

会長 失敗しても、零にするわけじゃないんで、思い通りにいかないということもありましようが、非常にいいことで、大学あるいは何か外の方で作られる時は一応やつてみて、これならば実際営利を目的とする漁船にも付けた方がいいということになれば、やつた方がいいと思うのです。

これで見ると周波が非常に減つてくる、横波がきても相当防げるということになれば、スタビリティのプラスアルファが出ることは分かっているのです。そういうことを専心研究される元良さんがおられるから相談申し上げて、是非実行に移して頂きたいと思えます。今日はそういうキッカケになれば大変結構です。

問 今の水の場合ですが、比重の違うものを使えば量は少くて同じ効果を出せるということも考えられるわけですね。そうすれば何も大きいタンクを使わなくてもいいということになるわけですね。

答 効果のあるもので重いものという水銀とかいうことになると高価で——。それともう1つは、載荷状態で増減しなければならぬ。そうすると海水なんかなら惜気なく棄てられますが、貴重なものだと棄てられないということもあるんじゃないか。

問 第1図ですが、傾斜角が12度まではマイナス。6度から12度までありますが、波の傾斜角ですか。

答 上の図で傾斜角が書いてあるのは船に偏心加重をのせて、僅かに——。

問 そうすると初めから加重を変えた時の度合です

ね。たとえば零度の時は平行ですが10度は初めから10度傾けてやつた時ですね。

答 しかしこの傾斜角は初期に4.6度傾けてありますね。

ですから4.6度傾くような偏心角度——

問 船の位置というのは何をいつているのかわからないので——

答 初期に4度いくら傾いていて、縦波の中をゆつくり走らせて動的な影響をよけるために、波のスピードと同じスピードで走っているの、ある同じ位置を保ちながら走っているわけです。そうすると傾斜角がGMの変化によつて変わるわけですね。これはフリーにした時の波も抑えないで計っているわけです。

問 船は初めから傾けたわけですか。

答 傾けたというのは偏心加重を与えただけで揺れを許しているのです。ただローリングだけを抑えているのです。ですからトリムもローリングもフリーなんです。それで波と同じスピードで走る。そうするとGMの変化のためにまたスタッカルに傾斜角が、波の総体値によつて増えることもあるし、減ることもある。

問 これはサケ・マス流し網をやつた実験の時ですか、その後の実験ですか。

答 あれです。

問 サケ・マス流し網で大波で横向きになつてやつたのがありましたね。それで、この実験をやつたのです。それでマシューズの式が出たんです。ですからマシューズの式が出たというのがいるんな外国の雑誌に日本の実験が出ていますね。

答 MITでは、この変化を図の上で計つて、それでGMがどのくらい変化するかということを計算で出しておりますが、実際に出したのはこれが最初じやないかと思ひます。

問 第3図にアンチ・ローリング・タンクに水を張つた状態のカーブが出ておりますが、アンチ・ローリング・タンクに水を張るとKGは減少する。スタッカルするとGMも減る。そうすると自分自体のローリング・ペリオッドも減るわけですね。そういう時の状態も入れて、アンチ・ローリング・タンクを付けた時のKG——

答 KGは初めからアンチ・ローリング・タンクを付けてあつて、これは水だけでなく、水を凍らした場合に相当するのです。

フリー・ウォーターの場合は、表面の影響もあるわけで、ですから一番減つているところで1割少い方についておりますね。それは恐らくその影響でしょう。

問 実船に付ける場合はその影響を勘定しなさいといけなわけですね。

答 そうです。いざとなれば水を棄てることも出来ます。それからこれは水位を2メートルなら2メートルと一定した時ですね。しかし嵐の規模によつて平均して長い波が来そうだという場合、或いはうねりに遭遇した場合は、水量を加減して低い周波数のところを有利にする事も出来るんじゃないかと思ひます。

問 この実験の時はサイドに当つた水が天井に影響受けるということなしに、天井は無限に広い空間としてきめるんですね。

答 天井を作つて実験することも可能です。その場合は水位をきめないでモーメントを計つて、それでなお水位を計つてそれから計算で出したモーメントと、本当のモーメントの比較が第2図に出ておまして、四角なプロットしているモーメントが水位2.5フィートの時のモーメントですが、その頂点、×印が平行して書いてありますが、それは水の動きを計つてそれから計算したものです。ですから天井につかえない限り計算から大体において分る。しかしつかえるような場合は、直接モーメントを計る方が正確なわけですね。

会長 まだ御質問もありましようが遺憾ながら時間が迫つてまいりましたから、この程度で一応お話を終りたいと思ひますが、なお元良さんには漁船ということをお頭に話して下さる問題を、相当持つておられるようでありますから、これは雑誌の「漁船」に載せていただくということで、それによつて御了解いただきたいと思ひます。

元良さんにはとに角われわれ余り想像もしなかつたような非常に突つ込んだローリングの問題について御説明下さいまして、私共は少くとも私はその半分くらいしかよく了解できないのでありますが、およその言われることの想像はできましたので、今後の官庁の船に一つアンチ・ローリング・タンクを、付けていただく。これは場合によつたら魚倉を船の両サイドにおいて使つてもいいんじゃないかと思ひ、場合によつては予備タンクの燃料というようなものもそのために作つてもいいんじゃないか。これはやろうと思へば必ずできることありますから、先ほど申しました通り先づ第1に官庁の船にこれをやつて、それから営利を目的とする漁船に付けていつたら、そしてよかつたらどの船にも付けるようにしたいと思ひます。

今日は元良さんお忙しい所腹臈ない御意見を承りまして、われわれ開発された訳であります有難うございました。拍手を以て御礼申し上げたいと思ひます。

THE JOURNAL OF THE FISHING BOAT
ASSOCIATION OF JAPAN

漁 船

第 123 号

卷頭写真

さけます母船	第 5 大林丸	まぐろ延縄漁船	第 2 漁生丸
まぐろ延縄漁船	第 2 親和丸	" "	喜久丸
" "	第 65 正徳丸	" "	第 25 大定丸
" "	第 3 勝運丸	" "	第 10 山田丸
" "	第 18 新宝丸	さけます流網漁船	第 3 瑞宝丸

記 事

漁船界の展望	水産庁生産部漁船課長	小島 誠太郎	(1)
漁船統計表より見たる最近 5 年間の漁船の推移	正会員	高嶋 三郎	(5)
茨城県海外漁業開発指導船 水戸丸	日本鋼管(株)清水造船所	下河辺 正	(11)
波浪中の船の横揺れに対する二、三の問題	東京大学	元良 誠三	(27)
舶用プラスチック		林 寿雄	(39)
漁船登録による漁船統計表(水産庁漁船統計抄録)			(43)
漁船関係彙報 (1. 船員設備改善に伴う漁船大型化に関する設計図等 2. 漁船トン数) を新設して漁船法改正研究中 3. 指定漁業を定める政令案要綱			(55)
(資料) 能率的入渠方式「シンクロリフト」について		村上 理則	(64)
新造漁船竣工状況 (S 37. 10・11月竣工分)			(66)
漁船船員の労働環境改善のための措置要綱に対する図解(折込ミ)			(42)
協会行事報 (S37. 11~38. 1月)			(54)
協会事務報告(新入会員紹介・個人会員会費領収報告)			(63)

昭和 38 年 2 月

社 団 漁 船 協 会
法 人

電話 東京 (201) 4588
5533

振替口座 東京 111449 番