

# 生研試作アルミ艇について

ON THE IIS ALUMINUM BOAT BUILT FOR TRIAL

山	縣	昌	夫*
MASAO		YAMAGATA	
元	良	誠	三**
SEIZO		MCTORA	
安	藤	良	夫***
ANDO		YOSHIO	

We built a boat with out-board engine for trial from light alloy 56S. The following data is of interest: L.O.A. 5.000m; beam 1.486 m; depth 0.678m; weight of hull only, 100kg. This weight is about a half compared with the same type wooden one.

In future sails will be fitted. The form of the boat is suitable for motor boat trimming by the stern and is suitable for yacht when the boat is even keel except engine.

The maximum speed was 27 knots with 22 HP out-board engine.

This boat has been and will be used to study work, strength, vibration, corrosion etc.

## 1. 緒 言

船舶の Dead Weight (載貨重量) に対して Light Weight (自重と考えてよい) を軽くしようとする努力は終止続けられている。工作法の面からは鋸構造から溶接構造へと移つたが、構造材料の面からは木から鉄、鉄から鋼と変つて来た。そして近年姿をあらわしてきたのがアルミ合金である。

歐米においてはこの種の合金は船体構造の一部に盛に使われ、第二次大戦以後建造された大型客船では大量のアルミ合金を使用しているものが多い。

わが国においてもアルミ合金を船に応用しようとする気運が熟し、使用される量は必ずしも多くないが、昭和25年石川島造船所で建造された保安庁の巡視船大王以来多数の船の上部構造、載装品、救命艇などに使用されて来た。

著者等は船用アルミニウム合金のうち耐蝕性および強度はすぐれているが、工作が困難といわれる第二種半硬質 (56 S- $\frac{1}{2}$ H) を用いて長さ約5mの全軽合金製のヨット兼舷外機艇を設計試作し、工作法、強度、振動、耐蝕性の研究をはじめたが、一応舷外機艇としての工事は完了したのでそれまでをとりまとめたのが本報告である。

## 2. 艇 型

試作艇の一般配置を第1図に示す。艇尾に50HP Johns on Seahorse 舷外機をつけ約30ノットで航走するようにすると共に、舷外機を外して帆をつければヨットとしても使用できるよう Snipe型の帆装具も備えている。

軽合金製艇では木製艇と異り構造材自体の浮力が殆どないので万一損傷した場合には沈没の危険があるのでヨックピット前部と後部に約412kgの浮力を有する空気箱をそなえて浮力タンクとしている。

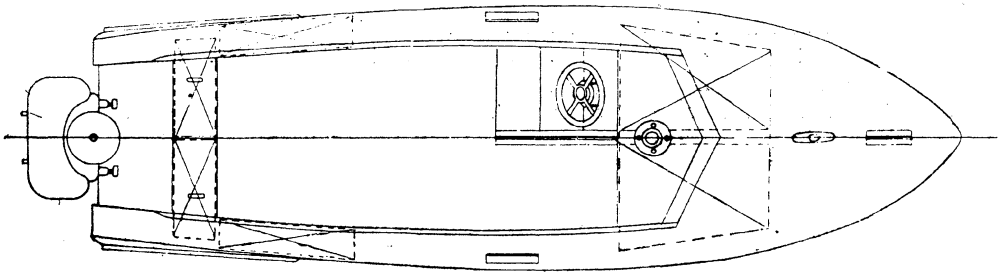
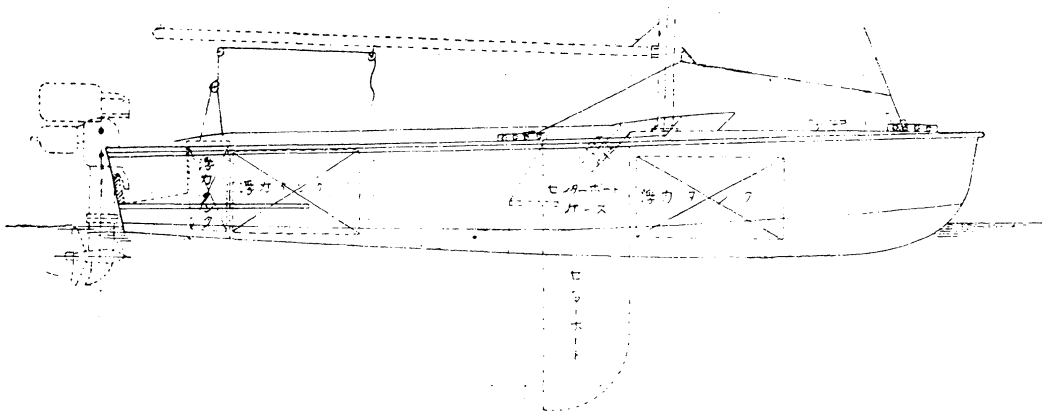
試作艇は前述の如くモーターボートとヨットと両方の目的に使用されるので艇型に工夫がこらされた。すなわちヨットでは最大速力8ノット程度であるのに舷外機艇としては約30ノットに達し、前者では艇尾の巾が狭く水線型が滑かなものがよく、後者に対しては艇尾の巾が広く底面全体が滑定板となるような型がよいからである。

そこで舷外機を艇尾につけるためのトリム (傾斜) によつてこの二つの相異なる艇型を使いわけることとした。本艇を1mトリムさせるに要するモーメントは1.107 t-mで、マストをとり舷外機をつけると約0.25mのトリムを生ずる。それ故第2図のように帆走時にはほぼeven keelでヨットの艇型となり、舷外機をつけた時には0.25mト

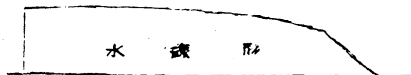
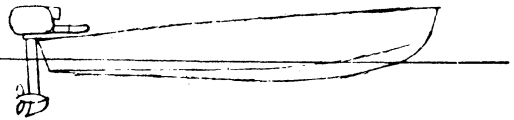
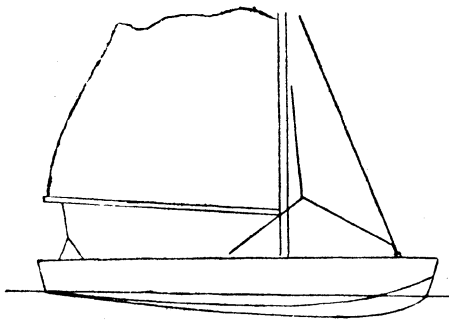
\* 東京大学工学部教授工学博士  
Prof., Faculty of Engineering, University of Tokyo.

\*\* 東京大学工学部助教授  
A. Prof., Faculty of Engineering, University of Tokyo.

\*\*\* 東京大学生産技術研究所助教授  
A. Prof., Institute of Industrial Science, University of Tokyo.



第1図 一般配置図  
Fig.1 General arrangement



帆走時

機走時

第2図

Fig. 2

リムしてはば高速艇の艇型に近くなるよう線図を定めたその艇型の線図を第3図に示す。

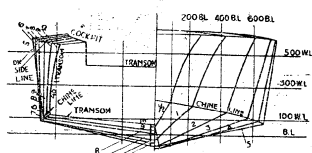
なお高速時に艇尾が過度に沈下するのを防ぐために艇尾のchine lineを下向きの凹線とし、その揚力によつて

航走時の姿勢を保ちうるようにした。

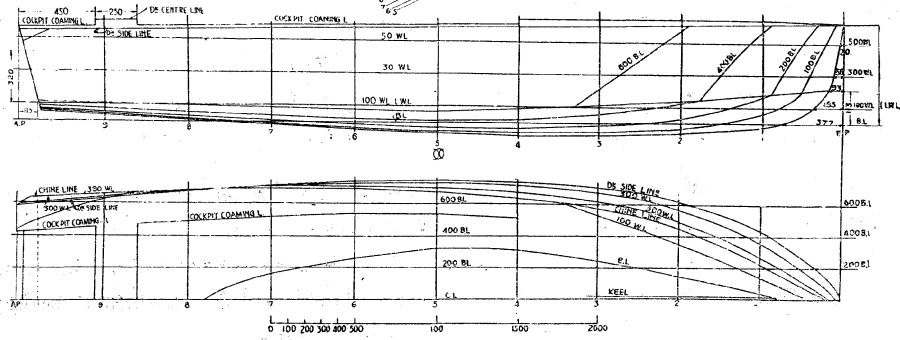
試作艇の主要要目は次の通りである。

全長	5.000m
巾	1.486m

HALF BREADTH IN (MM)											
FP	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TRANSOM
BASLINE		37	142	246	305	312	262	167			
100 WL	58	138	345	532	636	670	680	693	675	616	560
300 WL	118	267	490	618	673	699	705	697	677	653	650
500 WL	194	355	554	672	715	726	720	700	672	635	597
CHINE LINE	90	223	442	673	837	868	887	890	872	821	631
DK SIDE L	270	426	612	100	1737	743	729	703	671	628	583
COCK PIT						533	530	512	489	459	420



VERTICAL HEIGHT IN MM												
FP	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TRANSOM	
CENTER L	624	82	-23	-61	-76	-77	-65	-43	-21	0	26	62
100 BL	234	62	-25	-53	57	-69	-30	-10	14	46	68	
200 BL	514	179	28	-12	-30	-25	-12	6	30	85	76	
400 BL	500	124	59	24	10	15	37	89	76	82		
600 BL	585	325	81	64	81	81	64	98	108			
CHINE L	200	178	140	111	90	75	76	82	94	104	111	
DE SIDE L	524	618	818	608	600	593	564	576	569	546	554	642



第3図 線 図  
Fig.3 Lines

深 さ 0.678m  
計画排水量 389kg (帆装及び乗員3名共)

3. 強 度

軽合金を使用するときは木製艇では問題とならない個所の挫屈等も十分考慮して設計する必要がある。

艇首艇底に衝撃をうけた場合が縦強度上最も大なる荷重と考えられるのでその計算例を示す。

$P = -nW$ なる力がFPよりL/6の所に働くとする。Wは満載排水量、nは荷重倍数で2.0にとつた。重心を通る軸の周りの質量の慣性モーメントをI、重心からPまでの距離をeとし、浮力は無視する。(第4図参照)実際には浮力は動的のもの、静的のものが存在するのであるが、これを考慮すれば荷重が減るので無視しても安全側

にでる。重心の上向の線加速度は

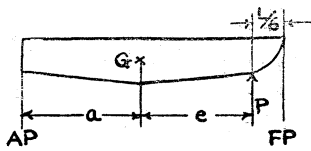
$$\ddot{z}_1 = \frac{P}{W \cdot g}$$

但し gは重力の加速度

重心の周りの角加速度は

$$\ddot{\theta} = \frac{eP}{I}$$

APより重心までの距離をaであらわすとき、APより



第4図 Fig.4

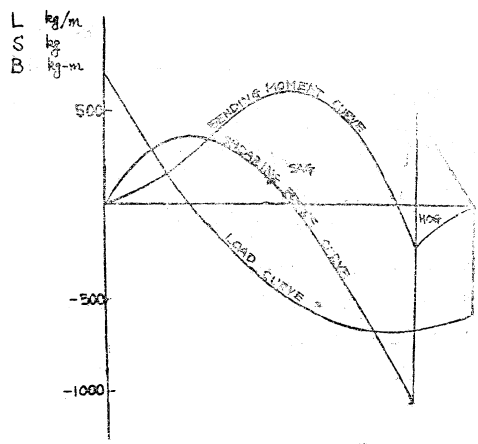
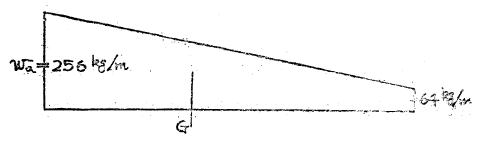
xなる点の総合線加速度は次のようになる。

$$\ddot{z} = \ddot{z}_1 + (x-a)\ddot{\theta}$$

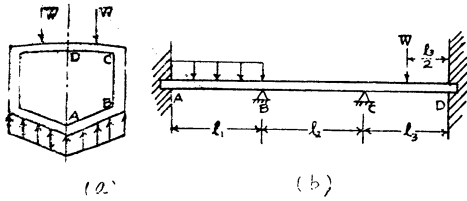
Weight curve  $w(x)$  とすれば Load curve  $L(x)$  は  $w(x)\ddot{z}/g$  の分布荷重のほか  $x=5L/6$  に集中荷重 P が働く。

Shearing Forth curveは  $F(x) = \int L(x)dx$ , Bending Moment curveは  $M(x) = \int F(x)dx$  によりそれぞれ求められる。

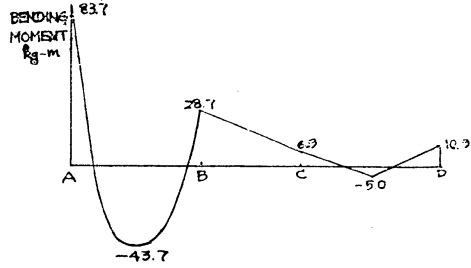
試作艇の設計に際しては



第5図 Fig.5



第 6 図 Fig. 6



第 7 図 Fig. 7

W=800 kg  
 重心 0.5m abaft a=2.0m  
 L=5.00m

艇の重量は linear に分布すると考えれば  $W_a=256\text{kg/m}$ ,  $W_f=64\text{kg/m}$  となる。

Weight, Load, Shearing Force, Bending Moment curves を第 5 図に示す。

$F_{max}=1,064\text{kg}$  at  $x=4.17\text{m}$   
 $M_{max}=623\text{kg-m(sag)}$  at  $x=2.51\text{m}$

両端を支持した長さ L の梁の中央に集中荷重がある場合の Bending Moment の最大値は  $1/4 WL$ , 同じ荷重が様に分布した場合は  $1/8 WL$ , Shearing Force の最大値は何れの場合も  $W/2$  である。木製のヨツトの場合はこの中間をとつて  $1/6 WL$  で設計する場合が多いようであるが、前述の数値を入れると

$F_{max}=400\text{kg}$   
 $M_{max}=667\text{kg-m}$

となり、前部衝撃の場合にくらべると Bending Moment はほぼ同じであるのに反し、Shearing Force は非常に違いである。木製艇では部材の厚さが非常に大きいので Shearing Force による捩屈は考える必要はないが、軽合金製の艇では問題になる。

両辺の長さ a, b なる厚さ t の矩形板に剪断荷重が働く場合の捩屈応力は

$$\tau_{cr} = k \left\{ \frac{E}{1 - \frac{1}{m^2}} \right\} (t/b)^2$$

但し E : ヤング率  
 m : ポアソン数  
 k : 係数

試作艇においては  $E=7200\text{kg/mm}^2$ ,  $m=3$ ,  $t=0.8\text{mm}$ ,  $b=155\text{mm}$ ,  $k=5.02$  ( $a/b=3.0$ , 四辺支持) で  $\tau_{cr}= \text{kg/mm}^2$  となる。第 5 図でわかるように最大剪断力は FP より  $L/6$  におこり、その位置の最大剪断応力は

$$\tau_{max}=1.00\text{kg/mm}^2$$

である。これは shear resistance でもつ場合で、これで

捩屈してもあとは tension field でもつから安全率はほぼ 1 で小さくしてある。

次に横強度であるが第 6 図 (a) の如き艇体の肋材は中心線より切断して (b) の如く引伸ばした両端固定の連続梁におきかえて計算を行つた。

一例として Fr. No.5 について行つた計算結果を示す。

$$\begin{cases} l_1 = 660\text{mm}, l_2 = 520\text{mm}, l_3 = 740\text{mm} \\ w = (fr.sp) \times p = 18 \text{ kg/cm} \\ p = 0.3\text{kg/cm}^2 \\ W = 75 \text{ kg} \end{cases}$$

以上の数値を入れて Bending Moment を計算すると第 7 図のようになる。肋材の深さは縦通材が貫通することをも考慮して上記の Bending Moment に対して十分に設計を行つた。肋骨は重量節約のため一枚の板から切りぬいて造り、縦通材を joggle して肋材の flange は切らず強度の低下を防いだが、工作が面倒になつた。

水圧 p をうける艇底外板は肋材と縦通材に囲れた大体矩形の形をもち、そのアスペクト比は 3 以上であるので対辺固定の無限帯板と考える。

(第 8 図)

$$2a/t = \mu$$

とくと最大曲げ応力は固定縁にて

$$(\sigma_x)_{max} = \frac{3}{2} p \mu^2 \frac{ma \cosh ma - \sinh ma}{m^2 a^2 \sinh ma}$$

引張応力は

$$\sigma_x = \frac{E m^2 a^2}{3(1-\gamma^2) \mu^2}$$

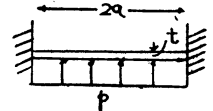
但し E ヤング率  
 $\gamma$  ポアソン比

ma は次式より求まる。

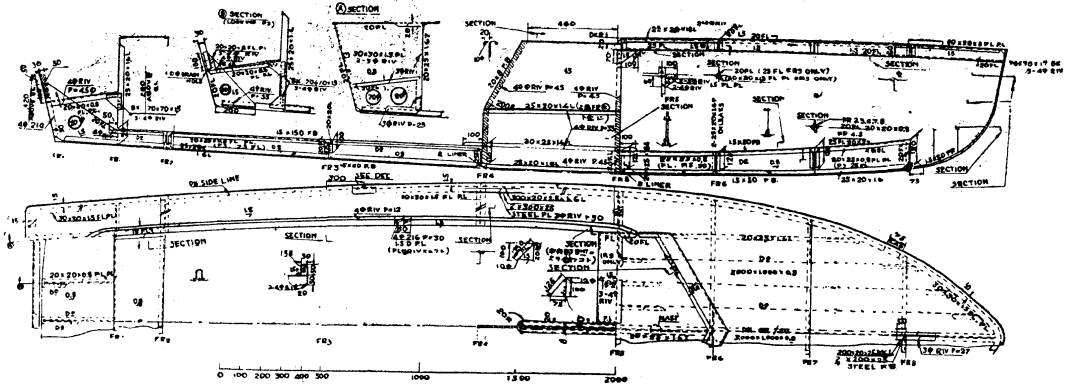
$$\sqrt{\frac{8}{27}} \frac{E}{(1-\gamma^2)^{3/2} \mu^4 p} = \frac{1}{m^3 a^3} \left( 3 + \frac{2}{m^2 a^2} - \frac{1}{2 \sinh^2 ma} - \frac{3 \cosh ma}{2 m a \sinh ma} \right)^{1/2}$$

板の最大応力は

$$\sigma_{max} = (\sigma_x)_{max} + \bar{\sigma}_x$$



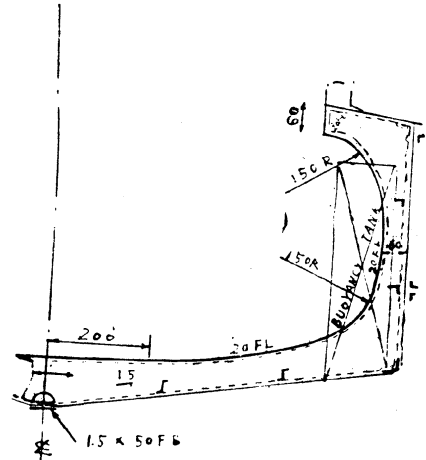
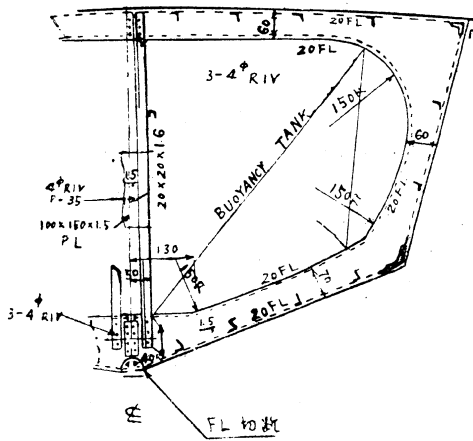
第 8 図 Fig. 8



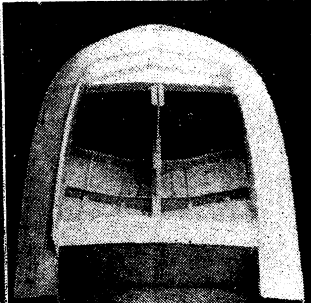
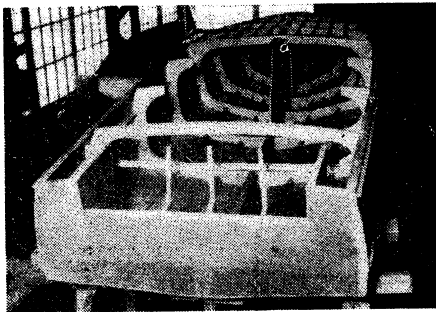
第9図 構造図  
Fig. 9 Construction profile

FR 6

FR 3



第10図 肋材  
Fig. 10 Frame



第11図(左) 肋材と縦通材  
Fig. 11 Frame and Longi

第12図(右)  
Fig. 12

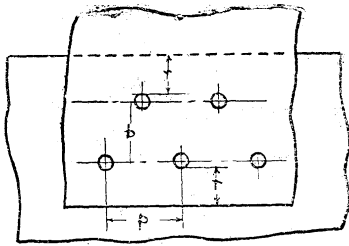
試作艇の場合は極めて概略の値であるが  $p=0.2 \text{ kg/cm}^2$  にとつて行つた計算の一例を示す。

$$t=0.8\text{mm}, 2a=120\text{mm}, \mu=150$$

$$\sigma_{max}=18.23+1.92=20.15 \text{ kg/mm}^2$$

$p=0.2 \text{ kg/cm}^2$  の根拠は手許にあつた Snipe 型ヨツトの

構造図より適当に逆算したところ  $p=0.188\text{kg/cm}^2$  となつたので採用した。しかし高速艇の場合は skim すると水圧中心はかなり後方へ移り, speed が早くなると艇底のうける動圧は可なり大きくなるので stagnation point 附近の局部強度は十分注意を要する。



第 13 図 Fig. 13

#### 4. 構造

重量軽減を第一義的に考え Longitudinal system とし、使用材料は 56S- $\frac{1}{2}$ t  $t=0.8\text{mm}$ ,  $1.5\text{mm}$ , 56 S extrusion 2種を構造用に用いた。肋材および縦通材の様子は第 9, 10 図の構造図および写真第 11, 12 図を参照されたい。

$t=0.8\text{mm}$  の板を用いた所は shell plate, deck, keelson 等で,  $t=1.5\text{mm}$  の板を用いた所は stem, keel, frame, gunwale, chine angle, breast, rail, wave breaker, center board trunk, stern pannel 等である。縦通材は EZB1116, ELB0816 の二種を用いた。

艇体構造は現在の段階では溶接には困難な点が多いので鉄構造とした。鉄材は 56S O で、これより鉄を造り、一般に  $0.8\text{mm} \times 1.5\text{mm}$  の rivet には  $3\phi$ ,  $1.5\text{mm} \times 1.5\text{mm}$  の rivet には  $4\phi$  を用いた。外板相互の結合は水密を確実にするためジंकクロメートをしませたガーゼを間にはさみ,  $p=5d$ ,  $b=4d$ ,  $r=3d$  でジグザグに鉄を打つた。(第 13 図)

特に艇底, 艇側, 甲板の表面は抵抗を小さくするためと外観をよくするために沈頭鉄を打つた。

#### 5. 工 作

工作はすべて日本鋼管鶴見造船所で行われた。



第 14 図 艇 首

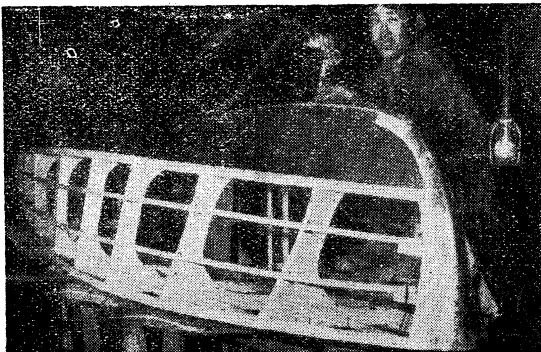
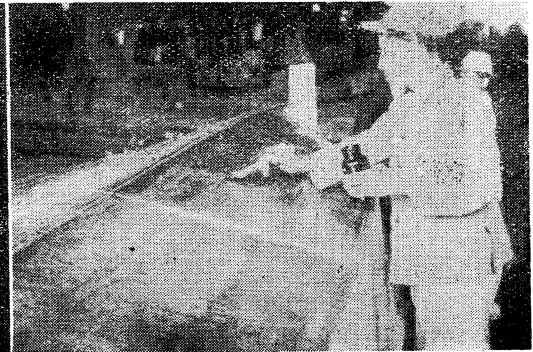
Fig. 14 Stem

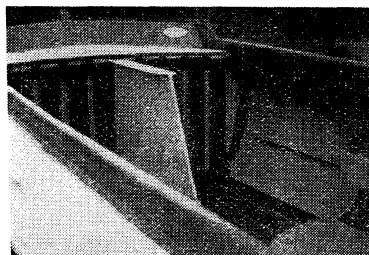
昇書はベンガラをアラビヤ糊に於いて用いた。

板の切断は直線部はシャリング, 曲線部はロータリーシャーを用い, それにかからぬ部分はタガネ或は鋏を用いた。型材の切断には鋸を用いた。

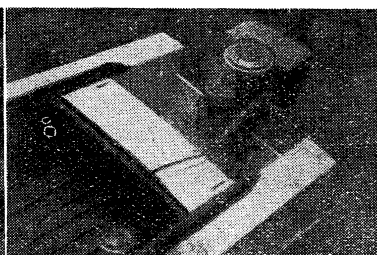
Flanging は最小内側半径が  $4t$  以下になると角裂を生ずる。一番困難であつたのは肋材であるが, はじめ擧材の型で行つたところ板耳が擧にくいこむ傾向があるので  $25\text{mm}$  の鋼板を用い, 肋材の彎曲部の内径は  $150\text{mm}$  に一定し, 彎曲部と直線部と別々に下型をつくり, 抑え金具を用いて各 frame を製作した。bevel は一度 flange した後で調整した。

Stem 材は bar stem にすれば簡単であるが, 注文材料の種類を減らす必要から  $1.5\text{mm}$  の fashion plate stem とした。相当大きな double curvature があり, 製作が

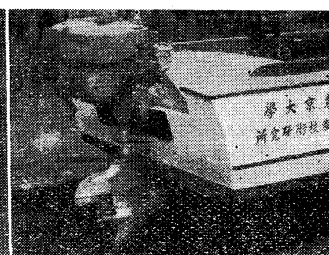
第 15 図 釘 鉄  
Fig. 15 Rivetting第 16 図 塗 装  
Fig. 16 Painting



第 17 図 コックピット前部  
Fig.17 Fore part of Cockpit



第 18 図 コックピット後部  
Fig.18 After part of Cockpit



第 19 図 舷外機  
Fig. 19 Out Board Engine

非常に困難で、いろいろ試みた後結局松材の内型を造りトーチランプで 300° C 程度に熱して加工した。

縦通材が肋材を貫通する箇所は肋材に孔をあけ、肋材の flange は切らず、縦通材を板厚だけ joggle する。型材は軟いので冷間でも加工できるが、ガストーチでちよつと熱してやる方が容易である。

水止めの必要から艇尾 panel 等に一部溶接を用いた。溶接棒は友金或はアルミニウム低温溶接棒、フラックスは Eutector Flux No.190 を用いた。強度はなく単に水止めである。

浮力タンクは絶対に水密を保つ必要があるので 3S-1/2 H, t=1.0mm を用い友金によつて全溶接をした。

沈頭鉋は例えば 0.8mm と 1.5mm とを接合する場合下の板に皿をとるのは勿論であるが、上の板にも厚み一杯皿をとつて行くと喰いこみがよく抜けにくい。皿の角度は航空の方と同じく 78° にとつた。鉋鉋は centre board trunk の horizontal stiffener 如く修理困難な所は皿とりの後入念に手かしめを行つた。その他はエヤーハンマーを用い、鉋鉋数は約 10,000 本である。

水密試験は deck まで満水し (head 約 700mm) 一日半おいたが漏水はなかつた。

塗装は素地表面をベンゾールで拭き、下地処理としてエッチプライマーを塗つたが、吹きつけとはけ塗りの両方を用いた。下塗りにはジंकクロメート、上塗りにはフタル酸樹脂エナメルを 2 回塗つた。色は

艇底、レール、波切り	コロンビアンブルー
艇側	ホワイト
内部	スタチックライトグリーン
甲板	ブラッシュユーフ

に塗りわけた。

製作に要した工数は約 600 工数の由であるが、これは試作であつたためと重量軽減を第一としたので工作が複雑になつたためで、重量軽減を幾分犠牲にすれば相当程度減少しようとする。

## 6. 装

将来はヨットとし Snipe 型の帆装を行う予定であるが

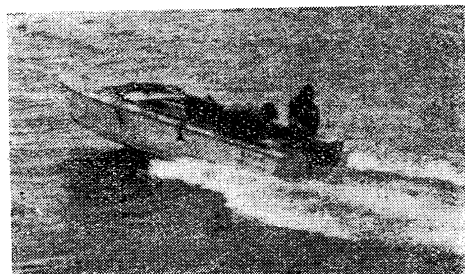
現在の段階では儀装は一部しか行つていない。

木製艇では万一顛覆した場合でも木材の浮力によつて浮いているが、軽合金艇の場合は沈没するので空気函を入れて浮力をもたせている。艇体、機関、儀装品の重量は合計 300kg 以下と予想され、空気函は前部 2 個、後部 4 個で計 6 個総浮力 412kg (真水)、艇に浸水した場合ほぼ水平に浮ぶ。材料は溶接を行うため 3S-1/2 H, t=1.0mm の板を用い、歪が多少あつたが 0.07 kg/cm<sup>2</sup> の耐圧試験に合格した。破損の危険のある部分、すなわち cockpit に面した部分には sparring を施した。

乗員が艇底を破らぬよう櫂材の grating を敷いた。

艇が岸壁等に接触する際の摩擦、損傷を防ぐため Deck side line の下側および艇尾側面約 1m に 20×18mm の櫂材の fender をつけた。そのとりつけは上面は deck plate をのばし、下面は 0.8×15×15 にビス止めをした。艇尾側面のものは上下とも上記のアンクルで止めたヨットとして横漂流を防ぎ重心を下げるためのセンターボードは 6mm の軟鋼製で亜鉛メッキを施した。その他 oar clutch stay, jib seat fair leader 等に一部鋼材を使用したがつべて亜鉛メッキを施し、アルミとの接触面にはジंकクロメートをガーゼにしませたものをはさんで絶縁した。これはガルヴァニックアクションによる腐蝕を防ぐためである。

クリート面舷各 3 個はヒドロナリウム系の鋳物を用い、修繕および硫酸覆膜のアルマイト処理を行つた。これは耐蝕性を比較する予定である。



第 20 図 全速力で滑走中 (27ノット)  
Fig.20 Skimming with full speed(27knots)



第 21 図 全 景  
Fig. 21 Total view

艇底の塗水栓は銅系の合金で造つたものであるが、ジ  
ンクロメートを2回塗つたガーゼをはさみ特に注意し  
て取付けた。

7. 重量および速力の計測

1952年6月25日完成艇の重量計測を行つたが総重量  
210kgでその内訳は次の通りである。

艇体	約 100 kg
木部 (グレーチング, 防舷材, 内張り)	70 kg
塗装品 (センターボード, 浮力タンク共)	40 kg
計	210 kg

艇体 100 kg はほぼ同型の木製艇に較べ約半分で、更に  
木製艇が水に浮ぶと水を吸つて重くなることを考えれば  
軽合金製艇は非常に軽くできることがわかる。

同年7月8日速力の計測を行つた。使用機関はJohnson  
22H の舷外機で回転数 4000rpm, 重量50kg, 平水で2  
人乗艇 (50kg×2=100kg), 最大27ノットを出し, 3 人  
乗艇 (85+70+50=205kg), 鶴見沖で波浪中 1/2 マイル  
のマイルポストを 2 往復して計測結果は 17.18 ノットで  
あつた。

艇型がモーターボート専門にできていないのであるが  
予想以上の速力であり, 重量減少の影響が可なりあると  
考えられる。

8. 後 記

試作艇は艇殻重量約 100kg で予想どおり極めて軽い艇  
ができた。試運転の結果も工作, 強度, 振動等に欠陥を  
認めなかつた。引続き精密な強度測定, 振動計測, 耐蝕  
試験等を行う計画である。また帆装をおこなえば日本最  
初の全アルミ合金製ヨットとなる予定である。

本艇の試作は昭和25年度文部省試験研究費をもとにし  
たものであるが, 日本鋼管鶴見造船所が建造に絶大なる  
御協力をされたために完成したもので深甚なる感謝の意  
を表す。使用材料について日本軽金属, 神鋼金属, 塗装  
について関西ペイントの御協力を深く感謝すると共に,  
御教示 御協力を頂いた 船舶用軽金属委員会, 東大生研  
AURC, 旧 第二工学部 船舶教室の各位に厚く御礼申上  
げる。

(p128よりつゞく)

$$\therefore \delta = A \frac{rhp^b}{Ept^3} \quad (6)$$

板厚の小さな範囲に於いては

$$\delta = A \frac{rhp}{Ept^3} \quad (6')$$

(A: 常数)

7 結 論

7. 1 各板厚に対する撓みと荷重の関係は, 第1報と  
同様抛物線として示す事が出来る。板厚の小さい範囲で  
は1つの抛物線であり, 板厚が増加するにつれて2つの  
抛物線で示される様になる。その限界は略 0.5~0.6mm  
附近にある様に思われる。

7. 2 各曲線の傾斜角は板厚 t に比例し, 結局撓みと  
の関係は一般に

$$\delta = A \frac{rhp^b}{Ept^3}$$

で示され, 板厚の薄い範囲では b は

$$\delta = A \frac{Vhp}{Ept^3}$$

略々 1 に近く

$$\delta = V \frac{Vhp}{Ept^3}$$

7. 3 板厚が約 0.6mm 以上になると第2図に示す如  
き曲線となり, 飛躍現象を示す。此の原因に就いては更  
に研究したいと思つている。

7. 4 第3図より第4図より Al の合金に於いても  
(7. 2項) に示す関係式が同様成立するものと考えられ  
る。

7. 5 更に理論的解析に就いては時期を見て発表した  
いと思つている。

備 考

軽金属 No. 1 第1報に誤記及びミスプリントがある  
ので訂正する。

頁	訂正箇所	正
116	第1表中の t (A) (D)	0.53 0.56
〃	第4図中の R	r
117	第3, 4, 5, 6表 (σ)	δ
118	第7表中の t (A) (B)	0.53 0.54
〃	〃 σ <sub>B</sub>	σ <sub>B</sub>
〃	第5図縦軸	log P
〃	第5図中 R	r
〃	式(1) δ = ap <sup>2</sup>	δ = ap <sup>b</sup>
119	5.3式中 ε	ε