

水雷艇友鶴の転覆事故に関する考察

正会員 小嶋 良一*

A Consideration on the Capsizing Accident of Torpedo Boat Tomozuru
by Ryoichi Kojima, Member

Key Words: Tomozuru, Torpedo boat, Capsize, Stability, Broaching-to

1. 緒言

水雷艇友鶴は昭和9年3月12日未明、佐世保港外で姉妹艦千鳥と共に夜間訓練を実施した後、佐世保に帰航の途中荒天に遭遇し午前4時過ぎに消息を絶った。同日午後転覆漂流中の友鶴が発見されたが艇長以下100名の殉職者を出した。海軍では野村吉三郎海軍大將を委員長とする本転覆事故に対する査問委員会が発令され、その原因及び背景を究明した結果、風波の衝撃を受けて大傾斜を生じた際、復原力不足のため転覆したものと結論付け、艦艇全般について復原性能を速やかに改善する必要がある旨の査定書が提出された¹⁾。

これを契機に艦艇における復原性能の改善が図られたのであるが²⁾、友鶴の転覆原因については「不十分な復原性能」ということ以上に詳細な検討はなされて来なかったように思われる。

本論文では、以下のような手順で残された資料から転覆の原因を推定することとした。

- (1) まず残されている友鶴の図面から船体形状を仮定して排水量およびクロスカーブ計算を行う。
- (2) 計算された復原性に関連する諸値が事故当時のそれらに近いか否かを評価する。差異が大きければ船体形状を調整して(1)の計算を繰り返す。
- (3) 上記差異が十分小さくなった船体形状をもって、事故当時の復原性能を評価し、転覆事故について考えられる原因を検討する。

2. 友鶴の船体形状の推定

Fig.1 に友鶴の一般配置図を示す³⁾。

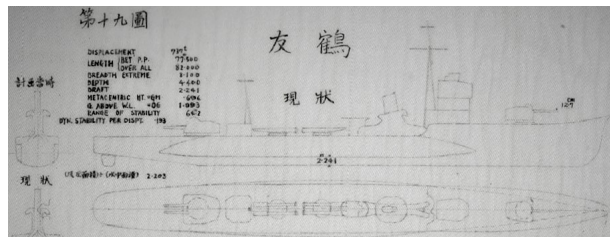


Fig.1 General arrangement of Tomozuru

主要目は以下の通りである。

全長 (Loa) : 82.000m

垂線間長 (Lpp) : 77.500m
幅 (B) : 8.100m
深さ (D) : 4.400m
吃水 (d) : 2.241m
メタセンター高さ(GM) : 0.696m

なお、上記吃水やメタセンターの値は公試状態と見られ⁴⁾、事故当時もその状態に近かったとされている⁵⁾。船体形状の検討にあたっては、千鳥の一般配置図⁶⁾やインターネット情報⁷⁾も参考にした。

得られた Body plan を Fig.2 に示す。なお、排水量等の計算用であるためフェアリングは行っていない。また船体中央船側部のナックル点(突起部)はバルジである。

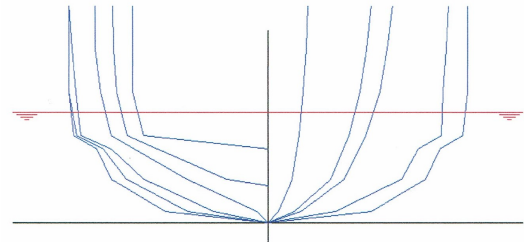


Fig.2 Assumed body plan of Tomozuru

Table 1 Hydrostatic properties obtained by assumed body plan

	A	B
Draft (m)	2.241	2.241
Displacement (t)	738	737
Trans. metacenter above base line, KM(m)	4.04	4.03
Center of gravity above base line, KG(m)	3.334	3.334
Trans. Metacentric height, GM(m)	0.706	0.696
Maximum GZ (m)	0.349	0.283
Stability range (deg)	63.4	64.2
A: Calculated results by assumed body plan		
B: Actual hydrostatic properties		

Table 1 に吃水と重心高さ KG が等しい状態で、Fig.2 の Body plan をもとにして計算した復原性関連諸値の結果と実際のそれら²⁾を比較して示す。GZ の最大値以外の値はよく一致しているとみられる。後述する復原力曲線ではこの部分を修正して検討することとした。

3. 転覆事故の経緯及び諸環境条件

海軍の関係資料⁸⁾から転覆事故の様子をまとめてみる。昭和9年3月12日の佐世保鎮守府司令長官発海軍大臣宛電報によると同日午前3時25分に大立島南方における

* 関西設計(株) 顧問

原稿受付 令和3年3月12日

公開日 令和3年5月24日

春季講演会において講演 令和3年5月31日, 6月1日

©日本船舶海洋工学会

海上訓練を終え佐世保に帰航中の千鳥は、午前4時頃、大立島の180度10海里付近で友鶴を見失ったとしている。これによると遭難地点はFig.3に示すとおりとなる。

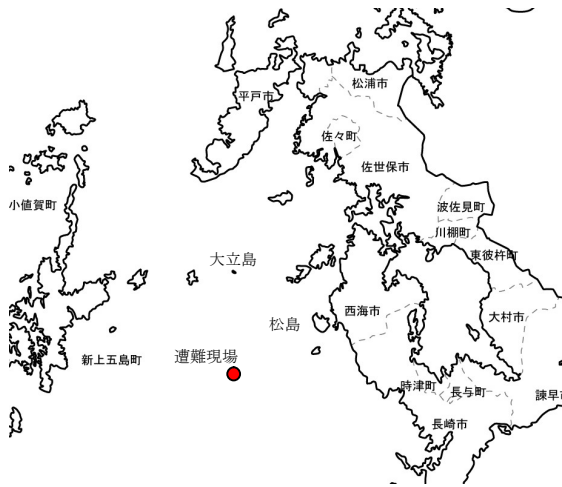


Fig.3 Capsizing point of Tomozuru

一方、事故調査にあたった現地佐世保から軍務局長宛の電報により以下の情報が得られる。

- ・友鶴は千鳥の後方約500mを航行していた
- ・午前4時頃、千鳥は進路60度、速力9ノットにて取舵転舵針路30度に変針しようとしたが、風圧のため回頭不可能であったので、面舵に転舵し速力12ノット次いで14ノットとして、新針路45度に定針しようとした時点で、午前4時16分ころまでは確認できた友鶴を見失った (Fig.4 参照)。
- ・友鶴の生存者によれば、遭難前艇内に浸水した様子はなく、急に約180度転覆したようである。
- ・友鶴入渠後、実測したところによると舵角は32.5度であった (筆者注：取舵か面舵かは不明)。

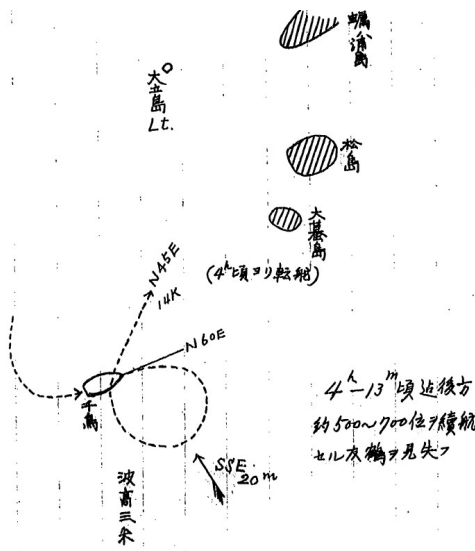


Fig.4 Trajectory of Chidori cruising about 500 – 700m ahead of Tomozuru

このほか昭和造船史⁵⁾によると事故当時の友鶴の状況が以下のように伝えられている。

- ・風向は南南東、風速は15~20m/s

- ・視界は2~3km
- ・波高は大小混在したが3~4m
- ・波向きは概ね風向と同じ
- ・事故当時の友鶴は概ね公試状態と同じ
- ・速力は14ノット、針路は北30度東
- ・風波を右約130度より受け取(あて)舵18度で直進
- ・左に大傾斜をなし、そのまま転覆

なお、500m先を航行していた千鳥は、後方より波を受けた際、動揺は一般に20程度で、時々大動揺を生じ左舷最大39度に達したと報告されている。

以上の情報をもとに事故当時の風の状況を推定した結果をFig.5に示す。前進船速を14ノット(7.2m/s)とし、相対風速を平均的に17.5m/sとして検討したところ、絶対風向風速は、それぞれ北より174度、22.8m/sとなった。

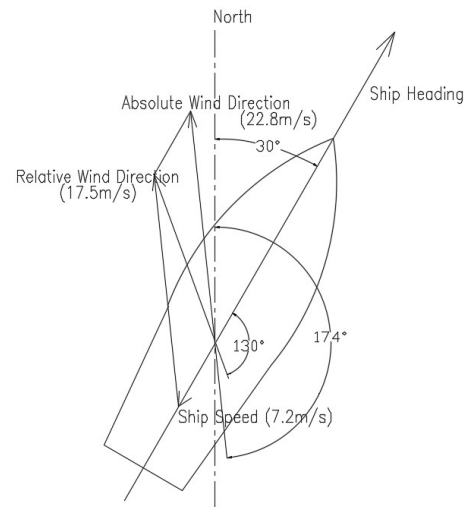


Fig.5 Wind condition at capsizing condition

波については平均的に有義波高3.5mとして波向は絶対風向と同様北から174度より入射すると仮定して以下検討する。

4. 事故の原因推定

4.1 風荷重の推定

船体に働く風圧力を文献9)に従って計算する。それによれば、(1)式に示す通り、船体に作用する風圧抵抗係数、風圧モーメント係数は相対風向 θ を変数とする三角級数で表され、その三角級数の各係数 C_{xi} , C_{yi} , C_{mi} は水線上船体形状を表すパラメータ、 Ay/L^2 , Ay/Ax , Xg/L , L/B の回帰式で表せられる。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} C_x &= R_x / 0.5 \rho A_x W^2 \\ C_y &= R_y / 0.5 \rho A_y W^2 \\ C_m &= 10 \text{ m} / 0.5 \rho A_y L W^2 \\ C_x &= C_{x0} \cos(\theta) + C_{x1} \cos(\theta) + C_{x2} \cos(2\theta) \\ &\quad + C_{x3} \cos(3\theta) + C_{x4} \cos(4\theta) + C_{x5} \cos(5\theta) \\ C_y &= C_{y1} \sin(\theta) + C_{y2} \sin(2\theta) + C_{y3} \sin(3\theta) \\ C_m &= C_{m1} \sin(\theta) + C_{m2} \sin(2\theta) + C_{m3} \sin(3\theta) \end{aligned} \right\} (1)$$

ここで、

R_x : 正面風圧抵抗(N)

R_y : 側面風圧抵抗(N)

m : 船体中心回り風圧モーメント(Nm)

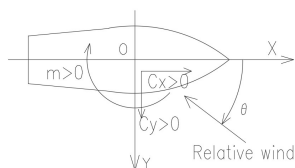
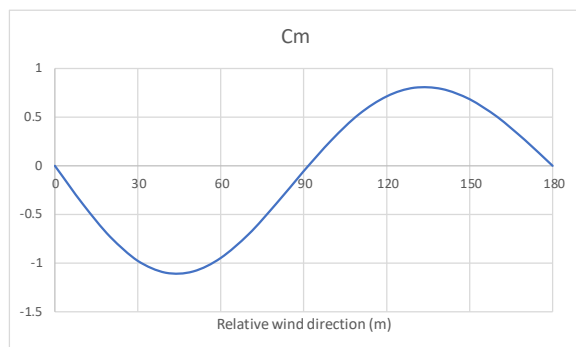
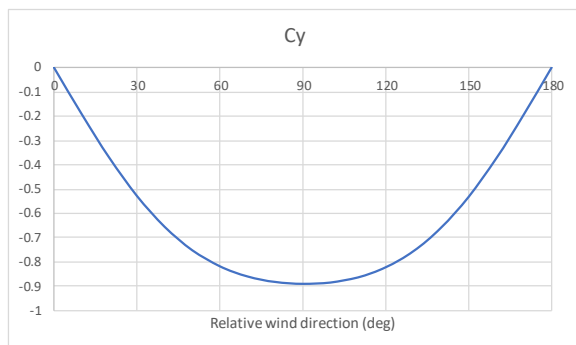
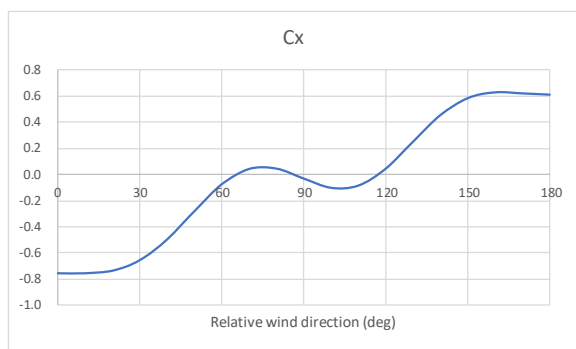
ρ : 空気密度(kg/m³)

W : 相対風速(m/s)
 L : 垂線間長(m) (=Lpp)
 B : 肩幅(m)
 Ax: 水線上正面投影面積(m²)
 Ay: 水線上側面投影面積(m²)
 Xg: Ay の図心位置の F.P.からの距離(m)
 Cxi, CYi, Cmi については文献¹⁰⁾によった.

友鶴に適用して求めた結果を Fig.6 に示す. ただし,

$$\left. \begin{aligned} Ax &= 37.5\text{m}^2 \\ Ay &= 311.1\text{m}^2 \\ Xg &= 36.3\text{m} \end{aligned} \right\} (2)$$

とした. 関連座標系も Fig.6 に示した.



Co-ordinate system

Fig.6 Coefficients of wind forces and yaw moment

相対風向 130 度, 相対風速 17.5m/s, 空気密度 $\rho = 1.25\text{kg/m}^3$ としたときの風荷重を計算すると(3)式のようになる.

$$\left. \begin{aligned} Cx &= 0.249 \\ Cy &= -0.755 \\ Cm &= 0.805 \\ Rx &= 7.2 \text{ kN} \\ Ry &= -59.5 \text{ kN} \\ m &= 371.5 \text{ kNm} \end{aligned} \right\} (3)$$

ヨーモーメント m の符号が正であるが, これは風の向きに船尾が押される回頭モーメントであることを示している. すなわち Fig.5 の図でいえば時計回りのモーメントになっており, 実際の状況は取舵 18 度のあて舵で直進していることの原因となっていることが推察される.

4.2 復原性の検討

Fig.2 および Table 1 に基づき事故当時の横傾斜モードに関する復原力曲線 (GZ カーブ) を計算した結果を Fig.7 に示す.

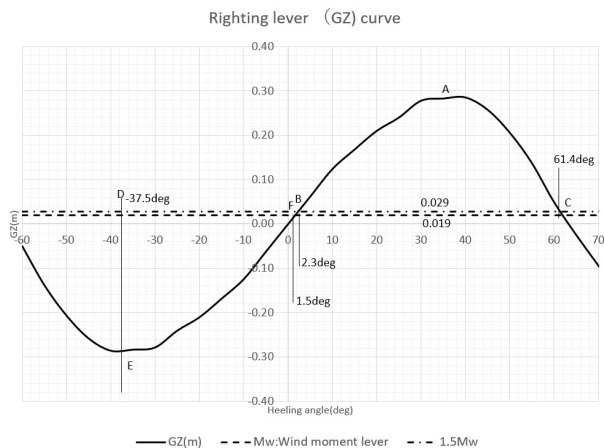


Fig.7 Righting lever curve corresponding Fig.5

Fig.7において, Fを通る直線(破線)は17.5m/sの風による傾斜モーメント(Mw)レバー, Bを通る直線(一点鎖線)は1.5Mwに対応する値である. GZカーブとの交点はそれぞれ1.5度, 2.3度となっている. 先行した千鳥の横揺れが最大39度であったという報告に基づき, F点から39度傾斜した-37.5度をD点とした. C点はGZカーブと1.5Mwのモーメントレバー直線の交点である.

船舶復原性規則の規定に準じて, 面積(ABC) \geq 面積(BDE)を条件としてチェックしてみると,

面積(ABC) = 9.7 (deg.m)

面積(BDE) = 8.0 (deg.m)

となって, 動揺を過大に見ているにも関わらず条件を満足している. 従って, Fig.5のような状態で転覆したとは考えにくいことになる.

4.3 ブローチングの可能性

事故後入渠した友鶴を計測したところによると舵角が32.5度であったとされている. 転覆は千鳥の報告から見ても直進状態で発生したと考えられ, この舵角は異常に

大きい。右回頭を防ぐために、取舵のあて舵を取ったが、舵の効きが悪く 32.5 度まで取舵操作を行ったが対応できなかったのではないかという状況が推察される。

当時は波高 3m ないし 4m であったと報告されている。

仮に有義波高 $H_{1/3}=3.5\text{m}$ とすると、対応波周期 $T_{1/3}$ は、ブレットシュナイダーに従い¹¹⁾、(4)式で求められる。

$$T_{1/3} = 3.86 H_{1/3}^{0.5} = 3.86 \times 3.5^{0.5} = 7.2 \text{ sec} \quad (4)$$

この時、最大周期 T_{max} は(5)式で推定できる¹²⁾。

$$T_{\text{max}} = 1.3 T_{1/3} = 9.4 \text{ sec} \quad (5)$$

対応する深海波としての波長 L_{max} は(6)式で求められる。ただし、 g は重力加速度である。

$$L_{\text{max}} = gT_{\text{max}}^2 / (2\pi) = 138 \text{ m} \quad (6)$$

この時、波長船長比は 1.8 である。

ところでブローチング現象発生原因として従来から言われているポイントは以下の 3 点である¹³⁾。

(1) 追波中で船体が下り斜面にあるとき、舵は波頂付近にあり波粒子速度により舵への流入速度が低下し舵効きが悪くなる。

(2) 同様に下り斜面に船体がある場合、針路不安定となり急速な横滑りや回頭運動が生じる。

(3) またこの時、波の進行方向が船の進路とある角度を有し波長船長比が約 2 倍の場合、船体中心線に対してクロスフローが生じ、波との出会い角をさらに増す回頭モーメントを発生させる。

波長船長比が 1.8 と 2 倍に近いこと、斜め後方からの追波であること、舵効きの悪い状態が続いたこと等から事故当時の友鶴がブローチングを発生する状況下にあったことが推察される。

千鳥の報告によると⁹⁾、風上側に 1 回転し辛うじて転針して保針上の見地より速力 14 ノットとしたがなお船首の振れが 45 度に及んだとある。これがヨーの角度か否か判然としないが、いずれにしてもかなりの針路不安定な状態であったことは事実であったといえよう。

以上から考えると、友鶴はブローチング現象によって右舷側に回頭運動を生じ、これを防ごうと左舷側に大きく舵を切ったが針路を修正できず、波を真横から受ける状態になったと考えられる。この時の回頭運動によって遠心力が作用し波の進行方向すなわち左舷側に傾斜し転覆した可能性がある。

一方、風外力と船体動揺に着目して、回頭したのち真横波状態となった場合の復原性をチェックしてみる。結果を Fig.8 に示す。

検討要領は「4.2 復原性の検討」と同様であるが、風向 90 度、風速 22.8m/s として計算した。このとき、

$$\text{面積 (ABC)} = 8.1 \text{ (deg.m)}$$

$$\text{面積 (BDE)} = 8.6 \text{ (deg.m)}$$

となって、面積 (ABC) \geq 面積 (BDE) の条件を満足できず、風荷重と波浪中の運動によっても転覆する可能性があることが見て取れる。

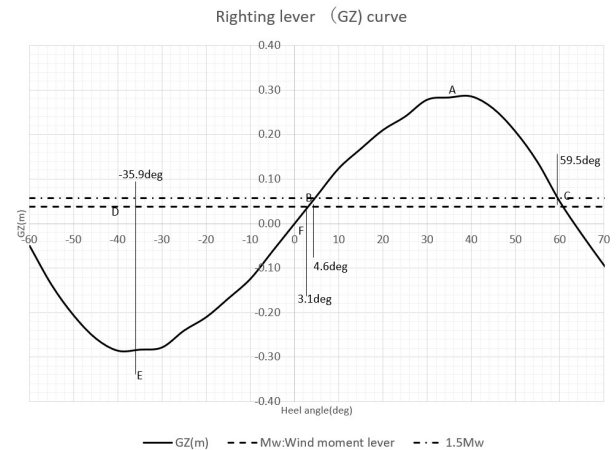


Fig.8 Righting lever curve at beam wind condition

5. 結 言

以上の検討により、友鶴の転覆原因はその回頭運動による遠心力によるものなのか、波の進行方向に直角になるまで回頭した後の風荷重と波浪中の運動によるものかは不明であるが、いずれにしても斜め追い波状態におけるブローチングが事故の発端となった原因と考えられる。

友鶴のいわゆる復原安全指数 C は、1.0 以上であるべきところ 0.483 しかなかったということで、それ以降建造される艦艇に関しては見直しが行われ、 $C=1.0$ 以上が確保されるようになったという²⁾。もちろん復原性能が良い方が好ましいのは言うまでもないが、ブローチングがその発端となった事故原因とすれば、斜め追波中で佐世保に帰還しなければならなかった操船上の問題も議論されるべきであると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 日本造船学会：昭和造船史（第 1 巻），原書房，pp.635, 1977.
- 2) 川島栄一，朝倉五郎：旧海軍小艦艇の復原性能の解析，造船協会論文集，第 95 号，1954.
- 3) 東京大学平賀譲研究会，呉市海事歴史科学館：平賀譲 — 名軍艦デザイナーの足跡をたどる，呉市海事歴史科学館，pp.103, 2008
- 4) 昭和造船史（第 1 巻），pp.639
- 5) 昭和造船史（第 1 巻），pp.636
- 6) 昭和造船史（第 1 巻），pp.495
- 7) <https://ddmlabo014.wixsite.com/ddmlabo/blank-c20yb>
- 8) アジア歴史資料センター
<https://www.jacar.archives.go.jp/aj/meta/default>
- 9) 山野惟夫，斎藤泰夫：船体に働く風圧力の一推定法，関西造船協会誌，第 228 号，1997
- 10) 同上，pp.96
- 11) 合田良實，佐藤昭二：海岸・港湾，彰国社，pp.119, 1980
- 12) 合田良實：港湾構造物の耐波設計，鹿島出版会，pp.17, 1977
- 13) 元良誠三他：ブローチング現象発生機構に関する考察，日本造船学会論文集，第 150 号，1981