

# 船舶の損傷時の復原性

田 宮 真

船の浸水時の横の復原性について、静的または準静的に考察し、一般的傾向を求めた。浸水区画の高さが初期復原性にも、大角度の復原傾力にも著しい悪影響をもつことがあきらかになった。縦傾斜は初期復原性を若干よくする傾向があるが、逆の船形もあろう。浸水速度に船形や区画の位置、大きさがどのような形で影響するかを調べた。

## 緒 言

本文にいう船舶の損傷 (damage) とは、他船との衝突により水線下に破孔を生じ、船内に浸水することを指すものとする。船体には種々の損傷がおこるが、この意味における損傷時 (damaged condition) という語は、船舶関係の国際条約にも使用されており、普通に安全航海しているときの状態——非損傷時 (intact condition) に対応するものである。

このような事故を防止するためには、第一に衝突の予防に力がそそがなければならないが、統計の示すところによるとレーダ等航海計器の画期的な発達にもかかわらず、衝突事故件数はかならずしも急速に減じているとは言えない。不幸にして衝突がおこった際、船体構造強度の強化によって破孔の発生を防止することはほとんど不可能であって、現在までに実行せられた対策は、いずれも破孔が生じた後、被害をできるだけ小さくすることを目標としたものである。大別すると船体の沈下、大傾斜あるいは沈没、転覆を防ぐことを目的とする方策と、船体、積荷等は放棄して、人命のみの安全確保を目的とする方策とがある。船体内部を水密の隔壁によって縦横に仕切り、浸水範囲を局限して安全を保とうとするのは前者の例であり、危急の際、船側の区画に注水して傾斜を軽減することもこの例に入る。いずれも軍艦では高度に利用されている。後者の例としては救命艇、救命筏などがあげられる。このほか通信により他船の救助をあおぐことも人命安全保持の手段と考えることができよう。

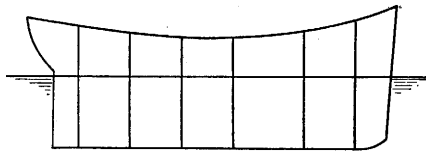
これらの諸方策をどのように船舶の設計にとりいれるかは、その船の使用目的、船の大きさ、航路等によって適当にきめられることであって、個々の船についてみれば大差がある。事を船内区画にかぎっていえば、軍艦は商船に比して密であり、それも大型艦ほどいねいであって、史上最大の戦艦大和・武蔵では水密区画が 1100 に達したという。商船は水中攻撃の被害を予想しないで建造され、衝突事故は偶発的と考えるため、従来は国際航海に就航する客船にのみ水密区画に関する法的規制が行なわれ、短距離の国内航路客船、大型であっても貨物船には構造規則上の横隔壁に関する規制のみが適用されてきた。したがって現状では衝突による浸水がおこれば船体の沈下がはなはだしく、または復原力の減小によ

り、てん覆の危険にさらされる船はきわめて多く、ことに小型船においてこのおそれが大きい。もっとも船以外の交通機関、あるいは構造物において、自己と同程度の質量または運動量を有する物体の衝突をうけて安全であることを設計の一要件とするものはまれであると考えられるので、このことをもって小型船舶をはなはだ危険な交通機関とするのはもちろん誤りであろう。しかしながらいわゆる「ヒューマンイズム」の立場よりして客船における船客・船員の人命と、貨物船船員の人命と、その尊重すべき程度に差はあるべきでないとの主張も漸次つよく、すでに 1960 年における「海上における人命安全に関する条約会議」において米国は貨物船にも損傷時の安全を確保するため区画に関する規制を設けることを提案している。この精神には誰も反対するものがないが、現実問題としては、設計条件に新しく強い拘束をあたえるものであり、平時の船舶性能に必ずしも好影響をもたらすものでもなく、他面船価の上昇はさけえられぬものと予想され、英国等保守的色彩のつよい海運国からは過去の海難統計をも援用しての反対があり、直ちにその提案がうけいられる情勢とはならなかったが、技術的に各国においてさらに広く考究すべき問題として保留せられた。1960 年の会議においては、この外に区画による船舶の安全性評価の方法について新しい考えが米・独より提案され、従来の方法の矛盾が指摘された。この新しい評価についても次の条約会議までに国際的に十分検討せられるべきことが決議されている。この情勢に対応して、国内においては 1961 年に運輸省船舶局が中心となり、船の損傷時の安全性に関する研究委員会が発足し現在にいたっている。

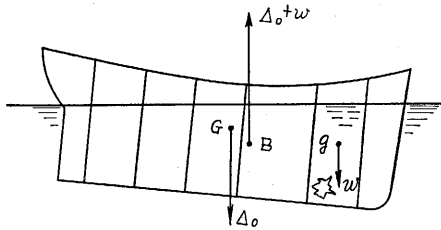
## 1. 船舶の縦安定と横安定

損傷時の安全性について一般的に論ずることは本文の目的ではない。ここでは衝突によって浸水がおこったとき、横方向に船の姿勢の変化はどのようになるか、どのような運動がおこりうるかを、静的または準静的に力学問題として考察する。前文はこのような考察が必要とせられた背景を略述したものである。

今第 1 図のように船体をいくつかの横壁隔で水密に区画したとする。この任意の一区画に破孔を生じて浸水したとすると、船は浸水量に応じて沈下し、さらに前後に



第 1 図 浸水前



第 2 図 浸水後

傾いて第 2 図の状態であり。左右対称とすると、このつりあいが安定なつりあいである限り、横傾斜はおこらない。損傷時の安定性を考える場合、当初はもっぱら第 2 図のごとき、船体沈下、前後の傾斜変化という、いわゆる縦の安定について研究が行なわれたのも自然である。

隔壁間隔が大きくなれば沈下、縦傾斜は大きくなり、つりあい時の水線が上甲板をこえるようになり、さらに浸水範囲が大となれば浮力喪失のみで船が沈没することになる。現行の規制では水密隔壁の上端に近い点をつらねた限界線を規定し、浸水後のつりあいの水線が、この限界線上にでないことを要求している。

第 2 図における静的な釣合を考えると、船体重心  $G$  に船体重量(浸水前)、浸水量の重心  $g$  に浸水重量がはたらき、浮心  $B$  に船の外部の海水の浮力がはたらく。この状態は船に孔がなく該区画に浸水量と同量の海水がみだされたと考えても同じで、浮心  $B$  はこの付加重量をのせた非損傷時の船の排水量中心に等しい。区画内には一般に貨物・機関・船客設備等があるため、浸水量は区画の内容積よりは一般に小さく、内容積を  $V$  とした場合、ある係数  $\mu$  を使って  $\mu V$  とあらわすことにしている。 $\mu$  を浸水率という。 $\mu$  は個々の船の個々の区画についても時期により変化し、くわしくは区画内の各点で、浸水経過によっても変わるものであるが、計算をいたずらに複雑化しないため、大略の値が区画室の種類に応じて定められている。

隔壁間隔は一般に船体中央付近と前後端付近で大きくできる。船体中央付近は、浸水による船体の縦傾斜をおこすことが少ないからであり、前後端部は船幅が小で、浸水量が少ないからである。

隔壁間隔が小さければそれだけ浸水量は少なく、船体の安全度高くなると従来一般に考えられていたが、K. Wendell 等は、衝突によって生ずる破孔の大きさについて統計的な調査を行なった結果、これは必ずしも正しく

ないことを指摘した。すなわち隔壁間隔を小にすれば、1 区画のみ浸水したときの安全度は明らかに増大するが、一方、破孔の平均的な大きさは区画の長さに対して相対的に大となり、2 区画、3 区画浸水の確率が増大するのである。

対称浸水において、浸水後のつりあいが安全なつりあいであれば、横傾斜が生じないことを上にのべたが、浸水前の船の状態次第では浸水後のつりあいが不安定な場合もありうる。また船体は左右対称が原則であるが、船内の配置はかならずしも対称ではなく、このときは船は鉛直に浮くことができない。海上あるいは船内には不平衡外力の源がつねに存在すると予想する必要がある、不安定なつりあいは破れて、新たな安定なつりあい状態に船はおちつくであろう。かく非対称浸水、対称浸水下の不安定の原因で生ずる横傾斜は、縦傾斜にくらべてはるかに大きく、このため釣合の水線が限界線を突破することは十分考えられるし、事実横安定性の不足から浸水てん覆した事例もすくなくない、このような点についての関心が高まって 1948 年の条約には、浸水の結果生じうべき横傾斜についてある規制が設けられた。ただわが国においては、第二次大戦突入の頃から、国際航海に従事する客船の建造はたえて行なわれることなく、ために条約の規制そのものにも、また浸水時横復原性についてもあまりたもいた研究がこの間行なわれなかったことは事実である。

上記は平水中の考察で、しかも主として浸水完了後に限っているが、横安定については浸水途中にむしろ問題のあることも早くからしられていた。また、渡辺恵弘博士<sup>1)</sup>は、浸水途中の船の横傾斜を動力学的に取り扱い、静的考察の不備をあきらかにせられたが、静的考察に限っても個々の船について起こりうるいくつかの状態に対して釣合傾斜角を算定することはかなりの手数を要する作業であり、動的考察においては、運動方程式の各項の係数について実験的裏付がないこと、当時の計算に対する機械的能力の事情、実船の衝突時の諸条件の不明等より、これらを実用化する努力が怠られてきたように思われる。

## 2. 浸水時の横復原性(静的考察)

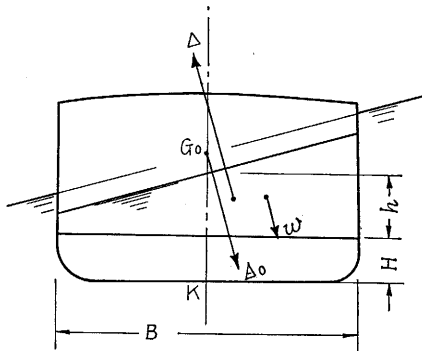
浸水途上の横復原性を次のような考えのもとに、静的に考察する。

1. 浸水区画は船の長さのほぼ中央にあって、浸水による縦傾斜変化はおこらぬものとする。
2. 対称浸水のみを考え、浸水率  $\mu$  は区画内で一定とする。
3. したがって横傾斜がおこるためには、任意の浸水量のとき、船が鉛直に浮いている状態は不安定な釣合でなければならない。
4. 浸水量はきわめてゆるやかに増加するので、刻々

の安定な釣合位置は、その時の浸水量を船内に有する船が排水量一定のまま横傾斜して、いったん負となった復原モーメントが再び正にうつる傾斜角に等しいものとする。

5. 鋼船における船側鋼板の厚さは小さいから、計算の便宜上、浸水区画の幅は、船体の幅に等しいものとする。
6. 同じく計算の便宜上浸水区画は直方体の形をもつものとする。

これらの仮定をすると、船内の直方体形状のタンクに一定量の自由水のあるときの復原偶力を横傾斜角の関数として求めれば、問題がとけたことになる。



第3図 浸水して横傾斜した状態

第3図は浸水時の船の横傾斜角  $\theta$  における状態をあらわす。いま船にはたらく復原偶力  $M$  を、船底  $K$  のまわりについて考えると次式が成り立つ。

$$M = M_1 - M_2 - \Delta_0 \cdot \overline{KG}_0 \cdot \sin \theta \quad (1)$$

ここに

$M_1$  = 全排水量  $\Delta$  に対応する浮力の復原偶力

$M_2$  = 区画内浸水量  $w$  の傾斜偶力

$\Delta_0$  = 浸水前の船体重量 =  $\Delta - w$

$\overline{KG}_0$  = 浸水前の重心高さ

海水比重量を  $\gamma$  とし、浸水区画長さを  $l$ 、平均浸水深さを  $h$  とすると

$$w = \mu \gamma B l h \quad (2)$$

$M_1$  は船の形のみで定まる量で、いわゆる復原挺交叉曲線から任意の  $\Delta, \theta$  に対して読み取ることができる。

$M_2$  は区画の形状が簡単であるから次のように式示すことが可能である。

$$M_2 = \mu \gamma \left( \frac{B^3 l}{12} \right) \beta_2 \sin \theta + \mu \gamma B l h H \sin \theta \quad (3)$$

ただし  $\beta_2$  は  $\frac{h}{B}$  と  $\theta$  との関数で、無次元の係数である。一般に  $\beta_2$  は水槽深さにも関係するが、今の場合水面は区画頂板には達しないと考えるので、水槽深さは無限に大きいとみてよい。(3)式第2項は区画の高さの

影響をあらわしている。

(1) 箱船の横傾斜角 静的な釣合のみを考える場合は、船の形を直方体——箱船とみなしても大きな誤りはない。また甲板の浸水を予想しなければ船体の深さを十分大きいとしても差し支えない。実際には横傾斜がかなり大きくなり、甲板が一部浸水することがありうるが、計算を簡単にするため、以下においては深さ (= 吃水 + 乾玄) は十分に大きいとした。箱船の長さを  $L$ 、幅を  $B$ 、浸水前の吃水を  $T_0$  とし、浸水区画の長さを  $l$ 、区画底の高さを  $H$  とする。浸水前の船体重心を  $G_0$  とし、 $G_0$  は動かないものとする。このときに船体の横傾斜角に影響をもつ因子は船体形状に関する  $B/T_0$ 、重心高さ  $\overline{KG}_0$ 、浸水区画の長さ  $l/L$ 、高さ  $H/T_0$ 、および浸水率  $\mu$  であるが、 $\mu$  と  $l/L$  はつねにその積の形できいてくるので

$$\mu \left( \frac{l}{L} \right) \equiv \mu \lambda$$

が一つの因子であると考えてよい。このとき(1)式は次のようになる。

$$M = \frac{\gamma L B^3}{12} \left[ \beta_1 - \mu \lambda \beta_2 - 12 \mu \lambda \cdot \frac{h}{B} \cdot \frac{H}{B} - 12 \frac{T_0}{B} \cdot \frac{\overline{KG}_0}{B} \right] \sin \theta \quad (4)$$

ただし  $\beta_1$  は  $\theta$  と  $T/B$  との関数である。 $T$  は浸水深さ  $h$  のときの吃水で

$$T = T_0 + \mu \lambda h \quad (5)$$

とあらわされ、その最終値  $T_e$  は

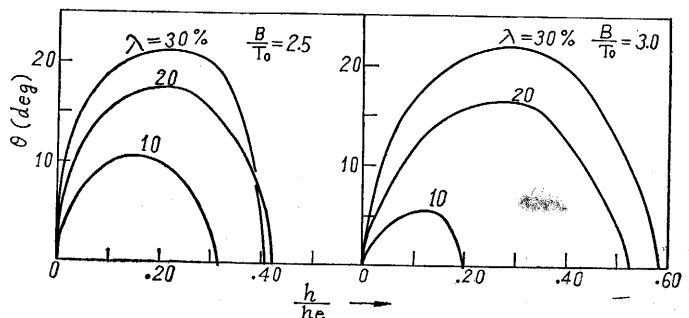
$$T_e = \frac{T_0 - \mu \lambda H}{1 - \mu \lambda} = h_e + H \quad (6)$$

である。

傾斜角のごく小さい範囲の調査では箱船の場合  $B/T_0$  は 2.5~3 の範囲が復原性よりみて危険であることがわかっているので、ここでは  $B/T_0 = 2.5$  および 3.0 についての計算結果の数例を示す。

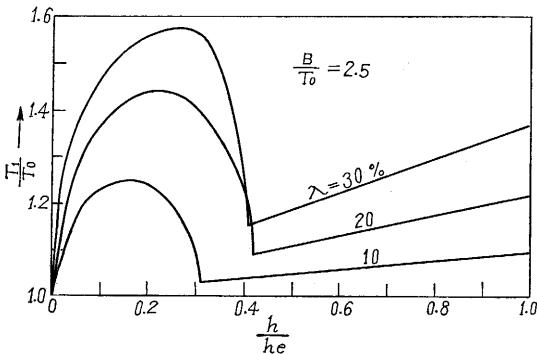
第4図は  $\overline{KG}_0 = 0.4B$ 、 $\mu = 0.90$ 、 $H = 0$  とし、 $\lambda$  をかえたときの釣合傾斜角を  $h/h_e$  の関数として示したものである。

実船では多くの船の機関室長さは船の長さの10~20%程度が多いようであるが、船形は前後がやせていること

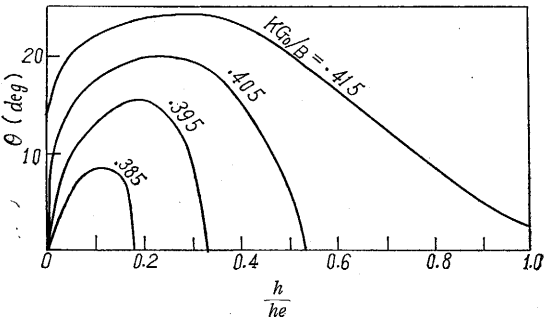


第4図 横傾斜角 ( $\overline{KG}_0 = 0.4B$ ,  $\mu = 0.9$ ,  $H = 0$ )

を考えると箱船の場合  $\lambda$  を 30% ぐらいまでしらべておけばよいであろう。この 2 例では最大の横傾斜は  $h/h_e = 0.2 \sim 0.3$  でおこり、傾斜角は約  $20^\circ$  に達している。 $h/h_e = 0.5$  程度で不安定現象は消滅し、船は鉛直に浮かぶことになる。実際には浸水の速度が関係し、危険状態は比較的すみやかに通過し去る場合が多いと推定されるが、曲線の立上がりりが急であるから、相当の傾斜のおこることを予想しなければならない。渡辺博士の研究では静的計算の 5 割増くらいの動的傾斜もおこりうる結果がでている。第 5 図は第 4 図を没水側の吃水に換算した 1 例で、横傾斜の影響が大きいことを示している。ただし  $T_i = T + \frac{B}{2} \tan \theta$  である。



第 5 図 没水側吃水の変化



第 6 図 横傾斜角 ( $\mu\lambda = 0.18, \frac{B}{T_0} = 2.5, H = 0$ )

第 6 図は  $\mu\lambda = 0.18, B/T_0 = 2.5, H = 0$  において  $KG_0$  を変化させた場合である。この条件のもとでは

$$\frac{KG_0}{B} > 0.4083 \text{ のとき浸水がなくても不安定}$$

$$\frac{KG_0}{B} < 0.3708 \text{ のとき常に安定}$$

であり、最終の  $h_e = T_e = 0.4877B = 1.219T_0$  となる。 $KG_0$  の範囲は小さいようにみえるが、 $\frac{KG_0}{B}$  と  $\frac{G_0M}{B}$  との間には

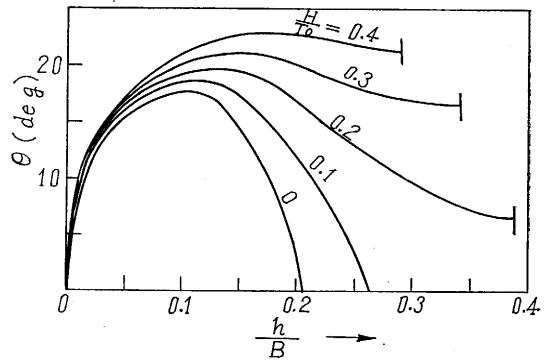
$$\frac{G_0M}{B} = 0.40833 - \frac{KG_0}{B}$$

なる関係がこの場合成り立ち、 $G_0M/B$  は  $0.233 \sim 0.0067$  に変化する。 $B$  を 20m とすると  $G_0M$  は 47cm から -14cm まで約 60cm 減少する。 $G_0M$  は船の大き

さにあまり関係せず 30~100cm の程度が通例であって、これだけの变化は小さいといえない。ただし  $G_0M$  はメタセンタ高さと呼ばれ、

$$G_0M = \frac{1}{\Delta_0} \left( \frac{dM}{d\theta} \right)_{\theta=0} \quad (7)$$

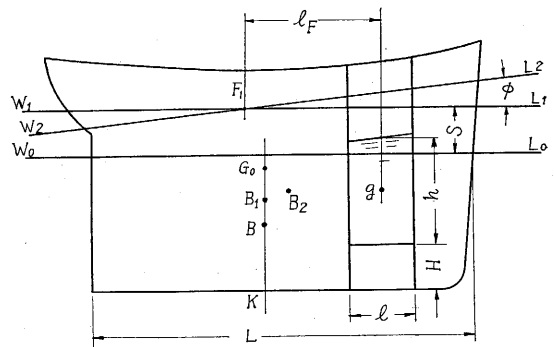
で定義される。この例で  $KG_0 = 0.415B$  のとき、最終状態で傾斜角が初期値より大幅に減少していることは注意すべき結果である。



第 7 図 横傾斜角 ( $KG_0 = 0.4B, \mu\lambda = 0.18, \frac{B}{T_0} = 2.5$ )

第 7 図は  $KG_0/B = 0.400, \mu\lambda = 0.18, B/T_0 = 2.5$  において  $H/T_0$  を変化した結果である。この場合は  $h_e$  が  $H$  によって異なってくるので横軸は  $h/B$  をとってある。区画の底面が高くなると、その影響は復原性を大きく悪化し、大きな横傾斜を浸水後に残すことになる。 $h_e$  は小さいゆえ、浸水量は減ずるけれども、全体の重心が上昇することがこの結果を来す。船倉の下部に貨物が満載され、上部が空倉の状態は、 $H$  の大になったのと類似の状況で浸水の際には不利である。

(2) 縦傾斜を考慮した初期復原性 釣合の傾斜角を計算でもとめることは原理的には簡単であるが、縦傾斜まで考えにいと、実際の手間は非常に大きくなり、実施困難である。本節においては問題を初期復原性にかぎり、メタセンタ高さ  $GM$  の変化を、浸水区画の前後位置および浸水量に関して求める。



第 8 図 任意区画への浸水

第8図のように船の長さ方向、任意の区画に対称浸水が進行しつつあるとき、静的に考えるとこの区画に同じ量の水が入っているときと等しく、船は縦傾斜と沈下とをあわせて行なう。s は平均沈下量で、縦傾斜角は  $\phi$ 、傾斜後の水線  $W_2L_2$  と、水線  $W_1L_1$  との交点  $F_1$  は浮面心とよばれる。浸水区画の重心  $g$  と  $F_1$  との水平距離を  $l_F$  とする。  $W_1L_1$ 、  $W_2L_2$  以下の排水量は等しい。 $\phi$  は小さいから  $\cos \phi = 1.0$  としてよい。s なる沈下によって浮心は  $B_1$  まで上昇するが、縦傾斜によって  $W_1F_1W_2$  の部分の排水量が  $L_1F_1L_2$  に移動するためさらに  $B_2$  にうつり、このためメタセンタの位置も若干上昇する。船体重心位置は不動であるからメタセンタ高さもこの分だけ上昇する。すなわち縦傾斜は初期復原性をます方向に作用する。ただし船形によっては、水線面の形の変化が大きく、これが浮心上昇の効果を打ち消してメタセンタ高さを減ずる場合もあることは注意しなければならない。

横傾斜角  $\theta$  の小さい範囲で復原偶力  $M$  は次のようにかける。

$$M = \Delta \cdot \overline{KM'} \sin \theta - \Delta_0 \cdot \overline{KG_0} \sin \theta - M_2 \quad (8)$$

ここで縦傾斜の影響は  $\overline{KM'}$  にのみ  $B_1B_2$  の高さで入っていてその大きさは

$$B_1B_2 \text{ の高さ} \doteq \frac{1}{2} \left( \frac{I_L}{V} \right) \phi^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{w}{\Delta} \right)^2 \frac{L_F^2}{\left( \frac{I_L}{V} \right)} \quad (9)$$

ここに

$w$  = 浸水重量

$$\Delta = \Delta_0 + w \equiv \gamma V$$

$I_L$  = 水線面  $W_1L_1$  の  $F_1$  を通る横軸に関する慣性モーメント

今浸水途次のメタセンタ高さを

$$\overline{GM_a} \equiv \frac{1}{\Delta_0} \left( \frac{M}{\theta} \right)_{\theta \rightarrow 0} \quad (10)$$

で定義すると、浸水によって水線形状が変化しないという仮定のもとで  $\overline{GM_a}$  は次のようにかける。

$$\begin{aligned} \overline{GM_a} = & KB_0 + \frac{w}{\Delta_0} \left( T_0 + \frac{s}{2} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{w}{\Delta_0} \right)^2 \left( \frac{\Delta_0}{\gamma I_L} \right) l_F^2 \\ & + \frac{\gamma I_T}{\Delta_0} - \frac{\mu \gamma b^3 l}{12 \Delta_0} \beta_2(0) - \frac{w}{\Delta_0} H - KG_0 \quad (11) \end{aligned}$$

ここで

$I_T$  = 水線面  $W_2L_2$  ( $\doteq W_1L_1$ ) の船体前後方向中心線のまわりの慣性モーメント

$b$  = 浸水区画の平均水面幅

$$\beta_2 = f_n \left( \frac{h}{b}, \theta \right)$$

$\overline{GM_a}$  と非損傷時のメタセンタ高  $\overline{G_0M}$  との差を  $\delta \overline{GM_a}$  とかくと

$$\frac{\delta \overline{GM_a}}{T_0} \equiv \frac{\overline{GM_a} - \overline{G_0M}}{T_0}$$

$$= \alpha \left[ -\frac{\beta^2}{12} + \frac{h}{T_0} \left( 1 - \frac{H}{T_0} \right) - \frac{1}{2} \frac{h^2}{T_0^2} \left\{ 1 - \alpha \left( \frac{C_b}{C_w} + k' - 1 \right) \right\} \right] \quad (12)$$

ただし

$$\alpha = \left( \frac{\mu \lambda}{C_w} \right) \left( \frac{b}{B} \right)$$

$$\beta = \frac{b}{T_0}$$

$$k' = 1 + \frac{C_w}{4\alpha_L} \cdot k^2$$

$$k = l_F / \left( \frac{L}{2} \right)$$

で  $C_b$ 、 $C_w$  はそれぞれ方形係数、水線面積係数であり、

$$\alpha_L = I_L / L^3 B$$

である。

箱船では

$$C_b = C_w = \frac{b}{B} = 1.0 \quad \alpha_L = \frac{1}{12}$$

であるから

$$\begin{aligned} \left( \frac{\delta \overline{GM_a}}{T_0} \right)_{\text{箱船}} = & \mu \lambda \left\{ -\frac{1}{12} \cdot \frac{B^2}{T_0^2} + \frac{h}{T_0} \left( 1 - \frac{H}{T_0} \right) \right. \\ & \left. - \frac{1}{2} \frac{h^2}{T_0^2} (1 - \mu \lambda - 3k^2 \mu \lambda) \right\} \quad (13) \end{aligned}$$

浸水完了時は

$$h_0 = \frac{T_0 - H}{1 - \alpha k'}, \quad T_0 = \frac{1 - \alpha \left( k' + \frac{H}{T_0} - 1 \right)}{1 - \alpha k'} \cdot T_0 \quad (14)$$

であたえられるから、一般に

$$\begin{aligned} \left( \frac{\delta \overline{GM_a}}{T_0} \right)_0 = & \alpha \left[ \frac{\left( 1 - \frac{H}{T_0} \right)^2}{2} \right. \\ & \left. \frac{1 - \alpha \left( 1 + k' - \frac{C_b}{C_w} \right)}{(1 - \alpha k')^2} - \frac{\beta^2}{12} \right] \quad (15) \end{aligned}$$

また箱船では

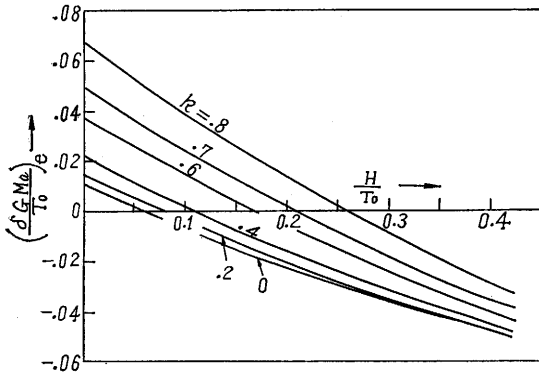
$$\left( \frac{\delta \overline{GM_a}}{T_0} \right)_0 = \mu \lambda \left[ \frac{\left( 1 - \frac{H}{T_0} \right)^2}{2(1 - \mu \lambda - 3\mu \lambda k^2)} - \frac{1}{12} \left( \frac{B}{T_0} \right)^2 \right] \quad (16)$$

第9図に箱船の最終状態に対する  $H/T_0$  と  $k = 2l_F/L$  との影響を示す。ただし  $\mu$  は区画の位置によって一般にかえるべきであるが簡単のため 0.80 と一定し、 $\lambda$  も 0.20 と一定した。

$H$  の悪影響はここでも著しいことがわかるが、多くの場合、 $H$  の大きいのは船首尾近くの場合で、このときは (15) 式の  $\beta$  が急激にへるからある程度緩和される。

### 3. 船体沈下の速度

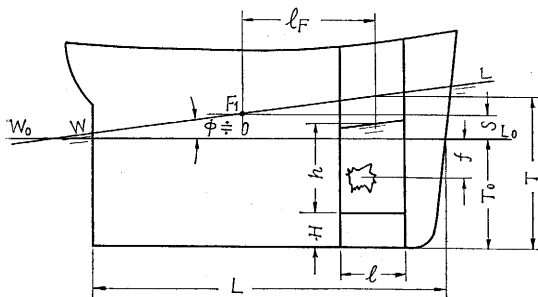
渡辺博士の計算例によると、船体の横傾斜は、浸水速度にあまり影響をもたないようである。動的考察を行なうためには浸水速度を求めることが必要で、この際横傾斜を考えないですむことは好都合である。実際には破孔



第 9 図 区画位置と初期復原性の関係  
(箱船:  $\frac{B}{T_0} = 2.5, \mu = 0.8, \lambda = 0.2$ )

の位置・大きさ・形状・船内貨物その他構造物の状況によって浸水速度はいろいろ変化するであろう。いわゆる流量係数がどのくらいになるか、実験値は皆無に等しい。筆者が以前極めて簡単な模型実験で推定した値は 0.5~0.6 であったが、これが実船にそのままではまるとはいえない。ここでは沈下速度が区画の位置・大きさ・孔の位置・大きさ等でどのようにかわるかの傾向のみを知るために簡単な考察を行なった結果をのべる。

第 10 図に示すようにもとの水面下  $f$  に孔の中心があるものとする。有効な破孔面積を  $A$  とし、孔の位置で任意の時刻の吃水を  $T$ 、浸水深さを  $h$  とすると、内部の水面が孔の位置より下にあるか、上にあるかで、浸水速度がことなる。



第 10 図 浸水過渡状態

1) 破孔が浸水面より高いとき ( $h+H < T_0-f$ )

$$\text{浸水速度} = \left(\frac{dh}{dt}\right)_1 = \frac{A}{\mu B} \sqrt{2g(f+T-T_0)} \quad (17)$$

ここで

$$T \doteq T_0 + s + l_F \cdot \phi$$

$$s = \frac{\mu B h}{A_W} \quad (\text{浸水区画の幅は } B \text{ とする})$$

$$\phi \doteq \mu \beta h \cdot l_F / I_L$$

$$A_W = \text{吃水 } T_0 \sim T_0 + s \text{ に対する平均水線面積}$$

前節と同じ記号に従って

$$\left(\frac{dh}{dt}\right)_1 = \frac{A}{A_W} \cdot \left(\frac{A_W}{\mu B}\right) \sqrt{2g \left\{ f + \frac{\mu B}{A_W} \cdot h \left( 1 + \frac{A_W \cdot l_F^2}{\alpha_L \cdot L^3 B} \right) \right\}} \quad (17')$$

2) 破孔が浸水面より下になった時 ( $h+H > T_0-f$ )

$$\left(\frac{dh}{dt}\right)_2 = \frac{A}{A_W} \cdot \left(\frac{A_W}{\mu B}\right) \sqrt{2g \left[ T_0 - H - h \left\{ 1 - \frac{\mu B}{A_W} \cdot \left( 1 + \frac{A_W \cdot l_F^2}{\alpha_L \cdot L^3 B} \right) \right\} \right]} \quad (18)$$

これをといて最終状態における浸水深さ  $h_e$  と、これに対応する所要時間  $t_e$  を求めると

$$h_e = \frac{T_0 - H}{1 - \frac{\mu \lambda}{C_w} \left( 1 + \frac{C_w}{4\alpha_L} \cdot k^2 \right)} = \frac{T_0 - H}{1 - \frac{\mu \lambda}{C_w} \cdot k'}$$

$$t_e = \frac{\mu B}{A} \sqrt{\frac{2f}{g}} \left[ \frac{\sqrt{1 - k_1 + k_1 \left( \frac{T_0 - H}{f} \right)} - (1 - k_1)}{k_1 (1 - k_1)} \right]$$

$$\equiv \frac{\mu B}{A} \sqrt{\frac{2(T_0 - H)}{g}} \theta \quad (19)$$

ここで

$$k_1 \equiv \frac{\mu B}{A_W} \left( 1 + \frac{A_W \cdot l_F^2}{\alpha_L \cdot L^3 B} \right) \equiv \frac{\mu \lambda}{C_w} \cdot k' \quad (20)$$

今浸水速度の様子をみるため、浸水量と、その浸水に要した時間をそれぞれ  $h_e, t_e$  を単位としてはかるとすると次の結果がえられる。

$$\tau = \frac{t}{t_e}, \quad \eta = \frac{h}{h_e} = \text{比浸水量} \quad (21)$$

$$\tau_1 = \frac{\sqrt{1 - k_1 + k_1 \alpha \eta} - \sqrt{1 - k_1}}{\sqrt{1 + \frac{k_1 \alpha}{1 - k_1}} - \sqrt{1 - k_1}}$$

$$\eta < (1 - k_1) \left( 1 - \frac{f}{T_0 - H} \right) \quad (22)$$

$$\tau_2 = 1 - \frac{k_1 \sqrt{\alpha(1 - \eta)}}{\sqrt{1 - k_1 + k_1 \alpha} - (1 - k_1)}$$

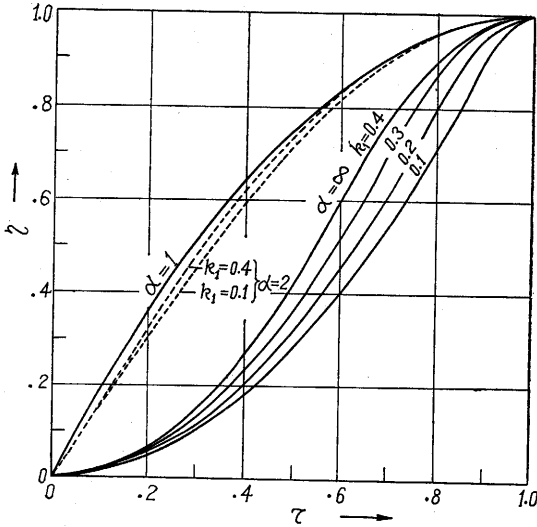
$$1 \geq \eta > (1 - k_1) \left( 1 - \frac{f}{T_0 - H} \right) \quad (23)$$

ただし

$$\alpha \equiv \frac{T_0 - H}{f}$$

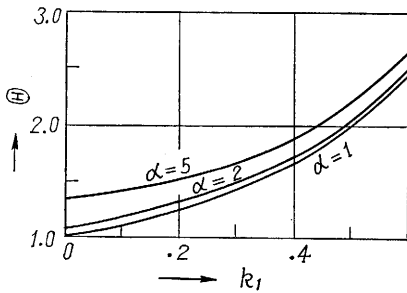
かく無次元化された  $\tau$  は  $k_1$  と  $\alpha$  のみをパラメータとして含んでいて、 $\alpha = 1, 2, \infty$  について  $\eta \sim \tau$  の関係を示すと第 11 図のようになる。これで見ると破孔が水面下深く生じたときは  $k_1$  の影響はごく小さいことがわかる。水面近くでも概略の所では  $k_1$  によって大差は生じない。もっとも破孔が上下方向にあるひろがりをもつことは予想しなければならないから、破孔をオリフィスとして取り扱った上記の計算式は、これを“せき”として取り扱うべき範囲においては妥当でない。これについては別の機会に考えたい。

この計算で  $t_e$  と船の固有横揺周期とを比較し、動的な最大横揺角とこの周期比とがむすびつかないかと考え



第 11 図 比浸水量の時間的变化

たが、浸水時には復原偶力または復原挺が大幅に変化し、船の横揺周期がこれともなって変化するので、この企ては成功しなかった。近いうちに浸水の過渡状態に関する基礎実験を行なう予定で、実験結果をまっけて再考したい。



第 12 図  $\Theta$  と  $k_1$  との関係

第 12 図は  $t_e$  の式中の  $\Theta$  を示したものである。

$$\Theta = \frac{\sqrt{1-k_1+k_1\alpha} - (1-k_1)}{k_1(1-k_1)\sqrt{\alpha}}$$

$k_1$  が 0.5 をこえると分子は一樣に増すのに分母は減るので  $k_1$  とともに  $\Theta$  は急増するが、多くの場合  $k_1$  が 0.5 をえることはないと考えられる。

$k_1$  一定として  $\alpha$  のみをかえても  $\Theta$  は比較的变化が小さい。したがって、 $t_e$  は主として破孔の大きさにできまるといってよいであろう。

結 言

浸水時の船の横安定について準静的に考えた結果をのべた。主な結論は

1. 横鈎合傾斜角の最大は 20 度程度には達すること、この状態が最終浸水深さの 0.2~0.3 倍程度でおこっていること
  2. 横傾斜は縦傾斜にくらべ、有効乾舷を大幅に減少させること
  3. 重心位置の高いことは復原性に悪影響をもつが、浸水による最終状態では一般に改善されること
  4. 区画底の高さはもっとも悪い影響をあたえ、初期復原性のみならず最終状態をも悪化させること
  5. 縦傾斜は初期復原性を若干改善すること
  6. 浸水の速度が主として破孔大きさにできまること
- 等である。以上のうち静的な実験を行なえるものについては、計測値があるが、実験条件さえみたられば当然計算値と一致すべきものであり、事実そのとおりの結果をえているので省略した。動的影響については模型船を準備中で後日報告できると考えている。

(1962 年 2 月 27 日受理)

文 献

- 1) 渡辺恵弘, 小田原勉: “船内浸水経過中に起こる最大横傾斜について” 造船協定会報第 60 号昭和 12 年 6 月。

次 号 予 告 (6 月 号)

研究面での産学協力.....平 尾 収  
 —自動車の研究によせて—

研 究 解 説

Vベルト自動変速機の変速特性.....小 笠 原 武 夫  
 プラズマロケットの研究.....長 友 信 人

海 外 事 情

米 国 雑 記.....高 橋 武 雄

研 究 速 報

ターボ過給機用ラジアルタービンとブロワーのマッチング.....水 町 長 生  
 自動車試験台上での操縦性安定性試験.....伊 藤 新  
 梅 沢 晴 二