



# 造船設計ノート

## 「高速艇の復原性と安定性」(1)

### 1. はじめに

当センターは今年創立50周年を迎えた。水槽試験を提供する公益法人としてのスタートであり、30年前から発行を続けているSRCニュースでは水槽試験の解説を幾度となく掲載して顧客や読者の理解のお役に立ててきたものと思っている。

しかし、最近の読者からの反応では、難し過ぎるとか、もっと平易で実用的な内容をとの声も聴くことがある。ベテランの退職と若手育成の遅れがそう言わせているのかもしれない。

国内各社の造船技術者の最近の実態を見聞きするに、各社それぞれに独立した対応をされており、総数を含め日本全体としての総力低下は否めず、採用、育成を含め将来への布石に対して心配が募っている。当センターは、この4月から総合コンサルティング事業室を発足させ、実効力のあるクラスターの形成を含め少しでもそのサポートができればと考えているが、もちろん各方面からのご協力なしにはできないものと自覚している。

個人的には造船に携わって既に半世紀を過ぎており、これまで設計、建造に携わってきた船種は数えてみれば30種にも及んでおり、それなりに設計の勘所を掴んできた積りではある。

最近の日本の造船業一般としては、生産と売上を重視するあまりか、開発研究には消極的で、小型、少規模、低採算の船種は遠ざけられて数少ない特定の船種だけが建造されてきたように感じる。それだけに、かつて先達たちが苦勞して築いてきた設計に関する基礎的ノウハウなどは後輩たちに十分に伝えられず、折角の経験が生かされずに、再び失敗を繰り返すのではないかと危惧するのは年寄りの冷や水か。すぐには役に立たないとしても教科書を見ても分からないような細かい覚書ノートも残しておいていざという時に役立つ仕組みを作っておきたいものである。私事ではあるが、かつて戦艦大和などの設計建造に携わった牧野茂、松本喜太郎、堀元美、丹羽誠一他の諸氏の晩年に接して、わずかではあるがその回顧談を聞く機会に恵まれて、それは今でも大きな心の糧として自分の中に生きている。

昨今の事象を見るにつけ友鶴事件や第四艦隊事件などの教訓は忘れられているのではないかと思うところ多々である。

日本では戦後、実務者向けの専門誌として「船の科学」や「船舶」などの雑誌が大いに役に立った。高速艇に関しては、丹羽氏が「高速艇工学」をまとめられてから、関連する文献を読み漁り、また海外の論文を手当たり次第に検索して設計資料として役に立ててきたが、今の若手はどう勉強しているのだろうか。

手元の公表可能な資料やデータに制限がある中で、旧聞にすぎるといってお叱りもあるかもしれないが、紙面を借りてわずかも次世代の理解の参考として紹介しておきたいと思う。上記の船種の中で日本には特に参考文献が乏しく技術者の枯渇が心配される高速艇について取り上げたい。加えて読者のご意見次第では

今後の掲載内容を考え直していきたいと思っている。

### 2. 高速艇船型の一般的特徴

Fig.1に示す船型はいわゆる角型であり、ビルジ部分に鋭く尖ったハードチャインを有し、喫水は浅く、船底に大きなデッドライズ角を有しており、かつ大きなフリーボードを有していることが特徴である。高速艇船型は、その船型上の特性から、一般に初期GM値が大きくなるため停止時の復原性は十分余裕がある結果となることが多い。しかし、我が国で「旅客船」の資格を得る場合、停止時の波浪中動的復原力についてのクライテリアとしては、現行の「復原性規則」に拠らねばならず、大きな初期GM値を有していてもこの要求を満たすことは容易でなく、現実問題として高速艇では沿海区域を越える「旅客船」は殆ど存在しない結果となっている。

このことは直ちに高速艇船型がこの範囲を超えた航行区域では安定性に問題があるということを示すものではなく、「旅客船」の枠に縛られない、より小型の業務艇がさらに遠洋の海域で安全に航行している事実を鑑みて、現時点では唯一の復原性判定クライテリアである現行のルールによる判定方法自体に、高速艇船型に対しては不適當な部分があるものと考えられる。

即ち、前述のように、船の長さ(L)はせいぜい約50m程度までで、長さ/幅比(L/B)は大型になる程大きい、せいぜい5.5程度である。またチャイン幅/喫水比(Bc/d)は大きく、その殆どが4.0を越え、大きいものでは6.0に達する幅広浅喫水となっている。速力は、業務艇としては競艇のように完全滑走をするものではなく、殆どが半滑走艇の領域にある。すなわち長さベースのフルード数でいえば、その大半が1.0以下の領域にある。さらに肥せき係数(Cb)は、 $C_b = \nabla / L_{WL} B_{WL} d$  ( $\nabla$ :排水容積、 $L_{WL}$ :水線長さ、 $B_{WL}$ :水線幅)についていえば、その殆どが0.3~0.5の範囲に入っている。以下、このような船型要素をもつ高速艇船型を対象としてレビューしてみたい。

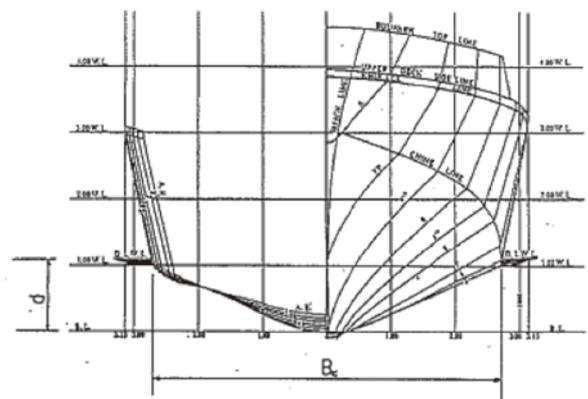


Fig.1 代表的な高速艇船型例

### 3. 高速艇船型の停止時の復原性

#### 3.1 JG復原性規則の成り立ちについて

高速艇船型といえども復原性に関するルールとしては通常型船舶の船型を元に1956年(昭和31年)12月に制定された「船舶復原性規則」が存在するだけであり、その後の細部に渡る改正がなされた現在でも基本的な内容は変わっていない。ここでは、実用的な設計に生かす為にはまずはどうして数値が規定されてきたのかを振り返り、動復原力基準の成り立ちについてざっと復習してみたい。

##### 1) 風波と動揺角の限界

低気圧風では中心域とその域外では状態が変化し、波も中心域では小さいがそこを外れると次第に成長して船に大きい動揺を起こすようになる。Fig.2に示すように基準として採用する際には、中心域と域外との中間地点が採用(風は恒常風より強いが動揺は規則波によるより小さい)された。

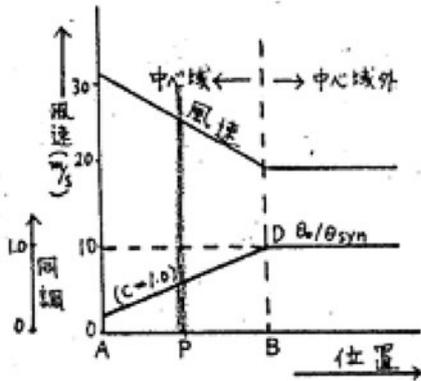


Fig.2 風速と動揺角

##### 2) 風速基準

$$Mw = 1/2 \cdot \rho C_d A V^2 H$$

$Mw$ : 風圧による傾斜モーメント

$$C_d = 1.22$$

(従来のデータから実際の風圧中心を考慮して決定)

近海以上: 26m/s の定常風および突風

沿海: 19m/s 同上

限定沿海: 15m/s 同上

$$Dw = 0.76 \times 10^{-4} A V^2 H / W$$

$$= k A H / W$$

$Dw$ : 定常風による風圧傾斜モーメントのレバー

$k$ : 風速によって定まる係数 (Fig.3)

$A$ : 直立状態時の喫水線上船体縦断投影面積

$H$ :  $A$ の中心から喫水線下の部分の中心までの垂直距離

$W$ : 排水量

航行区域	標準風速 (m/s)	k	p	q
近海以上	26	0.0514	0.151	0.0072
沿海	19	0.0274	0.153	0.0100
限定沿海	15	0.0171	0.155	0.0130

Fig.3

##### 3) 突風

Fig.4より、突風は平均として平均風速の1.23倍程度とみなして傾斜偶力矩の増加は、 $1.23^2 = 1.5$ とされた。すなわち、 $Dw' = 1.5 Dw$

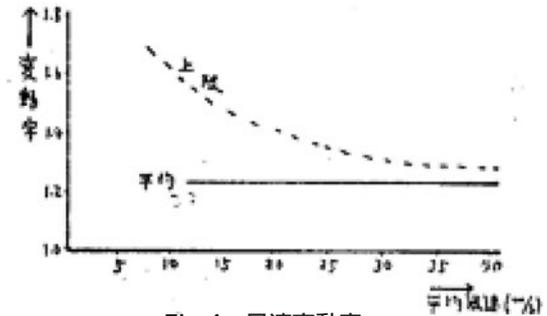


Fig.4 風速変動率

##### 4) 風波

Fig.5に示すように、第2次大戦中に行なわれた米国のSverdrup-Munkによる研究結果を使用して計算に簡便なるべく規定された。

周期が長くなると岨度は著しく小さくなるし、船の横揺れ周期がある限度以上になると横波では同調しなくなるが実際には不規則波やうねりを考えて岨度に最低限度を決めるほうが妥当であり、波の岨度:  $s$ の最低限を $1/30 = 0.035$ とされた。(Fig.5)

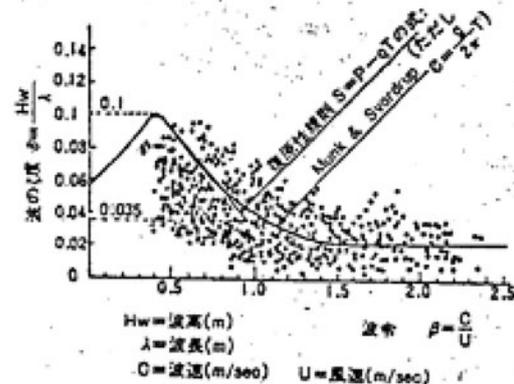


Fig.5 SverdrupとMunkの波の岨度と波令

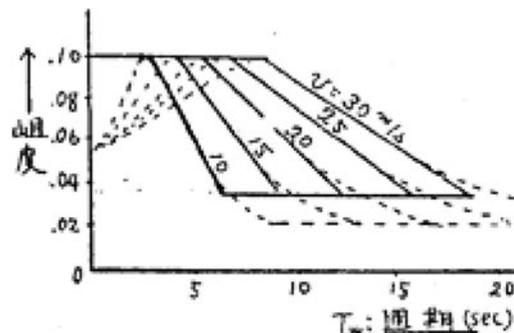


Fig.6 規則による規定

波の岨度:  $s = p - qT$  ( $p$ および $q$ はFig.3より)

$s > 0.1$ または、 $s < 0.035$ の時は

それぞれ $s = 0.1$ 、 $s = 0.035$ とする

$T$ : 波の周期 = 同調時は船の横揺れ周期 (sec)

### 5) 波浪中横揺れ角と不規則波による修正

規則波中同調動揺角：

$$\theta a = \sqrt{\pi \gamma \Theta / 2N}$$

ここに、最大波傾斜角 $\Theta$ は、

$$\Theta = 360 \times H_w / 2 / L_w$$

不規則波中の最大動揺角を考えると、ここでは、船が最も風上に傾斜した時に丁度風圧変動が1.5倍になるような突風が船の周期の半分くらいの時間持続して吹くという場合であるから、確率は極めて小さいことを考えて20~50回の横揺れのうち、最大角度を考えれば、差し支えない。

この時、最大角度 $\theta_0$ は有義波高の規則波中の動揺角度の7割となることから(Fig.7, 8)

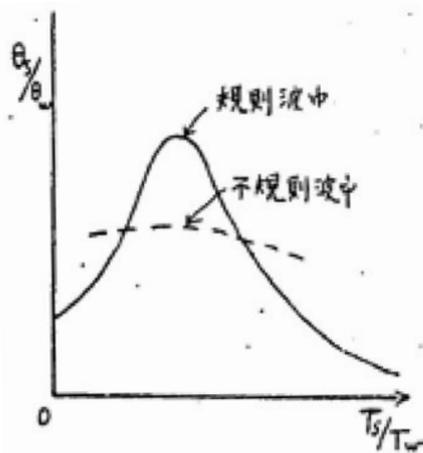


Fig.7 動揺角の変化

$$\theta_0 = 0.7\theta a$$

$$\theta a = \sqrt{138 \gamma s / N}$$

この妥当性は実船の実測値によって証明されている。

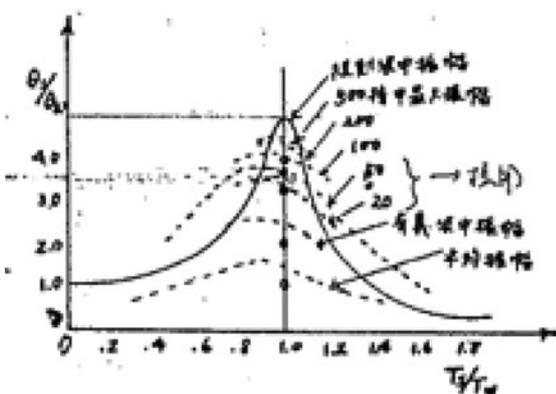


Fig.8 実船での割合

### 3.2 高速艇関連各種規則および判定基準

日本で設計建造される高速艇は、JG復原性規則、漁船規則、海上保安庁基準、防衛省設計基準、JCI規則などによって規制されて

いる。輸出船は外国規則に縛られる。ISコードやHSCコードがあるが、国内規則を上回るようなものはない。またどの基準もJG復原性規則をベースとして決められており、これを特異な高速艇船型に無理やり適用することは不適當と考えられる部分がある。とりあえず実的に困ることがなければ少数意見として改正の機運は遠のき、それに対する予算もつかないまま現在に至っている。なお世界中に特異な高速艇が次々に出てきている現状で防衛省は構造基準を中心としていよいよ改正に取り組み始めていることを紹介しておく。

#### 1) JG復原性基準

前項でその成り立ちを復習してみたが、ベースとする船型は通常の排水量型の船舶で高速艇船型の特性は考慮されていないが、現在もこの基準を適用せざるを得ない。重要なものは、通称乙基準と呼ばれるもので基本的には「旅客船」に対して適用される。「旅客船」とした場合、通常設計に於ける高速艇型旅客船は、一般に波浪中同調横揺れ角及び風圧側面積が大きく算定され過ぎ、「近海」はおろか「沿海」資格に合格することも難しいのが現状である。外国ではこの種の高速艇は多く建造されており、高速艇に対しては見直されていい状況にある。その特異性については次の号で紹介していきたい。

「旅客船」の資格を得る場合、停止時の波浪中動的復原力についてのクライテリアを満たす必要がある。

これは波浪中海面上にある船舶が波と同調横揺している状態に於いて定常風を受けて最も風上に傾斜した時、突風を受けても十分な復原力を確保できるかどうかを問題にしている。Fig.9に示すように、復原力曲線上で船が真横から受ける定常風によって一定傾斜した後、この点を中心に同調横揺し、風上に傾斜した瞬間に突風を受けて一気に風下に傾斜した場合を考え、このときの風による転覆エネルギーを上回る復原力を有することを判定の目安としたものである。

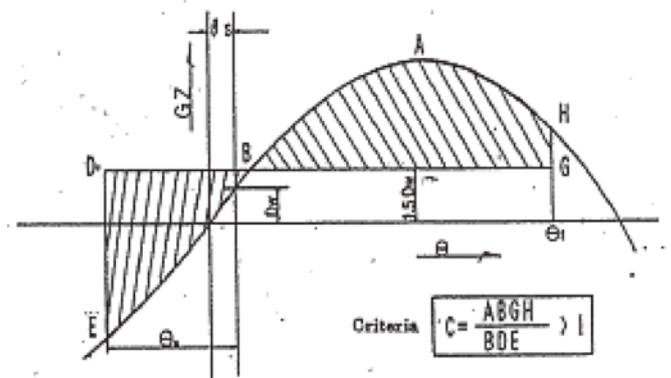


Fig.9 動的復原力カーブ

このとき図中 $C = \text{面積}(ABGH) / \text{面積}(BDE) > 1$ が安定条件となる。

## 2) 動力漁船の性能の基準

(昭和57年7月農水省告示)があり、

### ① 乾舷

乾舷 (m) =  $D/15 + 0.20$

D: 乾舷甲板までの船舶の深さ

### ② GM

GM (m) =  $B/25 + 0.54B/D - \beta$

B: 幅

$\beta$ : 乾舷と深さの比による係数

(0.881~1.095)

### ③ GZ

限界傾斜角 (12度または舷端没入角) におけるGZは  
漁具操作により生じる傾斜偶力艇以上である事。

### ④ その他風圧側面積の著しく大きい漁船に対してはJG復原性規則と同様の要求あり。

## 3) 海上保安庁復原性基準

角型船の乙基準があり、JG復原性規則と同様の内容で、N値は試験によって求められた値の採用が可能 (模型試験要領規定あり)。

## 4) 防衛省船舶設計基準

高速艇船体を対象にJG復原性規則と同様の内容の規定あり、横揺れ角度は類似艇から推定することになっている。

## 5) JCI規則

沿海以下 (5GT以上の旅客船)、および近海以上はJG復原性規則を準用。

沿海船 (5GT以上の旅客船を除く)、および平水船は、最大搭載人員によってそれぞれ乾舷に対する規定あり。

## 6) 参考となるその他の基準

### 6-1) 「復原性能の調査並びに資料作成報告書」

(昭和48年度) (財) 舟艇協会

#### ① 常時外洋で使用する条件:

$$Fm \geq 0.3B^{0.885}$$

$$GM \geq 1.5 OG$$

Fm: 中央部乾舷高さ (m)

OG: 水線と重心の垂直距離 (m)

#### ② 平穏な外洋で使用する条件:

$$Fm \geq 0.22B^{0.885}$$

$$GM \geq 1.5 OG$$

または

$$Fm \geq 0.3B^{0.885}$$

$$GM \geq 1.25 OG$$

Fm: 中央部乾舷高さ (m)

#### ③ 平水で使用する条件:

$$Fm \geq 0.22B^{0.885}$$

$$GM \geq 1.25 OG$$

または

$$0.3B^{0.885} > Fm \geq 0.255B^{0.885}$$

$$GM > 0$$

Fm: 中央部乾舷高さ (m)

### 6-2) 排水量と復原性の目安:(丹羽誠一)

$$GM \cdot Fm / OG \cdot \nabla^{1/3} > 0.95 / \nabla^{0.2}$$

## 7) 外国規則

一方、高速艇に対する国際法としては、1977年、当時のIMCO (政府間海事協議機関) が勧告の形で発行していたDSCコード (Code of Safety for Dynamically Supported Craft: A.373 (X)) が存在していたが、復原性に関しては詳細な規定はない。

HSCコード (High Speed Craft Code) が SOLAS 条約 (Safety of Life at Sea: 海上における人命の安全のための国際条約) に加えられることになり、1996年1月1日にこの改正が発効した。このコードは、現在2000HSCコードとして発行されているが、その内容は構造関係だけに留まらず全方位的に網羅されているものの、精神論的な色彩が強く実際の適用に当たっては実行上の問題点が多く、具体的には各国の規則に委ねられている。さらに復原性についても高速艇の船型の特性を考慮した適正な内容は含まれていない。

しかし、欧米各国の規則も日本の研究成果をベースとして成立したものと考えられ、基本的な考え方は同じである。

従って現在、一般に高速艇を設計するに際して復原性を判定する場合には、実行上の問題として先に述べた現行のルールである「船舶復原性規則」に拠るしかないのが実状であり、しかもこのルールでは停止時における横安定性を判定することに止まっている。

次号では、設計を進める上で注意しておくべきこととして高速艇船型特有の復原性、および航走時の安定性について述べていきたい。

参考文献:

#### 1. 国内各種規則

(JG復原性規則、動力漁船の性能の基準、海上保安庁復原性基準、防衛省船舶設計基準、JCI規則)

#### 2. 2000HSCコード

#### 3. 「復原性能の調査並びに資料作成報告書」

(昭和48年度) (財) 舟艇協会

(技術顧問 兼総合コンサルティング事業室長 鷲尾祐秀)



# 造船設計ノート

## 「高速艇の復原性と安定性」(2)

### はじめに

要請により前回から覚書に類する設計ノートを執筆することになった。もとよりベテランに対してではなく次世代を担ってくれる若人たちの役に少しでも立てばと思う内容である。従って研究論文ではないので文章もさることながら私の思い込みやミスもあるかもしれないことを念頭に置いて読んでいただければ幸いである。

ところで当センターは、国内造船業の現状に鑑みて主に設計ポテンシャルの低下を補い、先達たちの遺産の上にさらに発展させることができればと願い、昨年4月より総合コンサルティング事業室を発足させた。その趣旨(SRC NEWS 100号参照)に基づきこのところNKさんとコラボする形で国内のあちこちでの講演や造船会社等に対して直接間接のご説明をしてきたが、どこでも総論大賛成という意見を多く頂いてその方向性の間違っていないことに意を強くした。しかし、各論を具体的に発展させるに当たり、たちまち困難に遭遇することが多いのが実態でここ数年どう対処すればいいか思案を巡らせてきた。

まず私に特に危機感を抱かせる大きなきっかけとなったのは、意外に知っている人がいなかった欧米での動きであった。その中でも一つ大きく衝撃を覚えた事例を簡単に紹介しておこう。

それは、英国造船業の衰退が決定的になった頃、1985年に国家機関としてのBritish Ship Research AssociationとNational Maritime Instituteを母体として設計コンサルティング専門会社としてBMT(British Maritime Technology)が発足したことである。この英国式戦略とも思える動きにその後も随時フォローしてきたが、水槽機関を有して出発した同社は創立後なんと10年で10倍の発展をし、2017年のAnnual Reportによれば現在では従業員数は1,500人、売上高約250億円、進出国は35か国に達し、R&Dへの投資は売り上げの4%に達してまさに船舶の一生を通じた設計建造管理を含むゆるぎない総合コンサルティング会社に成長している。今やBMTに限らずその他の欧州のコンサルや船級協会はアジア諸国ならず日本国内にも攻勢をかけている実態があることは認識しておくべきである。

翻ってかつて実務で大いにお世話になった素晴らしい「造船設計便覧」を生んだ日本は、それを他国に無断でコピー活用された恨みもあってか中韓国の追い上げの中で競争への目が先んじて、その後各団体、会社は技術上とても閉鎖的になってきた。現在、韓国大手3社だけで設計陣容約1万人を擁しているのに比べ我が国の総勢1万人弱の人材は20~30社に個別分散している。団塊世代を中心とした高齢層の離職をカバーするための若年層の採

用を急いで員数を合わせてきたように見えるが、他の業種に比べて明らかに両層の乖離は開くばかりである。造船各社を下支えしてきた設計会社は、この10年で1/3に減少していて、70%が10名未満、85%が20名未満と規模は小さく専門化され、高齢化が進み総合対応力の低下は否めない。この現状で今後は先に述べたBMTのような欧米の力に頼ることなく追いつき追い越せるものが見込めるのかどうか疑問である。

造船は組み立て労働集約産業である。取り敢えず過去の実績データと道具と設備があれば、所謂太宗船についてはあるレベルにはすぐに追いつくことが可能である。中韓の造船業がその実例に他ならない。ゆえにその後を追っているインド、インドネシア、ベトナムなどはその轍を踏むことよっての成長を目指しているように見える。1隻でも実績ができれば同種のものはお手ものとなる。人材も気の利いたチームがワンギャング揃えばなんとかなる。勿論、追いつき追い越す努力、それは引き続きすべきであろう。

しかし、そうしたところで大学の造船科の数も大幅に縮小した日本はもはやBMTに追いつくことは難しいのではないだろうか。片や造船業の衰退した英国や米国の学会は艦艇があるとはいえRINA、SNAME共に依然として実務面での実力を含めその存在感は大きい事も事実である。

自動車であれば、中国はガソリン車でのエンジンの開発に追いつこうとするのを諦め、一足飛びに構造の簡単なEV車に方向転換した。気が付けばこの分野での日本の立ち遅れは明らかである。要するに競争社会で生き抜くためには、内外を見つめて戦略的に手を打つタイミングというものがある。ここまで来れば日本の造船技術の維持と発展を強固なものにするためには要するに過去と同じ轍を踏むのではなく異なるパラメータの上での勝負を試みる必要があるのではないか。そこで色々考えた挙句に次の手しかないのではないかと考えるようになった。

当センターは、国内の優に4,000隻近い実船として建造された実績のある船型データを有しており、約10年前からこれらを整理、無次元化してデータベース化し、ニューラルネットワークや遺伝アルゴリズム手法を用いて船型中心の開発システム「SRC Tips」を完成させた。これを活用すれば船型のずぶの素人でも取り敢えずパソコンを使って実績に裏付けられた最先端の性能を持つ船型を瞬く間に創生することが可能となる。同時に当センターの研究で水槽試験に対しても6mクラスの模型試験は「京」を使えばCFDで十分代替が可能なが示されている。

要するに経験上示された轍をそのまま踏むのではなく船型だ

けでなく設計各パートでこれと蓄積されたビッグデータを使って同じことをシステムとして構築すればベテランの指導や教育を待たずして次世代の設計者が先達の到達レベルの設計まですぐに追いつくことが可能になるのである。

今時ディープラーニングを使用したAIなどは急速に発達しつつある。勿論その採否は人が行うのであるが、構築されたデータベースを用いた設計にAIの機能を発揮させてさらに先をいくアイデアを提案することも可能であろう。国内で培われた設計ポテンシャルを集約して例の設計便覧的なデータベースとシステム構築をするメリットは計り知れなく、過去実績のある船種に対しては苦勞なく到達点に達することができる。一言で言えば「造船設計便覧」の見直しと最新システム化である。そうして過去見えてこなかった新しいものに目を向ける余裕をもつことができる。勿論実現にはかなりの関係者の同意と時間とコストがかかるが、引き続き造船技術を維持発展させていく積りであれば、目前の手間賃仕事に甘んじることなくコスト上からもすぐにも手を付けるべき課題ではないだろうか。

後に続くものは過去の歴史を紐解き由って来たる由縁を学ぶべきことは言うに及ばない。中世日本歴史上の真の意味での「百姓」が待望される。若者はダイバーシティを目指さなければならない。国内で要素技術に先鋭化された技術者以外に真の意味での Naval Architectが育成されなければならないと思うのであるが。今後はこういうノートも目的を同じくしてデータベースの一環として設計システムの中の特記データとして組み込まれることが望ましい。データベースを制する者が全てを制す時代となる。

前回は主として復原性規則の成り立ちと考え方について観てきたが、考え方の基本になった船型は排水量型で高速艇船型とはずいぶん異なるものである。これをそのまま適用することで果たしていいものか、手元にあったデータ解析結果を見ながら考察していくことにしよう。要するに設計を進めるに際しては、規則や過去の轍を踏んでいくだけでなく、常に問題意識をもって沸いてくる疑念と立ち向かいつつ歩みたいものである。

## 1. 高速艇船型の横揺れ減衰性能

停止時の横揺れ減衰性能を考える場合の表現法として現行の判定法で使われている Bertin の表現によるいわゆる N 係数(ここでは以下 N 値と呼ぶ)を使用する場合を考えることにする。現行ルールによる判定法で使用される N 値には、ビルジキールを有する通常船型の船舶では 0.02、その他の船舶では管海官庁の定める値を用いることがルールに明記されており、これ以外の値を用いる場合にはそれなりの計測を行うか、または相当の根拠を示す必要がある。しかし、実際には個々船を設計する際に中々このようなことは難しいので、通常 0.02 の値がそのまま用いられることが多く、ハードチェーン型高速艇についてもこれに倣うことが一般的である。

しかし、実際の艇で経験される波浪中同調動揺角の絶対値は、現行の判定法で用いられている算定式で得られるもの程大きくならないようである。

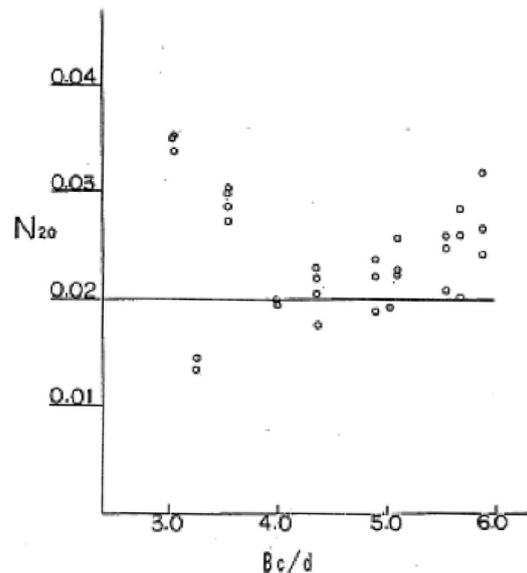


Fig.1 静水中のN値

静水中の高速艇船型による模型試験の結果を平均横揺角 20 deg の N 値について整理してみると Fig.1 のようになり、大半は 0.02 よりは大きいことが窺える。

そして喫水 d に対してチェーンの幅 Bc が大きい程、N 値も大きくなる傾向にあり、概ね 0.02 から 0.03 の間に存在している。また丸型船型のビルジの形状は丸く、それに比べてここで対象とするハードチェーン船型ではビルジ部分はチェーンの存在によって角張っており、チェーンは横揺性能に関して一般船舶のビルジキールに相当する役目も果たすものと考えられ、その取付高さや深さによって N 値にも大きな影響を及ぼしているものと思われる。

チェーンの取付角の影響を見るために、L=26m、B=6.3m、D=3.0m、d=1.12m、Bc/d=5 の標準的な高速艇船型に対して模型試験を実施した結果を整理してみると Fig.2 が得られた。なお、この場合に用いた模型は実船に対して 1/25 縮尺のものである。

この図から水平線に対するチェーンの取付角  $\theta$  が 0 (ゼロ) に近くなれば N 値は増大する傾向をみせ、45 deg を越えると余り差は出ていないことが分かる。なお、 $\theta$  はチェーン材が、水平線とのなす角度を表している。尚、本試験はチェーンの船体後部没水部分のみに対して実施したものであり、取付部分の没水深度は喫水の 10% 程度である。

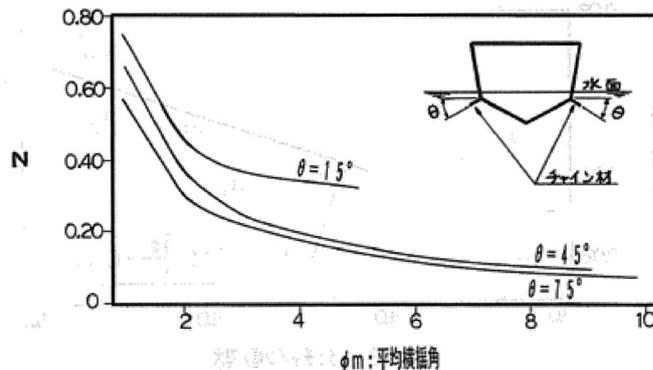


Fig.2 チェーン取付角によるN値

## 2. 停止時の波浪中減衰性能

静水中での横安定性に対しては動的復原性の判定が問題になるが、それには波浪中での同調動揺角が問題である。高速艇の場合、乗員や設計者の間では実際と同調動揺角は一般船型で用いられている下記に示す現行ルールによる算式で求められる値より現実にはかなり小さいと言われてきた。

$$\theta_0 = \sqrt{138\gamma s/N}$$

$$\gamma = 0.73 + 0.6 \times OG/d$$

ここに、

OG: 直立状態時の重心から水線面までの垂直距離(m)

d: 鋼船ではキールの上面から測った平均喫水

s = p - qT

T: 横揺れ周期(sec)

すなわち、N値の大きさは $\theta_0$ の大きさに大きな影響を与え、例えば、N値が0.02の場合と0.03の場合では $\theta_0$ に20%もの差が生じる事になるのでN値は横安定性能を判定する際には非常に重要な要素であることが分る。

既に前項で静水中のN値については、一般にルールで使用される標準値0.02より大きくなることが推測された。

そこで規則波中の高速艇模型に対する同調横揺試験の結果から得られたデータを基に以下に示す方法で改めて整理をし直して波浪中に於けるN値を逆算して静水中のN値と比較してみることにする。

波浪中に於けるN値の計算方法としては、模型試験で計測された規則波の波長(Lw)と波高(Hw)を用いて、計測された同調横揺れ角度: $\theta a$ から下記の式により、波浪中のN値(Nw)を逆算して求めることにした。

すなわち、最大波傾斜角 $\Theta$ は、

$$\Theta = 360 \times Hw / 2Lw$$

$$\theta a = \sqrt{\pi \gamma \Theta / 2Nw}$$

従って

$$Nw = \pi \times \gamma \times \Theta / 2\theta a^2$$

ここに、 $\theta a$ : 計測された同調横揺れ角度(deg)

Nw: 波浪中N値

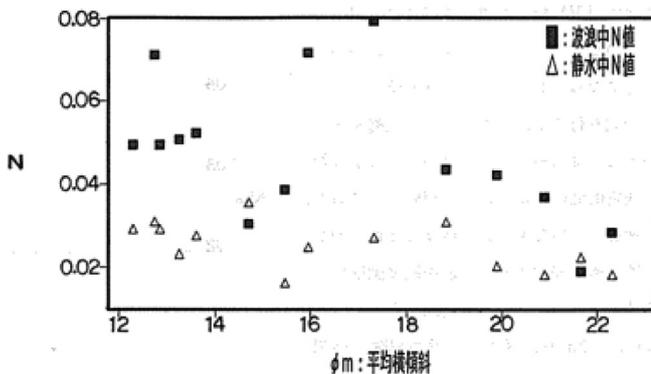


Fig. 3 停止時の波浪中N値

以上の結果、静水中と波浪中のN値を比較してみるとFig.3が得られた。

この図をみると静水中のN値(Ns)に対し、波浪中では更にその値が大きくなる傾向にあることが分かる。即ちNs値を用いて波浪中の同調動揺角を算定すると過大な動揺角度を与える方向にあることを示しており、一般に言われてきたことを裏付ける結果が得られた。

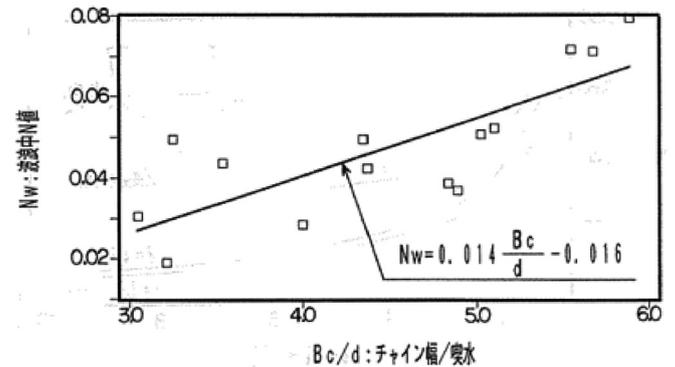


Fig. 4 波浪中N値(Nw)の推定

さらにこのNwをBc/d(チェーン幅/喫水)ベースに整理してみるとFig.4が得られた。

この図をみると、静水中における場合と同様にBc/dが大きくなるに従ってN値も大きくなる傾向にあることが分かる。これらのデータから平均値を最小2乗法により求めると次の算式が得られ、この算式を使用することによってより実態に即した波浪中の同調動揺角を推定することができることになる。

$$Nw = 0.014Bc/d - 0.016$$

次に同じくBc/dをベースに、NwがNsの何倍位になっているかを整理し直してみると、Fig.5のようになる。

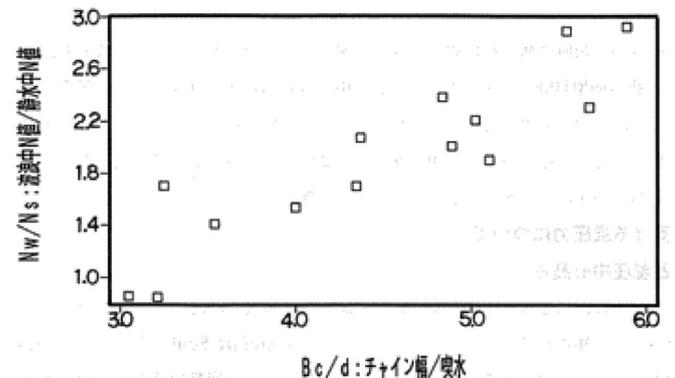


Fig.5 波浪中Nwと静水中Nsとの比較

ここでもBc/dが大きくなるに従って、Nw/Nsが大きくなる傾向が窺える。即ち、波浪中同調動揺角を求める場合のN値は静水中の値、Nsではなく、波浪中の値、Nwを用いる方がより実際であることを示している。

従って、波浪中同調動揺角を求める算式は次のように改める事ができる。

$$\theta_w = \sqrt{138\gamma s / N_w}$$

ここに、 $\theta_w$ : 波浪中の同調横揺角 (deg)

さらに追記すれば、高速艇の場合 $\gamma$ (有効波傾斜係数)を先の数式で計算すると1より大きな数値が得られる場合があるが、この場合は理屈から言っても1に留めるべきであろう。

### 3. 航走時の減衰性能

一般的に高速艇は停止している時には初期GMが大きいため横揺れ周期が短く、ぐらぐらと横揺れするが、走り出すと途端にしゃんとして揺れなくなることはよく知られていることである。しかし、高速艇船型に対して定量的に報告された例は少ない。

航走時の横揺れの減衰に関して、ディープV型高速艇の横型試験結果の例をFig.6に示す。なお、実船の要目は、LWL=42.0m、B=7.8m、Bc=6.6m、D=3.9m、d=1.15m、W=130t、Vs=約27knであり、模型は実船に対して1/11.7の縮尺のものを用いている。

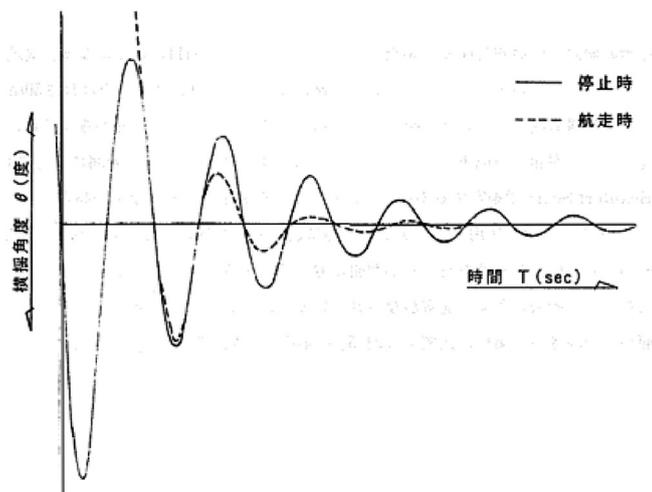


Fig.6 航走時の静水中横揺減衰曲線

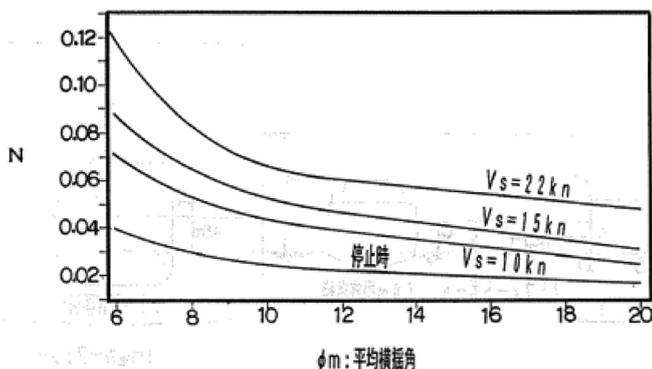


Fig.7 航走時における静水中Ns

この図から航走中では如何にその減衰が急速に起こるかがよく分かる。また同じ模型を使ってその速力の変化に応じてN値がどのように変化するかを平均横揺れ角 $\phi_m$ をベースに示したものがFig.7である。

平均横揺角20degに於けるN値で比較すると停止時に比べ20knでは2倍以上の値を示している。即ち、航走していれば波浪中に於ける同調動揺角は停止時よりはるかに小さくなる事が推定される。

高速艇船型では、航走していれば停止時に比べ更にN値係数も増大するので航走していれば更に安全側の結果を与えることになる。

### 4. 停止時に海面上で受ける風圧

#### 4.1 風速と風圧中心高さ

海上で船が受ける風圧は、風と水面との摩擦の影響で海面高さが増すに従って風速が増加している。海面約40mで一定の値を示すことは古くから知られていることである。またいわゆるBeaufort Scaleで示される風速は海面上5mの高さに於けるものであることも同様である。しかし、ここで対象とする高速艇はその大きさの絶対値が小さく、風圧を受ける船体も上部構造物を含めてもその高さが低く、海面上の高さに応じた風速分布を無視できない範囲にあるといえる。

現在、就航している高速艇の海面上の絶対的高さを比較して図示してみると、Fig.8のようになる。高速艇の図のうち、小さい方は長さ25フィートクラスのプレジャーボートの代表的なものであり、大きい方は長さ50mクラスの世界最大級のもので、かつ上部構造物が大きい旅客艇のものを示す。この図からみても分かるように、対象とする高速艇は一般の船舶と比べてその海面上の風圧中心までの絶対的高さは高々1~3mの範囲に限定されている。従って、就航海域をBeaufort Scaleで規定する場合でも、その受ける風速はその風圧中心高さに応じて、海面上5mの標準風速に対して補正をした上で使用する方がより実態に近いと考えられる。

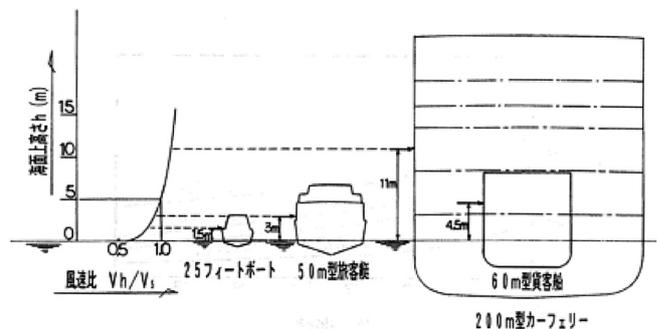


Fig.8 実用船型による風速分布比較

前項では横揺れ角の算定に関して現行のルールに拠れば実態に比較して大きな値となり、安全側であるとはいえ過酷な判定結果を与える事を示したが、ここでは高速艇の特性を考慮した

海面上の風速の影響が判定結果にどのくらいの影響を与えるかについて検証してみる事にする。同時にこの問題は、当然海面上の絶対的高さの低い通常船型を有する小型船にも当てはまることでもある。

ここでは実際の海面上の風速分布についての計算方法は実際の分布に近い、海面上高さの7乗根に比例する説を採用してみると次のようになる。

すなわち、海面上 $h$ の高さでの風速( $V_h$ )は、

$$V_h/V_0 = [h/h_0]^{1/7}$$

$$\therefore V_h = V_5 [h/h_5]^{1/7}$$

ここに、 $V_5$  : 海面上5mの高さでの風速  
 $h$  : 海面上高さ  
 $h_5$  : Beaufort Scaleでの標準高さ(=5m)

上記の式を用いて、例えば海面上2mの高さに風圧中心を持つ一般的大きさの高速艇について風圧力の値を比較すると、Beaufort Scaleの基準高さ5mを基準として計算する場合に比べ77%に軽減されることになり、より実態に即した算定式となり、高速艇の特性を考慮した適正な設計を行うには適当ではなからうか。

一方、風圧力( $P$ )は次式で表すことができる。

$$P = C_D \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A$$

従って上記の海面上高さの補正を加えれば、上式は次のようになる。

$$P = C_D \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot V_h^2 \cdot A$$

$$= C_D \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot [V_5 (h/h_5)^{1/7}]^2 \cdot A$$

#### 4.2 風圧による傾斜モーメント

風圧による傾斜モーメントは船が風下側に傾斜する時は、5deg位までは直立時のそれと殆ど変わらないが、それよりも傾斜角が大きくなってくると急激に減少していき、瘦形船ほど早く減少していく傾向があることは良く知られている。この事実を高速艇船型にも適用すると、Fig.9のような関係となり、傾斜角に応じてモーメントのレバーが実質上減少することを加味することができる。

すなわち、風圧傾斜モーメント( $M$ )は、

現行ルールで用いている式では  $M_w = P \cdot A \cdot H$

傾斜角に応じた式では  $M_s = M_w \cdot \cos^2 \theta$

ここに、 $M_w$  : 現行ルールに拠る風圧傾斜モーメント

$M_s$  :  $\theta$ を考慮した風圧傾斜モーメント

$P$  : 風圧力

$A$  : 風圧側面積

$H$  : 風圧傾斜レバー

$\theta$  : 横傾斜角

となる。

風圧傾斜モーメント  $M_w = P \cdot A \cdot H \cdot \cos^2 \theta$

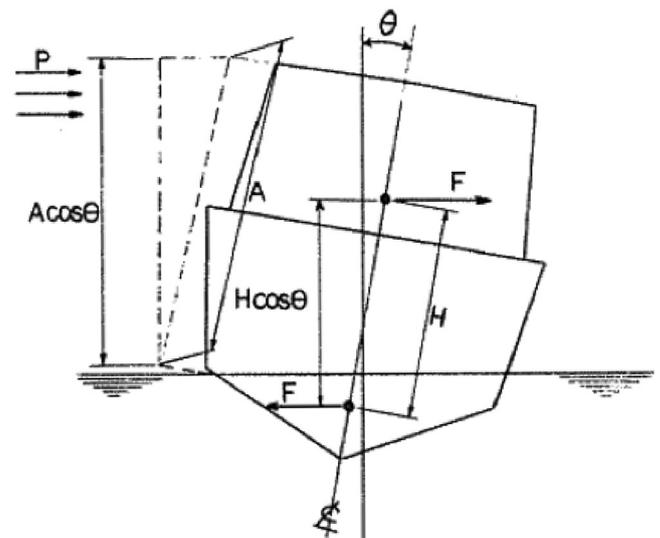


Fig.9 風圧傾斜モーメントの算定

この考え方を適用すると、現行ルールの考え方に比べて風圧傾斜モーメントは、10deg傾斜した場合には97%、20deg傾斜した場合には88%、30deg傾斜した場合には75%と大幅に減少する事になる。平均的な高速艇の波浪中での実際的な同調揺角は20deg.前後と考えられるから、少なくとも現行ルールの考え方より風圧傾斜モーメントは、10%程度は軽減して考えても良いということになる。

但し、図からも想像されるように、実際面での高速艇の挙動は風圧を受けて傾斜を起こすとすぐに船首を振り、真横風を受けない方向に回頭する傾向が強いこと、さらに傾斜すると水中部船底が平坦になってある傾斜角以上に傾斜することなく、横流れする傾向が強いことが経験上知られている。この度合いについては、今後もう少し定量的に検証していく事が必要であろう。

#### 5. 復原性に関する特性のまとめ

以上、高速艇船型の停止時の横安定性について実用的な観点から考察した結果をまとめると次の通りとなる。

- 1) 横安定性を考える場合、最も重要な指標の一つであるN値については、チャインを有する高速艇船型では、船型、付加物等によって大きく変化し、その値は通常型船舶に比べて大きい。
- 2) 波浪中の横揺減衰性能は静水中より大きく、また停止時より航行時の方が大きくなる傾向がある。
- 3) 従って横安定性を判定する際の停止時の波浪中同調揺角を算定する場合は、以上のことを考慮して行うべきであり、その値は通常型船舶をベースにして作られている現行のルールによる算式で得られる値よりかなり小さくなる。
- 4) 高速艇にとっては海面上の風圧中心高さは最大級の大型艇でもせいぜい3m程度であり、より正確な風圧力の値を得るためにはBeaufort Scaleで示される海面上5mの高さで固定して

考えるのではなく船体の実際の海面上の高さを勘案すべきである。

5) 風圧による傾斜モーメントは、船の大きさ、水線下の船型、喫水等を考慮して傾斜角の影響を考えた方がより実際的と言えるが、高速艇の場合、ある傾斜角以上では横流れを起こし、それ以上の大傾斜とならない傾向があることも考慮する必要がある。

一方、波浪中の同調横揺角が過大になるのは、式中の波強制力係数である $\gamma$ の大きさに問題があるとも考えられる。高速艇の $\gamma$ 値は現行ルールで用いる簡易式によると、一般に高速艇船型では通常型船舶と異なり、喫水が浅いので船体の重心は水面より上方にあることから $OG > 0$ となり、 $\gamma$ は過大な値を与えていると考えられる。

従って、 $\gamma \geq 1$ となる場合は、或いは $\gamma = 1$ に止めるのが妥当ではないかとも考えられる。

## 6. 本考察案による現行判定法との比較

前項に示す数値計算法に基づき、下記の2つの算式を用いて計算した場合の現行の計算式による場合との定量的比較を試みる。

- 1) 停止時の不規則波中同調動揺角 $\theta_0$ の計算についてN値としては $N_w$ を用いる。
- 2) 一方、定常風による風圧力(P)を算出する場合は、海面上の高さを考慮していわゆる7乗根ルールを採用する。

試算供試艇の例：

$L_{OA} \times B \times D \times d = 35.0\text{m} \times 6.70\text{m} \times 3.30\text{m} \times 1.15\text{m}$   
 $L/B = 5, B_c/d = 5, W = \text{約} 110\text{t (排水量)}$   
 $h = 2.5\text{m}, V = \text{約} 35\text{kn (速力, } Fn = 1.0)$   
 航行区域：近海区域以上（現行法標準風速は26m/s）

この結果、現行の方法ではこの航行区域に対して適合していないことになるが、本考察を考慮した試算では、これを大幅に上回る結果となり適合することになる。

ついでに述べると、私が同クラスの某艇に乗船し、強風下波高数mに達する波浪中を高速で航走した際、船底衝撃による乗り心地の問題はともかくさしたる大傾斜を起こすこともなく復原性上何ら不安を覚えることがなかった体験上の感覚にも符合する結果を与えている。

同様の計算を大小様々な代表的高速艇を例に取り、同時に異なる航行区域に対して計算を行った結果をFig.10に示す。縦軸は、現行判定法による安全指数に対する比率を示しており、まず横揺れ修正係数を採用した場合、現行ルールによる同調横揺れ角に比較し平均して55%から65%程度に減少することが分かる。

また、風圧修正係数を採用した場合には、通常の船舶に比較して高速艇の海面上の絶対高さが低いいため風圧傾斜モーメントのレバーの大きさは現行ルールによる算定式に対し平均して75%から85%程度に小さくなる事が分かる。

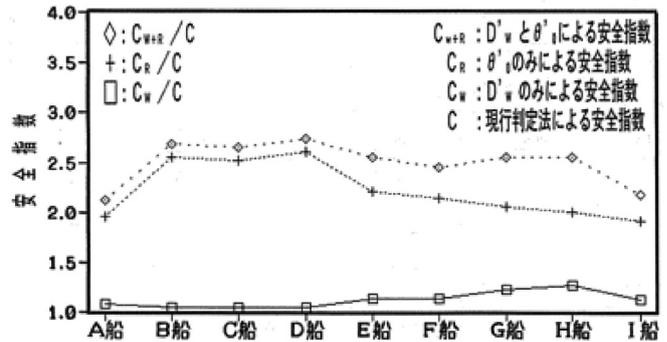


Fig.10 各種高速艇に対するC係数計算結果

## おわりに

以上、主に停止時の高速艇船型の復原性に対する特異性について考察してきたが、少なくとも基本計画段階では、従来のルーチンにだけ沿って設計を進めるのではなく広範囲にその対象船の特性を考慮しながら進めていけば、より安全性を高めるだけでなく設計者自身のポテンシャルを高め、その後の発展に寄与できていくことになるのではないかと思う。

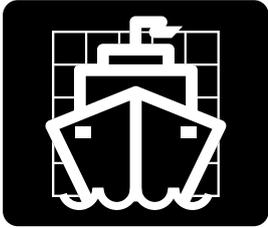
勿論ここで述べたことをそのまま実用艇の設計に反映させることは、現行ルールを逸脱することにもなるので今すぐには難しい。要は、どんな問題でも日常のルーチン作業を鵜呑みにして進めるのではなく、常に問題意識を持って解決を試みる姿勢を失わないようにしたいということである。そういう意味での考え方の一例として読んで頂ければ幸いである。

高速艇船型の特性についてさらに加えれば、十分大きなGMを有し問題ないと考えられる大型の高速艇が高速航行時に不安定現象を起こすことが散見された。先に欧州の軍用艇などで問題になり、国内の水槽試験でも類似の現象が確認された。その後欧州では設計を進めるに際してそれぞれ独自のクライテリアを設けて対処する様子があちこちで見られた。しかし、根本的な解決は未だなされているとは言えない。日本国内ではこの問題についての議論や論文は殆ど見かけないが、次回では、経緯も含め、把握している限りのデータの紹介も含め、考えてみたい。

参考文献：

- [1] 鷲尾祐秀、土井 明、“高速艇船型の復原性に関する一考察”、西武造船会会報82号(平成3年8月)
- [2] 丹羽誠一、“高速艇工学”、舟艇協会出版部(1971)
- [3] 菅井和夫、“小型高速船の耐航性”、日本造船学会・第2回耐航性に関するシンポジウム(昭和52年12月)
- [4] 池田良穂他、“小型ハードチェーン艇の横揺れ減衰力の一推定法”、関西造船協会誌 第213号、平成2年3月
- [5] 第11基準研究部会研究報告書、“高速艇に関する調査研究報告書”、日本造船研究協会(昭和54年3月)
- [6] 日本造船研究協会第17研究部会研究報告書、“船舶の波浪中に於ける復原性に関する研究”

(技術顧問 兼総合コンサルティング事業室長 鷲尾 祐秀)



# 造船設計ノート

## 高速艇の復原性と安定性 (3)

### はじめに

読者の対象を若手と考えているが、本論を含めこのまえがきも続けて読みたいという仁が居るので、改めて個人的な感想や経験談を語ることが、これからの問題解決に際して少しでも役立てば幸いかと思い、書くことにした。

私が造船に関わるようになってからかれこれ既に50年の月日が流れている。学生の頃そういう先輩は仰ぎ見る存在に思え、また、Naval Architect (NA) として大成したいと思って造船所に就職し長い時間が過ぎたが、ここに至っても次々に新たな問題が生じて尽きることを知らない。

本紙の発行は年末であるので、7年半前の3.11の東日本大震災と原発事故、そして本年7月に起きた西日本の豪雨災害、9月に関空などに被害をもたらした台風、続いて起こった北海道の激甚地震はひょっとして読者の記憶から既に遠ざかっているかもしれない。

自然災害は、年中日本のどこかで起こっているが、今年の大惨事も身につまされるものがあった。そこで思い出すのは大学時代に地学の先生が、「日本の地形を見れば毎年の自然災害のなんと多い事か、それなのにこの現実をじっくりとみることなく、ろくに対策もせずに目先のことに囚われて人命を失っている。諸君はこの事実を忘れないように…」と情熱をこめて言われたことである。明治時代に日本にやってきた外国人が日本の地形を見て、「日本の河川は欧州に比べればまるで滝のようだ…」という逸話も語り継がれている。

人生80年と言われる私たちの時空にこうした大惨事が起きる度に、まるで天から降ってきた偶然の不幸のように感じてしまうが、災害列島としてこの規模の自然災害はずっと繰り返されてきたのであり、ある程度の予見とそれなりの対策ができることでもあった。歴史にその記録は残り、大惨事を経験した人々が後世へ警鐘を鳴らすことは、その都度行われてきている。造船についての記憶にしても「ぼりばあ丸」、「かりふおるにあ丸」の沈没や数年前の大型コンテナ船の折損事故は先輩たちの問題で、遠い昔に起こったことだと思っているのかもしれないが、NAとしては総括した上で真の原因がどこにあったかを反芻することを怠ってはならない。

しかし、私達は朝三暮四を地で行き、米百俵の教を忘れていく。翻って災害に拘わらず戦後の日本の社会、組織は多かれ

少なかれ同じ状況で、起こった事実を総括せず、目前の生産と利益追求ばかりで先達の教訓に倣って着実に未来に布石を打っていく気概など、端からなかったように思える。自戒を含めて真面目に頑張ってきたつもりでも目先の生産に追われて時が進み、定年を目前にして気が付けばNAはおろか自分がどういう存在になり得たのか疑問を抱く仁も多いのではないだろうか。

人生の中で自己の職業をどう位置付けるかなどは人それぞれの勝手であってチャンスと偶然がつきものであるが、組織や体制に囚われず志を持って臨むものがあるならば、それなりのやり方もあるのではないだろうか。いつも思うのは、楽にこなせたり、幸せを感じることができたりするのは父母を始めとする先達のお陰であり、その逆はそのツケが回されたのだと感じる。だから自分がこの世にある限り問題を先送りすることなく後に続くものにはツケを回してならないと思って過ごしてきた。

こんな思いを抱きつつ、目前に与えられた仕事をこなすことは当然のことながら、流れていく時間を自分のものとして、決してなされるがまま受け身の対応に甘んぜず、その仕事の全体スキームを理解し、誰がどういう意図で、目的でそれをやろうとしているのかを把握して、ついでに周辺技術の理解と習得に努めてきた。そしてその都度参考文献を含め自分なりのノートを作り、NAたらんとしてきた。既に手元に溢れた文献は後続部隊のために全て寄贈しているので活用して欲しい。

実を言うとこの本論の内容である高速艇に対する実務は、若き頃20代からのほんの数年しかないのだが、船種によらず現在に至るまで折に触れ、NAとしての興味を満たすため関連文献を読み漁り、世の動向に歩調を合わせてきた。結果、造船現場での経験も手伝い、どんな内容の仕事でも広く浅いかもしいが、勘所を掴んでおよその命題には恐れなく見渡せるようになったように思える。

仕事とは問題解決の連続であり、人材は受け身的に育成されるのを待つのではなく何事も自己啓発的に俯瞰的な視点をもってことに当たることが肝要で、対象は船であれ、車であれ、職業が医者であれ商人であれ、政治家であろうとも人間が対象である以上対応方法は変わらないということではないだろうか。

要するに周辺環境が少々悪くてもその気になって精進していけばそれなりの成果は得られるのではないかと思うし、逆に組織体としては将来を見据えた育成システムに対してもっと目

を向けることを考えるべきではないかと思う。解きやすい命題ばかり追いかけて論文にして満足しているようでは先は暗い。前回に記した BMT などは対象物を俯瞰して取りまとめができる NA としての人材が育成されている。

既存の技術だけを駆使して生産量を上げてその手間賃を得るような仕事に甘んぜず、常に先を見越していかなければならない。世のニーズをキャッチし、シーズを蒔いて次の世代の開発につなぐことを日頃から目指してもらいたいと思う。

セキュリティの高い社会を見るにつけ思うことは、業績をエビデンスで示せなくとも顕彰されなくとも、たとえ組織からゼロ査定を受けようとも、各人が自己評価を高め、アンサングヒーロー (Unsung Hero) たることに甘んじる心掛けを集团的に共有されている社会が基本的にリスクを最小限に抑えることに繋がるのではないかということである。日本の将来を考える時、消極的に見えても先達が培ったこの国の良き伝統、文化を失ってはならない。

隣国の中国は、既にスパコン、量子コンや 5G で世界をリードし、拳句は世界のデータベースを手中に収めようとしているように見える。データを制する者は世界を制するを見通しているようである。米国の GAFA+M の 5 社の金融上の実力は、日本のトップ 5 社の数倍にも達していることにも目を向けて無視することは危険である。中国のアリババ、テンセントなども同様である。一帯一路構想を見るにつけ鄭和を思い出すのは私だけであろうか。国際ルールに倣う企業であるならば、その逆手も考えておかなければならない。

10 年以上前に当時の日本の最大の ODA 支援国に JICA の一員として行った際に、先方の高官が言うには、「日本は金持ちで助かるが支援に時間と手間がかかって困る、中国は希望の半分も叶えてくれないがすぐに対応して何がしかを持って来る。日本は世界の、アジアの中でどういう理念と哲学をもって進もうとしているのか見えない、そういう意味で存在感を感じない。金が尽きれば『杜子春』(とは言わなかったが)と同じ運命を辿るのではないかと心配してくれた。

NA として生きようと考えている読者の皆さんも同じで、日本が古来培ってきた倫理観や文化観に基づくものをベースに世界を概観して理念と哲学を意識して存在感を示してもらいたいと思う。

組織的、行政的対応と個人的創意の調和を大切に施策規則、定説や発表された論文などは鵜呑みにせず疑問を持って検証していくこと、常に目前のものだけでなく周辺をも把握していく目を持つこと、そうすれば 10 年もせずに一流の NA になること間違いない。ビジョンを持ち、リテラシーを磨き存在感を示していってほしい。

そこで今回は、ルール通り復原性が満足されているものでも、

航走時に不安定現象をきたす内容についてその検証結果を具体的に紹介していこう。

## 1. 高速艇船型の航走時横不安定現象

### 1.1 不安定現象の概要

高速艇が、停止時に十分な復原性を有している場合でも、ある船速以上になると横不安定現象を引き起こすことがあることは、古くは 19 世紀末にも既に経験されている [1]。近年、主として欧米で、大型の実用艇に、より大型で高速化が要求されて来るにつれ、この現象に対しての理解と対応策が従来以上に必要とされるようになってきている。

一般に高速艇船型は高速時に船底からの揚力を活用する目的が優先された結果、長さ／幅比は、一般に 3 から 6 程度のものがその大半を占めており、コンテナ船、フェリー、客船など通常の排水量型船型の船に比べて小さい。同時に、喫水は浅く、乾舷は一般の排水量型船型に比して高く、なおかつ軽量に造られている為、一般的にタイプシップに沿って寸法を決定して行けば、ほとんどの場合に初期 GM は大きな値が得られる。従って設計に際して、過去この点に注目する必要は無かった。

しかし、停止時の復原性になら問題の無い場合でも、ある船速以上では、横傾斜を生じ左右に回頭したり、あるいは横傾斜が増大してついには横転する危険性を生じたりする不安定現象を呈することがあると指摘されている。また同じ船速であっても重心が上昇して、ある GM 値以下になると同じ現象が出現することも指摘されている。このことは、最近になってより大型化、高速化が進む中で特に問題点として浮上してきた。欧州中心に建造が顕著な大型の高速カーフェリーや高速軍用艇などはその検討対象として考えられる。フルード数が低い場合でも、旅客カーフェリーなどで上部構造物が大きく、船型が細長いばかりでなく、重心が高くなるため、GM 値が相対的に小さくなるようなものも対象となる。

こういう艇がある条件下では航走中不安定な現象を示すことについては、ある程度知られているものの、その研究成果の公表された例はとて少なく、日本ではほとんど見当たらない。近年、特にビルジ部分に丸みのある、いわゆる丸型船型の高速艇において、同一船型で従来以上の高速域での試験や、あるいは上部構造物等の付加などの理由で重心が上昇した場合に経験されており、未経験範囲での実艇を計画する場合に着目すべき点として指摘されている。しかし、個々の船型について試験されているだけで、未だ汎用的な研究に至っていないので、以下この問題について海外中心に公表されている文献の内容や、私自身が研究したことも含めて紹介していくことにする。

## 1.2 欧州での状況や日本の対応

復原性のチェックは、ルールにも規定されているように停止時のGMや動的復原性を計算することで行われている。一般に高速艇船型は排水量型の船型に比べ喫水が浅く、乾舷が大きく所謂I/Vが大きく必然的にGMも大きいため、ルールに示された内容を淡々とチェックすることだけで、初期復原力にあまり気を遣うことはなく、航走時に不安定になることがあることなどまるで無頓着に済ませていたのではないだろうか。

大型の高速艇で停止時には十分な復原力を有している場合でも船型によって定まるある船速以上の高速域で横不安定現象が起こることを私が知ったのは海外の文献によってであった。モノハル型の高速度艇船型において、安定航走が可能な船速に於いても重心が上昇して値が小さくなると同じように横不安定を生じることが報告されていた。

海外では1968年になってMarwood, W.J. and Baileyにより、NPLの丸型シリーズ船型に対してL/B=5.41のものが半滑走域の高フルード数において横不安定を示すことが報告されており、既に模型実験によって設計上の限界値を示すチャートが提案されている [2]。(Fig.1)

その後1978年にベルリン水槽においてMuller-Graf他が、丸型の半排水量型高速艇模型を使用しL/B>6.5、Fn>1.0における実験を行い、ヒールを起こさない限界速力を示すチャートを提案している [3]。(Fig.2)

また、Suhbier, K.R.は1978年のRINAのシンポジウムにおいて同じく丸型の模型を使用して曳航試験だけでなくラジコンによる自航試験を実施し、ブローチング現象の観察を行い、同時に航走時におけるGM値の減少割合を示し、航走時のヒール増加対策としてスプレイルールの付加が有効であることを示している。ここでの説明では、Fig.3の中央に示すスプレイルールは安定性に効果はなく、右に示す配置にすることでFn>0.8で効果があるとされている [4]。(Fig.3、4)

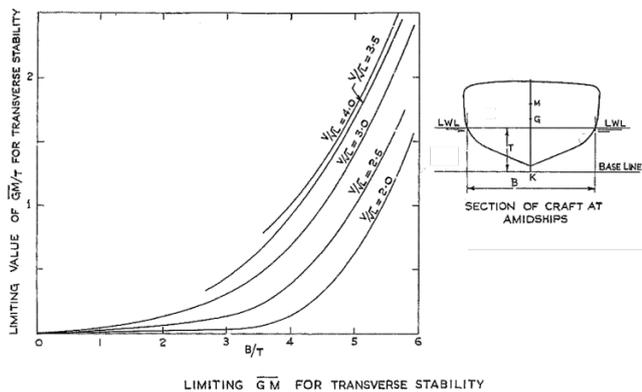


Fig.1 NPL 船型に対する安定性限界チャート [2]

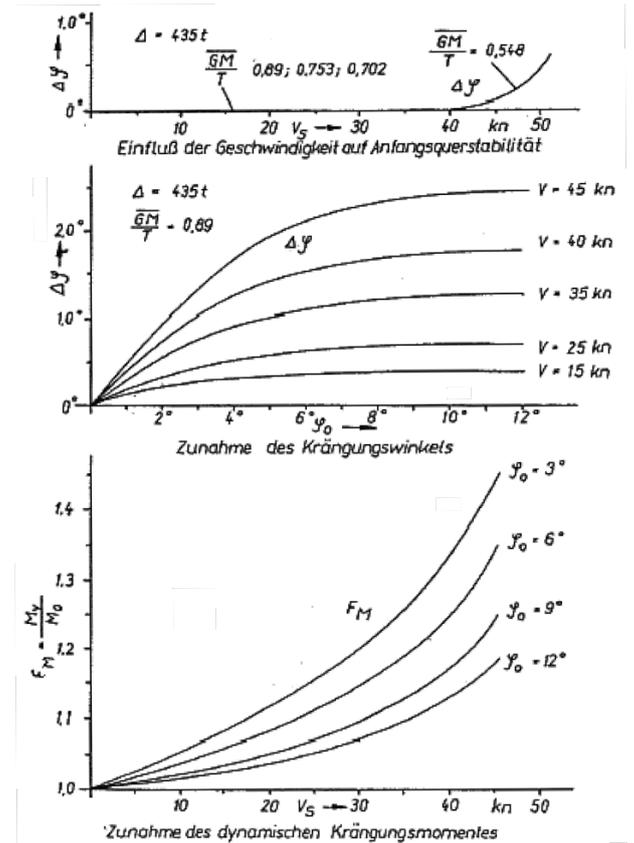


Fig.2 ベルリン水槽における安定性実験結果 [3]

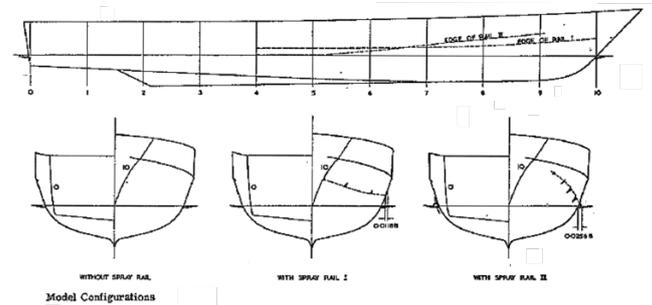


Fig.3 欧州での供試船型 [4]

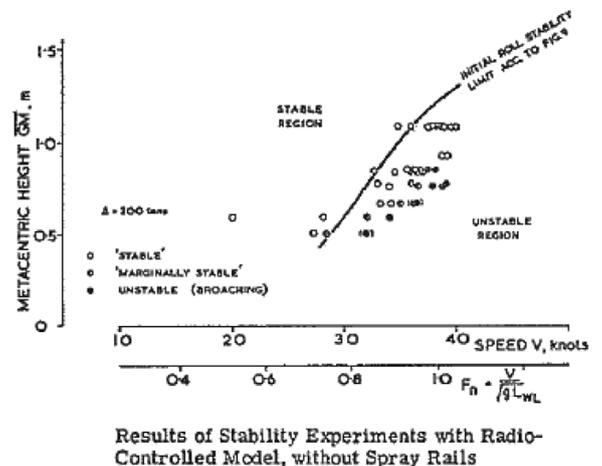


Fig.4 ラジコンモデルによる安定性試験結果 [4]

その他、Millward, A. 他は模型試験により航走時に不安定現象を示す船底の圧力分布を計測し復原性曲線に及ぼす影響について報告しており、Shao Shiming、Wang Yuncai は丸型、角型の両船型に対して特にスプレーストリップの影響について実験を行うなどのいくつかの報告がなされている [5]。手元に判定するデータがない時はこれらの文献や図表でまずチェックしてみることも有効である。

国内でも、手がけていた大型の高速艇の計画を実行に移すに際して、これらの海外の文献を参考に水槽試験によって航走時の不安定現象の発現についての検証を行った。結果として停止時に十分な復原力を有するとして設計された船型でも、あるフルード数以上の高速域では不安定現象を生じてついには転覆に至る恐れがあることが分かったのである [6]。(Fig.5、6)

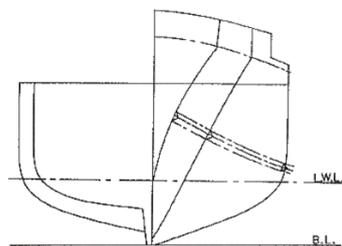


Fig.5 国内での共試船型 [6]

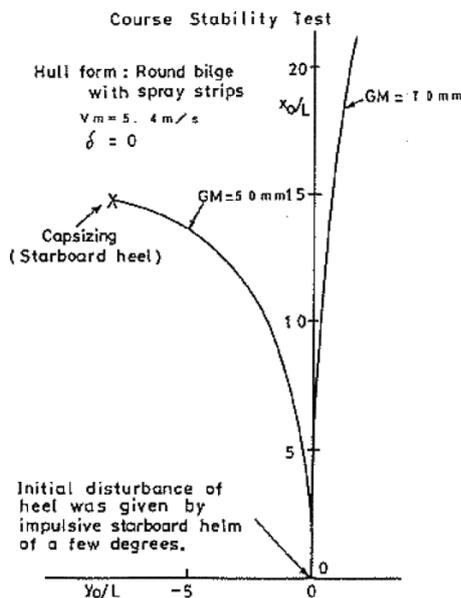


Fig.6 国内水槽での安定性試験結果 [6]

このように過去数十年余りの間に主として欧米での大型実用艇に、より大型で高速化が要求されて来るにつれ、航走時の特に横不安定現象問題についての関心が高まり、高速艇に対する一般問題としての理解と対応策が従来以上に必要とされるようになってきた。

但し、それぞれの対象とする船型に対して実験的、ないしは理論的研究がなされつつあるが、基本設計段階で船型改良をなし得る設計指針が提案されているわけではない。

前述のように私も新しい丸型船型の実用艇を計画し、模型試験を行って行く中でこのことを経験しているが、国内の大型実用艇に適用されている角型船型を供試模型船にして速度、および GM の値を変化させて航走時の横不安定現象を検証し、その上で供試模型船を母船型として船型の改良を試みた。次にその概要を紹介しよう。

## 2. 水槽試験による航走時横不安定現象の再現例

### 2.1 横安定性試験結果

模型船の船型は Fig.7 に示す通りで、要目は、長さ:3.8m、幅:0.63m、喫水:0.14m で、実船に対し縮尺は、1/12.3 のものを使用した。なおこの船は Twin Screw で計画したものであり、模型船には Shaft Bracket と舵は付けているがプロペラは装備していない。

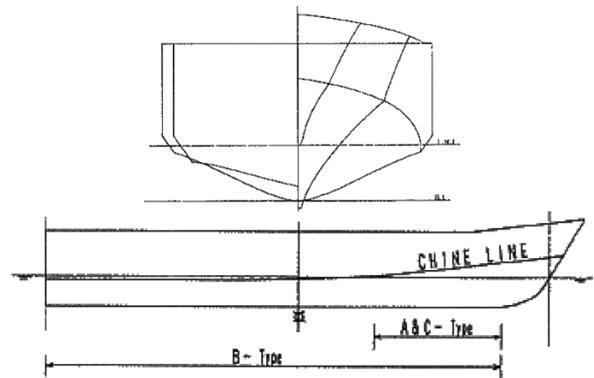


Fig.7 角型供試船型

採用した母船型は、高速での安定性は従来の高速艇船型に比べて優れているが、当初の計画速度以上に速度を上げていくと、本試験によって横不安定現象が現れることが確かめられた。

欧州では、水中フィンやアウトリガーなどを装備することで解決を図ろうとするものも多いが、ここでは角型のモノハルの特性を生かしたままで、スプレーストリップ (先に紹介した論文ではスプレイレールと表現されているが、国内ではこの表現の方が一般的かもしれない) を付加し、さらに Fig.8 に示すように新たに考案したフラップチェーンと称する波返し材の有無による効果も確認することにして模型による水槽試験を実施した。試験は、母船型をベースに GM を変化させ、速力を変化させてその変化を見ることにした。

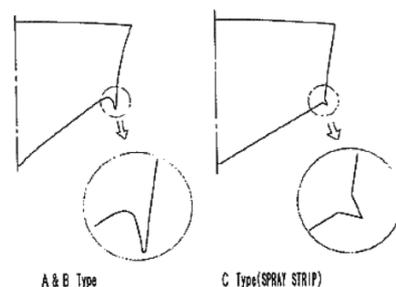


Fig.8 フラップチェーン形式3種

結果としてある速力以上では横傾斜していき、ついには横転して、最終的には転覆に至るが、ヒール角がある一定値に安定したものをもとめると Fig.9 のようになった。GM=60mm の時の船体の浮上量、姿勢変化の時刻歴を示すと Fig.10 のようになった。

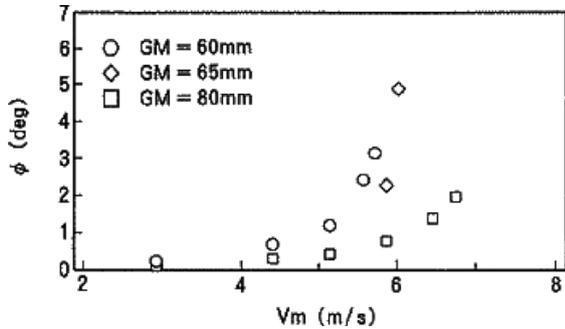


Fig.9 GMの大きさとヒール角の度合い

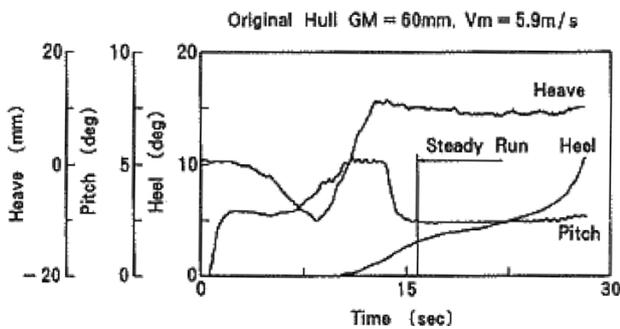


Fig.10 船体の浮上量と姿勢変化の時刻歴

上図を見ると、浮上量と姿勢角は定常航走状態になると一定値に安定するが、ヒール角は徐々に増加してついには横転することが分る。本船型についての具体的な数値は以上のものであったが、要するに船速が高いほど、GMが小さいほど起こりやすいことが判明した。

次に Fig.8 に示す 3 種のフラップチェーンなるものを考案して装備し、同様に試験を実施したところ、Fig.11 に示すようにこの不安定現象の発現を遅らせることができた。

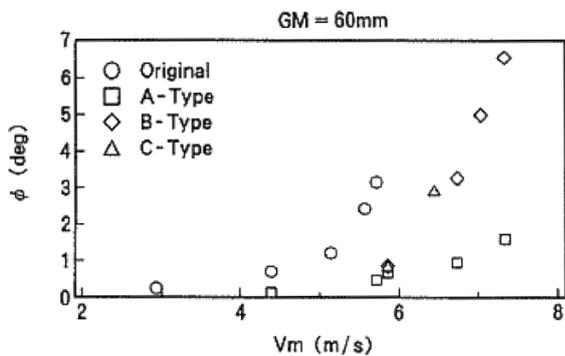


Fig.11 フラップチェーンの効果

安定性に対する効果は A-Type が最も大きく、時刻歴をみてもヒールの増加は起こらず安定していることが分る。(Fig.12)

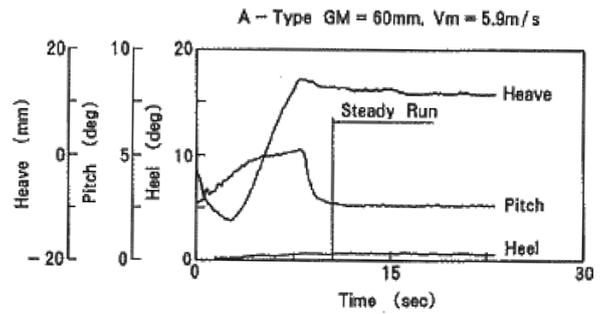


Fig.12 A-Type フラップチェーン装備の時刻歴

フラップチェーンの装備により高速で船首部船底から這い上がってくる水流がフラップチェーンに当たった後、斜め下方に返される反力により船体に上向きの力が生じていることが分った。横傾斜した場合、傾斜した側の反力の方が反対側より大きいため復原力が増大することになる。

次にこの結果から全自由度を拘束した模型で母船型と A-Type フラップチェーンを装備した船型により横傾斜角を変化させながらヒールモーメントとスウェイカの変化について試験した。結果は、母船型では Fig.13 と Fig.15、A-type 船型では Fig.14 と Fig.16 の結果が得られた。

母船型では、不安定現象が起きていない速力でも横傾斜が増した場合にヒールモーメントの変化はなく、何らかの外乱が生じた場合の復原力がないことが伺え、速力を上げると傾斜する方向へのヒールモーメントが増大しているので結果として横転することになることが分る。A-Type 船型では傾斜と逆のヒールモーメントが働いており、傾斜に応じた復原力が生じていることが分る。

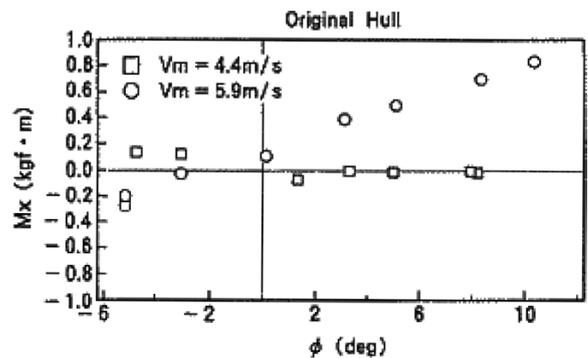


Fig.13 母船型のヒールモーメントの変化

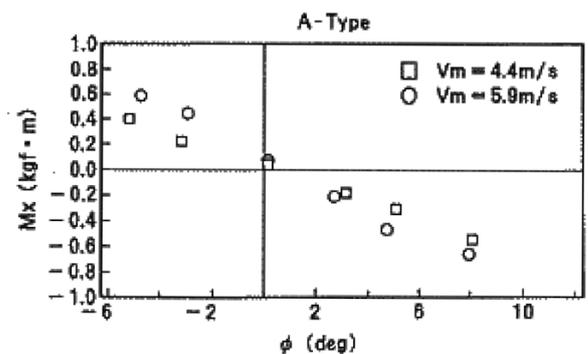


Fig.14 A-Type 船型のヒールモーメントの変化

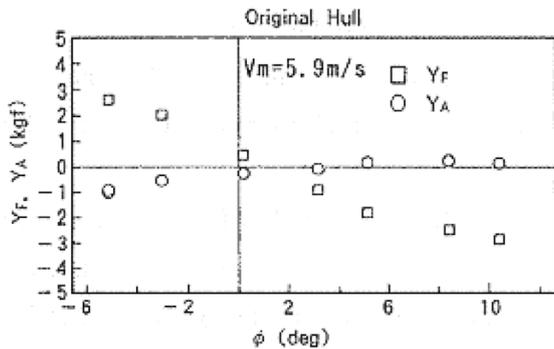


Fig. 15 母船型のスウェイカの変化

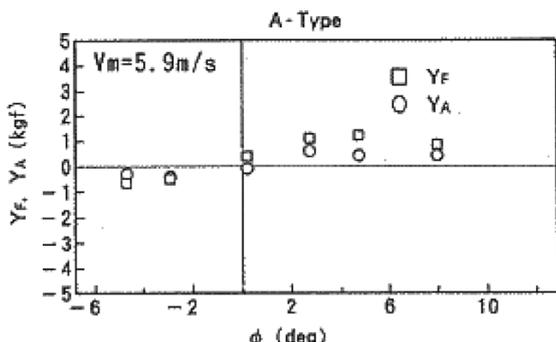


Fig. 16 A-Type 船型のスウェイカの変化

次にスウェイカについて観てみると、母船型では、横傾斜角  $\phi > 0$  (右傾斜) の場合、船首部スウェイカ  $Y_F$  は負 (右舷から左舷向きの力)、船尾部  $Y_A$  は殆どゼロであり、艇は左旋回する流体力が働いていることになる。 $\phi < 0$  の場合はその逆で  $\phi$  が大きくなると旋回径が小さくなって艇に働く遠心力が大きくなって横傾斜はますます大きくなることになる。A-Type の場合はスウェイカは船首尾とも小さいが、多少横滑りするが、 $\phi$  を小さくする方向に旋回するので結果として安定航走が期待できることになる。

結果として、航走時不安定な母船型であっても A-Type のフラップチェーンを装備することで高速時の横不安定現象の改善が期待できることが分かったのである。

## 2.2 抵抗試験結果

A-Type のフラップチェーンにより、横安定性が改善されることが確認されたので、これが抵抗性能に及ぼす影響を調べると Fig. 17 が得られ、母船型にこのフラップチェーンを付加しても抵抗性能はほとんど変化していないことが分かった。

## おわりに

以上、静止時に十分な復原力を有していてもある船速以上の高速域で横不安定現象を生じてついには転覆に至ることがあることを見てきた。逆に高速時に安定していても重心が上昇して GM が小さくなると同様に不安定となることも分かった。船首部に適当な波返し材を装備すると効果があることも分かった。

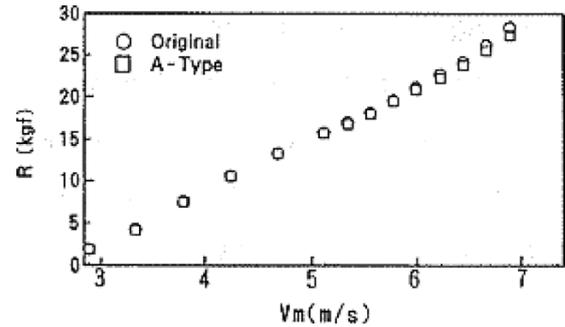


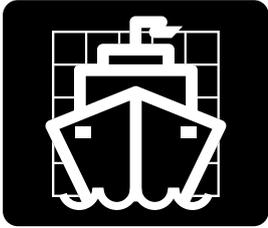
Fig. 17 母船型と A-Type 船型との抵抗試験の差

それではどうしてこういう現象が生じるのか、次回はそのメカニズムについて考えてみたいと思う。

## 参考文献:

- [1] Thornycroft, J.I., and Barnaby, S.W., "Torpedo-Boat Destroyers" Proc. Inst. Civil Engrs., 1895, Vol. 122.
- [2] W.J. Marwood and D. Bailey, "Transverse Stability of Round-Bottomed High Speed Craft Underway", NPL report 98, Oct. 1968
- [3] Muller-Graf, B., "Untersuchung der Querstabilität schneller Rundspantboote bei Fahrt" (Investigation of the dynamic transverse stability of semi-displacement round bilge hulls at forward speed), Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Heft Nr. 54, Nov. 1978, Berlin, pages 102-104
- [4] Suhribier, K.R., "An Experimental Investigation on the Roll Stability of Semi-Displacement Craft at Forward Speed", Symposium on Small Fast Warships and Security Vessels, RINA (1978)
- [5] Shao Shiming, Wang Yuncai, "The Influence of Chine Strips on Resistance and Motions of High-Speed Displacement Hull Forms", High Speed Surface Craft Vol. No. 20, January-February 1981, pages 46-51
- [6] Baba, E., Asai, S. and Toki, N., "A Simulation Study in Sway-Roll-Yaw Coupled Instability of Semi-Displacement Type High Speed Craft", Proceedings of the 2nd International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, Part IV, The Society of Naval Architects of Japan, Tokyo Japan, 1982
- [7] 鷲尾祐秀, 永松哲郎, 貴島勝郎, "高速艇の横安定性の改良に関する研究", 西武造船会会報第 86 号 (平成 5 年 8 月)

(技術顧問 兼総合コンサルティング事業室長 鷲尾 祐秀)



# 造船設計ノート

## 高速艇の復原性と安定性 (4)

### はじめに

これまでこのノートで高速艇の復原性と安定性を例に挙げて、ルールや規則通りには理解できない現象が生じることについて紹介してきた。私が後に続く若手に言いたいのは、目前の業務に追われるばかりでなくその業務を俯瞰して世の中のニーズをキャッチしてその本質に触れることを常に心がけてもらいたいということである。そうすることで疑問や問題が見えてくるし、次のステップとしてやるべきことが見えてくると思うのである。須らく自己の持つポテンシャル以上の風景は想像できても見ることはできないが、それ以下はその程度を含め手に取るように見えるのである。外国人と接する機会が増えたこの頃では人に接する時にもいつもこのことを自覚して教養を深めてリテラシーを磨き、あらゆる面で自己のポテンシャルのチェックをしておきたいものである。

船舶の設計の本質は、世の中のあらゆる技術や製品を駆使して社会のニーズに応えることのできるシステムをまとめ上げることに尽きるといってもいいかと思う。そのためには常に世の中の情報に敏感でなければならない。

本稿において「はじめに」が長すぎるという声も聞くので、今回は航送時の不安定性を生じるメカニズムについて考えることにして一区切りとしたい。

前回では高速航行時の横安定性に着目し、高速艇として代表的なハードチェーンを有するモノハル型の船型をモデルとして水槽試験によって横不安定が生じる条件を探り、モデル船型に対する実験的検証データを得た上での検証について紹介した。しかし、発生メカニズムについては、まだ不明な点が多く、実際の設計に際して汎用的に船体形状との相関についてもまだ検討すべき余地が多く残されている。今回は、前回までに紹介したデータを基にして、船底に作用する動的圧力に着目し、横不安定現象の発生メカニズムを解明するため理論計算による検討を試みてみよう。その結果に基づいて、設計段階において高速航行時の横安定性についてどう対処すればいいのか、判定方法などを探り、さらには不安定現象が予測される船型に対して船型の改良設計法を考えてみることにする。

### 1. 理論計算による検討基礎式と数値計算について

ここでは、モノハル型の半滑走型高速艇を対象として、船底に作用する動的圧力に着目し、理論計算によって横不安定現象の発生メカニズムを解明することを試みる。半滑走型高速艇の場合、滑走艇を対象とした理論や薄い船の理論は適用が困難であるから、ここでは、幅も喫水も共に長さに対して小さいと考えて Neumann-Kelvin 近似の関連性に基礎をおいた丸尾による細長船の理論 [1] [2] を適用することにする。この理論の利点は、未知数を求める際に、考える断面より後方の影響を考慮せずに済むことである。また、横不安定現象は、ヒールおよびヨーイング運動に加えて、船速変化による浮上量およびトリム角の変化を含む時々刻々と姿勢が変化する現象であるが、それらすべてを数値計算によって考慮するのは非常に難しい。

そこで、船速、浮上量、トリム角およびヒール角を一定とする条件の下で問題を扱うことにする。まず、船速に対する浮上量、トリム角および境界条件を満たす吹き出しを求め、その速度ポテンシャルから船体表面上の動的圧力、ヒールモーメントおよびヨーイングモーメントを計算する。さらに、船速およびヒール角に対する流体力の傾向を検討し、横不安定現象にいたるメカニズムを解明する。実際の計算を実施するに際してはこの理論に従って計算手法が展開された報告 [3] があるのでこの手法を基本的に適用して計算することにする [4] [5]。但し、本稿は設計ノートであるので計算手法の詳細は省く。

### 2. 数値計算例および考察

上記の方法によって、航走時の浮上量、重心まわりのトリム角およびヒール角を一定とする条件のもとで数値計算を行う。また、浮上量、トリム角等について模型試験の計測値がある場合は、それらをそのまま使うことにする。流体力の計算においては、一旦静水面下の圧力分布を求めた後、船側波形の変化によって水面上に出た部分の圧力を除いている。静水面より上の浸水部およびスプレーの影響および航走時の姿勢のバランスは考慮していない。また、数値計算においては、船体の分割を長さ方向に 120 等分、横断面の外周にそって 40 等分している。なお、本計算で対象とした高速船の主要目と船型は前回までのこのノートで使用した母船型と同一である。座標系および、各力およびモーメントの正方向を Fig.1 に示す。

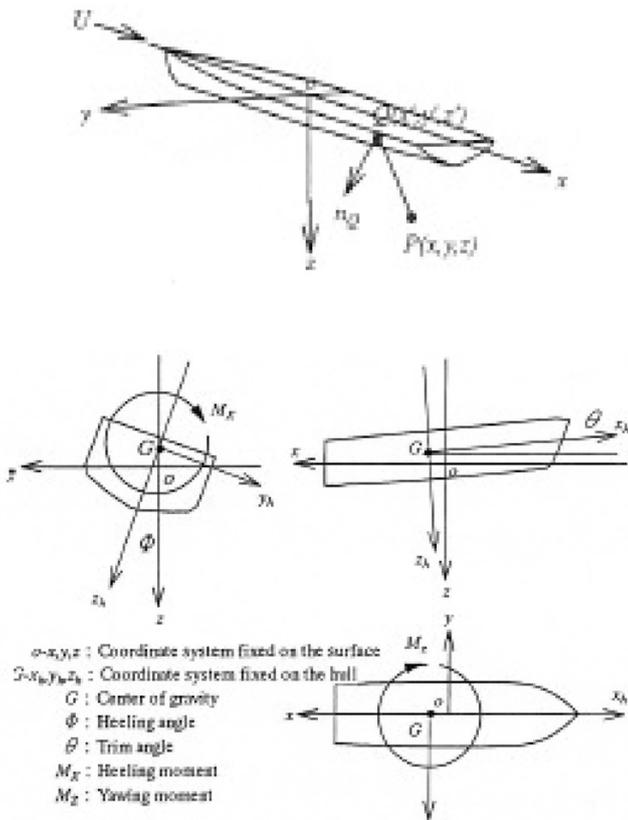


Fig.1 座標系と各部モーメント

ここでは、前回述べた水槽試験結果をもとに、可能な限り同じ条件で計算を行ない、両者を比較し船底圧力の及ぼす影響を調べてみる。ただし、ここでのGMの値は模型試験において著しい横不安定現象が起こった時のものである。

まず、船速の変化が横安定性に及ぼす影響を調べるため、ヒール角変化の実験結果とヒールモーメントの計算結果を Fig.2 に示す。

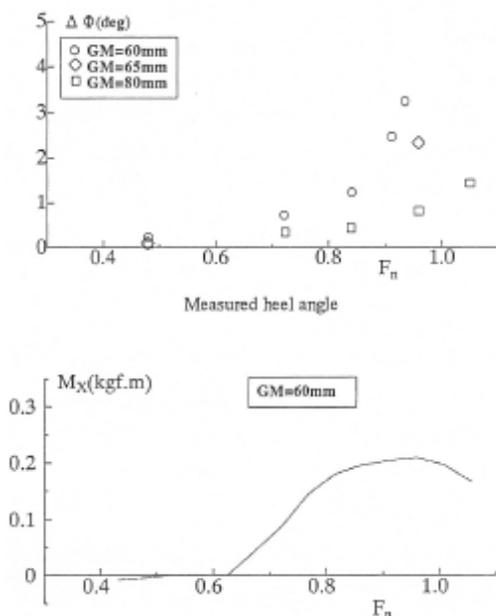


Fig.2 計測されたヒール角と計算値

実験は、スウェイおよびヨーのみを拘束して、船速に対するヒール角変化を計測したものである。ヒール角変化は船速の増加にともなって大きくなり、 $F_n=0.6$  付近から急増している。実験と比較する計算は、船速変化にともなう姿勢変化を考慮して、ここでは、模型試験で得られた速力に対応するトリム角と船体の浮上量の値を用いて行っている。但し、ヒール角は  $\Phi=4$  deg. とした。

計算によるヒールモーメントは、船速の増加にともなって増加する傾向にあり、 $F_n=0.6$  付近を越えるとヒールを増す向きにヒールモーメントが作用することがわかった。これら実験と計算の結果は、姿勢の条件が異なるため直接比較することはできないが、数値計算によるヒールモーメントは船速とともに増加しており、この傾向は、実験のヒール角変化の増加に対応するものと考えることができる。Fig.3、Fig.4 に  $F_n=0.43$  および  $F_n=0.96$  の船底における動的圧力分布を示す。

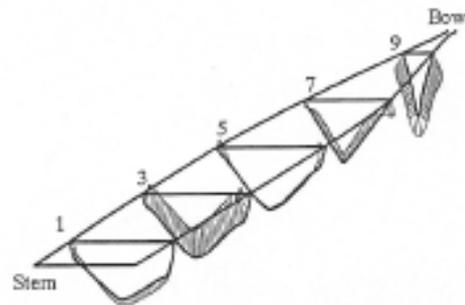


Fig.3 船底圧力の分布 ( $F_n=0.43, \phi=4$ )

横断面 S.S.1、3、5、7、9 における船底の動的圧力の法線成分を高さを表している。 $F_n=0.43$  の場合、船長方向に比較的短いスパンで正と負の動的圧力が混在していることがわかる。それらが互いに打ち消しあっているために、全体として大きなヒールモーメントは作用しないものと考えられる。

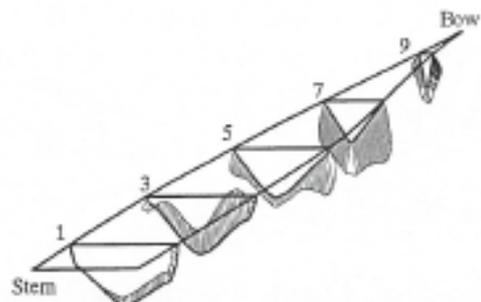


Fig.4 船底圧力の分布 ( $F_n=0.96, \phi=4$ )

$F_n=0.96$  の場合、船体前半部で主に正の動的圧力が右舷側に偏り、船体中央部から後半部にかけて負の動的圧力がやや右舷側に偏って作用していることがわかる。このように高速時には、動的圧力分布が前後で偏っていることと高速船の船型が船体前方で比較的大きなデッドライズ角を持ち、船体後方で比較的小さなデッドライズ角を持つことを考えると、重心が高い場

合には、全体としてヒールモーメントの絶対値も大きくなりやすいものと考えられる。さらに、船速が大きいため流体力としては大きな影響を及ぼしていると思われる。

次に、右舷へのヒール角の変化が復原性に及ぼす影響を調べるため、 $F_n=0.96$  と  $F_n=0.72$  におけるヒール角に対するヒールモーメントの実験と計算の結果を Fig.5 に示す。

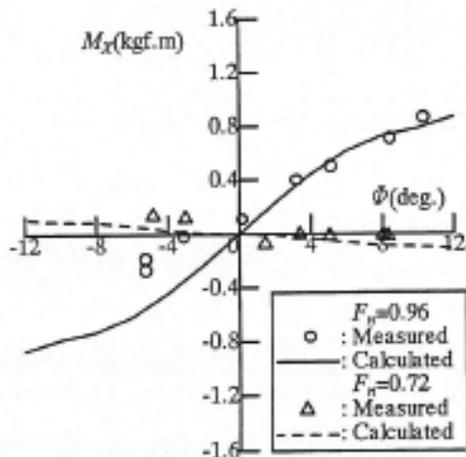


Fig.5 ヒールモーメントの計測値との比較

計算結果は、実験結果と比較すると、良い一致を示しており、ヒール角  $\phi$  の増加にともないヒールモーメントが増加しており、ヒール角をさらに増加させて転覆に至る方向のモーメントが生じる傾向を把握できることがわかった。

従って、高速域では、いったん傾くと、さらにヒール角を増す向きに動的圧力分布が変化し、より横不安定な状態へ移りやすいものと考えられる。

Fig.6、Fig.7 に右舷へのヒール角  $\phi$  が 0 deg. および 12 deg. での動的圧力分布を示す。 $\phi=0$  deg. の場合、主に船体前部で正の動的圧力、船体後部で負の動的圧力が作用しており、水面近くで動的圧力の絶対値が大きいことがわかる。 $\phi=12$  deg. の場合、船体前部で正の動的圧力が右舷側に、船体後部で負の動的圧力が右舷側に偏っていることがわかった。

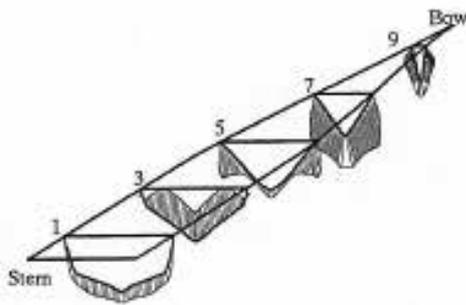


Fig.6 船底圧力の分布 ( $F_n=0.96, \phi=0$ )

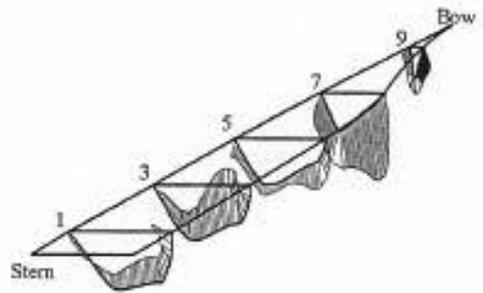


Fig.7 船底圧力の分布 ( $F_n=0.43, \phi=12$ )

続いて、同様な条件で、ヒール角の変化がヨーイング運動に及ぼす影響を調べるため、ヒール角に対するヨーイングモーメントの実験と計算した結果を Fig.8 に示す。計算結果は、実験結果と若干の開きが見られるが、右ヒールに対して、左ヨーイングモーメントが生じることが示されている。

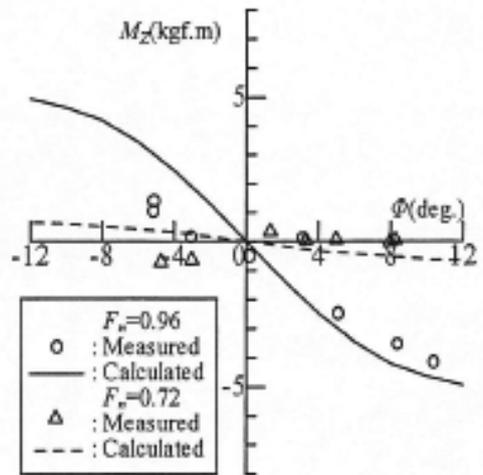


Fig.8 ヨーイングモーメントの計測値との比較

さらに、船体形状と横安定性の相関を調べるために、排水量を一定のまま船体後部形状を変化させた場合の影響について検討する。Fig.9の左図に、Original（供試模型船）、Type A、Type Bの3つの船型の船体中央部および船尾部断面形状を示す。Type AおよびType Bの水線面積係数  $C_w$  はOriginalと等しくしてある。Type Aは、船体中央部から船尾部まで船底面の捻れ (warp) を小さくした船型であり、Type Bは、船体中央部から船尾部まで船底面の捻れを大きくした船型である。船底面の捻れは、キールの高さを船尾へ向かうにつれて高くするとともに、チェーンの高さを船尾へ向かうにつれて低くすることによってつけている。

参考として、同じく Fig.9 右図に船底面の捻れの有無による船底形状の相違を図示している。これらの船型について、 $F_n=0.96$  におけるヒール角に対するヒールモーメント  $M_x$  とヨーイングモーメント  $M_z$  の計算結果を Fig.10 左図に示す。実

線、一点鎖線および破線は、それぞれ Original、Type A および Type B を表している。Mx については、捻れのある Type B の方が、捻れない Type A よりも大きな値となる。つまり、捻れのある船型のほうが横不安定であることがわかる。Mz については、船型による違いはわずかである。

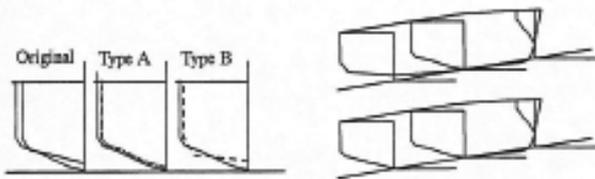


Fig. 9 Type A,B の中央 & 船尾断面の比較および捻れの有無

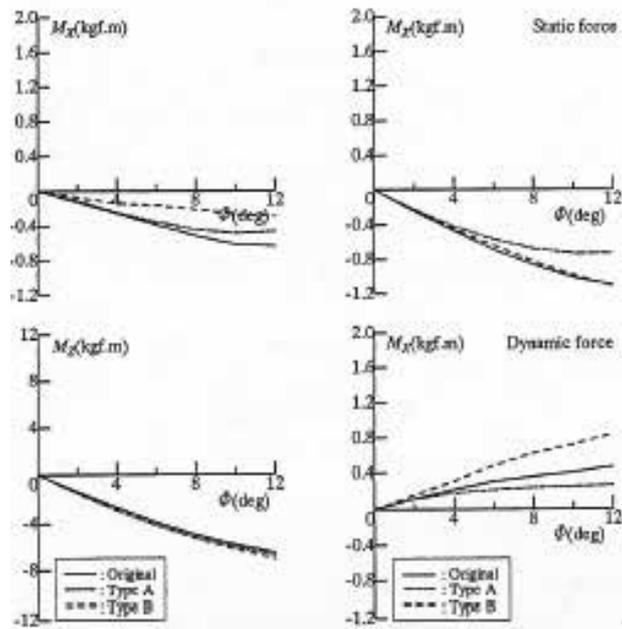


Fig. 10 Type A,B ヒールモーメントとヨーイングモーメント (左図) Mx に寄与する静圧および動圧による成分 (右図)

さらに、この船体形状の変化が Mx に及ぼす影響を調べるため、Mx に寄与する静圧および動圧による成分を Fig.10 右図に示す。静圧の影響に関しては、捻れのある Type B の方が、捻れない Type A よりも安定側 (負) の傾向を示していることがわかる。しかしながら、動圧の影響に関しては、捻れのある Type B の方が、大きな Mx の値をとっており、不安定な傾向を示していることがわかる。船型の違いと動圧によるヒールモーメントの相関をさらに詳しく調べるため、Type A および Type B の横断面 S.S.1、3、5、7、9 における動圧分布を Fig.11 に示す。

動圧分布は、船底の動圧の法線成分を高さと表したものである。船体表面を押す向きを下向き、引っ張る向きを上向きとして表現している。動圧分布をみると、両者とも船体前半部で右

舷側に正圧が偏り、船体後半部で右舷側に負圧が片寄って作用している。捻れのある Type B は、捻れない Type A と比べて船体後半部右舷側でやや大きな負圧が作用しており、船尾左舷側でやや大きな正圧が作用している。

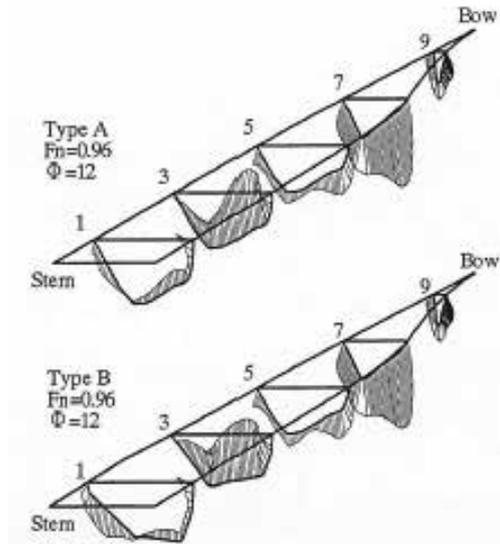


Fig. 11 Type A,B の船底圧力分布

次に、排水量を一定のまま水線面積係数を小さくした場合について、船体形状の変化の影響を検討する。Fig.12 に、Original、Type C、Type D の3つの船型の船体中央および船尾部断面形状を示す。

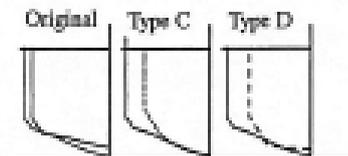


Fig. 12 Type C,D の中央 & 船尾断面

Type C は、船体後半部の捻れを小さくした船型であり、Type D は、船体後半部の捻れを大きくした船型である。Type C および Type D の水線面積係数 Cw は Original より約 7% 小さくしてある。これらの船型について、Fn=0.96 におけるヒール角に対するヒールモーメント Mx とヨーイングモーメント Mz の計算結果を Fig.13 左図に示す。実線、一点鎖線および破線は、それぞれ Original、Type C および Type D を表している。Mx についても、Mz についても両者とも大きな値をとっており、結果としては Original に比較してより安定した傾向となっている。

さらに、この船体形状の変化が Mx に及ぼす影響を調べるため、Mx に寄与する静圧および動圧による成分を Fig.13 右図に示す。

Type C および Type D は Original よりも Cw が小さいために、静圧の影響で Mx がかなり大きな値を示す結果となっている。

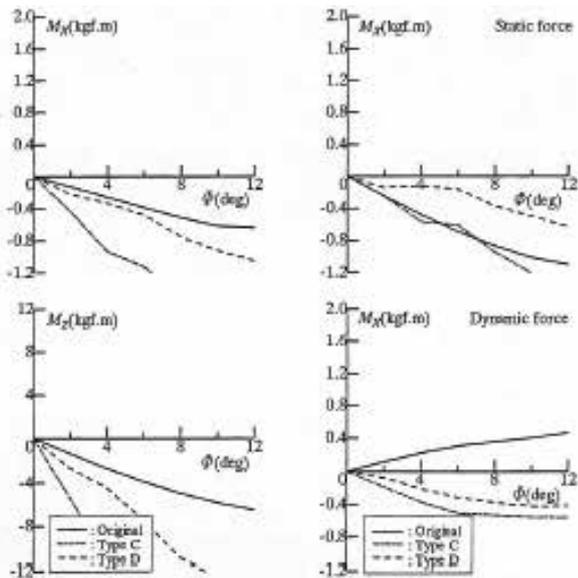


Fig.13 Type C,D ヒールモーメントとヨーイングモーメント (左図)  $M_x$  に寄与する静圧および動圧による成分 (右図)

それに対して、動圧の影響に関しては、Type C と Type D は他の 2 船型に比べて安定側 (負) の値をとっている。また、動圧については、 $C_w$  が小さい場合でも、船体後部で捻れのある Type D の方が、船体後部で捻れない Type C よりも不安定な傾向を示すことがわかる。このように、 $C_w$  を小さくすることは、静圧による  $M_x$  を増大させるのに対して、動圧による  $M_x$  を減少させることがわかる。

船型の違いと動圧によるヒールモーメントの相関をさらに詳しく調べるため、Type C および Type D の横断面 S.S.1、3、5、7、9 における動圧分布を Fig.14 に示す。捻れのある Type D は、捻れない Type C と比べて船体後部において、やや大きな負圧が作用している。

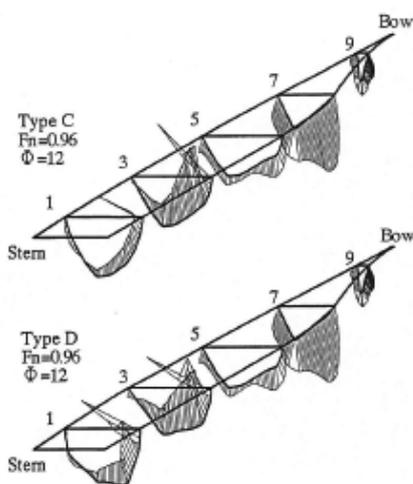


Fig.14 Type C,D の船底圧力分布

このように、動圧については、水線面積  $C_w$  を小さくすることは、船体後部の船幅が小さくなることによって、負圧によるヒールモーメントのレバーを小さくするために、全体として横

安定性に寄与するものと思われる。

ここまでで、船体後部船底面の捻れと水線面積係数  $C_w$  の変化が横安定性に及ぼす影響を検討した。補足計算による結果を加えてそれらの関係を Fig.15 に図示する。

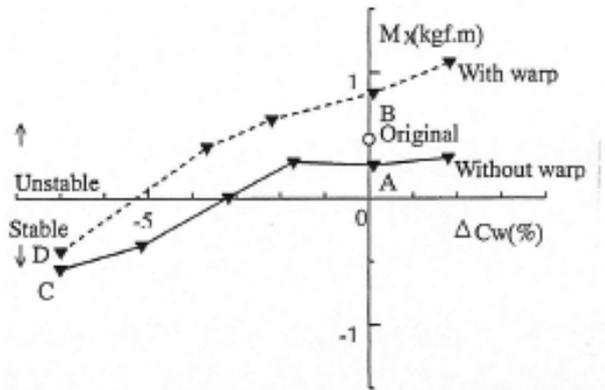


Fig.15 船底捻じれの有無による差違

横軸に Original 船型に対する計算対象船の水線面積の増加率、 $C'w/C_w-1$  をとり、縦軸に  $F_n=0.96$ 、 $\Phi=12$  におけるヒールモーメント  $M_x$  の値を示す。図中の▼印は動圧による  $M_x$  の成分であり、破線が捻れのある船型、実線が捻れない船型の結果を表している。ただし、図中の○、A、B、C、D は、それぞれ供試模型船および Type A、B、C、D の計算結果である。動圧による  $M_x$  は、船底面の捻れの程度によって傾向が異なることがわかる。

捻れが小さい船型は、 $C'w/C_w-1 \sim 0$  でほぼ横ばいであるのに対し、捻れが大きい船型は、捻れが小さい船型よりも大きな  $M_x$  を示しており、より横不安定な傾向であることがわかる。また、本計算で対象とした船速では、 $M_x$  は右上がりであり、水線面積が大きくなるとともに横不安定な傾向を示している。つまり、船速が小さい時に横安定であっても、船速を大きくしていった場合に、動圧による影響が顕著に現れ、横不安定現象が生じやすくなることが考えられる。

以上の結果として、横不安定現象に関して次のことが言える。

### (まとめ)

1. 船速が大きい時に発生しやすいのは、低速時に混在していた正の圧力と負の圧力が、高速時には船長方向に偏って分布するためである。すなわち、ある船速以上では、動的圧力分布は、ヒールを復原させる向きよりも増加させる向きに偏り、全体としてヒールモーメントが増加するためである。
2. ヒールが生じるのは、船体前部で正の圧力分布が、船体後部で負の圧力分布がヒールした側に偏り、ヒールモーメントが作用するためである。すなわち、船底に作用する動的圧力分布のアンバランスによって、ヒールを増加

させる向きにヒールモーメントが作用するためである。

3. ヨーイング運動が生じるのは、ヒール角が生じると、右(左)ヒールに対して船体前部で左(右)舷向き、船体後部で右(左)舷向きの圧力が作用するためである。すなわち、ヒール角が生じると、横力分布が長さ方向に変化し、右(左)ヒールに対して左(右)ヨーイングモーメントが作用するためであることが示された。
4. 船尾へ向かってデッドライズ角を小さくすることは、ヒールモーメントを大きくする傾向がある。すなわち、船底面の捻れは、横安定性を減少させる傾向がある。
5. 水線面積係数  $C_w$  の増加は、動圧による横安定性を減少させる傾向がある。

この種の高速艇の横安定性については、十分な静復原力を確保するとともに、動圧が横安定性に及ぼす影響を考慮しておくことが重要である。また、プロペラ等の付加スペースを確保するためなどの目的のために、船底面に捻れをつけた場合には同時に横安定性に及ぼす影響を考慮しておかねばならない。従ってこの理論検討結果を基に航行時の横安定性を判定することが可能になり、不安定となる船型の改良方法について目処をつけることができる。前回紹介した海外での研究成果を参照することも含めて設計段階でチェックしておくことが大切である。

### 3. 航行時横安定性の判定方法と船底形状の改良設計法

以上について理論計算によって横不安定現象の発生を予測することが可能となり、かつ横不安定現象が生じる場合、他の条件を一定にしたまま、船底の船型を変更することで改良することが可能となった。

従って実用的な設計に際して、航行時の横不安定現象発生を判定する方法として以上の結果をまとめると次のようになる。

まず設計点において、横不安定現象が発生するかどうかを推定するためには、計算によって  $M_x$  の値をチェックすることが必要となる。

即ち、計算に必要な入力データと判定クライテリアについては次のようになる。

(入力データ)

ラインズデータ、速力、GM、初期傾斜角

(判定クライテリア)

$M_x$ : ヒーリングモーメント…………… $M_x < 0$  であれば安定

(船長方向(動的)圧力の積分値×レバー)

パラメータ: 速力

以上をフローチャートにまとめると Fig.16 のようになる。

すなわち、 $M_x$  の値を計算することによって設計点での横不安定現象の発生の有無が推定可能となる。

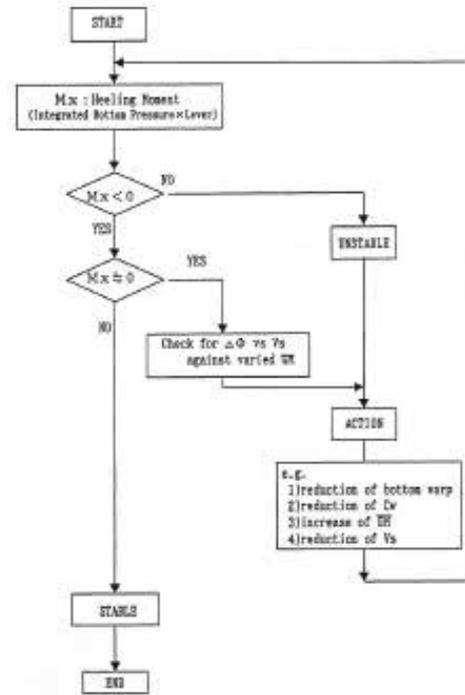


Fig.16 航行時横不安定判定フロー

ここでもし、 $M_x < 0$  となり安定であるという結果が得られた場合でも、 $M_x$  が 0 (ゼロ) に近い場合は、実際の運航に際して速力が増加したり、GM が減少する可能性があることを考慮すれば、場合によって不安定になる可能性がある事を示していることになる。

従って、そういう場合には更に計算点を追加して、同一船型において速力、および GM を変化させた場合のヒール角の変化の度合いを総合的にチェックできれば設計を進める上で有効な手段となる。

そこで例としてこのノートでの検討に使用した母船型に対して速力、および GM を変化させた場合の計算結果を模型試験で得られた計測結果と共に Fig.17 に示す。ここで  $\Delta \Phi$  は  $M_x < 0$  となる  $\Phi$  を示しこれ以上の傾斜角では安定であることを示している。

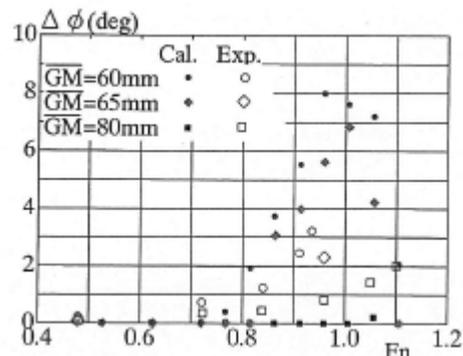


Fig.17 GM の変化による船速  $F_n$  とヒール角

この結果を総合的に検討して速力、GM が変化した場合にヒール角がどの程度変化するかを見極めて最適な設計を進めていくことが可能となる。なお、模型試験では実施できなかったより

高速域について計算結果を見ると、ある高速域を超えるとヒール角の変化は寧ろ徐々に減少し安定の方向になる結果が得られた。この理由は、高速になっていわゆる滑走域に近づくに連れ、特に船尾側の船底圧力のアンバランス分布がより船尾側にずれてくることによって安定性が増すためと考えられる。すなわち、正の動圧の領域が船尾側に移り、船尾の負の動圧が小さくなって結果としてヒールモーメントが小さくなるものと考えられる。

一方、 $M_x \geq 0$  となり不安定であるという結果が得られ、GMを増大させることが難しい場合の次の手としては、前章までの研究成果を生かして次のように船底形状を改良することで安定性を改善させることができる。

- すなわち、
- ・船体中央部より船尾側の船底ラインズの捩れを小さくする（船尾に向かって船底デッドライズ角の変化度合いを小さくしていく）
- ・ $C_w$  を小さくすることが考えられる。

この方法によれば、未だ設計段階にある船については大幅な要求仕様の見直しをすることなく、すなわち、速力や、GMなどの条件を固定したままで、安定性を増加させる船底形状の改良設計が可能となる。

なお、既に出来上がった船に対して改良する方法としては、前述のリアクションフラップの装備とチェーンの幅を広げ、汲水長さを長くする方法、およびウェッジ（トリムタブ）を装備する方法などが考えられるが、その効果を定量化するにはさらなる研究が必要である。

## おわりに

以上、どちらかといえば読者の皆さんにはなじみの薄い高速艇の、しかも安定性などについて紹介してきたが、この問題については今回で一区切りとしたい。要は、対象がどんな船でも、また船でなくとも問題解決の手法にそう変わりはないということである。仕事とは、人生とは問題解決の連続であり、何事にも目を背けず事の本質を見つめていけばおのずと見えてくるものがある。教科書や規則を含めて教えてくれるものの中にも未解決の問題が多々ある。そういうことについてこのノートで紹介してきたが、少しでも心に留めて頂けるものが見つかれば幸いである。また高速艇についていえば、携わっている人も少なく、先達が示してくれた設計手法にしてもその考え方すら記録にもなく忘れ去られていく現実がある。高速艇については世の動きにつれて構造設計についても規則の改正の動きがあり、私もお手伝いする場面もあったが、元々の考え方を含め記述されたものを採るのも一苦勞である。読者からの要望があれば本ノートの一環として後日紹介できればと思っている。

一方、先頃海運・造船の若手幹部候補生を前に未来に対する開発の要点、心構えについて話す機会に恵まれた。今回は、開発の手法、要点、心構えなどについて記してみたいと思っている。つたない経験であるが、個人的には比較的小型の船を手掛けることが多かったせいか、白紙の状態から製品を開発して実現するいわゆる設計上の未経験ゾーン、アウターボレーションゾーンでの業務に多く恵まれたようである。皆さんにとって身近なものでは、熱海―大島航路や青函航路の時間を半分にして欲しいとか、当時3隻で不定期時刻に発着していた東京―苫小牧のRoRo船の航路を2隻で毎日定時発着にして欲しいとか、北海道の流氷中に航行可能な砕氷観光船が欲しいとか言ったものでいずれも一部の性能だけの達成では要求に合致できる船舶としての事例は周囲には存在しなかった。小さな事例ではあるが、白紙の状態から顧客と社会のニーズに応える回答を見つける道程は開発そのものの本質を踏まえないとできないものであったのでその経験から得たものを述べることで何らかの役に立てばと願っている。

## 参考文献:

- [1] Hajime Maruo, "New approach to the theory of slender ships with forward velocity", Bulletin of the Faculty of Engineering, Yokohama National Univ., Vol.31, (1982), pp.85-100
- [2] 丸尾孟、池畑光尚、滝沢康、升也利一、"細長体近似による船体波紋の計算"、日本造船学会論文集 }、第154号、(1983)、pp.9-16
- [3] 宋五生、池畑光尚、鈴木和夫、"細長体近似による船の造波抵抗と波紋の計算"、関西造船協会誌 }、第209号、(1988)、pp.25-36
- [4] 茨木 洋、貴島勝郎、鷲尾祐秀、"高速船の横不安定現象に関する研究"、西部造船会会報第91号、平成8年3月
- [5] 鷲尾祐秀、茨木 洋、貴島勝郎、"高速船の横不安定現象に関する研究(続報)"、西部造船会会報第94号、平成9年8月
- [6] Katsuro Kijima, Hiroshi Ibaraki, Yushu Washio, "Study On the Transverse Instability of a High-Speed Craft", 2nd Workshop on Stability and Operational Safety of Ships, 1996.11.
- [7] Yushu Washio, Katsuro Kijima, Tetsuo Nagamatsu, "An Experimental Study on the Improvement of Transverse Stability at Running for High-Speed Craft", 4th International Stability Workshop, St. John's, Newfoundland, Canada, 27-29 Sept. 1998

(技術顧問兼 総合コンサルティング事業室長 鷲尾 祐秀)



# 造船設計ノート

## 船舶開発に対するステップと心構え

### はじめに

2018年度より(一財)日本船舶技術研究協会の主催で国内の海運・造船業界の幹部候補生を対象とした「未来塾」が開講されている。筆者は講師兼アドバイザーとして参加しており、本稿は承諾を受けてその際寄稿したものに加筆修正し、抄録したものであることを付記しておく[1]。

今回は、船舶開発に対するステップと心構えについて、経験談を中心として語ることにして、今から開発に携わる若人への参考としたい。エピソードを交えた私の経験談は普段あまり聞くことのない内容かもしれないが、皆さんにとってはあまりなじみのない特殊な例ばかりかもしれないが、昔と違ってこういう内容について放課後を含めて最近では話す機会も薄れてきたように思うのであながち意味のないものでもないかもしれないと思いこのチャンスに記してみることにした。

白紙に設計図を起こしていく過程など、意識の上での何がしかの参考になるのではないかと思う。開発に成功するには、歴史に学び、良き倫理観に裏付けされた自発的行動によって社会に役立つように心掛けることが大切である。対象は何であれ、やるべきことは同じである。散文的になったが特に1および2は飛ばして読み物として気楽に読んでもらいたい。

### 1. 私の手掛けた開発業務

造船に携わって既に半世紀を過ぎており、これまで設計、建造に携わってきた船種は、フェリー、RoRo船、ゼネラルカーゴ、バルクキャリア、コンテナ船、PCC、ケミカルタンカー、リーファー、トロール船、客船、貨客船、レストラン船、海洋研究船、ケーブル船、敷設艦、防災船、羊運搬船、使用済核燃料運搬船、自動帆船、砕氷船、トリマラン、そして高速艇(魚雷艇、水中翼船、巡視艇、旅客船、カーフェリー)などでそれぞれの船種に対して、「船」に対する掴みどころが分かってきたようにも思う。個々にはそれなりの苦勞の連続ではあったが、想定外の様々な船種に関わることができたことは今になって思えば幸運であったと思う。個人的にはある要素技術だけに限らず「船」という対象を俯瞰的に捉える経験ができたと思っている。

中でも開発要素の多いものに当たることも多く、いずれも国内向けのものだが、いくつか思い出すままに振り返ってみよう。

1) 20代の頃は、オートパイロット(A/P)装備のハイブリッド型のウォータージェット推進のハイドロfoil船の開発に従事し、当時のボーイング社、グラマン社の文献が大いに役に立ち、同社の技術者と接するチャンスもあって無我夢中で事に

当たった。A/Pのシステム設計、ウォータージェットのダクトの設計などに携わり、翼を含め航空工学を学ぶ機会にもなった。大型の実験艇が建造され、計測員として乗り込んでストレインゲージや加速度計による計測、解析を全てマニュアルでこなした。結果として速力はほぼ60ノットまでに達し、手がけた作業は後日の実力養成に大いに役立ち、設計にF/Bできるデータが得られたことは次への大きな自信へとつながった。

2) 次に回ってきたものは、造船現場の型鋼のNC切断機のソフト開発であったが、当時は“FORTRAN”で組んだプログラムを書き込んだ膨大なカード読み込み式の大型計算機を駆使して、稼働率の低い夜中を利用して走らせ、バグを取り除くだけでも大変で、何か月もの間試行錯誤を繰り返した。

肝心なことは現場作業において都合のよい開先を考えた自動切断ができるかどうかであって、机上の検討もさることながら溶接の実態を知らねば絵に描いた餅に過ぎないことを思い知らされたものである。

3) ほどなく船主の社長から熱海-大島を半分の時間で結ぶ高速旅客船を造ってくれという要求もたらされた。まずは片端から関連する文献を読み漁り類似船を調査したが、このように大型で在来の倍の高速を発揮できる船は当時は、世の中に存在せず、全く新たにルールを超えたものに挑戦するしかなかった。まずポンチ絵からスタートして、船体材質の選定、重量重心、推進性能、復原性能、ルールを超えた構造設計、適当な機関の選定など、実験によらざるを得ないものも多く、旅客船であるからには乗り心地もさることながら安全性を最優先させた試行錯誤の繰り返しであった。データのない外挿範囲での性能推定には不安があり、博士号を有した著名な研究者にも相談したが、推定願った結果は、及びもよらない保守的なもので、分野によっては権威や年功はいかに当てにならないかを身にしみて感じる経験であった。あらゆる情報に敏感となり、人に相談しても、総合的に決断するのは自分しかないなのである。苦勞の末、結果は上々であって、引き渡し後は就航地までの回航に乗船し、その後は設計値の妥当性を検証するために計測器を持ち込み、連日データを集積するために計測解析を繰り返した上で、設計値の妥当性について初めて論文にして発表することができた。

4) 同じような要求はそれから20年近く経った別の船主から地域の要請があるとして青函航路におけるカーフェリーの航行時間を半分にしてくれとの要求であった。その10年前に同じ要求があったのであるが、当時にはガスタービンを除いて適当な主機も存在せず、採算上からもしばらくは難しいと断っていた経緯がある。その間は、やむなく旅客専用のジェットfoil

がしばらく投入されたが、車両の搭載ができないばかりか、この航路においては耐航性に難あり、ほどなく運航中止となった。

それから10年、就航率、消席率、ランニングコスト、メンテナンス方法を含めて、欧州で巻き起こった高速フェリーブームに乗って、それらの成功例にも現地に乗船視察の上、あらゆる可能性を検証した上で設計に臨んだ。その結果、試運転では、鋼製ディーゼル船での世界最高速力42.4ノットをマークし、1997年の“Ship of the Year”の受賞に繋がった。

後日談として就航後に、シリアスなエンジントラブルが発生し、ドイツのメーカーに日参して、行きついた先には全く想定外の原因が突き止められた。おまけに引き波に関してホタテ漁業従事者と冬季の灯油給油パース関係者からクレームがついた。現地に出向いてその影響を調査し、引き波の影響を計測した結果、青森入港前に適度な減速を余儀なくされた。何れも建造時の検証項目から漏れていたものであり、想定外ではと言いつつもならない経験であった。

5) 大型フェリー各社の連続建造に勤んでいた頃、東京一苦小牧の定期航路は大型RoRo船、3隻で運行されていた。当時の両港での発着時刻はまちまちで、その理由は、まず運航速力の限界、荷役時間の限界、東京湾内での減速運航など制限されている条件が多々あった。これを毎日両港での定時発着にして3隻を2隻で運航できないかという命題であった。この問題は、1社内だけで解決できない点もあって、当時の船舶整備公社主催の調査研究テーマに掲げて頂き、採算を含みFSを行った結果、巡航速力30ノットであれば可能であるとの結論に達した。あとは、これをどう具現化するかである。船型のみならず荷役時間の短縮を含め、考えられるあらゆる検討を行った。改良すべき問題点を残した所もあったが、初の30ノット大型RoRo船、2隻を投入でき、1999年の“Ship of the Year”の受賞となった。

6) その他大型フェリーの船主社長から新事業として、「オホーツク海での流氷観光船を考えてくれ」との要望があった。「できれば船内から流氷の海面下も見れるようにしてくれ」との要求であり、データもなく、経験もなく、どの程度の砕氷能力を持たせればいいのか、旅客を乗せる観光船であるので、安全は第一であり、乗って楽しくなければならぬなどどこから手を付けばいいのか迷うことしきりであった。まず北海道大学、研究所、気象観測所などを訪れ、流氷の性状、流体力、流氷下の透明度を含め情報の収集に勤しんだ。調査報告をまとめ、実現可能であることを設計図を提示して報告した。船主は満足され、建造する決断をされたが、土壇場で「申し訳ないが今回は別の造船所に発注する…」と言われ、愕然とした。この船は、ほぼ私の基本設計通りのものが2隻、別のヤードで建造され、現在も活躍している。

7) 海洋研究船の経験では、「巡航速力で海底1万メートルの地形図を瞬時に描画可能とすべく、潜水艦並みの静粛性を要求される性能」に対して、音響機器の性能を阻害しないように海中に存在するノイズよりも自船が発生する水中ノイズをいかに抑えるかが課題になった。考えられる阻害要因と対策について全て抽出した挙句に、それらを解決するにはどうすればいいか、対策と

日程を検討して、次には方策を練り、実行していった。船型に関しては、航行中には船首部から空気が巻き込まれるが、この泡が船底に達しないような線図を模索し、バウスラストの翼はフォワードスキューを採用し、さらにスラスト開口が起因で発生する気泡の船底への巻き込みを防ぐため開口部には開閉可能な蓋を設け、主機関は二重防振支持とし、プロペラのキャビテーションには最大限の注意を払った設計を採用し、外板内側には吸音材を張り付けるなどの対策を施した。結果として巡航速力16ノットで航行しながら船底から大角度で放射する超音波がカバーする広範囲の海底地形図が、船上で同時に描画できるリアルタイムマッピング性能が発揮できたのである。後日考えると副次的効果として次の開発に役立つ多くのノウハウが得られた。

8) 結果として実現できなかったものに自動で操帆が可能な自動帆船がある。これも貨客船を運行する船主の社長からの問いかけで、東京湾、あるいは可能であれば外洋まで運航可能な帆船クルーズ船はできないかということであった。帆船は優雅で誰しも興味をそそられるものであるが、操帆に多大な人手を要するため今では大型の練習船でしか見ることはできない。これがすべて自動化できれば別の用途も膨らむ。おりしも日本では好景気に沸き、いわゆるバブル景気の時期であり、こういうことに投資したいという顧客も複数存在したのである。個人的にはとても興味をそそられ、帆船の知識に欠けていた私はそれこそ関連文献を漁り、「日本丸」などの設計のベテラン、宝田先生や、「マーマイド号」などの設計で有名なヨット設計の大家、横山晃さんにも教えを乞うたことを思い出す。しかし、調べたところ自動帆船は米国のオーナーが当時のフィンランドのバルチラ造船所に開発を依頼し、実船としてはフランスのセヌ川の河口のルアーブルにあるACHヤードが“Windstar”シリーズとして3隻建造し就航していることが分り、さらにもう1隻、やはりフランスの設計、建造で、“Le Ponant”が実船として、フランス領東カリブ海にクルーズ船として就航していることが分った。調査を進める中で欧州のヨットメーカーを含め関連ヤードに接触し、地中海と東カリブ海で別々の思想でできた自動操帆のクルーズ船に1週間ずつ乗り込んで実態を調査した。検討結果、当時としては類似の自動帆船を日本で早期に実現するためにはこれらの技術を導入することがベストとして技術導入契約を実施することで進めた。それまでに帆船としての様々な特性を把握して伊豆七島をクルーズ可能な大型の自動帆船を計画し、PRのために大型の可動式全体模型も製作してあとは契約を残すだけとなった。

発注直前にバブルがはじけ、実現には至らなかった。その後も当時クルーズ船が勃興したころにカリブ海の乗船調査に同行させて頂いたこともあったフェリー会社のアクティブな社長は、同社が横浜で運航している中古客船を改造したレストラン船の代替として、小型のクルーズ船としても使える帆船の実現に意欲を示された。その意向に寄り添い、基本計画を完成させ、契約を進めようとしたところ、氏の急逝のため立ち消えになったことは誠に残念であった。

9) 今一つ紹介するのは、米海軍が湾岸戦争での反省を含め、

新たに明確な運用使用条件を提示して最適船型を模索して、数年に渡って各メーカーが選定作業でしのぎを削る“LCS”計画である。後掲の図に示すようにそれまで船の世界で存在しなかった高速で大きなDWT:載貨重量を有する船にすることが条件であった。耐航性も要求され、SESを含め様々な設計案が競い合ったが、結果としてトリマラン船型と保守層が選定した従来型モノハル船型が採用され、現在両船型とも連続建造されている。このうちトリマランについての日本での技術上の蓄積は皆無であったといってよく、日本として自前の評価と設計可能なポテンシャルを有しておくことの必要性を強く感じた。この開発は顧客のニーズから出たものではなく、将来の日本のためにと当センターから資金が提供され、東大の数人の先生方に協力して頂き、試設計船の水槽試験を含め、できる限りの問題点をクリアするべく開発研究を進めた。これはいわば机上のFSとでもいうべき開発であったが、試設計を含めて結果についての一端は学会にも発表し、具体的な設計を展開する上での蓄積を図ることができた。最初は雲をつかむような手探り状態であったが、先生方とも協議を重ねるごとに検討すべき事項が明確になって各専門での分担作業となった。当然のことながらセキュリティサイドからも興味を示されており、10年経った現在、研究が進んでおり、わずかながら私もその一端を担わせて頂いている。

以上、久しぶりに思い出しながら書き下してみたが、世の中にある目に見えているものの内部には、単に「船」みたいなものであってもその裏にいろいろの事情と人の苦労や活躍が隠されているということを、改めて感じるようになった。しかし、正直なところ、実は失敗経験も数多くあったし、こういうことを書くのは恥ずかしい面も多々あるが、読んでもらって少しでも役に立つものを発見してもらえば幸いである。今一つ言っておきたいことは、「失敗を恐れるな、たとえ失敗しても、突っ走るのではなく、気づいたら原点に戻ってやり直す勇気を持って」ということである。

まだ思い出すものは色々あるが、紙面の制約もあるので次に今一つ皆さんが身近に感じられて面白いと思われる次の成功例について少し詳しく記してみたい。

## 2. 東京湾レストラン船の開発について

かつて手がけた日本初の本格的レストラン船は、2019年に就航30周年を迎えた。伊豆七島航路の貨客船をいくつか手掛けていた私に、船主の社長からお声がかかった。「日本には本格的なレストラン船がない、竹芝桟橋はもうすぐ完全にリニューアルされ見違えるようにきれいな岸壁とビル群に囲まれることになる。そこで、東京湾で21世紀にふさわしい日本が誇れる本格的なレストラン船を造って欲しい…、フランス仕込みの椿山荘のシェフを乗り込ませて本格的なフランス料理を提供する船にしたい。そのためには船内調理のための本格的なギャレイも設けたい…、但し、技術先行でデザインしてもらっては困る、先頃開園したディズニーランドの周辺に新設されたリッチなホテルに泊まって遊び、最新のデザインセンスを肌で感じ取ってからにして欲しい…」との話で、大きさ、定員、船価レベルなどは好き

に提案せよというものであった。手配してくれた課長さん共々、翌日からTDL周辺に新設された豪華ホテルに泊まり、客としてスペースマウンテンを始め遊興に浸り、若き顧客層の好みを感じ取るべく体のいい視察を行った。勿論、TDLも初めてでこんなチャンスがなければ行くはずもない粋な計らいであった。

果たしてタイプシップとしての既存船のデータも何もなく、旅客の定員から考えられる大ギャレイ設備をどう配置し、出航後に直ちに全旅客に配膳するための工夫を考えねばならない。

まず速力だが、竹芝桟橋を出て羽田沖まで航行し、帰着するまで客が窓の外をゆっくり眺めながら食事を楽しみ、かつ食事後に外の空気を吸って東京港の風景を楽しむための時間を考え、さらに毎日、最低3航海を可能にするためダイヤを組むことから始めた。速力が決まると旅客定員と船の大きさを適当に決めて一般配置をスケッチする。旅客の数、動線とギャレイの規模、そして配膳とを考えた配置にする。大きなレストランと少人数で楽しむ個室も備え、結婚式や演芸などが楽しめるスペースにオープンデッキ、売店なども考えて一通りの配置が完成する。そうした所で、重量重心、パワリングなど船の基本性能のチェックをひと回しした上で、船価を試算し、就航後の採算を検討してみる。消席率がどのくらいになるか見当もつかないが、30%程度でもトントンになりそうな結果が得られた。

一方、東京湾での旅客船であるので外観デザインは重要である。一般的な地中海に浮かぶ豪華ヨットスタイルを考えたが、余りに面白くない。大きなレストランでは客は窓際に座りたがるに決まっている。銀座を歩いていて4丁目にある有名な三愛ビルに目が留まった。そうだ、床から天井まで総ガラス張りのレストランがいい、しかも円筒形で船外に出張った総ガラス張りの船ではどうか。中央に座った客も船外の風景が居ながらにして手に取れるではないか。社内にいる芸大出の美術家に相談し2層ぶち抜きの円筒形の客室を中央に備えた斬新な外観が出来上がった。これを最終的に推すことにして、豪華ヨットスタイルなどの外観も参考に合計十数種を持参して客にプレゼンした。結果として21世紀の東京湾に総ガラス張りの円筒形レストランを擁するデザインが出来上がった。二転三転はしたが、採算などから船の規模も固まってきた。

各レストラン、個室を含め内装のデザインは専門のデザイナーに競ってもらい、決定した。あとは小船だけに、レストラン船として食事中に船が揺れて皿がすべり落ちたり、船酔い者が出るようではそれだけで著しく評判を損ねその後の営業は終わりに帰してしまうことが予想された。ひそひそ話が可能な静粛性、振動騒音対策、加えて。万全の動揺対策、離接岸にタグボート使わずに可能にすることなどいわゆる造船屋としての性能検証に勤しんだ。実績のないものだけに、机上の検討だけではとても不安要素が多いものであったが、考えられる要素を全て抜き出し、最後には平水仕様だけに、外洋を通過して本船を無事造船所から東京湾まで安全に回航する対策にも万全を期した。

一方、窓ガラスの大きさ、厚さ、強度などの仕様に加え、清掃をどうするのかという大きな問題が浮かび上がった。ガラス

の強度や設置に対する船体との接合方法などは、船の軋みや揺れに対して十分なシミュレーションの下で設計を行った。洗浄については、あれこれ提案されたアイデアから格納式の自動洗浄装置を装備した。船主工務陣から、「それにしても2層ぶち抜きで丸筒形総ガラス張りの客室は実績がないため第2船では考えても安全上から第1船では1層だけにしてくれ」との強い要望が出され、当方としても多少の不安がかすめる中、結果として1層のみとなった。最上階のオープンデッキは夏冬の暴露は問題ありとして、天井付きのカバースペースが追加されるなど、外観上からも初期のスタイルからはかなりの変更を余儀なくされたが、営業上からの要望は大切に受け止めることにした。実のところびくびくしながらの試運転ではあったが、大きな問題も生ぜず、無事の引き渡しとなった。船名も21世紀にふさわしい仏語で“ヴァンテアン”と命名された。

就航早々、真乃花の婚約パーティーに貸し切りとなり、夜のゴールデンタイムにTV放映された時は、それこそアンサンブヒーロー(Unsung Hero)の気分であつた。その後、貸し切りで結婚式を挙げる客は相次ぎ、訪船するたびに好評を頂き、開発に勤しんだ者の醍醐味を感じたものだ。ただ、上部に夜の星やブリッジを居ながらに見られるように天窓を配置したが、日光のまぶしい時は邪魔になり、夜間に天窓を介して空を眺める人などおらず、これは余計なことであった。

さらにグッドデザイン賞、いわゆる“Gマーク”を与えられ、客にも好評で、より大きな第2船の建造もほぼ決まりかけた時にバブルがはじけて実現はならなかった。後日談として時の船主の社長は「次の船に踏み切らなくてよかった、命拾いした」と言われたのを覚えている。就航して30年も経ち、オーナーによる保守点検が行き届いて今もなお新造時のままの状態で日夜の運航が続いていることは誠に心に残る嬉しい事である。



Fig.1 私が手がけた開発船舶など

### 3. 開発についてのステップと心構え [2]

私自身が、これまでそれなりに苦労して開発を手掛けてきたが、基本的に対象が何であれ、立ちはだかる問題に対しての解決策に妙策はあるはずもなく、しかし、共通した考え方、姿勢があるのではないかと考えるようになった。つたない経験ではあるが、下記に注意して計画を立て、あとは実行だけである。これは開発業務に限らずすべてに当てはまることかもしれない

が、私としてはこれらが意識されて実行されなくては成功に結び付くことはおぼつかないのではないかと考えている。内容が多分に心構え的なものになっているのはそのためである。

#### 0) 最新情報に対するたゆまぬ努力

- 日頃の準備としての該当機種だけでなく、世の動向、内外の最新情報、参考文献、研究成果等のキャッチ、および蓄積されたデータベースの再構築、活用を図っておくこと。
- データベースの活用に対しては、今からはAIの利用を組み込むこと。
- 国内情報だけでなく最低限、IMO、RINA、SNAME 等が発信する情報は随時入手しておくこと。
- 顧客要求が届いてからおもむろに開始するのではなく、何事に対しても日常からの心構えと準備が必要であると同時に、これらを所属する組織が理解し実行できている、あるいはできることが開発に取り組む前提である。

#### 1) 顧客のニーズ、社会のニーズを踏まえた開発であることの確認

- 顧客のニーズ、使用者のニーズを反映させたものであることは勿論であるが、目標は社会に対して貢献できるものであること、ESG (環境・社会・企業統治) を念頭においた影響を考慮した上で、上司を含め周囲の理解を得ること。
- 利益追求だけでなく、最終目標は何か見極めること、情熱が持てるか、sustainable な命題かを見定めること。
- Product Out (研究開発型) に偏らず、Market Pull (市場志向型) を意識した開発を心がけること。
- 開発に着手する前に、命題に対して解が見込めること、問題の本質を確認しておくことが重要である。

#### 2) コンセプトデザインの実行と開発の見極め

- 上記を踏まえて白紙よりコンセプトデザインを実行し、製品としての成立の可否を見極める。
- それは、蓄積されたデータベースと内外情報との組み合わせによるシステム構築である。
- 既存技術の応用、組み合わせで可能な限界を見極め、さらに開発が必要な項目とを区分けして問題点を整理し、開発期間を含めマスタースケジュールを作成する。

#### 3) 市場調査、開発終了後のランニングコストを含めた分析と予算の裏付け

- 市場投入時期と当面の損益分岐点を考慮した採算計算の実施。(開発には採算度外視の案件もあるにはある。)
- ランニングコスト、メンテコスト、ライフサイクルコスト、終末処理まで考慮して試算検討する。
- その中には当然、引き渡し後の各船用工業品の緊急供給体制の裏付けを確認しておくことが必要である。

#### 4) 目標設定と開発日程の確定

- 上記を踏まえて開発可能と判断されれば、顧客の同意、上司の賛同を踏まえた組織としての開発プロジェクトを立ち上げる。(リーダーとメンバーの責任を明確にしておくこと。)
- 大きな目標設定と、目標時期までに開発を要する項目、既存

技術の組み合わせで解決できる項目、チェックする項目、管理する項目、気になる事柄をすべて網羅し、想定外の項目を除外した管理表を設定する。

- 当然ながら、製作現場の実力把握と、理解が前提となる。
- 自己を含めプロジェクトチームだけで実行し、完結することは当然だが、必要に応じて、日頃からの付き合いを大学、研究機関、関連産業などと深めておいて、所謂クラスターの活用も計画に含めておくこと。
- その上で、必要な予算計画を立て、組織内で裏付けを得ること。

### 5) 開発責任者としての自覚 (品質管理の徹底と自分が主体の開発)

- 品質管理の徹底と自分が主体の開発と心得、リーダーであってもアンサングヒーローに徹することを自覚して取り掛かること。
- たとえ自分自身が会社や組織の一員としてどこのポジションにいても、自分自身の矜持に鑑みて、全て自己の問題であり、自己完結業務としての解決するための目標に向かって進む自覚を持つこと。
- AI による判断結果を参考にしても最終的には自分の判断で決断すること。
- ジェネラリストの視点を持ったスペシャリストたれ。目前の仕事に勤しむだけでなく、その仕事が全体の中での位置づけ、社会とのかかわり方などを同時に把握しながら実行すること。
- 実現まで常にミスがないか、見落としがないかをチェックして、見つければ遠回りしてでも原点に戻る勇気をもって修正すること。
- あとは、開発日程を見ながら実行あるのみであり、失敗、成果を含め必ず記録を残しておくことである。

以上、私なりに開発に際して必ず心しておかねばならないステップと心構えを記してみたが、約 15 年前に輸送手段としての船舶の建造実績を載貨重量 DWT ベースに航海速力 Vs で整理してみたことがある [3]。結果は Fig.2 の在来船型で整理される範囲の船舶が一般に船舶と呼ばれるものであることが可視的にもよく分かり、より高速を出すためには、造船工学の理論からしても要するに船の長さを長くして大型にすることが必要であったことが良く分かった。例外的には、とても高速な小型の船舶も存在したが、これらは数十トンを超えるような荷物の輸送手段としての役割は果たす能力はない。ほんの数十年前まではこの二つのゾーンを除いてその他の範囲には船舶は存在していなかったのである。1980 年代に欧州中心に起こった大型の高速フェリー群がこの壁を破った。計画だけに終わったが日本が提案した TSL はこの新しいゾーンに楔を打つ役目を果たしたことにちなむ。その後湾岸戦争の反省もあって、米国は LCS 計画を企画してより大きな貨物を高速で短時間に輸送可能な大型の船舶、特にトリマラン船型の開発に成功し、海軍の対象船が連続建造されつつある。民間においても数は少ないが来年には国内フェリーとして海外のヤードから輸入されて登場する予定である。

読者の皆さんが手掛けてきた船舶はそのほとんどが図の在来船の範囲を対象にしているのではないかと思うが、世界の情勢

の変化に伴い、社会のニーズに従って今後の開発を考える時に図に示すような視点も持ってもらいたいと考える。

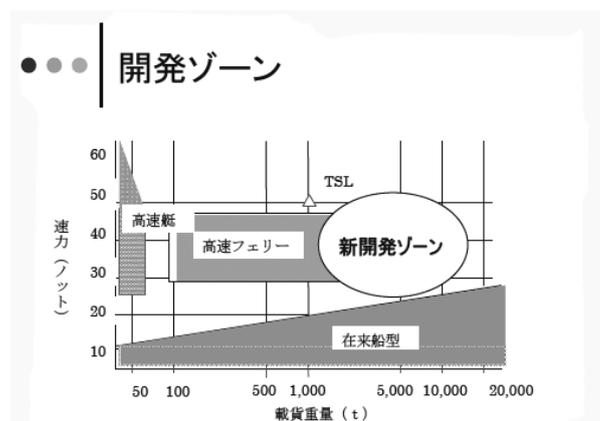


Fig.2 船舶の開発ゾーン (載貨重量 DWT と航海速力 Vs の関係)

## 4. 次世代を担う者への期待

見渡してみれば、私達は朝三暮四を地で行き、米百俵の教えを忘れてるように思える。翻って災害のあるなしに拘わらず戦後の日本の社会、組織は多かれ少なかれ同じ状況で、起こった事実を総括せず、目前の生産と利益追求ばかりに追われ、先達の教訓に倣って着実に未来に布石を打っていく気概など、端からなかったようにさえ思える。自戒を含めて真面目に頑張ってきたつもりでも目先の生産に追われて時が進み、定年を目前にして気が付けば技術者としてはおろか自分がどういう存在になり得たのか、疑問を抱くにも多いのではないだろうか。

人生の中で自己の職業をどう位置付けるかなどは人それぞれの勝手であってチャンスと偶然がつきものであるが、組織や体制に囚われず志を持って臨むものがあるならば、それなりのやり方もあるのではないだろうか。いつも思うのは、楽にこなせたり、幸せを感じることができたりするのは父母を始めとする先達のお陰であり、その逆はそのツケが回されたのだとを感じる。だから自分がこの世にある限り問題を先送りすることなく、後に続くものにはツケを回してならないと思って過ごしてきた。

過去いくつかの開発に直接かかわってきた者として今更ながら思うことは、勝手に自分の専門分野に拘らないこと、顧客に接する時に自分に必要なことは、専門知識に加えてあらゆる事象に対する教養であり、広く教養を身に着ける努力を怠らないことが大切である。自分のポテンシャルを上回ることは見通せないし、それがどれほど自分より高いものかについても分からない。逆は手に取るように見えるものである。世界を見、近隣諸国を見、自分の位置を確認すること、そのためにはあらゆる情報に敏感で内外の参考論文を含めて日頃の蓄積が重要である。

船の設計とは大まかに言って既存の技術と既知の情報の組み合わせによるシステムとしての完成を目指し、新たに開発すべき項目をプラスアルファとして組み込むことである。どこに開発のポイントを据えるか、開発を通じてポテンシャルを磨き、全体を見渡す眼力を養い、自信をつけて自己実現につなげる仕

事としたいものである。

私が最近重要と思っている事の一つとして、日常の注意としてまずは三種の神器なるものを身に付けてもらいたいと思うのである。それは、まず英語力の養成、次には、IT/AI 技術の知識、三つめとしては歴史に学び、特に宗教に関する知識を磨くということである。北欧の国々に学ぶまでもなく今の世界で英語力は必須であり、IT に目を背けては失うものが多すぎる。業務上も個人的にもデータ処理をどうこなしていくかを考える時、そしてその技術を使いこなすためには必須なアイテムになるのは間違いない。それに加えて私がとても大切だと思うのは、眼前のことにすべて歴史があり、よって来るべき由縁が存在する、このことを知らずしては、相手はおろか自分も見失う恐れがある。歴史音痴の日本人が最も不得意とするところかもしれないが、特に宗教音痴ではすぐ隣にいる隣人ですらお互いに誤解を生じかねないし、世界で起きている事の実態は見えてこない、逆にこの点に着目することによって、毎日起きている事象の理解に大いに役立ち、民族や国が違って誤解を生ぜずに対話が成り立つということである。長くなるので別の機会によるが、自己の体験から特に外国と付き合う時には要注意項目であることは論を待たない。一見、技術や開発に関係ないように思えるかもしれないが、世界の主要な技術開発もこの暗黙の理解の下でなされているものが多いのである。

仕事とは問題解決の連続であり、人材は受け身的に育成されるのを待つのではなく、何事も自己啓発的に俯瞰的な視点をもってことに当たることが肝要で、対象は船であれ、車であれ、職業が医者であれ商人であれ、政治家であろうとも人間が対象である以上、対応方法は変わらないということではないだろうか。

要するに周辺環境が少々悪くてもその気になって精進していけばそれなりの成果は得られるのではないかと思うし、逆に組織体としては将来を見据えた育成システムに対してもっと目を向けることを考えるべきではないかと思う。解きやすい命題ばかり追いかけて論文にして満足しているのでは見通しは暗い。以前に記した英国戦略ののっつた BMT は、約 1,500 人の技術者を有して対象物を俯瞰して取りまとめができる "Naval Architect" ("Generalist") としての人材を擁すシンクタンクとしての存在になっている。加えて近隣では設立後半世紀を過ぎた中国の SDARI は、いまや総勢 600 人、平均年齢 37 歳で、年間 170 隻の設計をこなすと聞いており、日本の船主サイドからの引き合い対応についての迅速性は既に国内ヤードの敵ではなく、今後のデータ蓄積と新規開発に対する能力は侮りがたいものがある。

既存の技術だけを駆使して生産量を上げて、その手間賃を得るような仕事に甘んぜず、常に先を見越していかなければならない。世のニーズをキャッチし、シーズを蒔いて次の世代の開発につなぐことを日頃から目指してもらいたいと思う。

セキュリティの高い社会を見るにつけ思うことは、業績をエビデンスで示せなくとも顕彰されなくとも、たとえ組織からせり口査定を受けようとも、各人が自己評価を高め、アンサングヒー

ローたることに甘んじる心掛けを集団的に共有されている社会が基本的にリスクを最小限に抑えることに繋がるのではないかということである。日本の将来を考える時、消極的に見えても先達が培ったこの国の良き伝統、文化を失ってはならない。

隣国の中国は、既にスパコン、量子コンや 5G で世界をリードし、拳句は世界のデータベースを手中に収めようとしているように見える。データを制する者は世界を制することを見通しているようである。米国の "GAFA+M" の 5 社の金融上の実力は、日本のトップ 5 社の数倍にも達していることにも目を向けて、ポーッと置いて気に留めないことは危険ですらある。中国のアリババ、テンセントなども同様である。「一帯一路」構想を見るにつけ「鄭和」を思い出すのは私だけではあるまい。国際ルールに倣う企業であるならば、その逆手も考えておかねばならない。

10 年以上前に当時の日本の最大の ODA 支援国に JICA に参画して行った際に、先方の高官が言うには、「日本は金持ちで助かるが支援に時間と手間がかかって困る、中国は希望の半分も叶えてくれないがすぐに対応して、翌日には何がしかを持ってくる。日本は世界の、アジアの中でどういう理念と哲学をもって進もうとしているのか見えない、そういう意味で存在感を感じない。金が尽きれば『杜子春』(とは言わなかったが)と同じ運命を迎えるのではないかと心配してくれた。

技術者として生きようと考えている皆さんも同じで、日本が古来培ってきた倫理観や文化観に基づくものをベースに世界を概観して理念と哲学を意識して存在感を示してもらいたいと思う。

組織的、行政的対応と個人的創意の調和を大切に、施策規則、定説や発表された論文などは鵜呑みにせず疑問を持って検証していくこと、常に目のものだけでなく周辺をも把握していく目を持つこと、そうすれば 10 年もせずにリーダーシップを発揮できる一流の技術者になること間違いない。

ヴィジョンを持ち、リテラシーを磨き存在感を示していってほしい。造船のある分野におけるスペシャリストであると同時にジェネラリストたる視点を常に養い、総括的に眼力を発揮できる能力を磨いて欲しい。

## おわりに

ここまで読んでくださった読者諸氏には、是非とも知的でクリエイティブな仕事に携わっていく中で、次世代をリードして自己実現を図ってもらいたいと願っている。

### 参考文献:

- [1] 鷲尾祐秀、"船舶の開発についての所感"、2018 年度技術開発未来塾、(一財)日本船舶技術研究協会、2019 年 3 月
- [2] 鷲尾祐秀、"次世代の船舶開発に対する期待"、2019 年 9 月、日本船舶海洋工学会誌「咸臨」
- [3] 鷲尾祐秀、"高速船の位置づけと果たすべき役割"、日本造船学会誌 第 867 号 (平成 14 年 5 月)

(技術顧問兼 総合コンサルティング事業室長 鷲尾 祐秀)