

社 団 法 人

日本造船研究協會報告

第 64 号

昭 和 43 年 12 月

船舶の居住性能および防災に関する研究 第64研究部会

Research on Habitability and Disaster Prevention of Ships

..... The 64 th Research Committee

Report No. 64
The Shipbuilding Research Association of Japan
Tokyo, JAPAN
December 1968

第64研究部会委員名簿

部会長 幹事	大日方 得 岩 平 岡 樹 神 田 竹 中 藪 秋 秋 宇 加 名 河 清 田 千 長 西 原 松 吉 吉	二 滋 生 寛 平 吉 穂 裕 毅 二 卓 清 一 雄 二 雄 一 雄 二 雄 次	雄 夫 一 昭 喜 让 新 直 直 義 幸 保 幸 実 榮 長 弘 次	春 黒 英 我 新 尾 直 嶺 山 島 岡 北 秋 美 岡 首 北 竹 北 長 北 永 北 西 原 田 原 松 原 松 浦 田	沢 小 久 寺 山 秋 岡 北 秋 岡 北 美 岡 首 北 竹 北 長 北 永 北 西 原 田 原 松 原 松 浦 田	梅 小 久 寺 山 秋 岡 北 秋 岡 北 美 岡 首 北 竹 北 長 北 永 北 西 原 田 原 松 原 松 浦 田	雄 夫 一 昭 喜 让 新 直 直 義 幸 保 幸 実 榮 長 弘 次	一 高 長 翁 梶 齊 中 横 天 折 桑 飾 鈴 竹 長 西 野 広 矢	彦樹光朋 富三允守 吉昌雄美 美三雪三 一高有正 藤野田野戸 山磨木鼻岡 岡口渡留 翁梶齊中横 天折桑飾鈴 竹長西野広 矢
委員									

Membership of the 64 th Research Committee

Chairman	Tokuji OBIKATA		
Secretaries	S. IWAHIRA S. OKA H. KANDA T. TAKENAKA Y. YABU	H. UMEZAWA H. OGURO S. KUGA N. TERAO N. YAMAZAKI	K. ŌNAGA T. KAJI H. SAITŌ A. NAKANO T. YOKOTA
Members	Y. AKIMURA T. UKAWA K. KANŌ T. KŌNO K. SHIMIZU T. TAI M. CHIBA S. NAGASAKA T. NISHIBE Y. HARA K. MATSUURA A. YOSHIDA	Y. AKIYAMA M. OKA Y. KITAZIMA Y. SAKAI Y. SHUDŌ K. TAKEUCHI J. NAGAO E. NAGATA H. NISHIMURA Y. HARAYAMA N. MATSUZAKI J. WATANABE	S. AMANO H. ORITO M. KUWAYAMA J. SHIKAMA M. SUZUKI M. TAKEHANA M. NAGAOKA M. NISHIOKA T. NOGUCHI T. HIROWATARI T. YATOME

Research on Habitability and Disaster Prevention of ships

1. Introduction

With the great progress of economical characteristic of ship, automation for works on ships has increasingly advanced, and the grade of them has a tendency to become higher. In addition, having been influenced by the improvement of living environment on land, the improvement of the environment for works and the habitability on ships has become a very important problem.

There are so many causes that affect habitability on ships. Above all, intense high temperature in navigating on tropical sea, and the noise in the engine room while ship's main engine is running, are the worst condition as a living environment for a human being. There are, however, very few cases of systematic experimental research on heatproofing and soundproofing for ships, and these problems have not been solved clearly in theoretical way up to the present.

With the recent pervasion of air conditioning system on land, the case of providing for the system has increased even for ships other than passenger boats. Therefore, it is considered very important to improve the living condition on ships which are under worse environment than on land and have to navigate from a cold district to a tropical area within a short period.

For this purpose, it becomes necessary to obtain the thermal characteristics of ship's structure by experiment, otherwise we will not be able to obtain the thermal characteristics of ship's structure correctly by calculation alone and to clarify the external condition, and further to analyze the path of heat transfer.

On the other hand, an interest in the soundproofing of living quarters and working places on ships has been raised gradually, and an attempt to control the noise in living quarters below a certain level is now in progress. Besides, in the engine room, installation of a control room equipped with air conditioning and soundproofing systems has been widely generalized. Elucidation by means of experimental research on sound characteristics of ship's structure and the propagating route of sound from its source, however, has not been made satisfactorily. Regarding how to prevent generating noise at its source and the allowable limit of noise level in the living quarters, it is considered necessary to make a further study in the future.

With the revision of the International Convention for the Safety of Life at Sea 1960, rules relevant to disaster prevention of ships have become more severe and have been greatly

improved.

Upon application of these rules, however, so many difficulties have been experienced in their details that the solutions for these points obtained by experiments have become necessary.

Therefore, we have conducted systematic researches on heatproofing, soundproofing and disaster prevention in the living quarters of ships in extending three years of 1963, 1964 and 1965, and have done basic investigation on resultant three problems.

There were so many cases of damage accidents of the deck covering in the past that we have made clear the causes of these accidents through enquete, and the results of them are shown in the appendix.

2. Conclusion

As for the heatproofing, the thermal characteristics of the walls have been made clear by this research and corresponding with the actual value of the ship test was proved.

Furthermore, it is a great fruit that we have been able to understand the condition of the heat transfer through ship's structure to calculate more correctly and to plan the heatproof system of ships.

There remains, however, one step ahead before reaching the stage in which we can estimate correctly the heat transmission caused by inconstant changes of external condition. When it is realized, it would be possible for us to determine the capacity of air conditioning without any waste. Hereafter, being irrespective of materials and structure now in use in existing ships, we want to find a way how to build the most economical ships suitable for our purpose by studying the kinds of heatproof system to be used and their capacity.

As to the soundproofing, the characteristics of walls and sound propagation from its source to the living quarters were made clear, and yet as to the noise due to the vibration transmitted to the living quarters through ship's hull structure from its source such as main engine and auxiliary machinery, despite of many efforts, the mechanism could not be clarified completely. We consider, however, that the future course of research on this problem has been able to be made clear. As for a future problem, we want much for the engineers to investigate and elucidate the prevention of producing noise of the main engine and auxiliary machinery. Furthermore, we want to be able to plan and control noise in these compartments to be kept within a certain limit by not only making clear an allowable limit of noise in the living quarters and working places in ships but also elucidating the problems of noise caused by vibration.

Although heatproof and soundproof systems are independent each other, they can not be separated since they are one body in the structure of ships. In proceeding such research as mentioned above, it is considered still more necessary to make much of their mutual relations and to harmonize them.

As for the problem of vibration of ship's hull, it is also a very important problem from the viewpoint of habitability, and great efforts have been exerted to the solution of this problem. With the increase of engine output, however, more effort would be required for its settlement. Unless such problems are solved, even if a most comfortable living accommodation should be provided, it would not mean an improvement of habitability at all. Therefore, a further research in the future is considered to be more necessary.

船舶の居住性能および防災に関する研究

目 次

第1編 緒 言	1
第2編 居住性能に関する研究	2
第1章 防熱に関する研究	3
1. 1 はしがき	3
1. 2 供試体試験	3
1. 3 実船試験	12
1. 4 むすび	26
第2章 防音に関する研究	27
2. 1 はしがき	27
2. 2 供試体試験	27
2. 3 実船試験	50
2. 4 むすび	70
第3章 防熱・防音構造の標準仕様に関する研究	71
3. 1 はしがき	71
3. 2 防熱構造の標準仕様	71
3. 3 防音構造の標準仕様	77
3. 4 むすび	88
第3篇 防災に関する研究	89
第1章 脱出経路から見た居住区の配置、寸法に関する研究	89
1. 1 はしがき	89
1. 2 実験実施場所と使用測定器具	89
1. 3 実験の基礎となる群集流理論式	89
1. 4 実験より求める数値の測定結果	91
1. 5 脱出時の群集流の数理的観測実験	94
1. 6 脱出経路の選択調査	97
1. 7 むすび	98
第2章 B級防火構造壁（扉を含む）に関する研究	100
2. 1 はしがき	100

2. 2 B 級防火構造壁の耐火試験	100
2. 3 B 級防火構造扉の耐火試験	108
第4編 結 言	116
附 錄 Deck Covering に関する調査	117

第1編 緒 言

船舶の高経済化に伴い、船内の作業は自動化が進む一方、その内容は高度化して行く傾向にあり、また陸上における生活環境の向上の影響もあって、船内作業環境および居住性能の改善は誠に重要なこととなってきた。

居住性能に關係のある要素は極めて多いのであるが、特に熱帯海域航行時の酷暑や主機運転時の機関室内的騒音は人間生活環境として最悪の条件である。しかしながら、従来、船舶の防熱防音に関する系統的な実験研究はその例が非常に少なく、これ等の問題は理論的に明確に解決されてはいない。

近来、陸上における冷房装置の普及につれて、旅客船以外の船においても冷房装置を設ける場合が多くなってきたが、陸上に比べて外界条件が悪く、その上短時日の間に寒冷地より酷暑の海域に移動する船の中の居住条件を改善することは誠に重要なことと考えられる。そのためには、計算だけでは正確につかむことのできない船舶の諸構造の熱的な諸数値を実験的に求め、また外界条件を明かにし、さらに熱の伝達経路を解析することが必要になる。

一方、船舶の居住区および作業場所における騒音防止に対する関心はようやく高まり、居住区の騒音をあるレベル以下に抑えようとする試みも進みつつあり、また機関室内に防音および冷房装置付きのコントロールルームを設けることは広く一般化してきた。しかしながら、船の諸構造の音に関する諸数値および音源よりの音の伝達経路の実験的研究による解明は未だ十分に行なわれていない。音源に対する騒音発生防止の処理方法および居住区騒音の許容基準については、今後大いに研究する必要があると考えられる。

1960年国際安全条約の改訂に伴って船舶の防災の関係規則もより厳重なものとなり大いに改善されているが、その適用に当っては細部にいろいろと困難を生じたので、これらの点について実験による解決が必要になった。

よって本研究は、昭和38～40年の3年にわたり、船舶居住区の防熱防音および防災について系統的な試験研究を行なって、これら問題点の基礎的な研究を行なったものである。また、Deck Coveringについてはその損傷事故例が多いため、アンケートによる調査を行ない事故原因の解明を行なったので、その結果を附録に示した。

第2編 居住性能に関する研究

防熱防音については、現在船舶に用いられており、また近い将来用いられようとしている材料について広く諸数値を計測集録し、これらが船に適用されている構造の代表的な例について供試体を作成して熱および音に関する諸試験を行なってその解析を行ない、最後に実船試験を行なって外界条件および音源の状態を把握し、供試体試験結果を用いて熱または音の伝達される機構をより一層明確に解明し、併せて船舶に標準的に使用できる防熱防音の構造の仕様を定めようとした。

船舶の防熱防音の装置は船内の居住条件を最適な温度状態および許容し得る低い騒音状態に保つために最も経済的なものとしなければならないのであるが、防熱に関しては上記諸問題の解明、特に非定常的な熱の流れを解明して初めて機器の能力を正確に決めることができるようになると考えられる。防音については騒音の許容限度、音の伝達機構および音源自体等解明すべき点が多い。しかも防熱防音装置は一体となっている場合が普通で切離すことができない。本研究においてはこの点について考慮された供試体を用いて試験を行なった。

第1章 防熱に関する研究

1. 1 はしがき

居住区域の温度環境を理想的な状態に保つためには、冷暖房（空気調和）が是非とも必要である。冷暖房設計における熱負荷計算では、周囲外界条件、伝熱負荷、室内発生熱負荷、換気負荷、等を求めなければならない。この中で室内発生熱は在室人員、室内機器等がわかれれば比較的正確に推定し得、換気負荷は必要空気量（主として人体に対する生理的限度等による）が定まればおのづから求められる。一方、伝熱負荷はその値が最も大きいばかりでなく、周壁構造により異なり、理論計算等によりこれを推定することは困難である。また海上における外界条件は陸上と違って未知の分野が多い。

従って、より正確、適正な空気調和を設計設備し、居住性の向上を図るために、これら伝熱負荷、周囲外界条件について研究を行なう必要がある。

伝熱負荷は、通常は定常的に取り扱われ、実物大の供試壁体の熱貫流率を求めることが最も重要となる。また実際の使用条件では非定常的な範囲もあり、非定常周期的貫流熱についても検討する必要がある。

ゆえに本章の防熱に関する研究においては、まず供試体試験により上記の研究を行ない、次に実船試験により実際の使用条件との対比を行なうとともに、外界条件の調査を行なったものである。

1. 2 供試体試験

1. 2. 1 热貫流率に関する研究

(a) 目的

船舶居住域の周壁40数種類について、約 $2\text{ m} \times 3\text{ m}$ の実物大供試体を作成し、熱的性質に関する系統的実験によりその防熱特性を明らかにする。

特にスティフナの防熱性におよぼす影響を求める、実験値と計算値の照合を行ない、今後における複雑な断面構造をもつ壁体についての熱的性質を推定しうる基礎資料を得ることを目的とする。

(b) 供試体の選定

供試体はおおよそ次に記すような点に着目し、選定を行なった。

- (i) スティフナの有無が断熱性におよぼす影響
- (ii) スティフナの大きさ別の熱貫流率値
- (iii) スティフナの位置と熱流の方向による断熱性の差
- (iv) 防熱層の位置と防熱方法別熱貫流率値

供試体の詳細は実験結果の断面図に示してある。

また、選定された約40種類の供試体は、現在実船に使用されているものおよび今後使用が予想されるものを対象とした。

(c) 実験装置および実験方法

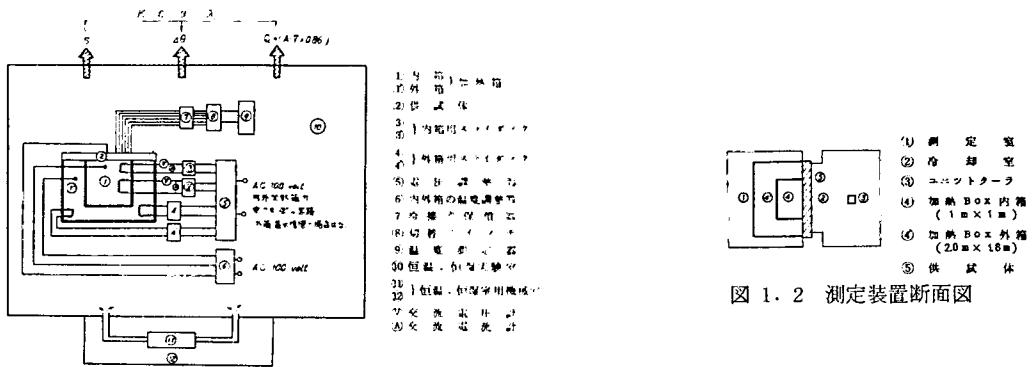


図 1.1. 測定装置、計器類のダイヤグラム

本実験に用いた測定装置は Guarded Hot Box で、その概略は図 1.1, 図 1.2 のごとくである。

供試体を中心にはさんで加熱 Box と冷室がある。

加熱 Box は内箱と外箱にわかれ、内箱で発生した熱が内箱の周壁を通して外箱側に逃げないように外箱によって保護する。

この内外 Box 内には熱源として 500W のニクロム線を 4 本づつ上下、左右に温度分布が生じないような位置に設けられ、おのの温度調節はスライダックを用いて行なう。

測定は内外の Box 内の温度がまったく等しく、熱流が供試体に直角（1 次元）に流れていることを見極め、十分定常状態になったのち行なう。

求める熱貫流は供給熱量と供試体両面の温度差を測定し、次式によって求める。

$$\left. \begin{array}{l} K = Q / (\theta_H - \theta_C) S \quad (\text{Kcal} / m^2 h ^\circ C) \quad \text{熱貫流率} \\ \alpha_H = Q / (\theta_H - \theta_1) S \quad (\text{〃}) \quad \text{高温側熱伝達率} \\ \alpha_C = Q / (\theta_2 - \theta_C) S \quad (\text{〃}) \quad \text{低温側〃} \\ C = Q / (\theta_1 - \theta_2) S \quad (\text{〃}) \quad \text{熱コンダクタンス} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1.1)$$

ただし Q : 供給熱量 (Kcal/h)

S : 受熱面積 (m^2)

θ_H : 加熱側空気温度 ($^\circ C$)

θ_C : 冷却側 〃 ($^\circ C$)

θ_1 : 加熱側表面温度 ($^\circ C$)

θ_2 : 冷却側 〃 ($^\circ C$)

(d) 実験結果

実験結果の一覧表を表 1.1 および表 1.2 に示した。

また壁体実質部とスティフナ部分の温度分布の 1 例を図 1.3 に示した。

表 1.1 (1)

表 1.1 (2)

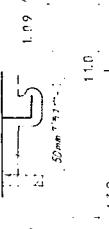
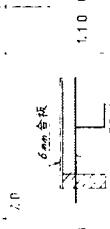
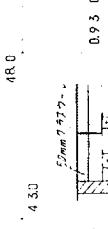
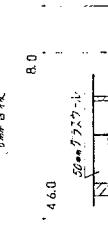
試験 機 器	試 験 体	$R \frac{1}{K} R_h \frac{1}{\alpha n}$	$R \frac{1}{\alpha n}$	$R \frac{1}{\alpha n}$	計 算 値	実 験 値
T-6		1.09	0.106	0.104	0.68	1.59
T-7		0.56	0.112	0.112	0.536	0.74
T-7'		0.61	0.118	0.151	0.541	0.78
T-8		1.10	0.090	0.104	0.906	1.51
T-9		0.93	0.106	0.085	0.739	1.67
T-10		0.44	0.109	0.103	0.228	0.44

表 1.1 (3)

供試体	実験値 計算値						(備考)	
	R ₁	R ₂	1/a ₁	1/a ₂	T ₀	(1)	(2)	
(左右両端にある数値は (加熱および冷却温度 Kcal/Kcal) (Kcal/Kcal) (Kcal/Kcal))	(m ² /h°C)							
9.0								実験値と計算値に相当な 差があるがT-8と同様 硝子繩のとのり方あるいは逆流流でもスチーナ の影響がこの結果をもたらしているものと考えら れる。
T-11	9mmラテックス		0.89	0.060	0.155	0.695	1.49	1.285
		50mmアスケル						
			4.40					
7.0	9mmラテックス		0.75	0.115	0.112	0.523	0.90	0.673
		25mmビニール						
			3.50					
T-12	9mmラテックス		0.85	0.106	0.138	0.609	0.93	0.689
		25mmビニール						
			1.20					

表 1.2 (1)

供試体番号	断面	熱貫流率 K (Kcal/m ² h °C) (※…推定値)
T-14	65 x 65 x 6L	5.6
T-14-1	8アングルド / 35x60 棒太	2.5
T-14-2	25アスケル (26.9/m ²)	※1.6
T-14-3	25アスケル 35x60 棒太 6.7アングルド (15.9/m ²)	1.2
T-14-4	25アスケル (26.9/m ²)	1.3
T-14-5	25アスケル 35x60 棒太 6.7アングルド (15.9/m ²)	1.0
T-14-6	25アスケル 25アスケル (26.9/m ²)	1.3
T-14-7	25アスケル 35x60 棒太 6.7アングルド (15.9/m ²)	1.1
T-14-8	25アスケル 25アスケル (26.9/m ²)	1.2
T-14-9	25アスケル 25アスケル 35x60 棒太 6.7アングルド (15.9/m ²)	1.1

表 1.2 (2)

供試体番号	断面	熱貫流率 K (Kcal/m ² h °C) (※…推定値)
T-14-10	25アスケル 35x60 棒太 6.7アングルド (15.9/m ²)	1.1
T-15	100 x 75 x 26	5.9
T-15-3	25アスケル 35x60 棒太 16.7アングルド (15.9/m ²)	1.4
T-15-6	25アスケル (26.9/m ²)	1.4
T-15-7	25アスケル 35x60 棒太 6.7アングルド (15.9/m ²)	1.2
T-15-11	25アスケル 35x60 棒太 6.7アングルド (15.9/m ²)	※0.9
T-16	200 x 90 x 116	※6.3
T-16-1	35x60 棒太 6.7アングルド	2.7
T-16-2	25アスケル (26.9/m ²)	1.7
T-16-3	35x60 棒太 25アスケル 6.7アングルド (15.9/m ²)	1.3
T-16-4	25アスケル (26.9/m ²)	1.5

表 1.2 (3)

供試体番号	断面	熱貫流率 (Kcal/m ² h °C) (※ ……推定値)
T-16-5	35×60 横木 (25×2.2×2.7m) 6合板	1.3
T-16-6	25×2.2×2.7m	1.4
T-16-7	35×60 横木 25×2.2×2.7m 6合板	1.2
T-16-8	25×2.2×2.7m	1.2
T-16-9	35×60 横木 25×2.2×2.7m 6合板	1.1
T-16-10	25×2.2×2.7m	1.2
T-16-11	35×60 横木 25×2.2×2.7m 6合板	1.1
T-18 (S-14)	35×60 横木 6合板	△ 2.5
T-17	35×60 横木 6合板	△ 0.6
T-19	35×60 6合板 4.7mmシングルボード	△ 0.9
T-20 (S-10)	35×60 横木 6合板 ハーフルートボード	△ 2.4

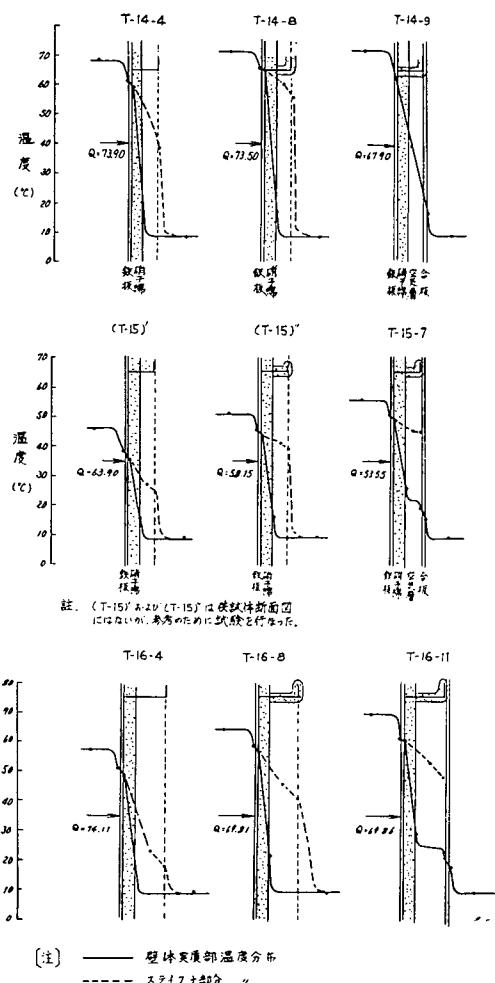


図 1.3

(e) 結果の考察

表 1.1 では、基本断面の異なるもの15種について、スティーナの影響ならびに防熱効果を求め、おののについて熱貫流率を示した、またそれらについて計算値との照合を行なった。

一般に壁体の熱貫流抵抗は次式によって求める。

$$R = R_i + R_o + R_a + \sum r d \quad \dots \dots \dots (1.2)$$

ただし R : 热貫流抵抗 $[\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{Kcal}]$

R_i : 内側熱伝達抵抗 $[\text{''}]$

R_o : 外側 $[\text{''}]$

R_a : 空気層の熱抵抗 $[\text{''}]$

r : 热伝達比抵抗 $[\text{''}]$

d : 厚み $[\text{m}]$

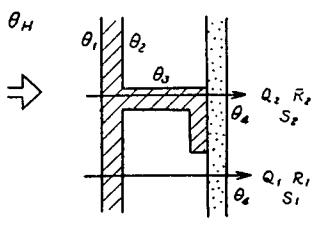
なお、 R_i , R_o の値は標準値として垂直壁については $R_i=0.13$, $R_o=0.05$ を用いることになっている。

しかしながら上式は各材料が直列にある場合のみ適用されるものであって、異種の材料が並列の場合あるいは断面形状が複雑な壁体については上式をそのまま用いることは大きな誤差をともなうことになる。

表 1. 1 中の計算値(1)は上式によって求めた熱貫流抵抗値であるが、単純な構造体ではよく合致しており、スチフナが熱橋の作用をしているものでは相当な差を示している。

したがってスチフナの影響があるような供試体については一般部分とスチフナ部分の放熱量を別々に求め、その合成値をみかけの熱貫流抵抗としなければならない。

表 1. 1 中の計算値(2)は次のごとき考え方で計算を行なったものである。



一般部分を通過する熱量を Q_1 とすると、

$$Q_1 = \frac{(\theta_1 - \theta_4)S_1}{R_1} \quad \dots \dots \dots (1.3)$$

熱橋部分を通過する熱量を Q_2 とすると、

$$Q_2 = \frac{(\theta_1 - \theta_4')S_2}{R_2}$$

$$Rm = \left\{ \frac{(\theta_H - \theta_C)(S_1 + S_2)}{Q_1 + Q_2} \right\} \quad \dots \dots \dots (1.4)$$

ただし、 Rm ：平均熱貫流抵抗 $[m^2 h^\circ C / Kcal]$ R_2 ：スチフナの熱貫流抵抗 $[m^2 h^\circ C / Kcal]$

Q_1 ：一般部分の通過熱量 $[Kcal/h]$ S_1 ：一般部分の面積 $[m^2]$

Q_2 ：スチフナ “ ” S_2 ：スチフナ部分の面積 $[m^2]$

R_1 ：一般部分の熱貫流抵抗 $[m^2 h^\circ C / Kcal]$ $\theta_H - \theta_C$ ：各ヶ所の温度 $[^\circ C]$

この場合加熱側表面の温度分布は一様であるが、冷却側表面の温度は θ_4 と θ_4' の位置で相当な差となる、したがって Q_1 および Q_2 を求めるにあたっては測定温度を用いなければならない。

またこれに類似の構造体については、図 1. 3 より温度低下率を求めるか、あるいは標準仕様書中の温度低下率値を用いれば、任意の温度条件下で各積層間の温度は求まり、その温度を用いて平均熱貫流率を求め得ることになる。

次に表 1. 2 にスティフナの大きさ別熱貫流率ならびに、おのおのの防熱効果を熱貫流率値をもって示した。

実験結果からはスティフナの大小による差はあまり顕著ではないが、この点は $1m^2$ 単位の量であり、ある居住域を考えるとき、スティフナ部分のふく射熱は相当な量になることを覚悟せねばならない。

したがって表 1. 1 でも解明されたごとく、スティフナ部分の断熱処理は、空気層への悪影響も含めて十分考慮せねばならない。

(f) ま と め

T 1～T 12'について 15 種の実験および計算結果をうることができた。

おのおのについては表 1. 1 中に簡単な考察を行なったが、T 2～T 12'までそれぞれスチフナの断熱性におよぼす影響を無視することはできなく、特に低温側に露出する場合の問題は大であることがわかった、特に(e)項の考察でも記したごとく熱橋、冷橋の悪作用をすることから、断熱ならびに防露上からは絶対に全面断熱処理をし、同時に面材との熱的短絡を防止することが必要であろう。

またそれぞれの構造が複雑な複合体であるので、これらについて一般式を用いて貫流熱量を推定することは大きな誤差をともなうことになる。

したがってこの種の複層壁の熱的性質を明らかにするためにはできるだけ実験によって求めるか、形状別に適合した計算式を用いることが必要なこととなる。

1. 2. 2 非定常周期的熱流に関する研究

(a) 目的

防熱対策において、主要な熱負荷となる外気温度および日射は1日を周期として変動するため、壁体を通して貫流する熱流も非定常の周期的熱流となる。この場合は定常状態に比して貫流熱は減少し、また負荷と貫流熱とは位相のずれを生ずる。

この減少率と位相のおくれは防熱壁の構造、材料、防熱性、負荷の周期等の関数であり、壁が均質の単層平面壁である場合には理論的に求めることができる、しかし、一般構造のごとく不均質の複合壁の場合は実験により求めざるを得ない。

通常の冷暖房負荷計算においては、すべて定常的問題として貫流熱を求めているが、これを非定常周期的問題として扱うことができれば、さらに経済的な設計が可能となり、かつ実船における伝熱径路を解明するのに役立つ。

(b) 実験方法

周期的加熱を行ない、かつ温度分布を良好にするためおよび測定に便利な周期を選べるよう、装置を小型にする必要があり、さらに非定常時の貫流熱を測定できるよう、下記の方針による小型の熱貫流測定装置を用いた。従って、供試体を垂直、水平両姿勢とすることができ、かつ熱流の Scale Effect に関する検討を行なうこともできる。

- (i) ASTM C-236-54 T (Tentative Method of Test for Thermal Conductance and Transmittance of Built-up Sections by Means of the Guarded Hot Box) に準じる。
- (ii) 冷却側を Guarded Cold Water Box 型とする。
- (iii) 供試体寸法は $910 \times 910 \text{ mm}$ とし、厚さは実物の約 $1/2.5$ の縮尺とする。
- (iv) 供試体姿勢は水平、垂直の両方が可能とする。
- (v) 加熱器は電源を断続して周期加熱を行なう。

装置を図 1. 4～1. 5 に示す、周期加熱の場合には、冷却箱内に冷水循環槽を設け、その温度上昇値から貫流熱を求める予定であったが、水量の調節、温度分布等に難点があったため、止むを得ず熱流計（鉄研式）を更正して使用した。加熱方法は 30 min.ごとに加熱器を断続し、周期 60 min. の矩形波の熱量を与える方法であるが、加熱箱内温度はほぼ Sine 曲線を示し、同一波形が繰返される状態を待って測定を行なった。

また、加熱箱内風速は $0.3 \sim 0.6 \text{ m/sec}$ 、冷却箱内風速は $1.8 \sim 3.5 \text{ m/sec}$ であった。

(c) 供試体

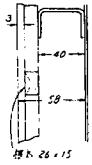
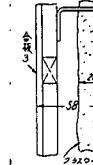
供試体には、実物大供試体による熱貫流率測定（1.2.1 項）に用いたものの縮尺模型と、理論計算結果との対比を行なうための均質単層壁との 2 種類計 5 個を用いた。

- (i) 合板 厚さ 9 mm 5 ブライ } 単層壁
 (ii) 硬質石綿板 タ 22 mm フレキシブル板張り }
 (iii) T-3 鋼板に合板内張り
 (iv) T-5 グラスウール防熱鋼板(スティーフナ露出) } 縮尺複合壁
 (v) T-9 タ に合板内張り

(d) 実験結果

実験結果は表1.3に示すとおりである。

表 1.3

供試体符号	合板	硬質石綿板	T-3	T-5	T-9
断面図					
定常状態	Q 258 θ_H 56.7 t_H 45.6 t_C 18.9 θ_C 14.2	258 62.3 53.7 11.6 8.4	68.8 35.0 32.0 12.0 10.0	258 48.0 35.5 — 8.0	120.4 68.5 64.5 11.0 9.5
初期状態	Q' 344 θ_H 18.2 t_H 45.5 t_C 18.5 θ_C 15.8	344 13.2 46.7 10.7 12.0	344 10.6 68.0 13.5 9.00	344 19.6 41.2 — —	172 7.6 71.0 11.0 —
最高値	Q' 344 θ_H 18.2 t_H 45.5 t_C 18.5 θ_C 15.8	344 13.2 46.7 10.7 12.0	344 10.6 68.0 13.5 9.00	344 19.6 41.2 — —	172 7.6 71.0 11.0 —
低減状態	Q' 344 θ_H 18.2 t_H 45.5 t_C 18.5 θ_C 15.8	344 13.2 46.7 10.7 12.0	344 10.6 68.0 13.5 9.00	344 19.6 41.2 — —	172 7.6 71.0 11.0 —
標準状態	Q' 344 θ_H 18.2 t_H 45.5 t_C 18.5 θ_C 15.8	344 13.2 46.7 10.7 12.0	344 10.6 68.0 13.5 9.00	344 19.6 41.2 — —	172 7.6 71.0 11.0 —
P	0.53 4.4	0.38 1.3	0.31 3.0	0.57 6.7	0.44 —
Γ					

上表中で使用した記号の説明は次のとおりである。

θ_H : 加熱箱内温度 (°C)

K : $Q/S(\theta_H - \theta_C)$ Kcal/m²h°C

θ_C : 冷却 " "

C : $Q/S(t_H - t_C)$ "

t_H : 加熱表面温度 (°C)

α_H : $Q/S(\theta_H - t_H)$ "

t_C : 冷却 " "

α_C : $Q/S(t_C - \theta_C)$ "

Q : 発生熱量 (Kcal/m²h)

P : Q'_{max}/Q 減少率

Q' : 貫流 " "

Γ : 位相のおくれ (min)

(e) 検討

定常状態で熱貫流率Kを比較すると、T-3, T-9が最も防熱性に優れ、T-5が最も劣る。また

周期的状態で減少率Pを比較すると、やはりT-3, T-9が最も小さく防熱性が大きいことを示している。硬質石綿板は定常状態では熱貫流率はそれ程優れていないが、周期的状態では減少率および位相のおくれ Γ が大きく、熱容量が大きいために非定常時の防熱性が優れていることを示す。

装置の特性のため、表面熱伝達率 α_{ff} , α_0 が一般に大きいが、これは供試体寸法が小さいこと、冷却側風速が大きいこと等が原因と考えられる。

定常状態の場合、この表面熱伝達を実情に合うよう補正するため、次式により熱コンダクタンスCの実験値を用いて熱貫流率の補正值を求めた。 $\alpha_H=6$, $\alpha_C=20\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ とすれば、補正值は表1.4のとおりになる。

表 1. 4

供 試 体	K (補正) kcal/m ² h°C
合 板	3.1
硬質石綿板	2.6
T 3	2.0
T 5	—
T 9	1.5

この結果を 1.2.1 項の実物大供試体による熱貫流率測定結果と比較すると、T-3 は低く、T-9 は高い。空気層を含まない供試体であれば、熱コンダクタンスは縮尺に逆比例し、縮尺模型の熱貫流率は実物大のそれより大となるはずであるが、一方空気層の影響は、層内の対流のため厚さが小さい程熱貫流率は小となる。従って T-3 のように空気層以外に防熱材料が少ない構造では空気層の影響が大きく、T-9 のように防熱材を主とするものでは空気層の影響より防熱材の効果が大きく現われたと認められる。

非定常周期的状態の場合の貫流熱実測値を前田氏⁶⁾の理論値と比較してみる。温度伝導率 a , 热伝導率 λ , 热伝達率 α 等を一定とし, 厚さ d の平面単層壁の外側の気温の気流を $\cos 2\pi t/T$, 内側気温を 0 とした場合に, 内面を貫流する熱量 Q' の理論値は

となる。ここに k , Γ 等は $\lambda\sqrt{\pi}/aT$, $d\sqrt{\pi}/aT$ の関数として計算図表より求められる。

周期加熱時の加熱温度 θ_H はほぼ sine 曲線をなしていると認められ、また冷却箱気温 θ_C はほとんど一定であるから、単層壁の合板、硬質石綿板供試体について検討を加える。各材料の λ 、 a の値は表 1.5 に示す値が妥当と思われる所以、これを用いると、 k 、 Γ はそれぞれ表のとおりとなる。 k にさらに温度振幅 ($\theta_H \text{ max} - \theta_H \text{ min}$) と、両面温度差 ($\theta_H - \theta_C$) による定常熱流を加えれば、

$$Q' = K (\bar{\theta}_H - \theta_C) \pm k (\theta_H \text{ max} - \theta_H \text{ min}) \dots \dots (1.7)$$

より貫流熱の最大、最小値が求められる。ただし、 $\bar{\theta}_{II}$ は加熱箱内の平均温度であり、K は実測値を用いた。

* 前田敏男 伝熱学(建築学大系8) 1955 p.297

表1.5

	合板	硬質石綿板
d m	0.009	0.022
λ Kcal/mh °C	0.13	0.074
a m ² /h	8×10^{-4}	7×10^{-4}
$d/\pi/aT$	0.56	1.6
$\lambda/\pi/aT$ Kcal/m ² h	8.2	5.0
k Kcal/m ² h	3.2	1.08
Γ deg(min)	-3.2(5.3)	-8.2(13.7)
Q' Kcal/m ² h	18.9~12.3	23.7~8.1
実測値		
Γ min	4.4	1.5
Q' Kcal/m ² h	18.2~15.8	13.2~12.0

表1.5の理論値と実測値とを比較してみると、合板供試体では比較的よく合っているが、硬質石綿板では位相のおくれはよく合っているが、貫流熱の値はかなりの差が生じた。この原因は供試体の熱容量に比して周期が適当でなかったこと、また、硬質石綿板の両面にフレキシブル板が張ってあるため、厳重な意味の単層壁でなかったこと等によると思われる。

(f) 結論

(i) 複合壁3種の防熱性を比較するとT-9が最も優れ、T-5が最も劣る。また、硬質石綿板は特に非定常時の防熱性が優れている。

(ii) 従って周期的熱流に対する防熱対策としては、熱容量の大きい材料で内張りを行い、ステンレス等を露出させてはならない。

(iii) 周期的熱貫流量の実験値を理論値と比較した結果、大体一致することを認めたが、定量的にはまだ不十分であり、実験値を実際の暖冷房設計に利用できるまでには多くの困難があると思われる。

(iv) 定常状態の熱貫流の Scale Effectについて検討を加え、防熱材と空気層の効果による差異の大体の傾向を求めることができた。

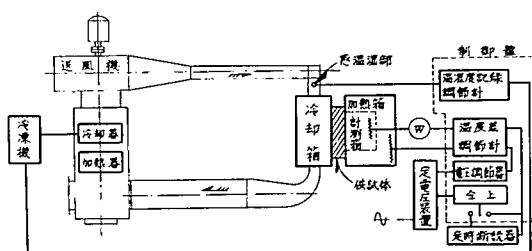


図 1.4 装置全体図

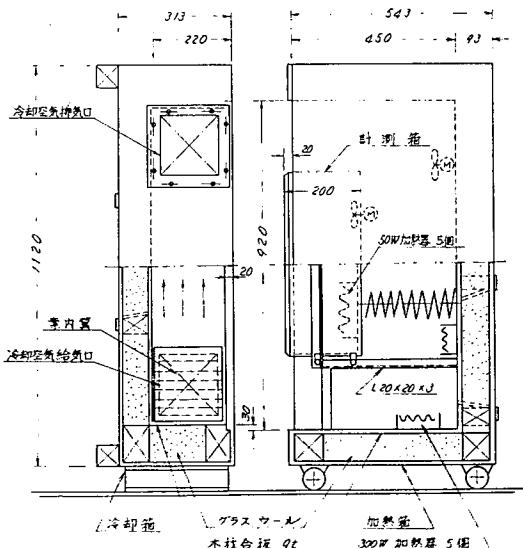


図 1.5 装置詳細図

1.3 実船試験

1.3.1 目的および方針

実船試験の目的は、外界気象条件あるいは船内発生熱源の実態を調査するとともに、周壁の伝熱負荷を調査して、前記供試体試験結果との対比を行ない、併せて船内環境全般を調査し、本研究の総合的取締めとすることにある。

そのためには、熱負荷の条件がなるべく苛酷な航路で試験を行なう必要があり、また気象条件のことであるから、短期間では十分な条件に遭遇する機会が少なく、実験期間は長ければ長い程よい。従来の実験資料によれば、夏季、冬季についてそれぞれ1か月の連続計測が理想的と考えられた。

計測事項としては、気象または船内の熱負荷によって最も影響を受ける区画について、少なくとも10か所以上で、気温、湿度、壁または甲板の表面温度、貫流熱を計測する必要があり、この他に最も大きな熱負荷となる日射量および対船風向風速を計ることが望ましいと考えられた。一方、計測要員としては経費、船室の状況よりみて、1名程度で実験を行なわなければならないと考えられる。

従って計測装置は完全自動記録方式とし、集中監視できるものでなければならぬ。計測位置は曝露甲板から機関室におよび、容易に接近できない場所もあるため、計測員が携帯型計器を携行して定時に順次に計測位置を巡回読取るような方法は実行不可能と考えられた。

1. 3. 2 実験船要目および航路

実験船には航海訓練所練習船「銀河丸」が選ばれ、昭和40年9月中旬より10月上旬にかけての入渠中に実験装置の計装工事を行なった。本船主要目を表1.6に示す。本船は同年10月13日東京出港、11月5日ニュージーランド・オークランド着、13日同出発、12月6日無事計測を終えて東京に帰港した。全航程約9,600海里、航海日数48日間であった、航路概要を図1.6に、気象概要を表1.7に示した。

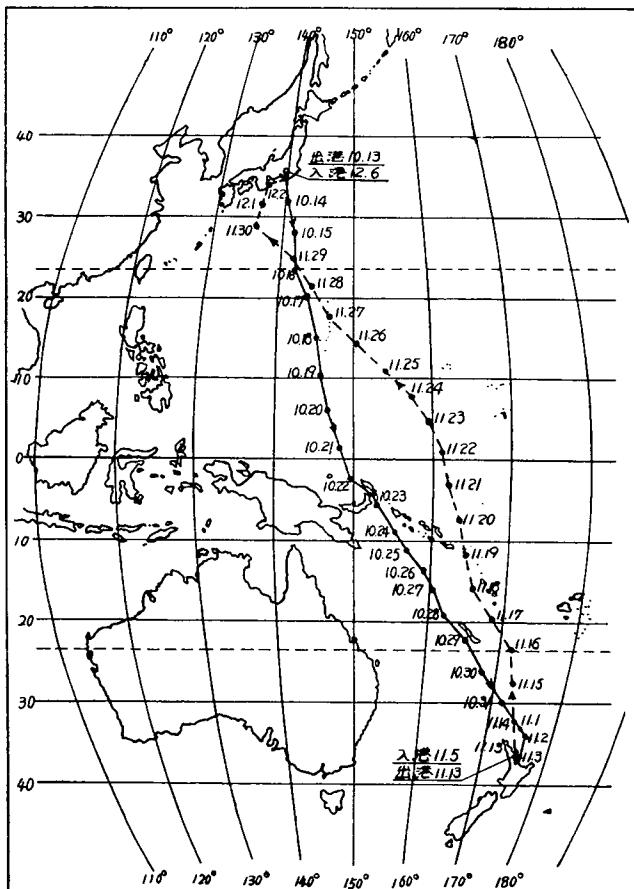


表1.6 銀河丸要目

Lpp	92,000m
B	14,000 "
D	7,400t
d	5,100t
GT	3,171T
NT	1,140t
DW	2,080t
主機	2,100 ps × 200 rpm MAN
速力	定格 14.12 kt, 航海 12.0kt

図1.6 実験船航路図

表1.7 航路気象概要

〔時刻修正値、総日射量以外の数値は正午におけるもの〕

月 日	船 位		針 路 (deg)	船 速 (kt)	風 向	風 力	氣 圧 (mB)	天 気	氣 温 (°C)	湿 度 (%)	海 氷 (%)	波 浪 (m)	時 刻 修正値 (min)	総 日 射 量 (kcal/m²day)
	N	E												
10-14	32°0'1'	140°34'1'	167	10.0	ESE	4	1019.0	b c	23.5	62	23.4	4	+36	5430
15	27-54	141-56	167	10.0	N	2	1014.0	b c	26.5	70	23.5	3	+6	3970
16	23-26	140-26	170	10.0	NNE	6	1009.0	b c	26.0	80	24.0	6	+3	4820
17	20-09	144-19	170	10.0	NW	5	1004.5	b c	28.5	88	27.0	5	+9	5010
18	14-53	145-25	180	10.3	WNW	3	1007.5	b c	29.0	68	28.0	2	+3	5060
19	10-31	145-55	171	10.0	WSW	5	1009.5	c	28.0	75	28.5	5	+3	4560
20	06-08	146-49	172	10.5	SE	2	1011.0	b	29.5	73	30.0	1	+3	6180
21	01-39	148-20	159	10.0	ESE	2	1011.0	b	30.5	67	29.0	2	+5	6180
22	02-3 6(S)	150-00	122	9.3	SE	3	1010.0	b	30.0	72	29.5	3	+9	6320
23	05-2 2(S)	153-08	147	10.0	SSE	4	1011.0	c	29.5	76	28.0	4	+12	5000
24	08-4 5(S)	155-14	147	10.0	S	4	1011.0	b c	28.5	78	27.5	4	+9	5510
25	11-1 8(S)	157-07	147	8.0	SE	6	1011.5	o	27.5	77	27.0	6	+6	4710
26	13-5 0(S)	158-56	142	8.0	SE	5	1012.0	b c	26.5	74	25.5	5	+9	6150
27	16-1 9(S)	160-33	130	7.5	ENE	6	1013.0	b c	26.0	70	24.5	6	+6	6080
28	19-1 4(S)	162-07	143	8.8	ESE	6	1016.5	b c	24.5	72	23.5	6	+6	6790
29	22-3 0(S)	165-07	140	10.8	E	4	1017.0	b c	23.5	75	22.0	4	+12	5540
30	26-0 6(S)	168-08	140	12.0	WNW	2	1016.0	b c	23.5	65	22.5	2	+15	6660
31	29-4 5(S)	171-34	140	12.0	WSW	3	1012.5	b c	19.5	74	19.0	3	+12	6370
11- 1	33-2 0(S)	175-12	140	12.0	NNW	4	1008.0	b	18.5	77	17.0	4	+18	6770
2	34-0 5(S)	175-46	240	7.0	W	7	1001.0	b c	16.5	66	16.0	6	-	5580
3	36-2 1(S)	176-04	140	11.0	S	4	1016.5	b	13.0	58	150	4	-	7350
4	36-0 7(S)	174-57	165	10.8	NW	5	1020.0	c	17.0	55	16.0	2	-	5650
5	—	—	200	—	NNW	2	1016.0	c	19.0	66	16.5	—	—	4150
6	—	—	200	—	NNW	2	1016.0	c	19.5	62	15.0	—	—	4130
7	—	—	200	—	N	3	1008.5	o	19.0	73	16.5	—	—	1970
11	—	—	230	—	N	2	1016.0	c	20.0	71	16.5	—	—	—
12	—	—	230	—	NNW	3	1022.0	b	20.5	58	18.0	—	—	7570
13	36-3 9(S)	174-56	242	10	NNE	6	1016.5	c	18.5	82	16.5	4	—	4260
14	32-1 6(S)	174-03	345	11.3	SW	5	1016.0	b c	18.0	69	18.0	4	-9	7320
15	27-5 0(S)	172-50	345	11.0	S	6	1019.0	b c	19.0	57	21.0	5	-6	7370
16	23-2 3(S)	171-32	343	11.8	SSE	4	1016.5	c	23.5	55	23.5	4	-3	4950
17	19-3 6(S)	168-28	320	12.0	ESE	3	1012.5	b	26.0	70	24.0	3	-12	6780
18	15-5 6(S)	165-22	320	12.0	SSE	3	1011.5	b c	25.0	84	26.0	3	-12	3980
19	11-3 8(S)	164-10	355	12.3	E	5	1009.0	b c	27.0	81	27.5	2	-3	4320
20	07-1 6(S)	163-38	355	10.5	NNW	2	1008.5	b c	29.5	76	29.0	2	-3	5370
21	03-0 8(S)	162-07	340	10.5	NNW	4	1009.0	b c	29.5	72	28.5	3	-6	4790
22	00-4 6(N)	161-00	340	11.3	NE	3	1008.5	b c	29.0	79	28.5	3	-6	4980
23	04-5 2(N)	159-30	340	11.8	ESE	5	1008.0	r	25.0	96	28.5	5	-6	0640
24	08-0 3	155-45	314	11.3	ENE	6	1008.5	b c	28.0	78	28.5	6	-9	3560
25	11-0 4	153-59	314	11.3	ENE	6	1011.5	b o	29.5	73	28.5	6	-15	4420
26	14-1 4	150-21	314	12.0	E	6	1013.5	b c	29.5	74	28.0	5	-15	4870
27	17-3 7	146-56	317	12.0	E	4	1015.0	b	29.5	74	28.0	4	-12	4760
28	21-2 6	144-11	336	11.5	E	5	1015.5	b	28.0	72	27.0	5	-12	4170
29	24-5 2	141-30	310	10.8	NE	2	1017.5	b c	25.5	85	25.5	2	-15	3550
30	28-5 0	135-51	330	12.0	NW	2	1014.0	o	20.0	87	22.0	3	-15	0640
12- 1	31-40	137-09	325	6.5	NNW	6	1016.0	c	15.0	62	21.0	6	-18	1600
2	34-22	137-58	072	12.0	NNW	1	1027.0	c	10.5	60	18.0	1	—	2420
3	—	—	—	—	NE	2	1024.0	b	12.0	63	14.0	—	—	2140
4	—	—	—	—	SSW	6	1013.0	o	15.5	89	13.5	—	—	1050
5	—	—	—	—	NNE	3	1013.5	c	14.0	65	14.0	—	—	1600

表 1.8 計測装置

項目	気温	表面温度	熱流量	水平日射量	風向風速	温湿度
計測点数	24	24	12	1	各1	3
感知部	抵抗測温体 Pt 100 Ω	表面温度計 C-C熱電対	熱流計	エブリー	ヨーシンペーン	乾湿器
変換器	TBX-24-12 タ-タ-6					
No.	1 および 2	3 および 4	5	6	7	8
記録計	記録数 範囲	12打点 -20~+80°C	12打点 -20~+80°C	12打点 -5~+5mV	1 ペン書 0~20mV	2 ペン書 360° 60m/s
	型式	ER 12-10 -23	ER 12-30 -23	ER 12-20	ER 1-30-123	ER 2 p-10 E 734-A
配線	3 C キャプ タイヤ	補償導線	2 C ビニールコード	2 C ビニールコード	8 C キャプ タイヤ	4 C キャプ タイヤ

1.3.3 計測装置

計測装置は集中完全自動記録方式とするほか、次の条件を備えることが必要である。

- (a) 船用として信頼性、耐久性が優れていること。
- (b) 既存船に取付ける上から、容積、重量、使用電力が少なく、運搬取付が容易なこと。
- (c) 保守、取扱が容易で、かつ全計器が統一された仕様であること。例えば計器の目盛幅や、記録紙送り速度が違うと事後の整理解析に非常な手数を要し、また構造、性能の異なる計器では部品の互換性がなく点検調整に誤りをおかしやすい。

以上の方針に従い、各発信器、自記記録装置の種数、測定点数、容量、型式等について種種検討を加えた結果、表1.8に示すものに定めた。記録範囲は文献調査、実験資料等をもととして、統一するよう定められた。

記録装置はできうれば、デジタルの方が望ましいが、信頼性(船用としての実績の不足)、重量および価格の点から結局普通のアナログ型記録計を採用した。記録装置の計器盤は分解組立式であって、450×1,700mm以下、23kg以下のパネル12枚に分割でき、約22kgの計器8台を装架しうるものである。

装置の取付状態を図1.7、表1.9および図1.8~1.9に示す。

数字で示した①~⑩の計測符号は気温測定点であり、⑪~⑯の符号は構造物上でその貫流熱と両面温度を測定した個所を示す。貫流熱はいずれも居室側へ流入するのを正とし、また居室と反対側表面温度は、(ダッシュ)を附した。さらに、⑧、⑩および⑫の各点では湿度計測を行ない⑪~⑯の符号で示した⑪、⑫、⑬、⑭、⑮および⑯は日射を受ける曝露甲板の伝熱調査の計測点であり、おのおの対応する居室で、①、②、⑪、⑦~⑨、⑩および⑬の各気温を測定した。また(c)は賄室⑥の天井に当り、⑪および⑯は機関室(⑩および⑪)の船首端隔壁であって、いずれも船内で最も高温になると予想される個所であり、対応する各室で、①、⑮~⑯および⑭の気温を測定した。⑪および⑯は両舷外板を通して、横方向からの日射または外気温の伝熱計測点である。①は上甲板上の機関室等より遠く離れた個所で、曝

露甲板直下⑦～⑨の室と、その下部区画⑩との間の伝熱計測用である。これらの他に、通路において⑩、⑪、⑫、⑬および⑭またボイラケーシング内で⑮の各気温を測定した。

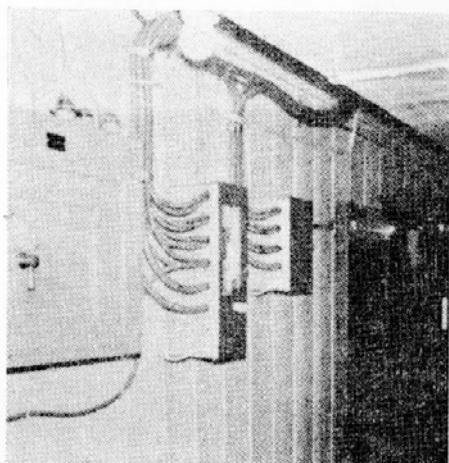
表 1. 9 計測点配置表

気温符号	室 名	貫流熱 符 号	隣接個所			
			方 向	構 造	体	区 画
1	次席 1 等機関室	A	上	ボート	甲板	曝 露
		C	下	遮浪	〃	賄 室⑤
2	客 室	B	上	ボート	〃	曝 露
3	通 路					
4	〃					
5	賄 室					
6	ボイラケーシング内					
7	(上)	E	上	遮浪	甲板	曝 露
8 イ	計測員室(中)	J	下	上	〃	学生室⑭
		H	舷側	外 板		外 気
10	学生室	F	上	遮浪	甲板	曝 露
11	通 路					
12	〃					
13	属員食堂	G	上	遮浪	甲板	曝 露
14	医師室	D	〃	〃		〃
		I	舷側	外 板		外 気
15	(船尾より)					
16	学生室(中央)	L	船尾側	隔 壁		機関室⑭
17	(船首より)					
18	〃	K	〃	〃	〃	(倉庫)⑭
19	通 路					
20 ロ	〃					
21	学生室					
22	機関室					
23	〃 (倉庫)					
24 ハ	外 気(百葉箱)					

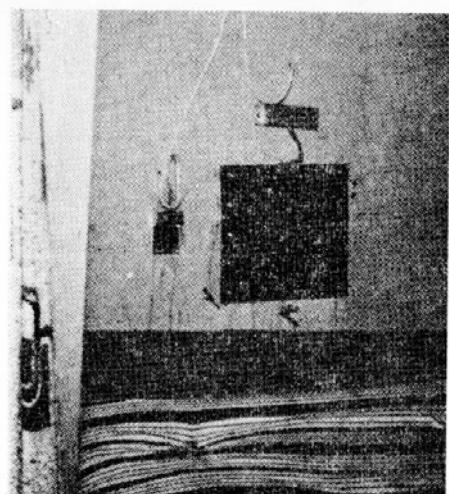
註：イ、ロ、ハは湿度計測点



実船試験用自記温度記録装置



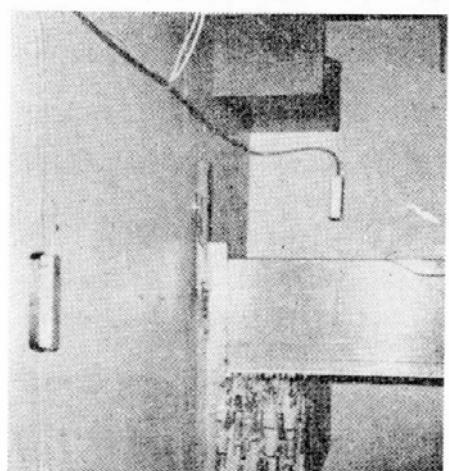
温度変換器、配線の模様



居室に取付けられた熱電対、熱流計

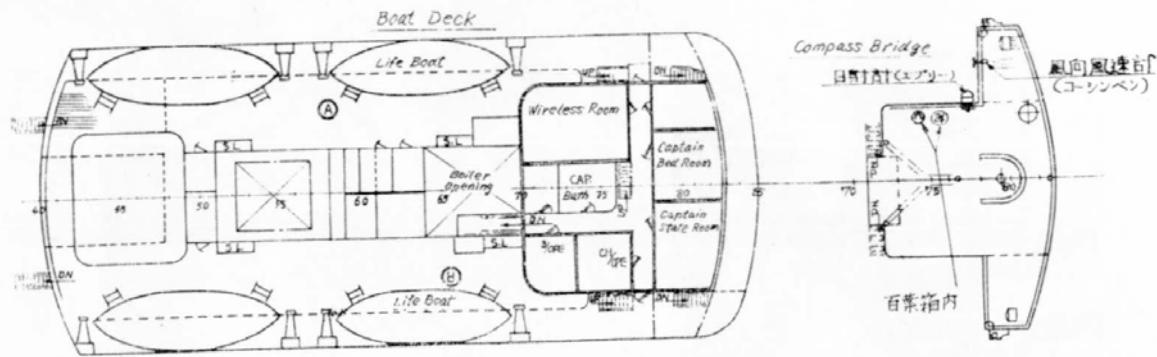


百葉箱、温湿度計、風速計、日射計



抵抗温度計

図 1.7



- 注
 1.符号①～④は抵抗測定体を示す。
 2.符号⑤～⑦は熱流計および熱電対の位置を示す。
 3.符号⑧～⑩は直読型計器を示す。

図1.8 (a) 計測用機器配置図

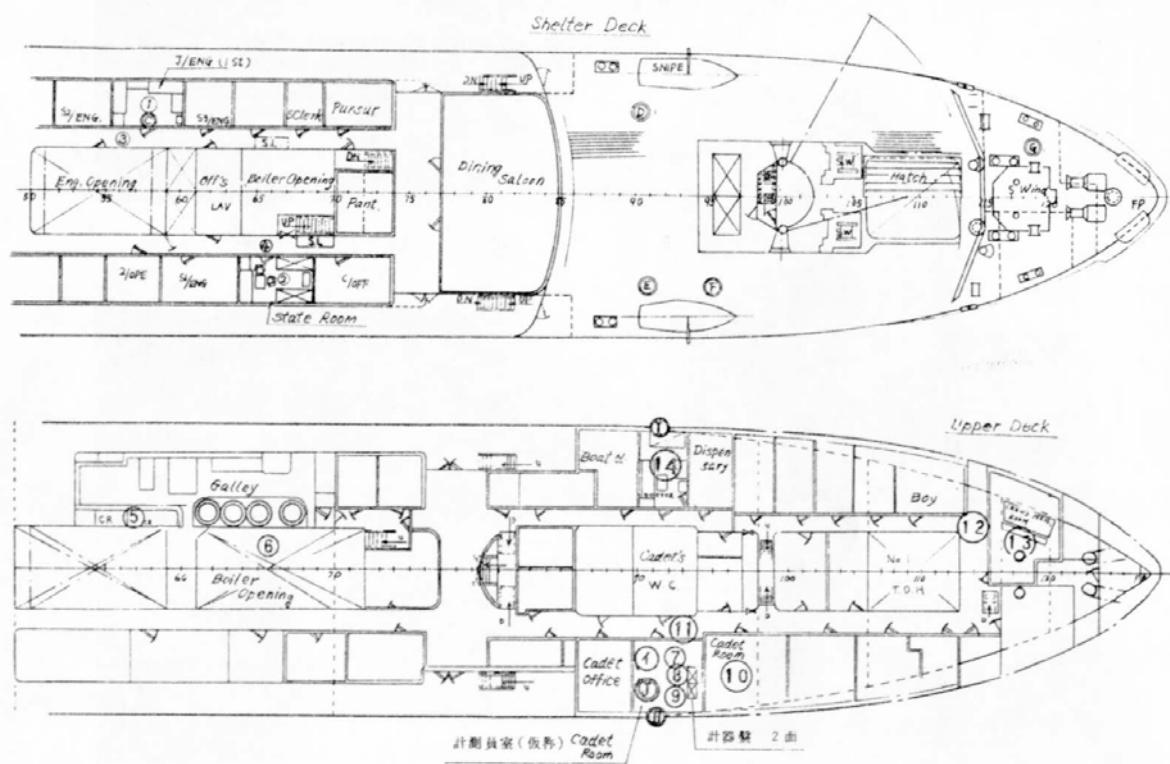


図1.8 (b) 計測用機器配置図 注(F)は計測機器を Dk 裏に取付ける

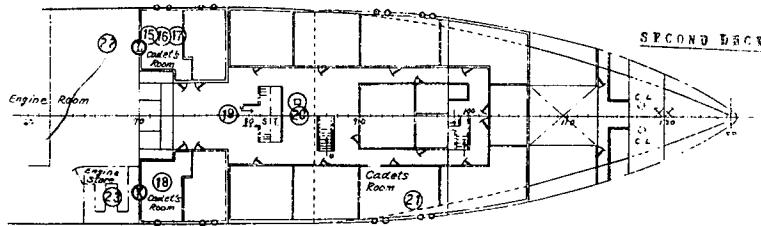


図1.8 (c) 計測用機器配置図

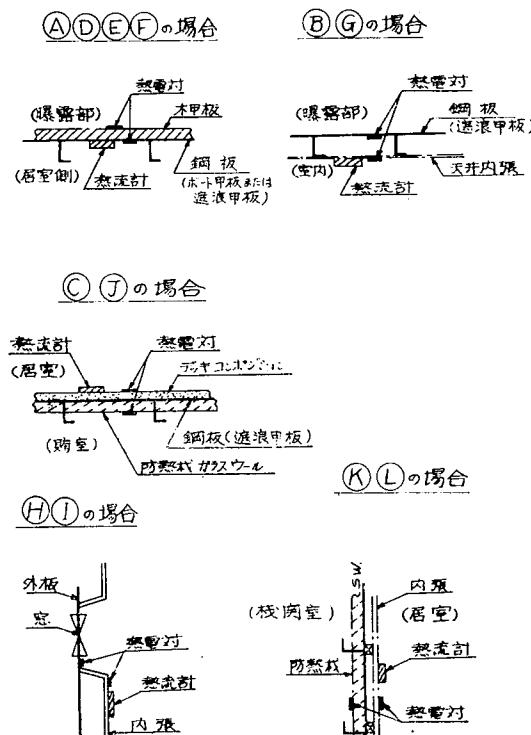


図1.9 热流計、热電対、取付位置の詳細

1. 3. 4 実験結果

(a) 外界気象条件による熱負荷の実態

航海中の毎日の全日射量、日射量最高値および外気気温の最高最低値を図1.10に示した。また参考値として一般居室の平均温度（正午における値）を併せて示す。

まず気温についてみると、赤道を越えて往復した航路のため、外気温は片航海を周期として変動しており、かつ往路ではその最高値が北緯 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ （10月20日頃）に認められるのに対し、復路では南緯 $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$ （11月20日頃）に認められるが明確ではなく、南北 15° 位の範囲ではほとんど変わらない。また最高値そのものも復路の方が低くなっている。

居室の平均気温と外気温とを比較すれば、外気温が上昇する半周期では、室温は比較的外気温に近く

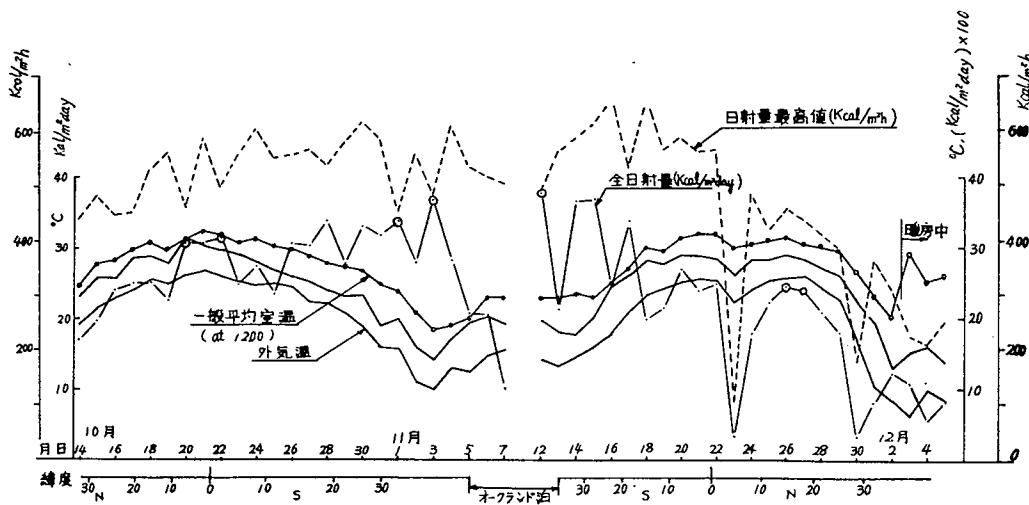


図1.10 外界気象条件による熱負荷 (○印のついた全日射量は終日ほとんど晴だったことを示す)

外気温が下降する半周期ではかなり高くなり、このような長い周期の変化に対しても非定常状態の熱容量によるおくれが認められる。

次に日射量についてみると、毎日の天候状態によって不規則に変動しており、終日ほとんど晴の日(○印)は僅か数日に過ぎない。しかし、終日晴の日の日射量最高値はむしろ低くなっている、これは海上の水蒸気による大気透過率の変化の故と推定される。正午における日射量の値と緯度の関係から大気

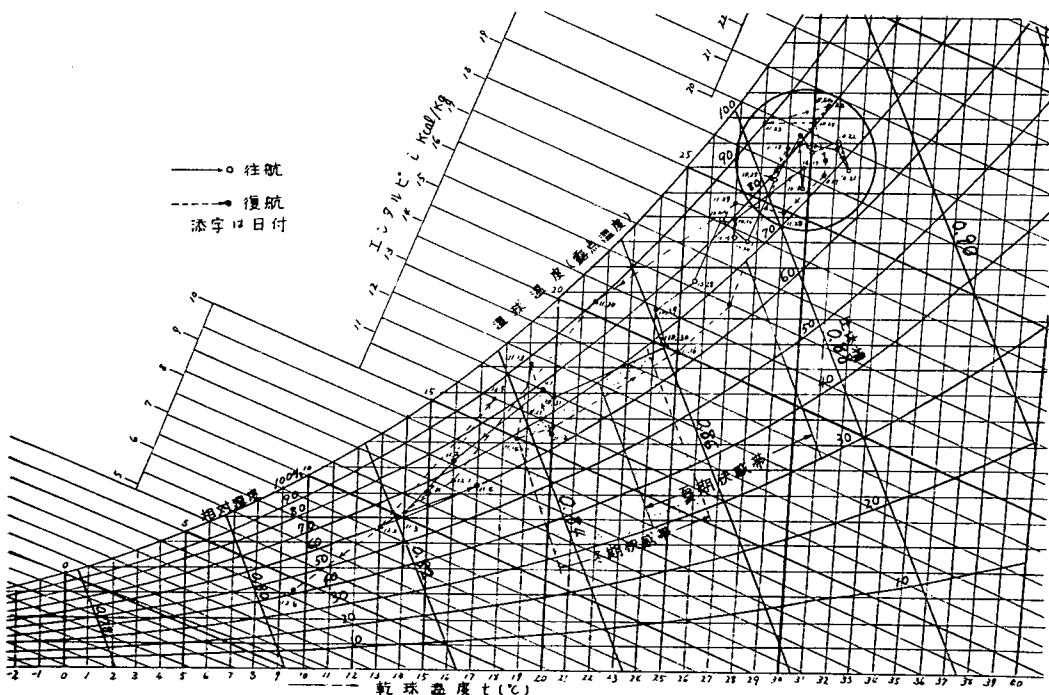


図1.11 外気温条件 (12.00において)

透過率を求めるとき赤道附近では 0.5~0.6 となって予想外に低く、ニュージーランド附近で 0.7 前後である。

図 1. 11 に示したのは、正午における外気の温湿度を空気線図に記入したものである。本実験航路が大変広範囲の温度条件にあったこと、かつ快感帯から外れていること、海上は予想以上に多湿なことを示している。図の右上に円で囲んだ部分は、大体南北の両回帰線内にあった部分に相当しており、この区間は熱帯区域と考えられるので以下の資料でも別に整理した。

(b) 船内の熱源となる室の実態

船内の計測点で最も高温となったのは⑥ボイラーケーシング内であって、次は⑨⑩の機関室である。機関室の中では左舷側の⑨の方がやや高温である。⑤賄室は一時的にかなりの高温になるがその時間は短く他は一般室温と大差がなくなる。図 1. 12 にボイラーケーシングおよび機関室の最高最低気温、賄室の最高気温を示した。ボイラーケーシングおよび機関室内気温は一般居室室温や外気温と相似で変化しているが賄室室温のみは相関関係が認められずその影響は部分的なものと考えられる。

なお、これらの計測値は常識的に考えられる値よりかなり高く、熱源からの輻射の影響を受けているものと思われる。

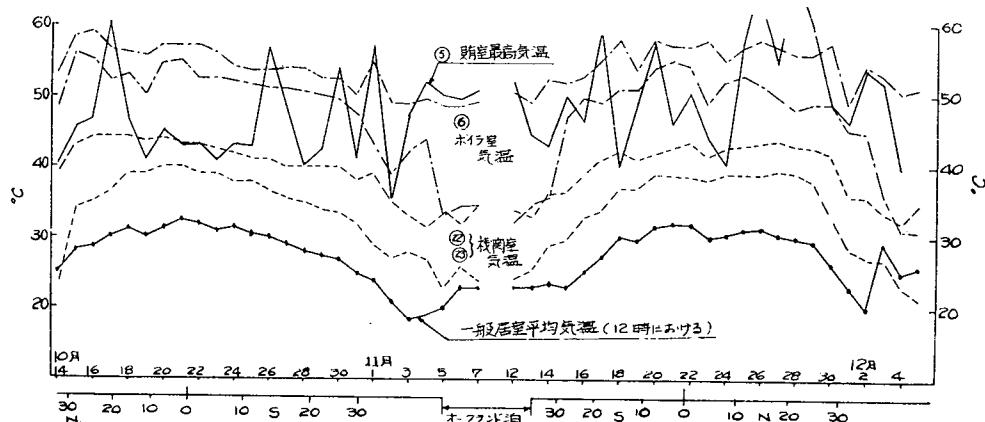


図 1. 12 船内熱源条件

(c) 船内温湿度環境

一般居室の気温の数例を図 1. 13~1. 14 に示した。最も高温となるのは⑩学生室（第2甲板の機関室

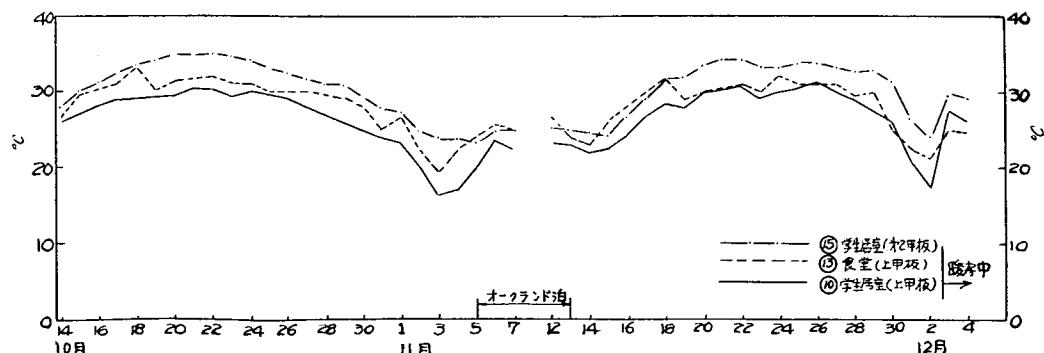


図 1. 13 居室内気温 (at 12.00)

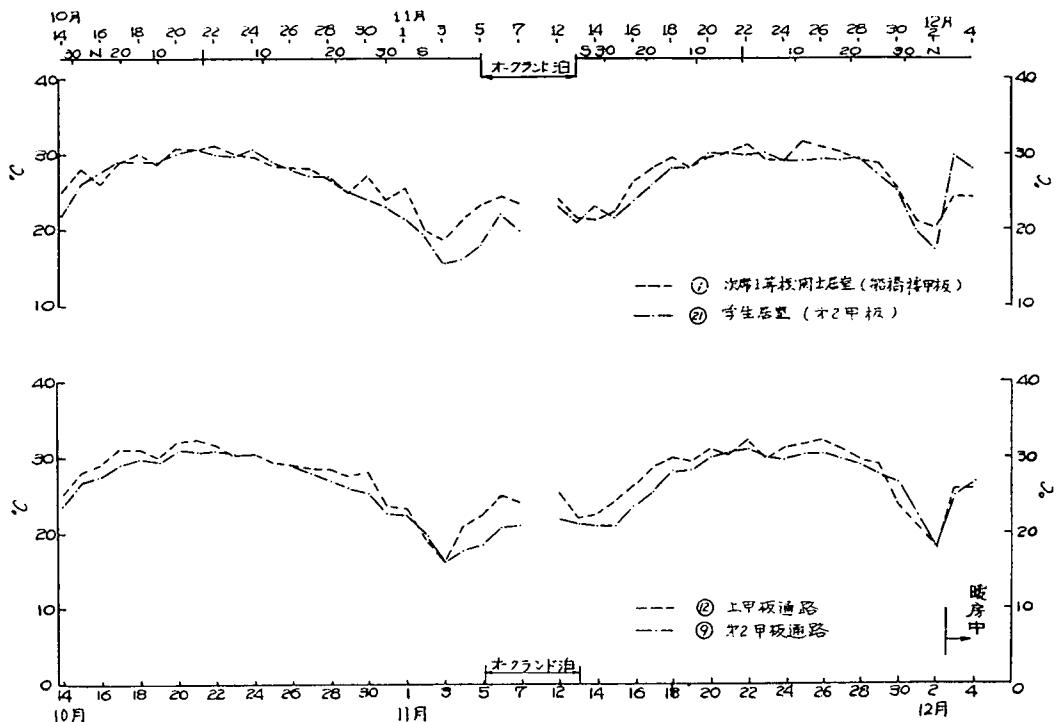


図 1.14 居室, 通路気温 (at 12.00)

に接した室) であって、熱帯域では $34\sim35^{\circ}\text{C}$ に達し、かつ終日ほとんど一定である。同じ室に設けた⑯⑰とはそれぞれ $2\sim4^{\circ}\text{C}$ の差があり、明らかに機関室からの貫流熱の影響と認められる。

最も気温の低いのは同じ第2甲板船首よりの⑫であり、昼間外気温より低くなったのはこれ以外はない。すなわち、熱源となる機関室からは遠くはなれ、また露天甲板から2層目になるので日射等の影響もほとんどないためである。

また① J1/ENG は昼間かなり高温となり (熱帯域では約 35°C)、日射および下部の賄室の影響が認められる。通路の気温⑩, ⑪, ⑬を比較すると上層甲板ほど昼間高温となり、夜間は差がなくなるゆえ、日射の影響と認められる。

熱帯域における終日の温度変化の1例を図1.15に示す。これは往路の北緯 6° 附近におけるものでかつ終日ほとんど雲がなくて Fair な日射量曲線が得られた時の1例である。

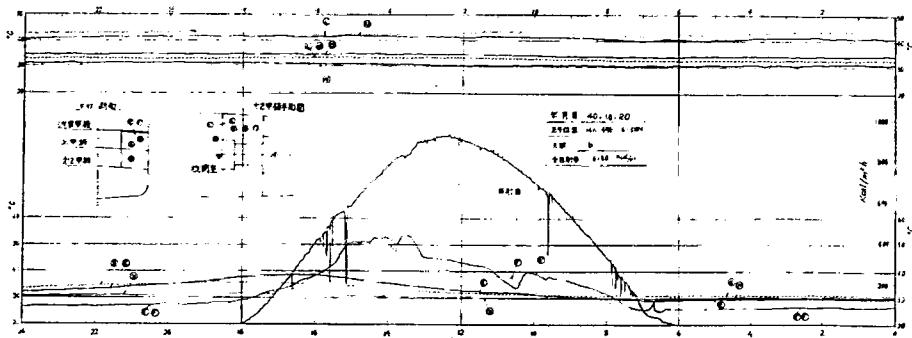


図1.15 計測例

日射量最高時(これは正確には正午のはず)よりおくれて、甲板表面④', ⑤'の最高温度があらわれ、さらにおくれて同甲板下面④, 同区画③, その下部区画②の各温度が次々と最高値を示し、日射の影響が順次減衰しつつおくれて波及してゆく状態を示す。

また図1.15の上段は第2甲板の機関室とその船首側区画の温度を示し、このような下部区画でかつ大熱源に接するところでは、周期変動がほとんど認められないことを示す。

熱帯域温湿度の終日の変化を図1.16に示す。室内気温(露天甲板下の計測室)は外気温より約3hrおくれて17時頃に最高となり、また常に外気温より2.5~5°C高い。

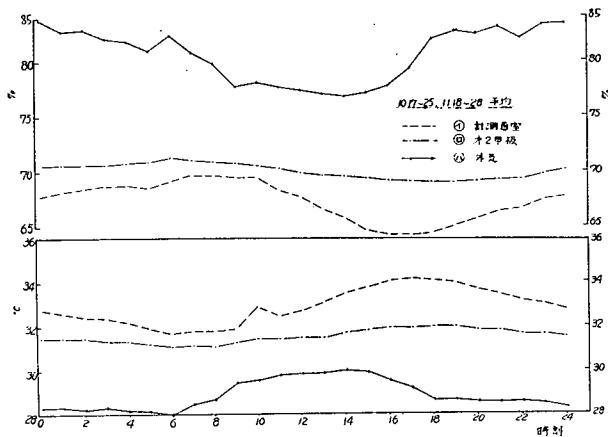


図1.16 热帯域温湿度

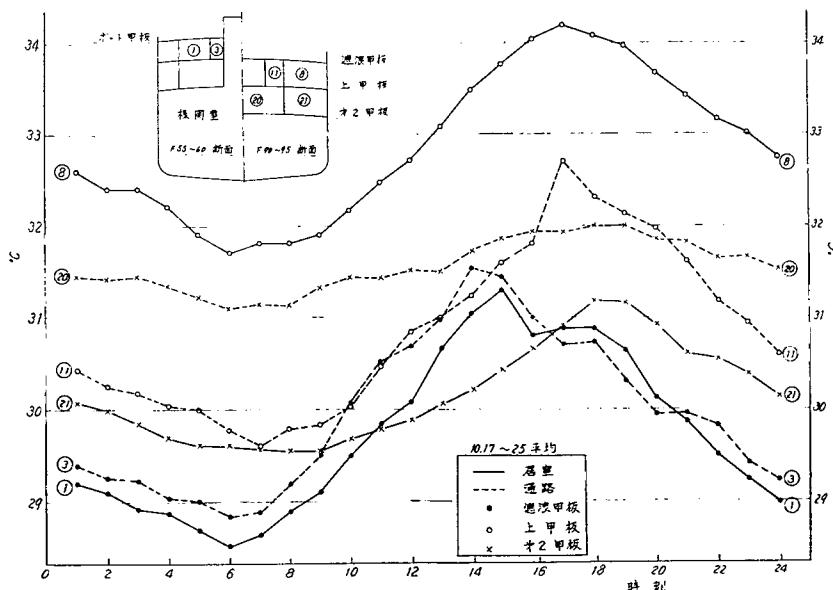


図1.17 热帯域温度变化(その1)

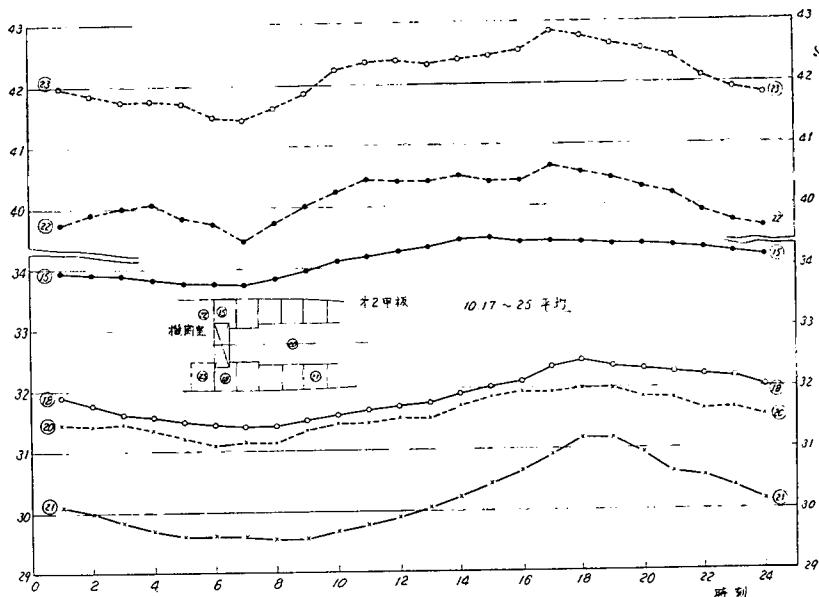


図1.18 热帶域温度変化（その2）

また図1.17および1.18に主な居室および機関室等の終日の気温変化を比較して示した。同一甲板にある居室と通路の気温（①と③, ⑧と⑪, ⑩と⑫）はほぼ相似形で変化しており、その最高値はボート甲板下の①, ③では14.30頃、遮浪甲板下の⑧, ⑪では17.00頃、最下部の⑩, ⑫では18.30頃となっている。同じ曝露甲板下でありながら①, ③の方が⑧, ⑪より最高値時刻が早く、かつ気温も低いのは、ボートや、ケーシングにより日射が遮ぎられること、通風の差等のためと考えられる。また居室と通路を比較すると、通路③はボイラーケーシングからの伝熱のため居室①より高温となり、通路⑫は船尾より機関室からの伝熱のため居室⑫より高温になるが、通路⑪は居室⑧と伝熱状況が同等のため、風通りにより居室より低温になると推定される。最下部の第2甲板における各計測点を比較したものが図1.18であり、いずれの区画でも日較差は1.0~1.5°C以下であって、日射の影響を受ける他区画の2.5~3.0°Cに較べて少なく、かつ機関室に近い程高温になっている。

(d) 甲板および囲壁の伝熱状況

甲板および囲壁の熱貫流については前節までに繰返し述べたが、さらに検討を加える。

囲壁を通しての貫流熱が明らかに認められたのは第2甲板の機関室の船首側隔壁①の部分で、貫流熱測定値はほぼ一定で、約8Kcal/m²hrであり、また両側区画の気温⑫, ⑯の差は平均約6°Cで、熱貫流率は1.3Kcal/m²hr°Cとなる。この隔壁構造は供試体試験のT-16-3, またはT-16-5であるゆえ、本計測結果は極めてよく供試体試験結果と合致した。

他の囲壁、外壁等では貫流熱はほとんど認められず、日射を受ける外舷⑩, ⑪等もほとんど0であった。これは、日射を受ける頻度と時間が短いこと、また日射を強く受けるのは朝夕の太陽高度が低い時であること、外気温も比較的低く、温度差による流出熱と相殺されること、などのためと考えられる。

甲板を貫流する熱量が最も大きいのはやはり日射を受ける露天甲板であり、熱帶域では15~17時頃に

最大値約 25~45Kcal/m²hr に達した。また甲板表面温度の最高値を図 1.19 に示す。全体としては緯

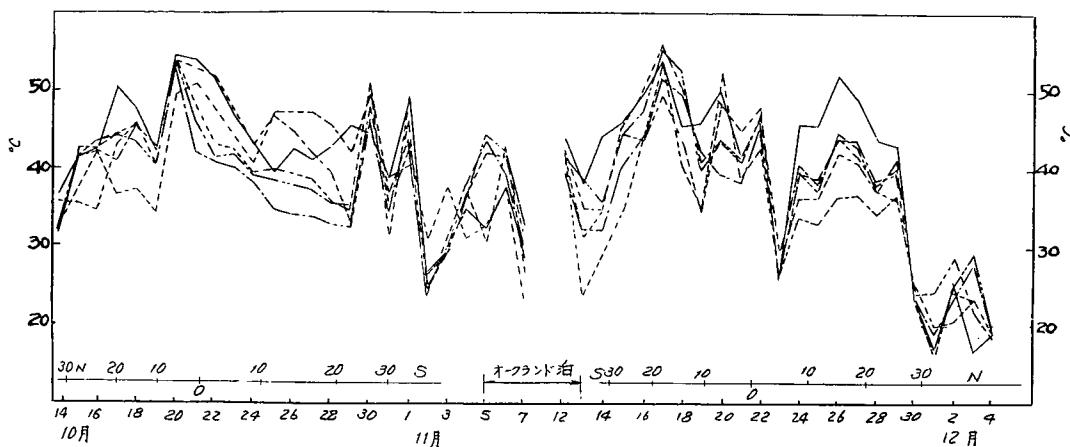


図 1.19 甲板表面最高温度 (D' E' F' G' A' B')

度による周期的変化が認められるが、毎日の日射条件で大きく左右される変動が現われており、また甲板各部でかなり温度差が生ずることが認められる。甲板表面温度は当然日射量で左右されるゆえ、この関係を求めたものが図 1.20 である。横軸には終日の全日射量をとり、縦軸は最高甲板表面温度と最高外気温との差で相当外気温度と考えてよい、この上限を結ぶ線が甲板表面温度の上昇限度と考えられ、大体 1,000 Kcal/m² 当り 5°C 気温より高くなる。全日射量の最大値は約 7,000 Kcal/m²day であるから、甲板温度は気温より最高 35°C 上昇するものと思われる。

露天甲板の構造は 3 種類あるので、そのおののについて防熱性を比較したのが表 1.10 である。甲板の室内側下面温度は④が最も高く②が低い、また時間おくれは④が最少、②が最大であって、④が最も防熱性において劣り、②が優れていることを示す。

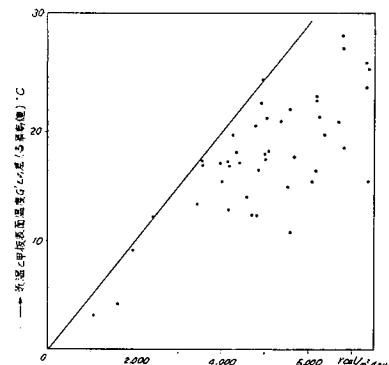


図 1.20 甲板表面上昇温度

表 1.10 甲板防熱性の比較

計測場所	左玄		右玄		左玄		右玄	
	D	B	P	A	V	V	V	V
構造断面								
甲板表面最高温度(°C)	40.2	59.3	39.2	37.7	37.0	37.2		
上時刻					1200~1300			
室内面最高温度(°C)	31.7		30.4		28.1			
上時刻	14.6		15.5		19.8			
温度差(°C)	8.5	8.8	7.0	9.1				
時間おくれ(h)	2.1		3.0		7.3			
室名	部員食堂	船医	学生宿舎	学生宿舎	次席	公	公	室

露天甲板以外で貫流熱が認められたのは貯室天井の(C)であって最大 $20 \text{ Kcal}/\text{m}^2\text{h}$ 程度が計測された。この甲板は供試体試験の T-11 に類似した構造であり、熱貫流率は $0.67 \text{ Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ である。

1. 3. 5 むすび

(a) 本実験航海は赤道を往復して行なわれたため、極めて広範囲の外界気象条件を把握し得、また代表的な熱帶域条件を約 20 日間にわたって計測し得た。海上は予想以上に湿度が高く、いずれの時点でも快感帶とはいえない。

(b) 船内熱源区画としては第 1 にボイラ関係、第 2 に機関室であり、また貯室等も大きな熱源部となる。これらに接した居室は、他の居室に比べてかなり高温となり、さらに定常的に熱が流入するため、防熱対策が重要となる。これらの貫流熱量については供試体試験結果とよく一致する。

(c) 热帶域においては平均室内気温は外気温より $2.5\sim 5^\circ\text{C}$ 高く、曝露甲板直下の居室は日射の影響を強く受けるのが明らかに認められた。

(d) 曝露甲板貫流熱は非定常的ではあるが極めて大きな値を示し、この防熱対策が最も重要である。日射量と甲板面温度上昇値とは比例関係が認められる。

1. 4 むすび

本研究は、船内居住区における環境改善のため、冷暖房設計の基礎となる防熱性について、供試体による室内実験と実船実験を行なったものである。本研究における第 1 の成果は、約 50 種類に及ぶ構造体の熱貫流率を実測し得たことであって、従来このような船体構造物の資料がほとんど皆無であったことを思えば、防熱設計上極めて有効な資料を得たといえる。この結果をもととし、第 3 章に述べる標準仕様を作製することができ、また防護材の伝熱性について解明することができた。第 2 の成果は、実船実験による防熱および環境の総合調査であって、本調査では、計測方法は完全に自動化された画期的なものであり、船体の伝熱経路（防熱重要度の順位）、熱負荷の条件、船内環境、供試体実験との関連性、等について幾多の資料を得た。これらは今後の冷暖房設計において重要な指針となるものと思われる。

第2章 防音に関する研究

2. 1 はしがき

船舶乗組員の船内騒音による精神的、肉体的疲労は船内における作業能率と情報伝達の能力を低下させ、乗組員の心身障害という面のみならず、船舶運航上の安全性という面からも大きな問題となり始めている。従って、船内騒音の防止という問題は、陸上における一般の生活条件の向上と関連した居住環境の改善のみではなく、船舶の安全性ということからも重要なこととなってきた。

船舶には多数の騒音源や振動源があり、その防止対策も多岐にわたっているので、これらすべてに対して問題を提起してそれを解明することは非常に困難なことである。従って、本研究では、多くの騒音防止対策の中から特に重要と考えられた居住区画に対する問題を採択することとした。

船舶に装備されている各種機器の中、最大の騒音源は主機関である。これから生じた騒音は機関室内で拡散し育成され、各種の隔壁や甲板を透過して居住区画に達する。また一方、主機関、推進器系およびその他の振動源から生じた音響域振動は、船殻、隔壁および甲板を伝わって居住区画の隔壁に達し、それを励振させて騒音を放射する。従って、居住区画の騒音防止策に対しては

- (a) 機関室の騒音に関する系統的資料
- (b) 主機関、推進器系その他振動源の音響域振動に関する系統的資料
- (c) 隔壁および甲板を空気音が透過する際の音の減衰量（透過損失）に関する系統的資料
- (d) 空気音の室内における成長に寄与する隔壁構成材の吸音率に関する系統的資料
- (e) 振動の伝達減衰量に関する資料
- (f) 隔壁周辺に振動が加えられたときの隔壁励振特性に関する資料

の必要を生じた。これらの各資料を得て、適切な防音構造方式の確立と、船内騒音分布状態の予知を図るため、現行船舶および将来の船舶に使用されると考えられる壁および床構造の各種供試体試験と、航海中ならびに碇泊中の実船における各種の音響試験および調査研究を行なったものである。

2. 2 供試体試験

2. 2. 1 透過損失ならびに吸音率に関する研究

(a) 目的

船舶居室に対して騒音が空気音として侵入する場合に遮音と吸音が騒音を弱める手法に用いられる。間仕切などで他の空間内の騒音が侵入しないようにまたは他の空間に騒音の害を与えないように遮断する工法に遮音が用いられ、間仕切などの遮音性能は音響透過損失で表わされる。一方吸音は室内の音が室内で反射によって強められたり、室内で発した音が長く尾を引いて響くような現象（残響）が著しく生じないように内装面の反射を少なくする工法に用いられ、その性能は吸音率で表わされる。よって船舶用床、天井構造および壁構造について音響透過損失と吸音率を測定し、空気音に対する騒音防止設計の資料を得ることを目的として本研究を実施した。

(b) 試験設備

音響透過損失と吸音率の測定方法については I. S. O. (International Standardization Organization) によって国際推奨規格が定められている。その規格番号と規格名は次のとおりである。

(i) 音響透過損失

ISO Recommendation R—140—1960

Field and laboratory measurements of airborne and impact sound transmission.

(ii) 残響室法吸音率

ISO Recommendation R—354—1963

Measurement of absorption coefficients in a reverberation room.

これらの規格に準拠して測定を行なうには音響透過損失と吸音率のいずれの場合にも供試体として, 10 m^2 以上が必要となる。この測定の可能な設備が建設省建築研究所に設けられており、図 2.1 の第 1 残響室を用いて吸音率が、そして第 2, 第 3 残響室を用いて透過損失が測定できる。

しかし供試体として 10 m^2 の大きさのものを作る場合には研究費の枠の関係で供試体数が著しく少なくなるので図 2.1 の第 3, 第 4 残響室の間に設けられた $2\text{ m} \times 3\text{ m}$ 大の水平開口に取り付けうる供試体を作り、その内装面を下方に向けて取り付け、第 4 残響室で内装面の残響室法吸音率を測定し、さらに第 3, 第 4 残響室を用いて供試体の透過損失を測定する計画とした。

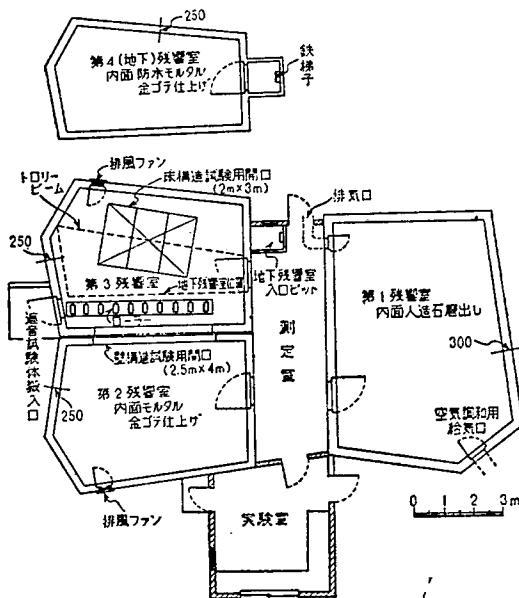


図2.1 建研音響実験施設平面図

(c) 供試体の選択

前項により、 $2\text{ m} \times 3\text{ m}$ の大きさの実物大供試体の測定を行なうこととし、その断面はできる限り応用のきくように実用断面から系統的に改良や変更を加えたもの総計 23 体を作製し、そのすべてについて透過損失を測定し、吸音率は内装面の吸音力の小さいものを除いた 12 体について測定することとした。それらの供試体番号と断面図を図 2.2 に示し、吸音率の測定対象となったものには供試体番号に

アンダーラインを付して示した。

供試体番号	断面図 (供試体寸法 (1950×2950mm))	備考
S - 0 (T-1)		S - 1 と比較してスチーナの影響をみる
S - 1 (T-2)		居住区、天井、室壁
S - 2 (T-5)		居住区、天井、室壁
S - 3 (T-3)		居住区、天井、室壁
S - 4 (T-9)		居住区、天井、室壁
S - 5 (T-9)		居住区、天井、室壁
S - 6 (T-7)		S - 5 と比較して air space の影響をみる
S - 7 (T-7)		居住区、室壁
S - 8 (T-7)		居住区、天井、室壁
S - 9 (T-11)		居住区、天井、室壁

供試体番号	断面図 (供試体寸法 (1950×2950mm))	備考
S - 1 0		居住区天井
S - 1 1		居住区空壁
S - 1 2		機関室、側面空、居住区等天井
S - 1 3		居住区天井および室壁
S - 1 4		居住区天井および室壁
S - 1 5		居住区天井および室壁
S - 1 5'		S - 1 5 の孔明板の穿孔率を変えたもの
S - 1 6		居住区天井および室壁
S - 1 7		居住区天井および室壁
S - 1 7'		居住区天井および室壁
S - 1 8		居住区間仕切、内張り材
S - 1 9		居住区居室入口扉
S - 2 0		居住区間仕切

注 供試体番号欄でアンダーラインを施したもののは吸音率と透過損失の両方を測定したものの、他の透過損失のみの測定に用いられた供試体を示す

図 2.2 防音構造供試体

(d) 試験方法

試験は(b)項の ISO 規格に準じて行なわれているので細目は除き、本項では試験方法の原理と使用計測器などについて述べる。

(i) 透過損失の試験方法

図 2.1 の第 3, 第 4 残響室を仕切る床板構造に設けられた開口に供試体を取りつけ, 四周の隙間を油粘土で閉じた後, 第 3 残響室内のスピーカから $1/3$ オクターブ幅のバンドノイズを定常的に発振させる。音波は第 3 残響室内で拡散して供試体に入射し, 供試体を透過した音波は第 4 残響室内で拡散する。第 3, 第 4 残響室内で拡散して定常となったときの音圧レベルを, それぞれの室内に置かれたマイクロホンで受け, $1/3$ オクターブ分析器で測定したものをそれぞれ L_A , L_B (dB) とし, かつその供試体の取り付けられたときの第 4 残響室内の同じ $1/3$ オクターブ帯域に関する残響時間の測定値からえられた吸音力を A (m^2) とし供試体の面積を S (m^2) とすれば, その $1/3$ オクターブ帯域に関する透過損失 TL は次式で算定される。

1供試体について $\frac{1}{3}$ オクターブ帯域の中心周波数で 100 c/s より 6,400 c/s まで 19 個の TL の測定値を求め、TL 値の周波数特性を求める計画とした。

(ii) 吸音率の試験方法

第4残響室に供試体の測定すべき内装面があらわれているとき、第4残響室内のスピーカから $\frac{1}{3}$ オクターブ幅のバンドノイズを発振し、音源を停止した後の室内音圧レベルの時間変化を室内に置かれたコンデンサーマイクロホンで受け、 $\frac{1}{3}$ オクターブフィルタを経てレベルレコーダに導いて記録させ、これから残響時間 T (sec) (音圧レベルで 60 dB 減衰するのに要する時間) を求め、第4残響室の容積を V (m^3) とすれば Sabine の残響公式により室内吸音力 A (m^2) は次式で求められる。,

一方供試体用開口がモルタル金ゴテ仕上面で閉じられているとき、同様の方法で求めた吸音力を A_0 (m^2) とすれば内装面に関する吸音率は近似的に次のような式となる。

ただし、 S は供試体（内装面）の面積 (m^2) である。

吸音率の場合には第4残響室の室容積などとの関係で、測定周波数は1/3オクターブ間隔に原則として中心周波数で 125 c/s～3,200 c/s の 15 の測定値から周波数特性を求ることとした。

(e) 試験結果とその検討

(i) 透過損失の試験結果

透過損失の試験結果を図 2.3~2.13 に取り纏めた。

これらによって次の事項が明らかである。

(イ) 鋼板単層体では質量則とコインシデンスの低下とで周波数特性が説明できる。質量則は一体振動によって対抗する遮音層の透過損失が、その面密度による慣性で定まるこことを示すもので、実用上は

$$TL = TL_0 - 10 \log_{10} [0.23 TL_0] \quad \text{(dB)} \quad (2.4)$$

ただし、TL：任意入射波に関する透過損失 (dB)

TL_0 : 垂直入射波に関する透過損失 (dB)

f：音波の周波数 (c/s)

M : 遮音層の面密度 (kg/m²)

となり、TL 値が周波数の 2 倍になるごとに約 5 dB 上昇するような直線的性質（周波数軸が対数目盛の場合）を示す。実測例（S-0：平板、S-1：ステイフナ付、S-7：コルゲート）においては、その面密度は約 37 kg/m^2 であるから、 $f = 500 \text{ c/s}$ の場合に理論値 33 dB に対して実測値（図 2.3）では 31~33 dB となってほぼ合致している。図 2.3 の高音域における低下はコインシデンスの低下を示すもので、遮音層の面上を横波の形で伝搬する屈曲波の性質は遮音層の持つ剛性と慣性で定まるが、これと音波が擦過入射するときの疎密の繰返しの波動の位相と一致すると遮音層を撓み方向に大きく振動させることになって透過損失を小さくする現象をいう。この現象は平板の形の遮音層では次の限界周波数 f_c 以上の高音域で生ずることが理論的に導びかれている。

$$f_C = \frac{c^2}{2\pi t} \sqrt{\frac{12\rho}{E}} = 6.35 \times 10^8 \times \frac{1}{t} \sqrt{\frac{\rho}{E}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.5)$$

ここで f_c : 限界周波数 (c/s)

ρ : 遮音層の密度 (g/cm³)

E : 遮音層材料のヤング率 (dyne/cm²)

t : 遮音層の厚さ (cm)

c : 音速 (cm/sec)

そして実測例（図 2.3）においても $\rho=7.8$, $t=0.45$, $E=20 \times 10^{11}$ を用いれば $f_c = 3000 \text{ c/s}$ となり、この計算値と一致した位置で実測値の谷型の低下が生じている。ここでステイフナやコルゲートのように部分的に剛性を附与しても平板部分の面積が広いときには f_c は平板部の剛性できまっていることに注意する必要があろう。

なお図 2.5 の S-8 ではデッキコンポジションの重量添加が効果を上げ、しかし剛性増が f_c を低めている。一方同図 S-9 では重量が大きくても中間にはさんだ材料がバネ材として働いて共鳴通過現象を生じ中音域で性能を弱めていることに注意が必要である。この種のパネルには質量則を適用することができない。

(b) 軽量内装板をとりつけたことの効果は、空気層を厚く（150 mm 程度）とすれば、5 dB 程度全般的に TL 値を上昇させる（図 2.6, S-3）。そして内装板の重量が大きければ 10 dB 程度上昇させる（図 2.9, S-12）。このような平行型上昇の原因は、遮音力の主体が鋼板にあって鋼板と内装板の間で振動力が伝達される間の固体伝搬損失がそれに加わっていることによるものと考えられる。軽量内装板で空気層の薄い場合には固体伝搬成分が大となり、かつ、伝搬径路の共鳴振動が加わって内装板を加えたときにかえって TL の低下するような悪影響も見られる（図 2.10, S-14, S-15）。

（iv）多孔質吸音材を鋼板と内装板の間に挿入することによって、グラスウール 50 mm 厚程度のも

※久我新一 “中空パネルならびに発泡材サンドイッチパネルの遮音性”（建築部材の遮音性の研究第3報） 日本建築学会論文報告集 第116号 昭和40年10月

ので、TL 値を全周波数域で 5 dB 程度上昇させることができる(図 2.6 の S-4, 図 2.4 の S-5, S-6, 図 2.7 の S-10, S-11, 図 2.11 の S-16, S-17)。しかし注意すべきことは鋼板と内装板の構造的短絡の著しいものでは多孔質材の効果が現われにくくなることで、これは同様の断面で、S-4 に対して S-10, S-13 が高音域で性能を落していること(T地材の組み方が後者が密), S-14 や S-15 に比して S-16 や S-17 の性能が著しく良いこと(多孔質材挿入により構造的短絡が解かれた)などから知るこができる。

鋼板単体に比して内装板と多孔質材は、それぞれが TL を約 5 dB 上昇させるので、両者を用いれば 10 dB の上昇が可能であるが、構造的短絡を少なくして固体伝搬損失を増す工夫が必要となる。

図 2.4 の S-5 と S-6 の比較から空気層の厚い方が固体伝搬損失を大きくして有利であり、図 2.7 の S-10 と S-11 の比較から多孔質材は軽量な内装板側に施工する方が特に低音域で有利である。

(2) 遮音層には隙間の発生しないように注意が必要である、図 2.13 の S-20 と S-20' の比較では中高音域で、隙間の有無による差が 10 dB に達している。同様に図 2.12 の S-19 と S-19' を比較しても差が生じている、ただしこの場合には扉部分の性能が弱いために間仕切板の性能よりも、かなり低いことに注意が必要であって、遮音層には弱点を作らない調和のとれた組合せの設計が望ましい。

(3) 以上を要約して 500 c/s 近辺の音波に対して鋼板 4.5 mm の持つ遮音性能は約 30 dB であるが、構造的短絡に注意して施工された内装板は 5 dB、これに多孔質材を併用して、さらに 5 dB、合計 40 dB 程度までに遮音性能を高めることができる。内装板を重量のあるものとすれば多孔質材を用いないでも 40 dB が達成できる。鋼板にデッキコンポジションのような重量附加を行ない、かつ内装板に重量のあるものを用いて相互の構造的短絡に注意すれば 50 dB 程度までの断面設計が可能であろう。

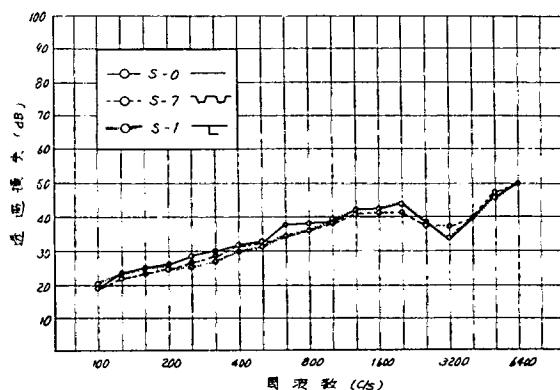


図2.3 計測結果

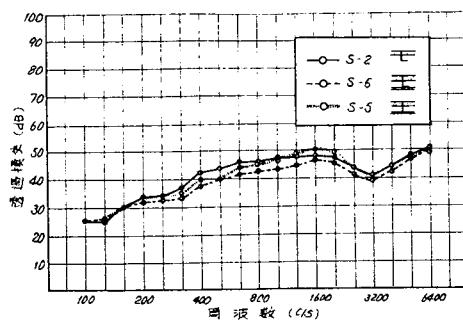


図 2.4 計測結果

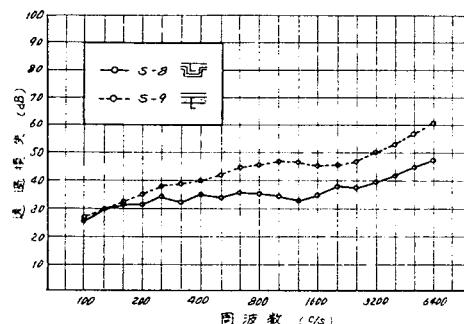


図 2.5 計測結果

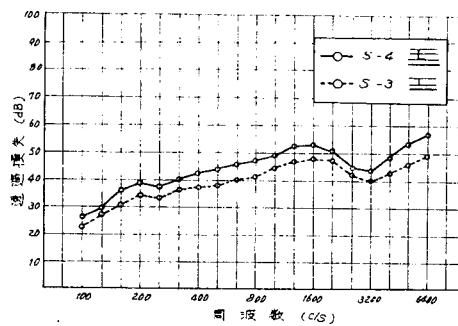


図 2.6 計測結果

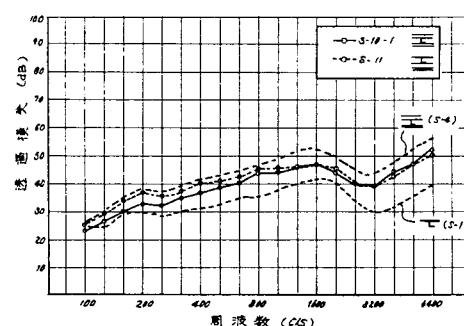


図 2.7 計測結果

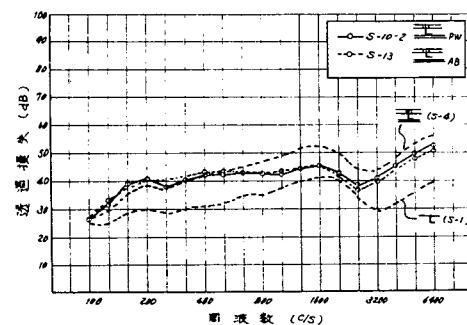


図 2.8 計測結果

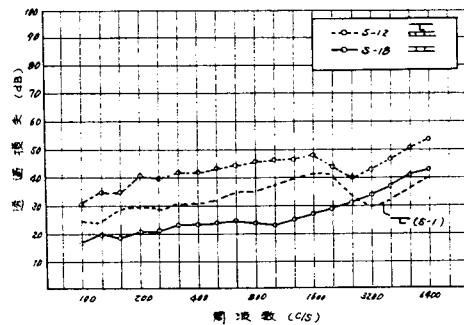


図 2.9 計測結果

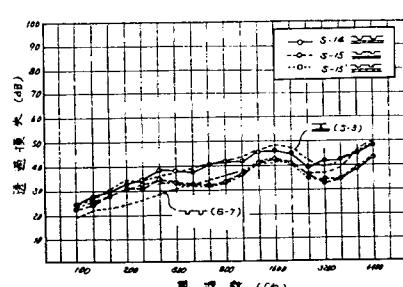


図 2.10 計測結果

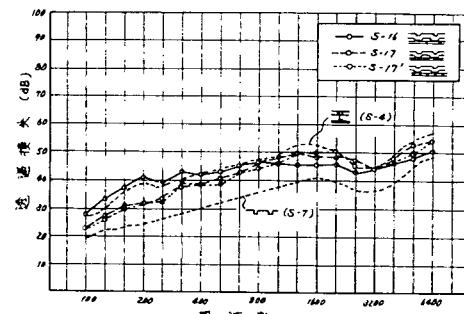


図 2.11 計測結果

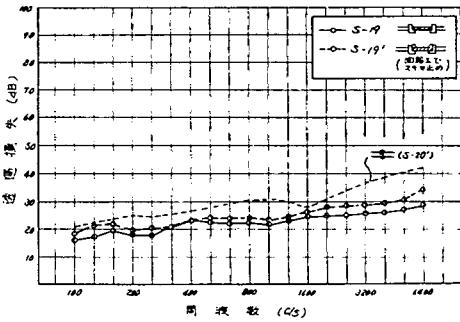


図 2.12 計測結果

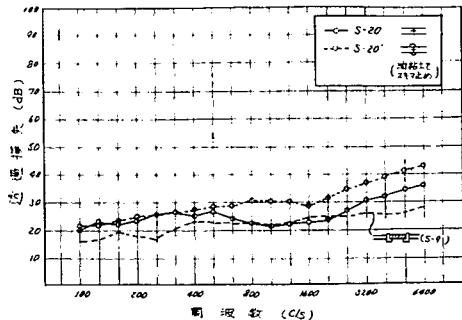


図 2.13 計測結果

(ii) 吸音率の試験結果

残響室法吸音率の試験結果を図 2.14~2.19 に取り纏めた。

試験体の数が少ないが、一般的に既に定説化されている事項を幾つか再確認することができる。

(イ) 多孔質吸音材（グラスウール 50 mm）は剛壁密着の場合、高音域において大きな吸音率が期待できる（図 2.14 S-9），なお剛壁と吸音材の間に空気層をとれば中音域の吸音率を上昇させうるの有利である。しかし通常多孔質材は露出して用いることができない。金アミのように抵抗の少ない（穿孔径の小さい、穿孔面積率の大きい、板厚の薄い）表面材料を用いれば、その有無による吸音特性的変化は小さいが、目のつまったガラスクロスを用いた測定（図 2.14 の S-2）では次項の共鳴吸収機構の形の吸音特性に変移して高音域の吸音率を低下させている。

(b) 共鳴吸収機構で広く用いられているものに穿孔板と空気層の組合せがあり、やや特殊なものとして軽量内装板と空気層の組合せがある。いずれも密閉された空気層が持つ弾力によってその支持している質量（穿孔板の場合は穿孔部内に含まれる円筒形の気柱の質量、内装板の場合は、その質量）に応じて共鳴振動を用意していて、それが音波の入射による圧力変動と一致したとき音のエネルギーが機械的な振動のエネルギーに変換されて吸音効果を生ずる。その前者の例が図 2.18 の S-15, S-15'であり、後者の例が図 2.16 の S-3 であって用意された共鳴周波数を中心として山形の左右対称な曲線を画く。その共鳴周波数は、

ただし c : 音速 (cm/sec) t : 穿孔板の厚さ (cm)

ϕ : 穿孔部の直径 (cm) L: 空気の厚さ (cm)

P : 開口率で直径の ϕ 円孔がピッチ D (cm) であけられているとき $p = \pi\phi^2/4D^2$ である。

内装板で剛性の無視できる場合

ただし m : 内装板の面密度 (kg/m^2) L : 空気層の厚さ (cm) である。

そして図 2.16, 2.18 実測例でも、ほぼこの計算値が満足されているが、そのいずれにおいても吸音

率が小さく、そのままでは実用上の効果は少ないと注意する必要がある。

(イ) 共鳴吸収機構の空気層内に多孔質吸音材を入れることによって共鳴周波数を中心として吸音率を上昇させることができる。図 2.16 の S-3 に対する S-4, 図 2.18 の S-15, 15' に対する図 2.19 の S-17, 17' はその例であって、特に穿孔板の場合に著しい改良の見られることがわかる。穿孔板はこのように多孔質材と組合せて用いることが原則であるが、図 2.15 の S-5 と S-6, 図 2.17 の S-10 と S-11 を比較すると穿孔板に近づけて吸音材を置く方が有利なことがわかる。その位置の方が穿孔部の気柱の振動に対する抵抗として吸音材が能率的に働きうるからである。

(ロ) 室内に必要な吸音力の一般的な形は多孔質吸音材の吸音特性のように特に 500 c/s 以上の高音域の吸音率が高い右上りの曲線が望まれるであろう。しかし、船舶の居室内では別項で示されているよう

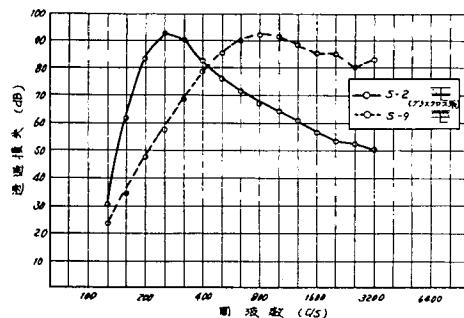


図 2.14 計測結果

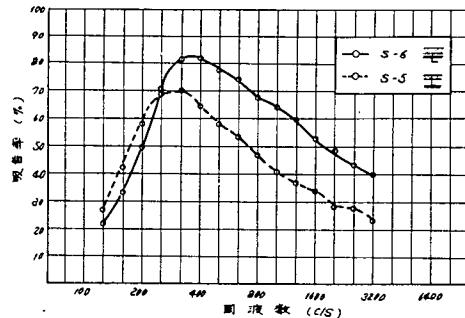


図 2.15 計測結果

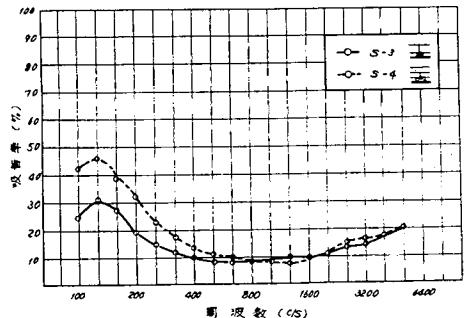


図 2.16 計測結果

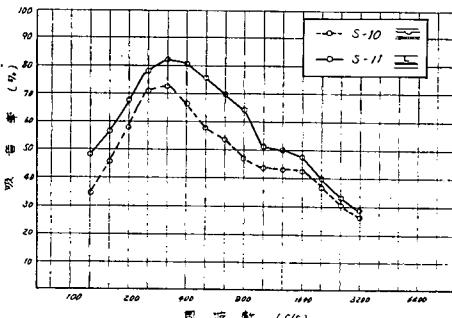


図 2.17 計測結果

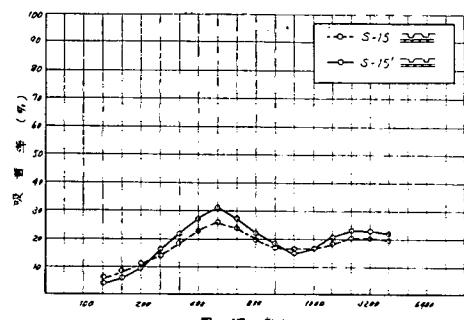


図 2.18 計測結果

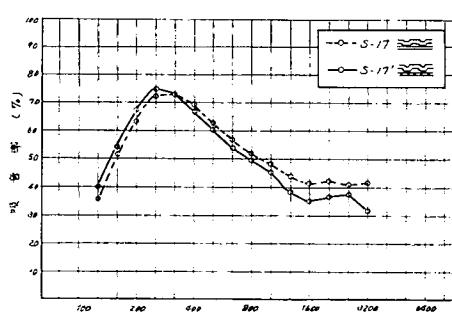


図 2.19 計測結果

に、低音域の振動騒音の影響を避けることにも留意せねばならない。したがって穿孔板と多孔質材と空気層を組合せたような低音域にも大きい吸音率の期待できる吸音処理の応用域が非常に広いと考えられる。

2.2.2 振動特性に関する研究

(a) 目的

船内居住区における騒音の主成分は、船内の各種振動源から伝達される固体音と振動伝達によって生じた囲壁構造体の2次の振動音であることが、実船試験によって判明している。

本研究は、特に居住区囲壁の壁体が、その周辺に振動を受けた時、その励振によって発生する2次の振動音が、壁体の構成状態によっていかに変化するか、また、壁体の振動によって空気中に放射される音が板面の振動速度といかなる関係を有するかを実験的に追求し、船舶の居住区に対する抜本的騒音対策の系統的資料を得るために行なったものである。

(b) 供試体

1.2.1 および 2.2.1 計測終了後の供試体から次の種類を選出した。

- (i) 予備計測用 : V-1 (T-1)
- (ii) 居住区天井、側壁用 : V-4 (T-9), V-5 (T-3), V-6 (T-4), V-11 (S-12)
- (iii) 側壁用 : V-2 (T-2), V-3 (T-5), V-7 (S-7), V-10 (S-16)
- (iv) 間仕切用 : V-12 (S-18)
- (v) 研究用 : V-9, V-13

各供試体には、加振枠に取り付けるため 10ϕ の穴を周辺から 50 mm 内側の線上に 100 mm 間隔にあけた。したがって、供試体の固着寸法は $2860 \text{ mm} \times 1860 \text{ mm}$ となった。

(c) 試験設備

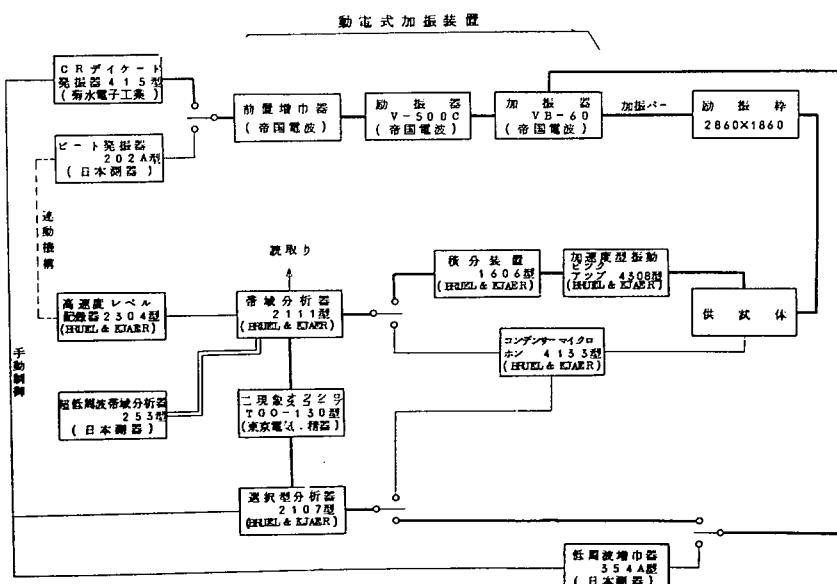


図 2.20 計測ブロックダイヤグラム

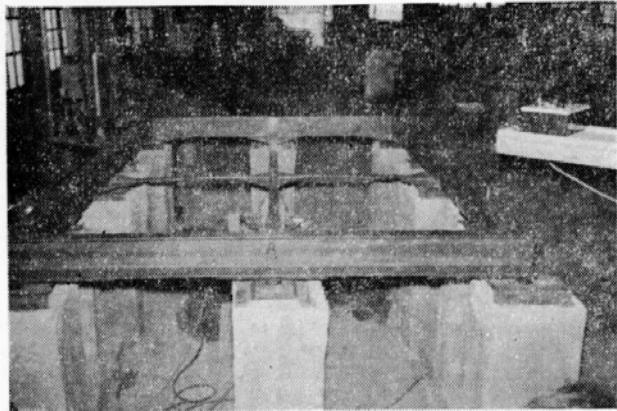


写真 2.1

航行中、船内圍壁周辺に加えられる振動加速度は 0.1g (98 cm/s^2) 以下、その振動数は、主機系 600 c/min 、推進器系 400 c/min 以上と推定されることから、供試体周辺に $600\sim2700 \text{ c/min}$ ($10\sim45 \text{ c/s}$) の振動を加え得る試験用架台を試作し、動電式加振装置を用いて供試体周辺に振動を与えた。

試験用架台を写真 2.1 に、また、計測に使用した計器類と計測プロックダイヤグラムを図 2.20 に示す。

表 2.1 供試体の構成と振動計測点数

供試体番号	構成	計測点数
1 V-1 (T-1)	4.5t 鋼板	26
2 V-2 (T-2)	4.5t 鋼板 + スティーフナ	28
3 V-3 (T-5)	4.5t 鋼板 + 5.0t ガラス綿 (スティーフナ付)	28
4 V-4 (T-9)	4.5t 鋼板 + 5.0t ガラス綿 + 空気層 + 6t 合板 (スティーフナ付)	鋼板 28 合板 33
5 V-5 (T-3)	4.5t 鋼板 + 空気層 + 6t 合板 (スティーフナ付)	鋼板 28 合板 33
6 V-6 (T-4)	4.5t 鋼板 + 3.0t ポリウレタンホーム + 空気層 + 6t 合板 (スティーフナ付)	鋼板 28 合板 33
7 V-7 (S-7)	4.5t コルゲート鋼板 (コルゲート間隔 510mm)	35
8 V-9	4.5t コルゲート鋼板 (コルゲート間隔 880mm)	51
9 V-10 (S-16)	4.5t コルゲート鋼板 + 5.0t ガラス綿 + 6t 合板	鋼板 47 合板 48
10 V-11 (S-12)	4.5t 鋼板 + 空気層 + 3.4t 槍合合板 (スティーフナ付)	鋼板 59 合板 48
11 V-12 (S-18)	4t 合板 + 2.0t 発泡ウレタン + 1.0t 槍合合板	45
12 V-13	スティーフナ補強板 (V-2K 補強)	85

注 V-8 として T-11 のような床用供試体を選出したが共振周波数が高いため、振動増加を生じないと考えて除外した。

(d) 試験方法

(i) 予備試験

供試体周辺に均一な振動を与えるため、加振枠の下面 8か所に数種の弾性係数をもつ防振ゴムを取り付け、加振枠各辺で 7 点ずつ振動計測を行なった。この際の振動数は $10\sim45 \text{ c/s}$, 5 c/s ステップとし、

振動加速度は加振枠十字バー中心点で $1g$ (980 cm/s^2) とした。

(ii) 供試体試験

(1) 振動分布

供試体周辺を、写真 2.2 のように $8\text{mm}\phi$ ボルト・ナットで加振枠に固着し、図 2.21 および表 2.1 に示した供試体板面の各計測点に圧電型振動加速度ピックアップを取り付け(鉄板面は磁石、合板面には $1/8''$

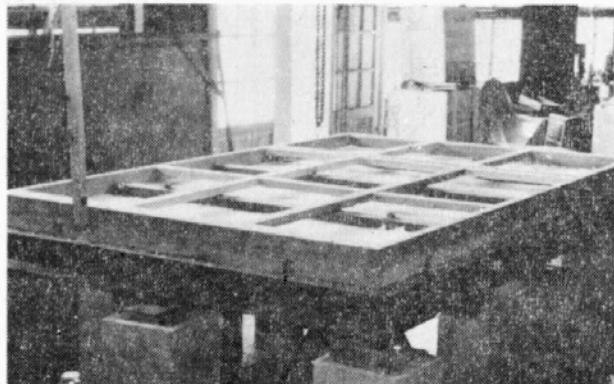


写真 2.2

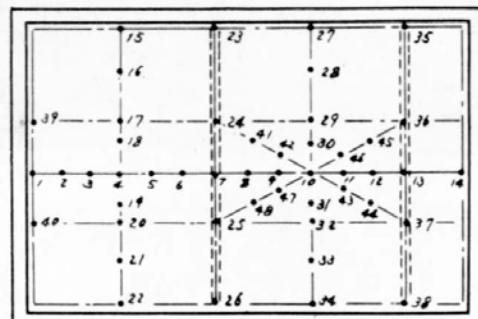


図 2.21(b) 計測点設定例

V-11 合板面

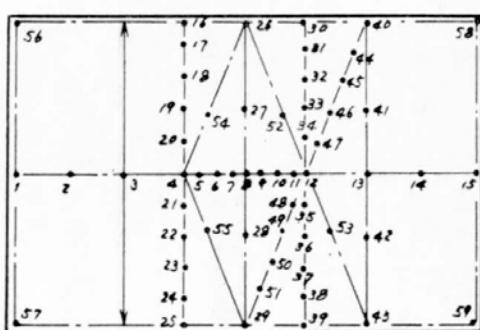


図 2.21(a) 計測点設定例

V-11 鋼板面

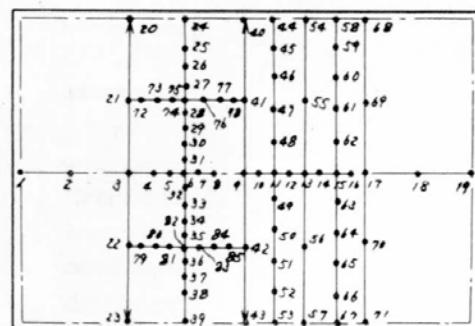


図 2.21(c) 計測点設定例

V-13 補強材 3-9, 54~57 に挿入

ビス止めまたはスコッチ印両面接着テープを用いて結合), 振動数 $10 \sim 45 \text{ c/s}$, 1 c/s ステップ, 振動加速度 $1g$ (加振枠十字バー中心点)を加振枠に与えたときの供試体全面に対する振動分布を測定した。振動計測は、加速度ピックアップからの出力電圧を 1 回積分して速度電圧とし、音響レベル OdB に相当する空気粒子の振動速度 ($1 \text{ 気圧 } 20^\circ\text{C}$) $4.8 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ を基準として、それらの比の対数の 10 倍で表わした振動速度レベル Lv (dB) で行なった。この Lv 値は、放射率 100% とした時の放射音の音圧レベルと見なし得るものである。

(c) 振動面の放射音

供試体の振動によって放射される音の音圧レベル L_s 値と振動面の振動速度レベル Lv 値との差から、放射音を決定する際に用いられる放射率を求めるため、供試体板面の最大振動点上 $10, 100, 300, 600, 1100 \text{ mm}$ 離れた位置にコンデンサマイクロホンを設け、板面の振動速度レベルと放射音圧レベルを同時計測した。

(e) 試験結果とその検討

(i) 予備試験

加振枠の長辺および短辺の基本振動数は、両端支持で計算すると 58.4 c/s, 13.76 c/s となり、いづれも試験時の加振振動数より高い。従って、試験時の各辺の各計測点では同位相の振動を行なうが、振動加速度レベル ($1g = 980 \text{ cm/s}^2$ に対し 10.0 dB とした) は加振枠を支えている十字型バーの特性により試験振動数範囲で 75~85 dB となった、加振枠の特性は取付供試体の重量によって変化するから、供試体の振動特性の検討は加振枠上の各計測点での振動速度レベルの平均値を基準とした振動速度増加レベルで行なうこととした。

(ii) 供試体試験

(1) 振動特性

周辺支持ならびに周辺固定矩形板の基本振動数は周知のとおり次式で計算される。

ここで a : 長辺の長さ (cm) b : 短辺の長さ (cm)

$$D : \text{曲げ剛性} = \frac{Et^3}{12(1-\delta^2)} \text{ (kg} \cdot \text{cm)}$$

E : ヤング率 (kg/cm²)

t : 板厚(cm)

σ : ポアソン比

m : 単位面積当たりの重量(kg/cm²)

g ：重力の加速度 = 980 cm/s²

λ : 固有値($a/b = 1.5$ の時 $\lambda = 2.74$)

また、ステイフナ付鋼板の四辺支持条件における基本振動数の計算式は、奥田、有馬両氏ならびに川上氏によってそれぞれ次式のように求められている。

奥田、有馬両氏の式

$$f_{01} \doteq \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{gE\{I_a/a^3(m_a+1) + I_b/b^3(m_b+1)\}}{\{Q_p + Q_n(m_a+1) + Q_b(m_b+1)\}}} \quad (\text{c/s}) \quad \dots \quad (2.10)$$

ここで

I_a, I_b : a, b 各辺に平行なスティフナの慣性モーメント (cm^4) (有効巾を含む)

m_a, m_b : a, b 各辺に平行なスティフナの本数

Q_a , Q_b : a, b 各辺に平行なスティフナの 1 本の重量 (kg)

Q_p ：スティフナなしの板重量 (kg)

川上氏の式

ここで

f_{os} : 板のみの基本振動数 (c/s)

$$f_{0i} : \text{スティフナの振動数 (c/s)} = \left(\frac{\pi}{2b_i^2} \right) \left(\frac{EI_i g}{r_i} \right)^{1/2}$$

b_i : スティフナの長さ(cm)

I_i : スティフナの慣性モーメント(cm^4)

γ_i : スティフナの単位長さ当たりの重量(kg/cm)

p_i : スティフナの重量(kg) = $b_i \cdot \gamma_i$

p_s : 板の重量(kg) = $a \cdot b \cdot m$

$$\sigma_i^2 : = 2S_i = 2 \left\{ \sin \left(\frac{\pi \chi_i}{a} \right) \right\}^2$$

χ_i : b 辺とスティフナ間の距離(cm)

また、スティフナ付鋼板の振動に対し、スティフナ間の鋼板の振動が、連成振動の形をとるものと考えると、次式から総合的な振動数が算出される。

$$p^2 = 1/2(p_1^2 + p_2^2(1+\mu)) \mp 1/2\sqrt{(p_1^2 + p_2^2(1+\mu))^2 - 4p_1^2p_2^2} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\therefore p_1^2 + p_2^2(1+\mu) = P \text{ とすれば}$$

$$p^2 = P/2 \mp 1/2\sqrt{P^2 - 4p_1^2p_2^2}$$

ここで

p_1, p_2 : スティフナ付鋼板並びにスティフナ間の角周波数

$$\mu = m_2/m_1$$

m_1 : スティフナ付鋼板の重量(kg)

m_2 : スティフナ間の鋼板の重量(kg)

これら(2.8)～(2.12)式から求めた各供試体の基本振動数と、振動実験結果について以下に検討を加える。

実験によって得られた各供試体の平均振動増加レベル曲線を、系統的に整理比較したのが図2.22(a)～(j)で、供試体全面とスティフナ間または、コルゲート間の板場の振動増加との関連を求めるための比較曲線が図2.23(a)～(c)である。また、各供試体のピーク振動数と、平均振動増加レベルが10dB以上となる振動数範囲を示したのが表2.2である。

① 鋼板単体の比較

曲げ剛性の小さいV-1(周辺支持で $f_{os}=4.3\text{c/s}$ 、周辺固定で $f_{of}=8.3\text{c/s}$)は、スティフナやコルゲートによって曲げ剛性を大きくしたV-2、V-7の $1/2$ 以下の振動数(13c/s)で高次共振による振動増加を生じた。これに対し、V-2は供試体全面の基本振動とスティフナ間の板場の基本振動との連成振動により、20c/sと32.5c/sの2か所に振動増加を生じた。この振動増加は、主として供試体内の板場の振動増加によるものである。これら2か所の共振振動数は前述の各計算式で求めた値21.4, 46.8c/s(周辺支持)に合致しない。これは板場の振動が、スティフナ両側で同位相となり、スティフナ線上の2辺で固定条件に近い状態となつたためと推定される。

V-7の振動はコルゲート部がV-2のスティフナのように剛体部とならず、V-1のように単板に近い振動特性となった。30c/sの共振は、短辺の長さをコルゲート中央部間の板の実際の長さにとって周辺支持で算出した共振振動数に一致し、板場の共振振動数も同様に計算値と一致した。

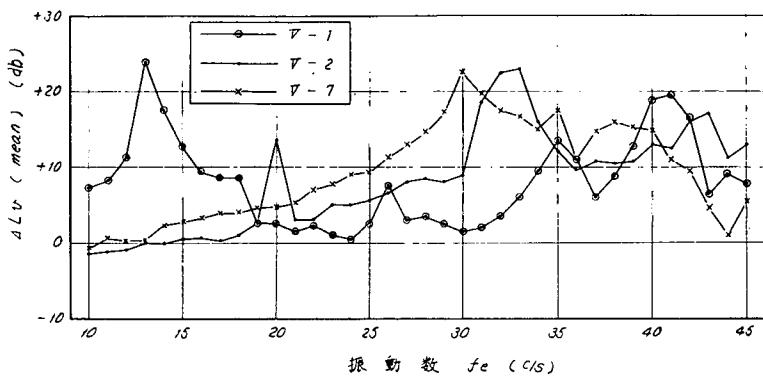


図2.22(a) 平均振動増加レベル比較曲線（供試体全面）鋼板単板の場合

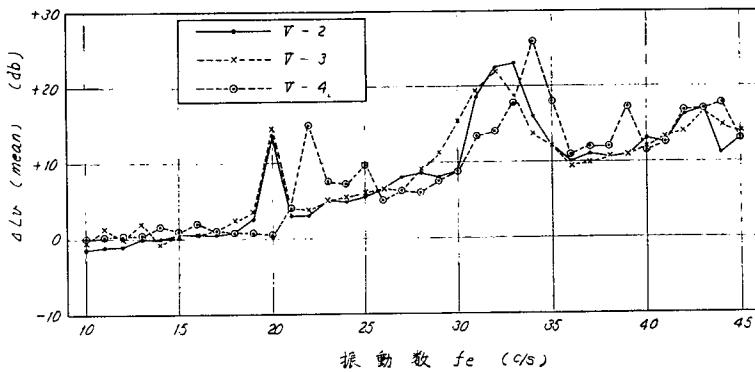


図2.22(b) 平均振動増加レベル比較曲線（供試体全面）附属物による比較

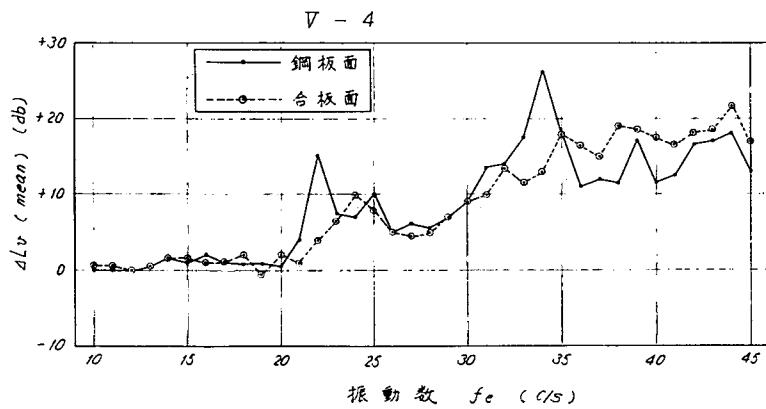


図2.22(c) 鋼板面と合板面の比較 (I)

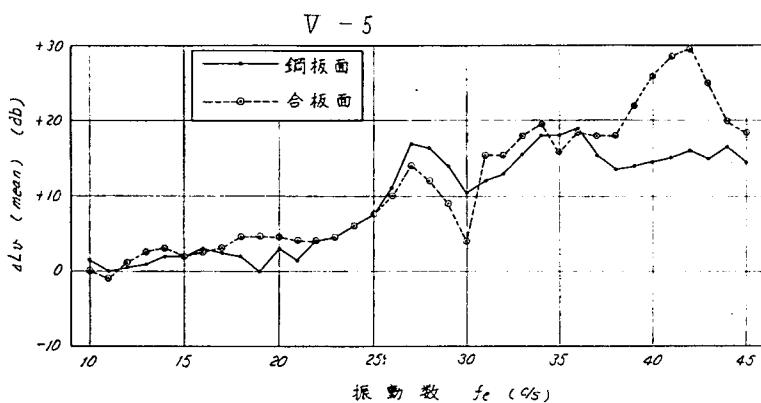


図2.22(d) 鋼板面と合板面の比較 (Ⅱ)

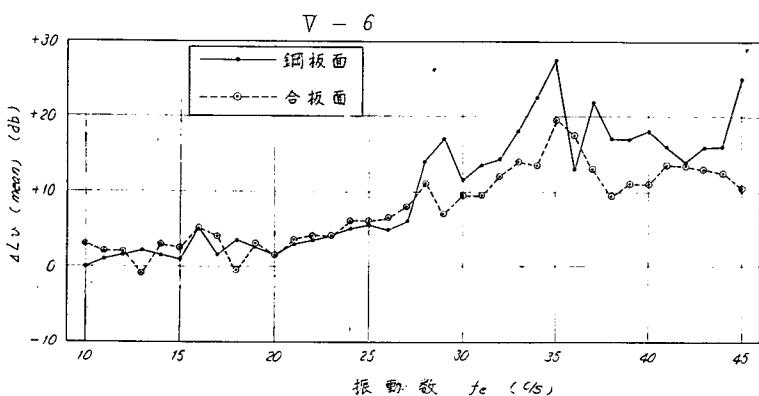


図2.22(e) 鋼板面と合板面の比較 (Ⅲ)

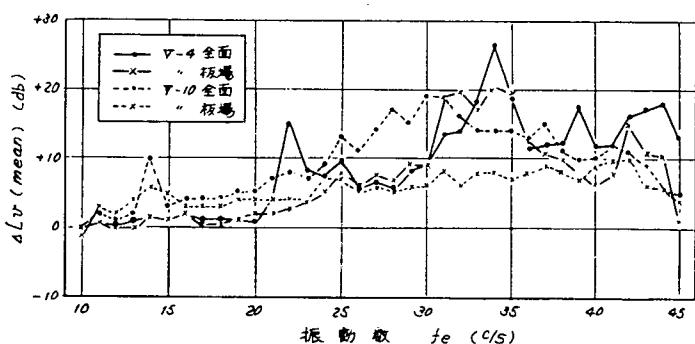


図2.22(f) 平均振動増加レベル比較曲線 (供試体全面)

複合供試体の鋼板による比較 (鋼板面)

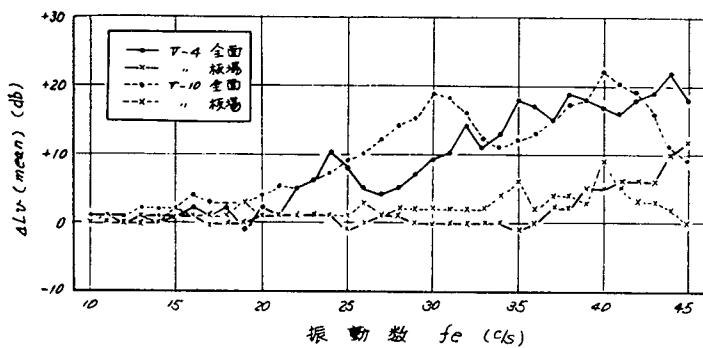


図2.22(g) 平均振動増加レベル比較曲線（供試体全面）

複合供試体の鋼板による比較（合板面）

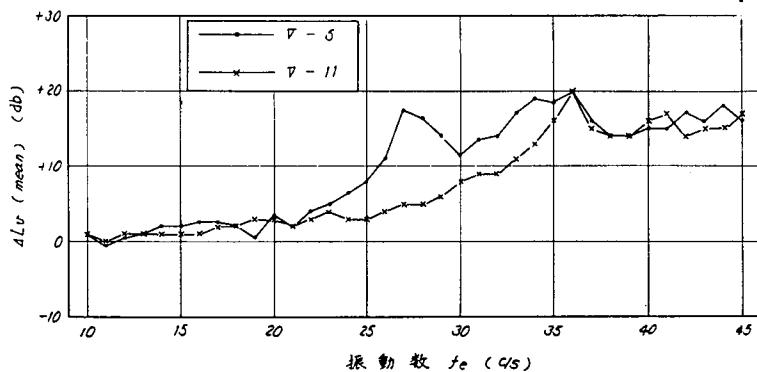


図2.22(h) 平均振動増加レベル比較曲線（供試体全面） 鋼板面

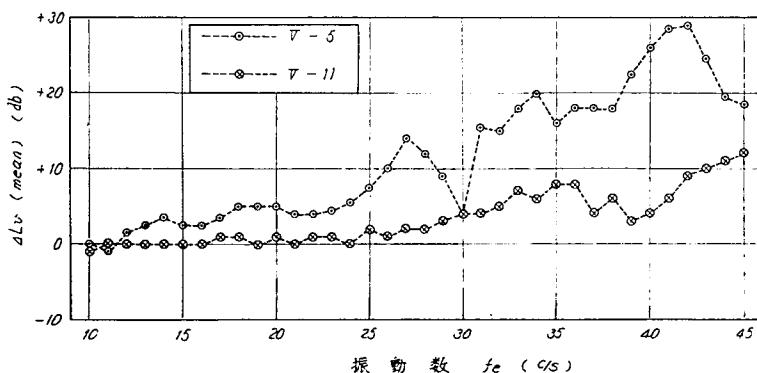


図2.22(i) 平均振動増加レベル比較曲線（供試体全面） 合板面

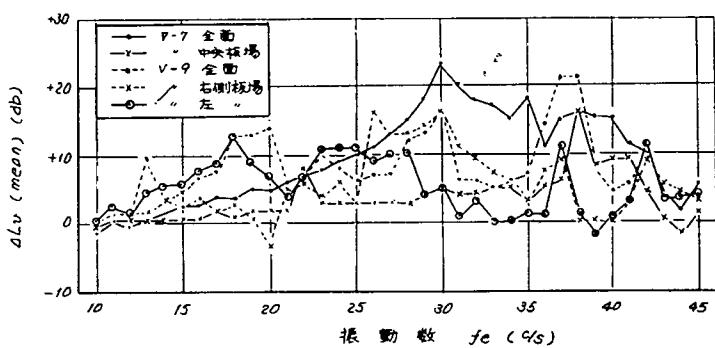


図2.22(j) 平均振動増加レベル比較曲線(供試体全面)

コルゲート間隔による比較

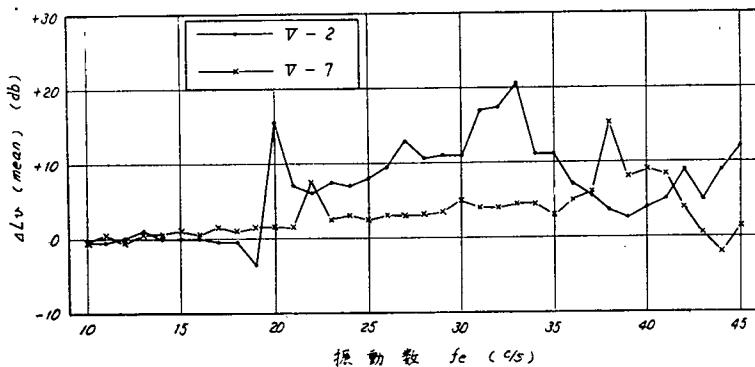


図2.23(a) 平均振動増加レベル比較曲線(板場) 鋼板単体

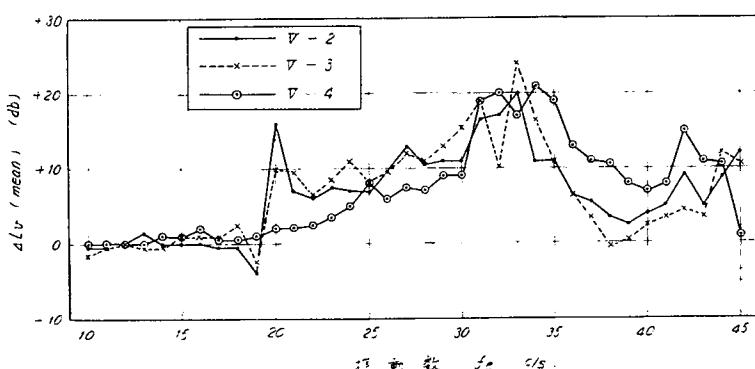


図2.23(b) 平均振動増加レベル比較曲線(板場)

附属物による比較

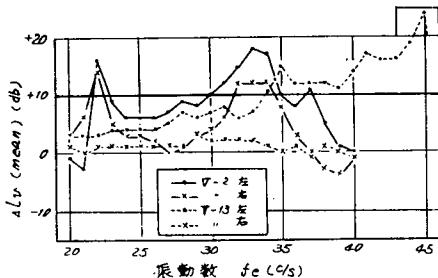


図2.23(c) 平均振動増加レベル曲線(板場)

補強材挿入効果

表 2.2 振動増加周波数範囲

供試体番号	構成	周波数(%)	
		ピーク	増加範囲
1 V-1		(13)・35・40.3	1.2～15・35.～36 3.9～4.2
2 V-2		2.0・(32.5)・42.3	2.0・3.1～4.5以上
3 V-3		2.0・3.2・4.3	2.0・2.9～4.5以上
4 V-4	St. P.W.	22・(34)・39・43.5 24・31・35・38・(41)	2.2・3.1～4.5以上 3.1～4.5以上
5 V-5	St. P.W.	27.5・(34)・36 27・(41.5)	2.6～4.5以上 2.7～2.8・3.1～4.5以上
6 V-6	St. P.W.	28.5・(35)・37 28・(35)	2.8～4.5以上 2.8・3.1～4.5以上
7 V-7		(3.0)・3.8	2.6～4.1
8 V-9		13+19+23+30+(37.5)+42	1.8～2.0・2.8～3.0 3.6～3.8・4.2
9 V-10	St. P.W.	30.5 30.7・4.0	2.5～4.2 2.7～4.4
10 V-11	St. P.W.	(3.6) 3.55・(4.5以上)	3.0～4.5以上 4.3以上
11 V-12		(1.4)・3.2・4.3.5	1.3～1.6・3.2 4.3～4.4以上
12 V-13	直角 平行	3.5・(4.5)	3.4～4.5以上

注 (1) ピーク周波数の()印は最大ピークを示す。

(2) V-13 のピーク、増加範囲はなし。

(3) St. は鋼板面を、P.W. は合板面を示す。

V-1, V-2 および V-7 の各供試体を比較すると、30c/s (1800 c/min) 以下の振動が大きい船舶については曲げ剛性の高い V-2 の形式が最も防音上有利である。

② 附属物による比較

V-2 供試体と、これにガラス綿、内張合板を附属させたときの供試体鋼板面の振動特性を 2.22(b) 図に示した。

ガラス綿を接着剤で鋼板に貼り付けても振動特性には影響がなかったが、さらに根太を構成し、これに内張合板を取り付けた時は、それらの重量と、根太による剛性の増加のため約 2c/s の基本振動数の上昇があった。

各振動数における平均振動増加レベル（以下に ΔLv と記す）は 3 種類共ほとんど同様である。これは、スティフナ付鋼板自体の剛性が附属物の剛性よりわずかに大きく、接着剤による振動減衰効果も添付材料がガラス綿のように剛性を有しないものであったためと考えられる。

③ 構成材による比較

鋼板と内張合板との中間にガラス綿、ポリウレタンホームを挿入したときの鋼板面と合板面の振動特性の比較を図2.22(c)～(e)に示す。試験に先立って、内張合板は約70mm間隔で根太に釘打ちして固着した。

スティフナに根太を直接固着したV-4、V-5 の内張合板は 35c/s 以下では鋼板の振動と同様の特性を示したが、スティフナと根太との間にウレタンホームが挿入された V-6 は、鋼板側から伝達される振動のウレタンホームによる減衰効果のため 25c/s 以下ののみ鋼板と合板が同様の ΔLv 値となった、35c/s 以上の振動を受けると、根太で固着された合板の基本振動数の影響により、鋼板面以上に振動が増加するが、V-6 のみは前述の振動減衰効果が振動数の上昇につれて大きくなるため、逆に合板面の振動が減少する。これは、スティフナと根太との間に適当な防振材を挿入することの防音上の有効性を証明したものである。

④ 複合供試体の鋼板による比較

スティフナ付鋼板とコルゲート鋼板に同様の内張構成を行なった複合供試体の鋼板面および合板面の振動特性を図2.22(f)～(g)に示す。合板はいずれも前述のように根太に釘打ちした。

V-10 の鋼板面の振動特性は、V-2 と V-4 との比較と同様、内張構成材により V-7 に比し 1～2c/s 基本振動数が増加したが、総合的にはほとんど V-7 と同様の特性を示した。

V-10 の合板面の特性は V-4 と同様に 35c/s 以下では鋼板面の影響を大きく受け、35c/s 以上では合板自体の特性に従った。このような合板の特性は、合板の板場の基本振動数が約 60c/s にあるためで、さらに根太間隔を狭くして合板の基本振動数を上昇させれば、合板面が鋼板面より振動が大きくなることを防ぎ得よう。

V-4 と V-10 の合板面の振動を比較すると、25c/s～33c/s の間では、V-10 の鋼板面の特性上不利であるが、他の振動数では両者共同様である。

⑤ 内張合板による比較

スティフナ付鋼板に取り付ける内張合板が異なるときの振動特性を図 2.22(h)～(i)に示す。

鋼板面の特性は V-5 と V-11 とで若干の相違を生じたが、23c/s 以下と 36c/s 以上では同様となっている。これに対し、合板面の特性は、両者の間で大きな差を生じた。これは、V-11 の内張合板が、複合合板で、中間に密度、弾性系数の大きく異なる発泡ウレタンが挿入されたことと、板場の基本振動数が上昇したためである。このための振動減衰効果は V-6 のスティフナと根太との間にウレタンホームが挿入されたときよりも数 dB 大きく、また低い振動数から効果が現われた。この結果は、鋼

板内張材にも合板単体より数層の異質材で組合わされた複合合板を使用することの防音上の有利性を立証しているものである。

⑥ コルゲート間隔による比較

コルゲート鋼板のコルゲート間隔による特性の変化を図 2.22 に示す。

コルゲート間隔を 510mm から 880mm に広くすると板場の振動数が約 38c/s から約 17c/s に低下するため、板場の振動増化による特性変化が 18~20c/s と 28~30c/s, 37~38c/s および 42c/s の 4か所に生じた。この中の 2つの低振動数の ΔLv 増加は板場の振動位相と供試体全面の振動位相との合致により生じたもので、37~38c/s の ΔLv 増加は板場および供試体の 2倍の高次振動によって生じたものであることが、振動波形の観測から確認された。

V-7 と V-9 を比較すると 23~35c/s (約1400~2100 c/min) の振動を有する船舶では V-9 の方が、23c/s 以下の振動を有する場合は V-7 の方が防音上有利である。

コルゲート鋼板の場合は①で述べたように周辺支持の(2.8)式で基本振動数が概算し得るから、壁全面の基本振動数や板場の基本振動数が船舶の有する振動源の振動数と合致しないよう設計すべきである。

⑦ 板場の振動抑制

スティフナ間隔750mm、板場寸法 1860×750mm の中間に図2.21(c)のように防撓材を挿入したときの板場の振動変化を示したのが図2.23(c)である。計測点 3~9 に挿入した既設スティフナに直角の防撓材による振動抑制効果は、板場の基本振動数が約 22c/s から約 45c/s に上昇するため 34c/s(約 2000 c/min) 以下で生じたが、35c/s 以上では逆効果となった。これに対し、計測点 54~59 に挿入した平行防撓材による効果は、基本振動数が 80c/s 以上となったため、試験振動数範囲における ΔLv の増加は全く生じない程の有効なものとなった。この結果は、内張合板のみならず、スティフナ付鋼板の場合も、囲壁の基本振動数を船舶の有する振動源の振動数より 3~5 倍高くすることが、居住区防音上重要であることを示しているものである。

⑧ 間仕切合板の振動特性

V-11 の内張合板に使用した複合合板と同様の構成材による仕切合板単体の振動特性を図 2.24 に V

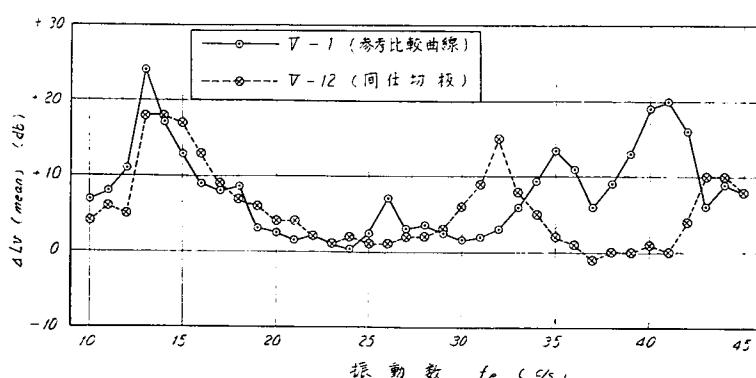


図 2.24 間仕切板の平均振動増加レベル曲線（供試体全面）

—1 と比較する形で示した。

この供試体の基本振動数は約 14c/s にあるが、中間に挿入されている発泡ウレタンにより ΔLv の上昇が抑制され 13~15c/s ではほぼ平坦な曲線となった。32c/s の ΔLv の増加は長辺 3 次、短辺 1 次、43~44c/s の ΔLv 増加は、長辺 4 次、短辺 3 次の高次振動によって生じたものである。この大きさの供試体は表2.2 に示す振動数範囲以外では ΔLv 値が小さく、特に 20~30c/s, 34~42c/s の振動に対して防音上有効である。

⑨ 供試体全面の振動分布

ΔLv 値がピークとなる振動数における供試体全面の振動分布曲線を図2.25に示す。この分布曲線は、コルゲート鋼板では連成振動の形をとらないが、ステイフナ付鋼板や内張合板面は供試体全面の振動に局部的な板場の振動が合成された連成振動の形態をとった。この様な連成振動による ΔLv 値の増加は、板場の基本振動数を上昇させてその振動を抑制するだけで 15dB 以上も減少させ得る。

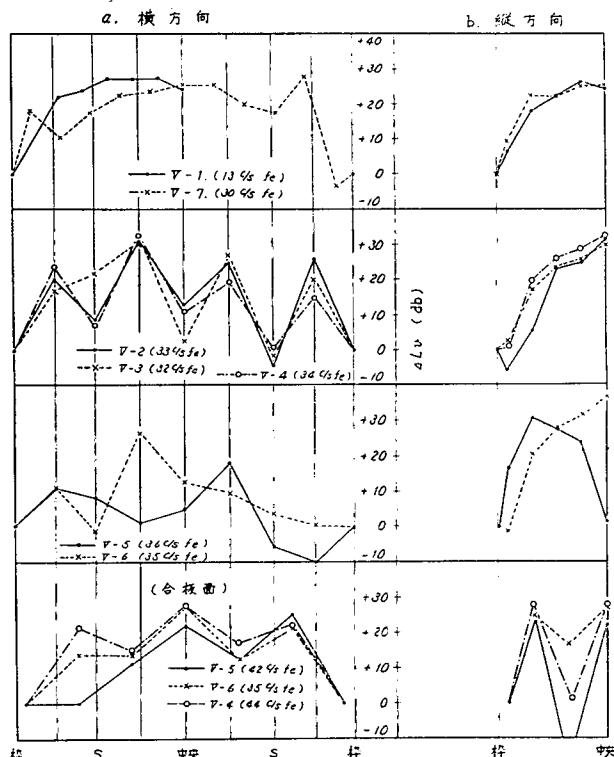


図 2.25 供試体全面の振動分布曲線

⑩ 2倍の高次振動

fe c/s の振動数で供試体周辺を加振したとき、供試体に生じた fe の振動成分と同時に発生した $2fe$ の振動成分の ΔLv 曲線を図 2.26 に示した。このような $2fe$ の振動は、供試体や板場の基本振動と両者の連成振動数が fe の整数倍に存在したとき生じ、 fe の ΔLv 値より大きな値をとる場合もあった。これは基本振動数の低次励振による振動で、一般に fe 成分より大きな騒音となるから、その発生防止にも留意しなければならない。

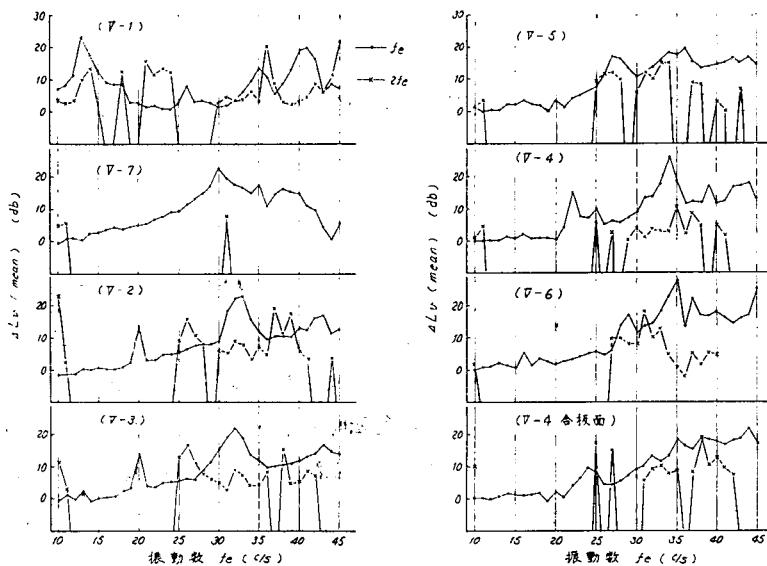


図 2.26 f_e と $2f_e$ 相当の振動増加レベル比較曲線

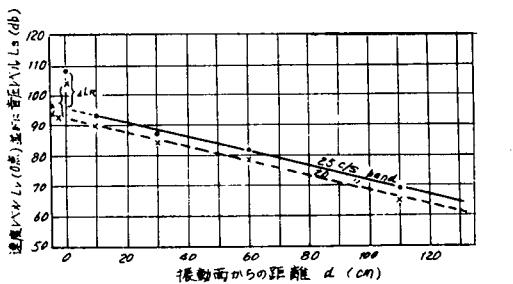


図 2.27 供試体の振動速度レベルと放射音圧レベル

で算出し得る。

(f) 結論

現在の船舶に採用し得る代表的居住区構造体の系統的振動試験の結果、居住区構造体から生ずる振動音防止による騒音対策は、構造体の剛性と寸法に支配される基本振動数を、船舶の有する振動源の振動数の3倍以上とするのが、有効であるが、それが困難な場合は、構造体の基本振動数が、振動源の振動数に合致しないように計画すれば達成されよう。

(ロ) 振動面の放射音

供試体板面の最大振動点の L_v 値と、板面から d (cm) 離れた空気中の各点における音圧レベル L_s との対比曲線を図 2.27 に示す。この曲線で $d=0$ の値は L_v 値、他の距離における値は L_s 値である。この曲線から、板面の振動によって放射される音の変換レベル ΔL_R を推定すると約 -12dB となる。

すなわち

$$L_s = L_v + \Delta L_R \quad (\text{dB}) \quad (2.13)$$

$$\Delta L_R = 10 \log_{10} \gamma \quad (2.14)$$

ここで、 γ は放射率である。従って供試体の振動による放射音のパワー レベル L_w (dB) は、その周辺の $L_v(\text{mean})$ 値と ΔL_v 値および供試体面積 $S(\text{m}^2)$ から

$$L_w = L_v(\text{mean}) + \Delta L_v + 10 \log_{10} \gamma \cdot S$$

$$\therefore L_w = L_v(\text{mean}) + \Delta L_v + 10 \log_{10} S - 12(\text{dB})$$

2.3 実船試験

2.3.1 目的

新造船の公試運転時および運輸省航海訓練所所属の練習船の近海航海時に、船内各所の騒音と音響域振動を計測し、供試体試験の結果と併せて、船舶居住区に対する騒音防止に有効な船用防音構造方式の設計資料を得ることを目的として実施した。

2.3.2 研究概要

まず予備試験として撒積貨物船、特殊船の新造公試運転時に船内騒音および音響域振動を計測し、その後に実施予定の総括的実船試験に採用すべき注目点の提案資料と、計測器類の選択、信頼性、ならびに計測方法と資料の整理解析方法の検討を行なった。最終年度には、国内各造船所の協力のもとに、一定の計測器および計測方法により、新造船の公試運転時の船内騒音と音響域振動を測定すると共に、運輸省航海訓練所所属練習船の協力を得て、近海の短期航海時に船内各部の騒音分布状態と音響域振動の同時計測を行ない併せて、各種の船内における音響試験を実施した、これらの試験結果と供試体試験結果とを比較検討し、総合的な結論を得ることができた。

2.3.3 予備試験

予備的実船試験により、総括的実船試験に対する提案事項を次のとおり選定することができた。

- (a) 機関室内騒音の主機要目の差に対する変化の度合
- (b) 制御室内外の騒音計測
- (c) 機関室を中心とした船首尾方向騒音分布状態の計測調査
- (d) 各甲板ごとの騒音の差異
- (e) 主機出力変化にともなう居住騒音の変化の度合
- (f) 主機基部の振動と主機の大きさとの関係
- (g) 主機中央部から船首尾側ならびに左右舷側への振動伝達経路と伝達減衰の状態
- (h) フレーム中間の鋼板面の振動
- (i) 主機出力変化にともなうフレーム振動の変化

2.3.4 総括的実船試験

予備試験結果から提案された各項目をさらに検討し、次の要領により実船試験を行なった。

(a) 試験研究要目

- (i) 公試運転時の試験
 - (1) 船内騒音分布状態に関する騒音分析
 - (2) 船体および船内構造体の音響域振動分布状態に関する振動加速度分析
- (ii) 近海航行時の試験
 - (1) 船内騒音分布状態に関する騒音分析
 - (2) 船体および船内構造体の音響域振動分布状態に関する振動加速度分析
 - (3) 代表的居室隔壁の振動と室内外の騒音に関する振動加速度および騒音の分析
 - (4) 機関室周辺の振動と室内騒音に関する振動加速度および騒音の分析

表 2.3 計測船の概要と計測時の状況(公試運転)

船名	A		B		C		D		E		F		G		H		I		J	
	船長(m)	197	石炭運搬船	油槽船	油船	油槽船	貨物船	貨物船	貨物船	貨物船	貨物船	貨物船	貨物船	貨物船	貨物船	貨物船	貨客船	貨客船	石炭運搬船	
全型	型	29.5	235.8	236	32.2	37.2	27.5	27.5	15.5	15.5	15.5	199.5	199.5	178.2	155.4	73.4	—	—	191.4	
型	深	16.2	16.1	18.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29.6	
型	排水量(kg t)	50,592	72,668	87,931	44,300	23,247	44,370	44,370	30,700	30,700	30,700	17,636	17,636	1,648	1,648	3,980	—	—	16.2	
総噸数(T)	24,655	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9,932	9,932	1,450	1,450	2,916	2,916	2,916	26,200	
載貨重量(kg t)	41,951	57,859	74,164	74,164	35,515	35,515	23,719	23,719	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37,000	
主機種類	IH19RD76	B&W1074	B&W884	IHI	IHI	IHI	IHI	IHI	8RD76	8RD76	8RD76	7RD76	7RD76	—	—	—	—	IHI	7RD76	
主機定格(ps × rpm)	14,400	16,000	18,400 × 114	14,400 × 116.3	12,000	12,000	11,200	11,200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
電機	AC445V 600kVA 400kW	AC450V 600kVA	440kW × 2	AC450VAC450V 270kVA/270kVA	410kVA	—	AC450VAC450V 270kVA/270kVA	410kVA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
備考	T.G.	750kVA × 2	560kW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
外気温度(°C)	27	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
計測時	象	海	象	象	象	象	象	象	象	象	象	象	象	象	象	象	象	象	象	
の主機出力	(i) MCR	(i) MCR	(i) MCR	(i) MCR	(i) 1/2 × 93	(i) 1/2 × 93	(i) MCR	(i) MCR	(i) 1/2 × 93											
状況	×	×	×	×	× 120	× 120	× 120	× 120	× 120	× 120	× 120	× 120	× 120	× 120	× 120	× 120	× 120	× 120	× 120	
(ps × rpm)	(i) 4/4	(ii) 4/4	(iii) 4/4	(iv) 4/4	(v) 4/4	(vi) 4/4	(vii) 4/4	(viii) 4/4	(ix) 4/4	(x) 4/4	(xi) 4/4	(xii) 4/4	(xiii) 4/4	(xiv) 4/4	(xv) 4/4	(xvi) 4/4	(xvii) 4/4	(xviii) 4/4	(xix) 4/4	

(ii) 近海航行時の試験

計測各船の概要と計測時の状況を表2.4に示す。

表2.4 計測船の概要

船	名	T	S	O	N
全型	長 (m)	95.19	100.8	75.5	97.6
型	巾 (m)	12.2	14.5	11.0	14.5
型	深 (m)	6.4	7.0	7.5	7.4
総 噴 数 (T)	2,430 shp	3,463	1,631 shp	3,172	
主 機 定 格 (ps × rpm)	1,700 × 112	2,700 × 225	1,400 × 168	2,100 × 200	
発 電 機 (ps × rpm)	— × 1,800	240 × 720	—	—	× 600
計測時主軸回転数 (rpm)	90	207	140	165	

(c) 計測器具

(i) 公試運転時の試験

音響振動分析計測装置 (OAP-12B型) 4組

(ii) 近海航行時の試験

- (1) 音響振動記録装置 (VRM-14B型) 1組
- (2) 同上用電源 1組
- (3) 船内騒音録音再生音装置 1組
- (4) 周波数分析器 (2107型) 1台
- (5) 帯域分析器 (2111型) 1台
- (6) 高速度レベル記録器 (2304型) 1台
- (7) ピジグラフ (FR-102型) 1台
- (8) 指示騒音計 (SLP-11型) 1台

(d) 計測方法

(i) 公試運転時の試験

(1) 騒音計測

マイクロホンを各計測点の床上約1.2mに保持し、騒音源の近傍では距離約1m、室内(原則として扉および窓等の開口部は閉じる)では室中央にて計測した。計測は、まず総合音圧レベル、A, B, C, 次いで31.5c/sを初段とした8,000c/sまでの中心周波数(ISO推奨型式)を持つ9個のオクターブフィルターを使用して行なった。

(2) 振動計測

チタン酸バリウム素子を用いた小型(約30gr)の加速度ピックアップを計測面に垂直に取り付け、面に垂直方向の振動加速度を1g当たり100dBの電圧変換レベル(加速度レベル)として指示計にて読

み取った。計測は前述の騒音計測と同様の手順にて行なった。加速度ピックアップの計測点への結合は、触針（非磁性体のとき）か磁石附属にて行なった。

(ii) 近海航行時の試験

(i) 騒音計測

公試運転時の騒音計測と同様にマイクロホンを保持し、指示騒音計で総合音圧レベル A, B, C を測定し、同時に船内騒音録音再生発音装置の中の小型テープレコーダーを用いて各計測点の騒音を約1分間録音した。

振動と騒音との同時計測の際の騒音は、音響振動記録装置中のコンデンサ・マイクロホンで行なった。碇泊中に騒音源とした航海中の機関室内騒音は、連続10分間のエンドレステープに録音した。

(ii) 振動計測

加速度ピックアップを磁石（磁性体のとき）か接着テープ（スコッチ465）で計測点に結合し、4～5点を同時に計測記録した。記録に使用した計器は音響振動記録装置と同装置用電源装置である。

(iv) 残響時間計測

室内のスピーカから震音（変調回数16回/sec, 変調巾±10%）または1/3オクターブ・バンド・ノイズ（白雑音発信器にて録音したもの）を中心周波数（1オクターブごと）ごとに5回ずつ（5sec発音, 5sec休止）発音し、室内の2個所以上の計測点（マイクロホンは床上約1.2m）における残響音を録音計測した。

(e) 計測場所

(i) 公試運転時の試験

騒音および振動の計測場所を下記のとおり選定し、計測時間の少ない場合は◎印個所のみを計測することとした。

(f) 騒音計測場所

① 機関室

- ⓐ②主機船首側（操作点近傍）
- ⓑ 主機舷側中央（発電機のない方）
- ⓒ 発電機間中央（2台以上のときは数点になる）
- ⓓ②制御室前（室外の最大騒音側）
- ⓔ②制御室中央
- ⓕ 過給機中央（各機の中間で数点）
- ⓖ②開口部中央（各甲板ごとに1点づつ）
- ⓗ 特に大きい騒音源の近傍の任意点

② 居住区画

- ⓐ②主機中央附近のフレーム番号に沿った各甲板上の通路と居室中央
- ⓑ②機関室開口部の船首尾端フレーム番号に沿った各甲板上の通路と室中央
- ⓒ②機関室隔壁とした機関室の隣接居室中央

(③) 操船区画

- (a)○操舵室中央
- (b) 操舵室両舷ウイング中央
- (c) 海図室中央
- (d) 無線室中央

(④) 特殊区画

- (a) 特に大きな騒音源のある室（例えば通風装置の機械室など）
- (b) 推進器系の騒音の大きい室（例えば操舵機室など）

(d) 振動計測場所

① 機関室

- (a) 主機取り付けボルト上
- (b)○主機中央附近のフレーム番号に沿ったフレーム上（各基板上約1.5mの高さ）
- (c) 主機船首尾端から各1フレーム離れたフレーム番号に沿ったフレーム上（各基板上約1.5mの高さ）
- (d) 特に大きな振動源の取り付け部

② 居住区画

- (a)○主機中央附近のフレーム番号に沿った各甲板のビーム上
- (b) 機関室開口部側壁のステイフナ間の鋼板面中央（甲板上約1.2mの高さ）
- (c) 機関室開口に隣接する通路の各ビーム上とビーム間中央点
- (d) 特に振動の大きい任意点

③ 特殊区画

- (a) 大きな振動源のある室の囲壁各中央
- (b) 推進器系振動の大きい室の囲壁各中央および任意点

(ii) 近海航行時の試験

騒音および振動の計測点の選定は前記(i)のときと同様の主旨に基づいて行なったが、次の観点から計測点を数倍に増加した。

(i) 騒音計測

騒音源からの騒音の伝播分布状態を全船内にわたり調査する。

(ii) 振動計測

主機および推進系の振動と、これから振動伝達状態を調査する。

(iv) 代表的居室の騒音と振動の計測

騒音と振動の相関関係を調査測定するため、特に密に計測点を設定する。

(f) 計測結果

公試運転時における計測結果を集約し、騒音に関する結果を図2.28～2.34に、振動に関する結果を図2.35～2.38に示した。

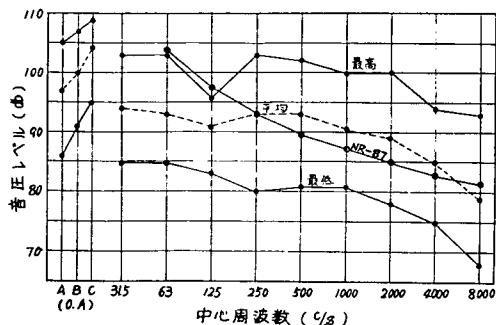


図 2.28 機関室（10隻, 66点）騒音

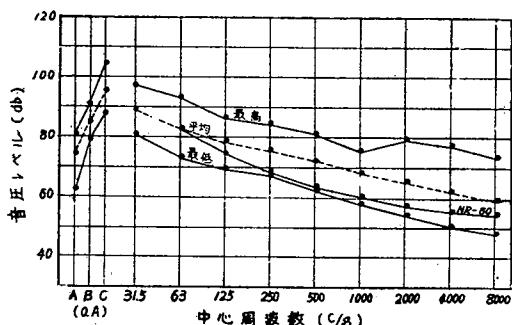


図 2.29 通路（機関室周辺）（10隻61点）騒音

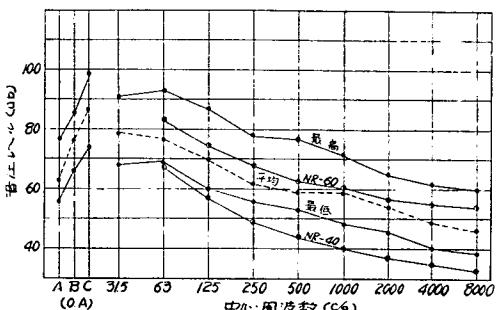


図 2.30 居室（10隻50点）騒音

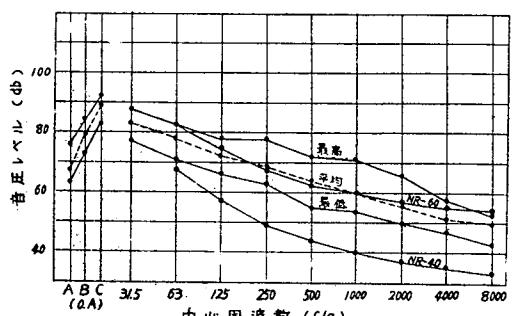


図 2.31 機関室, 隣接居室（8隻10点）騒音

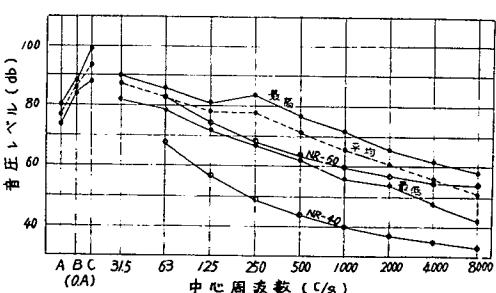


図 2.32 制御室（5隻5点）騒音

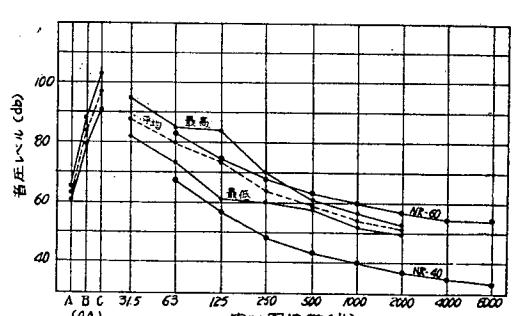


図 2.33 操舵室（6隻6点）騒音

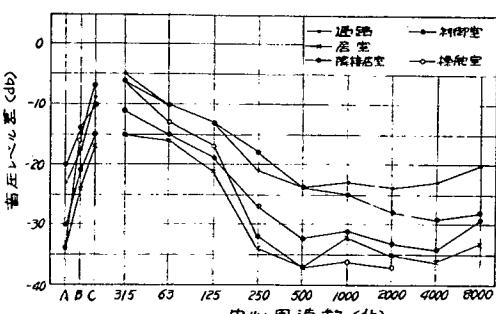


図 2.34 各室の平均騒音レベル差（機関室基準）

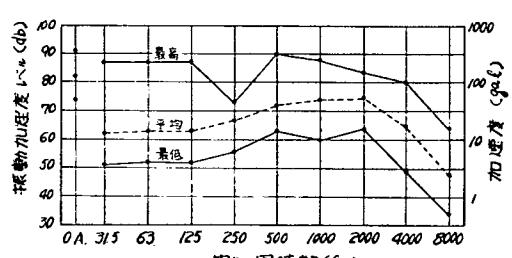


図 2.35 外殻最下部の振動（基点1）

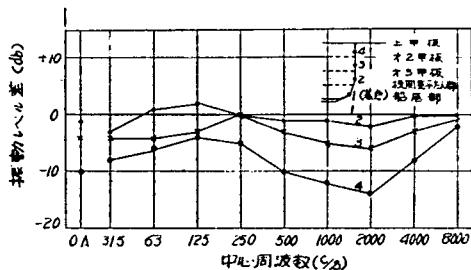


図 2.36 外殻の振動レベル差（上甲板以下）

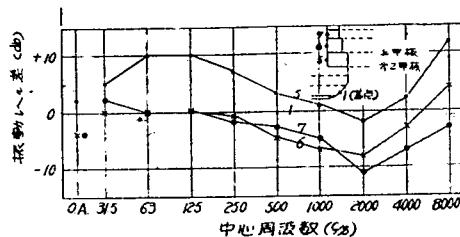


図 2.37 機関室側壁の振動（基点1）

近海航行時の計測結果のうち、振動および騒音に関しては図 2.39～2.49 および図 2.50～2.53 に、残響特性に関しては図 2.54 に示した。

(g) 結果の検討

(i) 公試運転時の試験結果

合計 13 隻の計測資料を得たが、その中の 10 隻分が有効な資料であったので、これらについて総合的に検討すると次のとおりである。

(f) 機関室の騒音（図2.28）

機関室底部の騒音は、主機定格が異っても定格に対する出力が一定の場合はほぼ一定の値を示すが、同一船では特に過給機騒音が大きくない限り開口部の方が底部より平均約 5dB 少ない。

騒音は 125c/s バンド以下の主機排気音と室囲壁の振動音成分、250～1,000c/s バンドの主機爆発音成分、2,000c/s バンドの過給機騒音成分および 500～1,000c/s バンドに最大値を持つ発電機騒音成分などで構成されている。

全計測点の平均騒音スペクトル（点線で図示）は、ディーゼル船機関室の標準的騒音スペクトルと見なすことができよう。

参考として、ISO 推奨の騒音評価曲線（NR 曲線）から、船内での通常勤務状態（4 時間勤務、8 時間休息）に対する NR 数 87 の限界曲線を図に挿入した。

(h) 居住区画の騒音（図2.29～2.34）

機関室周辺の通路、通路に接した居室、機関室に隣接した居室、機関室内の制御室および上部の操舵室についての平均騒音レベルを比較すると A、B 特性では制御室、C 特性では操舵室が最高となった。また、通路をへだてた機関室近辺の居室は機関室の隣接居室より約 3dB（B 特性）騒音が少なかった。

各室の機関室に対する平均騒音スペクトルのレベル差（図2.34）の曲線は下記のことを明らかにしている。

① 31.5c/s バンドの低周波振動音成分は機関室周辺の通路と制御室の他、上部の操舵室でほぼ等しくなった。これは上部の低周波振動が非常に大きいためであり、この成分（31.5c/s バンド以下の成分も含む低周波音）のため C 特性の騒音レベルが最高となったのである。

② 低周波の 63～125 c/s バンドでは操舵室のレベルがまだ隣接居室より大きい。これは前述の振動音成分の他に、上部の曝露甲板に放射された主機排気音と、各種の通風機騒音（軸流送風機の騒音の主成分は一般に 125c/s バンドにある）によるものである。

③ 250c/s バンド以上の中高周波成分は、機関室からの空気伝播音と壁体の透過音ならびに若干の固体伝達音から構成されるため、透過壁の枚数と機関室からの距離に比例して減少する。このため、通路を経た居室は機関室隣接居室より 250~500c/s バンド（機関室騒音の最大レベル・バンド）で 10dB もの差を生じた。

④ 通路と制御室の騒音スペクトルは 500c/s バンド以下で同様の形となったが、1,000c/s バンド以上では周波数が高くなるほど制御室のレベルが減少した。これは、機関室周辺の通路の吸音力より制御室内の吸音力が大きく、特に高周波音で有効な作用をしたためである。

図2.29~2.33 に参考曲線として NR-60, 40 曲線を入れた。これらの曲線はあらゆる事務室に対する限界曲線（NR-60）と知的作業を必要とする事務室に対するもので、船舶居住区画の騒音に対しても一応の目標を与えてくれるものと考えられる。

(イ) 外殻の音響域振動特性（図2.35~2.36）

主機中央附近フレームで発電機の設置されていない舷側最下部（図2.36 基点1）の振動加速度は O. A. (Over All) で平均約 130 gal ($1g=980 \text{ cm/s}^2=1,000 \text{ gal}$) 最高レベル・バンドは 2,000c/s となつた。この加速度スペクトルから振動と騒音を関連づけ最高レベル・バンドは 2,000c/s となつた。この加速度スペクトルから振動と騒音を関連づけるため速度レベル ($4.8 \times 10^{-6} \text{ cm/s}=0 \text{ dB}$) による速度スペクトルを求めるとき、31.5~2,000c/s バンドで 1 バンド当たり 4 dB, 2,000~8,000c/s バンドで 18 dB と周波数が高くなるほど振動速度が減少するスペクトルとなり、機関室内の平均騒音スペクトルより低周波数が大きいものとなる。

基点の振動はフレームを屈曲させ、また材中を伝達する縦振動となつて上方へ伝わり、この際に、500c/s バンド以上の中・高周波成分は伝達距離に比例して急速に減衰する。250c/s バンド以下の低周波成分は、甲板間のフレームの長さ等によるフレームおよび外殻の固有振動の影響を受け一様な減衰をしないが、伝達距離に比例して幾分ずつかは減衰する。

(ロ) 機関室開口部周壁の振動（図2.37）

低い部分の開口部周壁の平均振動スペクトルは、基点より低周波成分が 10 dB も大きい。これは外殻と周壁の剛性の差から、それらを経て伝達された振動により励振したためである。

上甲板より上方の周壁の振動は低い部分の振動より各バンド成分で平均 8 dB も減少するが、上層甲板ほど高周波成分のみが減衰する。このような振動減衰特性は、機関室開口部内の騒音レベルがほぼ一様となつていることから、空気音によるものでなく、外殻や甲板等を経て周壁に伝達した振動成分によつて生じたものといえよう。

(ハ) 各甲板の振動の比較（図2.38）

125c/s バンド以下の低周波成分は、上甲板および第2甲板共ほぼ基点と等しく、前述の機関室開口部周壁の振動スペクトルに類似した特性となつた。

250c/s バンド以上の中・高周波成分は、伝達距離および周波数に比例して減衰が増加し、上層甲板に

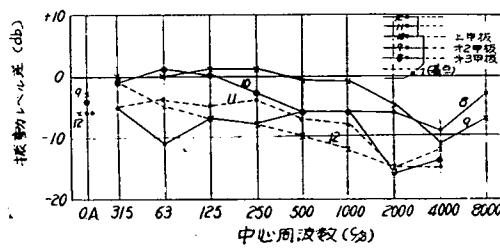


図 2.38 各甲板の振動（基点1）

なるほど振動レベルが小さくなる。また、第3甲板の振動は上層甲板と同程度となつた。これらの結果は、主機から発生した振動が、外殻と上甲板で結ばれた船殻をまづ振動させ、その振動が上・下両層に伝達されることを明らかにしている。

操舵甲板に相当する上層甲板の 31.5c/s バンドの振動レベルは上甲板と等しくなつていて、これは操舵室の平均騒音スペクトルの結果に一致し、低周波振動による上層励振現象を表わしている。

各甲板の振動を比較すると、最も振動の少ない甲板は上甲板以上で操舵甲板以下の各甲板といえよう。

(ii) 近海航行時の試験結果

計測船 4 隻（内、タービン船 2 隻）の計測資料により総合的に検討すると次のとおりである。

(1) 騒音分布状態について（図2.39, 2.41）

全船にわたる船内騒音分布図の 1 例を図2.39に示した。騒音の船内分布状態は現在までの資料によると予想どおりであつたが、改めて確認された事項を列記すると次のとおりである。

- ① 機関室内騒音の平均値は、タービン船よりディーゼル船の方が 8dB (C 特性) 大きい。
- ② 機関室とその周辺通路の平均騒音レベルの差は両船共約 11dB で、前述の公試運転時の結果に等しい。

③ 通路と居室の平均騒音レベルの差は機関室近傍では公試運転時とほぼ等しく約 10dB であるが、機関室から離れた船首側では、レベル差が約 8dB となる。これは、振動音成分の均一化によるものである。

④ 船内居室の最小騒音レベル (C 特性) はディーゼル船よりタービン船が小さい値をとり、両船の差は第2甲板で約 8dB、上甲板で約 10 dB、上甲板以上で約 12 dB と上層甲板ほど差が大きくなる。これは両船の振動の差によるものである。

(2) 振動分布状態について

全船にわたる振動分布図の 1 例を図 2.40 に、主甲板における振動分布状態を図2.41に示す。

振動は船尾と機関室附近で大きく船首側ほど小さくなり、騒音もほぼ同様の傾向となつたが、局部的には両者の間に相違が生じた。これは甲板以外の囲壁の局部振動による騒音成分のためである。

タービン船はディーゼル船より船首側で平均約 7 dB 振動が小さかつたが、船尾側では推進器系の振動と騒音のため両船共同様の振動となつた。推進器系からの振動は 50c/s 以下の低周波成分が主で、フレーム番号 10~15 が最も大きい。この振動は減衰しつつ船首側へ伝達されるが、フレーム番号 40 以上の船首側で一定値に近くなる。

主機からの振動は船首側への伝達で急速に減衰し、機関室区画を離れるとはほぼ一定値となる。この値

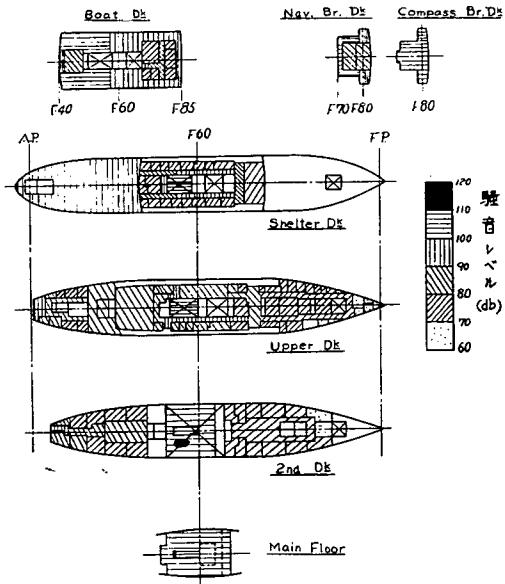


図 2.39 騒音分布図 (N丸)

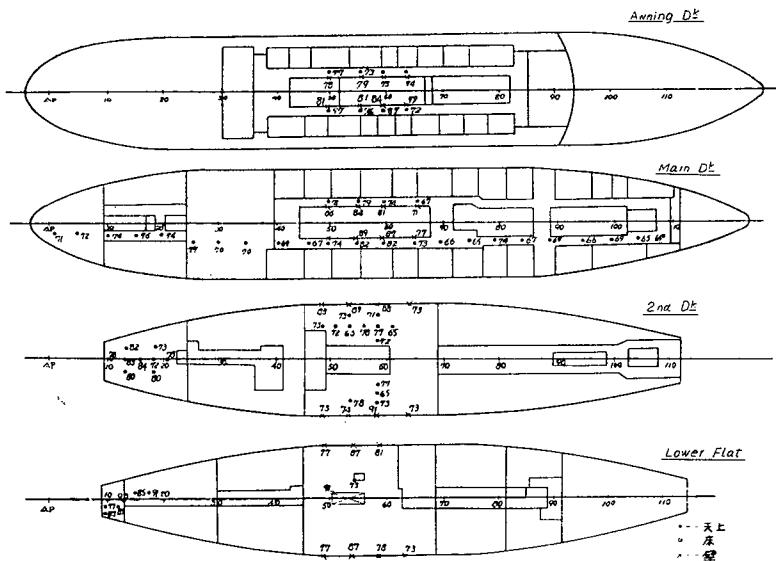


図 2.40 振動加速度分布図 (S丸)

は250c/sバンドで常にディーゼル船がタービン船より約8dB大きい。この差は両船の騒音の差に等しい。

機関室から船尾側では、主機と推進器系の振動が重畠され、63c/s バンド以下の低周波成分はほぼ一定値となり、80c/s バンド以上の成分は船首側と同様に機関室区画の船尾側端までは急速に減衰し、さらに船尾側となるにつれ次第に増加する。

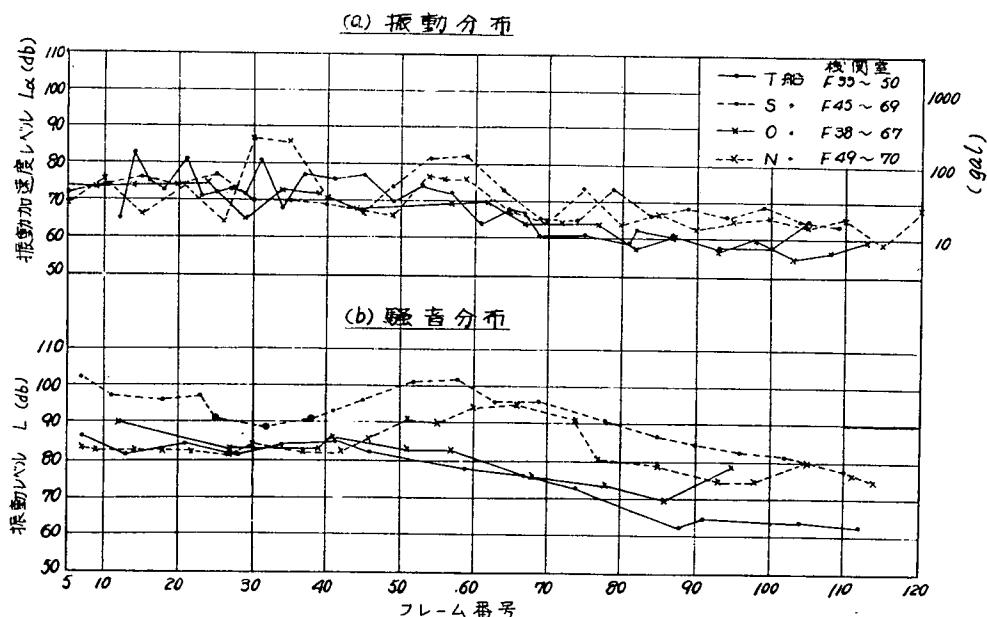


図 2.41 各船の振動加速度と騒音の分布状態

(iv) 振動の伝達状態について

主機取り付けボルトの振動を基準とした振動レベル差で、外殻底部の船首尾方向振動伝達、外殻を経

て上甲板方向への振動伝達を図 2.42～2.43 に示した。

主機の振動は取り付けボルトから舷側のフレームに達するまでに約 15dB 減衰し、さらに船首方向への外殻伝達経路で平均 1 フレーム当り 0.4 dB の割合で減衰する。

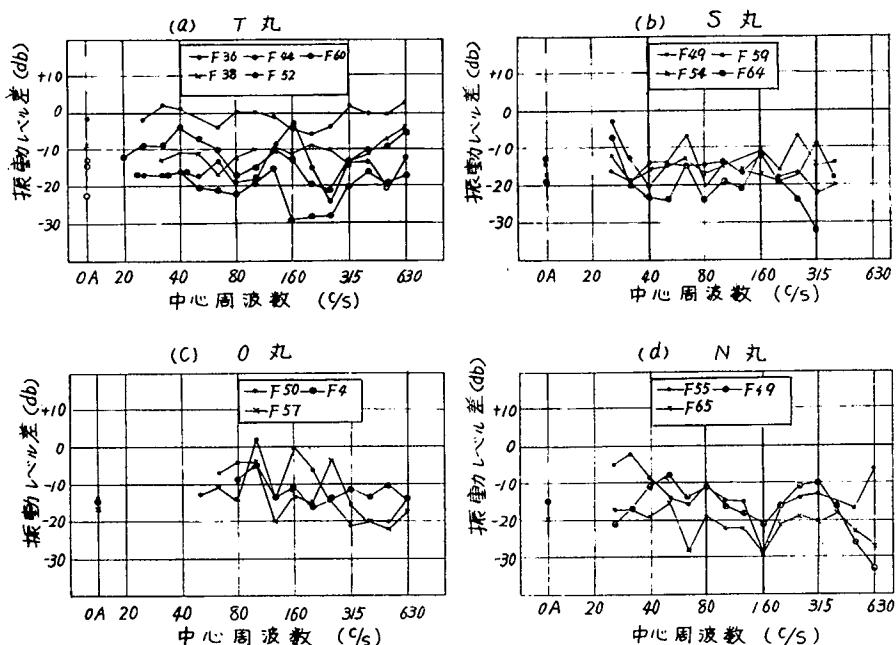


図 2.42 外殻への振動伝達特性、船首方向（主機取付部基準）

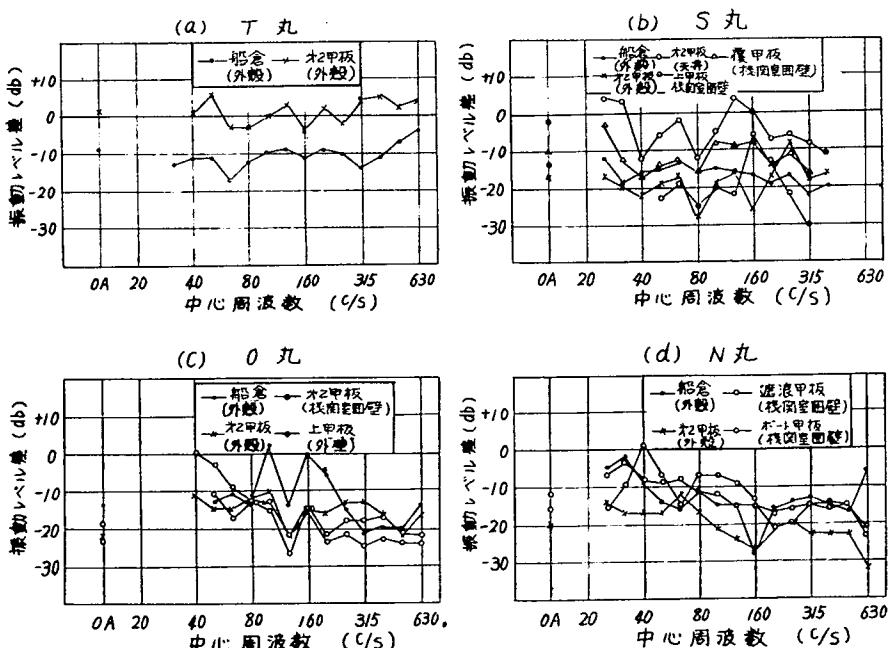


図 2.43 外殻機関室隔壁への振動伝達特性（上下方向）（主機取付部基準）

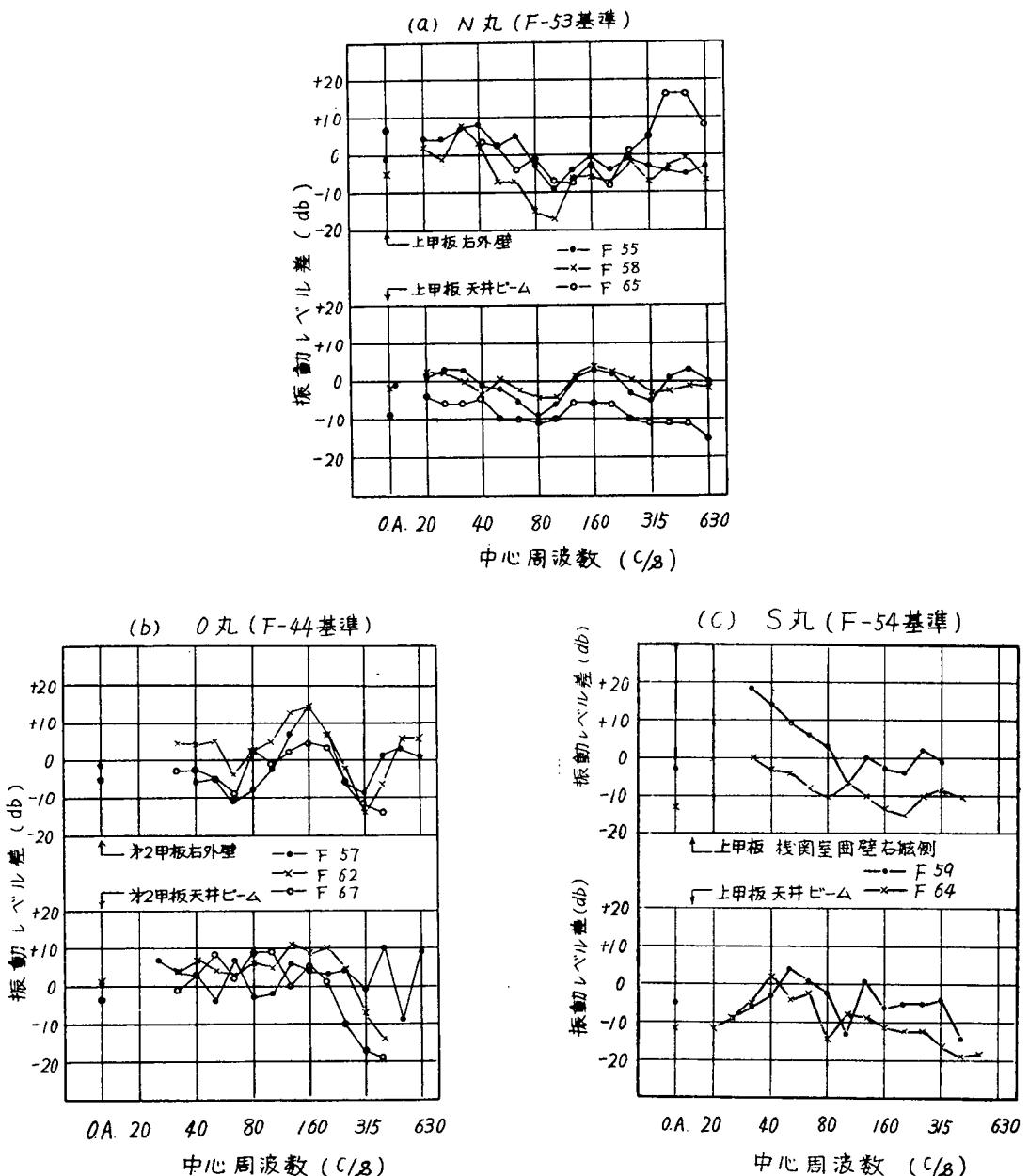


図 2.44 機関室附近から船首方向への振動伝達特性

フレームを上甲板方向へ伝達する振動は伝達距離約 5m で 4dB 減衰し、ほぼ外殻の減衰率と等しい値をとる。

外殻と甲板を伝達経路として機関室開口部周壁に達した振動は、開口部の固有振動数とその奇数倍の高次振動成分で励振し、ディーゼル船では外殻より 10 dB 以上も振動が増加し、タービン船でも約 3 dB の振動増加があつた。

主機から外殻、甲板を経て上甲板およびその外壁に伝わった振動は図2.44のように船首方向への伝達

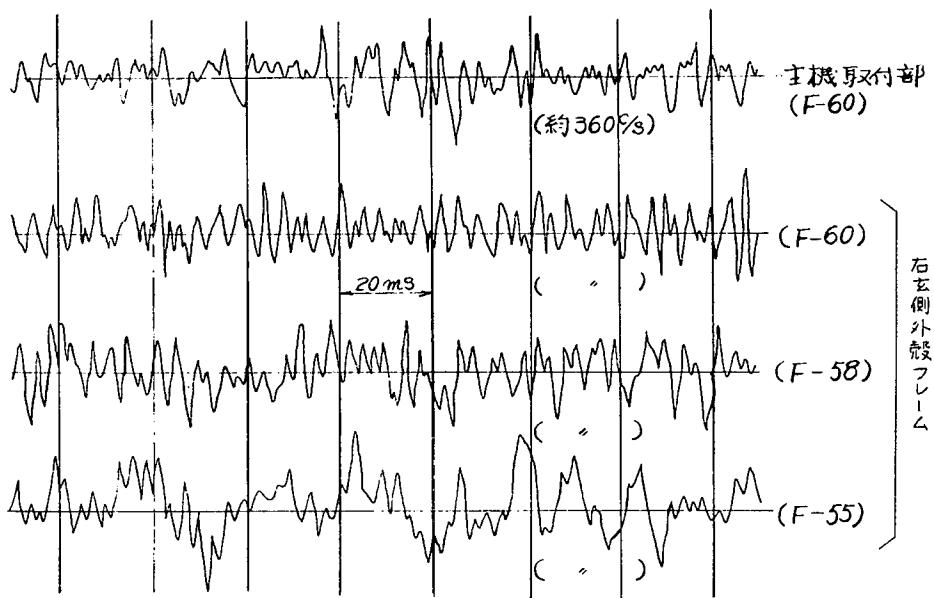


図 2.45 主機、外殻の振動波形 (N丸)

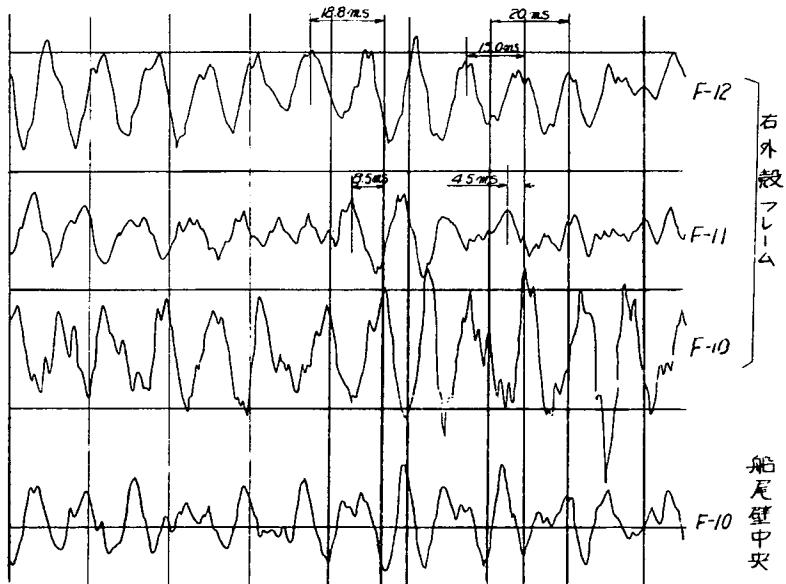


図 2.46 船尾壁、外殻の振動波形 (N丸)

経路でディーゼル船で 1 フレーム当たり 0.8 dB, ターピン船で 0.4 dB の割合で減衰し、図 2.41 に示したように、ディーゼル船で約 65 dB (18 gal), ターピン船で約 58 dB (8 gal) で一定の値となる。

参考として図 2.45～2.46 に主機附近と船尾外壁の振動加速度波形を示す。

(iii) 各甲板の振動の比較

機関室から十分離れた船首側の各甲板ビーム中央上の振動を上甲板の振動 (O丸は第 2 甲板) を基準

とした振動レベル差によつて示したもののが図2.47である。

羅針甲板までの各甲板で最も振動が少ない甲板はボート甲板で、その一層上方の操舵甲板は両舷に翼部を持つためか一般に上甲板より振動が大きく、そのため騒音の振動音成分が大きい。この結果は公試運転時の結果と一致している。

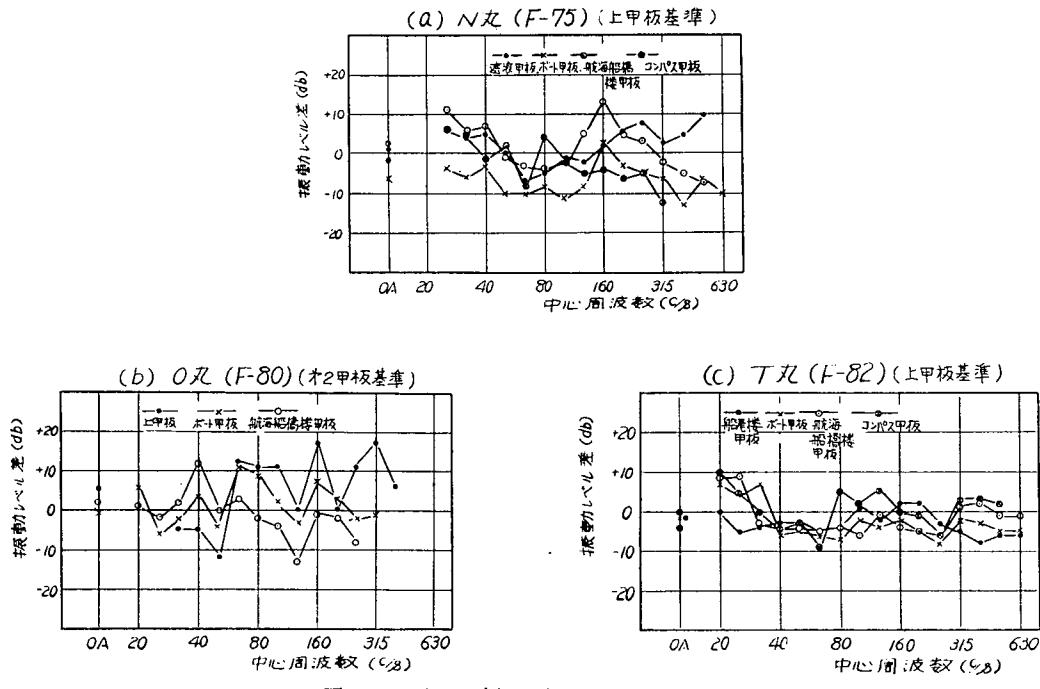


図 2.47 各甲板の振動レベル差

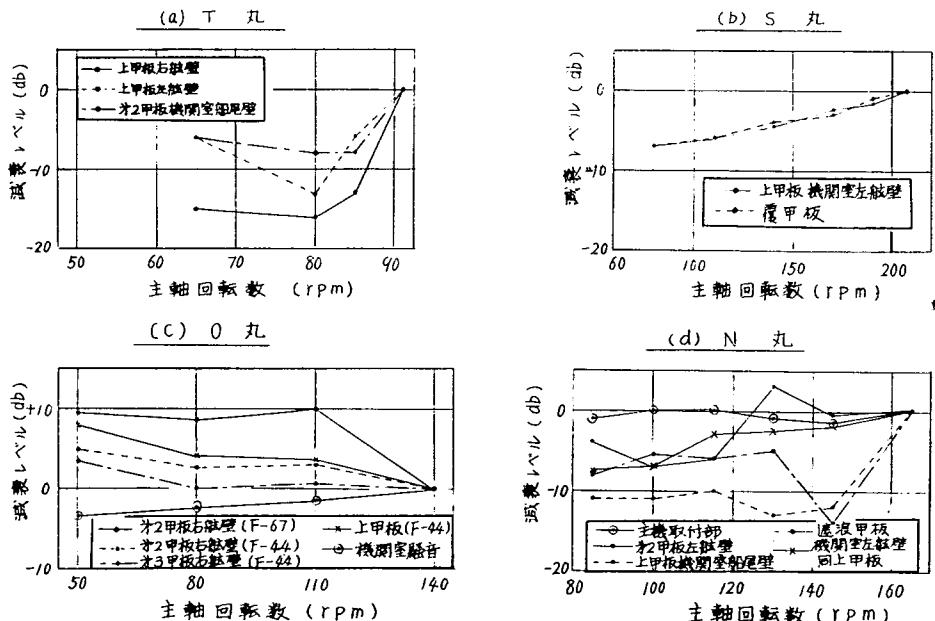


図 2.48 主機主軸回転数変化による振動特性

(iv) 主軸回転数変換と振動

近海航行時の常用回転数を基準として、主軸回転数の変換による振動の変化を示したのが図2.48である。

主機取り付け部の振動は主軸回転数が変化しても一定値に近い(N丸)が、甲板の振動は回転数が1/2になると約6dB減少する。機関室開口部周壁は壁体の固有振動により回転に応じて変化するが、主機

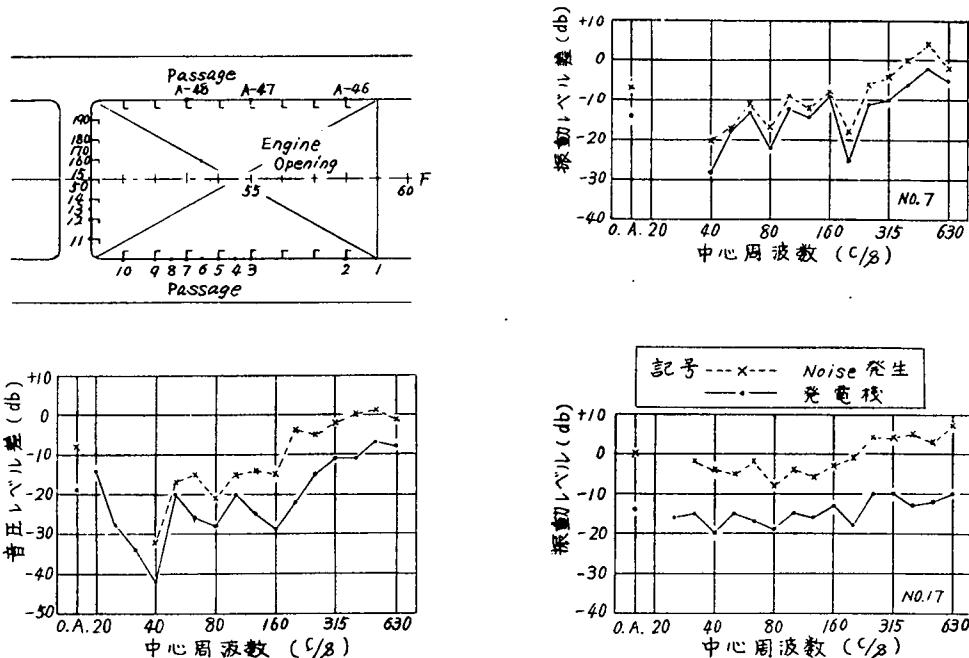


図 2.49 機関室騒音と振動のレベル差 (N丸) (航行中基準)

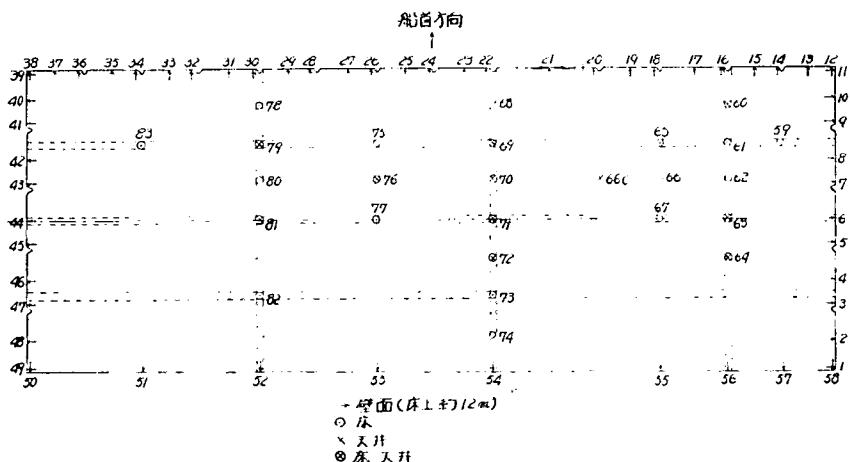


図 2.50 開壁振動計測点 (S 丸 Charging Room)

定格回転数の75%以上の回転数で急激に振動が増加する。(T, N丸)

(v) 機関室の騒音と囲壁の振動との関係

機関室内騒音とその囲壁の振動を航海中の計測値を基準として、碇泊中で発電機騒音のみのとき、この状態で航海中の機関室内騒音を再生してスピーカから発したときの振動レベル差で示したのが図2.49である。

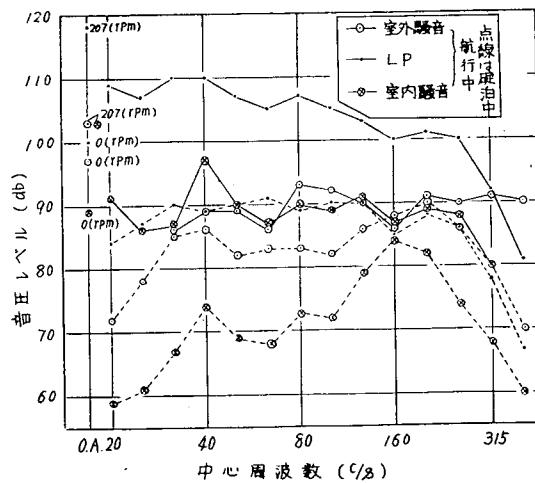


図 2.51 居室囲壁の放射音と室内外の騒音 (S丸)

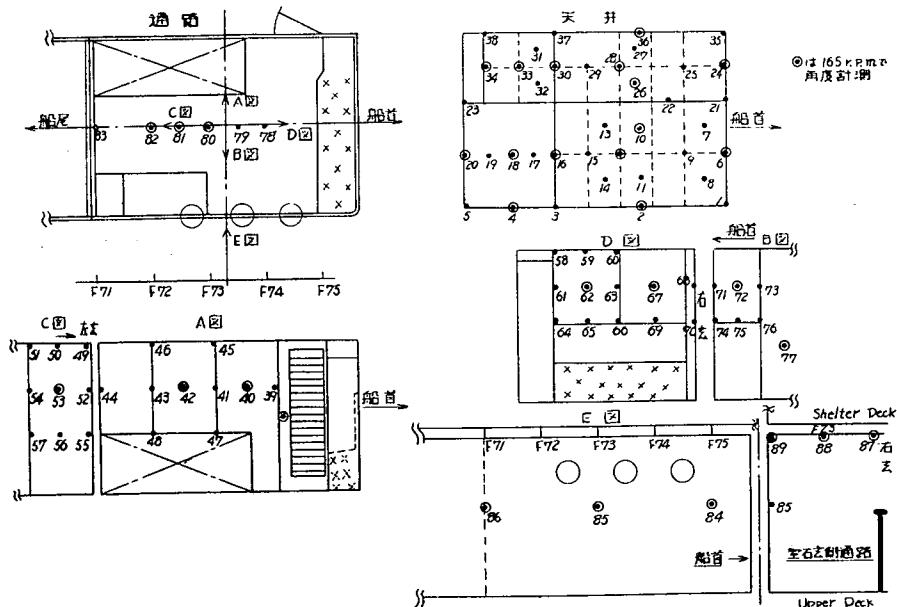


図 2.52 N 丸居室計測点一覧図

主機が停止して発電機のみになると、機関室の騒音は約 19dB 減少するが、囲壁の振動は 14 dB 減少した。機関室内に航海中の騒音を再生発音して騒音レベルを測定すると発電機のみのときより 11dB 上昇したが、囲壁の振動は各計測点の平均で約 6dB の上昇に止まつた。この割合は 160c/s 以上の各周波数成分ではほぼ一定であるが、160c/s 以下では周波数に比例して振動の増加が少なくなつた。

(vi) 代表的居室の騒音と囲壁の振動

図2.50 および図2.52 の各計測点の振動加速度レベルから、各壁ごとの平均放射音出力を算出し、放射率を100%，室内平均吸音率を0.05（S丸）、および総吸音力を10m·Sb（N丸における実測値、メーター・セイビン）として室内音圧レベル L_p を求め、実測の室内騒音レベルと比較して図2.51、図2.53 に示した。 L_p から室内騒音レベルを差引いた値 ΔL_p は、放射率 γ のとき $\Delta L_p = 10 \log_{10} \gamma$ (dB) となり、振動から室内騒音を算定するときの補正値となるものである。 ΔL_p は航海中および碇泊時の両計測の結果 -12～-20 dB であり、空気音成分が振動に関係する 250 c/s バンド以上の周波数成分では -12 dB としてよいことが明らかとなり、供試体試験で求めた結果と一致した。

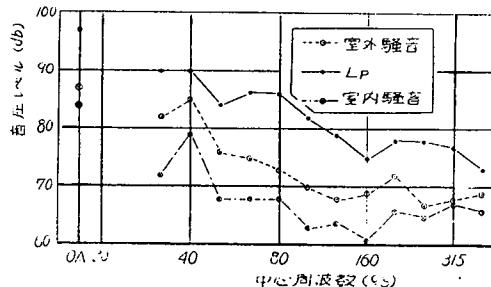


図 2.53 居室囲壁の放射音と室内外の騒音（N丸）

(vii) 代表的居室の平均吸音率と総吸音力

各室の残響時間（音圧が 60dB 減衰するに要する時間）の計測結果から Sabine の計算式により平均騒音率と室内総吸音力を求めたものが図 2.54 である。

室内にベットやカーテン等が十分にあつて吸音作用の大きい室の平均吸音率は約 0.3、操舵室や教室のように布地類のない室では約 0.1 と 1/3 の吸音率となつた。これは振動音から室内音圧を求める際に重要となる。

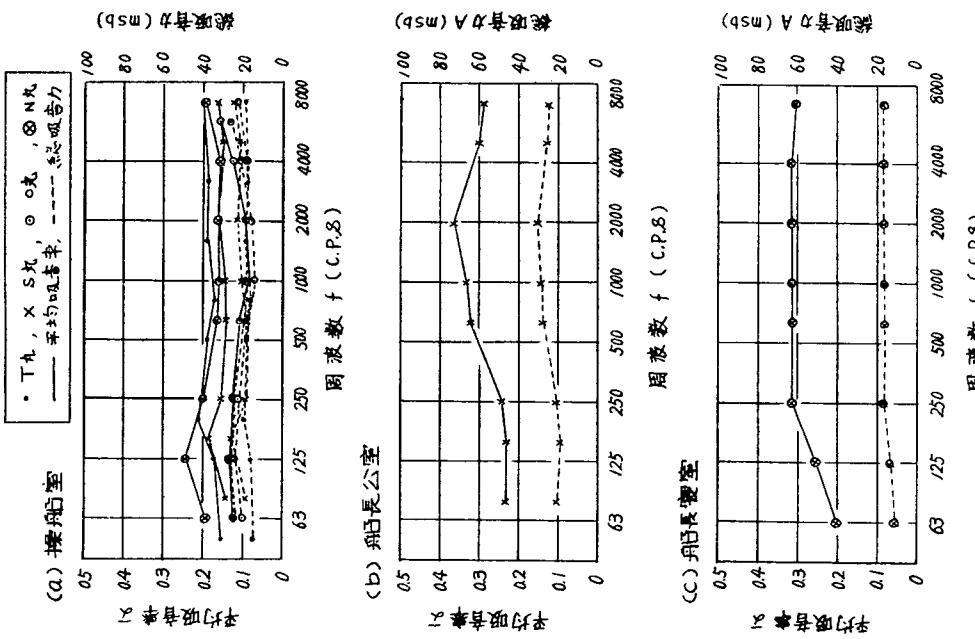


図 2.54 (a) 各室の平均吸音率および総吸音率

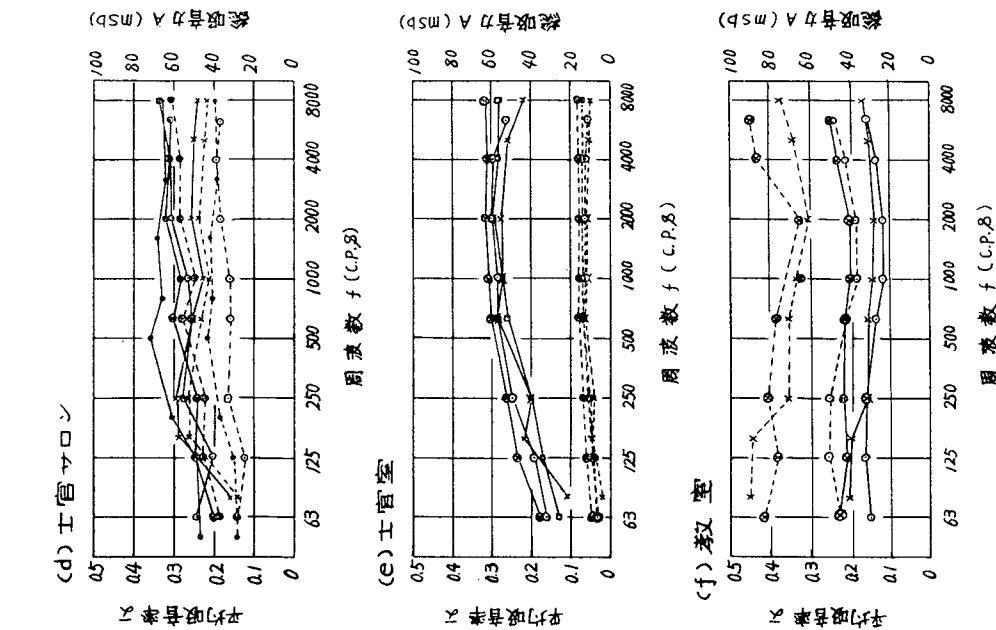


図 2.54 (b) 各室の平均吸音率および総吸音率

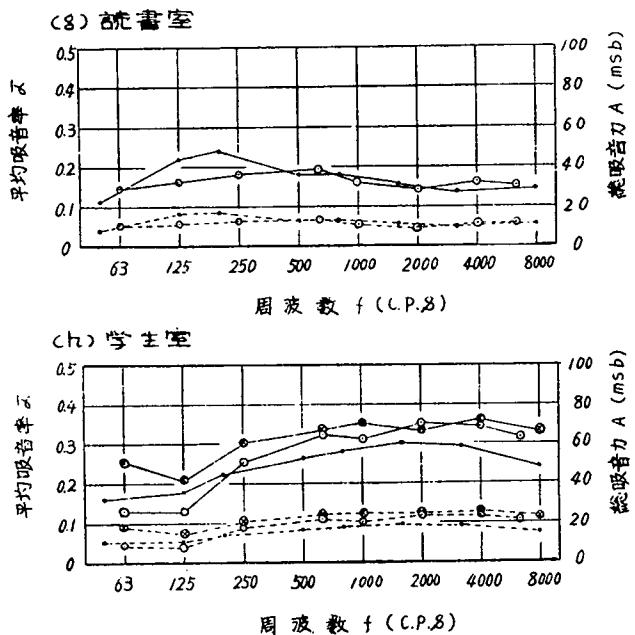


図 2.54 (c) 各室の平均吸音率および総吸音力

2.3.5 実船試験結果と供試体試験結果との比較検討

前記 2.2 節において説明した供試体による各種音響関係試験結果を実船試験結果に結びつけて検討しよう。

例として、図 2.50 に示した S 丸 Charging Room の航海中と碇泊中における室内外騒音を基として、囲壁の透過音による室内騒音レベルの計算値について考察を加える。

周知のとおり、室内騒音レベルの概算値は次式で求められる。

ここで、 L_{in} ：室内音圧レベル (dB)

L_{out} : 室外 " (dB)

T : 透過率

S : 透過面積

A : 室内総吸音力 (m·sb)

この室の船首側および左右舷側の壁は厚さ 4.5mm のコルゲート鋼板単体、床面は厚さ 1mm のステンレス付鋼板で構成され、室内への透過音はこの 4 面だけからと考えられるので、船尾側と天井面からの透過音を省略して計算した。この結果は表 2.5 のとおりであり、航海中においては振動音が室内騒音の主成分となつていることが明らかとなつた。また、碇泊中で発電機のみが作動したときのように振動が少ない場合の室内騒音は 125c/s 以上の周波数範囲ではほぼ計算値と一致した。これらの結果から、室内騒音レベルが(2.15)式で計算した値と合致するためには、室間壁に伝達される振動によつて励振す

る囲壁の平均加速度レベル ($1G=100\text{dB}$ として) が室外騒音レベルより約 25dB 以上小さい必要があることが判明した。従つて図2.41によれば、航海中における船舶居住区の騒音は全船にわたり振動音が主成分となつているものと見なし得る。

室内騒音の 100c/s 以下の成分については、囲壁特有の振動特性により囲壁の構成状態によつて異なるものとなる。これは、図 2.51 における $40, 80, 125\text{c/s}$ バンドの室内音圧レベルの上昇となつて証明されている。(40c/s バンド内にコルゲート鋼板の板場の高次振動数が存在する。)

表 2.5 室内騒音レベル計算表

周波数 (c/s)	T.L. (供試体実測値dB)		$\Sigma T \cdot S$	音 壓 レ ベ ル (dB)		室内計算値	室内実測値	計 算・ 実測の差			
	コルゲート 鋼	ステイフナ付 鋼		室外	室内			航 海	碇 泊		
100	9	12	5.9	92	81	90	79	89	72	-1	-7
125	12	15	3.0	90	86	85	81	91	79	+6	-2
160	13	17	2.2	86	88	79	81	87	84	+8	+3
200	15	17	1.6	91	90	83	82	89	82	+6	0
250	17	17	1.2	90	86	81	77	88	74	+7	-3
315	19	19	0.7	91	80	79	68	80	68	+1	0

注：1. コルゲート鋼板部面積 $S_1=35\text{m}^2$

2. スティフナ付 // $S_2=24\text{m}^2$

3. 室内総吸音力 $A=10\text{m} \cdot \text{sb}$.

2.3.6 結論

公試運転時および近海航海時における実船試験の結果、航海中における現行船舶の居住区騒音の主成分は、主機と推進器系による振動によつて居住区囲壁が振動するために生ずる振動音であることが明らかとなつた。従つて、船舶居住区の騒音防止対策は、振動源の振動減少対策と居住区囲壁の防振対策によってのみ達成されよう。この資料が、今後の船舶騒音防止対策に際し、また、適切な防音構造方式の確立に役立てば幸である。

終りに、実船試験によって得られた結果を集約する。

- (1) ディーゼル船機関室騒音の平均レベルは 104 dB (C 特性) で、底部の騒音は主機定格に対する出力の割合が一定のときは等しいレベルとなる。タービン船はディーゼル船より平均 8 dB 少ない。
- (2) 低周波振動成分は翼部を両舷に持つ操舵甲板が最も大きく、ついで上甲板、第 2 甲板の順である。
- (3) 機関室とその周辺通路の平均騒音レベル差は 11 dB (C 特性) で、通路騒音はその囲壁の振動で決定し、機関室内騒音に支配される要素は僅かである。
- (4) 通路と居室の平均騒音レベル差は 9 dB (B 特性) である。この差は、振動成分が均一化する機関室から離れた（船首側）所では約 7 dB (B 特性) と減少する。

- (5) 機関室隣接室の騒音は通路に面する居室より 3 dB 大きい。
- (6) 機関室内制御室の騒音は機関室より平均 14 dB (B 特性) 小さい。
- (7) タービン船とディーゼル船の振動は、主機の振動に支配される船首側では前者が 8 dB 少ないが、推進器系の振動によつて決定する船尾側では等しい値をとる。
- (8) 主機の振動は、その取り付け部から舷側フレームに伝わるまで 15 dB 減少し、更に外殻の伝達経路内を 0.7 dB/m の減衰率で伝達する。振動はディーゼル船では 65 dB、タービン船では 58 dB でほぼ一定となり、さらに振動源から離れても減衰しない。
- (9) 推進器系による船尾の低周波振動は、フレーム番号 10~15 で最大となり、フレーム番号 40 までは船尾からの距離に比例して減衰するが、40 以上ではほぼ一定値となる。
- (10) 機関室開口部囲壁の振動は、外殻および甲板を伝達した振動によつて励振され、63c/s バンド以下の低周波成分はタービン船で約 3 dB、ディーゼル船で約 10 dB 増加 (外殻底部基準) する。これは、機関室周辺通路騒音の主成分となる。
- (11) 主機出力が変化して主軸回転数が小さくなると、騒音、振動ともに減少する。この減少は主軸回転数が定格回転数の 70% になるまでは一般に急速であるが、70% 以下ではほとんど変化しない。これは機関室やその周辺通路の騒音が出力 $^{1/2}$ 以下になると急激に減少することと合致する。
- (12) 囲壁の振動から放射音による室内音圧を算出する際の補正値 ΔL_p は、供試体試験結果と等しい値 -12 dB としてよい。
- (13) 士官居室等のように、室内に吸音力の大きいベットやカーテンがある室の平均吸音率は 0.3、操舵室、教室、食堂等は 0.1 としてよい。

2.4 むすび

各種船舶用構造の供試体について音響的、振動的試験を行なうことにより、過去において資料の皆無であった厚鋼板を主体とした船舶用複合構造体ならびに単構造体に関して有効な設計資料を得、さらに多数の実船における各試験により現行船舶の騒音および音響域振動の船内伝播状態、分布状態ならびに各種の音響的資料を得ることができ、ほぼ所期の目的を達成し得た。

以上の各資料は、船舶居住区画に対する防音構造方式の確立に際してはもちろん、将来の船舶の騒音防止対策の方向付けにも有効に活用されるであろう。

船舶の防音対策には、2.1 節で述べたようになお多くの問題が残されているが、それらが一つ一つ解決され、快適な居住性を有する船舶が出現することを望む次第である。

第3章 防熱・防音構造の標準仕様に関する研究

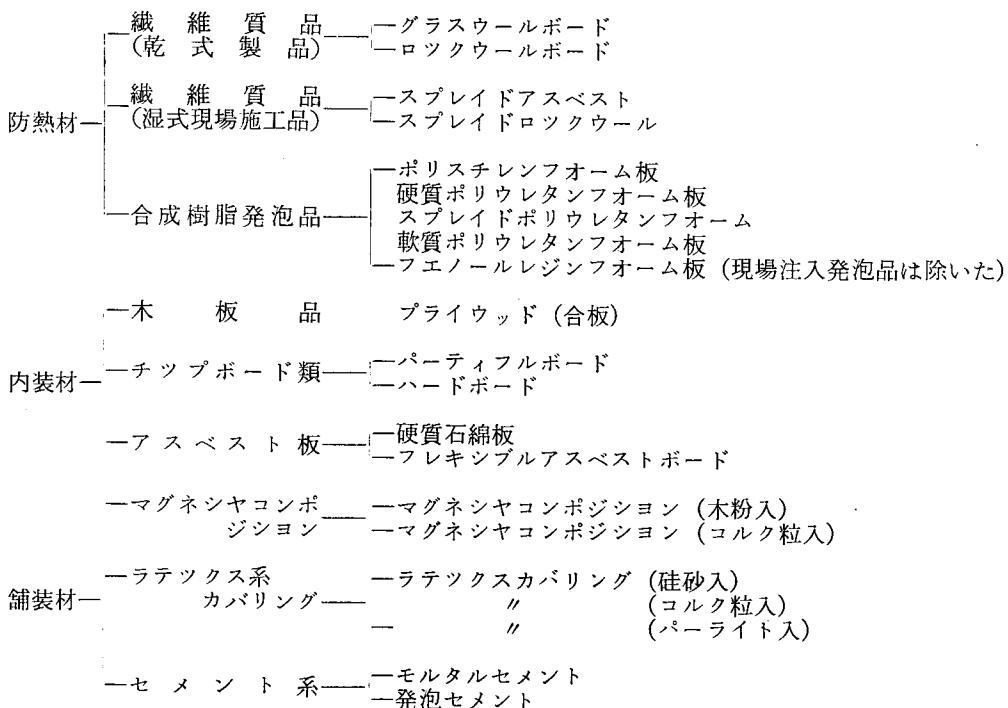
3.1 はしがき

第1章および第2章では、防熱および防音についての基礎的研究について記した。造船所における実際の工事では、船殻構造、工事環境、使用材料等が自然に限定されるので、前章にあげた供試体構造のすべてが使用されているわけではない。本章では前章にあげた供試体構造を使用先別に分類し、設計者が防熱・防音構造の適用を計画するのに便宜なように各構造の性能を一覧表にし、さらにグレーディングを行なつた。

3.2 防熱構造の標準仕様

3.2.1 防熱材

現在、船舶居住区画に使用されているもの、また今後使用が予想される防熱材ならびに内装材料を分類すれば次のとおりである。



以上の材料は単独または幾種か組合せて使用される。各種材料を防熱材として使用する場合の性能上の問題点は、熱伝導率、各種強度、吸水湿性、耐火性、老化性、作業性等の項目があるが、本研究では熱伝導率について調査・測定を行なつた。

一般に船舶の居住区に用いる防熱材は次のような特性を持つことが好ましい。

- (a) 热伝導率が小さいこと
- (b) 軽量であること

- (c) 吸水、吸湿が少ないこと
- (d) 固着が容易であること
- (e) 不燃または難燃であること
- (f) 耐久性があること
- (g) 経済的であること

以上の観点から現在のところ、実際に多く使用されている防熱材はグラスウールである。

表3.1は本研究部会で調査あるいは計測した各種防熱材および内装材の熱伝導率である。

表3.1 各種防熱材の熱伝導率

測定者又は規格	材料の種類	カサ比重 (g/cm ³)	熱伝導率 (kcal/mh°C)	測定平均温度
---------	-------	------------------------------	---------------------	--------

1. グラスウール ボード

J I S A 9505	ガラス綿保溫板 1号	a	0.007以上	0.037以下	0°C
		b	0.010 "	0.033 "	"
		c	0.013 "	0.030 "	"
		d	0.020 "	0.027 "	"
	ガラス綿保溫板 2号	a	0.010 "	0.036 "	0°C
三菱重工業計測		b	0.013 "	0.033 "	"
		c	0.020 "	0.030 "	"
		d	0.027 "	0.028 "	"
		e	0.040 "	0.027 "	"
	グラスウールボード (公称 24kg/m ³)		0.0210	0.038	55.7°C
	"		0.0127	0.043	50.2°C
	(公称 16kg/m ³)				

2. ロックウール ボード

業者規格	岩綿保溫板 1号	a	0.07以下	0.042以下	70±5°C
		b	0.12 "	0.041 "	"
	" 2号		0.30 "	0.042 "	"
	" 3号		0.35 "	0.047 "	"

3. スプレイド アスベスト、スプレイド ロックウール

業者規格	スプレイド アスベスト	0.20	0.027+0.00011θ
	スプレイド ロックウール	0.25	0.042+0.00011θ

測定者又は規格	材 料 の 種 類	カ サ 比 重 (g/cm ³)	熱 伝 導 率 (kcal/mh°C)	測定平均温度
4. フォーム ポリスチレン板				
J I S A 9511	フォーム ポリスチレン 保溫板 1号	0.030	0.029以下	0°C
	〃 2号	0.025	0.030 〃	〃
	〃 3号	0.020	0.032 〃	〃
5. 内 装 材				
三菱重工業計測	合 板	0.566	0.124	36.8°C
	ノボパン	0.609	0.105	40.8°C
	ノボパン BX	0.767	0.113	39.0°C
	マリライト (表面アスベスト板付)	1.029	0.123	38.4°C
6. 床 張 材				
三菱重工業計測	マグネシアコンポジション (コルク粒入)	0.812	0.203	32.6°C
	〃 (上塗用)	1.690	0.848	36.6°C
	ラテックス カバリング (珪砂入)	0.939	0.263	30.3°C
	〃 (コルク粒入)	0.867	0.231	37.9°C
	〃 (ペーライト入)	1.996	0.783	32.9°C

注 三菱重工業の計測に使用した熱伝導率測定装置の概要は次のとおりである。

メー カ ノーフリクション計器株式会社
形 式 ガーデッドホット プレート式 (絶対法)
供試体の寸法 200mm × 200mm 厚さ 10mm～25mm

3.2.2 防熱構造標準仕様の選択

船舶居住区の防熱計画は下記の事項を総合的に検討することにより決定される。

- (a) 船の受熱条件 (航路その他)
- (b) 船内の熱源の状態
- (c) 被防熱区画の条件
- (d) 冷暖房方式
- (e) 船級協会、各国主務官庁の規定
- (f) 費用

(g) 工作法

一般に熱源側の温度と防熱される区画のあるべき温度とを考え、その隔壁の防熱値（熱貫流抵抗あるいは熱貫流率）を想定し、必要とする防熱値をもつた防熱構造を決定することになる。

ここでは、40数種の防熱用供試体の実験結果を基に、船舶用隔壁についてグレーディングを行ない、今後における適切な構造体選択の基礎資料に供することとする。

(a) 構造体の熱的性質の評価方法

一般の構造体の防暑、防寒性は、熱移動量の大小と、温度変動の大小によつて評価できるものであり、大略、前者は構成材料の〔熱伝導率〕、後者は〔温度拡散率〕の値で評価できる。

以上の点から本報告では、熱移動量を表わす値として熱貫流率、熱貫流抵抗、熱コンダクタンスを、温度変動を表す値として遮熱抵抗を標準仕様表に掲げた。

(b) 防熱構造標準仕様表中の熱的諸値について

(i) 热貫流率 K [$\text{k cal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$]

仕様表中の値はほとんどが実験値であるが、一般に熱貫流率は次式によつて求められる。

$$K = 1/R_i + \sum \gamma d + R_o \quad \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

また 热貫流抵抗 R [$\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{k cal}$] は

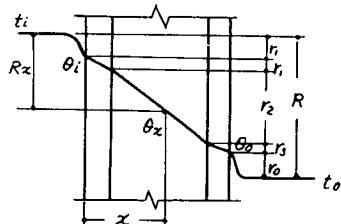
$$R = 1/K \quad \dots \dots \dots \quad (3.2)$$

熱コンダクタンス C [$\text{k cal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$] は、

$$C = \lambda/d \quad \dots \dots \dots \quad (3.3)$$

(ii) 遮熱抵抗 $1/R \sum c \rho d$

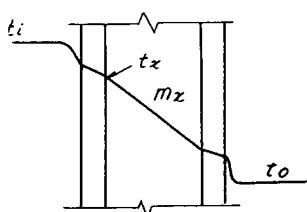
この値は室温変動係数 δ の換気の項を除いたもので熱抵抗と熱容量を考えに入れた値である。



次に構造体の各部温度分布は次式によつて求められる。
左図のごとき複合体の任意の点 x の温度は

$$\theta_x = t_i - \frac{R_x}{R} (t_i - t_o) \quad \dots \dots \dots \quad (3.4)$$

となる。



また、各部の温度低下率 m_x は、低温側温度を基準として次式によつて求められる。

$$m_x = \frac{t_x - t_o}{t_i - t_o} \quad \dots \dots \dots \quad (3.5)$$

ここに R_i : 内側熱伝達抵抗 [$\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{k cal}$]

R_o : 外側 " " [" "]

γ : 热伝導比抵抗 [$\text{mh}^\circ\text{C}/\text{k cal}$]

d : 厚み [m]

c : 比熱 [$\text{kJ cal/kg}^{\circ}\text{C}$]

ρ : 密度 [kg/m^3]

θ_x : 求める場所の温度 [$^{\circ}\text{C}$]

t_i : 内側温度 [〃]

t_o : 外側 〃 [〃]

(c) 防熱構造標準仕様表

本篇第1章1.2節において示した構造体を中心に、上記の熱的諸値を含めた標準仕様表を作成すれば表3.2のようになる。

(d) 構造体の熱的性質に関するグレーディング

すでに記したように、構造体の熱的性質の評価基準値を熱移動量の大小と、温度変動の大小の両者とし、その関係を求めるとき図3.1のとおりである。

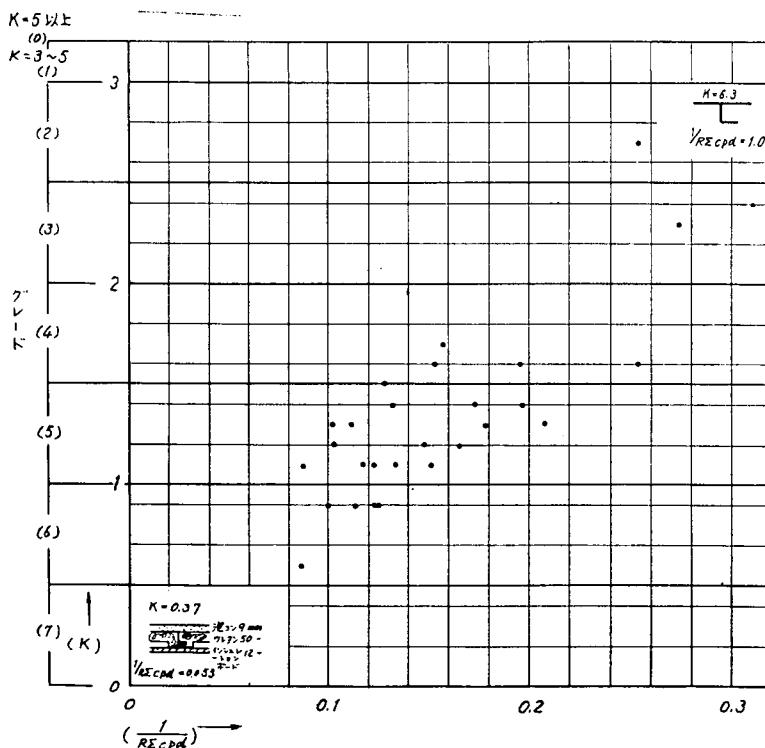


図3.1 防熱構造グレーディング基準図

この図からわかるように、ステイフナ付鋼板を主材とした各種構造体の熱的性質は、 $1/R\Sigma cpd$ が大なれば K も大なり、そのいづれかの値だけによつて性能評価ができるもので、建築の構造（コンクリート造、木造、プレアブ造）に比して性能特性は単純である。もちろん木製畠壁などが含まれるとこのような関係も複雑となる。

また、図中の値について K 値を用いて次のような分類をした。

グレード	Kの値	備考
0	K=5.0 以上	最も悪い鋼板のみ
1	K=3.0~5.0未満	
2	K=2.5~3.0 "	
3	K=2.0~2.5 "	
4	K=1.5~2.0 "	
5	K=1.0~1.5 "	
6	K=0.5~1.0 "	
7	K=0.5未満	居住区隔壁の構造体で最も良いもの

このようなグレーディングの方法によつて各供試体の性能評価を行なうと標準仕様表の右端に示した値となる。

したがつて、今後は各適用場所に要求される条件が定まれば、標準仕様表の構造体断面とグレード番号の関係を参考に適切な構造体の設計ができるわけである。

表 3.2 (a) 防熱構造標準仕様表

使用区分	構 造	形 素	鋼	防 热 特 性				温度分布および 温度低下率	供試体 備 考	ブ ー ジ ン グ 	
				K ($\text{A}_{\text{spec}}/\text{m}^2\text{K}$)	R ($\text{A}_{\text{spec}}/\text{W/K}$)	C ($\text{A}_{\text{spec}}/\text{W/K}$)	I ($\text{A}_{\text{spec}}/\text{W/K}$)				
居住区隔壁	(1)	200×90×11	K	1.1	0.91	1.57	0.067	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-16-11 T-16-11 T-16-11 T-16-11 T-16-11 T-16-11 T-16-11 T-16-11 T-16-11 T-16-11 T-16-11 T-16-11	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		100×75×7	K	0.9	1.11	1.08	0.099	0.0	50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-15-11 T-15-11 T-15-11 T-15-11 T-15-11 T-15-11 T-15-11 T-15-11 T-15-11 T-15-11 T-15-11 T-15-11	6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6
		65×45×6	K	1.1	0.91	1.57	0.155	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-14-101 T-14-101 T-14-101 T-14-101 T-14-101 T-14-101 T-14-101 T-14-101 T-14-101 T-14-101 T-14-101 T-14-101	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
	(2)	200×90×11	L	1.1	0.91	1.57	0.067	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-16-9 T-16-9 T-16-9 T-16-9 T-16-9 T-16-9 T-16-9 T-16-9 T-16-9 T-16-9 T-16-9 T-16-9	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		65×45×6	L	1.1	0.91	1.57	0.155	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-14-9 T-14-9 T-14-9 T-14-9 T-14-9 T-14-9 T-14-9 T-14-9 T-14-9 T-14-9 T-14-9 T-14-9	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		200×90×11	L	1.2	0.85	1.54	0.103	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-16-7 T-16-7 T-16-7 T-16-7 T-16-7 T-16-7 T-16-7 T-16-7 T-16-7 T-16-7 T-16-7 T-16-7	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
	(3)	100×75×7	L	1.2	0.85	1.54	0.148	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-15-7 T-15-7 T-15-7 T-15-7 T-15-7 T-15-7 T-15-7 T-15-7 T-15-7 T-15-7 T-15-7 T-15-7	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		65×45×6	L	1.1	0.91	1.57	0.151	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-14-7 T-14-7 T-14-7 T-14-7 T-14-7 T-14-7 T-14-7 T-14-7 T-14-7 T-14-7 T-14-7 T-14-7	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		200×90×11	L	1.5	0.72	1.70	0.102	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-16-5 T-16-5 T-16-5 T-16-5 T-16-5 T-16-5 T-16-5 T-16-5 T-16-5 T-16-5 T-16-5 T-16-5	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
	(4)	100×75×7	L	1.1	0.95	1.55	0.116	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-9 T-9 T-9 T-9 T-9 T-9 T-9 T-9 T-9 T-9 T-9 T-9	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		65×45×6	L	1.0	1.00	1.22	0.121	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		200×90×11	L	1.5	0.77	1.70	0.111	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-16-3 T-16-3 T-16-3 T-16-3 T-16-3 T-16-3 T-16-3 T-16-3 T-16-3 T-16-3 T-16-3 T-16-3	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
	(5)	100×75×7	L	1.4	0.71	1.69	0.173	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-15-5 T-15-5 T-15-5 T-15-5 T-15-5 T-15-5 T-15-5 T-15-5 T-15-5 T-15-5 T-15-5 T-15-5	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		65×45×6	L	1.2	0.85	1.54	0.166	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5 T-14-5	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		200×90×11	L	2.7	0.57	5.26	0.255	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
	(6)	100×75×7	L	2.5	0.40	4.55	0.350	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-5 T-5 T-5 T-5 T-5 T-5 T-5 T-5 T-5 T-5 T-5 T-5	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
		65×45×6	L	2.5	0.40	4.55	0.399	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-14-1 T-14-1 T-14-1 T-14-1 T-14-1 T-14-1 T-14-1 T-14-1 T-14-1 T-14-1 T-14-1 T-14-1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
		200×90×11	L	2.7	0.57	5.26	0.255	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1 T-16-1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
	(7)	100×75×7	L	2.2	0.67	2.04	0.128	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-16-8 T-16-8 T-16-8 T-16-8 T-16-8 T-16-8 T-16-8 T-16-8 T-16-8 T-16-8 T-16-8 T-16-8	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		65×45×6	L	2.2	0.67	2.04	0.128	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-15-6 T-15-6 T-15-6 T-15-6 T-15-6 T-15-6 T-15-6 T-15-6 T-15-6 T-15-6 T-15-6 T-15-6	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		200×90×11	L	1.4	0.71	1.69	0.132	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-16-6 T-16-6 T-16-6 T-16-6 T-16-6 T-16-6 T-16-6 T-16-6 T-16-6 T-16-6 T-16-6 T-16-6	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
	(8)	100×75×7	L	1.4	0.71	1.69	0.197	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-6 T-6 T-6 T-6 T-6 T-6 T-6 T-6 T-6 T-6 T-6 T-6	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		65×45×6	L	1.3	0.77	1.70	0.207	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-14-6 T-14-6 T-14-6 T-14-6 T-14-6 T-14-6 T-14-6 T-14-6 T-14-6 T-14-6 T-14-6 T-14-6	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
		200×90×11	L	1.5	0.67	2.04	0.128	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4	4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
	(9)	100×75×7	L	1.4	0.63	2.22	0.195	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-7 T-7 T-7 T-7 T-7 T-7 T-7 T-7 T-7 T-7 T-7 T-7	4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
		65×45×6	L	1.3	0.77	1.70	0.179	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-14-4 T-14-4 T-14-4 T-14-4 T-14-4 T-14-4 T-14-4 T-14-4 T-14-4 T-14-4 T-14-4 T-14-4	4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
		200×90×11	L	1.5	0.67	2.04	0.128	0.0	200 100 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0 50.0	T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4 T-16-4	4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4

表 3.2 (b) 防熱構造標準仕様表

使用区分	構 造	形 素 R C Pd	防 热 特 性			温度分布および 温度低下率	供試体	備 考	グレーディング
			(A+B+C)/M ²	(M ² C/A+B+C)	(A+C)/M ²				
居住区	01	200×90×11	1.7	0.59	2.44	0.157	0.0 60.0 1.00	最適(10)と同じ結果を示している。	4
		65×65×6	1.6	0.65	2.22	0.253	0.1 57.6 0.94	-	
	02	100×75×7	0.9	1.06	1.14	0.125	0.2 57.6 0.94	-	
		65×65×6	2.3	0.44	3.85	0.273	0.3 27.6 0.18	- 14-2	4
	03	100×75×7	2.3	0.44	3.85	0.273	0.4 20.0 0	-	
		65×65×6	0.6	1.67	0.67	0.086	0.5 60.0 1.00	ア-15-11の50mmグラフ スクール断熱と同一値、 クレーリングのアスペクト比 が小さくなることが想定。	6
	04	100×75×7	0.9	1.11	1.06	0.100	0.6 56.0 0.97	ア-16-6系と同一厚断 熱。しかし、アスペクト 比が大きくなることが、 結果となつている。	5
		65×65×6	2.4	0.42	4.17	0.309	0.7 56.0 0.97	ア-16-6系と同一厚断 熱。しかし、アスペクト 比が大きくなることが、 結果となつている。	5
	05	100×75×7	2.4	0.42	4.17	0.309	0.8 56.0 0.97	ア-16-6系と同一厚断 熱。しかし、アスペクト 比が大きくなることが、 結果となつている。	5
		65×65×6	5.6	0.16	-	1.054	0.9 56.0 0.97	ア-16-6系と同一厚断 熱。しかし、アスペクト 比が大きくなることが、 結果となつている。	5
壁 隔 壁 ふ よ び 壁 隔 壁 デ ソ キ	参考	-	3.7	0.27	11.11	0.935	0.0 60.0 1.00	中央に窓がついたもので あるが、断熱層がきわめて 小さいので熱的には影響はない。	1
	参考	200×90×11	6.3	0.16	-	0.625	0.1 48.9 0.72	-	1
	参考	100×75×7	5.9	0.17	-	0.956	0.2 20.0 0	-	1
		65×65×6	5.6	0.16	-	1.054	0.3 48.9 0.72	-	0
床	参考	-	-	-	-	-	0.4 20.0 0	-	0
	参考	100×75×7	-	-	-	-	0.5 20.0 0	-	0
合計	参考	-	-	-	-	-	0.6 20.0 0	-	0
	合計	200×90×11	6.3	0.16	-	-	0.7 20.0 0	-	0
合計	参考	100×75×7	5.9	0.17	-	-	0.8 20.0 0	-	0
		65×65×6	5.6	0.16	-	-	0.9 20.0 0	-	0

実験はエンドランドアによる方法でなされる。

3.3 防音構造の標準仕様

3.3.1 防音構造の標準仕様

前章の 2.2 節および 2.3 節で行なつた試験結果並びに ISO 推奨の NR 曲線等にもとづいて、各種構造体を、船舶の居住区隔壁、床、構造と機関室隔壁構造とにわけて、これらについて音の透過損失を主眼としたグレーディングを行なうと表 3.2 のとおりとなる。

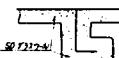
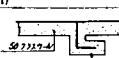
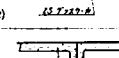
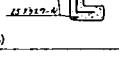
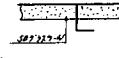
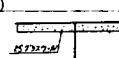
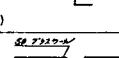
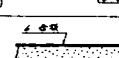
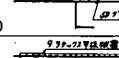
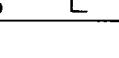
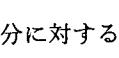
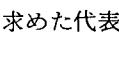
なお、防音構造標準仕様の選択のためのグレーディング方法は以下に記すとおりである。

(a) 防音構造の透過損失の代表数の決定方法

防音構造の透過損失の周波数特性に対して、各オクターブ帯域について次の数値を加え、その 6 帯域の値の最小値をその防音構造の透過損失の代表数と呼ぶ。

周 波 数 (c/s)	125	250	500	1,000	2,000	4,000
補 正 値 (dB)	+12	+6	0	0	0	0

表 3.2 (c) 防熱構造標準仕様表

使用区分	構 造	形 則	防 热 特 性			高さの目安 温度低下率 供試体 値	考 格 ナ イ グ		
			K 寸 法 ($m^2/K \cdot m^2 \cdot h^{-1}$)	R ($m^2 \cdot K / W$)	C ($m^2 \cdot K / W$)				
機 関 室 と 居 住 区 間 の 隔 壁 お よ び デ ツ キ	(1)		200x90x11	1.2	0.83	1.54	0.103	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-16-10 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	5
			200x90x11	1.2	0.83	1.54	0.103	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-16-10 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	5
	(2)		65x65x 6	1.2	0.83	1.54	0.165	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-6 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	5
			65x65x 6	1.4	0.71	1.89	0.152	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-14-8 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	5
	(3)		65x65x 6	1.3	0.77	1.70	0.207	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-15-6 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	5
			65x65x 6	1.5	0.67	2.04	0.127	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-16-4 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	4
	(4)		65x65x 6	1.3	0.77	1.70	0.178	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-14-4 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	5
			65x65x 6	1.7	0.59	2.44	0.158	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-16-2 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	4
	(5)		65x65x 6	1.6	0.63	2.22	0.255	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-14-2 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	4
(6)	(6)		—	—	—	—	—	C の初期断面と同一	—
			—	—	—	—	—	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-17 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	6
	(7)		—	—	—	—	—	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-18 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	5
			—	—	—	—	—	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-8 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	6
	(8)		100x75x 7	0.9	1.10	1.09	0.099	5.0 メートルで最高 伝熱の温度が長くなつて いるためステップの影響 は意外と少ない。	—
			100x75x 7	1.1	0.89	1.41	0.123	0.1x 60 1 0.1x 587 0.97 0.1x 587 0.97 T-11 0.1x 235 0.09 0.1x 20 0	5
	(9)		—	—	—	—	—	外成の方角で多少の差が ある。ごく僅かである。	—
			—	—	—	—	—	—	5

(b) 各使用区分に対するグレーディング

前項によつて求めた代表数を用いたとき、各使用区分に対し次のようにグレーディング数を定めることが出来る。

代 表 数	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50	50~55	55~	
居 住 区 壁 お よ び デ ツ キ	(RG)			1	2	3	4	5	6	7		
居 住 区 間 切	(LG)	1	2	3	4	5	6	7				
機 関 室 と 居 住 区 間 の 隔 壁 と デ ツ キ	(EG)					1	2	3	4	5	6	7

表 3.3 (a) 防音構造標準仕様表

使用区分	構 造	周波数別 (dB)	T.L.(dB)						供試体 番号	グレード マーク
			125	250	500	1000	2000	4000		
(1)	壁	39.1	27.5	34.0	38.5	44.5	47.5	42.5	S-3	fr=3200c/s R0-5
	床-天井								T.Lfr=400dB	5.85
(2)	床	43.0	29.5	37.5	43.5	48.5	51.0	48.0	S-4	fr=3200c/s R0-6
	天井								T.Lfr=455dB	4.25
居									S-10	測定せず
	住	40.2	26.0	35.0	40.0	46.5	49.5	44.0	S-5	fr=3200c/s R0-5
区	壁	38.8	27.0	32.5	39.5	44.5	44.5	44.5	S-10	fr=3200c/s R0-5
	天井								T.Lfr=38.5dB	5.20
壁	壁	40.6	29.5	36.0	41.5	46.5	46.0	44.0	S-11	fr=2500~3200c/s R0-6
	天井								T.Lfr=40.0dB	4.15
お	壁	40.5	33.0	41.0	42.0	43.0	41.5	41.5	S-13	fr=2500c/s R0-6
	天井								T.Lfr=32.0dB	4.15
よ	壁	36.6	30.0	35.0	34.5	35.0	39.0	43.0	S-8	fr=2500c/s R0-4
	天井								T.Lfr=38.5dB	3.45
ひ	壁	42.7	35.5	40.0	43.5	46.5	44.5	46.0	S-12	fr=2500c/s R0-6
	天井								T.Lfr=32.5dB	4.35
デ	壁	38.4	28.5	35.0	38.0	42.0	45.0	42.0	S-14	fr=2500c/s R0-5
	天井								T.Lfr=38.0dB	3.10
ア	壁	42.6	33.5	39.5	43.0	44.5	46.5	46.5	S-16	fr=2500c/s R0-6
	天井								T.Lfr=45.0dB	4.50
00	壁	33.9	26.0	32.5	32.5	36.5	41.0	35.0	S-15	fr=3200c/s R0-4
	天井								T.Lfr=34.0dB	3.25
03	壁	40.1	26.0	32.0	38.5	46.5	50.5	47.0	S-17	fr=3200c/s R0-5
	天井								T.Lfr=44.5dB	3.80
居	壁	25.8	20.0	21.0	24.0	23.5	29.0	37.0	S-18	fr=1000c/s R0-4
	天井								T.Lfr=25.5dB	2.5
間	壁	25.4	23.5	26.0	27.5	20.5	22.5	32.5	S-20	fr=1000c/s R0-4
	天井								T.Lfr=20.5dB	1.05
仕	壁	22.3	17.5	18.5	23.5	22.5	25.5	26.5	S-19	下皮筋四側縫合 R0-4
	天井	(24.7)	(22.5)	(20.5)	(24.5)	(23.0)	(28.0)	(29.5)		油粘土處理 22.5 (23.0)
り	壁									
	天井									

表 3.3 (b) 防音構造標準仕様表

使用区分	構造	平均値		周波数別 T.L. (dB)						供試体 番号	備考	グレーディング
		(4B)	(4B)	1250	250	500	1000	2000	4000			
機関室と居住区間の隔壁およびデッキ	(1)	35.8	25.0	29.0	33.0	38.0	41.5	32.0	8-1	fc = 3200 c/s TLfc = 295dB	EG-2 32.0	
	(2)	40.6	26.0	34.0	44.0	47.5	48.5	43.5	8-2	fc = 3200 c/s TLfc = 405dB	EG-3 38.0	
	(3)	40.2	26.0	35.0	40.0	46.5	49.5	44.0	8-3	fc = 3200 c/s TLfc = 410dB	EG-3 38.0	
	(4)	38.8	27.0	33.5	39.5	44.0	46.5	42.5	8-6	fc = 3200 c/s TLfc = 395dB	EG-3 39.0	
	(5)	40.6	29.5	36.0	41.5	46.5	46.0	44.0	8-11	fc = 2500~3200 c/s TLfc = 400dB	EG-4 41.5	
	(6)	40.3	33.0	41.0	42.0	43.0	41.5	41.5	8-13	fc = 2500 c/s TLfc = 420dB	EG-4 41.5	
	(7)	36.1	30.0	35.0	34.5	35.0	39.0	43.0	8-8	fc = 2500 c/s TLfc = 325dB TLfc = 335dB	EG-2 34.5	
	(8)	43.1	30.5	38.5	42.5	47.5	46.0	53.5	8-9	fc = 1600~2000 c/s TLfc = 455dB	EG-4 42.5	
	(9)	33.3	22.5	26.5	32.0	38.5	42.0	40.0	8-7	fc = 3200 c/s TLfc = 315dB	EG-2 52.0	
	(10)	33.9	26.0	32.5	32.5	36.5	41.0	35.0	8-15	fc = 3200 c/s TLfc = 340dB	EG-2 32.5	
(11)	(11)	40.1	26.0	32.0	38.5	46.5	50.5	47.0	8-17	fc = 3200 c/s TLfc = 445dB	EG-3 38.0	

(c) グレーディング数の評価

次のとおり評価する。

7 ……推奨できる

6 ……標準

5 ……実用域にある

4 ……懸念

3 ……これ以下は欠陥が生じやすい

2 ……かなりの欠陥ができる

1 ……苦情大である

3.3.2 防音用材料に関する調査

船舶での防音に関連して(1)空気および構造伝播音に対する遮音、(2)対象区画内での空気板に対する吸音、(3)空気調和装置その他機器品に対する防音、のための各種材料について材料製造所の資料および建築学会文献にもとづき、材料および特性値を調査した。その結果は表 3.4 に示すとおりである。(昭和38年11月調査)

表 3.4 吸音材 料 (吸音率)

種別 材	料	商品名および測定条件	比重 gr/cm ³	厚さ mm	吸音率						測定者
					125	250	500	1000	2000	4000	
金屬	アルミニウム板 (穿孔)	アルミニウム板 (孔径3mm間隔15mm) 中にガラス綿ボードを入れる		1.0	0.13	0.37	0.67	0.56	0.32	0.21	NHK
		アルミニウム板 (孔径5mm間隔11mm) 中に岩綿板20mm空間50mm		1.0	0.11	0.36	0.59	0.61	0.60	0.55	"
		スープートン (孔径3mm間隔71mm) 中にフェザーラス15mm空間75mm		0.5	0.10	0.26	0.54	0.73	0.65	0.62	東大生研
		スープートン (孔径3mm間隔71mm) 中にフェザーラス50mm空間75mm		0.5	0.23	0.72	0.85	0.78	0.75	0.76	"
		鋼板 (孔径3mm間隔15mm) 中にガラス綿ボードを入れる (a) 異張りなし (b) 綿布裏張り		0.5	0.48	0.12	0.32	0.16	0.05	0.06	NHK
				0.5	0.07	0.26	0.53	0.28	0.16	0.12	"
ガラス	ガラス	ガラスガラスウール繊維 (太さ10μ, 7.0kg/m ²)		—	0.035	—	0.027	—	0.020	—	Sabine
		" " (太さ6μ)		70	0.64	0.75	0.80	0.79	0.74	0.69	船越
		フェザーグラス50mm+空気層90mm+剛壁	0.01	50	0.33	0.79	0.98	0.95	0.82	0.88	小林理研
		グラスボーデ50mm+剛壁	0.05	50	0.22	0.68	0.92	0.96	0.84	0.87	"
グラスウール	グラスウール	フェザーグラス2×25mm+剛壁	0.015	50	0.23	0.64	0.93	0.96	0.92	0.85	"
		フェザーグラス25mm+剛壁	0.02	25	0.13	0.33	0.64	0.95	0.90	0.86	"
		フェザーグラス25mm+空気層90mm+剛壁	0.015	25	0.19	0.53	0.90	0.93	0.85	0.88	"

材種別	料	商品名および測定条件	比重 gr/cm ³	厚さ mm	吸音率				測定者
					125	250	500	c/s	
木材	合板(孔なし)	木材パネル(空間25mm) 合板(空間50mm) "(" 110mm) "(" 50mm)	—	—	0.09	0.17	0.15	0.15	—
		合板に丸い孔をあける(孔径6mm 間隔42mm), 板の裏に空間50mmをおいて岩綿50mmを入れる 合板に丸い孔をあける(孔径8mm 間隔39mm), 板の裏に空間50mmをおいて岩綿50mmを入れる	3 6 8	0.20 0.27 0.28	0.28 0.20 0.22	0.26 0.12 0.17	0.09 0.05 0.09	0.12 0.02 0.10	0.11 0.07 0.11
	合板(穿孔)	合板にスリット状の孔をあける(空間40mm) (a) 空間になにも入れない (b) 空間に25mmのグラスウールを入れ (c) (a)の裏に合板をくぎで張る	—	6 6 16 16 16	0.36 0.25 0.04 0.05 0.08	0.59 0.35 0.49 0.42 0.27	0.49 0.35 0.62 0.33 0.27	0.62 0.68 0.52 0.33 0.27	0.38 0.56 0.38 0.33 0.70
	岩綿	岩綿保温板(#130) 25mm+剛壁 "(") 25mm+空気層105mm+剛壁 "("#340L) 25mm+剛壁 "(") 25mm+空気層105mm+剛壁 "(") 50mm+剛壁 岩綿ラスボード "	0.25 0.25 0.18 0.18 0.18 0.25 0.25	0.15 0.61 0.16 0.53 0.35 0.15 0.35	0.45 0.72 0.38 0.78 0.75 0.45 0.75	0.72 0.75 0.72 0.81 0.80 0.77	0.75 0.82 0.85 0.81 0.77 0.73	0.69 0.75 0.84 0.81 0.75 0.70	NHK " " " " " " " " " " " " " " "

種別 材 料	商品名および測定条件	比重 gr/cm ³	厚さ mm	吸音率				測定者	
				周波数 c/s					
				125	250	500	1000		
ポリウレタン	モルトプレン S-35 空気層 0	0.035	20	0.01	0.04	0.19	0.65	NHK	
	" " 50mm	0.035	20	0.04	0.18	0.83	0.41	-	
	エバーライト(ボリエスチル) 10mm+剛壁	0.035	10	0.05	0.08	0.25	0.83	0.77	
	" 10mm+空気層10mm+剛壁	0.035	10	0.13	0.49	0.74	0.67	0.84 小林研	
プラスティックフオーム	" 20mm+剛壁	0.035	20	0.07	0.15	0.57	0.86	0.98 "	
	" 20mm+空気層100mm+剛壁	0.035	20	0.22	0.88	0.88	0.81	0.80 "	
	" 20mm+空気層10mm+剛壁	0.035	20	0.22	0.88	0.88	0.78	0.86 "	
塩化ビニール	ニッピフォーム(単独)	0.083	100	0.10	0.25	0.65	0.77	0.86 阪大音研	
	" (表面に薄膜貼付)	-	100	0.12	0.45	0.95	0.55	0.75 0.57 "	
	エアレックス S 510	0.10	10	0.04	0.05	0.10	0.20	0.38 0.13 -	
プラスティック系	ゴム ゴムシート(床張り)	5	0.04	0.04	0.08	0.12	0.03	0.101 B.R.S	
	塩ビタイル プラススタイル(未計測)		2						
	トヨタイル (")		2						
プラスティック板	ロシリウム(未計測)		2						
	塩ビシート リノリウム		3	0.03	0.03	0.05	0.05	0.04 0.04 -	
耐火材	センチュリーボード12mmB-タイプ+剛壁	0.90	12	0.03	0.11	0.26	0.38	0.37 0.44 小林研	
	" +空気層90mm+剛壁	0.90	12	0.19	0.33	0.22	0.26	0.25 0.48 "	
石材									

種別	材 料	商品名および測定条件	比重	厚さ gr/cm ³	mm	吸 音 率				測定者
						周 波	数	c/s	率	
石 材	岩	大理 石 Ji コンクリート(ペイント塗) タ イ ル	—	0.01	—	0.01	—	0.02	—	Watson
			—	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	—	Knudson
			25	0.02	—	0.03	—	0.04	—	"
		フェルト(牛毛) ヘヤフェルト(らしや)	25	0.10	0.31	0.49	0.62	0.52	0.38	—
		ミネラルフェルト(グラスウール)	25	0.12	0.32	0.51	0.62	0.60	0.56	佐 藤
		カーテン(厚手 壁から90cm離す) " (ペロア 140z/yd ² 壁に密着) " (" 140z/yd ² ひだ倍 1/2)	25	0.42	0.46	0.66	0.64	0.57	0.36	—
		じゅうたん(下地コングリート) " (ペイラー1号)	—	—	—	—	—	—	—	—
		壁(普通中古品)	9	0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37	B.R.S
		浅野吸音材1号6.4mm孔21.2mmビック " " 岩綿25mm空気層25mm	—	0.52	0.42	0.45	0.56	0.50	0.43	佐 藤
		浅野吸音材 2号4.8mm孔12.1mmビック空気層50mm 孔12.1mmビック岩綿25mm空気層25mm	30	0.31	0.41	0.58	0.50	0.43	0.34	佐 藤
アスベ スト系	フレキシブルボード (穿孔:裏地なし)	浅野吸音材 2号4.8mm孔12.1mmビック空気層50mm 孔12.1mmビック岩綿25mm空気層25mm	3	0.13	0.17	0.36	0.30	0.20	0.23	N.H.K

種別	材 料	商 品 名 および測定条件	比重 gr/cm ³	厚さ mm	吸 音 率					測定者
					125	250	500	1000	2000	
フレキシブルボード (穿孔:裏地なし)	ファイアボート5mm孔 15ピッチ 空気層30mm		6	—	0.04	0.11	0.35	0.14	—	—
	" + M. Felt 5mm + 空気層15mm		6	—	0.05	0.13	0.45	0.99	—	—
	" + M. Felt 5mm + " 25mm		6	—	0.09	0.44	0.95	0.50	—	—
	" + M. Felt 5mm + " 50mm		6	—	0.27	0.95	0.63	0.35	—	—
アスベ スト系	浅野ハーライト吸音板#1 (ランダム型) #2 (レギュラー型) ピッチ: 12.1mm		8	0.16	0.49	0.08	0.07	0.12	0.14	小林理研
	ペーライトボート(穿孔)	"	8	0.19	0.29	0.04	0.13	0.07	0.16	"
	トムレックス		15	0.09	0.34	0.67	0.85	0.89	0.93	小林理研
	スプレードアスペクト	"	25	0.10	0.53	0.95	0.95	0.90	0.93	"

表 3.5 吸 音 材 料 吸 音 力 (m. Sb.)

種別	材 料	対象物 および測定条件	比重 gr/cm ³	厚さ mm	吸 音 力					測定者
					125	250	500	1000	2000	
人 体 (聴衆として着席した場 合)	小 学 生 1名		0.12	—	0.26	—	0.35	—	—	—
	中 学 生 1名 (男)	1名	0.14	—	0.33	—	0.43	—	—	B. S.

種別	材 料	対象物および測定条件		比量 gr/cm ³	厚さ mm	吸音力				測定者
						周波数	c/s	125	250	
人 体 (聴衆として着席した場 合)	椅子	大人(女)	1名		0.12	0.22	0.37	0.54	0.62	B.S.
		"(平均)	1名		0.23	0.32	0.39	0.43	0.46	—
		(布張り椅子にかけたる)	1名		0.33	0.38	0.42	0.42	0.41	石井
		"(木製椅子にかけたる)	1名		0.17	0.36	0.47	0.52	0.50	Furrer
その他の 椅子	椅子 類	合板座席	1席		—	0.01	0.01	0.02	0.04	A.L.
		合板椅子	"		0.14	0.20	0.22	0.26	0.35	—
		革張り椅子	"		—	—	0.30	—	—	二村
		布張り椅子	"		0.11	0.18	0.28	0.35	0.45	A.L.

表 3.6 遷音材 料 (透過損失 dB)

種別	材 料	商品名および測定条件		比量 gr/cm ³	厚さ mm	透過損失 (dB)				測定者
						周波数	c/s	125	250	
金 属	板			0.4	0.4	20.0	23.5	22.0	32.5	—
				0.76	—	25.3	20.5	28.8	35.0	—
金 属	アルミニウム			0.15	—	3.7	5.6	7.7	12.6	—
				0.63	—	17.9	13.2	17.7	23.2	—
金 属	鉛			1.59	—	31.8	33.2	32.0	32.1	—

種別	材 料	商品名および測定条件	比重 gr/cm ³	厚さ mm	透 過 損失 (dB)						測定者
					周 波 数			c/s			
ガラス	板	" (2枚の6mm板ガラスの間に6mmの空間) " " 13mm) " (3枚の板ガラス間に2空間、厚さ各6mm)	1.9 6.2	8.0 — 平均 平均 平均	125 32.6 33	250 30.9 36	500 33.5 36	1000 31.0 38.0	2000 34.2	4000	—
木材	コナクリート	51mmコングリートストラグ；鉄板(曲板) メタルラス 13mmペラスター塗	—	—	34	43	52	59	65	72	B.S.
合板	" "	"	6.1 9.1 12.1 13.6 60 50	15.0 21.0 12.0 10.5 — 平均	21.0 18.0 18.0 22.0 26.0 37.4	28.0 19.0 26.5 14.0 27.0 28	17.5 30.5 25.0 14.0 36.0 32	20.0 — — — — 28	—	—	
木材	マホガニ	板材 センチユリーボード12mm+三井ボード3.5 mm貼付	0.9	—	—	—	—	—	—	—	—
耐火	綿 (吹付)	リソベット(片面5mm合板、反対面#16, 15 mmメッシュ平金アミ) トムレックス(両面#21トタン0.873mm) (#5500)	100	4 100.5	9 16.5	10 21	12 20	15 21	10 26	25 25	P.Q. Sabine
アスベスト系	石	"	100	—	—	—	12 15	15 21	22 26	29 25	"
その他	フェルト	(44mm厚檜材戸通常の釣金具付) (同上を気密に工作した場合) (64mm厚板、四隅ゴムベッキングフェルト 戸当り)	25 102	4.9 7.5	4.6 12.5	6.0 15.3	7.1 19.7	6.7 19.4	—	—	B.S.

3.4 む す び

従来居住区の防熱防音構造の計画は経験的にきめていた例が多い。しかし今回の一連の研究で各構造の防熱特性、防音特性を知ることができた。従つて熱源または音源の条件や、被防熱防音室の条件に応じ、数値的な防熱防音計画ができるようになった。特に冷房設備を持つ場合には、防熱構造の正確な熱貫流率を知ることが必要で、今度の研究結果により熱負荷計算の精度を上げることができる。

一方材料の新製品開発や現場工事の合理化により、防熱、防音構造が変化することが予想される。その場合、新材料あるいは新工法による供試体を作成し計測することが好ましいが、今回の研究結果をもとに一部修正をすることにより、かなり正確な防熱防音特性を得ることができると考える。

第3編 防災に関する研究

船舶の防災に関する問題もまた非常に広範囲にわたつており、船舶安全条約、船舶安全法、および船舶設備規程などそれに関連した多くの規則があるが、本研究においては今まで船舶に対してあまりとり上げられなかつた緊急時の脱出径路の人間工学的な問題について研究を行なつた。緊急に際し一時に多数の人が避難行動をする場合に、階段や通路においてどのような現象が起きるかという実験研究は陸上建築物についてはその例を見るが、これを船内において行ない脱出径路が如何にあるべきかを研究して船舶における防災設備の改善の資料を求めた。

また一方、1960年の国際安全条約において船舶の防火構造に関する規程が強化され、特に貨物船の居住区にも防火構造壁が適用されることになり、その要求を満足する壁体の構造を緊急に見出すことが必要となつたので、防火構造壁の試験研究をも併せ行なつたものである。

第1章 脱出径路から見た居住区の配置、寸法に関する研究

1.1 はしがき

居住区全般の配置寸法を考えた場合、合理的な居住性を保たせるとともに、緊急時の脱出径路としての機能を十分考慮しなければならない。特に旅客船における人命安全上重要な課題であるにもかかわらず、この問題について系統的に検討された例がないため、主として緊急時の人員の流れを人間工学的見地から取扱い、実験および理論的検討を行なって、安全な階段・通路・甲板等の寸法、配置、構造等の設計資料をうることを目的として本研究を行なつた。

1.2 実験実施場所と使用測定器具

実験船	練習船	北斗丸
総トン数	1,631.27	
全長(m)	75.50	
定員	職員 25人	
	乗組員 37人	
	実習生 80人	

測定器具	動作回数記録計	1台
	8mm撮映機	3台

1.3 実験の基礎となる群集流理論式

避難時の群集流は第1次流出口より第n次流出口に至るまで1本の続いた流れとみることができる

が、便宜上その流れの中途に P 点を設け、P 点に向つて押しよせてくる方を集結群集、P 点を過ぎて遠ざかる方を流出群集とする。P 点の集結側が広い通路で、流出側が狭い階段とすると、階段の秒時定員を超える人員は集結側にしわよせして溜る。この群集を滞溜群集とよぶ。

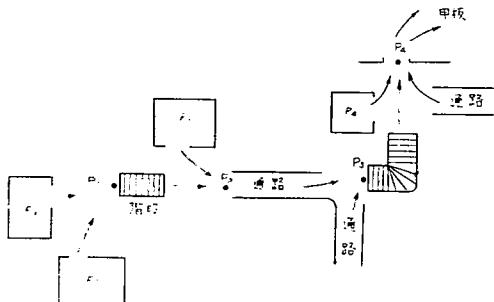


図 1.1

群集流の解析方法は、例えはその船内径路を図 1.1 のように模型化し、 $P_1, P_2, P_3, P_4 \dots$ 点を設定する。 R_1, R_2 の部屋から群集が、 P_1 点に集結する人員数をあらわす集結式を Y_1 、 P_1 点から階段に流出する人員数をあらわす流出式を Y_2 とすると、

P_1 点に滞溜する人員数との関係は図 1.2 のとおりとなる。同様にそれぞれ、 P_2, P_3, P_4 においても同じ関係があるので、これらの考え方によつて居住区から甲板へ脱出する場合の群集流の解析が可能である。

理論式としては建研の戸川氏の式がある。

1.3.1 集 結 式; Y_1

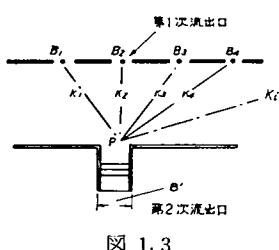


図 1.3

群集がある出口から流出する毎秒の流出人数は、B を出口幅 (m)、N を毎秒幅 1m に対する流出人員とするとき、BN によって表わされる。N を流出係数とよぶ。そして n か所の種々な幅の出口から流出する毎秒の流出人数は

$$\sum_{i=1}^n B_i N_i$$

で、これらの群集の毎秒 P 点に集結する人員は次式のとおりである。

$$Y_1 = \sum_{i=1}^n \int_0^T N_i(t) B_i \phi_i(t) dt \quad \dots \dots \dots \quad (1.1)$$

ただし、 ϕ_i は毎秒 P 点集結者と他に去るものとの比率 (%) で、また、P 点との距離を K_i 、群集の走行速度を V、出口における開扉時間を t'_{ei} 、出口における流出終了時刻を t_{ei} とすると、

$$\left. \begin{array}{l} t'_{ei} + k_i/v > t > t_{ei} + k_i/v \\ t'_{ei} + k_i/v < t < t_{ei} + k_i/v \end{array} \right\} \begin{array}{l} N_i(t) = 0 \\ N_i(t) = \text{cons}'t \end{array} \quad \dots \dots \dots \quad (1.2)$$

である。

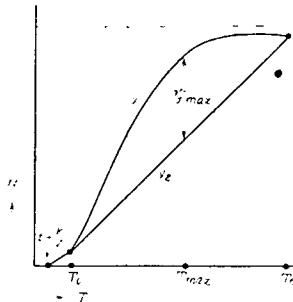


図 1.2

y_1 ：集結式、 y_2 ：流出式、 y ：滞溜式
N：人員、 T_e ；(P_1 点) 通過時間
 T_{max} ：最大滞溜の生ずる時刻
 T_0 ：第 2 次流出口にて定常流出現時刻

1.3.2 流出式; Y_2

図 1.3において、 n か所の出口（第1次流出口）から流出した群集が、次の出口（第2次流出口）の中心点 P に向って殺到し、そこより流出する有様はつぎのような経過をたどる。第2次流出口の幅を B' 、毎秒幅 1m に対する流出人員を N' とするとき、毎秒 P 点への集結人員が $N'B'$ と等しいとき、あるいは $N'B'$ をこえるときは、それ以後の P 点における流出は定常流となる。

この定常流の生ずる時刻を T_0 とすれば、

$$Y_2 = \sum_{i=1}^n \int_0^{T_0} N_i(t) B_i \phi_i(t) dt + (T - T_0) N' B' \quad \dots \dots \dots \quad (1.3)$$

ただし、(1.1)式と同様(1.2)の条件がある。

1.3.3 滯溜式; ψ

$$\Psi = \sum_{i=1}^n \int_0^T N_i(t) B_i \phi_i(t) dt - \left[\sum_{i=1}^n \int_0^{T \min} N_i(t) B_i \phi_i(t) dt + (T - T \min) N' B' \right] \dots \dots \dots (1.4)$$

一般に定常流を生ずる時刻 T_0 と、滞溜を生ずる時刻 T_{\min} は同時である場合が多い。この場合は、

で滞溜の始まる時刻 T_{\min} と最大滞溜を生ずる時刻 T_{\max} は ψ 式を微分して次のとおりに求められる。

1.3.4 避難時間; T_e

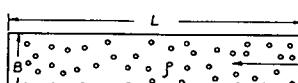
避難群集総員を N_a とすると、 T_e は

となり、避難時間の計算は第1次流出口より第n次流出口までの集結、流出、滞留の連続で、以上の理論式により刻々の状況を各流出口ごとに求めることができる。実用的には避難時間は最終流出口1か所の近似計算で済むことが多い。近似計算は最終流出口（B'N'）より群集至近距離をK_s、群集走行速度をVとするとき、群集先頭到着以後は群集流出を連続と考えて

となる。

1.4 実験より求める数値の測定結果

1.4.1 群集密度; ρ



26 1

群集流を考える場合、群集密度 ρ と流動速度 V および流出係数 N との関係は、定常流において次のようになる。

$$T_e = \frac{\rho L}{N B}, \quad V = \frac{L}{T_e} = \frac{N}{\rho}$$

ただし、 $\rho=1$ 以下の密度では個々の自由歩行が可能となるので適用できない（図1.4）。実習生を被験者として、後部甲板の 2m × 2m のしきり内、または周壁を持つ部屋に押し込んで実測した。その結果は表 1.1 のとおりである。

表 1.1 群集密度

ρ (人/m ²)	状能
1.5	全員横臥可能
2	2/3 横臥、1/3 坐る
2.5	1/3 横臥、2/3 坐る
3.5	全員坐れる
5	隣合つた人の衣服が軽くふれ合う程度
8	その中で新聞雑誌が読める
10	四圍から体圧が加わる、無理をすれば落し物が拾える
11	超密度群集、身動きがまつたくできない

チヨッキ型、枕型救命胴衣着用の場合

2	かなり自由、ある程度作業可能
3	手は自由に動く、前かがみ可能
4	軽くふれ合う、物が拾える、身体をまわすことが可能
5	身体をまわすことは不可能、やや体圧加わる
7.5	限界、身動きはまつたくできない

1.4.2 避難時の走行速度 V

単独走行と群集走行に分け、上甲板左舷通路ならびに Boat Deck 後方階段で実習生に走行させて測定した。

結果は表 1.2 のとおりである。

表 1.2 走行速度実測例

(単独走行)

測定場所 (単位m)		被検者数	状態	走行速度(m/s) 範囲	平均	
水平走行	通路	10	停泊中	3.8~5.7	4.9	
		10	救命胴衣着用	3.6~5.6	4.7	
階段走行	通路	10	航海中 (動搖あり)*1	救命胴衣着用 " " (昇)	3.6~4.5	
		10	" (降)	0.83~1.14	0.95	
階段走行	通路	10	停泊中	(昇)	0.96~1.25	
		10	救命胴衣着用 (降)	1.04~1.14	1.07	
水平走行代表値 4~5 m/s						
階段走行代表値 1m/s						

(群集走行)

水平走行	通路	20×5回	停泊中	救命胴衣着用	4.02~4.40	4.14	
		20×5	航海中 (動搖あり)*1	"	3.26~3.54	3.41	
階段走行	通路	20×5	停泊中	救命胴衣着用 (昇)	0.68~0.75	0.73	
		20×5	救命胴衣着用 (降)	0.74~0.82	0.78		
階段走行	通路	20×5	航海中 (動搖あり)*1	" (昇)	0.63~0.78	0.70	
		20×5	" (降)	0.70~0.88	0.78		
水平走行代表値 4~5 m/s							
階段走行代表値 1 m/s							

(注) *1 航海中の動搖

Time	Heeling Angle P×S	Period
1315	5°×3°	14 s
1330	4°×2°	13 s
1345	8°×4°	14 s

1.4.3 群集流出係数；N

避難時の部屋出入口、通路、階段等における群集流出係数は、被験者の種類、昼夜、救命胴衣の有無、船の傾斜度、動搖等により変わるが、第1段階として昼間、停泊中の平静時およびわずかな動搖時に、救命胴衣をつけた実習生を対象として個々に測定した。

種々の条件のもとで各所の流出係数を整理して決めれば、避難時間の計算が可能と考えられるからである。

表1.3にその測定結果を示す。なお次節の脱出時の群集流の数理的観測実験より得られたN値、流出速度の値をつけてわえた。

表 1.3 群集流出係数実測例

測定場所 (単位:m)	被験者数 平均倉	状	N (人/m ² /s)	範囲 平均
2号生駆 生駆:	1.71 0.6 0.14	2.0×5 停泊中、救命胴衣着 転倒中 (転倒あり)	2.90～5.57 3.00～3.12	3.16 3.00
被駆後 駆出人口	1.71 1.21 0.24	" 停泊中 転倒中	3.76～4.15 3.46～3.88	3.94 3.70
モヤル 滑 ルート	1.37 0.78 0.53	" 停泊中 転倒中	1.84～2.12 1.45～1.84	1.96 1.64
斜 度	1.2 2.16 2.16 50	分前中 転倒中	1.08～1.31 1.02～1.12 0.98～1.09 0.89～1.24	1.25 1.08 1.01 0.96

測定場所	平均速度	N (人/m ²)
94.8 1.2 9	1.27	1.59
90.8 1.0 9	1.00	1.25
9.1 1.2 9	1.455	1.21
24.5 2.16 2.16 3.15	1.255 1.21	1.05 1.00
B	1.058 1.11	1.55 1.42

測定代表値
高さ(1.4m) - レバーハイド 0.14 - 3~4
レバーハイド 0.5 - 6~7

1.5 脱出時の群集流の数理的観測実験

1.4において、出入口、通路、階段、それぞれについて個々に走行速度、群集流出係数等を測定した。ここでは実際に火災発生を仮定して、つぎの想定で実験を行なった。

1.5.1 実験想定(図1.5参照)

(a) 実験I

◦ 2nd Deck 実習生居住区 3号室より出火 → 被験者各室 8名在室 (1, 2号室は除く)

◦ 脱出経路

3.....9, 10号室 → 10号室船尾側階段(q) → 病室横階段(m) → Shelter Deck 出口 (A)

(b) 実験II

◦ 2nd Deck 実習生居住区 10号室より出火 → 被験者各室 8名在室 (1, 2号室は除く)

◦ 脱出経路

3.....9, 10号室 → 居住区船首側階段(p) → 教室船首側階段(l) → 読書室前左舷出入口(B) → Shelter Deck

(c) 実験III

◦ 教室 → 教室船首側出入口(左, 右)(D) → 教室船首側階段(l) → 読書室前左舷出入口(B) → Shelter Deck

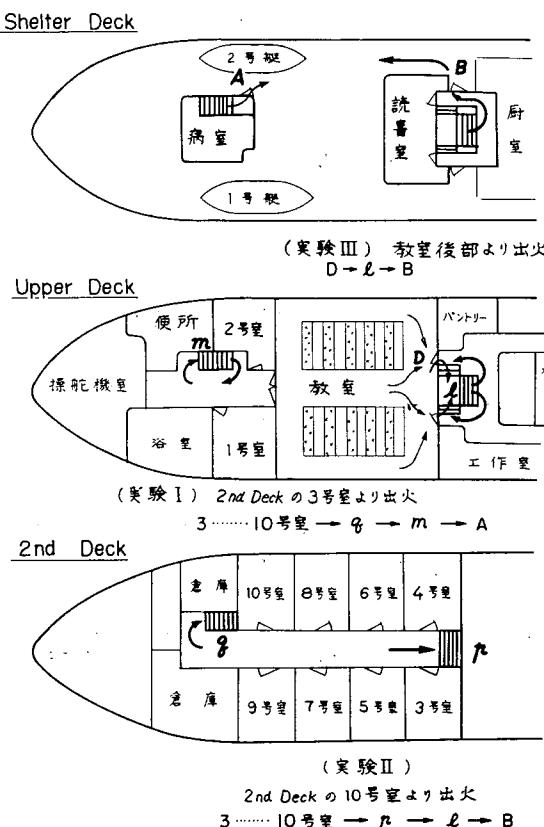


図 1.5 北斗九実習生居住区および実験想定

1.5.2 実験結果

上記想定にもとづき計測した結果は次のとおりである。

(a) 実験 I

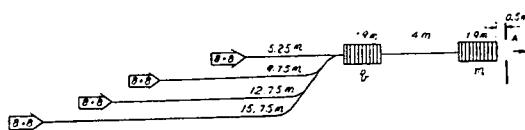


図 1.6

表 1.4

通路 (3~10 号室)~q	実習生10号室の 船尾側階段 q	通路 q~m	実習生2号室の船尾側 階段 m(A出口を含む)
水平走行速度 (m/s)	4.0	3.0	
階段走行速度 (m/s)		0.76	0.76
階段流出速度 (人/s)		$\frac{64}{5.04} = 1.27$	$\frac{64}{64} = 1.00$
N(流出係数 (人/m/s))		$\frac{1.27}{0.8} = 1.59$	$\frac{1.00}{0.8} = 1.25$
群集密度 N/V = ρ		2.1	
避難時間 (s)	$\left(\frac{5.25}{4} + \frac{1.9}{0.76} + \frac{4.0}{3} + \frac{1.9}{0.76} + \frac{0.5}{0.3} \right) + 64 = 7.18$		

(b) 実験 II

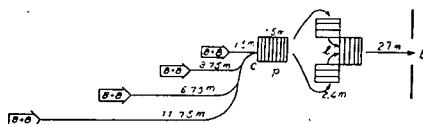


図 1.7

表 1.5

通路 (3~10 号室)~C	実習生3, 4 号室横階段 p	通路 p~l	教室船首側 の階段 l	通路 l~B	読書室前左 舷出口 B
水平走行速度 (m/s)	4.0	3.0		3.0	
階段走行速度 (m/s)		0.76	0.76		
流出速度 (人/s)		$\frac{64}{44} = 1.455$	$\frac{64}{51} = 1.255$	$\frac{64}{60.5} = 1.058$	
N(流出係数) (人/m/s)		$\frac{1.455}{1.2} = 1.21$	$\frac{1.255}{1.2} = 1.05$	$\frac{1.058}{0.78} = 1.35$	
群集密度 $\frac{N}{V} = \rho$		1.6		1.3	
避難時間 (s)	$\left(\frac{1.5}{4} + \frac{1.5}{0.76} + \frac{2.7}{3} + \frac{2.4}{0.76} + \frac{2.7}{3} \right) + 6.05 = 68$				

(c) 実験

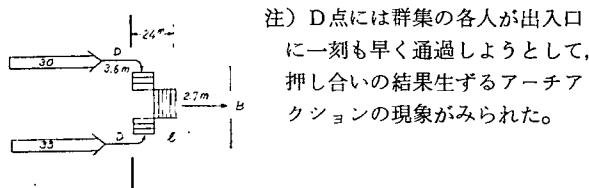


図 1.8

表 1.6

	通路 D	教室船首側出口 D	教室船首側段 1	通路 B	読書室前左 B
水平走行速度 (m/s)	3.0			3.0	
流出速度 (人/s)		左 $\frac{30}{34.5} = 0.87$ 右 $\frac{33}{37} = 0.89$			$\frac{63}{56} = 1.11$
N (流出係数)(人/m/s)		左 $\frac{0.87}{0.75} = 1.16$ 右 $\frac{0.89}{0.75} = 1.16$			$\frac{1.11}{0.78} = 1.42$
階段走行速度 (m/s)			0.76		
避難時間 (s)		$\left(\frac{3.6}{3} + \frac{2.4}{0.76} + \frac{2.7}{3} \right) + 56 = 61.25$			

注) 教室船首側出口 D の N は、階段 1 の入口にすぐ直結しているので、前節 1.4 のように D 単独に求めた N の値とは比較できない。

1.6 脱出経路の選択調査

危急避難時に乗組員がどのような経路で行動するかを調査した。乗組員（実習生含む）の総端艇部署操練時の主要通行経路を調査し、また階段昇降人員を出して船内諸設備の検討資料とした。部署発令により各自室に救命胴衣をとりに帰り、ある者は救命艇に積込む要具を Boat Deck の要具置場所に取りに行き、おののおの定められた救命艇の配置につく。主要経路と各階段人数は、図 1.9、表 1.7 のとおりである。北斗丸では救命胴衣格納場所は各自室であり、救命艇属具のうち、ポータブルコンパス、用具筐、セール、ポートランプ等は Boat Deck の要具格納庫におさめている。（救命艇属具は常に救命艇に積込んでおくことが望ましい）。このため各階段は昇降が入りみだれ混乱をおこしている。

階段、通路、甲板等の寸法、配置、構造等の検討とともに、救命胴衣ならびに救命艇に積込む要具置場所を、群集流をみださないよう考慮して配置することが大切である。

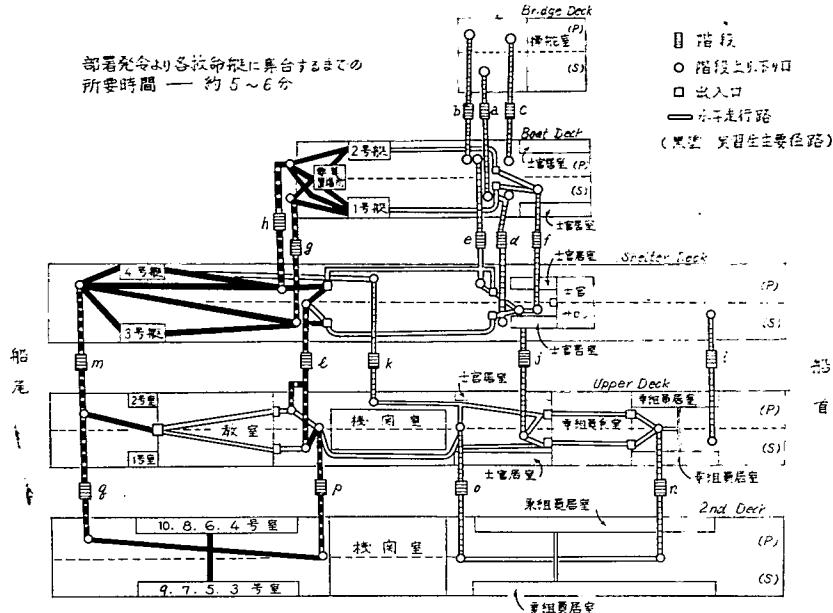


図 1.9 総端艇部署操練時の通行する主要径路

1.7 むすび

(a) 避難時の走行速度ならびに群集流出係数の標準値を実測により決めれば、避難時間を計算することができます。

(b) 今回は、実習生を対象として昼間、平静時またはわずかな動搖時、救命胴衣着装の状態で 2, 3 の計測を行なった。今後は被験者の種類別、昼間夜間別、傾斜時動搖時別に種々の条件のもとで、水平走行、群集流出係数等を観測整理する必要がある。

なお、つぎの点に特に問題が残っている。

(i) 出入口の幅とシルハイト（踏込高）

船では海水の打込みに対する考慮としてシルハイトが存在するが、これが非常時に群集流の流出に当り妨害物となり、流出時間に与える影響が大きい。系統的にシルハイトの影響を考慮する必要がある。

(ii) 階 段

流動速度は傾斜角および群集密度と関係があり、さらに幅については、1 縦列か 2 縦列かの影響によって左右され、3 縦列以上では手すりをつけるとかして、階段上の混乱を起さない群集密度の検討を必要とする。

(c) 非常の際に開放甲板に脱出する場合の所要時間の目標を定め、想定による避難時間を計算することによって階段・通路・甲板等の寸法、配置、構造の検討が可能となってくるが、救命胴衣等の格納場所も群集流をみだす原因とならないよう配慮する必要がある。

表 1.7 総端艇部署操練時、乗組員の各階段昇降人数 被調査船：練習船北斗丸

階 段 名 称	昇 降 別	実 習 生				乗 組 員			合 第 1 回 第 3 回 の 計
		第 1 回	第 2 回	第 3 回	計	第 1 回	第 3 回	計	
Bridge D4 Boat D4	a 無線室 右舷側、外階段	U							
		D	2	3	2	7		1	1
	b 3通士室 左舷側、外階段	U							
		D	6	8	2	16			8
	c 無線室 左舷側 中央内階段	U					1	2	3
		D	1		3	4	2	2	4
Boat D4~Shelter D4	d 1航士室 右舷側、外階段	U					5	5	10
		D		1	1	2		6	6
	e 次 1機室 右舷側、外階段	U					2		2
		D							
	f 1航士室 左舷側 中央内階段	U					5	7	12
		D	1		2	3	1	2	3
Boat D4~Upper D4	g 読書室船尾側 右舷外階段	U	25	24	19	68	2	1	3
		D	14	10	12	36		2	2
	h "	U	21	26	38	85	7	6	13
		D	11	7	18	36			29
	i 船首 暗室横階段	U							
		D							
Shelter D4~2nd D4	j ジヤイロ室 船尾側階段	U					19	12	31
		D	1		2	3	1	7	8
	k エンジンケーシング 左舷側階段	U					15	15	30
		D							
	l 教室船首側階段	U	18	25	29	72	2	1	3
		D	9	10	11	30		1	1
Upper D4~2nd D4	m 実習生 2号室 船尾側階段	U	41	38	38	117			79
		D	7	7	22	36			29
	n 1番船倉ハツチ 船首側階段	U					11	9	20
		D					5	8	13
	o 2番船倉ハツチ 船尾側階段	U	1			1	19	16	35
		D	1			1	3	4	8
p 実習生 3・4号室 横階段	U	17	26	25	68				42
		D	10	8	13	31			23
	q 実習生 10号室 船尾側階段	U	31	25	33	89			64
		D	4	10	23	37			27

注1)

調査回次	調査日時	航 泊	被 檢 者 数		実 習 生 乗船後経過日数
			乗組員	実 習 生	
第 1 回	3 8 8 14	航海中	5 5	61(商船高校長期)	4 か月
第 2 回	3 9 10 6	全 上	0	65(商船大学 3年)	5 日
第 3 回	3 9 11 8	全 上	5 5	75(商船大学 2年)	3 日

注2)

部署発令より各救命艇に集合するまでの所要時間……約 5 ~ 6 分

第2章 B級防火構造壁（扉を含む）に関する研究

2.1 はしがき

1965年5月26日に発効になった海上人命安全条約（通称 SOLAS, 60年）によって、あらたに4,000トン以上の貨物船に対しても、防火構造が規定され、火災の際、乗組員の脱出径路を保護するために、居住区域内における通路隔壁は、鋼またはB級パネルの構造とすることが要求されることになった。

そして、このB級パネルの防火性能の条件として、実際の構造にできる限り類似させた面積4.65m²、高さ2,440mmで、1か所以上の継手をそなえた供試体が、加熱標準温度による30分間の加熱に対して、裏面平均温度上昇が139°C、裏面最高温度上昇が225°Cを越えない防熱値と、裏面へ炎の通過を許さない保全性が定められている。（ただし、不燃性材料のパネルの場合の防熱値は、最初の15分間でよいことになっている。）

ところが、継手構造を含んだもので試験を要求されていることがB級パネルにとって問題であり、試験の合否が継手構造のいかんによって左右されることが多い。

また、作業面から見ると、平均して200～300か所もあるパネルの継手構造の工作上の難易さが、工程上におよぼす影響は無視できないことであり、この継手構造を解決するための設計資料を得るために各種継手構造の比較試験を実施した。

この試験の結果から、さらに作業性の良い継手構造を持った可燃性B級パネルの耐火性の資料を得るために無接着剤型式一型継手の耐火試験を実施した。

一方、B級隔壁に取り付ける扉については、貨物船の場合 SOLAS 1960 年条約では何の制限も受けていないが、B級パネルと同等もしくはそれ以上の材料を使用することを規定している官庁ならびに船級協会が諸外国には多い。また IMCO の防火構造小委員会では、カナダおよびデンマークから提案された防火構造扉の試験方案について審議が行なわれているようである。したがって、情勢は早晚B級防火構造扉についても耐火試験が実施される可能性が強いものと考えられるので、これらの対策として各種材料による防火構造扉の耐火試験をも実施した。

2.2 B級防火構造壁の耐火試験

2.2.1 目的

本試験は船舶用防火構造壁の継手構造について防火試験を行ない、1960年SOLASに規定された耐火試験に合格する継手構造の設計資料を得ることを目的として実施した。

2.2.2 供試体

試験に用いた供試体は寸法は2,400mm×2,440mmで、2個所に継手をもつ。その継手形状にはH形：-形、=形の3種類を、パネル母材にはB級アスベストボード（2種）、B級チップボードおよびB級難燃合板の4種類をえらんだ。母材と継手形状を表2.1に示すように組合せて12枚の試験体とした。

なお、供試体 No. 11 および 12 は実験即実用試験をめざしたので、規定の要求する範囲でメーカ標準寸法をそのまま適用したため、 $2,100\text{ mm} \times 2,700\text{ mm}$ および $1,960\text{ mm} \times 2,500\text{ mm}$ の 2 種類となり、それぞれ各 1 個の継手をもつものである。

a) 2 個の継手をもつ供試体

i) H 形 継 手

継手の差込部分の深さを 4 種類に変化させた。パネル母材は B 級アスベストボード 22 mm で、供試体数は 2 枚である。(No. 1, 2)

ii) - 形 継 手 (履核)

核材をスチールとアスベストセメント板、パネル母材を B 級アスベストボード、B 級チップボードに変化させ、核の差込み深さをそれぞれ 4 種類に変化させた。これに接着剤の使用の有無を組合せて計 7 枚の供試体とした。(No. 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10)

iii) = 形 継 手

パネル母材は B 級アスベストボード、継手材はその寸法変化を 2 種とした。供試体は 1 枚である。

(No. 8)

b) 1 個の継手をもつ供試体

i) - 形 継 手

核材は熱伝導性の低いアスベストセメント板で、継手の差込部分の深さを 2 種類に変化させた。パネル母材は B 級チップボードと B 級合板で供試体は 2 枚である。(No. 11, 12)

2.2.3 試験装置および方法

試験装置は高さ 3 m、巾 3 m の加熱面をもち、107 本のバーナーから都市ガスを噴出させて加熱する炉である。

試験方法は 1960 年 SOLAS で定められた規定に基づいて加熱温度、裏面温度、継手部温度をそれぞれ測定したほか、供試体中央のたわみを測定した。

温度測定位置は図 2.1 のとおりである。

ただし、供試体 1, 2, 4, 9 の場合は左側継手 (A) の位置 (測定位置 4, 5, 6) で測定

供試体 3, 5, 6, 7, 8, 10 の場合は右側継手 (A) の位置 (測定位置 10, 11, 12)

供試体 11, 12 の場合は中央継手 1 か所 (測定位置 7, 8, 9) において測定した。

2.2.4 試験結果

各供試体の試験成績 (加熱温度、裏面温度、

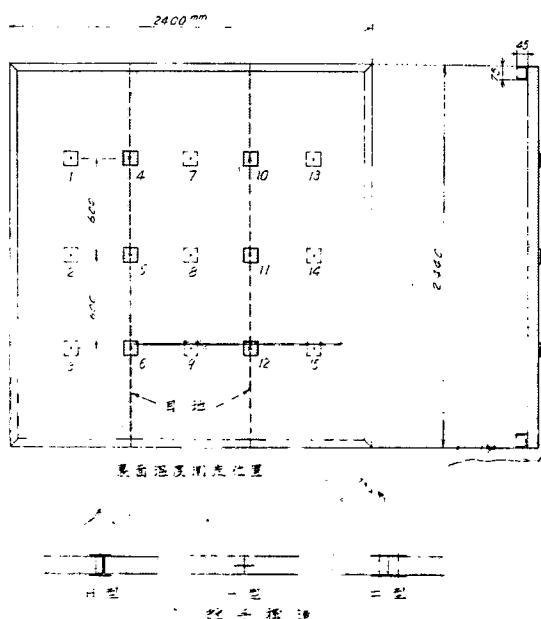


図2.1 温度測定位置および接手構造

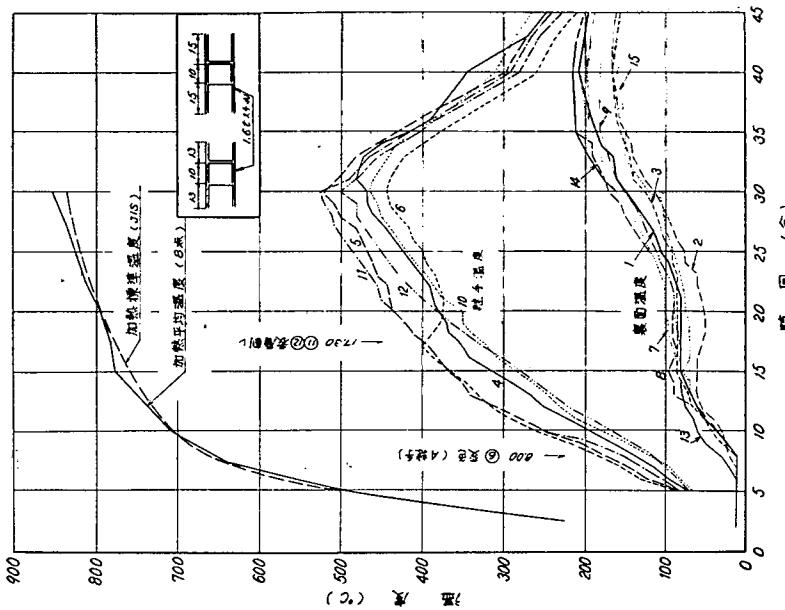


図2.2 供試体No. 1 試験結果

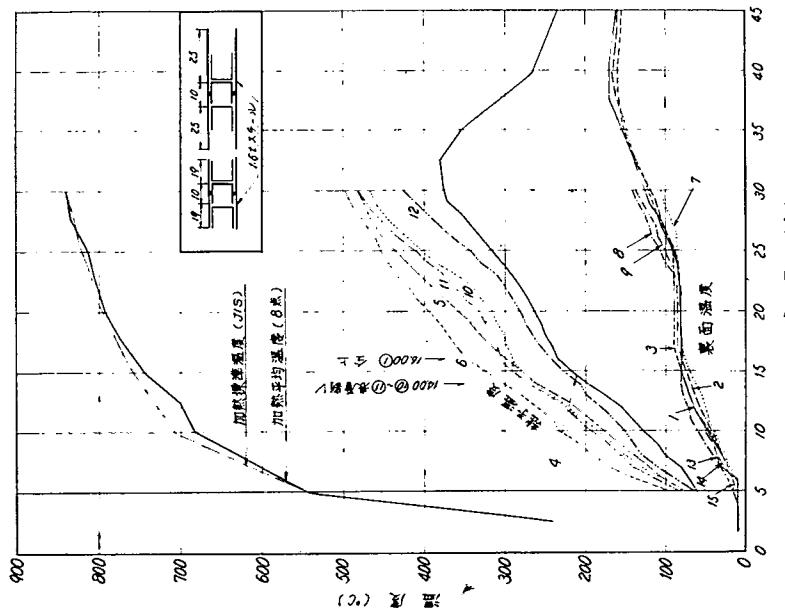


図2.3 供試体No. 2 試験結果

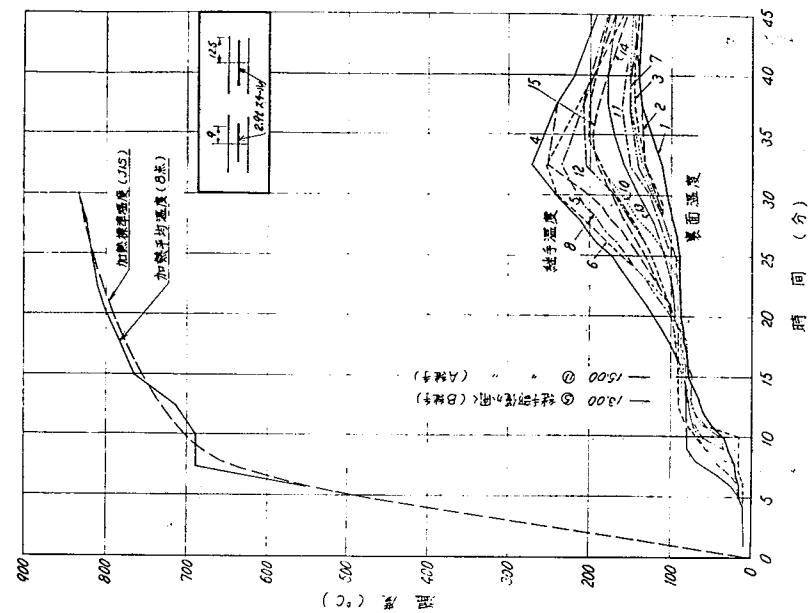


図2.4 供試体No.3試験結果

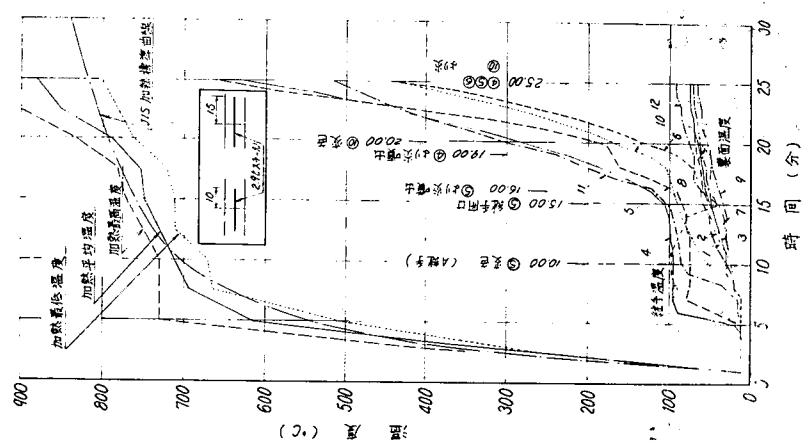


図2.5 供試体No.4試験結果

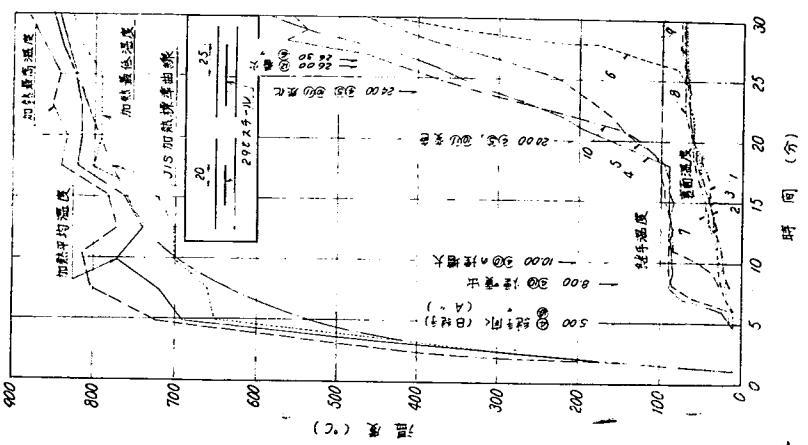


図2.6 供試体No.5試験結果

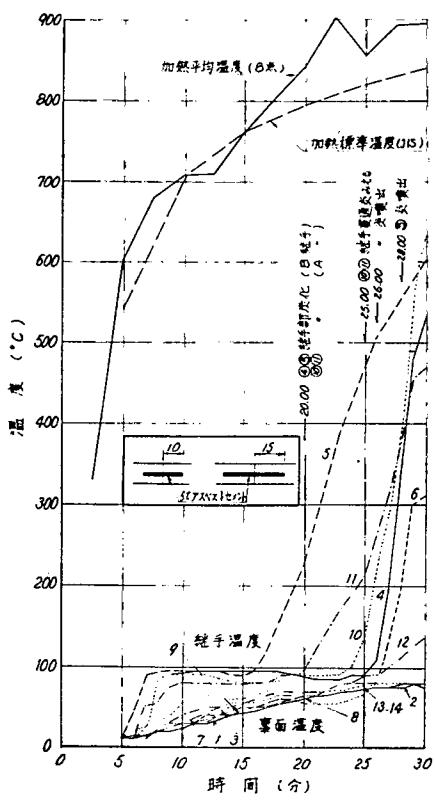


図2.7 供試体No.6 試験結果

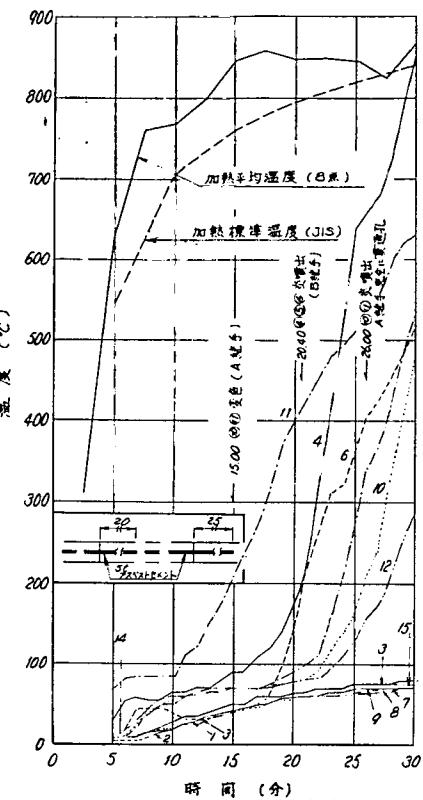


図2.8 供試体No.7 試験結果

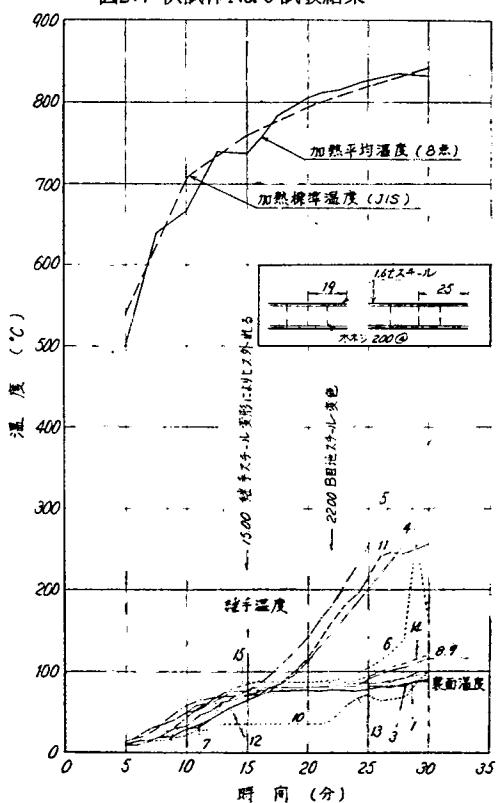


図2.9 供試体No.8 試験結果

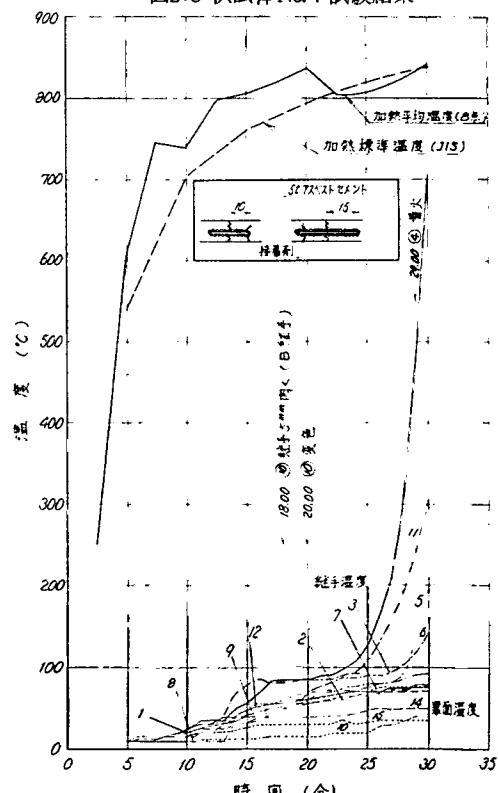


図2.10 供試体No.9 試験結果

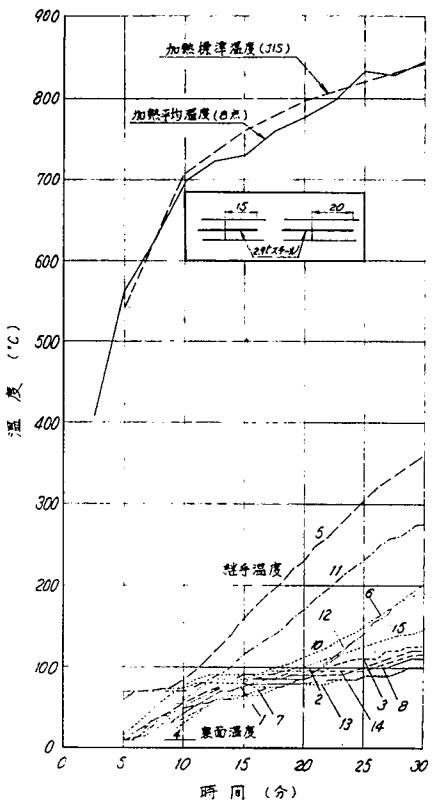


図2.11 供試体No.10試験結果

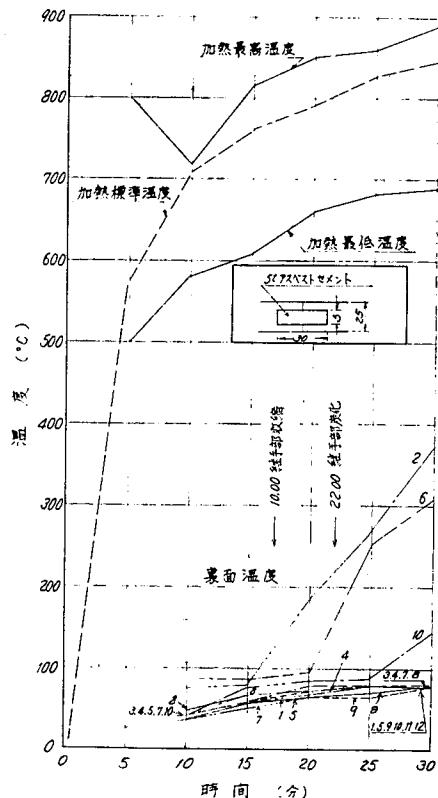


図2.12 供試験体No.11試験結果

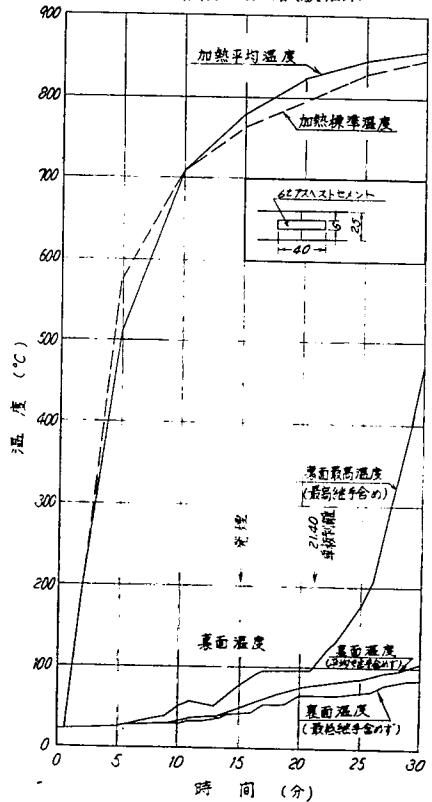


図2.13 供試体No.12試験結果

継手部温度) は図 2.2~2.13 に示すとおりである。

なお、供試体 No. 11, 12 は目地が中央個所であるので、4~6 および 13~15 の測定位置の計測は行なわず、そのかわりに、7~9 の裏面の温度を測定した。

2.2.5 試験結果の考察

(a) 2 個の継手を持つ供試体

(i) H形継手 (B級アスベストボード No.1, No.2)

継手部よりの煙炎の通過は全然認められない。パネル母材部分の裏面最高温度は 15 分後 100°C 以下、30 分後 170°C である。以上の点では極めて良好な性能をもつ。

しかし継手部の裏面温度は 15 分後に 220°C~370°C, 30 分後に 375~525°C となり、加熱時間の経過に伴ない、ほぼ直線的に上昇する。

H形継手の差し込み深さの差はパネルの耐火性にはほとんど影響せず、継手材スチールの熱橋作用によって耐火性が著しく低下してしまう。

(ii) 一形継手

(イ) B級アスベストボード (スチール核, No.3, No.10)

継手部よりの煙炎の通過は全然認められない。パネル母材部分の裏面最高温度は 15 分後 90°C, 30 分後 215°C である。継手部の裏面温度は 15 分後に 160°C, 30 分後に 360°C である。

継手部の最大開口は 30 分後に 4.3 mm 程度であるので、この実験における継手の差し込み差はパネルの耐火性に有意の差を与えたかった。加熱中の変形も本実験の供試体の内で最も小さい。したがって、この継手は不燃性材料による B級隔壁として十分の耐火性能をもつと考えられる。

(ロ) (スチール核, No.4, No.5)

継手部よりかなり初期に煙が噴出し、16 分以降~26 分 30 秒の間に、それぞれ継手部より炎が噴出する。この場合にはスチール核寸法の差が炎の噴出時間にはっきり影響を与えている。パネル母材部分の裏面最高温度は 30 分後に 80°C 程度である。B級アスベストボード (2種) のものに比較して最も低い温度であるが、継手部分が炭化し、着火し、火炎の貫通孔ができる欠点は B級チップボードのパネル母材のもつ欠点と考えられる。

(ハ) B級チップボード (アスベストセメント核, No.6, No.7, No.9)

供試体 No.9 以外のものは、スチール核をもつ前項の場合とほぼ似た性状を示す。アスベストセメント核をもつ場合の方が、わずかに耐火性能が劣ると考えられる。20 分 40 秒~28 分にそれぞれの目地部より炎が噴出した。

No.9 は接着剤 (セメダイン CBE No.195) を使用したものである。これはやはり継手部より 10 分~20 分頃に煙が出始め、29 分に継手部に着火した。着火時間は、アスベストセメント核の寸法に影響され、差し込み寸法が大であれば着火時間は遅れるようである。

この場合は接着剤は常温用のものであるから、耐熱性の接着剤を使用すればはるかに良好な耐火性を確保し得るのではないかと考えられる。

(ii) =形継手 (B級アスベストボード、スチール継手 No.8)

目地部より煙・炎の通過は全然認められない。パネル母材部分の裏面最高温度は 15 分後に 85°C,

30 分後に 120°C である。継手部の裏面最高温度は 15 分後に 85°C, 30 分後に 380°C である。15 分頃スチール継手の熱膨脹によるふくらみのためにビスが脱落し、目地部がだんだん開口して行くためにその裏面温度が上昇するものと考えられる。この点に関して十分の対策が必要である。この継手は不燃性材料による B 級隔壁として十分の耐火性能をもつと考えられる。

(b) 1 個の継手を持つ供試体

(i) 一形継手（履核）

(イ) B 級チップボード

継手部より発煙はあったが炎の通過は全然認められなかった。継手部を中心に裏面に大きくそり、継手部の隙間が 5 mm に達したため、その隙間部から燃焼が始まり 150 mm 巾に炭化現象が起った。これは四周を固定したために、継手部に応力が集中し、隙間があったためと考えられる。

パネル母材の裏面最高温度は 15 分後に 65°C, 30 分後に 78°C であるが、継手部の最高部温度は 15 分後に 85°C, 30 分後に 470°C と急上昇している。したがって、この継手は防熱性が無いものと考えられる。

表 2.1 B 級防火壁供試体継手一覧表

供試体番号	母材	厚さ (mm)	継手材	継手構造	備考
1 B 級アスベストボード	2.2	スチール			マリライト
2	"	"			マリライト
3	"	"			マリンボード
4 B 級チップボード	2.5	"			ノボバン BX
5	"	"			"
6	"	"			"
7	"	"			"
8 B 級アスベストボード	2.2	スチール			マリンボード
9 B 級チップボード	2.5	アスベストセメント			ノボバン BX
10 B 級アスベストボード	2.2	スチール			マリンボード
11 B 級チップボード	2.5	アスベストセメント			ノボバン BX
12 B 級合板	"	"			ノーパン

(iv) B 級合板

継手部より炎の通過は認められなかつたが、左側のパネルが火元に向って大きくそり、継手に隙を生じた。接手周辺の炭化にともなつて、部分的にパネルを構成している単板が層状に剥離脱落したため、向側の火が望見されるようになった。

パネル母材部の裏面温度は 15 分で 50°C, 30 分で 105°C であったが、継手部の最高温度は 15 分で 75°C, 30 分で 480°C に達した。

2.2.6 むすび

全試験を通じて、接着剤を使用しない可燃性 B 級パネルの防火性能はその継手材の性能に左右されることが判明した。すなわち、

(a) 加熱によりパネルが変形し、継手の隙間が拡大され、核材が直接火炎を受けて高熱を伝導し、核材に密接しているパネル材の燃焼炭化を助長する。

(b) 継手部の炭化収縮によって核材とパネル母材の間に隙間ができる、火炎を反対側に誘引し、ますます燃焼を増進させる。

したがって熱伝導が低く、パネル材の炭化収縮に順応するような核材の開発が今後に望まれる。

2.3 B 級防火構造扉の耐火試験

2.3.1 目的

現在の規定では、B 級防火壁付扉の試験は要求されていない。しかし IMCO の防火構造小委員会に、カナダおよびデンマークから試験方案が提案され、わが国においても運輸省はすでにこれに対する意見を送付すみであつて、情勢は早晚 B 級扉の耐火試験が実施される可能性が強いものと考えられる。

B 級パネルの轍をふたたびふまないように、早期に問題点を検討することを目的として、各種材料による防火扉の耐火試験をおこなつた。

2.3.2 供試体

実船の構造方法と同じにするために 2,000 mm × 2,440 mm のパネルに、内り寸法 650 mm × 1,800 mm の扉を取付けたものにした。材料はスチールサッシュ製、アスベストボード製、B 級チップボード製、B 級合板製の 5 種類を用い、取付パネルは不燃性材料の扉に対してはアスベストボード、可燃性材料に対してはそれぞれ同材の B 級合格すみのパネルを組合せて表 2.2 に示すように 7 体の供試体を製作した。

2.3.3 試験装置および寸法

試験装置は B 級パネルの試験装置と同一のものであり、供試体 No. 2, 3, 5, 6 は建設省建築研究所の高さ 3 m × 幅 3 m の加熱面をもつた炉で、No. 1, 4, 7 は運輸省船舶技術研究所の高さ 2.5 m × 幅 3 m の新設の炉のそれぞれの一部を使用して試験した。

試験体の取付寸法は設備の関係で、前者は上下縁支持とし左右縁を炉に固定した。後者は四周とも台車の枠に固定した。

試験方法は SOLAS 1960 年に規定された標準火災試験の方法により加熱温度、裏面温度のほか次の点を観測した。

- a) 煙および炎の発生状況
- b) 炭化、剥離、亀裂、脱落および爆発などの状況
- c) 変形の状況
- d) その他の損傷および燃焼の状況

加熱温度および裏面温度の計測点は図 2.14 に示すとおりである。

表 2.2 B 級防火構造扉供試体一覧表

供試体番号	種類	構造	備考
1	スチールサッシャ扉		1. 壁材 B級アスペスト 2. 扉、扉枠 スチール 3. 構造 ドッグボルトなし
2	防熱材入 スチールサッシャ扉		1. 壁材 B級アスペスト 2. 扉、扉枠 スチール 3. 構造 防熱材、珪藻カルシウム ドッグボルトなし
3	アスペスト シリットド扉		1. 壁材 マリライト LPL 芯、マリライト P、表面、フレキシブルボード、かまち、B級ノーパン合板 2. 扉 枕木 3. 扉枠 スチール
4	アスペスト サンドイッチ扉		1. 壁材 マリライト LPL 芯、シリカボード、表面フレキシブルボード、かまち、B級ノーパン合板 2. 扉 枕木 3. 扉枠 スチール
5	B級チップボード扉		1. 壁材 B級ノボパン BX 25A 芯、B級ノボパン BX、表面 B級耐燃合板、、フェンロック泡(3)ラワン 2. 扉 枕木 3. 扉枠 フネンロック泡(3)ラワン 4. シール材 不燃発泡防炎剤
6	B級チップボード扉		全上
7	B級ブライウッド扉		1. 壁材 ダイケン B級ノーパン 25 ダイケン B級ノーパン横層 2. 扉 枕木 3. 扉枠 ダイケン B級ノーパン横層 4. シール材 不燃発泡防炎剤

注 1. 扉内のり寸法 650 × 1,800 mm
 2. 扉 厚 35 mm

2.3.4 試験結果

各供試体の試験成績（加熱最高最低温度および裏面温度）は図 2.15～2.21 に示すとおりである。

2.3.5 試験結果の考察

a) スチールサッシャ扉 (図 2.15)

中骨の部分に最も早く熱が伝わり、塗料が変色しはじめると同時に扉、扉枠が加熱側にそりはじめ最大 35 mm に達した。扉、扉枠の隙間からは煙、炎の通過は最後まで見られなかった。しかし裏面温度が最高 600°C を越え、防火性は十分認められるが、防熱性のないことがわかる。

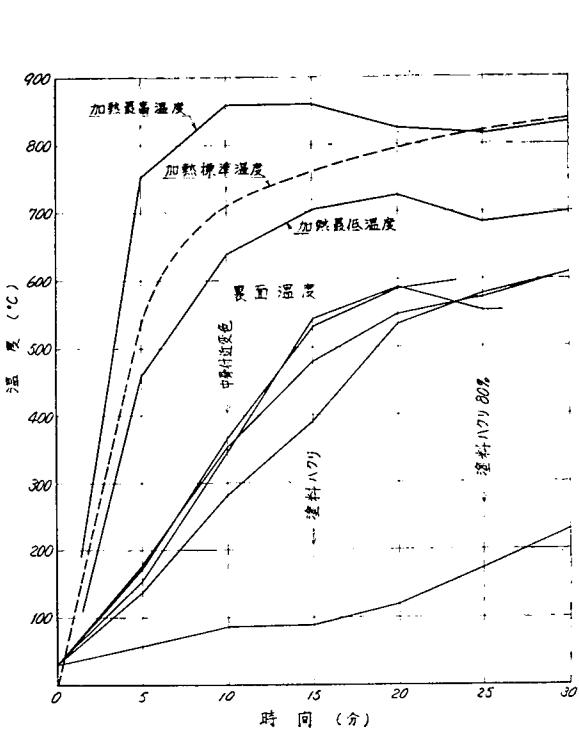
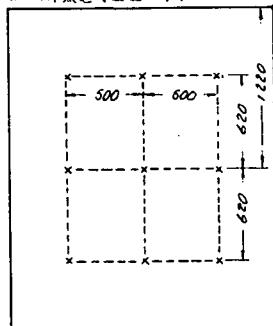


図2.15スチールサッシュ扉

加熱温度計測点
注 x印熱電対位置を示す



裏面温度計測点
①～⑥熱電対位置を示す

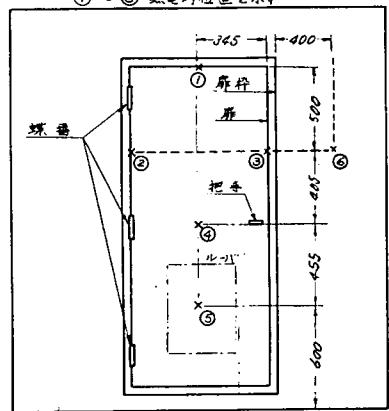


図2.14温度計測位置 (単位mm)

b) 防熱材入りスチールサッシュ扉 (図 2.16)

扉と扉枠の隙間のところどころから発煙し、その一部が着火したのは、内部の防熱材接着剤あるいはその溶剤の残留分より熱によって発生した可燃ガスが、扉の接合部からでてきたためと考えられる。裏面最高温度は上部の隙間部を除いて 200°C 以下であり、これは防熱材の効果と考えられる。扉の変形量は加熱側に 70 mm 凸となった。

c) アスベスト・ソリッド扉 (図 2.17)

扉と扉枠の隙間からの炎の通過は最後まで全然認められなかったが、扉の上辺の横手を覆ったステンレスチャンネルが赤熱し、30 分の試験のあと内部の難燃処理合板「かまち」は着炎燃焼を始めた。

裏面温度はルーバ部を除いて 100°C 程度で、防熱性は優秀であった。ルーバ内部が 4 分 30 秒で発炎し、13 分 40 秒で隙間で着火したのは、内部の塗料とルーバ取付用 B 級難燃合板製根太が燃焼したためと思われる。扉の変形量は加熱側に 27 mm 凸となった。通常 B 級アスベスト板のそりは加熱側が凹となるものであるが、この場合はスチール製枠のそりに引かれたためと考えられる。

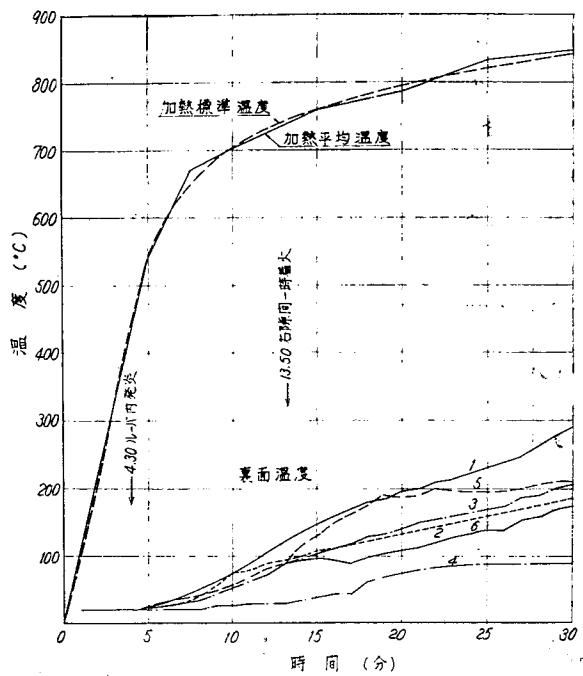


図2.16 防熱材入スチールサッシュ扉

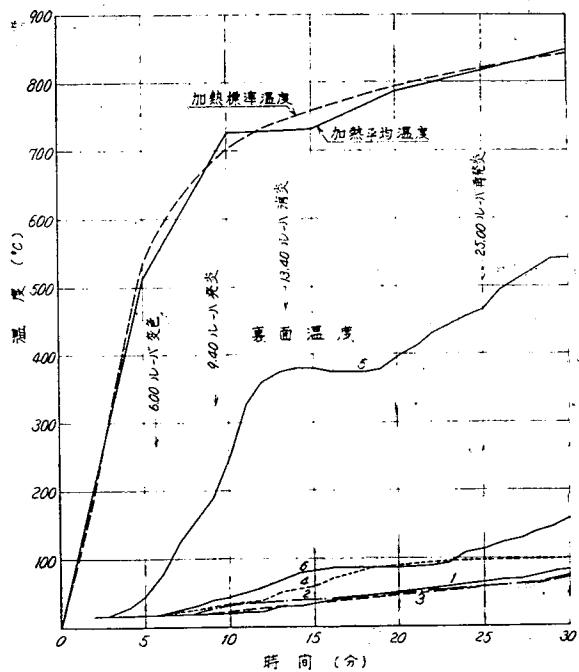


図2.17 アスペスト・ソリッド扉

d) アスベスト・サンドイッチ扉 (図 2.18)

金物取付部および扉の隙間の一部から発煙し、その部分が著しく変色したのは、内部の B 級難燃合板製「かまち」が加熱により部分的に燃焼したためと考えられる。扉の変形量は加熱側に 22 mm 凸と少なく、扉と扉枠の隙間からの炎の通過は認められなかったが、扉の下部の隙間が 5 mm 位あったためか、1 分間のウェスト着火試験で着火し、この部分の改良が要求された。

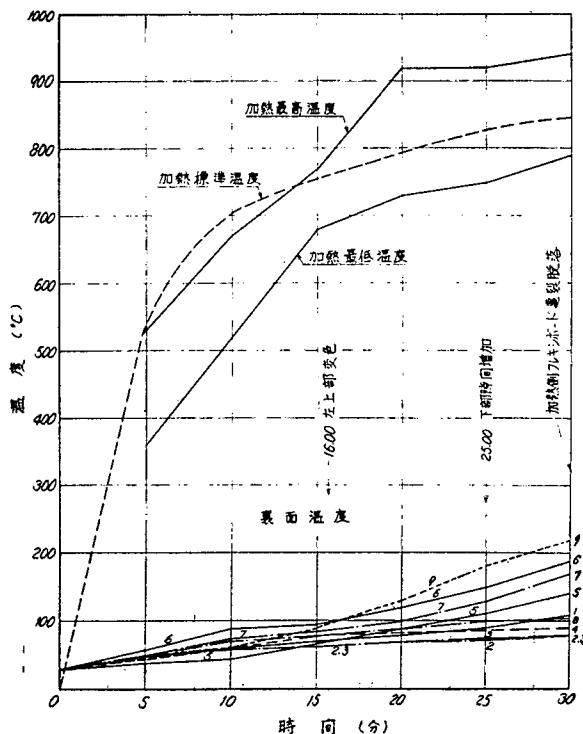


図2.18 アスベスト・サンドイッチ扉

e) B 級チップボード扉 (外開き) (図 2.19)

扉枠との隙間から噴出した煙が一時半減し、発泡性防炎剤の効果を示したが、加熱が進むにつれて扉枠、扉横手が焼焼、炭化収縮して、各所から炎を噴出するようになった。また扉下部の隙間 6 mm が最終的には炭化収縮のために 15 mm に増加し、かつロック取付部の補強部分が燃焼し、ロックが脱落するなど、木製部分の難燃処理が適当でないため、耐火性がなかったものと考えられる。

そりは加熱面に対して 30 mm 凸となった。

f) B 級チップボード扉 (内開き) (図 2.20)

初期より扉枠との隙間から煙が多量に通過し、発泡性防炎剤の効果で一時劣化したが、間もなく再度通煙、さらに通炎を見るようになり、全く前記 e) と同一の経過をたどった。変形量が 40 mm と多く、炎の通過量も多いのは、e) より耐火性のないことを示している。

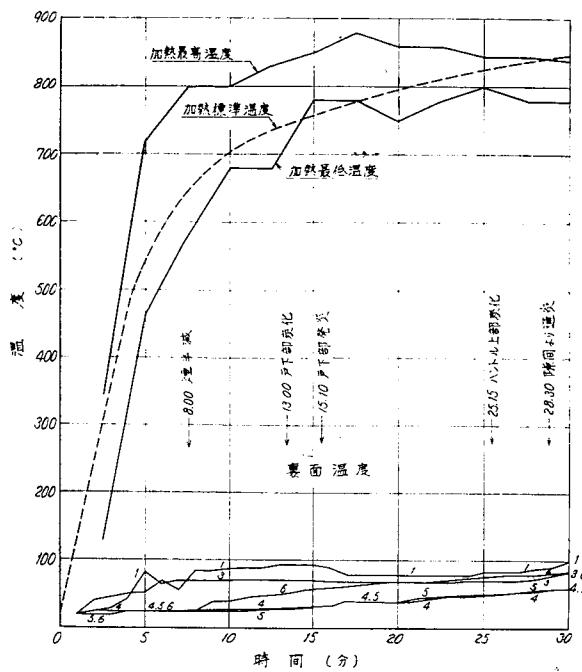


図2.19 B級チップボード扉(外開き)

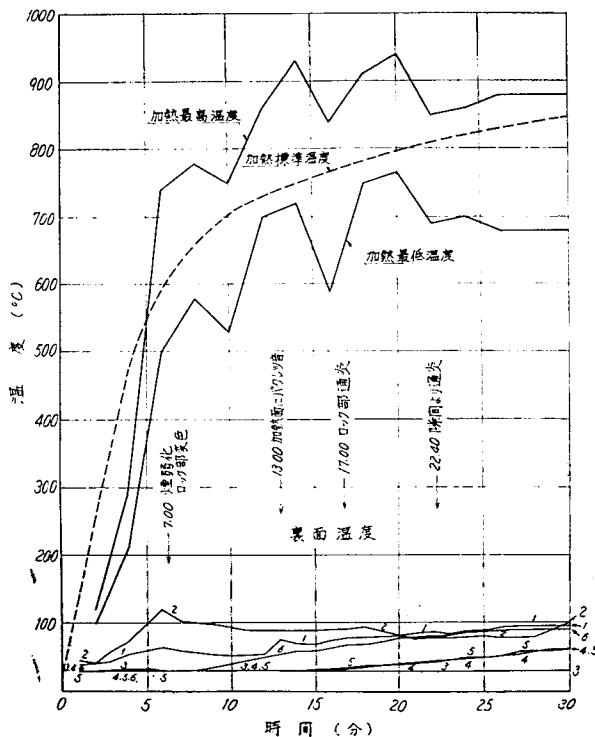


図2.20 B級チップボード扉(内開き)

g) B級プライウッド扉(図2.21)

扉枠との隙間から少量の煙が通過し、部分的に着色を生じたが、その他はほとんど異状が認められなかった。

変形は加熱側に 25 mm 凹となったが、全体的に防熱性、保全性ともに良好な結果を示したのは、難燃処理の適当さ(B級パネルと同一の処理)と相まって、2段扉当りおよび、発泡性防炎剤の効果によるものと考えられる。

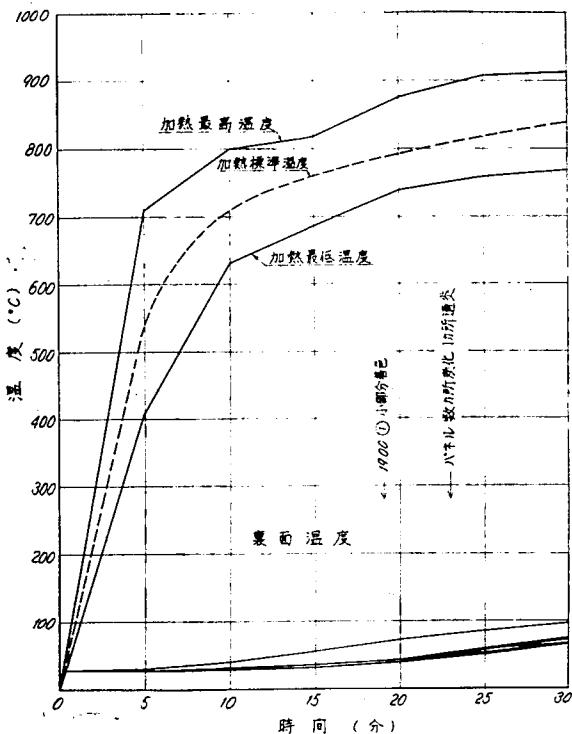


図2.21 B級プライウッド扉

2.3.5 むすび

以上の試験結果を総合すると次のとおりである。

- a) スチールサッシュ扉は、防熱材の有無に関係なく、ドッグボルトをつけなくても、B級防火扉としての性能を発揮できる。
- b) アスベスト扉は、その構造がソリッド、サンドイッチのいづれの場合でも、内部に使用する木質材は難燃処理を十分に施すことが必要である。
- c) 木質系扉は、扉枠および、扉横手構造材の難燃処理の程度が、その扉の防火性能を左右する。またロック、ハンドルなどの取付金物が高熱を伝導し、その周辺接触部の燃焼炭化を誘引し、防火上の弱点となりやすい。
- d) 木質系扉の表裏に直通する隙間は、その付近の燃焼を急激に増大させるので、扉当り、パッキン

グ材、シール材を使用し、あるいは不燃層を設け隙間の拡大を防ぐことが防火性能を向上させる。

この実験の結果によりそのまま製品となったもの、多段の変更を加えて認められたもの、さらにこの経験を基礎にメーカーが工夫を加え、再試験を実施し合格したものなどがあり、この研究の目的は十分にはたすことができたと考える。

第4編 結 言

本研究によって防熱については壁体の熱に関する特性が明かにされ、これが実際によく合うことも実船試験において立証された。外界条件も本試験および他の実船試験結果より明確になりつつある。また船体構造における熱の伝達状態もわかり、船の防熱装置計算をより正確に計算して計画できるようになったことは大きな収穫である。しかし外界条件の非定常的変化による熱伝達を正確に予測する所までは今一步という段階であって、これが実現すれば冷暖房機器の能力を無駄なく決定することができるようになるであろう。今後は現在の船舶に用いられている材料や構造にとらわれることなく、どのような防熱装置でどれだけの能力を持たせれば目的に合った最も経済的な船舶を造ることができるかという方向を見出したい。

防音については壁体の防音の特性および音源より居住区への音の透過について明かになったが、騒音源となっている主機械や補助機器より船体構造を通じて居住区に伝わる振動によって起きる騒音については非常な努力にも拘わらずその機構を完全に解明するにはいたらなかった。しかしながらこの問題について将来の研究の方向を明かにすることはできたと考えている。今後の問題としてはまず主機械および補助機器の騒音発生の防止について機関技術者の研究解明を大いに期待したい。また居住区および作業場所における騒音の許容基準を明かにし、振動による騒音発生の問題の解明と相まってこれ等の区割の騒音をある限度内に抑えるように計画し管理できるようにしたい。

防熱および防音装置は別個のものであるが、船の構造上は一体となっていて分離することは出来ない。上記のような研究を進めるに当ってはますますその相互の関連性を密接に考えて調和のとれたものにしてゆかなければならぬと思う。

船体の振動の問題も居住性能上大きな問題であって、従来非常な努力が払われてきたが、機関馬力の増大に伴って今後もますますその解決に務めなければならないであろう。このような諸問題が解決されなければどのように快適な居住設備を設けても居住性能を改善したことにはならず今後の研究が大いに必要と考えられる。

附 錄

Deck Covering に関する調査

1. まえがき

昭和 40 年 3 月に建造中あるいは就航中の船舶に施行された甲板被覆材料について、材料の種類、施工方法、損傷等について関係方面にアンケートして調査を行なった。回答は約 13 件あり、その内容について、集約すれば以下に示すとおりである。

2. 材質および厚さについて

アンケートに表われた甲板被覆材の種類は系統別に次のとく大別される。

ラバー系……………一般に厚みは 6 mm～13 mm 程度にわたっている。

マグネシヤ系……………ラバー系の場合と異り、厚みの種類は少なく 16 mm と 25 mm である。

エポキシ系……………2 mm～4 mm 厚で、ノンスリップを目的としている。

パーライトセメント……64 mm

瀝青系……………15 mm

この外、断熱層を目的として 25 mm～30 mm 程度のコルク、プラスチックフォーム または ラバー系のものにパーライトを混入したもの等が上記各種甲板被覆材と組合せて使用されている。

3. メーカについて

メーカーを甲板被覆材別にまとめてみると次のとくなっている。

ラバー系……………近成工業、栗山ゴム、河野工業、太平工業、弥富商会、小野田 CX、日本ダンロップ、中村工業、梁瀬商事

マグネシア……………太平工業、宝建材、大阪マグラス、丸中工業

パーライトセメント……日本化工ラックス工業

エポキシ……………太平工業、弥富商会

瀝青系……………DURASTIC

4. 施工時期について

施工時期は昭和 30 年 11 月施行のものより昭和 40 年 5 月までの長期間にわたつていて、アンケートの件数からまとめてみると昭和 37 年より昭和 39 年の間のものが最も多いようである。

5. 施工個所について

寄せられたアンケートの面積を集計してみると室内に施工 4,169 m² に対し曝露甲板 5,422 m² となっている。ここに表われた面積は事故発生をみた船舶に施工したもので、この外の事故発生をみなかつた船舶については一切触れておらない。

6. 施工時の状態

(1) 施工時の 86% までは晴天時に施工しており、残りの 14% は曇りで、なかには雪または雨の降る日に曝露部に施行している例もある。

(2) 甲板の表面処理

甲板表面処理は甲板被覆材別にみるとラバー系、パーライトセメント、エポキシ瀝青系の場合にはショットブラスト、磷酸処理、ディスクサンダ等により処理されているが、大部分はショットブラストによっており、ショット後ウォッシュプライマーを施工のものあるいは甲板被覆材専用のプライマーを施行するもの等まちまちである。

マグネシアの場合には上記同様ショットブラスト、ディスクサンダ等によるものもあるが、主にディスクサンダまたはワイヤーブラッシュで鏽落し後コールドエナメルを塗っている。

7. 事故発生時期

甲板被覆材を施工して完成就航時に事故発生するものが最も早く、これに対し最も遅いもので3年後に発生している。施工後6か月以内に発生するものが最も多く、1年以後の事故発生はまれである。

8. 事故発生個所

どこといって特に事故が発生しやすい個所を見出することは困難で全般にわたっている。これを室内外別に比較してみると曝露部においては施工面積が $5,422 m^2$ に対し、事故発生面積は $1,496 m^2$ となっており27.6%に当っている。これに対し室内の場合には施工面積 $4,169 m^2$ に対し事故発生面積は $1,912 m^2$ となっており46%にも当る。

上記事故発生とその原因について甲板被覆材別にまとめてみると

(1) ラバー系の場合は亀裂、剥離、トップコートの不良が大半を占めており、その原因も甲板歪の発生、甲板表面処理の不足、甲板振動等によるものが多く、いずれの原因にしても甲板被覆材が甲板の変動に耐えるだけのフレキシビリティを有しないことが最大の原因と考えられる。

(2) マグネシア系

マグネシア系の場合にはフクレという事故が最も多くこの原因是調合不良によるものとされている。この事故は原因が明確であるため防止できるものと考えられる。

(3) エポキシ樹脂

エポキシ樹脂の場合振動、歪の発生により剥離を起しており、船舶の場合は密着力が大であってもフレキシビリティーがなければ事故の発生を防ぎ得ないことを物語っている。

9. 事故発生の状態

各甲板被覆材の事故発生状態とその原因については次表のごとくである。

品 名	事 故 状 態	事 故 原 因
フィルドリバーテックス	トップコートの不良 亀 裂 剥 離	コルク板とメタルラスとの附着不良 甲 板 歪 表面処理の不良
セムテックス	断熱値不足 断熱層施工個所の凹み	甲板処理の不足 船の振動 防熱材の強度不足 断熱値不足(設計不良)

品 名	事 故 発 生	事 故 原 因
小 野 田 C X	亀 裂 剥 離	振 動 雨天による甲板面の乾燥不十分
セ ラ ス コ ー ト	亀 裂 トップコートの不良	座礁時曲損 油足で歩いたこと トップコートの耐磨耗性不足
Dex-O-Tex	トップコートの不良 剥 離	トップコートの磨耗性不足 材質混和不足 歪発生 甲板処理不足
ク イ ン パ ー テ ッ ク ス	亀 裂 剥 離	温度差 振 動 甲板処理不足 歪 寒冷地に使用の場合の厚み不足
ヤ イ テ ッ ク ス	剥 離	甲板歪 温度差 歪による不均厚 施工不良
ヤ ト ミ ツ ク ス	亀 裂 剥 離	ビニテックスと甲板との密着不良
パ ー ラ イ ト セ メ ン ト	表面剥離	温度変動大
DURASTIC	表面剥離	原因不明
大 阪 マ プ ラ ス	フ ク レ	調合不良
丸 中 マ グ ネ シ ア	フ ク レ	調合不良
コ ン ベ ス	亀 裂 剥 離	振 動 メタルラス使用による 甲板洗浄による
宝 建 材 マ グ ネ シ ア	表面結露	コルクボートに欠陥
エ ポ キ ン (弥 富)	剥 離	振 動
エ ポ キ ン (大 平)	剥 離	振動・歪・発生

昭和43年12月10日 印刷
昭和43年12月25日 発行
日本造船研究協会報告 第64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
東京都品川区東五反田1-19-7
電話(441)0006.4444.2020