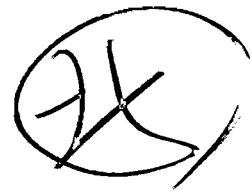


社 団 法 人



日本造船研究協会報告

第 48 号

昭 和 40 年 1 月

プラスチックス等新材料の船舶への利用に関する研究……………第51研究部会

Studies on the Application of Plastics as a New Material for Ships

……………The 51st Research Committee

The Report
of the
Shipbuilding Research Association
of Japan
Tokyo, Japan
NO. 48
Jan., 1965

第 51 研究部会委員名簿

主査	重満 通弥				
幹事	秋村 嘉穂	翁長 一彦	栄 幸雄	島村 昭治	田中 宏
	戸田 孝昭	中村 貴憲	樋口道之助	牧 広	若月 文也
委員	浅野 修一	秋田 務	猪又 忠弘	梅沢 春雄	岡田 卓雄
	大沢富之輔	大塩 棟三	梶 高樹	柏木 隆	加藤 朝雄
	河東 克己	神谷 茂	川崎 薫	栗田 学	吉閔 精一
	小島 俊夫	小島 穀男	小林 信夫	佐伯 守夫	佐々田喜正
	真田 奎介	杉野 茂	曾我 峰雄	田井 虎一	大亀 実
	田中 弥	種村 真吉	近間 五郎	寺尾 直昭	徳永清一郎
	徳永陽一郎	富田 康之	中島 成夫	中島 義弘	西岡 正美
	西牧 興	野口 陽一	野村 義三	八田 公雄	花野 敏夫
	樋口益次郎	菱田 一郎	平山 晋一	福井 三郎	船橋 敬三
	松尾 勇	松崎清一郎	南 周三	山崎 真喜	山名 守
	山本 邦充	湯口 俊一	渡辺 清		

Membership of the 51st Research Committee

Chairman	Michiya SHIGEMITSU		
Secretaries	Yoshiro AKIMURA	Kazuhiko ŌNAGA	Yukio SAKAE
	Akiharu SHIMAMURA	Hiroshi TANAKA	Takaaki TODA
	Takanori NAKAMURA	Michinosuke HIGUCHI	Hiroshi MAKI
	Fumiya WAKATSUKI		
Members	Syuichi ASANO	Tsutomu AKITA	Tadahiro INOMATA
	Haruo UMEZAWA	Takuo OKADA	Tominosuke ŌSAWA
	Tōzō ŌSHIO	Takaki KAJI	Takashi KASHIWAGI
	Asao KATŌ	Katsumi KAWAHIGASHI	Shigeru KAMIYA
	Kaoru KAWASAKI	Manabu KURITA	Seiichi KOZEKI
	Toshio KOJIMA	Nobuo KOJIMA	Nobuo KOBAYASHI
	Morio SAEKI	Yoshimasa SASADA	Keisuke SANADA
	Shigeru SUGINO	Mineo SOGA	Toraichi TAI
	Minoru DAIKI	Miyoshi TANAKA	Shinkichi TANEMURA
	Gorō CHIKAMA	Naoaki TERAO	Seiichiro TOKUNAGA
	Yōichiro TOKUNAGA	Yasuyuki TOMITA	Shigeo NAKAJIMA
	Yoshihiro NAKAJIMA	Masayoshi NISHIOKA	Ko NISHIMAKI
	Yōichi NOGUCHI	Yoshizo NOMURA	Mikio HATSUTTA
	Tosio HANANO	Masujiro HIGUCHI	Ichiro HISHIDA
	Shinichi HIRAYAMA	Saburō FUKUI	Keizo FUNABASHI
	Isamu MATSUO	Seiichiro MATSUZAKI	Syūzo MINAMI
	Masaki YAMAZAKI	Mamoru YAMANA	Kunimitsu YAMAMOTO
	Toshikazu YUGUCHI	Kiyoshi WATANABE	

プラスチックス等新材料の船舶への利用に関する研究

目 次

第1編 緒 言	(1)
第2編 基礎的研究	(2)
第1章 疲労強度を中心とした機械的強度の研究	(2)
第2章 各プラスチックの温度特性に関する研究	(10)
第3章 ウエザリング後の強度に関する研究	(17)
第4章 海水浸漬後の強度に関する研究	(22)
第5章 接着継手の強度および接着工作法に関する研究	(25)
第6章 溶接継手の強度および溶接工作法に関する研究	(32)
第7章 ボルト継手の強度と継手施工法に関する研究	(40)
第8章 調 査	(45)
第3編 実態モデルによる応用研究	(48)
(船体構造に対するFRP ハニカム材の応用および 艦装品への応用に関する研究)	
第1章 FRP と軟鋼とのボルト継手構造の疲労特性の研究	(48)
第2章 構造材としての強度特性の研究	(53)
2. 1 FRP スチナ構造体の研究	(53)
2. 2 ハニカム材, サンドイッチ構造材の研究	(63)
第3章 施工工作法の研究	(71)
第4章 断熱特性の研究	(75)
第5章 遮音, 吸音特性の研究	(80)
第6章 通風ダクトの研究	(84)
6. 1 振動特性の研究	(84)
6. 2 通風特性の研究	(88)
第7章 管艦装技術の研究	(100)

第4編 実船への応用研究	(111)
第1章 船用舾装への適用に関する研究.....	(111)
第2章 曝露部への適用に関する研究.....	(118)
第3章 構造材料としてのパネルの強度に関する研究.....	(123)
第4章 構造材料に適用する場合の施工工作法に関する研究.....	(132)
附 錄 巡視船「はるちどり」操舵室.....	(136)
1 強化プラスチック検査基準.....	(136)
2 FRP 構成素材表	(142)
3 検査成績書.....	(144)
4 天井たわみ量および重量計測成績表.....	(147)
5 振動計測成績表.....	(148)
6 防熱、防音試験調査.....	(151)
第5編 結 言	(161)

Studies on the Application of Plastics and other New Materials to Shipbuilding

Abstract

1. Introduction

In order to modernize and rationalize shipbuilding technique, it is necessary to use and develop light, uncorrosive and fair plastic materials as superstructure and fittings of ships.

Yet, there has been lacking in systematic researches regarding to these materials on their durability under actual long-term use in ships.

In order to elucidate these points, we have continued researches for three years from 1960 to 1962 on the use of plastic materials in shipbuilding.

In the first year, basic research was conducted as to plastic materials and their fabricating under actual working conditions. In the second year, the sandwich structures principally involving the hull structure and fittings were tested and also the strength of the various molded articles and their accommodation were studied.

In the third year, plastic materials were applied to two actual ships on the basis of the foregoing results.

In the first case, the whole wheel house of the 300 ton type "Haruchidori" was built of reinforced plastic and, in the other, one of the rooms (7 m^2) of the industrial floating fair, "Sakura Maru", 12,000 G/T, was built wholly of plastic.

By observations and measurements of these two vessels during their cruises, it has been ascertained that their accommodativeness and durability are living up to expectations.

Success of the foregoing program has enhanced the significance of plastics in their application to shipbuilding and has contributed to successful design and construction of plastic ship's parts. It has also enabled us to solve those problems that still must be solved.

2. Research on the Mechanical Strength, Especially on Fatigue Strength

In order to elucidate the systematic fatigue properties of fiber-glass reinforced plastics (FRP) when actually used as superstructure, we studied the fatigue strength of such materials after subjecting them to high temperature, weathering and immersion in sea water.

Our experiments showed that the fatigue strength of FRP was 20~30 percent of their static strength at room temperature and the fatigue strength at high temperature markedly decreased, weakening rapidly within a short time. Thus, care must be taken when they are

used under repeated stress at high temperature.

The fatigue strength after 240 hours of weathering or three months of immersion in sea water indicated values on the same level as those for normal fatigue strength.

From these results, it is to be inferred that FRP would not deteriorate at least for a few years when used as ship's superstructure.

3. Research on the Temperature Properties of Various Plastics

In order to ascertain the limit of usability of plastic materials within the range of very high or very low temperature, since temperature properties are the weakest point of plastics, fluctuations in the strength of FRP and other plastics at temperature between -50° and 150°C were tested. Results were as follows :

FRP showed no appreciable changes in strength within the range of $-15^{\circ}\sim+60^{\circ}\text{C}$ and this temperature range seems to be safe under long-term use of FRP. Generally speaking, phenol resin showed the least effects of temperature changes.

On the other hand, the safety range of thermoplastic resins was seen to be smaller than that of FRP, being around $5^{\circ}\sim40^{\circ}\text{C}$. Their expansion under high temperature and contraction under low temperature were remarkable.

4. Research on the Strength after Weathering

In order to study the weathering-resistance of FRP, the static and dynamic fatigue strength of FRP was tested by exposure in open-air for one year and exposure to weatherometer for 240 hours (equivalent to 6,000 hours natural exposure).

As a result, it was seen that FRP had undergone discoloration due to ultra-violet rays but such serious effects as cracks or delamination were absent.

With respect to strength, all the plastics showed no anomalies but rather a tendency toward increased strength. It is, thus, to be inferred that FRP as structure of a ship possesses durability over long periods.

5. Research on the Strength after Immersion in Sea Water

In order to examine the sea water resistance of plastic materials, especially of FRP, we tested tensile strength, fatigue strength and impact strength properties of these materials after their long-term water absorption and immersion in sea water (1, 2, 3 months).

According to the results of our tests, water absorption after three months is 120 mg/100 cm² and roughly constant after one month. There is almost no difference in strength and FRP, with fiber-glass as base material, shows outstanding strength, fully giving play to its

reinforcement effect.

FRP, when fitted into the superstructure therefore, is expected to prove its strength and durability against weathering or waves, but, in view of its large strength deviation, it is important to obtain the tolerance value when designing its use.

6. Strength of the Adhesive Joints and Adhesive Working Methods

In fitting plastics into a ship, often work has to be done in cramped ship space. Accordingly, in order to determine designing standards and adhesive conditions, various adhesive tests were conducted in regard to plastic joints and fitting of plastics into the hull structure.

As a result, as was to be foreseen, it was ascertained that if the adhesive surfaces are made clean and free of oil without fail, with due caution against moisture, adhesive strength could be made even.

In the case of lap joints, they were found to be effective against tensile shearing strains and compression strain but vulnerable to delamination strain.

There is thus need to pay particular attention to the loading stress on the joints.

7. Research on the Strength of Welded Joints and Welding Methods

Thermoplastic resins have recently come to be used more and more as ship's fittings. Accordingly, we undertook to study the literature on the subject of plastic-welding techniques (welding methods and welding devices) and carried out a few experiments on automatic welding.

For specimens we chose acrylic resins, particularly rigid polyvinyl chloride resins.

In regard to strength, they generally showed large deviations and some indicated low values (about 50 percent of the base material) but gave values almost equal to those of the base material as to the impact strength

If the welding work is properly carried out, considerable strength may be expected.

8. Research on the Working Methods of Bolt Joints and their Strength (Including Fatigue Properties of Bolt-joint Structure of FRP and Mild Steel)

In fitting FRP plates to superstructure, there are still various unknown factors relating to the vibration fatigue of joints and the bearing strength at the bolt holes.

In order to clarify these points, we conducted tests with regard to effects of the distance between the bolt holes and the ends of the plates or the distance between bolts on the strength of the joints. The following results were obtained.

The best efficiency is obtainable if the diameter of a bolt hole (d/t) is about 1.2 times of the plate thickness and 3~4 times of the bolt diameter and the best distance between a bolt

hole and an end of a plate (s/d) is 5 times or more of the bolt diameter.

In the case of rivet joints, if due consideration is given the fact that the strength of the joints is mainly based on the fracture between rivets and the fractures of rivets themselves in order to prevent the edges of the plates from breaking in front of the rivets, $s/d \geq 5$ seems to be most desirable.

9. Study on the Properties of Strength of Sandwich Structural Materials (Sandwich Materials)

Aiming speed-up and light weighing of the ship, we studied on such problems as the stress member, adhesive working method and out-fit working etc. of the plastic sandwich panels, in order to develope the use of these panels for structural materials and equipments in the ship.

According to the results foamed resin cores must be paid attention to attacking by the solvents in the adhesive reagents, but the difference of working methods did not influence on their strength value, and honeycomb cores are required high quality of adhesive technique because the adhesive area is small.

But in out-fit working, they have little strength for screw holding, so inerts must be considered at beginning of the design of the panel, and also the inspection of adhered space of sandwich panels is supposed to be difficult.

The use of the sandwich panels made by the method of foaming polyurethane in the field reducing adhesive procedures and having high adhesive technique may be increased more and more in the future, if they are competent cost.

10. Study on Adiabatic Properties

As part of a programe of research in the accommodativeness of plastics as ship's fittings, various kinds of large panels (2050×2050 mm), chiefly of FRP, were fabricated and compared with heat-proof steel plates to measure their coefficients of overall heat transmission in order to elucidate the adiabatic properties of plastic constructions.

As a result, it was found that plastic construction walls were better than those of steel and their coefficient of overall heat transmission was 15 percent lower.

It was also found that paper honeycomb constructions had good adiabatic properties.

11. Research on Acoustic Insulation and Absorption

In order to obtain basic data on the sound-proof properties of plastic parts in ships, four large model specimens were built to measure the acoustic transmission loss and coefficients of acoustic absorption. It was seen that honeycomb sandwich plates were best in the case of

FRP, while single plates were inferior in their sound-proof properties because of the high-frequency wave coincidence effect.

12. Research on Ventilation Ducts

Rigid polyvinyl chloride has been widely used in ship's ventilation devices, but there had been lacking in basic data on its vibration and noise characteristics, air duct loss and the like. We used various polyvinyl chloride ducts in our experiments to solve these problems and to improve duct-fitting techniques.

It was found that plastic ventilation ducts were less subject to vibration or noise compared with steel ducts and that the round shape was best in these respects. The friction coefficient of a plastic pipe in air duct loss was seen to be little different from that of smooth pipe or steel pipe sold in the market at less than Reynolds' No. 7.5×10^6 .

The resistance of bent pipe is considerably high, but by inserting a guide vane the resistance can be somewhat reduced.

In regard to branched pipes, useful data were obtained on various pieces, especially Y-shaped pieces.

13. Study on Pipe-fitting Methods

In order to use plastics for piping in ships as a part of the program of modernizing ships, the method of joining rigid polyvinyl chloride resin pipes and the possibility of using plastic piping in warm-water systems were tested.

As a result, it was found that, on the whole, coldworking is best and that this will be the method that will more and more be in use.

In warm-water systems, use at below 50° C is desirable, as with temperature rise resins grow in flexibility. The hand-holding interval for 1-inch pipe is to be surmised 1.5 m maximum under less than 50° C.

Because of their simple and easy processing, the use of rigid polyvinyl chloride resin pipes is likely to increase.

14. Application to Fittings of Ships (Adaptability of Plastic Materials by means of a Model Room)

In order to build lighter and more economical ships, we adopted plastic products for all the fittings in the mailmen's room of the industrial floating fair ship, "Sakura Maru", and compared the room with the conventional ship's accommodation. We studied the functions of the new products, their workability, durability during a cruise and their accommodativeness. We were able to obtain the anticipated results.

With the completion of our program, we gained many useful data on designing and

building of plastic fittings. By using plastics, ship's fittings were reduced by 30 percent in weight.

Tests during the actual cruise showed that members of the crew were satisfied with the thermal insulation, acoustic insulation and decorative aspect of the plastic fittings.

15. Application to Exposed Parts

Application of FRP to the exposed upper parts of a ship would mark an epochal advance in shipbuilding technique but there had been lacking in adequate experience or data on the subject.

On the basis of the data obtained during the first and second years of our researches, we built the whole wheel house of the 300 tons type coast guard patrol boat "Haruchidori" of FRP, its total work area is 42 m².

Valuable data for spot engineering work and application to exposed parts of an actual ship of this kind of materials were obtained through the work.

16. Strength Test with Large Panels

In building the wheel house of the "Haruchidori" of FRP, large model FRP panels (1500 × 600, 1700 × 1700 mm) were manufactured and their mechanical properties as their strength factor were studied.

As a result, we were able to obtain precise designing data on the method of reinforcing the material with stiffeners, improvement of its rigidity, formation of the sandwich structure and applications to shipbuilding.

17. Study on the Working Method when using FRP as Construction Material

In using FRP products for the wheel house of the "Haruchidori", various large FRP pieces were studied in regard to their joining, joint efficiency, fitting on the spot and the like. The results were as follows:

1. Efficiency is not necessarily increased linearly by increasing the laps between panels and 80 mm is optimum for laps.
2. Flange joints are not suitable because they are liable to delamination between layers under tensile strength.
3. Adhesiveness of the same group as the layer plates are desirable in adhesive joining.

第1編 緒 言

船舶技術近代化の推進の一環として、プラスチック等新材料の船舶への利用拡大の気運が次第に高まりつつあるが、この種新材料を上部構造材および艤装品に適用する場合の諸問題の解明が造船界としての急務であると考えられる。

プラスチック材料の軽量、美観、耐食等の諸特性より見て、これら材料技術の発達は船舶艤装技術に画期的な躍進をもたらすことが容易に考えられ、欧米諸国に先んじて船舶技術を確立する必要のあるわが国の造船界としては、早急にこれらの諸特性、設計工作技術上の基準を確立して、その応用範囲、適用基準を確立する要がある。

本部会ではこれらの要請に対処して昭和35年度より3カ年計画で上記の諸点の究明を目指し、まず第1年度ではプラスチック材料の機械的強度、温度特性、耐候性、耐海水等の基礎的性質を調査するとともに、接着、溶接工作技術の研究、ボルト継手工作法の解明をなし、次いで第2年度では、さらに具体的な適用対象について設計工作上の諸点を解明するため、サンドイッチ構造材の特性究明、断熱、吸音特性等の実験、通風ダクトに用いた場合の振動特性、通気抵抗等設計上の諸点の実態把握、管艤装技術の基準設定のための諸研究を行なった。

これらの研究の基礎に立脚して、第3年度には実船施工の段階に入り、一方では見本市船“さくら”丸の一室をプラスチックモデルルームとしてすべての艤装品をプラスチック製品として、その経済性、設計上の特性、航行時における居住性、材料劣化の有無などを調査して、その有効性を確認し、今1つの適用としてはFRP（強化プラスチック）の構造部材としての適応性確認の目的をもって、巡視船“はるちどり”的操舵室全域をFRP化し、同様防熱、防音、振動等の居住性にきわめて良好な成績を収めることができた。

以下これらの実施内容について報告する。

第2編 基礎的研究

第1章 疲労強度を中心とした機械的強度の研究

1.1 はしがき

近時、FRP（強化プラスチック）を構造材料として採用するにあたりその疲労強度に関する研究もかなり進められているが、実用条件下における資料に乏しい。本研究は系統的に疲労特性を明らかにするため、高温、ウエザリング後、海水浸せき後の各条件で疲労強度を求め、さらに常温疲労値と比較したものである。

1.2 使用材料仕様

表1.1に示すとおりである。

表 1.1

樹脂名	樹脂含有量(%)	成型条件			ガラス繊維布基材種類
		温度(°C)	圧力(kg/cm ²)	時間(hr)	
硬質塩化ビニル樹脂	—	170~180	100~150	2/3~1	
強化ポリエスチル樹脂 (ガラス)	約50	常温	約1	2~3	平織無アルカリ
強化エボキシ樹脂 (ガラス)	40~50	160~170	100~150	1 cycle 2	平織
強化フェノール樹脂 (ガラス)	50~55	♦	♦		♦
♦ ♦ (布)	50~60	♦	♦		平織 #2003

1.3 試験片寸法

図1.1および1.2のとおりである。

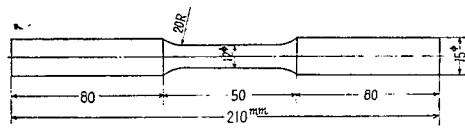


図 1.1 小野式回転曲げ疲労試験片

(A.S.T.M.D671-51T)

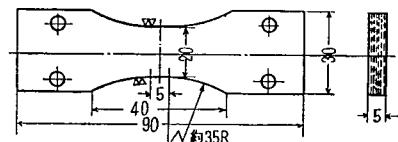


図 1.2 シェンク式曲げ疲労試験片

1.4 疲労試験諸条件

1.4.1 小野式回転曲げ疲労試験

(a) 試験機：小野式回転曲げ疲労試験機

～10kg·m, 1720 r.p.m.

(b) 付加応力等の試験条件

(i) 応力状態：回転曲げ（両振曲げ）荷重一定

(ii) 繰返速度：1720 r.p.m.

(iii) 繰返数：～10⁷ 回（約4ヶ月）

- (iv) S-N 曲線：破断までの繰返数を記入。
- (v) 疲労強度： 10^7 回で破断しない最高応力をとる。
- (vi) 試験数：各 7 本準備、平均 6 本で試験を実施。

(c) 雰囲気等の試験条件

- (i) $18^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ (1 条件)

室温空気中で行なった。(室温調節、強制送風、温度調節は行なわず。)

- (ii) $100^{\circ}\text{C}, 150^{\circ}\text{C}$ (2 条件)

高温疲労試験は試験片の周囲に Ni-Cr 線を巻き、温度分布をあらかじめ検定して熱電対を試験片から約 2 mm 離したところで熱電式自動温度調節器により $\pm 3^{\circ}\text{C}$ に調整し、 100°C および 150°C で 1 時間保持後の疲労強度を測定した。

- (iii) ウエザリング後 (3 条件)

60, 120 および 240 hr のウエザリング後の試料について室温空気中にて疲労強度を測定した。

- (iv) 海水浸せき後 (1 条件)

常温、3 %食塩水中に 3 カ月浸せき後の疲労強度を試験速度 $1720 \pm 25 \text{ r.p.m.}$ で 10^7 回まで実施し、S-N 曲線を作製した。

1.4.2 シェンク式曲げ疲労試験

- (a) 試験機：シェンク式曲げおよびねじり疲労試験機

$\sim 4 \text{ kg}\cdot\text{m}$, 3,600 r.p.m.

(b) 付加応力等の試験条件

- (i) 応力状態：両振曲げ（全振巾一定）

- (ii) 繰返速度：3,600 r.p.m.

- (iii) 繰返数： $\sim 10^7$ 回 (約 2 昼夜)

- (iv) S-N 曲線：定期的にモーメント変化を測定。

- (v) 疲労強度： 10^7 回までモーメント変化を生じない最高強度をとる。

- (vi) 試験数：各 7 本準備、平均 6 本で試験を実施。

(c) 雰囲気等の試験条件

- (i) $18^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$ (1 条件)

室温空気中で行なった。(室温調節、強制送風、温度調節は行なわず。)

- (ii) $100^{\circ}\text{C}, 150^{\circ}\text{C}$ (2 条件)

小野式に準じて実施した。

- (iii) ウエザリング後 (3 条件)

小野式と同様の条件でウエザリング試験を行なった試料について室温空気中にて疲労強度を測定した。

- (iv) 海水浸せき後 (1 条件)

常温、3 %食塩水中に 3 カ月浸せき後の強度を試験速度 3,600 r.p.m. で 10^7 回まで実

施し、S-N 曲線を作製した。

1.5 試験結果および考察

1.5.1 室温（18~30°C）での疲労強度

小野式回転曲げ疲労試験では、強化フェノール樹脂（ガラス） 6.4kg/mm^2 、ポリエステル樹脂 5.5kg/mm^2 でガラス繊維補強材が卓越した強度を示しており、各樹脂とも $10^5\sim10^6$ 回で漸次一定となるが、強化フェノール樹脂（ガラス）のみは 10^7 回においても一定とはならなかった。

またシェンク式曲げ疲労試験では回転曲げの場合と同様、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、ポリエステル樹脂（ガラス）等の強化プラスチック材料が強く、繰返数もフェノール樹脂（ガラス）を除いて $10^5\sim10^6$ 回でほぼ一定となり、疲労値は各樹脂とも小野式より高目に現われている。この原因は回転曲げ試験片では機械切削によって表面繊維が切断されているのに対し、板曲げ試験片で

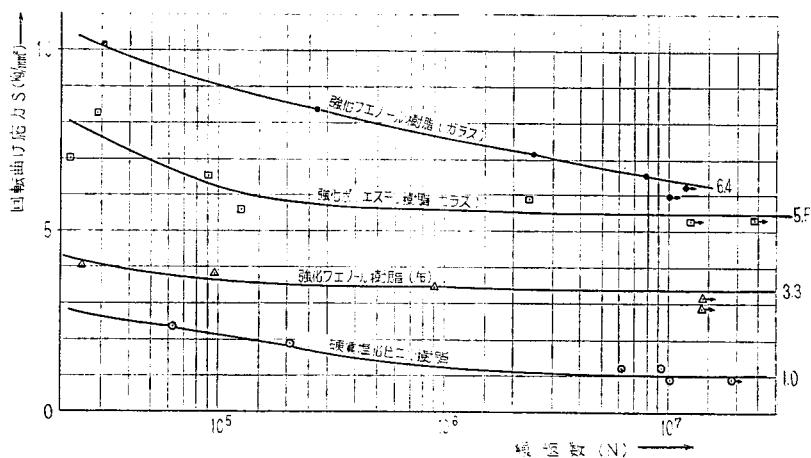


図 1.3 小野式回転曲げ疲労 S-N 曲線（室温）

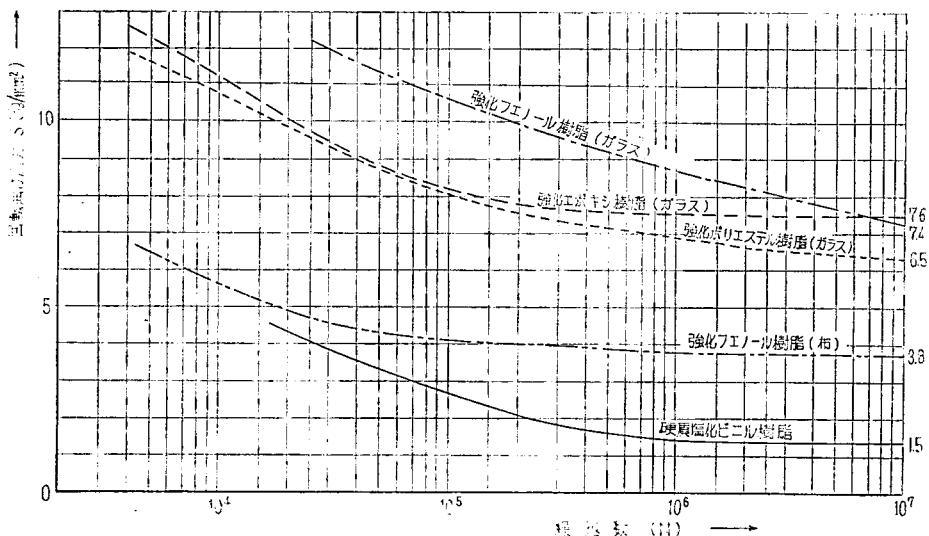


図 1.4 シェンク式曲げ疲労 S-N 曲線（室温）

は表面が成形時の板厚であること、および試験片の形状寸法等による影響ではないかと推察される。疲労破壊に近づくと試験片は発熱し、層間剥離をおこして白くみえはじめ、これが次第に広がって相当の面積が白くなり弾性が低下し応力が急減する。(図 1.3 および 1.4 参照)

1.5.2 高温 (100°C および 150°C) での疲労強度

小野式回転曲げ高温 100°C における疲労強度は、強化フェノール樹脂(ガラス)が 5.5 kg/mm^2 (室温 6.4 kg/mm^2) で温度上昇による高温性質のすぐれていることが認められたが、他の樹脂は室温に比べて強度低下が目立ち、とくに硬質塩化ビニル樹脂(ほとんど0)、ポリエステル樹脂 0.9 kg/mm^2 (室温 5.5 kg/mm^2) の強度減少がいちじるしく、150°Cにおいてはこの傾向がさらに顕著で、フェノール樹脂を除いてはほとんど0に近い疲労値である。

またシェンク式曲げ高温試験においても、小野式回転曲げと同様の傾向が見受けられ、エポキシ

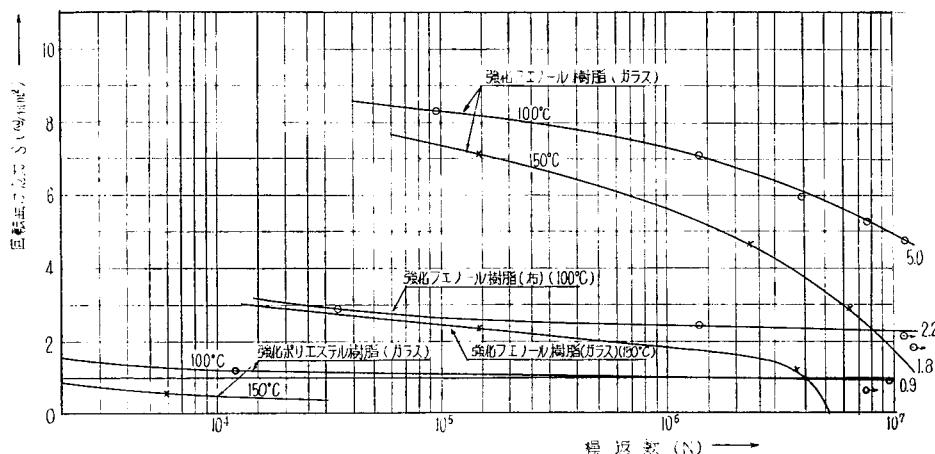


図 1.5 小野式回転曲げ疲労 S-N 曲線 (100°C, 150°C)

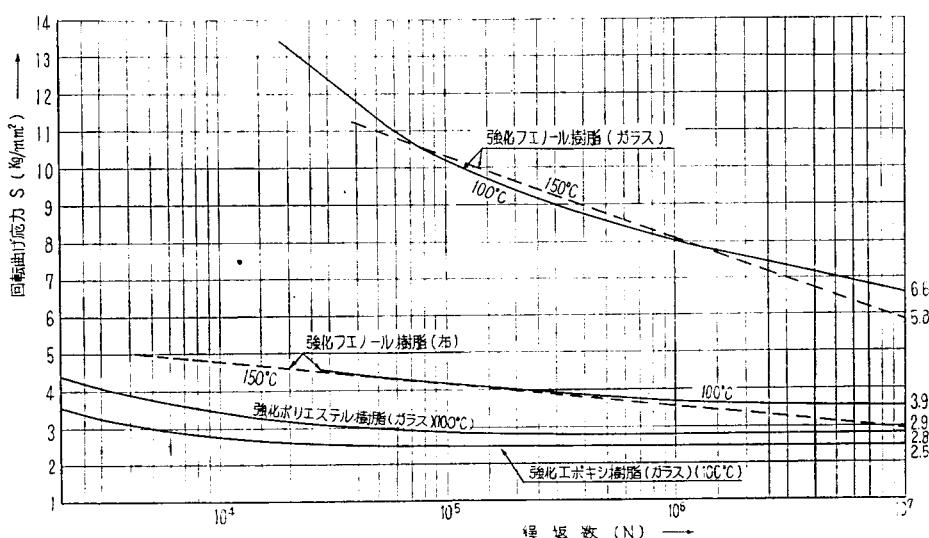


図 1.6 シェンク式曲げ疲労 S-N 曲線 (100°C, 150°C)

樹脂の疲労強度低下がとくにいちじるしく、疲労値は各樹脂とも若干高目に現われている。

上記の結果よりポリエスチル樹脂、エポキシ樹脂等金属に匹敵するFRP材料といえども、100°C以上になればその疲労性質も短時間において急速に低下するので、高温時におけるFRPの使用には強化フェノール樹脂（ガラス）が最もすぐれているが、高温繰返し応力が長時間継続する場合にはなるべく使用を避ける方がよいものと推察される。（図1.5および1.6参照）

1.5.3 ウエザリング後の疲労強度

ウエザリング後的小野式回転曲げ疲労強度は常温疲労強度に比較して、240hr 照射（自然曝露対応時間約6,000hr）後においても、硬質塩化ビニル樹脂、ポリエスチル樹脂ともに若干強度増加

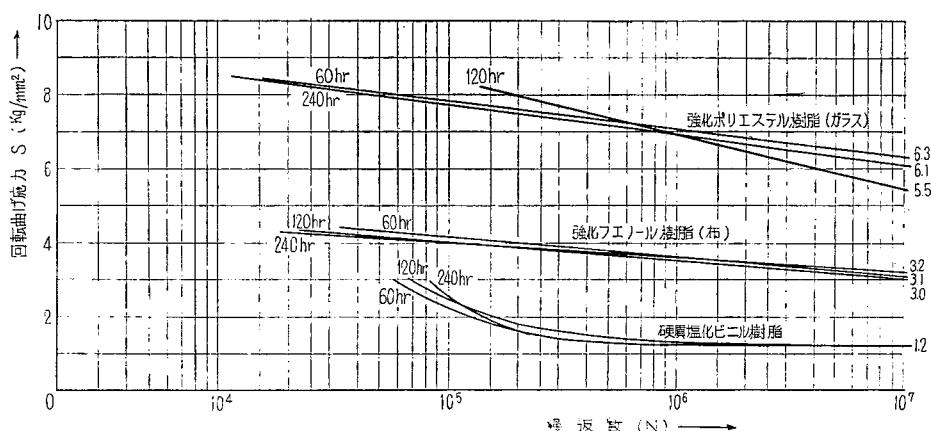


図1.7 小野式回転曲げ疲労S-N曲線（ウエザリング後）

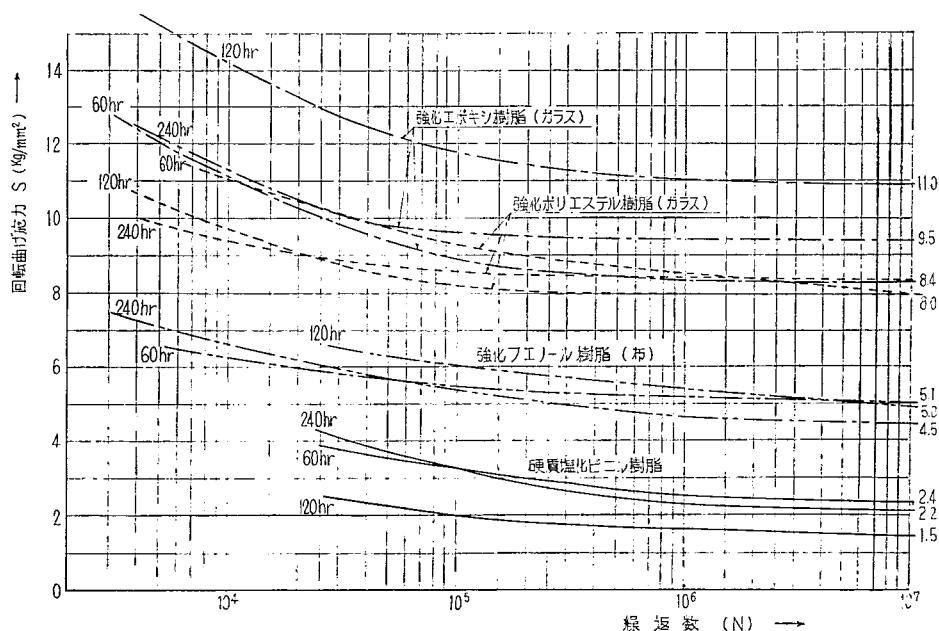


図1.8 シェンク式回転曲げ疲労S-N曲線（ウエザリング後）

を示している。またシェンク式曲げ疲労試験においても小野式と同様の傾向が見受けられ、各樹脂とも20～40%位の疲労強度増加を示している。(図1.7および1.8参照)

これら最初の強度増加現象は、樹脂のAdditional Curingによる結果として説明されている。

これらの結果より合成樹脂を船体上部構造材料として使用した場合、長期間の曝露においては日光直射面が淡褐色に変色あるいはガラス繊維が浮き出したりするが、構造強度に影響する劣化現象は数年では生ずることはないと考えられる。

なお、文献によればポリエスチル樹脂を曝露した場合、最初の数カ月では強度増加を示すが、時間経過にしたがって漸次強度減少をきたし、図1.9のごとき傾向をたどると説明している。

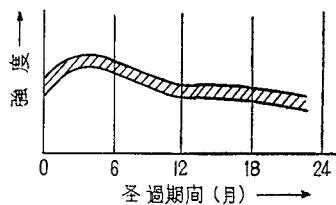


図1.9 FRPのウエザリング後の強度
(ガラス繊維強化プラスチックス)

1.5.4 海水浸漬3カ月後の疲労強度

小野式回転曲げ疲労試験では強化フェノール樹脂(ガラス)6.8kg/mm²、強化ポリエスチル樹脂6.0kg/mm²でガラス繊維補強材料が卓越した強度を示しており、各樹脂とも10⁵～10⁶回の繰返しで漸次一定となるが、強化フェノール樹脂(ガラス)のみは10⁷回でも一定とはならない。

以上の結果は室温疲労強度とほぼ同傾向で大差ない強度を示している。

シェンク式曲げ疲労では回転曲げとほぼ同様のS-N曲線をたどり、疲労値は各樹脂とも小野式

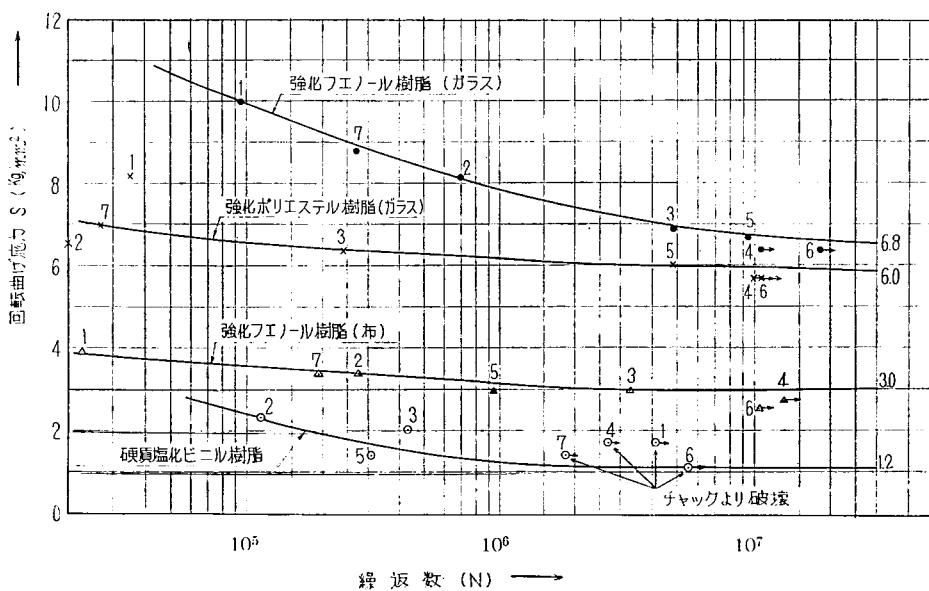


図1.10 小野式回転曲げ疲労S-N曲線(3カ月海水浸漬後)

より高目に現われている。

またエポキシ樹脂、フェノール樹脂（ガラス）は室温疲労強度の5～10%の強度増加を示しており、これらの結果よりガラス繊維補強材はある程度の湿潤状態では疲労値の低下は認められず、かえって強度増加現象を示しており、ためにこれらFRP材料を船舶上部構造材としての使用に対しても相当長期間にわたる持久力を有するものと推察される。（図1.10および1.11参照）

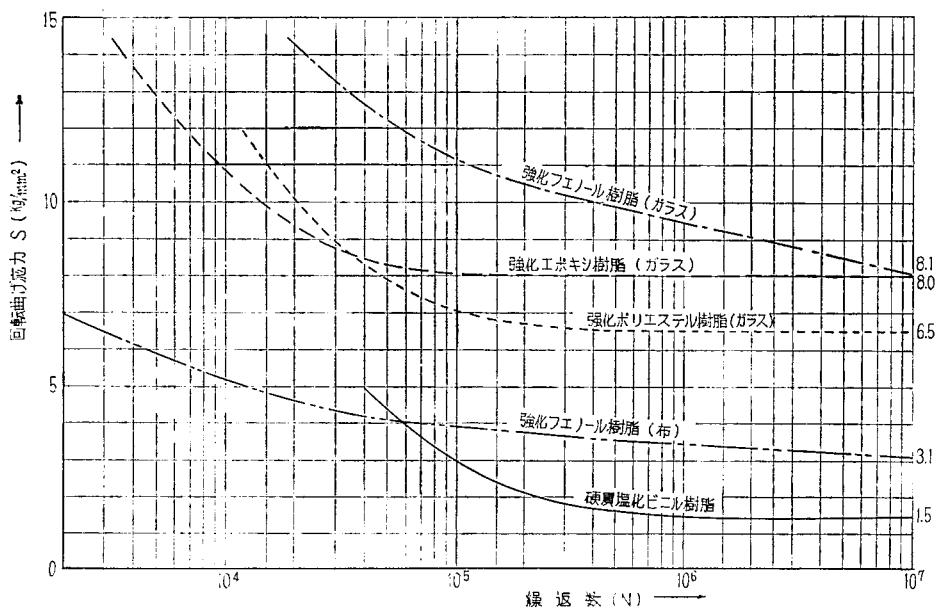


図1.11 シェンク式回転曲げ疲労S-N曲線（3カ月海水浸漬後）

1.6 む す び

1.6.1 室温（18～30°C）での疲労強度

小野式回転曲げおよびシェンク式曲げ試験ともにFRPは卓越した疲労値を示し、常温の静的強度の20～30%であり、強化フェノール樹脂（ガラス）を除いて 10^5 ～ 10^6 回の繰返し数でほぼ一定となる。

また、疲労破損の進行につれて発熱し、白化が顕著になり弾性低下および応力急減をきたす。

1.6.2 高温（100°C, 150°C）での疲労強度

強化フェノール樹脂（ガラス）は 10^7 回でも高温疲労がすぐれていることが認められるが、疲労限に達しないようである。

他の樹脂材料は強度低下がいちじるしく、とくに150°Cにおいては0に近い値である。

したがって、常温において金属材料をしのぐFRPであっても、高温（100°C以上）繰返し応力下での使用は困難である。

1.6.3 ウエザリング後の疲労強度

促進曝露試験機にて240 hr 照射（自然曝露約8カ月）後においては常温疲労強度より増加しており、これはウエザーメータによるアフターキュアリングの影響であり、熱硬化性樹脂ではとくに

その傾向が強い。

また破断部は曝露部と非曝露部の境界において起る場合が多く、境界域の変質によるものと考えられる。

1. 6. 4 海水浸せき後の疲労強度

海水浸せき 3 カ月後においても常温疲労強度と大差なく、むしろ強度増大を示す場合もある。

全般に FRP とくにガラス繊維補強材では高目の値を示しており、船舶構造用部材としてある程度の湿潤状態の繰返し応力下では少なくとも急激な劣化はないものと推定される。

第2章 各プラスチックの温度特性に関する研究

2.1 引張強さの温度特性（硬質塩化ビニル樹脂および強化エポキシ樹脂（ガラス））

2.1.1 引張試験片（JIS. K. 6745 にもとづき製作した。）

2.1.2 試験項目および方法

(a) 硬質塩化ビニル樹脂

温度条件(°C)	試験方法	試験片個数
-50	ドライアイスナトリクレンにて冷却した 冷気を試験槽内に送り、所定温度に保ち 試験片を2 hr.保持後、引張試験を実施。	9 温度条件×5 ~45本
-30		
-15		
0		
25	室温	
50	電気炉にて加熱した熱風を試験槽内に送 り、所定温度に保ち、試験片を2 hr.保 持後、引張試験を実施。	
70		
90		
110		

T. S. S 式高低温槽付引張試験機（東洋精機製）を用いて試験を実施した。

(b) 強化エポキシ樹脂（ガラス）

試験項目	温度条件(°C)	試験条件	試験片個数	
引張試験	-50	低温槽中に2 hr. 保持後試験	10 温度条件×5 ~50本	
	-30			
	-15			
	0			
	25	（室温）		
	60	高温槽中に2 hr. 保持後試験		
	90			
	110			
	130			
	150			

以上の10温度条件において各規定温度に2 hr. 保持後、引張速度 20mm/min にて引張強度を測定した。

なお低温試験はあらかじめ、二段圧縮式サブゼロ冷却装置中にて冷却後、また高温試験は電気が中で規定温度に保持後試験を実施した。

また強化エポキシ樹脂（ガラス）は強度大なるため、T.S.S 式高低温槽付引張試験機では容量が不足するため、アムスラ試験機を使用した。

2.1.3 実験結果

(a) 硬質塩化ビニル樹脂引張温度特性

温度条件(°C)	平均引張強度(kg/mm ²)	標準偏差	最小最大値範囲(kg/mm ²)	変化率(%)
0	9.3	0.62	9.2 ~ 9.5	+25.7
25	7.4	0	7.3 ~ 7.5	0
50	4.9	0.47	4.7 ~ 5.1	-33.8
79	3.1	0.14	3.0 ~ 3.4	-58.1
90	0.8	0	0.8	-89.2

- 〔注〕 1. 上表中の引張強度は5本の平均値である。
2. 上表中の変化率(%)は25°Cを基準にした値である。

(b) 強化エポキシ樹脂(ガラス)引張温度特性

強化エポキシ樹脂(ガラス)の温度条件による引張特性については次の諸点が認められた。

- (i) 常温～-15°C間は23～24kg/mm²前後で強度の変動は小さい。
- (ii) -30～-50°C間は27.5kg/mm²付近となり、硬化の傾向がある。
- (iii) 高温側に移行するにしたがって強度が低下し、とくに90°C以上になると強度変化率が顕著である。
- (iv) 強化エポキシ樹脂(ガラス)は80～90°Cにおいて急激な強度低下を示し、この範囲に変性点があるものと推察される。また、高温側ではデータのバラツキが少なくなっていることが目立つ。
- (v) 構造用材料としての安全使用範囲は-15°C～+60°Cと思われる。

樹脂名	温度条件(°C)	平均引張強度(kg/mm ²)	標準偏差	最小最大値範囲(kg/mm ²)	変化率(%)
強化エポキシ樹脂 (ガラス)	-50	27.7	2.64	25.0 ~ 30.4	+17.7
	-30	27.5	2.76	24.3 ~ 31.8	+16.5
	-15	24.7	1.85	21.8 ~ 26.7	+8.3
	0	24.5	4.31	21.9 ~ 33.7	+7.5
	25	22.8	2.93	16.9 ~ 26.5	-
	60	20.3	1.55	18.5 ~ 21.3	-11.0
	90	11.6	0.99	10.5 ~ 12.5	-49.2
	110	9.5	0.93	8.5 ~ 11.0	-58.3
	130	8.5	0.95	7.4 ~ 9.4	-62.7
	150	7.2	0.61	5.6 ~ 7.9	-68.4

- 〔注〕 1. 上表中の引張強度は5本の平均値である。
2. 上表中の変化率(%)は25°Cを基準にした値である。

2.2 引張強さの温度特性(ガラス繊維により補強したポリエステル、エポキシ、フェノール樹脂積層板)

2.2.1 強化プラスチックの温度特性(アムスラ試験機による)

(a) 試験の方法

本試験は、強化プラスチック用として広く用いられている代表的な3種類の樹脂すなわち、エポキシ、ポリエステルおよびフェノールをそれぞれ成形用材料としてガラス繊維または布基材で補強した5mm厚さの積層板を用いた。

試験片は各シートの周辺を除いた部分から一様に採出したものでJIS K 6745に準じて定めた。

引張試験機には5Tアムスラ試験機を使用し、60°C, 110°C, 130°C, 150°Cの各温度には引張試験部に高温槽を取付けて所定の各温度に保持した後、試験を施行した。0°C, -15°C, -30°C -50°Cの引張試験に際しては同様に該部に低温槽を取付けて試験を施行した。

(b) 試験結果

引張試験によって得られたデータを要約すると次のようである。

(i) 引張り強さの測定値は他の工業材料のそれに比べると偏差がかなり大きいようであるが、試験に用いた各々の強化プラスチックを比較してみると、ガラス繊維で補強した積層板（ポリエステル、エポキシ、フェノール樹脂）の観測値は布基材の積層板（フェノール樹脂）のそれより変動が大きくなっている。これらの事柄は強化プラスチックの性質が樹脂の材質よりも、ガラス補強材の性質の変動によって大きく影響されることを示している。

(ii) ガラス繊維強化ポリエステルシートは高い荷重を受ける試験片の平行部から摺み部の断面が急変している部分にわたって荷重が増加するにつれて、ガラス繊維が層状に剥離をおこし、遂にはエネルギーを吸収できなくなって破断に至る。ガラス繊維で補強された材料は多少とも同じような傾向で、破壊を起している。これらの事実は成形用樹脂としては密着度のすぐれたものほど強さの一定した材料を保証できることを示している。

(iii) 強化プラスチックは低温度になると硬く脆い性状を示すようになるが特にガラス繊維で

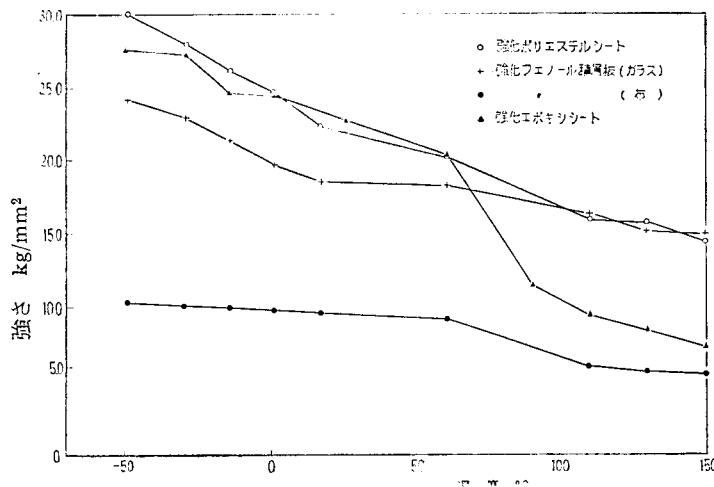


図 2.1

補強された積層板は布基材フェノール積層板に比べて硬化の割合が大きくなっている。たとえば、室温から-50°C に下がると、ガラス強化ポリエチル、同フェノール、同エポキシはそれぞれ、34%，30%，22% で引張り強さを増したが布基材フェノールのそれは7%に過ぎない。（図2.1）

(iv) 強化プラスチックは温度が上昇するといずれも引張り強さを減ずる。

(c) 考察

(i) 原材料

強化プラスチックの工業的利用を発展させるためには補強材についてもまた樹脂についても材料の諸性質が正しく一定の限度内にあることが保証されねばならない。すなわち一定の限度内の機械的性質を持つ強化プラスチックを得るためににはまず原材料に十分な規格を付けて供給されるべきである。特にガラス補強材は性質の変動が大きいように思われる所以効率的な経済性のよい構造にするためには少なくとも変動の許容限界は5%以内に抑えるべきものと思われる。

(ii) 製造技術

本試験に使用した引張強さ用試験片は前述のように各々 5 mm × 1,000 mm × 1,000 mm シートの全面から均一に採取したものであるが同一銘柄のものでも相当の寸法公差がある。たとえば各材料の板厚の平均値をその公称値の 5 mm 厚さに比較してみるとポリエチル、フェノール（ガラス）、フェノール（布）はそれぞれ-5.6%，+5.0%，+1.6% の寸法公差がある。したがって強化プラスチックを工業用材料特に構造用材料として発展させるためには、よく管理された製造技術の確立によって一定した寸法すなわち性能を得ることも重要な因子といえる。

(iii) 設計上の問題

(1) 強さと剛性

剛性すなわち弾性率が金属材料に比較して低いのが強化プラスチックの欠点の一つであり、これらを利用して構造物を製作する場合は特に補強部材を設けてスパンを短かくしたり、リブで補強したりして圧縮による座屈破壊や撓み量の増加に注意を払わねばならない。

(2) 温度特性

強化プラスチックはその原材料の樹脂が特に温度に対して敏感であるために常温以上では金属材料に比較すると特に強度の低下が著しく、これが強化プラスチックの利用範囲を制限している理由の一つであり、本研究実施計画の一部として施行した各温度雰囲気における引張り強さの測定もこれらの事情を明らかにするために他ならない。図2.2 は強化プラスチックおよび現在使用されている各金属材料の比強さと温度との関係を前者は今回の測定値からまた後者は文献から集録して示したものである。

(4) 価格

強化プラスチックの価格は他の金属材料と比較した場合、現在なおかなり高価であ

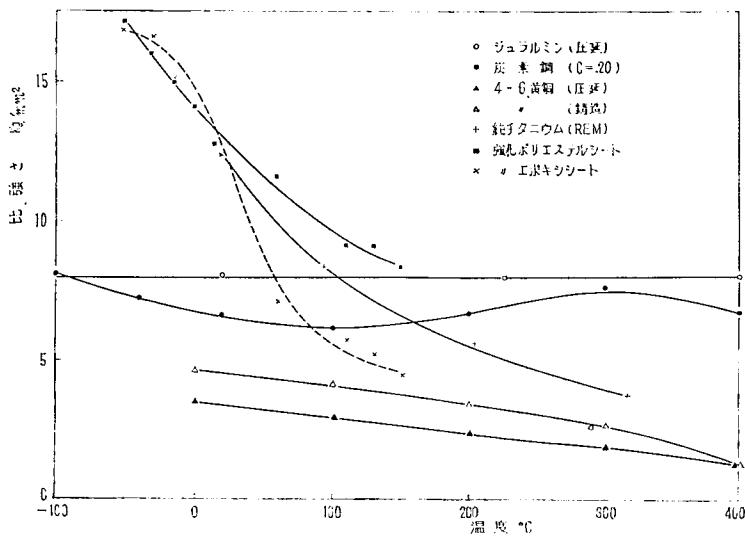


図 2.2

り、経済的でしかも有効な構造物に利用するためには品質の改良をはかる一方、その価格を低減することが今後の課題の 1 つである。

2.2.2 硬質塩化ビニル板の温度特性（高温低温槽付き引張試験機による）

(a) 試験片ならびに実験装置

本実験に用いた引張試験片は約 1 mm 厚の素材シートをプレス積層して作った 1 m × 2 m × 5 mm の板の各部分から均一に採取したもので、JIS に準じて定めた形状のものである。

試験機は低温高温装置付引張り試験機を用い高温試験 (110°C, 90°C, 60°C, 25°C) に際しては試験槽内を継続ヒータによって所定の温度に加熱保持して定常状態に達した後試験を施行した。試験に際しては試験槽内の温度を定常状態に保持した。

(b) 実験結果

硬質塩化ビニルの引張試験の結果について述べると次のようである。

(i) 荷重一伸び

試験片は荷重を加えるとともに変形量を増大し炭素鋼の降伏点に類似した最高荷重の点に至る。この点を越えてさらに荷重を加えると試験片は局部収縮を生じこの収縮変形が次第に拡大して遂に破断する。この場合、破断の起点となるのは材料の切欠、ピンホール等である場合が多い。

表 2.1 硬質塩化ビニルシート引張り強さ

試験 温 度 °C	平均値 kg/mm²	標準偏差 kg/mm²	最小最大値範囲 kg/mm²	伸 ひ %	分散の自由度
110	0.4	0.0	0.4 ~ 0.5	2.9 ~ 5.5	4
90	0.8	0.1	0.7 ~ 0.8	2.9 ~ 3.4	♦
60	4.3	0.3	4.2 ~ 4.6	3.2 ~ 4.0	♦
25	6.3	0.3	6.2 ~ 6.4	2.5 ~ 4.0	♦
0	7.8	0.2	7.5 ~ 7.9	1.5 ~ 2.8	♦
-15	8.1	0.2	7.7 ~ 8.5		♦
-50	9.0	0.3	8.9 ~ 9.2		♦
-50	10.0	0.6	9.5 ~ 10.3		♦

[注] 1) 引張試験速度は 20mm/min で行なった。
2) 引張試験は低温高温装置付引張り試験機（最高 500kg、温度範囲 -50°C ~ +150°C）を使用して施行した。

(ii) 引張り強さと温度

引張り強さと温度との間には 60°C 附近までだいたい直線的関係にありこの附近より軟化をはじめて急速に強さを減ずる。90°C 以上ではいわゆる塑性流れ変形を示した。(表 2.1 参照)

(iii) 破断面

常温以上の破断は引張荷重により徐々に亀裂を拡大しその破断面は繊維状になる。この亀裂の進行にはかなりのエネルギーを必要とするから常温以上では材料に切欠等があってもその周囲の塑性変形により応力集中が消失するので、外部からエネルギー補給がなければ亀裂は進展しない。

低温では破断伸びが小さく脆性破断の傾向を持つようになるが 0°C 附近では降伏後塑性変形もある程度生ずるから破面も一部塑性破面を残している。さらに低温になると破面の大部分は分離型の破面となり完全な脆性破壊に近づく。したがって低温になると材料に含まれているピンホールや材料表面のきずは切欠効果として構造物の破壊に致命的影響を及ぼすこともありうるから、施工に際しては材料表面にきずをつけない等の注意を払わねばならない。

(iv) ヤング率

最大荷重点に至る応力と歪の関係は完全な線型ではなく、厳密に考えれば弾性係数、ポアソン比なども応力および歪によって変化している。また温度に対しても幾分傾向が異ってくるので、設計にあたっては作用する応力と使用温度範囲を考えて、弾性係数を検討しこれを基準として部材の所要断面やスパンを決定すべきである。

2.3 衝撃強度の温度特性

2.3.1 試験片

シャルピ衝撃試験片として次のようなものを作成した。

- (a) ビニル樹脂 JIS K 6745 にもとづいて作成。
- (b) その他の積層強化プラスチック樹脂(積層表面と側面について実施) JIS K 6706 にもとづき作成。

2.3.2 試験条件および方法

表 2.2 試験成績(温度特性)

樹脂名	温度条件 (°C)	平均衝撃強度(kg·cm/cm²)	標準偏差	最小値	最大値	範囲	備考
硬質塩化 ビニル樹脂	-50	7.1	0.63	5.9	7.6	~	
	-30	7.6	0.51	7.2	8.5	~	
	-15	8.4	0.24	7.9	8.5	~	
	0	5.6	0.13	5.4	5.7	~	
	25	9.7	1.15	8.5	11.6	~	
	60	15.7	1.79	12.7	17.1	~	
	90	32.1	0.00	32.1			
	110	26.6	2.82	23.1	28.7	~	
	130	22.2	2.47	18.7	26.2	~	

	-50	10.1	1.04	8.6~10.6	
	-30	6.5	0.41	5.8~ 6.9	
	-15	12.5	0.58	11.8~13.1	
強化フェノール	0	12.6	0.62	11.8~13.6	
	25	11.0	0.48	10.6~11.8	
樹脂(ガラス)	60	14.2	3.46	13.1~16.6	
(表面)	90	16.1	1.42	14.8~18.6	
	110	18.1	1.19	15.9~19.3	
	130	16.5	0.89	15.3~17.8	
	150	15.2	0.67	14.2~15.9	
	-50	5.7	0.20	5.3~ 5.8	
	-30	11.9	0.59	11.2~13.0	
	-15	8.6	0.39	8.0~ 9.0	
強化フェノール	0	7.0	0.42	6.4~ 7.5	
	25	6.8	0.89	5.8~ 8.0	
樹脂(布)	60	7.8	0.37	7.5~ 8.0	
(側面)	90	8.4	0.43	8.0~ 9.0	
	110	8.2	0.50	7.5~ 9.0	
	130	8.4	0.62	8.0~ 9.6	
	150	7.3	0.30	6.9~ 7.5	

表 2.2 に示す樹脂材について同表の温度条件において試験を行なった。

低温試験はメタノールとドライアイスを用い、低温槽中で規定温度に2時間保持後、また高温試験は電気炉中で規定温度に2時間保持後 0.3kg-m シャルピ衝撃試験機にて試験を実施した。

2.3.3. 試験結果

試験の結果を表 2.2 に示す。これらによれば次のことがわかる。

(a) 硬質塩化ビニル樹脂

高温側 60°C 位より粘弾性を帯び、これにしたがって強度も増加の傾向を示し、90°C において最高値となり 90°C 以上は漸次低下の傾向を示す。

また、低温域においては常温(25°C)に比して脆性が認められ、若干の強度低下を示すが、大きな変動は見受けられない。

(b) 強化フェノール樹脂(布)

表面ノッチのものは 110°C で最高値 18kg-cm/cm² を示すが、全般的に見て -50~150°C の温度域においては強度差はあまり認められない。

側面ノッチのものは表面ノッチの約 1/2 の衝撃値で上記よりさらに温度変化による強度差が小さく、したがって強化フェノール樹脂(布)に関しては低高温域における衝撃強度は常温(25°C)に比し大差なきものと推察される。

第3章 ウエザリング後の強度に関する研究

3.1 供試材料

ポリエスチル板

エポキシ板

フェノール板

硬質塩化ビニル板

3.2 試験内容

3.2.1 屋外曝露試験

曝露開始期日 昭和35年11月14日

曝露期間 半年終了期日 昭和36年5月13日

〃 1年 〃 昭和36年11月13日

曝露場所 南向仰角35°22' (東京都江東区豊洲)

上記期間中屋外曝露を行ない外観検査および物理的性質の変化を調査測定した。

3.2.2 ウエザ・メータによる曝露試験

ウエザ・メータ……電源 200V 9KVA

紫外線カーボンアーカー 2本フィルターUVD 1付 (310~400m/l)

試験条件……曝露表面温度45°Cに調整 (max65°C~min35°C)

スプレー照射時間 (東京降雨相当量) 120分に18分

ドラム回転速度 1 rpm

照射量 30×10^3 カウント

照射時間 60, 120, 240 hr (各時間照射)

上記条件にて曝露外観および物理的性質の変化を測定した。

3.3 試験方法

ウエザ・メータによる曝露後の試料の物理的性質の測定は次の試験方法によった。

3.3.1 外観検査 肉眼検査

3.3.2 引張試験 アムスラ試験機 (荷重速度 20mm/min)

3.3.3 衝撃試験 シャルピ (0.3kg-m衝撃試験)

3.3.4 疲労強度試験 シエンク疲労試験機

小野式回転疲労試験機

3.4 試験結果

3.4.1 外観試験

この試験では硬質塩化ビニル樹脂の退色、変色はきわめて少なく、表面の粗度変化もほとんどなか

った。強化フェノール樹脂(布)の退色は大きく、しかも、表面の粗度変化も曝露時間の増大とともに荒くなった。強化ポリエステル(ガラス)の退色はきわめて大きいが表面粗度はあまり大きい変化がなかった。強化エポキシ(ガラス)の変色は小さく表面粗度も小さいが240hrの照射で大きな凹状の粗面が見られたが、一般にいずれも肉眼では亀裂の発生を検出できなかった。(表3.1参照)

表 3.1

			60 hr 曝露	120 hr 曝露	240 hr 曝露
強化ポリエステル樹脂(ガラス)	色の変化	曝露面が黄色に変色	曝露面がやや褐色に変色	曝露面が褐色に変色	
	表面の粗度	やや粗面となる	より粗面となる	より粗面となる 55/60%	
強化エポキシ樹脂(ガラス)	色の変化	やや退色	退色退色	退色退色	
	表面の粗度	少し粗となる	少し粗となる	少し粗となる 54/51%	
強化フェノール樹脂(布)	色の変化	やや退色	退色褐色	退色褐色に変色	
	表面の粗度	やや粗となる	少し粗となる	さらに粗となる 60/55%	
硬質塩化ビニル樹脂	色の変化	ほとんど変化なし	やや淡色となる	少し淡色となる	
	表面の粗度	ほとんど変化なし	ほとんど変化なし	ほとんど変化なし 9/9%	

〔注〕1) ※印 この数字はバーコール硬度(曝露後の硬度/曝露前の硬度)を表わす。

2) 表面粗度は小坂式粗度計にて測定。

3) 表面粗度の程度は表面粗さ測定表参照。

4) 変色の程度は富士カラーフィルムに写録。

3.4.2 引張強度

表 3.2

		曝露前	60 hr 曝露後		120 hr 曝露後		240 hr 曝露後	
			引張強度	引張強度 Kg/mm ²	強度低下率 %	引張強度	強度低下率 %	引張強度 Kg/mm ²
								%
強化(ボリラエス)テ	平均値	26.0	26.5	+ 1.9%	28.0	+ 7.7%	25.2	- 3.0%
	信頼限界		± 0.6		± 1.8		± 2.64	
	最高値	22.1	25.9		27.1		23.7	
	最低値	28.0	27.1		28.6		28.7	
強化(エラボス)シ	平均値	23.9	25.4	+ 6.1%	25.4	+ 6.1%	27	± 13.0%
	信頼限界		± 2.1		± 1.25		± 2.36	
	最高値	18.2	23.9		24.6		25.4	
	最低値	25.8	26.9		26.9		30.1	
強化(布エ)ノール	平均値	10.2	10.2	0%	8.5	- 15.7%	10.2	0%
	信頼限界		± 1.4		± 2.0		± 1.22	
	最高値	9.6	8.0		6.4		8.7	
	最低値	10.9	11.0		10.2		10.8	
硬質塩化ビニル	平均値	6.2	7.3	+ 17.7%	7.3	+ 17.7%	7.7	+ 24.2%
	信頼限界		± 0.24		± 0.28		± 0.44	
	最高値	5.8	7.0		7.0		7.4	
	最低値	6.5	7.5		7.5		8.3	

試験の結果は表3.2および図3.1に示すとおりで、概要を以下に述べる。

一般に 240 hr 照射の下では照射時間の経過とともに強度の低下はほとんど見られなかつた。

強化ポリエステル（ガラス）の強度は時間とともに増大し 120 hr 曜露を頂点にしてその時間とともに低下した。

強化エポキシ（ガラス）の強度は時間とともに増大する傾向を示した。

強化フェノール（布）の強度は時間とともに減少の傾向を示した。

塩化ビニルの強度は時間とともに増大する傾向を示した。（図 3.1 参照）

したがつて多少の曝露によって著しい強度の変化は見られない。

3.4.3 衝撃試験

試験結果

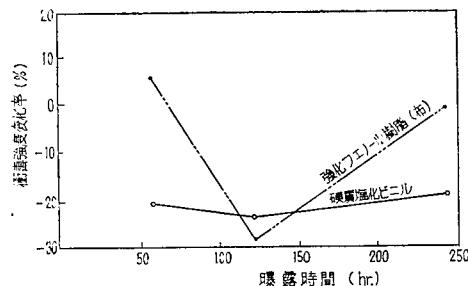


図 3.2 強度低下率関係図表

3.4.4 疲労試験

(a) 小野式疲労試験

表 3.3 小野式回転曲げ疲労試験結果 (1,700 rpm) 室温 12°C~18°C

項目 材 料	処理条件 (ウェザリング)	符号	直 径 (mm)	荷重 (kg)	応 力 (kg/mm ²)	破断までの繰返数	備 考
硬質塩化ビニル樹脂	60 hr	1	11.98	2.0	1.2	10,500,000	破断せず
		2	〃	3.0	1.8	155,900	A 破断
	120 hr	3	11.98	3.0	1.8	205,000	B 破断
		4	11.95	2.2	1.3	2,222,300	A 〃
	240 hr	5	11.99	3.0	1.8	171,600	A 破断
		6	12.00	2.5	1.5	212,600	A 〃
		7	11.98	2.0	1.2	10,320,000	破断せず

強化ポリエスチル樹脂 (ガラス)	60 hr	1	11.99	9.0	5.3	10,255,000	破断せず
		2	12.00	11.0	6.4	4,850,000	〃
		2'	〃	14.0	8.2	25,900	応力増加B破断
	120 hr	3	12.00	12.0	7.0	949,400	B 破断
		4	〃	11.0	6.4	2,313,500	B 〃
	240 hr	5	12.00	14.0	8.2	22,400	A 破断
		6	〃	12.0	7.0	814,300	A 〃
		7	〃	10.5	6.1	9,980,300	B 〃
	60 hr	1	11.99	7.0	4.1	96,500	A 破断
		2	12.00	5.5	3.2	5,481,900	B 〃
	120 hr	3	11.99	7.0	4.1	59,800	A 破断
		4	12.00	5.5	3.2	9,130,900	B 〃
	240 hr	5	11.99	7.0	4.1	51,900	A 破断
		6	〃	6.0	3.5	1,083,200	B 〃
		7	〃	5.0	2.9	15,240,300	破断せず

(b) シェンク式曲げ疲労試験

表 3.4 シェンク式曲げ疲労試験結果 (曲げ速度 3,600 rpm)

項目 材料条件	処理条件 (ウェザリング)	符 号	板 厚 (mm)	巾 (mm)	初 応 力 (kg/mm ²)	破断までの 線返 数	備 考
硬質塩化ビニル樹脂	60 hr	W 3	5.50	20.00	3.5	120,000	
		W 4	5.39	20.00	2.4	3,062,900	チャック内破断
	120 hr	W 1	5.48	20.00	2.3	120,000	
		W 2	5.46	20.00	1.6	5,952,000	チャック内破断
	240 hr	W 5	5.47	20.00	4.0	60,000	
		W 6	5.34	20.00	2.4	1,074,500	チャック内破断
		W 7	5.42	20.00	3.2	135,700	
強化ポリエスチル樹脂 (ガラス)	60 hr	W 3	4.57	20.00	9.0	1,432,500	破断せず
		W 4	4.52	20.00	10.6	47,000	
	120 hr	W 1	4.24	20.00	10.8	19,500	
		W 2	5.00	20.00	8.2	10,050,000	破断せず
	240 hr	W 5	4.90	20.00	10.1	2,000	
		W 6	4.38	20.00	8.6	20,000,000	破断せず
		W 7	4.78	20.00	9.2	105,000	
強化エポキシ樹脂 (ガラス)	60 hr	W 3	5.41	20.00	12.4	11,000	
		W 4	5.34	20.00	9.4	137,500	
	120 hr	W 1	5.41	20.00	10.3	5,000,000	破断せず
		W 2	5.24	20.00	15.6	10,100	
	240 hr	W 5	5.34	20.00	12.5	15,000	
		W 6	5.34	20.00	9.7	10,000,000	破断せず

	60 hr	W 3 W 4	5.24 5.15	20.00 20.00	6.5 5.2	1,825,000 8,554,400	
強化フェノール樹脂 (布)	120 hr	W 1 W 2	5.20 5.02	20.00 20.00	6.1 5.1	1,291,00 14,982,900	
		W 5 W 6 W 7	5.32 5.31 5.27	20.00 20.00 20.00	7.6 6.0 4.6	44,500 173,000 10,050,000	
	240 hr						

(c) 疲労試験総括表

表 3.5 疲労試験結果総括表

樹脂名	10 ⁷ サイクルにおける室温疲労強度		10 ⁷ サイクルにおける高溫疲労強度						10 ⁷ サイクルにおけるウエザリング後の疲労強度						60 hr			120 hr			240 hr		
	小野式	シエンク式	小野式		シエンク式		小野式			シエンク式			60 hr			120 hr			240 hr				
			100°C	150°C	100°C	150°C	60 hr	120 hr	240 hr	60 hr	120 hr	240 hr	60 hr	120 hr	240 hr	60 hr	120 hr	240 hr					
環状塩化ビニル 樹脂	1.0	1.5	±0	±0	±0	±0	1.2	1.2	1.2	2.4	1.5	2.2											
強化ポリエステル 樹脂 (ガラス)	5.5	4.5	0.9	<0.6	1.8	±0	6.5	5.5	6.1	8.0	8.0	8.4											
強化エポキシ樹脂 (ガラス)	-	7.6	-	-	1.5	±0	-	-	-	8.4	11.0	9.5											
強化フェノール 樹脂 (ガラス)	6.4	7.4	5.0	1.8	6.6	5.8	-	-	-	-	-	-											
(布)	3.3	3.8	2.2	<0.6	2.5	1.9	3.0	3.2	3.1	5.1	5.0	4.5											

240hr 曝露後においても疲労強度は変わらない。むしろ強化ポリエステル樹脂、強化エポキシ樹脂においてはやや疲労強度が増大していることは after cure による影響と考えられる。

3.5 結び

以上、一般に 1 年間相当の曝露試験後も、引張強度、衝撃強度、疲労強度に変化なく、耐候性は良好である。しかし色の変化が大きく外観をそこねるおそれがある。

第4章 海水浸漬後の強度に関する研究

4.1 使用材料仕様

表4.1に記載のとおりである。

試験片の寸法は20mm×20mm, 厚さは20mm(エポキシのみ10mm)。

4.2 試験項目および方法

表4.1

測定項目	3%海水常温 浸漬期間(月)	試験の方法
吸水量測定	1カ月	試料の切削面はすべて塩化ビニル樹脂塗料でシールし、表面よりの吸水量を測定、吸水面積は8cm ² で実施しmg/100cm ² で表わした。
	2 "	
	3 "	
引張試験	1 "	アムスラ試験機にて引張強度を室温(20~23°C)で測定した。
	2 "	
	3 "	
シャルビ 衝撃試験	1 "	3.0kg·cmおよび1.50kg·cmシャルビ衝撃試験機にて衝撃値を(20~23°C)で測定した。
	2 "	
	3 "	
小野式疲労試験	3 "	

4.3 試験結果

4.3.1 吸水量測定

海水(3%NaCl)中浸漬後の吸水量は表4.2に示すとおりで硬質塩化ビニル樹脂、強化ポリエスチル樹脂(ガラス)、強化エポキシ樹脂(ガラス)が120mg/100cm²前後で吸水量は少ないが、強化フェノール樹脂はガラス繊維、布基材とともに3者に比べて著しく吸水量大(約2,000mg/100cm²)であり、これらの結果よりすれば、強化フェノール樹脂は樹脂自体の吸水性が大きいことが認められる。

表4.2

樹脂名	海水浸漬1ヶ月		海水浸漬2ヶ月		海水浸漬3ヶ月	
	%	mg/100cm ²	%	mg/100cm ²	%	mg/100cm ²
硬質塩化ビニル樹脂	0.050	73.5	0.059	85.4	0.072	104.2
強化ポリエスチル樹脂 (ガラス)	0.041	76.4	0.062	116.7	0.072	132.1
・エポキシ樹脂 (ガラス)	0.079	70.0	0.110	97.5	0.136	117.7
・フェノール樹脂(ガラス)	0.937	16522	1.248	21938	1.363	24307
・ (布)	0.718	960.2	0.962	12881	1.139	1555.7

4.3.2 引張試験

海水浸漬後の引張強度は表4.3に示すとおりで、各樹脂とも2カ月後において最高強度を示し、3カ月後においてもほとんど変らず、船体上部構造として取付けた際、風雨、波浪に対して十分な耐水性を有することが立証されている。また、強化ポリエステル樹脂、強化エポキシ樹脂、強化フェノール樹脂等のガラス繊維補強材は、強度的には優れているが標準偏差が大きく、したがって強度設計にはFRPの本質的な性質について考慮の要があり、主原料の選択と組合せ、重合度、成形条件、ガラス繊維の種類等により性質が異なるため、構造用材料として使用個處に応じた樹脂の選別、許容値の推定等が重要な問題となる。

表 4.3

樹脂名	浸漬1ヶ月			浸漬2ヶ月			浸漬3ヶ月		
	引張強度 (Kg/mm ²)	標準偏差	最小最大 値範囲 (Kg/mm ²)	引張強度 (Kg/mm ²)	標準偏差	最小最大 値範囲 (Kg/mm ²)	引張強度 (Kg/mm ²)	標準偏差	最小最大 値範囲 (Kg/mm ²)
塩化ビニル樹脂	6.2	0.28	5.8 ~ 6.6	6.6	0.75	6.4 ~ 6.9	6.5	0.49	6.3 ~ 6.7
強化ポリエステル樹脂 (ガラス)	26.0	2.64	22.1 ~ 28.0	27.5	1.75	25.9 ~ 28.3	25.8	1.59	25.3 ~ 27.1
・ エポキシ樹脂 (ガラス)	22.2	2.87	18.5 ~ 25.8	25.8	1.93	22.9 ~ 28.7	23.8	1.55	23.3 ~ 25.2
・ フェノール樹脂(ガラス)	20.6	1.47	18.9 ~ 22.0	22.7	0.93	21.5 ~ 24.1	21.8	1.81	19.1 ~ 23.5
・ (布)	10.2	0.58	9.6 ~ 10.9	10.6	0.40	9.7 ~ 11.3	9.2	0.90	7.2 ~ 10.2

〔注〕 表中の引張強度は5本の平均値である。

4.3.3 衝撃試験

海水浸漬後の衝撃強度は浸漬3ヶ月においても各樹脂とも大した強度低下は見られず長期浸漬で上昇しているものもあり、むしろ各試料(特にFRP)のデータ間に相当のバラツキがあるのが目立った。これらの結果より観察すれば、引張試験と同様、ガラス繊維補強材は強度的には優れているが標準偏差が大きく、非金属材料の難点とされている不均質性が顕著である。

表 4.4

樹脂名	浸漬1ヶ月			浸漬2ヶ月			浸漬3ヶ月		
	エネルギー (Kg/cm ²)	標準偏差	最小最大 値範囲 (Kg/cm ²)	エネルギー (Kg/cm ²)	標準偏差	最小最大 値範囲 (Kg/cm ²)	エネルギー (Kg/cm ²)	標準偏差	最小最大 値範囲 (Kg/cm ²)
塩化ビニル樹脂	15.7	1.27	14.7 ~ 16.5	15.3	6.56	12.2 ~ 17.5	15.9	0.89	15.4 ~ 16.4
強化ポリエステル樹脂 (ガラス)	18.9.4	1.77.8	16.48 ~ 21.4.4	18.0.7	1.68.1	15.7.1 ~ 20.1.9	18.0.2	9.6.4	17.1.2 ~ 19.6.4
・ エポキシ樹脂 (ガラス)	9.80	1.10.8	8.82 ~ 18.6	13.8.3	1.69.2	12.2.6 ~ 17.1.8	10.3.6	1.42.8	8.6.5 ~ 15.4.2
・ フェノール樹脂(ガラス)	11.3.8	8.29	9.80 ~ 12.3.9	11.7.2	6.6.3	11.0.2 ~ 12.6.8	12.4.9	7.2.6	11.5.0 ~ 13.7.5
・ (布)	14.4	0.28	14.1 ~ 14.9	16.8	5.08	12.7 ~ 20.5	16.5	2.19	12.6 ~ 18.2

〔注〕 上表中の衝撃エネルギーは5本の平均値を示す。

4.4 結論

4.4.1 吸水性

硬質塩化ビニル樹脂、強化ポリエステル樹脂(ガラス)、強化エポキシ樹脂(ガラス)が3ヶ月浸漬において120mg/100cm²前後で吸水量は少ないが、強化フェノール樹脂は布およびガラス繊維基材とともに吸水性がきわめて大きい。

これはシーリング方法もさることながら樹脂自体の吸水性に基因するものと思われる所以、船体

とくに曝露部材としての使用に際しては樹脂の選択および施工時の注意が肝要であろう。

4.4.2 引張試験

海水中長期浸漬においても強度的にはほとんど変化をきたさないことが明確となり、船体上部構造として取付けた際、風雨波浪に対して十分な耐水性が立証され、また、FRP は非補強材に比べて卓越した強さを示している。しかし、一方においては強度偏差が大きいため、強度設計には許容値の推定が問題であるものと思われる。

4.4.3 衝撃試験

引張試験と同様、大した強度低下は見られず耐海水性は認められるが、FRP 材料は強度的には優れているが偏差が大きい。

また外見上、無欠陥に見えても気孔、キズ等が存在するものと思われ、同一板よりの加工でも不均一性が顕著であり、一応、切欠き性を有するものと推察されるので、この点の考慮が肝要である。

第5章 接着継手の強度および接着工作法に関する研究

5.1 供試材料および接着剤

材 料……強化ポリエスチル板（ウエザリング供試材料と同じ）エポキシ板，フェノール板，塩化ビニル板，塩化ビニルパイプ，鋼板（SS），アルミニウム板

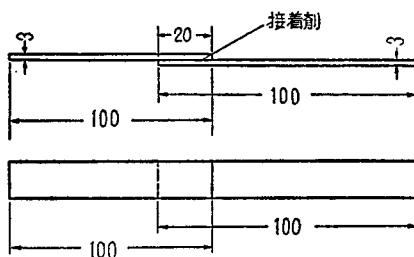
接着剤……エポキシ接着剤（金属接着用，プラスチック相互の接着用），ポリエスチル接着剤，フェノール樹脂接着剤，塩化ビニル接着剤

5.2 試験方法

接着工作についての適切な条件を見出し上記各種接着剤を使用した場合の接着強度について次の方
法で試験を行なった。

5.2.1 試験片寸法

（単位：mm）



5.2.2 接着力試験

接着強度は 2 Ton アムスラ試験機で試験片を 40mm/min の速度で引張り，剪断剝離した場
合の強度（次式）で表した。

$$\text{接着強度} = \frac{\text{剪断剝離荷重 (kg)}}{\text{オーバラップ面積 (cm}^2\text{)}}$$

5.3 試験結果

5.3.1 接着工作法のための接着条件に関する試験

(a) 試験概要

実際に現場で接着を行なう場合，複雑な操作や条件を必要とせず，誰が接着施工しても均
一な接着強度を得るような接着剤であり，接着工作条件でなければならない。特に造船工場に
おいては現場接着のケースが多いと思われる。また工作上，精密な接着は不可能であり，ある
程度バラツキた作業となるので，考えられる各種の接着条件下で接着した場合，強度にどの程
度のバラツキがあるか，また，どの条件が比較的適当かを見出すために，以下 L16 (2¹⁶) 型
直交配列実験計画に基づいて行なった。

一方各種接着についての強度データについては，比較的にそのデータが多いので各種接着剤

の比較試験は行なわなかった。

(b) 実験計画

L 16 (2¹⁵) 型直交配列実験に基づいて行なった。

接着手順の中で下記の主な要因となるものの中で温度を削除したのは、実験に際して温度をかえて実験することが困難であったからである。

	要 因	水 適	
A	表面の粗度	そのまま	ペーパがけしたもの
B	脱 脂	したもの	しないもの
C	混合後の時間	40分以内	60分以上
D	接着時の湿度	常 湿	湿度100% (その温度において)
E	接着剤の量	多め (2回ぬり)	少なめ (1回ぬり)
F	圧 力	かける	かけない
G	接着後の放置時間	3日	1週間

被接着面……プレス面そのものと (平面), バンドソウ切断面 (粗面) そのものの 2通りについて行なった。

金属板の被接着面……鋼板面をシェパで水平面に仕上げたもの (平面), サンドペーパでこすったもの (粗面) の 2通り。(サンドペーパ JIS AA-100)

脱脂の状態……エーテル溶剤で拭きとったもの (脱脂したもの) およびそのままのもの (脱脂しないもの)。

混合後の時間……接着剤を 5.3 項のとおり調整してから 40 分以内に接着したもの。60 分以後接着したもの 2通り。

接着時の湿度……常温, 常湿したもの (湿度の少ないもの), 水飽和のデシケータ中に接着剤, パードナ長時間放置したもの (湿度の多いもの) の 2通り。

接着剤の量……ガラス棒にて 1 回塗布したもの (少なめのもの), 2 回塗布したもの (多めのもの) の 2通り。平均厚みはそれぞれ約 0.07, 0.02mm。

圧 力……ピンチコックでしめつけたもの (圧力をかけたもの), 試験片の自重で接着したもの (圧力をかけないもの) の 2通り。

接着後の放置時間……接着してから試験機にかけるまでの時間 3 日 (放置時間 3 日), 1 週間 (放置時間 1 週間) の 2通り。

要 因	C	D	E	F	B	A	G
混合後の時間	1	2	4	8	10	12	15
※	40分以内	湿度多め	多め	かける	したもの	しないもの	多い
1	40分以内	湿度多め	多め	かけない	しないもの	ペーパがけしたもの	少ない
2	40分以内	湿度多め	少なめ	かける	したもの	ペーパがけしたもの	少ない
3	40分以内	湿度多め	少なめ	かける	したもの	ペーパがけしたもの	少ない

4	40分以内	湿度多め	少なめ	かけない	しないもの	しないもの	多い
5	40分以内	湿度少なめ	多め	かける	しないもの	しないもの	少ない
6	40分以内	湿度少なめ	多め	かけない	したもの	ペーパがけしたもの	多い
7	40分以内	湿度少なめ	少なめ	かける	しないもの	ペーパがけしたもの	多い
8	40分以内	湿度少なめ	少なめ	かけない	したもの	しないもの	少ない
9	60分以上	湿度多め	多め	かける	したもの	しないもの	少ない
10	60分以上	湿度多め	多め	かけない	しないもの	ペーパがけしたもの	多い
11	60分以上	湿度多め	少なめ	かける	したもの	ペーパがけしたもの	多い
12	60分以上	湿度多め	少なめ	かけない	しないもの	しないもの	少ない
13	60分以上	湿度少なめ	多め	かける	しないもの	しないもの	多い
14	60分以上	湿度少なめ	多め	かけない	したもの	ペーパがけしたもの	少ない
15	60分以上	湿度少なめ	少なめ	かける	しないもの	ペーパがけしたもの	少ない
16	60分以上	湿度少なめ	少なめ	かけない	したもの	しないもの	多い

※ 実験回数 No.

(c) 試験結果

(i) ポリエステルによるポリエステル相互の冷間接着

特に被接着面を粗面とし加圧接着により良い接着効果をうる。しかしエポキシ系接着剤による接着が効果的である。

	状態	接着力 Kg/cm ²
表面の粗度	粗面	32.0
	そのまま	28.1
圧力	加圧	33.2
	加圧しないもの	26.9

(ii) フェノール樹脂によるフェノール相互の冷間接着

フェノール相互の接着は、あまり良い効果を示さなかったが、エポキシ樹脂接着剤による接着が効果的である。

	状態	接着力 Kg/cm ²
脱脂の度合	脱脂したもの	20.5
	しないもの	16.9
湿度の条件	湿度多め	22.9
	普通の湿度	14.9
圧力	加圧したとき	21.1
	しないとき	15.9
放置時間	3日放置	15.4
	7日放置	21.6

(iii) 塩化ビニル接着剤による塩化ビニルの接着

塩化ビニルにおいては成形した平滑な面を脱脂したそのままの面に対して良い接着性を示し、適当な圧力下で一定時間放置するとさらによい。

一般に被接着面を乾燥させ、接着時に表面を軽く溶剤で再湿するか、加熱、加圧して接着するのが良いとされている。

	状態	接着力 kg/cm^2
接着剤	多め（2回ぬり）	36.9
	少なめ（1回ぬり）	31.4
加圧	加圧したもの	37.5
	加圧しないもの	30.7

(iv) エポキシ樹脂-Bによるビニル板相互の接着

ビニル板相互の接着は異種の接着剤よりも同系統の塩化ビニル接着剤で施工するのが効果的である。

	状態	接着力 kg/cm^2
粗度	粗面	7.5
	そのまま	7.7
開缶後接着剤の放置時間	40分以内	7.9
	60分以上	7.1
湿度条件	湿度多め	6.1
	普通の湿度	9.0

(v) エポキシ樹脂-Aによる鋼板相互の接着

エポキシ樹脂系接着剤の説明書によれば $70\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 110\text{kg}/\text{cm}^2$ の接着力があるとしているが、これに期待した程の接着力が得られず $71.5\text{kg}/\text{cm}^2$ の強度を示した。

	状態	接着力 kg/cm^2
湿度の条件	湿度多め	62.1
	普通の湿度	67.9
放置時間	3日間放置	62.0
	7日間放置	68.0

接着時における環境湿度に悪影響を受けるので湿気に対しては十分注意を要する。

被接着面のサンドブラスト処理によりさらに粗面とすることにより、一層の接着効果をうることが考えられる。

(vi) アルミ相互の接着

これも上記同様で約 $69\text{kg}/\text{cm}^2$ の強

	状態	接着力 kg/cm^2
粗度	粗面	32.2
	そのまま	19.8
開缶後接着剤の放置時間	40分以内	30.5
	60分以上	21.5
加圧	加圧したもの	31.0
	加圧しないもの	21.0
放置時間	3日放置	33.7
	7日放置	18.3

度を示した。

(vii) エポキシ樹脂-Bによるポリエステル板相互の接着

このペースト状の接着剤では巨視的な粗面に対して良い接着性を示した。

また一方湿分により悪影響を受けるので注意を要する。

	状 態	接着力 Kg/cm ²
粗 度	粗 面	34.0
	そ の ま ま	51.8
湿度の条件	湿度多め	34.8
	普通の湿度	50.4

(viii) エポキシ樹脂-Bによるフェノール相互の冷間接着

加圧接着が良い効果を示し一方湿分により悪影響を受ける。

	状 態	接着力 Kg/cm ²
粗 度	粗 度	34.0
	そ の ま ま	51.2
開缶後の接着剤の放置時間	40分以内	37.5
	60分以上	50.8
湿度の条件	湿度多め	30.3
	普通の湿度	57.9

	状 態	接着力 Kg/cm ²
粗 度	粗 面	67.8
	そ の ま ま	62.2
湿度条件	湿度多め	60.6
	普通の湿度	69.3
接着剤	接着剤1回ぬり	61.6
	" 2回ぬり	67.4

(ix) 鋼板-ポリエステルの接着

ポリエステル-鋼板は 71kg/cm² の接着力を示した。(面の荒さは特別に研磨しなくても平滑な面そのまで、あるいは軽くサンドペーパでこすった状態)。

特に湿気の多い場合は接着効果が落ちるので乾燥を行なってから接着すべきである。

被接着面をサンドブラスト処理すればなお良い接着力をうると考えられる。

	状 態	接着力 Kg/cm ²
湿度条件	湿度多め	57.9
	普通の湿度	67.1

(x) アルミ-ポリエステル

上記同様に約 64.6kg/cm² の接着力を示した。

	状 態	接着力 Kg/cm ²
湿度条件	湿度多め	57.4
	普通の湿度	63.6
圧 力	加圧したもの	57.0
	加圧しないもの	64.0
放置時間	3日間放置	56.4
	7日間放置	64.5

5.3.2 接着継手強度試験

適当と考えられる接着要領で接着した場合の接着平均強度

接着剤	被接着剤	平均強度 %
ポリエステル接着剤	ポリエステル相互	33.2 ± 1.2
フェノール接着剤	フェノール相互	26.7 ± 5
塩化ビニル接着剤	塩化ビニル相互	61.7 ± 7
エポキシーB接着剤	ポリエステル相互	50.4 ± 9
	フェノール相互	30.9 ± 6
	塩化ビニル相互	9 ± 5
	鋼板相互	71.5 ± 8
エポキシーA接着剤	アルミ板相互	69.3 ± 8
	鋼板-ポリエステル板	7.1 ± 8
	アルミ板-ポリエステル板	64.6 ± 9

サンドブラスト処理した場合の接着強度

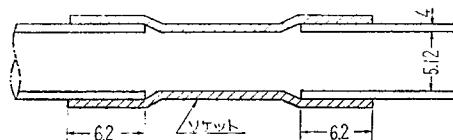
エポキシーAを使用した場合

	強度 %	放置日数	温度 °C
鋼板相互	150	7	20~25
アルミ相互	100	4	#
ポリエステル相互	74	4	#

エポキシ接着剤K-5を使用した場合

鋼板相互	210	3	20~25
------	-----	---	-------

塩化ビニルパイプを接着した場合 (単位: mm)



接着後の強度	接着面積 cm ²	荷重 kg	接着強度 %
1日放置後	108	1,200	11.2
3日 "	0	3,740	ソケット部で破断および接着部剥離破断, 強度 540%, 推定接着力 35%以上

5.4 結び

5.4.1 接着の設計施工について

接合部分の設計にあたっては、接着ジョイントの応力を考慮しなければならない。

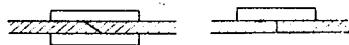
一般に接着力は抗張応力に対しては強く、圧縮剪断応力および引張剪断応力にも強いが、剥離応力（引きはがす力）に対しては弱い。したがって設計に当って接着剤層が抗張力または剪断力で負荷されるように考慮すべきであろう。したがって高度の接着力を必要とする場合は、次の接着法が

適当であろう。

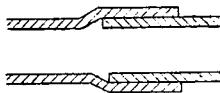
(a) 板の場合



上図のようなオーバーラップ形が適当であり、また次のダブルストラップ形またはストラップ形、方法も適当のようである。また必要に応じボルト継手の併用と考慮すればよい。



(b) パイプの場合



5.4.2 適当と思われる接着要領

接着施工に当って被接着面は一般に粗面とし（ビニル相互の接着のごとく粗面の必要性の無いものもある）。軽金属の場合は酸洗い（pickling process）乾燥後短時間内に接着するとさらに良い効果を得ることができるとされている。また銅、鉄および銅合金類はサンドブラストまたはサンドペーパで表面を磨いて鋸を十分に落し、被接着面を粗面とする。次いで、被接着体の接着面から、塵埃、油分等をトリクロロエチレンまたは適当な溶剤で完全に取り除き、接着剤を刷毛またはヘラにてこすりながら被接着面を十分にぬらし（大きい接着面ではスプレーガン吹付け、浸漬法も考えられる）密着させる。特にエポキシ系接着剤においては接着剤を塗布後、直ちに密着させる。（湿気を吸わせて硬化反応を遅らせたりしないように）

また調合した接着剤の寿命は予め計算しておき寿命内で使うようにすること。また接着面は十分に乾燥されていることが大切である。密着させてから硬化するまで静置し必要に応じて圧力を加える。その際接着剤が周辺にはみでてくるが外観上有害でなければそのまま放置するのが得策で全体の接着強度も強くなる。

接着剤の塗布量は多くても少なくとも不適当なので最適量を予め決めておく必要がある。（塗布厚み 0.1mm～0.2mm が適当）。接着剤は開缶したまま放置および吸湿させてはならない。

5.4.3 接着強度

- (a) 強化プラスチック相互の接着、金属-強化プラスチック間接着にエポキシ系接着剤が良い。
- (b) 塩化ビニル相互の接着には塩化ビニル接着剤が良い。

その他接着剤は多数市販されており、実際に供した試料が最適とは結論できないので、目的に応じて接着剤の選定が必要である。

なお、接着面の粗度および接着後の養生放置時の温度および時間は、その接着剤に応じて決定されるのが望ましいと考える。

第6章 溶接継手の強度および溶接工作法に関する研究

6.1 溶接方法および装置の概要

6.1.1 熱風溶接法

この原理は気体（主として空気）を電熱で加熱し、熱風を溶接部に噴射するものである。

溶接の必要条件としては温度、速度、溶接棒の加圧力、角度等である。

また、熱風溶接に必要な備品は圧力計、流量計、加熱装置（ホット・ジェット・ガン）、圧縮機（コンプレッサ）、圧力調整器および電圧調整器などである。

6.1.2 摩擦溶接法

相互の溶接部に起る摩擦熱により溶着せしめるもので、すなわち、相互の溶接面を加圧し、一方を固定し、他方を回転させて熱を発生させる。

この特徴は溶接の迅速化、溶接棒の不用等があげられるが、高精度を期待することができない。

6.1.3 热器具溶接法

溶接部寸前にヒータ（電熱コイル）を入れその輻射熱で溶接部を溶融加圧して、溶着させる方式である。

6.1.4 超音波溶接

外部から加熱する必要のない新しい溶接方法であり、非常に短時間に接合できるが、一般には不向きで、ごく特殊な場合に限られている。

6.1.5 高周波溶接

高周波電流を溶接部に通じ材料内部に摩擦を発生せしめ、前記摩擦溶接と同様な原理で溶着する。

6.2 自動溶接に関する1.2の実験

6.2.1 溶接装置の性能に関する実験（熱風温度の計測）

ホットジェット形式の溶接においては熱風温度は溶接施工の良否を左右する大変重要な因子で、対象となるプラスチックの材質、形状、寸法に応じて最適の温度が選ばれねばならない。

ところで、この熱風温度は、加熱線にかける電圧、空気流量、室温、ノズル径、ノズル先端からの距離、ノズル角度等によって決められる。試作自動溶接装置を対象として、これらの条件を若干変えた場合について熱風温度の計測実験を行なった。

実験結果の1例を表6.1に示す。

このような表を作成しておけば、実際の溶接温度を知る上にも、また溶接条件の設定の際にも便利である。

多層溶接の場合、開先内溶接の場合には、さらに熱風の拡がり、熱風の吹きつけ角度なども大切な問題であり、これらについてはノズル形状を種々変えて実験されている。

表 6.1 热風噴射ガンの各種位置における熱風温度計測結果

ノズルの直径 (mmφ)	電圧 (V)	ノズル尖端よりの距離 (mm)			
		20	15	10	5
1	1 (40)	37	42	47	55
	2 (60)	53	62	68	80
	3 (80)	72	80	87	100
	4 (100)	78	92	108	130
2	1 (40)	50	56	63	67
	2 (60)	76	88	101	109
	3 (80)	106	120	136	154
	4 (100)	128	154	175	200
3	1 (40)	60	65	70	72
	2 (60)	98	111	122	128
	3 (80)	132	157	176	187
	4 (100)	172	199	225	244
4	1 (40)	64	69	71	72
	2 (60)	104	117	127	131
	3 (80)	154	168	184	186
	4 (100)	198	206	240	255

〔注〕 室温=15°C

ノズルの傾斜角=90°

アルコール温度計で計測

6.2.2 ビード溶接に関する実験

(a) 溶接速度

プラスチックの溶接は材料をその融点以上に加熱して分子活動の盛んな状態にして接合するもので接合しようとする材料および溶接棒を均一に、しかも適正な温度に加熱しなければならない。温度が高すぎると分解点に達するので、加熱温度の許容範囲も比較的せまく、したがって溶接速度は一般に金属の手アーク溶接より遅いのが普通である。プラスチックの溶接作業性を検討するため、溶接速度を 50~200mm/min に変化させて行なったビード溶接実験 (11+例) の結果の 1 例を表 6.2 に示す。なお速度を増すためには熱風の集中性を良くしなければならないが、そのためにはノズル角度やノズル位置、さらに熱風温度も当然それに応じて変えなければならない。それらの数値もあわせて示した。

(b) 溶接棒の伸び

これは溶接棒消費長さとビード長さの差を指す。表 6.2 にも示されるようにビード長さと溶接棒使用量との比の値はかなり変動しているが、この値の大きなものすなわち棒を伸ばして使っているものは、その温度依存性の特性により再加熱するとブツブツに切れてしまう。したがって、溶接法としてはなるべく棒を伸ばさないで使用することが好ましい。このためには棒の送り方法、溶接速度、ローラ押し圧、熱風温度、棒保持角度などが影響てくるが、本試作装置は棒送り機構を設けてないので、主として溶接速度によってこれが左右される。

また、上記のごとく、棒送り、溶接速度、ローラ押し圧等によって棒の溶着様相が變るので、注意しなければならない。

表 6.2 プラスチック板の自動溶接の溶接条件(ビード溶接)

試験番号	ローラ海の ノズル 内径 (mm)	ヒータ 番号	溶接棒 の角度 (°)	ガンの 傾斜角 (°)	寸法			温 度 (°C)	速 度 (mm/min)	溶接棒 の長さ (mm)	ビードの 伸び (%)	評 価 値	備 考
					L (mm)	H (mm)	C (mm)						
1	3	3	4	70	50	15~16	8~9	6~7	100	230	500	213.0	◎ 良好
2	"	"	"	55	35	18~19	7~8	7~8	50	330	"	151.5	◎ "
3	"	"	"	"	"	16~17	5~6	"	100	270	"	196.2	◎ "
4	"	"	"	"	"	13~14	3~4	"	150	240	"	208.3	○ やや良
5	"	"	"	43	20	16~17	1	8~9	"	210	380	180.9	◎ 良好
6	"	"	"	"	"	14~15	"	7~8	200	"	"	X 溶接不能	
7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	210	380	160.9	○ やや良 スプリング強
8	"	"	"	"	"	"	"	"	150	"	"	"	◎ 良好 スプリング中
9	"	"	3	40	"	"	"	"	"	"	"	"	X 溶接不能
10	"	"	4	"	"	15~16	2	"	"	310	490	150.0	◎ 良好
11	"	"	"	"	"	15~16	1.5	9~10	170	360	"	136.1	○ やや良 不完全溶接
12	"	"	"	55	35	"	6	6~7	"	220	"	222.7	◎ 良好
13	"	"	"	35	20	13~15	1~8	7~8	"	400	450	112.5	◎ "
14	4	2	3	70	50	8~9	3	"	130	220	480	216.1	◎ "
15	"	"	"	"	8	"	6~7	"	150	200	"	240.0	○ やや良
16	"	"	"	"	"	7~8	"	5~6	170	190	"	262.6	○ "
17	"	"	"	"	"	"	7~8	3~7	190	165	"	290.9	△ "
18	"	"	"	"	"	2~3	"	"	210	"	"	X 溶接不能	
19	"	"	"	"	"	"	2~4	5~7	100	230	480	208.6	◎ 良好
20	"	"	"	"	"	"	"	"	60	280	490	172.0	○ やや良

6.2.3 繼手溶接に関する実験

自動溶接装置によるビード溶接は比較的容易であるが、開先をとった継手溶接はなかなか困難で

表 6.3 プラスチックの手溶接条件

記号	溶接方法	溶接棒 の角度 (°)	熱風噴 射器の 角度 (°)	溶接温度 (°C)	ノズル尖端 よりの距離 (mm)	圧力 (kg)	ビード バ ス 長さ (mm)	平均溶 接速度 (mm/min)	溶接 時間 (min)	溶接 消費 量 (kg)	評 価 値	
1	手溶接	90	45	178	5	10	—	6	120	62	10.5	556
2	"	"	"	"	"	"	—	"	"	61	"	585
3	"	"	"	"	"	"	—	"	"	60	110	590
4	(裏面加熱)	"	"	"	"	"	—	"	"	61	115	578
5	"	70	"	"	"	"	1	"	"	78	160	450
6	(ローラ)	"	"	"	"	"	"	"	"	77	160	437
7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	77	165	432
8	(ローラおよび 裏面加熱)	"	"	"	"	"	"	"	"	79	185	448

[注] 母材の厚さ = 4 mm

溶接端の角度 = 90°

溶接棒の直径 = 3 mmφ

ある。押えローラの形状も現行のものは不適当であって溝をもっと浅くしなければならない。また、ローラの押え方にもノズルのフィッティングにも問題がある。一般に現在のプラスチック製品の溶接加工においては、自動溶接装置のメリットはあまり認められないものであるが、ドイツ、ソ連などではかなり実用化の進んだ自動溶接装置の文献も散見できる。そこで、まず、自動溶接装置を直接使用せずにローラを用いた手溶接を行ない、ローラの形状、保持方法、押し圧等の問題を検討し、その使用法に習熟した上で、自動溶接装置による溶接施工を行なった。ローラを用いた場合の溶接条件を用いない場合とあわせて表6.3に示す。ローラを用いた場合の方が、平均速度が大きいにもかかわらず、所要時間が長いのは、最初15mm程度手溶接し、それからローラ付パイプに棒をさしかえる手間を要するからである。

これらの練習を経た上で10mm厚板の自動溶接が可能となり、しかも良好な継手が得られるようになった。手溶接と大きく異なる点は、ビード溶接の場合と同様に棒の伸びる傾向があるため、後層の溶接の熱風によって溶着ビードが割れ易いので、ノズル径を小さくして熱風をしぶらなければならぬ点である。

自動溶接装置による10mm厚の塩化ビニル板に対する突合せ継手溶接条件およびその継手試験結果の例を表6.4～6.6に示す。

表6.4 突合せ継手溶接の標準自動溶接条件

溶接棒の角度	ガンの傾斜角	熱風温度	平均溶接速度	ローラ圧力	ビード・パス
70°	45°	190°C	7.5mm/min	1 Kg	27パス

表6.5 自動溶接による溶接継手の引張試験結果

番号	引張強度	破壊位置	母材強度との比	備考
1	3.6 Kg/mm ²	溶接部分	60%	ビードはつき
2	3.3	"	55%	"
3	4.5	"	75%	ビード付
4	4.2	"	70%	"

表6.6 自動溶接による溶接継手の衝撃試験結果

材 料	試験温度		
	-20°C	±0°C	+20°C
溶接部分	1.8 Kg·cm/cm ²	1.3 Kg·cm/cm ²	2.2 Kg·cm/cm ²
	2.0 2.3	2.8 2.2	1.5 2.7
母 材	3.2	3.5	3.2
	3.5	3.7	3.9
	3.3	3.5	3.3

6.3 溶接継手の性能

6.3.1 溶接収縮変形

プラスチックの溶接においては、弾性率の小なること、熱膨張係数の大なること等から製品の歪が鋼材以上に大で、用途をせばめている事情もあり、溶接歪についても一応検討しておくことが必

要と考えられるので、板厚4mmおよび10mmの塩化ビニル板の突合せ溶接歪をコンパレータによって計測した。

(a) 溶接歪計測位置 (図6.1参照)

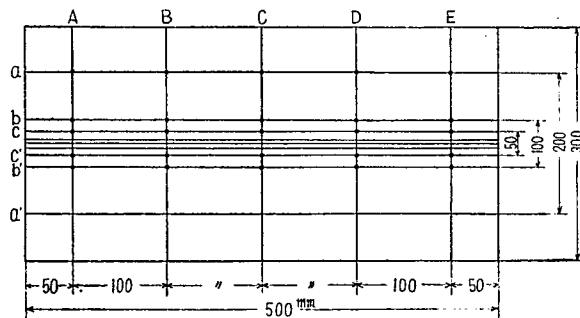


図 6.1 溶接歪計測位置

(b) 溶接条件 (図6.2参照)

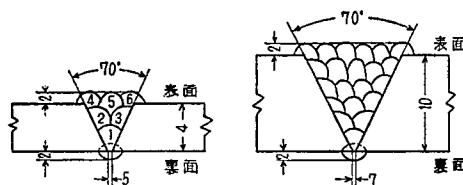


図 6.2 自動溶接器による溶接条件を示す溶接断面図

(c) 計測結果(図6.3参照)

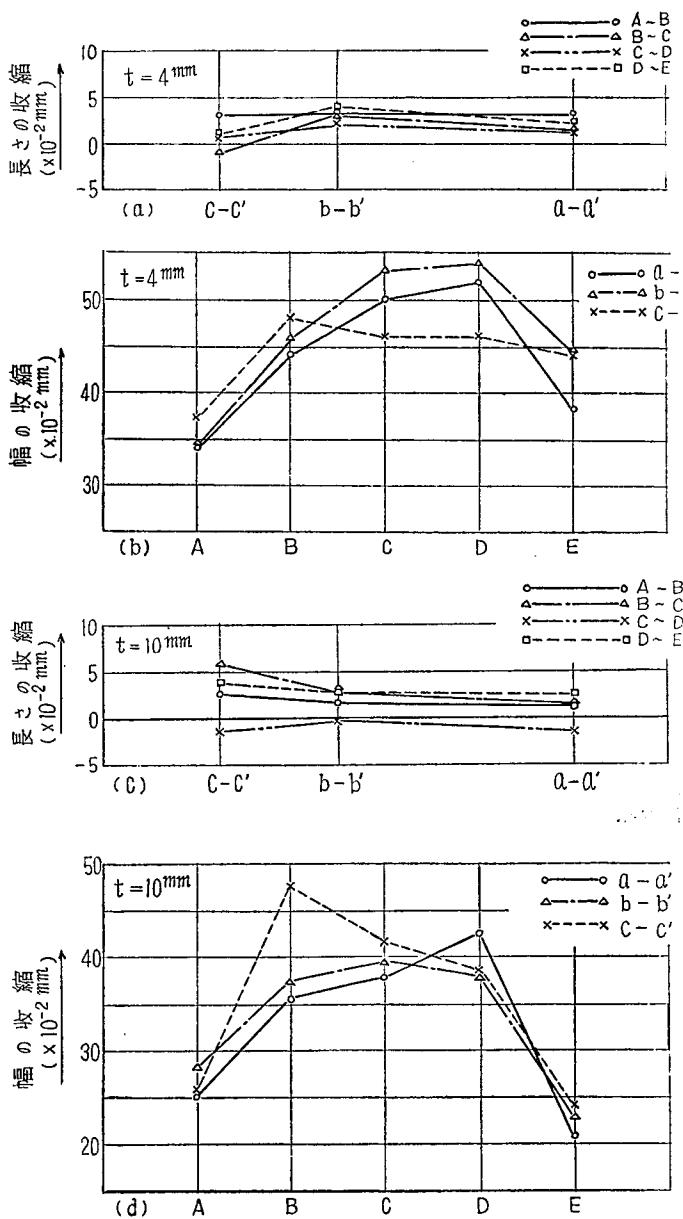


図6.3 溶接歪計測結果

6.3.2 継手の引張強さ

プラスチックの加工に熱風溶接が実用される例としては、すみ肉溶接が圧倒的に多い。このような溶接継手の強度を標準の突合せ継手等のそれと比較するために板厚4mmおよび10mmの塩化ビニルについては重ね継手、突合せ継手を、板厚3mmのアクリル樹脂では突合せ継手を作り、各引張試験を実施した。

なお、塩化ビニルについてはすみ内溶接は手溶接で、突合せ溶接は自動溶接法で施工したが、溶

接法による差は無視しても差しつかえないと思われる。

また、アクリル樹脂は溶接棒の既製品がないため、母材を切削して使用し、手溶接を探った。

表 6.7 に引張試験結果を示した。

表 6.7 溶接継手の引張強度試験結果

記号	厚さ (mm)	幅 (mm)	強度 (kg/mm²)	破壊個所	記号	厚さ (mm)	幅 (mm)	強度 (kg/mm²)	破壊個所
A-1	6.0	18.0	0.75	境界部	B-3	10.4 (20.0)	19.0	15.6 (0.81)	母材
2	6.0	19.1	1.45	" "	4	20.0	19.0	0.99	境界部
3	6.0	18.9	1.13	" "	C-1	4.1	19.1	14.2	母材
4	6.0	19.0	1.18	" "	2	4.1	19.0	20.6	" "
B-1	2.00	19.0	1.05	"	3	4.1	19.0	2.33	" "
2	10.4 (20.0)	18.8 (10.4)	母材	4	4.0	19.1	2.03	" "	
D-1	10.5	19.0	1.75	"	E-3	5.0	19.0	3.10	溶接部
2	10.4	19.0	2.28	"	4	5.1	19.0	2.84	"
3	12.0	19.2	2.39	"	F-1	3.1	19.0	1.73	境界部
4	11.5	19.1	2.28	溶接部	2	3.1	19.0	1.67	"
E-1	4.0	19.1	1.78	"	3	3.0	19.2	1.94	"
2	4.0	19.1	2.10	"	4	3.1	19.1	2.15	"

〔注〕 延び (G.L=40mm) : < 1 %

6.3.3 継手の曲げ強さ

引張試験片を採取した溶接継手から同様に板幅45mmの曲げ試験片を採取し、スパン30mmで屈曲試験を行なった結果を表 6.8 に示した。

表 6.8 溶接継手の曲げ強度試験結果

記号	ハッチの径 (mm)	最大荷重 (kg)	挠み (mm)	破壊個所	記号	ハッチの径 (mm)	最大荷重 (kg)	挠み (mm)	破壊個所
A-1	22	44	18	境界部	D-1	10	15	12	溶接部
2	"	25	11	母材	2	"	34	18	"
B-1	16	48	20	"	E-1	4	5	5.5	" 表面曲り
2	"	45	20	" "	2	"	4	4.9	" 裏面曲り
C-1	10	2	80	" "	F-1	"	2	6.2	境界部
2	"	2	80	" "	2	"	2	3.3	"

〔注〕 延び (G.L=10.30mm) : < 1 %

6.3.4 継手の衝撃値

板厚10mmの塩化ビニルの自動溶接継手から、溶接部および境界にノッチ(2mmU)をつけた試験片を採取し、衝撃試験を行なった結果を表6.9に示した。

表 6.9 溶接継手の衝撃試験結果

記号	位置	衝撃強度	記号	位置	衝撃強度
8	溶接部	5	11	境界部	4
9	*	4	12	*	4
10	*	6	13	*	7

6.4 むすび

6.4.1 溶接変形について

溶接歪計測結果に示されるように、収縮変形は鋼材等よりもかなり小さい。

しかし、板厚の小さい場合には、曲がり変形が比較的大きく、外観をそこなうこともあります。熱風のかけ方、材料の拘束には十分留意することが必要である。

6.4.2 継手の引張強さについて

一般に突合せ継手の効率はほぼ60~90%程度で、塩化ビニル厚板、薄板、アクリル樹脂薄板ともバラツキが大きい。なお本実験には見られなかったが未熟者の施工した継手には、破面に焦げ跡が生じ、強度の低下することがしばしばある。

このような継手も外観的には健全な継手同様に見えるので、適切な検査法が必要である。すみ肉溶接を利用した二重かさね溶接は当板のわかし込みがやや不足のようであり、一枚重ね溶接は引張力のかたよりに基づく応力集中のため母材破断を示したが、いずれも母材強度のはば50%程度は有することが認められた。

6.4.3 継手の曲げ試験成績について

破断個所はもっとも応力の強い個所で問題ないが、たわみ、伸びが予想より若干低い値を示した。これはむしろ母材特性によると思われる。

6.4.4 衝撃値について

溶接継手部の衝撃値は、溶接中央部、境界とも、ほぼ母材と同様の値を有し、溶接施工を適正に行なえばまず問題はないものと考えられる。

第7章 ボルト継手の強度と施工法に関する研究

7.1 供試材（強化ポリエスチル樹脂板、FRP）

(i) 配合

樹脂（エスター GA30） 100部

触媒（BPOペースト） 1.5部

ガラス（ロービングクロス ECR-563） 9層

硝子含有率 61%

(ii) 板 厚 5 mm

7.2 実験方法

7.2.1 実験の種類

実験は図7.1および表7.1に示すように、ボルト孔と板のエッジとの距離を変えた場合（実験I）

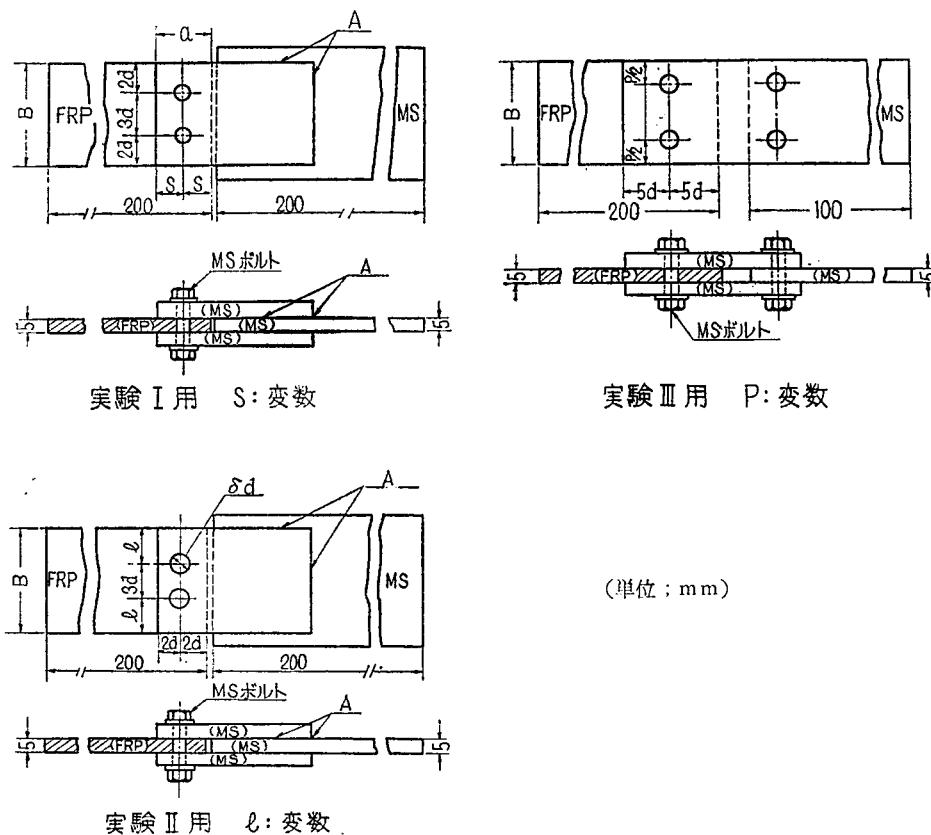


図7.1 供試片

およびⅡ) およびボルト孔相互間の距離すなわち、ピッチを変えた場合(実験Ⅲ)について行なった。すべての実験は1状態につき試験片数8枚について実施した。

表 7.1 実験の種類

実験番号	ボルト径 d	ボルト穴径 δd	変数	変数の値	実験状態数
I	4 mm ϕ	5 mm ϕ	S	$S = 1.0 d$	$(d=3\text{種類}) \times (S=5\text{種類}) = 15\text{種類}$
	6 mm ϕ	7 mm ϕ		1.5 d	
	3/8" ϕ	11 mm ϕ		2.0 d	
				2.5 d	
				3.0 d	
II	4 mm ϕ	5 mm ϕ	L	$L = 1.0 d$	$(d=3\text{種類}) \times (L=5\text{種類}) = 15\text{種類}$
	6 mm ϕ	7 mm ϕ		1.5 d	
	3/8" ϕ	11 mm ϕ		2.0 d	
				2.5 d	
				3.0 d	
III	4 mm ϕ	5 mm ϕ	P	$p = 2.0 d$	$(d=3\text{種類}) \times (p=4\text{種類}) = 12\text{種類}$
	6 mm ϕ	7 mm ϕ		3.0 d	
	3/8" ϕ	11 mm ϕ		4.0 d	
				5.0 d	

7.2.2 実験の条件

実験の条件は表 7.2 のとおりである。

表 7.2 実験の条件

実験番号 \ 極目	実験 I, II	実験 III
実験時の温度	10~13 °C	14~16 °C
荷重速度	約 20 mm/min	約 10~15 mm/min
ボルトの締付力	常に同一人物がほり一定の力で締付けた。	常に同一人物がトルクを測定しながら同一トルクで締付けた。

ボルト 締付力	トルク (kg-cm)	1本のボルト の締付力(kg)	
		3/8" ϕ	
4 mm ϕ	35	約 500	
6 mm ϕ	70	約 600	
3/8" ϕ	150	約 900	

7.3 実験結果

実験結果を表 7.3, 7.4 および一部を図示して図 7.2 に示す。

実験Ⅱについては、ボルト穴と板の側辺との縁辺距離 l を変数としたのであるが、破断はすべてボルトの前方において板が剪断により破断したため結果的には実験Ⅰにおける $S = 2d$ の場合の実験と全く同一実験を実施したことになって、 l の影響を確かめることができなかつた。したがって、実験結果としては表 7.3 の下方に $S = 2d$ の場合として記録するにとどめた。

図 7.2 はボルトピッチを変えた場合の荷重一伸び曲線の一部を示したものである。

図 7.3 および図 7.4 は継手効率を図示したものである。

一般に継手の強度は、任意の形式の破断に対して示された最小の抵抗力と完全な板の強さとの比、すなわち、継手の引張効率で判断される。

表 7.3 実験結果（その 1）

実験 No.	試験片 No.	ボルト径 d	統計距離 s	試験 片幅 (mm)	平均破断荷重 (kg)	標準偏差 (kg)	破断荷重範囲 (kg)		破断 形式	試験 片数
							最小	最大		
I	1	4 mmφ	1.0d	2.8	383	110	250	620	S	8
	2	"	1.5d	"	761	90	620	940	"	"
	3	"	2.0d	"	1045	146	840	1350	"	"
	4	"	2.5d	"	1381	20	1340	1400	"	"
	5	"	3.0d	"	1631	70	1540	1730	"	"
	6	6 mmφ	1.0d	4.2	760	200	600	1250	"	"
	7	"	1.5d	"	1458	300	1180	2000	"	"
	8	"	2.0d	"	1949	264	1720	2500	"	"
	9	"	2.5d	"	2324	223	2100	2800	"	"
	10	"	3.0d	"	2616	105	2460	2800	"	"
	11	36 mmφ	1.0d	6.7	1028	209	840	1400	"	"
	12	"	1.5d	"	2075	229	1850	2550	"	"
	13	"	2.0d	"	2671	429	2370	3770	"	"
	14	"	2.5d	"	3135	196	2800	3400	"	"
	15	"	3.0d	"	3724	244	3400	4250	"	"
II	16~19	4 mmφ	2.0d	—	975	123	750	1200	"	32
	20~23	6 mmφ	"	—	1776	230	1400	2400	"	"
	24~27	9.5 mmφ	"	—	2500	368	1950	3450	"	"

〔注〕 破断形式の S は右図のようにボルトの

前方の板が剪断で破断したことを示す。

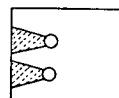
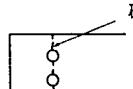


表 7.4 実験結果（その 2）

実験 No.	試験片 No.	ボルト径 d	ビッチ P	試験 片幅 (mm)	平均破断荷重 (kg)	標準偏差 (kg)	破断荷重範囲 (kg)		破断 形式	試験 片数
							最小	最大		
III	28	4 mmφ	2d	16	544	95	312	640	T	8
	29	"	3d	24	1246	108	1115	1410	"	"
	30	"	4d	32	1621	175	1325	1810	"	"
	31	"	5d	40	2110	132	1980	2405	"	"
	32	6 mmφ	2d	24	1062	101	940	1230	"	"
	33	"	3d	36	2011	220	1650	2300	"	"
	34	"	4d	48	2911	171	2570	3075	"	"
	35	"	5d	60	3018	265	2695	3590	"	"
	36	36 mmφ	2d	38	1448	184	1635	1820	"	"
	37	"	3d	57	2803	229	2460	3160	"	"
	38	"	4d	76	3875	251	3500	4250	"	"
	39	"	5d	95	5146	112	5030	5350	B	"

〔注〕 破断形式の T は右図のようにボルト孔

間の板が引張で破断したことを示す。



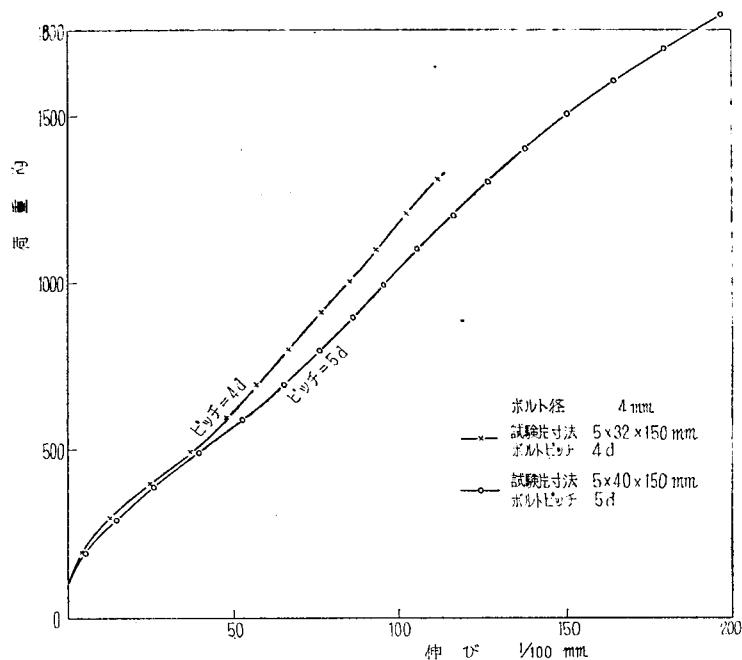


図 7.2 荷重一伸び曲線の一例

図 7.3 および 7.4 に図示した効率 η_T は次式によって求めたものである。

$$\text{引張効率 } \eta_T = \frac{\text{破断荷重}}{\text{無孔部断面積} \times \text{板の引張強さ}}$$

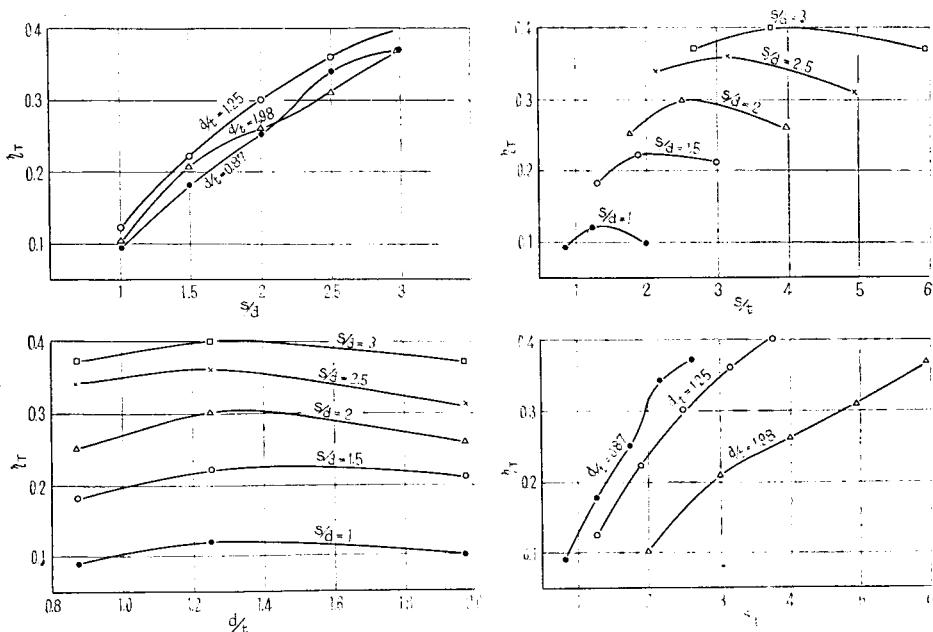


図 7.3 引張効率曲線（実験 I の場合）

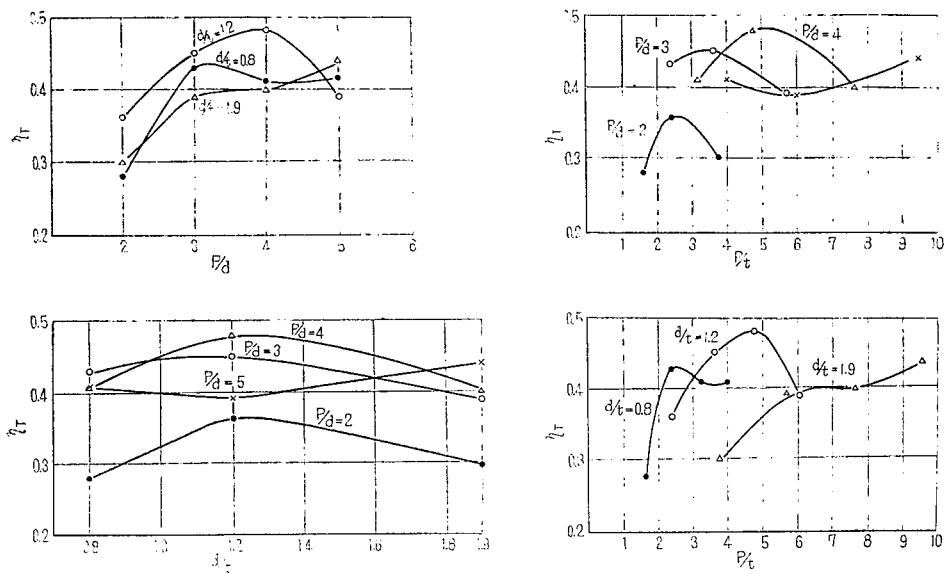


図 7.4 引張効率曲線（実験Ⅲの場合）

7.4 結 論

これらの実験結果からほぼ下記のことが判った。

- (i) $d/t \neq 1.2$ すなわち、ボルト径は板厚の約 1.2 倍が最も効率がよい。
- (ii) $p/d \neq 3 \sim 4$ すなわち、ボルトのピッチはボルト径の約 3 ~ 4 倍が最も効率がよい。
- (iii) $s/d \geq 5$ すなわち、ボルト穴と板の縁との距離は、ボルト径の約 5 倍以上とることが望ましい。この理由としては実験Ⅰの結果を示した図 7.3 の $\eta_T - s/d$ 曲線において、 η_T は、 s/d の増加にともなって増加しており、 $s/d = 3$ ではまだ増加の途中である。しかしして、 $s/d = 3$ まですべて、ボルトの前方で板のエッヂが破断している。また、実験Ⅲにおいては $s/d = 5$ では、すべてボルト孔間で破断している。(ただし、例外としてボルト径 $3/8''\phi$ $p = 5d$ の場合のみボルト前方で板のエッヂが破断した。)

鉄継手の場合には、一般に鉄の前方で板のエッヂが破断することを防止して、継手の強度は主として、鉄孔間の破断および鉄自身の破断を基礎としている点を考慮すれば $s/d \geq 5$ が望ましいと考えられたわけである。

第8章 調査

8.1 プラスチックの船舶への利用状況調査

8.1.1 目的

本調査の目的は、

- (a) いかなるプラスチックが、いかなる形状で、いかなる用途に使用されているか。
- (b) 使用した結果よかったです、悪かった点は何か。
- (c) したがって、今後改良すべき点、希望するプラスチック、希望する性質等は何か。
などである。

8.1.2 調査方法

調査方法は下に示すような調査用紙を全国造船所に配付し記録集計したもので、17社、19造船所より回答を得、総数約500項目に達した。

しかし、プラスチックという定義が徹底しなかったため、いわゆるプラスチックの範囲外の塗料、繊維製品等が一部含まれており、またたとえば電気材料のそれのように、プラスチックということが意識されずに使用されていて調査に洩れたものも多い。したがって本調査の内容は、試験的にまたは新材料として使用されたものはほとんど網羅しているが、すでに普及してしまったものはかなり洩れしており、数字の上では少なく表われていると考えられる。

また、使用量の調査は記入の統一が困難なため集計することができなかった。

プラスチックの船舶利用に関するアンケート用紙

プラスチックの種類	型状または性状	用途	目的	使用量	備考	等記事項

表 8.1 調査結果集計表

用 途	総 数		樹 脂 别 件 数					フエノール	その他の
	件 数	百分比	塩化ビニル	ポリエステル	メタアクリル	メラミン			
1 羽 目 板	11	2.1	3	3	5	—	—	—	—
2 化 粧 張	46	8.7	16	5	1	19	2	3	3
3 天井張、オーニング	14	2.7	2	7	—	1	1	1	3
4 扉	17	3.2	—	12	3	—	—	—	2
5 床 張 り	16	3.0	12	—	—	—	—	—	4

6 防熱吸音材	65	12.3	35	5	—	—	—	—	25
7 机, テーブル	1	6.3	23	2	1	—	—	—	7
8 椅子, ベンチ	32		—	—	—	—	—	—	—
9 マットレス	6	1.1	4	—	—	—	—	—	2
10 その他の家具	35	6.6	20	3	2	—	—	—	10
11 洗面台	17	3.2	1	12	2	—	—	—	2
12 装飾板	40	7.6	15	2	21	2	—	—	—
13 ハンドレール	21	4.0	14	—	3	—	2	2	2
14 金物類	21	4.0	11	2	1	—	2	5	—
15 舱窓	5	1.0	—	—	3	—	—	2	—
16 通風筒	6	1.1	—	4	—	—	—	2	—
17 吹出グリル	4	0.8	1	—	1	1	—	—	1
18 通風トランク	4	0.8	3	—	—	1	—	—	—
19 配管	41	7.8	33	2	3	—	—	3	—
20 バルブコック	8	1.5	4	1	—	—	2	1	—
21 配線器具	28	5.3	12	2	—	—	8	6	—
22 照明タ	12	2.3	1	—	11	—	—	—	—
23 ボート	5	1.0	—	4	—	—	1	—	—
24 浮環, 筒等	8	1.5	1	—	—	—	—	7	—
25 パッキング	9	1.7	2	1	—	—	1	5	—
26 塗料, パテ	27	5.1	4	3	—	3	2	15	—
27 機器カバー	18	3.4	3	3	3	—	4	5	—
28 その他の	11	2.1	6	2	2	—	—	1	—
合計	528	100	226	75	62	27	25	113	—

8.1.3 調査結果

調査結果は表 8.1 に示した。

これを項目の数で分類すると、図 8.1 のようになり、塩化ビニルが全体の約 $1/2$ を占める。これに次いでポリエステル、メタアクリル、メラミン、フェノールの順である。また、製品別、用途別に集計したものは図 8.2～8.7 および表 8.2 に示すとおりである。

これらからいえることは防熱材、装飾板、電気器具、金物類、衛生器具、雑配管等にはプラスチックは自由に使用されているが、内張類、扉、外艤装部品等にはまだ試用の段階であり、強度部材にはまだほとんど使われていない。

この理由は強度（特に温度特性、疲労、曝露強度等）に疑問があること、工作技術の不慣れの故と考えてよいであろう。使用した理由はいずれも美観、耐食性、軽量等であってこれらは舶用として理想的な条件だからである。

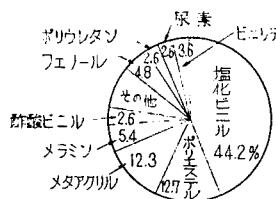


図 8.1 樹脂別総分類

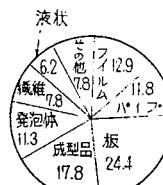


図 8.2 製品別総分類



図 8.3 塩化ビニル

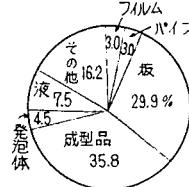


図 8.4 ポリエチレン

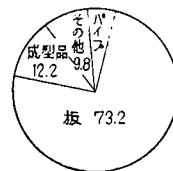


図 8.5 メタアクリル

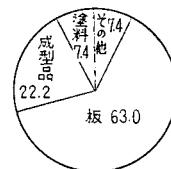


図 8.6 メラミン



図 8.7 フェノール

8.2 FRP 消費率および応用品に関する調書

各国の FRP 用途別消費量は表 8.2 のとおりである。

表 8.2 用途別消費率 (%にて)

用 途 別	国 别	ア メ リ カ (1958年)	イ ギ リ ス (1957年)	フ ラ ン ス (1957年)	日 本 (1959年)
船	舶	20(主として小型ボート)	18(主としてボート)	2	
航	空	10	10	2	
建	材	17(主として板)		70	30
陸	運	16	25	7	
消	資	13		3	
電	氣 工	4			
化	學 工	7			
家	庭 用 電 気 器	4			
波	注 形		28		
注 化	化 構		10	5	8(成形品を含む)
波	塗 タ				5
ラ	イ ニ ン グ				34
イ	の 他	9	9	11	20
合	計	100	100	100	100
全	消 費 量 (トン)	44,000	3,000	5,000～6,000	7,100

第3編 実態モデルによる応用研究 (船体構造に対する FRP ハニカム材の応用 および艤装品への応用に関する研究)

第1章 FRP と軟鋼とのボルト継手構造の疲労特性の研究

1.1 はしがき

本研究の目的は、近来船舶に重量軽減、室内艤装の近代化の線にそって、プラスチックス材が多量に使用されるにいたったので、まだ解明されていない FRP と軟鋼との継手における振動疲労特性を解明せんとするものである。

船舶においては、振動は避け得ない問題であり、この問題の解明なくしては、新材料を船舶に応用することができないので、船舶が航行中に受けると思われる諸条件を考慮し、温度 $-30^{\circ}\text{C} \sim +30^{\circ}\text{C}$ の範囲において、首題の S-N 曲線を求め、FRP の船舶への利用に貢献をせんとするものである。

1.2 試験項目

試験の内容は、予備試験と本試験との 2 つに大別され、そのうち予備試験は、素材の諸強度と本試験用試験片の形状を決めるための 2 つの試験に細別される。

1.2.1 予備試験

(a) 素材の性質を検討する諸試験

(i) 引張試験

- (甲) 大気中にて縦、横、 45° の 3 方向
- (乙) 30 日間浸漬後縦方向

(ii) 曲げ試験

大気中にて縦、横、 45° の 3 方向

ただし、縦、横、 45° の意味は、図 1.1 に示すとおりである。

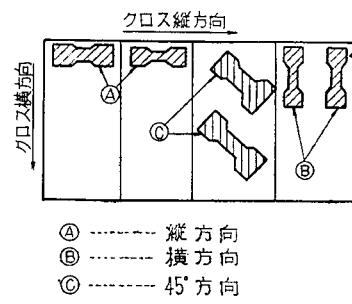


図 1.1 試験片採取方法

(b) 本試験用試験片の形状を決定するための試験

(i) 試験片の形状

図 1.2, 図 1.3, 図 1.4 (A, B, C 各形式) に示すとおりである。

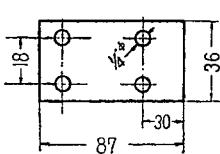


図 1.2 試験片 (A 形式)

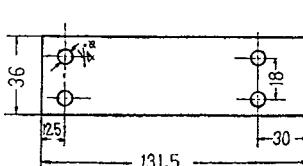


図 1.3 試験片 (B 形式)

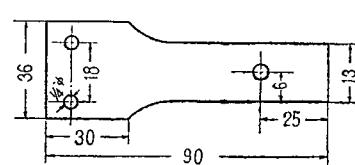


図 1.4 試験片 (C 形式)

A, B, C, 2, 形式について予備試験を行なったが、SUS 27 で製作したアタチメントの方

が、先に疲労破壊した。しかしC形式は、一応の成果を収めたので、一部寸法を修正の上、これを本試験用として採用した。

1.2.2 本 試 験

(a) 素材の疲労試験

図1.5に示す形状について縦、横、の2方向について試験を行なった。

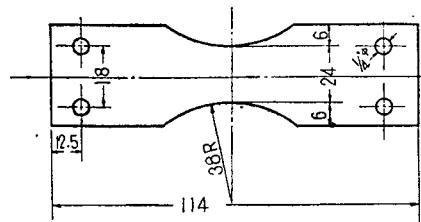


図1.5 素材の疲労試験用試験片 (厚さ 5 mm)

(b) ボルト接手の疲労試験

図1.6に示す形状について縦方向のみにつき試験を行なった。

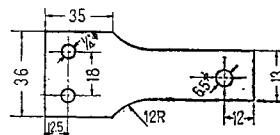


図1.6 ボルト接手の疲労試験用試験片 (厚さ 5 mm)

1.3 試験条件

1.3.1 溫度条件

船舶が、航海中において受けけると予想される温度を、 $-30^{\circ}\text{C} \sim +30^{\circ}\text{C}$ と仮定し試験温度を次のとおりとした。

試験温度…… $-30^{\circ}\text{C}, 0^{\circ}\text{C}, 12^{\circ}\text{C}$ (気温), $+30^{\circ}\text{C}$

温度誤差…… $\pm 3^{\circ}\text{C}$

1.3.2 試験片の材質

(a) 配 合

樹脂 (エスタ GA 30)	100部
触媒 (B. P. O. ペースト)	1.5部
ガラス (ロービングクロス ECR-563)	9層
ガラス含有量	61%

(b) 成形条件

熱圧成形 $80^{\circ}\text{C}, 60\text{分}, \text{圧力} 40\text{kg/cm}^2$

後硬化 $80^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}, 4\text{時間}$

1.4 試験装置

1.4.1 試験機

シェンク式曲げ疲労試験機、撓み一定型

1.4.2 恒温槽

二重式恒温槽で、図1.7に示すとおりで、A槽、B槽に冷却剤および加熱剤を充填する。また恒温槽内の発生ガスは、通風ダクトを経て、換気ファンによって、室外に除去する。

1.4.3 計測器具

(a) 温度計測器具

サーモエレメントによるガルバノメータ。

(b) 応力測定器具

直流増幅器、歪測定器ペン書きオシログラフ

1.5 試験概要

FRPは、金属材料と異り、プラスチック素材自体の性格のほか、強化材として混入される物体の種類、混入状態、含有量によって、静的および動的強度に著しい差がある。また、FRPは成形方向によっても、機械的性質の差が著しい。このことは、FRPの応用試験を行なうに先立ち、必ず素材の諸性質を知る試験を行なう必要があることを示している。本試験においてFRPと鋼板とのボルト接頭の疲労試験を行なう前に、FRPの成形方向による引張、曲げおよび振動特性等を調査した。

その結果を表1.1、1.2、1.3および図1.11に示す。

静的強度は成形方向により非常に異っているが、振動に対する強度、いわゆる疲労特性には、ほとんど変化がないようである。

次に本試験用試験片の形状を決定するために、3種類の形状について試験を行ない、本試験用試験片の形状を決定した。

本試験は、温度条件を -30°C 、 0°C 、 12°C 、 30°C の4段階について行なった。この試験でもっとも問題と思われる原因是、FRPは鋼板のように完全に破壊しないことである。そのため、実験担当者が独自に疲労値をどこに押えるかを仮定しなければならない。使用した試験機は、撓み一定型のシェンク式曲げ疲労試験機であるため、FRPの疲労度によって剛性率が低下するので、撓み一定にもかかわらず、応力が漸減した。応力の漸減状態は、図1.8に示すように2通りあるが、(A)は素材の疲労で、(B)はボルト接頭の場合の疲労を示している。前者の場合は、疲労破壊値を剛性率0の点で選ぶが、後者の場合は、初期応力の相当高いものでも、前者のような状態は起らない。我々はFRPの剛性率が低下し、FRPにかかっている応力が、初期応力の50%に減少した点の回転数をもって、その材質が疲労破壊したものと考え、その点をS-N曲線にプロットすることにした。疲労破壊は、ボルト締手のところで起らず（剛性率はかなり低下しているが）、FRPとラップしている鋼板のエッジと接触している点で起っている。

試験結果は表1.1、1.2、1.3および図1.8～図1.11に示すとおりである。

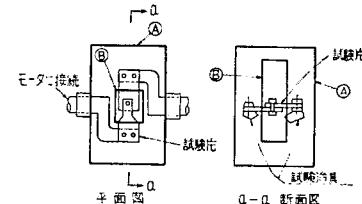


図1.7 恒温槽

表1.1 曲げ試験の結果

方向 テストビース	単位 Kg/mm ²				
	1	2	3	4	5
縦 方 向	26.3	25.0	25.0		
横 方 向	34.0	31.2	29.9	31.7	
45° 方 向	11.7	11.7	11.7	12.0	11.6

表1.2 引張試験の結果

方向 テストビース	単位 Kg/mm ²				
	1	2	3	4	5
縦 方 向	24.2	24.2	24.2	23.5	
横 方 向	41.7	42.2	41.5	40.1	43.4
45° 方 向	5.3	5.7	4.7	5.9	6.4

表1.3 濡潤引張試験の結果（30日浸漬後）

方向 テストビース	単位 Kg/mm ²				
	1	2	3	4	5
縦 方 向	25.9	26.2	26.2	26.0	26.7

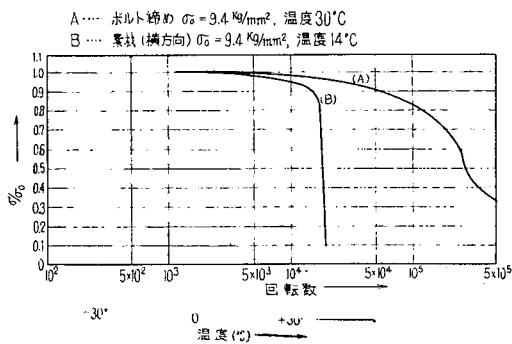


図1.8

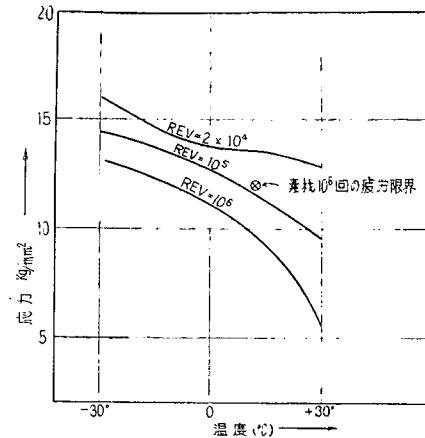


図1.9

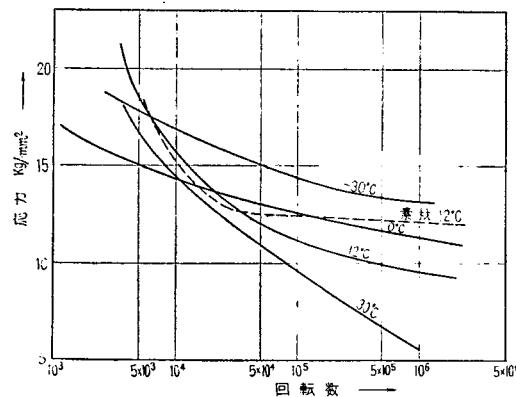


図1.10 S-N 曲線図

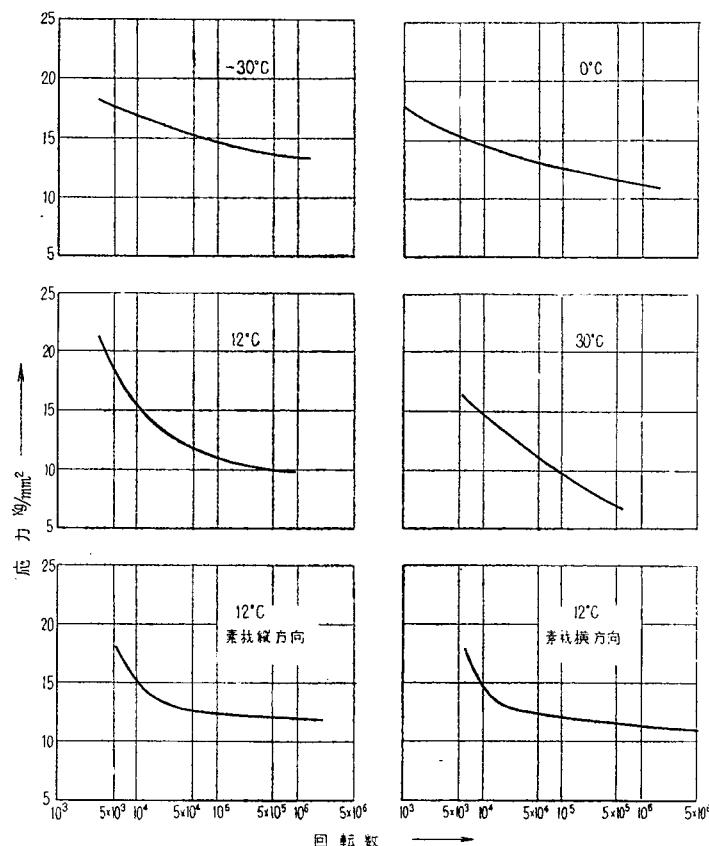


図1.11 FRP 繼手 S-N 曲線

1.6 む　す　び

- (a) 試験値のバラツキが大きい。
- (b) 素材の疲労値は、成形方向によってほとんど変化しない。
- (c) 疲労限界は温度が下がるにつれて強くなる。
- (d) 高温になるに従って、S-N曲線の傾斜が大きくなる。即ち、高応力においては、低温の方が疲労破壊が早く起る。
- (e) ボルト継手と素材の疲労限界は、素材引張応力の約 $^{1/3}$ である。
- (f) FRP をボルト継手で船舶に利用する場合は、使用応力に対して少くとも 3 倍の素材強度を有する FRP を使用すべきである。

第2章 構造材としての強度特性の研究

2.1 FRPのステイフナ、プラケット構造体の研究

2.1.1 はしがき

FRPを船体上部構造へ利用するためにその設計、施工の基礎資料を得る目的で、ステイフナ構造体、プラケット構造体の曲げ荷重試験および破壊試験を行なった。

2.1.2 試験方法

(a) 供試材料

(i) グラスクロス強化 FRP (以下グラスクロス FRP という)

グラスクロス MG-253

樹脂 ポリエステル (エスタ GA 20) 100部

触媒 (パーメック) 0.3%

促進剤 (ナフテン酸コバルト) 2.0%

グラス-樹脂含有率 (実測平均値)

54.7% (54.1%~55.0%) — 45.3% (45.9%~45.0%)

(ii) ローピングクロス強化 FRP (以下ローピングクロス FRP という)

ローピングクロス FRP RH-900

樹脂 上記(i)に同じ

グラス-樹脂含有率 (実測平均値)

41.7% (37.8%~43.8%) — 58.3% (56.2%~62.2%)

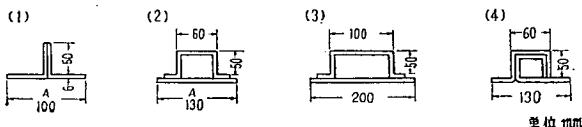
(b) 試験片

(i) 試験片の製作

本試験片の製作にあたり下記予備試験片を製作して試験を行なった。

(1) スティフナ構造体

(T型)



(2) プラケット構造体 (上記スティフナ構造体でそれぞれのプラケット構造体を製作した。)

これらの曲げ荷重試験で上記の試験片が適切であることを認め、また破壊試験では、(3), (2), (4), (1)の順に破壊荷重の減少がみられた。

以上の理由により本試験では表2.1.1に示す試験片により試験を行なうこととした。

表2.1.1 試験片の種類

試験片番号	強化材名	試験片の形状		試験の種類 (単位mm)
STG-101	グラスクロス	A=100		(ステイフナ試験)
-102		150		
-151		200	(T型)	
-152				
-201				
-202				
STR-101	ローピング クロス	100		(ステイフナ試験)
-102		200		
-201				
-202				
SUG-131	グラスクロス	A=150		(グラケット試験)
-132		200		
-201		260	(U型)	
-202				
-261				
-262				
SUR-131	ローピング クロス	130		(グラケット試験)
-132		260		
-261				
-262				
BTO-101	グラスクロス	A=100	(T型)	(グラケット試験)
-102		200		
-201				
-202				
BTR-101	ローピング クロス	100		(グラケット試験)
-201		200		
BUG-131	グラスクロス	A=150	(U型)	(グラケット試験)
-132		260		
-261				
-262				
BUR-131	ローピング クロス	130		(グラケット試験)
-261		260		

この表で“STG-101”試験片番号は、次のことを意味する。

S ; スティフナ試験片

T ; スティフナ断面の形

G ; グラスクロス FRP

数字 ; 下1桁は試験片 No.

上2桁は FRP 単板 (フランジ) 幅10cmを意味する。

同様に“BUR 131”試験片番号は下記のとおりである。

B ; ブラケット試験片

U ; スティフナ断面の形

R ; ローピングクロス FRP

数字 ; 下1桁は試験片 No.

上2桁は FRP 単板 (フランジ) 幅13cmを意味する。

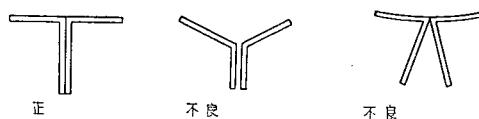
ほかの試験片番号についても以下同様である。

(ii) 試験片工作法

FRP スティフナと FRP 単板の接着はグラスクロス1層を介してエポキシ接着剤にて接着せしめた。なおブラケット構造体の接着も同様である。一方T型のスティフナ構造体は接着とボルト締めとを併用した。

これらの試験片は製作施工にあたり、歪を生じない様に特に注意した。

T型スティフナにおいては、製作当初下図のごとき歪んだ不良品が多く検出された。これは製作にあたっての基礎となる木型寸法に対し、樹脂の縮み代を充分考慮しなかったためである。この問題は、他の試験片製作にあたっても重要となった。



U型スティフナにおいては総じて平均した仕上り寸法を示した。

今回のプラケット構造体では2個のスティフナ構造体を直角に接合せしめたが、プラケット構造体として一体に成型するのが望しい。

(c) 試験方法

(i) スティフナ試験

スティフナ試験は50tonアムスラ試験機を使用し図2.1.1(1)に示す単純支持一線集中荷重曲げ試験を行ない、ダイヤルゲージおよび電気抵抗線歪計を図2.1.2および表2.1.2の示す位置にとりつけた。荷重の負荷速度を2.5mm/min、歪み、撓みの読みは静止荷重下で記録し、破壊荷重、破壊形式、破壊点をも記録した。

(1) スティフナ試験の場合

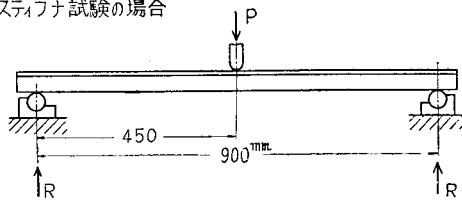
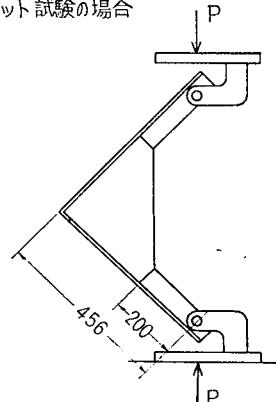


図2.1.1 負荷方法

(2) プラケット試験の場合



(ii) プラケット試験

プラケット試験は50tonアムスラ試験機を使用して、図2.1.1(2)に示す圧縮試験を行なった。荷重の負荷速度は2.5mm/minで、破壊荷重、破壊形式、および破壊点を記録した。

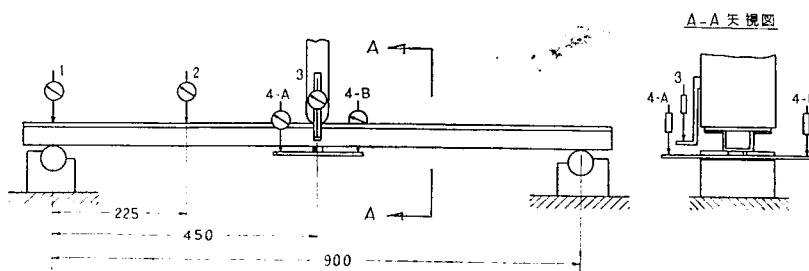
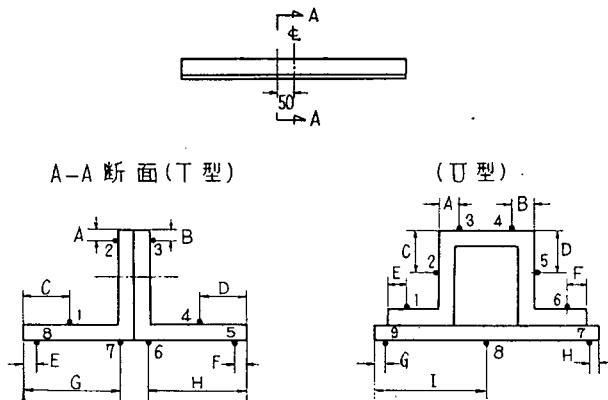


図2.1.2 ダイヤルゲージ取付位置

表2.1.2 歪ゲージ張り付位置および番号



単位 mm

試験片番号	A	B	C	D	E	F	G	H	I
STG-101	11	10	20	22	10	10	42	58	
-102	11	10							
-151	11	9	33	33	11	10	62	62	
-152	12	10							
-201	11	11	46	45	9	10	89	90	
-202	10	10							
STR-101	11	12	21	21	10	9	38	39	
-102	10	10							
-201	11	12	44	45	10	11	87	86	
-202	10	10							
SUG-131	15	15	25	28	18	16	10	11	65
-132	16	16							
-201	10	11	25	26	10	11	10	10	101
-202	12	10							
-261	14	13	30	27	14	18	10	10	130
-262	14	13							
SUR-131	16	15	27	27	19	16	10	10	65
-132	15	16							
-261	14	12	30	28	15	17	12	10	130
-262	13	14							

(iii) 母材の強度試験

引張り強さ、圧縮強さ、弾性率の測定を行なった。試験片寸法は図2.1.3、図2.1.4に示す。弾性率の測定歪ゲージは、ダンベル型試験片の中央の位置に貼った。

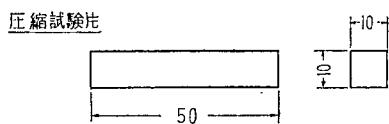
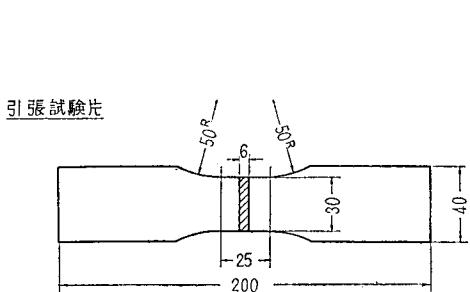


図2.1.3 母材強度試験片

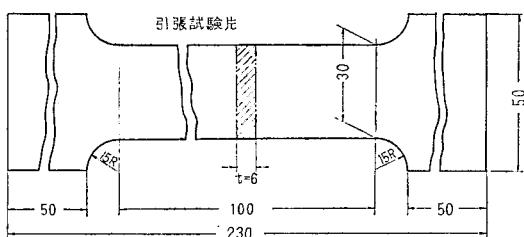
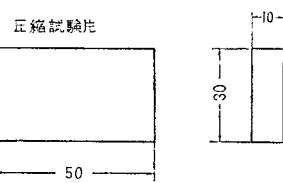


図2.1.4 弹性率測定試験片

2.1.3 試験結果

(a) スティフナ試験

(i) 荷重と各測定位置における撓みとの関係を表2.1.3に示す。

表2.1.3 荷重とたわみの関係

STG-101

$\frac{P}{P_{\text{lim}}}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.04	0.07	0.08	0.09	0.12
2	2.84	4.11	9.89	13.81	17.81
3	5.43	10.68	16.84	25.24	29.89
4	5.23	10.50	16.63	23.57	—

STG-102

$\frac{P}{P_{\text{lim}}}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.04	0.05	0.04	-0.07	-0.19
2	3.19	6.95	11.05	15.20	19.71
3	5.61	11.25	17.50	23.38	29.85
4	5.84	11.71	17.65	23.75	30.00

STG-151

$\frac{P}{P_{\text{lim}}}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.10	0.19	0.27	0.35	0.38
2	2.94	6.08	9.35	12.90	16.59
3	4.56	9.26	14.15	19.44	25.01
4	4.58	9.23	14.06	19.25	24.83

STG-152

$\frac{P}{P_{\text{lim}}}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.35	0.75	1.18	1.62	—
2	2.94	5.92	9.13	12.66	—
3	4.39	9.15	14.35	20.12	—
4	—	—	—	—	—

STG-201

$\frac{P}{P_{\text{lim}}}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.13	0.24	0.32	0.38	—
2	2.88	5.81	8.91	12.35	—
3	4.23	8.82	13.64	19.13	—
4	4.08	8.56	13.26	18.73	—

STG-202

$\frac{P}{P_{\text{lim}}}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.00	0.00	-0.01	-0.03	—
2	2.50	5.15	8.02	11.05	—
3	4.02	8.55	13.43	16.80	—
4	—	—	—	—	—

STR-101

$\frac{P}{P_{\text{lim}}}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.21	0.40	0.57	0.72	0.83
2	2.90	5.90	9.35	12.67	15.88
3	3.81	8.42	13.71	19.05	24.12
4	3.90	8.49	13.65	18.80	23.71

STR-102

$\frac{P}{P_{\text{lim}}}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.06	0.07	0.04	-0.01	-0.08
2	3.10	6.10	9.30	12.40	15.56
3	4.29	8.83	13.69	18.68	23.78
4	4.21	8.80	13.66	18.56	23.51

STR-201

$\frac{P}{P_{\text{lim}}}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.05	0.08	0.10	0.11	—
2	2.27	4.70	7.14	9.90	—
3	3.76	7.75	11.89	16.80	—
4	3.90	7.95	12.02	16.75	—

STR-202

$\frac{P}{P_{\text{lim}}}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.05	0.05	0.02	-0.04	—
2	2.43	4.93	7.60	10.54	—
3	4.09	8.26	12.90	17.74	—
4	4.10	8.45	13.14	17.93	—

表-2.1.3 の続き

SUG - 131							SUG - 132								
No	P _{ton}	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	No	P _{ton}	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4
1	0.25	0.45	0.56	0.69	0.95	1.24		1	0.01	0.01	0.01	0.00	0.04	0.08	
2	5.03	5.87	6.55	11.40	14.57	17.95		2	2.23	4.57	7.15	9.71	12.50	15.35	
3	4.89	9.27	13.40	18.00	22.68	28.57		3	4.06	7.93	12.25	16.55	20.92	26.00	
4	4.89	9.29	13.39	17.91	22.75	28.10		4	4.06	7.82	9.98	16.24	20.75	—	

SUG - 201							SUG - 202								
No	P _{ton}	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	No	P _{ton}	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4
1	0.19	0.36	0.50	0.65	0.87	1.24		1	0.17	0.32	0.45	0.59	0.79	1.05	
2	2.44	5.08	7.84	10.73	13.75	17.20		2	1.83	3.82	6.00	8.30	10.78	13.50	
3	3.61	7.45	11.77	16.22	20.93	26.40		3	3.50	7.12	11.33	15.75	20.50	25.74	
4	3.89	7.82	12.03	16.38	21.06	26.34		4	3.52	7.18	11.30	15.68	20.58	25.43	

SUG - 261							SUG - 262								
No	P _{ton}	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	No	P _{ton}	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4
1	0.17	0.32	0.44	0.54	0.64	0.84		1	0.21	0.39	0.52	0.62	0.75	0.99	
2	1.95	3.95	6.13	8.37	10.68	13.21		2	2.10	4.50	6.49	8.81	11.20	13.87	
3	3.38	6.89	10.71	14.70	19.20	24.22		3	3.29	6.74	10.60	14.71	18.90	23.59	
4	—	—	—	—	—	—		4	3.55	7.02	10.84	15.51	—	—	

SUR - 131							SUR - 132								
No	P _{ton}	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	No	P _{ton}	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4
1	0.05	0.47	1.44	2.85	3.52	4.35		1	0.67	1.40	2.94	4.55	4.90	5.45	
2	1.98	4.25	7.26	9.80	12.65	15.68		2	2.15	4.53	6.50	9.90	12.85	17.01	
3	2.91	6.56	10.76	15.65	20.40	25.24		3	—	—	—	—	—	—	
4	3.18	6.70	11.08	15.99	20.58	—		4	3.20	6.78	11.33	16.04	20.80	25.58	

SUR - 261							SUR - 262								
No	P _{ton}	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	No	P _{ton}	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4
1	0.00	0.09	0.69	1.98	2.61	3.14		1	0.00	0.24	0.96	2.55	2.95	3.43	
2	1.32	2.92	5.40	8.52	11.20	13.80		2	1.70	3.40	6.00	8.95	11.50	14.30	
3	2.93	6.20	10.10	15.10	19.90	25.20		3	2.86	5.95	9.50	14.45	18.55	22.55	
4	2.93	6.16	9.98	14.99	19.59	23.78		4	2.97	6.64	10.20	14.56	18.99	—	

(ii) 荷重と中央部の撓みとの関係を図2.1.5, 図2.1.6に示す。

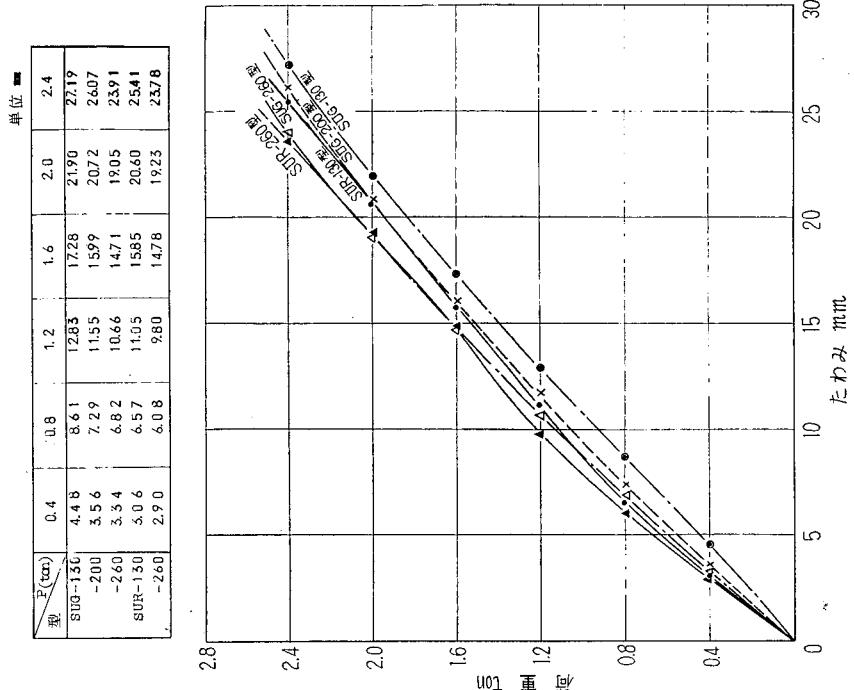


図2.1.6 荷重と中央のたわみ

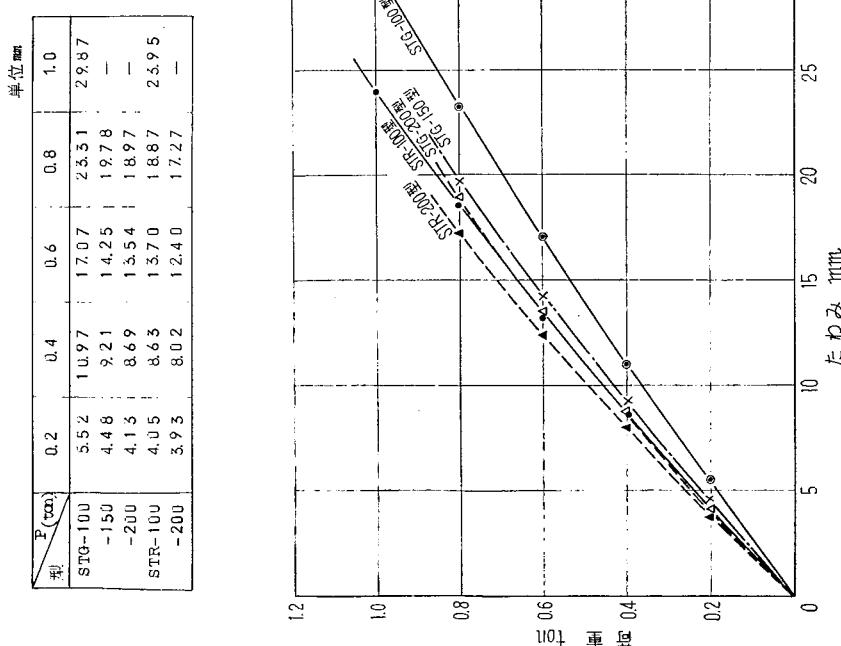
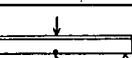
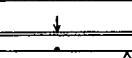
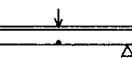
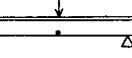
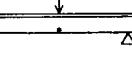
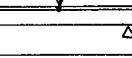
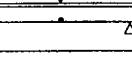
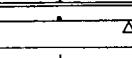
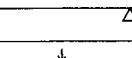
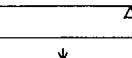
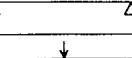
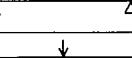
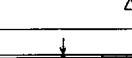
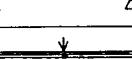


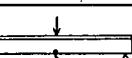
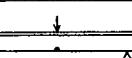
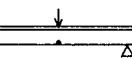
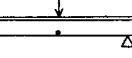
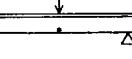
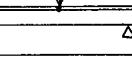
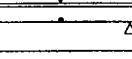
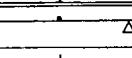
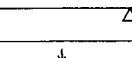
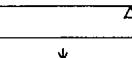
図2.1.5 荷重と中央のたわみ

(iii) 破壊荷重、破壊点、破壊応力を表2.1.4に示す。

表中の破壊応力は試験片実測寸法と破壊荷重をもとに算出した値で、T型試験片の場合グラスクロス使用のFRPはすべて引張りで破壊、しかも荷重の負荷された中央部で破壊した。U

表2.1.4 最大荷重および破壊点

試験片番号	P_B (ton)	破壊点	形式	応力
STG-101	1.090		引張	25.9 11.0
-102	1.090		引張	25.2 10.9
-151	1.200		引張	26.4 9.5
-152	1.105		引張	25.5 8.7
-201	1.140		引張	23.6 7.0
-202	1.070		引張	23.4 6.7
STR-101	1.200		引張 (圧縮)	30.8 14.9
-102	1.415		圧縮	25.7 12.1
-201	1.395		引張	31.5 8.8
-202	1.385		引張	31.6 8.9
SUG-131	3.020		引張	25.6 13.8
-132	3.110		圧縮	26.2 14.0
-201	2.730		圧縮	20.5 9.4
-202	2.840		圧縮	22.9 10.1
-261	3.135		引張	25.5 9.4
-262	3.075		引張	25.3 9.7
SUR-131	2.920		圧縮	26.1 13.1
-132	2.800		圧縮	27.1 13.2

試験片番号	P_B (ton)	破壊点	形式	応力
SUR-261	2.680		圧縮	23.6 8.2
-262	3.175		圧縮	27.7 9.4
BTG-101	1.330		圧縮	4.0 14.4
-102	1.260		圧縮	1.2 11.2
-201	1.200		圧縮	1.1 13.4
-202	1.335		圧縮	1.1 11.9
BTR-101	1.120		圧縮	1.1 10.3
-201	1.110		圧縮	0.9 10.2
BUG-131	2.700		圧縮	6.56 14.36
-132	2.555		圧縮	6.67 14.67
-261	2.270	プラケットの分解	剪断	3.72 12.58
-262	2.400		圧縮	3.95 12.98
BUR-131	2.270		圧縮	5.98 14.10
-261	2.170		圧縮	3.30 11.40

註 P_B : 破壊荷重

破壊点 : P_B により破壊した位置

形 式 : 破 壊 形 式

応 力 : 破壊時の支点間中央の最大応力

型試験片の場合、スティフナで補強された単板の巾の広い場合は引張りで、せまい場合は圧縮で、荷重の負荷された中央部で破壊した。

破壊荷重は、T型グラスクロス使用のFRPでは、1,070～1,200kg、T型ロービングクロス使用のFRPでは、1,200～1,415kgであった。

U型グラスクロス使用のFRPでは、2,730～3,135kg、U型ロービングクロス使用のFRPでは2,680～3,175kgであった。

T型試験片では荷重+00kg、U型試験片では1,000kg附近で、小さな音と共に接着部の接着層にヒビ割れを生じ、ロービングクロス使用のFRPでは、よりはげしい音を出した。破壊寸前では、ポリエステル樹脂とグラスクロスとの層間剥離を生じ、グラスクロス使用のFRPでは、力の方向と直角に多数のヒビ割れを生じた。

(b) ブラケット試験

表2.1.3に示す。

表中の破壊応力は試験片実測寸法と破壊荷重をもとに算出した値で、すべて圧縮により破壊した。破壊点は、ブラケットの付根のスティフナ部であった。T型試験片の場合、グラスクロス使用のFRPでは1,200～1,335kg、ロービングクロス使用のFRPでは1,100～1,120kg、U型試験片の場合はそれぞれ、2,270～2,700kgおよび2,170～2,270kgで破壊した。

(c) 母材の強度

(i) 引張り強さ(平均値)	グラスクロス使用のFRP	22.2kg/mm ²
	ロービングクロス使用のFRP	29.3kg/mm ²
(ii) 圧縮強さ(平均値)	グラスクロス使用のFRP	19.7kg/mm ²
	ロービングクロス使用のFRP	14.1kg/mm ²

(iii) 弾性率　近似的に、次の算式を使用した。

$$\text{弾性率} = \frac{\text{測定できた最大荷重}}{\text{測定できた最大荷重時の歪}} - 400\text{kg} / -400\text{kg時の歪}$$

引張りにおいては応力2kg/mm²～14kg/mm²の範囲で応力～歪曲線は直線性を示し、圧縮においては、応力2kg/mm²～12kg/mm²の範囲で直線性を示した。

グラスクロス使用のFRP	引張り弾性率	1,390kg/mm ²
〃	圧縮弾性率	1,877kg/mm ²
ロービングクロス使用のFRP	引張り弾性率	1,813kg/mm ²
〃	圧縮弾性率	2,300kg/mm ²

2.1.4 むすび

(a) FRPのスティフナ構造体の曲げ荷重(両端支持中央一線集中荷重)試験、およびブラケット構造体における圧縮試験において算出された破壊応力は素材の破壊応力と下記の誤差率でほぼ一致した。

特に、グラスロービングクロスFRPにおいては、比較的に良く一致した。

(i) グラスクロス FRP の場合

	引張りで破壊した場合	圧縮で破壊した場合
平均破壊応力(計算値) 標準偏差	2 5. 2 kg/mm ² 1. 0 "	1 2. 6 kg/mm ² 1. 9 "
素材の平均破壊応力 (測定値)	2 2. 2 "	1 9. 7 "
誤差率	8 6. 5 % (+13.5%)	1 3 5. 0 % (-35%)

(ii) ロービングクロスの場合

	引張りで破壊した場合	圧縮で破壊した場合
平均破壊応力(計算値) 標準偏差	3 1. 3 kg/mm ² 0. 4 "	1 1. 7 kg/mm ² 2. 3 "
素材の平均破壊応力 (測定値)	2 9. 3 "	1 4. 1 "
誤差率	9 3. 2 % (+68%)	1 1 7. 0 % (-17%)

(注) 誤差率は次の式で示されるものとした。

$$100\% - \frac{\text{素材の平均破壊応力(測定値)}}{\text{平均破壊応力(計算値)}} \times 100\%$$

(b) グラスクロス FRP とロービングクロス FRP との相違

素材価格はロービングクロス FRP がグラスクロス FRP より格安であった。引張り応力に対してはロービングクロスがより強い値を示し、圧縮応力に対してはグラスクロスがより強い値を示した。

	グラスクロス FRP	ロービングクロス FRP
引張りで破壊した場合の平均 破壊応力 (kg/mm ²)	2 5. 2	3 1. 3
圧縮で破壊した場合の平均破 壊応力 (kg/mm ²)	1 2. 7	1 1. 7
素材の平均引張り破壊応力 (kg/mm ²)	2 2. 2	2 9. 3
素材の平均圧縮破壊応力 (kg/mm ²)	1 9. 7	1 4. 1

(c) T型スティフナとU型スティフナの比較

この試験においてスティフナ構造体もプラケット構造体においても U 型が T 型より大きい破壊荷重を示した。

またスティフナの単位断面積あたりの強度は右表に示すとおり U 型が T 型よりも強い値を示した。

従って施工工作上支障ない限り U 型が T 型よりも有利となろう。

右表は単位断面積あたりの強度を、kg (荷重) / mm² (面積) で表したものである。

型 式	グラスクロス FRP	ロービングクロス FRP
T 100 型	0. 8 5	1. 0 1
T 150 "	0. 7 7	—
T 200 "	0. 6 0	0. 7 5
U 130 "	1. 4 5	1. 3 5
U 200 "	1. 0 8	—
U 260 "	1. 0 9	1. 0 3
T 100 "	1. 0 1	0. 8 7
T 200 "	0. 6 9	0. 6 0
U 130 "	1. 2 4	1. 0 7
U 260 "	0. 8 2	0. 7 6

(d) 搓 み

スティフナ構造体ではロービングクロス FRP がグラスクロス FRP より搓み量が少い。

一方スティフナ構造体の搓みを計算する場合、引張りと圧縮の弾性率が異なるため複雑な計算となる。従って実際の場合、"相当弾性率"で計算するのが合理的と考えられる。本試験におけるU型スティフナにおいては相当弾性率は右表の値に算出された。ただし 2ton 時の搓みを用いて計算した。

型 式	相当弾性率(k _{eq} /mm)
SUG 131	1 2 4 0
132	1 3 2 0
201	1 0 8 0
202	1 1 8 6
262	1 2 6 8
SUR 131	1 3 6 0
132	1 4 6 0
261	1 2 9 0
262	1 2 8 0

2.2 ハニカム材、サンドイッチ構造材の研究

2.2.1 はしがき

近時、サンドイッチパネルはそのすぐれた力学的性質と吸音、断熱特性を有する観点から航空機、船舶をはじめ各産業分野への使用増大が予想されている。本研究はこれらの情勢に対処するため、各種プラスチックを組合せたプラスチックサンドイッチパネルについて強度メンバー、施工方式（芯材と面材の接着、木ねじ保持力等）および船舶特有の振動特性、耐水性等を検討したものである。

2.2.2 供試材料（表2.2.1参照）

表2.2.1 (1) 表 面 材

表 面	厚さ mm	色 調	略 語 (以下本章にて使用)
強化ポリエスチル樹脂板(ガラス)	1.0	ブルー	FRP板
"	"	ライトグリーン	"
硬質塩化ビニル樹脂板	2.0	透 明	PVC板
メラミン樹脂化粧板	1.6	ライトグリーン	メラミン化粧板
塩化ビニル樹脂鋼板	0.8	グレード	ビニル鋼板
ベニヤ合板	6.0	—	ベニヤ板
アルミニウム板	1.0	—	アルミ板

表2.2.1 (2) コ ア 材

コ ア 材	厚さ mm	見かけ比重 (g/cm ³)	樹脂含浸率
樹脂加工	2.2	0.025~0.028	13.5%
ベーベハニカム (エノール樹脂)	"	0.022~0.027	9.5%
発泡ビニル樹脂	2.2	0.03	—
発泡スチロール樹脂	"	0.025	—

表2.2.1 (3) 接 着 剂

樹 脂	備 考
エノール樹脂	国 产 品 2種
エボキシ	国産および外国品各1種

2.2.3 試験項目および方法

(a) 曲げ特性試験

サンドイッチ構造材の接着力を正確に求めるため、MIL-STD-401Aに準拠し、図2.2.1のごとき2点荷重で常態および各浸漬後（清水1か月、海水2か月、温水1週間）の外板の軸応力および中芯のせん断応力を測定する。（負荷速度3～6分で最大荷重に達する程度）

海水：3%食塩水を使用

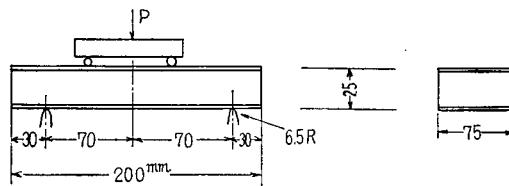


図2.2.1 曲げ試験片（2点荷重）

(b) 圧縮試験

曲げ特性試験同様、MIL-STD-401Aに準拠しサンドイッチパネルの常態、清水1か月、海水2か月および温水（50°C）1週間各浸漬後の圧縮強度を求める。

(c) 木ねじ保持力

試験片の中央にセルフタッピング・スクリューを一定深さ（10mm）にねじ込み図2.2.2のごとく治具にて常態における木ねじ保持力を測定する。

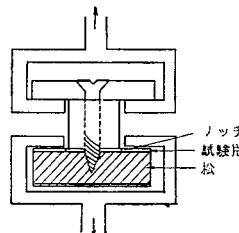


図2.2.2 木ねじ保持力試験装置

(d) 浸透試験

図2.2.3のような試験片中央の注入孔にゴム管を通して水圧を加えた後、15min, 1hr, 2hr, +hr, 8hr, の各時間経過後において水がハニカムコアに浸透せる範囲を記録する。

また、発泡樹脂コアでは図2.2.4のような試験片を没せきし、上昇度を観察する。

なお、両液とも着色剤としてフクシンを添加した液を使用し、パネルは50°Cで40時間乾燥する。

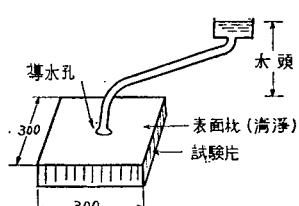


図2.2.3 浸透試験装置(1)

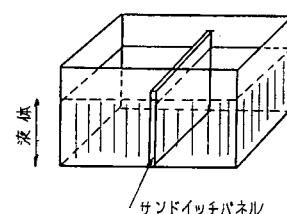


図2.2.4 浸透試験装置(2)

(e) 振動試験

図2.2.5のような装置に試験片(300mm×50mm×厚さ)を取付けて、偏心カム付きモータを回転(500~600 r.p.m)させ、1時間ごとに変化を観察し10時間後まで続ける。

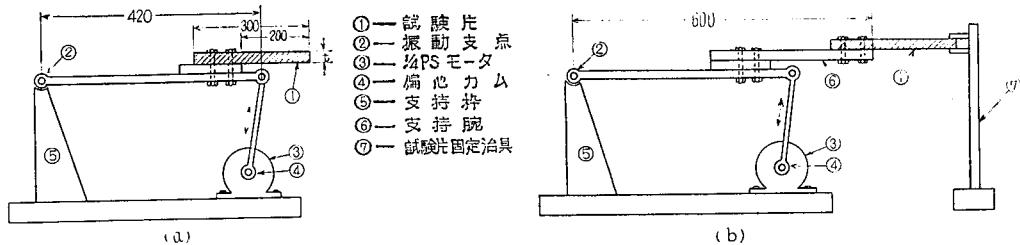


図2.2.5 振動試験装置

(f) 接着施工法

サンドイッチメーカ方法、冷圧方法、真空方法の3種について実施し、各実験結果より強度、施工法を比較検討する。

2.2.4 曲げ特性(曲げ応力、接着力について)

サンドイッチ構造体は曲げ応力の受ける個所において有効であり、単板の厚さ増大の代替品としてしばしば使用されている。

発泡樹脂では施工法による大きな相違が認められなかったが、発泡ビニル樹脂は発泡スチレン樹脂に比し高い値を示し、ペーパハニカムは施工法により強度の影響が大きく変動するので、接着面積の小さいこの種の接着(表面材の2~5%)には高度の技術を必要とする。(表2.2.1、図2.2.6参照)

FRP板は市販の関係上厚さ1m/mを供試材としたが、構造用部材に適応する場合1.5m/m以上が要求される。

FRP板とアルミ板を比較すると同一厚さ(1m/m)の強度はアルミ板が若干上回っているものの、1.5m/m以上のFRP板を採用すればアルミ板と同程度が期待され、さらに比強度では当然アルミ板を凌駕するものと予想される。

また、発泡樹脂を芯材としたサンドイッチパネルは浸漬後(3%人工海水中2か月および50°C温水中1週間)においてあまり強度変化がないのに反し、ペーパハニカム材では強度減少(曲げ、接着力とも)が著しく、とくに温水中では常態強度の50%に低下しており、シーリング法の検討が必要である。

2.2.5 圧縮特性

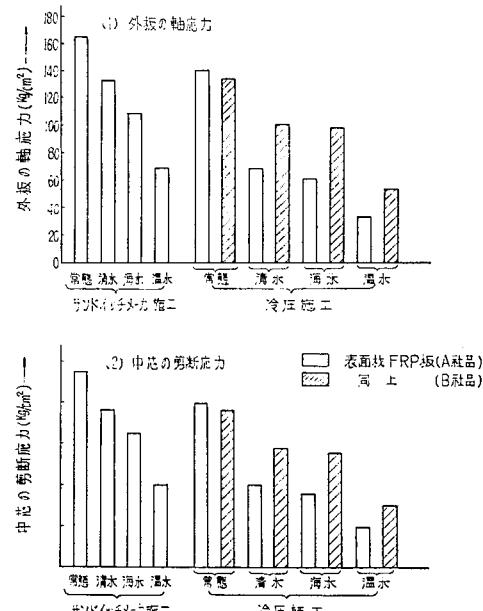


図2.2.6 ペーパハニカム(冷圧法)

サンディッチパネルの面圧強度は表面材の影響が少なく、芯材強度および接着力に支配されるので、表面材としてはFRPを1種に限定して試験を実施した。

各試験条件における個々の数値には多少の偏差が認められるが、平均強度を比較した場合、施工条件による差は小さく、また、実験条件（常態、清水1か月、海水2か月、温水1週間各浸漬後）では温水浸漬後が若干低値を示した。

図2.2.7に示すように発泡塩化ビニル樹脂で4～6.5 kg/cm²、発泡スチレン樹脂で1～2 kg/cm²、ペーパハニカムでは常態で6 kg/cm²であるが、浸漬後はハニカム中に水の滲透が著しいため、測定不能であった。

このようにペーパハニカム芯材は常態において比較的高い面圧強度を有しているが、水拡散が速いため、吸湿性の高い表面材との組合せおよび湿度の高いふん囲気中での使用はできるだけ避けた方が良いと考えられる。

表2.2.2 曲げ特性試験総括表（芯材別）(1) 発泡ビニル樹脂

試験 条件	サンド イッチ パネル	施工法 強 度		サンドイッチメーカー施工		冷 圧 施 工	
		外板の軸 応 力 (kg)	中芯のせん 断 応 力 (kg)	外板の軸 応 力 (kg)	中芯のせん 断 応 力 (kg)		
常 態	F R P 板	180.0	5.2			(192.9)	(5.6)
	P V C 板	163.2	9.2	157.0	8.9		
	メラミン化粧板	112.2	5.1	102.7 (100.0)	4.7 (4.6)		
	ビニル鋼板	171.5	3.9	157.5	3.6		
	ペニヤ板	48.8	8.3	46.5	7.9		
	アルミ板	206.0	5.2	192.0 (182.8)	5.5 (5.4)		
清 水 (1ヶ月)	F R P 板	158.6	4.0			(129.3)	(3.7)
	P V C 板	69.6	4.0	79.8	4.5		
	メラミン化粧板	104.7	4.8	89.7 (88.7)	4.1 (4.0)		
	ビニル鋼板	160.0	3.5	144.5	3.3		
	ペニヤ板	45.3	7.7	41.2	7.0		
	アルミ板	236.2	6.0	191.0 (169.7)	5.5 (4.9)		
海 水 (2ヶ月)	F R P 板	186.9	4.7			(120.1)	(3.5)
	P V C 板	73.5	4.4	78.0	4.4		
	メラミン化粧板	104.0	4.7	130.0 (68.2)	5.8 (4.5)		
	ビニル鋼板	157.5	3.6	150.0	3.4		
	ペニヤ板	55.2	9.4	46.5	7.9		
	アルミ板	191.0	4.8	179.8 (190.0)	5.2 (5.5)		
温 水 (1週間)	F R P 板	154.5	3.9			(101.0)	(2.9)
	P V C 板	71.0	4.0	61.3	3.5		
	メラミン化粧板	127.7	5.8	116.3 (125.2)	5.3 (5.7)		
	ビニル鋼板	135.8	3.1	129.3	3.0		
	ペニヤ板	—	—	37.1	6.3		
	アルミ板	162.7	4.1	180.0 (113.1)	5.2 (3.5)		

註 1. ()内の値は国産エポキシ系接着剤による強度

2. 空欄は実験せず

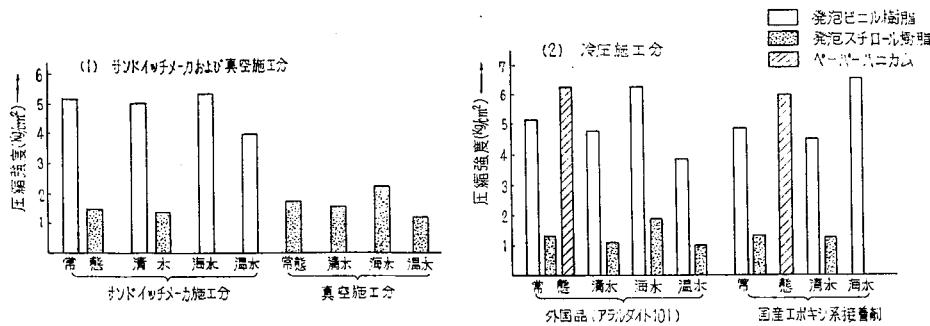


図2.2.7 圧縮試験結果(表面材はFRPのみ)

表2.2.2 (2) 発泡スチロール樹脂

試験条件	施工法 強度 サンド イッチ パネル	サンドイッチメーカー施工		冷圧施工		真空施工	
		外板の軸応力 (%)	中芯の剪断応力 (%)	外板の軸応力 (%)	中芯の剪断応力 (%)	外板の軸応力 (%)	中芯の剪断応力 (%)
常態	F R P板	69.7	2.0	65.7	1.7	58.7	1.7
	P V C板	41.6	2.4	49.0 (54.4)	2.8 (3.1)	45.6	2.6
	メラミン化粧板	62.0	2.8	65.3 (57.1)	2.9 (2.6)	57.0	2.6
	ビニル鋼板	65.3	1.5	62.7 (90.8)	1.4 (2.1)		
	ベニヤ板	26.5	4.5	(26.3)	(4.5)		
清水 (1ヶ月)	F R P板	64.7	1.9	67.7	1.7	64.5	1.9
	P V C板	35.8	2.0	44.6 (44.1)	2.5 (2.5)	43.1	2.4
	メラミン化粧板	59.5	2.7	63.2 (58.3)	2.9 (2.6)	55.8	2.5
	ビニル鋼板	56.3	1.3	51.2 (65.6)	1.2 (1.9)		
	ベニヤ板	29.4	5.0	(23.4)	(4.0)		
海水 (2ヶ月)	F R P板	64.7	1.9	66.7	1.7	62.7	1.8
	P V C板	39.2	2.2	43.8 (34.3)	2.1 (1.9)	49.5	2.8
	メラミン化粧板	63.3	2.9	65.2 (57.1)	3.0 (2.6)	61.4	2.8
	ビニル鋼板	62.7	1.4	52.5 (82.0)	1.2 (2.0)		
	ベニヤ板	26.0	4.4	(24.2)	(4.1)		
温水 (1週間)	F R P板	40.4	1.1	49.5	1.3	65.7	1.9
	P V C板	37.3	2.1	34.8 (33.8)	2.0 (1.9)	ハクリ	ハクリ
	メラミン化粧板	57.7	2.6	55.2 (45.3)	2.5 (2.1)	52.1	2.4
	ビニル鋼板	65.3	1.5	56.3 (65.3)	1.3 (1.5)		
	ベニヤ板	25.6	4.4	(19.9)	(3.4)		

[注] 表2.2.2 (1)に同じ

表2.2.2 (3) ベーパハニカム

試験条件	施工法 強度 サンド イッチ パネル	サンドイッチメーカー施工		冷圧施工	
		外板の軸応力 (%)	中芯の剪断応力 (%)	外板の軸応力 (%)	中芯の剪断応力 (%)
常態	F R P板(N社品)	164.8	4.7	141.0	4.0
	(D社品)			133.8	3.8
清水 (1ヶ月)	# (N社品)	133.3	3.8	68.7	2.0
	# (D社品)			102.0	2.9
海水 (2ヶ月)	# (N社品)	109.1	3.2	61.7	1.8
	# (D社品)			99.0	2.8
温水 (1週間)	# (N社品)	69.6	2.0	53.4	1.0
	# (D社品)			53.5	1.5

[注] 第2.2.2表(1)に同じ

2.2.6 木ねじ保持力

サンドイッチパネルの取付工作法および接着の良否、接合方式が一番問題となるが、とくに FRP 等プラスチック材料を表面材に使用する場合、薄いため、ねじのくい込みが不十分である。

本実験では松を中心材とし、表面材を各種変えて保持力を測定した結果、ねじがほとんど抜けの状態を示し、中心材（松）の木ねじ保持力（150kg 前後）として表われ、少しでもねじが表面材にかかっていれば接着面の浮きあがりまたは、ねじ部の剥離現象が生じる。

一方、ベニヤ合板を表面材とした場合、比較的厚い（6 m/m）ので、実際の木ねじ保持力が測定され、65～85kg で接着面より完全剥離をおこした。表2.2.3に結果を掲載した。

表2.2.3 木ねじ保持力試験結果

（接着面積 40cm²）

表面材	実荷重 (kg)	表面状況
FRP 板	155	30mm の間にわたり FRP が浮上する
	130	"
	145	"
	125	"
	145	20mm の "
メラミン化粧板	160	木ねじ抜ける
	140	木材が割れ、デコラが剥離する
	155	木ねじ抜ける
	120	"
	145	"
PVC 板	125	木材が浮上し、ビニル板が剥離し、木ねじ抜ける
	130	"
	145	"
	150	"
	245	木ねじ抜ける
ビニル鋼板	145	木ねじ抜ける
	145	"
	120	"
	130	"
	100	"
ベニヤ板	80	ベニヤ剥離する
	65	"
	65	"
	80	"
	85	"
アルミ板	160	木ねじ抜ける
	170	"
	145	"
	130	"
	150	"

これらの結果より、軽量断熱材を中心材としたサンドイッチパネルの取付工作法については木ねじの保持力（締圧力）は皆無にひとしいため、木ねじ個所は設計当初よりパネル内部にインサート類を考慮する必要がある。

2.2.7 振動特性および浸透性

サンドイッチパネルを船舶構造用部材および船内艤装品用に適応する際、当然、船舶特有の振動、塩分、湿分による影響が考えられるが、本実験結果から振動試験では 10⁸ 回繰返し（2.5m/m 偏心カム付きモータによる）後においても接着面の剥離および取付部の破断が見られず、この種の振動に対しては十分使用に耐えるものと推察される。

浸透性については発泡樹脂は吸水率が非常に小さいために、これを芯材としたサンドイッチパネルは端末に接着不良部（不均一性、気泡等）が存在するとき、浸漬後速やかに接着面に滲透するが、樹脂の滲透は見られなかった。

また、接着良好なパネルは長期間の浸漬後も変化が認められなかった。

ペーパハニカム・サンドイッチパネルは前述したように滲透性が著しく、短時間に拡散する傾向があり、一度セル内に入った水は、抜けにくいので、接合部の完璧化ならびに端末処理を十分に注意する必要がある。

2.2.8 接着施工法の検討

サンドイッチ構造材の機能は接着施工時の技術にきわめて影響を受け易い。

今回メーカ施工、冷圧施工、真空施工の3種の接着施工したパネルの強度結果より検討すると、発泡樹脂芯材の接着面積が広く、接着作業も比較的容易で、材料組合せ、接着量等を正確に把握すればかなりの強度が期待されるが、接着剤中の溶剤におかされることもあるため、一考を要する。

一方、ペーパハニカムの接着は全面接着に比し2～5%の接着面積であり、接着技術、装置等に左右される。本実験でもメーカ施工によるパネルの強度は高く、良好な接着性を示した。

また、この種の接着にテープ状（またはフィルム状）接着剤を使用することにより若干緩和されると思われる。

図2.2.8はハニカム・サンドイッチパネルが理想的な接着の場合の接着剤の状況を示すもので、このフィレットの形成の可否でサンドイッチ構造の強度（接着力、曲げ、圧縮力およびせん断力）が決定される。

なお、接着剤使用によるこの種のサンドイッチパネル（FRP、PUC等の表面材を除いて）は接着部の検査が困難であり、今後、価格次第で従来の高精度の接着施工法と接着工程の節減を兼ねたポリウレタンのような現場発泡によるサンドイッチパネルへ推移することが予想される。



図2.2.8 理想的なハニカムサンドイッチの接着機構図

2.2.9 むすび

造船技術の近代化ならびに軽量化を目的とし、発泡樹脂、ペーパハニカムを芯材としたプラスチック・サンドイッチパネルの強度特性および施工方式等を検討した結果

(1) 発泡樹脂芯材では施工法による強度差は少ないが、接着剤中に含まれる溶剤に留意する必要がある。

また、ペーパハニカム芯材では接着面積が小さいため、これらの施工には高精度の技術が要求される。

(2) サンドイッチパネルの製作には接着工程がもっとも重要であり、パネルの接着力のみならず曲げ、圧縮およびせん断応力の働く部分にも影響を与えるので、とくに現場施工では十分の

検討を要する。

(3) 取付工作時において木ねじ、ビス類の保持力は皆無に等しいため、設計当初よりインサート類を考慮することが肝要である。

(3) 水、湿分はペーパハニカム中に速やかに浸透拡散し、一度浸入した水は排出困難であるので、サンドイッチ材の端末処理が重要である。

等が挙げられるが、この種材料の今後の方向としてはシームレスな断熱材をうることのできる現場発泡法によるサンドイッチパネルの使用増大も予想される。

第3章 施工工作法の研究

3.1 はしがき

船舶の合理化が近来つとにさけばれている折から難燃性、軽量化、塗装不用および保守手入れの簡易化を目的としてプラスチックスを船舶に応用する場合に、加工性と使用数量から見て、表面材にプラスチックスを使用し、ペーパハニカム、コアサンドイッチ構造のパネルにして船内間仕切壁および内張材に適用することが、一番効果があると考えられる。この場合の施工工作法について設計資料を得るために2, 3の実験を試みた。

3.2 合板とペーパハニカム・サンドイッチの比較

3.2.1 試験の方法

メラミン化粧板を表面板とし、ペーパハニカムを芯材とするサンドイッチ板と現在使用されている合板について、曲げ試験を行ない、剛性を比較した。試験は表3.1の諸材料（構造は図3.1のとおり）について行ない、試験方法はMIL規格を参考にして、スパン150mmとした。試験片は常態のままのものと海水に2か月間浸漬した後、引揚げて乾燥させたものとの各ケースについて試験を行なった。■

表3.1 試験片、諸材料表

種類	No.	試験片寸法	試験個数 L W	備考
ハニカム	1	200×75×10	5 5	(1)表面板には1.5mm厚のメラミン化粧板を使用 (2)ハニカムコアはセルサイズ12mmのペーパハニカム
	2	" 15	" "	(3)表面板とペーパハニカムの接着はエボキシ系接着剤による
	3	" 20	" "	
サンド イッチ	4	" 25	" "	
	5	" 30	" "	
合板	1	200×75×6	5 5	(1)合板の構成は図3.1に示す (2)合板は尿素系接着剤によって製作 (3)木材の含水率は常態において9~11% 海水浸漬後 25~30%
	2	" 9	" "	
	3	" 12	" "	
	4	" 22	" "	
	5	" 25	" "	

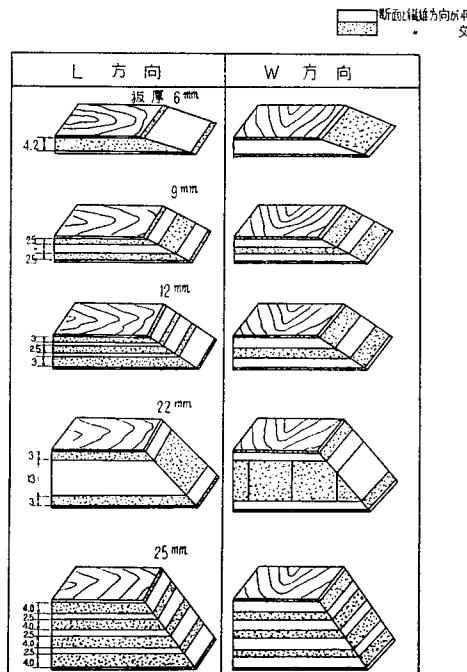


図3.1 供試合板の構造

3.2.2 試験の結果

(a) 曲げ試験によって得た $\rho - \delta$ (荷重 - 搾み) 曲線からおのおのの最大荷重をその撓みで除して見掛けの剛性と見なし、単位重量当りの剛性に修正して図3.2に示した。ハニカムサンドイッチの強度はコアが支持荷重を受けて生ずるせん断応力による挫屈限度から決まる。一方合板が曲げを受けた場合は、破壊が合板のどこで起ったかによって、曲げ応力、あるいはせん断応力が決定される。実際にはどこで破壊が生じたか明瞭でない場合が多いが、試験結果の数値か

ら表面板に生じた曲げ応力によって、破壊したものと推定してよからう。従って図3.2において比較解析した。それぞれ曲げ荷重による破壊状況が異っている点に注意すべきである。

(b) このテストピースを曲げて見た範囲では、図3.2に示すようにハニカム・サンドイッチに比較して合板の剛性が高く、コア厚が大きい程この傾向は増加している。ハニカム・サンドイッチの強度はコアのせん断挫屈からきまるのでこのような結果になっているが、実際にパネルとして利用する場合は、このような短かいスパンの構造はほとんどあり得ない。一般にハニカム・サンドイッチ・パネルの負荷荷重 ρ により生ずる撓み δ は次式によって与えられる。

$$\delta = \rho l^3 / 48D + \rho l / 4U$$

l : サンドイッチ・パネルのスパン

D : サンドイッチ・パネルの曲げ剛性

U : サンドイッチ・パネルのせん断剛性

すなわち第1項の曲げによる撓みと第2項のせん断による撓みの和によって得られるが、曲げスパンがそのコア厚に比して大きい場合は第1項に対して第2項のせん断の影響は無視し得る。例えば $l = 900\text{mm}$ ならば第2項を無視できるから、D ($\alpha\rho/\delta$) を計算すると、図3.3のようにハニカム・サンドイッチ・パネルの方が、合板に比較して重量の点でははるかにすぐれている。

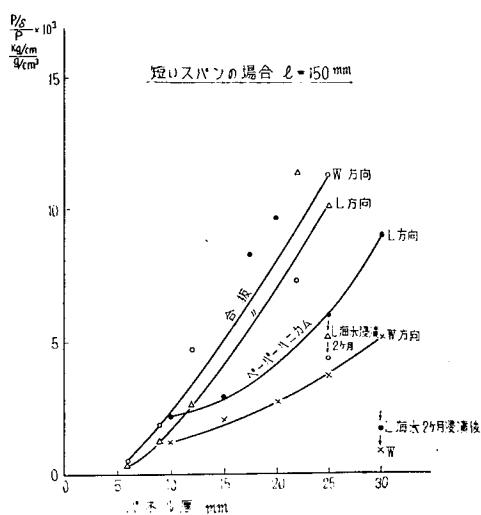


図3.2 重量当り曲げ剛性

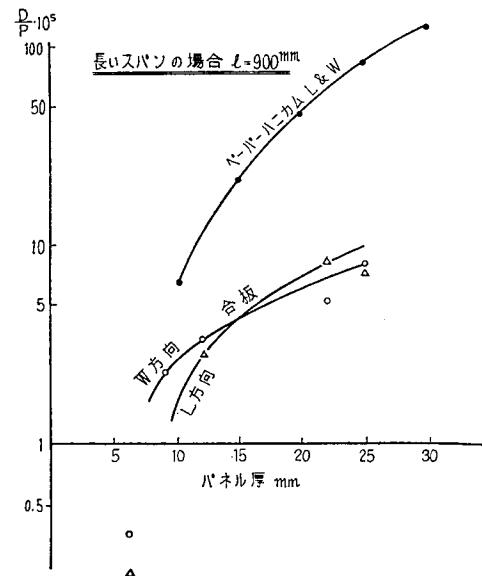


図3.3 重量当り曲げ剛性

(c) ハニカム・サンドイッチの曲げ強さは表面板、コア、接着剤および工作法等がすべて総合されて決まるから、例えばコア材、接着剤の異なるものを用いた時は、当然本実験に示すものは異なる。従ってこの実験の結果が直ちに一般にハニカム材を代表するということはできない。むしろ個々の使用目的によって、適当な材料を選択すべきである。合板についてもplyの数、単板の厚さ、接着剤等の構成が異なると、同一厚さでも、強度がかなり異なるから、図3.2

のグラフについても構成材料が異なれば同一の関係になるとは限らない。図3.2に示した諸数値もこれらの点を考慮して把握すべきである。

(d) テストピースを海水に2か月浸漬した後、自然乾燥したものはコアに附着した塩分のためにWetな状態となり曲げ強さは著しく減ずる。従って海水に曝露される箇所は、何らかのエッヂ処理が必要である。

3.3 ペーパーハニカム芯材に対する海水の浸透試験

ペーパーハニカム・サンドイッチ構造の壁体の下部ガスカッパの故障等で海水あるいは雨水に浸漬した場合について、各セルに海水の浸透する状況を観察した。試験板は12mmのセルサイズを有するペーパーハニカムの両面に透明の硬質塩化ビニル板1.5mmをゴム系接着剤で接着したものを用いた。コアエッヂをシールするには、ビスマチックエナメル、RT50、ビニル系ペイント、フタル酸ペイント、ボイル油をそれぞれ塗布する方法およびラワン材をエッヂにし5mm幅に埋込む方法を採用了。

図3.4は試験板を海水に浸漬してから、24時間、48時間および1週間後各セル区画への浸透状態を観察した結果である。ビスマチックエナメル、RT50、ビニル系およびフタル酸ペイントの各塗料を塗布した場合は、相当な効果が認められる。ビニル系ペイントで80%以上浸透したものは完全にシールされていなかったための実験的誤差である。

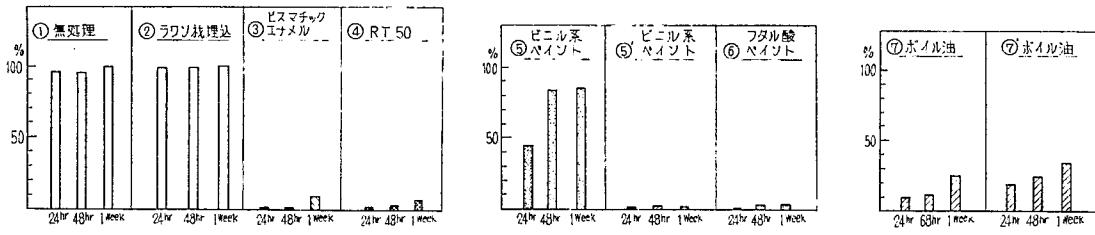


図3.4 ペーパーハニカムコアの海水浸漬後の浸透率

3.4 ハニカム・サンドイッチ板施工工作法に関する2, 3の試験

ハニカム・サンドイッチパネルを開仕切壁あるいは内張材に使用する場合に起る問題は、先づ第一にコアがセルであるということであろう。

このセルのコアに対する施工工作法として考えられる2, 3の方法について次の実験を行なった。

3.4.1 ハニカムコアに合板をインカートした場合のボルト接手保持力

ハニカムコアに60mm幅にインカートしたラワン合板(25mm厚)のボルト接手(9mm径)強度を計測した。ボルト位置がエッジから30mm～35mmにおいて、高い支持荷重が得られた。エッジとボルト位置の距離として、板厚の1.1～1.5倍程度が必要と考えられる。(図3.5参照)

3.4.2 ハニカム・サンドイッチ板と木ねじ保持力

ハニカム・サンドイッチパネルに木ねじで備品類を取付ける場合について、ハニカム、コアの一部に木材を埋込んだものと、表板の一部に各厚さのラワン合板を接着補強したものについて、木ねじ支持力を比較した。試験の結果ラワン材を埋込んだ場合が最大であるが、表板に合板を接着した場合でも十分代用し得ることがわかった。(図3.6参照)

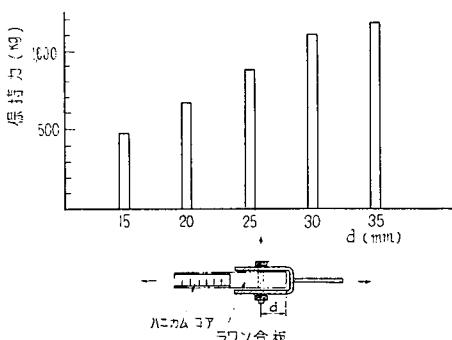


図3.5 埋込みラウン合板のボルト接手保持力

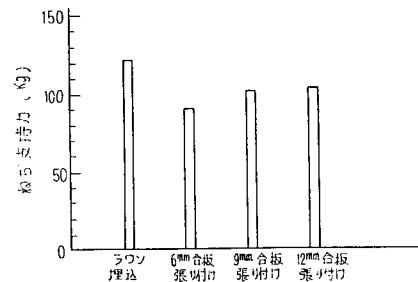


図3.6 ハニカム・サンドイッチ板の木ねじ支持力

3.4.3 ハニカム・サンドイッチ板とメタルシートの接着強さ

ハニカムサンドイッチパネルに備品類を取付ける方法の一つとしてメタルシートを接着してそれに取付ける方法がある。

この際の接着面積決定の資料とするために、メタルシートと各種表面材の接着力を各条件下で計測した。（表3.2参照）

試験結果を図3.7に示す。これからフェノール系接着剤は温水および海水没漬によって、接着力を著しく減ずることが判るが、エポキシ系接着剤は温水および海水の影響をうける度合が少ない。

また表板に硬質塩化ビニル板を使用すると他の場合より接着力が低下する。

表3.2 各種、表板および接着剤表

表 板	ハニカム・コア		接着剤	試験片数		
	種類	厚		種類	厚	温水 浸漬
強化ポリエチレン	7.0	/	エポキシ系	5	5	5
ハニカム 12-0-10	22	/				
硬質塩化ビニル	1.5	/	エポキシ系	5	5	5
メラミン樹脂板	1.6	/	フェノール系	5	5	5
ビニル繊板	0.8	/	エポキシ系	5	5	5

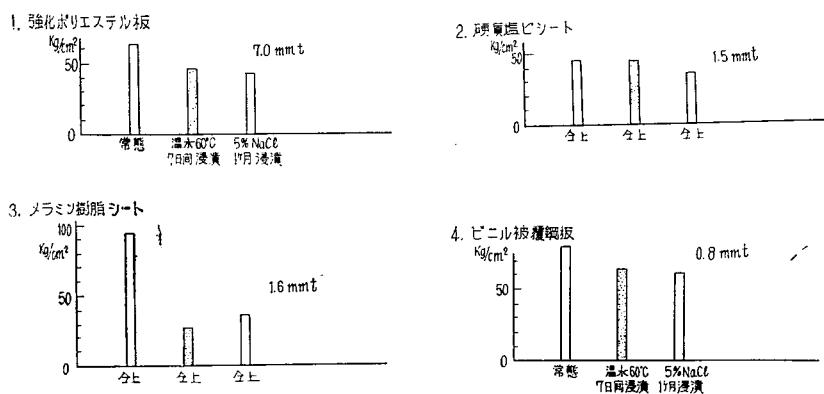


図3.7 ハニカム表面板と取付金具メタルシートの接着強度

接着条件 1. 表面 表面板 CCl_4 脱脂メタルシート研磨後脱脂

2. 圧力 自然荷重

3. 硬化 30°C 5日

第4章 断熱特性の研究

4.1 はしがき

船舶の上部構造の壁材、天井材、間仕切などの構造体としてFRPパネルまたはハニカムサンディッシュ・パネルを使用する場合、構造体としての熱貫流率が判明していれば防熱設計上、有益な参考資料となる。

本研究は構造壁体を想定した4種の供試体を製作して熱貫流率測定装置によって熱貫流率を実測してプラスチック構造壁の断熱特性を調べることを目的とする。

4.2 供試試験体

供試試験体は表4.1に示すとおりである。

表4.1 供試試験体種類

試験体種類	試験片寸法(㎜)	備考
FRP單板	2,050×2,050×6	
ステラつきFRPパネル		寸図4.1参照
FRPサンディッシュ・パネル	2,050×2,050×30	両面5mmFRPコア24mm ビニル・サンディッシュ・パネル
ビニル・サンディッシュ・パネル		両面5mm塩化ビニル板、コア 24mmペーパーハニカム
鋼板(单板)	2,050×2,050×32	比較のための参考
防熱鋼板	2,050×2,050×282	

〔注〕 (i) FRPについて

樹脂 エポラックG 168

硝子 E MH25(ガラスクロス)……C

E WR33(ロービングクロス)……R

硝子含有量 45~49%

(ii) FRP板の構成

6mm厚パネル CRRCRRC……RRCRC 21層

3mm厚パネル CRRCRRC 7層

スティフナ RRR 3層

(iii) ビニル

硬質塩化ビニル板

(iv) ペーパーハニカム

N社製 A-100 24mm厚

(v) 接着剤

FRPとペーパ・ハニカムの接着 ポリエステル樹脂

ビニルとペーパ・ハニカムの接着 エポキシ樹脂

(vi) 鋼板(单板)および防熱鋼板

プラスチックパネルと鋼板との断熱特性を比較するための参考となる。

防熱鋼板とは3.2mm鋼板の片面を25mmグラスウールボードS-20Aで防熱したものである。

供試試験体の構造の1例を図4.1に示す。

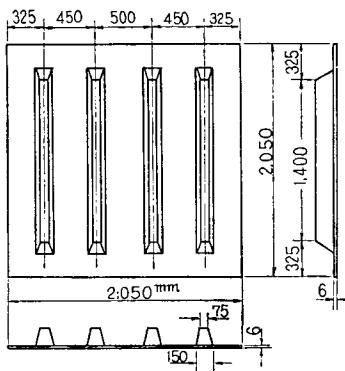


図4.1 スティフナつき FRP パネル

4.3 試験の方法

4.3.1 热貫流率測定装置

装置の概略を図4.2に示す。装置は加熱箱および保護箱（以上高温側）と冷却箱（低温側）に分かれており高温側と低温側の境界に供試体を取り付ける。

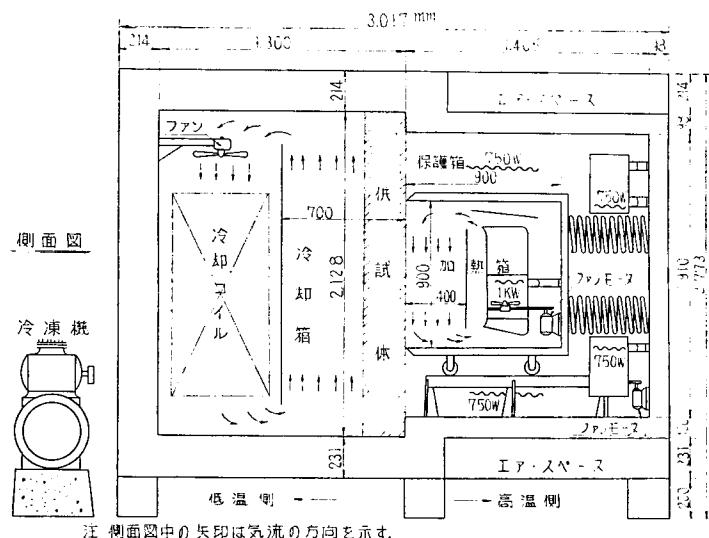


図4.2 热貫流率測定装置

4.3.2 溫度測定

温度はすべて $0.3\text{mm}\phi$ 銅-コンスタンタン熱電対によって測定する。

温度測定点は図4.3および表4.2に示す。

4.3.3 試験方法

加熱箱および保護箱の気温を試験温度に保ち、かつ加熱箱の周壁の内外面の温度差をできるだけなくして、温度差が0の場合、加熱箱の周壁を通じての熱の出入はないものと考える。

冷却箱の温度を試験温度に保つ。

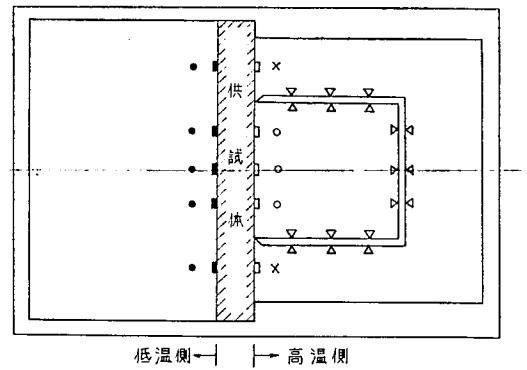


図4.3 溫度計測点

表4.2 溫度計測点

測定の種類	記号	符号	測定位置
冷却箱空気温度	t_c	●	供試体表面から約1.5cm離れた垂直平面内
低温側表面温度	θ_c	■	供試体表面。 t_c に対応する各点
高温側表面温度	θ_h	□	供試体表面。 θ_c に対応する各点
加熱箱空気温度	t_h	○	供試体表面から約1.5cm離れた垂直平面内
保護箱空気温度		×	同上
加熱箱内外面温度差		△	加熱箱周囲内外面にシリーズに配線

このようにすれば、加熱箱内で発生する熱量（加熱箱の温度を一定試験温度に保つに要する熱量）はすべて供試体を貫流するものと見なすことができるので、次式によりこの試験状態における供試体の熱貫流率を求め得る。

なお、参考として供試体の熱コンダクタンスおよび供試体表面における熱伝達率も次式によって求め得る。

$$K = \frac{q}{A(t_h - t_c)} \quad \text{Kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$$

$$C = \frac{q}{A(\theta_h - \theta_c)} \quad \text{Kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$$

$$\alpha_h = \frac{q}{A(t_h - \theta_h)} \quad \text{Kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$$

$$\alpha_c = \frac{q}{A(\theta_c - t_c)} \quad \text{Kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_h} + \frac{1}{C} + \frac{1}{\alpha_c}$$

ここに

K : 热貫流率

C : 热コンダクタンス

α_h : 高温側熱伝達率

α_c : 低温側熱伝達率

q : 加熱箱内で発生した熱量 Kcal/hr⁰

A : 加熱箱から低温側に流れる熱の流れに直角な面積 m²(=0.81)

$t_h, t_c, \theta_h, \theta_c$: 表4.2および図4.3参照 °C

4.3.4 各箱内風速

供試体表面から約15cmの距離において測定した各箱内の気流速度はほぼ次のとおりである。

低温側 冷却箱 0.5~0.9m/sec

高温側 加熱箱 0.3~0.7 ヶ

〃 保護箱 0.2~0.5 ヶ

4.4 試験結果および考察

4.4.1 試験結果

試験結果は表4.3に示すとおりである。

表4.3 試験結果

試験体	※1 冷却箱 ファン	計測点温度(平均) c				実験値 Kcal/m ² hr c			
		t_h	θ_h	θ_c	t_c	K	C	α_h	α_c
FRP単板	動	3.6	2.1	1.1	-8	5.3	22.1	16.3	12.2
	止	3.7	2.6	1.6	-1	4.6	16.8	15.8	10.3
PRPステッフナ つき単板 *2	動	3.6	/	/	-8	4.7	/	/	/
	止	3.6	/	/	-3	4.0	/	/	/
FRPサンドウイッチ	動	3.6	3.1	-3	-11	1.9	2.7	16.3	11.4
	止	3.7	3.2	3	-6	1.6	2.3	14.9	7.5
ビニルサンドウイッチ	動	3.4	2.8	-2	-11	2.1	3.2	16.9	10.4
	止	3.4	3.0	3	-6	1.7	2.6	14.3	7.5
鋼板(単板)	動	3.1	1.6	1.3	-3	6.0	66.0	14.0	12.4
防熱鋼板	動	3.4	3.0	-6	-11	1.0	1.3	10.3	9.7

註*1試験室風速

試験室内は図4.2に示しているようにファンによって、自然対流と同じ方向に空気が流れるように空気を移動せしめている。この場合の試験室風速は下記のとおりであって「動」で示している。

また、冷却側のファンを停止して、冷却側は自然対流のみとした場合の試験は「止」で示した。

試験室風速(試験片面より約15cm離れた位置において)

ファンの運転	「動」の場合	「止」の場合
低温側	0.5~0.9 m/sec	自然対流のみ
高温側	0.3~0.7 m/sec	0.3~0.7 m/sec

註*2スティッフナ付の場合スティッフナは垂直方向になるようにした。

注1. $t_h, \theta_h, \theta_c, t_c$: 図4.3および表4.2参照

注2. K: 熱貫流率 C: 熱コンダクタンス

α_h : 高温側熱伝達率 α_c : 低温側熱伝達率

4.4.2 考察

表4.3の試験結果は次の諸点を考慮に入れて見なければならない。

(a) 風速

風速が変ればKの値は変ってくる。すなわち、風速が小となれば、 α が小となり、従ってKも小となる。

(b) 空気温度

空気温度が変れば K もまた変ってくるようである。

従って、(a) および (b) の状態が表 4.3 に示す値の条件下で試験した場合同表に示す実験値が求められたということである。

(c) 表面温度

表面温度 (θ_h, θ_c) の測定は可能な限り正確な値がえられるように熱電対を設置しているつもりであるが、それでもなお正確な測定は困難である。すなわち、表面温度測定用熱電対が空気温度の影響を受けて、高温側表面温度は実際のそれよりも若干高目の値となり、また低温側では若干低目の値になっていると考えられる。このことは鋼板(単板)における表面温度 θ_h および θ_c の値を見れば明らかである。鋼板の場合、厚さは僅か 3.2mm であるから、理論的には $\theta_h - \theta_c = 0^\circ\text{C}$ となるはずであるが、測定値は $\theta_h - \theta_c = 3^\circ\text{C}$ となっている。このことから推察するに、 θ_h および θ_c はそれぞれ 1 ~ 2 °C 高目および低目の値がえられていると考えられる。したがって表 4.3 に示された C 値は実際の C の値より小なる値であり、逆に α_h および α_c は実際の値よりも大なる値が示されているということができる。しかしその修正値は現在のところ不明である。

4.5 む　す　び

以上の諸点を考慮に入れて、これらの試験結果からえられた結論は次のとおりである。

- (1) プラスチック構造壁は、鋼壁に比較して防熱上有利である。
- (2) FRP 単板の熱貫流率は、鋼板(単板)に比して 15% 程度、小である。この場合、厚さの差は無視し得ると考えられる。
- (3) FRP 単板にハット型スティフナを設けたものは、単板のみに比して約 10% 热貫流率が小である。
- (4) ペーパ・ハニカムを芯材とするサンドイッチ・パネルは断熱性にすぐれている。その熱貫流率は、約 $2\text{Kcal}/\text{m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ であって、この値は、ハニカムの厚さとほぼ同じ厚さ (25mm) のグラスウール防熱材によって防熱された鋼壁の熱貫流率 ($1\text{Kcal}/\text{m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$) の約 2 倍である。
- (5) サンドイッチ構造の表面材の材質の差は、本試験結果では FRP の方がビニルよりも幾分断熱性がすぐれているようである。しかしその差はきわめて小さい。FRP 表面材は一枚物で継手がなくビニル表面材は継手を有している(継手の位置は試験区画から離すように留意はしているが)点を考えれば、表面材の差はほとんどないと考えても差支えないようである。

第5章 遮音、吸音特性の研究

5.1 はしがき

プラスチックス材料の構造体が船舶に採用された場合の防音上の基礎資料を把握する手段として、構造体の音の透過損失と、吸音率を計測した。これにより、船内騒音対策上、優れた材料を選ぶことができ、また、適切な防音対策を講ずることができる。

5.2 研究理論

通常、音の透過損失（T.L.）は2つの音響的に遮断された残響室の中間壁の孔に試料を設置して計測される。

A室内に音響出力（W）の音源があるときの、A室内の音の平均エネルギー密度 ρ_A は、

$$\rho_A = -\frac{4W}{C\alpha_A S_A} \quad \dots \dots \dots \quad (5.1)$$

ただし C : 音速

α_A : A室内の壁の平均吸音率

S_A : A室内の壁の総面積

試料面積を S_T 、音の透過率を τ とすれば、試料を通してB室には、

$$\frac{\rho_A \cdot C}{4} \cdot S_T \cdot \tau \dots \dots \dots \quad (5.2)$$

のエネルギーが供給される。

したがってB室内の吸音力を $\alpha_B \cdot S_B$ とすれば、B室内の音の平均エネルギー密度 ρ_B は、

$$\rho_B = \frac{\rho_A \cdot C}{4} \cdot S_T \cdot \tau - \frac{4}{C \cdot \alpha_B \cdot S_B} = \rho_A \frac{S_T \cdot \tau}{\alpha_B \cdot S_B} \dots \dots \dots \quad (5.3)$$

両室の音圧レベルをおのおの $L_A \cdot L_B$ とすれば、

$$L_A - L_B = 10 \log_{10} \frac{\rho_A \cdot C}{\rho_B \cdot C} = 10 \log_{10} \frac{1}{\tau} + 10 \log_{10} \frac{\alpha_B \cdot S_B}{S_T} \dots \dots \dots \quad (5.4)$$

$$\therefore T.L. = (L_A - L_B) + 10 \log_{10}(S_T / \alpha_B \cdot S_B) \dots \dots \dots \quad (5.5)$$

試料の吸音力 $\alpha_T \cdot S_T$ は、残響室内壁に試料を取付けた場合と空室の場合との残響時間を比較することによりEyringの次式から計算しうる。

$$T_{60} = -0.162 V/S \cdot \log(1 - \bar{\alpha}) \dots \dots \dots \quad (5.6)$$

ただし T_{60} : 残響時間（音圧レベルが 60 dB 減衰するための所要時間）sec

V : 残響室内容積, m^3

S : 残響室内表面積, m^2

$\bar{\alpha}$: 試料を含む残響室平均吸音率

したがって、空室の時の、平均吸音率を α_0 とすれば、試料の吸音率 α_T は、

図5.2, 5.3中の TL_0 , \bar{TL} は、(5.8), (5.9)式から計算した理論曲線である。実測値はいずれも、 TL_0 と \bar{TL} 曲線の中間にあり、この程度の材料に対しても質量法則を適用し得ることが認められたが、実用的には \bar{TL} 計算式により設計する方が安全側であろう。

図5.3のFRP 単板が高周波音に対して TL 値が減少するのは、Coincidence 効果と称される共鳴振動によって生じたもので、Cremer の理論式によれば共鳴現象を生ずる限界周波数 fc は、

$$fc = \frac{C^2}{\pi h} \sqrt{\frac{3\rho(1-\delta^2)}{E_g}} \quad (\text{c/s}) \quad \dots\dots\dots(5.10)$$

ただし h : 材料の厚さ

ρ : ク 密度

δ : ク ポアソン比

E : ク ヤング率

である。FRP の E を $3 \times 10^3 \text{ Kg/mm}^2$ とすれば $fc \approx 2800 \text{ c/s}$ となり、計測結果と一致する。図5.1に示すとおりスティフナ付 FRP ではこの効果は少なく、かつやや高周波に亘って表われる。

FRP ハニカムでは Coincidence 効果は表われず、周波数と共に TL 値は増大するが（図5.2）塩ビ

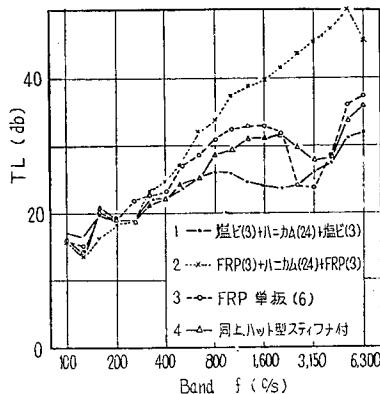


図5.1 透過損失(T.L.)比較曲線

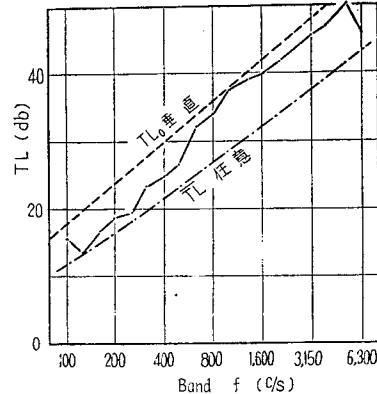


図5.2 FRP ハニカム透過損失

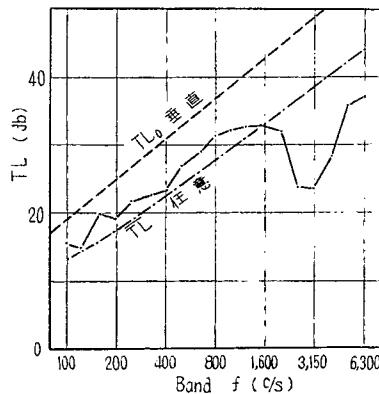


図5.3 FRP 単板透過損失

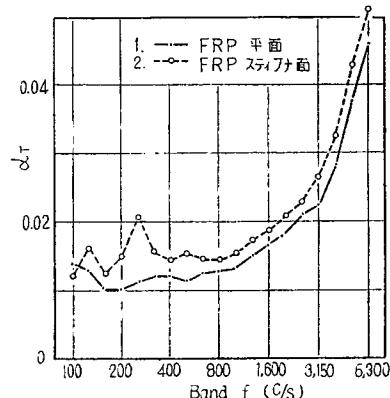


図5.4 FRP 板吸音率(d)

ハニカムでは約 2,000c/s を中心として TL 値が減少し、塩化ビニル板と、ハニカム材との接着が不完全のため単板の Coincidence 効果が表わされたものと推定される。なお、スティフナ付 FRP スティフナが音源側にある場合と、受音側にある場合との透過損失には殆んど差は認められない。

FRP の吸音率は非常に少なく、2,000c/s 程度まで 0.01～0.02 の値となり、これはガラス板のそれにほぼ等しい。ただ、スティフナ側の面は受音面積が大きいこと、ハット型スティフナの内部吸音と、回折現象とのため吸音率は、やや増加している。

5.6 む す び

各材の遮音効果については、図 5.1 に示す TL 比較曲線で明らかになるとおり、FRP ハニカムが最も優れ、塩ビハニカムは最も劣る。また単板は高周波音で Coincidence 効果のため防音効果が落ちるので不利である。

FRP の吸音率は合板の約 1/10 のため、室内全面を FRP で仕上げた場合と、合板で仕上げた場合、前者の方が約 10db 音圧レベルがあがることが予想される。

第6章 通風ダクトの研究

6.1 振動特性

6.1.1 はしがき

本実験研究はプラスチックス製（塩化ビニル）通風ダクトを使用した場合の種々の問題点の1つとして、その振動、騒音特性を調査し、ダクト艤装技術の向上に資することを目的とする。

6.1.2 研究の方針

硬質塩化ビニル樹脂製ダクト（以下塩ビダクトと称する）は従来の薄鋼板製ダクトに比較すると、共振点が低く、低周波域の船体振動に共振するおそれがあるが、一方、送風器系の発する騒音の基本周波数より低い共振点をとることが可能であるから、ダクトからの発生騒音は少なくなるものと予想される。従ってダクト艤装技術もそれに応じたものを考える必要がある。

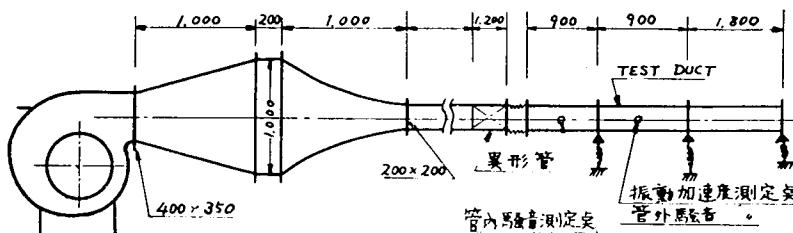
ダクトの振動は風量または風速、ダクト形状、スパン、連結方法等の函数と考えられるので、それらを変化させた場合の振動状況を塩ビ製、薄鋼板製ダクトについて比較検討する。また振動加速度のみでなく、ダクト内騒音、ダクト騒音等をも併せ測定する。ダクト壁振動による発生騒音は、管内では送風器からの伝達騒音の Masking Level 以下と考えられるので、概略、ダクト内騒音は送風器騒音、ダクト外騒音はその管壁透過音と発生音との和と考えてよいであろう。

6.1.3 実験方法

ダクトは、正方形、円形、矩形、長円形の4種（表6.1.1）とし、最大風速20～25m/sの同一風量を出せるよう設計し、長さ900mmの両端のフランジ結合部をゴムスポンジを介して支持した（図

表6.1.1 ダクト仕様

断面形状	内法寸法 (mm)	厚さ (mm)	幅比
正方形	200×200	0.9	3.0
円 形	225φ	"	"
矩 形	320×125	1.0	"
長円形	360×125	"	"



送風器 有効圧 105 mmHg
風量 50 m³/min
R.P.M. 1,430

図6.1 実験設備

6.1.1参考)。また、送風器に直結した場合と、カンバスダクトを介して可撓結とした場合について試験を行なった。

使用した計器類は次のとおりである。

計 器	形 式
High-Speed Level Recorder	Type 2304, Briiel & Kjaer
Spectrometer	〃 2111, 〃 〃
Microphone Amplifier	〃 354A, 日本測器
Vibration pre-Amplifier	〃 1606, Briiel & Kjaer
Condenser Microphone	〃 4131, 〃 〃
	541-A, 日本測器
Accelo-meter	Type 4308, Briiel & Kjaer
精密圧力計	ゲッチシゲン GT, 島津
ピトー管	〃 6mmφ 〃

6.1.4 予備実験

(a) ダクト内騒音

ダクト内のごとく気流中の騒音測定には、マイクと気流との擦音が生ずるおそれがある。種々検討の結果、マイク先端のカートリッヂ保護のためパイプをマイクにかぶせ、パイプ端にはナイロン布をはり、端から約10mm(パイプ内の f_0 は約8,000c/s)にカートリッヂ先をセットしたところ、最も近似した騒音スペクトルが得られた。このパイプ先端を管壁内面に一致させて擦音の影響をさけ、かつ、管壁振動を伝えぬようゴムスポンジで十分にパイプを浮かすようにして測定を行なった。

(b) 管壁振動

ダクト管壁振動は、ダクト全体の(ビームまたは気柱としての)振動と、支持部と隅角部で閉まれる平板の膜振動との和と考えられるが、その両者の割合は不明である。

しかし実験の結果、支持金具を介して支持枠にも相当の振動が発生し、しかもその共振点が45~135c/sの低周波域に生じ、それが再びダクトに伝えられることが認められた。

また一方、ダクト壁の膜振動の基本周波数は、理論式によれば50~80c/sの低周波域にあり、スパンが変わってあまり変化がなく、実測の結果、スパンを変えてもスペクトルにはあまり変化が認められなかった。したがって本実験ではスパンをフランジ間ダクト長にとることとし、フランジ箇所をスポンジを介して支持し、スパン900mmについて実験を行なうこととした。

6.1.5 実験結果

振動加速度レベルはいづれもdb単位であらわし、100db=1gとした。

加速度のレベルは風速によりあまり変化せず、むしろダクト形状によりそれぞれ異なることが認められた。図6.1.2に、一定風速(17.0m/s)における各振動加速度のスペクトルを示す。ダクトの形状ならびに材質、材厚により数個の周波数でダクト壁が共振するので、スペクトルはそれぞれ異った

ものとなった。周辺支持条件で矩形板の共振周波数を概算すると、鋼製ダクトは塩ビダクトの約1.2倍であるが、計測結果もほぼ同様であった。スペクトルのレベルは鋼製ダクトと塩ビダクトで大差はないが、鋼製ダクトでは高周波成分が大きかった。これは材中の振動伝達率の差によるものである。

カンバスダクトを入れることにより鋼製ダクトの振動加速度レベルは約6～12db減少するが、塩ビダクトでは、長円形の場合（平均8db）を除きほとんど変化がない。

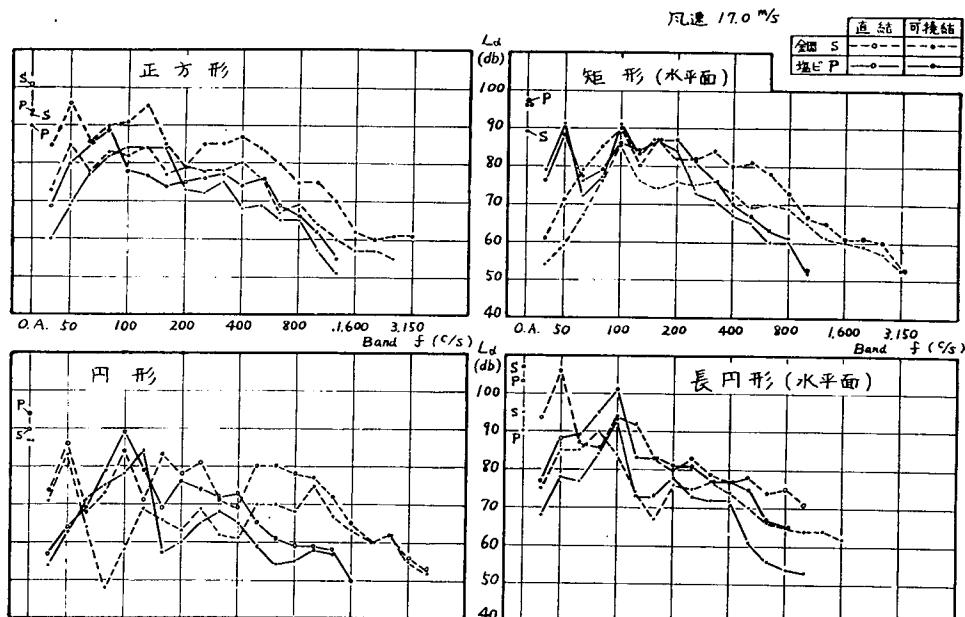


図6.1.2 振動加速度レベル L_d

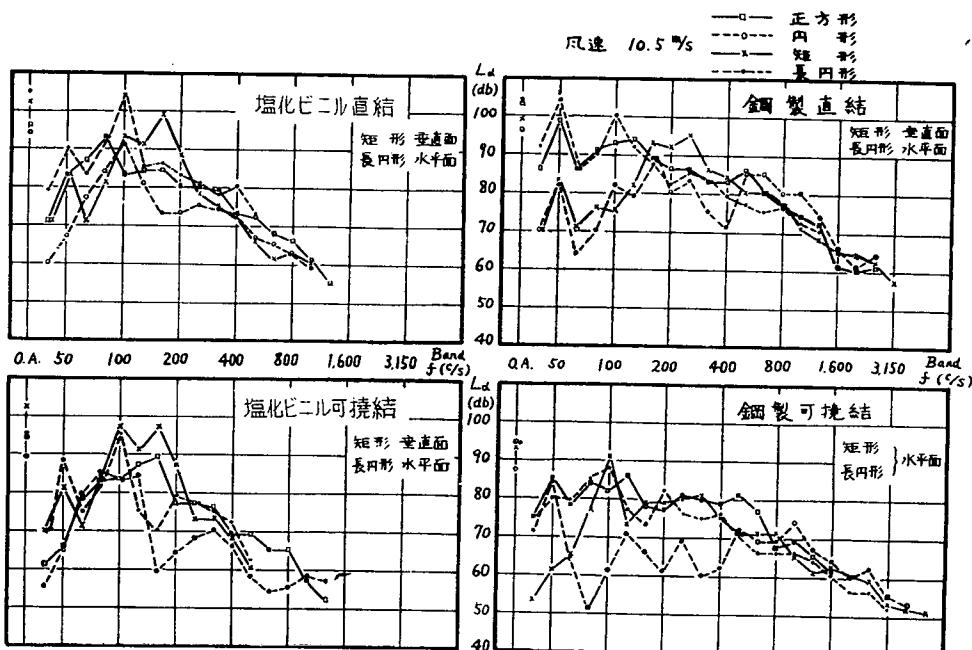


図6.1.3 振動加速度レベル L_d

塩ビダクトの直結の場合は可撓結のときより加速度レベルのピーク帯域が低い方へずれたが、これは、可撓結のときに結合カンバスダクト部に空気流による強い擦音（100～16c/s Band）が発生したためである。

図6.1.3には同じく一定風速（ただし10.5m/s）における各種加速度のスペクトルを、材質結合方法ごとにまとめて示した。形状的には、円形が最も振動が少なく、長円形が最も不利である。可撓結の場合は円形の鋼製ダクトの振動が最も少ないが、高周波成分は塩ビダクトより大きい。

図6.1.4にダクト壁外でえた音圧レベルと周囲の騒音レベルとの差を示した。一般に鋼板よりも塩ビが、直結より可撓結の方が発生騒音が低い。ただし円形ダクトの100c/sでは塩ビダクトが大きなレベルを示した。これはダクトの共振点が約90c/sにあるためである。

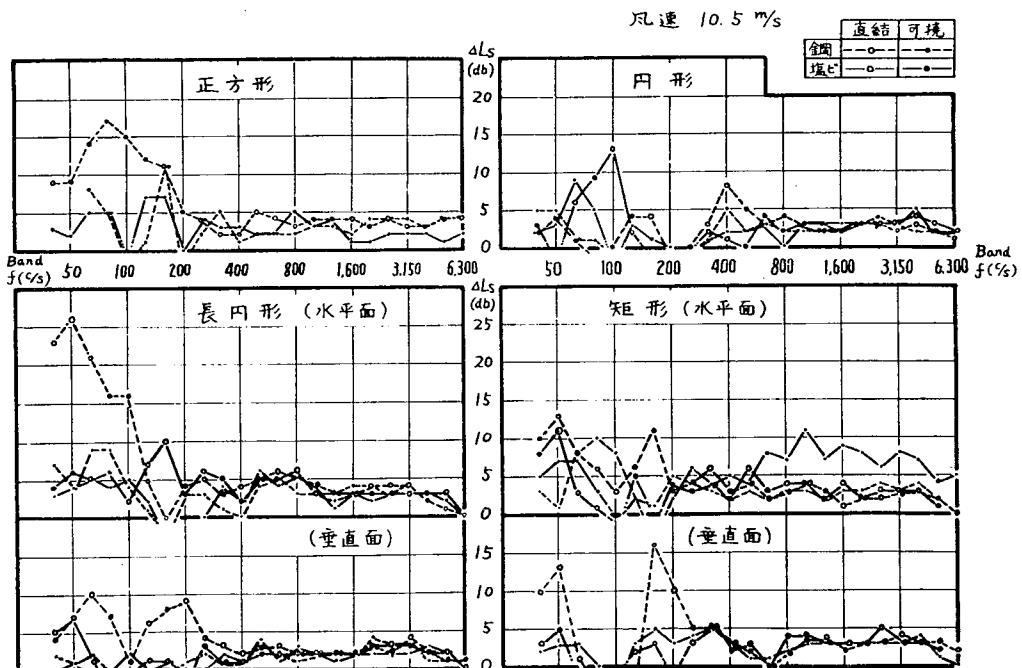


図6.1.4 管外音圧レベル差 ΔL_s

6.1.6 むすび

以上の結果を定性的にまとめれば次のとおりである。

- (a) 風速による騒音、振動の状態の変化はあまりない。
- (b) ダクト支持間隔による振動スペクトルの変化は極めて少ない。
- (c) 鋼製ダクトはカンバスダクトを用いることにより振動を減少せしめることができるが、塩ビダクトではその効果は比較的少ない。
- (d) ダクト断面形状により異なるが、一般に塩ビダクトは鋼製ダクトに比べて振動、騒音の発生が少なく、可撓ダクト付鋼製のものと同等またはそれ以下にある。
- (e) ダクト形状は円形が最もよく、他の正方形、長方形、矩形には一長一短があり優劣がつけ難い。

6.2 通風特性

6.2.1 はしがき

本研究は船舶の通風装置にプラスチックス製ダクト（硬質塩化ビニル樹脂）を使用することを目的とし、その際の設計資料をうるため従来の鋼板製ダクトと比較し、設計上必要な諸数値の確立を図るものである。

6.2.2 実験方案

(a) 実験装置および方法

ファンの吐出側に供試ダクトを取りつけて各供試ダクトの流動抵抗を測定した。

なお、レイノルズ数の変化は流速を変える方法をとり、この手段としてファンの吸込側に取りつけたダンパにより流量を調整した。

流量は検定された多孔ピトー管および NPL 型ピトー管をトラバースして計測した。

測定項目は流体に関するものとして大気圧、空気温度、流量各測定位置断面における管路静圧および管路の摩擦係数、抵抗係数、レイノルズ数等の計算、整理に必要な項目を測定した。静圧の測定は管路断面に測定穴 ($2 \text{ mm}\phi$) をあけ、それぞれの静圧の指示値が等しくなるよう環状に接続して 1 個のマノメータで指示させるようにした圧力の測定はベツツ型マノメータで $0.1 \text{ mm } Aq$ まで読んだ。図 6.2.1 に分岐管を取りつけたときの状況を示した。

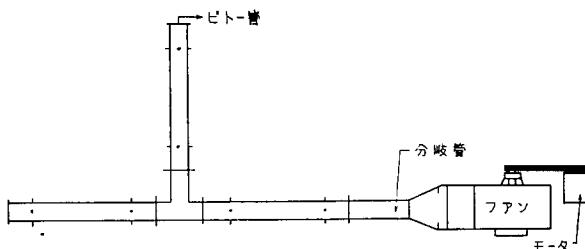


図6.2.1 実験装置

(b) 供試ダクト

実験に用いた供試ダクトは塩化ビニル製で、その断面形状も管路の設計で比較的よく用いられ、一般性のある直管、曲管、分岐管とし、また、その断面も円形、正方形、矩形長円形の供試ダクトを製作して行なった。

つぎに供試ダクトの概略をごく簡単に述べ詳細寸法、形状については直管、曲管、分岐管、エキスパンション・ジョイントの別に表示した。

(i) 直 管

直管では各断面積がほぼ等しくなるように寸法を決めた。

なお、表 6.2.1 に直管供試ダクト一覧表を示した。

(ii) 曲 管

曲管は表 6.2.1 の各断面について、曲率半径を 2 種変えて行ない曲率半径の決定は次の要領に従った。

表6.2.1 直管供試ダクト一覧表

ダクト番号	形 状	寸 法 (mm)	断面積	備 考
S - 1		D=150φ L=5.000 t=3.500	0.01327 m ²	
S - 2		a=115 b=115 L=5.000 t=3.500	0.01323 m ²	流れの平均深さ M=2.88mm 4M=115mm
S - 3		a=184 b=72 L=5.000 t=3.500	0.01325 m ²	流れの平均深さ M=2.59mm 4M=103.5mm
S - 4		a=200 b=72 L=5.000 t=3.500	0.01329 m ²	流れの平均深さ M=2.76mm 4M=110mm

1 $R = \text{ダクトの長巾と等価の半径}$ 2 $R = \text{ダクトの} [(1/2\text{長巾}) + 50] \text{ の半径}$

また、直角エルボについては同エルボの屈折部に案内羽根を有するものと有しないものについての比較試験を行なった。(表 6.2.2 参照)

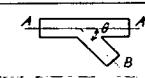
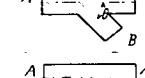
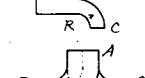
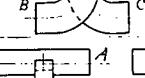
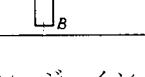
表6.2.2 曲管ダクト一覧表

ダクト番号	形 状	曲率半径	寸 法 (mm)	備 考
B - 1		R=130	D=150mmφ L/D=0.308 屈折角θ=15°	5エビ
B - 2		R=115	D=130mmφ L/D=0.385 屈折角θ=18°	5エビ
B - 3		R=115	a=115 b=115 a/b=1.0	
B - 4		R=107.5	a=115 b=115 a/b=1.0	
B - 5		R=184	a=184 b=72 a/b=2.56	
B - 6		R=142	a=184 b=72 a/b=2.56	
B - 7		R=200	a=200 b=72 r=b/2 L/2M=1.81	4エビ
B - 8		R=150	a=200 b=72 r=b/2 L/2M=1.36	4エビ
B - 9			a=184 b=72 屈折角θ=90°	
B - 10			a=184 b=72 案内羽根2ヶ r=50	t/L=0.866
B - 11			a=184 b=144	

(iii) 分岐管

分岐管は円形、矩形のものについて、分岐角 45° , 60° , 90° のもの、また、主流分岐管断面積と分岐断面積の異なるもの、特殊な形状の分岐管について行なった。表 6.2.3 に各分岐管の形状について表示する。

表6.2.3 分岐管付ダクト模型一覧表

ダクト番号	形 状	分岐角度	寸 法	備 考
T - 1		45°	A 断面 B $D=150$	
T - 2		60°	A 断面 B $D=150$	
T - 3		45°	A 断面 B 72×184	
T - 4		60°	A 断面 B 72×184	
T - 5		90°	A 断面 B 72×184	
T - 6		90°	A 断面 B 45×14	
T - 7		90°	A 断面 144×184 B 断面 72×184 R = 8.6	
T - 8		90°	A 断面 144×184 B 断面 72×184 R = 14.2	
T - 9		90°	A 断面 144×184 B 断面 45×114	

(iv) エキスパンション・ジョイント

図 6.2.2 のようなエキスパンション・ジョイント（ゴム製）を製作し、実験する。

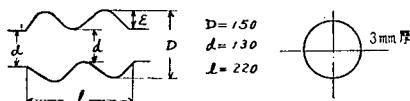


図6.2.2 エキスパンション・ジョイント

6.2.3 試験結果および考察

(a) 管摩擦損失について

直管 ℓ m 間の摩擦損失 ΔP_λ は普通つぎのダルシーウィズバッハ (Darcy-Weisbach) の公式で表わされる。すなわち

$$\Delta P_\lambda = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho_m}{2} v_m^2 \quad \dots \dots \dots \quad (6.1)$$

ここで d は管内径、 ρ_m は管内の平均空気密度、 v_m は管内の平均流速、 λ は比例定数でここでは管摩擦係数とよばれる無次元数である。

管断面が円以外の場合、管内径 d のかわりに一般につぎの流体平均深さ M で表わされる。

すなわち

$$d=4M, \quad M = \frac{A}{u} \quad \dots\dots\dots(6.2)$$

A は管断面積, u は管内周長である。図 6.2.3 に管摩擦係数 λ をレイノルズ数 $R_{e,p}$ に対してプロットしたものを示した。この場合のレイノルズ数は管内径 d あるいはそれに相当する $4M$ を基準としてあらわしたもので次式で示される。

$$R_{e,p} = \frac{v_m d}{Y_m} = \frac{4 v_m M}{Y_m} \quad \dots\dots\dots(6.3)$$

Y_m は管内の空気の平均動粘性係数である。

図 6.2.3 中実線で示したのは平滑管の場合 $R_{e,p} > 10^5$ でよく合うといわれるニクラーズ (Nikuradse) の公式 $\lambda = 0.032 + 0.221 R_{e,p}^{-0.239}$ である。実験結果は比較的よくニクラーズの公式に合っていると考えられる。また、円形以外の断面の場合、流体平均深さで表わすことは厳密には正しくないが、実験結果からみて実用的にはさしつかえないようである。管摩擦についての研究は従来から幾多行なわれているので、われわれの考察はごく簡単に実験結果について触れる程度としたい。

管摩擦係数 λ はレイノルズ数 $R_{e,p}$ と管内壁アラサ ϵ との函数である。

プラスチックダクトの内壁面は非常に平滑であるが、その表面粗さを表面アラサ計で計測したが、その結果から判断すると、管摩擦係数 λ がアラサに無関係でレイノルズ数のみの函数となる範囲があることを示している。これについてはニクラーズの人工粗面管の実験が著名である。

ニクラーズの実験結果からアラサのレイノルズ数として $R_{e,r} = \frac{v_m \epsilon}{Y_m}$ を定義し、 $R_{e,r} = R_{e,p} \frac{\epsilon}{d}$ の関係より、流体力学的に平滑管とみなせるアラサのレイノルズ数 $R_{e,rc}$ を求めている。

これによれば $R_{e,r} > 70$ であれば流体力学的に平滑であり、今、この結果を引用してプラスチックおよび 5" ガス管の場合の流体力学的に平滑であると考えられる限界のレイノルズ数 $R_{e,pc}$ を求めると次のようである。

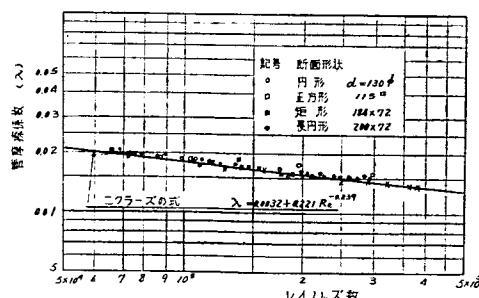


図 6.2.3 直管の摩擦係数

プラスチック $\frac{\epsilon}{d} = 3.08 \sim 9.24 \times 10^{-6}$, 限界レイノルズ数 $R_{c,p} = 7.5 \times 10^6$

5" ガス管 $\frac{\epsilon}{d} = 1.1 \sim 1.6 \times 10^4$, 限界レイノルズ数 $R_{c,p} = 5 \times 10^5$

これより, プラスチックに関しては, レイノルズ数 $R_{e,p} = 7.5 \times 10^6$ 以下であれば平滑管として取り扱ってもさしつかえないものと思われ管摩擦係数 λ の値はブラズィース (Blasius) およびニクラーゼの公式を適用できると考えられる。

(b) 曲管の損失圧力について

曲管の損失係数は次式で表わされる。

$$\zeta_B = \frac{4P_B}{\frac{\rho_B}{2} v_B^2} \dots \dots \dots (6.4)$$

または

$$\zeta''_B = \frac{4'' P_B}{\frac{\rho_B}{2} v_B^2} = \frac{4P_B}{\frac{\rho_B}{2} v_B^2} - \lambda \frac{l_C}{d} \dots \dots \dots (6.5)$$

(6.5) 式は曲管の真の損失圧力 $4P_B$ より曲管の中心軸長に相当する直管の摩擦損失を引いたものを曲がりのみの損失として従来からよく用いられていた表示法であるが, 実際には曲管内の流れは複雑で, 直管の摩擦損失を差し引くことは理屈にあわない。むしろ曲がるためのみの損失は $4P_B - \lambda_B \frac{l_C}{d} \cdot \frac{\rho_B}{2} v_B^2$ で, l_C は曲管の中心軸長さ, d は管内径, λ_B は曲管の摩擦係数である。

筆者らの実験では, (6.2.4)式を用いて計算したものである。

λ_B については伊藤氏^{*1} の研究を参照されたい。

図 6.2.4 は実験結果をなるべく一般化するために, $\zeta_B (R/2M)^{1/2}$ と $R_e(2M/R)^2$ にて整理したものである。

ベンドの損失をあらわす公式としてはつぎのようなものがある。

$$\text{ワイスバッハ} \quad \zeta''_B = \left\{ 0.131 + 0.1632 \left(\frac{d}{r} \right)^{3/5} \right\} \left(\frac{\theta^0}{90} \right) \dots \dots \dots (6.6)$$

$$\text{リヒタ(Richter)} \quad \zeta'_B = \frac{4P'_B}{\frac{\rho_B}{2} v_B^2} = 0.00705 \alpha \theta^{1.1} R_e \beta \dots \dots \dots (6.7)$$

ただし, α , β の値については機械工学便覧（昭和35年度）を参照のこと。

$$\text{ピゴット(Pigott)} \quad \zeta''_B = 0.157(R/d)^{-2} + 97.6 \lambda^{1.5} s(R/d)^{-0.5} \dots \dots \dots (6.8)$$

$$\begin{array}{l} \text{伊 藤} \\ \left\{ \begin{array}{l} \zeta_B = 0.00873 \alpha \lambda_B \theta^0 \cdot \frac{R}{r} \dots \dots (\text{ただし } R_e(r/R)^2 > 91) \dots \dots \dots (6.9) \\ \zeta_B = 0.00241 \alpha \theta^0 R_e^{-0.17} \left(\frac{R}{r} \right)^{0.84} (\text{ただし } R_e(r/R) > 91) \dots \dots \dots (6.10) \end{array} \right. \end{array}$$

α の値については 90° ベンドの場合

*1 伊藤英覚 日本機械学会誌 (1959), 62, p1934

$$\alpha = 0.95 + 17.2(R/r)^{-1.96} \quad (\text{ただし } R/r < 19.7)$$

$$\alpha = 1 \quad (\text{ただし } R/r > 19.7)$$

これらの公式と筆者らの実験結果を比較してみることにする。

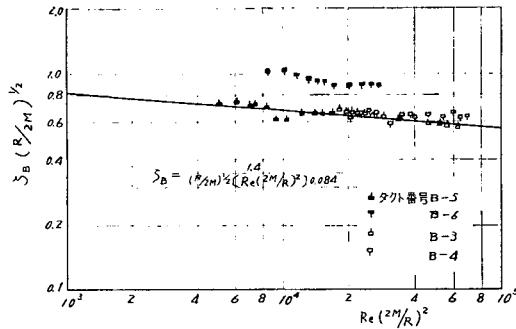


図6.2.4 曲管の摩擦係数

ただしリヒタ (Richter) のものについては ζ_B に換算ができないので除いた。

まず本供試ベンドについてみると、円形ベンドと長円形のベンドは連続エルボの状態であり、これを一定の曲率半径を有するベンドとして考えることは無理がある。

そこで矩形断面、正方形断面を有するベンドについて次の実験式を得た。

$$\zeta_B = \left(\frac{R}{2M} \right)^{1/2} \left[R_e \left(\frac{2M}{R} \right)^2 \right]^{0.084} \quad (6.11)$$

実験値にはかなりのバラツキがあって、必ずしも今回の実験値 $R/2M=1.87\sim3.55$ を代表しているとはいひ難いが、実用には十分であると考える。

M は流体平均深さ、 R は曲率半径である。

(6.11) 式で筆者らの実験値を代表させ、(6.6)、(6.8)、(6.10) 式において $R/r=2.0$ の場合について比較してみると、ワイズバッハ、ピゴ、伊藤の公式のいづれよりも大きい値であることが知られる。

しかるにこれらの実験式は円形断面を有するものについてであり、筆者らの実験が矩形、正方形断面のベンドを主体としたものであるだけに、 r の決め方によっても ζ_B に対する計算値の差異は大きくなってくるので、比較すること自体が無理な問題かも知れない。

連続エルボについては、別の解釈をしなければならない。連続エルボの場合にはその流れの抵抗におよぼす要素としてはエルボ数、 l/d (l はエルボ間長さ、 d は管内径)、屈折角度などが考えられる。屈折角 θ をもつ 1 個のエルボの抵抗係数を ζ とすると η 個の連続エルボの抵抗係数 ζ_e は個々の ζ の和とは必ずしも一致しない。

一般に

$$\zeta_e = K \sum_n \zeta \quad (6.12)$$

ここで K は干渉係数といい、 l/d の関係として表わされる。

いま、本供試ベンドの円形のものは、

曲率半径 130 $l/d=0.308$ 6 エビ $\theta=15^\circ$

〃 150 $l/d=0.385$ 5 エビ $\theta=18^\circ$

また、長円形のものは、

曲率半径 200 $l/2M=1.81$ 4 エビ $\theta=22.5^\circ$

〃 150 $l/2M=1.36$ 4 エビ $\theta=22.5^\circ$

オイスト (Iust) のデータより $\Sigma_{n\zeta}$ を求めるところである。

6 エビ $\Sigma_{n\zeta}=0.042 \times 6=0.252$ $K=1.985$

5 エビ $\Sigma_{n\zeta}=0.05 \times 5=0.250$ $K=1.52$

4 エビ $\Sigma_{n\zeta}=0.066 \times 4=0.264$ $K_1=1.325$ $K_2=1.893$

5 エビ、6 エビにおけるデータは見あたらないようであるが、参考として図 6.2.5 に干渉係数 K と l/d の関係を 4 エビの場合のみについて示す²。図 6.2.5 に示すように K が最小となる $(l/d)_{\min}$ より、 l/d が小さくなると K は急激に上昇する。この傾向は 4 エビだけでなく、2 エビ、3 エビの均り合いも同様である。

5 エビ、6 エビにおけるデータがないが、同様の結果となるものと推察される。

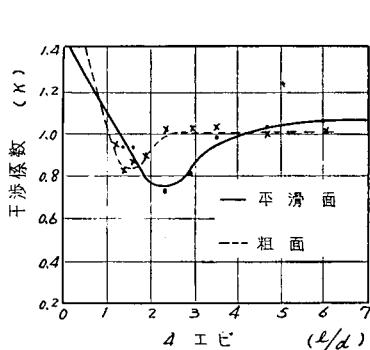


図 6.2.5 干渉係数(K)と l/d との関係

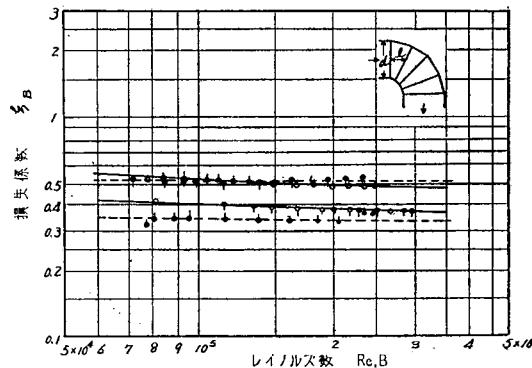


図 6.2.6 エビ・ジョイントの損失係数

図 6.2.6 はエビ継ぎバンドである円形バンド、長円バンドの損失係数をレイノルズ数で表示したものである。

1 個の直角バンドの損失係数は $0.98 \Sigma_{n\zeta}=1.96$, $K=2.35/1.96=1.20$, 図 6.2.7 は同ダク

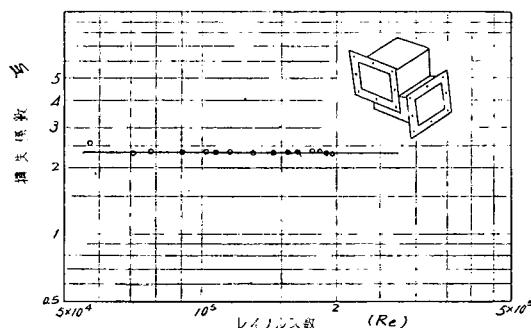


図 6.2.7 直角バンドの損失係数

*2 機械工学便覧 (昭35)

トの損失係数を示す。この数値 K よりわかるように各種の抵抗物が近接しておかれる場合、その合成抵抗は個々の抵抗係数の和としては表わされない。

設計にあたってはこの点にも注意する必要がある。

また、エルボの損失については、図 6.2.8 および図 6.2.9 に 90° エルボと同エルボ 2 枚の案内羽根を入れたエルボ損失圧力について示した。

これによると図で示されるような案内羽根によって約60%抵抗係数を減少させることができる。

案内羽根の形状と損失圧力とは関係があり羽根の弦長さ l 、ピッチを t とすると薄い板の場合 t/l が 0.5 程度の方がよいとされている。

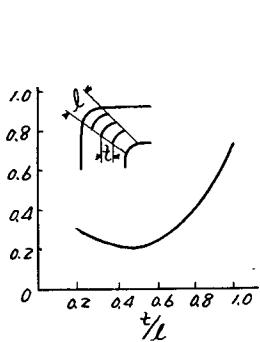


図6.2.8 エルボの損失係数

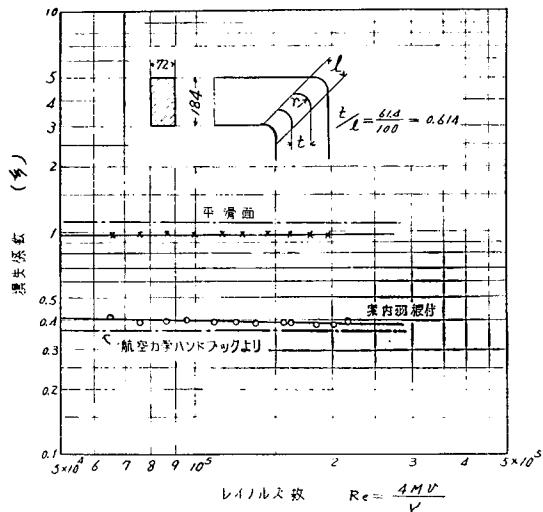


図6.2.9 エルボの損失係数

(c) 分岐管における流量配分について

分岐管における損失係数は一般に分岐前の速度ヘッドを基準にして表わされる。

図 6.2.10 で示すように $0 - 0'$, $1 - 1'$, $2 - 2'$ 断面側の流量, 流速, 断面積, 空気密度, 壓力をそれぞれの Q , v , A , ρ , P , として添字 0, 1, 2 でその断面におけるものと表わす。

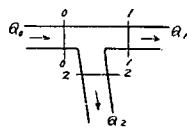


図6.2.10 分岐管における流速分布

いま、本流側 ($0 \sim 1$) の全圧の損失を A_1 、支流側 ($0 \sim 2$) の全圧の損失を A_2 すると損失係数 ζ_1 , ζ_2 は次式で示される。

$$\zeta_1 = \frac{A_1}{\rho_0 v_0^2} \quad \dots \dots \dots \quad (6.13)$$

$$\zeta_2 = \frac{J_2}{\rho_0} \frac{A_2}{2 v_0^2} \quad \dots \dots \dots \dots \quad (6.14)$$

これら両式で整理した分岐管の損失係数の1例を流量比 Q_2/Q_0 で表わすと図6.2.11のようになる。これらはT分岐についてのものである。また同様にして図6.12には特殊な分岐管について示したが、まずT分岐の場合についてみる。

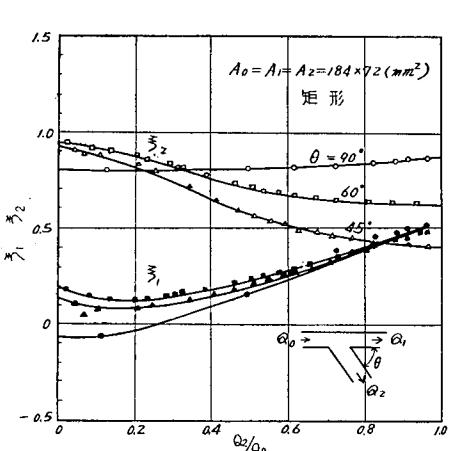


図6.2.11 分岐管の損失係数（角度の影響）

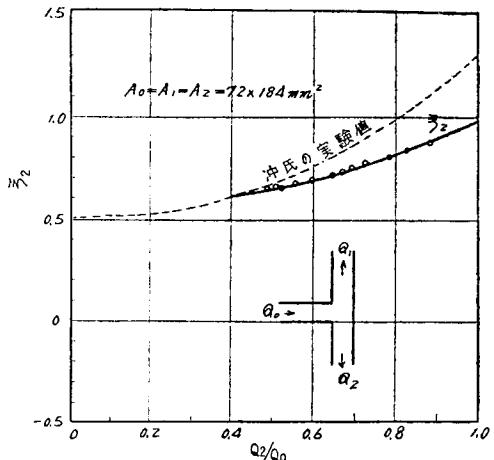


図6.2.12 分岐管の損失係数

このような分岐管についてはその損失におよぼす要因としては、断面積比 A_2/A_0 、分岐角度 θ 、あるいは分岐部の形状などが考えられる。

まず本流側損失係数 ζ_1 について検討してみると、断面積比 A_2/A_0 の影響は認められないが、分岐角度 θ ではその影響があるようである。

これは分岐管の断面が円形、矩形をとわず同様の結果であった。とくに $Q_2/Q_0=0.6$ 以降でこの影響があらわれている。

また、分岐部の形状による影響については佐藤氏³の実験があるが、諸氏の実験結果を総合すると ζ_1 について断面積比、分岐角分岐部形状とも大した影響ではなく、実用上1本の曲線として表わすことができるとしている。

ζ_2 については前述の ζ_1 の場合とは異なり、前述の損失におよぼす要因によって異なることが本実験結果から判明した。

一般に A_2/A_0 が小さいほど損失係数は大きく、また分岐角の大きいものほど、損失は大きいと考えられるが、本実験値、諸氏の結果も同様なことを示している。

しかし ζ_2 については決定的な結果は得られていない。分岐部の形状による影響について佐藤氏の報告を参照されたい。

次に特殊な分岐管(図6.2.12)について若干検討を加えてみる。これらの分岐ダクトは主として等分を目的としたもので、断面積比も $A_1/A_0=0.5$ 、 $A_2/A_0=0.5$ につくられている。

*3 佐藤雄三 日本機械学会講演前刷集(昭37) 65, P65

表6.2.4 ダクトの摩擦係数

S-1	S-2	S-3	S-4	S" ガス・パイプ
円形  $d = 130 \text{ mm}$	正方形  $a = 115$	矩形  $b = 72$ $a = 184$	長円形  $b = 72$ $a = 200$	 $d = 130.8$
レイルズ摩擦係数 $Re \times 10^5 \lambda \times 10^{-2}$	$Re \times 10^5 \lambda \times 10^{-2}$	$Re \times 10^5 \lambda \times 10^{-2}$	$Re \times 10^5 \lambda \times 10^{-2}$	$Re \times 10^5 \lambda \times 10^{-2}$
2.87 1.660	2.68 1.565	2.57 1.555	2.76 1.570	3.75 1.352
2.70 1.601	2.64 1.570	2.54 1.535	2.60 1.563	3.69 1.352
2.52 1.599	2.54 1.590	2.41 1.527	2.45 1.570	3.56 1.355
2.32 1.591	2.38 1.601	2.25 1.537	2.28 1.591	3.34 1.372
2.13 1.610	2.21 1.610	2.08 1.545	2.08 1.610	3.17 1.378
1.945 1.640	1.995 1.626	1.895 1.570	1.904 1.635	2.99 1.408
1.723 1.664	1.73 1.680	1.730 1.603	1.700 1.680	2.80 1.428
1.450 1.840	1.515 1.720	1.560 1.640	1.450 1.733	2.64 1.445
1.350 1.722	1.37 1.766	1.350 1.680	1.253 1.786	2.48 1.450
1.228 1.877	1.261 1.760	1.220 1.672	1.108 1.855	2.30 1.495
1.163 1.790	1.14 1.784	1.072 1.715	0.940 1.910	2.04 1.526
1.070 1.805	1.039 1.840	0.930 1.836	0.854 1.960	2.03 1.539
0.960 1.860	0.858 1.830	0.848 1.870	0.764 2.06	1.84 1.593
0.778 1.930	0.74 1.840	0.712 1.940	0.688 2.10	1.63 1.608
		0.645 2.01		1.38 1.700
				1.20 1.738
				1.04 1.821
				0.875 1.840

表6.2.5 ベンド・ダクトの損失係数

形狀											
ダクト番号	B-5	B-6	B-3	B-4	B-1	B-2	B-7	B-8	B-10	B-9	B-11
寸法 (mm)	$R = 184$	$R = 142$	$R = 115$	$R = 107.5$	$R = 130$	$R = 115$	$R = 200$	$R = 150$	案内板付		
					$\frac{1}{4}d = 0.308$	$\frac{1}{4}d = 0.385$	$\frac{1}{2}d = 1.81$	$\frac{1}{2}d = 1.36$	$\frac{1}{2}d = 0.866$		
					IT数 = 6	IT数 = 5	IT数 = 4	IT数 = 4			
試験結果	レイルズ損失係数 $Re \times 10^5 \lambda$	S_B	$Re \times 10^5 \lambda$	S_B	$Re \times 10^5 \lambda$	S_B	$Re \times 10^5 \lambda$	S_B	$Re \times 10^5 \lambda$	S_B	$Re \times 10^5 \lambda$
	2.16	0.345	2.09	0.541	2.60	0.381	2.52	0.454	2.48	0.492	3.00
	1.975	0.336	1.93	0.540	2.315	0.3915	2.30	0.446	2.34	0.494	2.81
	1.78	0.343	1.73	0.534	2.12	0.401	2.11	0.475	2.18	0.499	2.64
	1.58	0.342	1.52	0.523	1.89	0.402	1.893	0.446	2.00	0.491	2.49
	1.34	0.318	1.35	0.530	1.64	0.425	1.641	0.468	1.85	0.502	2.30
	1.19	0.314	1.19	0.547	1.41	0.432	1.381	0.460	1.094	0.509	2.135
	1.07	0.362	1.09	0.551	1.19	0.434	1.234	0.457	1.485	0.512	1.99
	0.95	0.372	1.01	0.573	1.05	0.445	1.100	0.416	1.298	0.515	1.82
	0.92	0.366	0.89	0.586	0.96	0.444	0.943	0.471	1.170	0.520	1.665
	0.78	0.386	0.82	0.614	0.902	0.456	0.883	0.490	1.092	0.522	1.455
	0.65	0.372	0.77	0.638	0.85	0.458	0.807	0.474	1.002	0.515	1.328
					0.64	0.626	0.805	0.461	0.733	0.448	0.926
									0.728	0.483	0.830
										0.673	0.519

た。

$$\zeta_B = \left(\frac{R}{2M} \right)^{1/2} \left[R_e \left(\frac{2M}{R} \right)^2 \right]^{0.084} \quad \dots \dots \dots \quad (6.16)$$

ここに, R : 曲率半径, R_e : レイノルズ数, M : 流体平均深さ,

- (d) 直角エルボについては曲部に案内羽根を設けると, 抵抗を小さくすることができる。
- (e) 連続エルボについては l/d を適当にとることによって, 抵抗を減らすことができる。
- (f) 分岐管の損失について有用な資料を得ることができたが, 等分配管にする場合, T分岐よりも, $A_0 = A_1 + A_2$ にするようなダクトにすれば, 損失を最小にすることができます。

なお, 付表として実験結果の一覧表を表6.2.4~6.2.6に示した。

表6.2.6 分岐管の損失係数

ダクト番号	T-5	T-4	T-3	T-2	T-1	T-6	T-9	T-8	T-5	T-7
形 状	矩形	矩形	矩形	円形	円形	矩形	矩形	矩形	矩形	矩形
分岐角度 θ	90°	60°	45°	60°	45°	90°	90°	90°	90°	90°
分岐面積比 Q_2/Q_0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.391	0.196	0.5	1.0	0.5
損失係数	3 ₁	3 ₂								
流量比 Q_2/Q_0	0	-0.06	0.80	0.20	0.94	0.14	0.93	0.22	1.07	
	0.1	-0.06	0.80	0.14	0.92	0.08	0.89	0.14	0.92	
	0.2	-0.03	0.80	0.12	0.87	0.08	0.83	0.10	0.80	
	0.3	0.02	0.80	0.15	0.81	0.11	0.74	0.11	0.70	
	0.4	0.09	0.80	0.19	0.76	0.16	0.65	0.12	0.62	
	0.5	0.16	0.81	0.24	0.70	0.22	0.57	0.16	0.56	
	0.6	0.26	0.82	0.28	0.67	0.27	0.51	0.22	0.52	
	0.7	0.34	0.82	0.34	0.64	0.34	0.46	0.28	0.49	
	0.8	0.41	0.83	0.38	0.62	0.38	0.42	0.34	0.48	
	0.9	0.48	0.85	0.44	0.61	0.44	0.40	0.42	0.42	
	1.0	0.57	0.88	0.50	0.62	0.50	0.40	0.50	0.50	
										0.98

第7章 管舾装技術の研究

7.1 はしがき

プラスチック材料の進歩は近来、いちじるしいものがあり、船舶用部門においても漸次利用が進みつつあり、造船技術近代化および軽量化の方向に沿って今後、さらに積極的開発を行なうとともに実船に適応した加工工作法、設計基準等を設定、確立の要がある。

本研究は塩ビ管の船舶への適用範囲の拡大を図るため、温水系統への使用可能範囲を実験検討するとともに、接合方法、フランジ接続法およびバンド支持方法等の諸点より塩ビ管特有の管舾装技術について検討したものである。

7.2 供試試料

(a) 塩ビ管

表7.1に示すとおり。

表7.1 供試塩ビ管(P.V.C.管)

メー カ	管 径					色 彩	備 考
	28(1")	52(2")	100(4")	外 径 内 径 厚 さ	外 径 内 径 厚 さ		
M社	32	28, 30	60	52, 40	114, 102	2.0	グレイ JIS.K. 6741 (工業用)
K社	"	"	"	"	"	"	"
S社	"	"	"	"	"	"	JIS.K. 6742(水道用)
"	52	25, 35	---	--	--	--	"

(b) 接着剤

表7.2に示すとおり。

表7.2 接着剤

メー カ	備 考
M社	塩ビ管・シリーズ
K社	"
S社	"
C社	エポキシ・シリーズ

7.3 試験項目および方法

7.3.1 塩ビ管(母材)引張試験

- 1インチ塩ビ管をアムスラ試験機にて引張強さを測定した。
- 塩ビ管(1, 2および4インチ)をJIS規格、K6741にもとづき、ダンベル状試験片を採取し、ショッパ試験機に取り付け、引張強さを測定した。

7.3.2 接着剤による接合方法(熱間工法と冷間工法との比較)

(i) 熱間工法（2段差込法）

塩ビ管の同径管が相互に容易に入るように管端を図7.1のごとく面取り後塩ビ管を120°C～130°Cのグリセリン中に浸漬し、十分軟化した状態において雄管（非加熱管）を挿入してスリーブ型を成形し、冷却後引抜き、塩ビ管表面に塩化ビニル系接着剤およびエポキシ系接着剤を塗布して挿入する。

なお、2段差込法による塩ビ管の標準加熱時間（油温度30°C）は表7.3のごとくである。

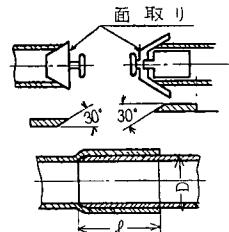


図7.1 接着接合法

表7.3 塩ビ管の加熱条件

厚さ(mm)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.5	7.0	7.5	8.5	10.0
直径(mm)	9	13	16	20	28	35	41	52	67	78	100
加熱時間(sec)	30	45	60	80	100	130	180	280	310	380	520

(ii) 冷間工法

冷間工法は接合部の加熱を行なわず、成形加工された継手用ソケットに接着剤を塗布し、塩ビ管を接合する。

図7.2にその接合状況を示す。

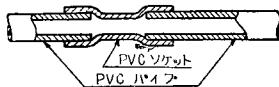


図7.2 冷間接合法

以上の熱間および冷間工作法について下記の試験を実施した。

引張試験（1インチ管のみ）

(1) 常態引張試験

熱間および冷間工法にて接合した塩ビ管材をアムスラ試験機にて引張強さを測定した。

(2) 海水浸せき後の引張試験

熱間および冷間にて接合した塩ビ管材を3%食塩水中に1か月および2か月浸漬し、アムスラ試験機にて引張強さを測定した。

(3) 50°C温水浸せき後の引張試験

熱間および冷間工法にて接合した塩ビ管材を50°C温水中に1週間（168時間）浸漬後、アムスラ試験機にて引張強さを測定した。

3.2.2 水圧試験（1, 2および4インチ）

熱間および冷間工法にて接合した塩ビ管材を水圧試験機に取付け、塩ビ管JIS規格法にしたがい、 $15 \pm 5^\circ\text{C}$ の水で圧力を加えてから、1分以内に $30\text{kg}/\text{cm}^2$ とし、そのままの状態で2分間保持した後、水漏れ、接合部の離脱等の異常現象を調べ、また異常発生時の水圧についても測定した。

7.3.3 塩ビ管とガス管との接合方法

(a) バルブソケットによる接合法（1インチのみ）

塩ビ製バルブソケットとガス管を図 7.3 のごとくネジ接続し、一方を熱間工法にて塩ビ管を接合し、引張り強さおよび破壊水圧を測定した。

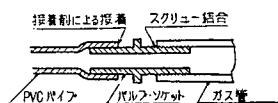


図7.3 塩ビ管とガス管との接合法

(b) ユニオン継手による接合法

ユニオン継手はK社独自のもので、ビニル管の接合、ビニル管とガス管の接合に使用し、加工を全然必要としない継手構造で、破壊水圧を測定した。

ユニオン継手の構造については、図 7.4 に示した。

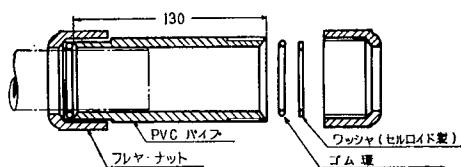


図7.4 ユニオン継手の構造

7.3.4 塩ビ管と塩ビフランジの接続方法

1インチおよび4インチの塩ビ管を下記の継手構造について接続し、水圧試験を実施した。

(a) 鎔返し接続法

管の取りはずしが容易な自在フランジで接続する方法で主として大口径のものに適用される。

(i) 面取の後、管端を垂直に油中に插入し、加熱する。加熱の程度は差込法より若干柔らかい状態にする。

(ii) 鎔返し器の雄金型を 70~100°C に加熱して金型を押え、鎔返しを行なう。

なお、鎔返し接続法の状況を、図 7.5 に示した。

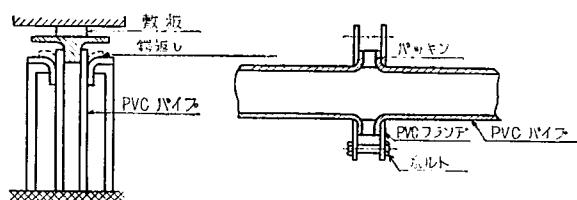


図7.5 鎔返し接続法

(b) 溶接フランジ接続法

ホット・ジェット・ガンを用い、溶接温度 220~230°C、溶接圧力 0.1~0.3kg/cm² で 3mm 径溶接棒にて塩ビ管と塩ビフランジとの溶接を行なった。

溶接接続法を、図 7.6 に示した。

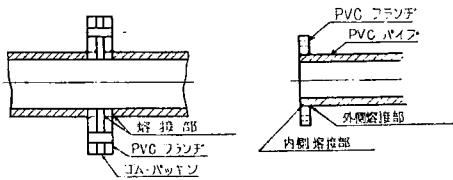


図7.6 溶接フランジ接続法

(c) テーパ・コア接続法

テーパ・コア法（M樹脂製）は図7.7に示すようにあらかじめテーパ・フランジ(c)を1インチ塩ビ管に挿入しておき、管端をわずかに面取りしてから(a)を加熱する。管端が軟化したときただちにコア部に接着剤を塗布し、テーパ・コア(b)を塩ビ管に挿入し、水冷後テーパ・フランジで締付ける。

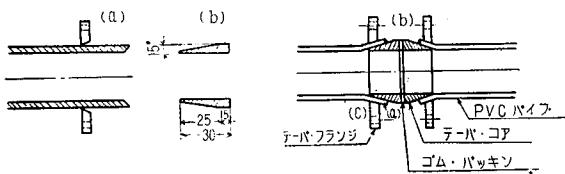


図7.7 テーパ・コア接続法

(d) パイプリング・フランジ接続法

同径および1サイズ大の塩ビ管を切断し、スリープする塩ビ管の幅を正確に同一にして端部に接着スリープし、溶接後、ルーズフランジにて締付ける。

なお、スリープの重複には技術を要するが、2段差込法で行なえば比較的簡単にできる。

図7.8にパイプリング・フランジ接続状況を示した。

なお、フランジ使用の場合は、フランジ接合部に不乾性パッキン剤をハケ塗りし、ネオプレンをはさんでボルト締めとした。

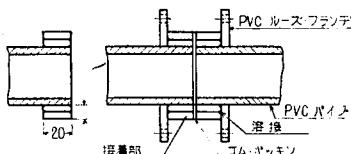


図7.8 パイプリング・フランジ接続法

7.3.5 塩ビ管に対する温水使用試験（使用温度範囲の確認）

(a) 吸水試験

1インチ径、長さ100mmの塩ビ管を40°C, 50°C, 60°C, 65°C, 70°Cおよび75°Cの温水中に浸せきし、50時間経過による吸水量を5時間ごとに測定した。

(b) タワミ測定

1インチ径、長さ300mmの塩ビ管の一端を支持し40°C, 50°C, 60°C, 65°C, 70°C, 75°C

に調整した恒温槽中に5時間保持し、カセットメータ（S製作所製）により、

(i) 自重(無荷重)によるタワミ量

(ii) 50g 負荷重時によるタワミ量について測定した。

7.3.6 热膨胀度合とバンド支持法の検討

(a) 热膨胀度合(タワミ量測定)

1インチ径、長さ1m、2m、および3mの塩ビ管の両端を支持台にて固定し、ギヤポンプ(1/4HP)にて、5.5ℓ/min(約0.12m/sec.)の流量で40°C, 50°C, 60°C, 65°C および70°Cの温水を循環させ、3時間経過後のタワミ量を30分間隔にカセットメータにて測定した。

なお、測定点は塩ビ管中央部を境界として左右に、30cm間隔に目印をつけ、3～9点について測定した。

(b) バンド支持法の検討

塩ビ管中の温水循環により軟化し、垂れ下るため、これらのタワミを矯正し、塩ビ管を水平に保ちうるようバンド(支持枠)にて支持する必要があり、前記、タワミ測定結果より検討して、温度、塩ビ管長さの変化によるバンド数およびバンド間隔について測定した。

7.3.7 低温脆化試験

A.S.T.M型低温脆化試験機(T製作所製)を用い、塩ビ管母材より採取した試験片(6×38×2mm厚)について低温度における脆化温度を測定した。

本試験機はA.S.T.Mに従い、試験片5個を低温恒温槽内の押え金具にて緊締し、ドライアイスとトリクロルエチレンにて漸次冷却し、これに一定速度で回転する打撃用アームの先端を打当てて試験片の破壊する温度を測定するものである。

7.4 試験結果および考察

7.4.1 塩ビ管引張試験

塩ビ管母材の引張強さは、S社パイプはJIS規格値(4.8kg/mm²以上)に合格するが、他は規定値より若干低値を示した。これは樹脂以外の充填剤の配合成分が多く含有されているためと推察される。

表7.4 塩ビ管接着継手の引張試験結果

接合法	銘柄	接着剤	平均引張強さ kg/mm ²			
			室温	海水浸漬		温水浸漬 (50°C)
				1ヶ月	2ヶ月	
熱間工法	M社パイプ	塩化ビニル樹脂系	* 12100	* 13300	* 12800	* 10033
		エポキシ樹脂系	7533	8500	5000	6400
	K社パイプ	塩化ビニル樹脂系	* 15500	* 13967	* 11330	* 11600
		エポキシ樹脂系	8800	8833	7433	9133
	S社パイプ	塩化ビニル樹脂系	* 13400	* 14367	* 12800	* 13933
		エポキシ樹脂系	7167	7800	6330	9467
冷間工法	K社パイプ	塩化ビニル樹脂系	* 12900	* 14267	* 12900	* 13933
		エポキシ樹脂系	8433	10067	8867	11133
	S社パイプ	塩化ビニル樹脂系	* 13033	* 13900	* 13100	* 14067
		エポキシ樹脂系	* 10767	* 11533	11400	* 10300

注：3枚の試験片の平均値

*：毎回試験

7.4.2 接着剤による接合法（熱間および冷間工法の比較）

(a) 热間および冷間工法による引張強さ（接着力）は常態、海水浸せき、温水浸せきの各試験において大差はないものと思われるが、長期にわたる際には、なお検討を要する。

接着剤の性能としては、全試験を通じていずれも塩ビ系接着剤は母材切断を生じるが、エポキシ系接着剤は、そのほとんどが接合部より抜けの状態を呈し、強度的に劣っている。（表7.4、図7.9参照）

(b) 热間工法および冷間工法による水圧強度は、JIS 規定値（パイプ）の 30kg/mm^2 においてはいざれも異常は認められないが、ただS社ソケット、4インチ径が 30kg/cm^2 以内で破損し

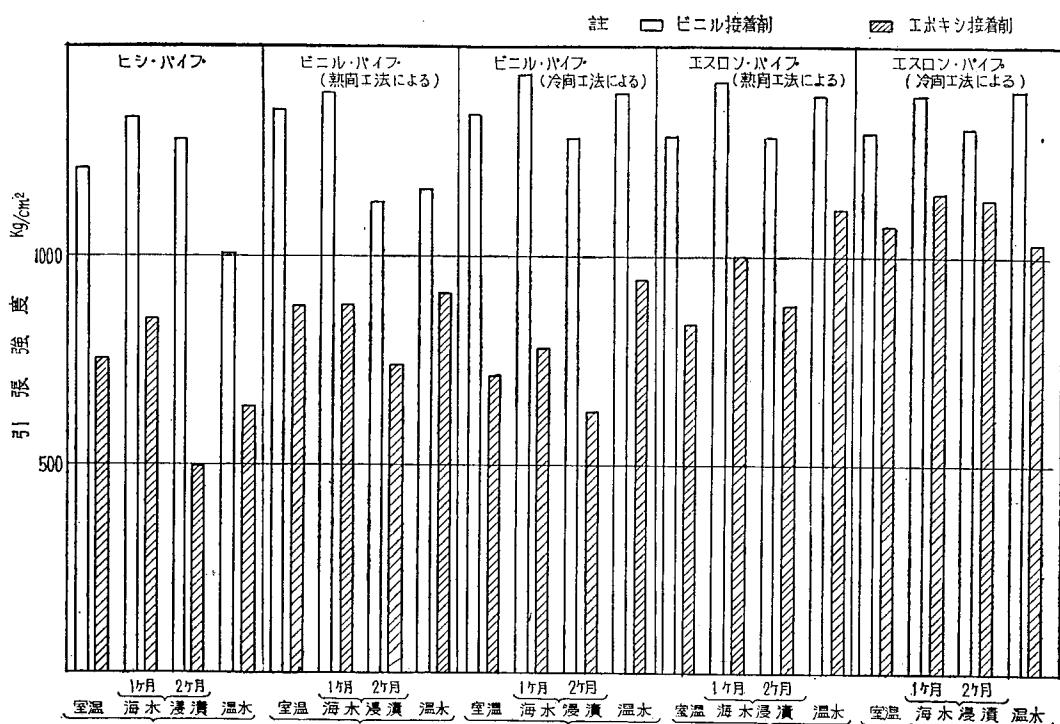


図7.9 热間および冷間工作法による継手強度

表7.5 热間および冷間工法継手の水圧強度試験結果

接合法	銘柄	接着剤	直 径					
			1"		2"		3"	
			割れ目発生水圧 (kg)	同左部分	割れ目発生水圧 (kg)	同左部分	割れ目発生水圧 (kg)	同左部分
热間工法	M社パイプ	ビニル系	85	スリーブ	49	スリーブ	53	ハウジング
		エポキシ #	77	すべり	47	"	42	"
	K社 #	ビニル #	122	スリーブ	66	パイプ	60	割れ目なし
		エポキシ #	109	#	48	すべり	60	スリーブ
	S社 #	ビニル #	138	ソケット	76	パイプ	51	ハウジング
		エポキシ #	118	スリーブ	59	すべり	56	スリーブ
冷間工法	K社パイプ	ビニル #	121	ソケット	69	パイプ	68	ソケット
		エポキシ #	80	すべり	44	すべり	40	ハウジング
	S社 #	ビニル #	138	ソケット	62	ソケット	45	"
		エポキシ #	65	すべり	46	すべり	* 29	ソケット

註：(1)* : 30kg水圧で割れ目発生

(2) 3個の試験片の平均値

た。破損状態は引張りと同様の状態を示し、熱間工法ではスリープ加工時における熱応力負荷により、そのほとんどがスリープ肩より破壊され、冷間工法においても、ソケット（成形加工）部よりの破壊が目立っており、管径が大きくなるに従って塙ビ管の水圧破壊強度は小さくなる現象を呈する。（表7.5 参照）

7.4.3 フランジ接合法

フランジ接合の水圧強度は1インチ管では各継手工法とも JIS 管規定値 30kg/cm^2 において異常は認められない。

しかし、4インチ管の鍔返しおよび溶接継手工法は 30kg/cm^2 に達せずパッキング部より漏水する。

従って、これら大口径の塙ビ管においては、常用水圧 10kg/cm^2 以下の使用が望ましい。（表7.6 参照）

表7.6 フランジ継手の水圧試験結果

接合法	銘柄	直 接				4"
		30kg水 圧にて れ目発 生水圧(kg)	水漏れ部分	30kg水 圧にて れ目発 生水圧(kg)	水漏れ部分	
鍔返し接続	M社パイプ	異常なし	10.5	パッキン	異常なし	3.5
	K社パイプ	"	7.3	"	"	2.7
	S社パイプ	"	5.5	水漏れ	3.0	パッキン
溶接・接続	M社パイプ	"	4.5	"	"	1.4
	K社パイプ	"	4.0	"	"	1.4
	S社パイプ	"	4.5	"	"	1.3
テーパ・コア・継手	M社パイプ	"	5.0	"	"	—
パイプ・リング・継手	K社パイプ	"	4.8	"	"	—

注：3個の試験片の平均値

表7.7 塙ビ管とガス管との継手に対する引張試験結果

銘柄	接 着 料	引張り強度 (kg)	平均引張強度 (kg)	割れ目発生部分
M社パイプ	塙化ビニル樹脂系	1250		パイプ
		1260	1250.0	"
	エポキシ樹脂系	1240		"
		560		ジョイント
K社パイプ	塙化ビニル樹脂系	440		パイプ
		650	550.0	"
	エポキシ樹脂系	1240		パイプ
		1200	1233.3	"
S社パイプ	塙化ビニル樹脂系	1260		"
		360		ジョイント
	エポキシ樹脂系	490	513.3	"
		690		"

7.4.4 塩ビ管とガス管との接合法

ガス管との接合においては、バルブソケットとガス管とのネジ接合部に多少の疑問を持っていたが、引張および水圧試験の結果より、ネジ接合部はなんら異常は認められず、接合部で破損する。

なお、接着剤については前述と同様、塩ビ系が優れている。（表7.7参照）

7.4.5 塩ビ管に対する温水使用試験

(a) 吸水試験

温度上昇とともに、その吸水性も漸次増加し、75°Cでは約2~2.5g/m²で40°Cの約3倍の吸水量を示す。（表7.8参照）

表7.8 吸水試験結果（海水中にて）

銘柄	温度 (°C)	吸水量									
		5 hr		10 hr		15 hr		20 hr		25 hr	
		g/m ²									
M社パイプ	40	—	0.11	0.21	0.31	0.50	0.51	0.56	0.58	0.64	0.72
	50	0.18	0.52	0.69	0.81	1.09	1.14	1.15	1.24	1.25	1.50
	60	0.37	0.63	0.85	1.13	1.34	1.42	1.50	1.54	1.63	1.71
	65	0.61	0.89	1.17	1.50	1.68	1.75	1.87	1.91	1.98	2.06
	70	0.79	1.10	1.55	1.82	2.00	2.15	2.27	2.35	2.46	2.56
	75	0.94	1.49	1.98	2.23	2.47	2.57	2.68	2.82	2.87	3.01
K社パイプ	40	—	0.03	0.18	0.23	0.36	0.45	0.49	0.55	0.58	0.65
	50	0.26	0.41	0.58	0.71	0.98	1.01	1.02	1.11	1.14	1.21
	60	0.30	0.51	0.71	1.00	1.17	1.27	1.31	1.39	1.40	1.43
	65	0.46	0.80	1.04	1.23	1.38	1.49	1.52	1.59	1.65	1.69
	70	0.64	0.89	1.26	1.49	1.65	1.83	1.86	1.95	2.00	2.04
	75	0.82	1.30	1.55	1.79	1.99	2.11	2.14	2.21	2.26	2.45
S社パイプ	40	0.04	0.09	0.24	0.35	0.43	0.52	0.61	0.66	0.67	0.72
	50	0.25	0.42	0.54	0.68	0.99	1.02	1.05	1.13	1.19	1.22
	60	0.30	0.49	0.75	0.97	1.16	1.28	1.29	1.33	1.35	1.41
	65	0.49	0.75	0.98	1.20	1.42	1.49	1.51	1.61	1.67	1.74
	70	0.58	0.93	1.23	1.56	1.68	1.88	1.97	2.03	2.07	2.18
	75	0.76	1.20	1.59	1.86	2.07	2.17	2.26	2.30	2.32	2.41

(b) たわみ測定

温水浸漬におけるタワミ測定結果は、無荷重75°Cにて1.0~1.4mmで、65°C以下ではたわみを生じない。

また、50g負荷重75°Cにおいては、2.3~4.0mmのたわみを生じ、無負荷時の2~3倍のたわみ量を呈する。負荷重時においても65°C以下ではたわみは生ぜず、従って管長が短かくなれば、60°C前後に温度が上昇してもあまりたわみを生じないものと思われる。

なお、温水浸漬中におけるたわみ量測定結果は表7.9に示す。

7.4.6 热膨張度合とバンド支持法の検討

(a) 热膨張度合測定

热膨張によるたわみは40°Cを越えると急激に上昇し、最初の1時間において、3時間後の90%以上のたわみ量を示し、1時間を過ぎると、たわみもほぼ一定し、平行線をたどる。また、3m長さの中央部におけるたたみは懸吊時の自重により約10mm変形し、70°C温水流通

表7.9 たわみ量測定結果（温水浸漬）

試験状態	銘柄	水温 (°C)	たわみ (mm)				
			10 hr	20 hr	30 hr	40 hr	50 hr
無荷	M社パイプ	75	0.2	0.5	0.5	0.9	1.0
		70	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6
		65	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3
	K社	75	0.6	1.0	1.5	1.4	1.4
		70	0.3	0.5	0.5	0.7	0.8
		65	0.1	0.3	0.5	0.5	0.5
重時	S社	75	0.2	0.5	0.7	1.0	1.0
		70	0	0.1	0.3	0.3	0.4
		65	0	0	0	0	0
	M社パイプ	75	1.3	2.2	2.5	3.0	3.2
		70	0.4	0.7	1.2	1.5	1.6
		65	0.1	0.3	0.5	0.5	0.6
重時	K社	75	2.7	3.4	3.8	3.9	3.9
		70	0.5	0.9	1.5	1.8	1.8
		65	0.2	0.5	0.8	1.1	1.2
	S社	75	1.0	1.8	2.0	2.2	2.3
		70	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9
		65	0	0.2	0.2	0.4	0.5

による変形量は S社パイプ 79mm, M社パイプ 110mm, K社ビニルパイプ 120mmであるため、当然サポートの考慮が必要である。(表7.10参照)

表7.10 溫度変化にもとづく最大たわみ量 (3hr 後)

種類	長さ (m)	温度 (°C)	たわみ (mm)					
			自重	20°C	40°C	50°C	60°C	65°C
工業用パイプ	M社パイプ	1	0	0	0	0	0.5	1.7
		2	1.5	1.9	2.7	2.9	9.6	15.4
		3	10.4	11.5	14.6	26.0	57.4	74.8
	K社パイプ	1	0	0	0	0	0.6	1.7
		2	1.3	1.7	2.0	3.4	12.3	15.7
		3	9.2	11.0	13.8	26.3	57.3	81.1
	S社パイプ	1	0	0	0	0	0.4	1.4
		2	1.6	1.9	2.1	3.0	9.8	14.0
		3	8.4	9.3	10.8	21.6	53.9	72.5
水用パイプ	S社パイプ	3	11.4	15.1	17.4	29.4	59.1	77.1

一般に塩化ビニルの熱膨張係数は $7 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ で鋼管に比べて約7倍の大きさであり、露出配管として使用の場合、温度差-40°C (冬期-5°C, 夏季+35°C) とすると、塩ビ管1mについて約3mm変化し、これにともなって管径も若干ではあるが、変化する。

これに反して、塩化ビニルの熱伝導率は鋼管に比し、きわめて小さいので、温水輸送中における温度低下は少なく、断熱、保温の場合には鋼管ほど考慮する必要がないと思われる。

(b) バンド支持間隔

前項 (a) で規定したたわみ量より推定して、必要な管長について実施した結果、塩ビ管径1インチ、3m長さにおけるバンド支持間隔は 65°C~70°C で 3点支持 (バンド間隔 0.75m), 50°C~65°C で 2点支持 (バンド間隔 1.0m), 50°C 以下では 1点支持 (バンド間隔 1.5m) で塩ビ管のタワミが生じないことが実測された。また計算により算出したバンド間隔は 1~1.6m

となり、ほぼ同一結果がえられた。

塩化ビニル樹脂が長期使用の場合、その使用温度が40~50°C以下であることより推して高温流水で使用されることは皆無と考えられ、従って30°C近辺における流体通過に際してのバンド支持間隔は約1.5mで問題ないものと思われ、また管径が大きくなるにともない、バンド間隔は若干大きく見積って支障なきものと推察される。

なお、表7.11に各種管の40°C以下の最大支持間隔を参考までに示した。

表7.11 管径と支持間隔との関係(40°C以下)

管 径 (mm)	最大支持間隔 (mm)	
	液 体	ガ ス
13~20	1.0	1.5
26~52	1.5	2.0
76~100	2.0	2.5
125	2.5	3.0
148	"	"
200	"	"
250	"	"

管の材質	最大支持間隔 (mm)	
	液 体	ガ ス
一般用	1.0~2.5	1.5~3.0
内滑音または電線管	*~1.5	1.0~2.5
内厚管	*~3.0	1.5~3.0

(c) バンド支持法

バンド支持法については、種々の形状による支持法があるが、塩ビ管方向に対する多少の変位ができるようにし、塩ビ管の特性を考慮してサポートする必要があり、弾力性のある緩衝物を挿入するか、塩ビ鋼板にて支持し、塩ビ管に直接金属面が接触しないようにすることが望ましい。

本実験では図7.10の要領でビニル鋼板にて塩ビ管を支持したが、一般的には色々なバンド形状が考えられる。

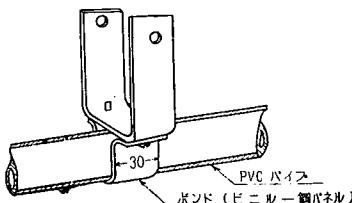


図7.10 塩ビ管の支持法

7.4.7 低温脆化性

A.S.T.M. D576-57Tに準拠し、5個の試料より測定した結果、低温脆化性は各社品にかなりの差が認められたが、これは樹脂含量、配合成分等の製造方法にもとづくものと思われ、脆化点以下ではかたくて伸びが低下するため、比較的脆化点の高い塩ビ管においては、低温域の曝露、金属管との接触面ならびに管路が屋内より屋外寒冷部に通ずる場合には境界面の温度差によりヒズミもしくは変形を生じるおそれも十分考えられるので、低温域への使用に際してはライニング面（塩ビ管の保温）にも考慮の要があろう。（表7.12参照）

7.4.8 换修方法

表7.12 低温脆性試験結果

試験機種	脆性破壊点(℃)
M社パイプ	-11.5
K社	-5.5
S社	-20.0

（注）3試験平均値

(a) 小破損の場合

破損面積が比較的小さい事故の応急処置には塩ビ製カラーを利用して補修を行なう。

- (i) 破損部の大きさに応じてスリーブ2段と同方法で配管されているパイプと同径パイプにスリーブし、冷却して引抜いたものをカラーとし、スリーブされた部分の破損部の大きさに合せて切断する。（カラーの大きさは大体、破損面積の4～5倍以上とする。）
- (ii) カラーをパイプの上から貼布できうるように適当な角度(90～150°C)に切断する。

(b) 大破損の場合

- (i) 補修ソケットを使用
- (ii) 破損部を切断して溶接を行なう。

7.5 むすび

造船技術近代化および軽量化の推進に沿って、近時船内給排水管においては従来の金属管に替って塩ビ管の需要が増大しており、実船に適応した加工工作法、設定基準の確立が急務とされている。

従って、これら塩ビ管の適用範囲拡大のため検討した結果は、熱間および冷間工法の差は認められず、施行技術面より見れば、冷間工法がはるかに容易かつ迅速確実であり、今後漸次冷間工法に推移するものと推察される。

各種継手材料の水圧強度は、JIS規格値30kg/cm²においては水漏れ、接合部の離脱は認められず、設計（常用）水圧はふつう静荷重で $1\frac{1}{2}$ ～ $1\frac{1}{4}$ の安全率をとり常用水圧としている。加工工作法については加熱により自由に加工できるが、熱による残留応力を避けるため、120～130°C標準加工温度にて実施すべきであり、熱応力負荷部は強度低下をきたすため、できうるならば加熱工作法は避けるべきものと考えられる。

また、温水系統に対しては50°C以下の使用が望まれ、熱膨張が鉄の約7倍であることを知り、長い配管においては、ジョイント、バンド、エクスパンション等の設置は鉄管の場合以上によく考慮し、サポート等もパイプをかたく固定せぬ注意が肝要であろう。

第4編 実船への応用研究

第1章 船内舾装への適用に関する研究

1.1 はしがき

近年、船舶の軽量化ならびに高経済性を目的とし、プラスチック材料の船内舾装への適用が急速に推進されているが、居住区全体のプラスチック化がなされていないため、実船における居住性については不明な点が多く残されていた。

本計画はこの情勢に対処するため、基礎研究および実態モデルによる応用研究の成果に基づき、三菱重工業(株)神戸造船所が担当して産業巡航見本市協会所属の見本市船「さくら丸」の郵便手室の室内舾装全般にわたってプラスチック製品化を案内、プラスチック・モデルルームとし、単にモデルルームの設

表1.1 使用材料および硬度測定(バーコル硬度計)結果

舾装品名		使用材料	硬度変化		備考
			就航前	就航後	
入口扉	外側	強化ポリエスチル樹脂表面材	44	45	廊下側 室内側
	内側	サンドイッチ板 ベーパ・ハニカム芯材	32	35	
扉枠	内側	強化ポリエスチル樹脂(ガラス)	36	39	室内側
	左側 右側	同 上	35 38	38 41	
舷窓	左側 右側	同 上	28 31	30 33	室内側より測定
天井	一	メラミン樹脂化粧板+ベーパ・ハニカム	5.5~6.7	6.0~7.0	10ヶ所の測定範囲
洗面器	一	強化ポリエスチル樹脂(ガラス)	4.7	4.3	
長椅子子背	左側 右側	同 上	5.2 5.2	5.2 5.1	正面部
長椅子用引出し	左側 右側	同 上	4.5 4.5	4.5 4.8	正面部
本箱	扉 内部	エアレックス・コア 強化ポリエスチル樹脂(ガラス)	3.5 3.8	5.0 4.6	閉じた状態より測定 サンドイッチ板
机上棚	頂面 中棚	ベーパ・ハニカム・コア 強化ポリエスチル樹脂(ガラス)	2.5 5.0	3.0 5.3	サンドイッチ板
衣服箱	側面 扉 底部	ベーパ・ハニカム・コア 強化ポリエスチル樹脂(ガラス)	5.0 4.2 4.3	5.5 4.8 4.5	サンドイッチ板
衣服箱用抽出	前面 側面	同 上	3.8 3.0	4.1 2.8	
片袖机	頂面 側面	ベーパ・ハニカムとエアレックス・コア 強化ポリエスチル樹脂(ガラス)	4.5 4.5	4.2 4.5	サンドイッチ板
片袖机用抽出	上 中 下	同 上	4.5 5.0 5.0	4.1 3.1 5.0	正面部
二重寝台	上 下	ベーパ・ハニカム・コア 強化ポリエスチル樹脂(ガラス)	5.2 5.8	5.2 4.8	正面部 サンドイッチ板
寝台用抽出	正面	同 上	4.5	5.0	
床面	一	硬質塩化ビニル樹脂	8.8	9.1	ショア・ゴム硬度計による

注 測定値は5回の平均値を示す。

計・製作にとどまらず就航後の耐久性、防音、防熱効果による居住性の良否等について調査した。

1.2 モデルルームの計画および設計

本モデルルームは設計当初より鉄鋼部材に触れず主として基礎および実態モデルに応用研究成果によるFRP製品、サンドイッチ構造材などの内装品を採用し、一体構造の成形加工法、曲面仕上法、重量軽減を考慮した。

なお、表1.1に使用材料を、写真1.1および1.2にモデルルームの全景を、図1.1に配置を示した。

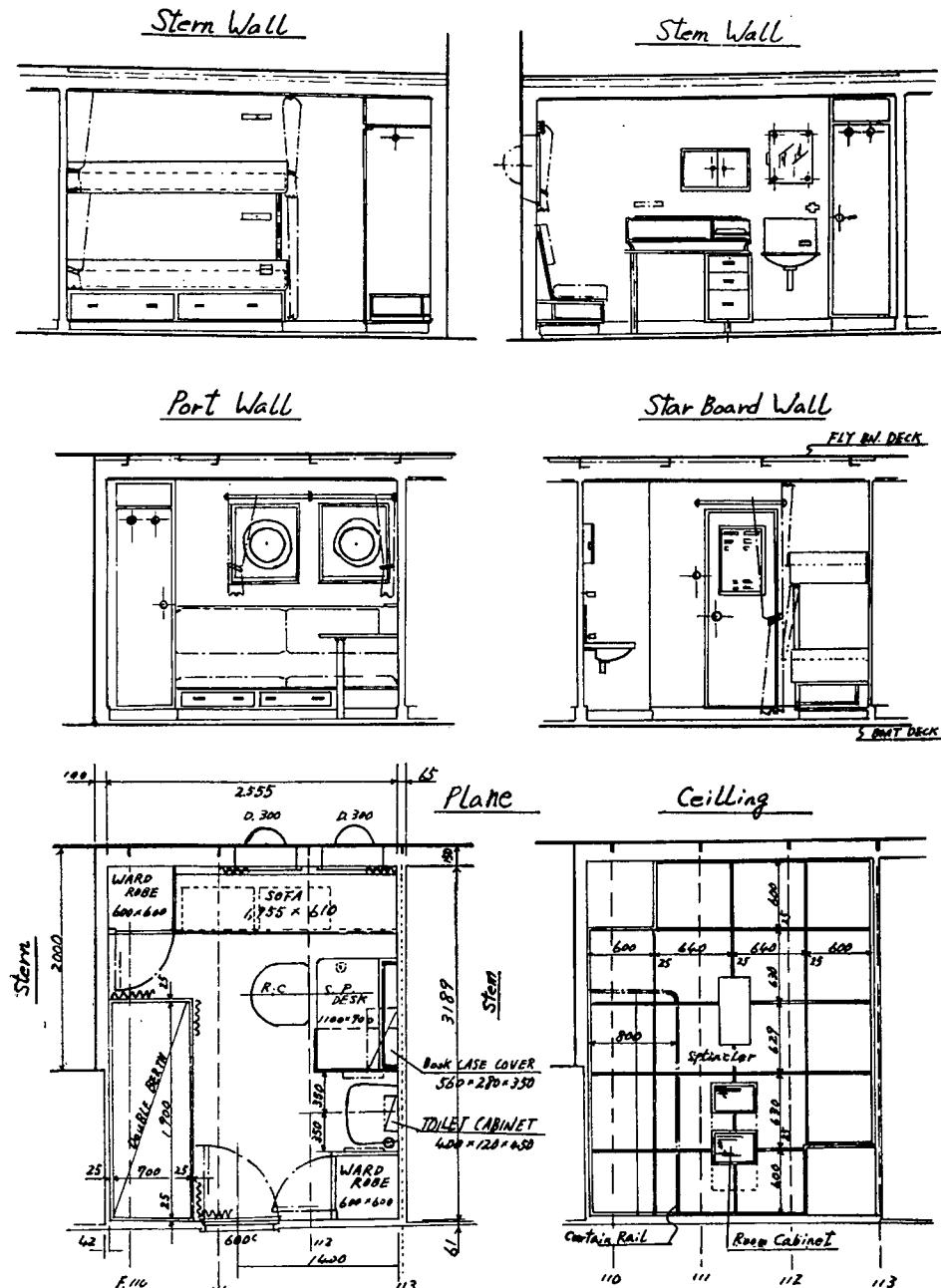


図1.1 プラスチック・モデル室の配置

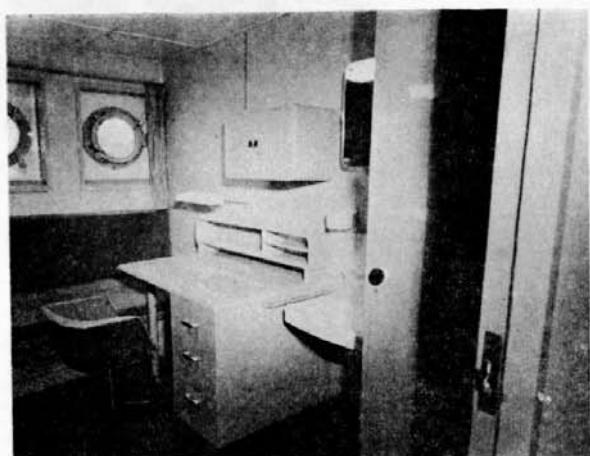


写真1.1 プラスチック・モデル室全景
(右舷側より左舷側を船首部に向って見る)



写真1.2 プラスチック・モデル室全景
(左舷側より右舷側を船首部に向って見る)

1.3 製作・取付

1.3.1 壁面

- (a) 艤壁はメラミン樹脂加工のサンドイッチ構造体（ハードボード化粧板+ペーパハニカム芯材+ハードボード）とした。
- (b) 船左壁面は発泡スチロール芯材に艤壁同様の表面材にてサンドイッチ板とした。
- (c) 船右壁面はメラミン樹脂化粧板を表面とし、ペーパハニカム芯材によるサンドイッチ構造とした。
- (d) 艤壁はメラミン樹脂加工を施したハードボード化粧板を採用した。

以上いづれも、目地押えはアルミ板を使用し、サンドイッチ板の接着剤を尿素樹脂にて加圧成形した。

艤装工事にあたっては軽量で作業が容易であるが、ハニカムを芯材とする構造では計画的に取付用根太を挿入する必要があり、この点プレハブ式の構造への研究課題が残る。

1.3.2 天井

メラミン樹脂加工のハードボード化粧板を使用し、根太へ木ねじにて取付け、目地押えには塩化ビニル板を使用した。

1.3.3 床面

塩化ビニル樹脂加工のものを使用した。

1.3.4 入口扉 (写真1.3)

サンドイッチ構造を採った。扉本体は1.5m/m厚の強化ポリスチル樹脂（ガラス）を表面材とし、芯材にペーパハニカムを使用し、扉下部は塩化ビニル樹脂発泡体を芯材とし、表面仕上はポリスチル樹脂塗料を施した。

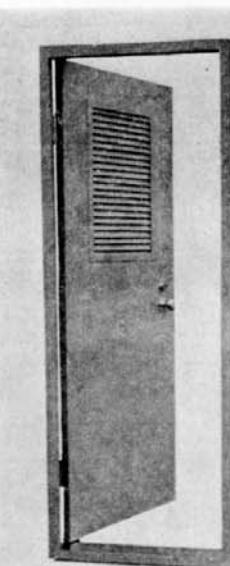


写真1.3 入口扉

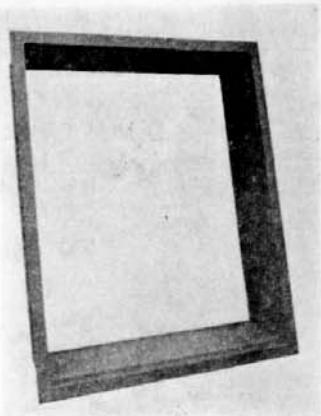


写真1.4 窓枠

把手はポリエステル樹脂成型品を使用した。

とくに工作上では問題はなく、今後、軽量化の面から活用できる製品と考えられる。

1.3.5 窓 柱（写真1.4）

3m/m 厚の強化ポリスチル樹脂（ガラス）板を採用し、剛性面を補強するため、リブをつけ、壁の取付を容易にするため上から本体と柱を切離して工作し、仕上はポリスチル樹脂塗装を施した。コーナにはRを取らなかったが、Rにより成形しやすくなると思われる。

これも扉同様、標準化にかり量産可能となる。

1.3.6 二重寝台（写真1.5）

リーボードおよび底部は1.5m/m 厚の強化ポリエスチル樹脂（ガラス）板とペーパハニカム芯材によるサンドイッチ板とし、末端R部は塩化ビニル樹脂発泡体を芯材とした。幅木は5m/m のFRP板を使用し、支柱は塩化ビニル管に強化ポリエスチル樹脂（ガラス）を巻きつけ成形して、増強および軽量化を図った。

1.3.7 衣 服 箱（写真1.6）

扉、側面本体は1.5m/m 厚の強化ポリエスチル樹脂（ガラス）板とペーパハニカム芯材との組合せによるサンドイッチ構造とし、引出しの後板および側板はそれぞれ4m/m、6m/m 厚の強化ポリエスチル樹脂（ガラス）板を使用した。

また、仕上はすべてサンドペーパ後、ポリエスチル塗装を施した。

1.3.8 片袖机・机上棚（写真1.7）

サンドイッチ構造とし、曲面部は塩化ビニル発泡体を芯材にした。支柱は前記二重寝台と同様にした。製作後、天板はソリを生じないように厚みを十分検討することが必要である。

1.3.9 本箱（写真1.8(1)）およびトイレットキャビネット（写真1.8(2)）

強化ポリエスチル樹脂（ガラス）板と塩化ビニル発泡芯材のサンドイッチ構造体と、棚は取外し

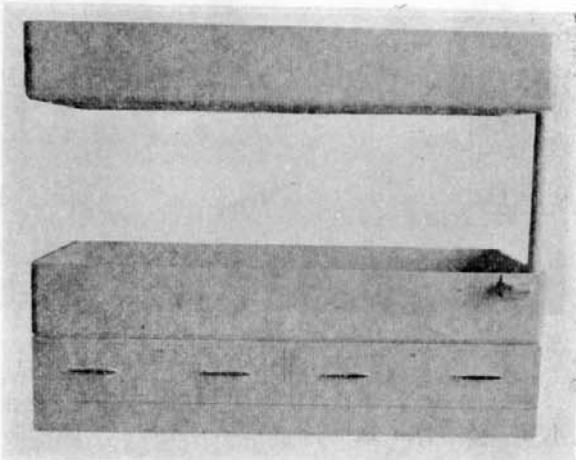


写真1.5 二重寝台



写真1.6 衣服箱



写真1.7 片袖・机上棚

を考慮し外側コーナRにをつけた。取付けは壁に木ねじで止め、製作は容易であった。

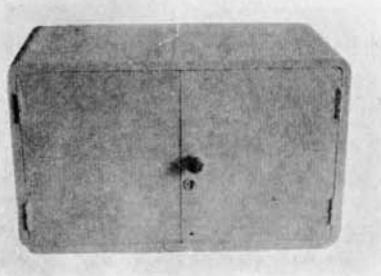


写真1.8(1) 本 箱

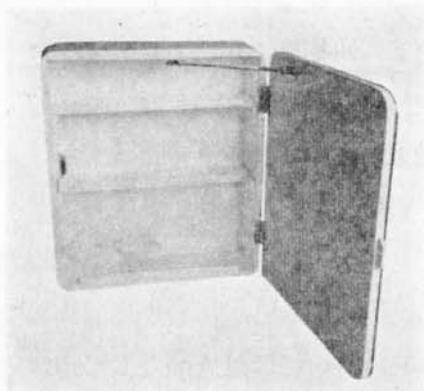


写真1.8(2) トイレットキャビネット

1.3.10 長椅子（写真1.9）

背および座は強化ポリエスチル樹脂（ガラス）を手積法で成形し、ソリを少なくすることと作業性向上のため長さを2等分割した。

台部は成形による一体構造が困難なので、金型成形にてFRP アングル材を採用した。

全般的に強度を中心とした構造を考慮したため、重量が予定より若干増したのでこの点問題となる。

1.3.11 舱窓（写真1.10）

舷窓フレームはガラスマットと強化ポリエスチル樹脂（ガラス）を交互に16枚積層とし加圧成形した。透明板は厚さ20m/mのアクリル樹脂を用いたが、微少な傷がつき易いことと、静電気による付着性があるので検討の余地がある。

なお、舷窓のプラスチック化は初めての試みであるが量産の対象となるもので、今後期待できる。

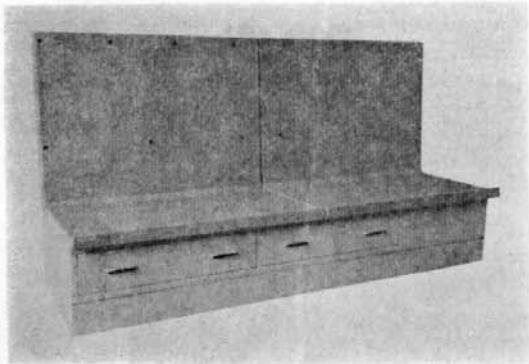


写真1.9 長椅子

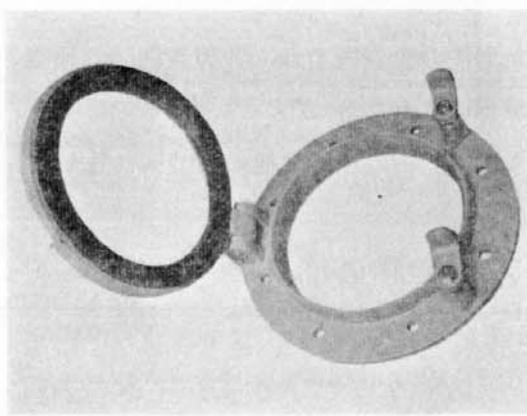


写真1.10 舱 窓

1.3.12 洗面器

FRP製（手積成形）とアクリル製の2種をそろえたが、実船ではアクリル製はエッチ強度に問題があり、FRP製を取付けた。

洗面器は標準可能な製品であり、今後量産化により活用できるものと考える。

1.3.13 配管・通風ダクト・グリル

この種の艤装は従来より最も最もプラスチック化されている部分で、とくに問題がなく、材料としては硬質塩化ビニル樹脂を用いた。

1.3.14 照明器具類

これも従来船と同様であり、既成形品によるアクリル樹脂を中心に装着し、取付部は金物とした。

1.3.15 回転椅子

強化ポリエステル樹脂製（ガラス、手積成形）はゲルコート仕上し、脚はステンレスを使用した。

座および肘については既成品として市販されており、強度、重量、デザイン等より使用価値がある。

1.4 諸特性調査

1.4.1 材料特性試験

モデルルームに使用した各種材料（サンドイッチパネル、単板）等を製作中サンプリングし、接着力、硬度等基礎的数値を求めた。

この結果、サンドイッチパネルの機械的強度（曲げ、接着力）ではペーパハニカム芯材は塩水噴霧試験後の強度低下が著しく、この点、端末処理の必要が認められた。

硬度および光沢度は各艤装品サンプルとも老化促進試験において特殊な変化がなく、良好であった。

1.4.2 実船調査試験（昭和37年10月～38年3月）

前項とは別に実船装着品について硬度、光沢度、寸法変化を就航前に測定し、防音、防熱等の居住性は航海中（東南アジア、地中海沿岸地域）に調査した。

航海後の調査によれば各装着備品の硬度等は変化が認められなかった。

また、防音の点では他の艤装区に比し、良い成績がえられた。

これらの測定結果の1例を表1.1～1.4に示した。

表1.2 航海中の温度計測結果

日時 昭和38年2月21日 14.30～15.50
本船位置 0°～29'N 81°～28'E, MONBASA to SINGAPORE
気温 30.5°C

室名	甲板 (c)	甲板裏 (c)	室内 (c)
Mail Men's Room*	5.6	2.6	2.4
Wheel House(Top)	4.5	3.2～3.5	2.95
(side)	5.3	#	#
3rd Operator's Room	5.4	2.8	2.5

注：*プラスチック・モデル室

表1.3 騒音計測結果（単位 フォン）

日時 昭和38年2月20日 14.00～15.00
本船位置 MONBASA to SINGAPORE
主機回転数 1127 r.p.m.
機器類の運転状況 発電機 1, 2, 4号運転中
エアコンユニット 2号 "

海象、気象、雨、風力・2

甲板	室名	騒音(フォン)
Flying Bridge Deck	Wheel House	67(Door open 69)
	C/O Room	76(Door open 69)
	Mail Men's Room	67(Door open 71)
	S/W Room	70
Promenade Deck	Foyer Office	77(Door open 79)
	Foyer	78
	Nurse(A)Room	75
	3/E Room	74(Door open 79)
Upper Deck	C/St Room	81(Door open 88)
	Off. Mess Room	78
	Crew's Mess Room	76, 81
	Galley	82
2nd Deck	Laundry Passage	93
	No1 Oiler Room	77
	Steward Room	76

主：*プラスチック・モデル室

表.14 プラスチック・モデル室の温湿度計測結果

年月日	測定時間	温 度		関係湿度 (%)	備 考
		dry (°C)	wet (°C)		
37. 11. 14	12.00	26.0	22.5	74.0	3/W室では 25.8/21.6 ... 73%
" 17	"	25.0	20.5	67.0	" 23.8/17.5 ... 54%
" 18	15.00	"	18.0	51.0	" 26/18 ... 46%
" 22	0.900	28.5	24.0	75.0	" 27/24 ... 76%
" 23	0.900	"	"	61.0	at sea
" 19	12.00	22.0	16.0	54.0	at sea
37. 12. 1	12.00	24.0	17.5	52.5	Air con.start
" 4	12.30	24.5	20.5	70.0	Air con.stop
" 7	12.00	24.5	19.0	57.0	Suez Canal
" 19	"	21.5	16.5	60.0	at sea
" 22	0.900	18.0	15.0	73.0	Istanbul
" 26	12.00	25.0	21.0	70.5	Athens
38. 1. 1	08.00	21.5	18.0	72.0	at sea
" 4	"	22.0	"	68.0	Casablanca
" 14	"	20.0	"	83.0	at sea
" 28	12.00	25.0	19.5	60.0	Red Sea
38. 2. 2	"	23.0	18.0	62.0	cooled
" 5	0.630	22.0	"	68.0	Air con.stop
" 9	07.00	27.0	23.0	71.0	Air con.start
" 11	12.00	23.5	18.5	62.0	Monbasa
" 19	"	24.0	"	59.0	at sea
38. 3. 6	07.30	13.5	9.5	61.0	Kobe

注: ※ 3/W 室の測定結果

1.4.3 寸法変化

各装着備品について寸法を測定した結果、入口扉を除いては変化がなかった。入口扉は若干寸法変化を呈し、開閉が困難となった。

1.5 む す び

今回、「さくら丸」のプラスチック・モデルルームの実船研究を通じて、設計、製作の両面にわたり多大の成果をあげることができた。

表1.5 重量対比表

	重 量 (kg)		備 考
	木製一般標準備品	プラスチック備品	
入 口 扉	36.0	23.3	
窓 棚	3.6	3.1	
本 箱	17.0	3.8	
ト イ レ ッ ト キ バ ピ ノ ブ ツ	7.5	7.5	
二 重 寝 台	77.0	72.0	
ワ ド ロ ーブ	41.0	27.4	
片 袖 机	40.0	34.0	
長 椅 子	62.0	61.5	
回 転 椅 子	15.5	7.2	
舷 窓	7.0	6.3	
壁 面	48.5 (20t)	約 25.0	
洗 面 器	16.0 2.0	約 13.0 1.5	F.R.P
照 明 器 具	2.0 1.2	1.1 1.0	天井灯 デスクランプ 寝台灯
ダ ク ト	38.0	15.0	
製 地 類	21.1 0.5	11.0 0.5	マットレスおよび ビローカーテン
計	435.9	約 314	

とくに、防音、防熱、装飾面より見た船舶居住性については乗組員はじめ関係者に好評であり、また、プラスチック化により約30%の重量軽減（表1.5参照）となり、プラスチックの特性が十分活かされた点、設計的には所期の目的を達成したものと思われる。

なお、将来プラスチック材料を船舶部材として大幅に利用推進してゆく上には、プレハブ建造方式、取付工法の合理化、艤装備品の標準化（量産体制の確立）、検査基準の設定等を検討することにより、プラスチックの経済的利用法を研究することが必要となろう。

諸特性調査の結果は硬度について室内と実船結果に大きな差が認められたが、これは主として、装着品はサンドイッチ板のため、芯材の影響を受け、低値を示したものである。

また、防音効果も他の場所に比較して良好な成績を示した。

第2章 曝露部への適用に関する研究

2.1 緒 言

近時プラスチック材料の発達は誠に目覚しいものがあり、一方造船技術の近代化に伴ない、プラスチックを船舶の上部構造、艤装品等に利用する諸問題の開発は造船界の急務となっている。わが国においてFRPを船舶の曝露部構造に広範囲に利用した実績がなかったので、海上保安庁の300T型巡視船「はるちどり」の操舵室を全部FRPパネルで施工することとなった。

本研究は実船曝露部に対する本工事を実施することにより、適正な施工工作法を確立するための資料を得るとともに、今後の就航実績を調査することによって、強度、耐曝露性に関して現在まで試験片による成果の域を出なかったFRPの諸特性を把握、確認することを目的としたものである。

FRPの製作は日東紡績株式会社に依頼し、実船への搭載および関連艤装工事は日本鋼管(株)鶴見造船所が担当した。

「はるちどり」の要目等は次のとおりである。

長さ×幅×深さ×吃水	43.00m×6.80m×3.55m×1.95m
総屯数および純屯数	237.8t, 41.7t
主 機 関	海軍型 400ps ディーゼル 2基
速 力	11.78kt

操舵室の大きさおよび構造は図2.1に示すとおりで前後方向3.750m、左右方向3.600m、高さ2.100mでFRP構造パネルの総面積は約42m²である。なお、写真2.1および2.2は「はるちどり」に取り付け前の外観および取り付け後の全景である。

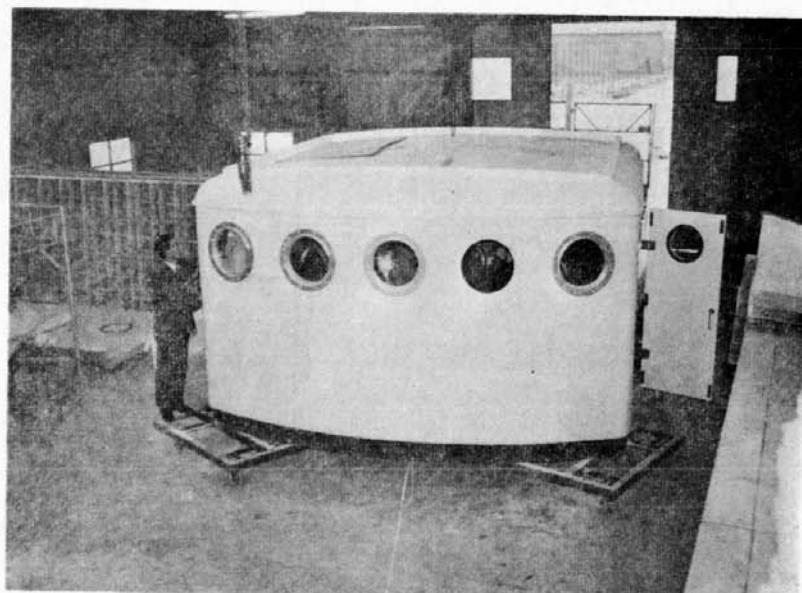


写真2.1 操舵室外観（「はるちどり」に取付け前、船首方向より見る）



写真2.2 はるちどり（操舵室取付後）

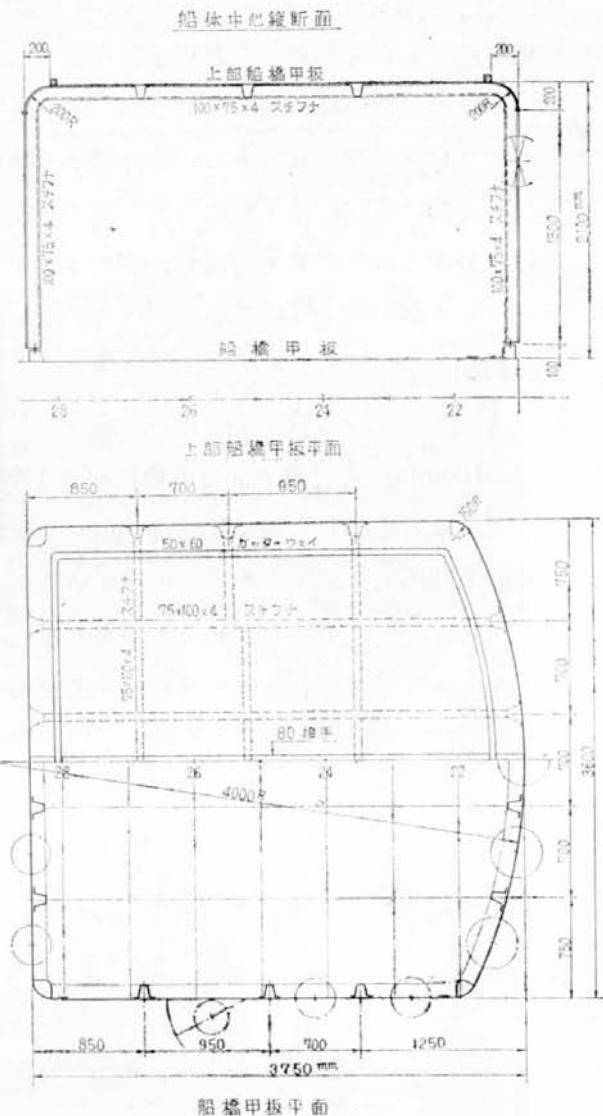


図2.1 巡視船「はるちどり」操舵室

2.2 設 計

本工事を実施するに当っては、特に第51研究部会内に設計小委員会が設けられ前後7回にわたる審議の結果次の項目が決定された。

- この操舵室を鋼製とする場合には板厚3.2mmを使用することとなるのでFRPの板厚を決める場合にはこれと同等の強度となるよう考慮すること。
- 上部船橋甲板の甲板荷重は等分布荷重の場合は200mmの水頭をとり、集中荷重の場合は150kgを考える。また撓みの限度はパネルの場合はスパンの1/50、スチフナの場合はスパンの1/100とする。
- 前檣は操舵室と分離する。
- 操舵室外面はパネル積層時、最外層をゲルコート樹脂を使用することとし、塗装はしない。
- 上記およびその他の審議項目を折込んで詳細構造図面を作成し、パネル基本構成、プロックの分割法および同接手要領、スチフナの配置および同取付要領、下部船体への取付要領、諸儀装品の取付要領等を審議決定した。

(f) FRP の性状を規定する検査基準を審議可決した。詳細については付録 1 に示す。

最終的に決定した設計の主要な点を述べると次のとおりである。

- (a) パネルの構成は表裏面 1 層づつをガラスクロス(C), 内部の 5 層をロービングクロス(R)すなわち, (C + 5 R + C) とし, 板厚は 6.5mm とする。
- (b) 天井には縦横に格子状にスティフナを配置し, その枠の中には防熱および板の曲げ剛性の増大に幾分でも寄与させる意味で内面に 5mm 厚のエアーレックスを張り, さらにその内面に (R 1 層 + C 1 層) の FRP をかぶせることとした。周壁は垂直方向のスティフナのみとし, 板厚は天井同様 6.5mm とした。
- (c) スティフナの形状はすべてハット型とし (図 2.2 参照), 周壁付および天井横方向のものは高さ, 100mm, 天井縦方向のものは高さ 120mm とする。
- 構成はともに R 4 層で板厚は 4mm である。スティフナ・スペースは大体 700mm とし, 鏡装配置の関係で多少広くなった所もある。
- (d) ブロック割は 1 つのブロックの大きさ, 運搬の難易, 継手の工作等を考慮して図 2.3 のように天井, 前後壁, 左右壁の 5 ブロックに分割した。周壁のブロックの継手は外面を一平面に仕上げるためにジョググル継手とし継手面には樹脂を含浸させたガラスマットを挟んで接着し, 圧縮力

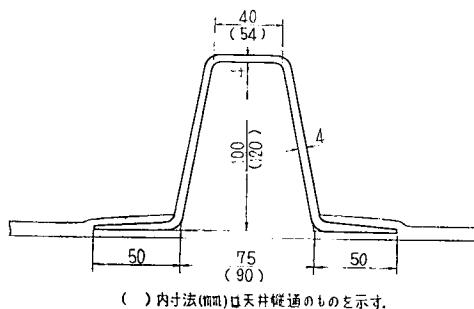


図2.2

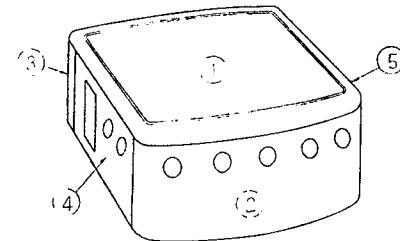


図2.3

を与えるためにW³/8の皿ボルトを併用した。 (図 2.4 参照)

天井ブロックと周壁ブロックとの継手には工作上の容易さを考えてポート用の特殊継手金具を用いた。 (図 2.5 参照)

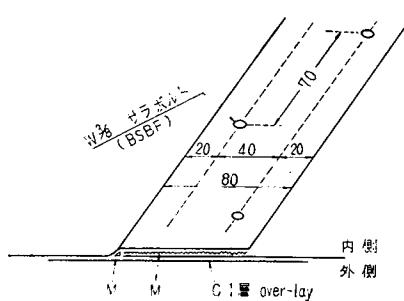


図2.4

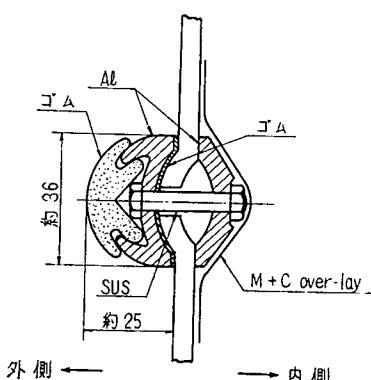


図2.5

(e) 下部船体との取付は周壁下端を 120mm フランジとし、予め取付けた逆山形にパッキンを挟んで重ねたW¹/₂のボルトで固着した。(図2.6 参照)

また天井パネルの周辺、周壁の四隅、周壁下端のフランジ部など各隅部は応力の集中をさけるためすべて丸味をもたせるよう配慮した。

(f) パネルの積層に当って注意したのは、各層のガラスクロスまたはロービングクロスの接合部のラップ代は必ずしも 30mm 以上とすること、また接合部の各層間の避距は、隣接した層の場合 80mm 以上、1 層隔てた場合は 50mm 以上、2 層以上隔てた場合は同じ個所にきても差支えないと規定したことである。また隣接した層のクロスの方向は互に直角となるように配置した。

(g) パネルの積層は外面をきれいに仕上げるためにもちろん雌型を使用したが、スティフナは高さ 100mm のものは雌型、高さ 120mm のものは雄型を使用した。これは天井スティフナの縦横交叉部の工作を考慮したためである。

使用した強化ポリエスチル樹脂(ガラス)は手積み用の速度硬化性樹脂に難燃性を付与した理研合成樹脂 KK の 158QTSX である。使用したガラス繊維は日東紡績 KK の製品でガラスクロスは無アルカリ・シラン処理の EC-13200、ロービングクロスは同じく無アルカリ・シラン処理の ECR-860 である。ともに詳細の性状は添付付録 2 を参照のこと。

2.3 試験検査

前述の検査基準に規定した各立会検査は次のとおりにて行なった。

試験検査の種類	試験場所	試験月日
難燃性試験	東大生産技術研究所	37. 9. 17 および 19
本船検査	日東紡績	37. 9. 29
パネル構造中検査	"	37. 10. 9
"	"	37. 10. 17
成形パネル完成検査	"	37. 10. 24
製品素材検査	"	37. 11. 1
製品検査	"	37. 11. 16

これら試験検査の詳細は添付付録 3 のとおりで、強度および弾性率、空洞率および樹脂含有率などいずれも十分合格の数字を示している。造船所に搬入してからは次のような試験または検査を行なった。

荷重試験および重量計測	37. 12. 20
本船取付工事検査	37. 11. 28
ホーステスト	37. 12. 5
板張工事完了検査	37. 12. 14
船上運転	37. 12. 15

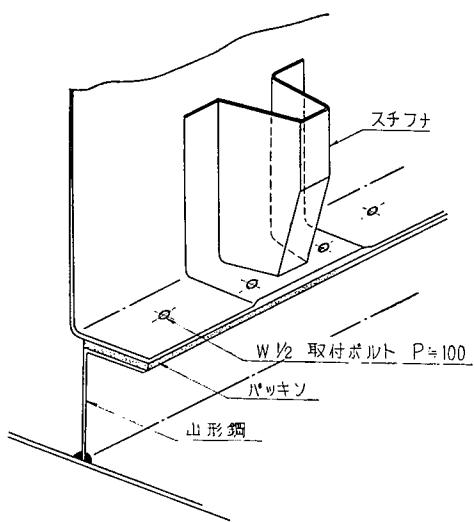


図2.6

荷重試験では前述の甲板荷重すなわち 150kg の集中荷重の場合、200mm 水頭に相当する砂袋の等分布荷重の場合についてそれぞれ撓みを計測したが、きわめて小さく、実用上心配のないことが確認された。

また重量については、先に計測してあった諸機器取付座用充填木材 115kg、継手用特殊金具類、ボルトナット類 38kg を含み、FRP 構造部の重量は 834kg であった。これは鋼製の場合の計算重量 1,330kg に比べると 63%，木製の場合の計算重量 1,095kg に比べると 76% となり、軽減されることが確認された。詳細は付録 4 に示す。

なお、海上運転の際には機関の各馬力において操舵室および周辺の振動計測を行なったが、その結果、振動は小さく特に問題となることがなく十分実用になることが確認された。詳細は付録 5 および 6 のとおりで第 5 章において詳しく記載する。

2.4 む　す　び

以上で今回の研究、工事の概略を述べたが、FRP をこのような船舶の曝露部構造に利用する場合の利点、欠点について考察してみたい。

- (a) 外面はゲルコート仕上とすることにより、また鋼のように腐食し、木材のように腐朽することがないので塗装を省くことができる。これは生産費ばかりでなく維持費の面で有利である。
- (b) 重量は従来の鋼製または木製の場合に比して大略 65～75% に軽減されるので復原性能上有利である。またそれだけ載貨重量が増加する。
- (c) 鋼に比べて熱伝導率が小さいので防熱防寒の面で有利である。
- (d) ポリエスチル樹脂が熱硬化性樹脂であるため、積層後は曲げ加工等ができない点で不利であるとともに、一方では歪取りの手間が省ける点で利点となる。
- (e) 鋼に比べ表面硬度が低いので傷がつき易いから現場工事の際は注意が必要である。
- (f) 現状では高価である。これは材料費ばかりでなく型の価格が製作費の中のかなりの部分を占めているので、同じ型を用いて多数つくれるようになれば製作費もさがる可能性をもっている。

第3章 構造材料としてのパネルの強度に関する研究

3.1 はしがき

海上保安庁巡視船「はるちどり」の操舵室全構造をFRP化するにあたって、その設計質料を得る目的で補強桁交叉部の曲げ試験ならびに補強パネルの水圧試験を行なった。衆知のように、FRPはその剛性が低いので、構造物パネルとして使用する場合にはそのたわみ量によって制約される場合が多く、そのために縦横横で格子状に補強することがある。このような場合、交叉する桁の一方は他の桁によって切断されるので交叉部強度が問題となり、その連続性を増して桁として有効に働くためには、何等かの適切な結合方法をこうじなければならない。そこで、考えられる種々の桁交叉部構造様式について、その連続性を調査するために、桁交叉部の曲げ試験が行なわれ、さらにこれらの桁によって補強されたパネルの変形状況を調べるために、パネルの水圧試験を行なった。

3.2 桁交叉部の曲げ試験

試験は図3.1のとおり、 $1,500 \times 600$ の矩形板にそれぞれ1条の縦横の補強桁を設け、縦桁を不連続にしてこの交叉部に純曲げを加えてその変形、破壊の状況などを計測した。試験板および補強桁の構成は次のとおりである。

試験板：(C-R-R-C-R-R-C)の7層

補強桁：内面より(R₁-R-R-C)の4層

ただし C……ガラスクロス (EMH-25)

R……ロービングクロス (EWR-80)

R₁……ハット型芯材 (同上)

使用樹脂はエポラックP85であり、成形品の樹脂含有量は55%を目指とした。これらの積層はすべてHand-Lay-Upによった。

試験模型は表3.1のごとくに合計9種類とし、補強桁が引張側(表曲げ)および圧縮側(裏曲げ)になるように2種の曲げを行なった。桁交叉部の各構造はそれぞれ図3.2.1～図3.2.8に示すとおりである。

使用材料の機械強度は表3.2のとおりである。

図3.3にたわみ曲線の計測結果の1例を示す。これらの結果から継手の効率を調べるために、各模型についてこの中央部の均一曲げの加わる部分のみのたわみ δ を求める例を図3.4に示す。また表3.3に破壊時の最大荷重と破壊状況を、表3.4には単一梁の表曲げの場合を基準にして、各模型の中央たわみ δ 、および破壊荷重P_{max}の値を比較したものを示した。これらの結果から、次のようなことがいえる。

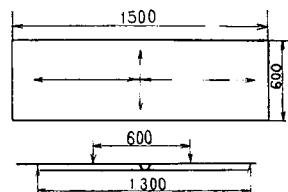


図3.1 曲げ試験模型概要図

表3.1 曲げ試験片種類

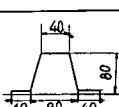
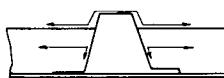
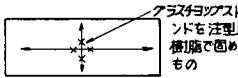
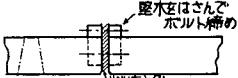
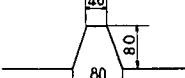
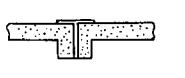
N.O.	型 式	内 容	数	註
1	单一梁模型	ハット型スチフナの単純強度を求める以下の各形式に対する標準とする。	2	
2	交差梁模型 (ローピンク連続形式)	特に交叉部補強を行なわず、ハット型スチフナのCおよびRを横折に接着する。	2	
3	" (グラスティア 補強形式)	横折は横折端で止め、横折の連續性を持たせるため、グラスティアで補強	2	
4	" (唯一違い形式)	3と同様で横折高より横折高の大なる場合、局部的強さを調べる。	2	
5	" (内そう補強 形式)	横折内の交叉部にウエーフ補強ビースをそう入する。	2	
6	" (十字型接続 ビース形式)	交叉部に別に乍裂した十字型の接続ビースを使用する。	2	
7	" (フランジ継手 形式)	フランジ継手部連續性を調べる。	2	
8	押型梁模型	ハット型スチフナの代りに、押型形式のスチフナを用いた場合	②	
9	サンドイッチパネル 模型	プロック型サンドイッチパネルの接続部のスチフナ比での効き	②	

表3.2 材 料 強 度

	常 態 試 験	湿 潤 試 験
比 重	1.59	—
E (kg/mm ²)	1,480	1,250
引張強さ (kg/mm ²)	23.7	—
曲げ強さ (kg/mm ²)	30.5	23.1

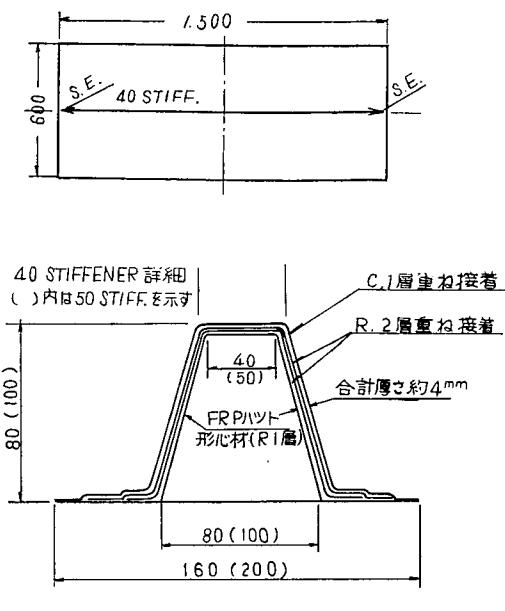


図3.2.1 No. 1 模 型

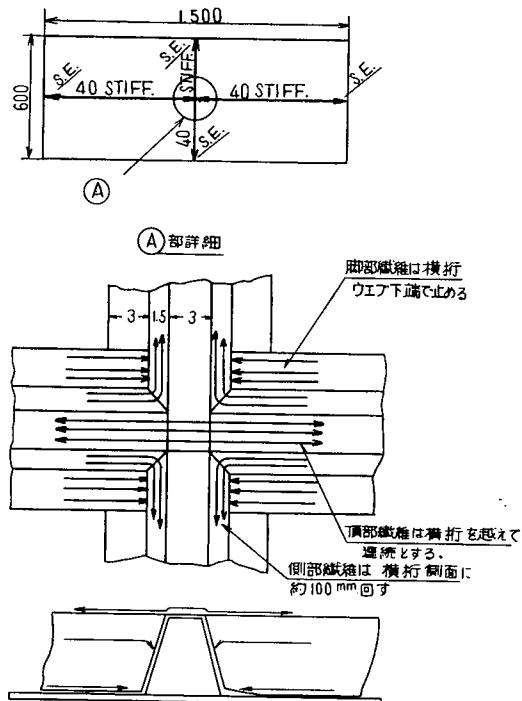


図3.2.2 No. 2 模 型

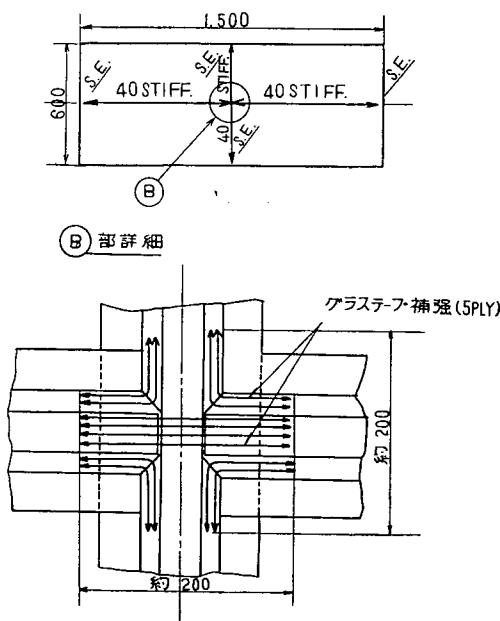


図3.2.3 No. 3 模 型

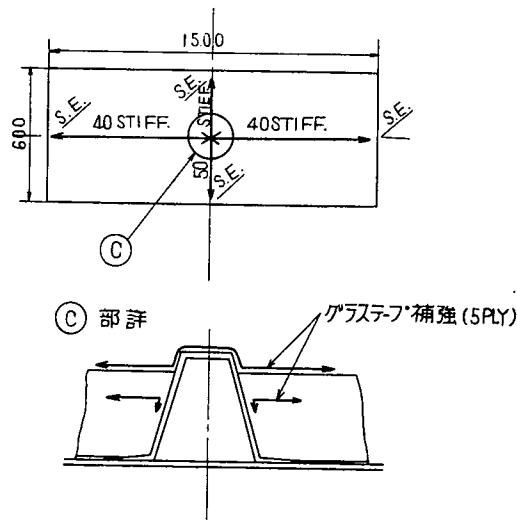


図3.2.4 No. 4 模 型

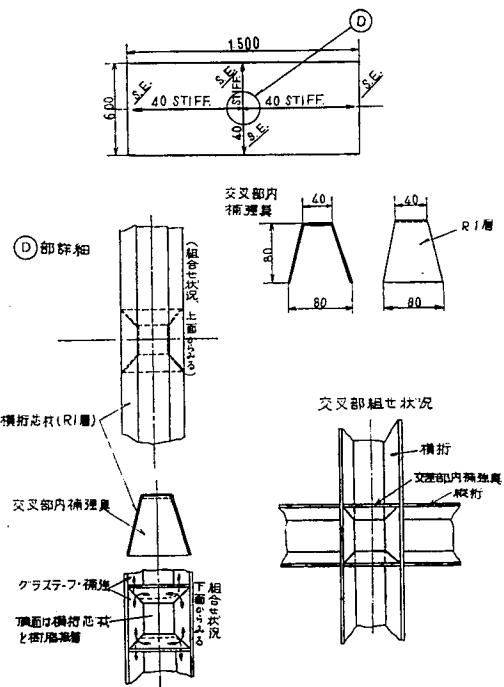


図3.2.5 No. 5 模型

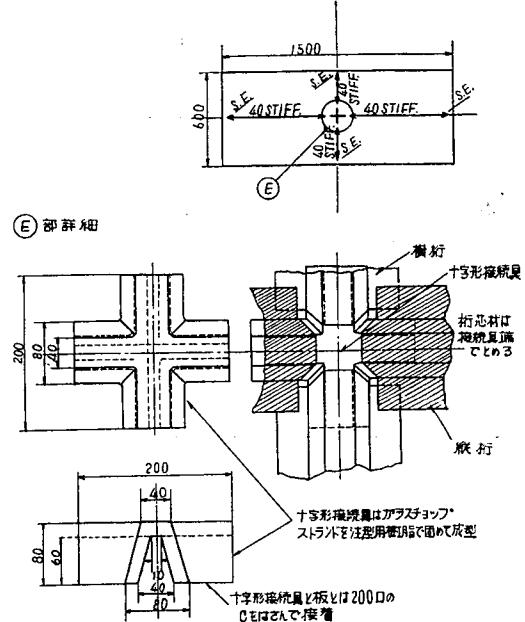


図3.2.6 No. 6 模型

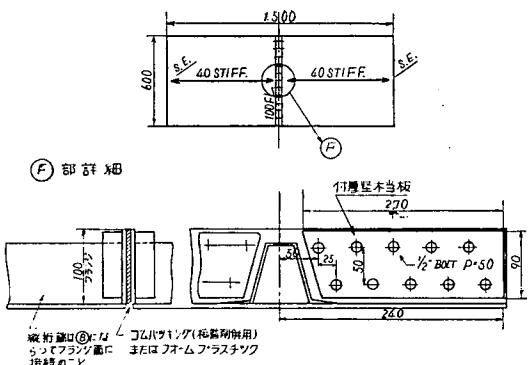


図3.2.7 No. 7 模型

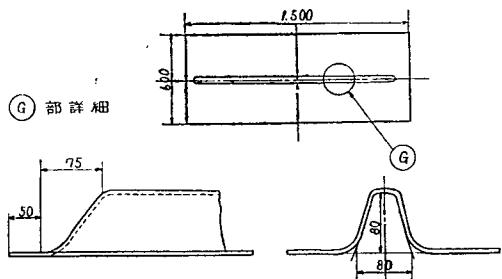


図3.2.8 No. 8 模型

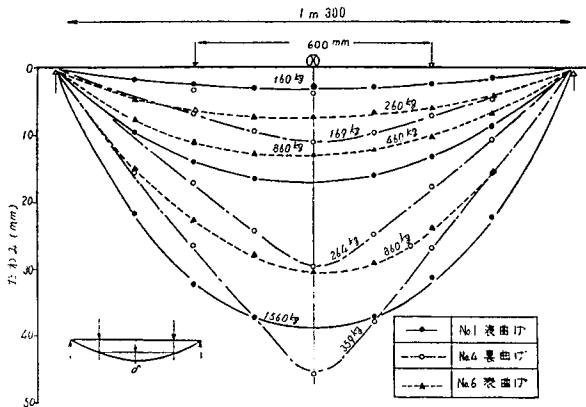


図3.3 たわみ曲線例

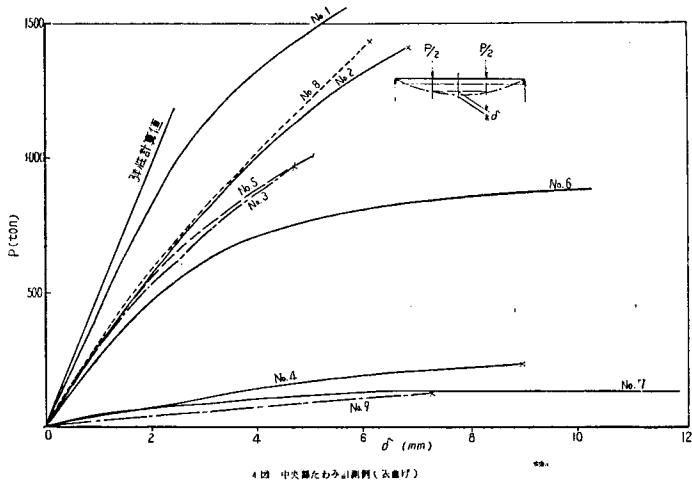


図3.4 中央部たわみ計測例(表曲げ)

- (a) 桁交叉部はどの形式でも構造上の弱点となっている。
- (b) 交叉部構造として比較的良好なのは、No. 2, No. 5 および No. 6 の各様式である。
- (c) 裏曲げの場合一般に破壊は桁フランジの圧壊によって生じている。
- (d) No. 4 の喰違い形式は、桁ウエブの変形によって非常に強度が落ちる。このような両桁の高さの異なる構造は実際にはしばしば出てくるであろうから、その場合には図 3.5 のように低い桁を連続とし、高い桁のウエブを切欠いて、残るウエブ、フランジ部を層数を増して十分に補強した構造とすべきであろう。
- (e) No. 7 のフランジ継手構造は非常に弱い。このような突合せ継手部は図 3.6 のように桁すそを拡げて十分な接合面積をとらねばならない。
- (f) 一般に交叉部の補強が不足であり、この部分は局部的に層数を増して補強する必要がある。

表3.3 破壊状況

模型番号	製品番号	名称	荷重方向	パネル重量(kg)	最大荷重(kg)	破壊状況
1	瓜2	单一梁	裏	8.2	1.020	スチフナ圧壊(中心線より150mm)
	瓜3		表	8.3	1.640	スチフナ端部はく離
2	瓜6	ローピング連続	裏	9.0	1.060	横桁頂部圧壊
	瓜7		表	9.0	1.430	縦桁端部はく離
3	瓜8.	ガラステープ補強	裏	9.1	9.40	縦桁圧壊(中心線より200mm)
	瓜9		表	9.1	1.010	頂部テープはく離
4	瓜10	喉い違い	裏	9.3	5.30	横桁側面凹み(破壊せず)
	瓜11		表	9.3	2.50	頂部テープはく離
5	瓜13	内そり補強	裏	9.4	8.34	縦桁と横桁の接触部の縦桁圧壊
	瓜12		表	9.2	9.80	頂部テープ切断
6	瓜15	十字型接続器具	裏	10.2	5.64	縦桁圧壊(接続器具の端にて)
	瓜14		表	10.4	1.100	横桁頂破壊
7	瓜20	フランジ繰手	裏	12.9	1.119	縦桁圧壊(中心より400mm)
	瓜21		表	13.5	2.31	頂部テープはく離
8	瓜19	押型単一梁	裏	7.5	2.050	スチフナ圧壊(中心より250mm)
	瓜18		表	7.7	1.450	スチフナ破壊(中心より280mm)
9	—	サンドウイッチ	裏	10.7	1.274	中心線接着部より2つに破断
	—		表	10.7	1.35	フランジコーナ部破壊

注

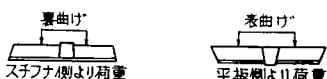


表3.4 各様式の比較

模型番号	曲げ方向	$\delta_0/\delta_{0,01}$	判定	$P_{max}/P_{max,01}$	判定
1	裏	0.43	○	0.62	○
	表	0.68	○	0.67	○
2	裏	0.55	○	0.65	○
	表	0.73	○	0.62	○
3	表	0.24	△	0.57	△
	裏	0.09	×	0.15	×
4	裏	0.09	×	0.32	△
	表	0.77	○	0.60	○
5	裏	0.48	○	0.51	△
	表	0.61	○	0.67	○
6	裏	0.24	△	0.34	△
	表	0.07	×	0.14	×
7	表	0.38	△	0.68	○
	裏	0.06	×	0.08	×
9	表	0.51	△	0.78	○
	裏				

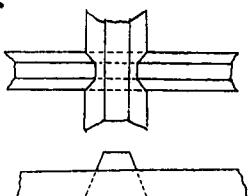


図3.5

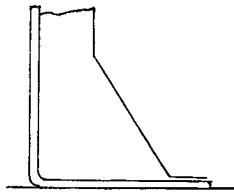


図3.6

3.3 パネルの水圧試験

試験模型は表3.5に示すように、 $1700\text{mm} \times 1700\text{mm}$ の平板に種々の様式に補強桁をとりつけたものであり、内より 1500mm 角の水圧試験装置に周辺をクリップして、装置して試験を行なった。各模型の板および補強桁の材料ならびに構成は交叉部試験の場合と全く同じである。また各補強桁の端部は試験装置の関係上、すべてスニップ端とした。

図3.7は圧力 0.2kg/cm^2 の時の模型中心線のたわみ形状である。補強桁高さが 40mm のNo.2模型は、補強のないNo.1模型とたわみ量にほとんど差がないが、桁高さが増したNo.3、No.4模型では、たわみは大巾に減少している。またNo.3模型に横桁を不連続に入れたNo.7模型ではNo.3模型とほとんど差がないが、この横桁を連続な構造にするとNo.5、No.6模型のようにたわみが減少する。

これらの計測結果から、板の中央におけるたわみ量を圧力に対して置点すると図3.8のようになる。また図3.9は板の両面のひずみ分布の計測例である。図3.8、図3.9からも判るように、模型のたわみ

表3.5 水圧試験模型

模型番号	形 式	縦 桁		横 桁		註	数	
		条 フレ ム間隔 (mm)	寸法 (mm)	条 フレ ム間隔 (mm)	寸法 (mm)			
1	单 板	0	—	0	—	Stiff. なし PRP 单板	1	
2	縦 桁補強	4	300	C=20	0	—	1	
3	同 上	4	300	C=30	0	—	1	
4	同 上	4	300	C=40	0	—	1	
5	格子桁補強	4	—	C=30	2	A=300 B=900 C=50	1	
6	同 上	4	—	C=30	2	A=600 B=300 C=30	1	
7	同 上	4	—	C=30	2	A=600 B=300 C=30	1	
8	サンドイツ チ・パネル	0	—	—	0	—	Stiff. なし 両面 PRP 石材エレククス 20 mm	1

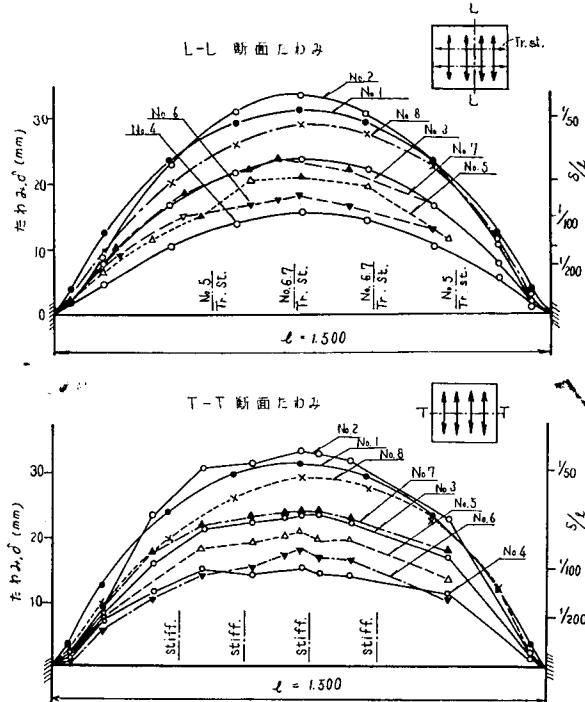


図3.7 $p=0.2 \text{kg}/\text{cm}^2$ の時のたわみ形状

に対してはその曲げ剛性のみでなく、膜力が効果的に働いていることが推定される。

曲げ剛性のみを考えて計算した中央たわみ量を図3.8に一部示したが、これからも判るように、水圧の小さい範囲、および剛性の比較的大きい模型値と割り良く一致するが、水圧が増すにつれてその差は大きくなる。今図3.10、図3.11のような補強桁を持った周辺支持板の中央たわみ δ を曲げ剛性、および膜力の両者を考慮に入れて近似的に求めると、それぞれ次式のようになる。

$$P = \frac{EI\pi^6}{4a^5} \left(\sin^2 \frac{\pi}{5} + \sin^2 \frac{2\pi}{5} \right) \delta + \frac{EA\pi^6}{16a^5} \left(\sin^4 \frac{\pi}{5} + \sin^4 \frac{2\pi}{5} \right) \delta^3 + \frac{3Et\pi^6}{256a^4} \delta^3$$

$$P = \frac{EI\pi^6}{4a^5} \left(\sin^2 \frac{\pi}{5} + \sin^2 \frac{2\pi}{5} + \sin^2 \frac{\pi}{m} \right) \delta + \frac{EA\pi^6}{16a^5} \left(\sin^4 \frac{\pi}{5} + \sin^4 \frac{2\pi}{5} + \sin^4 \frac{\pi}{m} \right) \delta^3$$

ただし a は辺長をしめす。

これをそれぞれの模型について計算した値を図3.8中に併記した。これから判るように、膜力をも考慮に入れた近似計算によって、傾向的には実際と近いたわみ値を求めることができた。

3.4 む す び

「はるちどり」の操舵室のFRP化にあたり、構造上の弱点となると思われる補強桁の交差部の結合様式を種々に変えて実用実験を行なった結果、良好と思われる結合様式の目安をうることができた。またさらに、実際の桁配置およびその寸法の決定に必要なたわみ量の推定の基礎とするために、パネルの水圧試験を行ない、膜力影響を考慮に入れれば比較的良好な結果をうることが明かにされた。

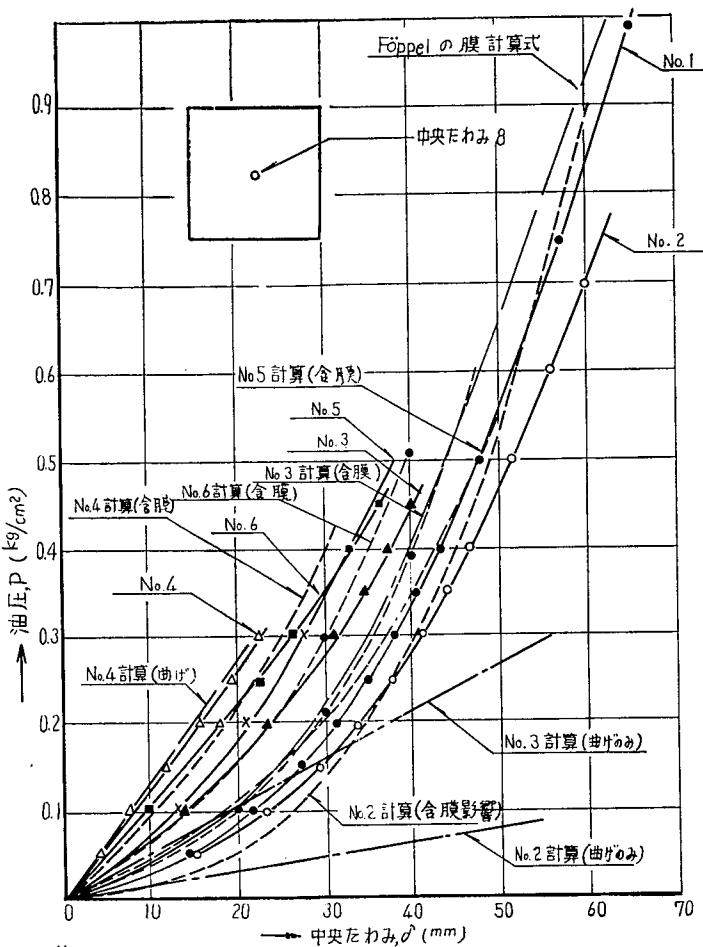


図3.8 模型中央のたわみ

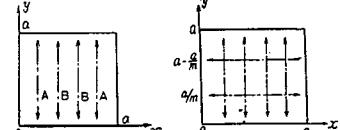
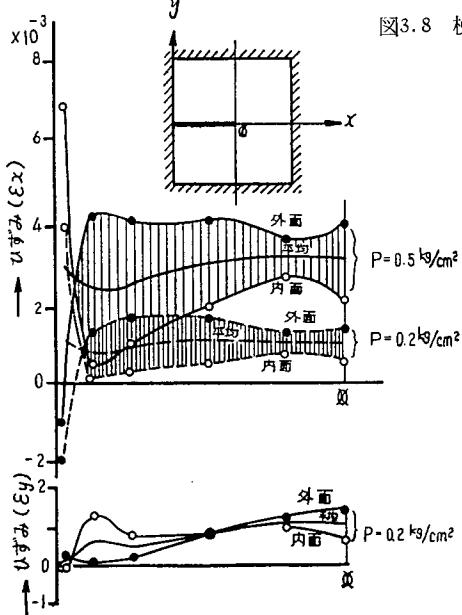


図3.10

図3.11

図3.9 ひずみ計測例 (No. 1 模型)

第4章 構造材料に適用する場合の施工工作法に関する研究

4.1 はしがき

実態モデルによる応用研究において取扱った施工工作法は主としてサンドイッチ構造プラスチック間仕切り羽目を対象としていたが、本研究は実船の曝露部への適用に関するFRPパネルについての施工工作法を検討し、実船へのプラスチック適用に際しての資料を得ることを目的とする。

4.2 実験

4.2.1 引張に対する継手強度試験

(a) 方 法

本材料に関する工作法のうち特に問題となる点は継手部分にあると思われるので、パネル相互の継手要領の検討として片方をジョグルしたラップ継手のラップ代を2種類、ボルトピッチを2種類、ボルト類の形状を2種類に変えて引張り試験を行なった。また下部主船体との取付

表4.1

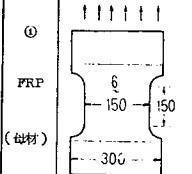
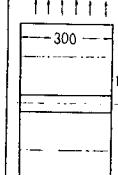
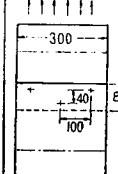
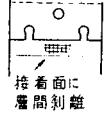
No.	接 手 類 種	破 断 状 態	接 手 の 強 さ		メ レ (mm)	備 考
			破 断 荷 重 (T)	強 度 (kg)		
(1) FRP (母材)			試験片1 1.30	1,690	11	
			* 2 1.17	1,600	9	
			平均 値	1,645	10	
(2) FRP と FRP (特殊) 接合			試験片1 2.3	115	6	
			* 2 2.7	135	6.5	
			* 3 2.7	160	6	
			平均 値	135	6	
			最大最小 範 囲	45		
(3) FRP と FRP (被着剤 と併用)	 W96 サラボルト、ナット BSBF		試験片1 1.15	770	12	
			* 2 12.2	780	9	
			* 3 10.8	720	11.5	
			平均 値	755	11.0	
			最大最小 範 围	60		

表4.1 のつづき

No.	接手種類	破断状態	接手の強さ		ズレ (mm)	備考
			破断荷重 (T)	強度 (%)		
④	FRP と FRP		試験片1 2.1	60	1.8	
			# 2		2.0	
			2.5	80		
			# 3	80	2.8	
⑤	FRP と 鋼		平均値	70	2.2	
			最大最小範囲	20		
			試験片1 2.2	75	3.6	
⑥	FRP と 鋼		# 2	75	3.9	
			2.2	75		
			# 3	75	3.7	
			平均値	75	3.7	
⑦	FRP と 鋼		試験片1 2.2	140	8	
			# 2	190	12	
			# 3	200	11	
			平均値	180	10	
⑧	腹ボルト B6B.F		試験片1 10.2	920	7.5	
			# 2	76	725	8.5
			# 3	80	680	8.0
			平均値	77.5	8.0	
⑨	スナップ ボルト + ワッシャー B6B.F		試験片1 10.3	660	9.0	
			# 5	8.5	545	7.0
			# 6	10.5	700	7.5
			平均値	63.5	8.0	
			最大最小範囲	155		

表4.2 FRP構造による継手試験(追加試験)

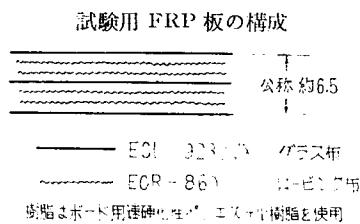
No.	試験片形状	試験状況	接手強さ		ズレ (mm)	備考
			破断荷重 (T)	強度 (%)		
①	腹ボルト B6B.F		試験片1 10.2	920	7.5	
			# 2	76	725	8.5
			# 3	80	680	8.0
			平均値	77.5	8.0	
②	スナップ ボルト + ワッシャー B6B.F		試験片1 10.3	660	9.0	
			# 5	8.5	545	7.0
			# 6	10.5	700	7.5
			平均値	63.5	8.0	
			最大最小範囲	155		

部の検討としてフランジの曲り部分の剛性を確かめるための引張り試験を行なった。

試験機としては30トンアムスラ試験機を使用した。

(b) 試験片の形状

次の構成による（下図参照）FRP試験板を使用し、試験片の形状を表4.1および表4.2に示す8とおりとして試験を行なった。表4.2に示すものは表4.1の試験結果にもとづき追加試験として行なったものである。



(c) 試験の結果

試験の結果はいずれも表4.1および表4.2に示すとおりである。

(d) 試験結果に対する考察

以上の結果パネル相互の継手としてはラップ継手のラップ代を増しても継手効率が必ずしも直線的に増加するものではなく、本試験片の厚さに対してはラップ代80mmが妥当であることが認められた。また引張りに対してはフランジ継手は母材の引張強度と比較すると10%以下の荷重で曲り部分が伸びてしまい、そこから肩間剥離を起して破壊するので引張り荷重のかかる継手としては良くないことが確認できた。

4.2.2 水密扉の試作

図4.1に示すような水密扉を試作し、ホーステストを行ない水密性を確認した。

その結果は漏洩なく水密性良好であったが、試作品の重量が大きかったので、実物製作に当っては木芯の軽減を行なうなど一部改良を行うこととした。

4.2.3 DEX-O-TEX の密着性試験

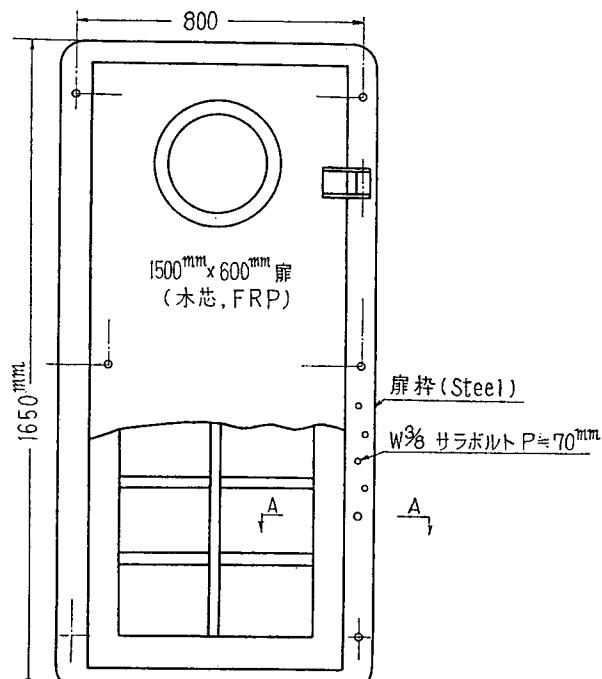


図4.1 試作水密扉

FRP 試験片に DEX-O-TEX を塗布し密着性を確認する試験を行った。

その結果密着性は良好であることが認められ、FRP に対する DEX-O-TEX の密着性が確認できたので、摩耗による損傷の危険がある部分には DEX-O-TEX を塗布することとした。

4.2.4 内面塗装試験

FRP 試験片にゾラコートを塗布したものと、フタル酸樹脂塗料を刷毛塗りしたものおよびフタル酸樹脂塗料を叩き塗りしたものを作成し、そのうちいずれが FRP 板の表面の凹凸が最も目立たないかを調べた。

その結果フタル酸樹脂塗料の叩き塗りで十分であることが確認できたので、フタル酸樹脂塗料の粘度を大、中、小の 3 種類に溶き、それぞれを FRP 板に叩き塗りしてそのでき上りを比較した結果粘度が大きいものが良好と認められた。

これらの試験の結果、内面塗装は下塗りとして NC サーフェス 1 回に、上塗りとしてフタル酸樹脂カラーペイント（半艶）叩き塗り 1 回とした。

以上 FRP 構成による継手試験の結果を要約すると次のとおりである。

- (a) FRP 板継手の重ね代に積層用樹脂と同系の接着剤を塗布して張り合せ、かつ W^{3/8} サラボルトを千鳥型に配して接着剤とボルトを併用しているようなタイプ⁽³⁾継手が他の形式に比較してきわめて高い継手効率を示すことが判明した。
- (b) アルミニウムのフォーマを積層中に挿入して防撓材を形成しているタイプ⁽²⁾の特殊接合継手はこの種の荷重に対してはあまり強い抵抗を示さず、FRP 積層位置から抜けハクリする。
- (c) タイプ⁽⁴⁾および⁽⁵⁾のフランジ型接手はこの種の引張荷重に対しては千鳥型に配されている W^{1/2} ボルトの押へのみが働くから低荷重しか支持しないが、通常サービス状態での主荷重たる圧縮曲げにはフランジの面圧がかなり抵抗するものと考えられる。
- (d) FRP ボルト接手の重ね代を 80mm→124mm に増加した場合、試験結果にかなりバラツキが認められるが平均強さとしては前回試験を行なった重ね代を 80mm とした場合の継手強さとはほぼ等しい。重ね代を増すと継手の接着面積は増加して接着面の抵抗は大きくなるが、引張荷重を受けて変形する際の反りも増加するため、二次曲げモーメントが増大し、これらの影響が相殺してか破断抵抗は期待するほど増加しない。
- (e) 前回の試験においては、試験片継手に引張荷重を加えた際ボルトが変形を生じて皿の部分が FRP から抜け落ちたので、スナップヘッドに変更してワッシャを入れ、ボルト頭部の抜け落ちの抵抗が増加するよう試験片を作成した。この場合はスナップヘッドの変形は生ぜず、FRP 自体がワッシャによって破損したりあるいは、ボルトの幹が変形した。破断抵抗は + ボルト継手の場合に比較して増加していない、前回に比し継手効率が幾分低下しているのは、試験片製作上の精度等が影響していると思われる。

付録 巡視船「はるちどり」操舵室

付録1 巡視船「はるちどり」操舵室構造用強化プラスチック検査基準

1. 総則

1.1 適用範囲

1.1.1 本要領は海上保安庁の巡視船「はるちどり」操舵室構造に強化プラスチックを使用する場合に適用する。

ここで強化プラスチック（以下FRPという）とはガラス繊維と不飽和ポリエステル樹脂とで作られたものである。

1.1.2 工事仕様書、図画等に特に定められたものに対しては、本要領にかかわらずその指定にしたがうものとする。

1.2 製法

製法概要（ガラス繊維と樹脂の品質を含む）は事前に第51研究部会（以下SR51という）の承認を受けなければならない。

1.3 検査事項

表(付)1.1 参照

表(付)1.1 検査事項

検査の名稱	番号	検査事項	備考
原材料検査	1	ガラス繊維	
	2	樹脂	
	3	量	SR51委員会
製造工程中検査	4	樹脂の準備	
	5	ガラス繊維の準備	
	6	含水率	
	7	積重ね	
	8	厚さ検査	
	9	強さおよび弾性率検査	SR51委員会
	10	空洞音検査	
製品素材検査	11	樹脂含水検査	
	12	バーコル(Barcoll)かたさ検査	
	13	吸水率	
	14	難燃性試験	
	15	硬化状態	
	16	寸法検査	SR51委員会
製品検査	17	外観検査	同上
	18	バーコルかたさ検査	

2. 素材検査

2.1 樹脂の検査

使用する樹脂は常温硬化可能で、積層作業に適し耐水性、難燃性良好なものでなければならぬ。

〔付 則〕

JIS 制定までは樹脂の規格としては MIL-R-7575A を参考とすることができる。ただし、長期試験項目は当分除外する。なお、樹脂の特性を判定するためには、OCF #181Volan A に相当するガラス布を使用するものとする。

2.2 ガラス繊維の検査

使用するガラス繊維は、性能、耐候性ともに十分なものでなければならない。

〔付 則〕

JIS 制定まではガラス繊維の規格としては MIL-G-1140 を参考とすることができる。

3. 製造工程中検査

3.1 型

3.1.1 成形用の型はメス型とし、製品積重ね中変形を生じないように十分補強されたものとする。

3.1.2 型は図面寸法により検査する。

3.1.3 型の内面は平滑に仕上げなければならないが、軽微な凹みはパテにより補修することができる。

3.1.4 成形直前には離型剤を塗布したのち清浄な場所で十分乾燥しなければならない。

3.2 樹脂の準備

3.2.1 樹脂は冷暗所に貯蔵しなければならない。

3.2.2 促進剤および触媒は使用する樹脂に適したものを選定する。

3.2.3 樹脂、促進剤および触媒の配合割合は、混合時の温度、湿度、積重ねの厚さおよび時間などの硬化条件を考慮して決定する。

3.2.4 かきませの際は空気の混入を最少限にとどめなければならない。

3.3 ガラス繊維の準備

3.3.1 積重ね前のガラス繊維はできるかぎり乾燥されていなければならない。

3.3.2 油、グリースなどの不純物が付着していてはならない。

3.3.3 裁断の際にはしわ、孔および裂け目などの有害な欠陥をなるべく与えないように注意する。

3.4 積 層

3.4.1 樹脂はガラス繊維によく含浸させ、露出した繊維があつてはならない。

3.4.2 樹脂はできるかぎり均一に塗布されなければならない。

3.4.3 気泡は十分除去されなければならない。

3.4.4 層間のはく離、接着不良箇所があつてはならない。

3.4.5 ガラス布およびロービング布の接合部の重ね代は、必ず30mm以上とする。

3.4.6 ガラス布およびロービング布の接合部の避距は隣接した場合は80mm以上、1層隔てた場合は50mm以上、2層以上の場合は特に定めない。

3.4.7 スティフナおよび諸金物の取付部分は十分な接着面積が確保されていなければならない。またスティフナのロービング布の積重ねに当っては取付部分の厚さの急変をさけるよう注

意する必要がある。

3.5 硬化状態

3.5.1 室温は樹脂の硬化に対し適正でなければならぬ。

3.5.2 硬化中室温に急激な変化があってはならない。

3.5.3 離型の時期は、製品の色、打音、バーコルかたさなどにより判断する。

4. 製品素材検査

4.1 厚さ検査

厚さの公差はガラス繊維の重ね合わさる部分を除いた平板部において 6.5mm, $\pm 1.0\text{mm}$ スチーナ部において 4mm, $+1.0\text{mm}$, -0.8mm とする。

4.2 強さおよび弾性率検査

表(付)1.2 参照

表(付)1.2 FRP 板の強さおよび弾性率の要求値

検査の種類	試験状態	要求値(平均) (kg/mm ²)
曲げ強さ (フラットワイズ)	常温	16.0
	温温	16.0
曲げ弾性率 (フラットワイズ)	常温	1.100
	温温	900
引張強さ	常温	17.0
	温温	12.0
圧縮強さ (エッジワイズ)	常温	11.0
	温温	11.0

4.2.1 試験片

(a) 採取位置および数量

表(付)1.2 に規定する試験は、各項目ごとに最少 5 個の試験片を使用して行なう。ドア切明部および天井パネルの中央部の任意の各 5 個所の採取位置から各試験項目ごとに 1 個づつ

表(付)1.3 形状と試験寸法

検査項目	試験片外形図	寸法(mm)	試験上の注意事項
引張		$W=19 \pm 1$ (幅) $H=50 \pm 1$ $C=2.8 \pm 1$ $L=248$ (最小) $D=115 \pm 5$	試験速度は 5 ~ 6.35 mm/min とする。
曲げ		$L=(16-20)T$ $C=2.5 \pm 0.2$	試験速度は荷重へたわみ曲線を求める時 5 mm/min 以下とし、それ以外は 5 ~ 6.35 mm/min とする。
圧縮		$P=(2-3)L$ $d=T \pm 0.2$	試験速度は 1.5 mm/min 以下とする。

の試験片をとる。方向はスティフナに直角な方向とする。

ただし天井パネルの中央部に対する試験片は同じ型を使用し、同一作業条件で本体とは別に製作するものとする。

(b) 形状と試験方法

形状と試験方法は表(付)1.3による。

(c) 曲げ弾性率計算法

曲げ弾性率はつぎの式で計算する。

$$E_B = \frac{L^3}{4CT^3} \left(\frac{P}{y} \right)$$

E_B : 曲げ弾性率 Kg/mm²

L : 支点間の長さ mm

C : 試験片の幅 mm

T : 試験片の厚さ mm

P/y : 荷重一たわみ曲線の直線部分のこう配 Kg/mm

4.2.2 表(付)1.2の試験の状態

(a) 常態

常態における試験は $20 \pm 5^\circ\text{C}$ に24時間以上保持したのち行なうのを原則とするが、この温度条件以外で試験した場合はその条件を明記する。

(b) 湿潤状態

湿潤状態とは沸騰している蒸溜水中に2時間試験片を浸したのち、容器とも流水中で常温まで冷却した状態をいい、試験は水中より試験片を取りだしてすぐ行なう。

4.2.3 強さおよび弾性率は各5個の試験片の平均値が表(付)1.2の値以上でなければならない。

かつ個々の試験結果はいずれも最小値が表(付)1.2の80%以下のものがあった場合はその測定値のみを除去し、その数だけ再試験を行なう。

4.3 空洞率検査

4.3.1 4.2.1の(a)と同じ個所から1個づつ切りとった試験片により試験し、いずれも結果は表(付)1.4の要求値を越えるものがあつてはならない。

表(付)1.4 FRP の空洞率の要求値

検査の種類	試験片の大きさ (mm)	要求額 (%)
空洞率	50のまたは40×40	3.0 以下
樹脂含量	50のまたは40×40	60 以下

4.3.2 空洞率計算法

$$x = \frac{a \times d}{c} + \frac{a \times l}{b} + \frac{a \times f}{g}$$

$$\text{空洞率} = 100 - x$$

ここに x = FRP 板の全計算容積

$a = \text{FRP 板の比重} \times 100 = 100\text{cm}^3 \text{ の FRP 板の重量}$

$b = \text{ガラスの比重}$

$c = \text{硬化樹脂の比重}$

$d = \text{樹脂含量 (小数で表わす)}$

$l = \text{ガラス含量} = 1 - d - f$

$f = \text{充てん材含量 (小数で表わす)}$

$g = \text{充てん材の比重}$

ただし、比重は 20°C におけるものをいう。

4.3.3 樹脂含量検査

- (a) 試験片は面に直角に切りとり、端をいためてはならない。
- (b) 炉の温度は無機充てん材を溶解しない程度に $(600 \pm 20)^{\circ}\text{C}$ まで上げ、最高温度で重量が一定になるまで加熱する。
- (c) 試験片はるつぼに入れたままから出して、ただちに化学天秤で重量を計測する。ただし、るつぼはあらかじめ重量を計測しておくものとする。

(d) 樹脂含量 (重量比) = $\frac{\text{損失重量}}{\text{最初の重量}} \times 100$

4.4 パーコルかたさ検査

4.2.1 (a) と同じ個所から各 2 点づつパーコル試験機 No. 935 で表面かたさを測定し、その平均値を製品検査におけるパーコルかたさ検査の基準とする。なお、極端にはずれた測定値はその測定位置近辺で再測定し確認する。

4.5 吸水率検査

4.5.1 任意の 3 個所から切り取った試験片

により試験し、いずれも結果は表(付)1.5 の要求値以内でなければならない。

表(付)1.5 吸水率の要求値

試験片の大きさ (mm)	重量変化 (%)
50 オまたは 40×40	± 0.5

4.5.2 試験片を $(50 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ の炉中で 24 時間調整後デシケータ中で冷却し、ただちに秤量する。

4.5.3 秤量後、試験片を $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ に保った蒸溜水中に 24 時間浸漬後試験片を取り出し、表面の水を完全にぬぐい取りただちに再秤量 (W_1) する。

4.5.4 重量変化 % = $\frac{\text{浸漬後重量} - \text{調整後重量}}{\text{調整後重量}} \times 100$

4.6 難燃性試験

JIS-A-1321 (建築物の内装材料および工法の難燃性試験方法) による難燃 3 級に合格すること。

ただし、試験体の大きさは $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ とする。

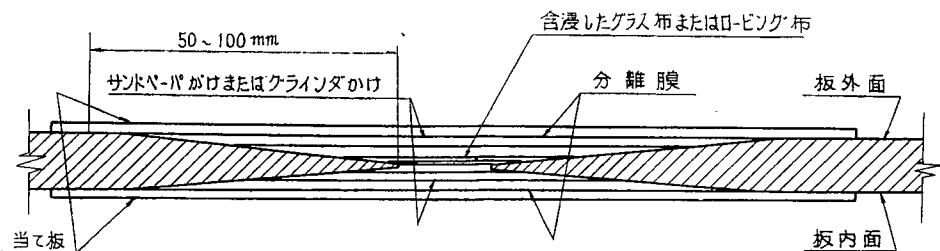
5. 製品検査

5.1 外観検査

目視により板の内外面から検査を行なう。

下記に示す欠点があるときは、SR51 検査委員の指示により図(付)1.1 に示す方法に準じて手直しする。

(一般に軽く木づちで打った時、できのよくないものは鈍いずしんというような音をだすが、できのよいものは、はっきりすんだ響きがするものである。)



注意：両面ともサンドペーパーかけやグラインダかけのため接近できる場合には
図示のように両面とも削る。

図(付)1.1 手直し方法の例

5.1.1 製品の表面に実用上有害と認められるようなき裂、穴、ふくれおよびしわなどがあつてはならない。

5.1.2 製品に樹脂欠除の部分があつてはならない。

5.1.3 製品の表面は完全硬化して粘つきがあつてはならない。

5.1.4 層間はく離があつてはならない。

5.1.5 気泡がガラス繊維の内部にまで伸びていてはならない。

表面はつねに樹脂で覆われていなければならない。

特に外面はゲルコート塗膜によって完全に覆われていなければならない。

5.1.6 空洞の検査は250Wのフラッドランプにより、照射して行なう。

5.1.7 その他の欠点

構造的性質をそこなうと認められるときは、すべて不合格とする。

5.1.8 修理不能の欠点

5.1.1から5.1.7までにのべた許容公差以内の傷であつても、SR51検査委員が有害と認定した欠点の総面積が全面積の5%を超えるときは、不合格品とする。

5.2 バーコルかたさ検査

製品の個々の外面についてSR51検査委員の指示する最少10点でバーコルかたさを計測し、その平均値は製品素材検査のときの平均バーコルかたさ値の90%以下であつてはならない。

5.3 外形寸法計測

完成品は外形寸法を計測する。

6. 報 告

6.1 製造業者は表(付)1.1に示すそれぞれの検査完了後なるべくすみやかに、所定の部数の検査成績表をSR51に提出する。

6.2 各試験片の厚さと空洞率検査に使用した試験片の比重はそれぞれ検査成績表に合せて報告する。

付録2 巡視船「はるちどり」操舵室構造用FRP構成素材

1. 樹脂

リゴラック158QTSX……理研合成樹脂KK製品

1.1 リゴラック158QTSXは自己消火性でないため、塩素化パラフィン（塩パラ70）と三酸化アンチモンを添加混合して自己消火性の不飽和ポリエステル樹脂としたものが、リゴラック158QTSXである。リゴラック158QTSXはハンドレイアップ用不飽和ポリエステルであるが、硬化前の液状樹脂の性能は次のとおりで、チクソトロビック（遙変性）な性質を持ったものである。

粘度：約5ポイズ（25°C）

遙変度：約2.5（25°C）

硬化性：（158QTSX 100部、パーメックN 1部, at 25°C）

ゲル化時間：約17分

最少キュア時間：約27分

最高発熱温度：146°C

1.2 158QTSXはすでに硬化促進剤が添加してあるので、硬化触媒パーメックNを添加混合するだけで常温で硬化する。

158QTSXの硬化後の性能について、ガラス繊維等の補強材の入っていない注型板とガラス繊維補強のFRPの機械的強度の性能は表(付)2.1のとおりである。

表(付)2.1

	注型板	積層板	備考
厚さ(mm)	6.5	3.1	
引張強さ(kg/cm²)	5.1	15.0	Edge wise
圧縮強さ(kg/cm²)	1.64	1.07	Edge wise
引張強さ(kg/cm²)	7.9	2.50	Plat wise
曲げ弾性係数(kg/cm²)	450	1500	Plat wise
柔軟性シヤル比(kg-mm/mm)	—	7.00	Edge wise

前記のものの硬化条件は

注型板：158QTSX 100部, パーメックN 0.5部

常温硬化 after cure 90°C 1 hr

積層板：158QTSX 100部, パーメックN 1部

常温硬化 after cure 90°C 1 hr

使用ガラス繊維 日東紡製 BHVT 00-230

ガラス含有量 約50%

試験方法：JISを使用した。

2. ガラス繊維

ガラスクロス EC-132000（シラン処理）……日東紡績KK製品

(ECL-230相当品)

ガラスロービングクロス ECR-860……同 上

2.1 ガラスクロス ECL-230の性能

厚さ	0.30mm
幅	1030 mm
密度(経)	8.0 本/cm
〃(緯)	8.0 本/cm
単重	235.0 g/m
抗張力(経)	89 kg/25mm
〃(緯)	89 kg/25mm
組織	平織
1巻の長さ	60 m

註 Eは無アルカリ(電気絶縁用)ガラス繊維, Cはクロス, Lはラミネート(積層用)を示す。

2.2 ガラスロービングクロス ECR-860 の性能

厚さ	0.80mm
幅	000 mm
重量	839 g/m ²
原糸(経)	GYR-60VT
〃(緯)	GYR-30/2VT
密度(経)	2.1 本/cm ²
〃(緯)	1.7 本/cm ²
1巻の長さ	30 m
組織	平織

ECR-860を使用した試験結果は表(付)2.2のとおりである。

表(付)2.2

	プレス成形による標準試験	常温硬化による厚みを持たせた場合
ガラス含有量(%)	70.2	44.2
1層当たりの厚さ(mm)	0.6	1.0
引張り強さ(kg/mm ²)	22.3	20.3
ヤング率(kg/mm ²)	2000	1760
圧縮強さ(kg/mm ²)	16.7	14.5
剪断強さ(kg/mm ²)	16.3	14.0
シャルビ衝撃値(kg-mm/mm)	24.0	22.7
曲げ強さ(kg/mm ²)	23.5	22.5

付録3 巡視船「はるちどり」操舵室検査成績

I. 製品素材検査

1. 厚さ検査

規格：厚さの公差はガラス繊維の重ね合わざる部分を除いた平板部において $6.5\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$ とする。(表(付)3.1)

また別にフランジ取付面で測定した結果は表(付)3.2のとおりである。

表(付)3.1 測定結果

測定箇所	測定結果 (mm)					
	1	2	3	4	5	平均
前 上端より100mm下つた直角で5点	7.0	7.0	8.0	7.5	6.9	7.28
side #	7.9	7.1	7.8	7.5	7.3	7.42
後 #	6.9	6.9	6.8	7.0	6.9	6.90

表(付)3.2 測定結果

測定箇所	測定結果 (mm)					
	1	2	3	4	5	平均
前 フランジ取付面 参考値13mm	13.6	13.2	13.4	14.0	13.1	13.46
side # 13mm	14.1	14.0	13.6	13.7	13.2	13.72
後 # 13mm	14.0	13.2	13.9	13.4	14.7	13.84

2. 強さおよび弾性率検査

規格：強さおよび弾性率は各5個の試験片の平均が要求値以上でなければならない。かつ個々の試験結果はいずれも最小値が要求値の80%以下の中のものがあった場合はその測定値のみ除外し、その数だけ再試験を行なう。(表(付)3.3)

2.1 曲げ強さ

試験速度は5mm/min以下とする。L(スパンの距離)は16~20Tとする。

測定結果は表(付)3.4 測定結果のとおり。

表(付)3.3 測定結果

要求値	測定結果				
	1	2	3	4	5
C (mm)	25.2	25.08	24.99	25.12	24.86
T (mm)	6.5±1	6.05	5.98	5.55	5.66
P (kg)	—	121.2	115.2	97.6	89.5
σ (kg/mm ²)	1.8	2.56	2.36	2.27	2.02
試験速度(mm/min)	—	1.27	1.27	1.27	1.27
L (mm)	120	120	120	120	120

表(付)3.4 測定結果

要求値	測定結果				
	1	2	3	4	5
C (mm)	25±2	25.05	25.05	25.06	24.95
T (mm)	6.5±1	6.37	5.87	6.39	5.7
P (kg)	—	11.90	11.12	11.50	9.00
σ (kg/mm ²)	1.8	2.11	2.31	2.02	2.02
試験速度(mm/min)	—	1.27	1.27	1.27	1.27
L (mm)	120	120	120	120	120

2.2 曲げヤング率

(表(付)3.5参照)

表(付)3.5 測定結果

要求値	測定結果				
	1	2	3	4	5
常態 1100 kg/mm ²	1239.6	1135.3	1378.1	1368.0	1359.7
湿潤 900 kg/mm ²	1098.3	1061.2	1129.4	1246.7	1330.1

2.3 引張り強さ

(表(付)3.6 参照)

表(付)3.6 測定結果

要求値	測定結果					
	1	2	3	4	5	平均
w (mm)	19±1	18.72	18.80	18.60	18.77	18.80
T (mm)	6.5±1	5.92	6.22	6.20	5.50	6.30
P (kg)		18.95	23.80	21.30	22.05	23.65
σ (kg/mm ²)	1.7	1.71	2.04	1.85	2.14	2.00
試験速度 (mm/min)	5~6.35	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00

2.4 圧縮強さ

(表(付)3.7 参照)

表(付)3.7 測定結果

要求値	測定結果					
	1	2	3	4	5	平均
d (mm)		8.14	8.06	8.13	8.08	8.05
T (mm)	6.5±1	7.17	7.24	6.24	6.73	6.31
L (mm)	T(2~3)	16.17	16.20	16.18	16.18	16.17
P (kg)		7.30	8.06	6.52	6.95	5.81
σ (kg/mm ²)	1.2	1.25	1.38	1.29	1.35	1.14
d (mm)		8.06	8.06	8.12	8.14	8.08
T (mm)	6.5±1	6.75	6.24	7.21	6.20	7.27
L (mm)	T(2~3)	16.15	16.20	16.23	16.17	16.20
P (kg)		6.90	5.57	7.00	6.18	6.68
σ (kg/mm ²)	1.1	1.27	1.11	1.20	1.21	1.14

3. 空洞率検査

規 格：空洞率、脂板含有量とも要求値を越えるものがあってはならない。

要 求 値：空 洞 率 3.0%以下

樹脂含量 6.0%以下

ただし 蒸溜水の密度.....1.00g/cm³

樹脂の比重.....1.22

ガラスの比重.....2.57

三酸化アンチモンの比重.....5.4

顔料の比重.....3.9

測定結果：表(付)3.8 のとおり。 表(付)3.8 測定結果

PRPの比重	樹脂含有率		顔料含有率		アンチモン含有率		空洞率	
	測定結果	平均	測定結果	平均	測定結果	平均	測定結果	平均
1 1.539		58.3		0.2395		1.749		20.74
2 1.552		54.7		0.2775		1.701		23.11
3 1.549	1.534	56.3	56.3	0.1590 0.2050	1.689 1.688	2.755 2.517		
4 1.554		56.0		0.1880		1.680		2.674
5 1.573		54.0		0.1610		1.620		2.773

4. バーコール硬さ検査

規 格：個々の処について各 2 点づつバーコール試験機 G Y 2 J -935 で表面かたさを測定し、その平均値を製品検査の基準とする。

測定結果：表(付)3.9 のとおり。

表(付)3.9 測定結果

	1	2	3	4	5	平均
グルコート面	85	89	89	88	86	89

5. 吸水率検査

規格：検査結果はいずれも要求値以下でなければならぬ。

表(付)3.10 測定結果

測定結果：表(付)3.10のとおり。

試験番号	1	2	3	4	5
0.5F	0.226	0.158	0.186	0.195	

6. 難燃性試験

規格：JIS A1321「建築物の内装材料および工法の難燃性試験方法」による難燃3級に合格すること。ただし試験体の大きさは30cm×30cmとする。

試験結果：東京大学生産技術研究所に試験を依頼し、JIS A1321により試験、難燃3級には十分に合格した。ただし、切口を露出しない工法をとることが必要である。

II. 製品検査

1. 外観検査

検査基準（付録1、5.1外観検査）の各項にふれることなく合格した。

2. バーコール硬度検査

規格：製品の個々の外面について監督官の指示する最少10点を計測し、その平均値は素材検査の時の平均バーコール硬さ90%の以下であつてはならない。

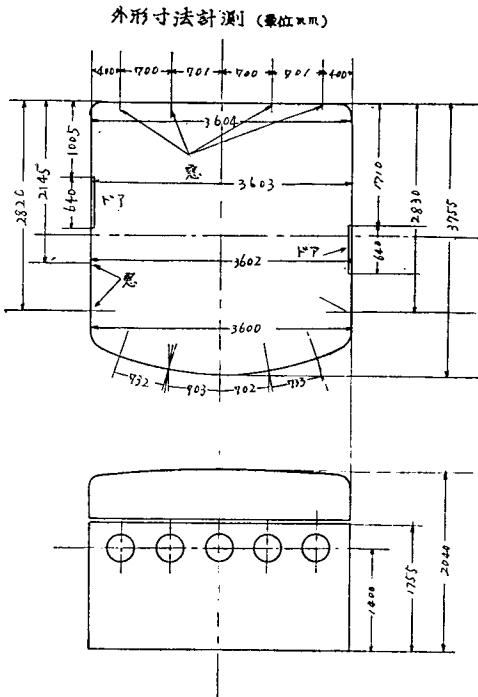
測定結果：表(付)3.11のとおり。

表(付)3.11 測定結果

測定箇所	測定箇所					平均
	1	2	3	4	5	
前	90	91	92			
後	88	90	92	90	91	89.9
右側	92	90	91	92		
左側	92	91	92			

3. 外形寸法計測

計測結果は図(付)3.1のとおりである。



図(付)3.1 外形寸法計測結果

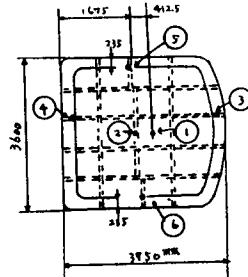
付録4 巡視船「はるちどり」操舵室天井たわみ量および重量計測成績

1. 天井たわみ量

図(付)4.1に示す位置において各種の荷重を加えた場合の天井たわみ量を計測した。結果は表(付)4.1のとおりである。

表(付)4.1 計測結果

施行年月日	昭和37年11月20日	天井気温		室温	
		天井	11.5°C	操舵室	11.5°C
試験項目	天井たわみ量 (mm)				
	①	②	③	④	⑤
集中荷重 150kg	6.8	1.6	—	—	—
分布荷重 2,075kg/m ² (合計荷重 1,7652kg) 160kg/m ² (1T517)	7.5	5.5	1.5	0.8	1.2
202kg/m ² (1T777)	13.0	8.0	1.8	1.5	1.5
荷重取除き後	0	0	0	0	0



図(付)4.1 計測位置 (平面図)

- 註 1* 集中荷重は天井中央 (①直上) に 250mm × 250mm の当り面を設け荷重をかけた。
 2* 分布荷重は天井に帆布を敷き砂袋による荷重をガッターウェー内側に万遍なく配置した。
 3 たわみの計測はスライドによる。
 4 SR51第3回設計小委員会にて定められた Deflection Limitとの比較は次のとおりである。

① パネルのたわみ

表(付)4.2(a)参照

表(付)4.2(a) 測定結果

	計測値	Limit 値
集中荷重の場合	6.8-1.6= 5.2 mm	1.0 mm
分布荷重の場合	15.0-10.5= 4.5 mm	1.0 mm
たわみとスパンの比	5.2/700= 1/135	1/50

② スチフナのたわみ

表(付)4.2(b)参照

表(付)4.2(b) 測定結果

	計測値	Limit 値
分布荷重の場合	10.5-2.4= 8.1 mm	—
たわみとスパンの比	8.1/3130= 1/391	1/100

注: * 3 (②, ③, ④, ⑤, ⑥)の計測値の平均

表(付)4.3 計測結果

2. 重量計測記録表

期日 昭和37年11月20日

場所 鶴見造船東岸壁計量場 (10t
計量器) (表(付)4.3参照)

操舵室構造全重量 (装着品を含む) (A)		1,110kg
装着品	水密艤用栓および金具 、艤本体 3.50mm丸窓 2.50mmφ 機器取付座用充填木材	7.5×2= 15.0 2.0×2= 4.0 8×8= 64 5.5×4= 22 11.5
	小計 (B)	3.91
操舵室構造部材 (実測値より算定)	特殊鍵手 構造部鍵手用ネジ類	2.5 1.5
	小計 (C)	3.8
装着品および構造部材重量 (D) = (B)+(C)		4.29
したがつて FRP の重量 (E) は		
(E) = (A)-(D) = 1,110-4.29 = 681kg		

付録5 巡視船「はるちどり」操舵室振動計測成績

1. 本船の主要目

1.1 船体部	全長	46.50m
	吃水線長	45.00m
	垂線間長	43.00m
	幅	6.80m
	深	3.55m
	完成常備排水量	282.00ton
	完成常備吃水	2.17m
	完成常備トリム	0.674m
1.2 主機械の部	型式	埠動4サイクル自己逆転式 (中速400) ディーゼル機関
	台数	2台
	定格軸馬力	400bhp
	定格回転数	500rpm
	シリンドラ数	6
	シリンドラ直径	300mm
	シリンドラ行程	350mm
1.3 発電機械の部	型式	堅型4サイクルディーゼル機関
	台数	2台
原動機	定格出力	25bhp
	定格回転数	1100rpm
	シリンドラ数	2
	シリンドラ直行	120mm
	シリンドラ行程	180mm
発電機	定格出力	15kva
	定格電圧	105v

2. 計測の日時、天候その他

施行年月日	昭和37年12月15日
施行場所	鶴見沖
水深	約20m

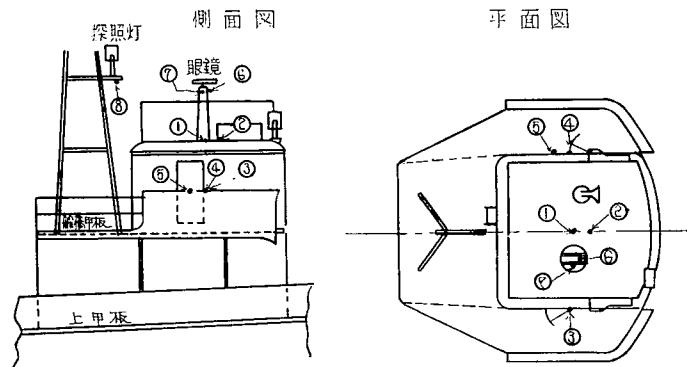
天候	晴 気温 12°C
風速	北風 3m/s
海上の模様	おだやか
吃水前部	1.860m
吃水後部	2.490m
吃水平均	2.175m
トリム	0.630m
排水量	282ton
計測機械	アスカニヤ手持振動計

3. 計測要領

FRP構造の操舵室が、航走中におこる船体振動の状態を計測し、居住性と取付計器におよぼす影響を調査するために、試運転中図(付)5.1に示す8か所に対して、手持アスカニヤ振動計を使用し、各 $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{4}$, $\frac{5}{4}$ 負荷および後進時の振動数を計測した。

4. 巡視船「はるちどり」操舵室振動計測成績表

図(付)5.1に示す位置において各艇速の場合の振動を計測した。計測結果は表(付)5.1のとおりである。



図(付)5.1 振動計測位置

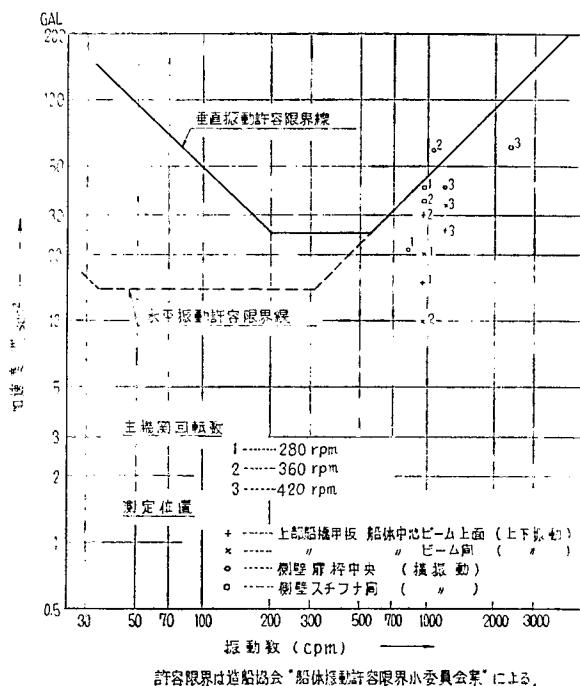
表(付)5.1 振動計測結果

振動方向	振動計測位置	計測事項	艇速(4/4全力を400 rpmとする)						
			$\frac{1}{4}$ 200 rpm	$\frac{2}{4}$ 280 rpm	$\frac{3}{4}$ 360 rpm	$\frac{4}{4}$ 400 rpm	$\frac{5}{4}$ 420 rpm	後進 200 rpm	
上下	① 上部船橋中央 (スチフナ上)	振動数	-	960	960	1,090	1,200	1,090	
		片振幅	-	0.03 mm	0.06 mm	0.09 mm	0.05 mm	0.04 mm	
左右	② 上部船橋中央 (スチフナ間)	振動数	-	960	960	1,090	1,200	1,090	
		片振幅	-	0.04	0.02	0.06	0.04	0.04	
左右	③ 駆幹中央	振動数	960	800	1,040	1,090	1,200	1,090	
		片振幅	0.04	0.06	0.1	0.08	0.05	0.02	
	④ 駆幹中央	振動数	2,400	1,600	920	2,400	2,400	1,200	
		片振幅	0.03	0.05	0.05	0.07	0.04	0.02	
前後	⑤ 操舵室左舷壁 (スチフナ間)	振動数	-	960	960	1,200	2,400	1,200	
		片振幅	-	0.08	0.07	0.05	0.08	0.03	
	⑥ 銀鏡台トップ	振動数	1,200	1,600	1,090	1,090	1,200	1,200	
		片振幅	0.02	0.04	0.11	0.12	0.05	0.06	
左右	⑦ 銀鏡台トップ	振動数	1,200	890	1,090	1,090	1,200	1,090	
		片振幅	0.02	0.07	0.17	0.16	0.11	0.14	
上下	⑧ 探照灯台	振動数	1,410	-	-	-	-	-	
		片振幅	0.01	-	-	-	-	-	

注：操舵室温度 13.5°C

5. 結 果

- (a) 全体の傾向として表(付)5.1に示すように400rpmの時に同調しているが、もっとも使用される独走時の380rpmと曳航時の300rpmをはづれているので支障はない。
- (b) ①の上部船橋中央（スティフナ上）の上下方向の振動が、②のスティフナ間のパネル部より振巾が大きく、スティフナ（ビーム）の右舷上部に据付けた⑥、⑦の眼鏡台の振動の影響を受けているのがわかる。
- (c) 縦方向の開壁は、前壁と後壁との間で、補強骨付パネルとして振動しており、左舷壁は室内後部に据付られている海図台が、側壁と後壁とに固着されているために、そのスパンが短かく、従って④の左舷戸枠中央部と、③右舷戸枠中央部とで、振動の性質が異なってきている。
- (d) 図(付)5.2は、前記成績表の中から、4ヶ所を選んでとりだし、造船協会の船体振動許容限界小委員会作成の図にプロットしたもので、大部分は許容限界線内に入っている。
- (e) 開壁と頂部甲板との接合部は、応力集中をさけるために曲面にしてあるので、材質としてのやわらかさ以外に構造的にやわらかくなっているが、そのわりには振動が少なかった。
- (f) FRP構造の場合、共振しやすい儀装品、とくに重量があり丈の高い眼鏡台のようなもの、あるいは戸などの固着しないものを取付けるときは、構造の補強方法などを慎重に計画する必要がある。



図(付)5.2

付録6 巡視船「はるちどり」防熱、防音試験調査

1. 概 要

1.1 目 的

各種FRP製パネルの断熱特性および遮音、吸音特性について基礎研究を行なったが、今回「はるちどり」操舵室をFRP構造としたため、その防熱性、防音性の実船試験を行ない、実状を把握するとともにすでに実施した基礎研究の成果がどの程度実船構造物に適用できるかを調査した。

すなわち、防熱試験においては操舵室の平均熱貫流率または総貫流熱を測定し、これらの値と各パネルの断熱特性値から求められる推測値との比較を行ない、また夏季各種条件における操舵室の温度環境を計測した。

一方防音試験においては、操舵室開壁各部の音の透過損失と操舵室内の平均吸音率とを測定し、これららの値と各パネルの遮音、吸音特性値から求められる理論値との比較を行ない、また航走中における操舵室内外の騒音分析から騒音源とその対策について検討を行なった。

1.2 試験方法

本試験は昭和38年7月25～26日にかけて、高松港とその周辺において行なわれた。防熱試験と防音試験とは平行して行なったが互に悪影響をおよぼさぬよう考慮した。具体的な試験方法については各節で述べる。

1.3 結果の概要

- (a) 操舵室の平均熱貫流率は約 $1.9\text{Kcal}/\text{m}^2\cdot\text{hr}^\circ\text{C}$ であり、換気量がきわめて少ないため、換気による熱の出入は無視できる。
- (b) 各パネル断熱特性値から求めた熱貫流率の推測値と本試験値とは、本試験の誤差範囲内で大体一致すると考えてよい。
- (c) 夏季の太陽日射により曝露甲板は最も大きな熱負荷を受け、その表面温度は 63°C に達した。ゆえに防熱構造としては曝露甲板を第一とすべきで、本操舵室の構造は防熱上妥当なものといえよう。
- (d) 吸音特性はほぼ大型船の操舵室に等しく、壁面の平均吸音率は125～4000c/s Bandの音に対して0.1と考えてよい。
- (e) 開壁の音の透過損失は、壁の共振周波数から約1Octave以上離れた高周波音（今回の計測結果がこれに相当する）に対しては、質量法則の計算式で算出してよい。
- (f) 航行中における操舵室内騒音は、そのほとんどが開壁の振動音であるが、160c/s Band以上の音は外界からの透過音である。
- (g) 操舵室内的騒音を減少させるためには、単板で構成されている側壁の共振周波数を高める方法を講ずればよい。

2. 防熱試験

2.1 計測方法

各部気温、囲壁甲板の表面温度、同貫流熱等を表(付)6.1のとおり測定した。ただし、貫流熱を熱流計により求めることは誤差が多くてほとんど不可能であり、これはただ定性的な傾向を判定するためにだけ使用した。

2.2 平均熱貫流率計測

2.2.1 概要

操舵室の平均熱貫流率を求めるには、室内に一定発熱量の熱源（電熱器）を置き、長時間経過後の定常状態の内部温度差、室内発生熱量、換気による熱損失等を測定すればよい。ただしこのためには外気温度の変動や風の影響が少なく、太陽輻射がないことが必要となる。本計測ではなるべくこれらの影響をさけるため、夜間計測を行なったが、後にも述べるように発生熱量が過少のため、内外温度差が外気温度の変動と同程度にしか得られず、計測精度はやや不十分なものとなつた。

換気量の測定は炭酸ガスの拡散を利用し、その濃度の減少率から次式により換気回数 n (1/hr) を求めた。

$$n = 2.303 \cdot \log_{10}(Po/P)) / t$$

ただし、 Po : 初期濃度% 第1回 3.50 第2回 1.75

P : t 後の濃度% // 3.30 // 1.57

t : 経過時間 hr // 1/5 // 1/2

したがって、 $n = 0.30 \sim 0.22$ 、平均 0.26 回/hr であった。

2.2.2 計測結果

熱貫流率計測は日没後の21時より8時間にわたって行ない、室内発生熱は $500W$ ($430Kcal/hr$) とした。外界気象は晴、ほとんど無風であった。

諸計測値を図(付)6.1 および表(付)6.2 に示す。室内温度があまり上昇せず、むしろ外気温の低下の影響が強く現われたのは発生熱量が過少のためである。しかし4時間経過以降は内外気温差はほとんど一定と認められ、かつその温度差が少ないため囲壁構造等の熱容量の影響は無視できると考えられるので、これを定常状態と仮定する。

$$\text{定常温度差: } \theta = 4.0^\circ\text{C}$$

$$\text{室内気積: } V = 23m^3$$

$$\text{囲壁面積: } S = 56m^2$$

$$\text{室内発生熱: } W = 430Kcal/hr$$

$$\text{平均熱貫流率: } K \quad Kcal/m^2hr^\circ\text{C}$$

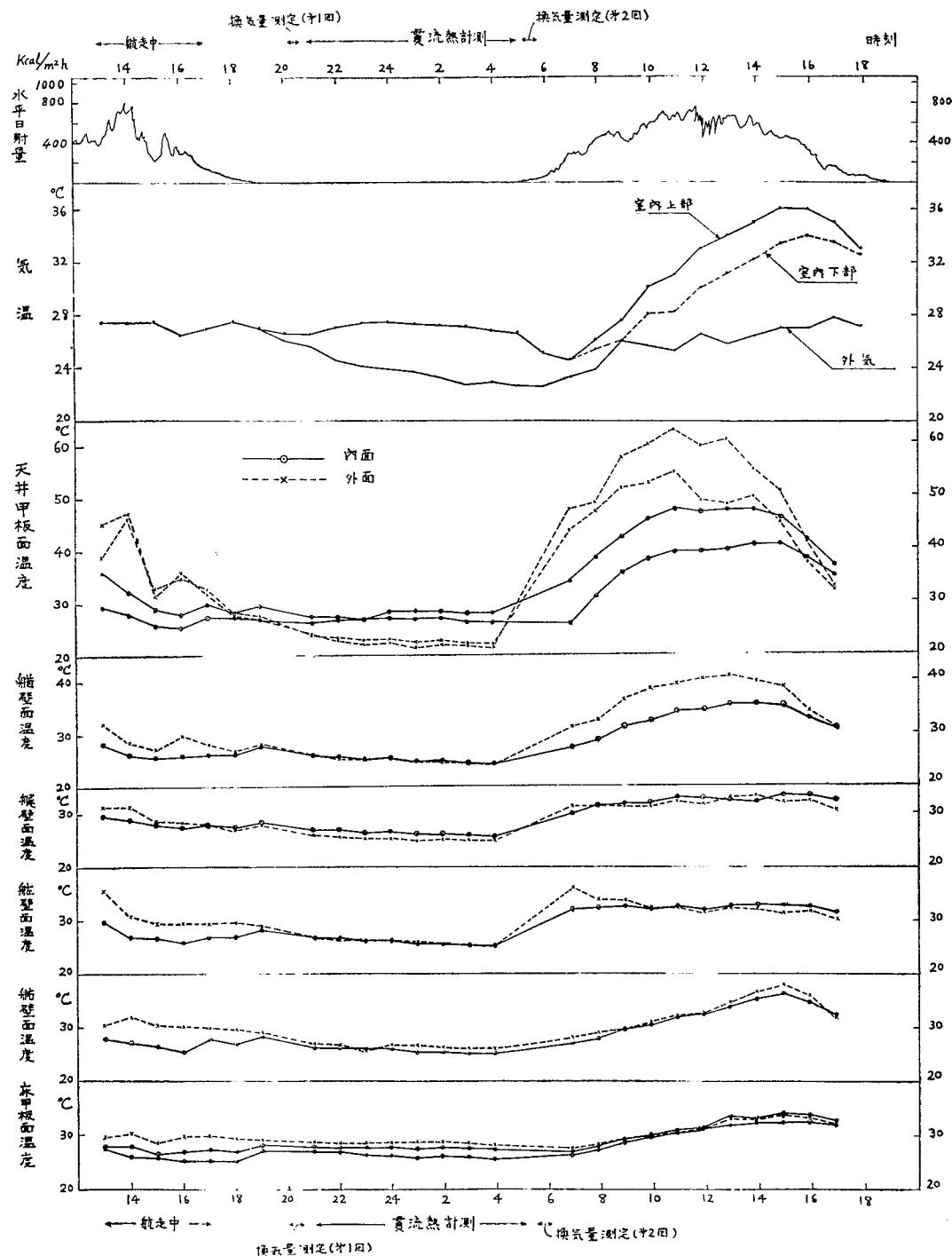
$$W = \theta(KS + \rho C_p n V)$$

$$\text{上式より, } K = 1.9Kcal/m^2hr^\circ\text{C}$$

また総貫流熱量 ($K \cdot S \cdot \theta$) は約 $420Kcal/hr$ となる。換気量が少ないため換気による熱損失もきわめてわずかである。

表(付)6.1 計測項目等

	項目	計測点数	計測器	
			内	外
気温	船橋内	5	抵抗温度計	上部(大井下約500m) 3 下部(床下約500m) 2
	外気	5	"	
	下部区画	2	"	
表面温度	天井甲板	4	サーミスター	内外面 各2
	開口部	8	"	" " 1宛
	床甲板	5	"	" " 1~2
貫流熱		8	熱流計	各開口部、甲板に1~2
太陽水平日射量		1	ロビンズ日射計	



図(付)6.1 温 度 等 計 測 結 果

2.2.3 檢討

第3編の実態モデルによる応用研究のうち断熱特性の研究におけるFRP単板の諸実験値から熱伝導率を逆算すると、約0.11Kcal/m²hr°Cとなり、またその他の材料はほぼ表(付)6.3の

表(付)6.2 気温(貫流熱計測)

時刻	21	22	23	24	1	2	3	4	5
室内温度(℃)	26.4	27.0	27.3	27.4	27.2	27.1	27.0	26.7	26.5
外気温(℃)	25.7	24.4	24.0	23.8	23.6	23.2	22.6	22.8	22.4
差(℃)	0.7	2.6	3.2	3.6	3.6	3.9	4.4	3.9	4.1
差の平均(℃)	...	1	1	1	1	4.0

表(付)6.3

材種	厚さ mm	単板	熱伝導率 Kcal/m²hr°C
F R P	6.5	6.5	0.11
エアレックス	...	5.0	0.032
DEX-O-TEX(下地)	...	9.0	0.17
(上地)	...	3.0	0.34

とおりと思われる。

またハット型スティフナをつけると熱貫流率は89~87%に減少する。このFrame Coeff. は当然スティフナ間隔が大となれば1に近づき、スティフナ寸法が大となれば減少するはずであり、大略次式の関係にあると思われる。

$$(1 - \text{Frame Coeff.}) \propto \text{スティフナ寸法}/\text{スティフナ間隔}$$

断熱特性の研究に用いた供試体と本操舵室構造とを比較すると、スティフナ寸法はそれぞれ150, 100mm、同間隔は約450, 800mmであり、操舵室開壁のFrame Coeff. (f) は約0.96と考えられる。

以上の諸数値と断熱特性実験値とを適宜用い、次式により天井甲板および開壁の熱貫流率Kd, Kwを求めれば、Kd=1.8, Kw=3.8Kcal/m²hr°Cとなる。

$$K = f / (1/\alpha_0 + \Sigma d/\lambda + 1/\alpha_i)$$

また甲板面積Sdを各13m²、開壁面積Swを30m²とし、床甲板熱貫流率を3.2Kcal/m²hr°Cとし、次式から操舵室の平均熱貫流率を求めれば、約3.2Kcal/m²hr°Cとなる。

$$K = (\Sigma Kd Sd + Kw Sw) / S$$

さきの計測結果を上記推定値に比較すると、計測値は推定値の約60%にしかならない。この原因の第1は、操舵室内には多数の備品が装備されているため、真の熱貫流面積は開壁面積よりも少なく、そのために熱貫流率が見掛け上小さく現われていること、第2には操舵室下部区画の温度条件が一様でなく、甲板下面温度が上面温度よりやや高い(図(付)6.1)ことからみて、下部区画の電灯、在室者等からの発熱量が逆に操舵室内へ流入して誤差を生じたこと等が考えられる。

2.3 温度計測時の環境

2.3.1 概要

操舵室内温度、および曝露された開壁の温度差が夏季の日射の下でどの程度上昇するかを約1日にわたって計測した。

前半は第1日目の13~17時の間、航走中の普通の使用状態のまま開口部はほとんど開放し、後半の2日目は碇泊中で開口部をすべて閉鎖した状態とした。

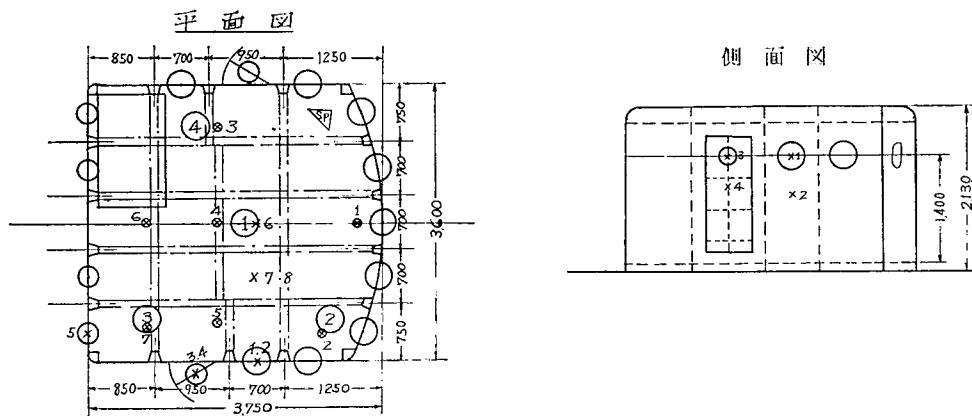
2.3.2 計測結果

各部の温度計測結果を図(付)6.1に示した。第2日目は日射量が強く、碇泊中にて対船風速も低く、さらに開口を閉鎖しているため各部温度は第1日目に比較して高くなつた。

計測結果の主要事項を略記すれば次のとおりである。

(a) 航走中の開放された室内気温は外気温とほぼ等しい。

mmとした。

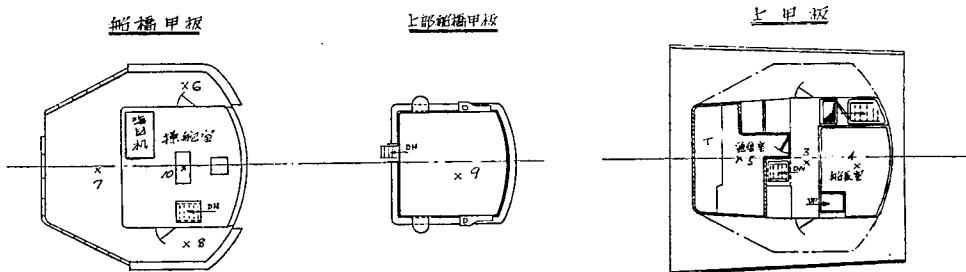


図(付)6.2 残響時間、透過損失計測位置一覧図

註 SP : スピーカーの位置
 ①～④ : 残響時間計測用マイクロホンの位置 (床上約 1 m)
 ⊗ 1～⊗ 7 : 透過損失計測位置, 但し 1, 3, 5 は窓中央, 6, 7
 × 1～× 8 : 上部船橋甲板, 8 は船橋甲板の位置を示す。

3.1.3 船橋内外の航行中における騒音分析

操舵室内の騒音は、室外の騒音の構造体透過音と構造体の船体振動等に励振されて生じた振動音の合成されたものと考えられる。これらを検討するために航行中（常用出力：400rpm）図(付)6.10の10箇所の騒音分析を行なった。計測は、機関室扉の開閉と、操舵室扉、窓ならびに覆板の開閉を組み合わせて4回行なった。



図(付)6.10 船内騒音計測位置一覧図 (主軸回転数 400rpm)

註 各計測位置におけるマイクロホンの高さは、床上約 1 m である。
 欠番の 1, 2 は,
 1 機関室内, 主機中間
 2 機関室内, 発電機中間である。

3.1.4 計測器具

主な器具は次のとおりである。

- コンデンサ・マイクロホン (日本測器MR-104型)
- 計測用増幅器 (日本測器354-A型)
- 超低周波フィルタセット (日本測器253型)
- 周波数分析器 (B. & K. 2111型)
- 高速度レベル記録器 (B. & K. 2304型)

- (f) テープレコーダ (ソニー 361型)
 (g) スピーカ (パイオニヤ PW38C型)

3.2 計測結果とその検討

3.2.1 吸音特性

t_{60} から(2)式で計算した $\bar{\alpha}$, (3)式の A と, 室の外界騒音に対する室内騒音の減少レベルを表わす遮音度NIF (Noise Insulation Factor)

$$NIF = 10 \cdot \log_{10} (\Sigma \alpha_i \cdot S_i / \Sigma \tau_i S_i) = 10 \cdot \log_{10} (A/T) (db) \cdots (8)$$

ただし, α_i : 壁面の吸音率, τ_i : 壁体の音の透過率, S : 吸音または透過面積(m^2), T : Transmittance である。

算出の際の遮音度増加レベル $\Delta L (db)$

$$\Delta L = 10 \cdot \log_{10} A \quad (db) \cdots \cdots \cdots \cdots (9)$$

を図(付)6.3に示した。

囲壁の吸音力 A は, 125c/s Bandを除き 5 ~ 6 ($m \cdot S_b$) で, この値は前に行なったスティフナ付 FRP パネルの残響室法による吸音率0.01 ~ 0.03から考えて, そのほとんどが天井面内張りのエアレックスの吸音力と見なされる。したがって, 天井面のみならず側壁にもエアレックス等の粗密材を張ればさらに吸音力を増加し得よう。囲壁の吸音力により, 囲壁が完全反射面 ($\alpha=0$) の場合より遮音度は 5 ~ 6 db 増加した。

3.2.2 船橋構造体の透過損失

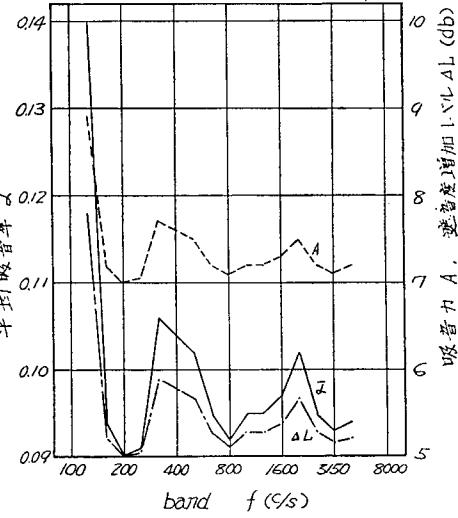
結果を図(付)6.4~図(付)6.9に示す。図(付)6.4~(付)6.5中, 音源側と記した曲線は前に行なったスティフナ付 FRP パネルのスティフナを音源側として計測した残響室法の実験値, 図(付)6.4~(付)6.5中の計算曲線は音が壁面に垂直入射の場合の TLo (db) と, 音が壁面に対して任意の方向から入射する際の \overline{TL} (db) を次式から計算した曲線である。

$$TLo = 20 \cdot \log_{10} f \cdot M - 42.5 (db) \cdots \cdots \cdots \cdots (10)$$

$$\overline{TL} = (TLo) - 10 \cdot \log_{10} [0.23(TLo)] (db) \cdots \cdots \cdots \cdots (11)$$

ただし, f : 入射音の周波数 (c/s), M : 壁体の単位面積当たり重量 (kg/cm^2) である。

- (a) 操舵室囲壁の中最も TL の小さいのは FRP 単板を使用した側壁で, 他の壁(天井, 床, 屏)等と比較すると, 各周波数帯の TL が約 15db 小さい。
- (b) FRP 単板右舷側隔壁の板振動による TL 減少は, 周辺固定矩形板としての振動計算から約 70c/s に現われるが, 実験曲線では 250~315c/s Band に著しい TL 減少が見られた。この原因は室の共鳴周波数の概算からも見出せず不明である。2500~3150c/s の高周波音に



図(付)6.3 $\bar{\alpha}$, A , ΔL 曲線

対する T L 減少は、前に行なった単板の実験にも現われた材中進行音波の共鳴によって生ずる Coincidence Effect. によるものである。

- (c) 床甲板ならびに舷窓の T L 曲線は、いずれも計算曲線より低下了。これは、上甲板出入口の覆板周辺の隙間ならびに側壁からの透過音の回析によるものと推定される。
- (d) 水密扉の T L 曲線は、2重壁の各面が音響的に隔離されたと仮定した計算曲線にはほぼ合致したが、2500c/s Band を中心とする 800c/s Band 以上の周波数音に対しては空気層の共振現象による T L 減少が現われた。これは

$$d = c/4 \cdot f(\text{cm}) \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots(12)$$

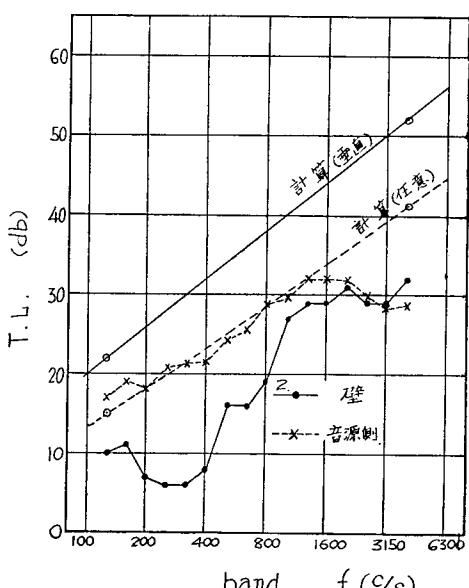
ただし、 d : 空気層の厚さ (cm), c : 音速 (cm/s), f : 周波数 (1/s) にて生ずる。

3.2.3 船橋内外の航行中における騒音分析

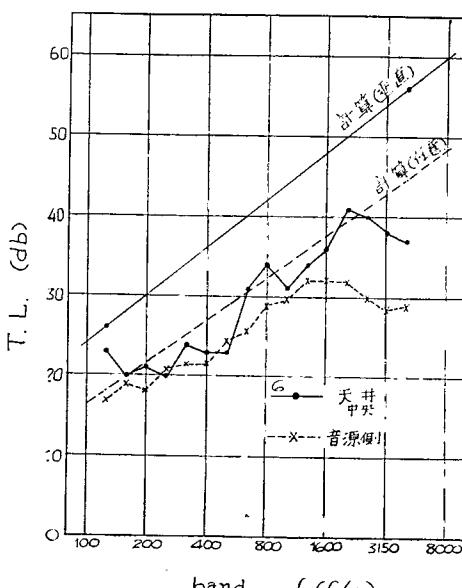
結果を図(付)6.11, 図(付)6.12 に示す。

- (a) 機関室の扉の開閉による居住区騒音のスペクトル変化は 200c/s Band 以上の周波数にのみ生じ、160c/s Band 以下の周波音には現われない。これは、低周波音に対する機関室扉の遮音度が低いことよりも、主機の主軸回転数と気筒数の積の周波数 $400 \times 6/60(\text{c/s})$ の船体振動に励振された居住区隔壁の振動音と、排氣音による影響が強いためである。(図(付)6.11 参照)
- (b) 探舵室内騒音の主成分は、船体振動、室隔壁の振動音ならびに排氣音と考えられる 20, 40, 80 各c/s Band の音である。特に、80c/s Band の音は探舵室周辺の計測レベルが上昇していないのに室内のレベルのみが上昇している。

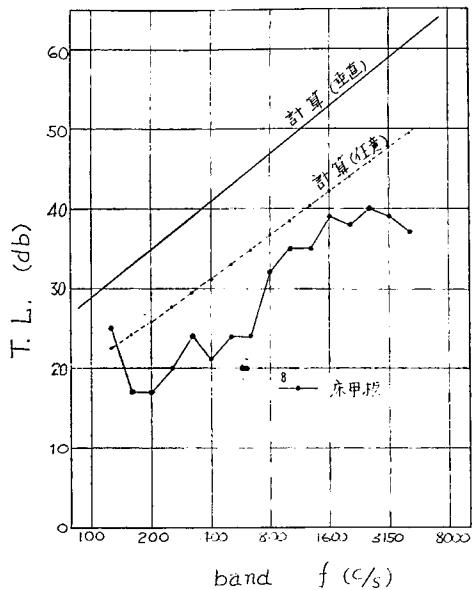
これは 3.2.2(b) に記した左右舷隔壁の FRP 単板の共振音であり、これが探舵室内騒音の



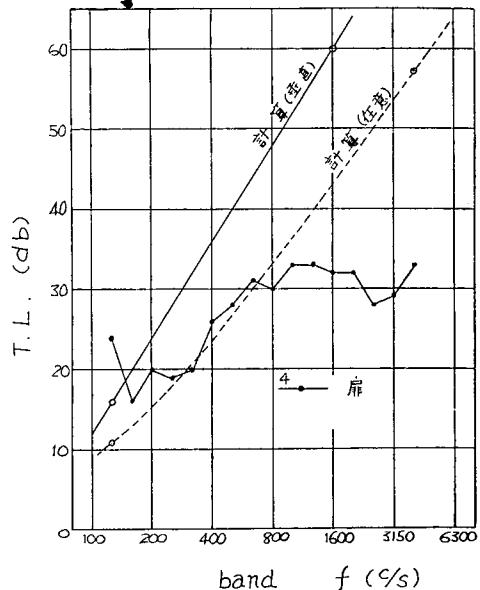
図(付)6.4 右舷側隔壁(計測位置 No. 2)
の T L 曲線



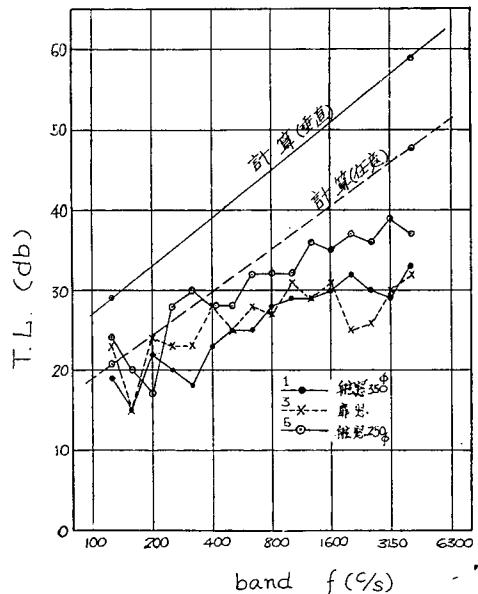
図(付)6.5 上部船橋甲板(計測位置 No. 6)
の T L 曲線



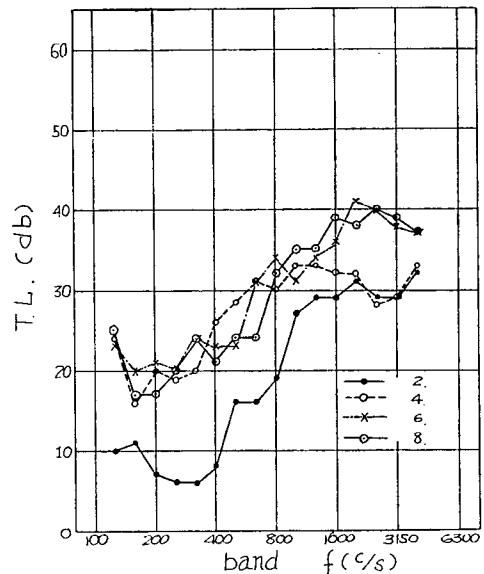
図(付)6.6 船橋甲板(計測位置No.8)のT.L.曲線



図(付)6.7 水密扉(計測位置No.4)のT.L.曲線



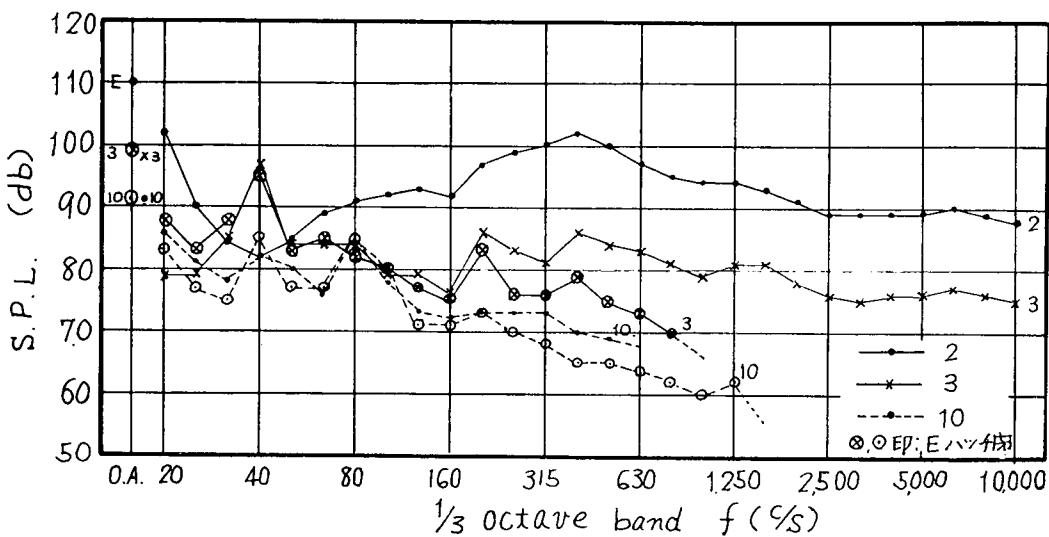
図(付)6.8 窓ガラス(計測位置No.1, 3, 5)のT.L.曲線
註: 10m/m厚さ強化ガラスとして計算した。



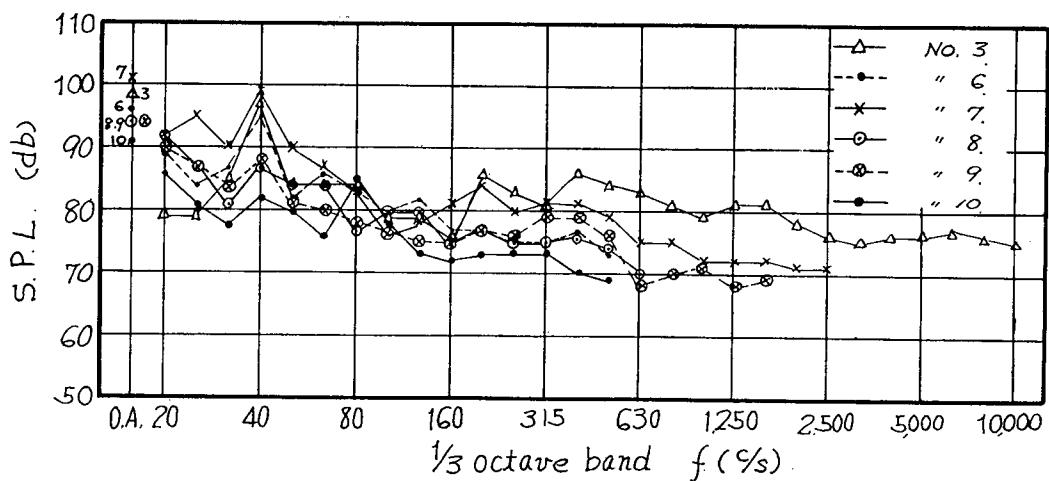
図(付)6.9 開口部のT.L.曲線の比較

ほとんどをしめしている。

(c) 上記3.2.1および3.2.2に記した吸音特性、透過損失の計測値を用いて操舵室に対する遮音度を計算すると、航行中の分析計測結果から概算した遮音度と約10dbの差を生じた。これは右舷側隔壁のT.L.値(図(付)6.4)を求める際、透過側の音圧レベルを隔壁中央点で非常に接近させて計測したために生じた誤差によるものと思われる。(振動面積の大きな単板の面積平均振動レベルは、中央点の振動レベルより約8db減少する。したがって右舷側隔壁



図(付)6.11 船内騒音のスペクトルの比較
註：（機関室，入口：開放，閉鎖，操舵室の舷窓，扉：閉鎖）



図(付)6.12 操舵室とその周囲の騒音のスペクトルの比較
註：（機関室，入口：開放，操舵室の舷窓，扉：閉鎖）

壁の平均的な T L は、図(付)6.4 の値に 8db 加えたものと考えられる。)

この結果、吸音特性ならびに透過損失計測の周波数範囲の音に対しては、開壁の振動音成分ではなく、すべて操舵室周辺の外界騒音が隔壁を透過して操舵室内の騒音成分となったものと見なしてよいであろう。

第5編 結

言

以上各項にわたって報告したように、いずれもプラスチックを実船に適用する場合の諸問題について、具体的に造船所としての視野から検討解明を加えたもので、それぞれ有効な成果を挙げることができた。

研究部会の成果としてはすでに実船試用の段階もへて、設計工作上の基礎資料を得ることができたわけであるが、さらにこれを設計基準に採り入れ、また検査基準、工作基準を確立する方向については部会参加の各委員会社によってそれぞれ各社内での推進が図られている現況である。

なお、本部会研究の成果検討の過程において認められた1つの方向としてはまず、その経済性の見地より艤装品の標準化を速かに推進すべきであること、さらにはノックダウン方式、ユニット方式などのプレハブ方式を艤装技術に適用することによって、なお一層プラスチック材料の特性を活かし、船舶建造工程の合理化、船価低減の一助としうることが認められた。

要するにプラスチック材料は金属材料と異なった幾多の長所を有してはいるが、その強度特性、工作上の諸点などにおいて若干、従来の材料とは異なる見地と理解の上に立ってその利用推進を図る必要があり、経済性の面についても標準設計品を大量に生産使用する場合にきわめて有利となる特長を有しているので、造船界における利用を大巾に拡大するためには、以上に述べたような艤装技術の革新的な改良が望まれる次第である。

昭和40年1月25日 印刷

昭和40年1月30日 発行

日本造船研究協会報告 第48号

発行人 菅 四 郎

発行所 社団法人日本造船研究協会

東京都港区芝琴平町35

「船舶振興ビル」8階

電話 (502) 2371~80

内線 (421~426)

印刷所 株式会社 青 光 社

東京都品川区五反田1の249

電話 (441) 0006, 4444, 2020