

小型船舶用ABS樹脂の強度特性

大阪支所

元海上安全研究領域

* 櫻井昭男、小野正夫

前田利雄

1. はじめに

現在、欧州を中心にABS樹脂製船体が徐々に製造されるようになってきており、ABS樹脂製船舶を国内に輸入するメーカー、代理店等についてもその存在が確認されていることから、今後検査需要が増大する可能性がある。しかしながら、現段階において、ABS樹脂製船舶の検査実績が少ないことから、ABS樹脂製船体の強度、耐久性についての評価基準がなく、強度確認については落下試験に、また、耐久性については定期的検査時の外観検査のみに頼らざるを得ない状況となっている。したがって、これらの基準整備が求められている。

本報告では、ABS樹脂を船殻材料として使用する場合の留意事項等を取りまとめるため、ABS樹脂製船体に関する材料特性について調査した結果の概要を示す。

2. 供試材

2.1 新規成形材

材料特性試験に使用するABS樹脂のうち、新規成形材は、加熱プレス機を用いて原料ペレットから矩形平板を成形し、試験に供した。入手した原料ペレット(SER20)は米国UL94V-0認定の一般用途向け難燃ABS樹脂で、昭和48年の販売開始以来、安定して供給されており、後述する実艇切り出し材と比較する汎用品として妥当なものと考え、選定した。主な用途としては、車両関係ではラジエターグリル等の四輪車外装材、コンソールボックス等の四輪車内装材、二輪車カウル、電気製品関係ではハウジング等が挙げられる。

試験材の作成は、JIS K6934-2(ISO 2580-2)「プラスチック - アクリロニトリル - ブタジエン - スチレン (ABS) 成形用材料及び押出用材料 - 第2部: 試験片の調整及び諸性質の測定方法」に示された

試験片の圧縮成形条件に準じて行った。

2.2 実艇切り出し材

実艇切り出し材は、ヤマハ発動機(株)からご提供いただいたTERHI BIGFUN 475から、30cm角のブロックを船側(左右舷3枚ずつ)、船底(左右舷2枚ずつ)、計10枚を切り出し、それぞれ外皮(3.4~6.2mm)、充填発泡材(20~50mm)、内皮(2.1~3.3mm)に分離して、試験に供した。以下、この実艇切り出し材の試験材記号をTERHIと称する。なお、外皮の暴露面には、耐候性を向上させるため、約0.1mm厚のAS樹脂コーティングが施されている。

2.3 その他比較材

これまでに実績のあるSMC並びに高密度ポリエチレンを比較の対象データとして掲出した。SMCデータとしては、K社製PWCの新規成形ハルボトムの船底部から採取した試験材のデータ¹⁾を使用した(以下、試験材記号をSMCと称する)。また、高密度ポリエチレンのデータとしてはM社が製造するプレジャーボートに使用する材料のデータ²⁾を使用した(以下、試験材記号をHDPEと称する)。

3. 試験結果

3.1 密度、硬さ、ビガット軟化温度(VST)

供試材の密度、デュロメータD硬さ及びVSTを表

表-1 供試材の密度、硬さ、VST

		密度 (g/cm ³)	デュロメータD硬さ	VST ()
試験法	JIS	K7112	K7215	K7206
	ISO	1183	868	
供試材	SER20	1.174	77.1	87.8
	TERHI 船側	1.021	73.9	103.7
	TERHI 船底	1.022		
	TERHI 内皮	0.05	73.7	
	SMC	1.9	84.3	
	HDPE	0.949	63.5	

表-2 供試材の静的強度特性

単位: MPa

		引張強度特性		高温引張強度		圧縮強度特性		曲げ強度特性	
		強さ	弾性率	強さ	弾性率	強さ	弾性率	強さ	弾性率
試験法	JIS	K7161, K7162				K7181		K7171	
	ISO	527-1, 527-2				604		178	
供試材	SER20	33.23	2236	30.29	1540	53.76	2180	58.48	2120
	TERHI 船側	36.41	1870	24.56	1638	47.19	1948	56.33	1681
	外皮 船底	33.56	1834			47.96	1927	58.83	1662
	SMC	59.02	12070			116.42	13120	125.47	10970
	HDPE	19.56	1291			15.6	1313	24.48	754

- 1に示す。ABS樹脂はSMCとHDPEの中間的な硬さを示していることがわかる。

ことは困難である。

3.2 静的強度特性

供試材の静的強度特性を表-2に示す。

ABS樹脂の引張強さは先に示したデュロメータ硬さと良い相関を示しており、SMCとHDPEの中間的な値を示している。また、破断後の試験片にはポリエチレンやポリプロピレンと異なり白化やくびれ等はほとんど見られず、脆性的に破壊している。

高温引張試験は恒温槽付き材料試験機を用いて、温度50℃において行った。引張強さ、弾性率とも常温の試験結果に比べて1~3割低下したが、高密度ポリエチレンよりは優れた値となっている。

圧縮試験結果の強度順等全体の傾向は引張試験結果とよく一致している。曲げについては、いずれも引張側から亀裂が生じ、破壊にいたった。

3.3 疲労強度特性

疲労試験条件を表-3に示す。疲労試験では試験時間の制約から十分な数の試験を行うことができなかったが、図-1、2に示す応力-繰返し数線図を作成した。引張疲労試験片は静的試験の場合と同様、白化やくびれ等はほとんど見られず、脆性的に破壊した。曲げ疲労特性では、SER20やSMCと比べて、TERHIは繰返し曲げ荷重に対する耐久性が高く、10000回程度までは繰返し数の影響は少ない。試験温度を+1℃としたものについては全体に強度が上昇している。破壊様相は、白化現象

表-3 疲労試験条件

	引張疲労試験	曲げ疲労試験
試験法(JIS)	K7118	K7119
载荷周波数	5Hz sin波	2Hz sin波
制御方式	荷重	荷重
雰囲気	20℃ 大気中	20℃ 大気中 1℃ 水中

がほとんど見られず、脆性的にき裂が進んだように見受けられた。

また、疲労過程における試験材の剛性変化を調べたが、SMCやHDPEと異なり、剛性の変化がほとんど認められず、これを疲労度判定の指標とする

3.4 衝撃強度特性

落錐衝撃3点曲げ試験の結果を表-4に示す。衝撃強度は荷重の最大値で求めた。破壊は、荷重の最大値を過ぎた塑性域で発生している。また、落下高さが高くなるに従い破壊点は荷重の最大値に近

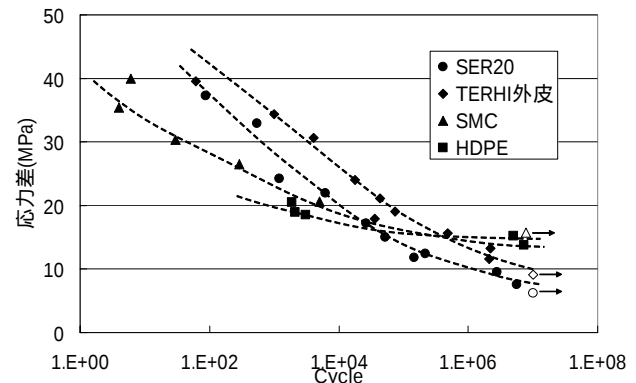


図-1 引張応力-繰返し数線図

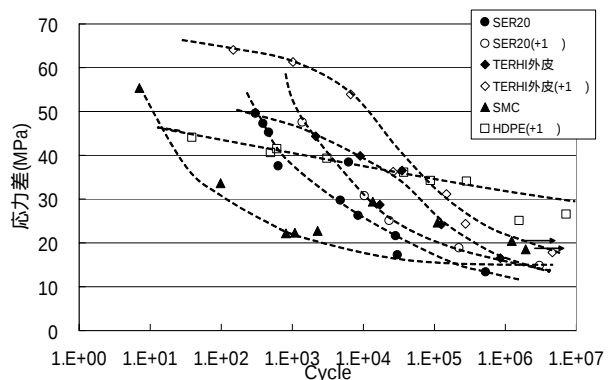


図-2 曲げ応力-繰返し数線図

表-4 衝撃強度特性

単位: MPa

試験法		JIS K7211			
落下高さ(m)		0.5	1.0	1.2	1.5
供試材	SER20	50.4	52.6		52.2
	TERHI 船側	47.18	48.06		48.55
	外皮 船底	47.03	48.00		50.28
	SMC			192	
	HDPE	25	28		24

づいた。衝撃強度は、落下高さに比例して大きくなる傾向を示すが、その値は決して大きくない。板厚の違うTERHIの船側材、船底材の衝撃強度はほぼ同様の値を示した。また、ABS樹脂の衝撃強度は、SMCと比較して約25%の低い値となるが、SMCは単板で使用するのに対し、ABS樹脂はサンドイッチ材として使用するため単純な比較が難しい。

一方、衝撃強度の温度依存性を調べるため、-80～100 においてアイゾット衝撃値を求めた。結果を図-3に示す。HDPEと比較して、供試したABS樹脂は全温度域において、アイゾット衝撃値が下回っている。しかし、-20～60 の常用温度範囲においては、HDPEにみられるような延性的破壊(延性的性質)領域から脆性的破壊(脆性的性質)領域に移る遷移温度が表れず、ほぼ様な値を示している。SER20の遷移温度は、図から80～90 付近にあるものと推定される。また、SER20にくらべて、TERHIは耐衝撃性に優れている。また、船底、船側による差異は認められなかった。

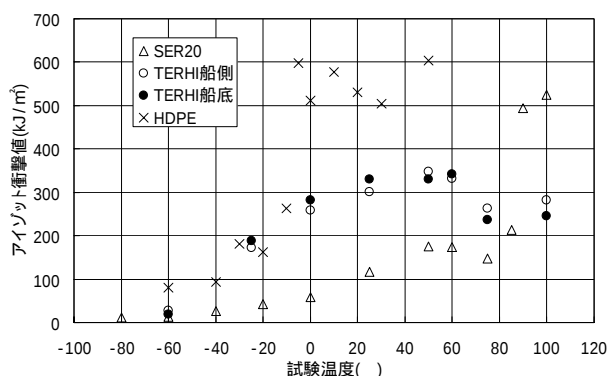


図-3 アイゾット衝撃値の温度依存性

3.5 摩耗試験

摩耗試験はJIS K7218に準拠した回転式摩擦摩耗試験装置を用い、相手材をセメントモルタルとし、すべり速度を20m/min一定に行った。はじめに、試験荷重を変化させて動摩擦係数を調べた結果、SER20は0.25、TERHI外皮船側が0.3～0.7、

表-5 比摩耗量(単位: mm³/(N・km))

供試材	試験荷重(N)	
	49	98
SER20	2.58×10^{-5}	2.83×10^{-5}
TERHI 外皮	船側 1.01×10^{-5}	1.71×10^{-5}
	船底 1.21×10^{-5}	1.46×10^{-5}
HDPE	2.17×10^{-8}	3.75×10^{-8}

TERHI外皮船底は0.3～0.6の値を得、試験荷重の増加に伴い減少する傾向がわかった。また、試験荷重が100N付近以上になるとあまり変化が見られなくなった。

そこで、試験荷重を49N及び98Nとして、室温27～30 において摩耗試験を行った。その結果を表-5に示す。各試験材の比摩耗量は $1.0 \sim 2.8 \times 10^{-5} \text{ mm}^3 / (\text{N} \cdot \text{km})$ であり差異はなく、同様の試験方法で比摩耗量を求めた結果と比較するとHDPEより約3桁大きい。

3.6 促進暴露試験

促進暴露試験はJIS K7350-1～2(ISO4892-1～2)に準拠し、キセノンランプ式促進暴露装置を用いて、放射照度 500 W/m^2 (1時間あたりの放射露光量 1.8 MJ/m^2)、ブラックパネル温度 63 ± 3 、湿度(水噴霧のないとき) $50 \pm 5\% \text{ RH}$ 、水噴霧時間120分中18分の水中浸漬で行った。なお、試験時間は500時間まで100時間おきとし、その後、1000、2000時間まで照射した。

目視観察の結果、SER20では100時間ですでに黄変が生じ、200時間で黄変が進むとともに、表面に

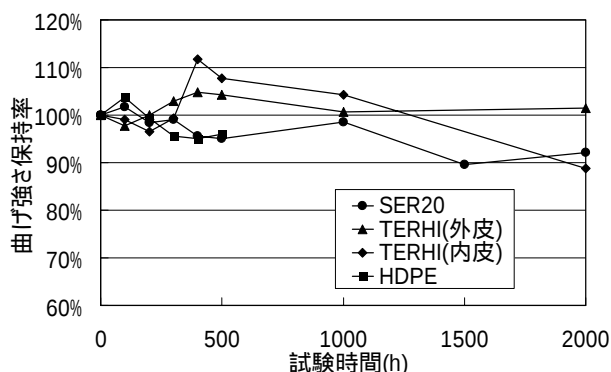


図-4 暴露による曲げ強さの変化

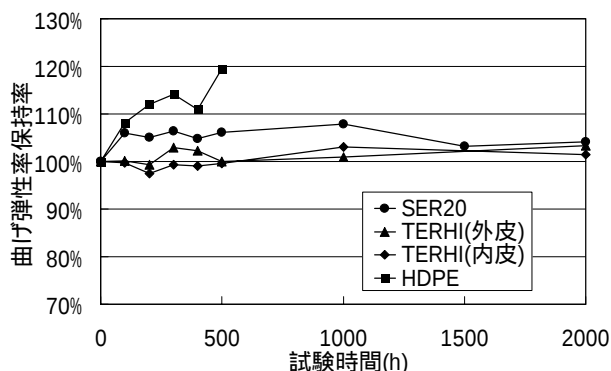


図-5 暴露による曲げ弾性率の変化

粉体が発生する。300時間で黄変はピークに達し、その後は徐々に黄変が薄くなり、粉体も減少する。1000時間で明らかに表面が粗くなるが、その後は大きな変化はない。これに対して、TERHIではAS樹脂をコーティングした外皮並びにABS樹脂だけの内皮とも、大きな変化は認められなかった。

暴露供試材のデュロメータ硬さについては、いずれの試験材もほとんど変化がなかった。静的曲げ強さについては図-4に示すように、SER20が1500時間でおおよそ1割程度低下したが、TERHIについては低下はなかった。また弾性率については図-5からわかるように、いずれも若干ながら上昇する傾向にあった。

またSER20材について、ビカット軟化温度の変化を調べた結果が図-6である。ビカット軟化温度は暴露400時間付近までは暴露時間の増加に伴い上昇する傾向を示すが、それ以上の暴露時間ではやや減少する傾向を示した。

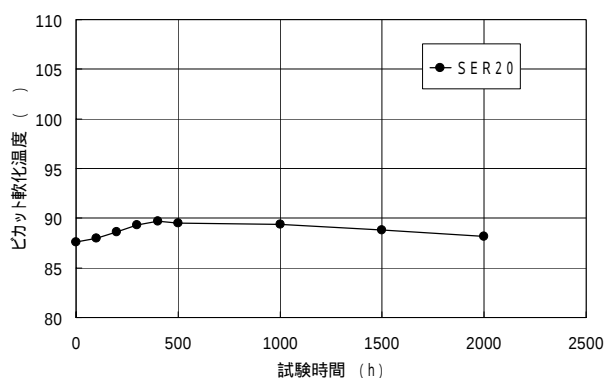


図-6 暴露によるビカット軟化温度の変化

4. まとめ

実艇より採取、あるいはペレットより製作したABS樹脂について強度等の特性を調べ、以下のことを明らかにした。紙面の制約から本文中に記述できなかった項目も含めてまとめる。

ABS樹脂はSMCとHDPEの中間的な硬さを示す。

ABS樹脂の静的強度もSMCとHDPEの中間的な値をもつ。また、破壊は白化やくびれ等をほとんど伴わず、脆性的に進展する。

ABS樹脂は、熱硬化性樹脂を使用したSMCと比べて、繰り返し応力に対する耐久性が高い。しかし、破壊時には白化など見られず、脆性的に進む。また、疲労過程中的剛性変化を疲労度判

定の指標とすることは困難である。

ABS樹脂の衝撃強度は、SMCと比較して約25%の低い値となる。また、衝撃強度が静的強度より低い値を示す。

- 20 ~ 60 の常用温度範囲においては、HDPEにみられるような延性的破壊(延性的性質)領域から脆性的破壊(脆性的性質)領域に移る遷移温度が表れず、ほぼ様な値を示している。SER20の遷移温度は、図から80 ~ 90 付近にあるものと推定される。また、SER20に比べて、TERHIは耐衝撃性に優れている。

ビカット軟化温度試験より、常用温度範囲においての使用に問題はなく、また、TERHIはSER20よりも耐熱性に優れていることがわかった。さらに、ビカット軟化温度は前述したアイゾット衝撃試験で認められた遷移温度と対応しているものと考えられ、そのため、TERHIの遷移温度は100 ~ 110 付近と推定される。

ABS樹脂の飽和吸水率は、ガラス繊維を有するSMCと比べて低く、おおよそ1%程度であった。また、吸水時の強度低下はほとんどない。

ABS樹脂の比摩耗量はHDPEより約3桁大きい。

ABS樹脂の熱老化に伴う強度低下はみられない。

促進暴露試験の結果、SER20では黄変を生じるが、TERHIでは大きな変化は認められなかった。これに対応し、SER20では強度が低下したが、TERHIでは低下はなかった。さらに、黄変に対応して、ビカット軟化温度の上昇が見られた。

本研究は日本小型船舶検査機構との共同研究として実施した。試験材のご提供等、関係各位のご協力に感謝します。

参考文献

- 1) 小型船舶の船体構造用特殊材料の特性に関する調査研究報告書(その1: アルミニウム合金鋳物、SMC材料編)、日本小型船舶検査機構(2001)
- 2) 小型船舶の船体構造用特殊材料の特性に関する調査研究報告書(その2: ポリエチレン、ポリプロピレン材料編)、日本小型船舶検査機構(2002)