

タンカー用 FRP製 耐火救命艇の耐火断熱性能について

長田 修*・宮田 修*・大中幹夫*

Performance of Fireproof Lifeboats of Reinforced Plastic for Tankers

By

Osamu NAGATA, Osamu MIYATA and Mikio OHNAKA

Abstract

The International Convention for the Safety of Life at Sea encourages all the participants to undertake research work on tanker lifeboats which could be capable of resisting fire when attached to davits, and of being safely lowered with their full complement and then cleared from the ship's side in conditions of fire on the surface of the water.

Much cooling water which flows on the outer surface of a boat will be able to protect the FRP lifeboat from fire. But it is very difficult to cover all the outer surfaces of the boat with limited quantity of water, at any time when the boat is lowering or running against the wind.

Therefore, the extent of damage and effectiveness of heat insulation of the FRP lifeboat, which is not substantially fireproof, must be investigated.

Two kinds of heating tests, tension tests of heated plates and sprinkling tests of real tanker lifeboats are conducted as follows:

a) FRP plates of 750×990(mm) which were the same materials as those of FRP tanker lifeboats were set vertically in front of a test furnace of about 500°C. And the plates were heated for twenty minutes while cooling water flows on the heating surfaces of the plates.

b) Four runs of large scale oil fire tests were conducted with two kinds of half-size models of FRP tanker lifeboats.

c) Tension tests were conducted to know the extent of decrease of tensile strength infected with the heat addition to the FRP plates.

d) Water film thicknesses on the outer surfaces of shells were measured for two kinds of real tanker lifeboats.

The main results obtained are summarized as follows:

1) The materials of FRP tanker lifeboats, which are composed of self-extinguishing and fire-retardant additions, can resist an oil fire of 1000°C for about thirty seconds, even if there is no cooling water on the outer surfaces of shell plates.

2) 0.6 mm is the necessary minimum water film thickness on the outer surface plate of thickness of 6 mm to protect the boat and crews inboard for five minutes in conditions of fire on the surface of the water.

In these conditions, the temperatures and the heat fluxes of the boat will not exceed the following values.

- | | |
|--|-------------------------------|
| i) Inner surface temperature of shell plate | : 150°C |
| ii) Inboard air temperature | : 60°C |
| iii) Heat flux into the outer surface of shell plate | : 4500 Kcal/m ² ·h |
| iv) Heat flux into the inboard air | : 300 Kcal/m ² ·h |

* 艙装部

原稿受付: 昭和53年12月23日

1. 緒 言

第拾雄洋丸の事故等にみられる如く、タンカーが遭難した場合には海面上に油が流れ、大規模な海面火災が発生し、多くの人命が失われる可能性が極めて大きい。

1960年の「海上における人命の安全のための国際会議」において、締約政府はタンカー用救命艇の研究をするよう勧告され、我が国でもこれを受けて当所で1964年より耐火艇の研究¹⁾を開始し、基礎実験（散水実験、出入口蓋の気密実験、高圧空気の放出試験、吸気中の酸素量が減少した場合のエンジン運転試験）、ならびに鋼製試作艇の耐火実験を行い、タンカー用救命艇の具備すべき条件およびその対策につき検討した。

その後、軽量で耐久性が良いFRP製救命艇の普及に伴い、1968年に日本船用機器開発協会がFRP製耐火救命艇の耐火実験²⁾を行い、当所も温度計測等において協力³⁾した。その結果艇体の全外表面を散水により十分冷却すればFRP製であっても耐火艇としての耐火、断熱性を保持し得ることが実証された。

しかしFRP材料は鋼材に比べ絶的な不燃性を有しないためFRP材料を耐火艇として使用する場合、艇の冷却について十分検討されなければならない。即ち艇が静止直立状態の場合だけでなく降下或いは走行状態についても考え、艇が傾斜したり、風の影響を受け散水が一時的または局部的に艇体を冷却しなかった

場合における艇および乗員の安全性についても知る必要がある。しかし以上のような安全性を確認するために一々実艇の油火災実験を行うことは、実験公害の防止や経費の点からも極めて困難である。従って耐火艇の外表面における散水量と艇体および艇内空気の温度ならびに伝熱量等との関係を定量的に求め、FRP製耐火救命艇の安全性の重要な要素である艇体の耐火断熱性能を油火災実験を行わないで推定する必要がある。

研究の実施に際しては1) 小型炉による水膜冷却鉛直FRP板の加熱実験により、加熱されても水膜が破断されない限界水量ならびに板の焼損状況を調べ、次に2) FRP製模型艇の油火災実験により実艇が海面火災に遭遇した場合に近い条件で1)を確認した。なお3) 1), 2)の測定値を用いてFRP板の伝熱解析を行い、実艇の耐火断熱性能を計算するのに必要な諸係数の値を求めた。また4) 1), 2)の実験後鉛直FRP板および模型艇より試験片を採取し、加熱後の試験片の焼損深さならびに残存強度について調査した。さらに5) 実艇の散水試験を実施し、艇外表面の水膜厚さの分布等を計測し、6) 3), 5)を用いて実艇の耐火、断熱性能を推定する方法を提案した。

2. FRP板の加熱実験

FRP材料の熱伝導率、温度伝導率はそれぞれ鋼材の1/200、および1/100程度でその断熱性能はすぐれているが発煙温度は約230°C、引火温度は約400°Cであるため耐火性は鋼材に比べて悪く、FRP材料を

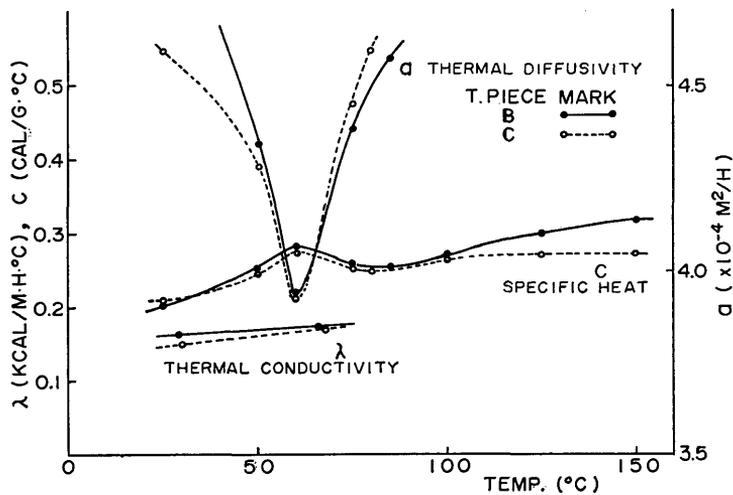


Fig. 1 Property values of FRP plate

耐火艇として使用するとき、その表面を散水等により冷却することは不可欠の条件である。本実験では各種流量の流下水膜で覆われている鉛直 FRP 板の表面が加熱された場合における水膜の安定破断状態、板の焼損状況ならびに温度上昇を調査した。

2.1 実験方法

耐火艇材料として使用されている FRP は難燃性および自己消火性を向上させるため、ポリエステル樹脂 100 に対してそれぞれ約 10 の三酸化アンチモンと塩化パラフィンが混入され、28~35(%)のガラス繊維含有率で比重 1.5~1.6、板厚 6~8 (mm) に成型されている。実験に使用した FRP 板は現在国内で製造されている耐火艇の外板と同じ材料、板厚のもので、Fig. 1 のとおり比熱、熱伝導率等の熱的性質は温度により異なるが、B 試験片 (450M×2+600M×3+600R+600M のガラス繊維構成でハンドレイアップ法によりガラス含有率 35%、板厚約 7 mm に積層したもの) と C 試験片 (スプレイアップ法によりガラス含有率 28%、板厚 8 mm に成型したもの) との違いは少ない。

試験炉の外観を Photo. 1 に示す。炉の内寸法は高さ 1.4 m、幅 1 m、奥行 1 m であり、炉の内壁には炉内の温度がいちようになるよう Fig. 2 のとおり左右両側面に各 26 本、正面 30 本、床面 6 本のプロパン

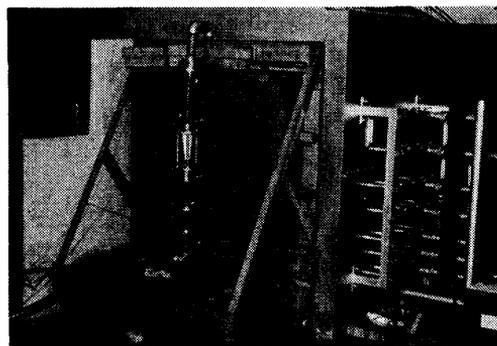


Photo. 1 Heating and water supplying apparatus

ガスバーナーを設置し、炉の前面開放鉛直面に高さ 0.75 m、幅 1 m の試験用 FRP 板を取付けた。上部鋼製水溜りよりオーバーフローした水はまず長さ 0.15 m の水溜り表面の鉛直鋼板上を流下し、ついで鉛直 FRP 板上を流れて外部へ排出される。FRP 板の加熱側表面をいちような流下水膜で覆うため鉛直鋼板上縁のせき部ならびに鋼板と FRP 板の継目部の製作ならびに表面仕上げには十分留意した。なお FRP 板の裏面側には断熱材を内張した奥行 0.4 m の槽を設け、加熱された FRP 板裏面よりの貫流熱ならびに発生し

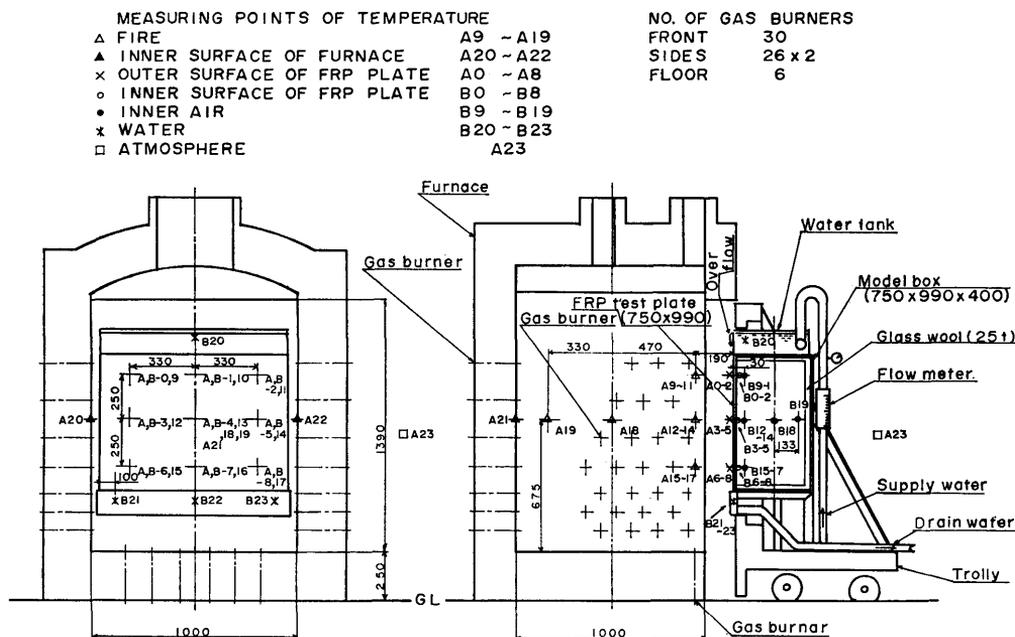


Fig. 2 Heating and water supplying apparatus of FRP test plate

たガスが槽内に溜るようにした。

炉内火災温度ならびに槽内空気温度各 11 点，試験片の表，裏面温度各 9 点，気温，給水温度各 1 点，排水温度 3 点，炉壁温度 3 点の計 48 点の各温度の測定に際しては，火災ならびに炉壁の高温部には 1 mmφ，その他の箇所には 0.3 mmφ のクロメル-アルメル裸熱電対を用い，自動温度記録計により連続記録した。

平滑なる鉛直面上を流下する水の膜厚さ δ は層流の場合，Nusselt⁴⁾ の理論式 (1)，Re > 400 の場合 Brauer

の実験式 (2) により次のとおり表わされる。

Re ≤ 400 のとき

$$\delta_N = \left(\frac{3\nu^2}{g} \right)^{1/3} Re^{1/3} \quad (1)$$

Re > 400 のとき

$$\delta_B = 0.302 \left(\frac{3\nu^2}{g} \right)^{1/3} Re^{8/15} \quad (2)$$

但し g : 重力加速度

ν : 動粘性係数

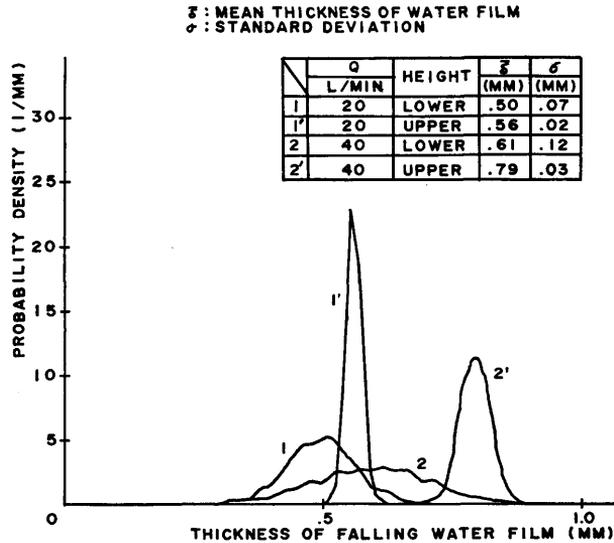


Fig. 3 Probability density of water film thickness

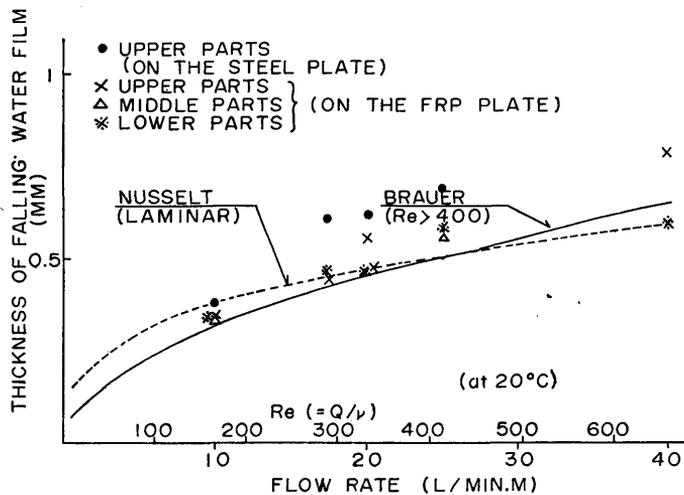


Fig. 4 Thickness of falling water film

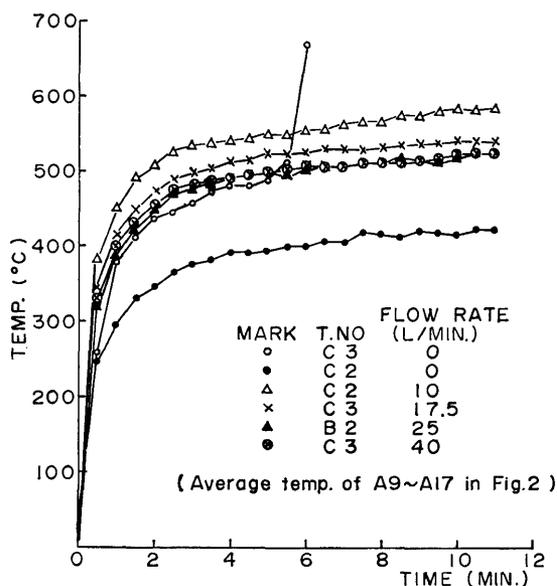


Fig. 5 Average temp. of fire in the fireplace

Q : 単位幅当たりの体積流量

Re : 液膜レイノルズ数 ($=Q/\nu$)

水膜厚さの計測には水面接触型サーボ方式の水抵抗式自動水膜計を用い、時間と共に不規則に変化する水膜厚さの値をシグナルプロセッサでデータ処理して Fig. 3 の如く確率密度を求めた。その値は流量、計測高さの如何を問わず、ほぼ正規分布を示している。上部の水溜りよりオーバーフローした水は下流にいくに従い速くなり、波立つため、水膜厚さの時間平均値は減少するが変動は大きくなる。Fig. 4 に Fig. 3 より求めた水膜厚さの時間平均値と体積流量の関係を示す。上部水溜りよりオーバーフローした後の助走距離 80 mm の鋼板表面上における水膜厚さは (1), (2) 式の値よりも厚くなっているが助走距離 500 mm 以上の FRP 板上の水膜厚さは計算値によく一致している。

単位幅当たりの体積流量 $Q=25$ l/min·m の時の水膜厚さは水温 20°C の時約 0.5 mm であり、 Q が 10 l/min·m より少なくなると板の全外表面にいちような水膜を形成させることは困難であった。

炉壁温度の上昇が止まった後台車上的水膜で覆われた FRP 板を炉の開方鉛直面に挿入し、以後約 20 分間加熱した。炉内の奥 (Fig. 2 の A19) および中央 (A18) と FRP 板側 (A13) の炉内燃焼ガス温度の有意差は認められなかったので FRP 板側 9 点 (A9~A17) の燃焼ガス平均温度を炉内平均火災温度とした。

炉内平均火災温度は Fig. 5 のとおりで、5 分後に 520 ± 40 (°C)、10 分後に 550 ± 30 (°C) に達した。 Q は 0, 10, 17.5, 25, 40 (l/min·m) の 5 種類とした。但し $Q=0$ の場合のみ、5 分後に 400°C、10 分後に 420°C の炉内平均火災温度条件下における実験を追加した。

2.2 実験結果

Fig. 6, 7 に C 試験片を水の冷却なしの状態では、5 分後の火災温度がそれぞれ 400°C、および 490°C で加熱した場合の試験片の表裏面ならびに槽内空気各平均温度と加熱時間の関係を示す。

火災温度が FRP 材の引火温度以下の場合、ゲルコ

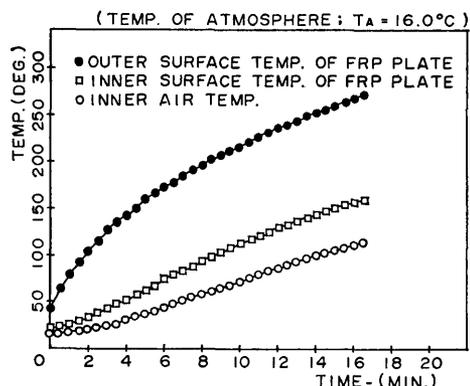


Fig. 6 Average temp. of FRP plate (No cooling, C2)

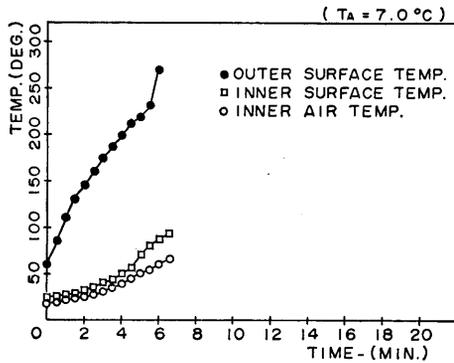


Fig. 7 Average temp. of FRP plate (No cooling, C3)

ート樹脂の燃焼により全加熱面より大量の黒煙が発生したが FRP 板表面における燃焼炎はほとんど認められず、Fig. 6 の如く板の表、裏面温度の上昇はそれぞれ 5 分後で 140°C、40°C、10 分後で 200°C、100°C であった。しかし火災温度が約 500°C の場合、加熱 6 分後に板の全加熱面に炎が発生し Fig. 7 のとおり以後、板の温度は急上昇した。しかしいずれの場合もガラス繊維は脱落せず、外形変化等の異状はあまり認められなかった。

Fig. 8~Fig. 11 に火災温度約 500°C で FRP 板の加熱側表面を 10~40 (l/min·m) の水で冷却した場合の実験結果を示す。流量が 10, 17.5 (l/min·m) で板が加

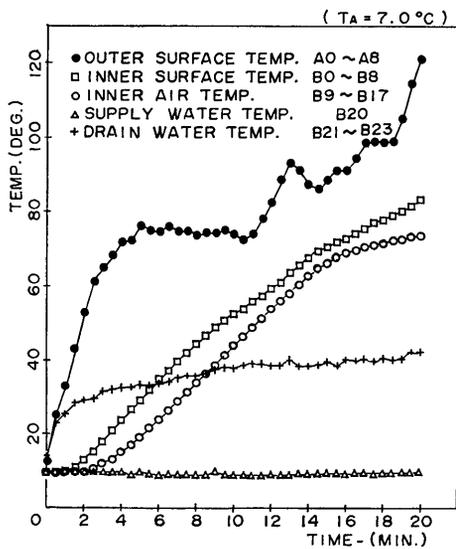


Fig. 8 Average temp. of FRP plate (10 l/min·m, C2)

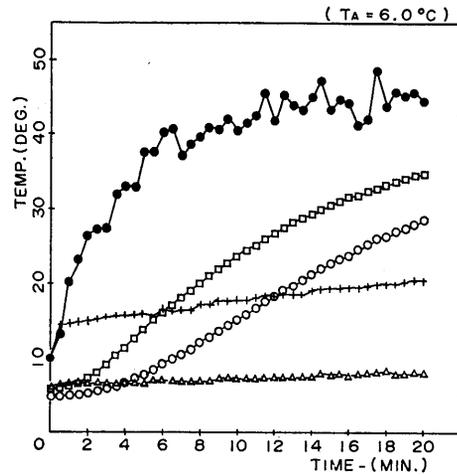


Fig. 9 Average temp. of FRP plate (17.5 l/min·m, C3)

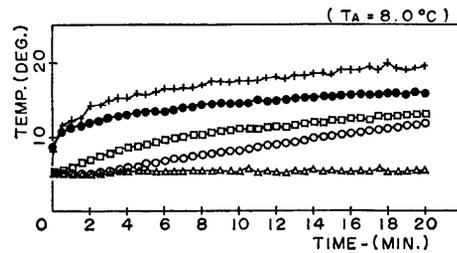


Fig. 10 Average temp. of FRP plate (25 l/min·m, B2)

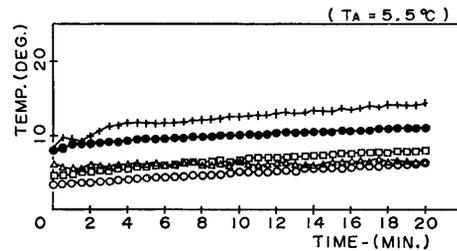


Fig. 11 Average temp. of FRP plate (40 l/min·m, C3)

熱されていないときには板の全外表面はいちような厚さの水膜で覆われているが、板を火災炉に挿入するとただちに水膜の切れ目が生じ、その周辺より水の沸騰、蒸発が始まり、ついで板の発煙、燃焼が起り、板の表面は Photo. 2 のごとく粗面になる。すると水膜の切れ目は更に拡大し、蒸発は加速される。このように板の加熱側表面は薄い水膜を透過、または切れ目より

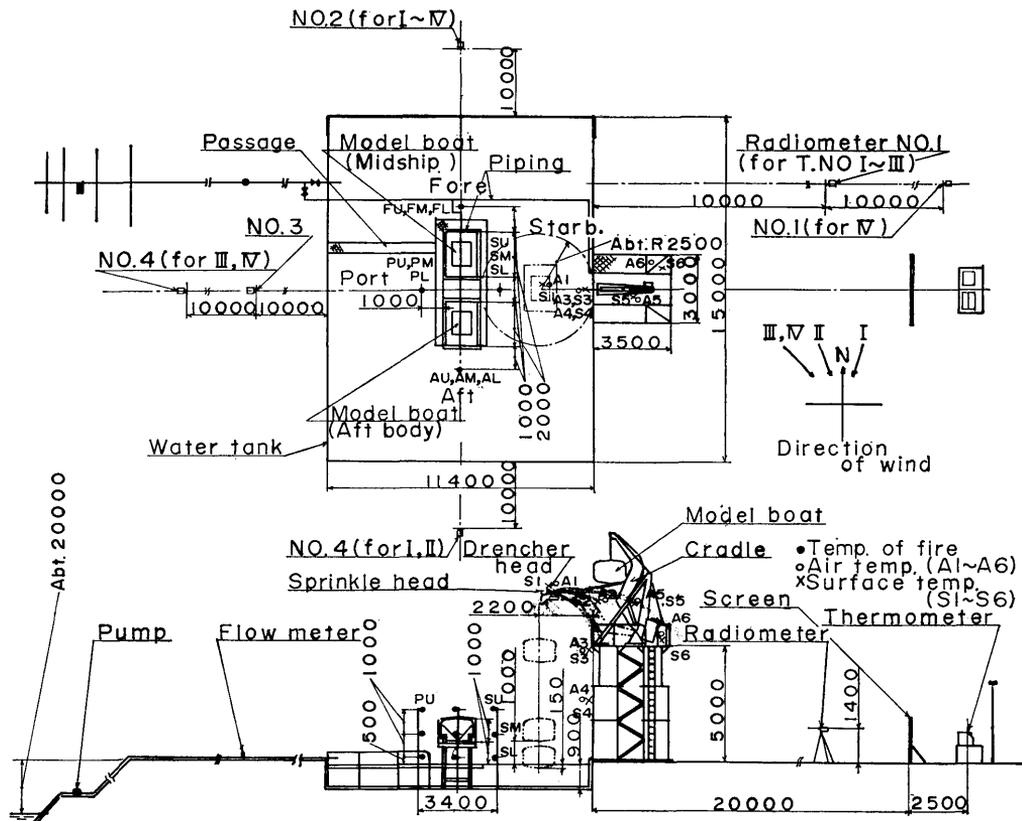


Fig. 13 Arrangement for fire test

ドレイアップ法による FRP 製であり、板はガラス重量比 28%、 $G \cdot C + 600M \times 5 + 450M$ のガラス繊維で構成され、その厚さは約 7.5 mm である。模型艇の甲板と側板のコーナ部は丸みを付け、甲板上の散水が剝離することなく滑かに流下するような形状にしたが、甲板と前後の端板とのコーナ部にはわざと丸みを付けず散水が剝離する形状とした。

3.1.2 油火災用実験水槽

油火災を発生させるための実験水槽ならびに進水装置等を Fig. 13 に示す。水槽は鋼製でその大きさは艇より水槽の端迄の距離が 5m 以上になるよう長さ 15m、幅 11.4m、水位 0.9m とした。ポートデッキおよび進水装置は十分なふく射熱を受けるよう水槽の長辺側の中央に設けた。なお水槽内の 4 箇所アングルを立て、それぞれの箇所における水面上 0.5, 1.5, 2.5 (m) の高さの火災温度をクロメルアルメル熱電対 (SUS 保護管径 3.2 mm) により計測した。

3.1.3 進水時火災実験

火災海面へ降下中の艇に散水する場合、送水源は本船に頼るが散水管は艇のものを使用する方式と、散水管も含め全面的に本船に頼る方式とが考えられる。前者の場合は艇全外表面をほぼ完全に散水できる利点があるが、本船と艇との連結ホースのくり出し、離脱操作等が複雑になる欠点があるため、現時点では実用化されていない。後者の場合は設計が容易であり、非常時においても確実に作動するため実船に使用されつつあるが、本船側ノズルにより散水するため、散水は風の影響を受け艇体を完全に水で覆うことは困難である。

後者の場合を想定した T. NO. I の実験においては、中央部模型艇をダブイットにより水面上 1m の高さに吊下げ、水面上約 7m の高さにあるクレードル先端に設けたスプリンクラーヘッドを用いて模型艇の甲板に散水した。ポートデッキおよび進水装置の散水はスプリンクラーヘッドのすぐ横に設けたドレンチャーヘッドにより行った。スプリンクラーヘッドより

の散水量は圧力 1 kg/cm^2 のとき、 80 l/min であり、無風時における水面上防護直径は約 10 m である。ドレンチャーヘッドよりの散水量は圧力 1 kg/cm^2 のとき 80 l/min であり、水平に散水させた時の広がり角は 90 度、到達距離は約 5 m である。使用した燃料は 72 l の点火用ガソリンと $1,280 \text{ l}$ の A 重油である。温度計測には SUS 保護管径 1 mm のクロメル-アルメル熱電対を用い、艇の外表面、内表面、艇内空気、デッキ部の鋼材表面、デッキ周辺空気の各温度をそれぞれ 6 箇所ずつ、計 30 箇所の温度を前記の 12 箇所の火災温度と共に 24 点自動温度記録計 2 台にて計測した。温度計測箇所を Fig. 12, 13 に示す。

T. NO. II においては散水システムの異状事態を考慮し、艇には一切散水せず、燃料は T. NO. I と同量で油火災実験を行った。ただし T. NO. I で使用した模型艇を散水なしの状態ですら再度火災にさらすことは危険であるので艇底部は水没させた。

3.1.4 模型艇火災実験

火災海面を走行中の艇は進水時と異なり火災の中心に有り、受熱時間も長い。模型艇火災実験においては中央部と首尾部の模型艇を水槽の中央部に設置し、燃料の量は進水時火災実験の場合の倍にした。ただし艇への伝熱量の推測ならびに艇底冷却用ドレンチャーヘッドの効果についても調査するため、いずれの模型艇も水面上 1 m の高さの架台上に置き、艇底部も火災にさらした。艇への散水管は Fig. 12 のとおりで、C.L. 上の径 50 mm の散水管の噴水孔は径 3 mm 、 3 列とし、中央の 1 列 c 孔はピッチ 100 mm で垂直下方に噴水させ、他の 2 列 a 孔はピッチ 50 mm で両側の甲板に向けて斜下方 45 度の方向に噴水させた。また前、後壁の上方に設けた散水管の噴水孔 b 孔はピッチ 50 mm の 1 列とし、前、後壁に向けて斜下方に噴水させた。単位流路幅当りの流量が FRP 板の加熱実験結果より求めた限界流量 $25 \text{ l/min}\cdot\text{m}$ の場合を T. NO. III とする。この場合、艇上方の散水管よりの散水量は両艇共 195 l/min である。但し中央部模型艇の底部には舷側下方からの流下水が完全にまわらず濡れにくいため、中央部の艇底下方の両舷に散水広がり角 180 度、圧力 1 kg/cm^2 、散水量 60 l/min のドレンチャーヘッドを 1 個宛設け、ほぼ水平に向けて散水させた。従って全散水量は中央部模型艇 315 l/min 、首尾部模型艇 195 l/min 、合計 510 l/min である。

上記流量で散水した場合、散水管の始端圧力は 0.3 kg/cm^2 を示し、水膜は甲板部が最も厚く平均約 1.7

mm 、舷側部で $0.6\sim 1.3 \text{ (mm)}$ 、前後壁部で $0.5\sim 0.8 \text{ (mm)}$ であった。なお艇移動用アイボルトのため散水管を艇体に近付けて取付けられなかったため、前後壁に向けた散水は風の影響を受け、この箇所の散水状態は良好でなかった。

T. NO. IV においては中央部模型艇の底部ドレンチャーヘッドは使用せず、散水管よりの散水量は T. NO. III の $1/3$ 、即ち両艇とも 65 l/min 、計 130 l/min にて実験を行った。この時の散水管の始端圧力は 0.15 kg/cm^2 を示し、水膜厚さは甲板部で $1.1\sim 1.5 \text{ (mm)}$ 、舷側部で $0.5\sim 0.7 \text{ (mm)}$ 、前後壁部で $0.4\sim 0.7 \text{ (mm)}$ であった。散水状態は中央部模型艇の底部 C.L. 付近の乾き部を除き、風がなければ全外表面をかるうじて水膜にて覆うことができる程度であった。

3.2 実験結果

T. NO. I~T. NO. IV の各実験結果の概要を Table 1 に示す。

3.2.1 進水時火災実験 T. NO. I (艇吊下時、ポートデッキより散水)

点火後 1 分にて火災は水面上全域に広がり、 1 分 30 秒~ 3 分 30 秒の間が火災の最盛期で Photo. 3 の如く模型艇は炎に包まれ全く視認できなかった。この間の火災温度は Fig. 14, 15 のとおりでスプリンクラーの散水飛沫の影響を受けた箇所を除き、 $500\sim 1,100 \text{ (}^\circ\text{C)}$ を記録した。点火後 5 分にて火災面は全水面の $1/5$ 程度になり炎は艇より離れ、 8 分後自然鎮火した。この間炎は垂直に上がり 20 m 以上に達した。Fig. 16, 17 にポートデッキ周辺の鋼材表面ならびに空気の温度を、Fig. 18, 19, 20 に吊下げられた模型艇の外表面、内表面、艇内空気の各温度を示す。散水は火災により誘起された風により飛散し、ポートデッキならびに艇の甲

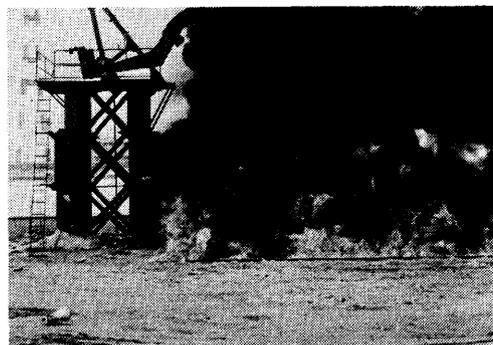


Photo. 3 Fire of T. NO. I (2 min. after ignition)

Table 1 Test results of fire tests

実験種類		進水時火災実験				模型艇火災実験				
実験番号		T. No. I		T. No. II		T. No. III		T. No. IV		
実験日時		昭和52年11月16日 午前 9.20		昭和52年11月16日 午後 1.20		昭和52年11月18日 午前 9.20		昭和52年11月18日 午後 1.20		
実験前の状態	気温, 湿度	7.5°C, 87%		11.5°C, 78%		12.5°C, 73%		12°C, 78%		
	水温	6.5°C		19°C		15°C		19°C		
	風向, 風速	北北東, 0.8~1.0m/s		北北西, 0.4~1.2m/s		北西, 1.2~4.2m/s		北西, 1.8~4.2m/s		
模型艇	種類	中央部模型艇		T.No. I に使用後の模型艇		中央部及び首尾部模型艇		T.No. III に使用後の模型艇		
	位置	水槽の端 水面上1mの高さ		水槽の端 吃水 150mm		水槽の中央 水面上1mの高さ		左 同		
散水量 (l/min.)	ボートデッキ及び ボートダビット	60	ボートデッキ及び ボートダビット	60	中央部 模型艇	甲板・側板	195	中央部 模型艇	甲板・側板	65→0
					底 板	120	底 板	0		
	模 型 艇	80	模 型 艇	0	首尾部模型艇	195	首尾部模型艇	65→0		
燃 料	種類及び量	A重油 1280 l		左 同		A重油 2560 l		左 同		
	水面上の 厚	7.5 mm		左 同		15 mm		左 同		
実験後の 模型艇 焼損状況	甲 板	四隅に黒煙が付着したが ゲルコートの焼損さ え認められず		二次継手は全て炭化し, 本体と剥離したが, パ ッキンは異常なし		殆ど異常なし		局部的にゲルコートが 炭化		中央部
	外 板	下方よりほぼ全面にわ たりゲルコートが炭化		全面にわたり平均2~ 3層炭化		局部的にゲルコートが 炭化		かなりの部分にわたり ゲルコートが炭化		中央部
	前後端板	平均してガラス繊維2 層が炭化し, 二次継手 は局部的に剥離		平均2~3層炭化し, 特に二次継手の焼損が 烈しい		局部的にゲルコート炭化, 但し1層炭化部有り		烈しい所では2層分炭化		中央部
	底 板	全面にわたりゲルコー トが炭化		水中に没していたので T.No. I より進行せず		局部的にゲルコート炭化		2層炭化		中央部
最高 温度 (°C)	火 災	750~1090		440*~1210		340*~1050		360*~1200		首尾部
	艇外表面	50~560		670~800		25~450	42~120	75~650	460~920	
	艇内表面	40~150		170~210		20~41	27~38	39~80	160~220	
	艇内空気	45~70		130~145		30~33	18~28	50~60	85~165	
*いずれも艇首上方の火災温度で北西の風により低温となった。						中央部	首尾部	中央部	首尾部	

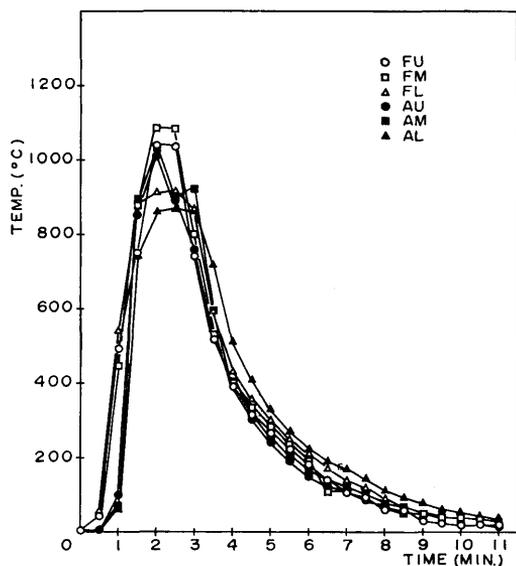


Fig. 14 Temp. of fire (T. NO. I, fore and aft)

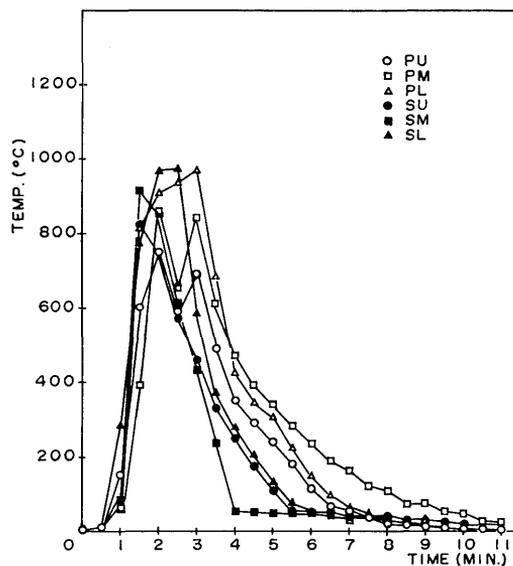


Fig. 15 Temp. of fire (T. NO. I, sides)

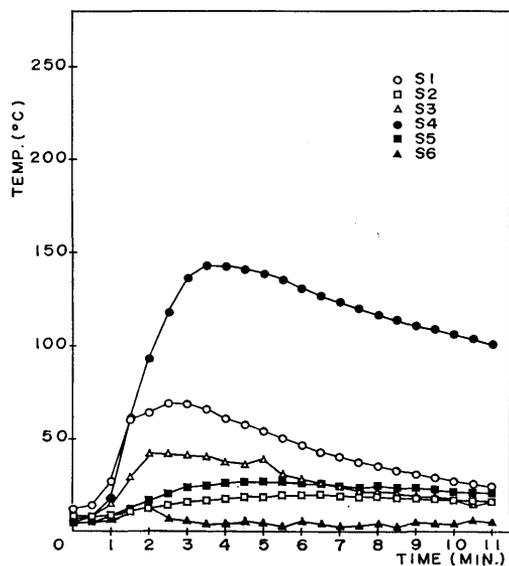


Fig. 16 Steel surface temp. around the boat deck (T. NO. I)

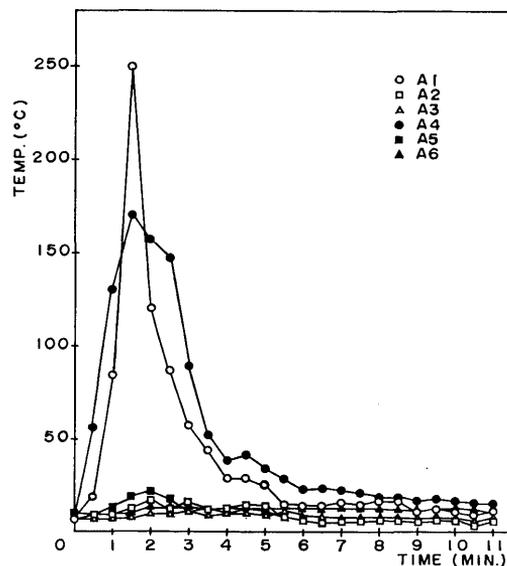


Fig. 17 Air temp. around the boat deck (T. NO. I)

板に直接到達したそれぞれの有効散水量は単位水平面積当たりボートデッキで約 $10 \text{ l/min}\cdot\text{m}^2$ 、模型艇で約 $7 \text{ l/min}\cdot\text{m}^2$ であったにもかかわらず、デッキ周辺の鋼材表面ならびに空気温度は火災面直上 (Fig. 13 の A1, A4, S1, S4) の箇所を除くといずれも 40°C 以下であり、デッキならびに降下装置の強度ならびに機能

は火災により劣化しなかった。模型艇の焼損状況は Photo. 4 に示すとおりで、甲板は殆ど被害なく、舷側外板、艇底、前後壁の順に焼損が激しくなっている。これは甲板と舷側外板との接続部は丸みを付け甲板への散水が舷側部に滑かに流下するように配慮したが、甲板と前、後壁の接続部には比較のためわざと丸みを

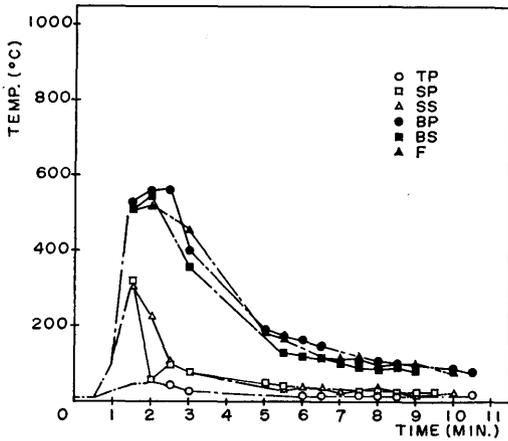


Fig. 18 Temp. of outer surface of shell plate (T. NO. I)

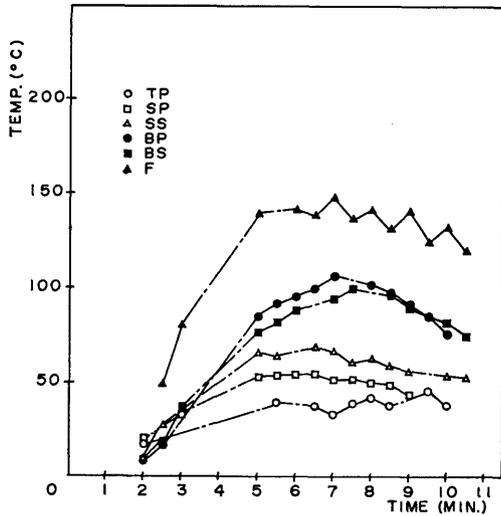


Fig. 19 Temp. of inner surface of shell plate (T. NO. I)

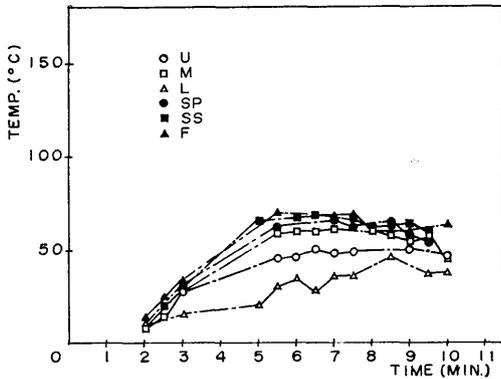


Fig. 20 Temp. of inboard air (T. NO. I)

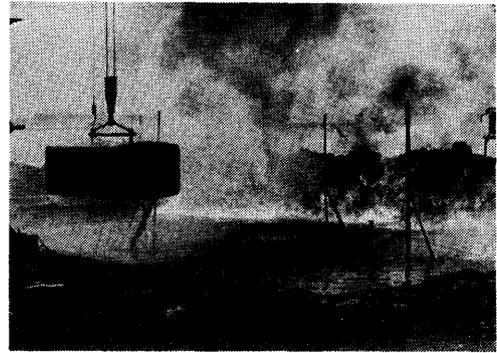


Photo. 4 Model after T. NO. I

付けず前、後壁の散水状態を悪くしたためである。散水で冷却されなかった前、後壁は平均してガラス繊維2層が炭化し、二次継手部分は一部剝離した。艇底および舷側部の散水が少なかった箇所は局部的に1層が炭化し、ほぼ全面にわたりゲルコートが焼損した。しかし甲板部はゲルコートすら炭化せず、約10 l/min・m²程度の有効散水量でも効果があることが判った。

模型艇の前、後壁および艇底の一部は燃焼し、外表面で560°C、内表面で150°Cに達した。艇内気温は実験直前より最高35~60(°C)上昇した。

3.2.2 進水時火災実験 T. NO. II (艇着水時、散水なし)

点火後約2分にて火災は水面上全域に広がり、2分30秒~4分30秒の間が火災の最盛期であった。この

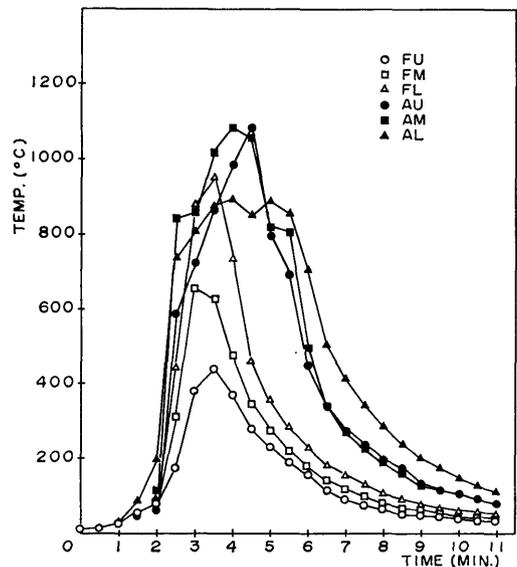


Fig. 21 Temp. of fire (T. NO. II, fore and aft)

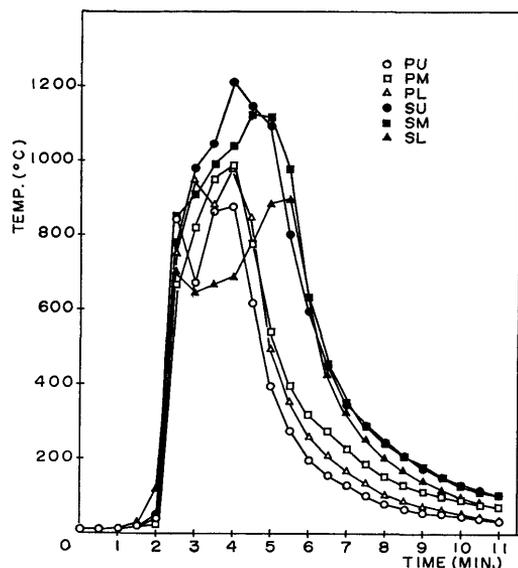


Fig. 22 Temp. of fire (T. NO. II, sides)

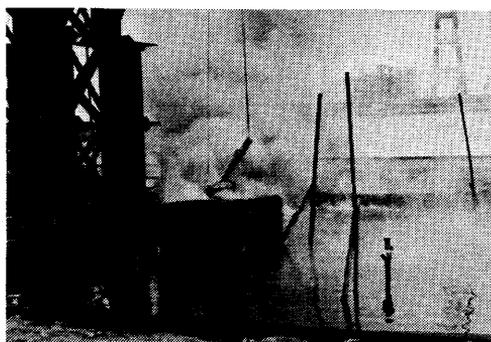


Photo. 5 Model after T. NO. II)

間の火災温度は Fig. 21, 22 のとおりで、北北西の風のため Fig. 13 の北側水面上 FU, FM, FL の箇所の温度はやや低かったがその他の箇所の温度は 600~1200 (°C) を記録した。点火後 6 分にて火災面は全水面の 1/5 程度になり炎は艇より離れ、6 分 30 秒後自然鎮火した。散水なしのため Photo. 5 の如く艇は全面 2~3 層炭化し後壁に 2 条の細いクラックが生じたが形状変化ならびに艇内面の変色はあまり認められなかった。なお T. NO. I の火災実験終了後観察のため後壁部のガラス繊維 2 層分をはさみで切り取った。そのためその箇所の焼損状態は更に悪化し、1~2 層残すのみであった。このことよりたとえ艇体表面の樹脂が燃焼し、ガラス繊維が浮いた状態になっても艇体表面は内側の層を防熱するのにかなり役立っている

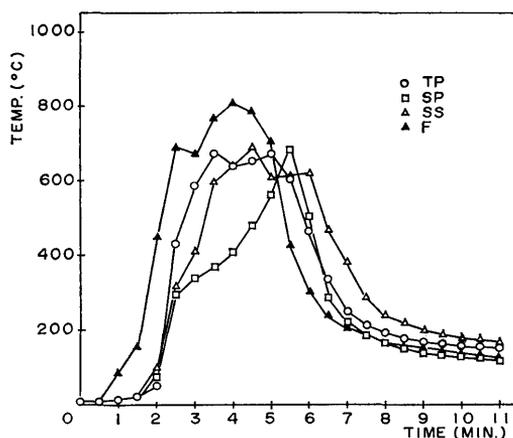


Fig. 23 Temp. of outer surface of shell plate (T. NO. II)

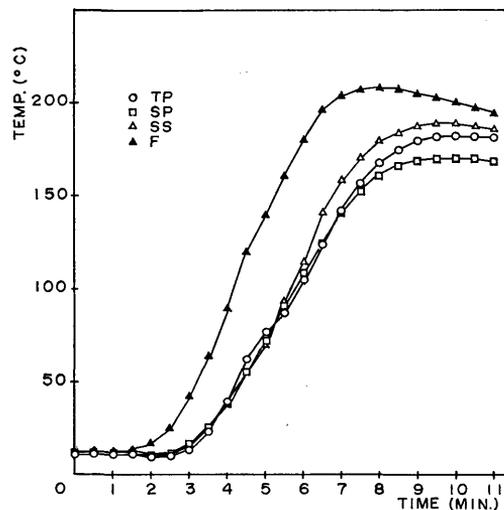


Fig. 24 Temp. of inner surface of shell plate (T. NO. II)

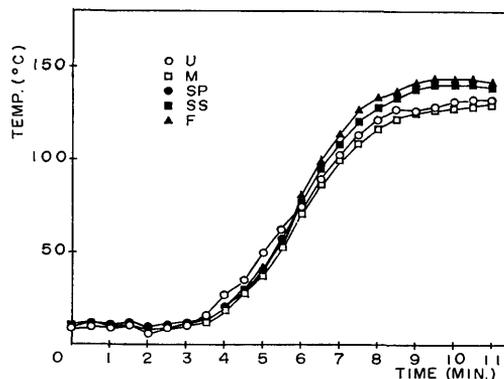


Fig. 25 Temp. of inboard air (T. NO. II)

ことが判る。なお甲板および前、後壁の二次継手は著しく炭化し、殆ど本体と剝離した。

Fig. 23, 24, 25 に艇の外表面、内表面ならびに艇内空気の各温度を示す。外表面は完全に燃焼し、内表面温度および艇内空気温度は実験直前よりそれぞれ 160~200 (°C), 120~135 (°C) 上昇した。

3.2.3 模型艇火災実験 T. NO. III (艇は水槽中央, 散水量 510 l/min)

点火後約 1 分にて火災は水面上全域に広がり 2 分~5 分 30 秒の間が火災の最盛期であった。この間の火災温度は Fig. 26, 27 のとおりで、北西の風のため北側水面上 FU の箇所の温度は低かったがその他の箇所の温度は 500~1050 (°C) を記録した。点火後 7 分に

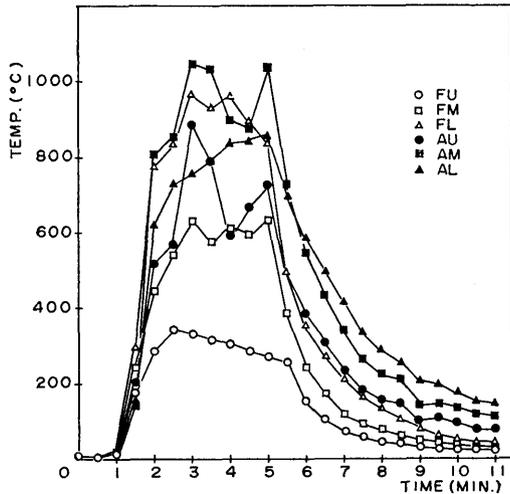


Fig. 26 Temp. of fire (T. NO. III, fore and aft)

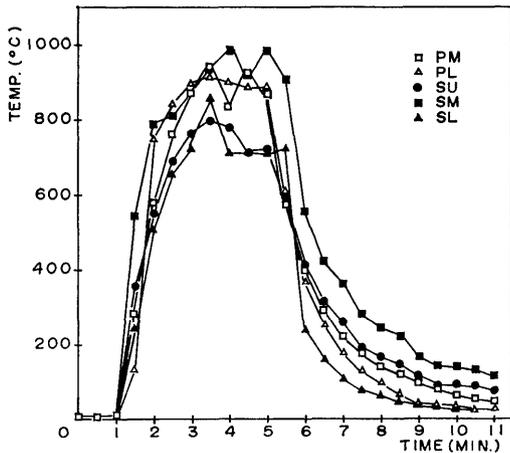


Fig. 27 Temp. of fire (T. NO. III, sides)

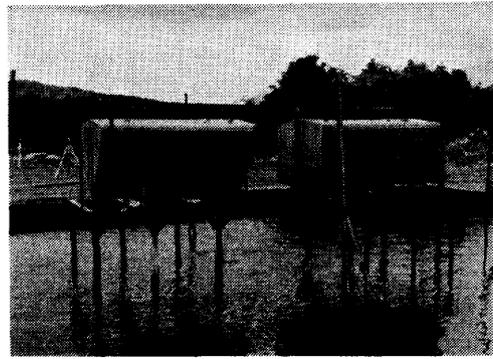


Photo. 6 Model after T. NO. III

て火災面は水面上 1/5 程度になり、炎は艇より離れたが自然鎮火まで 16 分を要した。これは平均 1.2~4.2 (m/s) の北西の風により、水面上の油が南側の端に吹き寄せられ、この場所で強弱の燃焼をくり返したためである。

実験後の模型艇の焼損状態は Photo. 6 のとおりで、前、後壁およびその周縁のコーナー部は風の影響により散水状態が悪くなり、その部分のゲルコートが炭化したが、その他の箇所は無傷であった。実艇の場合は

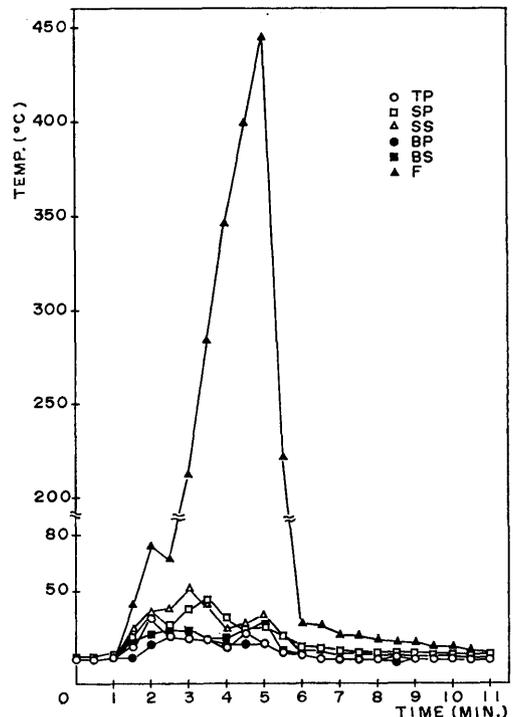


Fig. 28 Temp. of outer surface of shell plate (T. NO. III, midship)

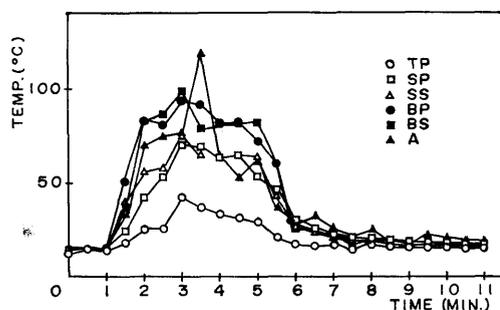


Fig. 29 Temp. of outer surface of shell plate (T. NO. III, aft body)

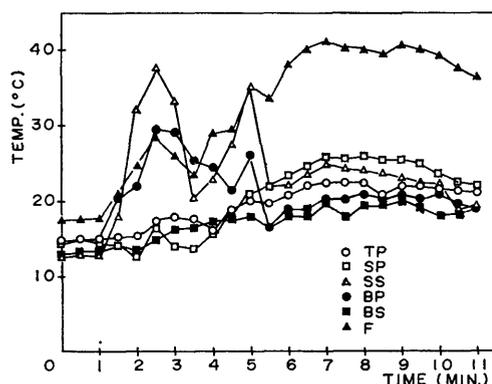


Fig. 30 Temp. of inner surface of shell plate (T. NO. III, midship)

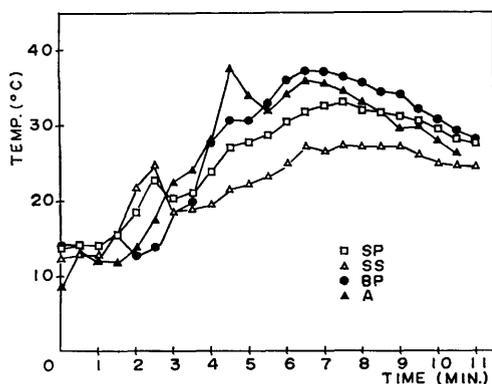


Fig. 31 Temp. of inner surface of shell plate (T. NO. III, aft body)

甲板と外板のコーナー部に丸みを付け、散水管をできるだけ艇体に近づけて取付ける必要がある。

艇外表面、内表面、および艇内空気各温度を Fig. 28~Fig. 33 に示す。温度上昇の最高値は内表面で 10~30(°C)、艇内空気で 5~20(°C) であり、艇底のド

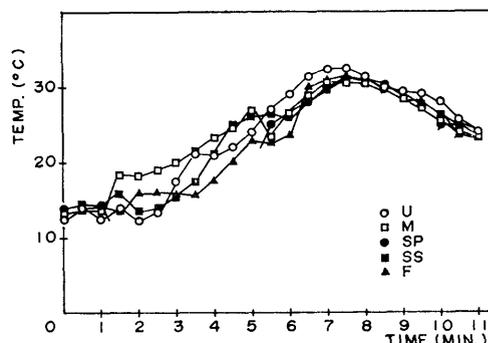


Fig. 32 Temp. of inboard air (T. NO. III, mid-ship)

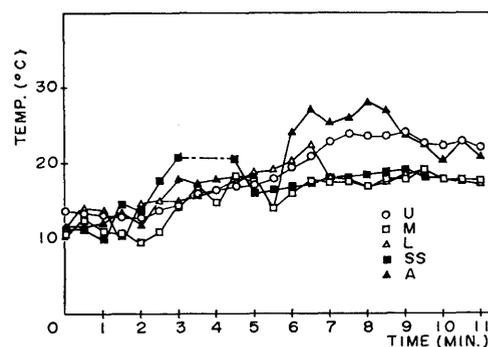


Fig. 33 Temp. of inboard air (T. NO. III, aft body)

レンチャーヘッドも含めて散水は適当である事が証明された。

3.2.4 模型艇火災実験 T. NO. IV (艇は水槽中央、散水量 130 l/min)

点火後約 1 分にて火災は水面上全域に広がり、1 分 30 秒~5 分の間が火災の最盛期であった。この間の火災温度は Fig. 34, 35 のとおりで、北西の風のため北側水面上 FU, FM, FL の箇所温度は低かったが、その他の箇所の温度は約 600~1200(°C) を記録した。点火後 7 分にて火災面は水面上 1/5 程度になり炎は艇より離れた。本実験においても 1.8~4.2(m/s) の北西の風により水面上の油が南側に吹き寄せられたため風下側の首尾部模型艇は 5 分 30 秒間にわたり火災に包まれ、中央部模型艇よりはるかに激しい火災条件にさらされた。なお点火後約 2 分経過した頃送水ポンプの電源が切れたため、以後全ての散水が停止した。このため焼損は Photo. 7 のごとく、T. NO. II の散水なしの場合と同程度に大きく、特に首尾部模型艇は甲板で 1 層、側板で 1~2 層、前、後壁で 2~4 層炭

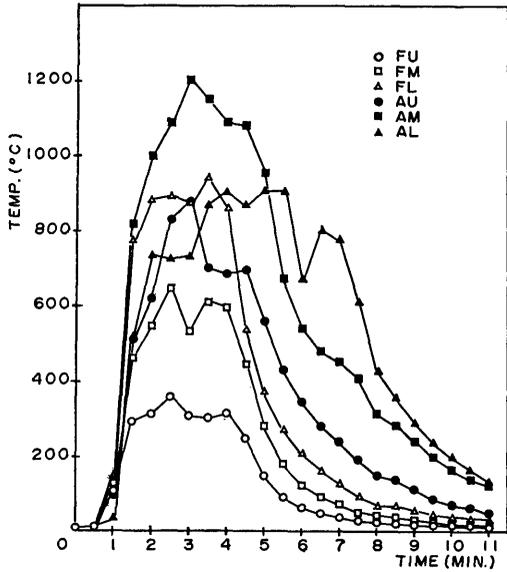


Fig. 34 Temp. of fire (T. NO. IV, fore and aft)

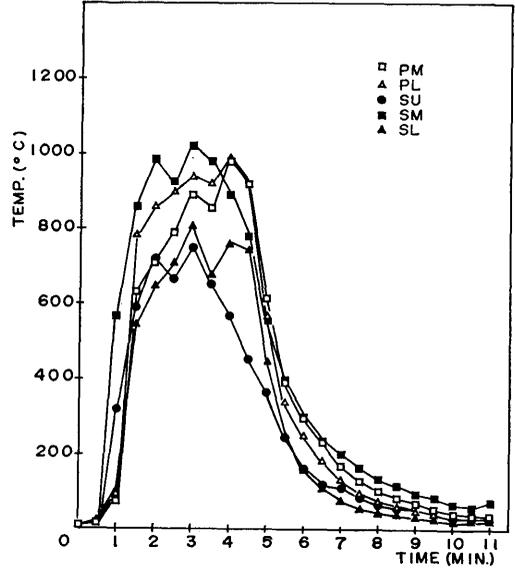


Fig. 35 Temp. of fire (T. NO. IV, sides)

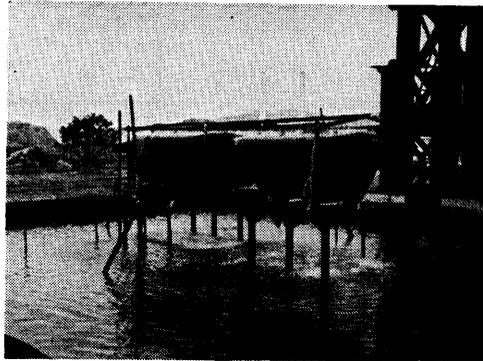


Photo. 7 Model after T. NO. IV

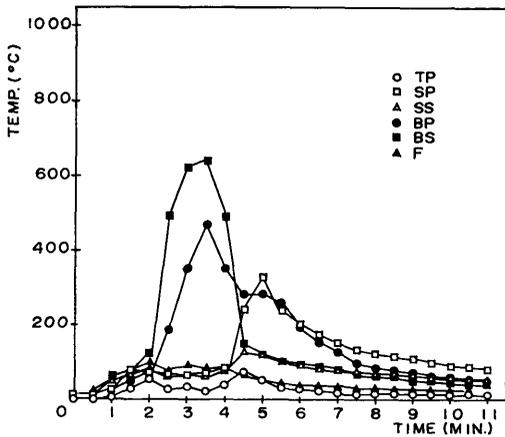


Fig. 36 Temp. of outer surface of shell plate (T. NO. IV, midship)

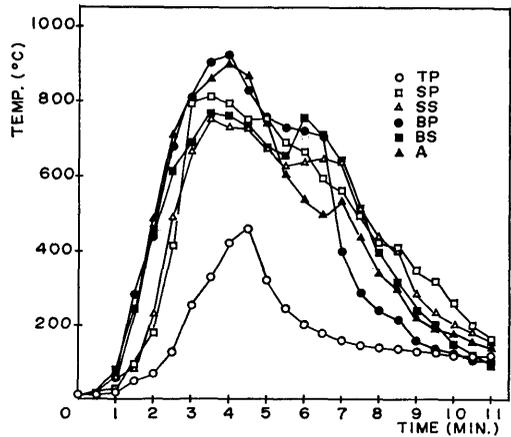


Fig. 37 Temp. of outer surface of shell plate (T. NO. IV, aft body)

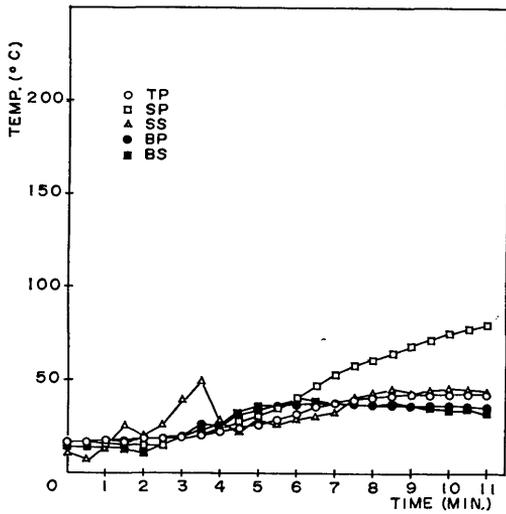


Fig. 38 Temp. of inner surface of shell plate (T. NO. IV, midship)

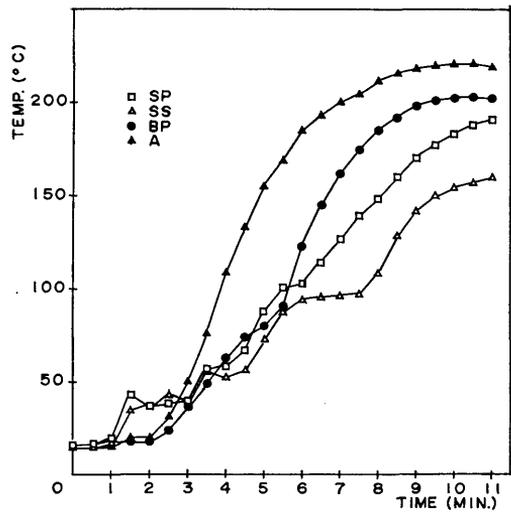


Fig. 39 Temp. of inner surface of shell plate (T. NO. IV, aft body)

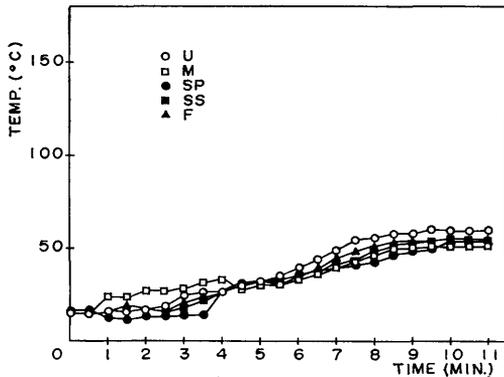


Fig. 40 Temp. of inboard air (T. NO. IV, midship)

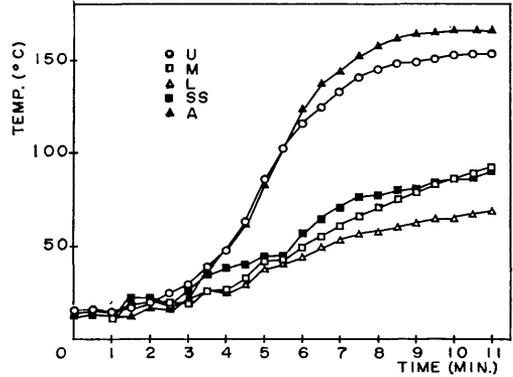


Fig. 41 Temp. of inboard air (T. NO. IV, aft body)

化し、艇内部の左舷防撓材上部の二次継手が剝離した。
艇外表面、内表面、および艇内空気の各温度を Fig. 36~Fig. 41 に示す。

4. 加熱後の FRP 板の引張試験

艇が火災海面を無事突破し得たとしても艇は局部的に焼損し、残存強度が不足し、その後の走行に支障をきたす恐れがある。従って 2. の FRP 板の加熱実験ならびに 3. の FRP 製模型艇の油火災実験により加熱された試験片につき JIS K6911 により引張試験を実施し、加熱されていない試験片の引張強度と比較検討した。

試験片が受けた加熱条件および引張り試験結果を Table 2 に示す。Photo. 8 は 2. の FRP 板の加熱実験において散水量 10 l/min・m の時加熱された板より採取した試験片の引張被断後の状態であり、Photo. 9 ~Photo. 11 は油火災実験後の模型艇より採取した試験片の引張被断後の状態である。加熱された試験片には写真でもみられる如く焼損した黒色炭化部と変色部が発生し、変色部と変色のないマット間で層間剝離が生じている場合が多かった。Table 2 によるとガラス繊維が 1 層程度焼損すると破断荷重は原強の 70~80% に、2~3 層焼損すると 30~60% になっているのが判る。

Table 2 Tension test results for heated test pieces

試 験 前 の 熱 負 荷		試 験 片					試 験 結 果					
		ガラス繊維構成	採 取 所 (Fig.12 参照)	加熱、火災実験時の 最高到達温度(°C)		焼 損 深 さ (層)	平 均 厚 さ (mm)	破 断 荷 重 (kg)			原 強 比 (kg/kg)	引 張 強 さ (kg/mm ²)
				室内側 裏 面	加熱側 表 面			最 低	最 高	平 均		
無 し	G.C+230R+450M +600M×3+860R	A V	—	—	—	5.9	1590	1830	1710	1	15.4	
	G.C+455M×2+ 605M×3+600R+605M	B V	—	—	—	7.0	1820	1920	1860	1	14.0	
	ス プ レ イ 法	C V	—	—	—	8.9	1570	2020	1710	1	10.1	
	G.C+600M×6	C'V	—	—	—	7.3	1830	2070	1930	1	10.6	
FRP板の 加熱実験後の 試験片 (但し冷却 水量 10l/min.m)	G.C+230R+450M +600M×3+860R	A10	150	不詳	2	6.3	910	1530	1200	.70	9.8	
	G.C+455M×2+ 605M×3+600R+605M	B10	140	不詳	1~2	7.5	960	1780	1430	.77	9.8	
	ス プ レ イ 法	C10 (Photo.8)	130	不詳	(2mm)	9.2	1020	1670	1310	.77	7.5	
FRP 製 艇 模 型 艇 の 油 火 災 実 験 後 の 試 験 片	T.No. I 及 び T.No. II の 実 験 後 中 央 部 模 型 艇 更 採 取	G.C+600M×5 +450M	S P	170	700	2	7.4	900	1590	1200	.62	8.8
			S S	190	700	2~3	6.1 *	350	590	440	.23	3.9 *
			B P	110	不詳	2	6.9 *	880	1270	1050	.54	8.4 *
			B S	100	不詳	2	6.8 *	1260	1400	1350	.70	11.2 *
			F	210	800	2~3	4.5 *	530	790	610	.32	7.2 *
			A P	不詳	不詳	3	3.9 *	520	670	600	.31	8.5 *
			A C	不詳	不詳	3~4	3.6 *	510	590	560	.29	8.3 *
			A S (Photo.9)	不詳	不詳	4~5	3.6 *	370	650	520	.27	7.7 *
	T.No. III 及 び IV の 実 験 後 模 型 艇 更 採 取	G.C+600M×5 +450M	T P	40	70	0	8.4	1510	1630	1590	.87	10.0
			S P	90	330	1	7.8	1220	1420	1330	.69	9.3
			B P	40	470	G.C ~1	6.6	1500	1900	1720	.89	13.1
			B S	40	640	2	7	1080	1440	1270	.66	9.7
			F (Photo.10)	不詳	不詳	1	7.2	1250	1720	1510	.78	10.8
			A	不詳	不詳	G.C	7.4	1600	1980	1830	.95	13.0
首 尾 部 模 型 艇	G.C+600M×5 +450M	T P	不詳	460	G.C ~1	6.4 *	1670	2020	1850	.96	15.6 *	
		S P	200	800	2	7.2 *	1190	1490	1350	.70	10.1 *	
		S S (Photo.11)	170	750	1~2	7.8	780	1950	1580	.82	10.5	
		F	不詳	不詳	1	8.2	1460	1790	1660	.86	10.3	
		A	220	900	2	5.8 *	1010	1230	1090	.56	9.8 *	

- 注 1. 試験は JIS K6911により中央の幅 19mmの試験片を 5 本宛採取した。
 2. *印は試験片製作時において、焼損のためガラス繊維層の一部が脱落し薄くなった場合を示す。
 3. G.Cはゲルコート, Rはロービング・クロス, Mはチョップド・ストランド・マットを示し, M, Rの前の数字はガラス繊維の密度 (g/m²), 後の数字は層の数を示す。

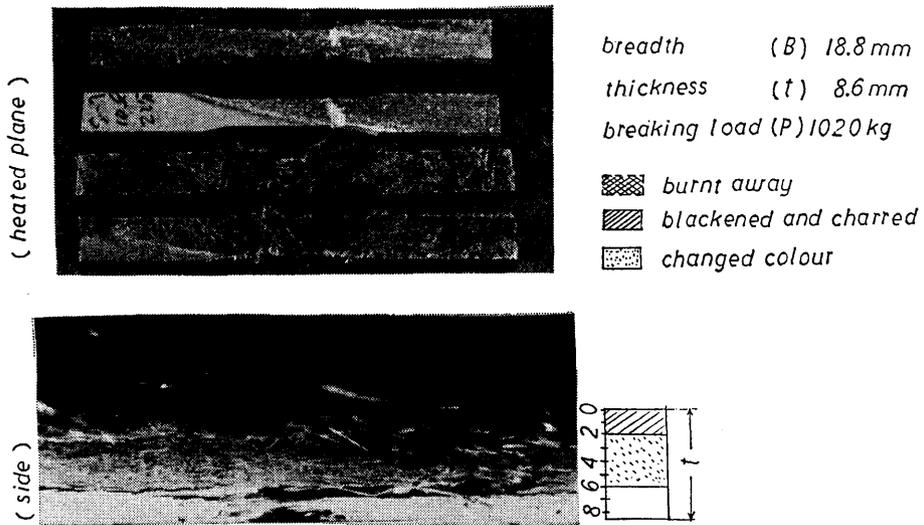


Photo. 8 Test pieces of 'C10' (after heating and tension tests)

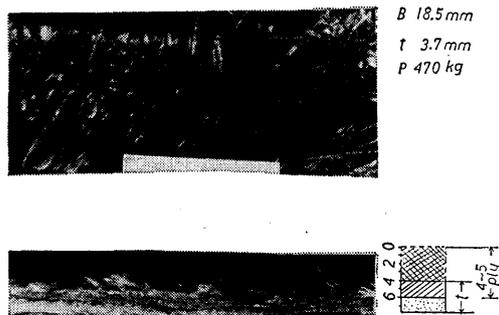


Photo. 9 Test pieces of 'AS' (Midship model after T. NO. I, II)

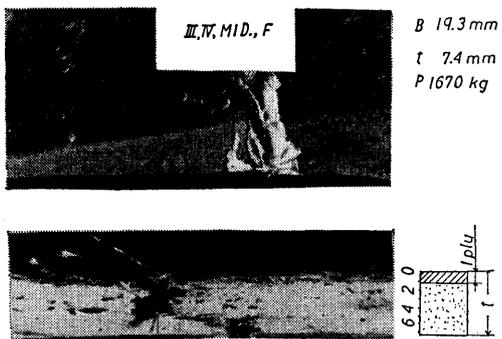


Photo. 10 Test pieces of 'F' (Midship model after T. NO. III, IV)

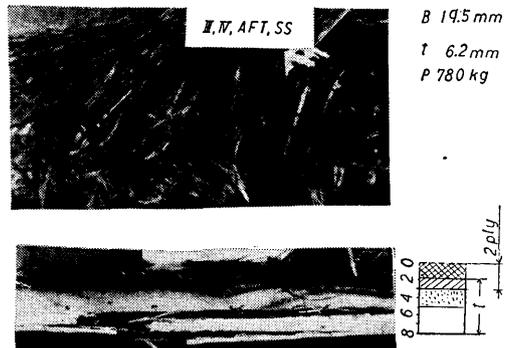


Photo. 11 Test pieces of 'SS' (Aft model after T. NO. III, IV)

5. 実艇の散水試験

耐火艇および乗員の安全性を確認するためには実艇の火災試験を実施することが望ましいが実際には種々の制約があり実施困難である。

前記の火災実験等により艇の全外表面を十分な厚さの水膜で覆えば FRP 製救命艇の耐火, 断熱性は非常に優れていることが判った。そこで現在国内の2社で製造されている長さ 8.5 m, 幅 3.2 m の耐火救命艇の外表面の水膜厚さの分布を調査するため散水試験を実施し, 実艇の耐火, 断熱性能を検討するための資料を求めた。Photo. 12 にC社のスプリンクラーによる艇の散水状況を示す。B社の艇ならびに散水方式はC社のものとよく似ているが艇首部には操舵室があり, こ

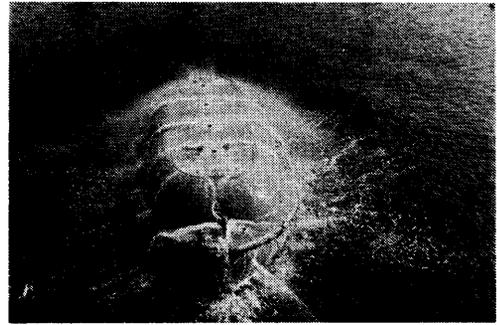


Photo. 12 Water sprinkling test of tanker life boat

の部分と艇尾部は多孔管による散水を併用している。散水試験においては艇を水面上に浮遊させ, イープ

Table 3 Sprinkling test results for tanker life boat

Type, Total Flow Rate			C, 95M ³ /H (Estimated)				B, 70M ³ /H (Estimated)					
Condition of Boat			Even Keel	5 Deg. of Heeling Angle		5 Deg. of Trim		Even Keel	6 Deg. of Trim			
				to Starboard	to Port	by the Stern	by the Head		by the Stern	by the Head		
Engine (RPM)			2610	2630	2620	2620	2630	2600	2600	2600		
Pump (RPM)			1830	1830	1840	1840	1850	2500	2500	2500		
Pressure (kg/cm ²)	Pump	P _D	0.68	0.67	0.73	0.65	0.61	0.40	0.44	0.38		
		P _S	-0.20	-0.21	-0.21	-0.22	-0.24	0	0	-0.03		
	P _D -P _S		0.88	0.88	0.94	0.87	0.85	0.40	0.44	0.41		
	Spray Nozzle	P _N	0.46	0.43	0.48	0.42	0.38	0.30	0.34	0.30		
Water Film Thickness (mm)	Canopy	Top	①	1.6~1.7	—	—	2.0~2.5	2.0~3.2	1.5~1.9	1.3~1.5	1.2~1.6	㉞
			②	1.3~2.0	—	—	—	1.1~1.6	3.0~3.6	1.2~1.5	—	㉟
			③	1.3~1.8	—	—	—	—	1.3~1.7	—	1.0~1.4	㊱
			④	1.1~1.9	3.0~5.0	—	—	0.9~1.6	1.2~1.9	1.2~1.7	1.5~1.9	㊲
			⑤	1.4~1.7	1.8~2.1	1.7~2.1	1.5~2.4	1.7~2.0	—	—	—	—
		Side	⑥	—	0.6~0.7	—	1.0~1.5	0.8~1.2	1.2~1.7	1.2~1.4	1.1~1.2	㊳
	⑦		1.0~1.3	1.4~2.0	1.5~1.8	1.5~2.1	—	1.2~1.5	1.1~1.5	1.3~1.7	㊴	
	⑧		1.4~1.6	1.3~1.8	1.3~2.4	1.2~1.4	1.1~1.6	1.2~1.5	1.3~1.6	1.6~2.0	㊵	
	⑨		2.0~3.0	—	—	2.0~3.2	1.3~2.3	1.1~1.4	1.2~1.7	1.3~1.8	㊶	
		Hatch	⑩	1.2~1.4	1.3~1.7	—	1.6~1.9	1.0~1.4	2.0~3.0	0.9~1.2	1.7~2.2	㊷
	⑪		1.3~1.5	1.5~1.7	1.4~1.6	—	1.0~1.5	1.1~1.3	1.5~2.8	1.0~1.2	㊸	
		Deck	⑫	—	1.4~2.0	—	—	—	—	1.7~2.3	1.1~1.6	㊹
	⑬		1.2~1.6	—	—	1.1~1.7	0.8~1.5	0.8~1.5	1.6~1.9	—	㊺	
		Shell Side	⑭	—	—	—	—	—	1.1~1.6	1.8~2.2	1.1~1.5	㊻
	⑮		—	—	—	—	0.7~1.3	—	—	—	—	

ン・キールの状態を標準としたが、降下或いは走行時の艇の傾斜、動揺を考慮し、ヒールおよびトリム状態についても外表面の水膜厚さ分布等を調査した。水膜厚さの測定箇所は Fig. 42 のとおりで、目視により厚さの薄い箇所を選んだ。試験時の全散水量を、ポンプ性能曲線と回転数ならびに圧力の実測値より推定すると、C艇で 95 m³/h、B艇で 70 m³/h である。またこれ等の値より単位流路幅当りの平均流下水量を求めると、キャノピー部においてC艇で約 100 l/min・m、B艇で約 75 l/min・m であり、最も流下水量が少ない艇側外板上方においては、C艇で約 80 l/min・m、B艇で約 60 l/min・m である。

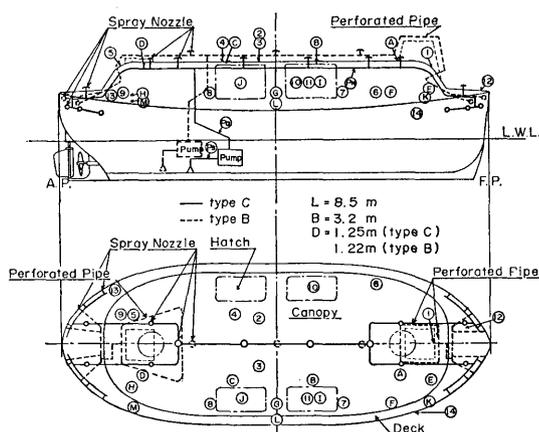
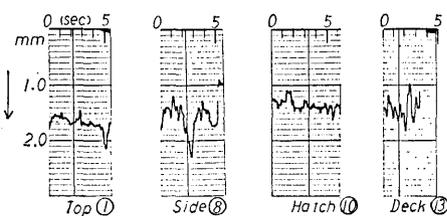
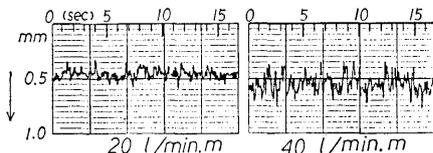


Fig. 42 Measuring points of water film thickness



(Outer surfaces of the real tanker life boat of type C)



(Lower parts of the vertical flat plate)

Fig. 43 Water film thickness—time recording

Fig. 43 に 2. の FRP 板の加熱実験における鉛直 FRP 板の場合と、C 艇散水試験の場合における水膜厚さの時間的変動を示す。散水試験結果は Table 3 のとおりで、B、C 両艇の水膜厚さの違いはあまり認められない。また局部的に特に水膜の厚い箇所を除くと、船体外表面の水膜厚さは時間的変動も含め 1~2(mm) であった。艇を 5 度にヒール、トリムさせた場合においても水膜は切れず、全外表面が 0.6 mm 以上の厚さの水膜で覆われていることが判った。

6. 伝熱計算

2. の FRP 板の加熱実験ならびに 3. の FRP 製模型艇の油火災実験の結果より、艇外表面上の水膜のふく射熱吸収係数ならびに艇内表面の熱伝達率の値等を求め、次にこれ等の値を用いて実艇が海面火災に遭遇した場合における伝熱量を予測した。

火災による艇内への伝熱量を正確に求めるには、1) 火災現象、2) 流下水の運動、3) 流下水膜ならびに艇体へのふく射、対流伝熱機構、4) 水の蒸発、5) 艇体の発煙、燃焼に伴う諸現象等複雑な問題を解明する必要がある。しかし現状では困難故、次に示す簡単な伝熱モデルにつき当所の中央電子計算機 TOSBAC 5600 を用い解析した。

6.1 計算式

FRP 板表面に流下水がない場合、燃焼ガスによる単位面積、単位時間当りの板の外表面への伝熱量 q_0 は対流熱伝達量が少なくと仮定すると次式⁶⁾で示される。

$$q_0 = 4.88\phi \{ (T_F/100)^4 - (T_0/100)^4 \} \quad (3)$$

但し T_F : 燃焼ガス温度 (°K)

T_0 : 板の外表面温度 (°K)

ϕ : 総括吸収率

ϕ は燃焼ガス平均ふく射率 ϵ_g 、形態係数、受熱面ふく射率等の関数であり、 ϵ_g はガス有効厚さ、 T_F 、 T_0 、燃焼ガス分圧、輝炎吸収率等の関数である。

FRP 板内の熱伝導に関しては、FRP 板の加熱実験における表面温度 9 箇所の有意差は認められなかったので板厚方向の非定常一次元と考え、線型一次元 explicit 階差式⁷⁾により解を求めた。但し板の燃焼による発熱ならびに物性値の温度変化による影響は考慮しなかった。

板厚ならびに加熱時間をそれぞれ Δx 、 Δt で分割し、 $n\Delta x$ の位置における $(P+1)\Delta t$ 後の温度 $T(P+1, n)$ を求めると、

$$T(P+1, n) = F \cdot \{T(P, n+1) + T(P, n-1)\} + (1-2F) \cdot T(P, n) \quad (4)$$

但し $F = a_p \Delta t / (\Delta x)^2 \leq 1/2$

a_p : 板の温度伝導率

初期条件としては加熱開始の時刻, $t=0$ における板の厚さ方向の温度分布 $T(0, n)$ を与え, 境界条件として任意時間における板の外表面および内表面の温度 $T(P, 0)$, $T(P, N)$ を与える。なお外, 内表面温度の代りに外, 内表面の熱流束 $q(P, 0)$, $q(P, N)$ が与えられている場合は次式により外, 内表面温度を求める。

$$T(P+1, 0) = 2F \cdot T(P, 1) + (1-2F) \cdot T(P, 0) + 2A \cdot F \cdot q(P, 0) \quad (5)$$

$$T(P+1, N) = 2F \cdot T(P, N-1) + (1-2F) \cdot T(P, N) - 2A \cdot F \cdot q(P, N) \quad (6)$$

但し $A = \Delta x / \lambda$

D : 板厚 ($=N\Delta x$)

λ : 板の熱伝導率

なお外表面の熱流束 $q(P, 0)$ は外表面における板の温度勾配等を用いて近似的に次式により求めることができる。

$$q(P, 0) = \{T(P+1, 0) - T(P, 0)\} / (2A \cdot F) + \{T(P, 0) - T(P, 1)\} / A \quad (7)$$

内表面より艇内空気への熱流束 $q(P, N)$ は艇内に入った熱が外部に逃げないと仮定すると次式が成立する。

$$q(P, N) = \alpha \{T(P, N) - T_A(P)\} = \gamma \cdot c \cdot \frac{V}{A} \frac{\Delta T_A}{\Delta t} \quad (8)$$

但し $\Delta T_A = T_A(P) - T_A(P-1)$

T_A : 艇内空気温度

V : 艇内空気体積

A : 板の伝熱面積

γ : 空気の比重量

c : 空気の比熱

α : 板内表面の熱伝達率

なお板の外表面への熱流束 $q(P, 0)$ は板と艇内空気の蓄熱量の時間的変化の和に等しい。即ち

$$q(P, 0) = q(P, N) + \gamma_p \cdot c_p \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} \sum_{n=1}^N \{T(P, n) - T(P-1, n)\} \quad (9)$$

但し c_p : 板の比熱

γ_p : 板の比重量

板表面に流水がある場合の燃焼ガスによる板外表

(134)

面への伝熱量 q_0' は水膜を透過したふく射伝熱量と, 水膜よりの対流伝熱量の和であり, 蒸発を伴う流下水膜の速度, 温度分布を考慮しながら非定常偏微分方程式を解かねばならず非常に困難である。従ってここではごく簡単に考え, (3) 式の q_0 の熱流束が厚さ L の水膜を透過する際ビアの法則により $(1-e^{-KL})q_0$ だけ吸収され, 残りが外表面に到達すると仮定すると, 外表面に流入する熱流束 q_0' は次式にて表わされる。

$$q_0' = e^{-KL} \cdot q_0 \quad (10)$$

但し K : 水中のふく射熱の吸収係数

参考のためプロパンガス赤外線ヒーターによる赤外線の水中吸収率を Fig. 44 に示す。

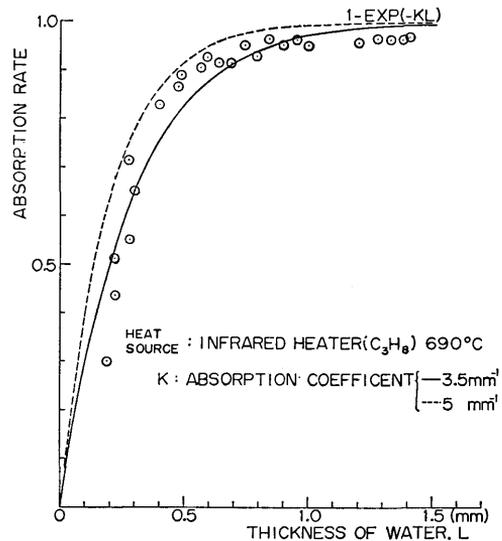


Fig. 44 Radiation absorption through water

6.2 FRP 板の加熱実験の場合

Fig. 6~Fig. 11 の実験データを (4) 式に代入して板の厚さ方向の温度分布を Fig. 45 の如く求め, (8), (9) 式より板の内表面および外表面における熱流束を計算した。Fig. 46 は外表面における熱流束の値である。流量が 10, 17.5 ($l/min \cdot m$) の場合 Fig. 8, 9 の如く加熱側表面が局部的, 断続的に燃焼したため熱流束も不安定であった。しかし流量が 0, 25, 40 ($l/min \cdot m$) の場合, 加熱開始後 2~3 (分) 経過すると熱流束は最大になりその後はほぼ一定の値を示した。

Fig. 47 は内表面における熱流束の値で, 外表面よりも約 4 分遅れてほぼ一定の値になった。

燃焼ガス温度が板の外表面温度に比べて高い場合, 板の外表面における熱流束と燃焼ガス温度における黒

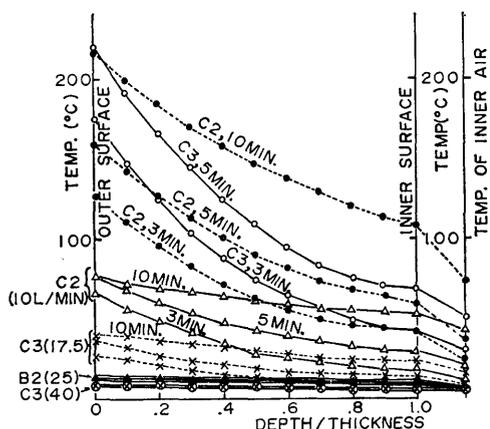


Fig. 45 Temp. distribution of FRP plate

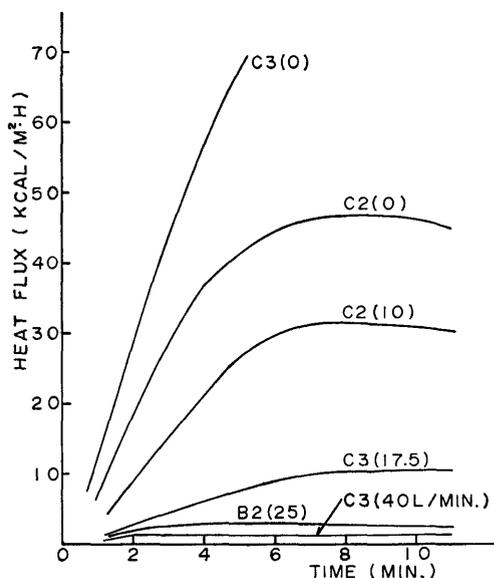


Fig. 47 Average heat flux into the air in box

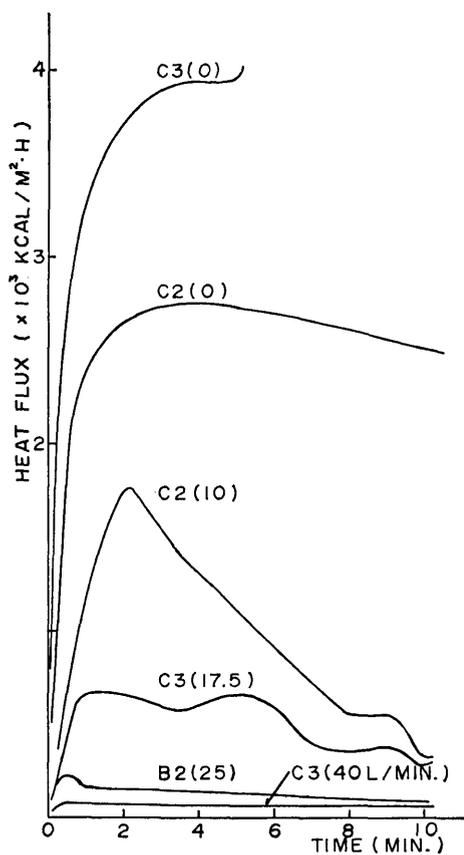


Fig. 46 Average heat flux at the outer surface of FRP plate

体射出能 E_b との比は (3), (10) 式より次の如くなる。

$$q_0'/E_b = \phi \cdot e^{-KL} \quad (11)$$

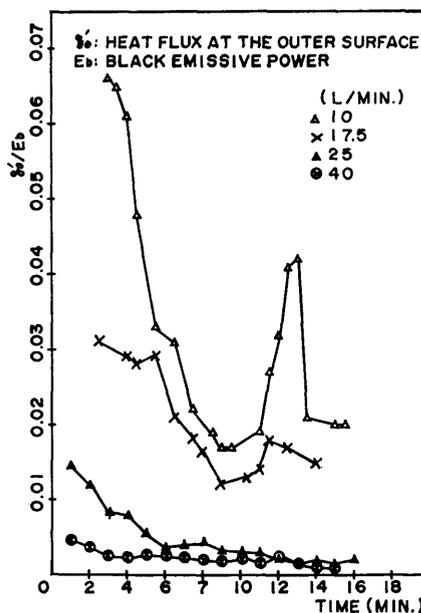


Fig. 48 q_0'/E_b for FRP heating test

Fig. 48 に散水時における加熱実験より求めた q_0'/E_b の値を示す。実験条件における総括吸収率 ϕ の値を燃焼発生煙等を無視して概算すると 0.4 であり、散水なしの状態における実験結果 $q_0'/E_b = 0.2 \sim 0.3$ の値は概ね妥当であると考えられる。いま Fig. 44 に示す実験結果 $K=5/\text{mm}$ を用いて、Fig. 48 の値を (11)

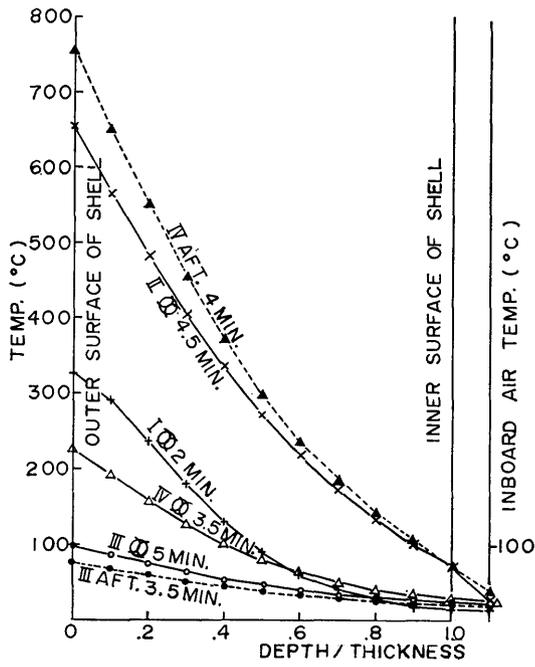


Fig. 53 Temp. distribution of FRP shell plate

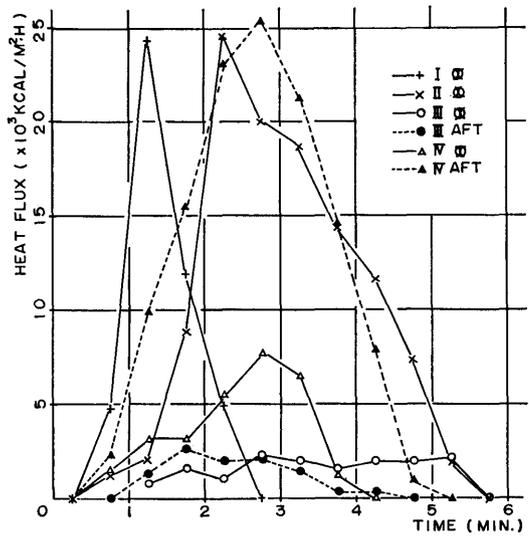


Fig. 54 Average heat flux at the outer surface of shell

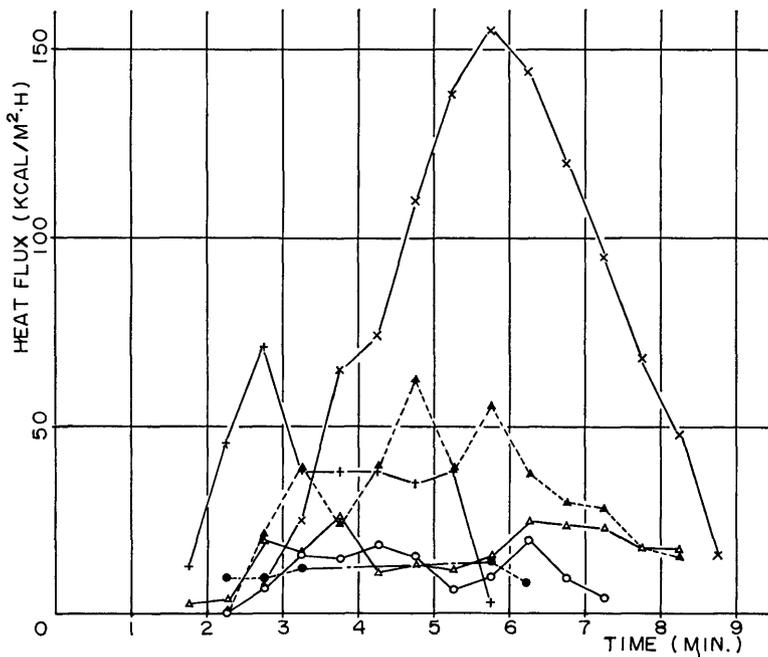


Fig. 55 Average heat flux into the inboard air

災、外表面、内表面および艇内空気のそれぞれの平均温度を示す。なお長さ 8 m, 板厚 6~8 (mm) の FRP 製耐火艇を 18×13.2 (m) の水槽中央に置いて実施した油火災実験結果より得られた温度^{2),3)}も併記した(初期温度の違いは補正した)。図中 □印は浮遊状態の艇に、流量 65 m³/h で散水し、7分30秒後に自然鎮火した場合で、▽印は艇を 1.2 m の高さに吊り上げ艇底部も含め全流量 90 m³/h で散水し、点火5分後に泡消火を開始した場合で、いずれの場合も外板の内表面ならびに艇内空気温度は T. NO. III の標準散水量の場合のそれぞれの温度とよく一致している。

模型艇の油火災実験結果より外板の温度分布、外表面および内表面における熱流束を計算した。

Fig. 53 は外表面温度が最高に達した時の外板厚さ方向の温度分布である。T. NO. II の散水なしの場合、厚さの中間における板の温度は約 300°C に達している。これは Table 2 に示した焼損深さにほぼ一致している。

火災による外表面への平均熱流束は Fig. 54 のとおりで、散水なしの場合 25,000 Kcal/m²·h 以上に達したが T. NO. III の限界流量 25 l/min·m の場合約 2,500 Kcal/m²·h 程度である。艇内空気への熱流束は Fig. 55 のとおりで散水なしの場合 150 Kcal/m²·h に対し、25 l/min·m のとき約 20 Kcal/m²·h である。内表面より艇内空気への熱伝達率は経過時間により相当変動しているが平均すると 1~3 (Kcal/m²·h) で FRP 板の加熱実験の場合に一致する。

また散水なしの場合における外表面への熱流束の値を(3)式に代入し、総括吸収率を求めると ϕ の値は 0.27 となり FRP 板の加熱実験の場合の値より約 20% 大きい。また Fig. 44 に示す実験結果 $K=5$ /mm, 限界流量における垂直平板上の水膜厚さ $L=0.5$ mm を(10)式に代入すると q_0' の値は約 2000 Kcal/m²·h となり、Fig. 54 の T. NO. III の実験結果の値によく一致する。

6.4 実艇が海面火災に遭遇した場合

本船が海面火災に遭遇した場合、艇が火災海面上に降下し、これを突破する迄の時間、ならびに艇が受ける加熱状況を正確に想定する事は現在のところ困難である。本報告では国内⁸⁾、或いは外国の文献を参考にして艇は 1,000°C の海面火災により5分間の加熱を受けるものとした。

燃焼ガス平均ふく射率ならびに形態係数の値は安全側にとりいずれも 1 と仮定し、受熱面ふく射率を考慮

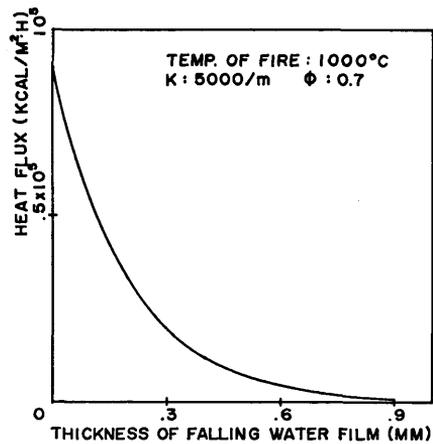


Fig. 56 Calculated heat flux at the outer surface of boat

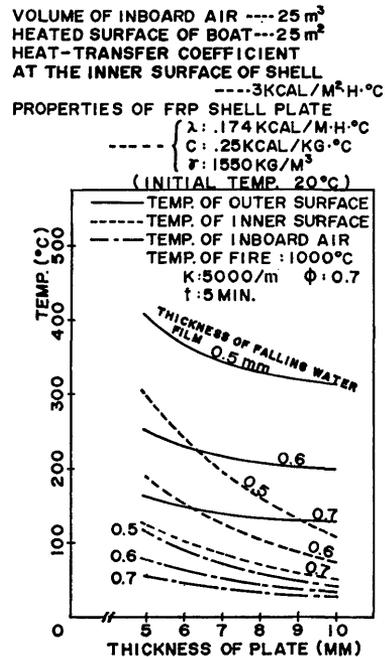


Fig. 57 Calculated temp. of boat in fire

し総括吸収率 $\phi=0.7$, 水中のふく射熱吸収係数 $K=5$ /mm, 火災温度 $T_F=1000+273(^{\circ}\text{K})$ の値を式(3), (10)に代入し、外表面における熱流束の値を算出すると Fig. 56 の如くなり散水なしの場合で約 90,000 Kcal/m²·h, 水膜厚さが 0.6 mm の場合で約 4,500 Kcal/m²·h になる。Fig. 57 に示す実線および点線の値は5分後における FRP 外板の外表面と内表面の温

度である。内表面側は断熱と仮定し、(5)、(6)式を用いて外、内表面の温度を求め、次に(4)式より板厚方向の温度を算出した。同図中の一点鎖線は5分後における艇内空気温度の計算結果で、C社の長さ8mの耐火艇をモデルとし、艇内表より艇内空気への伝熱面積 $A=25\text{ m}^2$ 、艇内空気体積 $V=25\text{ m}^3$ 、内表面熱伝達率 $\alpha=3\text{ Kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ の値を(8)式に代入して求めた。水膜厚さが0.6mmのとき内表面ならびに艇内空気の温度は板厚10mmでそれぞれ75°C、35°Cであり、板厚を5mmに半減すると内表面は約2.5倍、艇内空気は約2倍の温度になる。また水膜厚さが0.5mmの場合の内表面、艇内空気の各温度はいずれも0.7mmの場合のそれぞれの値の約2倍になる。Fig. 58は内表面より艇内への熱流束の計算結果である。

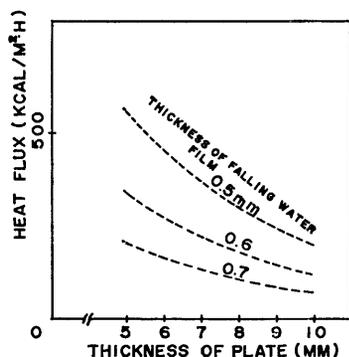


Fig. 58 Calculated heat flux into the inboard air

7. FRP製耐火救命艇の耐火断熱性能について

前章までにFRP製耐火救命艇の耐火断熱性能を推定する方法を述べた。その結果得られたFRP製耐火救命艇の耐火断熱性能に関する基本的要件を要約して示すと次のとおりである。但し、艇体材料は2.1に示したFRPとする。

1) 艇体への散水は不可欠であり、ポンプ等の散水装置は絶対的な信頼性を有すること。また風による影響を少なくするため艇体にてできるだけ近接して散水管を設ける。艇型は流線形とし、上部からの流下水が凸部、隅角部で剝離しないようにする。

2) 艇の全外表面が約0.6mm以上の水膜で完全に覆われていること。

3) 火災5分後における艇の外表面、内表面ならびに艇内空気の各平均温度は艇の強度劣化、艇内表面に接している浮力材用ウレタンフォームの変質ならびに

乗員の居住性を考慮しそれぞれ約230°C、約150°C、約60°C以下であること。

4) 艇内の空気体積と伝熱面積の比が1mのFRP製耐火艇につき2)の条件下で3)を満足するためには艇体ならびにキャノピー部の最小板厚は約6mmを必要とする。

5) この場合、艇体の外表面における熱流束は約4,500 Kcal/m²·h、5分後内表面における熱流束は約300 Kcal/m²·hである。

6) 降下中の艇の底部も完全に水膜にて覆うことが望ましいが、30秒程度以内の短時間であれば、局部的に火災に露出されても艇の強度ならびに乗員に対してそれ程影響しないと考えられる。しかし吃水線上方の艇外表面が火災にさらされると、その部分は燃焼し粗面となる。従って艇着水後散水しても艇の外表面はいちような水膜厚さにならず、火災海面走行中に粗面より重大な焼損に発展する恐れがある。

7) 進水時火災実験において、進水装置およびその周辺には単位水平面積当り約10 l/min·m²、降下途中の艇に対しては、有効散水量約7 l/min·m²の散水をした。実際の海面火災では火災実験の場合よりも更に強い風が発生し、大部分の散水が飛散すると考えられるので散水防護範囲を十分広くとり、散水量も火災実験の場合よりも増加させる必要がある。

謝辞

本報告は昭和51年度日本船舶品質管理協会と船舶技術研究所との共同研究結果に若干の実験を補足し、更に伝熱計算等の解析を追加したもので、終始御指導いただいた竹鼻東大教授(耐火救命艇分科会主査)、翁長艦装部長、火災実験ならびに散水試験に協力していただいた辻産業(株)、信貴造船所、石原造船所、材料試験に協力していただいた杉田政久技官(当時大阪支所)ならびに山口豊利君(信貴造船所)の各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 山崎福太郎, 長田 修: タンカー用救命艇の研究, 船舶技術研究所報告, 第2巻, 第3号, 昭和40年5月
- 2) 日本船用機器開発協会: タンカー用FRP製耐火救命艇の耐火実験報告書, 昭和44年3月
- 3) 内山忠夫, 山崎福太郎, 長田 修: タンカー用FRP製耐火救命艇の耐火実験における温度計測, 船舶技術研究所受託試験, 昭和43年度 第242号

- 4) Nusselt, W., VDI-Z, 67-9 (1923-3-3), 206
- 5) Brauer, H., VDI Forsch-h., 22-457 (1956)
- 6) 日本機械学会: 伝熱工学資料
- 7) 藤井, 他: 伝熱工学の進展 3, 養賢堂
- 8) 海難防止協会: 大型タンカーによる災害の防止に関する調査研究 中間報告書 (第一次), 昭和42年