アルミニウム合金船

竹内 勝治*

Aluminum boats

Katsuzi TAKEUCHI*

1. はじめに

アルミニウムが初めて造船材料として使用されたのは、丁度100年前の1881年であり、スイスの Eoher Wyss 社が建造した450 kgfの小艇で、2馬力のエンジンをつけて旅客8人乗り、速力5.4 ktであった。したがって、アルミニウムの小型船舶への採用は、ホール・エール法によってアルミニウムが工業化の緒について間もない時期から、造船技術者によって軽量化の観点から注目されていたといえる。

欧米において、当初に用いられた船舶用アルミニウム合金は、Al-Cu系合金やNiを含むもので、鋼製肋骨に鋲接されたが、通常の腐食に加えて接触腐食の問題を生じた。その後、1930年代の鋲接による6061-T6合金の採用を経て、1940年代からAl-Mg系合金となり、ティグ溶接は1950年代から用いられている¹⁾。米国海軍は、開発されたAl-Mg系合金の中から板材として5086-H32および5456-H321合金、押出型材として5086-H111および5456-H111合金を採用したが、前二者は剝離腐食を生じたので質別H116を制定した²⁾。これらは、主に高速魚雷艇等を対象としたものであるが、大型旅客船等の上部構造や艤装に多量のアルミニウム合金が使用されるようになったのも戦後からである³⁾。最近の高速艇では、5086-O合金板および5086-H111合金押出型材が用いられている³⁾。

わが国における全アルミニウム合金船は、1953年の搭載艇(5.57トン)2隻に始まり、1954年の海上保安庁15m巡視艇“あらかぜ”(約21 kt)、1960年の魚雷艇10号(約48 kt)等を経て、現在では、旅客船、漁業取締船、水中翼船、ホーバークラフト、各種漁船等に実績が重ねられている。その船体使用材料は、“あらかぜ”建造当時にNP5/6と呼ばれていた5083-O合金、その後、同またはH32合金板である。5083-H112合金押出型材は、“あ

らかぜ”の縦肋骨にZ型型材を採用^{4),5)}したのが最初であり、最近の高速艇では、溶接ひずみ防止および溶接工数削減の観点から大型広幅押出型材が用いられるようになった⁶⁾。接合方法は、初期の頃には鋲接が主体で、ティグ溶接は補助的なものであった⁴⁾が、1975年前後からミグ溶接が主となっている。

アルミニウム合金船は、今のところ、比較的小型のものに限られ、その建造に関しても多くの指導書が出版されている^{7)~10)}ことでもあるから、本報においては、使用材料、構造基準、建造における注意事項および合理化、最近の動向等を述べる。

2. 船舶用アルミニウム合金材料

2.1 船舶用アルミニウム合金の特徴

5000系のアルミニウム合金を船舶に使用するのには、海水に対する耐食性が優れ、溶接が比較的容易であり、押出型材も利用でき、低温脆性の恐れがないなどの利点のほか、最も重要なことは軽いことである。すなわち、強度と比重の比が鋼材よりも大きいので、船体の軽量化を図れるのが特徴である。

一方、注意すべき点としては、

- (1) 縦弾性係数が鋼材の1/3
- (2) 線膨張係数が鋼材の2倍
- (3) 熱伝導度が鋼材の2倍
- (4) 溶解温度が鋼材よりかなり低い

ことがあげられる。(1)は鋼材の3倍たわむことを示し、必要あれば変形の制限を考慮しなければならない。(2)は溶接時におけるひずみ量が大きく、(3)と(4)はひずみ取り加熱、特に点加熱等が難しいことを意味している。

設計に用いる物理定数は、次のようである。

縦弾性係数	$E=7,200 \text{ kgf/mm}^2$ (70.6 GPa)
せん断弾性係数	$G=2,700 \text{ kgf/mm}^2$ (26.5 GPa)
ポアソン比	$\nu=0.33$

* 住友軽金属工業(株)技術研究所(名古屋市)。Technical Research Laboratories, Sumitomo Light Metal Ind., Ltd. (Nagoya city, Aichi).

受理日：平成3年7月10日

15

表 1 5083-O 合金板, SS400鋼板および FRP 板の比較

材 質	比重 ρ	縦弾性係数 E kgf/mm ² (GPa)	引張強度 ⁽³⁾ kgf/mm ² (N/mm ²)		溶解温度 範 (°C)	平均線膨張係数 (20°C) ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	熱伝導度 (20°C) (cgs)
			引張強さ σ_B	耐力 $\sigma_{0.2}$			
5083-O	2.66	7200 (70.6)	28 (275)	13 (125)	574~638	22.3	0.28
SS400 (SS41) ⁽¹⁾	7.85	21000 (206)	41 (402)	25 (245)	1466~1510	11.7	0.14
FRP ⁽²⁾	1.51	1090 (10.9)	15.1 (148)	—	—	—	—

注 (1) JIS G 3101, 一般構造用圧延鋼材, 耐力は降伏点の値を示す。

(2) ガラス含有率40%の中央値, 分布範囲は±25%。文献⁽¹⁾による。

(3) SS400および 5083-O の引張強度は, JIS 規格の最小値を示す。

表 2 一定寸法の場合の重量比

材質	引 張 り				座 屈	
	比強度 σ_B/ρ	比耐力 $\sigma_{0.2}/\rho$	比(重量比)		$\sqrt{E}/\rho$	比(重量比)
			σ_B/ρ	$\sigma_{0.2}/\rho$		
SS400 (SS41)	5.22	3.18	1	1	18.5	1 (—)
5083-O	10.53	4.89	0.50	0.65	32.0	0.58(1)
FRP	10	—	0.52	—	21.9	0.84(1.46)

比重 (5083合金) $\rho=2.66$

2.2 比強度および船殻重量の比較

表 1 は, 5083-O 合金板, SS400 (SS41) 鋼板および FRP 板⁽¹⁾の物理的性質と引張強度の比較である。構造材料として使用するとき, 縦弾性係数, 引張強さ, または耐力をそれぞれ比重で除した比弾性率, 比強度, または比耐力が問題となる。アルミニウム合金の比弾性率は鋼材と同程度であるが, 比強度, 比耐力が高いので軽量化が図れる。簡単な例をあげると, 次のようである。

断面積 $A=(\pi d^2/4)$, d は直径, 長さ L の棒の場合, その重量 W は, 引張荷重が加わるときには比強度 (σ/ρ , ρ は比重) に, また, 圧縮荷重を受けるときには $\sqrt{E}/\rho$, E は縦弾性係数) にそれぞれ反比例する。表 1 の各数値を用い, SS400鋼の重量 W を 1 とし 5083-O 合金および FRP を比較したのが表 2 である。すなわち, 5083-O 合金を用いた場合の重量は SS400鋼の約60%前後となり, FRP は5083-O 合金と同程度~1.5倍の重量となる。もっとも座屈に関しては, 断面性能で種々の工夫がなされるので一概にいえないが, FRP が不利なことは否めない。

船舶の場合, 部材の強度計算は曲げによることが多い。ガーダの設計等では深さの制限の有無によって重量が変わり, また, 変形の制限や工作上的要求も考慮しな

図 1 中速艇の船殻重量と $L_{OA} \cdot (B+D)$ の関係⁽¹²⁾

ければならない。さらに, 鋼材では腐食代も要求されるので, 重量比較が複雑になって, 上述のように簡単に割り切ることが難しい。約10年前, 中速艇について上甲板以下の構成材料を5083合金, 5083合金骨木皮, 耐熱性高張力鋼, 軟鋼, FRP とした場合の船殻重量と $L_{OA} \cdot (B+D)$ の関係が求められており⁽¹²⁾, 図 1 はそれに最近のデータを加えたものである。ここに, L_{OA} は艇の全長 (m), B は艇の幅 (m), D は艇の深さ (m) である。艇の種類, 大きさによって船殻重量は異なるがおおよその目安が得られ, 5083合金艇は鋼艇のはほぼ1/2の重量に近

図2 5083-O合金製漁船の船殻重量と $L_{OA} \cdot (B' + D')$ の関係¹³⁾

図3 FRP製漁船の船殻重量と $L_{OA} \cdot (B' + D')$ の関係 (主として瀬戸内沿岸, E社資料による)

く、FRP艇に対しては、艇の全長が15 m程度を超えると重量的に有利となってくることが分かる。

図2は、最近1～2年間に各地の造船所で建造された代表的な5083合金漁船の船殻重量と $L_{OA} \cdot (B' + D')$ の関係¹³⁾を示し、 B' は張出し甲板の幅を含む漁船の幅(m)、 D' はブルワーク平均高さを含む漁船の深さ(m)である。図中の実線は、図1の5083合金艇(実用艇)の値で、比較のために図示した。北海道地区を除く漁船(図中の○印)は、5083合金艇より一見軽量化されているように見えるが、これは B' 、 D' と B 、 D の取り方の相違によるものである。一方、北海道地区の漁船(●印)は、一般に重構造であり、速力よりも堅牢性を重視していることが分かる。なお、図中の△印は、最近の5083合金高速艇であり、5083合金艇の実線にはば沿っている。

図3は、瀬戸内沿岸におけるFRP漁船の船殻重量を同様に図示したもので、資料の出所は1造船所のみである。同造船所が建造したFRP旅客艇や交通艇等の船殻重量は、図1に□印で示したようにFRP艇の線とかなり一致していることから、図3の船殻重量はFRP漁船の代表例とみなしても差し支えない。その船殻重量は、図1の5083合金艇の実線とほぼ一致しているが、 $L_{OA} \cdot (B' + D')$ が大きくなると上方に離れる傾向が見られる。図2と比べると、FRP漁船の船殻重量は北海道地区の5083合金漁船に近い値をもつが、 $L_{OA} \cdot (B' + D')$ が50 m²程度以下では軽くなっている。北海道地区を除く5083合金漁船との比較では、 $L_{OA} \cdot (B' + D')$ が80 m²付近を超えるとFRP漁船の方が重い。以上の比較からは図1の場合と同様、FRP漁船と5083合金漁船の船殻重量の分岐点は、 $L_{OA} \approx 15$ m付近のようである。

なお、図1および図2から、アルミニウム合金船の全長、幅、長さが図面上で決まれば、アルミニウム合金のおおよその使用量が推定できる。この場合、上部構造における使用量は、船殻重量の約10%とみなせばよい。また、材料手配は、総重量の10～15%増しを見込めばよい。

2.3 船舶用アルミニウム合金の種類と用途例

船舶用アルミニウム合金は、船体構造用と艀装用に大別され、その標準化学成分を表3に示す。表4は、船体構造用の主要な合金の特徴を、表5は用途例をそれぞれ示す。

表6は、各国における船体構造用アルミニウム合金の材質を比較したもので、現在申請中の漁船協会アルミニウム合金製漁船構造基準(案)¹⁴⁾、ノルウェー船級協会規格(NV)¹⁵⁾、米海軍艦艇用の暫定連邦規格^{16), 17)}に規定された材質と、併せて米国小型船舶に使用¹⁸⁾されて

15

表 3 船舶用アルミニウム合金の種類と標準化学成分

区分	合金	化学成分（規格の中央値，wt％）						備 考
		Mg	Si	Mn	Cr	Cu	Al	
船体用	5052	2.5	—	—	0.25	—	残部	(JIS 規格に規定なし)
	5083	4.45	—	0.7	0.15	—	残部	
	5086	4.0	—	—	0.15	—	残部	
	5454	2.7	—	0.75	0.13	—	残部	
	5456	5.1	—	0.75	0.13	—	残部	
	6061	1.0	0.6	—	0.20	0.28	残部	形材 (JIS 規格に規定なし)
	6N01	0.6	0.65	—	—	—	残部	
	6082	0.9	1.0	0.7	—	—	残部	
機装用	1050	—	—	—	—	—	≥99.50	主として内装等（板）
	1200	—	—	—	—	—	≥99.00	
	3203	—	—	1.25	—	—	残部	
	6063	0.7	0.4	—	—	—	残部	窓枠，内装等（形材）
	AC4A	0.45	9.0	0.45	—	—	残部	ケース類，エンジン部品等
	AC4C	0.35	7.0	—	—	—	残部	油圧部品，ケース類，エンジン部品類，電装品等
	AC4CH	0.3	7.0	—	—	—	残部	
	AC7A	4.5	—	—	—	—	残部	船用部品全般

表 4 船体構造用アルミニウム合金の特徴

合金	質 別		特 徴	備 考
	板	形材		
5052	O H14 H34	H112 O	約2.5％の Mg を含有する中強度の合金。耐食性並びに成形性が優れている。	上部構造，その他二次的部材。小型船舶の船体
5083	O H32	H112 O	約4.5％の Mg を含有する代表的な溶接構造用合金。非熱処理型合金の中では，強度が高く，溶接性，耐食性が優れている。	船体主要構造
5086	—	H112	約 4 ％の Mg を含有する合金。5083 合金と同等の溶接性，耐食性をもつが強度は若干低く，押出性は多少改善されている。	船体主要構造 (薄肉広幅押出形材として使用)
6061	—	T6	Al-Mg-Si 系合金。強度は高いが，溶接継手効率が劣る。海水に接する部分への用途は避ける方がよい。	上部構造，隔壁構造，フレーム等
6N01	—	T5	Al-Mg-Si 系の中強度押出用合金。6061 合金よりも強度は低い，耐食性，溶接性もよい。	上部構造 (薄肉広幅押出形材として使用)

いるものを示した。

これらから，主要な船体構造用アルミニウム合金は，Al-Mg 系の5083，5086 および5456の3合金であることが分かる。Al-Mg₂Si 系合金は，海水に接すると粒界腐食を生じる恐れがあり^{19),20)}，わが国では，6N01-T5 合金等は上部構造用である。しかし，米国¹⁸⁾その他の使用例，戦前から戦後にかけての6061合金の実績を考慮し，この合金系の大型薄肉押出形材を船殻の一部に使用して，より軽量化を図る，という観点からの検討が必要となってきたと考える。

2.4 「船舶検査心得」におけるアルミニウム合金

アルミニウム合金船に使用する材料は，鋼製船舶の場合に準じて「船舶検査心得」2-1・第2章（B）で表7のように規定されている。これは，船体に使用する材料で，上甲板以下（船殻）に重点をおいたものと解されるが，“あらかぜ”建造以来の実績と経緯から，5083合金

表 5 用途例

区 分	適 用 合 金	素材形態
船側・船底外板 ⁽¹⁾	5083, 5086	板, 形材 ⁽³⁾
竜骨	5083	板
肋板, 隔壁	5083, 6061	板
肋骨	5083	形材, 板
機関台座	5083	板
甲板 ⁽¹⁾	5052 ⁽²⁾ , 5083, 5086	板, 形材 ⁽³⁾
操舵室	5083, 6N01, 5052	板, 形材 ⁽³⁾
ブルワーク	5083	板, 形材
煙突	5083, 5052	板
マスト等	5083, 5052	管, 棒, 形材

- 注 (1) 船の長さ $L \geq 12$ m の船の外板および暴露部の甲板に使用するアルミニウム合金材料は、5000系合金に限る（漁船協会・案）
(2) A5052P-H112合金縞板，漁船に使用
(3) 大型広幅押出形材「 π セクション」等

板および同押出形材が主構造材料となっていることはいうまでもない。

一方、「船舶検査心得」制定当時の JIS 規格がその後に一部改定されたことと、最近のアルミニウム合金船の使用材料実績から、改定の申請が監督官庁に軽金属溶接

表 7 鋼船構造規程・船舶検査心得・第 1 分冊の表 2(B)(1)，アルミニウム合金の規格

区分	規格	合 金
板	JIS H 4000	A5052P, A6061P, A5083P, A5154P
形 材	JIS H 4100	A5052S, A6061S, A5083S
リベット材	JIS H 4120	A5056BR, A6061BR
管	JIS H 4080	A5052TD, A5052TE, A5056TD, A5056TE

- 備考 1. 溶接を行うものは、溶接性についての資料を調査すること。
2. JIS H 4100「アルミニウム及びアルミニウム合金押出形材」
JIS H 4120「アルミニウム及びアルミニウム合金リベット材」
JIS H 4080「アルミニウム及びアルミニウム合金継目無管」

構造協会から提出されている。その詳細は略するが、5086および 6N01 合金押出形材の採用を要望したものである。すなわち、従来のアルミニウム合金高速艇は 5083-H32および同-O 合金板が主構造材料であったが、最近では、溶接ひずみ防止と溶接工数削減の観点から 5083-H112 合金大型広幅押出形材が船殻に、上部構造に

表 6 船舶用アルミニウム合金の材質の比較

合 金	漁船協会 (案) ⁽¹⁴⁾		ノルウェー船級協会 ⁽¹⁵⁾		米国・暫定連邦規格 ^{(16),(17)} QQ-A-00250/19・20	米国小型船舶 ⁽¹⁸⁾	
	板	形材	板	形材	板	板	形材
5052	O H14 H34	H112 O	—	—	—	H34	—
5083 (AlMg4.5Mn)	O H32	H112 O	A ⁽¹⁾ B ⁽¹⁾	H112	—	H116, H321	—
5086 (AlMg4)	—	H112	A ⁽¹⁾ B ⁽¹⁾	H112	O, H112, H116, H34, H36, H38	H112, H116, H32, H34	H112
5454 (AlMg3Mn)	—	—	A ⁽¹⁾ B ⁽¹⁾	H112	—	—	—
5456	—	—	—	—	O, H112, H116, H323 ⁽²⁾ , H343 ⁽²⁾	—	—
6061	—	T6	—	—	—	T4, T6	T6
6N01	—	T5	—	—	—	—	—
6082 (AlMgSi1)	—	—	T4, T6	T4, T6	—	—	—

- 注 (1) A は1/4硬質，B は1/2硬質程度にそれぞれ相当する。
(2) ASTM B209-89では規定がない。同規格における5456合金板の質別は，O，H321，H112，H116および F の 5 種類である。

15

表 8 船舶用アルミニウム合金の引張強さおよび耐力

合金	区分	質別	引張強さ, σ_B , kgf/mm ² (N/mm ²)		耐力, $\sigma_{0.2}$, kgf/mm ² (N/mm ²)	
			JIS 規格	代表値	JIS 規格	代表値
5052	板	O	18~22(177~216)	20(196)	≥ 6.5 (64)	9(88)
		H14	24~29(235~284)	26(255)	≥ 18 (177)	22(216)
		H34	24~29(235~284)	26(255)	≥ 18 (177)	21(206)
	形材	H112	≥ 18 (177)	19(186)	≥ 7 (69)	9(88)
5083	板	O	28~36(275~353)	31(304)	13~20(127~196)	16(157)
		H32	31~39(304~382)	35(343)	22~30(216~294)	26(255)
	形材	H112	≥ 28 (275)	33(324)	≥ 11 (108)	18(177)
5086	形材	H112	≥ 24.5 (240)	29(284)	≥ 9.5 (93)	15(147)
6061	形材	T6	≥ 27 (265)	31(304)	≥ 25 (245)	28(275)
6N01	形材	T5	≥ 25 (245)	28(275)	≥ 21 (206)	25(245)

注 (N/mm²) の値は, kgf/mm²からの換算値を示す。表 9 も同様である。したがって, 本文 2.5 章中の 2 捨 3 入した換算値とは異なっている。

表 9 船舶用アルミニウム合金ミグ突合せ溶接継手の代表的引張強さおよび耐力

合金	区分	質別	厚さ (mm)	溶加材	引 張 強 度 ⁽¹⁾		溶接継手 効 率 ⁽²⁾ (%)
					引張強さ σ_B , kgf/mm ² (N/mm ²)	耐力 $\sigma_{0.2}$, kgf/mm ² (N/mm ²)	
5052	板	O	4~10	5356	20 (196)	9 (88)	100
		H34	3~6	"	22 (218)	13 (127)	85
	形材	H112	6	5356	19 (186)	9 (88)	100
5083	板	O	4~8	5183	31 (304)	15 (147)	100
		H32	6	5356	33 (324)	17 (168)	94
	形材	H112	5	5356	30 (294)	16 (157)	91
5086	形材	H112	4~5	5356	28 (275)	13 (127)	97
6N01	形材	T5	3~5	5356	19 (186)	12 (118)	68

注 (1) JIS 5 号試験片

(2) 溶接継手効率, 表 8 の引張強さに対して算出。

(3) 6061-T6 合金突合せ溶接継手の引張強さと耐力は, それぞれ 20 kgf/mm² (196 N/mm²) および 13 kgf/mm² (127 N/mm²) 程度である。

は 6N01-T5 合金広幅薄肉押出形材がそれぞれ多用されるようになった⁶⁾ ことによる。前者の 5083-H112 合金の場合, 押出加工性の点から必要以上の厚肉のものを使用することがあるので, 米国における実績も考慮し, 船側や甲板等に押出加工性の多少優れた 5086-H112 合金で薄肉軽量化を図るという考え方である。後者の 6N01-T5 合金は, 「船舶検査心得」に規定が無く, 特別認可となっているためである。

アルミニウム合金漁船は, 前述の表 6 の漁船協会(案)

で示したように, 5083-O 合金板および同-H112 合金押出形材が当初からの主構造材料であるが, 高速艇の場合と同様に, 5083-H112 および 6N01-T5 合金大型広幅押出形材が一部に採用され始めた。漁船協会(案)では, 船の長さ $L \geq 12$ m の場合, 外板およびばく露部の甲板に使用する材料は, Al-Mg 系合金に限定している。

2.5 耐力の最小値

表 8 は, 船舶用アルミニウム合金の引張強さおよび耐力を, 表 9 にその突合せ溶接継手の値をそれぞれ示す。

各代表値は、軽金属車両委員会の報告書^{21)~23)}に基づくもので、わが国アルミニウム製造会社の実績値である。

船舶の設計には、JIS 規格の耐力（最小値）を用い、各基準における計算式に、この値を入れればよい。この場合、部材の許容応力の最大値は、耐力に対して表面上は安全率を 1 にとっている。

船体主要構造材料である 5083 合金の耐力は、板材（質別 O）が 13 kgf/mm² (125N/mm²)、押出形材が（質別 H112）が 11 kgf/mm² (110N/mm²) である。前述の漁船協会（案）では、耐力 13 kgf/mm² を用いた各部材の断面係数その他が表示されている。他の Al-Mg 系合金を使用する場合には、その質別 O の耐力 σ_s から、次式によって断面係数 Z その他を修正せねばならない。

断面係数で規定されるもの $Z = (13/\sigma_s) Z_s$

断面積で規定されるもの $A = (13/\sigma_s) A_s$

板厚で規定されるもの $t = (\sqrt{13/\sigma_s}) t_s$

ここに、添字 s のあるものは、耐力 13 kgf/mm² で求められている値である。したがって、船体外板を 5083-O 合金板、防舷材に同-H112 合金のフラットバーやバルブプレートを使用するときには、上式による区別が必要となる。軽構造船暫定基準や日本造船研究会第 11 基準部会の軽構造船基準（案）における使用材料の耐力も 13 kgf/mm² であり、日本海事協会鋼船規則 CS 編をアルミニウム合金船へ適用する場合も同じ考え方で、後述の表 10 に示した。

5083-H32 合金板の耐力は 22 kgf/mm² (215N/mm²) であるが、突合せ溶接継手の耐力は質別 O の値まで低下するので、13 kgf/mm² を設計に用いなければならない。

図 4 ASTM 規格における Al-Mg 合金板の引張強度の比較

ただし、溶接線が計算する断面と直交する場合には、溶接による強度低下を無視することができるので、高速艇に採用される理由の一つである。また、T6 処理した Al-Mg₂Si 系合金の突合せ溶接継手の耐力は、質別 T4 程度の値となるので、質別 T4 の最小耐力が目安となる。6N01-T5 合金突合せ溶接継手の耐力は 12 kgf/mm² (118N/mm²) が代表値²²⁾なので、10 kgf/mm² (98N/mm²) を最小耐力とみなすのが妥当である。

5456 合金板は、JIS 規格に無いので、ASTM 規格を図 4 に示した。併せて同規格における 5083 および 5086 合金板の値も図示したが、5456 合金板の質別 O の最小耐力は 13.3 kgf/mm² (130N/mm²) で、5083 合金板よりごくわずかに高い程度である。

図 5 Al-Mg 系^{23), 25)}および Al-Mg₂Si 系合金^{22), 25)}の切欠感度

15

設計に当っては、前述のように、JIS 規格の耐力（最小値）を用いるが、この値よりも使用材料の耐力が高く、その実測値もしくは、それに若干の余裕を見込んだ値を設計に採用する場合には、材料検査証明書並びにその突合せ溶接継手のデータを添え、決めた耐力未満のものは建造に使用しないという条件で、管海官庁に特別許可を申請しなければならない。

2.6 疲労強度

アルミニウム合金は鋼材と異なり、疲労限度を持たないので、繰返し数 10^7 回の時間強度を疲労限度と同等に取扱うのが慣例である。Al-Mg 系合金の場合、Mg 量の増加につれて平滑並びに切欠材の疲労強度は向上するが、Mg 量3.5~5.5 wt%の範囲における差は1~2 kgf/mm²であって、切欠が鋭いとその差が小さくなる。また、冷間加工によって引張強度は向上するが、疲労強度に及ぼす効果はごくわずかである²⁴⁾。したがって、5083, 5086および5456の3合金間における疲労強度の差はきわめて小さい。

つぎに、繰返し応力を受ける場合に問題となるのは、材料の切欠感度である。切欠底における理論上の応力集中率 α は、弾性範囲内で意義をもち、幾何学的に相似な形状の場合には材質や寸法の大小、荷重の大きさに無関係である。一方、材料の切欠感受性は、平滑材の疲労強度を切欠材の疲労強度で除した値（切欠係数 β ）で表される。切欠が浅い場合、すなわち、 $\alpha \approx 2$ 近くまでは $\alpha \approx \beta$ であり、切欠が鋭くなると $\alpha > \beta$ となる。

図5(a)は、Al-Mg 系合金^{22), 25)}、図5(b)はAl-Mg₂Si 系合金^{23), 25)}について、切欠係数の逆数 $1/\beta$ を縦軸にとり、横軸に α をとって切欠感度をそれぞれ整理したものである。図5(a)では、5083-O および同-H112合金の

ばらつきの幅の中に5052, 5086および5456合金もほぼ含まれるが、5086-H112合金²³⁾のみ $\alpha \approx 3$ を超えると下側に位置して切欠感度が少し高い。5083合金のばらつきの上限と5086-H112合金の下限の間に実験点がばらつくともみるのが妥当である。6N01-T5合金の切欠感度²²⁾は図5(b)から分かるように、 $\alpha \approx 3$ 付近まではAl-Mg 系合金と同程度であるが、それ以上の α では高くなる。いずれも理論上の切欠感度 $1/\alpha$ に近いので、応力集中に対する注意が必要なることを示している。

突合せ溶接継手の場合も、5083, 5086および5456の3合金間に疲労強度の差はほとんどない。図6は、Mad-dox が整理したS-N 線図²⁶⁾に、5086-H112²³⁾ および5083-O 合金²⁷⁾の実験点を加えたものである。この結果からは、5456合金が他の2合金より劣るようにも見受けられるが、実験点のばらつきの範囲に含まれると解すべきであろう。むしろ、合金の強弱よりも疲労強度に及ぼす余盛の形状（応力集中）、板厚や溶接残留応力の影響が重要なことを示しており、詳細については別の資料²⁸⁾を参照されたい。

2.7 応力腐食割れ感受性

Al-Mg 系合金の応力腐食割れ感受性については、質別の影響を含めて多くの実験²⁹⁾がなされている。応力腐食割れは、結晶粒界における析出物の β 相（Mg₂Al₃）と関係がある。この相は、粒内と比べて電位が卑であるために優先的に溶解しやすく、粒界腐食と応力腐食割れに影響を及ぼす³⁰⁾と考えられている。

図7は、Al-5 wt%Mg 合金板を冷間圧延後、100°C-168 h の鋭敏化処理を施した場合の応力腐食割れ試験結果を示す³¹⁾。冷間圧延率20% [耐力24 kgf/mm², (235 N/mm²)] 以上では、応力腐食割れを生じる可能性があ

図6 5000系合金の横方向突合せ溶接継手のS-N曲線²⁶⁾

図7 Al-5.16%Mg-0.11%Mn-0.11%Cr-0.09%Cu合金板の耐力並びに応力腐食割れ感受性に及ぼす冷間圧延率の影響³¹⁾

り、負荷応力の限界は耐力の25～50%と見受けられる。また、5083合金板の冷間圧延率を0～76%と変え、圧延のままと安定化処理したものに鋭敏化処理を施した場合³²⁾、いずれも冷間圧延率17%で剝離腐食を生じ、そのときの耐力は22 kgf/mm² (116 N/mm²) 前後であった。

図8は、5083-O合金を用い、5.85 wt%人工食塩水中で負荷応力を0～22 kgf/mm² (216 N/mm²) と変え、試材の電位を-700 mV vs SCEと一定に保持した場合のアノード電流の変化である³³⁾。負荷応力14 kgf/mm² (137 N/mm²) では、無負荷の場合と比べて電流-時間曲線に大きな変化を見出せないが、負荷応力18 kgf/mm² (177 N/mm²) および22 kgf/mm² (216 N/mm²) では、短時間に電流が増大し活性化し始めている。北海道開発局の監督測量船「はすかっぱ丸」に生じた船底剝離腐食と関連して測定された、5083合金安定化処理板のアノード分極曲線の変化³⁴⁾も、自然電極電位は冷間圧延率25%で質別Oの場合より卑となっている。

これらの結果を、応力腐食割れや剝離腐食の進捗程度に直接結びつけることは難しいが、上述の実験結果から類推すると、冷間圧延率が20%程度を超えると、応力腐食割れ感受性が高くなり、質別Oでは、負荷応力18 kgf/mm²程度でその可能性が生じてくる。冷間圧延板の耐力は22 kgf/mm²程度以下が望ましいことになる。換言すると、施工時における曲げ加工等で、材料の耐力がこの値を超えないようにする必要がある。したがって、質別Oが弱加工したものが、素材としては適している。

図9は、1954年から現在に至るまでのASTM規格における5083、5086および5456合金の板および押出型材の質別の変遷をまとめたものである。図中の横線に、下向きの矢印で上から接している質別は、その年に導入されたものであり、横線から下側に出ている矢印の質別は、

図8 5083-O合金を電位-700 mVに保持した場合のアノード電流に及ぼす負荷応力の影響³³⁾

その年に削除されたことを示す。これらの質別の変遷の理由は明らかでないが、5083合金板の場合、1957年に導入された質別H32とH34は1964年に削除され、代わりに応力腐食割れ性を改善した質別H323とH343、質別H32より冷間圧延量の小さいH321が導入されたが、1983年には前2者が削除されるなど、現在では、質別O、またはそれに弱加工を与えた質別になっていることに注意する必要がある。米国陸軍規格 MIL-HDBK-5Dでは、5086合金の質別H34～H38、5083および5456合金の質別H32～H38は、応力腐食割れの見地から、一般にはなるべく使用しないように勧めている³⁵⁾。

3. アルミニウム合金船の建造

3.1 構造基準

現在、アルミニウム合金船を継続的に建造している造船所は30社前後であり、

(1) 軽構造船暫定基準 (1972年、船検165号)

登録長さ24 m未満、航行区域は平水または沿海区域*1 (鋼船および耐食アルミニウム合金船が対象)

(2) 鋼船規則CS編 (1980年、日本海事協会)

船の長さ90 m未満、航行区域の制限なし。これを平水または沿海区域を航行区域とする耐食アルミニウム合金製船舶、または耐食アルミニウム合金製第1種小型漁船であって、 $V/\sqrt{L}$ が4未満のものに適用する場合は、表10によって修正する。

のいずれかによって設計を行っている。

このほかに、水中翼船構造基準 (昭和39年改正)、前述の軽構造船基準 (案)、漁船協会 (案)があるので、

*1 最近、近海もしくは限定近海向けの船も出現している。

15

図9 ASTM規格における5083, 5086および5456合金の質別の変遷

表10 日本海事協会鋼船規則CS編の修正方法
(耐力13 kgf/mm²を有する材料の場合)

(1) 記号

区 分	鋼船	アルミニウム合金船
板 厚	t_s	t_a
断面係数	z_s	z_a

- (2) 曲げによる板厚 $t_a = 1.8 (t_s - 2.5)$
 (3) せん断または軸力による板厚 $t_a = 1.85 (t_s - 2.5)$
 (4) 座屈による板厚 $t_a = 1.54 (t_s - 2.5)$
 (5) 断面係数 $z_a = 1.66 z_s$
 (6) 最小板厚 4 mm

表11に各基準の外力を、表12に主要部材の安全率と水压をそれぞれ示す。

3.2 船殻の建造

(1) 構造方式

船体構造方式によって、船体重量はかなり変わる。高速(船)艇は、一般にV型船形で縦骨式が採用されており、船体のように細長い薄板構造では軽量化が図れるためである。

アルミニウム合金漁船の大半は小型で、速長比から半滑走ないし滑走の領域に入るので、同様にV型船形が主となっている。その構造方式は横骨式が主で、一部のものには縦横方式のような構造も見られる。パネルのひずみ防止上から、縦方向にパネルブレイカーとして小骨を配置したものが多い。

(2) 建造方式

建造方式は、大型船と小型船で、また、工場設備、船

a) 船首部骨組

b) 船首外板搭載

図10 16トン定置網漁船の船殻建造

体構造、工程によっても異なってくる。一般に、大型船は平面ないし立体ブロック方式、小型船は建付け建造方式が採用されている。漁船は19トン以下がほとんどなので、後者であり、図10に一例を示す。

接合方法は、ミグ半自動溶接が主である。ティグ溶接

表11 各基準の外力

基 準	縦曲げモーメント (M)	船底外板の受ける水圧	船側外板の受ける水圧	上甲板の受ける水圧
軽構造船 暫定基準	$M = C \cdot W \cdot L \text{ (t} \cdot \text{m)}$ W : 満載排水量(t) L : 船の長さ(m) C : 沿海区域 0.120 限定沿海区域 0.096 平行区域 0.072	$P_1 = K \left(\frac{V^2}{1000} + C \frac{W}{LB_c} \right) \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)$ V : 船の速力(kt) B_c : チャイン最大幅(m) W : 満載排水量(t) C : 沿海5, 限定沿海4, 平水3 K : 船底勾配による修 正係数	$P_3 = \frac{P_1 + P_2}{2} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	$P_2 = 0.035 (0.02L + 0.76)$ (kgf/cm ²) L : 船の長さ(m)
軽構造船 基準(案) [RR11]	$M = \frac{W \times L}{C} \text{ (t} \cdot \text{m)}$ W : 満載排水量(t) L : 船の長さ(m) C : $\frac{c}{1.45A_F + 1.4}$ A_F : 沿海(近海の 一部)3, 限 定沿海または 平水2, 最大6 c : 船尾端の船底 勾配による係 数	$P_1 = K \left(\frac{V^2}{1000} + (1 + aA_F) \frac{W}{L \times B_c} \right) \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)$ V : 計画速力(kt) W : 満載排水量(t) B_c : チャイン最大幅(m) a : 船尾端の平均船底 勾配による係数 K : 部材の位置におけ る船底勾配による 修正係数	$P_3 = \frac{P_1 + 2P_2}{4} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	$P_2 = 0.026 (0.02L + 0.76)$ (kgf/cm ²) L : 船の長さ(m)
水中翼船 構造基準	$M = \frac{W \times L}{6} \text{ (t} \cdot \text{m)}$ W : 満載排水量(t) L : 船体の全長(m)	$P_{2.1} = K \frac{2.4}{1000} \frac{WV^2}{Lb \cdot \tan\beta} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ W : 計画満載排水量(t) V : 計画速力(kt) L : 船の長さ(m) b : 前翼の位置におけ るチャイン幅(m) β : 前翼の位置におけ る船底勾配 K : 前翼からの距離に よる係数	$P_{4.1} = \frac{1}{2} (P_{2.1} + P_{3.1})$	$P_{3.1} = 0.035 (0.02L + 0.76)$ (kgf/cm ²)
漁船協会(案)	—	$L \geq 15 \text{ m}$ $P = 0.04L \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ L : 船の長さ(m)	$P = 0.03L \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	$P = 0.0036L + 0.1 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$

は、仮付け溶接，補修溶接あるいは上部構造等で外観の美しさを要求される部位に採用されている程度であり，また，リベット接合は全くない。なお，最近では，高速艇の一部の部位に，ミグ自動溶接が採用され始めた。

(3) 注意事項

船殻の工作要領等については，指導書^{7),9),10)}に注意事項も含めて詳しく述べられている。たとえば，船底部および機関台座付近のすみ肉溶接部は必ず連続溶接とし，断続溶接は行わないこと，また，すみ肉溶接の端部は必

ず回し溶接を行うことなどは，疲労き裂発生防止のためには当然である。

すみ肉溶接の脚長は，板厚程度とするのがよい。現場では，すみ肉を大きくすれば強くなるという誤解がありがちである。大切なのは，溶け込みとすみ肉の形状である。図11は，曲げを受けるT型溶接継手の応力集中率 $\alpha^{36)}$ である。フラック角 θ と止端の丸み ρ によって応力集中率が決まるから，フラック角が小さすぎたり，止端が急角度で立っているような場合には，アングルグライ

15

表12 主な部材の安全率と水圧

		軽構造船暫定基準	軽構造船基準 (案)	水中翼船構造基準	漁船協会 (案)
船底外板	安全率	$\frac{1.2}{(第1塑性関節を生ずる荷重に対し)}$	同 左	同 左	$\frac{1}{(使用材料の耐力に対し, 以下同様)}$
	水 圧	P_1	P_1	$P_{2.1}$	$P_1=0.04L$ ($L \geq 15$)
船 底 肋 骨	安全率	$\frac{1.5}{(最初の塑性関節形成荷重に対し)}$	$\frac{1.5}{(使用材料の耐力に対し)}$	$\frac{1.5}{(最初の塑性関節形成荷重に対し)}$	1
	水 圧	$\frac{2}{3} P_1$	$\frac{1}{3} P_1$	$\frac{2}{3} P_{2.1}$	$P_2=0.0358L-0.0139$
船底肋板	安全率	$\frac{1.5}{(最初の塑性関節形成荷重に対し)}$	$\frac{1.5}{(使用材料の耐力に対し)}$	$\frac{1.5}{(最初の塑性関節形成荷重に対し)}$	1
	水 圧	$\frac{1}{3} P_1$	$\frac{1}{9} P_1$	$\frac{1}{3} P_{2.1}$	$P_3=0.0344L-0.0185$
船側外板	安全率	$\frac{1.2}{(船底外板と同じ)}$	同 左	$\frac{1.2}{(船底外板と同じ)}$	1
	水 圧	$\frac{1}{2} (P_1 + P_2)$	$\frac{1}{4} P_1 + \frac{1}{2} P_2$	$\frac{1}{2} (P_{2.1} + P_{3.1})$	$P_5=0.03L$
船 縦 肋 骨	安全率	$\frac{1.5}{(船底縦肋骨と同じ)}$	$\frac{1.5}{(使用材料の耐力に対し)}$	$\frac{1.5}{(船底縦肋骨と同じ)}$	1
	水 圧	$\frac{1}{2} \left(\frac{2}{3} P_1 + P_2 \right)$	$\frac{1}{3} \left(\frac{1}{4} P_1 + \frac{1}{2} P_2 \right)$	$\frac{1}{2} \left(\frac{2}{3} P_{2.1} + P_{3.1} \right)$	P_5
船 横 肋 骨	安全率	$\frac{1.5}{(船底肋板と同じ)}$	$\frac{1.5}{(使用材料の耐力に対し)}$	$\frac{1.5}{(船底肋板と同じ)}$	1
	水 圧	$\frac{1}{6} P_1 + \frac{1}{2} P_2$	ガンネル P_2 , チャイン $P_1/6$ の梯形分布 (チャイン部)	$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{3} P_{2.1} + P_{3.1} \right)$	P_5
上 甲 板	安全率	$\frac{1.2}{(使用材料の耐力に対し)}$	同 左	同 左	1
	水 圧	P_2	P_2	$P_{3.1}$	$P_6=0.0036L+0.1$
甲 縦 通 材	安全率	$\frac{1.5}{(船底縦肋骨と同じ)}$	$\frac{1.5}{(使用材料の耐力に対し)}$	$\frac{1.5}{(船底縦肋骨と同じ)}$	1
	水 圧	P_2	P_2	$P_{3.1}$	P_6
甲板横置ビーム	安全率	$\frac{1.5}{(船底肋板と同じ)}$	$\frac{1.5}{(使用材料の耐力に対し)}$	$\frac{1.5}{(船底肋板と同じ)}$	1
	水 圧	P_2	P_2	$P_{3.1}$	P_6
縦 強 度	安全率	$\frac{2}{(使用材料の耐力に対し)}$	同 左	同 左	—

図11 曲げを受ける T 型溶接継手の応力集中率³⁶⁾ 図12 5083合金ミグ突合せ溶接継手の目違い比が疲労強度に及ぼす影響³⁷⁾

ンダ等で形状を滑らかに修正することが必要となる。この考え方は、突合せ溶接継手の場合も全く同じである。

つぎに、突合せ溶接継手あるいは十字溶接継手の目違いによる疲労強度の低下が大きいことに注意が必要であり、図12に例を示す³⁷⁾。工作精度の問題であるが、軽量化を図る場合には大切なことである。

(4) 局部構造および構造の不連続

上述の注意事項の他に、局部構造が不備であったり、構造の不連続があれば疲労き裂が発生する。

図13は、局部構造に対する注意³⁸⁾を示し、また、図14は、船殻について構造上の不連続な部分に応力集中が起きて疲労き裂が発生した例をモデル化³⁹⁾したものである。詳細な説明を略すが、前者はブラケットの端部が板の上で止まったり、板厚が急変するような箇所では、変形が拘束されて応力集中を生じること並びに、溶接トーチ径（約26～30 mm）を考慮したスカロップの形状（半

図13 局部構造に対する注意³⁸⁾ 図14 船殻外板、隔壁の疲労き裂発生モデル図³⁹⁾

径35～40 mm）と回し溶接の注意である。また、防撓材のスニップエンドは狭くし、可能な限りラグタッチまたはブラケットを付けるようにするのがよい。後者は、不連続性の緩和が必要なことを示し、疲労き裂は、いずれも肋骨の端部あるいは、その溶接不良部から発生している。肋骨の端部は、板部（外板、隔壁）で止めないことが大切で、「骨は、板で止めない。骨は骨で必ず受ける。」という考え方を徹底しなければならない。たとえば、図13(a)の倒れ止めブラケットの裏側には、カーリング等骨材があるのは当然である。

(5) プロペラ翼端隙間

プロペラ翼端と船底の隙間は、数年前まではプロペラ

常用速力30 ktを必要とする場合：

アルミ合金	主機関	2240PS-2 基
FRP	〃	2700PS-2 基
鋼	〃	2200PS-3 基

であった。このことは、必要速力が大切なことを示し、同一性能を要求される場合には、アルミニウム合金船が鋼船と比べて船価、燃費、維持費ともきわめて有利なことを示している。FRP船の場合には、船価は若干安くなるかもしれないが、燃費と維持費でアルミニウム合金船に抜かれるであろう、と述べている。

また、図17⁴⁷⁾に示す米国海軍の水中翼船の中央横断面図を用い、材質を基にして等価な船底構造の算定も行っている⁴⁶⁾。設計条件が不詳なので、50 cmの間隔に、船底ロンジのスパン200 cmということから、船底外板13 mmの5456-H116合金および同合金押出型材溶接継手の耐力を用いて、逆に等価静水圧2.4 kgf/cm²を求めた。つぎに、船底外板および船底ロンジの設計水圧をこの値として、5083-H112合金の π セクションで置換すると、

50 cm 間隔の場合：現設計の85%

30 cm 間隔の場合：現設計の75%

という重量になると述べている。したがって、5456合金のような入手し難い材料を使用しなくとも、同等の強度

で軽量化できることが指摘される。

5.3 大型広幅押出型材“ π セクション”

図17 米国海軍水中翼船の船体中央横断面図⁴⁷⁾

(試設計、全長66 m、全備重量773 t、速力40 kt 以上、ストリンガー間隔50 cm、船底ロンジのスパン200 cm、5456-H116合金板)

表13 π セクションの断面寸法 (幅600および500 mm, 単長6,100 mm)

No.	記 号	寸 法 ⁽¹⁾ (mm)							備 考 ⁽¹⁾
		Tm	Hr	Br	Tw	Hw	Bb	Db	
1	P60-125	8	6	50	6	125	36	21	A5083S-H112, W=600 mm, B=300 mm Bl=225 mm, Bm=75 mm
2	P60-100	7	5	40	5	100	33	24	
3	P60A-100	7	5	40	4.5	100	23	20	
4	P60-75	5.5	2	30	5	75	26	20	
5	P60-65	5	2.5	30	3.5	65	25	18	
6	P60-50S	4.5	2	30	4	50	10	8 ⁽²⁾	A5086S-H112, W, B, Bl, Bmは同上。
7	P60-40S	4.5	2	30	4	40	10	6 ⁽²⁾	
8	P60-65N	3	1	30	2.5	65	23	10	A6N01S-H112, W, B, Bl, Bmは同上。
9	P50-75	5.5	2.5	30	5	75	30	23	A5083S-H112, W=500 mm, B=250 mm Bl=190 mm, Bm=60 mm
10	P50-65	4	4	45	4	65	30	19	
11	P50-65N	3.5	3	40	3.5	65	26	15	A6N01S-H112, W, B, Bl, Bmは同上。
12	P50-50N	3	2	30	3	50	26	13	

注 (1) 記号

表14 速力25 kt 以上の高速旅客船の建造状況（米国，ソ連邦，中国を除く）⁵¹⁾

歴年	水 中 翼 船			双胴船 (カタマラン型)	空 気 浮 揚 船		滑走型および半排水量型丸型船	合計
	水面貫通翼型	全没翼型			側壁表面効果型 (SES)	周辺噴流型 (ACV)		
		浅吃水	深吃水					
1955～1960	7	—	—	—	—	—	—	7
1960+1961	5	—	—	—	—	—	—	5
1962+1963	4	—	—	—	—	—	—	4
1964+1965	8	2	—	—	—	1	—	11
1966+1967	7	5	—	—	—	—	—	12
1968+1969	11	3	2	—	—	3	—	19
1970+1971	13	11	2	2	4	5	—	37
1972+1973	17	16	—	9	3	1	—	46
1974+1975	19	13	5	8	6	4	—	55
1976+1977	10	10	9	12	3	1	1	46
1978+1979	9	10	3	9	5	—	3	39
1980	5	1	2	3	6	1	4	22
1981	5	4	4	8	6	1	1	29
1982	3	5	1	11	10	1	2	33
1983	1	1	—	11	4	2	—	19
1984	4	5	—	22	1	2	2	36
1985	3	—	—	19	—	—	1	23
1986	2	3	1	34	6	5	25	76
1987	1	7	—	66	8	2	27	111
1988	6	—	4	78	15	5	19	127
合 計	140	96	33	292	77	34	85	757
比率 (%)	18.5	12.7	4.4	38.6	10.1	4.5	11.2	100

と考えられる。

6. 最近のアルミニウム合金船の動向

6.1 高速（船）艇等

高速とは絶対速力ではないが，旅客船では，航海速力22 kt 以上を運賃上の高速船として取扱われており，25 kt 付近が最も一般的である。船体を，アルミニウム合金で建造することによる重量軽減効果が著しいのは，この分野である。図20は，世界で現在実用化されている高速（船）艇を分類したもの⁵⁰⁾である。

表14は，米国，ソ連邦，中国を除く世界の高速旅客船の建造状況⁵¹⁾であり，これらのほとんどはアルミニウム合金船とみてよからう。これによると，1980年代に入るとカタマラン型の増加が著しい。この文献には，最大船長34 m で34 kt 程度が経済的といわれていたが，次世代のカタマラン型は，それぞれ48 m，40 kt 程度まで要求される，と記されている。

図21は，わが国における高速旅客船の就航状況であ

り，アルミニウム合金船が圧倒的に多い。著名なものに「シーホーク」型，半水没型双胴船「シーガル 2」，「川崎ジェットフォイル」その他がある。図22は，最近建造された30 m 型広域高速監視艇「しまかぜ」の外観である。

高速船の範囲からは外れるが，世界最大のアルミニウム合金旅客船「ビアンカ」（全長66.03 m，600人乗り，最大速力11.13 kt）があり，また，アルミニウム合金船カーフェリーの第1船として図23に示す「北成1号」も就航している。

6.2 漁船

アルミニウム合金漁船の第1船は，(株)藤本鉄工造船所で昭和52年に建造された4.9トン底びき網漁船「金呂羅丸」⁵²⁾といわれている。その後，小型漁船の高速化に対する需要やFRP船の強度，耐久性，廃船処理の問題から，漸次アルミニウム合金船の増加が見られる。しかし，登録漁船42万隻の内，800隻余がアルミニウム合金船に過ぎない。平成2年の統計を表15に示す。この中

図21 わが国における高速旅客船就航状況 (22 kt 以上, 船舶整備公団の資料による)

図22 30 m 型広域高速監視艇「しまかぜ」
(全長30.90 m, 全幅6.40 m, 深さ3.20 m,
総トン数86トン, 航海速力28 kt 以上, 近
海区域, 平成3年3月・江藤造船(株)建造)

図24 48トン沖合底引網漁船「観音丸」
(全長29.05 m, 全幅6.00 m, 深さ2.49 m,
速力16 kt, 平成2年7月・東和造船(株)建造)

図23 カーフェリー船「北成1号」
(全長23.0 m, 全幅6.30 m, 深さ1.80 m,
総トン数19トン, 最高速力16.5 kt, 小型乗
用車6台または4トントラック2台積載,
旅客12名, 平成元年7月・東海船舶産業(株)
建造)

図25 19トン刺網漁船「第七十八勝丸」
(全長22.20 m, 全幅5.29 m, 深さ1.50 m,
速力17 kt, 平成2年12月・形原造船(株)建造)

表15 アルミニウム合金製漁船の勢力（水産庁漁船課）

(a) 漁船建造許可隻数 (長さ15 m 以上)			(b) 右記漁船の漁業種類別区 分（昭和52～平成2年）			(c) 漁船登録隻数		
年数	隻数	総トン数	漁業種類	隻数	総トン数	年	隻数	総トン数
52	1	15	定置網	43	731	62.12.31	527	3,918.14
53	1	34	官公庁	34	1,468	63.12.31	679	5,056.53
54	1	37	小型底びき	25	345	元.12.31	746	6,041.87
55	2	65	運搬船	15	215	2.12.31	837	6,904.99
56	2	60	刺網	9	139			
57	6	127	まき網	8	142			
58	7	161	はえなわ	7	116			
59	9	205	沖合底びき	6	382			
60	12	191	捕鯨船	4	114			
61	14	388	まき網附属	4	70			
62	21	432	敷網	4	69			
63	27	613	一本つり	3	57			
元	29	592	ひき網	3	50			
2	35	862	雑・採介	2	26			
	167	3,785	計	167	3,785			

表16 日本小型船舶検査機構に在籍⁽¹⁾するアルミニウム合金船（平成2年3月末現在）

長さ (m)	合計 (隻数)	船 種 に よ る 区 分 (隻 数)					
		プレジャー モーターボート	プレジャー ヨット	遊漁船	漁船	遊漁兼用船	その他
1.5～3未満	399	288	—	85	—	—	26
3～4	2,678	2,050	—	453	—	3	172
4～5	212	105	—	39	1	3	64
5～6	133	31	1	21	18	2	60
6～8	136	22	4	23	10	15	62
8～10	133	6	4	15	21	20	67
10～12	313	6	7	21	20	70	189
合計 (比率, %)	4,004 (100)	2,508 (62.6)	16 (0.4)	657 (16.4)	70 (1.8)	113 (2.8)	640 (16.0)

注（1） 船の長さ12 m 未満

には、官公庁船が34隻（計1,468総トン）含まれ、各県の漁業取締船が高速のアルミニウム合金船となっている。また、長さ15 m 以上のものは、167隻（計3,785総トン）である。

最近建造された比較的大型のものには、図24に示す48トン沖合底びき網漁船「観音丸」があり、また、北海道の羅臼では、図25に示す19トン刺網漁船「第七十八勝丸」が操業している。

6.3 その他

表16は、日本小型船舶検査機構（JCI）に在籍する長さ12 m 未満の小型アルミニウム合金船の隻数である。約4000隻のうち、2000隻余が長さ3～4 m のプレジャーモーターボートであり、この大半は輸入品とみなされ

る。マリンレジャーの普及発展により、この種の船は増加すると考えられ、プレス成形性を考慮した低 Mg のアルミニウム合金が船体構造材料として適しよう。

7. おわりに

アルミニウム合金船について、使用材料、構造基準、建造における注意事項および合理化、最近の動向その他を紹介した。

アルミニウム合金船は、高速(船)艇には定着したが、漁船にはこれからである。FRP 漁船の廃船問題と関連して、アルミニウム合金漁船が各方面から注目されている割合に隻数が伸びないのは、FRP 漁船との競合において船価が高いことにある。アルミニウム合金漁船の利

15

点は、リサイクルを含めてよく認識されているので、なんらかの突破口を開く施策が必要と考える。

なお、執筆に当り、各造船所その他から貴重な資料を頂いた。ここに、厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) R. A. Sielski: Naval Eng., (1987), May, 165.
- 2) 船舶用軽金属委員会：船舶用軽金属委員会第1回報告書, (1950), 3, 軽金属協会.
- 3) たとえば, P. A. Lalangas and P. L. Yannoulis: Soc. of Naval Arch. and Marine Eng., no. 2, (1983-Nov.), Ann. Meet., N. Y.
- 4) 三菱造船(株)下関造船所：船舶軽金属委員会第5回報告書, (1954), 121, 軽金属協会.
- 5) 丹羽誠一：ポートエンジニアリング, No. 5, (1973), 9, 舵社.
- 6) たとえば, 笈川研一：アルトピア, (1990), 7, 51.
- 7) 日本小型船舶工業会：アルミニウム合金船建造技術指導書, (1980).
- 8) 日本小型船舶工業会：アルミニウム合金船建造技術指導書, 設計編, (1989).
- 9) アルミニウム合金船委員会：アルミニウム合金製漁船, (1983), 軽金属溶接構造協会.
- 10) 軽金属溶接構造協会：LWS W 8101-1981, アルミニウム合金船殻工作標準, (1981).
- 11) 日本小型船舶工業会：FRP 船建造技術指導書, 設計編(2), (1979), 7.
- 12) 大隅三彦：船の科学, 32 (1979), 9, 83.
- 13) 竹内勝治：船舶・海洋とアルミニウム, (1990), 114, 軽金属溶接構造協会.
- 14) 漁船協会：アルミニウム合金製漁船研究会, 平成3年2月現在.
- 15) Det Norske Veritas: Type and Service Class Notation, Light Craft, Part 3, (1985).
- 16) Interin Fed. Spec. Al. Alloy 5086, Plate and Sheet for Sea Water Appl., QQ-A-00250/19, Navy-ships), Dec. 31, 1968.
- 17) Interin Fed. Spec. Al. Alloy 5456, Plate and Sheet for Sea Water Appl., QQ-A-00250/20, (Navy-ships), Dec. 31, 1968.
- 18) Kaiser Al. & Chem. Sales Inc.: Aluminum Boats, 2nd ed., (1978).
- 19) H. P. Godard et al.: The Corrosion of Light Metals, (1970), 140, John Wiley & Sons Inc., N. Y.
- 20) D. M. Aylor and P. J. Moran: J. Electrochem. Soc., 133 (1986), 949.
- 21) 軽金属車両委員会：軽金属車両委員会報告書 No. 4 (昭53~58), (1984), 3, 日本鉄道車両工業会, 軽金属協会.
- 22) 軽金属車両委員会：大型薄肉押出形材用アルミニウム合金 6N01-T5 の疲れ強さ, (1988), 1, 日本鉄道車両工業会, 軽金属協会.
- 23) 軽金属車両委員会：鉄道車両用アルミニウム合金 5086-H112 の疲れ強さ, (1990), 1, 日本鉄道車両工業会, 軽金属協会.
- 24) 竹内勝治：軽金属溶接, 26 (1988), 165.
- 25) 竹内勝治, 田中英司：住友軽金属技報, 3 (1968), 278, 369., 4 (1963), 72., 5 (1964), 355.
- 26) S. J. Maddox: 2nd Intern. Conf. on Al. Weld. (1982), III-4, Munich.
- 27) 竹内勝治, 他3名：住友軽金属技報, 13 (1972), 218.
- 28) 竹内勝治：アルミニウム合金の疲労強度, (1990), 250, 軽金属溶接構造協会.
- 29) たとえば, R. B. Niederberger, et al.: Corrosion, 22 (1966), 68.
- 30) E. H. Dix, Jr., W. A. Anderson and M. B. Shumaker: Corrosion, 15 (1959), 55 t.
- 31) D. O. Sprowls, and R. H. Brown: Fundamental Aspect of Stress Cracking, 466, (1969), NACE, Huston. (M. O. Speidal: Stress Corrosion Crack., of Al. より引用)
- 32) 筑田昌宏, 他3名：軽金属学会第46回春期大会講演概要, 39, (1974).
- 33) 竹本 正, 岡本郁男：軽金属, 33 (1983), 315.
- 34) 菅原英夫, 他4名：第37回腐食防食討論会講演集, (1990), B-201, 155.
- 35) MIL-HDBK-5D, (Jan. 1984).
- 36) 後川 理, 中山英治：石川島播磨技報, 23 (1983), 351.
- 37) 竹内勝治：軽金属溶接, 27 (1989), 506.
- 38) 金子幸雄：アルミニウム技術便覧, (1985), 1685, 軽金属出版.
- 39) 竹内勝治, 他4名：住友軽金属技報, 23 (1982), 52.
- 40) 谷口 中：西部造船会会報, No. 6, (1958), 19.
- 41) Y. Kaneko and E. Baba: Sympo. on Small Fast Warships and Security Vessels, Paper No. 19, (1982) Roy. Inst. Naval Archi.
- 42) 金子幸雄：世界の艦船, (1984-7). 浜田知聰：船舶・海洋とアルミニウム, (1990), 136より図を引用.
- 43) 日本造船振興財団：北海道中小造船業及び造船関連工業活性化のための調査研究報告書, (1989), 146.
- 44) たとえば, 前出の文献3) 参照.
- 45) 海上保安庁船舶技術部：船舶, 51 (1978), 8, 8.
- 46) 金子幸雄：長崎総合科学大学工学研究所報, 6 (1991), 13.
- 47) D. R. Lavis, et al.: The promise of advanced Naval Vehicles for NATO Marine Techn., 27 (1990-3), No. 2.
- 48) 金子幸雄, 土山裕司, 木原和之：西部造船会会報, No. 65, (1982).
- 49) 金子幸雄：住友軽金属技報, 30 (1989), 41.
- 50) C. Wright: Operation and Cost of High-speed Craft Marine Techn., 27 (1990-3), No. 2.
- 51) B. Müller-Graff: Jahrbuch der SBTG, 83 (1989), 179.
- 52) 竹内勝治：軽金属溶接, 27 (1989), 583 参照.