

第2章 躍進期（昭和37～51年度）

昭和37年度から石油危機の影響が顕著に現れる昭和51年度までの15年間は、SR研究の素晴らしい躍進の時期である。これは造船界にとっても、未曾有の躍進と拡大の時期であった。既に船舶建造量は世界一を達成していたが、さらに建造設備が飛躍的に拡大して年間建造量は1,700万総トンに達すると共に、日章丸、東京丸、出光丸、日精丸と船舶の巨大化が進んだ。また、箱根丸やえるべ丸などの高性能船舶が出現し、さらに星光丸、三峰山丸などのコンピュータ制御によるいわゆる超自動化船が実現したのもこの時期である。

SR研究はこれらの造船界の動きと密接に関係し、急激な巨大船化、専用船化及び船舶の自動化に対応したプロジェクト的な大型研究が行われたのもこの時期である。高度集中制御方式の研究（SR 106, 43～46年度）、造船所における省力化の調査研究（SR 110, 44～46年度）、船舶の巨大化に対応した研究（SR 151～155, 49～51年度）などがそれである。また、船体構造解析プログラム開発委員会による有限要素法による大型計算プログラム（PASSAGE）の開発もこの時期に行われている。

しかし、一方では、従来の知識や経験だけでは処理できない多くの問題が続出した時期でもあった。ほりばあ丸、かりふおるにあ丸などの事故はこの時代に発生しており、このような予想もしなかった事故に対処するため、波浪外力や構造強度に関する研究（SR 131～133, 46～49年度）などがプロジェクト的に取り上げられ、産官学共同研究の実を挙げることを得た。

従って、この時期は躍進と共に波乱万丈の時代でもあった、と云えよう。全体を通じた特色として波浪応答、耐航性、巨大船とその艤装関係、高速船、脆性及び疲労（特に低サイクル疲労）、防食防汚、振動騒音、船尾の形状と構造、原油燃焼、信頼性、油水

分離，等のキーワードが目立つ。

SR 研究の課題構成は，構造材料溶接関係が28件（24%），流体力学関係が22件（19%），設計・工作・艤装関係が28件（24%），機関動力補機関係が38件（33%）と，各分野ほぼ等しい比率となっており，SR 研究の合計数は116件（年間平均7.7件）を数える。1 件の SR 研究当りの研究費は平均48,992千円（最大410,917千円，最小1,128千円）で成長期の6倍以上に増加しており，実施期間は平均2.7年，従って1 件当りの年間平均研究費は約18,100千円となっている。

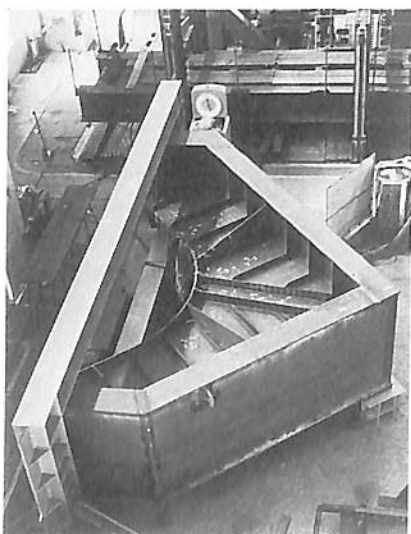
第1節 構造材料溶接部門

1. 構造強度関係

長大油槽における荷油の運動及び制水隔壁の効果に関する研究 (SR 74) では、油送船 (当時の表現。間もなくタンカーが一般的となる) の巨大化に伴い、制水隔壁の間隔をこれまでの規則よりも増大することができれば、船体重量の軽減が図れるとして、定常的及び過渡的な縦揺れ状態において、荷油の運動や荷油が隔壁に及ぼす力を、模型試験・実船試験を併せて検討し、隔壁の合理的な設計条件を求めた。

船舶の巨大化・専用化に伴う横強度上の問題点について、SR 83 では5ヶ年にわたる広範な研究を実施している。船体横強度の立体計算プログラム (T-SAP) を開発し、各種寸法の油送船のシリーズ計算を行い、平面計算・模型実験・実船計測などの結果と比較検討して、巨大船 (特に油送船) の横強度計算法を確立した。また、板付きT型鋼の最適設計の検討や、ディーブガーダーの局部座屈や、部材の貫通切欠部の疲労の模型試験、及び横強度部材に加わる波浪荷重 (変動水圧) の研究なども行っている。

船体構造強度に関する研究 (SR 133) が、相次ぐ大型船の海難事故にも刺激され、SR 124 (実船計測)、SR 131 (水槽実験)、SR 132 (波浪計) などとともに、「船体構造計算法の開発」という大型プロジェクトの一環として発足した。局部構造の衝撃応答や衝撃亀裂の



SR133 船体構造強度に関する研究におけるタンカーコーナー部実寸モデル



SR133 船体構造強度に関する研究

発生と伝播、及び船側構造の崩壊荷重などについて、模型実験を加えた広範な検討を重ね、座屈解析プログラムと最終強度解析プログラムを完成している。

船体構造部材の許容応力に関する研究 (SR 134) は、それまで経験的なデータのみに頼っていた許容応力に対し、統計的な応力解析と信頼性解析による合理的許容応力を設定することを目的として、1) 船体許容応力、2) 船舶以外の構造物の許容応力、3) 信頼性解析、4) 縦強度解析、5) 横強度解析、6) 鋼板の強度、7) 初期不整と座屈強度などの広範な検討を行い、許容応力と損傷確率の関係を解明した。

新しい大型タンカーは、水深による制約や、IMCO の油槽規制、SBT (Segregated Ballast Tank) の採用などで、主要寸法やタンク寸法が、在来船とかなり異なったものとなる可能性があった。新構造方式強度計算に関する研究 (SR 152) では、この SBT 方式における問題点を解明するため、70万重量トンと100万重量トンタンカーの試設計を行って、それらの縦強度・横強度・局部強度の詳細な検討を重ね、さらに、軸系アラインメントに実用的で簡便な船尾構造計算法を開発した。

スチールコイル搭載船の船殻強度に関する研究 (SR 166) は、大型スチールコイルの性状や積付けの実態を調査し、ダンネージの挙動と荷重分布やパネルの強度などの、理論解析と模型実験を基に、スチールコイル搭載船の二重底構造の設計指針を取りまとめた。

2. 実船応力計測・海象

波浪中を航行する船舶がどのような波浪荷重を受け、どのような応答 (船体運動や部材応力) を示すかを実地に確かめるための実船計測は、新しい計算手法による応答計算の精度を裏付けるために必要な手段である。また、長期間の実船計測による応力 (波浪荷重) 頻度のデータは、耐用年数中の疲労被害の推算や、最大荷重の出現確率の予測にも、欠くべからざるものである。

SR 研究における船体強度に関する実船計測は、それまでにも SR 2, SR 10, SR 24, SR 44, SR 49, SR 63 (昭和27~40年度) などでも実施されているが、いずれも小型船か12,000総トン級の一般貨物船までのもので、大型船・専用船の実船計測は、41年度に開始した SR 99のタンカーの計測が初めてであった。

それ以降の4 SR 研究の実船計測の一覧を表に示す。判然とは区別し難いが、大体において SR 99「航海中の船体応力頻度に関する実船試験」(41~43年度) と SR 118「大型鉍石運搬船の船体各部応力に関する実船試験」(44~46年度) とは、多数点の同時記録を採っ

て船体応答を詳細に調べる総合的な計測を主としたものであり、SR 124「大型鉾石運搬船の船首部波浪荷重及び鉾石圧に関する実船試験」(45～49年度)とSR 163「気象海象及び船舶の波浪中応答に関する統計解析並びに実船計測」(51～55年度)とは、少数点の長期

実船計測一覧

部会	船名	船種	船主	DW(t)	年度 (昭和)	航路	計測 航海数
SR 99	東京丸	タンカー	東京タンカー	150,000	41～42	中近東	5
	明扇丸	タンカー	明治海運	152,000	42～43	中近東	2
	日興丸	タンカー	東京タンカー	33,000	43	中近東	3
SR 118	八雲川丸	鉾石船	川崎汽船	64,880	44～45	世界一周	2
	昭武丸	鉾石船	昭和海運	63,420	44～45	南米濠州	2
	紀見丸	鉾石船	商船三井	62,325	44～45	北米カナダ	3
SR 124	笠木山丸	鉾石船	商船三井	117,551	46～49	濠州	22
	ほうとらった丸	鉾石船	第一中央	93,356	47～49	南米	18
	千秋丸	ばら積	日本郵船	115,000	47～49	濠州	21
	鎌倉丸	コンテナ	日本郵船	35,406	47～49	世界一周	11
	若輪丸	鉾石船	山下新日本	93,133	47～49	濠州	28
	ジャパシオールダ	ばら積	ジャパライン	57,911	47～49	濠州	21
SR 163	千鳥山丸	鉾石船	商船三井	164,644	48～50	濠州	19
	米州丸	コンテナ	山下新日本	24,191	51～56	北米	52



SR99 明扇丸 航海中の船体応力頻度に関する実船試験の供試船



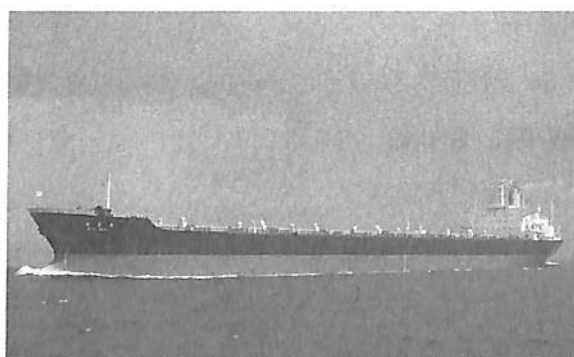
SR99 日興丸 航海中の船体応力頻度に関する実船試験の供試船



SR118 八雲川丸 大型鉾石運搬船の船体各部応力に関する実船試験の供試船



SR118 昭武丸 大型鉾石運搬船の船体各部応力に関する実船試験の供試船



SR118 紀見丸 大型鉾石運搬船の船体各部応力に関する実船試験の供試船

記録をとって頻度分布を求める統計的計測を主としたものであると大別できる。表中で「笠木山丸」の計測の前半までは、SR 研究の委員が計測員として乗船しての計測であり、その後は総て完全無人の自動計測である。

SR 99の大型タンカー 3 隻の計測では、甲板応力のほかに、トランスリング周りの応力



SR124 鎌倉丸 大型鉱石運搬船の船首部波浪荷重および鉱石圧に関する実船試験の供試船



SR124 ぼうとらった丸 大型鉱石運搬船の船首部波浪荷重および鉱石圧に関する実船試験の供試船



SR124 若幡丸 大型鉱石運搬船の船首部波浪荷重および鉱石圧に関する実船試験の供試船



SR124 ジャパンオールダ 大型鉱石運搬船の船首部波浪荷重および鉱石圧に関する実船試験の供試船



SR124 千鳥山丸 大型鉱石運搬船の船首部波浪荷重および鉱石圧に関する実船試験の供試船



SR163 米州丸 船舶の波浪中応答に関する研究の供試船

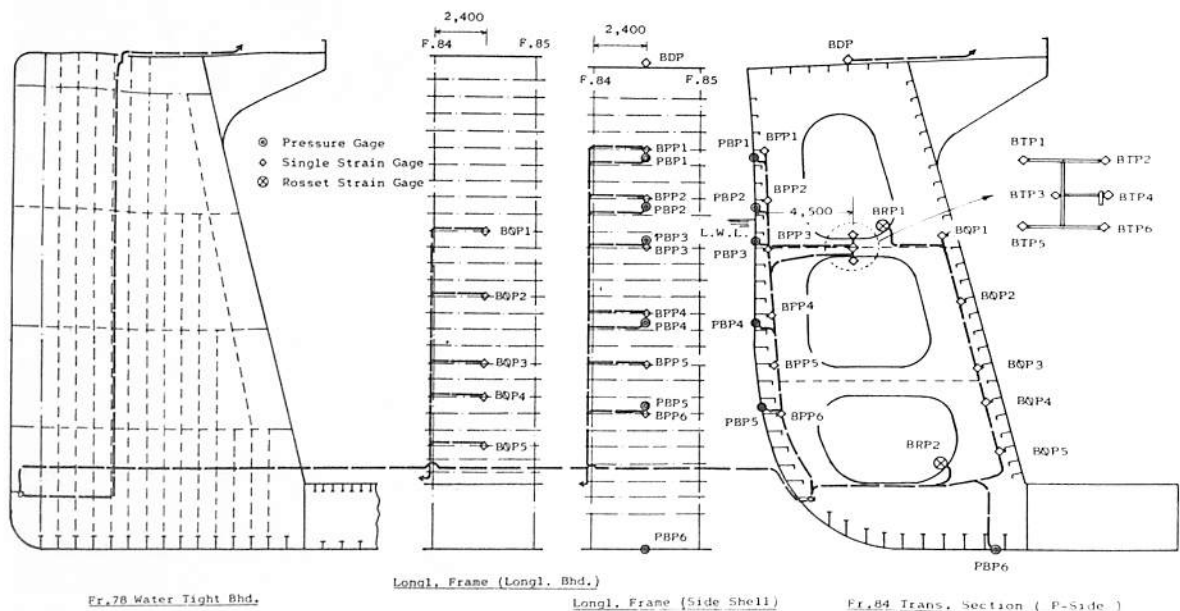
分布の計測も行ったが、計測機器の防爆対策が必要なため、計測点数はあまり多くできなかった。同時計測の記録にはオシログラフを用いている。甲板応力には、光電式応力頻度計や機械式応力頻度計も併用している。

SR 118の鉱石運搬船の計測では、計測点を大幅に増やして（100点以上）、倉内の鉱石圧や横強度部材の応力のほかに、船首部外板のスラミング圧力や甲板の青波水圧の計測も試みた。時に「ほりばあ丸」や「かりふおるにあ丸」の海難事故のあった折でもあり、時宜を得た計画ではあったが、航路の関係もあって、あまり荒天時のデータは得られなかった。記録には、陸上での電算機処理を前提として、広幅の磁気テープを用いたアナログデータレコーダ（30チャンネル）と、自動切替印字式の静的ひずみ計（90チャンネル）を使用した。

SR 124は、当初は3年計画であったが、この頃発動した「船体構造計算法の開発」という大型プロジェクトの一環として、5年計画に延長し、主として鉱石船とばら積船を対象として、波浪曲げモーメントと船首部の衝撃水圧・変動水圧の測定に重点を置くこととなった。



SR124 笠木山丸 大型鉱石運搬船の船首部波浪荷重および鉱石圧に関する実船試験の供試船



SR124 笠木山丸の水圧計および歪ゲージ配置 (Fr. 84 1/2, P. Side)

この中でも「笠木山丸」の前半の10航海では、応力・水圧のほかに動揺・加速度・鉍石圧など、45点の総合的な計測を実施し、また、SR 132と共同して投棄式の波浪ブイによる波浪計測も行った。

「笠木山丸」の後半及び他の6隻の航海においては、応力・水圧・動揺など3～4点の、無人の自動計測に切換えた。「鎌倉丸」までの4隻では、50時間記録可能な磁気テープに、2時間ごとに20分間のアナログ記録を採り、処理は陸上で行った。しかし、テープの結露によるトラブルなどが多かったので、「若幡丸」以後の3隻では、SR 研究で試作した自動RMS計を用い、船上で解析処理するデジタル印字方式に改めた。

つづいて実施されたSR 163では、コンテナ船「米州丸」1隻のみの長期自動計測に踏切り、波浪曲げモーメントと船体動揺のみを対象とした。改良したRMS計を用い、縦揺・横揺と上甲板応力の3エレメントについて、3時間おきに30分間づつの計測演算を行い、その間のRMS値・最大値・最小値及び平均周期を、パンチテープにデジタル記録する方式をとった。これらの値と、船の乗組員に依頼して得た気象・海象や船速・針路などの外界条件と対応させて、統計的な解析を行っている。ここで使用したRMS計は極めて順調に作動し、5年間で、52航海の連続計測を事故無く完了して、貴重なデータを集積することができた。この研究は、もう一つの目的であった気象海象データの統計解析の作業が終わったので、4年目からは、課題名を「船舶の波浪中応答に関する調査研究」と改めた。

前表に示した14隻の実船計測のほかにも、SR 74の荷油の運動に関する実船試験もあり、SR 83で行ったタンカーの横強度に関する6隻の計測、鉍石船1隻の鉍石圧の計測、SR 163が波浪計の性能比較試験のために実施した気象観測船による計測などもある。

船舶や海洋開発機器の設計や強度計算にあたっては、外力の推定が困難であったため、従来は主として経験に頼ってきた。構造設計をより合理化するためには、海洋の環境条件すなわち気象海象を正確に推定して、外力を理論的に決定することが必要である。

気象海象と船体構造との関連に関する調査研究(SR 90)は、波浪中の船体の縦曲げモーメントと船側に作用する変動水圧を理論的に求め、波浪の統計資料を用いて、これら外力の短期分布と長期分布を推定し、強度設計の基礎資料を得る作業を行っている。

波浪曲げモーメントについては、貨物船とタンカー14隻の船型について、規則波中の応答関数を求め、波スペクトルと線形重畳法によって、不規則波海面における短期分布を計算し、さらに北大西洋の波浪の長期観測資料を用いて長期分布を求めた。また、曲げモーメント及び剪断力の船長方向の分布も計算した。この計算結果を用いて、縦強度と疲労強

度の面から、船体断面係数の決定法も検討された。

船体表面に働く変動水圧の分布については、新たに電算プログラムを作成して、4種の船型について規則波中の応答関数を計算し、さらに上記同様に不規則波中の短期分布と長期分布を求めた。

これらの計算に用いた波浪の長期観測資料は北欧諸国が共同で多年継続実施している北大西洋の多数の定点における観測ステーションまたは観測船による計器観測のデータを集積したもので、非常に信頼性の高いものである。

当時北太平洋海域については、さきにSR 80において、気象庁に集まっている昭和29年(1954)から10年間の一般商船の目視観測記録を統計処理したのがあるだけであった。その後、世界気象機構(WMO)による国際的な気象統計事業も協定され、船舶通報による気象データの量も質も向上してきたので、SR 163はその後の昭和39年(1964)から10年間の資料について、SR 80に倣って統計処理作業を行った。

資料は国際的に協定された形式に従って、3時間ごとの情報が、船舶気象通報(無線)及び船舶気象観測表(書面)の形で集積され、磁気テープに保管されている。ここでは、気象庁にある西経170度以西のデータ約260万点を借用し、米国の海洋大気庁(NOAA)に保管されていた、それ以東の約160万点のデータを購入して北太平洋全域にわたる約420万点のデータ処理を行った。

解析は、風速・風向・波高・波向・波周期の5項目について実施し、これらの各種組合せについて、出現度数と頻度分布を求めた。全海域を89の小海域に区分し、全体及び各小海域ごとに、月別・四季別・通年の統計を求めている。これらの統計表のほかに、風速及び波高の方位別出現頻度を示すローズ図も、各小海域ごとに作成した。この成果は、「北太平洋の風と波の統計図表(1964~1973)」と題して別冊刊行(昭和55年)されている。

この波浪の資料は目視観測によるものであるから、相当の誤差は免れないこと、商船からの報告であるから、極端な荒天は避航によってデータが少ないと思われること、及び不規則波の周波数構造を示す波スペクトルの情報は得られないことなどの弱点はある。しかし、有義波高と平均波周期を用いて波スペクトルを計算する近似式がほぼ妥当であることは、波浪計による多くの計測結果からも実証されているので、ここで得られた波高と周期の膨大な統計資料の利用価値は大きいと思われる。

SR 163ではこのほかに、気象庁の気象観測船に便乗して、昭和54~55年に4回にわたって、各種波浪計の性能比較のための実船試験を行っている。船に装備されたタッカー式波

浪計及び沿岸に設置された海底定置式波浪計と、SR 研究で試作した投棄式の加速度ブイ波浪計及び船舶技術研究所試作の船側に固定する超音波式波浪計などとの同時計測実験を行い、それぞれの性能や解析処理システムの比較検討を実施した。

3. 疲労強度

第二次世界大戦後、米国の戦時標準船の脆性破壊による重大事故に関連した船体構造強度の研究が世界各国において盛んに行われてきた。その結果、船体の設計法、建造法、工法、使用鋼材の材質等が改善され、脆性破壊による重大事故の件数は非常に減少した。しかし、船舶のように波浪外力を受ける複雑な構造物では、外力の繰り返し数が少なくても疲労亀裂が発生する低サイクル疲労亀裂が非常に多いことが指摘されるようになった。このことは、昭和37年の IIW（国際溶接学会）あるいは昭和36年の第1回 ISSC（国際船体構造会議）で、NV の故 Vedeler 博士によって指摘され、船体構造の疲労強度の研究の重要性が認識されるようになった。

このような背景のもとで **SR 62**が発足し昭和38年から船体構造用鋼の低サイクル疲労強度について基礎研究が行われた。さらに引続いて、当時の船舶の大型化とともにその採用が増してきた高張力鋼を含む各種船体構造用鋼板、及びそれらの溶接継手構造物としての不連続部、あるいは工作誤差等が疲労強度に及ぼす影響についての研究が昭和41年から **SR 95**で行われ、疲労強度に関する研究態勢が確立された。

さらに、**SR 120**では大型船の横部材のウェブに設けられている縦通材貫通のためのスロット周辺に疲労クラックが多発したことに対処する研究が行われ、その防止法が確立された。その後、**SR 128**では腐食・衰耗に関連し、腐食環境下における、船体構造部材の腐食疲労の研究が行われ、その損傷防止法の確立に対する基礎資料が得られた。

また、船体損傷の中でも数の多い隅肉溶接部の欠陥あるいは工作誤差が船体構造の強度に及ぼす影響を究明し、許容欠陥寸法、許容工作誤差量を求めるために、各造船所の工作精度、実船の損傷例を調査し、造船用軟鋼、50キロ級及び60キロ級高張力鋼の溶接の溶け込み量、ビード形状あるいは目違い等が疲労強度に及ぼす影響を把握し疲労設計資料を作成する研究が昭和44年から **SR 109**で行われた。この結果は疲労設計資料として我が国の造船所の工作基準に広く利用されているのみならず諸外国の造船所においても広く参考資料として用いられている。

さらに、この研究と並行して **SR 111**では、当時の船体構造強度上の具体的な問題の解

決のための基礎資料を求めることを目的とする研究が行われた。まず、クラックアレスターの目的で使用されているラウンドガンウエル部のE級鋼にブロック搭載の吊金具等を取り付けることは、脆性破壊強度の低下を招く恐れがあるという見地から船主及び船級協会から禁止され、ブロックの搭載工程にトラブルを起こし、建造工程を乱す原因になることが多かった。また当時50キロ級高張力鋼は既に広く採用されていたが、それに対する線状ガス加熱加工条件については、当時まだ統一された見解がなかった。そこで、歪とり、曲げ修正を行う場合の50キロ級高張力鋼の靱性変化を研究し、工作基準を確立することを目的として種々の脆性破壊試験を行った。その結果、現場工作基準の確立とともに船主及び船級協会の監督官と、造船所当事者の間のトラブル解消のバックデータの把握、及び現場工作上の船級協会規則についての問題点解決の基礎資料が得られた。

4. 構造材料・溶接工作

小型鋼船の建造に用いられる傾向にあった炭酸ガス半自動溶接工作法に関する研究 (SR 129) が昭和46年度に行われた。

当時の小型鋼船は、高速化が望まれ、重量軽減のため降伏点の比較的高い耐候性鋼を使用する傾向が高まっていた。工作法の中心である溶接技術では、小型船の薄板に適した炭酸ガス半自動溶接法はそれほどの開先精度を要せずかつ溶接機器は軽量で可搬性に富むため、優れた溶接法として当時、車両、自動車、橋梁、鉄骨等の陸上の分野で使用されており、また造船においても大型船の分野では一部使用されていた。本研究部会での研究の結果、薄板鋼板に炭酸ガス溶接を適用する場合、当時市販されていた、溶接機、溶接材料を用いた適正な溶接条件で溶接すれば、下向き、立向き姿勢とも問題なく施工できることが明らかになった。なお溶接欠陥は溶接機、溶接材料、溶接条件の他に開先形状、裏はつりの有無、ギャップ、ビードの継目処理法、目違い等により影響を受けやすいため、これらの点についても施工基準を設定しておくことが必要であることが結論として得られた。

また、当時、運輸省に設けられていた「巨大船総合研究委員会」による調査結果に基づいて、巨大船の脆性破壊防止対策に関する研究が昭和42年から3年間 SR 101で行われた。脆性破壊は板厚が厚いほど発生しやすいので巨大船においては危険がきわめて大きく、万一脆性亀裂が発生した場合クラックアレスターとして用いられているE級鋼にはどの程度良質で、どのくらいの寸法の板を使用すれば長大クラックを阻止しうるかを研究の第一の目的とした。この目的を達成するために行われた幅2,400 mmの超広幅試験の結果、長

大ラックに対しては下図に示すように線形破壊力学による応力拡大係数 K 値、すなわち K_{nom} の代りに、有効 K 値 K_{eff} を考えなければならないことが明らかにされた。なおこれに関連して、クラック伝播中の荷重の動的降下の現象が本研究によって初めて明らかにされた。

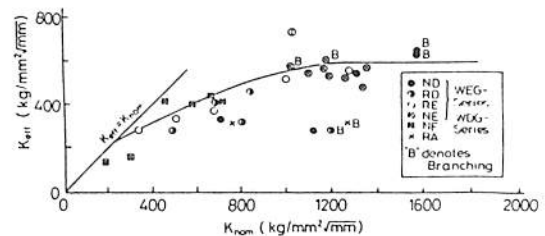
また巨大船では40～50 mm の超厚板が使用され、板厚方向の拘束が大きいいため、継手の多層盛り溶接部の僅かな欠陥でも、薄板に比べはるかに脆性破壊が発生しやすいと考えられるので、溶接部からの脆性破壊の発生特性を検討する研究も行われた。

すなわち、板厚30 mm 及び50 mm の D 級鋼について縦溶接継手切欠広幅引張試験が行われ、その結果、脆性破壊発生限界温度は $0 \sim +10^{\circ}\text{C}$ であることが示された。

一方、我が国鉄鋼業界の目ざましい発展に伴って、鉱石運搬船の隻数が増大すると共に大型化するのに対して、昭和44年度に大型鉱石運搬船の安全性に関する一連の研究として SR 119 が発足し、船体構造用軟鋼（A 級鋼、D 級鋼及び E 級鋼）について脆性破壊発生特性及び疲労破壊に関する研究が行われた。

その結果、板厚19 mm の A 級鋼と37 mm の D 級鋼について、素材のディープ・ノッチ試験の結果は D 級鋼は A 級鋼に比して優れた特性を示し、特に問題となる点が無いことが示された。また板厚30 mm 圧延のままの D 級鋼及び板厚38 mm の焼準した D 級鋼について、溶接継手部からの脆性破壊の発生特性を求める試験としてコマレル型の溶接継手曲げ試験を実施した。その結果、前者の遷移温度は 10°C 、後者の遷移温度は $-40^{\circ}\text{C} \sim -50^{\circ}\text{C}$ であった。その結果焼準された D 級鋼の遷移温度には問題はないが、圧延のままの D 級鋼について求められた 10°C の遷移温度の評価については将来さらに検討をする必要があるとの結論が得られた。

脆性破壊伝播特性を求めるため板厚19 mm の A 級鋼及び D 級鋼、板厚38 mm の D 級鋼及び E 級鋼について、ESSO 試験あるいは二重引張試験を行った。その結果、応力 $15\text{kg}/\text{mm}^2$ でクラック長さ100 mm の亀裂を停止させる温度は、板厚19 mm の A 級鋼で 10°C 前後、D 級鋼では板厚19 mm で -10°C 前後、38 mm では 5°C 前後、板厚38 mm の E 級鋼では $-5^{\circ}\text{C} \sim +5^{\circ}\text{C}$ であっ



SR101 広幅試験片による温度勾配型 Esso 試験 (WEG シリーズ)、及び温度勾配型二重引張試験 (WDG シリーズ) で得られた公称 K_{nom} 値と K_{eff} の関係。但し、D、E はそれぞれ船殻用鋼材の種類を、N、R はそれぞれ焼ならし材、圧延のままの鋼材を示す。

た。

これらの研究と併せて、3次元模型による疲労クラックの伝播速度と剪断応力による疲労クラック伝播についての研究も行われた。しかしこの種の研究は従来あまり例がなく模型の寸法効果その他については将来の研究に待たねばならない重要な研究と考えられた。

船殻構造における疲労破壊の問題は既に述べたように昭和35、36年頃からSR研究でもとりあげられていたが、疲労亀裂が脆性破壊に転移する問題について大きな関心が集まり、船殻の隅肉溶接など拘束の大きい部分に発生した疲労亀裂からの脆性破壊による重大損傷防止の基礎資料の集積が望まれていた。

昭和45年から3年間にわたりSR121では実際の船殻におけると同様な拘束の強い部材に発生した疲労亀裂からの脆性破壊発生現象を究明するための研究が行われた。

すなわち縦方向(荷重方向)にスチフナを有する3次元モデルによる研究の結果、スチフナ端部表面切欠から生じる脆性破壊に関しては、スチフナは構造的な不連続による応力集中の原因となり破壊強度を低下させる。また、まわし溶接部主板の残留応力は比較的小さいが、ごく低温領域での脆性破壊強度の低下をきたすことがある。しかしながら、本研究の範囲ではスチフナが主板を拘束する効果は認められなかった。

横方向スチフナ隅肉溶接部の表面切欠からの脆性破壊発生特性としては、破壊靱性値に及ぼすスチフナによる拘束の影響はほとんど認められなかったこと等が明らかにされた。

船舶は益々巨大化する傾向にあったが、船殻材としては、従来の軟鋼に加えて高張力鋼(50キロ級)を広範囲に採用することが検討された。一方その溶接作業性や、能率の向上あるいはコストの低減を図り船舶の短期建造体制を確立するために、エレクトロガス溶接、エレクトロスラグ溶接、多電極片面1層ザブマージアーク溶接等の大入熱溶接法が採用される傾向にあった。これらの大入熱溶接継手部はその靱性がかなり劣化すること、そのうえ靱性劣化の傾向は高張力鋼になるほど敏感になるなどの重要な問題が提起されSR147が設置された。

この頃入熱溶接に対して溶接継手の脆化が少ない船体用50キロ級高張力鋼板として、微細Tin系の鋼板等が開発されると同時に、これら高張力鋼板の大入熱溶接法も種々開発された。このようにして大手製鉄会社、関連の溶剤メーカー及び大手造船会社の船殻設計担当者並びに破壊力学研究者からなる強力な委員構成のもとでの共同研究が行われた。

また、試設計も行われるようになった100万重量トンの巨大タンカーの船殻材に使用が予想される一般船体用軟鋼(40mm程度)及び船体用50キロ級高張力鋼(35mm程度)に対

する大入熱溶接継手の破壊靱性及び疲労特性を把握することを目的として、昭和49年度より3ヶ年計画でSR 153の研究が実現した。

しかし、おりからの造船不況の影響で、研究発足の翌年の昭和50年度には部会自体の存続についても討議され、当初の目的を変更せざるを得ない状況となり、今後の研究方針として次のことが確認された。

- 1) 脆性破壊あるいは破壊力学を実船の設計に適用して行く場合の問題点の整理と設計者のニーズに応じた研究の促進
- 2) 構造模型による実験結果を実船の設計に適用する方法

また、これに伴いSR 153の委員構成もSR 147と同様、船殻設計担当者と破壊力学研究者とで構成することになった。ちょうど、昭和47年及び昭和52年にAB船級船に生じた船体の折損事故に関連して、米国の船体構造委員会の原因究明の委員会は、現在の船体用鋼材の要求破壊靱性値が不十分であるための事故ではなく、船の設計、建造時は勿論その完成後の稼働中を含めて船舶の安全性を確保するためには破壊力学研究者、設計技術者、建造技術者、船舶の保守管理者及び船舶の乗組員など全ての関係者の事故を防ぐための緊密な連携によって初めて達成されるものであり、したがって、現在の船級協会の規則で定めている船殻用鋼材の規則はこれ以上に厳しくする必要はないとの見解を発表した。

これが、構造物の破壊管理制御 (Fracture Control) の思想である。そこでSR 153の流れを汲んで船体構造の破壊管理制御設計に関する研究 (SR 169) が4ヶ年計画で行われることになった。

一方、船舶運航者にとっては、故障が少なく保船に手数も費用も余りかからない船は経済活動の上で有利であり、船の一生のコストを考えた場合初期の建造費が多少高価となっても引き合うことになる。このような考えからメンテナンスフリーの考え方が生まれ昭和50年から4年間にわたってSR 157で研究が行われた。

このSRでは以下の2点を船体構造のメンテナンスフリーの目標として、研究が行われた。

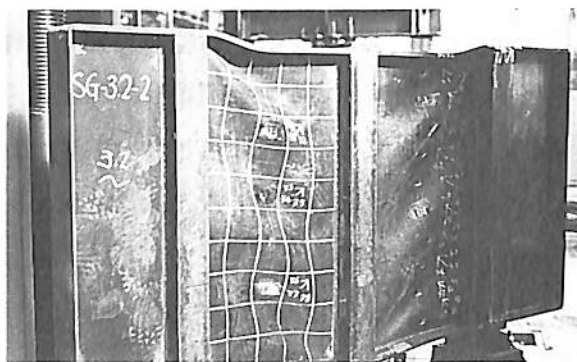
- 1) 建造後2回目の定期検査まで、一般損傷による補修工事がほとんどないこと
- 2) 建造後2回目の定期検査において、防食方法の補修を行えば船舶の一生を通じて腐食衰耗による部材の取り替え工事がほとんどないこと

その結果、防撓材のスニップ端の隅肉溶接趾端部から発生する疲労亀裂を防止する方法、船体に設けられている開口部周辺の補強方法、特設肋骨部の信頼性解析の手法、さらには

防食塗装上極めて实际的で有用な知見が得られる等、メンテナンスフリーのマニュアルに盛られるべき多くの基礎資料が得られた。これらの成果は取りまとめのため SR 200へと引き継がれた。

船殻部材歪量の船体強度に及ぼす影響に関する研究 (SR 127) は、これが重要な問題であるのに、系統的な研究がこれまで無かったこともあり、従来の実績を基に定められた現行の「日本鋼船工作法精度標準」(JSQS) が、急速に巨大化した船舶に対して妥当であるかの懸念も生じてきたので、合理的な歪許容量を決定することを目的として発足した研究である。船殻部材の歪量や歪取り加工法の調査のあと、歪量と構造強度との関係、歪量と材料強度との関係などを、理論解析と模型実験によって詳細に解明した。また、現行の JSQS も、ごく一部を除いては妥当性の高いことが確認された。

造船工作における適応制御に関する研究 (SR 135) は、NC 機や自動化機に適応制御を採り入れて、全工作過程の効率化を計ることを目的として、適応制御応用作業の調査研究と、適応制御機構の開発を行った。応用例としては、造船工作行程を3分し、加工行程では切断用ロボットを試作し、組立行程では板継用ロボットの試設計を、船台船渠行程においては船体登攀装置 (CLIMACS) の仕様検討を行って、実用化に向けて成果を挙げている。



SR127 船殻部材歪量の船体強度に及ぼす影響に関する調査研究

第2節 流体力学部門

1. 推進性能

成長期の初期においては、実船の各種性能を明らかにするための多くの実船実験が行われ、実船の運航性能に対する基礎知識を得ることが出来た。次いで躍進期では、各種船舶の船型に対する系統的試験が行われるようになった。

国際経済の発展につれて世界の貨物の流通量が増大し、貨物船の建造量が増加した。昭和30年代の初めの頃までは、船は抵抗性能上最適の主要目、速力をとるように設計され、船の長さ幅比 L/B は7.0以上、方形肥瘠係数 C_b は0.8以下であったが、貨物の流通量が増大するにつれて、これを運搬する船舶も大型化、高速化が要望されるようになった。また、船舶の建造価格の上昇を小さくするために C_b を大きく、 L/B を抑えるようになった。その傾向はタンカーにおいて最も著しく、時代の進展と共に数万重量トンのものが10数万重量トンに、更に、20万重量トン級・40万重量トン級と巨大化するようになった。タンカーや撤積貨物船の肥大化・巨大化及び貨物船の高速化・大型化に対応して、各種船舶の昔とは異なる主要目比に対して適当な船型を見いだす必要に迫られた。

船型が大型化しても、港湾・運河等の状況から船の喫水には深くできる限度があり、船の大型化と共に幅・喫水比の値は次第に大きくなり、タンカーでは C_b の増大と相まって船体回りの流れは複雑化し、流体力学上様々な問題が生じてきた。また、タンカーの肥大化、大型化は推進性能ばかりでなく、耐航性能、操縦性能にも新たに調査しておくべき問題を生じ、SR研究では船の流体力学全般にわたる系統的模型試験が計画された。

タンカーの船型に関しては、先ず、SR 41の後を受けて、長さ240 m、幅喫水比2.76の船型に対しての高経済性船舶の運航性能に関する研究 (SR 61) が実施された。次いで、さらに幅広となったタンカーを対象として、巨大船の運航性能に関する研究 (SR 98) が行われた。幅喫水比は3.06となっている。さらにSR 98では、馬力の増大にも対処するための2軸船の系統的模型



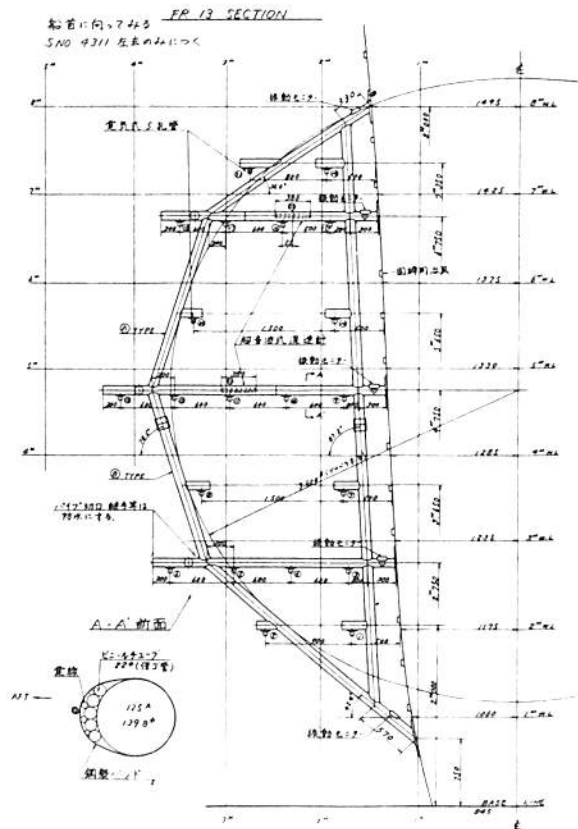
SR98 巨大船の運航に関する研究 タンカー船型による斜航試験 (東京丸1.5 m 模型)

試験や制限水路影響調査が行われた。また、上記のような大幅な船型の変化が運動性能に及ぼす影響も調べて置く必要から、耐航性能試験と操縦性能試験も実施されている（2，3，項参照）。これ等の系統的試験による各種流体力特性の研究成果は、当時の船舶設計者にとって非常に有益な資料となり、我が国の造船業界の躍進の一助となった。

船舶が肥大化・大型化するにつれて、模型試験結果から実船の推進性能を推定する従来のフルードの方法では推定誤差が大きくなり、実船と模型船の相関に関する研究が世界的に行われるようになった。その結果として、船体抵抗に対する形状影響の存在が広く認められるようになった。我が国でもこの方面の研究が昭和30年代の半ばから行われるようになり、SR 107で肥大船型に対して、SR 138で高速コンテナ船型に対して馬力推定法の精度向上に関する研究が行われた。これらの研究にとって必要なことは、模型試験及び実船試験の測定結果が精度良く求められていることである。従来、模型試験の精度向上のためには各種の研究が行われて成果が得られているが、実船実験についてはその測定精度について調査されたことは極めて少ない。そこで、SR 107においては船速計測の精度の調査が、



SR107 実船伴流分布計測（上：ピトー管取付状況，
下：計測室風景



SR107 実船の伴流分布計測用のトラスと5孔ピトー管配置

SR 138においてはトーションメーター及びスラストメーターの調査が行われた。両方の研究共、以後のこの方面の研究者や馬力推定を行う設計者に対して、実船と模型船との相関関係に関する非常に有益な貴重な資料を与えた。

昭和40年代には、船尾が肥大化した船では模型試験結果に不安定現象が生じることが知られるようになった。SR 159では、この推進性能に関する不安定現象を主として船尾流場の立場から調査した。この研究成果により、各船型試験水槽の肥大船の試験精度は一層向上し、また、船舶設計者は不安定現象を生じない船尾形状を設計する上での有効な資料を得ることが出来た。

SR 142の船尾構造の剛性・変形量・船尾形状に関する研究は、多軸高出力船の軸系のアライメントの設計基準を確立するために行われた研究であり、その一部で、船舶流体力学に関する研究が行われた。すなわち、実船で船尾部の水圧変動を計測し、模型船で伴流分布の計測とベアリングフォースの計算を行った。その結果は、多軸高出力船の船尾の設計に有益な資料を与えた。

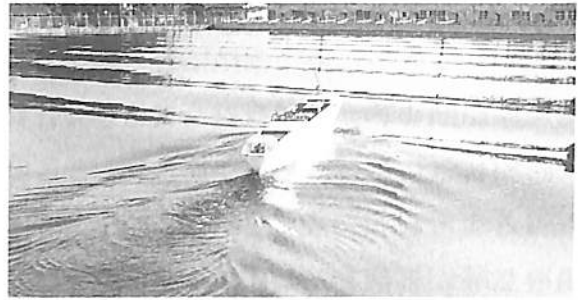
プロペラに関係して、成長期に行われたSR 7の研究の後を受けのものとして、SR 81プロペラキャビテーションに関する研究がある。これは、特に船舶の肥大化に伴うプロペラの損傷事故の増加に対処して行われたもので、プロペラキャビテーションによる翼損傷に着目してアンケート調査が実施されている。この時期には外国でも同様の調査が行われており、昭和41年10月に東京で開催された第11回国際試験水槽会議 (ITTC) でもそのような研究結果が発表されている。初めにプロペラ効率の異常な低下から発見されたプロペラキャビテーションがプロペラ翼損傷と結び付けられて研究されたのはこの時代であり、後に、プロペラキャビテーションはプロペラ起振力や騒音と大きな関係があることが見いだされたが、当時はまだそのようなことは考えられていなかった。

成長期にSR 30でプロペラ強度の実測が行われたが、この時期では大型プロペラの翼強度に関する研究 (SR 126) が実施された。この研究は、プロペラの応力の実態と材料の強度との関係を明らかにすることが目的で、コンテナ船箱根丸によってプロペラ翼強度の実船計測とプロペラ材料についての腐食疲労試験が行われた。

船舶が肥大化すると、船型計画を充分行っても抵抗性能のある程度の低下は避けられない。そこで、推進性能を向上させるために船型改良以外にプロペラの効率向上について各種の考案がされるようになった。プロペラ効率の向上を目指しては、ノズルプロペラ・オーバーラッピングプロペラ・二重反転プロペラ等色々なものが考案され、世界各国で研究が



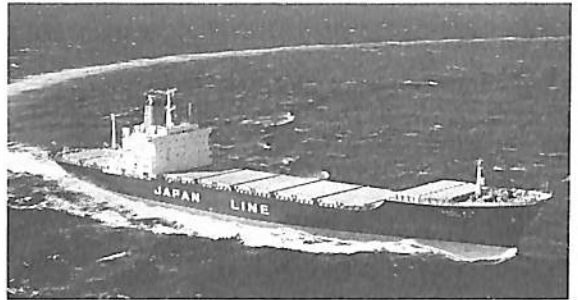
SR107 はんぶとん丸 船舶の速度計測および馬力推定法の精度向上に関する研究の供試船



SR108 高速貨物船の波浪中における諸性能に関する研究 コンテナ船 SR 108船型斜め波中の実験



SR108 加州丸 高速貨物船の波浪中における諸性能に関する研究



SR108 ジャパン・エース 高速貨物船の波浪中における諸性能に関する研究



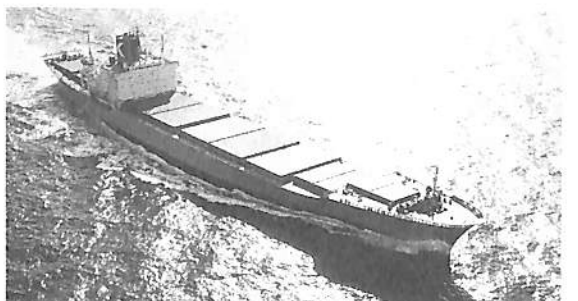
SR108 あめりか丸 高速貨物船の波浪中における諸性能に関する研究



SR108 榛名丸 高速貨物船の波浪中における諸性能に関する研究



SR108 榛名丸の海図室に設けた計測器具



SR108 ごうでんげいとぶりっじ 高速貨物船の波浪中における諸性能に関する研究

行われたが、SR 123では二重反転プロペラの系統的模型試験を行っている。その結果多少の効率の向上が見られたが、この研究の成果のみでは実用化されなかった。それはこの研究はまだ初期のものであって、流体力学的にも解決すべき点が多く残っていたほか、プロペラ軸系のメカニズム等にも問題があったからである。後に、さらに研究が進められ、二重反転プロペラは、小型艇から実用が始まり大型船にも及んで行くことになる。

プロペラに関する特殊な研究として、高速艇のプロペラ損傷防止に関する研究 (SR 149) が行われた。この頃、港湾や内海等で運航されている軽構造高速艇に流木等の浮遊物との衝突と思われるプロペラ損傷事故が多数発生したので、その防止策を見いだすためにこのSR研究が実施された。障害物とプロペラとの衝突状況を明らかにすると共に、プロペラを防護するのに有効で、かつ、推進・操縦性能の面で余り不利にならない装置を考案することが目的となっていて、各種の提案がなされた。

昭和40年代後半における石油危機は、海洋石油開発に対する関心を一挙に高めた。特に北極圏の豊富な資源の開発が注目され、その資源の輸送手段として氷海商船の技術開発が要望されるようになった。造船技術の場では氷海試験水槽の建設も始められるようになった。このような背景のもとに、SR 160が開始され、本格的な開発研究の前段階として、世界各国の氷海船舶の現状と関係技術、砕氷船舶に関する船級規則の現状、我が国の砕氷船宗谷及びふじの実績等が調査された。その成果は、その後誕生した氷海試験水槽における研究や南極観測船による氷海及びその性能の調査研究に引き継がれて活用されている。

2. 耐航性能

成長期から躍進期の初期にかけては、耐航性能の試験は、前述のように肥大化・大型化あるいは高速化に向けて変化する船型の波浪中の性能を確認するために、SR 41, SR 45, SR 61, SR 98のような静水中の推進性能の系統的試験に付随して実施されてきた。しかし、昭和40年代にかけて、耐航性の研究は、水槽試験方法、統計的処理法の確立、また、例えばストリップ法による船体運動の計算等の数値計算方法の普及に伴って急激に進展し、一般の関心と共に造研においても独自のSR研究が実施されるようになった。

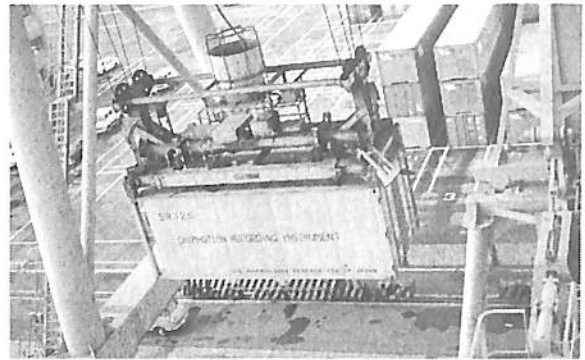
その初期の段階では、実船の航海を通して船の耐航性能の問題点を把握すると共に海象の調査が行われた。SR 63では耐航性に関する実船試験において計測・データ処理・解析等が総合的に、かつ、迅速に行えるような一貫システムが開発され、数隻の船の試験が実施され、解析結果が報告された。

また、さらに広範囲の実船資料を得る目的で、SR 80及びSR 91において、アブストラクト・ログブックの解析と一般船舶から気象庁に報告される海上気象データの統計解析が行われた。ログブックの解析では同一航路の多数船舶について解析したものと、数隻の船についてログブックのデータと海象との相関を克明に解析したものとがある。いずれの結果も、ログブックが船舶の航海の実際を知る貴重な資料となることを示している。その後、コンピュータ処理能力の進歩によって、この種の解析は船社あるいは造船所によってしばしば行われている。

昭和40年代に入り、欧米航路を中心とする我が国の定期貨物船はさらに高速化し、それに伴って船型もCbの値が0.60以下のような痩せ型になった。また昭和43年には我が国にも初めて6隻のフルコンテナ船の就航を見るに至り、高速化の傾向は顕著になった。

船型の痩せ型化や高速化によって先ず船体動揺、特に横揺れしやすい性質が現れ設計上及び運航上の問題点として浮かび上がってきた。また高速定期貨物船、特にコンテナ船においては高速の利点を生かすため運航のスケジュールを正確に守ることがより厳しく要求されることになった。それには波浪中の性能いわゆる耐航性能を総合的に精度よく予測することが求められる。

当時の研究の情勢は、角水槽での実験の実績がようやく集積されてきて、いわゆる斜波中の模型実験が可能になっていた。また理論的には縦波中の船体運動や波浪外



SR125 超高速コンテナ船の耐航性に関する研究
氷川丸に計測用コンテナを積載中



SR125 超高速コンテナ船の耐航性に関する研究
氷川丸に積み付けられた計測用コンテナ

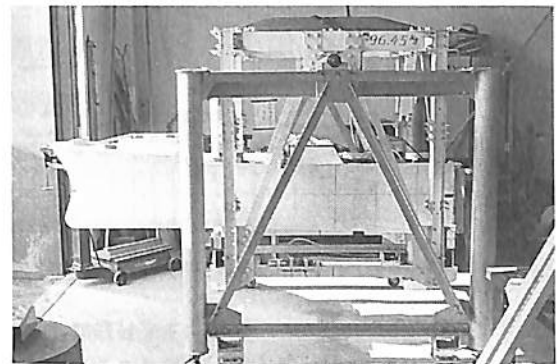


SR125 超高速コンテナ船の耐航性に関する研究
氷川丸

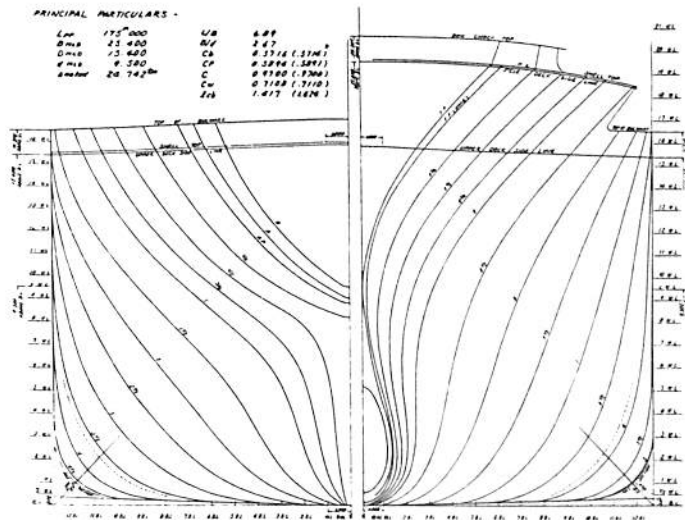
力の予測のために昭和30年代後半に開発され、実用の域にあったストリップ法計算を、横運動も含めて斜波中の運動の推定に拡張しようとする試みも進展を見せていた。これらの研究手法を駆使して上述のような高速貨物船・コンテナ船の耐航性能を解明するため SR 108が、引き続いて SR 125が実施された。この2つの研究は、昭和44年～49年の間、6年にわたり我が国の耐航性能の研究者を網羅して進められた。模型実験によるストリップ法計算の妥当性の検証が波浪強制力、流体力、運動、波浪荷重、抵抗増加等に関して行われた。これらの実験に使われたのは SR 108船型（コンテナ船）であり、その後の国内や国際機関における流体部門の研究の標準船型としてしばしば用いられた。計測コンテナを開発し、何隻ものコンテナ船に順次搭載して、長期間にわたる耐航性の実船実験を実施



SR125 超高速コンテナ船の耐航性に関する研究
船体中央部のねじりモーメント測定



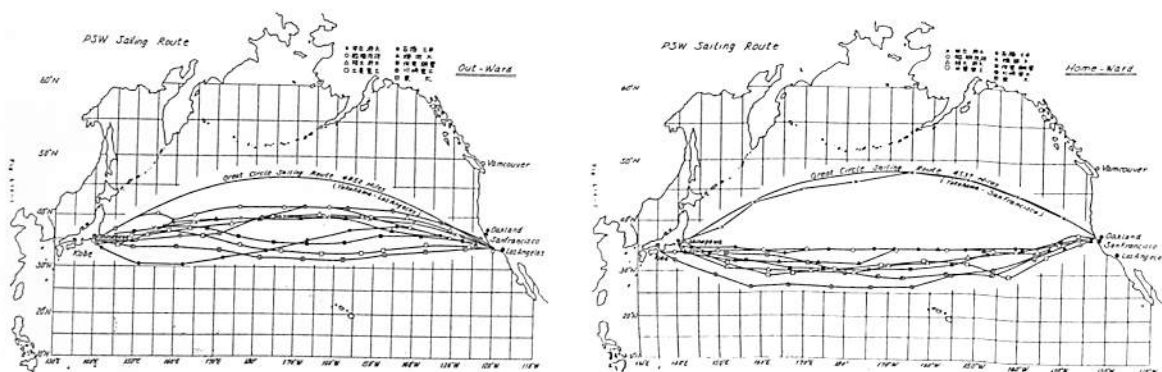
SR125 超高速コンテナ船の耐航性に関する研究
分割模型の慣性モーメント測定



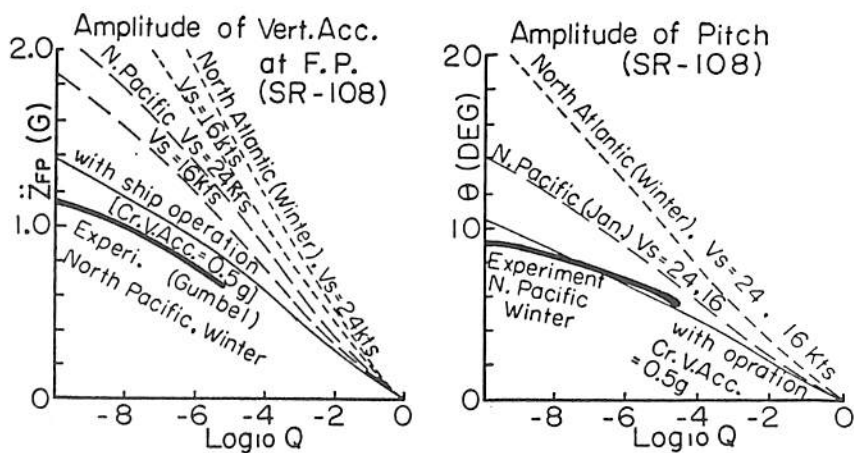
SR108 コンテナ船線図(SR108,125,138等の研究に標準船型として用いられた。また、「S-175」として国際試験水槽会議 ITTC の耐航性能に関する比較計算・実験の対象船型として国際的にも有名)

し、応答の長期分布に関するデータを取得したのもこれらの研究の大きな成果である。この一連の研究によって斜波中の船体応答の全体像が解明され、造船設計のみならず、運航技術に対する指針ともなる資料が得られた。

上記の研究で明らかとなった問題点を解明し、さらに耐航性能の推定精度を向上させる目的で、引き続き昭和50年度から **SR 161**が実施され、4年間にわたり研究を行った。その結果、これまで推定の難しかった横揺減衰力については成分分離法による推定法を確立するとともに波浪中推進性能を船体・プロペラ・エンジン及び操船者からなるシステムと



SR108 高速コンテナ船の実船試験航路（PSWにて6隻9往復の実験が1970年12月～1971年2月に集中的に実施された）



SR108 実船試験結果の一例（船首上下加速度と縦揺角の長期分布を各種の計算値と対比させている）

してとらえ、耐航性能を総合的に評価する手法を開発した。

耐航性能のなかで斜め追い波中の波浪荷重の推定法の問題点は、その後 SR 200-12において解明された。

船舶の安定性に関する研究としては、動揺の少ない船型の研究 (SR 87) がある。これは船型や重心位置を工夫することにより横揺波強制力を減少させ、ひいては横揺運動を減少させることを意図するもので、波浪強制力に関する流体力学の進展を適用し、理論計算、模型実験、実船実験が組織的に行われた。その結果、rise-of-floor、ビルジキール、幅・喫水比、重心高さ等の横揺の強制力、減衰力、運動に対する影響が詳細に解明された。

3. 操縦性

巨大タンカーの運航性能に関する SR 41の研究以後、船舶の巨大化と専用化が高経済性の追及とともに促進され、船型についても従来の資料からはみだすような大型・肥大化に伴う広幅化の傾向が顕著となった。

操縦性能に関しては、このような広幅化や肥大化により浅水影響の増大や操縦性能自体が悪化する懸念が生じた。そこで SR 61ではさらに幅広の船型を含むシリーズ船型について旋回・操縦試験を行った。試験の途上、肥大化に伴い操舵と応答の間に非線形性の強い特異現象が小舵角において現れ、実船と模型船では逆の傾向になる場合が発見されたので、その原因の追及も行い、系統試験に役立てた。実船と模型船の相関も相似模型シリーズを用いて研究されたが、供試船にマリナー船型が選ばれ、国際試験水槽会議 (ITTC) の提唱する国際共同研究として実施された。また、船首バルブ船型の実験も行った。

巨大船の操縦性能に関してはさらに幅広かつ扁平な船型について SR 98の研究の一環として、浅水中における旋回性能に関する模型試験と、操縦性能に関する実船と模型の相関に関する研究がこれまでの研究で指摘された小舵角の不安定現象の解明を主眼において実施された。研究の対象とした船型は $C_b=0.80$, 0.84 で船首バルブを有する 1 軸及び 2 軸船である。模型実験の手法として従来の自航模型船による運動計測という伝統的な方法のほか操縦する船体に働く流体力微係数を旋回腕を用いて計測し、それを運動方程式に入れて計算する手段も用いられた。そのほか制限水路内における船体沈下も模型実験によって調べられた。

昭和40年代後半にはタンカーの大型化が進み、やがては100万重量トンタンカーの出現も時間の問題と考えられるようになった。そこで上述の SR 98の対象船型よりさらに幅広

船型 (L/B=4~5) の系統的旋回試験, 浅水影響試験を SR 154において実施した。この研究では安全性の見地から急速停止のプロペラ逆転時の挙動を自航模型のプログラム制御により検討した。

操縦性に関しては, 上記の一連のタンカーの巨大化, 肥大化に対する研究のほか, 操船の自動化安全性の評価についての研究も行われた。

先ず, 船舶の自動化の一環としてサイドスラストの有効性の研究が SR 59により実施された。これまでほとんどデータが存在しなかったので, 基礎的資料を得ることを中心課題として, スラストの単独性能 (ダクトの形状やインペラ特性), 実船 (スーパータンカー, ライナ, 作業船) に装備したときの総合性能, 理論研究などを行った。その結果, インペラの大きさや形状と性能の関係を船体運動の状態に応じて明らかにし, 必要なサイドスラストの容量決定の資料を得た。

大型船の操船についての重要な課題は船と操船者を一体とするマン・マシン系の制御技術の向上であり, その研究のためには操船シミュレータの活用が非常に有用である。折しも, 旋回腕水槽試験や PMM 試験の技術が普及し, 操縦運動を記述する運動方程式 (数学モデル) が実用の域に達した背景をうけて, 100万重量トンタンカーを対象とした, 船舶の大型化に対応する船舶操縦システムの研究 (SR 151) において, アナログ計算機, テレビと影絵方式の幻灯による景観映像, 実船を模した船橋と操舵装置, レーダーシミュレータを主要構成要素とする操船シミュレータが構築された。この活用により操船者の訓練や研究に有用であることが分かり, シミュレータの改良すべき点が明らかになった。また肥大船の操縦で特に問題となっている小舵角における不安定現象の許容範囲の検討などに役立てられた。

4. 波浪及び波浪外力

新しい船舶の構造設計の精度向上や運航効率の向上のためには, 海上で船が遭遇する海象・気象の性質を正確に把握する必要がある。昭和30年代に急速に進展を見せた波浪理論の発展や, 船体応答の推定法の開発に伴い, 実際の波浪の情報に対する要望がますます強くなった。大西洋に関しては複数の定点海洋観測船により波浪の観測が続けられており, そのデータの統計解析が発表され, 早速船舶の設計に取り入れられ始めた。また世界の主要航路を含む海域に関しては, 一般船舶の海上気象通報データを用いた統計も発表されていた。これに反し, 我が国の造船・海運に密接に関係する北太平洋に関する波浪統計は未

だほとんど整備されていなかった。折しも国際船体構造会議（ISSC）により北太平洋を含む世界の主要海域の波浪統計の必要性が提唱され、また我が国の運輸技術審議会の9号答申においても船舶の性能・構造の飛躍的改善向上のため、海象の観測装置の開発と、海域別・季節別の海象・気象の調査解析を行うことが指摘された。

このような情勢に応じて **SR 80** 中において、北太平洋全域について波浪統計を行うこととした。気象業務法によって一般船舶から気象庁に報告される海上気象資料を気象庁の協力により昭和29～38年（1954～1963）の10年間のデータ約150万点を計算機により統計解析した。その結果、北太平洋を54の小海域に分け、それぞれについて月別、四季別、通年の風向－風速、風速－波高・波周期、波高－波周期、波向－波高・波周期などの結合確率分布（出現頻度）を求め、波候図や風配図に表し、「北太平洋の風と波」としてまとめ、造船・海運の関係者の利用に供した。またこの解析の結果は、1966年の国際満載喫水線条約の改正に際し、季節帯の設定などに我が国の主張の基礎資料として活用された。

この事業は、気象庁及び船舶技術研究所との共同作業として実施されたが、その後の10年間については **SR 163** において、さらにその次の10数年間については船舶技術研究所とシップ・アンド・オーシャン財団との共同によってそれぞれ北太平洋の風と波のデータの統計解析が **SR 80** をきっかけとしてほぼ10年おきに実施され、北太平洋の波浪統計の拡充と質的改良が継続的に行われている。

一方、日聖丸の実験以来、造船界は幾多の実船試験を実施しており、船体運動や応力などに関する計測法や解析法の進歩は顕著なものであったが、船が試験中に出会う波の計測技術は未だ実用の域に達せず、船載式やブイ式の各種のものが2・3の機関において研究中で、試行錯誤が繰り返されている状況であった。しかし大型専用船の連続海難を契機に開始された波浪外力推定の精密化と船体構造への適用の研究において、研究結果の検証のための実船実験が **SR 124** により行われることになり、実用性の高い波浪計の開発が急務とされ **SR 132** が実施された。これは造船界が波浪計測技術に初めて組織的に取り組んだ画期的事業である。研究の内容は、大型船に積む船載の反射式波浪計の開発を主とし、これに投入ブイ波浪計の幾種類かを改良することがつけ加わった。ブイ式を中心とする性能の比較検討は数次の実船実験により行われ、それぞれ性能や使用法が改良された。反射式ではレーザー光線を用いるものと、船舶技術研究所が青雲丸ですでに実験中の電磁波を用いるものとの2つの方式が平行して進行した。結局、最終的には笠木山丸の実船実験には投入ブイ式（加速度式）を採用し、同じくブイ式（水圧式）は当時 **SR 125** で実施中の高速コ

テナ船の実船実験に提供して波浪データを取るようになった。反射式は大型船への取り付け機構が大がかりになることや、船体の影響がどうしても避けられないなどの点から、製作された装置は他日の実船実験に活用することとされた。投入式波浪計はいずれも70%程度の得測率で実験時の波浪を計測でき、初期の目的を達成した。

波浪外力がにわかに関心を浴びるようになったのは、昭和44年ほりばあ丸、昭和45年かりふおるにあ丸と連続して野島崎沖東方の冬季の北太平洋において波浪のため船首部を折損し沈没した海難事故によってである。この大型専用船の連続海難は、我が国の経済成長に従って船舶の大型化や専用化を急速に進めてきた高経済性重視の造船技術の信頼性に対する大きな反省を促す衝撃的な出来事であった。運輸省は「大型専用船海難特別調査委員会」を設置し、気象・海象、運航、船体の各分野にわたり事故解明とともに安全性向上の方策の調査研究を実施した。その結果、予想外に大きな水圧による船体破壊が起こったのではないかという問題点が浮かび上がり、波浪外力の精密な解明が急がれた。そこで、波浪外力に関する水槽試験（SR 131）が昭和46年に開始され、我が国のこの分野の研究者を網羅する一連の研究計画が4年計画で実施された。研究の方針は、水槽試験における系統的な模型試験を中心とし、これを理論計算及び実船試験の結果と併せて解析し、荒天中で船体に働く波浪外力、すなわち、波浪変動圧、波浪衝撃圧、青波による甲板水圧を推定する方法を確立することとされた。特に大波浪中や2方向の波が重畳するような異常波中の波浪衝撃の実態の把握と、その発生メカニズムの解明に重点がおかれた。そのため船舶技術研究所の角水槽に第2面造波装置を設置し、総合的な模型実験が行われた。

また、船体まわりの波浪変動圧については計算法の完成にむけて船体運動や流体力の詳細な研究が展開された。甲板上の青波水圧に関しては模型実験を中心に実施された。

その結果、タンカーや鉱石運搬船のような肥大船についても波浪変動圧の推定手法が確立され、波浪衝撃に関しては初めて広範な知見が得られ、甲板上水圧についてもメカニズムが明らかにされ、一応の目的は達成された。



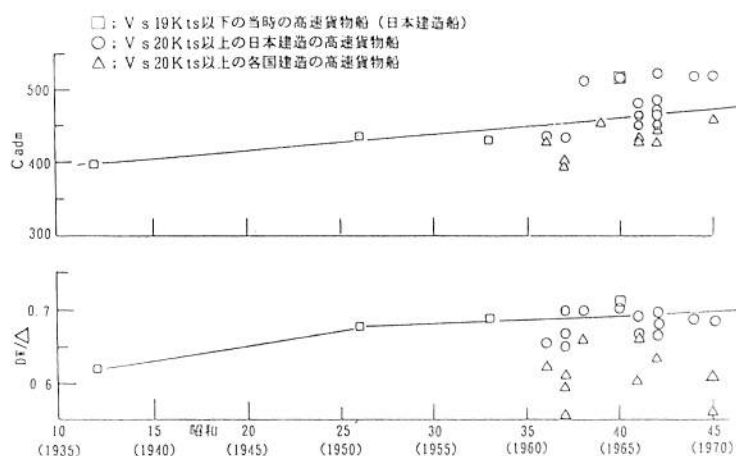
SR131 波浪外力に関する水槽試験 鉱石運搬船（笠木山丸）波浪変動圧の測定

第3節 設計工作艙装部門

1. 全般的な研究の背景

この時代は世界の海上貨物輸送量が急増し、中でも液貨の増加が顕著であり、昭和37年には全貨物トン数の50%に達し、昭和48年の第一次石油危機までには約64%に達した。荷動きのこのような状況下で、タンカーの船型の大型化に拍車がかかり、世界的にはこの期の末期には55万重量トンまで出現し、100万重量トンも現実のものと考えられるような雰囲気であった。当然のことながら我が国の建造量も増大し、昭和48年には進水量で世界の50%を占めるに至った。一方、タンカー以外の船種についても昭和37年には初のLPG運搬船が竣工し、昭和43年にコンテナ専用第1船が竣工、昭和47年には原子力船“むつ”が建造される等多彩な展開がなされた。また性能向上のために、昭和36年頃から商船に初めてHT 50が使用される等、各分野の研究成果を総合した良質の船舶を多量に建造した時代であった。研究開発はこの背景が基盤になり研究開発課題もその要望に沿ったものになったのは当然である。実施された多くの課題はこれらの大区分によって述べることになるが、その前に世界の50%まで建造するに至った我が国建造船の総合評価を簡単にしておくことにする。

船舶の質の評価は簡単にはできないが、極く簡単に寸法に対する積載量と所要馬力の関係だけを取り上げてみる。図はこの2つの要素の内所要馬力はアドミラルティ係数、載貨量は載貨重量と排水量の比で表現したものである。構造方式と艙装の程度がほとんど一定



SR193 Cadm と DW/Δ Ratio の推移

であるタンカーより変化のある貨物船を示したのは、より全体の傾向が分かり、広い速力範囲の比較を示すことができると考えたためであり、また、戦前の昭和12年から示したのは全体の推移を認識するためである。各専門分野の成果は各節で記述されるに任せ、ここではこれらの成果が如何に効率よく総合されたかが理解されればよい。特にこの期における2つの要素は同時期の外国建造船に比較して優れていて、これが船価と共に全世界からの受注の要因になったことが理解できよう。

さてこのような背景で、この分野の研究は

- 1) 主船体に引き続いて艤装の向上
- 2) タンカーの巨大化に関する対処
- 3) 船舶の高度集中制御方式
- 4) その他

に大別されよう。

2. 艤装の向上に関する研究

主船体の基本である構造、抵抗、推進の向上が達成されると、次は艤装の向上が問題となる。

(1) 居住性能と防災

成長期においては居住習慣の国内外における差が克服され、もはやこれが問題になることは解消されたが、船舶の自動化が進むにつれ、船内作業も高度化してきた。またタンカーが増え熱帯航海が増える等船内生活環境の改善は陸上のそれが急速に向上しているのに追随していない面があり、早急に対処しなければならない状況にあった。さらに1960年SOLASで船舶の防災設備が一段と厳しく改正された事情もあり、船舶の居住性能及び防災に関する研究(SR 64)が実施された。本研究ではSR 26の結果をさらに発展させ、防熱装置計算をより正確に実施できるようになったのに加えて、防音の特性及び音源より居住区への音の透過が明らかになった。防災については脱出経路と居住区の配置、寸法の関係性を解明し、B級防火構造壁及び扉に関する評価、甲板被覆の調査が行われた。

(2) 居住区の軽量化と組立法

SR 51で居住区のプラスチック化による効果とプレハブ化の効果が確認されたので、引き続きこれを具体化するため、船舶居住区の軽量化と経済的組立法の研究(SR 73)が実施された。プレハブ方式に適した船室の配置、間仕切壁内張板の取付継手、シャワーユニッ

ト、カーテンウォールの構造等部材の設計からブロック構造の試設計を行い、前回同様“さくら丸”にモデルルームを設置して実船での検証を行った。

(3) 船内騒音に関する研究

労働環境に関する規制が年々厳しくなり、陸上海上を問わず騒音規制が施行されるようになった。特に陸上と異なり就業以外の時間も騒音環境から逃れることができない船内生活においては深刻である。更に自動化船においては装備が高度になり、騒音源である振動が直接機器に影響を及ぼすことがある。このため昭和49年度から船内騒音に関する調査研究 (SR 156) が実施された。本調査研究の目標は“新造船設計の初期の段階で騒音レベルを予測でき、低騒音船の設計を可能にする”ことに置かれ、そのため、船体騒音源の研究、船体関係固体伝搬音、空気伝搬音について基礎的な研究が行われ、模型試験で確認する方法がとられた。機関室に対しても同様であり、更に固体振動による二次発生音、弾性壁の振動による室内放射音分布の影響等を含んだ実績と理論式の対比を集積して、騒音予測法を開発した。この結果には目標の騒音予測のみならず、多くの予測値、低周波から高周波に至る騒音測定技術、機器の防振対策、予測法の精密化にいたる広範囲のものを含んでいる。

(4) タンカー艙装の向上

先にも述べたようにこの期はタンカーが多いので、共通課題である居住区を除くとタンカー艙装の課題が多い。

タンカーの大型化に伴って、荷油管の口径も大きくなり配管コストが増大する。隔壁に交通弁を設けるだけで配管を省略できるフリーフローシステムはこの問題を解消できる一つの方法である。SR 79として油送船のフリーフローシステムの開発研究を取り上げ主として鋳鉄、鋳鋼製隔壁付交通弁の研究が行われた。

船舶の経済性向上のため、タンカー運航の実態調査 (SR 84) として“船体艙装の合理化に関する調査”と“自動化船実態調査及びペルシャ湾周辺の主要タンカーターミナルの状況調査”が採り上げられた。両課題ともタンカー運航の実態調査ではあるが、前者は港湾事情全般と特に荷役、係留施設関係を詳しく、極東、ペルシャ湾、地中海、中南米の各方面の積地について調査した。後者は今後の自動化船の行政上の資料とすると共に、実態を把握して向上改良点を見いだすためのものであった。

タンクヒーティング装置はポンピング性能を向上し、荷役時間を短縮して運航効率を向上させるために装備されるが、パイプの総長は1万メートルを越える。また毎時数十トン

の加熱用蒸気を使用する。巨大船になるとこれらが益々増大し、経済性と省エネルギーの観点から改善効果が大きいため、SR 102においてタンカーのタンクヒーティングに関する研究が行われた。基礎的な問題として従来採用されていた熱貫流率の検討から実施された。従来は油-船底（または船側外板）-海水の熱貫流率は25 Kcal/m²h°Cが使用されていたが、4 Kcal/m²h°Cまたは15 Kcal/m²h°Cであることを確認し、フレーム、スティフナーのフィン効果の確認等関連事項を解明して、実船計測で検証した。

3. タンカー巨大化に対する課題

タンカーの巨大化に対しては、船そのものの設計から試運転海域、港湾係留の問題、造船設備、建造態勢等多岐にわたる問題があった。

(1) 巨大船設計

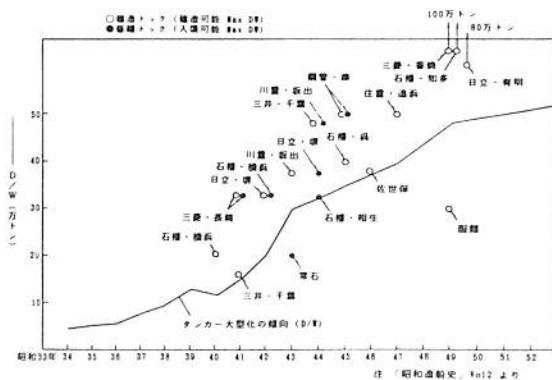
巨大タンカーの設計に関しては昭和41年度SR 302として「巨大船概略設計」続いて昭和42年度SR 304「50万トンタンカー試設計」を経て、問題点が抽出された。

(2) 試運転方法の調査

巨大船の速力試験、旋回試験及びその他の試験は従来からの試験用海面では狭隘で実施できないことが予想されたので、巨大船の試運転海面の具備すべき要件と船位、船速測定装置を検討するために電波利用による試運転用船速・船位測定装置開発に関する調査（SR 89）が行われた。その結果、試運転時の気象、海象、速力、馬力の許容計測誤差、水深、水路巾等の速力に及ぼす影響が検討され、電波利用の計測は満足できることが確認された。この調査は巨大船だけでなく、高速であるために同様の問題を包含していた高速コンテナ船の試運転にも活用された。

(3) 造船所の省力化の問題

成長期では船舶の大型化には既存の設備の改善で対処できたが、躍進期のタンカーの巨大化には新設の設備でなければ対処できなくなった。昭和40年から42年の間に20~35万重量トン用の建造ドックが5基新設され、更に新設ドックの計画が目白押しの状態であった。当時の状況を図に示す。一方労働力不足の傾向が顕著になり、年率10%



船舶大型化の傾向と建造・修繕ドックの設備推移

を超える急速な労働賃金の上昇は施設新設計画とは裏腹に深刻な問題であり、抜本的な省力化、労働環境の改善が急務であることが認識された。昭和44年度～46年度の3年間に造船所における省力化に関する調査研究（SR 110）が実施された。本研究は先ず、造船所作業の実態調査、現状分析を通じて、総合システム、設計、船殻工作、艤装工作の各部門別に作業の内容が検討され、設計部門では標準化、節労化、モジュール化、組織の4項目、船殻では足場、吊金具、曲げ加工、ブロック仕上げ、曲りブロック、平行部組立、巨大ブロックの7項目、艤装では塗装機械化、集配材、掃除機械化、管溶接、電線布設、フレキシブルパイプ、粉体塗装、居住区の8項目、総合システムでは管理情報、動力供給、自動設計、加工総合オートメーション、自動小組立、作業の地上化の6項目、合計25項目を設定し各項目について現状と将来像及びその手段を検討した。これらに対し、管理、検査、動力、設計、生産設計、加工、小組立、組立、外業、内作集配、地上艤装、船内艤装、塗装の13ステージを更に32機能に細分し、先の項目とのマトリックスで作業時間を評定し、年間生産量を4.5隻とした場合、合計で現状の1/2の人員で済む可能性のあることを示した。この研究成果は計画中の新設建造設備に部分的に活用されたことは当然であるが、建造量が低下し生産性が低下した第一次、第二次石油危機以降の生産性回復にも活用されたものと思われる。

(4) 巨大船の係船問題

巨大船は従来大型船に比較して長さ、喫水、乾舷が飛躍的に大きくなり、風圧、波浪、潮流などの外力が巨大なものとなると共に、碇泊作業に伴う微速操船、接舷、離岸などを含む広義の係船作業が極めて困難になることが予想された。昭和49年度から3年間巨大タンカーの係船システムの研究（SR 155）が実施され、これらの問題が研究された。外的条件として、日本ペルシャ湾の気象海象の調査、係船システムの現状、アンカーと把駐力、錨泊、岸壁係船作業の現状と問題点を系統的に調査し、係船作業中の流体力、船体運動等を理論計算、模型試験で確認した。70万、100万重量トンタンカーについて係船力の静的解析を行った結果、平均風速22.5m/s、潮流1.0ノットならば従来程度の係船索の大きさ、数で係船が可能であることを確認した上で、係船作業中の事故調査結果を加味した巨大船安全係船の問題点を摘出した。一方外力の変動、船体の動的応答、浅水影響等を含む動的係留力の計算プログラムを錨泊、一点ブイ係留、多点係留、ドルフィン係留の各係留形式について開発し、これらを用いて各係留方式の系統的計算を行い、その特性と設計法を解明した。70万重量トン等の超巨大船は石油危機の影響で建造されなかったが、係船を一貫

作業として体系づけたのは初めてであり、開発された各種係船方式の計算プログラムはその後の係留理論解析の基盤となった。

4. 船舶の高度集中制御方式の課題

経済性、安全性、作業環境の改善、船員不足対策等種々の問題を解決する方策として、船舶の自動化、遠隔操縦化が取り上げられ、昭和34年3月、造船技術審議会において「船舶の自動操縦化の技術的問題点並びにその対策」が検討され、翌35年2月に答申された。

この頃から造船界でも自動化の関心が高まり、当協会においても昭和35年 **SR 53**、昭和36年 **SR 54**が発足した。昭和36年末、世界初の機関部の船橋監視及び制御を実施した高速貨物船「金華山丸」が竣工し、エレクトロニクス技術の発達に支えられて自動化が一挙に現実のものとなり、年を追って自動化の要望と実現が高まった。

さらに高度な自動化を進め、その目的を達成するためには、船舶の運航全般を系統的に統合することが必要であり、昭和43年度から4年間で **SR 106**として船舶の高度集中制御方式が、また引き続き **SR 150**として衛星利用の運航システム等が研究された。

(1) 船舶の高度集中制御方式の研究

本研究はコンピュータ支援の高度集中制御を目指し、自動航法を中心とする航法システム、荷役、係船を中心とする艀装システム、タービンシステム、ディーゼルシステム及び共通課題であるコンピュータシステムの5部門で構成された。

(a) 航法システム

航行の形態を自動航行、誘導航行、指令航行に分類し、これにより具備すべき機能が異なるが、基盤としては、航路計算、自動操船、船位決定、非常制御の各機能を装備し、最適航路を設定して安全かつ短時間に船を目的地まで航行させることが可能なようにする。いずれの航行形態でも船の位置の報告装置と指令通信装置が必要であり、最終的には衝突予防システムが必要で、これが最も複雑で計算機の規模を決定するので、形態の如何にかかわらず全体システムとしての機能をもたせたものになっている。自動航法については、ロラン、デッカ、オメガ、航海衛星、対水、対地各法について検出器の検討、計算方法の検討を経て船位決定システムとしての仕様を決定している。この研究で特に重要である衝突回避航法については、危険船判定、衝突状況判定、危険船の優先判定、安全操船法の抽出、操船方向判定等の各論を回避後の問題も含めて展開した。また座礁予防システムは昭和41年度の運輸省試験研究補助金の交付をうけた「音波による巨大船用暗礁探知方式の研究」

の成果を取り入れて、直接、間接両方式が検討された。

(b) 艀装システム

本研究では、係船装置、荷役システム、火災探知と消火、無線通信の自動化が対象とされた。

係船装置は、港湾施設の不統一、不整備により、船上装置を統一する計画が出来ないこと、係船作業情報の検出、伝達機構が未開発なこと、索取作業が多種多様で機械化が困難なこと、といった状態のため、これらに適応する係船設備の適応配置の検討を経て、適応制御プログラムを開発し、その上で、船位、索張力の調整、緊急脱出を含む係船機器の集中制御方式が開発された。

荷役システムの自動制御も重点をおいて実施された課題であった。タンカー荷役の最適制御方式を開発するため、タンク底部のオイルコース、ストリップングの作業とポンプ吸引力等の問題を検討してシミュレーション・プログラムを開発し、弁の開度と流量との関連特性を求める実験により実用的な自動荷役のプログラムを作成した。これらを三峰山丸

(224.500重量トン)に適用して実船実験を行い、予期以上の良好な結果を得た。

さらに鉾石船やばら積貨物船のバラスト注排水自動制御方式、システムの異常監視機構の信頼性及び安全性の検討も行われ、関連する機器開発をうながした効果もあって、その後のタンカーの自動化と省力化とに大きく貢献した。

(c) タービンプラント

本研究はタービンプラントの監視と制御をコンピュータで行うことを目標に、そのソフトの開発と必要なセンサーの実験的研究が行われた。小人数運航に適したタービンサイクルの検討から、主要部の動特性の理論及び実験検証、ボイラ時定数並びに水位計算等を含むタービンプラント全系の動特性とタービン振動音の周波数応答の対応を調査した。その結果、振動、音響による監視、制御システムとセンサーを開発し、併せてタービン軸受焼損予防を含むタービンプラントの直接制御、スーパーバイザリー・コントロールの位置づけと保守・整備のロジックを明らかにした。この時代ではタービン船はタンカーが主であるので、タンカー機関部の集中制御の基盤を構築したといえよう。

(d) ディーゼルプラント

金華山丸以降、ディーゼルプラントの自動化は急速に進展したが、独立機器の集合であるディーゼルプラントでは、これらの自動化は各機器が運転可能な状態になった後か、運転開始後を制御するもので、最も多くの労力を要しかつ誤操作が発生しやすいスタンバイ

作業が含まれていなかった。

本研究ではスタンバイ作業を含めた全面的シーケンス制御が機関部就労体制の合理化に寄与するものと考え、これを組み込んだプラントの集中監視システムが検討された。スタンバイシーケンスの制御回路は、リレー回路とコンピュータの2方式が検討され、両方式とも十分な制御が可能であり、スタンバイシーケンス単独ならばリレー回路が簡単でよいが、これを含んだ全集中制御を考えるならばコンピュータ方式がよいこと、また、異常診断をシーケンス制御と関連させ、さらに記録装置とも結合させることにより、スタンバイ時の広範囲な自動化が容易であることを導いた。

異常状態の診断手段としては、燃焼室内圧力の監視のため圧縮圧力と掃気圧力の関係から圧縮ポリトロプ指数を計算することによってピストンリングの異常までも検知できることを見だし、これに適したセンサも検討された。これらを総合してディーゼルプラントの集中制御が可能な方式を求めた。

(e) コンピュータシステム

高度集中制御方式はプロセス・コンピュータの導入を前提にして各システムが構築されるので、マン・マシン・コミュニケーションの問題を中心としコンピュータそのものの検討が心須の要件である。本研究は船内作業のうちどれを自動化すべきか、人間の“勘”に頼っている作業の内容の分析等人間工学的な検討から、制御用コンピュータの入出力装置、船用コンピュータの環境条件、コンピュータ制御の経済性並びに信頼性等について検討し、各システムに対して個別に支援するとともに、トータルシステムの基本設計、超自動化システムの適応性、データ伝送及び関連技術、超自動化船のシステム分析、乗組員教育訓練用シミュレータ・システムに至るまでの広範囲な検討が行われた。

以上(a)~(e)の各項で検討された成果は、コンピュータによる最適制御方式として7隻の自動化船に直ちに適用され、それぞれの実航海で実験され検証された。このことは海運、造船業界での要望が高かったからこそ実現したとも言えよう。

(2) 人工衛星利用に関する課題

SR 106で艤装システムの通信関係で衛星利用の自動送受信システムが検討されたが、世界気象機関(WMO)が推進する地球大気開発計画(GARP)が具体的になると共に、国内的には台風、低気圧の影響を常時監視する必要のある我が国は国際的な責任にも積極的に対応する必要があった。一方船舶による気象、水象(気象用語)の観測結果の報告義務は、電波法、船舶職員法の改正以降漸減する傾向を示してこの対策も迫られている状況であっ

た。昭和48年度から静止気象衛星による気象情報の自動送受信システムに関する研究（SR 145）が実施された。本研究の目的は気象情報自動送受信システムの国際方式の検討，試作機の仕様決定，試作，検証であったが，気象衛星打上げ当事国間の調整を図る静止気象衛星調整会議（CGMS）の通報局（DCP）の技術，運用審議の進展にあわせ，船舶 DCP の開発を行い，昭和52年度打上げの“ひまわり”で検証され機能が確認された。

気象衛星に対処する一方，昭和47年以来政府間海事協議機関（IMCO 現 IMO）が国際海事衛星システムの研究を推進し，昭和51年度にはアメリカのマリサットが打ち上げられる計画が発表される等，従来短波，中波の無線通信で難渋していた雑音混入，使用周波数制限，電離層状態による通信不能等の問題が解消され，高品質な船舶通信と無線測位の可能性が出てきた。昭和49年度から衛星を利用した船舶の運航システム及び船上設備の研究（SR 150）が実施された。この研究では船舶の運航システムについて衛星を利用した場合を分析し，陸上集中管理並びに陸上支援システムに関し一般商船と漁船を分け，漁船については漁業無線局を含めた検討がなされた。

船上設備のうち特にアンテナ前方の船体構造物による電波の遮蔽効果を重視し，モデル実験によって許容量を求めた。総合結果の検証のためのシミュレータが試作された。

5. その他の研究課題

この期間は巨大船関連の課題が目立つが，それ以外の課題として，SR 303「コンテナ船に関する研究」，SR 105「砕氷型商船と北方航路その他に関する調査」が行われた。日本においては比較的関心の薄かった北極海を一年中継続して航海を保証するための問題点の認識のために，砕氷船と氷海航路の実態が調査された。また，昭和51年 SR 168として LNG 船の建造，運航に関する調査研究が行われ，LNG の需要見通し，所要船腹，国内 LNG 船建造の問題点，LNG 船の安全対策，LNG の冷熱特性等が調査された。

船舶のトン数は賦課される諸手数料，料金，税金の基礎となると共に，関係諸法規の適用の基礎となっている。IMCO の「遮浪甲板と他の“開放”場所の取扱い」の勧告の海運，船舶設計に及ぼす影響並びに IMCO の「世界的に用いられるトン数測度の画一方式」に対処するため，昭和39年度からトン数と船舶設計との関連に関する調査研究（SR 301）が行われ，トン数の船舶設計に及ぼす影響，船員室の控除，バラストタンクに関する調査，IMCO トン数測度の世界画一化の進展に伴う調査等が行われて国際的な対応がなされた。

第4節 防食防汚部門

船舶の巨大化、高速化が進み、コンテナ船が出現し、船舶の運航経済性は益々重要課題となってきた。世界一の造船国として、入渠間隔の延長に応ずる長期防食と、汚染海水に影響されない長期防汚の研究 (SR 75) が開始された。各種の供試塗料について塗装法、塗布量、流速影響などが検討され、電気防食の塗膜影響についても実験された。

金属の腐食と生物の付着は、いずれも自然現象であり、防食と防汚の研究には専門の知識と実船実験を必要とする。腐食は環境に左右される長期的現象であり、生物の付着は、地理的、季節的条件に影響される。実験は計画的に忍耐強く進められねばならない。船舶安全法・施行規則が改正され、入渠間隔が2年に延長され、船底塗料の性能向上と防汚力の持続に対する研究 (SR 96) は、いよいよ緊急の課題となった。船体外板の電気防食は必須の条件となり、過防食による塗膜破壊が重視され、新しい塗料用防汚剤の探求が始まった。

防汚剤はその毒性によって生物の付着を防止するが、毒性物質を用いず生物の付着を防止できる方法があれば大いに魅力的である。折から超音波洗浄法が実用段階にあり、超音波を生物付着の防止に利用する方法が研究された (SR 97)。付着生物 (フジツボなど) を飼育して行う基礎実験において、超音波は防汚に有効であるが、実船を対象とする実験では、超音波の塗膜表面における減衰が大きく、工作技術上克服すべき幾つかの難関のあることが指摘された。

船内において海水系の諸管装置に生ずる腐食事故は常に最も重視される。大口径荷油管の腐食対策の研究 (SR 115) においては、諸管系の腐食状況を調査し、原因を追及して腐食防止対策を検討することが試みられた。一般に海水管の腐食は水平部に多く発生し、局部腐食は管内下部に発生しやすい。解放検査時に、管の位置を上下換装すれば寿命延長に役立つ。クロームを添加した低合金鋼管の腐食は少ないが、接続したSS鋼管の腐食を増大する危険があることなどが指摘された。各種の実船実験が精力的に実施されたが、海水管の使用環境は多様であり、実験結果の解析に長時間を要するなどの困難を克服する必要があった。

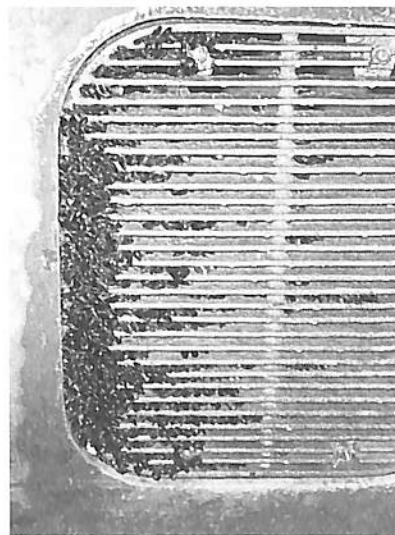
環境汚染による影響は社会的問題となり、造船所においても塗装作業環境の改善が重視されるようになった。船体塗装法の開発が研究の対象となり (SR 139)、船舶の建造中、

修理中の塗装作業において、塗料微粒子の飛散状況が調査されたほか飛散防止対策が検討され、塗膜硬化の促進、塗装期間の短縮が検討された。また塗装前のサンドブラスト処理の有効性が実証され、塗料の防食性能と下地処理グレードの関係が明確にされた。

工業生産が飛躍的に伸び、エネルギー資源の輸入はいよいよ重要となった。タンカーは巨大となり、往航中のバラストタンクの海水腐食対策が見直された。バラストタンクに多発する異常腐食の原因を調査し、最適の防食法がSR 140で研究された。腐食の原因は、海水の性状、温度条件、応力影響等が複雑に作用する。防食法として、イナートガス（タンク防爆用に用いられる排ガス）の洗浄海水（スクラバ海水）をバラスト海水に混合し、海水中の溶存酸素量を低くして、タンクの腐食を軽減する方法が提案された。またタンク表面の防食塗装は、下地処理を良好に行い、無機ジンクプライマとタールエポキシ塗料の組み合わせが最良であり、電気防食の併用は最も有効であると報告された結果、この方法は海洋構造物の重防食塗装の標準となった。

環境汚染の防止は世界的規模で重視されるようになり、作業環境の浄化が要望され、船底塗装は長寿命化と同時に安全性が重視されるようになった。生物付着の抑制力を高めるには、毒性の大きい防汚剤を使用することになりやすいが、その結果、塗装作業時における作業者の安全が害される。我が国においては過去における経験をふまえ、毒性に問題がある防汚剤の使用を自主的に制限してきたが、世界的造船競争の場において、一層安全性の高い長期防汚塗料の開発が要望された。かくして海運、造船、塗料業界の関係者が総力を挙げてSR 141でこの課題に取り組むことになった。

付着生物に関する基礎的研究、全国港湾における付着生物調査、安全性に対する医学的研究、防汚塗料の急性毒性及び慢性毒性の動物実験が実施され、船底塗料の開発に大いに貢献した。農薬メーカーから提供された100種以上の薬物は、新しく開発された生物検定法（アルテミア法、クロレラ法）によって選択され、塗料化実験、浸漬実験を経てロータリー溶出試験、実船実験を重ね、更に動物実験による安全性試験が実施



SR141 安全性の高い長期防汚塗料の開発に関する研究 青函連絡船の主海水吸込口の汚損（ムラサキガイ、フジツボ）

された。優秀防汚剤として選択された薬物は、当時使用を自主制限していたTBTO（トリブチル錫・オキサイド）と同程度の防汚性能を持つ有機錫系の化合物が主であった。これらの有機錫化合物は銅化合物に比べ、船側水線部に多い海藻の付着防止に優れた効果を示し、急性毒性もそれほど高くなかった。かくして船底塗料の大部分は、有機錫化合物と合成樹脂とのポリマーに銅化合物を併用した自己研磨型（セルフポリッシング）塗料となった。一面においてTBTOを含む塗料は、急速に発展しつつあった養殖魚場用の魚網防汚に使用されることとなり、魚類汚染を含む環境影響が重要問題となった。特に毒性物質の分解性、残留性、発癌性が問題とされ、TBTOにつづきその他の有機錫系防汚剤（TPT系、TBT系化合物）の使用も制限されることになった。

SR 141部会の発足と同時に、国際的防食・防汚研究グループ（OECD-COIPM：パリ）に参加し、情報の交換、資料の収集に努めた。その後、毎年開かれる総会には委員を派遣し、防食・防汚に関する国際的研究に大きく貢献することになった。

船舶においては諸管系統の工事費は多額であり、軽減策の研究が必要となった。特に海水系諸装置の腐食対策が重視され、諸管材料の腐食性について調査研究（SR 146）が実施された。基礎実験、アンケート実態調査、新造船追跡調査が行われ、腐食損傷の80%が海水系諸管に発生し、溶接部の局部腐食が事故の大部分をなすことが指摘された。

省エネルギーと共に環境汚染の軽減は世界的要望である。塗料中に含まれる溶剤の放出は、大気を汚染する恐れがある。かくして公害の恐れがない新船舶用塗料の研究（SR 165）が始まった。炭化水素の光化学反応性が検討され、非光学反応性溶剤を使用する塗料の開発、溶剤の使用量を軽減する対策が研究された。コールタール規制に対しては、低タール、ノンタール塗料が研究され、クロム対策としてショッププライマーの検討がなされた。

SR 研究で船舶の防食と防汚に関する研究を始めてから25年を経過し、我が国は世界の造船界、海運界をリードする位置に立った。塗装前の下地処理法、塗料の性能向上、塗装法の改良、防食技術の改善と実施は、船舶の腐食損傷を軽減し、安全性が高く、長期間生物付着を防止する優れた船底塗料の開発は、船舶の運行経済性を高めることに貢献した。防食・防汚に関する研究は永遠の課題であり、研究の終点は研究の成果と共に前進する。この研究は地味ではあるが、躍進期から整理期へと粘り強く続いて行く。

第5節 機関動力補機部門

1. 全般的な研究の動向

昭和37年を境とした躍進期においては、我が国の造船工業は飛躍的な発展の道を邁進することになる。その結果船舶の特に油タンカーの大型化、貨物船特にコンテナ船の躍進に伴う大型化と高速化等が、あたかもその上限が無いかのように進展していった。この時期の機関部門、特に主機関の軌跡を見ると、船体の大型化或は高速化の要望を満たすためにディーゼル機関または蒸気タービン機関の一機当りの出力が逐次、且つ急速に増大していった。このため各機関メーカーは高出力化に対して技術面で互にしのぎを削りつつ多くの努力が払われ、また行政当局も高出力化を積極的に助長する施策を押し進めた。一方主機関の高出力化に伴って動力伝達系もかつて無い高いトルクを伝達する必要に迫られて、プロペラの巨大化と軸系の大径化、或は船尾軸受のリグナムバイタからホワイトメタル軸受への移行が進んだ。

主機関、特に大形2サイクルディーゼル機関の大出力化は、シリンダー径を増し、かつ出力率をより高くすることによって達成されていった。その結果ディーゼル機関の熱負荷がこれまでになく高くなってきたために、触火部位の諸構成要素に主として材料強度面からの損傷が多発するようになった。また軸系ではプロペラ及びプロペラ軸の重量が増大したために、軸受特に船尾軸受のメタル損傷、プロペラ圧入部の損傷、オイルシールの不具合等の諸問題が生じた。その他、船の大型化と軸馬力の増大が船尾部の船体振動を大きくするという問題も生じた。

このように大出力化に伴って派生した諸問題は各メーカーに共通する技術的難問という性格が強かったため、SR研究の場での産官学共同の調査研究が有効に機能して、多くの成果を挙げることができた。これらの成果は直接的にまた間接的に生産技術に還元されて、造機技術の進展に多くの寄与があったことはいうまでもない。

一方蒸気タービン主機関に関しては、ディーゼル機関を上廻るテンポで大出力化が進んだが、蒸気タービン機関自体の技術的検討は、当協会の共同研究という場には特に採り上げられることは無かった。しかしタービン船の後進の問題、ボイラ外部汚れ問題あるいはプラント管系の設計の電算化の試み等が実施された。

機関の大出力化の一方で、機関の自動化、機関部の省力化、無人化が大きな技術の流れ

として注目された。これには機関の信頼性の向上が裏腹の関係にあるが、この分野の調査研究が躍進期の比較的早い時期に幾つかの課題に対して実施された。

その他燃料経済の観点から原油燃焼が、ボイラ、ディーゼル機関のそれぞれについて試みられた。海洋汚染防止の国際規制に関連して、機関室ビルジ用油水分離装置に関する研究が初期に実施されたが、この種の公害防止に関する研究は、対応機関が整理されたこともあって以後直接的にはSRでは実施されなくなった。

以上の諸研究を内容によって分けし、若干の技術変遷の事情を加味して以下に述べてみる。

2. 機関部の自動化及び省力化に関連する調査研究

昭和30年代に入って船舶の自動化、特に機関部自動化が技術発展の当然の流れとして注目され、特に行政面からの強い指導もあって技術開発が促進された。その結果30年代後半に至って自動化はより具体化し、特に世界初の航洋自動化貨物船の金華山丸が昭和36年に就航するに及んで、商船の自動化、更には進んで機関室無人化が、以後の船舶の技術動向の大きな流れの一つになっていった。

このような技術の動向のもとで、当協会では昭和35年度よりディーゼル船の遠隔操縦及び自動制御に関する研究（SR 53）及び36年度に船用蒸気タービン抽気弁の自動化に関する研究（SR 54）が採り上げられてきた。躍進期に入ってから昭和40年頃までの間に数多くのテーマの調査研究が実施されたが、ほぼ年代順に見ると以下のようなになる。

まずボイラに関連した課題としてはSR 57の船用ボイラの水処理の自動制御に関する研究及びSR 66の船用ボイラの給水処理の自動制御に関する研究が実施された。これは船用ボイラの運転管理面で重要な行為であるところのボイラ水管理及びボイラ給水処理の両者を自動化しようとする試みである。両者とも試験用自動制御装置を製作して、実際のボイラに装着して工場テストを実施した。いずれも水分析と最適の試薬注入を行わせるものであるが、実用に向けての多くの問題点を指摘することができた。

船用蒸気タービンの自動化の一端として補機タービンの自動化が考えられるが、このためにSR 67の船用補機タービンのプログラム方式による遠隔操縦並びに自動化の研究が実施された。機側において手動で操作していた補機タービンの発停操作をプログラム方式で自動的に実行しようとするものである。試作したプログラム操作装置で陸上及び実船での試験を経て、良好な作動を確認すると共に、最適な作動条件に対する知見を得た。

以下は何れもディーゼル機関を対象にした自動化関連の調査研究であるが、まず **SR 71** ディーゼル主機冷却水による清水発生装置の自動化遠隔操作に関する研究がある。これは従来比較的頻繁に実施される起動停止、また監視、調節に多くの労力と熟練を必要としていた清水発生装置を自動化して、遠隔操作を可能にさせるための研究である。装置を試作し、工場運転によって作動の有効性を確認した。また多くの問題点が指摘され、今後の実用化に対する資料が得られた。

SR 78のディーゼル機関潤滑油の化学洗浄方式の自動化の研究はディーゼル機関の潤滑油管理の一方式として注目されている化学洗浄方式を、いたずらに人手を煩わすことなく自動化しようとするものである。このため自動洗浄模型装置を試作して作動させ、自動化が比較的容易に可能なことを確かめるとともに、実用化に向けての問題点の指摘を行った。

これまでに建造された船舶を改装して、自動化を導入することによって経済効果を追及するという方策が考えられるが、在来船の経済性向上（自動化改装）に関する調査研究（**SR 82**）において、これの詳細な検討が加えられた。対象とする船を昭和30年から5年間に建造されたニューヨーク航路定期貨物船に限って、種々の条件での改装費、乗組員削減の程度、採算性等が試算された。その結果採算性の改善の面は必ずしも満足される程ではないが、乗組員の削減がより優先される事情のもとでは、この種の自動化改装が有意性を持つとの結論を得た。

機関室の夜間勤務廃止は世界的に全くの常識となったが、その第一船が就航したのは昭和39年でデンマーク船であった。そこでSR研究においてもこの問題が種々検討されたが、その一つは **SR 70**の多基一軸機関を有するディーゼル船の機関部無人運転に関する研究（昭和38年度）である。これは完全な機関室無人化の前段階として、制御がめんどうな2機1軸ディーゼル主機関で機側に人を置かず遠隔操縦しようとするものである。1台のガバナーで2基の機関を同時に制御する方式で、必要な各種の機器を製作して、工場運転と実船搭載試験で実用性の確認を行った。耐久性に未確認の面はあったものの遠隔操縦は十分機能することが確認された。しかし万一の異常を早期に発見する手段等については未解決の課題となった。

船舶における夜間勤務廃止に関する調査（**SR 86**）は機関室の完全無人化へ一歩前進したかたちの機関室夜間勤務廃止に注目し、可能な限りの問題点を採り上げて調査研究したものである。その結果自動化のための設備機器の投入と同時に、これら機器の故障事故を極力少なくするための方策、事故の際の機関部の責任の所在の明確化等の対策の必要性が

指摘された。さらには問題解明のための実船試験を含む総合研究の推進の提言がなされた。

機関室の夜間無人化はその後関係者の間で実現への努力が続けられ、昭和44年に至りNK-M0規格が制定されて、航洋船ではほとんどの船がM0規格を取得するに至っている。

機関室の自動化には万一の異常の早期発見が常に問題点として指適されるが、これは省力化あるいは信頼性、稼働率の向上等の見地からも要求度は高い。そこでSR158では音響、振動解析による船用ディーゼル機関の機械的異常診断法に関する研究（昭和50～52年度）が実施された。これは初期の異常検知が一般には困難とされている機械的異常を、音響または振動によって事前に検知しようとするものである。その困難性は予想されていたものの、あえて挑戦したということもあって、意欲的な取組で調査研究は実施された。その結果、機械的異常が予測される各機器要素から検出される振動波形を周波数解析することによって、歯車の欠損、吸排気弁のガス洩れ、弁の作動異常等は、何らかの異常判別が不可能では無いことが認識された。しかし重大事故につながるクランク軸、シリンダライナ摺動部等の異常については基本的には検知が極めて困難なことが認識された。

米国で生まれた信頼性工学は船舶の稼働率の向上の手法とするために1960年代の初期に我が国に導入された。この手法により、船舶の自動化にとって欠くべからざる要件となる信頼性の向上を目指して昭和40年度に現装機器の信頼性に関する調査研究（SR85）が開始された。本研究では5年間にわたって我が国海運界の代表的船舶から現装機器の故障整備に関する情報を集めたデータベースを作成し、信頼性工学の観点からの把握に耐えるような基礎的作業を達成した。この結果はカード化資料にされ、海運界の船舶稼働率向上、機器の信頼性向上等に対する貴重な資料として活用されるに至った。本研究による信頼性調査のノウハウが、後に昭和57年から開始され国際的にも知られている船舶信頼性データベース“SRIC”を生み出す母体となったといえよう。

自動化にも多分に関連のある計測器の観点からエンジン出力計の研究（SR60）が実施されている。これは以前に実施されたSR53の内容を引き継いだものであるが、ディーゼル主機関の軸馬力、指示平均有効圧力（Pmi）の遠隔測定の様式を開発しようとするもので、それぞれの検出要素の開発改良を各メーカーと共同して実施した。その結果、実験室実験、工場運転及び実船試験を経て、実用上十分な信頼性を持った機器の開発を達成することができた。

同じく計測に関連する調査研究として、中間軸の横弾性係数に関する研究（SR117）が行われている。船の振り振動計測あるいは軸馬力（軸トルク）の計測では、中間軸の振り

歪または角度を検出してトルク値に換算する方法が一般にとられている。その際に使用される軸材の横弾性係数はトルク値に直接影響を及ぼす数値であるが、その都度実測することも困難であり、一般に $8.31 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ が使用されてきた。しかし若干の疑問があるということで、工場内で軸を実際に振って実測する方法と、超音波を利用して実測する方法によって多数の中間軸の横弾性係数を測定してみた。その結果、振り試験では $8.383 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ 、超音波による方法では $8.365 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ という値が得られた。従って在来の慣用していた数値は必ずしも妥当では無いことが実証された。

3. 原油生焚きに関する研究

原油を輸送する油タンカーの主機燃料に原油を直接利用すれば、燃料費の面から運航経済性を高める効果が期待できる、という発想からこの問題の検討が行われた。

昭和37年及び38年度に船用ボイラにおける原油燃焼に関する研究 (SR 58, 65) でタービン船のボイラの原油生焚が検討された。その結果、C重油用バーナーはそのまま使用が可能で、噴燃ポンプにはねじ式ポンプが適当し、また原油の引火点を上昇させるための蒸留塔を設けること等によって、安全面からも特に問題はないとの結論を得た。

一方ディーゼル主機関タンカー対策としてはSR 69の原油燃焼に関する研究 (ディーゼル機関) が設けられた。ディーゼル機関では原油運転による機関の運転性能の実情の把握、燃料前処理の油清浄機を通した時の問題、その他爆発に対する安全対策等を検討した。その結果は在来の装置をあまり変更することなく原油生焚は可能との見通しを得た。

原油生焚は、ボイラにせよディーゼル機関にせよ原則的には特に問題は無いのもの、荷主の慣習、法規上の問題、安全対策の問題等がつきまとう。原油価格は中近東諸国の石油国有化政策の影響を受けて昭和45年頃より次第に上昇の気運にあったので、燃料需給はこの頃から検討課題となっていた。そこで昭和45年度には日本船主協会の中に原油生焚の研究會が設けられ、諸規則との関連性等が検討された。しかし商船における原油生焚は安全性の面の確信が持てぬまま実現することは無かった。

4. 蒸気タービン機関に関連する研究

躍進期においては、船舶の巨大化、高速化が急速に進んだ関係で、主機一機当りの出力が3万馬力を超えようとする気運にあったので、大出力蒸気タービン機関と、2サイクル低速ディーゼル機関が互にその優劣を競い合う状況にあった。従ってタービン機関は高出

力化と燃費の向上にむけて、減速歯車の大型高能率化、タービン翼の振動防止、或は再熱サイクルの導入等の技術開発の諸問題が山積していた。しかし製造メーカーに限られることもあって、これらの技術問題が当協会場で共同研究に採り上げられることは無かった。従ってタービン船関係としては後進力の問題とボイラが関連する若干のテーマが調査研究の対象になった。

タービン抽気弁の自動化、ボイラ缶水または給水の水処理の自動化、あるいは補機タービンの自動化は既にふれた通りである。その他の項目としては、以下の課題が採り上げられた。

SR 72はタービン船の後進力に関する調査研究である。タービン船の後進は当時としてはタービンに組込まれた専用の後進タービンを駆動することによって目的が達成されたが、後進タービンの設定容量をめぐって屢々問題視された。この問題はSR 9（昭和28、29年度）において一度採り上げられたが、1960年海上人命安全条約会議において船の後進力の重要性が認識され、その調査研究が勧告されたのを機に再度検討が加えられることになった。また同時に巨大化した船の港あるいは沿海域での操作の安全性の面から、後進の運動性能をよりの確に解明しておく必要に迫られたのも調査研究の理由である。

具体的にはタービタンカー4隻、ディーゼルトンカー1隻、ディーゼル貨物船1隻及びタービン練習船の計8隻について、それぞれ定められた操作方式による急速後進をかけた時の過渡状況を実船計測した。一方、プロペラの単独性能試験成績と実測のトルクとスラストの関係が近似していることが明らかにされたことから、プロペラ単独性能から導き出されるスラスト値を使用して後進の運動解析が可能なが確認された。このような実測または換算スラスト値を用いて、船体運動方程式からHead Reachを求めると、航跡の弯曲が甚だしく無い時はこの算定値は実測値とよく合う結果が得られた。以上の成果から、タービン船でもディーゼル船でも、後進操作と船体停止に至る運動との関係が明らかにされて、操船面あるいは設計面に対して貴重なデータを提示することになった。

SR 92のボイラ外部汚れに関する基礎調査では、ディーゼル船の排ガスエコノマイザも含めて、ボイラの外部汚れの総合的な調査研究が行われた。ボイラの高圧化が進むと同時に使用燃料が益々低質化したこともあって、外部汚れが問題になってきた。そこで実機ボイラの陸上及び実船での試験、更には模型装置による汚れの調査、スーツブロー実験装置による作動試験等が実施された。これらの広範な調査研究の結果、これまでは関係者の経験的技術で対応していた分野に一般的な知見が得られた。特にスーツブロー技術

の面では大きな前進がみられた。

SR 103の高圧ボイラに対する給水及びボイラ水処理基準の研究は当時の船用ボイラの給水及びボイラ水の処理が事業所ごとの独自の方法によっていたのに対して、統一基準の作成を目指しての調査研究である。アンケート調査により実態調査を行い、現状の確認と評価を行ったものの、統一基準の提示までには至らなかった。

SR 148のタービン船機関部自動設計法に関する研究（昭和48、49年度）はタービン船自体の調査研究ではないが、「造船所のアンマンド化の研究」に関連するところの、設計作業の効率化、電算化による省力化の調査研究である。これはSR 110の内容を引き継ぐかっこうになったが、各造船所の艤装設計担当者が共同して、配管装置図の設計の機械化、自動設計法が研究された。その結果自動設計の実用化に向けての基礎的なプログラムを完成させることができたが、その先は各造船所での発展が期待された。

5. ディーゼル機関に関連する研究

躍進期の船舶の巨大化及び高速化に応えるために、2サイクル低速ディーゼル機関の高出力化は、シリンダの大型化と出力率の増大で進められた。昭和40年頃には1シリンダ当りの出力は2,500馬力を超える情勢で、昭和43年にはシリンダ当り4,000馬力が生産されるに至った。一方、欧州では5,000馬力を試作中との情報もあった。

しかし我が国の大形2サイクル機関は三菱重工のUE型を除いて、何れも欧州系エンジンメーカーのライセンスとして製作されてきた関係で、機関性能に関連する技術の面では、SR研究の場での共同研究を進める事情にはなかった。しかし急速に大型高出力化する機関の強度的安全性を含む広義の生産技術の面では、各機関製造メーカーの共通の問題が山積していた。そこで昭和41年度から53年度の間、2サイクルディーゼル機関の大型化と高出力化に伴う諸問題の調査研究がSR研究の場で意欲的に進められることになったが、その内訳は以下のようである。

当時のディーゼル機関の大型化は、まもなくシリンダ径が1mを越える大勢にあったが、そのような大型機関の生産技術に対しては未だ十分な基礎研究がなされてはいない状態であった。そこでSR 100の巨大船のディーゼル機関に関する基礎研究（昭和41～44年度）が設けられ、大型ディーゼル機関メーカーの各社で項目別に分担した共同研究を進めることになった。

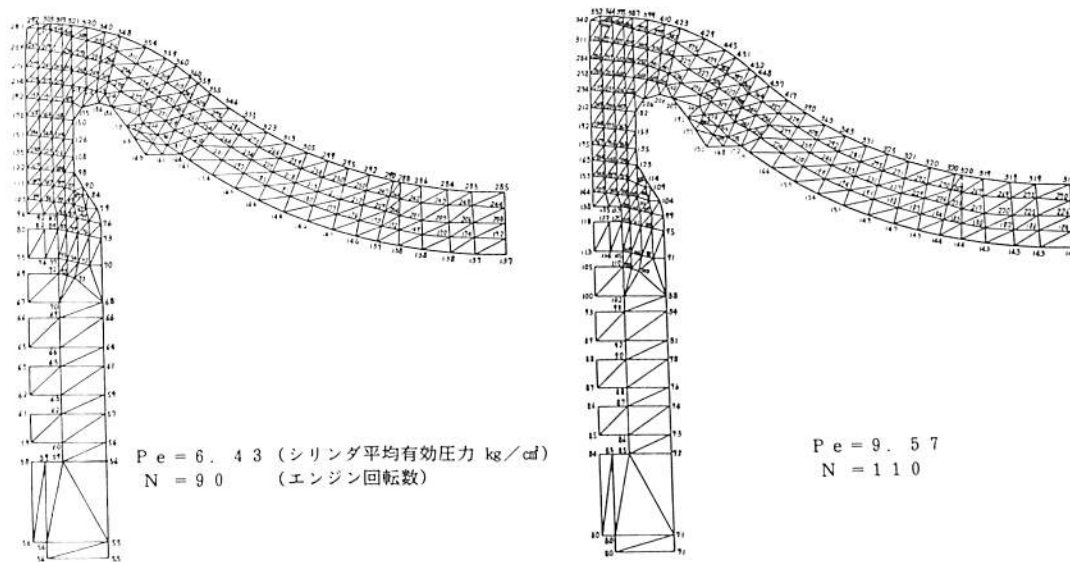
SR 100の内訳はまずこの種の超大型機関の可能性に総合的な検討を加えることを始め

として、ピストンクラウンの過渡熱応力の解析、燃焼室壁部材の耐熱疲労、排気弁、機関
 架構及びクランク軸の強度等、広範な問題点の基礎的調査研究が行われた。これによりそ
 れぞれ今後の生産技術に反映させる有効な資料を得ることができた。

機関の大型化はその後急速に進んで昭和43年には相次いでシリンダ径が1 m を超えるも
 のが完成しはじめると共に、他の機関でも出力率はさらに上昇した。このように機関の大
 型化と熱負荷の増大は、触火部位の構成部材が熱及び機械的負荷に耐え切れずに、相次い
 で損傷が発生するという事態をまねいた。この事情は各メーカーにはほぼ共通した悩みとい
 うことで、昭和44年度から船用ディーゼル機関の故障防止対策に関する研究 (SR 113) と
 して共同研究が発足した。この問題の調査研究はその後昭和53年度まで10年間続くことにな
 った。

SR 113では燃焼室壁部材の損傷は本質的には高温下の繰返荷重による疲労破壊である
 ところから、機関部材用材料に対する各種重畳荷重で温度条件も加味した疲労試験を実施
 して、設計に反映させる強度資料を求めた。また同時に燃焼室壁部材の熱負荷の経年変化
 を考慮することによって、熱負荷の電算機シミュレーションの開発も行った。

引き続き昭和47年度から燃焼室壁部材の強度設計法に関する研究 (SR 136) が実施さ
 れたが、これは SR 113の延長として実施されたものに他ならない。燃焼室壁部材に対して、



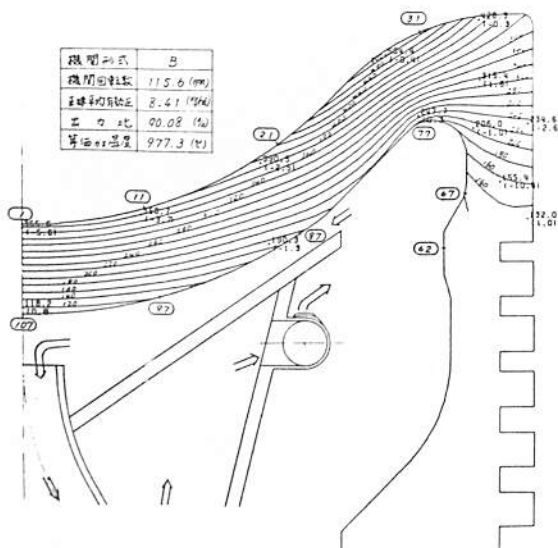
SR100 ピストンクラウンの熱負荷解析のため、実測データから有限要素熱平衡法で求めた温度分布

それまでとは異った条件の重畳疲労試験，熱疲労試験，実働波疲労試験により疲労破壊強度を求めると共に，触火面のクリープ強度，排気弁の焼損現象の解明等，損傷防止に向けた多様な項目の調査研究を実施した。

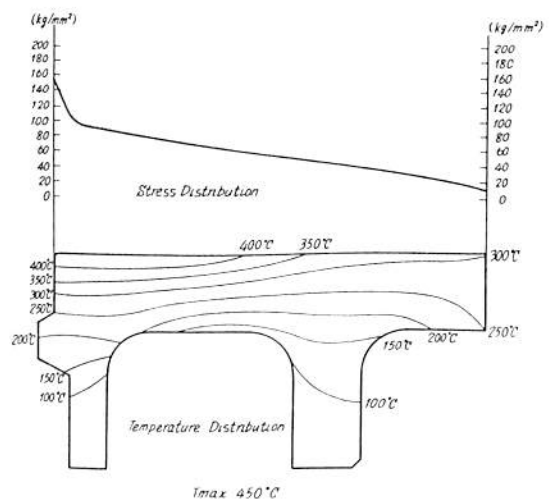
さらにSR 136の延長研究としてSR 164船用ディーゼル機関燃焼室及びその周辺の信頼性向上に関する研究が昭和51年度から発足したがこの中で燃焼室壁周辺部材の各種条件下の疲労試験が引き続き分担して実施された。特に今回は冷却水，インヒビター及び高温ガス雰囲気に関与する腐食疲労に注目して，各種荷重のもとでの腐食疲労試験を行い，強度上の有用な知見を得た。一方これとは別にシリンダライナの潤滑性能向上を意図した模型実験と油膜厚さの推定計算が行われて，潤滑設計法を進めるための試みがなされた。

以上の調査研究は主として触火部位のシリンダカバー，ピストンクラウン等の損傷を疲労強度の面から解明しようとしたもので，材料強度面での多くの資料が提示された。これに対して同じく触火部にある排気弁及び燃料弁にも不具合が続出する事情にあった。しかもこれは機関室無人化，長期無開放等に直接影響を及ぼす重要事項であるため，特にこの両弁についての調査研究が実施された。

船用ディーゼル機関排気弁燃料弁の耐久性向上に関する研究（SR 122）ではSR 113の中で計画された排気弁の試験のための専用実験装置を製作してその耐久性の研究を行った。またこれと同時に改良設計の燃料弁の実用試験，動弁機構の計算によるシミュレーション



SR113 燃焼室壁部材の温度測定値から求めた温度分布



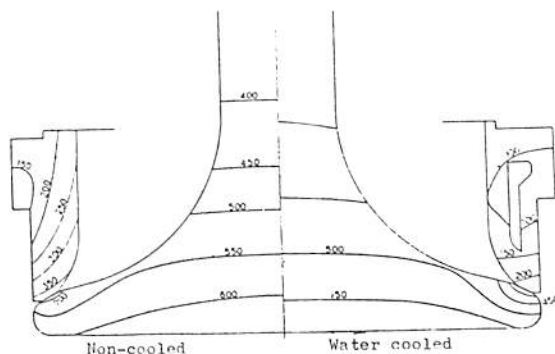
SR136 シリンダカバー模型を用いた温度分布と熱応力分布の有限要素法による解析結果

手法の研究等が実施された。以上の諸研究は SR 137の船用ディーゼル機関排気弁の吹抜け防止及び燃料弁の長期無開放化に関する研究に実質的に引き継がれた。この研究では排気弁の実験装置による耐久性向上の試験が続行されて、多くの基礎的な資料を得ることができた。また同時に新たに試作された油冷却式及び水冷却式の燃料弁について実船試験も含んだ耐久性向上の試みがなされてその有効性が実証された。

以上の触火部材の材料強度面の諸研究と、燃料弁、排気弁の耐久性向上の諸研究の成果によって、機関の熱負荷の増加とともに続発したシリンダ頂部周辺の不具合は、その後着実に改善されていった。

これまでの調査研究は何れも2サイクル低速ディーゼル機関に関するものであるが、中小形4サイクル機関を対象としては SR 76の低質油燃焼（4サイクル・ディーゼル機関）に関する研究（昭和39年度）が実施されている。これは2サイクル低速機関で使用される燃料が益々低質化するのに対抗して、従来はその使用が困難とされてきた4サイクル・トラックピストン機関に対してもあえて低質油の使用の道を開くべく試みられた研究である。低質油燃焼を意図した構造、燃料潤滑油の管理手段等を予め準備製作した単筒試験機関によって、各種低質油による性能試験を行った。特にレッドウッド1,200秒のC重油を使った1,300時間の耐久試験にも特に問題がなかったことから、本試験研究の成果として低質油使用機関に必要な諸装置の設置条件等を把握することができた。

同じく4サイクル中小形機関を対象にした調査研究に、排気ターボ高過給船用中小形ディーゼル機関の性能シミュレーションの研究（SR 130）がある。これは当時進んだ手法として一部で進められていたコンピュータによる機関性能シミュレーションの技法を、中小形機関を対象に開発して、高過給の分野へ進出する中小形機関メーカーにおいても容易に使用できる状態にしようとするものであった。調査研究は昭和46年度から3年間にわたって進められたが、実験機の運転成績に基づいて必要な諸元をその都度加えて性能シミュレーションプログラムを開発していった。その成果は実用機関に適用可能なことを確認するまでに至った。また本プログラムを使用する際の留意事項の整理



SR137 排気弁及び弁座の温度分布（測温結果をもとに解析）

も行った。

コンピュータによる機関性能シミュレーションの研究は、次は2サイクル大形低速機関の分野へと広げることになって、船用ディーゼル機関の排気脈動及びガス流れに関する研究 (SR 162) が SR 130の後を受けて実施された。調査研究の内訳は2サイクル機関の排気脈動シミュレーション、2サイクル機関のガス流れ及び4サイクル機関の排気脈動シミュレーションである。研究の結果、排気脈動シミュレーションと、シリンダ内PV線図と排気脈動との関係を解明できるシミュレーションを完成させた。また大形の実験装置を使って、排気の流れを解明することができた。4サイクル機関の排気脈動に関しても、開発した総合性能シミュレーションプログラムが動圧過給4サイクル機関の排気脈動現象の予測に役立つことが分った。

6. 船尾軸系に関連する研究

中間軸、プロペラ軸、船尾軸受で代表される船尾軸系は、主機関動力をプロペラへ伝達する重要部位を占めるが、特にプロペラ軸及び船尾軸受は常時監視が不可能な水線下にあるため、高度の信頼性が要求される。しかしプロペラ軸の亀裂発生あるいは折損に至る損傷が屢々経験されてきた。そこでこのような損傷の防止策を研究するために SR 77でプロペラ軸の強度に関する研究が行われた。この中で大形回転曲げ疲労試験によりプロペラ押ばめ部に注目した疲労試験が実施された。その結果 $\pm 4 \text{ kg/mm}^2$ 程度の曲げ応力で押ばめ部に微小亀裂が生じ、 $\pm 9 \text{ kg/mm}^2$ 程度で亀裂が進展して折損に至ることが明らかにされた。その他高周波焼入れやロール加工で軸疲労強度を上げる試み、プロペラ軸曲げ応力の実態を明らかにさせるための実船計測と理論解析が実施された。これらの成果はプロペラ軸折損防止に関する貴重な知見となり、以後の検査業務面も含め、軸の安全確保に対して有益な寄与があった。

船の大型化と主機関出力の増大は、上記プロペラ軸の他に船尾管軸受にも多くの問題を発生させた。すなわち昭和30年代後半に至り、プロペラ軸径が600mm前後になった時、リグナムバイタ船尾管軸受に異常急速摩耗や、プロペラ軸スリーブの腐食潰食が多発するようになった。そこで SR 93の船尾管軸受に関する調査研究が開始された。本調査研究では在来型水潤滑式リグナムバイタ船尾管軸受に対する損傷発生の実態を調査すると共に、船尾管軸受の模型実験、スリーブ材と軸受材またはグラウンドパッキン用パッキン材との適合性に関する実験等を行った。これによって水潤滑式船尾管軸受の本質が明らかにされる

と共に、当面の問題点の対応策が明示された。その他関連する多くの基礎資料が得られて、その後の水潤滑式船尾管軸受のあり方、方向性が明らかにされたといえる。

上記のようにプロペラ軸の大径化に伴い水潤滑式船尾管軸受に異常が多発したが、それと前後して船尾管軸受は油潤滑式ホワイトメタル軸受へ急速に移行していった。しかし十分な基礎資料の無いまま、一挙に大径のホワイトメタル軸受を採用した結果、メタルの焼損、あるいはシールの油漏れ等のトラブルが多発する事態になった。そこで **SR 93** に引き続いて推進軸系の設計条件に関する研究 (**SR 114**) により油潤滑式船尾管軸受の諸問題の解明が行われた。本研究においては軸受試験機を製作して、各種荷重のもとでのホワイトメタル船尾管軸受の軸受特性の把握が行われた。また船尾管軸受面の長手方向に均等な荷重を掛けるような、推進軸系の最適アライメントが設定できる普遍的な設計条件式の誘導がなされた。なお新規な軸受の試みとしてカーボン複合材の油潤滑軸受への適用性を調べる模型実験も実施された。これらの調査研究の結果、大型船の軸系設計が顕著に改善され、ホワイトメタル船尾管軸受の信頼性向上に大いに寄与するところがあった。

油タンカーの巨大化とコンテナ船の大型高速化は昭和40年代後半に入って益々顕著になったが、昭和46年に建造された3軸の大型コンテナ船のホワイトメタル船尾管軸受に試運転時に異常温度上昇があり、多軸船の軸アライメントのあり方を再検討する必要に迫られた。そこで当時発足していた運輸省主導の「大形超高速船研究開発プロジェクト」の中に船尾構造及び軸系の研究項目を追加することになって **SR 143** の軸系アライメントの設定基準に関する研究が発足した。この研究ではプロペラが不均一伴流中を回転するために生じる変動曲げ外力、船尾構造の変形及び軸受内の油膜厚さを考えた軸の挙動等を加味した軸系アライメントの再検討がなされた。これらの成果は高速多軸船の船尾管軸受の信頼性向上に有効な資料となった。

SR 143 は3年計画で昭和50年度に一応終了したが、大型タンカーあるいは高速コンテナ船の軸系アライメント問題になお検討の余地が残されたので、引き続き多軸船の軸系設計、工作基準に関する研究 (**SR 167**) を実施した。その結果船の喫水変化が軸アライメントにかなりの影響を及ぼすことが明らかになった。更に動的アライメントの設計基準を求める試みがなされたが、統一基準を作成するまでには至らなかった。しかしこれらの調査研究の成果は、各種の船舶の軸系設計に対して極めて有効な資料を提示することになった。

7. 機関と船尾の振動防止に関する研究

昭和30年代の後半には、スーパータンカーと称する5万総トン級の油タンカーが大量に建造されたが、この頃から既に異常に大きな船体振動を生じる例が多発し始めた。油タンカーは引き続き巨大化の流れにあって、この船体振動の増大は急いで対応策を検討する必要に迫られた。しかし船体振動の起振源は主機関とプロペラにあることから、船体側と機関側が共同して検討を行う必要があった。そこで船体機関の振動防止策に関する実験研究 (SR 94) が開始され、主要造船所あるいは研究機関が共同して調査研究が進められた。船体側としては加振用大形起振機を持ち回りで、多くの実船の加振と振動計測を行い、同時に試運転時の振動計測を行った。これらの実測値を互に対比して固有振動数、局部振動等についての数値解析を進めた。一方機関側は機関台を含むディーゼル機関架構の実機及び模型の実験から振動解析を行うとともに、軸系の縦振動、振り振動等の実船計測を経て船体振動との関連を調査した。最終的には船体と機関及び軸系の各振動の相互関連を検討することによって、振動全般をより明確に把握することができた。

船体振動は極めて複雑な様相を示すので、SR 94の成果では未だ十分な解明に至らなかったことから、引き続き機関及びプロペラの起振力と船体振動の応答に関する研究 (SR 112) が実施された。ここではSR 94を踏襲して船体振動のより詳しい解析と、二重底を含めた機関架構の振動解析が進められて、相互の関連の究明が行われた。船体側、機関側ともより高次の数値解析が試みられ、船体振動の総合特性として取りまとめられて、複雑な船体振動の実態が次第に明らかにされていった。

一方その間においてISOで交通機関等の振動許容基準の統一案が提示されたこともあって、船舶の振動を人間の乗心地の面から解析する試みが当研究に採り入れられた。そのため多数の実船試験を行い、人間の振動感覚と物理量との対応性という面で効果的な資料を蓄積することができた。

巨大船以外の船の振動問題として、漁船またはカーフェリーの推進機関の著しい高馬力化に伴った船尾部構造部材の振動による損傷の問題がクローズアップされ始めた。この問題もSR 112の中で採り上げられて実船計測が実施されたが、SR 144の高馬力船の船尾構造に関する研究に引き継がれた。船尾の異常な振動の起振力が、プロペラ軸の曲げ振動に伴うベアリングフォースのかたちで解析された。多くの実船実験、模型船実験を経て、振動軽減のための船尾構造の改善策を提示するという成果を得た。

8. その他の研究課題

昭和29年に油濁防止条約が制定されて、昭和37年にその内容の一部改訂が行われたが、船舶から船外へ排出できる含油水の油分濃度は、100ppm という数値が提示された。当時我が国はこの油濁防止国際条約を批准してはいなかったが、条約に定められた機関室ビルジ用油水分離器の船舶搭載が必須の状況にあるということで、油水分離器の開発研究がSR 56「油水分離装置に関する研究」(昭和37年度)及びSR 68「油水分離装置の研究」(昭和38年度)において実施された。実船の機関室ビルジの状況の調査と、油粒造塊比重差分離式油水分離器の試作が行われた。この種の油濁防止技術に関連する研究は、その後対応機関の面で変遷があつて、SR においては以後直接実施することはなかった。

機関室内の各所で使用される熱交換器を単独に採り上げたSR 116「熱交換器の熱貫流率に関する研究」が実施されている。本研究はピストン冷却清水冷却器及び潤滑油冷却器の熱貫流率や汚れ係数の基準値を定める意図をもって、主として実験室実験による性能試験が実施された。併せて汚れの状況を把握するための実船調査も行われている。その結果ある程度限定された条件の中ではあるが熱貫流率を評価する手法の確認ができた。