

---

第 2 編 事 業

---

---

---

## 第 1 部 SR 研究40年の歴史

---

---

## 第1章 成長期（昭和27～36年度）

造研発足から10年間のいわば草創期である。戦後の造船業を復興し、戦争中の技術の遅れを取り戻し、欧米諸国の技術に追いつこうとする意欲が、最も端的に現れていた時代であろう。その代表的なものが溶接技術であり、SR研究の課題では溶接技術を主とする構造材料関係の研究が非常に多く、全体のほぼ半数を占めている。

SR研究の第1号は今や古典となっている日聖丸実験の、実船試験結果と水槽試験結果との比較研究である。産・官・学の研究者が同乗して実施した実船実験の結果を、三者で協力して解析し、それぞれが水槽試験を分担する、というSR研究の基本方針はこの時に確立されたといえる。それ以外に、その後のSR研究の方向付けに大きな影響を及ぼした多くのSR研究があり、産官学の共同による基礎的基盤的な研究姿勢が明確に打ち出されている。

全体を通じた特色として、溶接、残留応力、鋼材と脆性、変形と凹損、運航性能、防食、タービン、軸系の研究課題が目立ち、次の時期で大きな主題となる波浪中の抵抗、疲労問題、設計、工作技術などの研究はまだ規模が小さい。一方、造船技術審議会第7号の答申を受けて、既に超大型船に関連した課題が昭和32年度に3課題（SR 37～39）、翌33年度から1課題（SR 41）それぞれ着手されており、現在のVLCCとは規模が異なるとはいえ、その後の躍進期の大型化の研究の趨勢が既に芽生えている。

全般的な傾向は、構造材料溶接関係課題が27件（49%）、流体力学関係が8件（15%）、艀装関係が11件（20%）、機関動力補機関係が9件（16%）となっており、合計55件（年間平均5.5件）のSR研究が行われている。各課題の規模は他の時期のそれに較べて小さく、1件のSR研究当りの研究費は平均7,619千円（最大43,923千円、最小487千円）、実施期間は平均2.3年のため、1件当りの年間研究費は約3,300千円程度である。

## 第1節 構造材料溶接部門

### 1. 構造強度

戦後の日本造船界は船の建造法を飛躍的に進歩させ、その後の世界の造船界における指導的な地位を占めるに至ったが、その主原因の一つは溶接法の進歩であった。

その結果、船体の鉄構造は溶接構造に代わり船体建造がブロック化されて早期建造が容易となったが、船体に生ずる応力分布が鉄構造の場合と異なり思わぬ箇所に損傷が頻発した。

これらの問題に対処するために構造部門における最初の研究として、船体構造と応力分布に関する研究（SR 2）が昭和27年7月に発足した。

それまでは構造物に働いている応力を計測する装置は機械的計測器で、その取扱は極めて不便であったが、戦後、運輸技術研究所の船舶構造部で電氣的なストレインゲージが開発されて国産化され、その使用により実際の船体において応力の計測が容易となった。その結果、進水時を利用して実船で損傷の多い箇所の応力値を計測し、損傷防止の対策を立てることが可能となった。

計測された箇所は甲板室の側壁の出入口の周辺や、船橋楼または甲板室の端部、油送船（当時の表現）の船底縦通材の隔壁貫通部における応力集中部などであった。

またSR 2の研究の特徴は大型構造模型を用いた応力計測の実施であった。戦前には呉海軍工廠に大型構造物試験機があり、種々の破壊試験が行われたが、応力分布の計測は極めて困難であった。しかし上述の電氣的なストレインゲージの実現により大型構造模型の応力を計測するのが容易になり、この頃から大型模型を用いて船体応力の分布を求め、船体構造を改良する研究が盛んになった。

SR 2では新設された運輸技術研究所船舶構造部の300トン構造物試験機を用いて甲板のハッチコーナー部の二重張りにおける応力集中を計測し、有効な二重張りの形状をきめる研究が行われた。また油送船に初めて現れた波型隔壁の有効性、特に有効幅の測定を行った。これらの結果は当時の船体構造の近代化に役立った。

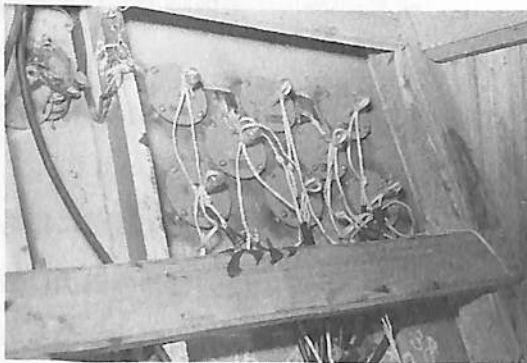
続いて行われた構造関係の研究は実船航走時の強度試験（SR 10）で、波浪中の実船に生じる応力の調査を行った。供試船は練習船北斗丸で昭和29年1月日本南方周辺海域で実験を行い、波浪、船体の動揺と船体応力の同時測定を初めて行った。

実船の航走時の強度問題はその後も船体の安全性向上のための重要な研究の一つとして続けられ、昭和30年にはSR 24がSR 10と同課題名の研究として発足し、練習船北斗丸を供試船として遠州灘及び三陸沖で船体強度に及ぼす波浪の動的影響や、スラミングによる船体応力の調査を行った。波浪外力による船体応力を明らかにする研究は、その後もSR 44が発足し、世界一周定期航路船「摂津丸」を供試船として実施された。

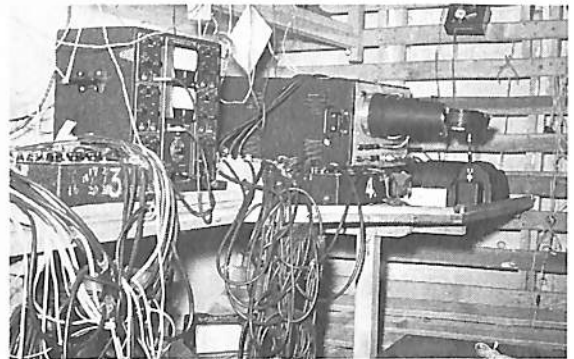
ここでは船舶が波浪中を航行するときの縦強度応力のほかに、甲板の凹入被害を起こす青波や白波の打ち込みによる水圧を長期にわたって計測し、縦強度応力の統計的分布形や、甲板荷重の異常水圧の最大値と頻度を求めた。

昭和35年には高速船の応力頻度ならびに甲板荷重の実験的研究 (SR 49) が上述のSR 44の延長として発足し、供試船として貨物船9隻、油送船2隻、冷凍船1隻の12隻について大規模な実船計測が行われた。実測は冬期北太平洋を主とし、大西洋及び南氷洋においても行われた。

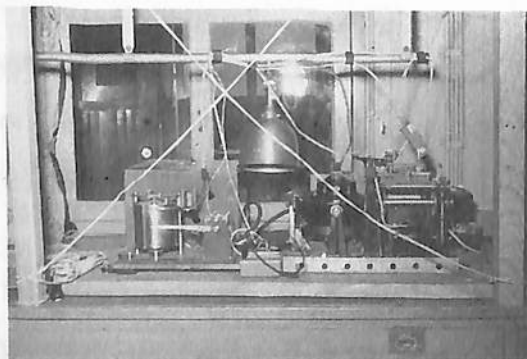
上甲板中央部の応力頻度、前部上甲板の青波による水圧頻度、及び青波水圧の任意期間中における最高値の実測を行い、各海域における応力頻度分布、青波打ち込みによる甲板



SR10 北斗丸の船側外板に取り付けた歪ゲージブ  
ロテクタ



SR10 北斗丸における歪計測装置



SR10 北斗丸における動揺計測装置



SR10 北斗丸にてスナッフ、藤田譲、安藤良夫、  
高橋幸伯の各教授 (左から) 昭和28年6月

水圧の頻度分布を明らかにした。以上の成果はその後の波浪中の船体強度の要求値に対し有効な指針を与えた。

戦後、船体の鋸構造が溶接構造に代えられたために大きな変革が生じたが、その著しい例は船体構造法が横肋骨構造から縦肋骨構造に変わったことであろう。昭和28年頃、多数の貨物船で船底外板の船底横肋骨の間に、肋骨に平行に多数の線状の腐食が生じている損傷が発見された。その原因は最初日本海事協会において調査され、その結果、船底外板と横肋骨とを隅肉溶接する際に生ずる船底外板の撓み歪（瘦せ馬）がもとで、船体縦応力により船底外板が座屈して生じる船底塗料の剥離に基づくことが判明した。

この損傷が余りにも多数の船舶に及んだので、対策としてのSR研究が継続して取り上げられ、溶接船における船底凹損事故の原因の究明とその防止法に関する研究（SR 16）として発足した。

研究の結果、船底外板の座屈強度を下げないためには瘦せ馬量は船底外板の板厚の3割程度以下の必要があることが分かり、これは実際の工作ではかなり厳しい条件となるので、溶接船における対策としては、従来の横肋骨構造よりも座屈強度の強い縦肋骨構造を採用することが有利であるとの結論をえた。その後建造された溶接船には縦肋骨構造が全面的に採用され、凹損事故や線状腐食の発生が見られなくなった。

船体構造についての調査研究には、上述のほかに上部構造の船体構造への影響に関する研究（SR 11）がある。一般に上部構造の縦強度に対する寄与度については不明な点が多く、船体設計上の問題点の一つであった。本研究では実船実験と模型実験が行われ、ブラジル丸の実船実験では甲板室はかなりの長さがあったが余り有効ではないこと、また、ローブリッジ甲板以下の船橋は主船体と一体梁とみなせることや、Bleichの理論が実際とよく合うことが分かり、その後の上部構造の設計に有益な資料を得た。

戦後の船体設計に大きな変化があったものの一つは、溶接のしやすいような船体の局部設計法を見いだしたことである。船体の溶接による変形並びに残留応力及び溶接構造法の研究（SR 12）の中に設けられた第1小委員会で溶接構造法の研究が行われた。

溶接構造は鋸構造に比べて応力の伝達がよく、効率がよい反面、剛性が大きくなって不連続部に応力集中が生じやすくなり、この防止のために溶接構造の独特な局部設計が必要となる。ここではスニップエンド、ソフトトー、スカロップ、コーナーホールなどの形状について、模型実験により応力分布と強度を調べ、最適な形状を決定し、溶接船体のクラック発生防止のための船体局部設計法を明らかにした。

当時、船用機関の出力が増大し、また気筒数も増大したために機関の起振力が大きくなり、起振力の振動数が高くなった。そのため機関の起振力の周期が船体機関室の固有振動数と同調して大きな機関室振動を起こすトラブルが見られるようになった。昭和35年、船体振動からみた機関室構造に関する研究 (SR 47) が発足し、実船においての主機関の振動と機関室各部の振動計測や、模型実験を行い、機関室の振動を最少に抑える機関室構造設計方法を見いだすことができて、その後の船体設計に活用することができた。昭和30年代には国産構造用鋼の開発が盛んで、特に構造用高張力鋼が新しく製造され、高圧力容器や橋梁、建築に用いられ始めた。

高張力鋼の高速船船体構造への応用に関する研究 (SR 46) では、50キロ級の高張力鋼を船体の一部に用いたときの船体構造の試設計を行い、経済上の見地からの有利性を検討し、さらに応力集中部への高張力鋼の使用、座屈、疲労、腐食などの問題点を明らかにした。

昭和35年にはコンテナ船の構造、強度に関する研究 (SR 48) が行われた。当時洋上の貨物輸送の合理化、特に高速輸送化が要望され、陸上では既に実用化されていたコンテナを用いた輸送を海上においても実現するために、一般貨物輸送のための専用貨物船としてコンテナ船が出現した。コンテナによる貨物輸送は港湾における荷役時間の短縮、機械化による荷役費の節減、盗難・破損などによる事故防止、包装費の減少などの多くの利点があった。

一方、この船体構造は上甲板に大きな開口を持つため、甲板部が狭くなり、横荷重や波浪による船体ねじりモーメントによる倉口の変形が大きくなる問題点が指摘されていた。研究の結果、その対策として船側を二重殻構造にする必要があるが、従来の構造では舷側にスポンソンを付ける必要があり、またクロスタイや隔壁は横荷重による変形防止に有効であることが分かり、コンテナ船の設計法が確立した。

構造強度関係の研究としては以上のほかに SR 34 「荒天における艦船の性能研究」、同じく SR 35 「縦肋骨式構造の研究」がいずれも昭和31年に発足したが、これらは防衛庁技術研究所の委託研究でありここでは省略する。

## 2. 構造材料

前に述べたように戦後の溶接技術の導入は船舶の建造技術に大きな変革をもたらしたが、またそれに伴って船体用鋼材の変革が起こった。

第二次世界大戦中に米国が大量の溶接船を急速建造したときに、これらの船に脆性破壊事故が頻発し、その原因は船体の溶接不良にあると同時に船体鋼材の材質に問題があることが明らかとなり、戦後各国において造船用鋼材の材質向上の研究が行われるようになった。我が国においても昭和25年、日本造船学会（当時は造船協会）や日本溶接協会、国内の製鋼会社、造船会社が運輸省の協力を得て鋼材研究会を組織し、造船用鋼材について広範な調査を行った。それに引き続き昭和27年にSR 3が発足し、国産造船用鋼材による溶接船体の信頼性向上に関する研究を行うことになった。

まず国産リムド鋼、セミキルド鋼、キルド鋼の低温靱性を求め、また溶接を行ったときの溶接線近傍や溶接部の靱性を求めた。さらに鋼材に冷間加工と溶接を重ねて行ったときの重畳効果を調査し、溶接部の不溶着部やアンダーカットなどの欠陥があるときの遷移温度を求めた。

鋼材の脆性破壊に関する研究は引き続いて発足した船体の溶接による変形ならびに残留応力および溶接構造法の研究（SR 12）の第3小委員会で、溶接性の工業的試験法の研究として行われ、当時世界各国で行われていた各種の切欠脆性試験を比較してこれら試験法の本質を明らかにし、国産鋼材の切欠、脆性試験を行った。

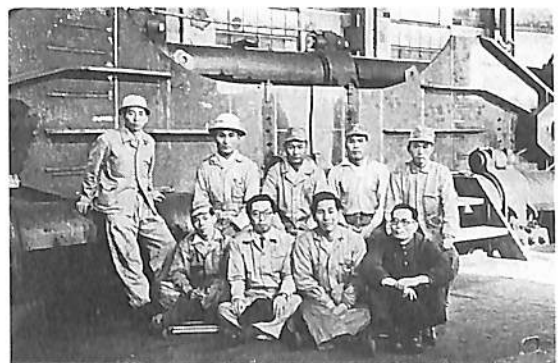
続いて切欠脆性の工業的試験法の研究（SR 19）が発足し、種々の切欠脆性試験を行い、国産鋼材は各種試験法に対し十分な切欠靱性を持つことを明らかにした。

昭和30年から発足したSR 25では、船体における破壊の伝播および防止対策に関する研究を行い、脆性破壊が伝播するに要する限界応力値や、破壊が停止する遷移温度を求め、造船用鋼材の持つべき諸性能を示した。

### 3. 溶接工作

戦後の日本の船舶建造法に変革をもたらした大きな要因の一つは溶接技術の進歩であった。溶接は従来の鋸接に代わって船体建造の主要な工程となり、船体構造の軽量化や建造期間の短縮などをもたらした。

しかし終戦直後の我が国の造船技術のうち、溶接の応用の面はかなり遅れており、急速に発展させる必要があった。また我が



SR25,39 3000TON 引張試験状況 (MIT 増淵教授他)



国の鋼材には硫黄の偏析が多く、溶接鋼割れがしばしば発生し、自動溶接の実用化を大いに妨げた。

SR 研究で最初に行われた溶接分野の研究は昭和27年に発足した我が国の造船工作に適した溶接技術確立の研究 (SR 5) であった。この研究では拘束された溶接継手における残留応力を測定し、その軽減を図るための溶接順序の影響の調査、低温応力除去法やピーニングによって残留応力を減少させる研究が行われた。

自動溶接については、輸入溶接機の性能の調査や、これを用いた溶接継手に生ずる亀裂の防止法の研究を行いその対策を得た。さらに自動溶接機に用いられる溶剤の必要な性能を明らかにした。

また国内の主要造船所の船体溶接工作法を調査し、研究成果を直ちに現場に反映させることを考慮した。これらの研究には日本溶接協会の協力を得た。

SR 5 に続き昭和28年に SR 12 の第 2 小委員会では、船体の溶接による変形及び残留応力に関する研究が行われた。

溶接を大規模に船体建造に導入した当時は建造期間の短縮は実現したものの、溶接による船体部材の変形や残留応力による部材の亀裂に悩まされた。残留応力については SR 5 に続いて基本継手で計測し、その性質を明らかにし、溶接による変形と残留応力の除去法の実験を行った。

引き続き昭和28年に発足した SR 18 で SR 12 第 2 小委員会と同じテーマで船体溶接における残留応力及び変形の軽減対策として継続して研究が行われ、溶接収縮量と残留応力に及ぼす溶接順序の影響が実験され解析された。

その結果、船体のブロック溶接を行うときには収縮量は最後に溶接を行ったところで最も多く、これに反して全長多層法を採用すると滑らかな形の収縮が得られること、また残留応力については一つのブロックで溶接を行う場合には溶接部に直角の方向の応力は引張りであり、溶接の端部から遠いところでは圧縮応力となるが、二つ以上のブロックで溶接したときは残留応力分布は著しく不規則であることが分かった。この傾向は全長多層法で溶接した場合でも同様で、溶接棒のつぎ目毎に著しく不規則な応力分布となっていることが示された。

これらの研究で溶接船体建造時の収縮や残留応力の実態が明らかとなった。

昭和31年に発足した SR 32 では溶接欠陥の非破壊検査による判定基準と溶接強度との関連性に関する研究が行われ、溶接継手の中に含まれる各種の欠陥が継手強度に及ぼす影響

や、欠陥についての当時の規格を再検討することを目的としたものであった。

実験では、人工的な欠陥の試験片と、自然発生した欠陥部より切り出した試験片を用いて、欠陥の大きさと強度の関係を求めた。欠陥としてはスラグインクルージョン、プアペネトレーション、ブローホール、クラックを選んだ。

その結果、JIS規格における級別と強度の関係を明らかにし、また各種欠陥を持つ突合わせ溶接継手の疲労試験の結果から、JISの級付けとIIWの級付けの比較を行った。さらにJISの欠陥数の数え方に問題があることも分かった。

さらに自動溶接と現場手溶接の欠陥出現率を比較実測し、自動溶接では欠陥が生じにくいこと、現在の基準の級外であるJIS 6級をさらに分けて一部を許容されるものにするのが合理的であることなどの結論を得た。

上記の他にこの分野でSR 6「溶接性良好なる高張力鋼の研究」、SR 21「船体用高張力鋼と溶接棒及び溶接法の研究」、SR 33「船体用特殊鋼板の研究」、SR 36「HT 60厚板の溶接性および加工性の研究」はいずれも防衛庁技術研究所の委託研究であり、ここではその内容を省略する。

#### 4. 超大型船

当時、世界におけるエネルギー需要が拡大して原油の海上輸送が増大し、輸送効率の点から大型油送船が要望され、6万重量トンないしは10万重量トンのいわゆる超大型船が続々と建造される情勢にあった。

この事態に対応して昭和32年1月運輸大臣は「超大型船建造上の技術的問題点及びその対策如何」に関して造船技術審議会に諮問し、造船技術審議会はその重要な問題点と解決の具体策を答申した。これに基づいて同年に材料関係、構造関係、溶接関係の三つのSR研究が設けられた。

超大型船に用いられる鋼材は板厚が増加し、一般に厚板鋼板は切欠脆性の危険が増すことが知られていた。SR 37はその検討のために発足し、板厚40 mm程度の場合には切欠脆性の観点から使用可能であるか否かを研究した。

試験には軟鋼4種、高張力鋼2種を用い、二重引張り試験で脆性亀裂の停止温度を、エッソー試験で脆性亀裂の発生限界温度を求めた。これらの温度は板厚の増加とともに増加し、脆性破壊の危険性が増すことが示されたが、板厚30 mm以後はほとんど上昇せず、板厚50 mm付近までほとんど差がないことが分かり、厚板の使用には問題のないことが分かった。

超大型船の構造関係についてはSR 38が行われた。問題点は超大型船の横強度，大型縦通材の有効性，大型パネルの防撓法，船の動揺によるタンク中の貨油の運動による隔壁の耐圧強度などであり，模型による強度実験と実船実験が行われた。

研究の結果，上記の問題点に対してはいずれも対策が得られ，横強度については船底のトランス材の両端端部に大きな応力が生じやすいこと，横隔壁間の3本のウェッジ，フレーム，ストラットなどの強度が明らかとなった。また大骨の適切な配置法，応力集中部の設計法などが確立された。

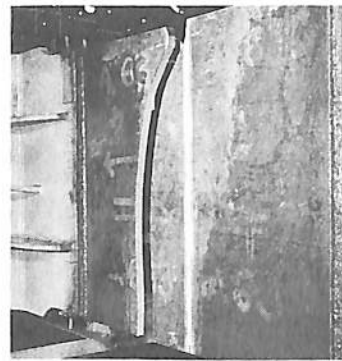
超大型船の溶接施工法についてはSR 39が設けられ，超大型船の建造に際しての厚板の溶接施工法に関する研究が行われた。

ここでは厚板の自動溶接部の切欠脆性と亀裂防止法，厚板手溶接の亀裂防止法と突合わせ継手の開先形状，溶接継手の脆性破壊発生と伝播，拘束度と残留応力の関係，厚板の現場溶接施工法などの研究が行われ，いずれも問題点の対策が得られた。

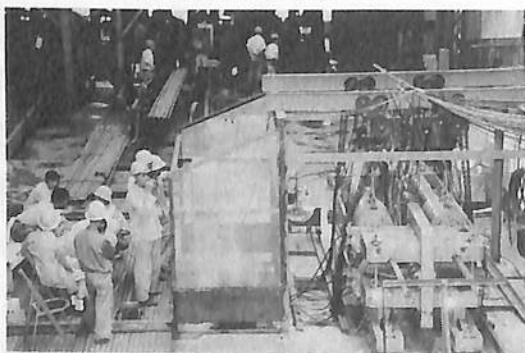
以上の超大型船の構造，材料，溶接についての研究成果はその後に出現した巨大船時代の技術的基礎を作った。



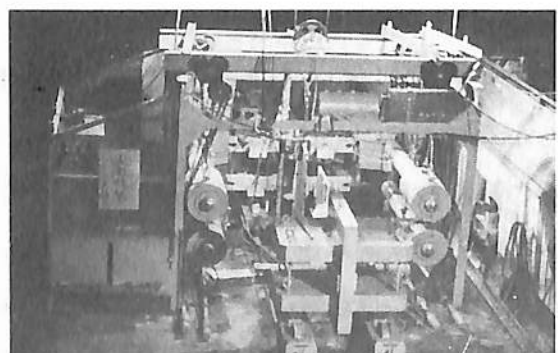
SR39 超大型船の建造に際しての厚板の溶接施工法に関する研究 溶接継手の脆性破壊試験 (川崎重工業大庭社長他)



SR39 溶接継手の脆性破壊試験破断状況



SR39 1200 TON 引張試験による溶接継手の脆性破壊試験状況

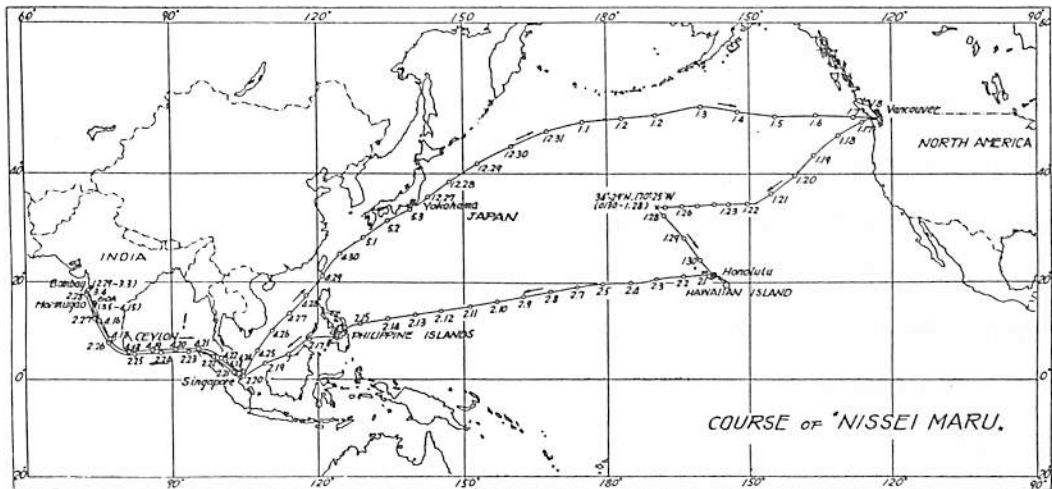


SR39 1200 TON 引張試験機外観

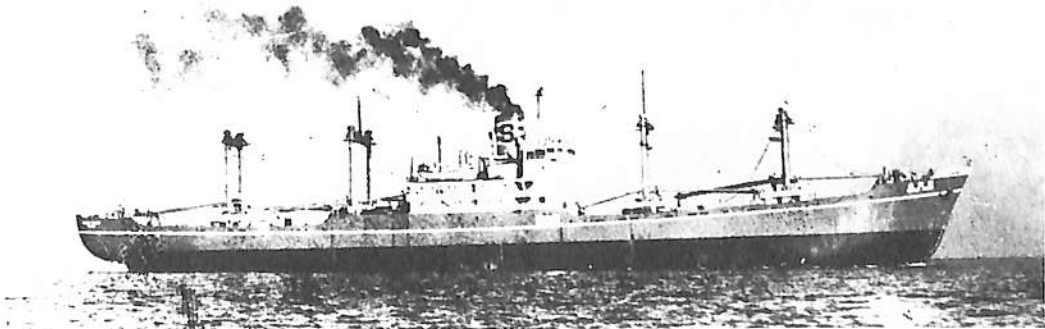
## 第2節 流体力学部門

### 1. 推進性能及び耐航性能

船舶流体力学の研究分野は、推進性能と運動性能（耐航性能・操縦性能）に分けられるが、いずれも実船のこれらの性能を精度よく推定することと、さらに、より良い性能を持つように船型・付加部等を改良，開発することを大きな目標としている。造研の共同研究として船舶流体力学の分野で最初に行われた研究は，第二次大戦後世界に先駆けて行われた二つの大規模な実船実験であった。これらの実船実験は，実際の航海状態を把握することと，模型試験あるいは理論計算の結果と実船の挙動との相関関係を調べることを目的としている。



SR1 日聖丸実船実験航路



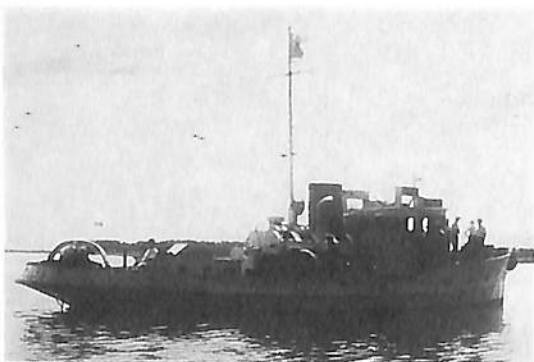
SR1 日聖丸

すなわち、その一の **SR 1** においては新造貨物船日聖丸の初航海において推進・耐航・操縦性能についての各種の計測・解析がなされ、次いで、それに対応した模型試験が実施された。この研究は規模の大きさもさることながら、我が国の耐航性能の研究の促進の契機となった点でその意義が大きい。その二の **SR 4** においては練習船やよひ丸を用いて船体及びプロペラの汚損の推進性能に及ぼす影響が調べられた。この研究では、グレーハウンド号あるいは巡洋艦夕張等の他は従来余り実施例のない実船の曳航試験が行われている。また、世界で初めて実船の伴流分布が計測されている。従って、その成果は、船体抵抗・自航要素・尺度影響等を含めた推進性能の研究の貴重な資料となっている。

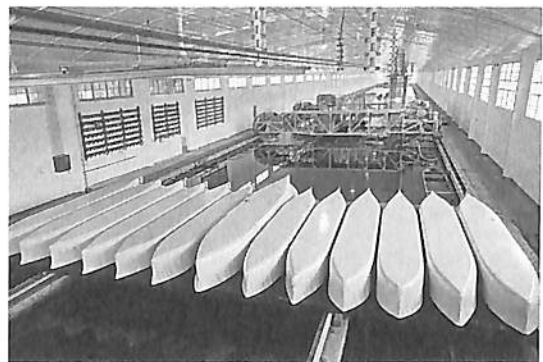
さらに、プロペラについては、**SR 7** において実船のプロペラの損傷調査が行われると共に、キャビテーションや汚損及び腐食防止に関する研究が行われた。また、**SR 30** では実際に航海している船のプロペラの強度の実測が練習船汐路丸を用いて実施された。これらの研究は、それぞれの分野における問題点を解明すると共に後の研究に対する大きな指針を与え、また、実船の設計に対しても貴重な資料となった。

昭和30年代に入ると、わが国の造船業は急速に成長し、建造される船も次第に大型化及び高速化の方向をたどるようになった。このような傾向に対処して船型設計を行うには在来の資料では不十分で、SR として系統的模型試験を共同で行って、大型タンカー及び高速貨物船の設計資料を急速に求めることが要望された。

**SR 41** 及び **SR 45** はこれに基づいて実施されたもので、前者では方形係数  $C_b=0.80$  及び  $0.82$  の大型肥大船模型について、後者では  $C_b=0.625$  の高速貨物船模型についての系統的試験が行われた。大型船の建造費を下げ輸送効率を上げるためには  $C_b$  を大きくして長さを小さくするのが有効であるが、これは通常推進性能の低下につながる。推進性能の低下



SR 4 やよひ丸



SR41 超大型船の運航性能に関する研究 供試模型船

を少なくするには船首バルブの使用が有効であることを示したのは **SR 41**の結果であり、以後大型肥大船に船首バルブが採用されるきっかけとなった。さらに、両研究共に実船の推進性能を標準試運転を行って解析し、このような船型の模型と実船の相関関係を明らかにした。

この時代には試験水槽において電氣的計測法がようやく安定して用いられるようになり、波浪中の船体運動・船体表面圧力・スラスト・トルク等の時間的な変動が確実に計測・記録出来るようになった。このため、向波あるいは追波に限られるが、船型試験水槽での耐航性試験がルーティンとして行われるようになった。また、不規則波に対する応答理論を用いた波浪中の馬力増加の計算も行われるようになり、耐航性能（波浪中の船体運動、推進性能等）を含めた総合的な運航性能にも目が向けられるようになった。**SR 41**、**SR 45**においても上記のような船型の変化が耐航性能に及ぼす影響が調べられた。試験の結果、例えば、タンカーでは **SR 41**で採り上げた程度の船型の変化では耐航性能に重大な影響は生ぜず、また、高速貨物船では船体運動の大きな船は馬力増加は大きくなると云うような理論的考察を裏付ける結論も得られている。なお、これらの一連の耐航性試験は、わが国における波浪中の試験法の確立に貢献すると共に、船体運動、波浪中の船速低下、甲板上への海水打ち込み、プロペラ・レーシング等の耐航性能の諸要素の研究が行われる端緒となった。

## 2. 操縦性能及び復原性

船舶の操縦性の研究は昭和30年代初頭から活発に行われるようになった。運輸技術研究所においては自由航走模型船を用いた旋回実験技術が開発され、最適舵面積を求める研究などが新たに完成した角水槽において行われていた。また、Z 操舵試験を解析して得られる T、K の2つの指数により、進路安定性と操縦性を判定する方法が大阪大学において開発され、模型船のみならず実船に容易に適用可能な操縦性試験方法として普及しつつあった。

このような研究手段が巨大船等の船型開発の一環として、大型タンカー (**SR 41**)、高速貨物船 (**SR 45**) などの運航性能の解明のため SR 研究の場において総合的に活用された。まず **SR 41**では大型タンカー船型3種類の旋回試験を行い、1軸1舵と2軸1舵の旋回性の比較や、船首バルブの影響など、当時の巨大船の操縦性に関する設計上の問題点を解明した。

SR 45では、操縦性能に関して、 $L/B=6.5\sim 7.5$ 、 $C_b=0.625$ の普通船首とバルブ付き船首のシリーズ船型について旋回試験とZ操舵試験を実施した。その結果、 $L/B$ が小さいほど、旋回性が良いこと、T、K指数は共に大きい値となり針路安定性が劣ること等が確認された。そのほか、舵面積比の影響や載荷状態の旋回半径やT、K指数に対する影響も定量的に示すことができた。

昭和20年代には戦後多発した海難事故に対処して船舶の安全性向上が急務となった。昭和28年に運輸省が船舶安全法の全面的な改正への取り組みを開始し、当時の船舶局内に「船舶安全法関係法令改正準備室」を設置した中に復原性班が設けられて官学共同の調査検討が開始された。この研究を海象・気象から船体運動にいたるまで総合的に行うため昭和29年、造研にSR 17が設けられ、大学、国立研究機関、造船会社などから、復原性に関する学者・専門家がこぞって研究に参加した。3年にわたる研究の結果、第二次大戦後に急速に発達した海洋波浪やその中における船体運動の推定に関する研究の手法を活用し、船体の横揺れ減衰力、風圧傾斜偶力、海洋波及び海上風、不規則波中の横揺れ運動等、今日の復原性規則を構成する各要素の現象を解明し、その算定法を確立した。

船舶局の復原性規則制定の作業は順調に進展し、翌30年6月には沿海及びそれ以上の旅客船に対する基準を完成させ、昭和32年2月に施行された。この間において、上記の基準を実際に適用した場合の問題点を検討したり、新たな研究成果から見て基準の妥当性を検証するため、SR 23の中に「復原性に関する研究成果の適用に関する研究」を実施する第2小委員会が設けられた。このようにして成立した我が国の復原性規則は十分な学問的裏付けを有するものであると世界的にも認められるような立派なものとなり、以後長年の船舶安全確保に寄与しているばかりでなく、その基本的思想は最近の国際海事機関（IMO）の復原性規則（A.562）に採用されている。このような国際機関における復原性基準設定に対する対応は、現在は基準研究部会（RR）で継続的に行われている。

## 第3節 設計工作艤装部門

### 1. 設計艤装

設計は各専門分野の総合であり、工作法の進展とも表裏のものである。艤装は主船体が貨物を搭載して航走するのに対して、荷役装置をはじめ、船に機能を与える役割を果たす。従ってこの分野は構造、流力、機関等の他の分野の成果をいかに総合するかで評価される。このことは第2章、第3節でも述べることにする。

この時期は造研設立前の混乱期とも言うべき昭和20～26年に結成活動した鋼船工作法研究委員会（当時の造船協会）が、戦時中の経験と米国等からの情報を活用し、鋼材と溶接、工作法、溶接に適した構造設計法等を研究し、その結果として昭和23年に小型タンカー新和丸が全溶接船として竣工し、2年後の昭和25年には当時としては大型の1.2万総トンタンカー日栄丸が溶接率90%で完成した時代である。昭和31年には我が国の建造量が英国を抜いて世界一になり、船型も4.5万重量トン級タンカーが通常のものになり、昭和34年には10万重量トン級タンカーが建造されるに至った。この間造船設備は既存設備を基盤として溶接技術の進展に適した改善が行われた。建造量の増大と大型化に対処するため、設計、工作、艤装の分野は第1、2、4節の各専門分野の研究開発の成果に支えられ、造船各社の努力により発展した。

この時期の設計、工作、艤装分野における共同研究は次の通りであった。

戦後国際社会に復帰した我国は1948年 SOLAS の防火構造に従い、国内法として昭和27年に「船舶防火構造規程」を定めた。この規程に定められたものは鋼構造のA級耐火仕切と不燃性材料またはその内層を有する構造である。またこれらに対する国際的な加熱試験法も設定された。このような規程の要求を満たす要素は断熱性能と保全性能とに分けられるが、後者には変形、破壊、燃焼、強度が含まれると共に工作法も問題になる。これらを早期に具体化して船舶火災に対処するため、船舶の不燃構造に関する研究（SR 26）が実施された。この研究は

- 1) 非定常熱伝導の理論的解明
- 2) 断熱材の温度伝導率測定法の確立
- 3) 実物大隔壁、甲板模型の加熱実験
- 4) 防火扉に関する試験



#### 5) 船室模型火災実験による船内火災荷重判定

等を目的として、防火構造の設計、工作等に関する具体的な資料を得ることができたとともに、米国及び英国に比較して硬質石綿板、スプレードアスベストの歴史が浅く、量が少なく価格も高い我が国に合理的な防火材料のあり方を示唆することができた。

昭和30年代の始めからプラスチック材料が普及し、建築資材にも使用されだした。プラスチック材料の軽量、美観、耐食等の特性を考えると、これを利用した場合船舶艙装技術が飛躍的に進歩することは容易に予想されるが、船舶環境に適するかどうか、基本的なことから確認する必要がある。昭和35年にプラスチック等新材料の船舶への利用に関する研究(SR 51)が発足し、第1年度は材料の機械的強度、温度特性、耐候性、耐海水性等の基礎的性質を調査すると共に、接着、溶接、ボルト継手等工作法を解明した。第2年度は具体的な適用対象について設計工作上の問題を解明するため、サンドイッチ構造材の特性解明、断熱、吸音の基本特性の把握実験、通風ダクトに用いた場合の振動特性、通気抵抗等の実態把握と、管艙装の基準設定等実際設計上の諸問題が解決された。これらを基礎に、第3年度は実船施工を対象にし、見本市船“さくら丸”の一室をモデルルームとして、総ての艙装品をプラスチック製品として、経済性、設計特性、航行時の居住性、材料劣化等を調査した。またFRPの構造部材としての適応性を確認するため、巡視船“はるちどり”の操舵室全域をFRP化し、防熱、防音、耐振動等の居住性上極めてよい結果が得られることが確認された。またこの研究を通じ、艙装品の標準化、ノックダウン方式、ユニット化等プレハブ方式を艙装工作に採用することが経済効率を向上させる等、その後のプラスチック化のみならず、艙装工作全般の指針が得られた。

昭和30年代初めは空気調和装置を装備した船は少なかったが、逐次増加すると共に通風方式は低速から高速に移行しつつあった。高速通風は低速に比較すると、通風管径が小さいので、船倉容積が拡がり、重量は軽くなり、工作、運搬、取付作業が容易になる等の経済的效果だけでなく、通風管を通じて拡がる火災速度も低下する保安上の利点があるので、輸出船に要求される頻度が多くなった。空気調和装置の歴史の浅かった我が国では、通風による圧力が通風系の各機構に及ぼす影響、特性が把握されていない状況にかんがみ、昭和35～37年に船舶の高速通風に関する研究(SR 52)で解明することになった。船室内気流分布、船内送風系統の騒音制御、高速通風ダクトの抵抗、風量分配等の基礎調査から吹

出口ユニットの気流特性、誘引型吹出口ユニットの特性等の実験を通じ、各種の計算図表を制作し、これらの結果を総合して船室模型で確認した。目的の高速通風のみならず、空気調和装置設計全体の更新ができた。

その他この時期は、賠償物件としての東南アジア向け小舟艇の建造のため SR 40「東南アジア向け河川航船に関する研究」が行われ、また SR 14「レーダによる小物標探知の研究」、SR 43「海難防止に関する船舶の技術的研究」等が実施された。

SR 43の研究は連続して発生した旅客船の海難に対する安全対策として実施した。一つは、旅客船の復原性基準としての所謂 C 係数の導入であり船舶復原性規則制定のベースとなり、かつまた、IMO の設計委員会にも提案され諸外国をリードする役割を果たした。さらに一つはサバイバルはいかにして得られるかを調査し新しい救命設備の改善の方向を指示した。

## 2. 防食防汚

船舶の大部分は鉄鋼で構成され、鉄鋼は海洋環境で腐食されやすい。腐食は船体外板、タンク隔壁から海水系統全般に及び、腐食の防止は船舶の生命を維持するに等しい。また海中に置かれた物体の表面には、例外なく生物が付着する。船体外板表面に付着した生物は、船の摩擦抵抗を増加させ、速力は低下し、燃料消費量は増大する。生物汚損の防止は船舶の経済的運航に重要である。

SR 研究の開始と同時に船体汚損と推進器汚損の影響について研究 (SR 4) が始められ続いて腐食防止の研究 (SR 7) が始まったのは当然の流れであった。

船舶の主機関は蒸気機関から内燃機関になり、往復動ポンプは回転型ポンプになった。同時にポンプ回転翼の腐食損傷が多発し、その対策が問題となった。原因の究明と対策が研究され (SR 15)、回転翼の損傷は電気化学的現象によるキャビテーションエロージョンの結果であると推定され、ポンプ胴体と回転体との間に腐食電流が流れることが指摘された。腐食の原因が電気化学的現象であるとすれば、そのような腐食は電気化学的に防止できる筈である。電気化学的腐食理論がようやく実用化されようとしている時期にあたり、当然の流れとして船舶の陰極的防食法の研究 (SR 20) が始まった。

陰極防食法の原理は1834年に発表され、船体外板の一部や復水器の海水系に適用されていたが、陽極材料の不良と陽極接続法の不適切等のため、実用効果は期待出来ない状態で

あった。陽極が溶解して困ると的はずれに等しい苦情を言われるような我が国の現状は、既に実用状態にあったイギリス、アメリカの電気防食技術から大きく遅れていたもので、研究は初歩から実施する必要があった。SR 研究では海外の資料や電気防食の実状が調査され、実験が行われ、日本船舶への陰極防食法の適用が図られた。陰極防食法の研究は、その後も引き続いて実施され、船体外板とバラスタンクの腐食対策 (SR 27) として研究された。外板塗膜の溶接影響部や物理的損傷部の腐食は、亜鉛陽極を接続することによって防止でき、防食の効果は船体電位の計測によって推定できるようになった。亜鉛陽極の規格、標準装着法が提案され、現在も利用されている。

船体外板の腐食は、陰極防食法の適用によって効果的に防止出来るようになったが、さらに機関部海水系諸装置をはじめ、船舶に関するあらゆる腐食の実態を調査して、腐食の原因を追求し、腐食防止の基本対策 (SR 42) が検討された。かくして外部電源防食方式が検討され、不溶性陽極の性能と必要防食電流密度が研究の対象となった。また航行中の船体電位の測定が重視され、曳航電極による船体防食法、船体防食の自動化が研究された (SR 50)。船体外板の腐食損傷は、波浪等による低サイクル繰り返し応力の影響を受けることも指摘された。

タンカー船腹の増大は、バラスタンクの腐食対策として重防食塗装を要求し、合成樹脂塗料の研究と電気防食法の併用について研究され、ビニル系塗料は電気防食との併用に優れるが、塗装前の下地処理が重要であることが報告された。以後、合成樹脂系塗料は油性系塗料に代わり、防食塗料として使用されるようになった。

昭和31年に世界一の造船国となった我が国の産業は愈々繁栄し、同時に河川や港湾の汚染が進んだ。海底に堆積したヘドロ層は、無酸素状態となり、嫌気性細菌が棲息して硫化水素を発生し、銅合金製品は激しく腐食するようになった。同時に銅化合物を主要防汚剤とする船底塗料の黒変化現象が発生し、船体外板や推進器翼の異常腐食が多発するようになり、銅化合物を含まない船底塗料の開発が緊急の課題となった。

また世界的石油事情は省エネルギーを促し、船舶の経済的運行を要求した。港湾荷役設備の進歩による停泊日数の短縮と船舶の高速化は、船底の生物付着様相に影響し、船底部の生物付着は減り、船側水線部の海藻付着が目立つようになった。一方において船舶検査のための入渠間隔の延長が認められ、船底塗料の長期防汚性が不可欠の要件として期待された。かくしてSR 研究は防食・防汚の面においても多くの懸案を抱えつつ、成長期から躍進期を迎えることになった。

## 第4節 機関動力補機部門

### 1. ディーゼル機関に関する研究

戦後しばらくは重油の使用が制限されたため、大型ディーゼル機関の製造は拘束され、専ら石炭専焼による蒸気タービンが大型船の主機として製造された。しかし、昭和24年、25年頃から燃料消費率が低く、経済的な2サイクル低速ディーゼル機関の製造が再開され、昭和28年には当時としては高出力の1シリンダ当たり1000 PSを超える排ガスターボ過給機付き機関が出現した。一方、中型ディーゼル機関は、我が国独自で開発されたものが多く、また、中型中速機関を減速装置で連結して、巨大船や高速船の分野で使用するようになった。

昭和27年～36年の間に実施されたディーゼル機関に関する研究は、一体型クランク軸の強度に関する研究 (SR 8)、三次元光弾性試験によるクランク軸の強度に関する研究 (SR 55)、船舶用小型内燃機関の使用材料の品質向上及び標準工作法に関する研究 (SR 22) である。

造研が設立される前の昭和26年に、船用機関の研究に影響を及ぼしたと思われる座談会が官民の協力の下で行われている。すわち、「クランク軸に関する座談会」が日本機械学会主催で開かれ、陸船用ディーゼル機関の品質を向上させる目的をもって討議が行われた。当時、大型ディーゼル機関の焼嵌クランク軸が陸上運転中に滑ったことから、その後に発見された焼嵌部周辺の水素気泡問題が大きな問題となった。しかし、日本造船工業会内に設置されたクランク軸研究委員会による詳細な研究の結果、この現象はクランク軸に何ら悪影響を及ぼすものでないことが分かり、英国造船学会及び船用機関学会合同講演会においても発表されている。

一方、当時中小型ディーゼル機関のクランク軸（一体型）は折損、亀裂等の損傷が比較的多く、その原因は鍛造方法を含む材料、設計、工作の不良、ねじり振動等によるものである。またディーゼル機関の爆発圧力の上昇、平均有効圧力の増大などにより、大きな荷重を受けるクランク軸強度についての研究が要望されるようになった。これが SR 8、SR 55である。この研究の成果は、後に船級協会のクランク軸規則の改正等に用いられている。

この時期における船用ディーゼル機関の特記すべきもう一つの事項は、低質重油の燃焼

であり、Mr. J. Lamb が1946年（昭和21年）より5.5年間の実績を英国の技術誌に発表しており、これが後年ほとんど全てのディーゼル航洋船の低質燃料使用へとつながることになった。

## 2. 蒸気タービンに関する研究

昭和26年に「蒸気タービン船の使用蒸気の高圧高温化に関する懇談会」が運輸省主催の下で多数の関係者が参加して開催された。当時の蒸気状態は、 $30 \text{ kg/cm}^2$ 、 $400^\circ\text{C}$ であったが、これを $40 \text{ kg/cm}^2$ 、 $450^\circ\text{C}$ に漸進的に高めて運航効率を上げるため、Ni, Co, Mo等の合金鋼の研究その他の要件が話し合われている。高温高圧蒸気用構造材料の研究（SR 13）は、このような背景により研究が実施されることになったと思われる。

昭和28年に取り上げられた後進発停性能の研究（SR 9）は、後進タービンの設計基準について「前進回転数の50%の後進回転において前進トルクの80%を出しうる能力」が米国で提案されていた。SR 9ではその妥当性を研究し、後進への移行時の振動発生状況、トルク変動等の解明が出来たが、更に後年 SR 72として昭和39、40年に再び後進力に関する調査研究が行われた。この研究によりタービン船の head reach はディーゼル船とほとんど同程度であったことが分かり、巨大油送船の衝突座礁の回避に有効な資料を提供することとなった。

蒸気タービンに関するもう一つの研究は、船用蒸気タービンの抽気弁の自動化に関する研究（SR 54）である。これは蒸気タービン船の自動化の一環として高低圧タービン車室からの1～3段抽気を自動的に行う可能性を研究したものである。この研究で開発された自動逆止弁等は、他の用途にも応用が可能でタービン船の自動化の進展に役立った。

大出力蒸気タービン開発に際しての一つの問題は減速歯車装置の研究であり、日本造船関連工業会の歯車研究委員会等で研究が行われた。

また、船舶の主機関としてのガスタービンについては、昭和25年に運輸省に「ガスタービン研究委員会」が設けられ、我が国のガスタービンの諸研究について論議があった。当時外国では少数の就航船があり、我が国では、昭和29年に500 PSの国産ガスタービンが航海訓練所練習船北斗丸に搭載され、約4年間運転の経験をしたほかは商船用としての実績はなく、造研でもガスタービンに関する研究は見当たらない。

### 3. プロペラ軸に関する研究

戦時中に米国の戦標船“Liberty”船，“Victory”船（主機は3連成汽機）でプロペラ軸を折損した件数は、3年間で約100件もあったと報ぜられている。戦後我が国においても、ディーゼル船に振り振動に起因すると考えられるプロペラ軸の折損事故例や、タービン船でプロペラ推力やプロペラ自重による曲げ応力が生じてプロペラと軸との取付けキー部の応力集中部に亀裂を生ぜしめて折損に至る例が多く発生した。

SR 31では、大型試験片による曲げ及び振り疲労試験等を実施し、また、練習船汐路丸のプロペラ軸曲げ応力を実測した。その結果、軸材の寸法、切欠の影響、腐食、押嵌めによる疲れ限度の低下など多くの設計上の諸点が明らかになり、事故の防止に大いに貢献した。

### 4. ディーゼル船の自動化に関する研究

自動制御が大幅に船舶の機関プラントに取り入れられたのは、昭和30年代に入ってからで、従来から使用されていたボイラの自動燃焼装置、給水調節器、発電機の調速器などだけでなく、温度、圧力、液水面のレベル制御など、それ迄乗組員が機械の作動状態を計器により監視し、手動により調節していたものが電気、空気、油圧等の作動媒体を用いて機関各システムを自動的に制御する形態に変わってきた。造研でディーゼル船の遠隔操縦並びに自動制御に関する研究（SR 53）として取り上げたのは、先づ、燃焼油移送並びに清浄装置系統の自動化を図るための基礎試験であった。ついで、清水冷却系統の温度制御装置、シリンダ内検出装置、等の研究が実施され、それぞれ成果をあげている。昭和36年に世界初の自動化船として金華山丸（8,221総トン）が誕生したが、他の船にもこのような基礎的な研究の成果が役立つものと思われる。その後、昭和38年の高経済船舶試設計による“みししっぴ丸”（9,050総トン）が建造され、続いて後年の機関無人化船の出現となった。

造研におけるこの時期に取り上げられた研究は、上記のとおりであるが、この他に、昭和30年にSR 28「新型直流電動ウインチ試作研究」がある。