

船の静復原力の実測

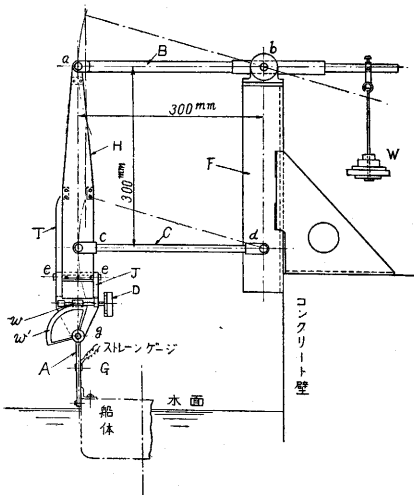
渡 辺 弥 幸・石 井 善 一

1. 緒 言

船が横傾斜したとき、これに働く静復原力（実際はモーメント）を求めることは原理としては簡単な計算であるが、かなり手数を要し、しかも精度はあまりよくない。最近では電子計算機を利用して正確な計算ができるようになったがなお欠点はある。それは横傾斜するにしたがって船の排水量の前後方向の分布が変わってくるために縦傾斜（トリム）も変化する。この変化を計算にとり入れるのは大変手間がかかるので、計算機をつかうときにもその影響を無視している。

当研究室では長さ 1.5m 程度までの模型船の静復原力を測定する装置を作り、現在までに種々興味ある計測を行なうことができた。以下に装置の概略と、実測結果の数例を示す。各種船体運動を模型実験で調べようとするときには、この装置で船のいろいろな状態における復原力をあらかじめ簡単正確に求めることができる。実測例からわかるように、大角度の横傾斜における復原力にはトリムの影響などが若干あらわれるようであり、大角度の傾斜、横揺れが問題になってきた現在、本装置を活用すべき範囲が広いように思われる。

2. 復原力計測装置



第 1 図 装 置

第 1 図に装置のあらましを示す。水槽壁に固着された 125 mm × 65 × 6~8 の溝型鋼の支柱 F と、水面に常に垂直を保つ垂直棒 H と、F と H を結ぶ上下の腕 B および C で一種のパンタグラフを類似させたものである。B の先端には平衡錘 W が懸けてある。〔腕 B、C は最初 B が 1 本の丸棒 C が 2 本の丸棒で H と F を結んであったが、トリム（船体縦傾斜）を固定するのに不十分であることが判明したので、B および C をそれぞれ 190mm × 177 × 15 の板に

かえ、トリムモーメントによる H の傾斜を無くするように改良した〕。

abcd は平行四辺形で H は常に F に平行、すなわち水面に垂直に移動し得る。H の先に軸 e-e で J が吊り下げられており、J にウォーム w がついている。傾斜腕 A に船体がつけれ、A の一端にはウォームギヤ w' が切っており、w と噛み合っている。w の軸にダイヤル D がついていて、これを回転することにより軸 g のまわりに船体を任意の角度に傾けることができる。また J には指針 T がついており、T は e-e を軸として、回転できて、船の縦傾斜が T によって示される。A は船体の横傾斜により、復原モーメントに等しい曲げモーメントを受ける。この A にはストレインゲージ G が貼ってあり、G より静的歪計に接続し、各傾斜角ごとに歪を測定する。この歪を直ちに復原モーメントに換算できる。

この装置の船体に与え得られる傾斜角度の範囲は、 $-15^{\circ} \sim 105^{\circ}$ までで、読取りの精度は 0.2° である。復原モーメントは、 $0 \sim 150 \text{ kg-cm}$ が測定可能である。

この装置の特徴は、H の上下自由動により船体を傾斜させても、常に排水量を一定に保つことができること、J が H に回転自由のため、船体の前後非対称によって生ずるトリムを自由に許して、復原モーメントを測定できること、また逆にトリムを固定しての測定も可能なことである。

第 1 表 模型船主要寸法

| | 貨客船 U 丸 | M. 12 | M. 13 |
|--------------------|---------|--------|-------|
| 垂線間長 L_{pp} (cm) | 120.0 | 120.0 | 120.0 |
| 型 幅 B_m (cm) | 19.6 | 20.0 | 22.0 |
| 型 深 D_m (cm) | 9.05 | 11.815 | 12.67 |
| 型 吃 水 d (cm) | 6.47 | 6.22 | 7.05 |
| 排水量 Δ (kg) | 7.69 | 7.18 | 8.80 |

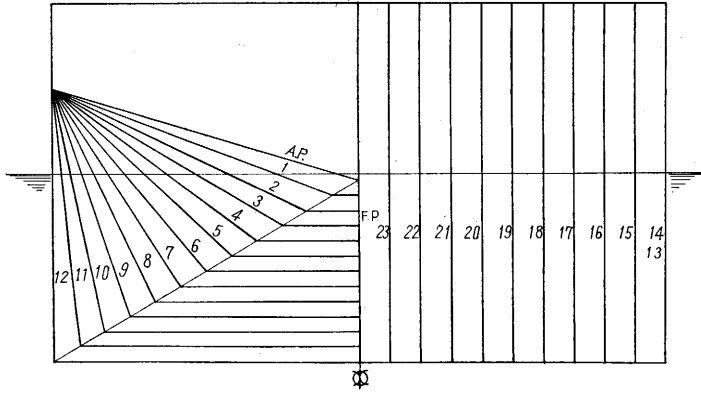
第 2 表 模型船実験状態

| | 貨客船 U 丸 | M. 12 | M. 13 |
|---------------|---------|-------|-------|
| KM (cm) | 9.86 | 8.123 | 10.80 |
| KG (cm) | 5.181 | 4.769 | 4.82 |
| GM (cm) | 4.679 | 3.354 | 5.98 |
| Δ (kg) | 7.69 | 7.18 | 8.80 |
| d (cm) | 6.47 | 6.22 | 7.05 |

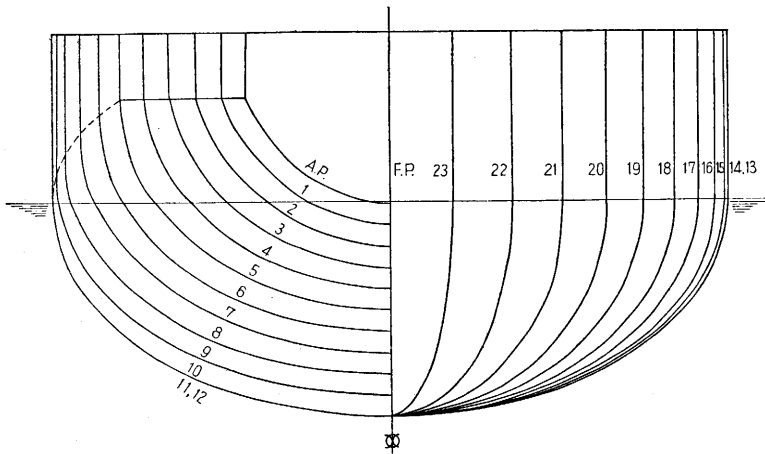
3. 復原力の計測

(1) 供試模型

模型の主要寸法を第 1 表に、実験状態を第 2 表に示す。M. 12、M. 13 の正面線図を第 2 図 (a)、(b) に示した。



(a) M. 12 正面線図



(b) M. 13 正面線図
第 2 図

第2表の数値は各模型とも上甲板以下の値で、すべて等吃水における値である。この数値を基本状態とした。ただし KM は船底からメタセンターまでの高さ、 KG は同じく重心までの高さ、 $GM=KM-KG$ である。なおすべての模型において梁矢は零としてある。

(2) トリムの影響

通常の復原力計算では船体の横傾斜に伴うトリムを無視している。実際には前後方向の排水量分布が横傾斜にしたがって変化し縦方向にも傾斜を生ずる。これによって復原力がどのように変わるかを調べるために、トリムを自由にした計測と、固定した計測とを行なった。同時に垂直に浮かんでいるときのトリム——初期トリム——の影響も調査するため、初期トリムを3種類に変えて実験した。船の状態は KG 、 Δ のみ第2表に一致するが、

第 3 表

| 模 型 | トリム 角 | $GM(\text{cm})$ |
|-------|---------------|-----------------|
| M. 12 | 0.8° by bow | 3.30 |
| | 0.9° by stern | 3.45 |

GM 等は第3表に一括示す。実験結果を第3~5図に示した。復原モーメント M とし、 M のかわりに $GZ \equiv M/\Delta$ で表わしてある。

第3図の M. 12 は特に前後非対称であるために、トリムが非常に大きくなっている。even keel, by bow, by stern とともにトリムは同じであるが、 GZ 値はトリムを固定したときの方が大きくなっている。トリムを固定することは、従来の計算方法に相当し、結局計算値が非安全側になる。なお上部構造〔船首楼 (20cm×8×5)、船橋楼 (35×20×5)、甲板室 (35×12×5)〕の3個を付けると、 GZ 値の差はさらにはっきり出ている。(ただしこのときも船は基本状態で実験した。)

上部構造なしの場合トリムはほとんど3状態とも同じであるが、 GZ 値では by stern, even keel, by bow の順に小さくなっており、 GM の大小がそのまま大角度の復原性に現われている。

第4図の U 丸は甲板室 (20cm×15×5) 3個を、上甲板に付け Δ 等は第2表に一致させた場合である。この図には甲板室を 0, 1, 2 個の場合(トリム自由)も示した。この船型もトリムは非常に大きく、傾斜角 90° で 6°

もあり GZ 値の差は甲板室1個付けた場合の GZ の増しと同等程度に達する。ここに示さなかったが、トリムの変化が 2~3° の小さい船型では GZ の変化も無視できる程度であった。

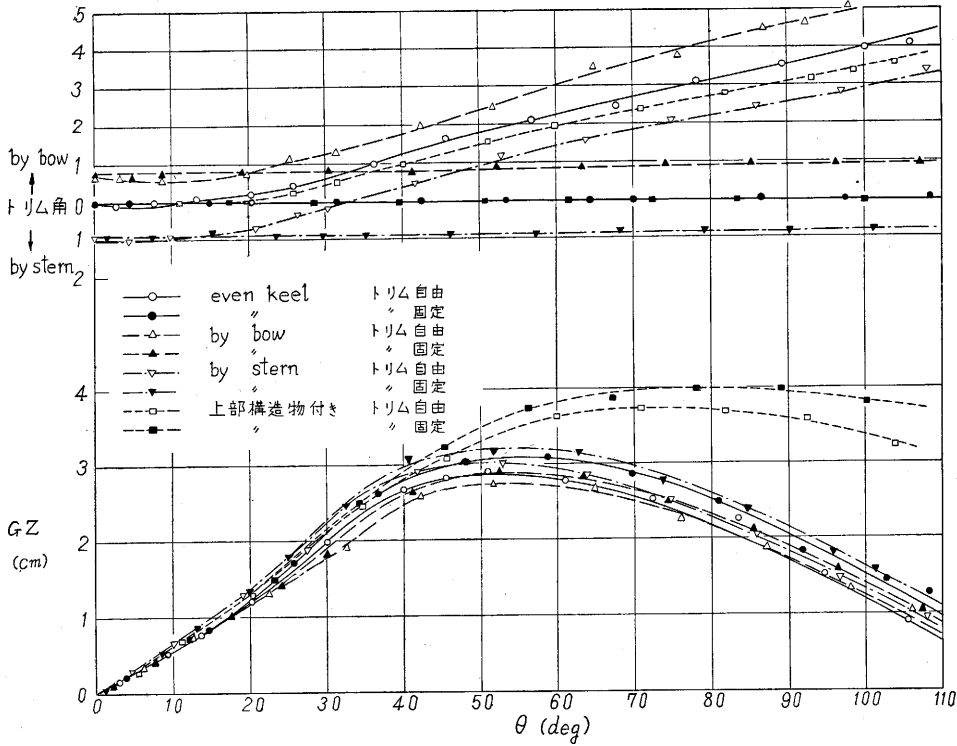
以上の結果から

- 1) 横傾斜によって大きなトリムのつく船型では、計算による復原モーメントが、過大に出るおそれがある。
- 2) 初期トリムの影響は GM 値の差を別にすればあまり大きくないこと。

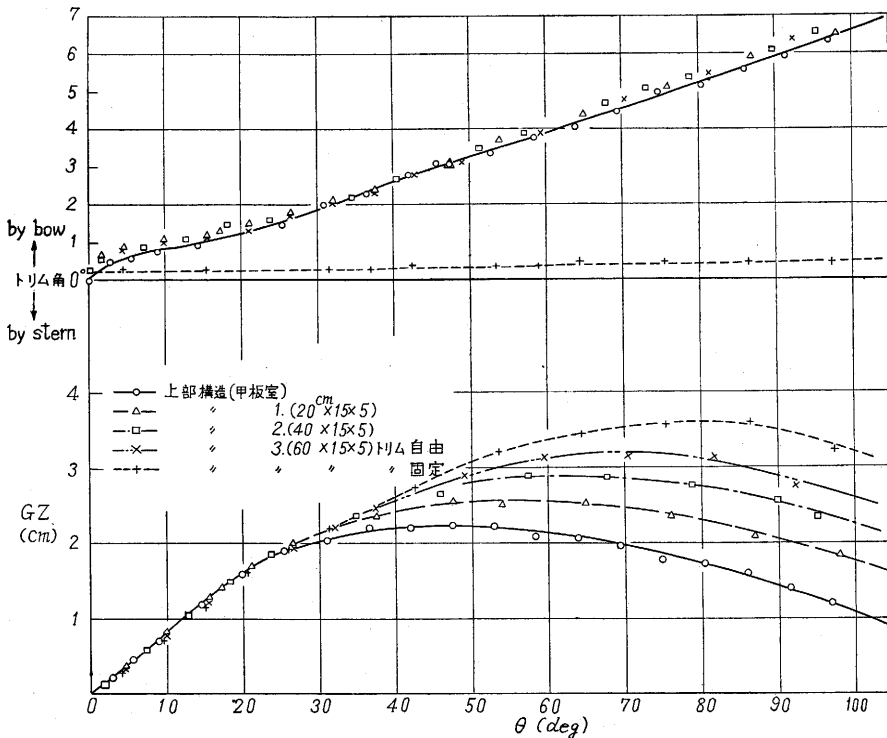
がわかるが、トリムの影響はだいたい 50° 以上の大角度から現われているので、これが海水流入角を越える場合は問題にする必要が少ないと思われる。なおトリム量については推定法を考える必要があるが、だいたいにおいて横傾斜とともに増す傾向にあるので、90° 横傾斜時のトリムを推算するか、もっと簡略にはそのときの浮心の前後位置を求めることによって、おおよその見当がつけられるであろう。

(3) 上部構造の影響

上部構造が付加されると、 KG 、排水量等が変わると



第 3 図 トリムの影響 (M.12)



第 4 図 上部構造物の長さの影響 (U丸)

考えられる。しかしこの実験は実船に存在する上部構造物を計算上有効ならずと考慮して省略した場合に比し、こ

れを省略しないと
きの GZ の増し分
を調べるために行
なっている。した
がって上部構造物
の有無にかかわら
ず船の状態は特に
ことわらない限り
第 2 表に示す通り
である。

a) 長さの影響

実験結果を第 4 図
に示す。上部構造
物の大きさは、
20cm×15×5 の甲
板室で、これを 1、
2、3 個付けた場合
をあわせて示して
いる。トリムはほ
とんど一致してい
るが、長さを増し
てゆくと、GZ の
最大値 (GZ_m) も、

復原力が消失する角度
(θ_c) も増大する。甲板
室が水に没し始める角
度が約 30° からであり
GZ の増し方は長さに
比例しない。

b) 位置の影響

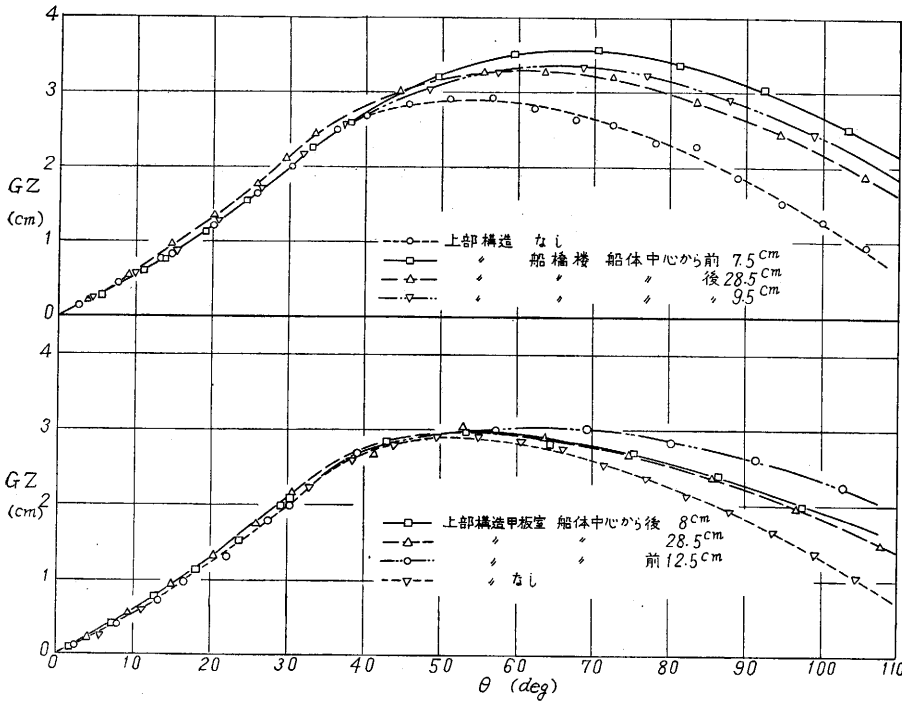
結果を第 5 図に示す。図
中距離は上部構造物
の中心と船体中心との距
離である。下は甲板室、
上は船橋楼である。ほ
とんど位置による GZ
の差はないようである。

c) 幅の影響

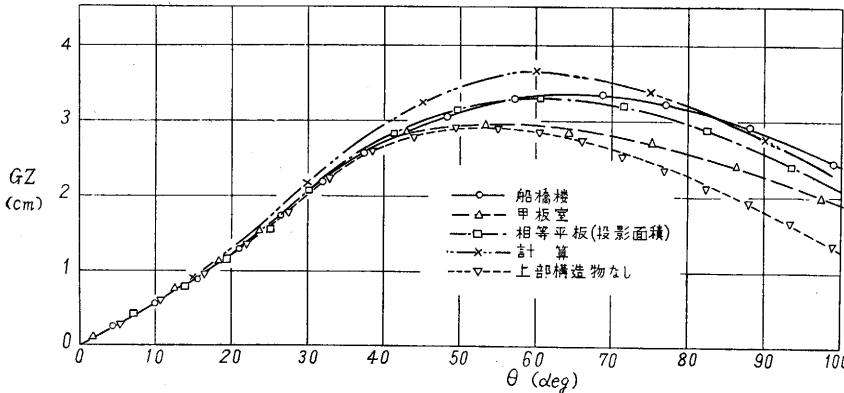
上部
構造物の長さを一定に
し、幅を変えて GZ に
あらわれる差を求め
た。結果は第 6 図に示
されている。模型船は、
M.12 で、図中○印が船
橋楼 (幅 20cm)、△

印が甲板室 (幅 12 cm) である。

横復原力には幅の影響が至大なることがわかる。幅が小



第5図 上部構造物の位置の影響 (M.12)



第6図 上部構造物の幅の影響 (M.12)



| 模型 | S_F (cm) | S_A (cm) | t (cm) |
|------|------------|------------|----------|
| M.12 | 4.3 | 2.4 | 0.7 |
| M.13 | 3.2 | 2.0 | 0.8 |
| M.13 | 4.8 | 2.8 | 0.8 |

第7図 舷弧付き板

が無効とみなせるか等についてはなお検討を要する。

(4) 舷弧の影響

第7図に示すような舷弧付き板をのせて実験した。結果は第8図に示した。下は M.12, 上は M.13 である。M.13 の平板は相当平板でなく、第7図に示した t に相当するものである。したがって \square 値, ∇ 値からそれぞれ \triangle 値を差し引けば、純然たる舷弧の影響がわかる。M.12

さいと、効果の生ずる角度もおくれ、復原力の増加も小さい。全幅の何割以下

(1) 式で、 F_1 等は傾斜角 θ の函数として与えられており、 r は浮心とメタセンターとの距離、 m は本論文における GM である。 a, b は加納²⁾の方法で近似した。その結果は第6, 8, 9 図に示しておいた。各図とも \times 印が計算値である。

第6図の船橋楼は、トリムの影響を考えねばほとんど一致する。しかし甲板室は明らかに過大評価である。第8図の下は M.12 の舷弧であるが、非常に良く一致している。第9図は、上部構造物の容積を平板に置換したものと、計算値との比較である。同図下の甲板室は、やはり幅の影響が大ききいていてあわない。同図上は船橋楼で、容積相等と、投影面積相等とを、あわせて示したが実測値はいずれも大差なく一致している。なお計算値は若干大きくでている。船橋楼のようにその幅が船幅

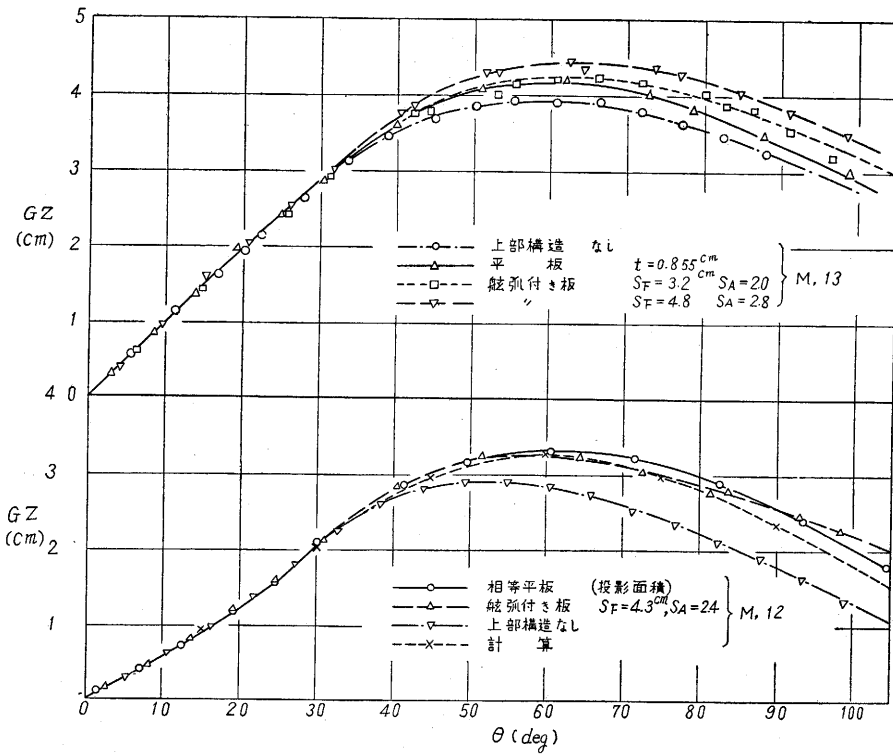
ではトリムの影響が大きかったため、 GZ_m, θ_r ともに大きくなる。M.13 においても舷弧の影響は明らかであるが、M.12 に比し大きな舷弧を与えたわりには、 GZ の増しが少ない。これはトリムの影響が少なかったためであろう。

(5) 有効乾舷と略近公式

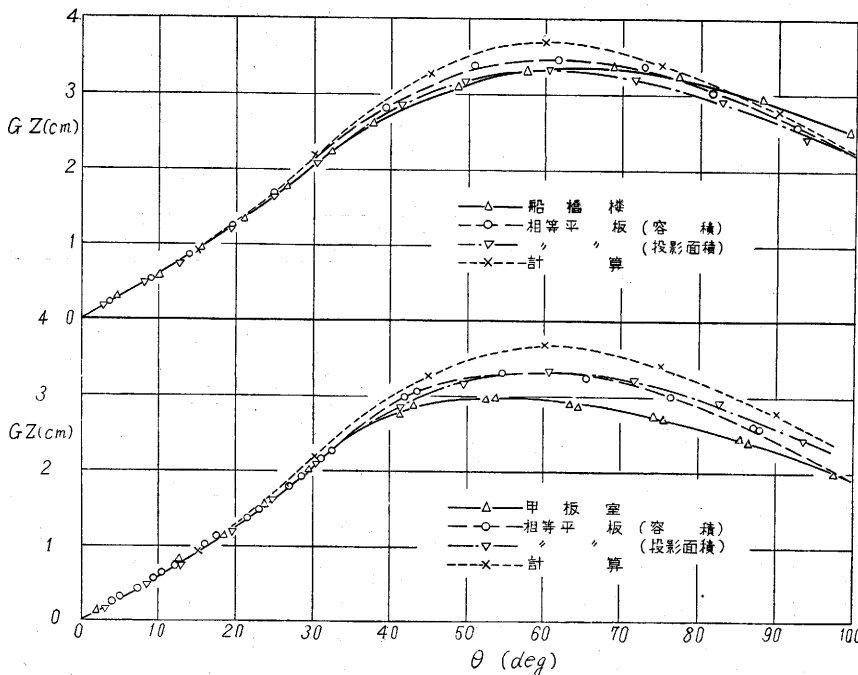
従来復原力曲線 (GZ 曲線) の略近式においては、上部構造物、舷弧等は、その投影面積が等しく、長さが船の上甲板の長さ等に等しい均一構造物でおきかえている。この構造物の高さを船の乾舷に加えたものを有効乾舷と称する。この考え方が成り立つか否かを実験的にたしかめるために、前記の構造物等を均一厚さの平板 (平面形は上甲板に等しい) でおきかえて復原力を計測した。またこれに対応する GZ を渡辺¹⁾の略近公式

$$GZ = F_1 a + F_2 b + F_3 r + F_4 m \dots (1)$$

から計算して、これをもとの実験値と比較した。ただし



第 8 図 舷弧付き板の影響



第 9 図 略近法 (実験, 計算) による値 (M. 12)

に等しいものでは容積相等の有効乾舷が投影面積相等のそれより大きいから、安全側を見て後者をとる方がよいであろう。

以上の考えから有効乾舷の考えは船の全幅にわたる構

造物についてはトリムの影響を無視する限りかなり実際に近いものといえるが、甲板室等では明らかに計算が過大に出る。

4. 結 言

以上の実測からつぎの諸点が結論されよう。

1. 復原力計測装置は非常に確実に作動し同じ実験を再三行なってもほとんど同値に計測できた。トリムも必要なときは十分固定できることが判明した。

2. M. 12, U丸等、前後非対称が大きく横傾斜によるトリムのはなはだしい船では、トリムによる GZ の変化は必ずしも無視できない。初期トリムの影響は GM の差を別とすれば小さい。

3. 上部構造物の長さを増せば GZ 値は増す。しかし増し方は、一様ではない。位置の影響はあまりない。幅の影響は大きく船橋楼のように全幅にわたっているものに比して、甲板室の効果はきわめて小さい。

4. 舷弧は上と同じ意味で復原性を良くする。

5. 上部構造物を有効乾舷で置きかえる方法は、船橋楼のような全幅にわたっているものは、容積でも、投影面積でもほとんど一致する。甲板室は完全に過大評価になる。

6. 渡辺の近似式に、加納の方法を取り入れての近似計算は、トリムの影響を無視すればほぼあっている。(1960. 9. 3)

文 献

- 1) 渡辺恵弘: 造船協会雑纂 (昭. 14), 16
- 2) 加納正義: 造船研究協会第 43 部会第 2 小委員会資料