

Volume 3

Number 3

造船研究

昭和36年10月

社団法人日本造船研究協会



社団法人 日本造船研究協会

The Shipbuilding Research Association of Japan

目 次

研 究 部 会

第 44 研究部会

実船航走時の波浪による甲板荷重の実験的研究 1

海外文献リスト 32

行 事 表 32

研究部会

第 44 研究部会

「実船航走時の波浪による甲板荷重の実験的研究」

実船航走時の船体の強度試験については、昭和 28 年度運輸省科学技術応用研究補助金の交付をうけ、航海訓練所練習船“北斗丸”を試験船とした実験及びこの実験を基礎として、引続き昭和 30 年度、運輸省科学技術応用研究補助金の交付をうけて、同じく航海訓練所の練習船“銀河丸”を試験船として、冬期三陸沖で実験が行なわれた。

これらの実験の成果は、三陸沖における種々の海象、気象状態の下で船速及び波との出合角を変え、船体各部に生ずる応力、船底、船側、特に船首船底船側に作用する水圧、水位、動揺、加速度等の同時計測を行ない、これらの海象、気象及び本船状態と船体応力との関係が求められている。

しかしながら、最近の船舶の高速化に伴なつて、航海中に船体の前部上甲板あるいは船首楼甲板、また一部タンカーにおいては船尾楼甲板あるいは、後部上甲板に青波による甲板荷重により、損傷を生ずることが実際におこつてきた。

本研究部会では、実船航走中での青波による甲板上の水圧を測定し、その性質を研究する目的で計画を進めてきたのであるが、幸いにして昭和 34 年度、運輸省科学技術応用研究補助金の交付をうけ、また、日本郵船株式会社の協力により、同社の世界一周定期航路船“撰津丸”を試験船として、昭和 34 年 12 月 4 日から昭和 35 年 3 月 11 日の間にわたり、同船の定期航海中に実験を行なつた。

本実験では、波浪による甲板荷重のほかに、全航海を通じての波浪による船体縦曲げ応力の頻度についての統計的計測を行なつた。実験において、各計測装置は良好な作動状態を示し、青波にも遭遇する機会をえ、これらの資料を含めて、多数のデータを得ることができた。本報告では、これらの資料とともに、その解析によつてえられた結果をまとめたものである。

なお、青波に対する研究及びその甲板荷重による甲板強度の研究について、最終的な結論を出すには、今回の実験でえられた資料のみでは不十分であり、この種の実験を今後引続いて行なつて、その資料を検討する必要がある。

本試験研究に対して、多額の補助金を交付された、運輸省当局、試験船として“撰津丸”の使用を快諾され、計測者に絶大なる支援を与えられた日本郵船株式会社、“撰津丸”の準備工事に種々の便宜を与えられた日本鋼管株式会社浅野ドック、“撰津丸”に取付けた諸計測装置撤去工事に御協力頂いた新三菱重工業株式会社、計測器具類を貸与された三菱造船株式会社、運輸技術研究所並びに、長期にわたる乗船を許可された計測委員の所属機関に対し、厚く感謝の意を表わす次第である。

日本造船研究協会第 44 研究部会委員名 (敬称略・順不同) ◎主査 ○幹事 ●庶務・会計幹事

吉 識 雅 夫	東京大学工学部船舶工学科	吉 武 嘉 一	(株)名村造船所
山 本 善 之	東京大学工学部船舶工学科	稀 葉 治 男	佐野安船渠(株)
○高 橋 幸 伯	東京大学生産技術研究所	○角 田 令 二	三菱日本重工業(株)横浜造船所
寺 沢 一 雄	大阪大学工学部造船学科	浜 野 和 夫	(株)藤永田造船所
栖 原 寿 郎	九州大学応用力学研究所	中 村 成 勝	日立造船(株)設計所
◎秋 田 好 雄	運輸技術研究所 構造部	藤 田 勇 一	石川島播磨重工業(株)
◎長 沢 準	運輸技術研究所 構造部	三 沢 敏 男	浦賀船渠(株)浦賀造船所
○石 山 一 郎	運輸技術研究所 構造部	高 橋 菊 夫	川崎重工業(株)
渋谷 享	日本海事協会	甲 斐 敬 二	新三菱重工業(株)神戸造船所
田 代 新 吉	日本海事協会	安 原 鉄 夫	(株)石川島播磨重工業(株)
神 谷 茂	日本造船関連工業会	岡 部 利 正	三菱造船(株)長崎造船所
中 野 由 己	運輸省船舶局検査制度課	杉 野 茂	三菱造船(株)本社技術部
西 岡 正 美	日本造船工業会	○金 田 彰 夫	三菱造船(株)長崎造船所
○内 田 勇	三井船舶(株)	清 川 泰	笠戸船渠(株)
○黒 川 正 典	日本郵船(株)	渡 辺 恵 弘	九州大学工学部船舶工学科
岡 田 正 三	大阪商船(株)	熊 井 豊 二	九州大学応用力学研究所
小 野 蓑	飯野海運(株)	○亀 谷 日出彦	川崎重工業(株)
高 柳 武 雄	三井造船(株)玉野造船所	○高 城 清	川崎重工業(株)
中 村 常 雄	佐世保重工業(株)	○山 口 為 也	三井造船(株)玉野造船所

目 次

緒 論	1	5.3 定時および青波発生時のオシロ連続記録	17
第1章 沿革	2	第6章 解析	21
1.1 研究実施に到るまでの経緯	2	6.1 気象, 海象および本船状態と青波の発生状況	21
1.2 既往における実船航走時の強度試験	2	6.1.1 青波水圧の頻度	21
参考文献 (1)	3	6.1.2 気象, 海象および本船状態と青波の発生状況	21
第2章 計画の概要	3	6.1.3 3月8日, 9日の青波について	22
第3章 経過の概要	7	6.2 青波と甲板梁応力	24
第4章 計測装置	8	6.2.1 測定値に対する考察	24
4.1 水圧計	8	6.2.2 青波水圧と甲板梁応力	26
4.2 水圧頻度計	9	6.3 応力頻度計による船体縦曲げ応力の頻度分布	27
4.3 簡易水圧頻度計	10	6.4 船体縦曲げ応力, 船体縦揺および船首上下加速度のオシロ連続記録	28
4.4 応力頻度計	11	参考文献 (2)	31
4.5 加速度計, 応力測定装置	13	結 論	31
第5章 計測結果	13		
5.1 気象, 海象および本船状態の記録	13		
5.2 応力頻度計, 水圧頻度計および簡易水圧頻度計の記録	17		

第1章 沿 革

1.1 研究実施に到るまでの経緯

最近の船舶の高速化に伴ない、航行中における船体がその前部甲板、または船首楼甲板上、あるいは一部タンカーで後部上甲板、または船尾楼甲板上に波浪による甲板荷重すなわち青波をうけて、そのために甲板が凹没したり、凹損する危険を生じ、実際に損傷する例も増加している。

この青波に関する実船実験として、これまでに行なわれた例は全くなく、模型船においては、最近英国で発表された資料があるのみである。この模型実験によると、青波の激しくなる条件としては、船型、吃水などの影響があることは勿論であるが、最も大きい要因としては、船速が大となることであるとしている。

しかし、模型船の実験結果はすべて規則波中の実験であり、波浪は向い波であつて、実際の航海状態とは非常に異なることと、さらに青波による衝撃荷重に対しては、模型船で求めるよりも実際の船で直接計測することが望ましい。また、この青波による水圧を計測する水圧計、あるいは水圧頻度計などの研究も進み、測定室においてこれらの記録をとるとともに、自動的に水圧頻度を記録することも可能となつた。

一方、青波の実験と併行して世界一周定期航路におけ

る波浪による船体縦曲げ応力頻度の測定を行なう計画をたてた。波浪による船体縦曲げ応力頻度については、応力頻度計の完成によつて、最近の2,3の船についての記録が発表されている。

このように、現在あるいは今後建造される高速船に対する甲板強度の検討と併せて、船体縦強度の研究を行なう目的で、昭和34年度本研究会は、運輸省科学技術応用研究補助金の交付をうけ、昭和34年12月、日本郵船株式会社「撰津丸」を試験船としてその実現を見るに至つたのである。

1.2 既往における実船航走時の強度試験

実船における船体強度の試験は、これまでわが国および諸外国で多くの試験が行なわれている。本研究協会においても、昭和29年に運輸省科学技術応用研究補助金をえて、航海訓練所練習船「北斗丸」で行ない、引続いて昭和30年度、31度に、本格的に実船航走時の強度試験を計画し、昭和31年1月に航海訓練所練習船「銀河丸」で試験を行なつた。

しかし、これまで諸外国を含めて行なわれた実験は、いずれも船体縦応力、スラミング応力等を対象とするもので、波浪による青波の測定を行なつた例は未だない。

従来、船体の浅波性に関する重要性は認められながら、その現象の複雑さから決定的な研究は発表されていない。

またこれらの解析の基礎となる理論もとほしく、した

がつてまた実船と模型船との相関関係も確立していないが、これまでの研究についてのべると、Edward および Todd¹⁾ は最初に、海水打込には乾玄が重要な関係を有することを示し、Kent²⁾ は海水打込について観測の結果、船の性質における dryness の重要性およびそれに関して乾玄および玄弧の有効性を強調した。そして結論として、船首水線下形状は海水打込に関係なく、従来通り船速の面から設計し、wetness については水線上船型とくにフレアーを十分考慮して設計すべきであるとのべている。

Niedermair³⁾ は、1951 年、規則波中の模型実験より、速力と dryness の保持におよぼす乾玄の影響について研究を行ない、また、E. V. Lewis⁴⁾ は deck wetness 算定のために、船の縦揺と上下動による船首没水を乾玄と対比させた。Abkowitz⁵⁾ も模型実験を行なつて、乾玄と縦揺の wetness に及ぼす影響を調べた。

最近に至り、R. N. Newton⁶⁾ が、戦時中艦艇について行なつた広汎な模型試験の結果を発表している。これらの結果を整理して、無次元表示により、wetness を海象および船の特性に結びつけている。この研究は、向波の規則波中のみに限られ、船の母型およびその船首部乾玄やフレアーのみ変型させて、系統的に実験を行なつたものである。

参考文献 (1)

- 1) J. Edward, and F. H. Todd: "Steam Drifters: Tank and Sea Tests", Institute of Engineers and Shipbuilders in Scotland, 1938.
- 2) J. L. Kent: "The Design of Seakindly Ships", North-East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, 1950.
- 3) J. C. Niedermair: "Ship Motions" Trans. I.N.-A., 1951.
- 4) E. V. Lewis: "Ship Speeds in Irregular Seas", S.N.A.M.E., 1955.
- 5) M. A. Abkowitz: "Seakeeping Consideration in Design and Research", S.N.A.M.E., 1957.
- 6) R. N. Newton: "Wetness Related to Freeboard and Flare", T.I.N.A.: 1960.

第2章 計画の概要

実験に使用した「摂津丸」は世界一周定期貨物船で、昭和 32 年三菱造船で建造され、日本郵船株式会社所有である。「摂津丸」の写真を図 2.1、要目を表 2.1 に示す。

測定項目及び計器の配置は表 2.2 に示す通りである。

本実験の主目的である、青波による甲板水圧の測定用には、動的歪計(D.M.)を用いて測定する水圧計と、自

動的に水圧頻度を記録する水圧頻度計を、前部上甲板部にとりつけた。この設置した位置は従来の損傷船の例を主として考え、太平洋定期航路船の船長、あるいは乗船者側の意見等を参考として、No.1 倉口の近傍に主として配置した。一部水圧計を船側に出し、側外板の前部で白波による水圧を測定した。青波によつて船体に生ずる甲板応力を測定するため、この青波水圧を測定した倉口外側の甲板下でその梁下面での梁応力を測定した。この応力は普通の SR-4 型歪計を用い、D.M.により測定した。

船体の波浪による縦応力の測定には、船体中央部に近い CO₂ Room 内において、上甲板下面に応力頻度計のピックアップを取付け、また応力頻度指示器を同室内の壁に取付けた。また SR-4 型抵抗線歪計により、D.M.での測定は No.3 倉口の近傍の上甲板上の位置において行なつた。

このほか、船体の運動を記録する装置として、動揺計と加速度計を用いて計測した。動揺計は測定室内に配置し、加速度計は出来るだけ船体の前方に取付けるため、船首楼内に配置した。これらの測定位置を図 2.2 に示す。

これらの測定計器は出来るかぎり小人数で測定しようように、水圧および応力頻度計は、すべて自己記録として、航海中毎日一回の記録のよみとりを行なうのみとし、その他 D.M.による計器関係は、一切測定室まで配線を行なつて、測定室内で計測できるようにした。

測定室は Boat Deck の 3rd Engineer & Engine App. の部屋を改造し、同室内には、D.M.のほか動揺計などを配置し、頻度計以外の記録は全部同室内で行なつた。測定器の写真を図 2.3~図 2.10 に示す。

測定する方法としては、航海中は毎日正午に原則として定時計測を行ない、計測項目としては、水圧、応力頻度計のほか D.M.による応力および水圧をうけている場合は水圧の記録を行ない、定時計測以外には、青波をうけるような荒天時には随時に適当な時間 D.M.による連続記録をとつた。

海象、気象等の測定は、風向、風速、風波とうねりの方向、波長、波高、気温、気圧、海水温度と比重、船の位置、針路、船速、主機回転数などについて行ない、これらの計測は、主として乗組員の協力のもとに行なつた。計測の間隔もしたがつて船側にしたがい、4時間おきに記録した。

なお航海の状態は普通の定期航路において行なうと全く同じ状態において行なうことを原則としたものであるが、太平洋においては、一時、船長の協力により、実験に適するような針路の変更を行なつて試験を行なうことができた。

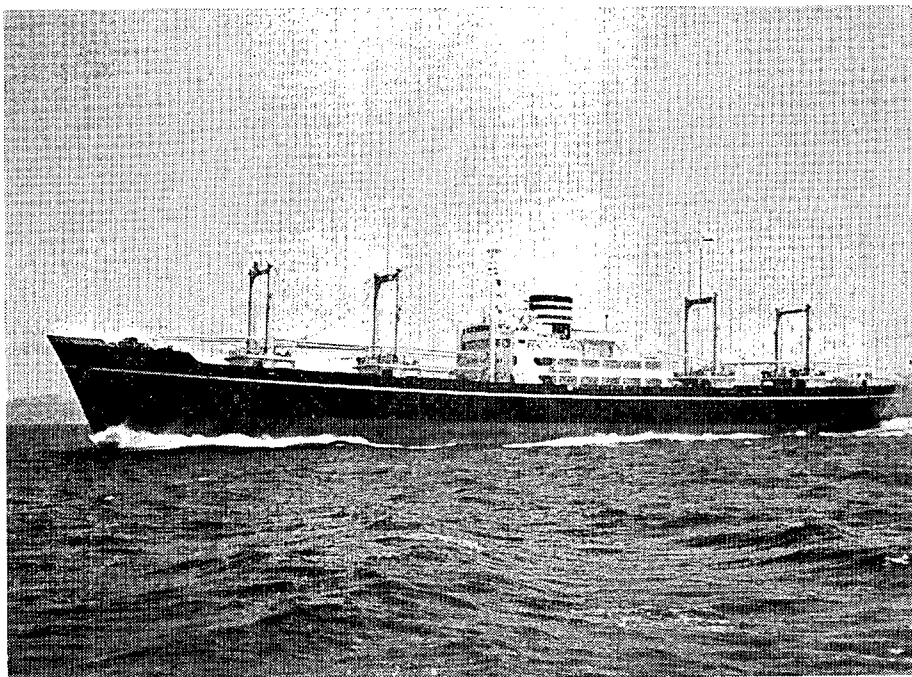
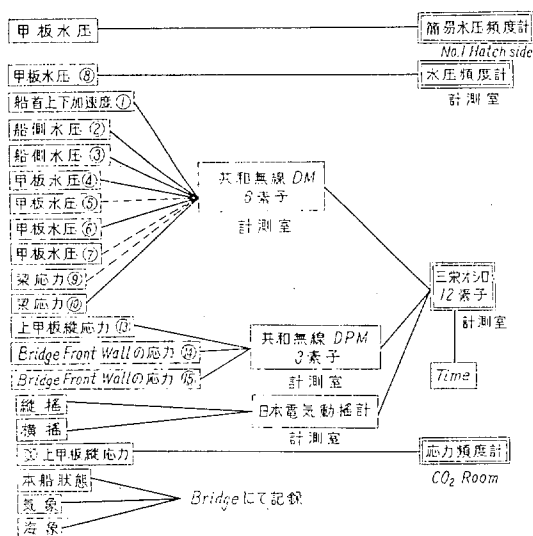


図 2.1 撰津丸

表 2.1 撰津丸の主要寸法

L_{OA}	L_{BP}	B_{MLD}	D_{MLD}	d	G. T.	D. W.	H. P.	Service Speed	Trial Speed
156.78 m	142.00 m	19.50 m	12.30 m	8.82 m	9,555.82 T	11,182.15 T	12,000 HP	17.8 kts.	20.7 kts.

表 2.2 計測項目、ブロックダイアグラムおよび計測位置



計測位置は図 2.2 と図 6.2.1 に示すが、概略は下記の通りである。

- ① Fr. 178. Windlass cont. room
- ② No. 1 Hatch 附近 右舷} Fr. 168 Upper Deck より
- ③ " " 左舷} Girth にそつて 1500mm
- ④ " " Fr. 166 右舷
- ⑤ " " " 左舷
- ⑥ " " Fr. 162 右舷
- ⑦ " " " 左舷
- ⑧ " " " 右舷
- ⑨ " " " 左舷
- ⑩ " " " 右舷

⑬ Upper Deck Fr. 111~112 の間
 応力頻度計: CO₂ Room, Fr. 90~91 の間

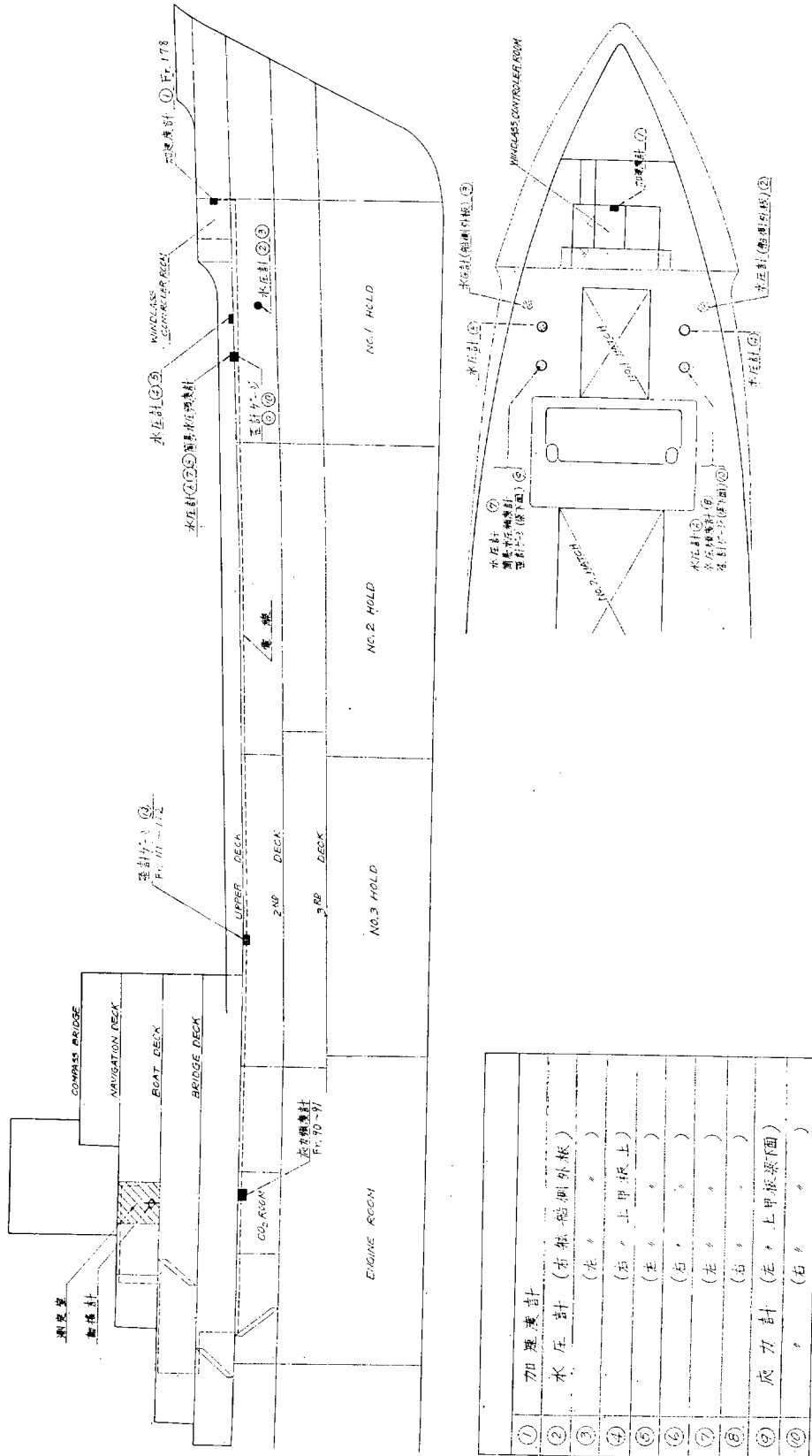


図 2.2 諸計器の取付け位置



図 2.3 測定室内の諸計測装置状況

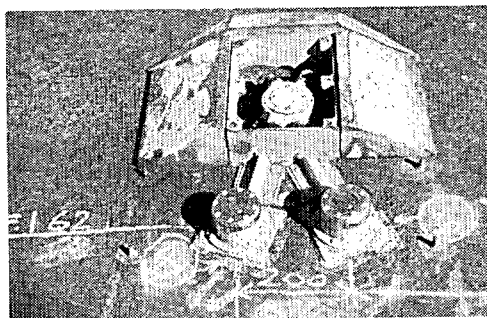


図 2.7 水圧計 (箱の中に水密端子箱が見える)

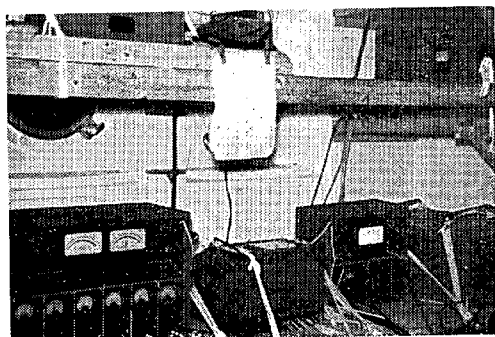


図 2.4 測定室内の諸計測装置状況

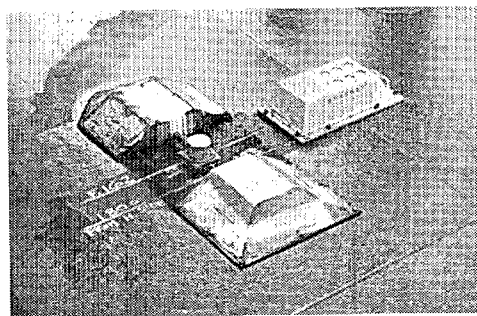


図 2.8 水圧計と簡易水圧計 (右方の計器は簡易水圧頻度計で、6ヶの受圧面が見える)

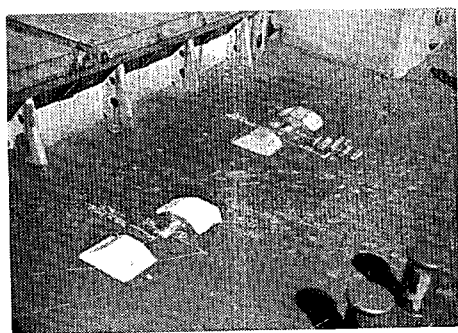


図 2.5 No. 1 Hatch Side にとりつけた水圧計

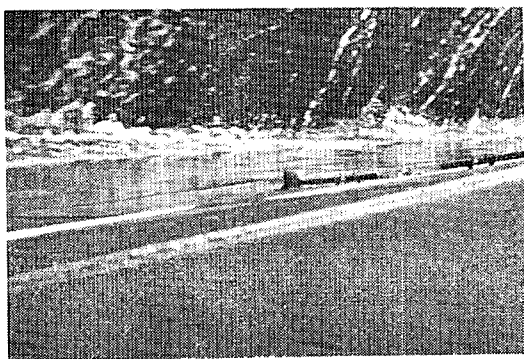


図 2.9 船首部舷側にとりつけた水圧計

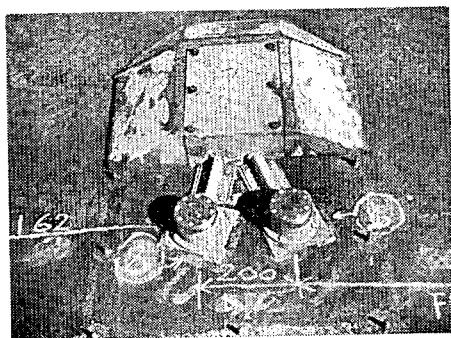


図 2.6 水圧計 (円形のもの水圧計の受圧板)

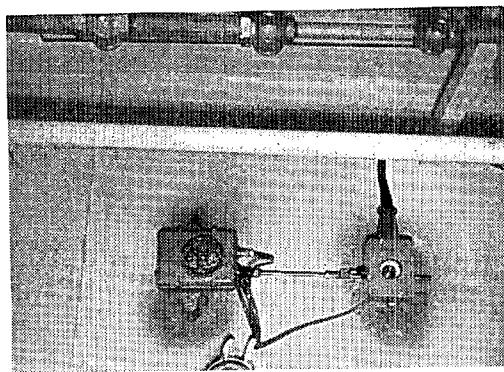


図 2.10 CO₂ Room 天井 (上甲板) にとりつけた応力頻度計の発振部とマイクロ部

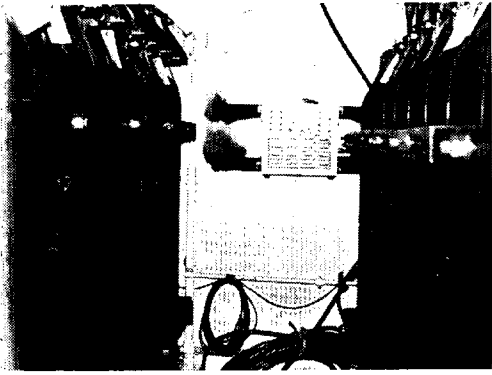


図 2.11 CO₂ Room の応力頻度計のカウンター部

し、実験の対象とする航路、試験船等を決定し、計器の製作についての検討を行ない、実際の実験担当には、直接関係する委員からなる実行計画を立案する幹事会を設けて運営することになった。その後、数回幹事会を開催して、従来の損傷船の例、模型船の結果などから計測点の詳細位置を決定し、予想される水圧、応力などに対応して計器の詳細な仕様を決めた。つづいて船体の配線、計器取付等の工事の打合せ、乗船者の選定、測定方法についての具体案の検討等を行ない、最終的に、昭和34年11月末までに、すべての準備を完了した。実験は昭和34年12月4日神戸を出港し、西回り世界一周航路において行なつた。航路の詳細は図3.1に示す。また乗船した委員は、つぎの通りである。

川原 隆 日本郵船株式会社

郷田 国夫 運輸技術研究所

藤田 純夫 三菱造船株式会社

摂津丸の神戸出港後、横浜に到着するまでの動静は、表3.1のごとくである。なお、青波はリバプール-パナマ間で2月3日、4日、8日に、サンフランシスコ-横浜間では、3月2日、8日、9日に起り計測した。

第3章 経過の概要

本研究遂行にあつては、第44研究部会を設置して試験計画、実験の実施にあつた。即ち、昭和34年7月に第一回の委員会を開いて、研究計画の基本方針を立案

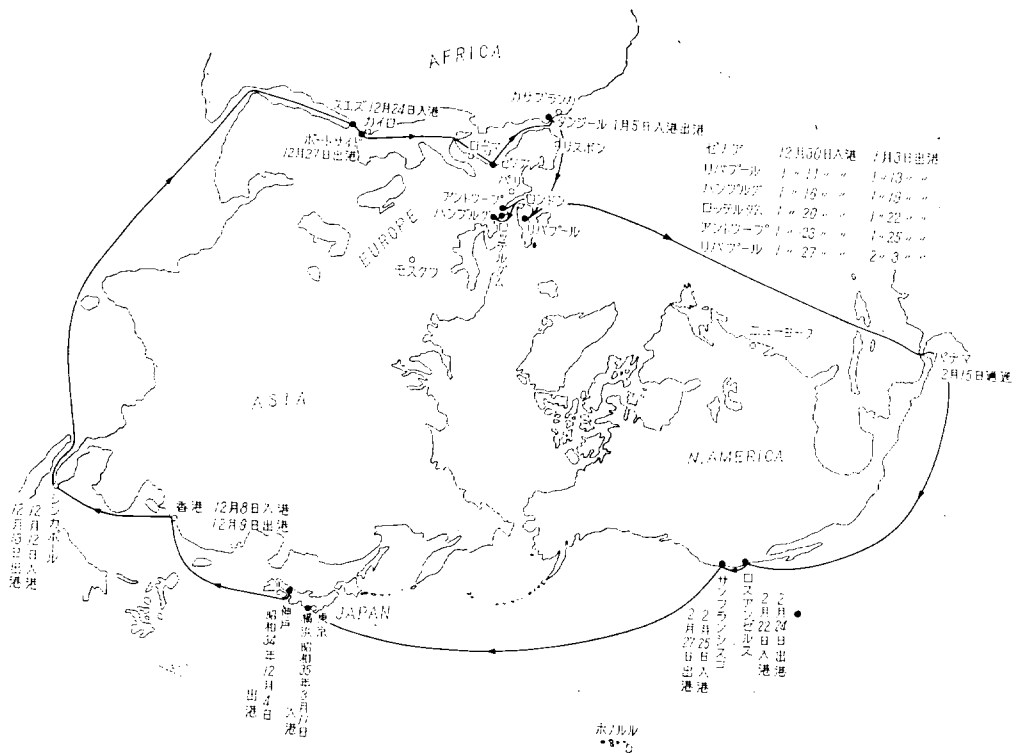


図 3.1 摂津丸の本航海における航路

表 3.1 本航海中の摂津丸の動静

寄 港 地	入 港 日 時	出 港 日 時
神 戸		昭和34年 12月 4日 19時00分
Hongkong	昭和34年 12月 8日 8時30分	12月 9日 1時30分
Singapore	12月12日 8時30分	12月13日 22時00分
Suez	12月24日 23時50分	12月25日 10時50分
Port-Said	12月26日 1時00分	12月26日 17時50分
Genoa	12月30日 7時40分	昭和35年 1月 3日 13時10分
Tangier	昭和35年 1月 5日 13時00分	1月 5日 20時40分
Liverpool	1月11日 14時50分	1月13日 19時30分
Hamburg	1月16日 5時50分	1月19日 10時40分
Rotterdam	1月20日 19時30分	1月22日 18時40分
Antwerp	1月23日 7時30分	1月25日 14時00分
Liverpool	1月27日 13時10分	2月 3日 10時30分
Cristobal	2月14日 22時20分	2月15日 8時10分
Los Angeles	2月22日 16時10分	2月24日 11時00分
San Francisco	2月25日 9時20分	2月27日 18時00分
横 浜	3月11日 20時00分	

第4章 計 測 装 置

4.1 水 圧 計

1. 本水圧計は航行中の船舶に発生する青波白波の水圧頻度を測定するもので、暴露甲板上に適宜に分散配置し、航行全期間に亘り測定を行なうものである。

測定期間は数ヶ月の長期に亘るので、本体は充分堅牢に作られ、防湿には特に留意した。

2. 最大水圧の推定

青波の実船による測定データは未だ充分ではなく、従つてその精確なる推定は困難であつたが、渡辺、熊井兩教授の実験結果を基として、次のごとく概略の水圧値を求めた。

$$P_{max} = c\rho\left(\frac{v^2}{g} + h\right)$$

但し P_{max} は最大水圧値、 c は実験により求めた定数で約 1.2、 ρ は水の密度 ($\neq 1$) 故に

$$P_{max} = 1.2\rho(2H + h)$$

H は水の落下高さ、 h は水塊で水の static head である。 D/W が 10,000 t を超える船では P_{max} は約 10m head となつた。

本水圧計は以上の値を基とし、測定範囲 1 kg/cm²、過負荷 150% として設計を行なつた。

3. 水圧計の応答特性

青波のごとき衝撃水圧はその作用時間が極めて短いことが予想される。

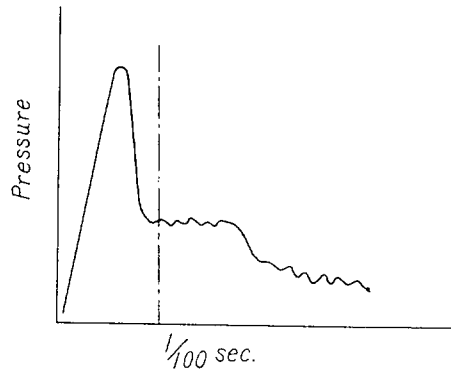


図 4.1 衝撃水圧の波形

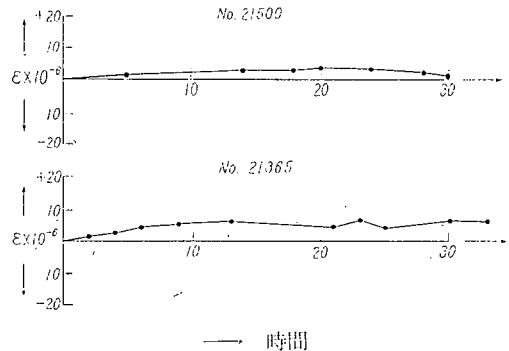


図 4.2 水圧計温度補償特性表

実験によれば概ね図 4.1 のごとき波形を示し、最大水圧は約 1/100 sec 程度である。本水圧計は 500 サイクル以上の応答特性を示し、青波の衝撃現象を測定するには充分な特性を有している。

水圧計の外観を図 2.6 に示す。受圧面の有効直径は 40 mm である。

4. 温度特性

水圧計は常時外気に暴露されているので、温度変化による安定性には充分注意し、温度補償を水圧計本体内部で行なつた。温度変化による零点の移動は略満足すべき結果を得、その 1 例を図 4.2 に示す。

4.2 水圧頻度計

本器は航行中船舶の青波および、白波水圧の最高値を計測する目的で新たに作られたものであり、最高水圧頻度数を自動的に電磁カウンターに記録を行なうものである。

1. 本体

図 4.3 は水圧頻度計のブロックダイアグラムであり、ピックアップは前記の圧力計を用い、AMP は 12 AT 7 二段よりなる増幅器であり、DISC は位相検波器であり、この出力はガルバノメーターを振らす。OSC はブリッジソース用の発振器であり、6 U 8, 6 AR 5 の二本よりなる CR 型である。

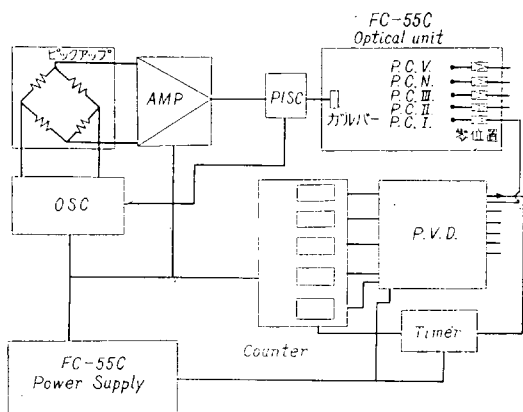


図 4.3 水圧頻度計ブロックダイアグラム

本装置の Optical unit は、電磁オシログラフと同様の光学系を用いたスライサーであり、スライス位置は P. C. を機械的に移動する事により決定可能で、他のいかなるスライサーよりも安定である。

外気温度の影響を逃げるため本器の内部は恒温槽となつている。

ガルバノメーターは 7 BB-750, P.C. は PC-3L フォトダイオードであり、光エネルギーを電気エネルギーに変換する。

T. T. C. はトランジスター 4 段よりなる増幅器でフォトセルの出力を充分に増幅し P. V. D. に入れる。

P. V. D. は尖頭値検出器であり、各スライサーよりの出力を受け、この幅の最高値のみを記憶し、タイマーの

指示によりこの最高レベルのカウンターをカウントさせる。本回路はサイラトロン 2D21 およびミゼットリレーより構成される。

本タイマーはある入力を受けると最高 5 秒の間遅延させ、新しい信号を発するもので、5 秒間任意の遅延時間を得る事ができる。

2. 電源

本器の Power Supply は以上の動作をさせる為に必要な各種電力を供給する電源部であり、入力鉄共振型の A. V. R. を持ち、入力電源電圧の変動に対して各電源の安定化を計つてある。

3. オプティカルユニット

オプティカルユニットは

- 1) ガルバノメーター
- 2) 光学系
- 3) フォトセル部
- 4) アンプ
- 5) ヒーターおよびサーモスタット
- 6) 警報装置
- 7) 筐体

に分けられる。

1) ガルバノメーター

このユニットに使用されるガルバノメーターは、電磁オシログラフに使用されるものと同様な原理である。

2) 光学系

本器の光学系は光源ランプの光束を集光レンズにより平行光線とし、その平行光線をガルバノメーターミラーに受け、ガルバノメーターミラーによってフォトセル上にランプフィラメントの像を結ぶ方式である。

3) フォトセル部

5 個のフォトセルは正面パネル上に一列に並び、150 mm の間 任意の位置にセットできる。水圧段階はこのフォトセルの位置により決まる。

4) アンプ

フォトセルより出る電流は極く小さいので、このままではカウンターを動作させることは出来ないから増幅せねばならない。増幅回路はトランジスターを使用し小さくまとめられ、ガルバノ側面に取付けられている。

5) ヒーターおよびサーモスタット

外気温度にかかわらず一定に動作させるため、内部温度は 40°C に保たれている。

使用ヒーターは 400W および 100W で、電線結線後ランプスイッチを“ON”に、ヒータースイッチを“HIGH”にすると 100W, 400W のヒーターが働き、40°C に至ればサーモスタットが作動し、ヒーターは切れる。

6) 警報装置

ランプの断線を知らせる警報装置が有り、専用コネク

ターが用意されている。ここに赤ランプあるいはブザーを結線する。

7) 筐体

筐体は外箱および内箱よりなり、内箱外面および外箱内面は断熱アスベストを張り、中空部にガラスウールを詰め熱伝導に充分注意してある。

筐体前面は扉になり、扉は大きな窓を持ち、アクリル板を張り、閉じた状態で内部にあるパネル（スイッチ光点観測窓）を見通せる。

内箱内にいつばいの内枠は前方はパネルになり、後方は二重壁でコネクターを取付けている。

各エレメントは全部この内枠に取付けてあるので、修理・調整などの場合、後面 8 本のビスを取りはずせば簡単に後方に引出せる。

4. 動作

ピックアップに入力が掛かればガルバノメーターのスポットは、この入力に比例して移動する。いま、スポットが零位置より P. C. I, II, III とよぎつたとする。

フォトセル内で電気エネルギーに変換された信号は、T. T. C. の増幅器により適当な大きさに増幅され、後の操作に便利な様にパルスに変換され、P. V. D. に挿入され、サイクロンを放電させる一方 No. 1 T. T. C. の出力は P. V. D. 内より一部分かれ、タイマーをスタートさせる。タイマーはこの後設置時間たつとカウンター回路の電源スイッチを閉じる。この間に P. V. D. 内にて尖頭値の決定が完了しているので尖頭値レベルのカウンター No. 3 が一つカウントされる。

このためカウントするまでに現象が終了していなくてはならない。

4.3 簡易水圧頻度計

1. 概要

簡易水圧頻度計は、波浪中航走時の船舶の甲板または船橋楼前端壁などに打ちつける青波 (Green Sea) の衝撃圧力の頻度を計測できること。

- 1) 取扱いが容易でだれでも計測できること。
- 2) 船体への取付けも簡単で、着脱または位置変更などが容易であること。
- 3) 甲板上に計測用電線などを敷設する必要のないこと。

などを特徴としている。

ピックアップ (受圧部) にはベローズを用い、あらかじめセットした所定水圧を受けると、ベローズのたわみによつて継電回路が閉じ、電磁式度数計が動作する。電源は乾電池を自蔵している。

2. 主要要目

- 1) 測定回路: 6 チャンネル
- 2) 測定圧力: 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 kg/cm² (1, 2, 4, 8, 12, 16 mH), ただし予備として 0.3, 0.6 および 1.0 kg/cm² 用のピックアップも用意してあるから、状況によつて任意に 6 段階の組合わせを変更することができる。
- 3) 衝撃感度: 最小 2.5 ms (1/400 sec)
ただし、継電器および度数計の機械的部分の復旧に時間を要するので、波状に繰返されるパルスに対する分解能は最小 20 c/s 程度である。
- 4) 測定圧力方向: 垂直分力 (計器は水平位置に設置)
- 5) 電源: 乾電池 45 V 自蔵

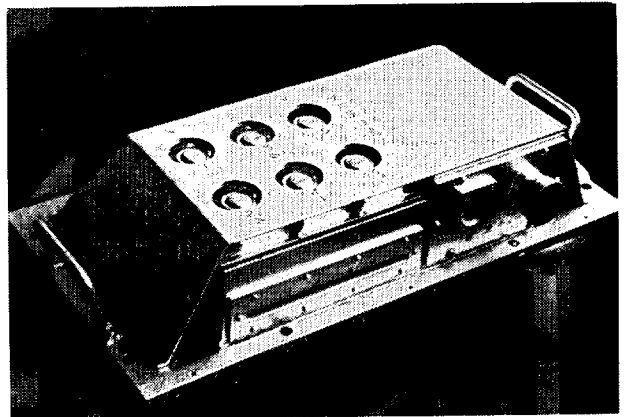


図 4.4 簡易水圧頻度計外観

3. 一般構造

全体の外観を図 4.4 に示す。

本体は厚さ 10 mm の軟銅板の溶接構造で、船体への取付けには直径 9 mm のボルト 8 本を用い、内面はポリエステル樹脂を塗装したうえ、断熱のためにガラスファイバーのマットをはりつけてある。

度数計および電圧計ののぞき窓はメタアクリル樹脂板を使用している。

4. ピックアップ (受圧部)

ピックアップ外観を図 4.5 に、断面を図 4.6 に示すこれはベローズ頂板と接点との接触によつて回路を閉じるスイッチの役目をする。

ベローズ (a) は磷青銅製で砲金製座金 (d) にハンダ付けしてあり、接点 (b) は磷青銅コイルパネに金メッキを施したものを直径 5 mm の黄銅ボルトにハンダ付けしたものである。過大な圧力による接点パネの塑性変形を防ぐために、ベークライトのストッパー (c) をフェノール樹脂系接着剤で座金 (d) に焼付けてある。(e) はベークライト製の接点支持金で、接点と本体とを電氣的に絶縁し、かつ接点上端とベローズ頂板間の間隔を一定に保

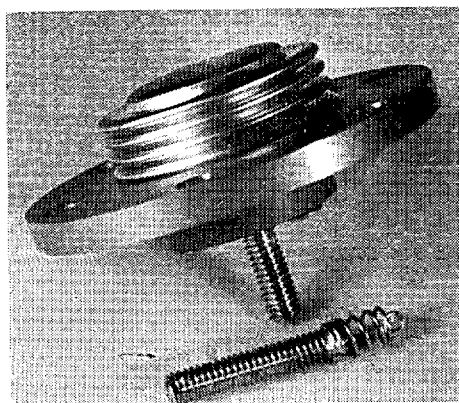
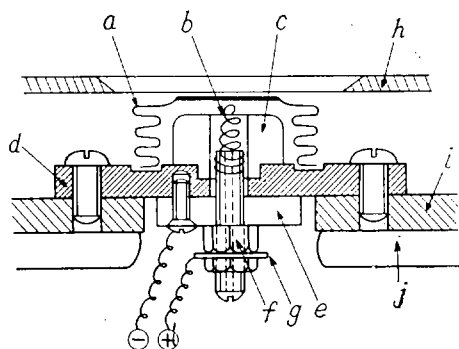


図 4.5 簡易水圧頻度計ピックアップ



- | | |
|----------|---------|
| a ベローズ | f 止ナット |
| b 接点 | g ラグ板 |
| c ストッパー | h カバー |
| d 座金 | i 本体頂板 |
| e 接点支持座金 | j 断熱マット |

図 4.6 ピックアップ断面 (縮率 4/5)

つており、また温度変化による誤差を防ぐために、接点ボルトの中心に通気孔をあけ、ベローズ内部の圧力変動を避けるようになっている。

5. 検定曲線

ピックアップについて検定を行なった結果の一例を図 4.7 に示す。実線は圧力-たわみ ($P-\delta$) 曲線、破線は荷重-たわみ ($W-\delta$) 曲線となっている。この例は、2 mH 以上の水圧をカウントするピックアップである。

2~2.5 mm 付近で直線から外れるのは、ストッパーによつてたわみが制止されるからであり、鋭い折線にならないでゆるやかに曲ること、およびその曲り方が $P-\delta$ 図と $W-\delta$ 図で若干異なることは、頂板部に曲率があること (ストッパー頂部および重錘棒下面は平面) および、その曲率半径が個々のベローズで異なることなどに起因するものと思われる。

4.4 応力頻度計

船体応力頻度計の具備すべき条件としては次の事項が

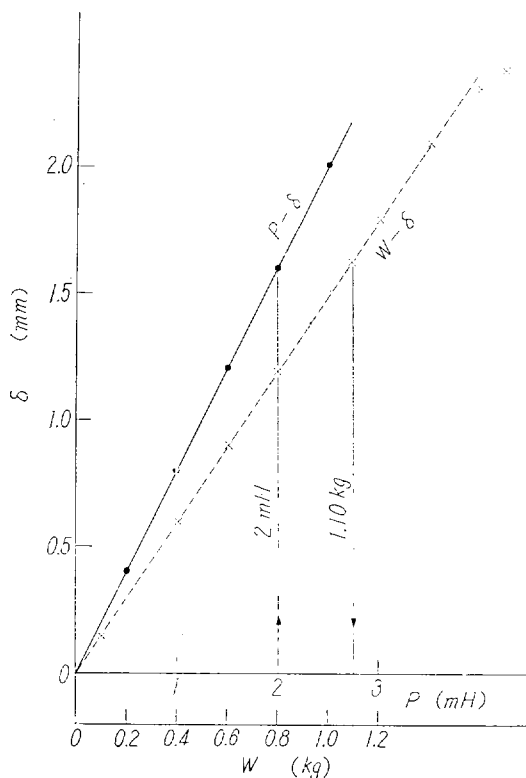


図 4.7 簡易水圧頻度計 II 号ピックアップ検定曲線

考えられる。

- 1) 10数日の長期間の連続使用が可能なこと。
- 2) 計器の零点移動が極力少ないこと。
- 3) 操作が容易でほとんど調整の必要のないこと。
- 4) 頻度記録が自動的に行なえること。
- 5) 遠隔操作が可能なこと。

試作した頻度計は、以上の見地から半機械的な方式を採用し、かつ頻度記録は度数計を用い、次の3主要部分からなりたっている。

- 1) 発信部
- 2) マイクロヘッド部
- 3) 計数部

本器の外観図を図 4.8 に示す。

1. 発信部

発信部においては標点間の歪変化がダイヤルゲージの指針の回転に伝えられ、指針がセグメント上を掃動する。

指針の1回転は0.5 mmの変位に相当し、セグメントは円周上を40等分されているから1セグメントは

$$0.5 \times (1/40) = 0.0125 \text{ mm}$$

の変位に相当する。

故に標点距離を L 、伸びを Δl 、ヤング率を E とすれば応力 σ は次式で求められる。

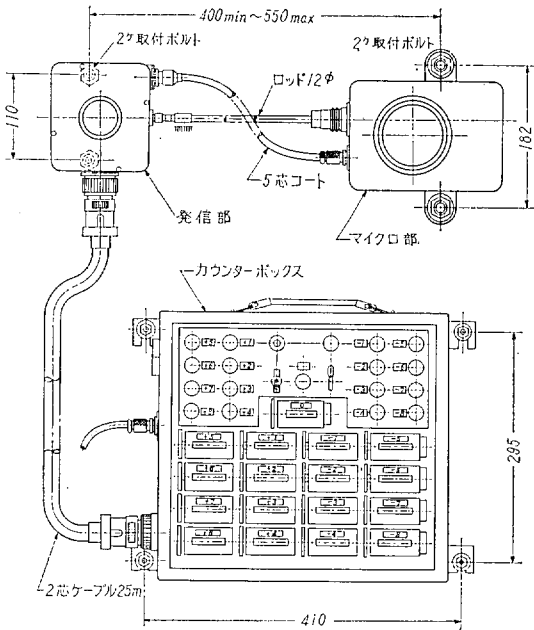


図 4.8 応力頻度計

$$\sigma = \frac{\Delta l \cdot E}{L} \text{ kg/mm}^2$$

$$L = \frac{\Delta l \cdot E}{\sigma} \text{ mm}$$

例えば 1 セグメント 0.5 kg/mm², E 2 × 10⁴ kg/mm² として標点距離 L を求めると,

$$L = \frac{125 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^4}{0.5} = 500 \text{ mm}$$

となる。

この計算で知られるように、本頻度計の歪感度は標点距離を変えることにより調整する。

セグメントおよび計数部はケーブルにより接続し、指針が触れた瞬間電流がセグメントを通じ、その段階のリレーが応力頻度を計数する。

セグメントとリレーの接続は、測定応力値を勘案して指示器の両側に設けられた端子板により、その接続を任意に選択することが可能である。

これは頻度分布を精度よく測定するには低い応力段階を比較的細く測定することが必要で、リレーの配分を必ずしも等間隔にすることが有利でないことによる。

2. マイクロヘッド部

マイクロヘッド部は一般に甲板上等の離れた個所に設けられる場合が多く、零点調整を遠隔操作で行なえることは極めて便利であ

る。

マイクロヘッド部はマイクロメータを内蔵し、コンデンサーモーターによりマイクロスクリューを回転し指針の零微調整を行なう。

またモーターにより指針を順次摺動し、回路の点検を遠隔操作で行なうことが同様に可能である。(図 2.10 参照)

3. 計数部

計数部は、各セグメントを指針が通過した回数を、対応する度数計が指示する。度数計の感動電流は比較的大で約 80 mA である。故に直接セグメントはこの電流を流さず、感動電流 5 mA 程度のマイクロリレーを挿入して接点を保護し、且つコイルに蓄電器を並列に接続し、0.5 秒程度の自己保持を行ない誤動作を防いでいる。

度数計は零 1 個、正負各 8 個計 17 個設け、セグメントと対応するリレー応力段階の接続は、前述のごとく端子板を介し、任意に選定するようになっている。(図 2.11 参照)

4. 頻度計数方式

この型の頻度計は零からの引張応力および圧縮圧力がある帯域を通過する回数を図 4.9 のごとく計数し、帯域通過数から応力頻度を求めるには次の計値を必要とする。

各度数計が示す帯域通過数をそれぞれ N₀...N_x...N_i とする。ただし N₀ は 0 帯域、N_i は最大応力値の帯域通過数とする。同様に応力頻度数を M₀...M_x...M_i とする。いま応力が正の極小値や負の極大値をもたない普通に多く見られる場合には、各帯域における応力の極大値の数は、最大帯域では

$$N_i = M_i$$

N_i より低い応力帯域では応力頻度数は

$$M_x = N_x - 2N_{x+1} + 2N_{x+2} - 2N_{x+3} \dots + (-1)^{i-x} 2N_i$$

で求まる。

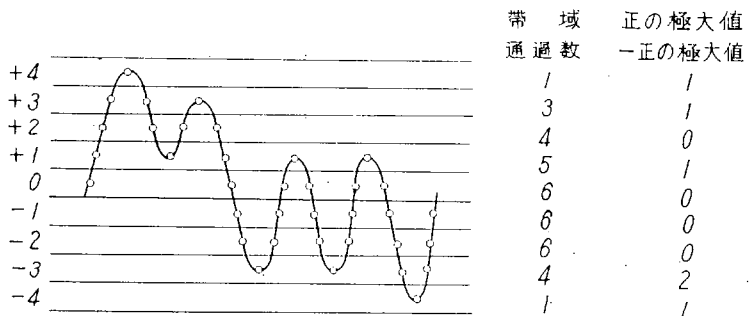


図 4.9 応力頻度計の計数方式図

4.5 加速度, 応力測定装置

加速度は非接着型の市販のものを使用し, 動的歪増幅器及び電磁オシロにて記録を行なつた。

応力測定装置は市販の6素子歪増幅器を使用し, 加速度計および歪計の間を50~100mの4芯シールドケーブルタイヤーにて接続し測定を行なつた。

これらはいずれも実用に供されているので特別な説明は省略する。

第5章 計測結果

5.1 気象, 海象および本船状態の記録

本実験における気象, 海象および本船状態の記録の一例を表5.1に掲げる。記録は原則として, 航海中4時間毎に計測したものであるが, 3月8日は荒天で波の打込みがかなり頻ぱんにあつたので, 14時と21時に臨時計測を行なつた。

(1) うねりと風浪の区別のつかない場合が多いので, 出合周期のはつきり判るものをうねりとし, その場合でも風浪が区別できるものは努めて風浪を記載した。12月末までは無理に両者を区別しようとしたので, あまりにも波高, 波長の小さな風浪を記入したが, これは無視しうるものである。又記入方法は, うねりのある場合(週期が計測できる場合)は, 風浪の方にもそれと同一の波高, 波長を再記した部分があるが, これはいずれとも考えられるからであつて特別な意味を持つものではない。

(2) 進路は図5.1に示す表示法による。

(3) 横揺は船橋にそなえたクリノメーターで測定した。最初の数字は左舷が下つた角度で, 二番目のものが右舷が下つた角度を表わす。ただし, 負号のつ

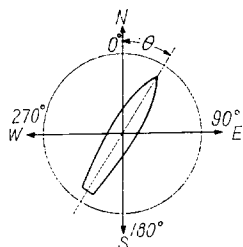


図 5.1 進路表示法

ている場合はもう一方の舷に傾いたままであることを示す。

縦揺は, 船のトリムの無い状態を0として振子を用いて測定したもので, 最初の数字が船首の下降した時の角度を示し, 次の数字は船尾の下る角度を示す。

なお, 横揺, 縦揺は, 12月末までは, 約1~2分間の最大値をとり, 1月からは, 1~5分間で比較的大きいもので且つ回数が多いものをつとめている。

天気略号, ビューフォート風力階級, 風浪階級, うねり階級は次に示すようなものである。

天気略号 (weather notation)

快晴	b	blue sky	雲量	0~2
晴	b c	partly clouded	"	3~7
曇	c	cloudy detached open clouds	"	8以上
霧雨	d	drizzle		
湿潤	e	wet air without rain falling		
霧	f	fog		
陰うつ	g	gloomy		
ひょう	h	hail		
電光	l	lightning		
もや	m	mist		
本曇(まき間)	o	overcast		
しゅう雨	p	passing showers or showers		
早手	q	squalls		
雨	r	rain		
雪	s	snow		
雷鳴	t	thunder		
天気陰悪	u	ugly weather		
大気透明	v	unusual visibility		
露	w	dew		
煙霧	z	haze		
あらし		graupel		

ビューフォート風力階級 (Beaufort wind scale)

0	calm	風速 0.0~0.5 m/sec	1 knot 未満
1	light air	0.6~1.7	1~3
2	light breeze	1.8~3.3	4~6
3	gentle breeze	3.4~5.2	7~10
4	moderate breeze	5.3~7.4	11~14
5	fresh breeze	7.5~9.8	15~19
6	strong breeze	9.9~12.4	20~24
7	moderate gale	12.5~15.2	25~29
8	fresh gale	15.3~18.2	30~35
9	strong gale	18.3~21.5	36~41
10	whole gale	21.6~25.1	42~49
11	storm	25.2~29.0	50~56
12	hurricane	29.1以上	57以上

風浪階級 (state of sea)

0	calm-glassy	平ら, 鏡のよう	波高 0 m
1	rippled	おだやか, さざなみ	0~1/2
2	smooth	なめらか, 小さな風浪	1/2~1
3	slight	やや波がある	1~2
4	moderate	かなり波がある	2~3
5	rough	波がやや高い	3~4
6	very rough	波がかなり高い	4~6
7	high	相当荒れている	6~9
8	very high	非常に荒れている	9~14
9	phenomenal	異常な, 台風の中心	14以上

うねり階級

0	no swell	うねりなし	
1 } 2 }	low swell	{ short or average long	弱いうねり, 波高 2m 以上
3 } 4 } 5 }	moderate swell	{ short average long	やや高いうねり 2~4 m
6 } 7 } 8 }	heavy swell	{ short average long	高いうねり 4 m 以上

9 confused swell

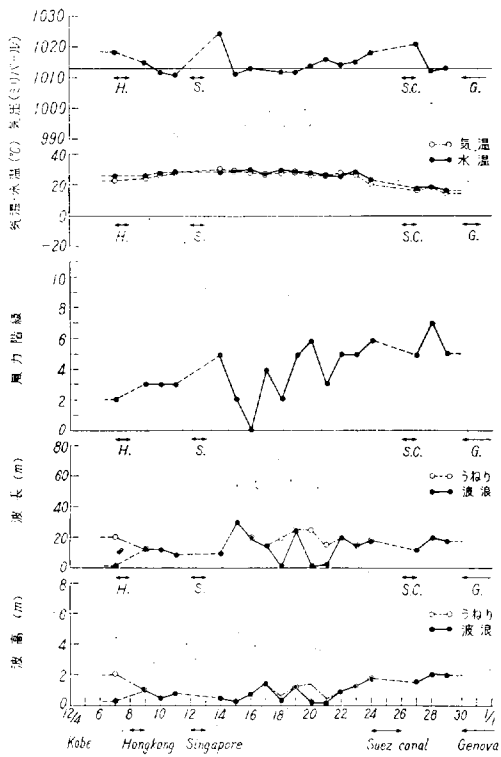
2方向以上から来て海面が混乱している場合

毎日の正午における気象、海象の計測値を横軸に年月日をとつて図 5.2 に示した。同様にして本船状態、船体運動を図 5.3 に掲げたが、参考のために、応力頻度計でとらえた応力の引張方向および圧縮方向の最大値を表示してある。

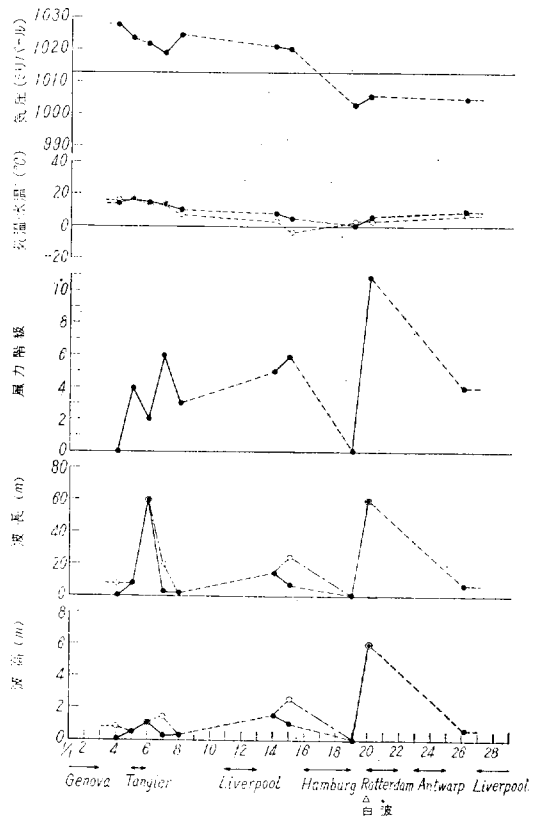
本航海中に起つた風力階級（4時間毎計測）のヒストグラムを航路別にして図 5.4 に掲げる。航路の区分は応力頻度計の場合と合わせてある。

表 5. 1

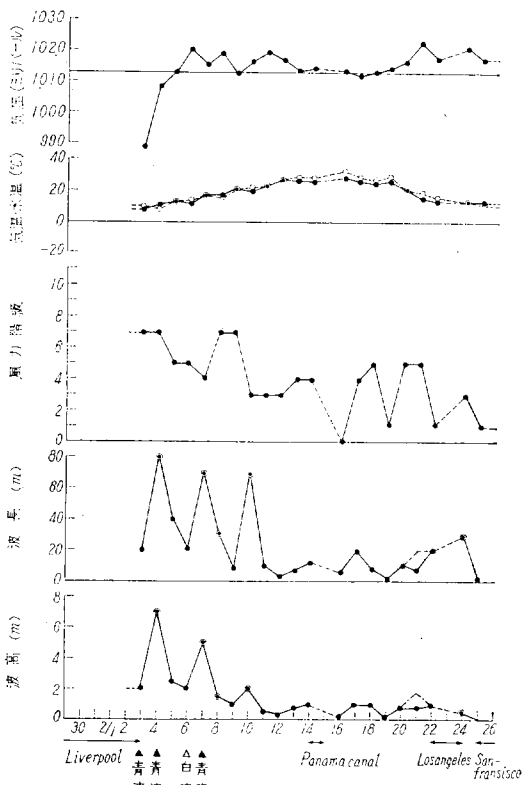
昭和 35 年 3 月 8 日 一日の長さ 24 h—30m								
		0 時	4 時	8 時	12 時 14 時	16 時	20 時 21 時	備 考
速 力 (kt.)		18	17.8	17.1	13.6 12.5	11.5~12.5	12.4 13	
回転数 (r.p.m.)		108.7	107.8	107	105.9	96.5	95.7	
進 路		275°	275°	275°	275°	271°	271°	
位 置	N or S (deg.)	36-22 N	36-28 N	36-33 N	36-39 N	36-39.5 N	36-40 N ○	
	E or W (deg.)	167-19 E	165-39 E	164-11 E	163-162- 27 E 55.5 E	162-25 E	161-23 E ○	
天 候		o	o	c	c. p.	c	c. p.	
気 圧 (m.bar)		1009.8	1002.3	1001.5	1001.0	1002.0	1005.0	
気 温 (°C)		14	14	13.5	10.5	7.5	6.5	
水 温 (°C)		15	14	13.5	10.5	7.5	6.5	
風 向	対船 (deg.)	↘ 55	↘ 50	↘ 15	0~15 5 ↙ (-5-15)	0~15 ✓	↘ 10 ✓ 5	
	絶対 (deg.)	S S E	S	W S W	W	W N W	W S W	
風 速	風力階級	6	8	7	8	8	8 0	() min. & max.
	対船 (m/sec)	15	19	16	(16-25) (15-29) 20 22	(25) 20	21 (15-23) 20	
	絶対 (m/sec)	12	15				15	
波 浪	波浪階級	h.	v. h.	h.	h.	v. h.	v. h.	○印は暗くて計測不能
	波高 (m)			2.5	5.5 6.5	6.5	○	
	波長 (m)			40	60 65	65	○	
	方向 (対船) (deg.)			↘ 35	↘ 5 10 ✓	0	10 ✓	
う ね り	うねり階級				5~6 6.5	6.5	○	
	波高 (m)				60 65	65	○	
	波長 (m)				↘ 5 10 ✓	0	W ○	
	方向 (対船) (deg.)	S	S		7 6.5	7	○	
出合周期								
横 揺	角度 (deg.)			4~9	3~4 3~2	3~4		
	周期 (sec.)			13.6	12 13	13.3		
縦 揺	角度 (deg.)			1.5~3.5	4~6 5~7 (8~9) (7~11)	4~6 (10~12)	5~7 (10~12)	() max.
	周期 (sec.)			7.3	6.5 7.6	7.5	8	
燃料消費		6,370	7,160	6,330	6,330	5,720	5,510	
ノッチ番号		6.7 -1.4	6.7 -1.3	6.7 -1.4	6.7 -1.4	6.5 -1.2	6.5 -1.2	



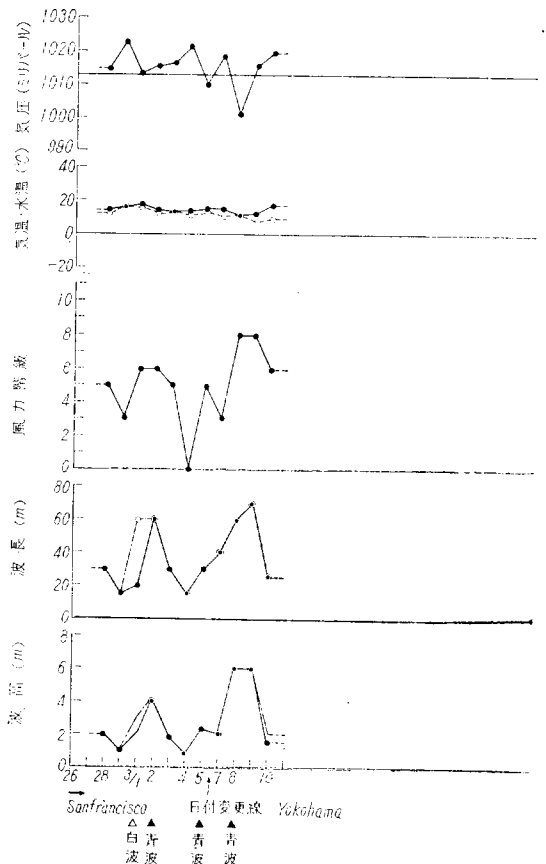
(1)



(2)

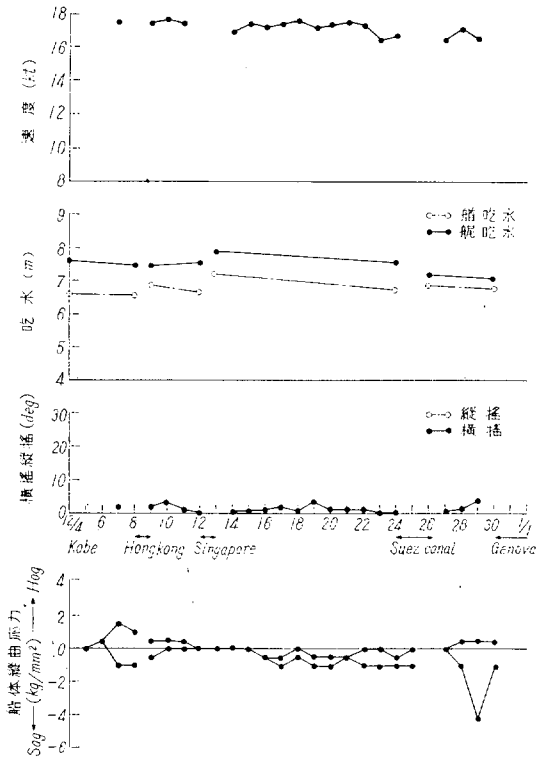


(3)

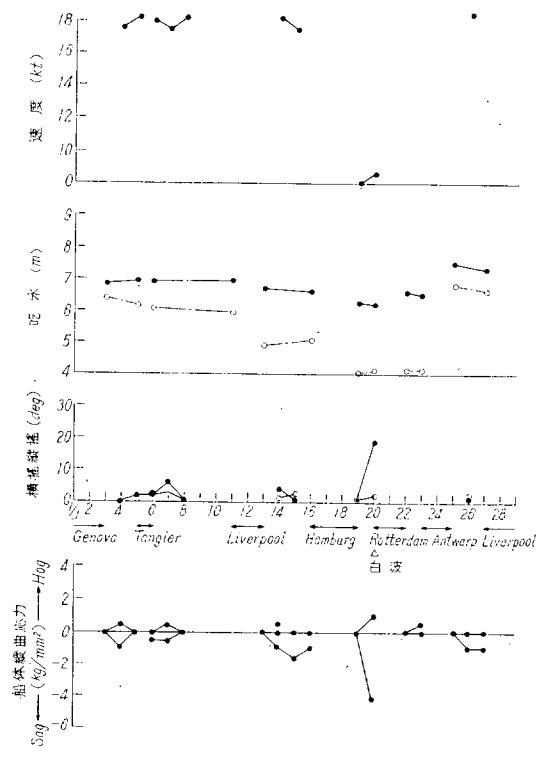


(4)

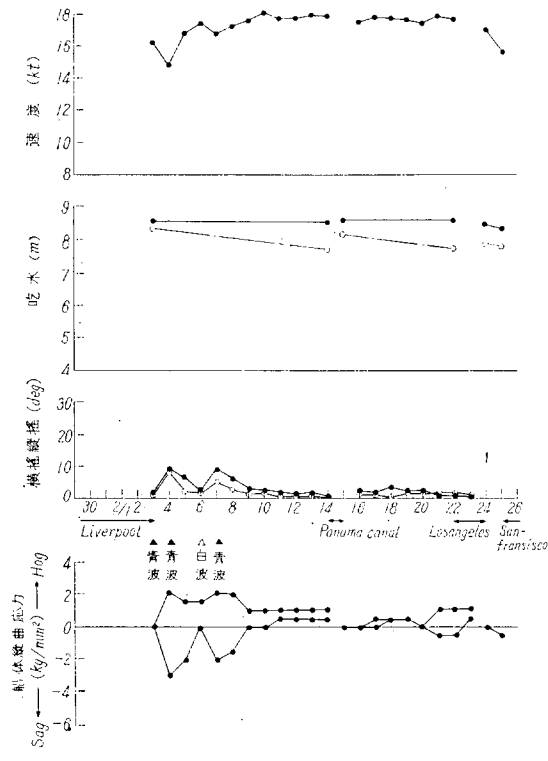
図 5.2 気象及び海象の時系列表示



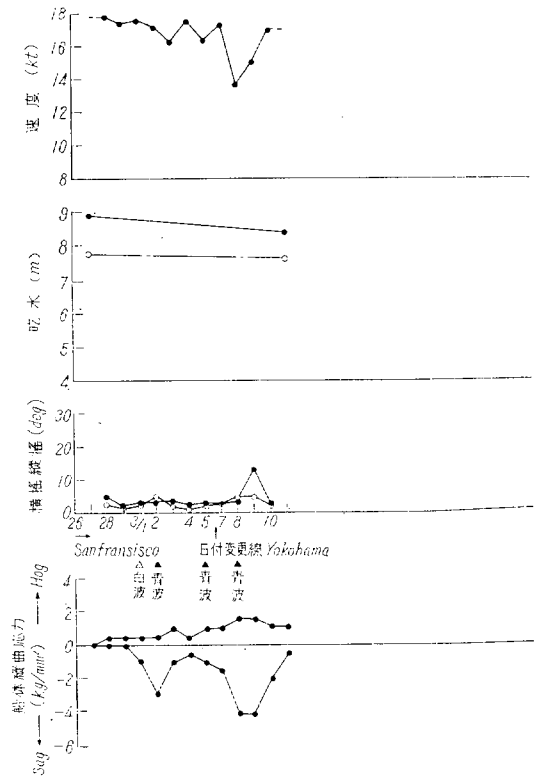
(1)



(2)



(3)



(4)

图 5.3 本船状態の時系列表示

実船航走時の波浪による甲板荷重の実験的研究

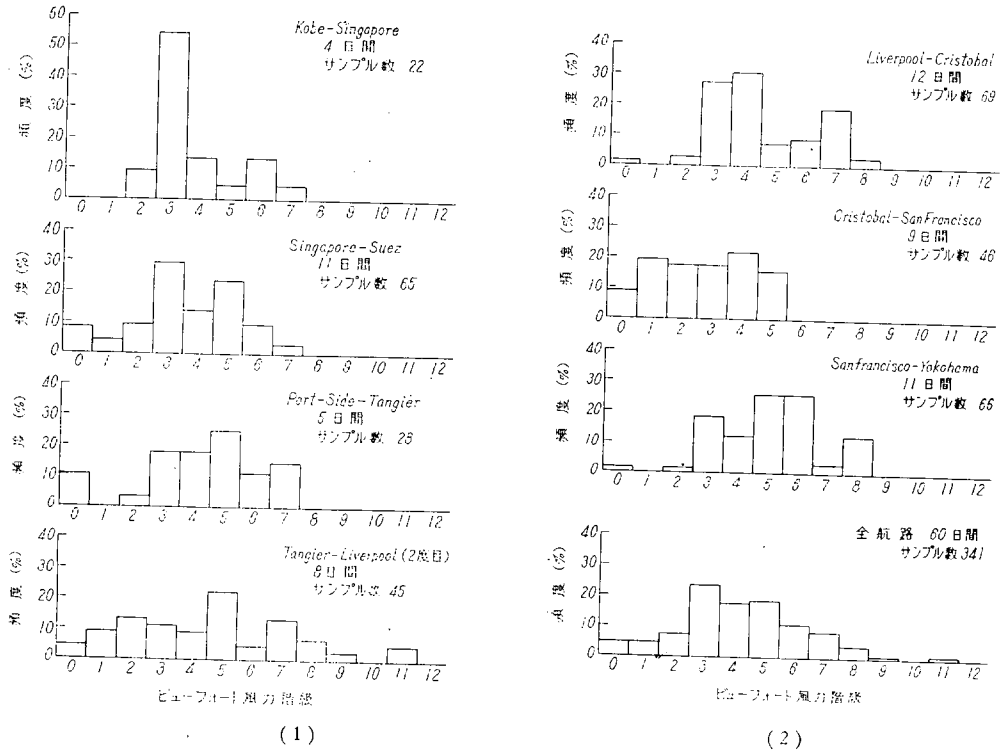


図 5.4 航路別風力階級ヒストグラム

5.2 応力頻度計, 水圧頻度計および簡易水圧頻度計の記録

今回の実験に用いた諸計測装置のうち、応力頻度計、水圧頻度計および簡易水圧頻度計は自己記録装置を内蔵するものである。

応力頻度計は全航海を通じて良好な作動を示し、得られた結果は、数年来集積がおこなわれている応力頻度の測定記録の一部として重要なものである。応力頻度計の各航路別累積測定記録を表 5.2 の N_x 欄に示す。ただし、 N_x の数値は応力頻度計の接点を通過することにカウンターに記録されたものであつて、真の頻度は、4.4 の 4. に述べた公式に従つて計算しなければならない。 M_x 欄の Δ 印は零点の位置を示し、それより上は Hogging (弓張応力)、下は Sagging (圧縮応力) を意味する。

水圧頻度計と簡易水圧頻度計は甲板に海水の打込みがあつた場合に作動するものであるが、前後 8 日間に海水の打込みを記録している。これらの全記録を表 5.3 に示す。簡易水圧頻度計の計数方式では、例えば、12 mH の水圧を受けた場合にはそれ以下の 8, 4, 2, 1 mH のベローズで全てカウントしてしまうので、8 mH の実際に起つた度数を求めるには 16 mH, 12 mH の度数を引

いてやり、もちろん 16 mH の水圧の度数はカウント数とおなじことになる。この実際に起つた度数を頻度と呼び、上のように計算した値を頻度欄に記入した。また水圧頻度計(精密型)のカウント数は頻度をあらわすように設計されている。簡易水圧頻度計の結果は、時として水圧頻度計のそれと大きくはなれたり、負の頻度が出ている場合もあるが、これは取付け位置の違いのほか、2月8日に発見したリレー部に浸水する故障や、簡易水圧頻度計の計測方法の欠陥によるものであつて、その数値には少々疑問がある。この詳細な検討は、6.1.1 に述べることとする。簡易水圧頻度計は取付けてある所まで行かないと、カウンターの読みをとることができないので、翌日に読んだものもあるが、それは備考欄に記入しておいた。

5.3 定時および靑波発生時のオシロ連続記録

本実験の約 100 日間にわたる長期航海中に、毎日行なつた定時計測と靑波発生時の臨時計測の結果、波浪による船体縦曲げ応力や船体運動等に関する相当量の精密な短期連続記録による資料を得ることが出来た。

定時計測は毎日正午から 5 分間、船体縦揺、横揺、船体縦曲げ応力、上下加速度、水圧等をオシログラフに連続記録した。

表 5. 2 応力 頻

航 路		San F.—Yokohama					Kobe—Singapore		Singapore—Suez	
帯域番号	応力中央値 (kg/mm ²)	10		11	Σ		Σ		Σ	
		N _x	M _x	N _x	N _x	M _x	N _x	M _x	N _x	M _x
+ 8	7.55									
+ 7	5.775									
+ 6	4.20									
+ 5	3.15									
+ 4	2.10					0	0	0	0	
+ 3	1.575	0	0	0	18	18	2	2		
+ 2	1.05	1	1	3	337	301	35	31		
+ 1	0.525	224	222	661	8650	8012	1344	2766	0	
0	0	5952	7072	2156	47287	24998	3136	▷ 984	74	
- 1	-0.525	8680	▷ 4299	417	50768	▷ 21519	365	1777	1137	
- 2	-1.05	1438	1422	0	18987	15891	38	38	2796	
- 3	-1.575	9	7		2785	311	0	0	0	
- 4	-2.10	1	1		1500	974				
- 5	-3.15	0	0		293	233				
- 6	-4.20				30	30				
- 7	-5.775				0	0				
- 8	-7.55									
ビューフォート風力階級		6								

N_x: カウント数 M_x: 頻度 ▷: 0点の位置をあらわす。
ビューフォート風力階級は原則として 12.00 のもの

表 5. 3 水圧頻度計および簡易水圧頻度計の全記録

Date		水圧頻度計 (精密型)					簡易水圧頻度計						備 考
		mH 1~3	3~5	5~8	8~12	12~	mH 1~2	2~4	4~8	8~12	12~16	16~	
2/3	カウント数						0	0	0	0	0	0	
	頻 度	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2/4	カウント数						15	2	15	0	0	2	簡水頻読まず
	頻 度	19	0	0	0	0	15	-13	15	0	-2	2	
2/5	カウント数												簡水頻 2/4~2/5
	頻 度	1	0	0	0	0							
2/7	カウント数												簡水頻読まず
	頻 度	1	0	0	0	0							
2/8	カウント数						0	0	0	0	0	0	簡水頻故障発見
	頻 度	3	0	0	0	0	0	434	0	0	0	0	
3/2	カウント数						0	434	0	0	0	0	簡水頻 3/3 の読み
	頻 度	1	0	0	0	0	-434	75	0	0	0	0	
3/5	カウント数						0	75	0	0	0	0	
	頻 度	0	0	0	0	0	-75	75	0	0	0	0	
3/9	カウント数						25	14	0	0	0	0	簡水頻 3/10 の読み
	頻 度	39	5	2	0	0	11	14	0	0	0	0	
Total	カウント数						40	525	15	0	0	2	
	頻 度	65	5	2	0	0	-485	510	15	0	-2	-2	

度 計 の 記 録

Portsaid—Tangier		Tangier—Liverpool		Liverpool—Cristobal		Cristobal—San F.		San F.—Yokohama		全 航 路	
Σ		Σ		Σ		Σ		Σ		Σ	
N_x	M_x	N_x	M_x	N_x	M_x	N_x	M_x	N_x	M_x	N_x	M_x
				0	0					0	0
				14	14					14	14
		0	0	748	720	0	0	18	18	768	740
0	0	16	16	13910	26120	235	1837	337	301	14533	13025
94	94	489	457	42376	2346	3154	1082	8650	8012	56107	44533
5634	6807	28398	27452	18247	▷26475	1423	▷2811	47287	24998	104229	4090
11939	▷503	18374	▷14182	3702	1748	106	106	50768	▷21519	86391	▷21928
5440	5996	14223	13163	1025	929	0	0	18987	15891	42519	37427
616	188	1153	-93	102	-6			2785	311	4629	463
231	197	683	563	60	48			1500	974	2429	1737
18	16	65	55	6	6			293	233	382	310
1	1	5	5	0	0			30	30	36	36
0	0	0	0					0	0	0	0

青波の計測は内地帰港直前に太平洋において荒天時の計測を行なうことができた。すなわち、昭和34年3月8日正午から3月9日早朝にかけて、甲板上に海水の打ち込みが激しくなり、青波として計器に記録することがで

きる程度の甲板水圧も10回程度起つた。青波発生時の水圧、甲板梁応力、船体動揺、加速度等の記録の一部を図5.5に示す。また、この時の気圧配置図を図5.10に示す。

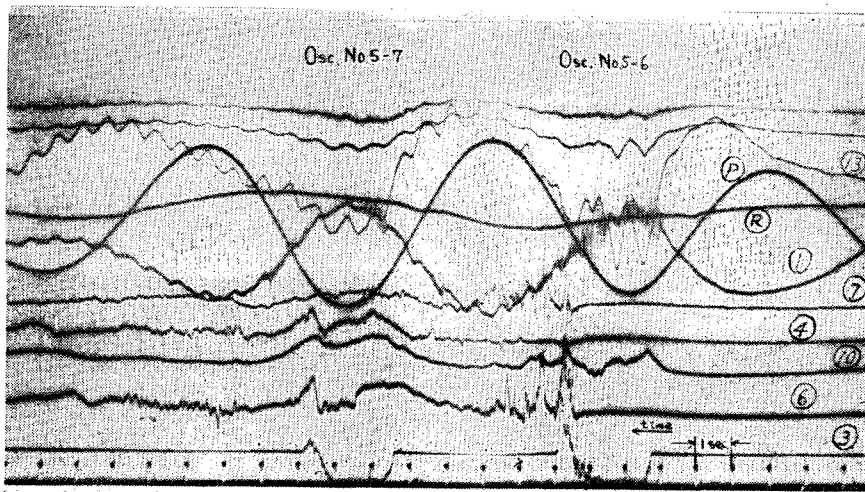


図 5.5 青波計測時の連続記録の一例 (Osc. No. 5-6, 5-7)

日本気象協会(気象庁)制定、気象庁発表(気象庁) (気象庁) (気象庁)
 記入例

気象記号

風速記号 (メートル)	風向 (度)	風向記号	天気記号	天気記号
0	0.0-0.2	1-末角	○	晴
1	0.3-1.5	1-3	⊙	晴
2	1.6-3.3	2-5	⊕	晴
3	3.4-5.6	7-10	⊗	晴
4	5.7-7.9	11-15	⊘	晴
5	8.0-10.7	17-21	⊙	晴
6	10.8-13.8	22-27	⊕	晴
7	13.9-17.1	28-33	⊗	晴
8	17.2-20.7	34-40	⊘	晴
9	20.8-24.4	41-47	⊙	晴
10	24.5-28.4	48-55	⊕	晴
11	28.5-32.5	55-59	⊗	晴
12	32.7以上	60以上	⊘	晴

天気記号

天気記号	天気記号	天気記号	天気記号
○	晴	⊙	晴
⊙	晴	⊕	晴
⊗	晴	⊘	晴
⊙	晴	⊕	晴
⊗	晴	⊘	晴
⊙	晴	⊕	晴
⊗	晴	⊘	晴
⊙	晴	⊕	晴
⊗	晴	⊘	晴
⊙	晴	⊕	晴
⊗	晴	⊘	晴

天気記号 (1)と(2)を併せて用いる場合は併せて記述する。

天気記号	天気記号	天気記号	天気記号
0	1	2	3
4	5	6	7
8	9	10	11
12	13	14	15
16	17	18	19
20	21	22	23
24	25	26	27
28	29	30	31

天気記号

天気記号	天気記号	天気記号	天気記号
0	1	2	3
4	5	6	7
8	9	10	11
12	13	14	15
16	17	18	19
20	21	22	23
24	25	26	27
28	29	30	31

天気記号

天気記号	天気記号	天気記号	天気記号
0	1	2	3
4	5	6	7
8	9	10	11
12	13	14	15
16	17	18	19
20	21	22	23
24	25	26	27
28	29	30	31

天気記号

天気記号	天気記号	天気記号	天気記号
0	1	2	3
4	5	6	7
8	9	10	11
12	13	14	15
16	17	18	19
20	21	22	23
24	25	26	27
28	29	30	31

天気記号

天気記号	天気記号	天気記号	天気記号
0	1	2	3
4	5	6	7
8	9	10	11
12	13	14	15
16	17	18	19
20	21	22	23
24	25	26	27
28	29	30	31

天気記号

天気記号	天気記号	天気記号	天気記号
0	1	2	3
4	5	6	7
8	9	10	11
12	13	14	15
16	17	18	19
20	21	22	23
24	25	26	27
28	29	30	31

天気記号

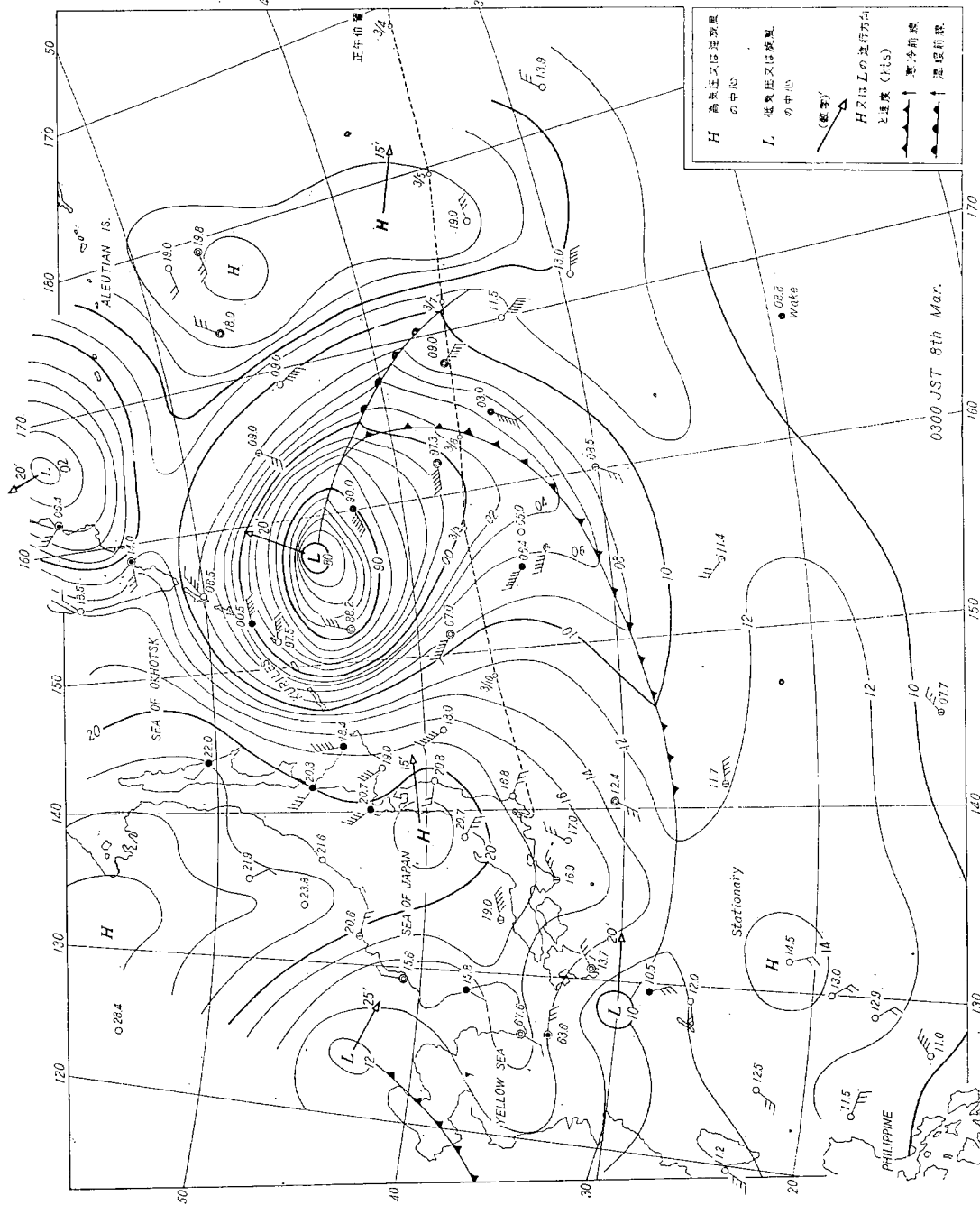


図 5.6 3月8日 0300 JST の天気図

第6章 解 析

6.1 気象、海象および本船状態と青波の発生状況

6.1.1 青波水圧の頻度

船体の前部上甲板上で、No. 1 倉口の両舷に水圧計を設けたが、この中の右舷の一点を水圧頻度計により全航海を通じて自動記録をした。また一方、簡易型の水圧頻度計を同じように、No. 1 倉口の左舷側に設けて、青波の水圧頻度を自己記録させた。

簡易水圧頻度計は途中で故障したため、満足な結果は得られなかつたが、これらの測定結果を図 6.1.1, 図 6.1.2 に示す。

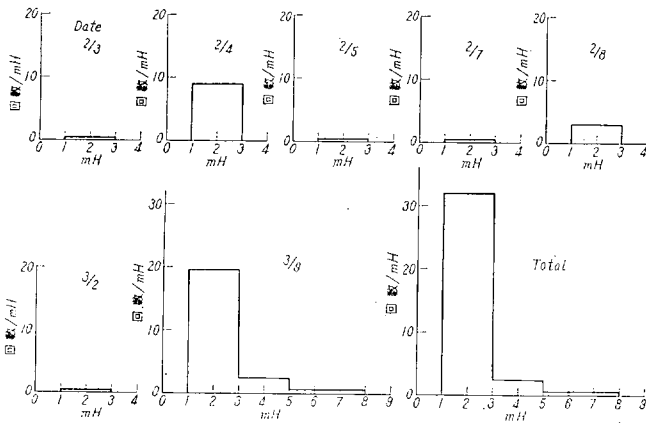


図 6.1.1 水圧頻度計(精密型)の記録による青波水圧

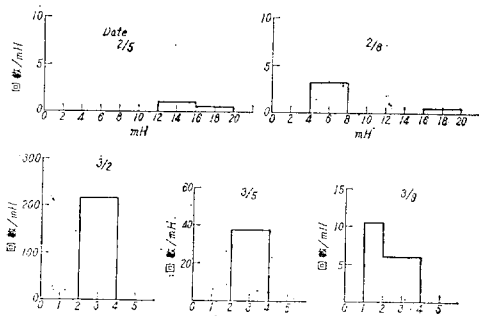


図 6.1.2 (1) 簡易水圧頻度計の記録による青波水圧

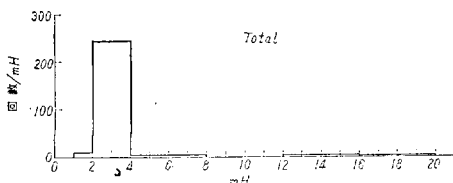


図 6.1.2 (2) 簡易水圧頻度計の記録による青波水圧

水圧頻度計(精密型)によると、主として青波をうけたのは2月4日と3月9日であり、その他の2月3日、5日、7日、8日および3月2日にうけた青波は非常に小さい水圧であることが認められる。青波の統計的記録として解析するには不十分な資料であるが、本船がうけた青波水圧は1 mH~3 mHの水圧が非常に多く、それ以上の水圧をうけたのは、3月9日のみであつて、この日には最大水圧5 mH以上を2回計測した。

一方簡易型水圧頻度計によると、水圧を計測した日は大体において精密型の水圧計に近いが、完全に一致していない。これは両水圧計が左舷と右舷に分れておかれているためこの相異は当然と考えられるが、青波水圧の頻度は、簡易型の水圧計では非常に大きい値を示しており、この回数が精密型の水圧計と同じ性質のものである

かどうかは疑問である。簡易型水圧計は一回のピッチングでうける青波によつてかなり多くの数の水圧を計測する可能性が考えられる。

簡易型水圧計の欠点はこのほかに、うけた水圧が計器の各水圧段階を通過することに計量する。すなわち、計器の水圧段階を1 mH, 2 mH, 4 mH, 8 mH……とする場合、5 mHの水圧をうければ、それより小さい1 mH, 2 mH, 4 mHは全部計量する。しかも水圧がピークを過ぎて0にもどらず、再び上昇する場合も全く同じ様に計量することである。

ピークを過ぎてから0に戻らなければ次の水圧を計量しないような方式であれば、

大きい水圧段階の数を順次それより小さい水圧段階の数から減ずることにより、各水圧段階の数が出るわけである。

この欠点があるため、簡易型水圧計は實際上水圧の最大値のみに意味をもっている。簡易型水圧計の最大値の3月以降の記録は大体精密型と同じ水準にあり、最大2 mH~4 mHであつた。しかしながらそれ以前の記録は20 mHに近い値を示しており、しかしこの直後に計器の故障を発見しているので、この値の真偽のほどは疑わしいと思われる。

6.1.2 海象および本船状態と青波の発生状況

青波の発生状況は、6.1.1に見た通りであるが、その他に水圧頻度計にも感じない様な小さな打ち込み波がある。このためにとつた記録はないが、船首左右船側にとりつけてある水圧計に水圧を感じた時は、取付け位置からして、わずかな波の打ち込みがあつたと考え、これを白波とすると、毎日の定時計測のオシログラフから記録をとることが出来る。

船首に生ずる波の高さは船速の二乗に比例し、この波は青波の発生を容易にするので、船速を縦軸に、気象、海象を表示するものとして風力階級を横軸にとつて、青波と白波の発生状況をあらわせば、図 6.1.3 に示すごとくなる。ここに ⊙ は青波、○ は白波の発生した時の状態をあらわしており、× は打ち込み波のなかつた場合を示す。図より、船速が大であるほど、又、風力階級が大であるほど打ち込み波が起り易くなることがうかがわれるが、よほど荒天に遭遇するか、出入港時でなければ船速はほぼ一定であつたため点が上辺に集中して、波の打ち込み範囲を判定するまでに至らなかつた。また図中かなりの点のバラツキが見られるが、吃水が一定でないことが大きな原因と思われる。右下辺に一つだけ飛んでいる点は、Rotterdam 入港直前に船足を大きく落した時で、貴重な記録となつている。

甲板への波の打ち込みの難易は、乾舷の大きさが関係することは容易に想像されるが、縦軸に吃水をと、横軸に風力階級をとつて、打ち込み波の発生状況をあらわせば、図 6.1.4 の如くなる。多少の点のバラツキはあるが、図中実線で示すような打ち込み波の発生限界線が求められる。これは図 6.1.3 にくらべてはるかにはずりした傾向を示しているので、商船の場合であれば、船速よりも乾舷の方が波の打ち込み条件のうちより大きな要件であると思われる。

操船上の問題として、荒天の際に波との出合角のとり方により青波の被害を少くすることが出来るか否かを検討する為、同心円状に風力階級をと、放射線状に波との出合角をとつて見ると、図 6.1.5 に示す如くなる。図中、◎ および ○ の傍に掲げる数字のうち、かつこの中のものは吃水をあらわし、他は打ち込み波の水圧計に感じた最高の水圧をあらわす。ただし、◎ のものは甲板の水圧測定計に感じたものであり、○ のものは船首左右船側にとりつけた水圧計にとらえたものである。この図から、追波による打ち込み波は一例もなく、おおむね左右 40°~50° 以内の範囲で発生しており、そのうち青波の大きなものは 20° 以内に起つてることがわかる。これは従来荒天に遭遇した時に出合角を 30° 位にとつて打ち込み波を避ける常識と一致するものである。

6.1.3 3月8日, 9日の青波について

海象および本船状態の記録について 5.1 で述べたが、青波をうけた時刻における海象、気象は表 6.1.1 のごとくである。

これらの測定値は乗船者の目測によるものであり、特に夜間などは測定誤差もあると思われるが、これらの海象等の記録を、R. N. Newton が示した wet zone の図表を用いて比較してみる。勿論船型が異なつており、特に R. N. Newton は方形肥瘠係数 0.483 という非常

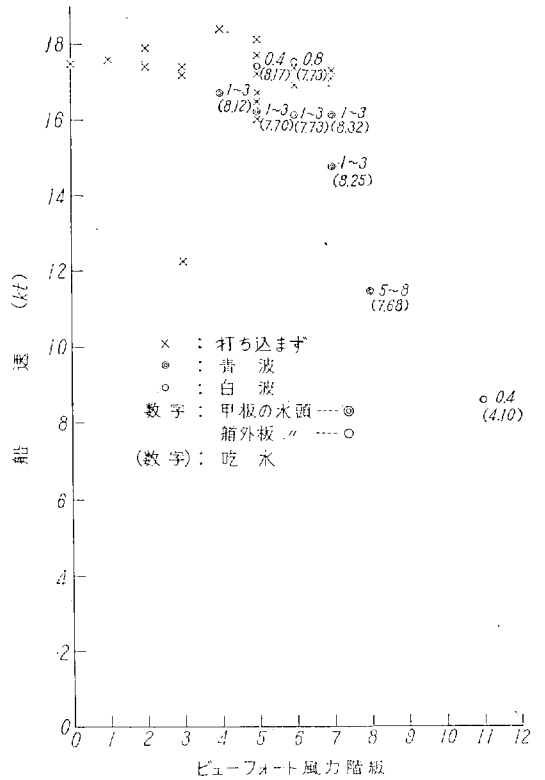


図 6.1.3 船速と風力階級からみた青波の発生状況

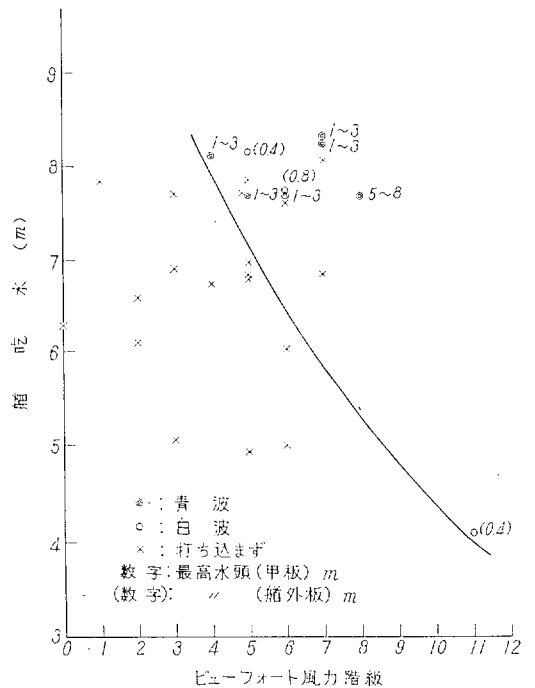


図 6.1.4 船首吃水と風力階級からみた青波の発生状況

表 6.1.1

船速	11.5~12.5 kt.	うねり	波高	6.5 m	
風速	対船風向 風力階級 対船風速		0~15° 8 20 (max 25) m/sec.	波長	65 m
	波浪	波浪階級	v. h.	方向	↓ 0°
波高		6.5 m	出合周期	7 sec.	
波長		65 m	横揺	角度	3~4°
対船方向	↓ 0°	周期		13.3 sec.	
			縦揺	角度	4~6° (max. 10~12°)
				周期	7.5 sec.

に fine な船型を用いているので、本船の場合とかなりの違いがあると思われるが、同氏が示した船の長さ、波高、波長、乾舷および船速などから求まる F 係数、 T 係数を用いて比較してみる。⑩、⑪ 係数はそれぞれ次式で与えられる。

$$\textcircled{I} = \frac{\text{波高}}{\text{等価乾舷}} \times \frac{\text{船の長さ}}{\text{波長}} = \frac{H_w}{f_e} \times \frac{L}{L_w}$$

$$\textcircled{II} = \frac{\text{出合周期}}{\text{空中の非減衰縦揺れ固有周期}} = \frac{\text{波長}}{\text{波速} + \text{船速}} = \frac{L_w}{V_w + V_s} = \frac{2\pi\sqrt{\frac{k^2}{m \cdot g}}}{2\pi\sqrt{\frac{k^2}{m \cdot g}}}$$

k : 重心まわりの慣動半径
 m : 縦メタセンターの高さ

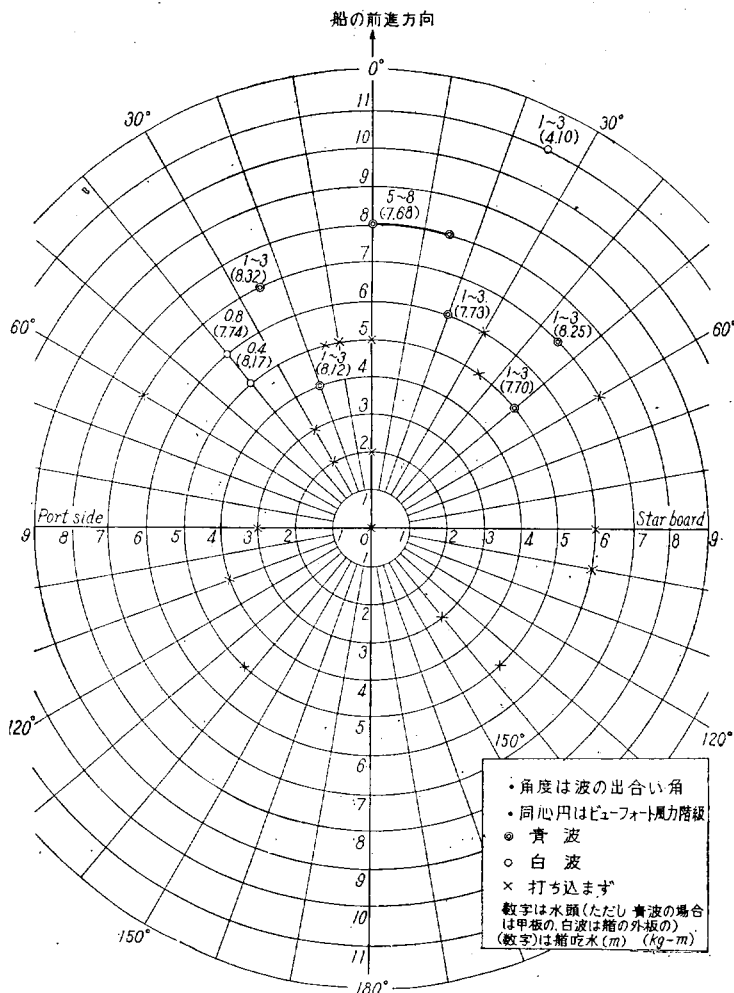


図 6.1.5 波の出合い角と風力階級からみた青波の発生状況

上式を本船の青波計測時の記録に対して計算すると、次のようになる。また縦メタセンターに対しては、実測時がないので、次の近似式を用いて計算した。

$$m = 0.0735 \frac{A^2 \times L}{B \times \frac{W}{g}}$$

ここに、
 A: 満載水線面積 平方呎
 L: 船の長さ 呎
 B: 船の幅 呎
 W/g: 排水容積 立方呎

本船の $L=475.6'$, $B=63.96'$, $W=17,101$ および満載水線面積係数 $C_W=0.797$ から $A=24,244$ となり、したがって

$$m = 531.9'$$

となる。

また、表 6.2.1 の記録から $V_W=1.25\sqrt{L_W}=10.08$ m/sec., $H_W=6.5$ m, $L_W=65$ m, $V=6.18$ m/sec. (フルード数 $V/\sqrt{Lg}=0.164$) となる。ここで $k=0.25$ と仮定し、等価乾舷は船首楼甲板の高さまでとつた場合と、前部上甲板の位置でとつた場合で、非常に差があるので、それぞれの場合について計算してみる。この大きさは船首楼甲板の高さに対しては $fe_1=9.3$ m, 上甲板の前部の位置では $fe_2=6.3$ m となる。これらの値から ㊸, ㊹ を計算すると、

$$\begin{aligned} fe_1 \text{ に対して} \quad & \text{㊸}=1.56 \quad \text{㊹}=0.699 \\ fe_2 \text{ に対して} \quad & \text{㊸}=2.30 \quad \text{㊹}=0.699 \end{aligned}$$

なる結果をうる。

上の計算値 ㊸, ㊹ を R. N. Newton の提案した図に代入してみると図 6.1.6 のごとくなる。

この図から見ればわかるように、本船が遭遇した程度の海象、本船状態ではまだ wet zone に入っていないことが判定される。しかしながら同図は前に述べたように、 C_b のかなり小さい船であることと、船首形状などの影響は考慮していないので、本船とはかなり差があると考えなければならない。

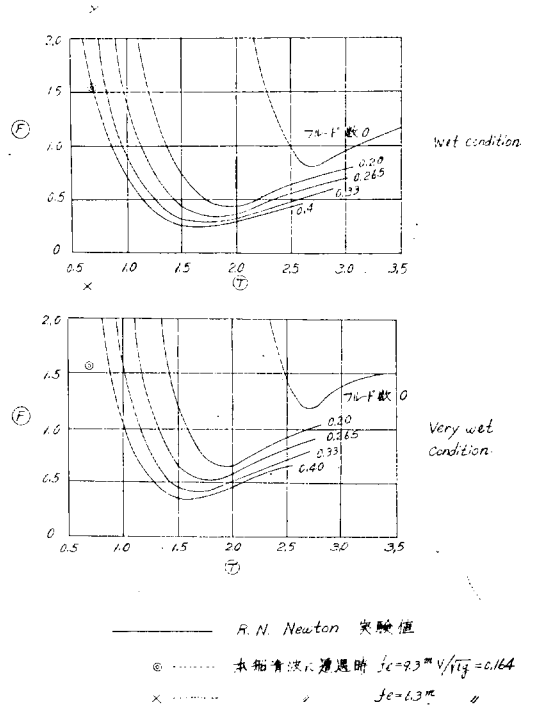


図 6.1.6 無次元等 wetness 線図

図 6.1.6 によると、本船状態は係数 ㊹ が本船の遭遇した状態の 2 倍以上ないと wet condition にならないことになる。これは本状態の波長 65 m に対して波高が同じとすると、波長が 130 m 以上ある場合に相当し、この長さは船体の長さに大体近くなる。一方、本実験の目測による波長も定時計測時における平均波長であるから、最大波長はもつと大きくなることも考えられる。

6.2 青波と甲板梁応力

6.2.1 測定値に対する考察

航行中の船体の前部上甲板が波浪によってうける青波による水圧とこの水圧をうけた場合の船体に生ずる上甲

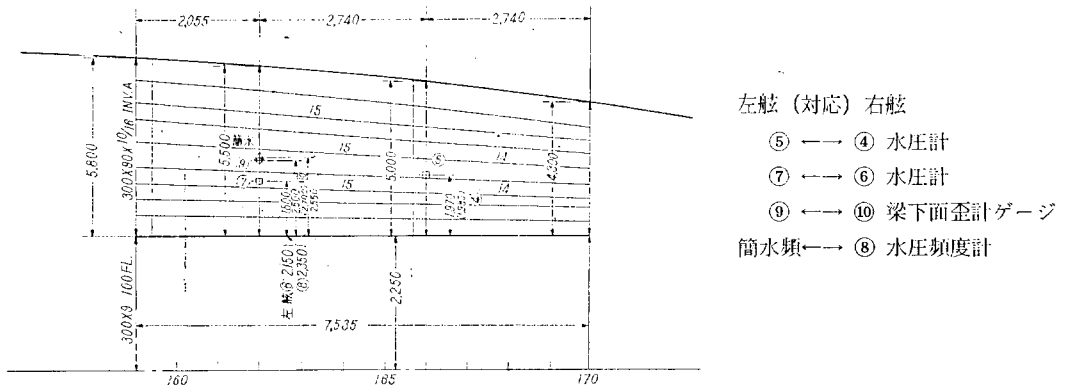


図 6.2.1 水圧計, 水圧頻度計, 簡易水圧頻度計, 歪計ゲージ取付け位置

板応力との関係を求めるため、図 6.2.1 に示した位置に水圧計および応力計をとりつけた。水圧計は No. 1 倉口の舷側で上甲板にとりつけ、上甲板下面の梁応力はこの水圧計の位置の下面にとりつけた。

太平洋において計測した青波の圧力の測定値および応力の値を示すと、表 6.2.1 および表 6.2.2 のごとくなる。

表 6.2.1 は水圧 および 応力計の記録において、瞬間的に大きい値を示す衝撃的な水圧および応力の値は考慮しないで、比較的周期が長く加わる水圧あるいは応力の値の最大値をとつたものである。すなわち、例を示すと図 6.2.2 のごとくとつたものである。

次にこれらの測定値において瞬間的な衝撃として測定される水圧および応力のそれぞれ最大値までとつてその値を示すと表 6.2.2 のごとくなる。

表 6.2.1 および表 6.2.2 を比較してみると、図 6.2.2

表 6.2.1

測定点 青波番号	④ 水 圧	⑥ 水 圧	⑩ 応 力
OSC. No. 5-1	0	0.117	1.92
" 5-2	0	0.140	0.907
" 5-3	0	0.0777	0.252
" 5-4	-2.41	0.404	2.42
" 5-5	0	0.552	4.84
" 5-6	0	0.699	2.52
" 5-7	0.567	0.513	3.88
" 6-1	0.169	0.768	3.02
" 6-2	0	1.74	4.18
" 6-3	0.141	0.435	1.46
" 6-4	0	0.435	2.52
" 6-5	0	0.461	0.907

表 6.2.2

測定点 青波番号	④ 水 圧	⑥ 水 圧	⑩ 応 力
OSC. No. 5-1	0	0.117	1.92
" 5-2	0	1.12	1.26
" 5-3	0	1.40	0.252
" 5-4	-2.42	0.528	3.18
" 5-5	0	1.29	5.04
" 5-6	0	1.03	2.92
" 5-7	0.567	0.513	3.88
" 6-1	0.197	0.922	3.33
" 6-2	0	3.17	4.69
" 6-3	0.169	0.589	1.51
" 6-4	0	0.435	2.87
" 6-5	0	0.461	0.907

に例を示したように衝撃的な水圧が非常に大きい値を示し、それに対して、より長時間加わる水圧が小さい値であるような、例えば OSC. No. 5-2 のような水圧の加わり方の場合は両方の測定値の差が大きく、逆に OSC. No. 6-4, 6-5 のごとく衝撃的に水圧が加わることなく、最初から水圧が次第に増加してゆくような場合には、こ

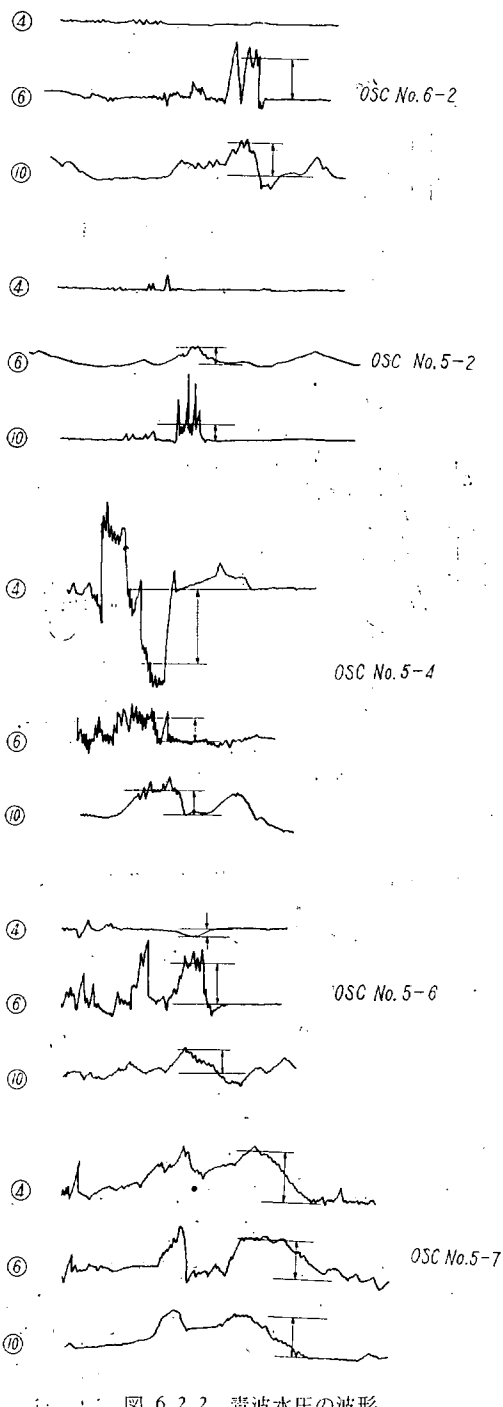


図 6.2.2 青波水圧の波形

の差が殆んどなくなる。測定値をみると水圧の記録はそのたびごとに異なつた傾向を示していることがわかる。この異なつたとり方によるそれぞれの水圧の記録と梁応力との関係を図に示すと、図 6.2.3、図 6.2.4 に示す測定値のごとくなる。

青波水圧と梁下面応力 (最大平均水圧)

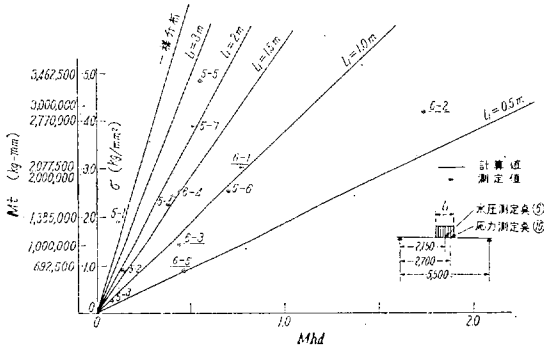


図 6.2.3 水圧と梁応力の関係

青波水圧と梁下面応力 (最大衝撃水圧)

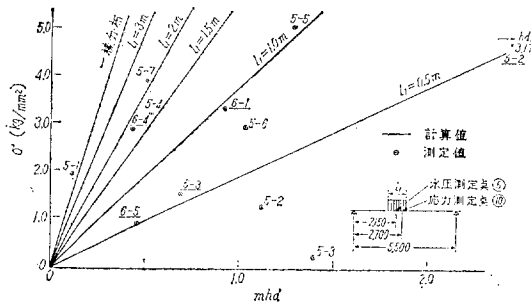


図 6.2.4 水圧と梁応力の関係

6.2.2 青波水圧と甲板梁応力

図 6.2.1 に示したように、Fr. 162 の位置において倉口両側の上甲板上に水圧計と、その下面の梁下面で応力を測定したが、青波の記録がとれたのは、右舷側の上甲板上の計器である。この倉口の右舷の上甲板に加わる水圧と応力との関係を求めるにあつては、この上甲板を一つの異方性板として計算することができるが、この板は縦横比が 2 に近いことと、また計算を容易にするために Deck Transverse を一つの梁として、これに甲板を有効幅として考えて、近似してみる。

測定点の位置は水圧計が倉口内側から 2.150 m (水圧計 ⑥)、応力計は倉口内側から 2.700 m である。

甲板の有効幅を含むこの Deck Transverse の梁に生ずる応力は、梁上加わる水圧の分布が求まらなると求めることができない。しかし本実験で行なつた水圧の測定は測定点の数が少なく、この梁上においては一点しか測定していないので、いま水圧は一様分布と仮定し、こ

の梁上にそつて水圧計 ⑥ の位置を中心として長さ l_1 の間に加わると考えると、応力 ⑦ の位置に生ずる曲げモーメント M は次の様になる。

$l_1 > 1.100$ m の場合

$$M = 1644 p l_1 - \left(550 + \frac{l_1}{2}\right)^2 \frac{p}{2} \quad (6.2.1)$$

$l_1 < 1.100$ m の場合

$$M = 1094 p l_1 \quad (6.2.2)$$

ただし、 p は水圧の単位長さ当りの大きさとする。また、梁の剛性は甲板の有効幅を Deck Transverse の心距にとると次のようになる。

Deck Transverse の寸法 $300 \times 90 \times \frac{10}{16}$ INV. A.
 甲板板厚 15
 有効幅 $1028 + 1370 = 2398$
 として計算すると、
 慣性モーメント $I = 19.797 \text{ cm}^4$
 断面係数 $Z = 692.5 \text{ cm}^3$

となる。

したがつて、これから梁の測定値に生ずる応力を、(6.2.1) 式、(6.2.2) 式を用いて計算すると、それぞれ $l_1 > 1.100$ m および $l_1 < 1.100$ m に対して次のようになる。

$$\gamma = 0.00238 p l_1 - \left(550 + \frac{l_1}{2}\right)^2 \times 0.722 \times 10^{-6} p \quad (6.2.3)$$

および

$$\gamma = 0.00158 p l_1 \quad (6.2.4)$$

単位は p が kg/mm^2 、 l_1 が mm とする。

図 6.2.3 および図 6.2.4 において求めた実験記録による、水圧と応力との関係を、上に求めた式を用いて、逆に測定応力を生じる水圧に相当する水圧を計算してみると図 6.2.3 および図 6.2.4 に示した直線のごとくなる。

すなわち、これらの図から考えてみると、水圧として衝撃水圧の最大値をとらない場合(最大平均水圧とする)は、このように考えた水圧分布の長さは 500 mm から甲板全幅にわたるまでかなりの相異がある。これは青波の規模を示すものであつて、測定回数が多くなれば、水圧分布の長さの統計的検討もすることができる。しかし本実験では測定回数も少ないので、そのような考察をすることは出来ないが、大体において相当する水圧分布の長さが、1 m から 2 m 位である場合が多いと見なされる。この場合、梁の幅方向には水圧は一様に加わるものと考えられる。

図 6.2.4 は水圧としての最大衝撃水圧をとつたものであるから、当然このように考えれば、相当水圧の分布長さは減じている。このような衝撃水圧は水圧のみは記録されても、応力はおこらない場合も多く記録されてい

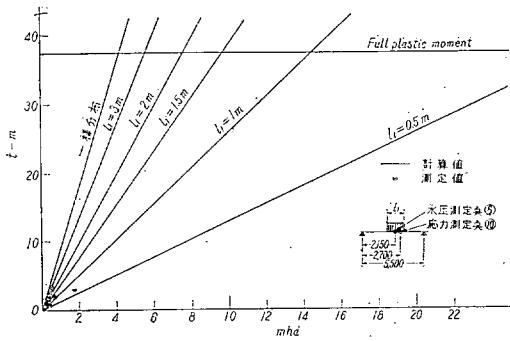


図 6.2.5 Full Plastic Moment と水圧の関係

るので、船体応力を生ずるような水圧として、非常に周期の短い衝撃水圧が原因になるとは思われぬ。実際に応力を生じている水圧をみると、一般には衝撃水圧の最大値と、最大平均水圧との差が比較的小さいので、このような衝撃水圧は、一般に考えられている 衝撃水圧 (最初に加わる非常に大きな 周期の短い衝撃水圧) とは異なると考えられ、本解析ではこれら二つの水圧のどちらの値をとつても応力との関係において著しい傾向の差はみられなかつた。

次に、このようにして、相当水圧の分布範囲が求まつたので、この水圧分布を甲板がうけた場合に梁が Full Plastic Moment に達する水圧を求めてみると、図 6.2.5 のごとくなる。

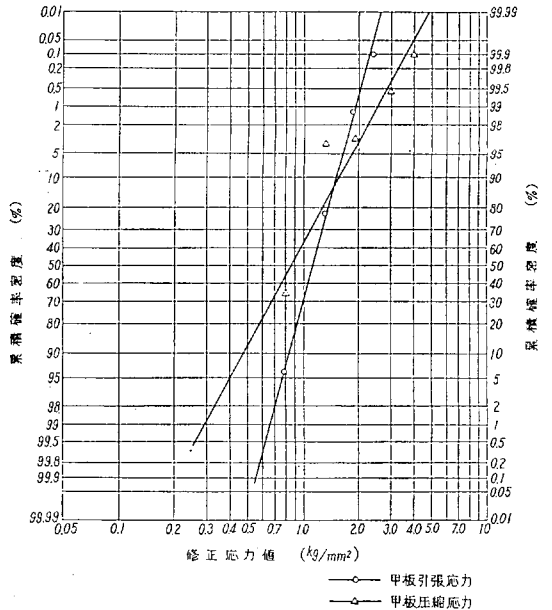
すなわち、 $l_1=1.000\text{ m}$ の場合には、Full Plastic Moment を生ずる水圧は、 14.4 m 、 $l_1=2.000\text{ m}$ の場合には 7.5 m となることがわかる。

6.3 応力頻度計における船体縦曲げ応力の頻度分布

応力頻度計による結果を、累積確率密度で表わしたものが図 6.3.1 に示すごときものである。図 6.3.1 は横軸が対数目盛で修正応力値をあらわし、縦軸は正規確率紙に用いる目盛で累積確率密度をあらわす。図 6.3.1 に用いた用紙を使えば対数正規分布をする場合に、確率変数と累積確率密度が直線関係で示される。応力の変動量の少ない場合には少々直線が引きにくい、荒天に遭遇している場合や、長期にわたる記録についてはかなり良く直線に乗っており、長期間の応力頻度分布が対数正規分布をすることがわかる。図 6.3.1 の直線が左の縦軸で 0.1% の線を通過するときの横軸の応力値を読みとれば、その海象において 1000 回 Hogging 又は Sagging 応力中に一回の割合でこの値を越える応力値を求めることができる。このようにして、 10^{-5} 、 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} の確率で起る Hogging、又は Sagging による船体縦曲げ応力の変動量を表 6.3.1 に示す。

穂高山丸について行つた実験の結果を参考のために一

言する。穂高山丸は昭和 32 年から 35 年の 4 回にわたり世界一周および太平洋航路で応力頻度の測定を行なつた。32 年度はかなりの荒天に遭遇しているが、33~34 年度は比較的平穏な航海であつた様である。太平洋、大西洋航路の累積確率密度を図 6.3.2、図 6.3.3 に示す。また、図 6.3.4 は毎年度における全航行期間の比較を行



ビューフォート風力階級 最高値 11

図 6.3.1 全航路における応力頻度

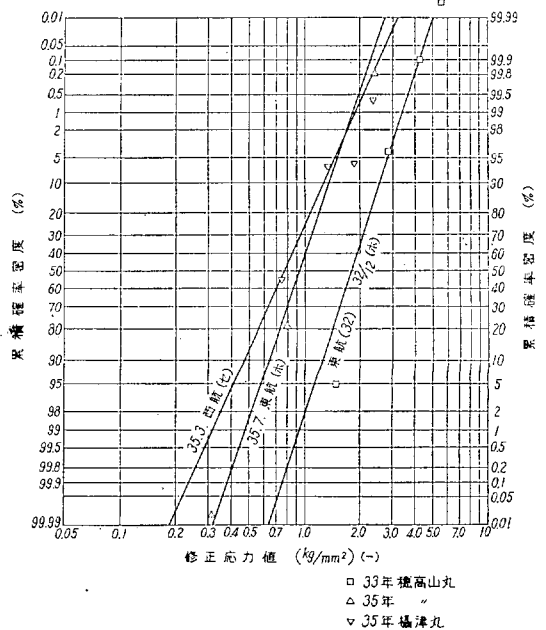


図 6.3.2 33, 34, 35 年度の太平洋横断航路における応力頻度の比較

表 6.3.1 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} および 10^{-5}

I- (累積頻度)	航路 神戸～シンガポール			シンガ ポール ～ スエズ	ポートサイド ～タンジール		タンジール ～リバプール		リバプール～			
	12/7	12/8	12/5 ～12/12	12/13 ～12/25	12/29	12/27 ～1/5	1/20	1/6 ～1/27	2/4	2/5	2/7	
10^{-5}	+2.4				1.7			3.5	2.6	2.5	2.0	1.6
10^{-4}	+1.7				1.5			2.7	1.9	2.1	1.7	1.4
10^{-3}	+1.3				1.3			2.2	1.4	1.8	1.5	1.1
10^{-2}	+0.8				1.2			1.6	0.9	1.5	1.2	0.9
10^{-2}	-1.5	1.1	1.2		1.8	2.0		2.2	2.0	2.0	1.3	1.3
10^{-3}	-2.2	1.3	1.3		2.9	2.5		3.5	2.7	3.0	1.8	1.6
10^{-4}	-2.9	1.4	1.4		4.2	3.2		5.0	3.5	4.0	2.5	1.9
10^{-5}	-3.8	1.5	1.6		5.8	3.8		7.0	4.5	5.4	3.2	2.2

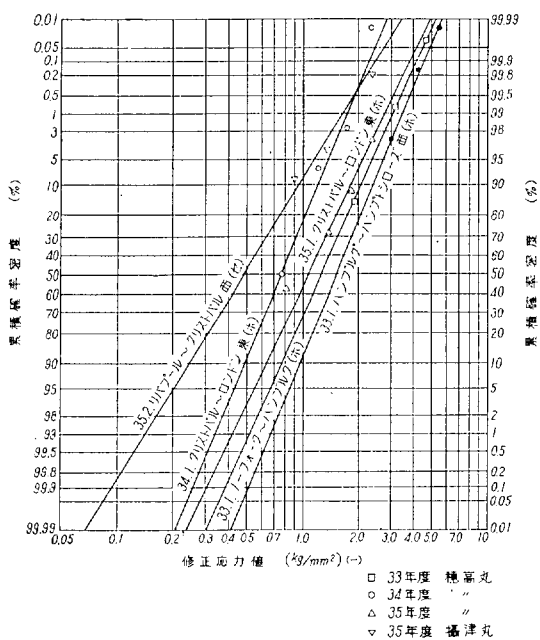


図 6.3.3 33, 34, 35 年度の大西洋横断航路における応力頻度の比較

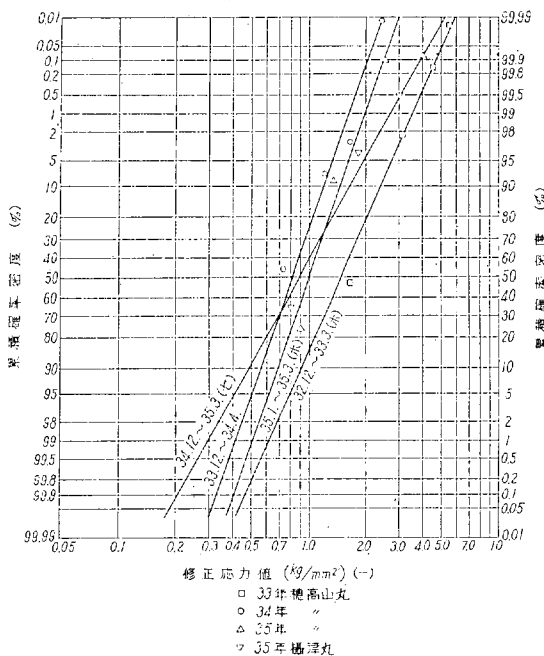


図 6.3.4 33, 34, 35 年度の一航海における応力頻度の比較

なつたものである。同図には横津丸の結果も比較のため載せているが、航路別に見ると各年度ともおよそ北大西洋西航、同東航、北太平洋航路の順で応力が小さくなつていことが見出される。一日平均の頻度数は 1300～4000 回の範囲にわたつてゐるが、異常値応力に比例して必ずしも一日の平均頻度数は多くならない。これは一航海の期間の或る航路では全く平静で応力頻度が極めて低い場合があり、その影響であると考えられる。

6.4 船体縦曲げ応力、船体縦揺および船首上下加速度のオシロ連続記録

オシログラフによる連続記録の特長は、非常に微細な変化を正確にとらえ、しかも変数の変動する幅が日によつて大きく変動しても有効に記録をとることが出来ることなどであるが、結果の整理に非常に手間を必要とし、測定時間もあまり長くはできず、費用も多くかかる等が欠点である。本実験においては、連続記録はその特長によつて毎日の定時計測に用い、海洋波による船体縦曲げ応力、船体運動等の短時間内に起る変動を記録した。

海象の大きな原因をなすものは気象であり、なかんずく海洋波は風力により発生するものとされ、船体の動揺や縦曲げ応力の変動は海洋波によつて誘起されるもので

の確率で越える応力値 (摂津丸) (kg/mm²)

クリストバル		クリストバル ～ サンフランシスコ	サンフランシスコ ～ 横 浜									Total
2/8	2/3 ～2/14	2/15 ～2/25	3/2	3/3	3/5	3/7	3/8	3/9	3/10	2/29 ～3/11	12/5 ～3/11	
2.2	2.2			1.5		1.9	1.3	2.7	2.4	2.4	3.0	
1.9	2.0			1.4		1.6	1.2	2.4	1.8	2.0	2.6	
1.6	1.7			1.2		1.3	1.1	2.0	1.3	1.6	2.3	
1.3	1.5			1.1		1.0	1.0	1.7	0.9	1.3	1.9	
1.2	1.7		1.5		1.3	1.2	2.0	2.8	1.1	2.1	2.5	
1.7	2.3		1.8		1.5	1.4	3.3	4.5	1.3	3.0	3.5	
2.2	3.8		2.1		1.7	1.6	5.0	6.0	1.5	4.0	4.7	
2.7	5.5		2.5		1.9	1.9	6.8	8.6	1.7	5.4	6.1	

ある。そこで、気象の指標として、ビューフォート風力階級をとり、風力階級と船体縦曲げ応力の変動との相関々係を図 6.4.1 に示した。图中横軸はビューフォート風力階級であり、縦軸は船体縦曲げ応力の変動の複振幅である。●印は複振幅の平均値、△は複振幅の最大値であるが、点がひどく分散しており、はつきりした相関々係を求めることはできなかつたが、その理由としては、本航海がほとんど全航路にわたり、比較的平穏であつたために、点が左下辺に集中してしまつたことや、最大値の場合は、表 6.4.1 に見るように、サンプルの個数が一致していないことにもよると考えられる。船体縦揺角の複振幅と風力階級との関係は、図 6.4.2 に示すが、

傾向は船体縦曲げ応力の場合と同様で大きくばらつている。

Longuet-Higgins は、(1) 波のスペクトルが一つの帯域の周波数からなつていること。(2) 波のエネルギーが位相がランダムな非常に多くの源から与えられることの二つの仮定をして、海洋波の波高の最大値の期待値と平均値を理論的に計算している。サンプル数 50 ケの場合には下のようになる。

$$\left. \begin{aligned} E(x_{\max})/\sqrt{E} &= 2.124 \\ \bar{x}/\sqrt{E} &= 0.886 \end{aligned} \right\} (6.4.1)$$

ただし、 $E(x_{\max})$ は波高 x の最大値の期待値、 \bar{x} は波高の平均値、 \sqrt{E} は二乗平均 E の平方根。

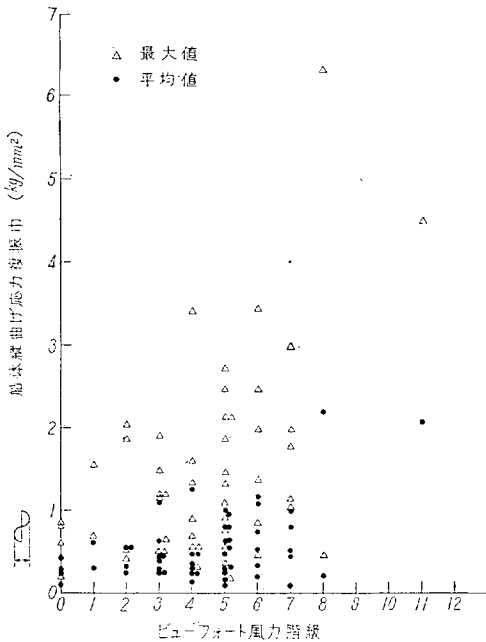


図 6.4.1 ビューフォート風力階級と船体縦曲げ応力の相関

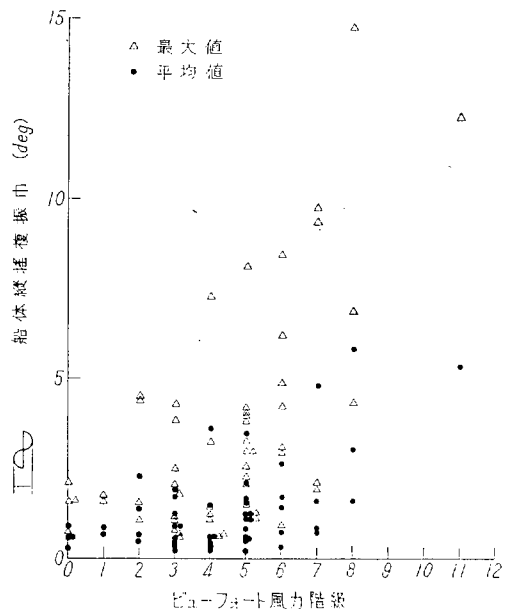


図 6.4.2 ビューフォート風力階級と船体縦揺れ角の相関

表 6.4.1 平均値および二乗平均値の実測値と理論値との比較

記録種類	測定年月日	平均値 \bar{x}	最大値 x_{max}	二乗平均 $E = \bar{x}^2$	r. m. s. \sqrt{E}	\bar{x}/\sqrt{E}		x_{max}/\sqrt{E}	
						実測値	実測値 理論値	実測値	実測値 理論値
縦揺	34. 12. 7	deg. 1.124	deg. 2.994	1.594	1.261	0.891	1.006	2.374	1.118
	12. 29	1.871	3.80	4.271	2.066	0.906	1.023	1.839	0.866
	35. 1. 20	4.975	9.59	33.672	5.797	0.858	0.968	1.654	0.779
	2. 4	4.353	9.36	22.643	4.754	0.916	1.034	1.969	0.927
	2. 5	1.563	3.22	2.882	1.697	0.921	1.040	1.897	0.893
	2. 7	3.192	7.22	13.138	3.619	0.882	0.996	1.995	0.939
	2. 8	1.567	3.13	2.932	1.712	0.915	1.033	1.828	0.861
	3. 2	2.737	8.43	11.324	3.362	0.815	0.920	2.507	1.180
	3. 3	0.858	2.67	2.103	1.449	0.593	0.669	1.843	0.868
	3. 5	3.540	6.83	15.730	3.962	0.893	1.008	1.724	0.812
縦曲げ応力	34. 12. 7	kg/mm ² 0.445	kg/mm ² 1.137	0.287	0.536	0.830	0.937	2.121	0.999
	12. 29	1.308	2.78	2.171	1.473	0.888	1.002	1.887	0.888
	35. 1. 20	2.412	4.34	6.805	2.968	0.813	0.918	1.462	0.688
	2. 4	1.073	2.260	1.550	1.245	0.862	0.973	1.815	0.855
	2. 5	0.748	1.761	0.260	0.872	0.858	0.968	2.019	0.951
	2. 7	0.844	2.180	1.055	1.029	0.820	0.926	2.119	0.998
	2. 8	0.540	1.121	0.363	0.602	0.897	1.012	1.862	0.877
3. 2	0.968	3.18	1.852	1.360	0.712	0.804	2.338	1.101	
3. 3	0.400	0.873	0.199	0.446	0.897	1.012	1.957	0.921	
3. 5	0.912	2.710	1.245	1.180	0.773	0.872	2.297	1.081	
3. 7	0.692	1.775	0.598	0.773	0.895	1.010	2.296	1.081	
3. 8	2.101	6.30	6.452	2.540	0.827	0.933	2.480	1.168	
3. 9	欠								
3. 10	0.579	1.185	0.459	0.677	0.855	0.965	1.750	0.824	
加速度	35. 3. 8	0.718 g	2.238 g	0.670	0.819	0.877	0.989	2.733	1.287

理論値 $\bar{x}/\sqrt{E} = 0.886$ $x_{max}/\sqrt{E} = 2.124$

サンプル数 50 ケ

本航海中、比較的荒天であつた 14 日間の記録から、海洋波による船体縦曲げ応力、船体縦揺および船首上下加速度について 50 ケのサンプルをとり、その x_{max}/\sqrt{E} および \bar{x}/\sqrt{E} と、理論値の $E(x_{max})/\sqrt{E}$ および \bar{x}/\sqrt{E} との比較を行なつた。その結果は、表 6.4.1 に示す通りであるが、日によつてかなり違つている場合も見られ、平均して約 ±10% 程度の差があるが、ほぼ一致していると見られる。

N. H. Jasper 等の研究によれば、海洋波 およびそれに伴う船体運動、船体縦曲げ応力等の分布は、長期にわたる測定では対数正規分布に従い、短時間のそれでは

Rayleigh 分布をするとされている。Rayleigh 分布の分布密度関数は次の式であらわされるもので、この分布はただ一つのパラメーター E によつて決定される。

$$p(x) = \frac{2x}{E} e^{-\frac{x^2}{E}} \quad (6.4.2)$$

ただし、 x は確率変数

E は x の二乗平均

本実験で行なつた約 5 分間の定時計測の記録のうち、船体縦曲げ応力、船体縦揺角および船首上下加速度の複振幅の頻度分布は一応 Rayleigh 分布をするものとみなして、比較的荒天であつた 14 日間についてパラメタ

参考文献

(第4, 5, 6章に関するもの)

- 7) Edward V. Lewis: Ship Speeds in Irregular Seas. SNAME 1955.
- 8) M. S. Longuet-Higgins: On the Statistical Distribution of the Heights of Sea Waves. Journal of Marine Research, Vol. 11, No. 3, Dec. 1952.
- 9) Norman H. Jasper: Statistical Distribution Patterns of Ocean Waves and Wave-Induced Ship Stresses and Motions, with Engineering Applications. David Taylor Model Basin, Report 921, Oct. 1957.
- 10) 渡辺, 熊井, 小野: 波浪衝撃を受ける甲板の圧力および過渡応力に関する基礎的実験
西部造船会々報 16号 昭和33年10月.
- 11) 渡辺, 熊井, 森, 井上: " (統報)
西部造船会々報 18号 昭和34年8月.

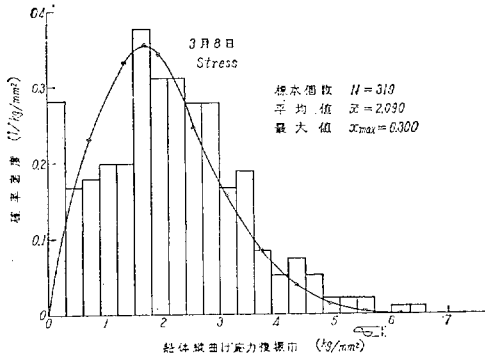


図 6.4.3

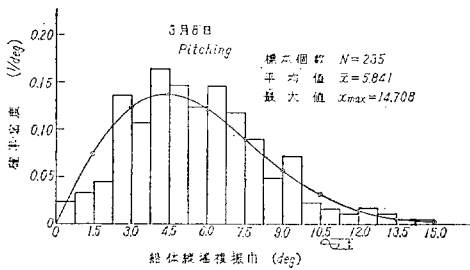


図 6.4.4

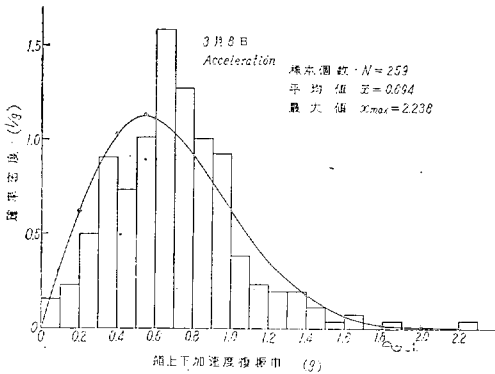


図 6.4.5 船首上下加速度複振幅の確率密度分布曲線

— E を計算して、計算値と実測値の比較を行なった。図 6.4.3, 図 6.4.4, 図 6.4.5 のヒストグラムはそれぞれ船体縦曲げ応力、船体縦揺、船首上下加速度の複振幅の頻度の実測値であり、曲線は実測値から求めた E を用いて (6.4.2) 式から計算した値である。これらの図より理論値と実測値はほとんどが良好な一致をみせていることがわかる。

結 論

以上が日本造船研究協会第 44 研究部会の研究として行なつた“撰津丸”の実船実験の結果である。

多年の研究者の努力によつて、造船学は大きな発展をとげ、その結果、船舶の設計、建造技術は年々合理化へと進歩しつつあるが、近年に至るまで、もつとも重要でありながらもつとも知られずに過されて来たもの一つは、船体が航行中に受ける外力の問題である。本研究はその外力のうち、しばしば船舶に大きな被害をおよぼす“青波”の実体を明らかにし、船舶の寿命の推定根拠ともなる海洋波によつて誘起される船体縦曲げ応力および船体運動の頻度分布等を実測によつてとらえることを目的とした。測定器類は概ね全航海を通じて良好な作動をし、測定記録は相当な量に達した。全記録の完全な解析はかなりの時日を要するものであるから、今回は第6章に示した如く次の点について重点的に解析を行なつた。

1. 青波の発生状況および頻度。
2. 青波の船体におよぼす水圧およびその水圧による船体の応答。
3. 海洋波による船体縦曲げ応力および船体縦揺の頻度。

以上の解析の結果から、我々は興味ある、そして船舶設計上の基礎として有益な資料を得ることができた。しかし、海洋波や青波等の大自然の現象は統計的にあつかわれるべきであるから、これらを更に解明するためには本研究部会で行なつたような実船実験をくりかえし、記録の集積を行なわなければならない。

海外文献リスト (昭和36年7月~9月到着分)

Canada

National Research Council of Canada

- Supplement No. 1 Publications of the Division of Mechanical Engineering and the National Aeronautical Establishment
- Supplement No. 2 Publications of the Division of Mechanical Engineering and the National Aeronautical Establishment

- MT-43 A frequency modulation circuit for the measurement of gas conductivity and boundary layer thickness in a shock tube.
- MT-44 An investigation of free piston compression of shock tube driver gas
- MT-45 An approximate theory of equilibrium one-dimensional steady and unsteady expanding flows of an ideal dissociating gas
- LR-303 The control surface supported by means of a continuous hinge
- LR-304 Vertical accelerations encountered by aircraft on agricultural operations
- LR-306 A study of external insulation requirements for the extension of aluminum alloy structures to hot supersonic aircraft
- LR-307 The edge effect in radome shells
- MS-105 The prepaedentics of natural synthetic and beneficiated asbestos

Holland

International Shipbuilding Progress~No. 84

England

The British Shipbuilding Research Association

Journal, Vol. 16 No. 4~No. 7

Norway

Det Norske Veritas

VERITAS No. 23

Sweden

Swedish State Shipbuilding Experimental Tank

- No. 47 Model test with a family of three and five bladed propellers

U. S. A.

David Taylor Model Basin

- No. 1440 The performance of a submerged propeller in regular waves
- No. 1487 Powering performance of a ventilated propeller
- No. 1529 A method of calculating the spindle torque of a controllable-pitch propeller at design conditions
- No. 1531 Analysis and investigation of propeller blade stresses part 1

Ship Structure Committee

- SSC-123 An interpretation of lower yield point plastic flow in the dynamic testing of mild steel
- SSC-128 Influence of steel-making variables on notch toughness
- SSC-132 The feasibility of X-ray inspection of welds using back scattered radiation
- SSC-136 On various problems of immediate interest to a ship classification man
- SSC-140 A naval architect's reflections on some research problems with ship steel
Annual Report of the Ship Structure Committee, May 1, 1961

行事表 (昭和36年7月~9月)

- | | | | |
|-------|------------------|-------|------------------|
| 7月 6日 | 第47研究部会第4回委員会 | 14日 | 第105回技術委員会 |
| 11日 | 第43研究部会第2小委員会 | 15日 | 第46研究部会第1回調査小委員会 |
| 12日 | 第43研究部会第2小委員会 | 17日 | 第45研究部会第9回推進小委員会 |
| 14日 | 第46研究部会第4回委員会 | 17日 | 第45研究部会第2回操縦小委員会 |
| 15日 | 第48研究部会第3回委員会 | 24日 | 第66回常任理事会 |
| 17日 | 第104回技術委員会 | 25日 | 第52研究部会第2回幹事会 |
| 20日 | 第39回理事会 | 30日 | 第43研究部会第1小委員会 |
| 20日 | 第10期年度臨時總會 | | |
| 20日 | 第45研究部会第8回推進小委員会 | 9月 1日 | 第51研究部会第8回幹事会 |
| 21日 | 第49研究部会第4回幹事会 | 15日 | 第53研究部会第5回委員会 |
| 28日 | 第52研究部会第2回委員会 | 15日 | 第43研究部会第1小委員会 |
| | | 18日 | 第43研究部会第2小委員会 |
| 8月 9日 | 第43研究部会第2小委員会 | 19日 | 第43研究部会第2小委員会 |
| 10日 | 第53研究部会第4回委員会 | 20日 | 第106回技術委員会 |
| 10日 | 第54研究部会第4回委員会 | 28日 | 第49研究部会第5回幹事会 |
| 10日 | 第55研究部会第1回委員会 | 29日 | 第67回常任理事会 |
| 11日 | 第43研究部会第2小委員会 | 29日 | 第50研究部会第5回委員会 |

昭和 36 年 10 月 25 日印刷
昭和 36 年 10 月 30 日発行

造 船 研 究
Vol. 3, No. 3

発行所 社団法人日本造船研究協会
発行人 出 淵 巽
東京都中央区八重洲 6 の 3
電話 (281) 8819, 9838
印刷所 (有) 啓文堂松本印刷
電話 (301) 2807