

# 実船試験の展望

第200研究部会第1分科会

昭和52年5月

社団法人

日本造船研究協会

Review of Full Scale Measurements of Ships  
The 200th Research Committee 1st Sub Committee

Report No. 85

The Shipbuilding Research Association of Japan

May 1977

## 第 200 研究部会 第 1 分科会

### 委 員 名 簿 (敬称略・五十音順)

分科会長 池 田 吉 郎 (日本海事協会) (昭和47年4月～昭和48年4月)

高 橋 幸 伯 (東京大 学) (昭和48年4月～昭和49年4月)

真 能 創 (防衛大 学校) (昭和49年4月～昭和52年3月)

委 員 秋 田 好 雄 (日本海事協会) 石 橋 敬 男 (佐野安船渠)

白 井 久 益\* (三菱重工業) 大 島 正 直\* (三井造船)

尾 川 宣 之\* (日 本 鋼 管) 金 井 一 十 三 (昭 和 海 運)

河 澄 竜 之 介\* (川崎重工業) 日 下 幹 生\* (大阪造船所)

黒 岩 道 昌\* (名 村 造 船 所) 桑 原 昭 夫\* (大阪造船所)

小 杉 隆 祥 (大阪商船三井船舶) 小 山 健 夫 (東京大 学)

今 野 晓 一\* (石川島播磨重工業) 柴 田 伸 (三保造船所)

高 石 敬 史\* (船舶技術研究所) 宝 田 直 之 助\* (住友重機械工業)

竹 沢 誠 二\* (横浜国立大学) 永 井 列\* (石川島播磨重工業)

長 沢 準\* (船舶技術研究所) 中 村 一 郎\* (日立造船)

新 田 躍\* (日本海事協会) 根 木 黙\* (石川島播磨重工業)

萩 原 孝 一\* (三菱重工業) 前 田 久 明 (東京大 学)

山 形 俊 介\* (三菱重工業) 山 崎 芳 嗣 (佐世保重工業)

柚 木 茂 登 (山下新日本汽船) 横 川 寛 (東京大 学)

渡 辺 昭 二 (昭 和 海 運)

(\*印、幹事)

# 実船試験の展望

## 目 次

1. まえがき	1
2. 波浪計測	2
2.1 まえがき	2
2.2 各種波浪計	2
2.3 波浪データ	5
2.4 あとがき	8
参考文献	9
3. 計測機器と解析処理方式	21
3.1 実船試験計測法の変遷	21
3.2 一貫処理システム	22
3.3 計測機器の現状	23
参考文献	27
4. 航海中の船体運動性能	29
4.1 まえがき	29
4.2 一般貨物船	30
4.3 コンテナ船	31
4.4 タンカー、バルクキャリア、鉱石船	33
4.5 鉄道連絡船およびカーフェリー	34
4.6 特殊船舶・漁船	34
4.7 今後の問題点	35
参考文献	37
5. 波浪曲げモーメント	41
5.1 波浪曲げモーメントに関する実船試験	41
5.2 現在までの実船試験に対する考察	45
5.3 今後の実船試験	46
参考文献	47
6. 局部的な荷重	49
6.1 概論	49
6.2 波浪衝撃水圧	50
6.3 荷油圧	51
6.4 鉱石圧	51
6.5 その他の波浪荷重	52

6. 6 今後の問題点	52
参考文献	53
7. 船体強度	54
7.1 総論	54
7.1.1 実船試験の目的	54
7.1.2 実船試験の実施状況	54
7.2 タンカーおよび鉱石船	54
7.2.1 静的計測	54
7.2.2 動的計測	56
7.3 バルクキャリア	57
7.3.1 静的計測	57
7.3.2 動的計測	58
7.4 コンテナ船	58
7.4.1 静的計測	58
7.4.2 動的計測	59
7.5 一般貨物船その他	60
7.5.1 静的計測	60
7.5.2 動的計測	62
7.6 今後の問題点	64
参考文献	65
8. あとがき	68
付録 実船計測一覧表	70
(A) 耐航性	71
(B) 進水時計測	73
(C) 静的強度	74
(D) 動的強度	77
(E) 推進・操縦性	79
(F) 機関・軸系	81
(G) 諸装置	83
(H) 防食・防汚	85

## 1. まえがき

日本造船研究協会第200研究部会第1分科会は、過去に数多く実施された実船試験を総合再整理し、今後の造船学また造船界に有用な資料を作製する目的で設置された。

本分科会はその作業の第一歩として、最近（過去約10年間）の国内・国外の実船試験資料を集め、これに詳細な調査検討を加えた。しかし、実船試験は極めて多分野にわたるため、これを総括して再整理することは不可能に近いことが明らかになったので、過去において最も多く試験の課題となり重要とみられる波浪計測、計測および解析処理、船体の運動性能、波浪曲げモーメント、局部荷重、船体強度の各分野について、その分野の実船試験の沿革、実船試験で解明された問題、今後実験研究を要する問題、実船試験実施上の問題点、さらに今後の実船試験の進むべき方向等について研究を進めた。

本報告書は上記の各分野における本分科会の調査研究結果をまとめたものであって、今後それぞれの分野において、実船試験を企画し実施する場合の、誠に有用な指針になるものと期待している。

上記以外の分野の実船試験について、本分科会が集め検討した資料も、付録の一覧表に文献名をあげ、試験内容について示した。これらを活用すれば、現時点におけるそれぞれの分野の研究の現状を理解できる。

## 2. 波浪計測

### 2.1 まえがき

波浪中の各種船体応答の研究が長足の進歩をとげた今日、その環境条件( Environmental Condition)としての波浪の、より正確精密な情報に対する要望がきわめて高くなってきてている。われわれの欲しい波浪の情報は、大別すると(a)船の応答計測と同時計測の形でとった船の周辺の波の情報と、(b)ある海域またはある航路における波浪の長期統計資料の2種類が考えられる。

船の周辺の波(a)については、従来ほとんど目視観測のみに頼っており、波浪階級や有義波高程度のデータの域を出なかつた。最近になって漸く計測装置による波浪計測を伴なつた実船計測が少しずつ行われるようになった程度であるが、まだ十分信頼するに足る波浪計の出現には日時を要するようである。

波の統計資料(b)としては、すでに相当量が蓄積されてはいるが、その大部分は一般船舶の目視観測データの通報による「海洋気象資料」によるもので、その精度や長期傾向・異常値の推定などの立場からは、まだまだ不満足なものと言わざるを得ない。最近各国で、沖合波浪計の開発研究が活発に進められ、大型プロジェクトによる観測網の充実や資料収集態勢の強化などが着々と進められており、その成果が期待されている。しかし、世界一の造船国であり、太平洋をかかえているわが国においては、残念ながらこの方面的努力は諸外国に比べて格段に遅れていると言わざるを得ない現状のようである。

ここでは、造船技術者の立場からみて、波浪計測法および波浪計の現状、波浪に関する統計資料およびその収集態勢などの現状について、簡単な展望を行つた。詳細については、後掲の参考文献中の「展望」に関するもの、とくに、ISSC の波浪委員会の報告<sup>2.6, 2.8, 2.11, 2.15)</sup> や山内らの展望記事<sup>2.13, 2.16)</sup>などを参考されたい。本稿作製に当つては、とくに山内の展望<sup>2.13)</sup>に負うところが多かった。

### 2.2 各種波浪計

計測対象としてどのような波を考えるか、また波浪状態を示す各種パラメータのうち何を計測しようとするかなどによって、波浪計の種類も波浪計測の手法も当然異なってくる。

ここで、前述の船の周辺の波を測る場合(a)を短期計測、長期統計資料を目的とする場合(b)を長期計測と呼ぶことにする。係留ブイや観測船などによる定点計測などは長期計測であるが、定期航路船によって短期計測を長期間連続して行うことによっても長期計測の実をあげることができる。

短期計測の場合でも、ある時間帯における船の近辺の波浪スペクトル(短期分布)だけとればよいという場合もあり、実際に船首または船側に当る出合波のタイムヒストリを正確にとらえて、船体応答と同時記録し、波と応答との位相の相関まで解析したいという場合もある。後者の場合は、できるだけ船体の近くの波をという要求と、船体が絶えず動搖しているうえ船体運動によって船体近くの波が破壊された形となっているという現実と競合して、技術的困難はきわめて大きいようである。

また、波浪状態を示す多くの物理量の中で、ある点の水面上下動の時間的变化(波高変動)のみを測ればよいという場合もあれば、ある時点における広範囲の海面の波高の2次元分布を知りたい場合、また、波浪の生成・波浪予報などの立場から、波浪の方向スペクトルまで測りたいという場合などもある。いずれにしても、波浪の情報すべてを完全に求めることは無理で、そのうちどの情報を選択抽出するかによって、各種各様の波浪計が試みられている。

現存の各種波浪計は、その使用されるプラットフォームや直接測定対象となる物理量および変換器の種類などによって、それぞれ分類することができる。その詳細はここでは省略し、参考文献の欄外に簡単なメモを付記する程度とした。

まず、使用されるプラットフォームによって分類すると

- |                     |          |
|---------------------|----------|
| a) 海底・陸岸など          | 沿岸波      |
| b) 海底・陸岸などに固定された構造物 | 沿岸波      |
| c) 係留ブイ             | 沿岸波・沖合定点 |
| d) 浮遊ブイ(自由ブイ・曳航ブイ)  | 沖合波・実船計測 |
| e) 船体               | 出合波・沖合波  |
| f) 航空機・人工衛星         | 広域計測     |

などに大別される。このうち、実船計測時に実用できるものとしては、d)とe)とに限定されるであろう。

直接の測定対象となる物理量としては、

- a) 波高 水面の上下動・上下速度または上下加速度。  
一定水深における波による水圧変化。  
波表面の傾斜角。  
水粒子の速度。  
水面による超音波・電磁波などの反射。
- b) 波長 距離
- c) 波周期 時間
- d) 波向角度

などが考えられる。この直接という意味をさらに押しつめると、変換器による分類となり、

- a) 距離の測定：電気抵抗・容量・電磁誘導・音波・超音波・電磁波・レーザービーム。
- b) 圧力の測定：ダイヤフラム・ベローズ・電気抵抗・容量・電磁誘導・磁歪・パイプロトロン
- c) 加速度の測定：加速度計(電気抵抗・容量・誘導)
- d) 傾斜角の測定：ジャイロ・振子・サーボ式加速度計・光の反射
- e) 方位の測定：ジャイロ・レーダー
- f) 粒子速度：流速計(超音波・電磁)
- g) 写真測定：ステレオ写真・レーダー・レーザーホログラム

などに分けられる。

いずれにしても、沿岸用波浪計や定点観測用の波浪計としては、すでに相当の実績をもつ安定したもののがいくつかあるが、実船計測に利用できる舶用波浪計としては、大体において散発的な開発試用が進められている程度で、まだ定着した標準タイプというべきものは出現していないのが現状である。

ここで、現段階で利用できる舶用波浪計のうち、おもなものについてその方式の概略と得失とを簡単に列挙してみる。

#### (1) 加速度式波浪ブイ

方式：ブイ内部またはブイから吊下げた錘の中に加速波検出器を入れ、ブイの上下加速度を測定して、テレメータで本船に送り、2回積分して波高変動を求める。投棄式のものと回収して反復使用する方式のものがある。

長所：取扱いが簡単である。比較的安価である。波浪ベクトルを求めることができる。

問題：加速度計に加わる加速度の水平方向成分の影響によることが多いが、2回積分過程の安定性が十分でない。高い精度は得られない。船体応答との位相の対応関係は得られない。

#### (2) 水圧式波浪ブイ

方式：ブイから垂下した錘の中に水圧検知器を入れ、ブイの上下動に対応する水圧変動を測定する。自記式のものとテレメータ式のもの、投棄式のものと回収式のものなどがある。

長所：安定した計測ができる。比較的安価である。波浪スペクトルを求めることができる。

問題：洋上での取扱いがやや面倒である。強風激浪下での計測値の較正にやや問題がある。船体応答との位相の対応は得られない。

#### (3) 曲航式波浪ブイ

方式：水面を曲航してブイの上下動（波高）や傾斜角（波傾斜）を測るものや、水中を曲航して水圧変動や水面までの距離の変動（波高）を測るものなどがある。

長所：経済的である。投込ブイに比べて揚収が簡単である。船の応答との位相の対応関係がとれることもある。

問題：船体運動や船の後流の影響を避けての曳航に困難が多い。高速曳航では高精度の計測は望めない。

一般商船での使用は無理であろう。

#### (4) クローバ形ブイ

方式：正3角形のフレームの頂点に3個のフロートをクローバ葉形に配置し、ジャイロでフレーム全体の傾斜を求め、加速度計で波面の上下加速度（2回積分して上下動）を求めるとともに、各フロートのフレームとの相対傾斜角を検出して、波面の曲率の3方向成分を計測する。

長所：波の方向スペクトルが得られる。

問題：測定エレメント数などの関係から、テレメータ方式とすることは困難で、曳航ケーブルを使用するのがふつうである。寸法重量も大きくなり洋上での取扱いは相当困難である。船はほぼ停止の状態とする必要があり、船体応答との同時計測は不可能である。各種の簡易型波浪計の沖合での較正実験の標準機としての価値は大きい。

#### (5) ステレオ写真

方式：船内の高所からとったステレオ写真を解析して、附近海面の波高の2次元分布（等高線）を作図し、波高・波長などを求める。

長所：船体運動の影響を受けない。撮影そのものは自動化が可能である。船の運航計画や耐航性には全然影響を与えない。

問題：コンパス甲板程度の高さからや、数メートル程度のスパン（カメラ間隔）での撮影では、視野も狭く精度もあまりよくない。雨天や濃霧時の計測はできない。解析図化の経費が相当大きい。

#### (6) タッカ式波浪計

方式：船側外板に設けた水圧計で船体を基準とした相対波高を測定し、その位置の上下加速度から求めた上下動を差引いて絶対波高を求める。

長所：船の運動性能や耐航性に影響を与えない。安定した計測が可能で、すでに10年以上の使用実績を挙げている。出合波を測るので、船体応答との位相の対応関係もとれる。

問題：船の造波系の中での計測となり、完全な外界条件としての波とは異なったものを測っていること

になる。船側水圧を測るので、流速が速く（船速3ノット以上）なると計測できず、通常航走時の船体応答との同時計測はできない。定点観測船などには適している。

#### (7) 反射型波浪計

方式：船首または船側に張出して設置した超音波・電磁波などの送受信装置で相対波高を測り、その部分の上下加速度から求めた上下動を差引いて絶対波高を求める。練習船青雲丸に取付けられていたのがこの方式のものである。

長所：出合波を測るので船体応答との位相の相関がとれる。高速航走中でも計測可能である。

問題：船の造波系の中に入らないよう、装置を船体から相当距離張出して設置することが、強度や運航性能などを考えると困難が多い。方向スペクトルは求められない。

#### (8) レーダー波浪計

方式：航海用レーダーまたはミリ波レーダーを使用して、その映像から波向・波長などを求める。

長所：船の耐航性には全然影響を与えない。全天候計測・全自动計測が可能である。

問題：波高や波スペクトルは求められない。レーダー映像を仲介としない、反射信号の新しい処理方法も考えられているが、まだ開発途上の段階のようである。

### 2.3 波浪データ

応答との同時計測の形で行う波浪計測とは直接関係はないが、主要海域や主要航路における波浪の長期傾向の予測、異常値の推定などの基礎資料となる波浪データへの要望はきわめて大きい。とくに最近、計算技術の進歩によって船体応答の理論解析が精密化するに従って、より精密な、より信頼度の高いデータの提供が渴望されている。

ここでは、現在入手できる波浪データの概略、波浪データ収集態勢の現況などについて簡単に展望してみる。沿岸波浪については、計測も容易であるため、各国とも非常に進歩しており、わが国においても、その計測態勢・データ蓄積量などの点で、世界に誇りうるレベルに達しているようであるが、ここでは沖合波浪のみに限定して考えることにする。

現在われわれが入手できる波浪データの大部分は、一般船舶の通報による海上気象資料である。各国が一般船舶からの観測通報データを集めようになったのは古いことであるが、最近までは、波浪に関しては波浪階級程度で、あまり詳しいデータは少なかった。数量的なデータが本格的に集められるようになったのは、第2次大戦以降のようである。

これらの海上気象資料からの波浪統計資料として世界的規模のものは、第2回 I S S C の波浪委員会の報告<sup>2.6)</sup>が最初であろう。ここでは、世界の主要な12海域について、年間の波向～波高・波向～波周期および波高～波周期の三つの組合せについて、発現回数と計測総数が表とグラフの形でまとめられている。この統計は画期的なものではあるが、分類の級間隔が波高6段・波向8方向・波周期6段と比較的粗く、海域も大き過ぎ、4季別の区分もないので、やや不満足なものといわざるを得ない。この作業は各団が分担して、それぞれ保有の資料をパンチカード化して、統一仕様で整理したものであるが、第3回 I S S C の波浪委員会報告<sup>2.8)</sup>には、このパンチカードの一覧表が掲げられている。

特定の海域については、より詳細な波浪統計をまとめたものがいくつもある。北大西洋には10点の気象観測定点があり、欧米7か国によって観測船を配置しての連続気象観測が20年にわたって継続されている。ここでは、目視観測ばかりではなく機器計測も行われており、そのデータの信頼度は高い。この海面の波について

は、Roll<sup>2.88)</sup> によって1950～1952年の2年間の記録が、Walden<sup>2.97)</sup> によって1950～1959年の10年間の記録が、4季別の統計としてまとめられている（波高19段・波周期10段の区分）。一般船舶の目視記録に比べて精度もよく、船体応答の長期傾向研究の基礎資料として非常に広く活用されている。

Walden<sup>2.94)</sup> はまた、北大西洋の一般船舶による波浪統計資料もまとめている。また、Hogbenら<sup>2.111)</sup> は世界的主要50海域について、それぞれの詳しい波浪統計をまとめている。これは分類級別も波高30段・波周期11段・波向12方向、季節4と細かく、きわめて広範囲にわたり観測総数100万にも及ぶものであるが、残念ながら北太平洋海域は含まれていない。このほかにも、Ewingら<sup>2.107)</sup> によるグリーンランド海の波浪、アメリカ海軍の北太平洋を緯度経度ともに5度ずつで区分した枠目についての統計<sup>2.93)</sup> などが有名である。

北太平洋では、戦時中はアメリカの運営する観測定点が24点あったそうであるが、現在はアメリカとカナダによって、3点（N, P, V）がわずかに運営されているのと、日本の南方定点（T）が夏期半年間運営されているだけである。北方定点（E）は1954年以降廃止された。観測結果としては、1949～1953年の北方定点および1949～1956年の南方定点の資料をまとめた宇野木<sup>2.87)</sup> の報告のあと、気象庁から「定点の資料」<sup>2.115, 2.122)</sup> として発表されている。

北太平洋の定点観測は、このように観測網と呼ぶには程遠いもので、信頼度や精度の高いデータの蓄積は望むべくもない。そこで、現在われわれが参照できるデータとしては、一般船舶の通報による海上気象資料があるだけである。

この海上気象資料は、現在では年間約150隻の船からの通報で20万近いデータが集っているようである。これらを整理したものとしては、まず、 $0^{\circ} \sim 52^{\circ}$  N,  $110^{\circ}$  E～ $110^{\circ}$  Wの海域について、緯度 $2^{\circ}$ ・経度 $5^{\circ}$ の枠目ごとに1942～1960年のデータをまとめた気象庁の報告<sup>2.92)</sup> がある。しかしこれは、波に関しては各年各月の波高の平均値と観測数を示しているだけである。宇野木<sup>2.101)</sup> は、このうちの10年間分について、同じ枠目ごとに波高と風速の平均値を求め、さらにこれを集計して $10^{\circ} \times 10^{\circ}$  の枠目について、4季ごとおよび年間の平均値を示している。その後はカードの集積に伴ない、毎年の統計が“北太平洋気象表”として順次刊行されている<sup>2.103, 108, 109, 114, 121)</sup>。

前述のISSCの共同作業<sup>2.6)</sup> のときも、海域No.3, 4をわが国が分担して、このカード資料から統計を求めたわけである。この際、わが国独自でさらに詳細な統計作業を計画し、造船研究協会（SR80）・船舶技研および気象庁の協同作業を実施した。ここでは、同海域を8海区に区分し、1957～1960年の4年間について約10万枚のカードが処理された。その結果は、山内ら<sup>2.98)</sup> によって報告されているが、各海域ごとに各季節ごとおよび年間の風速（9段）・波高（6段）・波周期（6段）・波向（8方向）の階級別発現回数を示したものである。北太平洋海域について、階級別頻度分布の形で表わしたはじめての海上気象統計といふことができる。

その後、これをさらに発展させた詳細な統計作業が、同じくSR80-1と船舶技研の共同作業で行われた。日本海を含む北太平洋のほぼ全域を54海区に区分し、1954～1963年の10年間約150万枚のカードを処理したもので、“北太平洋の風と波”として造船研究協会から出版された<sup>2.102)</sup>。これは、風向～風速・風速～波高・波向～波高および波向～波周期の4つの相関を、各海区ごとに各月ごとおよび年間の観測数・階級別発現頻度および平均値の形に集計したものである。風向～風速の関係は風配図の形で、波高は方向を無視したヒストグラムの形で示している。この作業は、その後さらに船舶技研で発展拡大され、風速～波周期および波高～波周期の相関についても集計され、大量の統計図の形で発表されている<sup>2.123)</sup>。これは、定点資料の少ない北太平洋海域に関する、最も広範な統計資料であるといってよい。ただし、原資料が一般船舶による目視観測データであるから、精度は必ずしも十分でないこと、商船が嵐を回避することを考えると苛酷な海象の観測例は相対的に少ないこ

となどを考えると、異常値の推定などの資料としては不満足なものであることはまぬがれない。

このほかにも、沖合波浪の資料としては、気象庁の観測船、海上保安庁の測量船、巡視船、農林省その他の漁業指導船、大学の研究船などによる調査資料もあり、最近の造船研究協会の実船計測（SR124, SR125）時の計測例などもあるが、いずれもきわめて断片的なものに過ぎない。

ここで、国際的な波浪データの収集態勢の現状などについて展望してみる。

まず、国連の下部機構であるWMO (World Meteorological Organization) は、人類の各種活動中とくに航空・船舶・農業などに役立つ気象学関係の情報の位置づけ・標準化・開発などを目的として、1951年に発足したものであるが、その傘下の技術委員会の一つであるCMM (Commission for Maritime Meteorology) が、海洋関係を主管して風・波・海水などの観測法、海象データの通報・交換・収集法などの開発、海象データの信頼性の向上などに努力している。最近は、海象の予測および予報の図化表示法、観測手引きの普及、計器による波浪計測の普及、波浪スペクトルの検討、他の関連諸機関との連絡などを進めつつあるようである。

このWMOで実施中の大きなプロジェクトの一つとして、海上気象統計事業WWW (World Weather Watch)<sup>2.6)</sup> システムがある。これは1964年に発足したもので、主要海洋国8か国の気象関係機関と、世界各国のVolunteer ship (一般商船および漁船) 約4,000隻がこれに協力している。各船は、どの海域にいても毎日4回の気象観測を実施して、担当機関(日本船は気象庁)へ無電通報し、各機関はこれによってパンチカードを作製して統計分担国へ配達することになっている。日本の分担海域は、 $0^{\circ} \sim 46^{\circ}$  N,  $120^{\circ}$  E  $\sim$   $170^{\circ}$  W となっている。各海域について、1964年以降月単位・年単位の集計を行い、少なくとも30年間連続して最終的な気象統計を作ることを計画している。波については、波高・波向および波周期の3要素とその組合せについての詳細な統計が期待されている。

WWWではさらに、観測定点の増設、Volunteer ship の増加、高緯度海域および南方海域の通報の増加などを提唱しているが、前途は必ずしも明るくないようである。自動化・省力化の傾向が主な原因のようであるが、情報収集の自動化にはまだ程遠い現状のようである。自動化の主役は、人工衛星とロボットブイとなることが予想されるが、アメリカはこのシステムの開発に熱心で、大プロジェクトとしてNDBDP (National Data Buoy Development Project) を国家的に推進し、1980年の実現を目指しているようである。

ユネスコの下部機構として1961年に発足したIOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) は、海洋の自然および資源の科学的研究を目的とした機関である。その活動の一部として、長期および広域の海洋研究プログラムLBPOR (Longterm and Expanded Programme of Oceanic Exploration and Research) があり、その50以上あるプロジェクトのうち、最も重要なものとしてIGOS (Integrated Global Ocean Station System) がある。IGOSは1967年発足し、75隻の選ばれた商船、100隻の政府所有船および各国の沿岸や沖合の観測定点などのデータの収集、係留ブイを主体とする自動計測ステーションの増設、海洋データセンターの設立などを計画し、最終的には観測直後に参加国にリアルタイムで海洋気象チャートを通報できるようなシステムの完成を目標としているが、まだ活発には動いていないようである。

IOCの1969年大会で提唱され、1971年に発足したECOR (Engineering Committee on Oceanic Resources)<sup>2.18)</sup> は、民間の国際機関であるが、この中にも表面波に関するWorking Group が作られており、波浪データ集の作製、波浪データ表記の標準化勧告などを目標として活動している。わが国の日本ECOR委員会にも波浪小委員会<sup>2.16)</sup> が設けられている。

また、国連の下部機構としてIMCO (Intergovernmental Maritime Consultation Organization) が

あり、安全性の問題に重点を置いて、船舶に関する各種技術的事項の協力態勢を作っている。この下に、船舶の区画や復元性に関する小委員会があるが、ここでも波浪外力の問題を検討しており、波浪データをできれば2次元スペクトルの形で集積すること、目視データと計測データとの相関の検討、目視観測技術の向上策、風の情報の検討などを議論している。

また、PIANC (Permanent International Association of Navigation Congress) では、波浪研究の国際委員会を発足させ、波浪の各種パラメータの標準化、波浪計測法および計器の標準化、データ解析法の標準化、波浪データセンターの設立の勧告などを行っている。

このほか、波の問題を検討している組織としては、北海方面の波の成長の問題や浅水域の波の問題を主として扱っているJONSWAP (Joint North Sea Wave Project) や、ISSC (国際船体構造会議) の波浪委員会、ITTC (国際試験水槽会議) の耐航性委員会、ASCE (米国土木学会) が主体となっている海岸工学会議、SNAME (米国造船造機学会) の耐航性研究パネルなどがあって、それぞれ活発に活動しているようである。

## 2.4 あとがき

各種波浪計測法、舶用波浪計の現状、現在入手できる波浪データおよび波浪データ収集の協力態勢などについて簡単な展望を行った。

船体応答の実船計測時には、外界条件としての波浪状態を同時計測することが望ましい。現存の各種舶用波浪計にはそれぞれ一長一短があり、まだ決定版といいうものはないが、すでに実用の域に達しているものはいくつかある。この種の波浪計の開発研究は、各方面で比較的小規模に散発的に行われているに過ぎないが、協力態勢をとって標準化の努力とする必要もあるように思われる。

船舶の波浪外力の長期傾向を知る基礎資料となる波浪データとしては、現在のところまとまったものとしては、ほとんど一般船舶の通報による目視観測データが大部分である。計器による計測データの集積も徐々に進みつつはあるが、北太平洋海域ではその態勢もきわめて貧弱なものである。目視データの集積は現在も続けられており、それはそれなりに大きい価値のあるものではあるが、船体応答計算の精密化に対応するためには、データの精密化も必要で、計器による計測データ、特に波浪スペクトルの形で表わされた波浪データの集積が望まれる。

応答計算の精密化に伴なって、外界条件としての不規則変動波浪は、波浪スペクトルの形で考えるのが一般的傾向である。スペクトルの形は北太西洋の実測結果に基いて、いくつかのスペクトル式が提唱されており、

ISSCでも、Pierson-Moskowitz<sup>2.99)</sup>の式に若干手を加えたものをISSCスペクトルとして提案し、各方面で大いに利用されている。しかし、この提案式の基となった波浪スペクトルの実測データの数はあまり多くはない<sup>2.11)</sup>、その後の別の海域での計測結果が提案式にあまりよく適合しない例も多いようである。広範囲かつ長期にわたる波浪スペクトルの計測データの集積が要望されるわけである。欧米においてはその努力も続けられているようであるが、わが国においては、沖合波に関するこの方面的計画も努力も皆無といってよい状態である。

遠い将来においては、世界的規模によるロボットブイと人工衛星による観測網の充実ということも予想されるが、わが国としては、それまで無為に待機していてよいという問題でもないように考えられる。ひとり造船学界だけでなく、航海・気象・海洋などの諸方面にも重要な問題であり、強力な協力態勢によって計器による波浪計測データの集積計画を進める必要がある。差し当っては、北方観測定点の復活、北太平洋航路の商船における波浪ブイの投棄などによるルーチンの波浪計測などを検討してもよいように思われる。

## 参 考 文 献

### (展 望)

2. 1) Nakano,M. :"Some Oceanographical Instruments Recently Devised by the Central Meteorological Observatory and Its Subordinate Organs", Proc. UNESCO Sympo. on Physical Oceano., Tokyo(1955).
2. 2) 井島武士："波浪調査"、『海岸港湾測量』第8章 (1960).
2. 3) 中野猿人："最近における海の波研究の概況"、海岸工学研究会講演(1960).
2. 4) SR調査部会："外力の船舶に及ぼす影響調査分科会作業報告書" 造研(1963).
2. 5) Deacon,G.E.R.:"Review of Recent Advances in Physical Oceanography", Trans. RINA, 106-1(1964).
2. 6) ISSC Commit.1:"Environmental Conditions", Proc. 2nd ISSC, Delft(1964).
2. 7) Draper,L.:"The Problems of Sea Waves Recording", Proc. IERE(1966).
2. 8) ISSC Commit.1:"Environmental Conditions", Proc. 3rd ISSC, Oslo(1967).
2. 9) 益田善雄："波高計について"、造船誌、470(1968).
- 2.10) 高橋智晴："沿岸波浪観測法"、第20回直技研報(1969).
- 2.11) ISSC Commit.1:"Environmental Conditions", Proc. 4th ISSC, Tokyo(1970).
- 2.12) Takahashi,Y.:"Experimental Apparatus", Ditto.
- 2.13) 山内保文："海洋波について一船舶の環境としての立場から、(1)~(7)"、造船誌、492、493、495、497(1970)、501、508(1971)、521(1972).
- 2.14) 光易 恒："波浪の観測" 海洋科学、4-11(1972).
- 2.15) ISSC Commit.1:"Environmental Conditions", Proc. 5th ISSC, Hamburg(1973)
- 2.16) "ECOR 日本委員会波浪委員会報告"、ECOR 日本委員会(1975).

- 2.17) Cartwright,D.E. & Draper,L.: "The Science of Sea Waves After 25 Years"  
 Proc. Intern. Sympo. on the Dynamics of Marine Vehicles and  
 Structures in Waves, London(1974).
- 2.18) ECOR Working Group on Surface Waves: "Engineering Requirements for  
 Wave Data", Engg. Commit. on Oceanic Resources(ECOR)(1974).

(波浪計)

- |  |                |
|--|----------------|
| 2.19) Farmer,H.G. et al.:"A technique for Ocean Wave Measurement", Proc. 1st Conf. on Ships and Waves(1954).   | Spar型ポール       |
| 2.20) Tucker,M.J.:"A Shipborne Wave Recorder", Trans. INA, 98(1956).   | タッカ式水圧         |
| 2.21) Caldwell,J.M.:"The Step Resistance Wave Gage", Proc. 1st Conf. Coastal Engg. Instruments(1956).  | 電気抵抗           |
| 2.22) Cox,C.X. & Munk,W.H.:"Slopes of The Sea Surface Deduced from Photographs of Sun Glitter", Bull. Scripps Inst. of Ocean Univ. of Calif., 6-9(1956). | 光反射<br>波傾斜     |
| 2.23) Dorrestein,R.:"A Wave Recorder for Use on a Ship in Ocean Sea", Proc Sympo. Behaviour of Ships in Seaway, Wageningen(1957).                        | 加速度            |
| 2.24) Miskin,E.A. & Kemp,P.H.:"Wave Measurements by Stereo Photogramment Methods", The Dock and Harbour Authority, 1957                                  | ステレオ写真         |
| 2.25) 谷口 中: "吊下げ型波高計について"、西部報、16(1958).  | 水圧式パイ自記        |
| 2.26) 高橋幸伯: "水位計について"、造船論、103(1958).   | 船側水位接点方式       |
| 2.27) Snodgrass,F.E. et al.:"Off-Shore Recording of Low Frequency Ocean Waves", Trans. Amer. Geophys., 39(1958).   | 水圧式<br>パイプロトロン |
| 2.28) 降旗常雄: "沿岸観測用遠隔自記波浪計MR-Mark IIIについて"<br>第7回海岸工学講演会講演集(1960).  | 水圧式            |

2.29)	Coté,L.J. et al.:"The Directional Spectrum of Wind Generated Sea as Determined from Data Obtained by the Stereo Wave Observation Project", Meteo. Papers, Vol.2, New York Univ.(1960).	SWOPステレオ 飛行機
2.30)	Marks,W.:"Splashnik - The Taylor Model Basin Disposable Wave Buoy", Proc. 7th Conf. on Coastal Engg, The Hague(1960).	Splashnik プイ 加速度式
2.31)	Marks,W. & Tuckerman,R.G.:"A Telemetering Accelerometer Wave Buoy", Proc. Conf. on Ocean Wave Spectra, Easton(1961).	Splashnik プイ
2.32)	Barber,N.F.:"The Directional Resolving Power of an Array of Wave Detectors", Proc. Conf. on Ocean Wave Spectra, Easton(1961).	ブイアレイ 水圧式
2.33)	Longuet-Higgins et al.:"Observations on the Directional Spectrum of Sea Waves Using the Motions of a Floating Buoy", Proc. Conf. on Ocean Wave Spectra, Easton(1961).	ピッチロールブイ 方向スペクトル
2.34)	De Leonibus,P.S.:"Power Spectrum Analysis of Wave Motion, Submarine Roll Angle, and Relative Cross-Flow Velocities, Cruise II 'USS RODFIN (SS-272)'", Tech. Rep. TR-100, U.S. Navy Hydrogr. Office(1961).	潜水艦 超音波
2.35)	Furuhata,T.:"New Electric Ocean Wave Recorder MR Mark III for the Coastal Wave Stations", J. Ocean. Soc. Japan, 18-3(1962).	水圧式 差動トランス
2.36)	Mark,R.B.:"Shipboard Ultrasonic Wave Height Sensor", Marine Sci. Instrumentation, Vol. 2(1962).	船側波 超音波
2.37)	永田 豊："波の方向スペクトルの測定・電磁流速計の応用"、沿岸海洋研究ノート、2-1(1963).	流速計 ブイ
2.38)	菱田耕造他："伊東海洋気象観測塔について"、沿岸海洋研究ノート、2-2(1963).	伊東沖
2.39)	速水頃一郎他："白浜海岸観測塔の設備と二三の観測記録について"、防災研究所年報、7(1963).	白浜沖
2.40)	Fisher,F.H. & Spiess,F.N.:"Flip-Floating Instrument Platform", J. Acoustical Soc. Amer., 35-10(1963).	FLIP 大型曳航ブイ 水圧式

2. 41)	Jordaan,J.M.:"Experience with Recording of Storm Waves, Swell and Tide, Using an Inverted Echo-Sounder Off Durban South Africa", Intern. Hydrogr. Rev., 40(1963).	音波エコー
2. 42)	Mark,R.B.:"Shipboard Ultrasonic Wave Height Sensor", Marine Sci. Instruments, 2(1963).	船側波 超音波
2. 43)	井島武士他："波向観測などにおけるレーダーの応用" 第11回海岸工学講演会講演集(1964).	陸地からレーダー
2. 44)	Nagata,Y.:"An Electromagnetic Current Meter", J. Ocean. Soc. Japan, 20-2(1964).	流速計
2. 45)	Cartwright,D.E. & Smith,N.D.:"Buoy Techniques for Obtaining directional Wave Spectra", Buoy Technol.(1964).	クローバ型ブイ 方向スペクトル
2. 46)	Moskios,A. & Leonibus,P.:"Performance of a Shipboard Wave Height Sensor", U.S.Naval Oceanogr. Office, Informal Manuscript Rep., No. 0-4-65(1965).	船側波 超音波
2. 47)	川島利兵衛："海岸附近波高および波向の遠隔測定装置について" 沿岸海洋研究ノート、5-1(1966).	函館湾
2. 48)	岩田憲幸："沿岸実験観測施設概要" 沿岸海洋研究ノート、5-1(1966).	平塚沖
2. 49)	岩田憲幸、稻田亘："超音波波高計(空中型)について" 防災科学技術総合研究速報、1(1966).	平塚沖 超音波
2. 50)	高橋智晴他："超音波波高計(水中型)について"、防災科学技術総合研究速報、1(1966).	海底から超音波
2. 51)	富永正照他："バイプロトロン式波高計について"、防災科学技術総合研究速報、1(1966).	水圧式ブイ バイプロトロン
2. 52)	前田清康："階段抵抗式波高計について"、防災科学技術総合研究速報、1(1966).	平塚沖 電気抵抗
2. 53)	Gaul,R.D. & Brown,N.L.:"A Free Floating Wave Meter", Paper No.8, Proc. Conf. on Electronic Engg. ' Oceano., IERE(1966).	水圧式ブイ バイプロトロン
2. 54)	Devereux,R.S. & Jennings,F.D.:"The Monster Buoy", Geo Marine Technol., 2(1966).	定点観測 加速度式ブイ
2. 55)	Lang,A.:"Die Entwicklung von Seegangs-Messbojen mit Kreiselstabilisierten Messwertaufnahmen für Beschleunigung und Bojenlage", Einzelveröff. 53, Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt(1966).	加速度式ブイ

2. 56)	Tamiya, S. & Takahashi, Y.: "A Towing Type Ocean Wave Recorder", Proc. 11th ITTC, Tokyo(1966).	曳航ブイ 波傾斜
2. 57)	Badgett, H.H.: "A Rader Wave Height Sensor", Proc. Offshore Exploration Conf.(1967).	船側波 レーダー
2. 58)	Sellars, F.H.: "The Dynamic Calibration of Shipborn Wave Gages", MIT, Dep. of N.A. & M.E., Rep. 67-11(1967).	船側波 超音波
2. 58)	Petre, J.W.: "Monster Buoys for Offshore Exploration", Proc. Suppl. Offshore Explor. Conf. (OECON)(1967).	大型ブイ
2. 59)	Barnett, T.P. & Wilkerson, J.C.: "On the Interpretation of Fetch Limited Wave Spectra as Measured by Airborne Sea-Swell Recorder", Tech. Rep. TR-191, U.S.Naval Oceano. Office(1967).	飛行機から レーダー
2. 60)	Ross, D.B.: "Recent Developments in Remote Sensing of Deep Ocean Waves", Proc. 3rd Annual National MTS Conf. San Diego(1967).	レーザー
2. 61)	Barnett, T.P. & Wilkerson, J.C.: "On the Generation of Ocean Wind Waves as Inferred from Airborne Rader Measurement of Fetch Limited Spectra", J.Mar. Res., 25-3(1967)	飛行機から レーダー
2. 62)	SR-63: "船舶の耐航性に関する実船試験", 造船報, 65(1968)	曳航ブイ 波傾斜
2. 63)	Ford, J.R., Timme, R.G. & Trampus, A.: "A New Method for Obtaining the Directional Spectrum of Ocean Surface Gravity Waves", IEEE. Trans. on Geosci. Elect., 6-4(1968).	NOTS "Trisec" 海上構造物 方向スペクトル
2. 64)	Kaplan, P & Ross, D.B.: "Comparative Performance of Wave Measuring System Mounted on Ships in Motion at Sea", Instr. Soc. of Amer. Conf., Cocoa Beach(1968).	船側波 レーダー
2. 65)	丸川武志: "高分解能レーダーによるうねりの周期と波速の測定" 電子通信学会論文誌, Vol. 52-C, No. 7 (1969)	沿岸 レーダー

- |       |   |                        |
|-------|---|------------------------|
| 2.66) | Yamanouchi,Y. & Matsumoto,N.: "On the Encounter Wave Recorder for Free Running Model and for Actual Ship", Proc. 12th ITTC, Rome(1969).   | 出合波<br>超音波<br>青雲丸      |
| 2.67) | Taira,K. et al.: "On the Response Characteristics of a Sonic Wave Gauge", J.Oceano. Soc. Japan, 25-6(1969).   | 音波、加速波<br>白鳳丸          |
| 2.68) | Isaacs,J.D.: "The North Pacific Study", J.Hydro-nautics., 3-2(1969).  | 深海架台、ブイ                |
| 2.69) | Ross,D.B., Cardone,V.J. & Canaway,J.W.: "Laser and Microwave Observations of Sea Surface Condition for Fetch Limited 17 to 25 m/s Wind", IEEE Trans. on Geosci. Electronics, 8-4(1970). | 飛行機、塔<br>レーザー          |
| 2.70) | Pierson,W.J. & Moore,R.K.: "Surface Weather and Wave Conditions", Proc. Conf. The Ocean World, Tokyo(1970).   | 人工衛星<br>レーダー           |
| 2.71) | Warsh,K.L, Garstang,M. & Gross,P.L.: "A Sea-Air Interaction Deep Ocean Buoy", J.Mar. Res., 28-1(1970).  | "Triton" ブイ<br>方向スペクトル |
| 2.72) | Clayson,C.H. & Smith,N.D.: "Recent Advance in Wave Buoy Techniques at the NIO", Con. in Electron. Engg. in Ocean Tech., Univ. Coll. of Swansea(1970).                                   | ピッヂロールブイ<br>方向スペクトル    |
| 2.73) | Valenzuela,G.R., Laing,M.B. & Daley,J.C.: "Ocean Spectra for the Higher Frequency Waves as Determined from Airborne Rader Measurement", J. Mar. Res., 29-2(1971).                       | 人工衛星<br>レーダー           |
| 2.74) | Krishen,K.: "Correlation of Rader Backscattering Cross Sections with Ocean Wave Height and Wind Velocity", J. Geophy. Res., 76-27(1971).  | 人工衛星<br>レーダー           |

2.75) Taira,K. et al.:"A Shipborne Wave Recording System with Digital Data Processing", J. of Oceano. Soc. Japan, 27-4(1971).	加速波、超音波 白鳳丸
2.76) Schule,J.J., Simpson,L.S. & de Leonibus,P.S.: "A Study of Fetch-Limited Wave Spectra with an Airborne Laser", J. Geophys. Res., 76-18 (1971).	飛行機 レーザー
2.77) 杉森康弘他: "ホログラム法による波の方向スペクトルの解析" 海洋学会講演予稿集(1971).	レーザー ホログラム
2.78) SR124: "大型鉱石船の船首部波浪荷重および鉱石圧に関する実船試験" 造研資、140(1971), 156(72), 170(73), 187(74) 210(75), 造研報、81(76)	投棄式 加速度式
2.79) SR132: "実船塔載用波浪計に関する研究" 造研資、164(1972), 177(73), 193(74), 214(75), 造研報、82(77).	投棄式 その他
2.80) 光易 恒他: "海洋波の計測法の開発研究1)"、九大応力研所報、39(1973)	クローバ式 方向スペクトル
2.81) 山下 旭: "船用波浪計の観測記録について"、船と海上気象、 17-3(1973)	タッカ式 その他
2.82) Gilbert,M.E. et al.:"Remote Data Acquisition Techniques Applied to Oceanographic and Meteorological Data Buoys", IEEE Ocean (1973).	人工衛星 ブイ
2.83) Hammond,D.L. & Craig,K.J.:"System Description of a Shipboard Wave Height Rader", IEEE Intern. Conf. on Engg. in the Ocean Environment(1973).	船側波 レーダー
( 波浪データ )	
2.85) Darbyshire,J.:"An Investigation of Storm Waves in the North Atlantic Ocean", Proc. Roy. Soc., Ser. A, 230(1955).	定点計測(I.J.) 1953~1954 波スペクトル
2.86) "Monthly Meteorological Charts of the Eastan Pacific Ocean, Western Pacific Ocean, Indian Ocean and Atlantic Ocean", The Marine Div. of Meteoro. Office, Her Majesty's Stationary Office, London (1956).	海上気象統計図 東太平洋、西太平洋、印度洋、大西洋、4海区、風とうねりの統計

- 2.87) Unoki,S.:"Wave Climate at the Ocean Weather Station TANGO and EXTRA in the North West Pacific", The Oceano. Magazine, 10-2(1958). 北方定点(1949-53)  
南方定点(1949-56)
- 2.88) Roll,H.U.:"Height, Length and Steepness of Sea Waves in the North Atlantic and Dimensions of Sea Waves as Functions of Wind Force", SNAME Tech. & Res. Bull., 1-19(1958). 北大西洋定点  
1950-52、2年間  
目視
- 2.89) Darbyshire,J.:"A Further Investigation of Wind Generated Waves", Deutsche Hydrogr. Zeit., 12(1959). 北大西洋定点(I.J.)  
1954~57  
波スペクトル
- 2.90) "Climatological and Oceanographic Atlas for Marines, Vol. II, North Pacific Ocean", U.S. Dep. of Commerce(1961). アガス島  
波スペクトル
- 2.91) Picket,R.L.:"A Series of Wave Power Spectra", Marine. Sci. Dept., U.S. Naval Oceano. Office, unpublished manuscript No.0-65-62 (1962). アガス島  
波スペクトル
- 2.92) "北太平洋海洋気候表、1942~1960年"第1部、第2部、気象庁技術報告 17(1962)、23(1963) 0°~52°E、  
110°E~110°W  
緯度2°、経度5°  
の枠目船舶通報
- 2.93) U.S. Naval Oceano. Office :"Oceanographic Atlas of the North Atlantic Ocean, Section IV, Sea and Swell", U.S. Naval Oceano. Office Pub. No.700(1963). 北大西洋  
緯度、経度5°  
の枠目
- 2.94) Walden,H.:"Höhe und Periode der Seeganges in Nördlichen Nordatlantischen Ozean", Deutschen Hydrgraphischen Zeitschrift, 17-5(1954). 北大西洋  
船舶通報
- 2.95) Lazanoff,M.:"Wave Power Spectra from Argus Island, September 1962"; Marine Sci. Dep., U.S. Naval Office, unpublished manuscript, No.0-46-64 (1964). アガス島観測塔  
1週間  
波スペクトル
- 2.96) Moskowitz,L.:"Estimates of the Power Spectrums for Fully Developed Seas for Wind Speed of 20 to 40 knots", J. Geophys. Res., 69-24 (1964). 北大西洋定点  
(A.I.J.K)  
1955~1960年

- 2.97) Walden,H.: "Die Eigenschaften der Meerswellen in Nordatlantischen Ozean"; Deutsche Wetterdienst Seewetteramt, Pub. No.41(1964). 北大西洋定点  
1950~1959,  
10年間目視
- 2.98) Yamanouchi,Y., Uniki,S. & Kanda,T.: "On the Winds and Waves on the Northern North Pacific Ocean and South Adjacent Seas of Japan as the Environmental Condition for the Ships", Papers of Ship Res. Inst., 5(1965). 北太平洋 8海区  
1957~60、4年間  
4季別、階級別頻度  
船舶通報
- 2.99) Moskowitz,L., Pierson,J.J. & Mehr,E.: "Wave Spectra Estimated from Wave Records Obtained by the O.W.S. Weather Explorer and O.W.S. Weather Reporter, (I)-(III)", Tech. Rep. New York Univ. (1962, 63, 65) 北大西洋定点  
(A.I.J.K)  
1955~1960年
- 2.100) Draper,L. & Whitaker,M.A.B.: "Waves at Ocean Weather Ship Station JULIETT", Deutsh. Hydrogr., A-18(1965). 北大西洋定点(J)
- 2.101) 宇野木早苗他: "北太平洋及び日本近海の波浪統計調査", 造船研究、7-2(1965) 北太平洋  
2.92) の詳細統計
- 2.102) SR80: "北太平洋の風と波、1954~1963", 造研(1966). 北太平洋 54海区  
1954~1963, 10  
年間月別、階級別  
頻度風配図
- 2.103) "北太平洋海洋気候表、1961年", 気象庁技術報告、51(1966). 北太平洋  
一般船舶通報目視  
平均波高
- 2.104) Brown,D.W., Scringer,J.A. & Kelly,C.E.: "Ocean Wave Measurements Using a Wave Pole", Pacific Naval Lab., Defence Res. Board, Canada, Rep. 66-1(1966). 北太平洋  
波スペクトル  
ポール式
- 2.105) Draper,L. & Squire,M.: "Waves at Ocean Weather Station INDIA", Trans. RINA, 108(1966). 北大西洋定点(I)  
タッカ一式
- 2.106) Walden,H.: "Der Seegang in Ausgewählten Gebieten des Tropischen und Subtropischen Atlantischen Ozean", Deutscher Wetter. Seewetteramt, Pub. No.56(1966). 南大西洋  
目視
- 2.107) Ewing,J.A. & Hogben,N.: "Some Wave and Wind Data from Trawlers", Marine Observer, 36(1966). グリーンランド海  
目視

2.108) "北太平洋海洋気候表、1962年"、気象庁技術報告(1967)	北太平洋 一般船舶通報 目視 平均波高
2.109) "北太平洋海洋気候表、1963年"、気象庁技術報告(1967)	同上
2.110) Inoue,T.: "Ocean Wave Spectra Estimated from Three Hour Pressure Records Obtained by FLIP", Geophy.Sci.Lab.Rep. 67-1, New York Univ.(1967).	東北太平洋 波スペクトル
2.111) Hogben,N. & Lumb,F.E.: "Ocean Wave Statistics", National Phys. Lab. (NPL), London(1967).	世界50海区 4季別 目視
2.112) 川鍋安次: "太平洋及び印度洋の海上気象統計"、海上気象参考資料Ⅳ、神戸海洋気象台(1968).	太平洋、印度洋 船舶通報
2.113) Ijima,T., Soejima,T. & Matsuo,T.: "Numerical Estimation of Wave Distribution in Typhoon Area", Proc. 11th Coastal Engg. Conf.(1968).	台風圏
2.114) "北太平洋海洋気候表、1964年"、気象庁技術報告(1968).	北太平洋 一般船舶通報 目視 平均波高
2.115) 気象庁: "昭和43年度南方定点観測報告"、(その1)~(その3)、船と海上気象、Vol. 13, No. 1~3(1969)	南方定点
2.116) Hogben,N.: "Measured and Visual Wave Data and Wind Observations from Trawlers", NPL Ship Div. Rep. 134(1969).	トロール研究船3隻 1963~68、6年間 波スペクトル
2.117) 山下旭、松本次男: "北西太平洋(北方定点SUGAR周辺における風と波について"、気象庁研究時報、21-5(1969).	北方定点(S)
2.118) Flatseth,J.H. & Pedersen,B.: "Distributions of Wave Heights in Different Ocean Areas Around the World", Det norske Veritas Rep. 70-7-s(1970).	世界各海域 目視
2.119) Pflugbeil,C. & Walden,H.: "Zur Höhe der Kreuzsee an den Nordatlantischen Wetterschiffen, 1955-1966", Deutsche Wetter. Seewetteramt, Pub. No.73(1970).	北大西洋 1955~66年 目視
2.120) Draper,L.: "North Sea Wave Data", Noropec 70, Thomas Reed, London(1970).	北海 波浪計測

2.121) "北太平洋海洋気候表、1965年"、気象庁(1970).	北太平洋 船舶通報
2.122) 気象庁："昭和44年度南方定点観測報告"（その1）、（その2）、 船と海上気象、Vol. 14, No. 2, 3(1970).	南方定点
2.123) Yamanouchi,Y. & Ogawa,A.:"Statistical Diagrams of the Wind and Waves on the North Pacific Ocean", Supple. No.2, Papers of SRI(1970).	2.101) の発展 北太平洋 1954~63, 10年間 各種統計図
2.124) Pflugbeil,C., Schafer,P.J. & Walden,H.:"Wave Observations by Shipborne German Weather Stations in the North Sea, 1957-1966", Deutsche Wetter. Seewetteramt, Pub. No.75(1971).	北海定点 1957~66年
2.125) Draper,L. & Driver,J.S.:"Winter Waves on the Northern North Sea at 57°30'N, 3°00'E Recorded by M.V. Famita", Nat. Inst. Oceanogr., Internal Rep. A48(1971).	北海 波浪計
2.126) Ewing,J.A. & Hogben,N.:"Wave Spectra from 2 British Research Trawlers", NPL Ship Div. Rep. 150 (1971).	トロール研究船 波スペクトル
2.127) Hogben,N.:"Comparison between Visual Observations of Waves from Trawlers and Results from Spectral Analysis", Ship TM 316, NPL(1971).	トロール研究船 波スペクトル
2.128) Krusoman,P.:"Presentation of 243 Wave Spectra from the Netherlands Light Vessel GEOREE with Some Preliminary Conclusions", NATO Sub-Commit. on Oceano. Res., Tech. Rep. 53(1971).	波スペクトル
2.129) Battjes,J.A.:"Long Term Wave Height Distribution at Seven Stations Around the British Isles", Deutsch. Hydrogr. Zeit., 25(1972).	イギリス近海定点 波浪計
2.130) Draper,L.:"Extreme Wave Conditions in British and Adjacent Waters", Proc. 13th Coastal Engg. Conf., Vancouver(1972).	同 上

- |   |                |
|---|----------------|
| 2.131) Bell,A.O.:"North Sea Wave Spectra", North Sea Environmental Study Group Rep.(1972).  | 北海<br>波スペクトル   |
| 2.132) Miles,M.:"Wave Spectra Estimated from a Stratified Sample of 323 North Atlantic Wave Records", Tech. and Mar. Engg.(1972). | 北大西洋<br>波スペクトル |
| 2.133) Haland,L., Honmb,O.G. & Pedersen,B.:"Long Term Distribution of North Sea Waves", Norwegian Maritime Res., 1-1(1973).       | 北海<br>目視       |
| 2.134) 鈴木盛男："北太平洋の波浪とWeather Routingについて"、海の気象、Vol. 19, № 3, 4 (1973).  | 目 視            |

### 3. 計測機器と解析処理方式

#### 3.1 実船試験計測法の変遷

初期の実船試験においては、航海中の船体運動・応力変動・振動などの実態をとらえることが主眼とされた。しかし、これらの諸性能を確実に計測する変換器がほとんどなかったといつてもよい段階であったので、まず、これらの変換器の開発に多くの関心が払われ努力が集中された。現在あらゆる分野で広く用いられている電気抵抗式歪ゲージなども、わが国における開発研究は実船計測用としての要望からスタートしたものである。<sup>3.1)</sup>

わが国の組織的な実船計測のさきがけともいべき「日聖丸」の試験<sup>3.2)</sup>では、船速・軸回転数・軸トルク・舵角・船首搖・縦搖・横搖・上下搖・船体応力・風向・風速等の同時記録をとり、海象・気象とこれらの諸性能との関連を検討しようという目標が掲げられた。これら諸性能の計測用変換器として、既製のものがそのまま用いられたのは風向風速計のみで、他はいずれもこの実船試験のために開発試作するという実情であった。また、同時記録といっても、記録装置もまだ満足すべきものではなく、各項目ごとに動コイル型ペン記録計・電磁オシログラフ・直記式ペン記録器・感光フィルム式記録器その他合計8台の記録装置が平行して使用されている。そのため、各記録器に較正信号・同期信号などを入れるなどしているが、わずか3分間の連続記録とはいえ、統一的な解析には相当の手数を要している。

このように、海象気象と波浪階級・有義波高・Beaufort風力階級などで平均的に表わしたものと、船体応答の短時間の連続記録からとった平均的な値とを、マクロ的に比較するという手法がしばらく採用されていた。しかし、この方法ではその現象の性質を示すのに限界があることが明らかとなり、波浪中の船体応答のような不規則変動現象の解明には、統計的手法を採入なければならないことが痛感されるようになってきた。

この方向における St. Denis や Pierson らの研究成果<sup>3.3)</sup>が発表されるとともに、波浪そのものおよび船体応答などの計測や解析に、確率過程理論の成果が着々と取り入れられるようになってきた。SR17の研究<sup>3.4)</sup>では、船体動搖のコレログラム・スペクトル解析が試みられているが、これは世界的にみてもこの手法のきわめて早い応用例である。

その後、Neumann, Pierson ら<sup>3.5)</sup>による波浪のスペクトラム表示の研究が成果を挙げ、また Jasper ら<sup>3.6)</sup>による波浪や船体応答の発生頻度分布や異常値の期待値などに対する、いわゆる短期分布や長期分布の研究が進むにつれて、このような統計的手法は実船試験結果の解析手法として常識的なものとなってきた。

統計的手法にも、マクロ的な立場とミクロ的な立場がある。ミクロ的な立場とは、応答を時系列として取扱い、確率過程理論の成果を用いて、主としてコレログラム・スペクトラムによって応答の性質やその周波数構造等を明らかにしようとするものである。したがって、その解析も、アナログ的に行おうとすれば適当な時間にわたる連続記録が必要であり、デジタル的に行おうとすれば、連続的な計測から細かい時間間隔でサンプリングしデジタル化した時系列が必要である。一方、マクロ的な立場とは、表面上は時間要素を取り去り、応答（主として振幅）を単なる確率変数として取扱う立場である。すなわち、分布関数の形を推定し、それからたとえば船の一生に遭遇する推定最大値など種々の期待値を求めようとするもので、解析も主として変動値の見掛けのピーク値（極大・極小値）等の頻度分布を求めるところから出発することが多い。わが国においてはこれまで、運動性能関係者は主として前者のミクロ的な立場を、構造強度関係者は後者のマクロ的立場をとることが多かったようである。

ミクロな立場に立つものとしては、上記の SR17 の解析のほかに、原船協で行った実船試験<sup>3.7)</sup> の解析等があるが、いずれもオシログラムの目視読み取りによる方法が大部分で莫大な手数と時間のかかるものであった。ただし、原船協の「おれごん丸」の長期実船試験では磁気テープを用いる解析法が用いられている。さらに、その後の研究によって統計的解析手法の標準ともいべきものも確立し、電算機による計算用プログラムもほぼ定まつたものが得られるようになった<sup>3.8)</sup>。船舶技研で行った「山隆丸」の実船試験<sup>3.9)</sup> では、A/D変換器を搭載して計測と同時に穿孔テープを作り、実験終了後直ちに計算機にかけられるよう、解析の時間と労力を大幅に節減することが試みられている。

マクロ的立場に立つものの代表的なものとしては、SR44 及び SR49 の貨物船 12 隻による応力頻度計測がある。<sup>3.10)</sup> ここでも、当初はオシログラムの目視読み取りによる頻度計数が行われていたが、簡単な応力頻度計を開発して極大極小のピーク値を計数する方式に移行している。実船計測用の応力頻度計は、<sup>3.11.12)</sup> その後も半機械式のものから電子式のものまで非常に数多くのものが開発試作されている。その性質上、長期連続の計測に使用するため、なるべく省力化・無人化したものが望ましいので、極力簡素化したものが多く、それぞれ一長一短があるようである。頻度計数方式にしても、ピーク値計数(peak-count)方式のもの、振幅計数(range-count)方式のもの、帯域通過回数計数(level-crossing count)方式のものなどいろいろあり、また、現象そのものに高周波成分を含んだ不規則なものが多いが、高周波成分の処理の仕方(無効振幅の値の設定、フィルター定数の設定)もまちまちで、同じ現象を解析しても相当異なる結果を得るのがふつうである。

その後の電子計算機技術の進歩に伴なって、各種の解析プログラムも整備充実され、計測記録はなるべく原データを生のまま収録しておいて、解析段階でいろいろな処理を加えようという方向に次第に移行し、ミクロ的な解析にもマクロ的な解析にも使用できるような記録方式がとられるようになってきた。SR63の「しやとる丸」による試験<sup>3.13)</sup> や、SR118のバルクキャリアの実船試験<sup>3.14)</sup>、SR124の「笠木山丸」の実船試験<sup>3.15)</sup>、SR125のコンテナ船の試験<sup>3.16)</sup> などは、この方式をとっている。これらの記録はほとんど磁気テープ式のデータレコーダを用いているが、アナログ式のものとデジタル式のものがあり、記録チャンネル数のきわめて多い場合はデジタル方式のものが用いられているが、一般にはアナログ式で生のままのデータをとるという方式が多いようである。SR125で開発した計測記録を集中化した「計測コンテナシステム」もこの方式をさらに発展させたものである。

マクロ的立場の一方の極端として、SR124<sup>3.15)</sup> で開発した「自動計測方式」も興味あるものである。計測対象をできるだけ簡単化して、長期連続の計測の完全無人化を目指したもので、実船試験研究だけでなく、操船者用のモニター計器としての発展も期待できるものである。

### 3.2 一貫処理システム

最近、実船試験において波浪や船体応答などの各要素を計測し、記録し、解析することまでを考え、これらを一貫して容易に行いうるようなシステムという意味で、一貫システムということがよく言われている<sup>3.13)</sup>。造船研究協会においても、上述の SR63, SR99 などではこの方向を目指しており、SR124, SR125 の実船試験では、相当このシステムが確立されてきたものとみることができる。

たとえば、SR125 の方式<sup>3.16)</sup> では、計測コンテナ内のデータレコーダに収録した多数の計測項目の同時記録テープを、陸上の専用解析装置で処理するようになっている。ここで、一次解析と称している統計解析(ヒストグラム・スペクトラムの算出)、二次解析と称している 2 現象間の相関に関する解析(クロススペクトラム、応答関数の計算)などが、即時に図表によって表示されるようになっている。従来の方法では、ここ

に至るまでの時間と労力は莫大なものであった。この方式によって、その解析結果を総合的にまとめ、理論計算や模型実験結果などと比較検討する3次解析への途が非常に短縮されたということができよう。

一貫処理システムとしての必要な要件は、以下のような諸点が考えられる。

- a) 計測・記録・解析の各段階の操作になるべく労力・時間を要しないこと。
- b) 精度が十分高く、各段階の操作に当つてなるべく余分な誤差が導入されないこと、また、必要な情報を失なわないこと。
- c) 止むを得ず含まれる誤差および統計的信頼度の推定が容易なものであること。
- d) 目的に応じて、必要な情報を不必要な情報から容易に分離できるものであること。
- e) 装置全体に信頼度が高く、安定で故障が少なく、故障した場合その対策の立てやすいものであること。特に船舶の場合は耐環境性のすぐれたものであること。
- f) 各操作の段階の監視が容易なものであり、かつ、必要に応じて各段階を取出してみることが可能であること。
- g) 各計測項目ごとの較正が容易に行いうること。

計測される諸量の「計測」→「記録」→「解析」→「結果の表示」の流れ、すなわち情報の流れを考える場合、これらの諸量の扱い方あるいは表現には、アナログ量とデジタル量の2種類がある。第1段階の計測対象となる諸量と、最終段階の結果の表示とは、アナログ量であることが一般的で、途中もアナログ量として扱うことができれば、全過程を一貫してアナログ量の処理として取扱うことができる。また、結果の表示を数表等によって行い、計測も直接デジタル計測（変換器出力がデジタルのもの）とすれば、途中の解析もデジタル処理として、全過程をデジタル量として扱うこともできる。この場合、デジタル式のXYプロッタでも刻みが十分小さいため、ほとんどアナログ表示と変わらない曲線表示をすることも可能である。これら2種の典型的な場合の中間に、デジタル処理とアナログ処理を組合せた多くのケースが考えられる。

計測・記録・解析の処理をアナログ量で行う場合とデジタル量で行う場合とを比較してみると、次のような諸点が考えられる。

- a) アナログ記録は、一般にデジタル記録よりも装置は簡単でよいが、精度の維持が困難である。
- b) デジタル処理は一種のフィルタ処理であるため、情報の一部を失うことがある。特に、高周波の現象や過渡的現象の場合などは、サンプリング間隔を十分細かいものとする必要がある。
- c) 現状では、デジタル演算の方がアナログ演算よりも誤差が少なく、また、統計的処理を必要とする場合、統計的誤差の評価が容易である。
- d) 情報の伝達に当つては、デジタル量のほうがアナログ量の場合よりも信号に対する雑音の混入が少ない。アナログ処理とデジタル処理の得失は上記のようであるが、処理の目的によって、どの特徴を活かしてどの方式を用いるかを定める必要がある。たとえば、短時間の間に大まかな見当をつけたい場合、同じ方式できわめて多数の計測量の処理を流したい場合、または種々の異なった解析手法を試みたい場合などいろいろあり、一つの目的には最適でも、他の目的に対しては必ずしも適当でない場合もあるわけである。

### 3.3 計測機器の現状

実船試験における各計測項目ごとに、変換器・計測機器の現段階における性能や有用性について展望してみる。記録・解析用機器についてはすでに若干触れたので、ここでは省略する。また、計測項目中の外界条件については、波浪については第2章で詳述しており、風・温度その他については別に問題はないと思われる所以、ここで

は触れないことにする。

各種計測項目を便宜上次のように大別する

荷 重 1. 水 圧

2. 波浪曲げモーメント

3. その他の荷重

4. 応 力

5. 变 形

機 関 6. 軸トルク・軸馬力

7. 軸スラスト

8. 軸回転

9. 綱・フィン

船体運動 10. 船 速

11. 船体動揺

12. 船体振動

その他 13. 応答頻度

#### (1) 水 圧

水圧計としては、受圧膜と歪ゲージを用いた水圧ゲージが各種開発されており、船側や船底にかかる波浪水圧、甲板にかかる打込水圧などの計測に、ほぼ満足すべき成果を挙げている。ただ、きわめて薄い膜を露出させて使用すること、主として外板に開孔して使用する型のものが多いことなどから、機械的損傷に対する防護や船の安全対策など、水圧ゲージの船体への取付け方法については、いろいろ問題が多い。変換器以外の部分については、ほとんど応力計測と共通であるから応力の項で述べることにする。

#### (2) 波浪曲げモーメント

波浪曲げモーメントは船体設計の基礎となる最も重要な要素であるが、モーメントの値そのものを直接計測することは困難で、船体中央部の上甲板または甲板縦通りなどの波浪曲げ応力として間接的に計るのが普通である。最近は横断面中の数箇所の応力を同時計測記録して、電算機処理によって縦曲げ、水平曲げ・捩りなどの各成分を分離解析する手法も開発されている。計測機器については、これも応力計測と共通である。

#### (3) その他の荷重

その他の荷重としては、横断面に加わる水圧荷重、局部的水圧、青波水圧などの波浪荷重のほか、油および水タンクの壁にかかる液体圧、鉱石倉の鉱石圧、貨物配置によるモーメントや剪断力などいろいろ考えられる。これらの計測も結局は歪ゲージによる応力計測に帰一できるようであり、計測点の選び方、変換器の取付方法などにはそれぞれ問題が多いが、変換器そのものについてはあまり問題はない。

ただし、鉱石圧の計測手法についてはまだ開発の余地が多いようである。実験室的には各種の方法が実用されているが、実船においてその平常の運航や荷役作業に支障を与えないような適切な変換器はまだないようである。

#### (4) 応 力

応力計測は、電気抵抗式の歪ゲージによる歪計測法が一般的に広く用いられている。ゲージそのものも増幅器もその進歩がめざましく、多数点の動的応力の同時計測、数百点もの多数点のデジタル計測なども容易にできるようになっている。ただし、実船計測においては、リード線が相当長くなる場合が多いこと、ゲージやり

一ド線の環境条件の変化が著しいことなどから、きわめて長期間の計測中零点漂動をなくすことはほとんど不可能で、一航海を通じてとか数か月にわたってとかの長期計測において、応力の絶対値を正確に測ることは困難である。計測系の内部的要因による零点漂動と、外部的要因（重量変化、重量分布変化、熱応力など）による平均値の変動とを明確に分離して計測することができないわけである。したがって、長期間の平均値（零点）の移動は無視して、短期間の変動成分のみを計測する方式をとるのがふつうである。

応力計測だけでなく、歪ゲージを応用した各種の変換器の場合も同様であるが、ゲージや変換器の取付位置も、それから増幅器までの配線取付位置も、温度・湿度その他の環境条件が悪い場合が多いので、長期間計測の場合には、取付方法・配線方法などに十分の注意を払う必要がある。

#### (5) 変形

変形または変位の計測も、要するに長さの変化の計測に帰一するわけで、ダイヤルゲージを用いた機械式変位計や歪ゲージ・ポテンシオメータなどを用いた電気式変位計または伸び計などが用いられる。ダイヤルゲージ式のものも、遠隔計測のため電気的出力に変換して計測する方式のものが一般的である。甲板の波浪曲げ応力のようにほぼ均一な応力状態と考えられる部分では、安定した計測を行うために1m近くのスパンの伸縮を伸び計で計測して応力計測としている場合も多い。

一船全体のたわみ、大型船の横断面の変形、倉内隔壁の変形または倉口開口の変形など、比較的広範囲の変形計測には、光学的な計測やピアノ線を用いる測定なども行われているが、いずれもスパンが長大になるに従って困難度が増し、特に稼動中の船で航行中の動的計測を行うことは非常に困難である。

レーザー光線ビームを用いて大型船の航行中の船体たわみを動的計測した例もあるが<sup>3.17)</sup>、経費その他の関係でまだ一般的ではない。

#### (6) 軸トルク・軸馬力

軸馬力の計測は、軸トルクと軸回転数の計測に帰一する。実船装備用の馬力計では、光学式・変磁束式・無接触式または弦の振動を利用する方法などによって軸の捩れ変形からトルクを求め、回転発電機または電磁ピックアップで回転速度を求める方法がとられている。<sup>3.18)</sup> 軸馬力計が装備されていない場合は、中間軸の捩れ歪を歪ゲージで検出し、スリップリングまたはテレメータで計測する方法がとられる<sup>3.19, 3.20)</sup>。

簡便法としては、ディーゼル主機のシリンダ内圧力により校正された油の消費量から算出する方法もある。<sup>3.21)</sup> この場合はシーマージンのような長時間の平均値などの計算に用いられる方法である。

#### (7) 軸スラスト

軸スラストによる軸の圧縮歪は、トルクによる捩り歪に比べて約1桁小さく、スラストをトルクと同等の精度（1.5%程度）で計った例は少ない。スラストパッドや中間軸に特殊な装置を施す以外に精度を上げる方法がなく、新造船の建造当初から計画しない限りスラスト計測は困難である。現在スラスト計を装備している一般商船は皆無に近いようである。

軸の圧縮歪を拡大して検出する方法<sup>3.18)</sup>、または半導体歪ゲージを用いる方法<sup>3.20)</sup>などが最近試みられているが、長時間のスラスト測定に応用するまでには、まだ時間がかかりそうである。

#### (8) 軸回転

軸回転の測定は、船に装備された回転数指示計を利用する場合と、軸に回転計を取り付ける場合がある。後者の場合、軸の回転をなんらかの方法でタコメータの回転に伝達し、アナログ量として計測する方法と、回転を歯車の電磁誘導によってパルスに変換し、デジタル量として計測する方法がある。いずれの場合も特に問題はない。

#### (9) 舵およびフィン

舵角は操舵機室からレピータに伝達され、船橋等で計測記録することができる。舵角を直接操舵機室で測定するには、舵軸に連動するポテンシオメータを用いる。この方法は直接的で単純な方法であるが、操舵機室から計測室に至る配線が長くなったり、装置の監視に不便であるなどの欠点がある。

航海中の舵角の動きは、オートパイロットの特性および制御用の各種パラメータにより大きく影響されるので、計測中のこれらの値を定量的に記録しておく必要がある。舵角の動きの長期間の傾向を検討するため、リレーを用いた半機械的の操舵頻度計を用いた計測例もある。<sup>3.13)</sup>

舵力の測定では、操舵機馬力の算定に関連して、試運転時に舵軸トルクを測定した例は多いが、航海中に測定した例はほとんどない。西ドイツの海洋観測船で、舵を4分力検出計を介して取付けて、舵の抵抗・揚力・圧力中心等を測定した例は、特殊な例であるが興味深い試みである。<sup>3.22)</sup>

船の横揺軽減のために、カーフェリーに多く装備されているフィンスタビライザーの効果を調べるために、フィンの迎角およびフィンに働く揚力を、スタビライザー制御機構の中の信号からとり出して、船体運動と同時に記録した例がある。<sup>3.23)</sup> フィンをうまく利用して横揺強制装置として使えば、船の横揺減衰力を求めることができることが示されている。

#### (10) 船速

船速の測定は、風向や風速と同様に、船に装備された速度計の読み取り、あるいは、指示計の入力信号やこれと連動するポテンシオメータを用いる方法などがある。速度計は、試運転速力測定用としては種々の方式が工夫されているが、航海中の実船試験用となると限定されてくる。

船に装備される速度計には、回転翼車式・抵抗式・圧力式・電磁式・超音波式などがあり、船底に突出して取付けられるものが多い。最近の実船試験で、電磁式速度計の指示計レピータを用いて、速度の連続記録とする方が用いられた例がある。曳航式（波浪式）ログが併用された例もあるが、曳航索の強度・作業上の困難さなどから、大洋航行時の実船試験に使用されることとは、最近ではなくなった。

#### (11) 船体運動

6自由度の船体運動のうち、回転運動はジャイロ式動揺計により測定される。このうち、横揺・縦揺はバチカルジャイロにより、船首搖は方位ジャイロにより測定される。実船計測には、水槽の模型試験用のものを流用することが多いが、長時間の連続使用のためには、実船搭載用に作られた大型のものを用いるほうがよい。レートジャイロを用いて角速度信号を取り出し、電気的に積分して回転角変位を測定する方法もある。船首搖の測定には、船に装備してあるジャイロコンパスの信号を用いることも可能である。最近は、I C化された增幅器を内蔵したきわめて小型のサーボ式加速度計を用いて、角加速度を検出し、電気的に積分して回転角を測る方式も好結果を得ているようである。<sup>3.24)</sup>

船体の線運動、すなわち前後搖・左右搖・上下搖は、船の重心に取付けた加速度計出力を2回積分して計測することができる。この場合、船体傾斜による重力の加速度成分の混入を避けるため、加速度計を人工水平台上に載せることが望ましい。人工水平台の代りにジャイロ自体と加速度計を組合わせる例も多い。2回積分の過程で零点移動が大きくなることが多いので、これを極力小さくする注意が必要である。連続したアナログ記録が必要でなく、スペクトル解析のみを目的とする場合には、加速度のスペクトルを変位のスペクトルに換算することができるので、積分しないで加速度のまま記録してもよい。加速度計の変換器としては、歪ゲージ式・リラクタンス式・振子式・サーボ式などがある。

長期間の無人自動計測用としては、S R 124の自動計測に使用した動揺計がある。<sup>3.15)</sup> 振子とポテンシオメ

ータを応用したもので、精度の点では若干問題はあるが、2年余の長期の無人計測で好結果を得ている。

#### (12) 船体振動

振動計測も、大体において加速度計測または変位計測に帰一するものである。変換器として各種各様のものが続々と開発されているようであるが、詳細は第3分科会(SR200-3)の報告書に譲ることにする。

#### (13) 応答の頻度

船体構造部材の疲労被害の検討、期待される最大応力値の推定などのために、船体応力の頻度計測を行った実船計測は非常に多く、船用応力頻度計の種類もきわめて多い<sup>3.11)</sup>。しかし最近は、さきに3.1でも述べた通り、変動の極値なり振幅なりを一々計数するいわゆる頻度計を用いる方式よりも、統計処理やスペクトル解析ができるような形で生のデータを記録しておいて解析処理装置または電算機で処理するという方向に移りつつあるようである。長期連続のデータを集積するために、きわめて簡単な処理装置を船に搭載して、完全自動式で一次解析をした結果のみを記録するようにした例もある。

### 参 考 文 献

3. 1) SR2 : "船体構造と応力分布測定に関する研究"、造船研究、3(1953).
3. 2) 菅 四郎他 : "航海性能に関する日聖丸実船試験の概要"、造船論、92(1957).
3. 3) St. Denis, M & Pierson, W. J. Jr. : "On the Motion of Ships in Confused Seas", Trans. SNAME, 61(1953).
3. 4) SR17 : "船舶の波浪中における復原性に関する研究"、造研報、25(1959).
3. 5) Neumann, G. & Pierson, W. J. Jr. : "A Detailed Comparison of Theoretical Wave Spectra and Wave Forecasting Methods", Deutsche Hydrograph. Zeitschrift, 10-3, 10-4(1957).
3. 6) Jasper, N. H. : "Statistical Distribution pattern of Ocean Waves and of Wave Induced Ship Stresses and Motion With Engineering Applications", Trans. SNAME, 64(1956).
3. 7) 日本原子力船研究協会 : "原子力船における外力の原子炉に及ぼす影響に関する試験研究"、原船協14-I、II(1960)、23-I、II(1961)、31(1962).
3. 8) 山内保文 : "船の波浪中動揺応答の解析法について"、その1-4、造船論、109、110(1961)、111(62)、119(66).
3. 9) 高石敬史ほか : "ニューヨーク定期貨物船山隆丸による太平洋航海性能実船試験について"、船研報、2-2(1965).
3. 10) SR44, SR49 : "高速船の波浪中の応力頻度ならびに甲板荷重の実験的研究"、造研報、49(1965).
3. 11) 高橋幸伯 : "船舶における応力頻度計測装置"、生産研究、17-1(1965).
3. 12) SR99 : "航海中の船体応力頻度に関する実船試験"、造研資、62(1967)、76(68)、96(69).
3. 13) SR63 : "船舶の耐航性に関する実船試験"、造研報、65(1968).
3. 14) SR118 : "大型鉱石運搬船の船体各部応力に関する実船試験"、造研報、72(1972).
3. 15) SR124 : "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"、造研資、140(1971)、156(72)、170(73)、187(74)、210(75)、造研報、81(76).

- 3.16) Sa125 : "超高速コンテナ船の耐航性に関する研究"、造船資、157(1972)、171(73)、188(74)、211(75).
- 3.17) 高橋幸伯ほか："大型船における船体たわみの動的計測"、造船論、134(1973).
- 3.18) SR138 : "高速コンテナ船の軸馬力推定法の精度向上に関する研究報告書" (1973).
- 3.19) 矢崎敦生ほか："ニューヨーク定期貨物船大島丸による北太平洋航海性能実船試験について(第1報)"、船研報、1-3、1-4(1964).
- 3.20) 翁永一彦ほか："コンテナ船穂高丸による北太平洋実船試験について"、船研報、12-5(1975).
- 3.21) 小川陽弘ほか："コンテナ船あめりか丸による北太平洋航海性能実船試験"、船研報、8-2(1971).
- 3.22) Weinblum, G. und O. Krappinger : "Forschungsschiff " Meteor " - Entstehung und Zweck", Keil, H. : "Untersuchungen über das Verhalten von Schiffen im Seegang - Erprobung einer Messanlage auf dem Forschungsschiff " Meteor " ", Suhrbier, K. : "Ruderkraftmessungen und Manövrierversuche auf dem Forschungsschiff " Meteor " ", Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Band 59, (1965).
- 3.23) 小川陽弘ほか："外洋フェリーの運動性能に関する研究(第2報)フィンスタビライザーの効果及び実船の横揺特性に関する実船試験"、船研報、12-4(1975).
- 3.24) 岩井 聰ほか："操船援助装置の開発委員会事業報告書"、舶用機器開発協会、(1976).

## 4. 航海中の船体運動性能

### 4.1 まえがき

航海中の船体運動性能あるいは耐航性に関する実船試験の歴史は1920年代にさかのぼる。Korvin-Kroukovsky はその大著 "Theory of Seakeeping" <sup>4,3)</sup>において、耐航性に関する実船試験の歴史を概観した。その中で大規模な実験として、J. L. Kent による4隻の実船試験(1922), Kempf & Hoppe による S. S. HAMBURG の実験(1925), G. Schnadel による S.S. SAN FRANCISCO の実験(1934), Admiralty Ship Welding Committee による S.S. OCEAN VULCAN の実験(1953), W. Möckel による Trawler の観測結果(1953)およびわが国の試験水槽委員会による「日聖丸」の実験(1954)等について、計測項目、計測法、得られた結果をやや詳細に紹介している。そして、実船実験の重要なテーマは外界条件およびその中の船の各種応答の記述であるとし、方法としては風、波、船の応答の間の因果関係を定量的に詳しく明らかとすること、各種データの統計的な集計とその表現の2つの往き方があると指摘し、さらに実船試験の結果を一般化するため、模型試験との比較検討はぜひ必要であるとしている。

また彼は、上記の Kent 以来の実船試験の内容と成果の考察から、実船試験における問題およびその目指すべき方向として次のような結論を述べる。

- 1) 多くの実験が行われたが、最初に Kent が出した課題：
  - a) 海象と船の運動の不規則性の把握
  - b) 異なった海象下の異なるデータの相関性

に答えておらず、ただデータを集めたと言うに過ぎない。
- 2) その最大の理由は
  - a) 海の波の測定法の欠陥
  - b) 波の不規則性を取り扱う定量法の不確定(常に平均波のみを取扱っている)
  - c) 実験の航海が孤立したものであって、海象の予想などが広範囲に行えないこと等である。
- 3) 解決法として
  - a) 船体に備えた波浪計(Ship borne wave recorder)の実現
  - b) 不規則波理論の発展

が基本であるが、さらに実験法として重要なことは、「解析法を実験の計画の段階で既に確立しておくこと」で、そのためには
  - c) 解析の自動化をすべきで、また簡単に読み得る計測器が必要であろう、と言っている。
- 4) 実験結果の表現方法としては、満足すべき seakindliness を持つ船がいかなる応答を示すべきかを標準化した公式で表すのは不可能に近いが、重要なことは船の運航者の利用に対応できるように、船の性能・性質を定量的に定めることである。
- 5) 将来の実船実験に対する要望事項として、
  - a) 実験者は海の波の不規則性についての統計的知識を持つこと。
  - b) 解析には digitizer が必要であるが、さらに進んで electric analyser が望ましい。
  - c) 海象の記録では sea と swell を区別し、さらに方向性を含む sea spectrum を決めるこ。

- d) 観測時間を1時間程度(300の揺れ数)とすること。
- e) 6自由度の船体運動記録が、舵角の記録といっしょに可能であること。
- f) 計測システムを整備して不時に起る興味ある現象を逃がさず記録すること。
- g) マグネットテープの利用がすすめられる。そして、それぞれの計測が終了後1時間以内にスペクトラムにすることができるればそれに越したことはない。

この Korvin-Kroukovsky の意見は多くの卓見に満ち、われわれを首肯させるものがある。彼が指摘した問題点或いは課題のうちいくつかは、その後の船体運動理論の発展や実船試験の経験を積み重ねて解決の方法が見出されつつあり、さらにすでに実現しているものもある。

本章では「日聖丸」以後におけるわが国の耐航性の実船試験をふりかえり、その成果を概観しながら上記の課題が現在どのように達成されているかを考察することにする。わが国における耐航性の実船試験を或る程度まとめて記述したものとしては、造船協会の60周年記念叢書(英文)Vol. 8の第7章<sup>4.1)</sup>のほかいくつかの文献がある<sup>4.2、4.4～4.8)</sup>。これらの文献も参考しながら、本文では船の種類別にまとめて考察することにする。

#### 4.2 一般貨物船

耐航性に関する実船試験では、波浪、風、船速、推進器軸にかかるトルク・スラスト・回転数、船体の動搖や加速度、操舵角、船体に働く水圧や相対水位変動、応力等、時々刻々に変動する不規則量を測定し、記録することが中心になるが、このような実船試験の一つの典型として「日聖丸」の試験が挙げられる<sup>4.9)</sup>。この試験は試験水槽委員会によって実施されたが、「日聖丸」の処女航海(1951～1952)において129日間、総計154回にわたり前記のような項目が毎回3分ずつの連続記録としてとられた。この試験では、動搖計や船速計、馬力計などの計器を新しく開発して用いたのが特色である。記録はオシログラフまたはペン書きの記録紙上にとられたが、その解析は主に測定量の平均値の相關関係、たとえば平均速力と平均馬力、波の平均周期と動搖周期の関係などを出すよう行われた。記録の波形はすべて残されているが、その後不規則現象の統計解析法の研究が進むとこのような実船での3分の記録は短かすぎることがわかった。

「日聖丸」の実船試験に引続いて、風洞試験による風圧測定、波浪中における水槽試験などが行われ、模型試験と実船の比較により、航海性能の解明に力が注がれた。このように「日聖丸」の実船試験は、第2次大戦後の困難の多い時期に世界にさきがけて、わが国の造船研究の総力を結集して行われたもので、わが国の実船試験の先達の役割を果すとともに、その後の船体運動理論や波浪中の水槽試験の発展のきっかけをともなった非常に重要な実船試験である。

わが国の原子力船の開発の構想が立てられたのは昭和30年代に入ってからであるが、その最初の時期に当つていくつかの実船試験が行われた。すなわち船舶用原子炉が船上においてどの程度の動搖や加速度を受けるかを調査する目的で、造研が原船協と共同で貨物船「穂高山丸」、「おれごん丸」、「もんたな丸」、タンカー「剛邦丸」などによる一連の実船試験(1959～1961)を実施した<sup>4.12)</sup>。この試験では船上の数個所における上下方向と左右方向の加速度を測定したが、貨物船では数航海にわたる長期の連続測定を行い、その頻度解析に適するよう磁気記録装置と計数解析器が開発されて用いられたのが一つの特徴である。試験の結果の解析により加速度の長期分布が川島他により示された<sup>4.13)</sup>。そして北太平洋を航行する長さ150m程度の貨物船の加速度として、上下加速度はF.P.で1.36g、中央部で0.45g、A.P.で1.03gを、左右加速度は0.39gをそれぞれ設計値とすることを提案した。このように、実船試験結果は、別に行われた各種船型についての波浪中模型試験の結果とあわせて、わが国の原子力船の設計基準を定める基礎となった。

運輸技術研究所引続いて船舶技術研究所が10年計画に沿って行った実船試験<sup>4.7)</sup>の最初の5年(1962~1966)はニューヨーク定期貨物船による冬季北太平洋における実験で、「大島丸」<sup>4.15)</sup>、「まんはったん丸」<sup>4.16)</sup>、「山隆丸」<sup>4.17)</sup>、「隅田丸」<sup>4.18)</sup>および「しあとる丸」<sup>4.19)</sup>(造研と共同)である。これら一連の実験では、シーマージン、船体運動および構造強度に関するデータを同船種の同一航路の船で集積することを主眼とした。実験技術上では、第3回の「山隆丸」にデジタイザを搭載し記録を穿孔紙テープにとり、実験後ただちに陸上の電算機にかけスペクトラム解析を行ったり<sup>4.21)</sup>、さらにその後の解析に利用したり<sup>4.22)</sup>したこと、第5回の「しあとる丸」の試験で造研SR63部会が計測から解析に至るデータ処理を一貫したシステムで行うため多チャンネルの磁気テープ記録装置を用いたことなどが特徴である。

また、「しあとる丸」の船体運動の応答関数をストリップ法で求め、仮定した波浪スペクトラムと掛け合わせて応答のスペクトラムを求めて実験結果と比較し、比較的良い一致を得たり、また操舵頻度を連続記録し、「山隆丸」の操舵頻度と比較し、オートパイロットの設定の具合によって不必要な大角度操舵が起きていることを指摘したりした。

高速貨物船による実船試験としては、このほかに小山による「ふわりだ丸」の実験<sup>4.20)</sup>がある。この実験結果により荒天中の自動操舵をする船の船首揺や舷角の応答スペクトラム解析を行い、広い意味での波浪中の操舵による抵抗増加を最小にする最適操舵を論じた。

実船試験とは異なるが、関連する仕事として注目する必要があるのは、造研SR80およびSR91部会において行った多数商船(北太平洋定期貨物船22隻335往復、北米鉱石船5隻130往復、南米鉱石船6隻114往復)のログブック解析と、気象庁に集められた一般船舶の気象電報の解析である。前者はシーマージン<sup>4.24)</sup>および速力低下を船の大きさをベースに統計的に示したものであり、後者は北太平洋の海域を54に区分し、それぞれの海域の気象海象の出現頻度を年間、季節、月別ごとに分類またはまとめて示したものである。これらの解析の特色は、きわめて多数のデータ(約150万枚)をパンチカード化し、電算機で統計処理したこと、このような商船の観測も数がまとまれば、かなり有用な結果が得られることを示した。したがって船舶のログブックの記述もあるべく多数の情報を正確に記録することが望まれるとともに、船舶の気象電報の意義を認識し、なるべく多くの船舶による多数のデータ集積とその解析とを継続的に行なうことが望まれる。

一般貨物船の実船試験は、船の巨大化、コンテナ船の出現などの海運造船界の情勢を反映して、次節以下に述べるコンテナ船、タンカー、鉱石船、ばら積船等の実験試験に引続がれていった。

### 4.3 コンテナ船

コンテナ船の実船試験は、昭和45年に造研SR108部会が、わが国初のフルコンテナ船として建造された6隻のコンテナ船で合計9航海の実船観測を集中的に行って以来、昭和50年まで継続して多数の船によって行われている。コンテナ船についてこのように多数の実船試験が継続して長年月にわたって実施された理由として下記の事項が挙げられよう。

- 1) この時期にコンテナ船の本格的就航が始まり、一方新鋭大型貨物船はほとんどコンテナ専用船になってしまった。したがって新造貨物船に関する実船試験は当然コンテナ船を対象にすることとなった。
- 2) コンテナ船は新しい種類の専用船であるのでその実態を計測し、把握しておく必要があった。
- 3) コンテナ船という新しい枠の中でも新造船は次々と高速化、大型化され、従来型貨物船の常識を破る新設計が試みられたので、さらにその実情を捕えるべく次々と実船計測が要望された。
- 4) コンテナ船の就航航路には荒れる海域が含まれている。一方、コンテナ船は運航スケジュールを遵守しなけ

ればならないので、荒海中も高速で走る機会が多い。すなわち、コンテナ船では波浪中性能の良否が直接の問題になる。言い換えるとコンテナ船は荒海中性能を実船計測する船種として最適である。

以上のような技術的理由に基きこの時期に造研の SR108、SR125 および船研がコンテナ船に関する継続実船試験を探り上げたことが試験数を増した社会的要因である。なかでも 5 年余にわたって実施された SR の実船試験は「日聖丸」以来の世界に誇り得る画期的な実船計測であると言えよう。

昭和 40 年代に入ってから電子計測器はそのトランジスタ化、さらに IC 化によって飛躍的に高性能になるとともに信頼性が増した。その結果、実船計測用機器の分野でも増幅器、データレコーダおよびデータ解析処理装置としての電子計算機の進歩は目ざましく、10 年前には考えられなかったような計測システムが比較的容易に実現可能な客觀情勢になっていた。そこでコンテナ船の実船試験はいずれも近代化された計測装置を使用し、得られたデータを電算機処理する方式が採用されている。なかでも SR125 で開発し製作した計測コンテナシステムはこのような時代の象徴的産物と言えよう。

本節ではこれらのコンテナ船実船試験を概観する。またこれらの実船試験から得られた将来の実船試験の展望は 4.7 今後の問題点のなかで述べる。

まず、SR108 による実船観測は、1970 年 - 1971 年にかけての冬季北太平洋で 6 隻のほぼ同型（長さ 175 m、700 個積み）のコンテナ船を用いて、北米西海岸往復の合計 9 航海にわたって行われた<sup>4.26)</sup>。これらの実船観測では大学、研究所、造船会社が合同し 9 チームが乗船計測に当ったが、縦揺、横揺、船首の上下加速度を共通の測定項目に選んだほか、記録には磁気テープを用い、解析も応答の振幅の統計解析とスペクトラム解析に共通のプログラムを開発したのを用いて行われ、実験データの総合解析が可能ないように心がけた。計測回数は 1 回 15 分から 20 分の計測が約 300 回に達した。解析の結果は同一形式の表にまとめられ記録に残されている。計測結果を見ると、縦揺 14°、横揺 41°、F.P. の上下加速度 1.35 g、同じく F.P. の横加速度 0.95 g（いずれも複振幅）の最大値が得られている。

この試験では減揺水槽効果、波浪衝撃によるシャター現象、荒天中の意識的減速などの避航状況なども調査された。

SR108 に引続いて SR125 で実施されたコンテナ船の実船試験は<sup>4.27)</sup>、SR108 の経験に基づき、コンテナ船に適した実船計測装置として計測コンテナを新しく製作し、その中に計測・記録器を収容し、船が異なっても容易に移動して各船共通の計測・記録方式をとるようにしたのが大きい特徴である。この計測コンテナは 8' × 8' × 20' の冷凍コンテナを改造したもので、船体動揺、船速、風向、風速などの計測装置と、自動記録方式の磁気テープレコーダ（アナログ方式）とを内蔵しており、船の計器ともレピータ等を介して接続可能である。そして記録の監視や操作は、ブリッジから遠隔で行えるようになっている。さらに ITV により船をとりまく海象や甲板上の海水打ち込み状況等も同時に記録される。

計測コンテナを用いた実船試験は、1971 年に 1 隻、1972 年 2 隻、1973 年 2 隻、1974 年に 1 隻と合計 6 隻により行われた。船の航路もコンテナ船の就航状況の拡大に応じて北太平洋航路のほか、パナマ経由のヨーロッパ航路やニューヨーク航路にもおよんでいる。計測内容は、動揺、加速度のほかプロペラ軸の負荷や、船体の応力など増加の一途にあるが、波浪計測のため挿込式パイ波浪計（水圧式）をかなり大量に使用したこと、船首付近の衝撃水圧の測定を行ったことも特筆される。また 1972 年、リアルタイムのディジタルスペクトル・アナライザを購入して実験データの解析に用いたのも大きい特色である。この時系列解析機はディジタルのミニコンにより、アナログ入力を FFT 解析によってスペクトル解析を行うもので、計測器と直結すればオンラインで解析が可能となる。本機は二つの現象の自己相関、相互相関、オートおよびクロススペクトル、コヒーレンシ

イ、応答関数、頻度解析などを高速で行い、結果をブラウン管オシロに図示するとともにハードコピーも取れるようになっている。

SR125における実船試験のプロジェクトは1975年3月に完了したばかりでその結果はまだまとめられていないが、同部会で行われたコンテナ船の耐航性能に関する模型試験や理論計算の結果と総合して有意義な成果を得ることが期待される。特にストリップ法による船体運動の理論計算を応用し、波浪中の安全限界を定め、その中で最適航路を選ぶシミュレーション計算と実船観測との対比は興味あることと思われる。

船舶技術研究所でも1970年にSR108と共同してコンテナ船の実船試験を行って以来、毎年、独自の計画で実船試験を行っている。試験の内容は船体運動、シーマージン関係のほか、その年の計画に対応して、船体運動と主機特性、プロペラ負荷変動、コンテナ強度やラッシング張力、多軸船の負荷変動などを重点的に取り上げている<sup>4.28～4.31)</sup>。特に1972年の試験では供試コンテナを特別に製作しコンテナの強度関係の計測を行った<sup>4.30)</sup>。

上記の造研や船研の継続的な実船試験のほかにも造船会社が独自でコンテナ船の波浪中性能に関する実船試験を行っている。

このように、6年間の主に冬季の時期に合計16隻、22航海にわたり、同一船種の実船試験が行われたことは実船試験史上でも画期的なことであり、その成果は個々の試験データとして有用なばかりでなく、全体を総合的に解析することによりさらに有益な成果が得られるであろう。

造研のSR161ではコンテナ船の航海記録であるログブックの解析を、1隻のコンテナ船を選んで行った。そして経年変化によるシーマージンの増加、季節的シーマージン、波浪中の速力低下をそれぞれ明にして、この方法の有用であることを示した。

#### 4.4 タンカー、バルクキャリア、鉱石船

巨大船としてのタンカー、バルクキャリア、鉱石船に対する実船試験は、一般貨物船に引続いて行われるようになったが、波浪荷重に関するものが主体である。すなわち、一般貨物船と同様に縦曲げ応力の測定が行われ、その長期分布を推定するほか、船側や船底の横強度部材に働く応力に関心が向けられるようになった。最近では波浪衝撃圧力にも関心が払われている。

前述の船研の10年計画の実船試験の後半の5か年間はほとんどこのような巨大船の実船試験である<sup>4.34～4.36)</sup>。船体運動に関しては試験中の縦揺、横揺、加速度の頻度分布や有義波高に対する各種応答の有義値などの関係が解析されている。

タンカーの航海性能に関する実船試験としては、九大応力研と佐世保重工が協同で行った「B丸」の試験がある<sup>4.37)</sup>。この試験では船体運動のほか船首船底水圧が測定され、海象に対する応答の大きさや whippingによる振動が示された。また船首に突出バルブがある場合とない場合の航海性能を比較し、バルブがあると満載で0.2 kt 程度、バラスト状態で 0.5 kt 程度の速度向上が得られたとしている。

近年に至り鉱石専用船「笠木山丸」を中心とした大がかりな実船試験が、造研 SR124 で実施せられた(1970～1974)。この実験のため船載式の波浪計が SR132 で開発されたが、結局、投込式のパイ波浪計を採用し、波浪と船側の水圧、船体動揺および多数点の応力の測定がなされた。この実船試験は、並行して別に行われた波浪外力の推定法の研究とともにストリップ法に基く船体運動、変動水圧、波浪荷重などの理論計算法の構造解析への応用を目指したものである。

大型専用船の運航に関して東京商船大が実船計測を行い、荒天避航の変針や減速が船体運動におよぼす影響等を調べている<sup>4.40)</sup>。また海難防止協会では長さ 204 m から 259 m の大型鉱石専用船の 53 隻、合計 126

航海のログブック解析を行い<sup>4.41)</sup>、荒天時の操船の実態を詳しく調べた。

肥大船のシーマージンに関して石井は12万トン以上のタンカー6隻のアプログを解析した<sup>4.42)</sup>。

#### 4.5 鉄道連絡船およびカーフェリー

沿岸を航行する船舶で比較的大型のものは鉄道連絡船および近年出現のカーフェリーである。これらの船は大量の乗客を運ぶためその安全性が特にきびしく要求される。また一方、鉄道車輌や自動車をそのまま積載するため、波浪中の固縛の安全性が問題となる。

鉄道連絡船に関しては運輸技術研究所が国鉄の依託を受けて行った青函連絡船の一連の実船試験がある。当初の実験の主眼は冬季のシーマージンの推定という、経済性に着目した試験であった<sup>4.43)</sup>が、昭和29年の洞爺丸台風による連絡船の大難事故を契機として、安全性を中心とした、動搖特性、操縦性能に関する実船試験が行われた。車両甲板上の貨車のラッシング張力と船体動搖との相関も研究された。

鉄道技術研究所でも青函連絡船の実船試験をいくつか実施し、白石は貨車のラッシング張力の頻度分布を調べ<sup>4.44)</sup>、篠田は「空知丸」の32航海(冬季)の動搖を解析し当時の連絡船の運航状況下では25°前後の横搖片振幅の出現の可能性を予測した<sup>4.45)</sup>。

近年における沿海のカーフェリーの急増と大型化とともに、積荷である自動車の危険防止、客船としての安全性の確認の必要性が生じ、造研のRR6部会が実船試験を実施した(1972~1973)<sup>4.46)</sup>。東京・北海道・九州の太平洋沿岸就航のカーフェリー数隻により、船体動搖、加速度と自動車のラッシングにかかる張力の相関や、フィンスタビライザの効果を調べた<sup>4.47, 4.48)</sup>。応答のスペクトラム解析がなされ、フィンスタビライザの効果は確認され、横搖角で約1/3.5、横搖角加速度で約1/2に減少することが判ったが、自動車のラッシング張力と船体運動との相関は複雑な要素がからみ合っておりまだ十分解明されていない。コンテナ船のコンテナラッシングの張力と同様、船体運動との相互関係は多入力解析などの進んだ解析が必要となるであろう。

#### 4.6 特殊船舶・漁船

特殊船舶として自衛艦、海洋・気象観測船、練習船、巡視船などがある。これらの船舶は一般商船に比べて実験時の行動に制約が少ないとなどの利点を有するので、停船することも場合によっては必要な波浪観測や、波との出合角や船速を自由に変える8角航走試験などに適している。

造研SR17部会が行った「北斗丸」、「おじか」、「あつみ」、「銀河丸」、「宮島丸」の実船試験は(1955~1956)、わが国での船の安定性基準を定める必要から日本近海および北太平洋の波浪の性質と船の横安定に関連する動搖特性とを把握するために行われたものである<sup>4.2)</sup>。特にこの試験のため、北方・南方定点、北太平洋などへの航海が行われ、波浪の計測に特に工夫がこらされたほか、横搖角、角速度、角加速度などが測定された。この試験も並行して別に行われた風浪中の安定性に関する模型試験と相たづさえて、世界にさきがけたわが国の船舶の復原性基準の制定に役立った。この試験の行われた時期は波浪の生成や予報理論、不規則現象のスペクトラム解析法の応用が端緒についた時に当り、本試験の解析に利用された。

昭和30年代には自衛艦による実船試験もいくつか行われた。竹沢は波浪中の水槽試験結果と実船の縦搖、上下加速度、船速低下とを比較し、大波高、高速時に模型試験で得られた非線形影響の修正をほどこせば両者の良い一致が得られることを示した<sup>4.49)</sup>。永井他は、船体動搖、曲げ応力、スラミングによる衝撃水圧の測定を行い、ストリップ法理論計算と比較し、船体動搖では良い一致を得たが曲げモーメントの一一致は良くないという結果を得ている。

練習船による実船試験で注目されるのは実験船の構想である。西ドイツの造船研究機関が海洋観測船兼造船工学実験船として、計測装置を数多く備えた METEOR 号を建造し(1964)<sup>4.51)</sup>、いくつかの実船試験を行ったが、わが国でも練習兼実験船の構想が運輸省を中心に立案された。種々の都合で当初目標とした完全な実験船とはならなかったが<sup>4.54)</sup>、この構想から生れた練習船「青雲丸」は、船首出合波浪計、動揺計、プロペラのスラスト計や馬力計などを備え、これらが専用の計測室に導かれており<sup>4.52)</sup>、何回かの実船試験に利用されている。

わが国の原子力第一船として建造された「むつ」<sup>4.55)</sup>は実験船としての性格を有し、耐航性に関する多くの計測設備を持っているが、船上に電算機を備え、波浪中の応答の統計解析、スペクトル解析がオンラインで行えるようになっている。

最近では模型船と実船の中間の大きさの実験船を建造し、実船の性能推定における模型船の尺度影響を調べようとする試みもいくつか行われている。その多くは肥大船の操縦性を対象としているが、波浪中の運動性能や応力を対象とした試験もある<sup>4.56)</sup>。

北海道大学水産学部では水産練習船により、波浪中の船体動揺や、漁具にかかる力と船体動揺の関連を調べるため実船試験を行っているが、スペクトル解析に自己回帰モデルを応用した多入力解析を行って興味ある結果を得ているのも注目される<sup>4.57, 4.58)</sup>。

特殊船の実船試験として船研が最近行った南極観測船「ふじ」による氷海航行実態調査がある<sup>4.59)</sup>。この試験では、碎氷時の船体加速度、動揺、プロペラのトルク等を測定し、また氷厚と碎氷距離との関係などを調べた。また、いわゆる暴風帯における船体動揺の測定も行っている。

#### 4.7 今後の問題点

本章では、わが国における耐航性実船試験を船種別に概観した。まえがきに述べた実船試験の要件をふりかえりながら、これらの実船試験を見ると次のようなことがいえる。すなわち、コンテナ船の実船試験における計測コンテナにおいて実現されたように、計測技術の進歩、システム化および解析の自動化は、かつて実船試験において求められていた水準に到達したと言える。波浪の正確な把握についてはいくつもの試みが行われ、経費をかけければ或る程度の情報は得られるところに来ている。応答の長期分布を求めるために計測の無人化、自動化が望ましいが、これについては未完成である。

以下、船体運動の立場から見た実船試験の今後の在り方について順を追って考察する。

##### (1) 長期か短期か

長期計測の必要性はあるが、短期計測を捨ててはならない。長期計測では少数の項目の測定しか実施できない場合が多い。一方、短期計測の積み重ねからはより広い範囲にわたる長期分布の推定が可能であろう。また以下のように短期計測が不可欠の分野が多い。

##### (2) 理論あるいは模型実験値と実船計測値との比較はもう不要か

模型実験値と理論値の比較でさえ目下進行中であり、横運動に関しては一致度が悪いのが現状である。また模型実験値と実船実測値の比較も完璧なものではなく、この比較は時代とともに常に試みられるべき性質のものであらう。そして具体的にはこの比較は短期実船計測から得られる周波数伝達関数の段階するのが常道である。したがって、短期計測が必要となる。

##### (3) 標準計測方式を決めるべきではないか

最低限の計測項目を設定する。できれば標準的な計測器、記録器も決める。考え方としては、その時に知

りたい計測対象についてのみ測定してくるのではなく、無駄と思われるデータも標準方式に沿って採ってくる。

(4) アナログ記録かデジタル記録か

(前章 3.2 節を参照されたい。)

(5) 解析方式

短期計測の場合はヒストグラム、スペクトラムの計算は必ずするであろうから、そのプログラム、サンプリング法などについて標準的方法を決める。この一次解析以降の解析法はその時の主たる目的によって異なるであろう。

(6) 船体運動のみの測定でよいか

6自由度の船体運動を1次船体運動、それらの組合せで算出される船首上下加速度、速度などを2次船体運動、さらに1次船体運動の組合せのみでは計算できない海水打込み、プロペラレーシング等を3次船体運動と定義するとしよう。これまでの実船試験では1次船体運動の測定を主目的としていた傾向があり、2次、3次船体運動は参考までに測定されていきに過ぎない。しかし船の運用上ではむしろ2次船体運動、さらには3次船体運動の方が問題になる。もちろん構造強度関係は建造上の問題としてさらに重要であることは言うまでもないが、任意の船に対して強度上の問題を代表させ得るストレスの計測点は困難であろうから船首尾での上下および左右加速度などで船体に働く外力の代表値とみなすことが考えられる。いずれにしても、1次船体運動のみの計測ではなく、2次、3次の船体運動および応力測定を同時に行わなければ、今後の実船試験の意義は薄れよう。

(7) 波高の測定値は何に使うか

たとえば、投棄式波高計を使用するとすれば、一発数10万円もしてその計測時間は15分程度に過ぎない。したがって、これらの測定値を集積して海洋波の統計をとろうとすると天文的な費用を要するであろう。この貴重な波高の実測値はその波の中を航走している船体の応答特性を算出するのに使用して始めて真価を發揮する。この実測応答特性を模型試験あるいは理論計算から得られる推定特性と比較するわけである。理論あるいは模型実験法は船の種類や航路によって変化しないので、波高計を投入する実船試験をあらゆる船種、航路について実施する必要はないと言えよう。

この意味からは荒れる海域を高速で走る可能性の多いコンテナ船でのSR125方式のような短期多項目計測と同時に波高計測を実施するのが最もよい方法であろう。

(8) 実態の把握しにくい現象の測定

- a) 意識的減速、変針の原因と結果
- b) 犯装品、コンテナ破損時の状態
- c) 外板凹損、フレーム圧損時の水圧や船体運動
- d) プロペラレーシング時の船体運動、推進性能
- e) 2節振動発生時の船体表面水圧

以上はいずれも短期連続記録を実施しないと実態を把握できない。

(9) 長期分布予測の必要性

ある船に計測器を固定して設置しておき船の一生などの長期にわたり測定を続けることは、長期分布の予測との関連に立脚して計画しないと意義の少ないものになろう。長期分布の実測値そのものはその船固有の値に過ぎなく、なんら汎用性を持たないからである。

#### (10) ログブックの活用

推進性能および海象に関する項目はログブックに記載されているものが多い。本文中にも述べたようにログブック解析によりシーマージン、船速低下、海象に関して有用な結果が得られている。その後、日時も経過しているので未解析のログブックが山積していると思われる。また、電算機処理がより発達しているのでさらに立派な内容を引き出せる可能性がある。シーマージン、船速低下に関しては、たとえば P S W 航路のコンテナ船を選ぶと就航船の船型はほぼ同型船であり、SR108 の実験船と一致するし、前 VCSR が行ったログブック解析の貨物船の航路とも一致するので、非常に興味ある結果が得られよう。

#### (11) 運航者との関係

造船技術にとって実船試験は、設計値の確認をしたり、或は予測し得ない現象を見出し設計に反映させるという基本的なねらいを持つが、耐航性に関していえば、そのうえに船の運航者との知識の交換が必要である。船体運動が操船によって大きく影響を受けるからである。すなわち、操船者が外界条件の中でどのような操船を行っているか、操船の判断の基となっているものはなにか等を把握するとともに、造船者側からは船の応答の予測値を示して、両者の比較によって船の耐航性の限界を明らかにすることが実船試験のもう一つの重要な侧面であろう。Gerritsma は、多数のオランダ商船の観測により船が減速や変針を行った船体運動上の理由を統計分類したが、どの実船試験でも外界条件、船体の諸応答のほかに船長の行う操船に注目することが望まれる。また造船者側からは、対象とする船の応答の予測の上に立った実船試験を行うべきである。

#### (12) データ解析理論の応用

本文中にも述べたとおり不規則現象のスペクトル解析、頻度解析などの第1次解析、クロススペクトルや応答関数の2次解析は船上で自動的に行える段階に到達している。今後はこれらの容易に得られる解析結果を総合して有用な結果に導くより高次の解析に精力が向けられることになろう。

実船試験で測定される現象も2次、3次の応答を対象にし、点数も増加し、データ相互の関連もより複雑となろう。したがって、不規則現象の解析法にも、多入力スペクトラム解析や高次スペクトラム解析等の手法を用いる必要性がますます増大するであろう。

### 参 考 文 献

(実船試験法・試験結果のまとめ)

4. 1) Kan, S. et al : "Researches on Seakeeping Qualities of Ships in Japan, Chapter 7. Actual Ship Observations at Sea," 60th Anniversary Series, Vol.8 (1963).
4. 2) : "Advance in Research on Stability and Rolling of Ships," 60th Anniversary Series, Vol. 6 (1960).
4. 3) Korvin-Kroukovsky, B.V. : "Theory of Seakeeping, Chapter 3. Ship Motion. 5. Observations on Ships at Sea," Published by SNAME (1961).
4. 4) 竹沢 : "耐航性に関する水槽試験法及び実船試験法"、耐航性に関するシンポジウムテキスト、日本造船学会(1969).
4. 5) Yamanouchi, Y. : "Short Review of the Seakeeping Performance Tests of Ship under Service Carried Out at Ship Research Institute," Proceedings of the 11th ITTC (1966).
4. 6) Tamiya, S. : "Short Review of Actual Ship Experiments Conducted as Programs of the Shipbuilding Research Association of Japan," Proceedings of the 11th ITTC (1966).

4. 7) 山内 他： “船舶技術研究所における実船試験—現状とその成果について—”、  
船研特別講演会概要、(1969).
4. 8) Tasaki, R. : “Collection and Analysis of Full Scale Data-Summary of Work in Japan”,  
Proceedings of 14th ITTC, Vol. 4 (1975).

(一般貨物船)

4. 9) 菅 : “航海性能に関する日聖丸実船試験の概要”、造船論 92 (1952).
4. 10) 小杉 他 : “穂高山丸によるスラミング実船計測”、造船論、105 (1959).
4. 11) 秋田 他 : “穂高山丸の航走中の船体応力頻度について”、造船論、105 (1959).
4. 12) 日本原子力船研究協会 : “原子力船における外力の原子炉に及ぼす影響に関する試験研究”  
原船協、14-1 (1960).
4. 13) 川島 他 : “実船による動搖加速度の計測値とその解析について”、造船論、111 (1962).
4. 14) SR44 : “実船航走時の波浪による甲板荷重の実験的研究”、造船研究、3-3 (1961).
4. 15) 矢崎 他 : “ニューヨーク定期貨物船大島丸による北太平洋航海性能実船試験について”  
船研報、1-3, 4 (1964).
4. 16) 北川 他 : ニューヨーク定期貨物船まんはったん丸による第2回北太平洋航海性能実船試験について”  
船研講演会、第3回 (1964).
4. 17) 高石 他 : “ニューヨーク定期貨物船山隆丸による北太平洋航海性能実船試験について”  
船研報、2-2 (1965).
4. 18) 安藤 他 : “隅田丸による北太平洋実船強度試験”、造船論、119 (1966).
4. 19) SR63 : “船舶の耐航性に関する実船試験”、造研報、65 (1968).
4. 20) 小山 : “外洋航行中の船の最適自動操舵系に関する研究”、造船論、122 (1967).
4. 21) 山内 他 : “船の波浪中動搖応答の解析法について(その4)”、造船論、119 (1966).
4. 22) 山内 : “多入力スペクトラム解析法の船の応答研究への応用と非線形応答の一取扱いについて”  
造船論、125 (1969).
4. 23) 山内、大津 : “船の応答の非線形性と高次元スペクトラム—バイスペクトラムの応用—”、  
造船論、131 (1972).
4. 24) SR80 : “船体性能の向上に関する調査報告書(その1)”、造研資、24 (1964), 37 (1965),  
46 (1966).
4. 25) SR91 : “海象気象と船体性能との関連に関する調査研究”、造研資、57-1 (1967).

(コンテナ船)

4. 26) SR108 : “高速貨物船の波浪中における諸性能に関する研究”、造研資、110 (1970), 125 (1971).
4. 27) SR125 : “超高速コンテナ船の耐航性に関する研究”、造研資、157 (1972), 171 (1973),  
188 (1974), 211 (1975).
4. 28) 小川 他 : “コンテナ船あめりか丸による北太平洋航海性能試験”、船研報、8-2 (1971),  
8-4 (1971), 9-3 (1972).
4. 29) 井ノ内他 : “北太平洋実船実験(高速コンテナ船主機関の変動)報告”、船研講演会、第19回 (1973).

- 4.30) 翁長 他: "コンテナ船穂高丸による北太平洋実船実験について", 船研報, 12-5(1975).  
4.31) 野中 他: "大型コンテナ船黒部丸の実船試験", 船研講演会, 第26回(1975).  
4.32) S R 1 61: "船舶の波浪中性能推定の精度向上とその実証に関する研究", 造研資, 257(1976).

(タンカー、鉱石船)

- 4.33) 萩原 : "長大槽に生ずる動圧の実船計測について", 造船論, 121(1967).  
4.34) 安藤 他: "巨大船の実船強度試験", 造船論, 125(1969).  
4.35) 安藤 他: "大型タンカーの実船強度試験(第1報~第3報)", 船研講演会, 第8回(1967).  
第10回(1968)、第12回(1969).  
4.36) 安藤 他: "大型鉱石運搬船の実船試験", 船研講演会, 第15回(1970)、第17回(1971)、  
第19回(1972).  
4.37) 田才 他: "油槽船B丸の航海性能の調査", 西部報, 42(1971).  
4.38) 別府 他: "S.S. Orient Giant号の運航性能について", 西部報, 39(1970).  
4.39) 山崎 : "シーマージンについて", 西部報, 39(1970).  
4.40) 豊田 他: "大型専用船の海難防止に関する研究、(1)実船調査の概要", 東京商船大研究報告(自然  
科学), 23(1972).  
4.41) 鞠谷 : "荒天運航の実状—大型専用船のログブックの解析—船舶の荒天運航に関するシンポジウム", 日本航海学会(1973).  
4.42) 石井 : "実船の航海実績", 肥大船の推進性能に関するシンポジウムテキスト, 日本造船学会、  
(1975).

(鉄道連絡船・カーフェリー)

- 4.43) 志波 他: "冬期青函航路における鉄道連絡船の運航性能について", 運研報, 4-6(1954).  
4.44) 白石 : "青函連絡船用車輌緊締具の強度", 鉄研報.  
4.45) 篠田 : "船舶の横揺れの長期間における統計分布", 造船論, 110(1961).  
4.46) R R 6 : "外洋フェリーの性能に関する調査研究報告書", 造研資, 21R(1973)、  
26R(1974).  
4.47) 土屋 他: "カーフェリーにおける自動車の固縛について", 船研講演会, 第21回(1973).  
4.48) 小川 他: "外洋フェリーの運動性能に関する研究(第2報)", 船研報, 12-4(1975).

(特殊船舶・実験船)

- 4.49) 竹沢 : "船体縦揺れに関する水槽試験と実船試験との比較の一例について(第1報、第2報)",  
造船論, 107(1960)、109(1961).  
4.50) 永井 : "荒天中における船体の運動、縦曲げモーメントおよび船首船底水圧の実船計測例",  
造船論, 120(1966).  
4.51) Weinblum, G.: "Vortragsgruppe Forschungsschiff Meteor", J STG, 59 Band, (1965).  
4.52) 航海訓練所、日本鋼管: "練習船青雲丸", 成山堂書店, (1969).  
4.53) 山内 他: "青雲丸に装備された実船用出合波浪計について", 船研講演会, 第13回(1969).

4. 54) 運輸省船舶局編：“実験船建造のための調査報告書”、(1966).
4. 55) 石川島播磨重工業：“原子力第一船むつ”、石川島播磨技報 1970年度記念号(1970).
4. 56) 渋野 他：“1,000 m<sup>3</sup> LNG 実験船による波浪中航走実験（第一報）—波浪に関する計測と解析—”造船論、138(1975).
4. 57) 川島 他：“漁船の耐航性について、（その1）”北海道大学水産学部研究彙報、18-4(1968)
4. 58) 天下井：“船体運動と漁具との力学的関係について、(I)~(II)”、北海道大学水産学部研究彙報、22-1(1971)、23-2(1972).
4. 59) 小林：“南極観測船「ふじ」による氷海航行に関する実態調査”、船研報、13-2(1976).

## 5. 波浪曲げモーメント

### 5.1 波浪曲げモーメントに関する実船試験

波浪曲げモーメントの実船計測の歴史は古く、外国においては1905年に駆逐艦 WOLF<sup>5.1)</sup> の実験が実施された。同艦は船渠内で静的曲げ試験を実施後、航海中の波浪曲げ応力が計測され、波浪曲げモーメントは波浪の目視観測値から推定される静的計算値より相当小さいことが明らかにされた。その後、第二次大戦以前においても波浪曲げモーメントの実測が行われた実験は少なくないが、激浪中の記録が得られたものとして、貨物船 SAN FRANCISCO の実験<sup>5.2)</sup> があげられる。同船は冬季北大西洋において、風力階級11～12の暴風による荒天に遭遇し、計測された船体中央部強力甲板の応力は、スラミングによって付加されたもの(圧縮応力 9.2 Kg/mm)を除いて、ホギングで 6.5Kg/mm、サギングで 6.9Kg/mm に達した。この実験でも、同時に観測された波浪より求めた静的計算値は、相当過大であることが認められている。

これらの実船試験で最も大規模なものは貨物船 OCEAN VULCAN の航海試験<sup>5.3)</sup> であって、同試験においては応力だけでなく、波浪、動搖、動搖加速度、船体表面の水位および水圧等を含む詳細な計測が、約1年半の長期にわたって実施された。この試験では単に構造だけでなく、造船学の各分野で参考になる多くの成果が得られた。

同船で計測された波浪曲げ応力複振幅の最大値は、中央部船側厚板で 12.6Kg/mm であった。同船の水圧計測結果から、波浪変動圧は船側水位の変動から求められる静水圧変動に比べ相当小さく、波浪曲げモーメントが静的計算値より小となる理由が明らかにされた。この場合、船体表面の水圧変化および慣性力の影響を含めた波浪曲げモーメントの計算値と、実測値はよく一致することが確認されている。また、本試験で水平曲げモーメントは、垂直曲げモーメントの40～50%に達することがあり、場合によっては無視できない場合があることを明らかにしている。同船の試験結果から波浪曲げモーメントの長期分布も求められており、ほぼ Weibull 分布に従う結果が得られていたが、分布形についてはそれ以上解析はされなかった。

わが国において実施された最初の実船試験は「日聖丸」の試験<sup>5.4・5.5)</sup> であって、昭和26年12月より129日にわたる同船の航海において、主として航海性能についての各種の計測が実施された。同試験において船体の応力も計測されたが、これについては詳細な解析はなされていない。

波浪曲げモーメントを確率変数としてその諸特性を研究するようになったのは比較的新しく、1954年に Jasper<sup>5.6・5.7)</sup> は多数の実船試験結果を解析し、海面状態および航海条件が定常状態のときの波浪曲げモーメントのピーク値の分布は、一般の船体の波浪に対する応答と同様 Rayleigh 分布に従い、上記諸要因が種々変化している長期航海における分布(長期分布)は対数正規分布に従うとみなせることを明らかにした。

当時、規則波中の模型試験およびこれらの実船試験から、波浪曲げモーメントの静的計算値は精度が非常に悪いことは確認されていたが、波浪曲げモーメントの極値を理論的に推定する方法は確立されていない状態であった。したがって、波浪曲げモーメントの長期分布の分布形を明らかにし、これから長期分布の極値を統計的に推定する方法が種々試みられるようになった。

わが国においては SR10 および SR24 において練習船「北斗丸」、および「銀河丸」を供試船として実船試験<sup>5.8)</sup> が実施されている。この試験は波浪曲げモーメントだけでなく、海象とスラミング発生状況、船体に働く水圧、船首パネルの局部強度・船体振動等をも研究対象としたものであったが、波浪曲げモーメントについ

ては船体各部の歪が計測され、波浪曲げ応力の短期分布はほぼ Rayleigh 分布に従うことが確認された。

その後、定期貨物船「穂高山丸」<sup>5.9)</sup>、「摺津丸」<sup>5.10)</sup>による実船試験では波浪曲げ応力が応力頻度計によって計測され、その長期分布は対数正規分布に従うことが明らかにされた。「穂高山丸」の計測値から、同船が20年間に20回同様の航海（冬期、日本北米経由ヨーロッパ往復）に従事するとすれば、波浪応力の負荷回数は約  $5 \times 10^6$  回であり、その極値は  $8.5 \text{ Kg/mm}^2$  程度との推定値が得られた。また、「摺津丸」の計測値では、超過確率  $10^{-5}$  に対応する波浪応力の極値は圧縮で  $6.1 \text{ Kg/mm}^2$ 、引張で  $3.0 \text{ Kg/mm}^2$  程度との推定値が得られた。

1959年に Bennet は貨物船 CANADA および MINNESOTA の実船試験結果から波浪曲げモーメントの長期分布は Weibull 分布（指数分布）に従うと見なせることを明らかにした<sup>5.11)</sup>。指数分布に従うときは図 5.1 に示すように、波浪曲げモーメントと超過確率の関係は、片対数グラフで直線となり、取扱いが簡単となるために、以後はほとんど試験結果が片対数グラフで表示されるようになった。

同図は実験結果から船の全生涯に予想される波浪曲げ応力の極値の推定方法を示したもので、全生涯に予想される波浪曲げ応力の繰返し数に対応する横軸の位置から、試験結果を示す直線に平行線を描けば、縦軸との交点の値が極値となる。同図では CANADA、MINNESOTA の極値は複振幅で約  $15 \text{ Kg/mm}^2$  と推定される。

波浪曲げモーメントの長期分布が指数分布で近似できることは、規則波中の応答をストリップ法によって求め、線形重ね合せ法によって求めた理論的推定結果とも一致することが明らかになり、わが国の実船結果も指数分布に従うとして整理されるようになった。

その後 船種・船型が波浪曲げモーメントの長期分布に与える影響について研究されるようになり、多数の同種・同型の船によるシリーズ試験が定期貨物船、タンカー、専用船、コンテナ船等を対象として実施してきた。

昭和35年から36年にかけて、ほぼ同型の9隻の定期貨物船（L<sub>pp</sub> 約 145 m、約 1.2万t DWT）と冷凍船・タンカー・鉱石（油）船など計12隻の船の波浪曲げ応力の計測が SR44 および SR49<sup>5.10)</sup> によって実施された。また、これとほぼ同時期に船舶技術研究所では実船試験10年計画をたて、昭和36年から実施した。同計画の前半では定期貨物船5隻<sup>5.13～15)</sup>（そのうち、「大島丸」は SR49 と共同研究）を供試船としたが、これらの船も前記の SR49 の供試船と同型であった。これらの試験によって、定期貨物船については延べ4年に近い船体中央上甲板の波浪応力の計測値が得られた。

これらの貨物船の波浪応力の応力頻度計による計測値から得られた頻度分布を、片対数グラフに記入して整理した結果から、この種の船の20年間における上甲板中央の波浪応力の極値は圧縮応力で約  $10 \text{ Kg/mm}^2$ 、引張応力で約  $6 \text{ Kg/mm}^2$  の推定値が得られた。

また、これらの解析結果から、実船試験結果を基礎として波浪応力の極値を推定する方法が提案された。すなわち、波高、針路、速力の任意の組合せに対応する応力の平均の頻度分布（指数分布で近似する）を求めておき、これを要素ヒストグラムとして、長期航海において波高・針路・速力の組合せが任意のものになる確率を考えて、それぞれの状態に対応する要素ヒストグラムを組合わせることによって、長期分布を推定する方法であって、この方法によって定期貨物船の長期分布を推定した結果は、実測値とかなりよく一致した。

実船試験結果を基礎として波浪応力の極値を推定する方法として、Yuille<sup>5.16)</sup> は極値統計学を応用する方法を提案した。これは一定期間（たとえば1日）の波浪応力の最大値の実測値を極値確率紙上に記入するところ直線（第1漸近分布）になるので、これを外挿して船の全航海中の極値を推定する方法である。これについては、渡辺<sup>5.17)</sup> は実船試験結果を記入した結果は直線に近いが曲率を有しており、上限値を有する場合の極値分布（第3漸近分布）に従うとして解析することを提案している。またほかでも、波浪応力がスプリング等の高

周波成分を分離しないで計測されている場合の本方法の適用や、1日あるいはそれに近い短期計測の最大値の場合のこの方法の適用について論議がなされている。SR49において、4隻の定期貨物船の1日の波浪応力の極値を、本方法で整理した結果では、極値確率紙上で直線で近似できる例もあるが、直線または上限値がある場合の曲線で近似できない例も少なくなかった。

ただし、前述の船舶技研が実施した試験のうちで、「隅田丸」における計測結果は<sup>5.15)</sup> 第3漸近分布とよく一致し、これから推定される1航海における極値は波浪応力の実測値より推定した1航海の極値とかなりよく一致した。

定期貨物船を対象とする実船計測は、昭和41年に前述の各船と同型の「しあとる丸」を供試船として、SR63 5.19) および船舶技研の共同で実施された。本試験では曳航式波浪計および船側水位計による海面状態の同時計測が計画され、また上甲板中央の歪計測値を磁気テープにとり、これを電算機を使用して解析する方法が試みられた。前者は波浪計の破損等で成功しなかったが、後者では波浪曲げモーメントのコレログラム、スペクトル等も得られるようになり、その特性解明の研究が一段と進歩した。

本試験および前述の同型船の計測値の短期分布のRMSと同時計測された目視波高の関係と、ストリップ法と線形重ね合わせ法で得られる理論値と有義波高の関係を比較すると、かなりよい一致がみられることが確認された。また、これから、SR80 5.20) および山内らの調査による北太平洋の海象中<sup>5.21)</sup> を長期航海したときの波浪曲げモーメントのRMSの長期分布を求め、これが正規分布に近い分布をするとの推定結果を得ている。なお、本試験における毎日の計測最大値を前述の極値確率紙に記入した結果では、圧縮応力は直線あるいは上限のある場合の極値分布とは一致がみられなかった。

大型タンカーについては、SR99および船舶技研で主として日本～ペルシャ湾IC就航している「東京丸」等の4～15万DWTのタンカー6隻を対象に延べ13航海の上甲板（船体中央、中心線上）の波浪曲げ応力が計測された<sup>5.18・5.22)</sup>。これらの船の中には風力階級9～10、波浪階級8という相当な荒天に遭遇したものもあったが、計測された波浪曲げ応力の最大値は複振幅で11kg/mm程度であった。タンカーの計測波浪曲げモーメントの標準偏差の無次元値と同時に計測された目視波高の関係と、定期貨物船のそれを比較すると、全般的に値が低くタンカーの波浪曲げモーメントは一般的に低くなると推定している。なお、この標準偏差をストリップ法による計算値と比較した結果では、相当大きなバラツキはあるが、大体この理論値を中心に分布するという結果が得られた。

なお、計測技術については、本試験からは前述の計測値をデータレコーダにとる方式が採用され、応力頻度計も電子管式のものになった。また、計測値のRMSを計算して記録するRMSコンピュータも併用されるようになった。

昭和45年から47年にかけては「紀見丸」等のばら積兼鉱石船を対象として実船試験が実施された<sup>5.23)</sup>。供試船は約6万DWTの同型船で延べ7航海にわたる計測が行われ、その間の各船の就航海域はあらゆる海域にわたっている。その間風力階級11、波浪階級8（波高12mと記録）、あるいは台風による荒天に遭遇したときの記録も得られた。計測された波浪曲げ応力の最大値は複振幅で19kg/mmであった。

本試験結果は海象、気象と海象の関係、短期分布の解析方法、波浪曲げ応力と外的条件の関係、最大値の分布、振動応力および長期予測の各分野にわたって詳しく解析された。この内最大値の分布については「昭武丸」は第3漸近分布に従うとみなせるが、他の2隻の結果は複雑な曲線となり、むしろ第1漸近分布に近いもののが多かったことは注目される。また、波浪曲げモーメントの標準偏差と海面状態の関係は、うねりの波高を対象として整理する方が風力を対象とするより相関がよいような傾向がみられるという結果が得られている。

Lewis らは実船試験結果から同一気象状態(風力階級)における波浪曲げモーメントの標準偏差は正規分布に従い分布すること、またその平均値は風力階級とともに直線的に変化するが、標準偏差はほぼ一定とみなせるという性質を見出し、実船試験結果を基に、波浪曲げモーメントの長期予測をする方法を提案した<sup>5,24)</sup>。

前記の SR108 のばら積兼鉱石船の試験結果も、この Lewis の方法に従い波浪曲げモーメントの長期予測が試みられている。ただし、前述のように波浪曲げモーメントの標準偏差は、うねりの波高をベースとしたほうがよい相関を示すとみられるので、Lewis の風力階級の代りにうねり波高をとり、遭遇海象はうねり波高の頻度で与えた。このようにして求めた波浪曲げモーメントの分布は指数分布に従うが、その極値の指定値は実測結果と余りよい一致は示さなかった。

前述のタンカーの計測以来、大型船の実船計測ではスプリング応力が計測され、このばら積船においても相当顕著に現われる計測例が多くなっている。ばら積船の計測結果から、この振動成分を取り出し、その最大値の分布から推定した結果では、1,000回に1回は  $10 \text{ kg/mm}^2$  に近い値になると推定され、船体の疲労強度を考えるとき、無視できない新しい問題が見出された。

上記の実船試験は計測技術の点では、応用計測はデータ集録方式が主として使用されるようになり、計測も定期的20分間の変動の連続計測に変化した。また、このような計測方法の変化にともない、波浪曲げモーメントのスペクトルも多数の記録が得られるようになった。

昭和45年から新たに SR124 によって大型鉱石船、ばら積船、コンテナ船等を対象とした計測が実施されている<sup>5,25)</sup>。この中心になるのは「笠木山丸」(12万 DWT)の計測で、延べ10航海にわたって実船計測が行われているが、詳細な解析はまだ発表されていない。

この試験で注目されるのは、波浪計による波浪の同時計測が実用されたことで、今後はこのような外界条件との同時計測結果によって、短期分布の研究が一段と進歩すると期待される。以前の波浪曲げモーメントの短期計測結果と理論値の比較例では、必ずしもよく一致しているといえない例も相当存在する。これが何によるかを検討する場合、第一に考えられるものは波浪観測値の信頼度であって、この計測結果がこの分野の研究に対する貢献は非常に大きいものと期待される。

また、この SR124 の実船試験においては自動計測が実用化されるようになり、7隻の船において2~3年間の長期連続計測が成果をあげている。実船計測の難点の第一にあげられるのが計測の労力であって、これが著しく改善され、計測技術が完成期に入ったと見ることができる。

現在、波浪曲げモーメントの理論計算は、6自由度系の船体運動を求め、荷重としては、垂直・水平曲げモーメント、垂直・水平剪断力、およびねじりモーメントによる応力、コンテナ船ではねじりモーメントを計算するまで精密化されてきた。また、

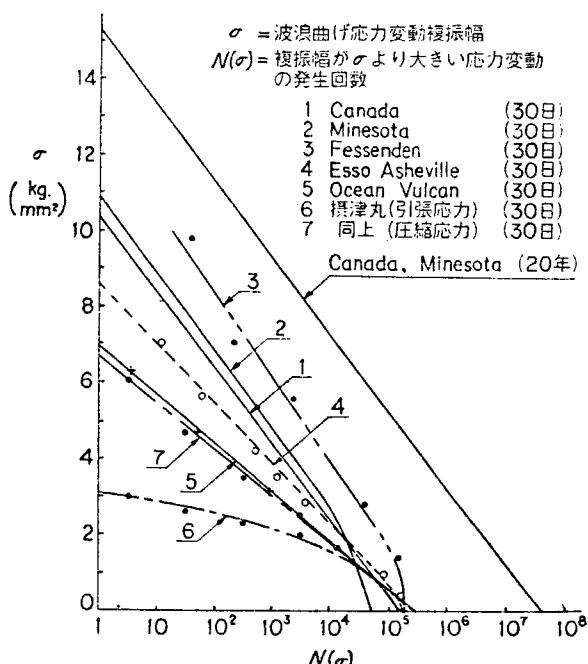


図 5.1 波浪曲げ応力の長期分布観測結果  
(横軸の  $N(\sigma)$  は  $N(M_1)$  と一致し、縦軸の  $\sigma$  は波浪曲げモーメントに比例する。)

タンカーでは水平曲げモーメントによる応力、コンテナ船ではねじりモーメントによる応力は無視できないことが指摘されている。計算値と同精度の結果をうるために、実船試験においても縦曲げ応力は同一横断面上の4点の同時計測が必要であり、船長方向にも計測断面を増加させた計測が必要となる<sup>5,26)</sup>。

## 5.2 現在までの実船試験に対する考察

波浪縦曲げモーメントの研究のための実船試験は、わが国で実施された実船試験の中で最も大規模、かつ重要なものであり、日本造船研究協会で実施されたものの中でも主要なものだけをあげても SR44、49、99、118、124 の各部会があり、さらに SR125 のようにこれを主目標としなかった実船計測まで加えると、延べ 15 年程度の長期の航海中の計測が実施されることになる。

これらの試験が最初に企画されたのは、波浪縦曲げモーメントの確率変数としての特性が認識されはじめたときであり、今日までの波浪縦曲げモーメントに対する知識の進歩に対するこれらの実船試験の貢献は非常に大きい。また、その間の計測技術の進歩は目覚しいものがあり、今日ではほぼ完全に自動計測が実施できる段階に到達した。

前記のこの種の試験が必要と考えられた時点では、縦強度解析の対象となる波浪荷重の推定方法としては次の 2 種のものが考えられていた。

- 模型試験、あるいは理論計算法によって規則波中の応答関数を求め、線形重ね合わせ法によって不規則波中の短期分布を計算し、これを組合せて長期分布およびその極値を推定する。
- 実船試験結果から波浪荷重の短期および長期分布の統計的特性を見出し、それから長期分布およびその極値を推定する。

初期の段階では、a) の理論的応答関数を求める方法は確立されておらず、b) の方法による荷重推定法の確立は非常に重要であった。その後、理論的推定法が大きく進歩し、実船試験に対する考え方も変化してきた。なお、今後の実船試験の重要性について蛇足を加えると、理論的推定法はいかに進歩しても、その推定結果の正確さは実船試験結果との比較から証明されるべきものである。この両者は車の両輪のようなものであり、理論が進めば実験の指向するところは変化するかも知れないが、その重要性は変化しない。

一般に実験は、対象とする現象の理論的解析法がないので、実験的にこれを解明しようとして実施される場合と、理論的解析法が得られており、その証明のために実施される場合がある。波浪荷重に対する実船試験は、前者の立場で企画され、後日これを振り返ってみると、多くの非能率な点が見出されても止むを得ない面があるが、今後の企画のためにこれを検討する必要がある。

波浪荷重のような確率変数の統計的特性を研究する場合には、標本数が少ない計測結果では信頼度は低い。また、対象となるのは天然現象に対する応答であるから長時間の計測が要求される。わが国の試験は結果的には長期かつ大規模の試験となつたが、最初から遠大な企画のもとに発足したものは少ない。したがって、現在振り返ってみると、比較的短期の計測が繰り返され、それを局部的に解析したものが多い。また、同型船のシリーズ計測をみると、1隻の船を長期に計測した例が少なく、どうしても標本数の上で信頼度が低くなる例が多い。また、全体まとめた解析の試みられることが少なかったことが惜しまれる。これは次に示すような制度上の原因によって生じたところも少なくない。

- 研究制度が比較的短期の目標の研究を対象とする傾向があり、また成果も即物的なものが要求される。したがって、波浪荷重のような長期の研究によって成果があげられるものについては、その間に研究部会が交代し、一貫した研究が困難となる。
- この種の試験では、計測だけでなく、計測結果の解析に多大の時間と労力が要求される。しかし、現在までの計画では解析に要する時間と労力に対する配慮は十分でなかった。その結果、計測結果が十分解析され

ないで終る場合もおこり得る。

縦強度解析のための資料という多角的な立場でみると、このような実船試験はその計測結果が後日に再利用、再解析できる形で蓄積されることだけでも多大の価値がある。この点で、15年もの計測結果は造船界の貴重な資産である。たとえば、今後波浪荷重について新しい理論が得られたとしても、これらの資料によってこれを検証することも考えられる。また、視界を広げてみると、現在荷重の理論推定のための基礎資料が少ないものとして、実際の遭遇海象、風あるいは波に対する出合角および荒天時の速度低下等の操船条件、積付状態の変化等があげられる。現在までの実船計測資料には、これらのものの解析資料として価値あるものが多量に含まれてる。しかし、現在までのところこの資料保存に対する組織制度もなく、資料の多くは再利用できる形にはなっておらず、各所に分散管理されており古いものは廃棄される運命にあるものと思われる。ただし、資料保存は実施するとなると多大の労力を要する上に、種々の困難を伴なう問題であるが、そのための組織制度は十分検討する意義がある。

以上から、今後のこの問題に関して考えるべきことを列記すると次のようになる。

- a) 実船試験の企画にあたっては、最終の目標を考えた計画を立案する必要がある。また、そのような計画が現制度では不可能な場合には、中間程度の目標が達成できない規模まで縮小した計画はさるべきである。
- b) この種の試験においては、小規模であっても長期継続されることに意義のある実船試験もあり、このような試験が可能なような制度を考えるべきである。また、このようなものについては即物的評価はさるべきである。
- c) 実船試験は実施前に解析方針を十分検討するべきであるが、このような方針の確立できないものについては、解析の時間が十分与えられるように計画するべきである。
- d) これまでの実船試験資料、また今後の同種資料を保存整備する組織、またこれら資料の再利用を検討する組織の設置を検討するべきである。

### 5.3 今後の実船試験

#### (1) 短期分布

波浪荷重、その他の応答の短期分布が、線形重ね合わせ法によって求められるようになってから相当の年月を経過したが、理論計算値と実船試験結果を詳細に比較検討した資料は多くない。これは波浪の精密（目視ではなく計器による）計測と波浪荷重の同時計測が最近まで容易でなかったためで、これは長期計測の一部として精密な同時計測が計画されることが多かったのも原因となっている。

しかし、波浪荷重等の研究においては、これは基礎となる重要な問題である。これについて具体例をあげてみると、波浪荷重の研究で最も重要な非常な荒天遭遇時においても、理論値はどの程度が期待されるか、またそのピーク値の分布形についても現在のような理論でよいのかということは、なお研究をする問題である。また、波浪については、そのスペクトルの海域による差の有無、双峰型のようなスペクトルの発生頻度とその取扱い、うねりと風浪の区別と取扱い、成分波の方向性に対する検討等多くの問題が残されている。

また、理論計算値は6自由度系における応答を求められるようになってきた。その結果、波浪荷重はモーメントを対象としても、垂直曲げモーメントだけでなく、水平曲げモーメント、およびねじりモーメントが求められ、船によってはその影響は無視できないことが指摘されている。実船試験において計測結果をこれらの要素別に分離するためには、同一横断面内および船長方向の計測点を増加させ、その精度を高めることが必要となってくる。

## (2) 長期分布

前述のように、長期分布の極値を実船試験から推定する方法の研究の重要性は低下し、理論推定値の精度を検討することが長期分布の主要な課題となる。しかし、実船計測は、理論計算に想定される海象の観測期間に比べると、比較的短期間に実施されるのが普通であり、計測結果の外挿はどのようにするのが合理的かという問題が残されている。

実船試験には莫大な量の観測が要求されるから、これらが簡略化できる方法の研究が要求される。これに対する一つの解決法は観測の自動化であり、これについては実用化の域に到達した。次に考えられるのは各観測の簡易化であって、すでに実用化されているものにも、各観測を RMS で整理する方法、一定基準以上の荒天のみ観測する方法、各観測の最大値だけをとり極値統計学を応用して整理する方法等がある。しかし、これらの方法の適否は、比較的長期の精密計測結果が得られてはじめて検討できるものであり、この点において、現在ある資料以上の長期観測が実施される必要がある。

長期分布は対象船の遭遇海象に支配される。現在のところ波浪観測資料は充実されてきてはいるが十分とはいえない。とくに、北太平洋や印度洋は日本船にとって重要であるが、専用の海象観測船の使用が不可能であるとすると、商船を使用した観測方法が研究されなければならない。この場合、目視観測のみでは信頼度は低く、波浪計による観測の併用を進める必要がある。前述のように、同様のこととは船舶の運航実態の研究についてもいえる。

船の縦強度を論ずる場合、同一フリートに属する姉妹船のように、設計に際し波浪荷重の極値が等しいみなされる船は多数存在する。しかし、これらの船を個別にみると、各船の波浪荷重の極値は等しくなく、ある分布に従って分布するものと考えられる。極値統計学によると、各船の波浪荷重が同一母集団に属するのであれば、それぞれの船に働く波浪荷重の極値の頻度分布をとると、それはいわゆる極値分布に従うはずである。しかし、実際の船において各船の波浪荷重の極値がこのような分布に従うかどうかは不明である。この問題については、現在までの実船試験の資料では試験期間が短かく、十分な解答はえられない。このためには、同型船による数年にわたる実船計測結果の検討が必要となる。

## 参 考 文 献

5. 1) Biles, J.H.: "Strength of Ships, Experiments and Calculation Made for H.M.S. WOLF", Trans. RINA, 47(1905).
5. 2) Schnadel, G.: "Ship Stresses in Rough Water in the Light of Investigations Made upon the Motorship SAN FRANCISCO", Trans. N.E.C. Inst., 38(1938).
5. 3) Baker, J. F. et al.: "The Measurements and Recording of the Forces Acting on a Ship at Sea", Trans. RINA, 91(1949).
5. 4) SR1 : "日聖丸実船試験成績と模型試験成績との比較研究", 造研報, 1(1954).
5. 5) 菅 四郎: "航海性能に関する日聖丸実船試験の概要", 造船論, 92(1957).
5. 6) Jasper, N. H.: "A Statistical Approach to the Measurement and Analysis of Experimental Data on Structures", SNAME, 63(1951).

5. 7) Jasper, N. H. : " Statistical Distribution patterns of Ocean Waves and of Wave-Induced Ship Stresses and Motions with Engineering Applications ", SNAME, 64(1956).
5. 8) SR10, SR24 : " 実船航走時の強度試験 "、造研報、24(1958).
5. 9) 秋田好雄 他: " 穂高山丸の航走中の船体応力頻度について "、造船論、105(1959).
- 5.10) SR44, SR49 : " 高速船の応力頻度ならびに甲板荷重の実験的研究 "、造研報、49(1965).
- 5.11) Bennet, R. : " Stress and Motion Measurements on Ships at Sea ", European Shipbg., 8-5, 8-6(1959).
- 5.12) 山内保文 他: " 船舶技術研究所における実船試験 — 現状とその成果について — " 昭和44年度船舶技研特別講演概要(1969).
- 5.13) 矢崎敦生 他: " ニューヨーク定期貨物船大島丸による北太平洋航海性能実船試験 "、船研報、1-3, 1-4(1964).
- 5.14) 高石敬史 他: " ニューヨーク定期貨物船山隆丸による北太平洋航海性能実船試験について "、船研報、2-2(1965).
- 5.15) 安藤文隆 他: " 隅田丸による北太平洋実船強度試験 "、造船論、119(1966).
- 5.16) Yuille, I. M. : " Longitudinal Strength of Ships ", Trans. RINA, 105(1963).
- 5.17) 渡辺恵弘 : " 最大船体曲げ応力の統計的推定について "、造船誌、411(1963).
- 5.18) 安藤文隆 他: " 巨大船の実船強度試験 "、造船論、125(1969).
- 5.19) SR63 : " 船舶の耐航性に関する実船試験 "、造研報、65(1968).
- 5.20) SR80 : " シーマージンに関する調査研究(風浪データの統計調査) "、造研資、46(1966).
- 5.21) 造研: " 北太平洋の風と波、1954~1963 "、造研、(1966).
- 5.22) SR99 : " 航海中の船体応力頻度に関する実船試験 "、造研資、62(1967), 76(1968), 96(1969).
- 5.23) SR118 : " 大型鉱石運搬船の船体各部応力に関する実船試験 "、造研資、120(1970), 135(1971), 152(1972)、造研報、72(1972).
- 5.24) Lewis, E. V. : " Predicting Long-Term Distributions of Wave-Induced Bending Moments on Ships Hulls ", SNAME, 75(1967).
- 5.25) SR124 : " 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 "、造研資、140(1971), 156(1972), 170(1973), 187(1974), 210(1975)、造研報、81(1976).
- 5.26) 熊倉 靖 他: " コンテナ船の実船強度の研究 "、造船論、136(1974).

## 6. 局部的な荷重

### 6.1 概論

船体構造が局部的に受ける荷重として問題にされ、実船実験が行われてきたものは、船首部におけるパンチング、スラミングおよび上甲板上等で受ける青波水圧の計測と、船体運動に伴なってタンカーや鉱石運搬船の積荷油や鉱石等が貨物倉周辺の構造に与える荷油圧に関する計測である。

波浪水圧や荷油の運動に伴なって発生する圧力は、衝撃的な圧力としても船体に加わる場合が多く、その瞬間的な圧力の大きさがきわめて大きくなることが問題とされている。

その衝撃圧力の発生現象や機構は非常に複雑であり、また、その圧力の分布する範囲まで十分な解明をすることは難しい。しかし船体強度上からは、衝撃圧力の大きさとともに、その分布を求めることが必要であり、また圧力の持続時間と船体構造の応答との関連について知ることが必要となってくる。

鉱石圧の場合は、船体運動に伴なって鉱石が徐々に締め固まった状態になるため、船倉壁に加わる圧力の大きさが増大することが問題となっているが、この場合も圧力の大きさとともに分布についての資料を求めることが船体強度の面から必要である。

このような波浪衝撃圧力、荷油圧および鉱石圧は、船の構造や大きさによってその重要度が異なってくるが、最近の研究においては、大型タンカーおよび鉱石運搬船について、船首部外板に受ける衝撃水圧の計測が実施されたほか、荷油圧、鉱石圧についての実船計測が二・三実施されている。

船体の受ける圧力、特に衝撃圧力の計測上の問題として、圧力計の性能とその取付方法に注意をはらう必要がある。水圧計の場合は、受圧面を船体の表面となるべく同一面上にすることが望ましいが、そのためには、船体鋼板を貫通させる型の水圧計をとりつける必要があるので、船主側の了解とともに水密性に対して十分な安全策をとらなければならない。

水圧計は、圧力を機械的に変換して抵抗線発熱計によって検出する方式のものが多く、現在実用化されているものは、かなり信頼性が高く、耐久力もあると考えられている。

鉱石圧の計測法は、鉱石の種類が多いことや船倉壁の剛性の影響があることなどから、直接鉱石圧を測定する方式は確立されていない。したがって、間接に鉱石圧によって側壁に生じる構造部材の応力変化から鉱石圧の推定を行う方法によって実船実験が実施されている。

鉱石圧を直接圧力計によって測定する場合の問題点を解決するためには、模型などによる基礎的実験を行うことが必要である。

一般に分布した圧力が加わった場合に、船体構造の応答を求めるためには、圧力の大きさとともに圧力分布の状態についてのデータが必要であるが、実船計測においては計測点の数や位置を適当に選定することは難かしく、実船計測での一つの問題点となっている。

このような困難があるため、船体が受ける衝撃水圧を間接的に、その部分の船体の受ける応力変動で検出する方法も行われている。この場合は、衝撃水圧そのものの性質を解明することはできないが、衝撃荷重のマクロ的な性質を推定することができる。

圧力計測と同時に、このような応力計測を併用して実施することは、衝撃圧の性質と同時に、船体構造に影響を与える荷重の大きさを知ることができるので、非常に効果がある。

実船試験によって波浪等の衝撃圧力を計測するためには、従来にも増して苛酷な海象に遭遇することが必要となるわけであるが、限られた日程の実船試験では衝撃水圧を十分に計測する機会に恵まれるとは期待できない。

したがって、自動計測方式を取り入れて、長時間にわたって無人計測によって計測を続ければ、このような問題を解決することができるが、この場合は、計測器について十分な信頼性、とくに長期間にわたっての安定性が要求される。

波浪衝撃圧力についての計測結果は、12万トン級の鉱石運搬船「笠木山丸」の例<sup>6.1)</sup>によると、ピーク値はきわめて高い値を示し、その最高は  $60 \text{ t/m}^2$  程度に達した例もある。このピーク値の持続時間は、一般にピーク値の高いほうが短かく、ピーク値が低くなると持続時間が長くなる傾向を示しており、持続時間は  $10^{-3}$  ~  $10^{-1}$  秒の間に分布している。

このピーク値を示した後に、いわゆる腰掛部分と称する比較的持続時間の長い、比較的小さい圧力が現われる。

船体強度に影響を及ぼす衝撃水圧としては、衝撃水圧のもつエネルギー、すなわち圧力とその作用時間を乗じたものを対象とすべきであると考えられており、衝撃水圧のピーク値は、船体の幾何学的形状に敏感に影響を受けて出現するものと考えられている。

船体の船首外板上で、この水圧のピーク値が最大になる位置は、水面上約  $3 \text{ m}$  となっており、それより水面に近い部分あるいは上部では圧力の大きさは次第に小さくなる傾向を示している。このような水圧のピーク値を示す位置は、船形や波浪の条件によってかなり変化することが想像される。

船体運動に伴なうタンク内の荷油による動的圧力の計測に関しては、計測例が少なくまだ十分な資料は得られないが、荷油圧に対応して船体の運動状態の計測を行うことが必要である。

実船における鉱石圧の計測の課題は、積荷時における鉱石が船体運動に伴なって、鉱石が締め固められ圧力が増加する状態を明らかにすることであるが、鉱石圧の計測方法に未解決の問題があり、実船における資料はほとんど得られていない。

## 6.2 波浪衝撃水圧

船首部外板に加わる波浪衝撃圧力の実験としては、昭和45年度から大型鉱石運搬船「笠木山丸」による大規模の実船試験が行われたほか、大型タンカーによる実船試験が行われている<sup>6.1・6.2)</sup>。

これらの研究は、急速に大型化した船体の船首部に加わる波浪衝撃圧力が異常に大きな値になることから、その実態を調査するとともに、縮尺模型による実験との比較検討を行ったものである。

「笠木山丸」においては、船首部外板に合計24点の外板貫通型の水圧計を取付けて、南米、アフリカおよび豪州航路で合計5航海の実験が行われたほか、代表的な水圧計測点またはその部分の船側縦通肋骨上の応力について、2・3年間にわたる長期間の自動計測が実施された。

計測された衝撃水圧の回数は388回に及び、比較的平穏な海象においても、その大きさは数  $\text{t/m}^2$  に達しており、向い風の場合には比較的大きい圧力となっている。

実験を通じて計測された最大の水圧は  $58 \text{ t/m}^2$  となっている。

衝撃水圧の時間的变化をみると、鋭い立上りを示す圧力の持続時間は  $\mu \text{ sec}$  のオーダであり、その後1秒から数秒間腰掛状の圧力が持続される。

高い衝撃圧力を発生する領域は、きわめて局部的であることが、圧力の分布から推定される。

波浪による衝撃圧力と、この圧力によって生じる船側縦通肋骨上の応力との対応をみると、両者のピークの時間は良く一致しているが、水圧を静的に換算して求めた肋骨の応力は、計測した実際の応力に比べて、はるかに

大きく、船体の応答と、衝撃水圧のピーク値との関係を解明することはできないようである。

一方船体に加わる水圧の長期間の自動計測においては、現状では統計的に平均値を求める方式を用いており、そのため衝撃水圧のピーク値や波形などの性質まで計測することは不可能となっている。

6か月間の連続計測結果から得られた船首部の波浪水圧のRMSをみると、波高に対してほぼ比例して上昇する傾向であり、その最大値は  $2 \text{ t/m}$  以下となっている。

同じような目的で、20万トン級の大型タンカーの船首部に加わる衝撃水圧の計測が中近東航路において行われている。

計測された衝撃水圧の最大値は  $20 \sim 70 \text{ t/m}$  となっており、水圧の波形は、いわゆる腰掛型のものが少なく、三角形ないしは台形の波形となっている。

この実験から大型タンカーの船首部に受ける衝撃水圧の大きさについては、ほぼ満足すべき資料が得られているが、これらの圧力が船体構造に及ぼす影響については全く解明されていない。

### 6.3 荷油圧

タンカーのタンク内の荷油の運動による衝撃圧力に関する研究は、模型を使用して行った実験については比較的多くの資料があるが、実船による計測は、わが国では一例が<sup>6.3, 6.4)</sup> 報告されているのみである。

この実験は防爆上の問題があって、タンカーでの計測は問題が多いため、鉱石専用船のバラストタンクを利用して実施された。

水圧計は隔壁および制水板に取付けて、航行中の船体運動に伴なう衝撃水圧の計測を行うとともに、タンクの周辺構造部材の適当な位置において、この衝撃水圧による構造部材の応力を計測した。

実験は南米航路一航海であって十分な資料が得られたとはいえないが、実験結果<sup>6.4)</sup> から次のような結論を得ている。

- a) ウイングタンクのように、横強度部材の多い構造では、タンク内の流体の運動は非常に制限される。
- b) 船首部のタンクでは、船体中央部のタンクに比して荷油は大きな運動をする。
- c) 制水板の深さが実験船程度（トランスバースリングの上方に深さ  $5.6 \text{ m}$ ）の場合、制水板に生じる応力は  $1 \text{ kg/mm}^2$  以下と非常に小さかった。
- d) 水平桁の桁板に生じた水圧の大きさは、一日の例として、衝撃水圧のRMSで約  $60 \text{ t/cm}^2$  であった。桁板は横荷重によって桁板をちぎるようなかなり大きい力が加わるようである。
- e) 水密隔壁に加わる水圧の大きさは、隔壁の上部で一日に加わる変動水圧のRMSで  $50 \sim 60 \text{ t/cm}^2$  であった。

以上は一つの実船試験の結果から得られた資料であるが、実船による試験をさらに繰返し、その結果を解析することによって、系統的に行われている模型試験との対応を明らかにすることが今後に残された課題である。

### 6.4 鉱石圧

これまでに実船の鉱石圧を測定した例はきわめて少ない。一般には船倉内の鉱石によって側壁に加わる圧力は、クーロンおよびランキンの土圧論が応用されてきている。しかしながら、鉱石圧の性質は複雑であり模型実験の研究結果などから、従来の鉱石圧に関する考え方が妥当であるかどうか問題となってきた。

実験室での模型実験あるいは鉱石圧に関する基礎的研究が一方で進められており、これらの研究成果は実船での鉱石圧の解析に応用されつつある。

実船試験が実施されたのは、DW 56,100 ton の鉄鉱石専用船<sup>6.5)</sup>であるが、鉱石圧の計測は直接圧力を計測する方法でなく、隔壁板および防撃材上において鉱石圧によって生じる応力変動を測定したものである。

荷重条件は、鉱石の積荷時、揚荷時における前後での変化、および航行中に船体運動に伴なう動的な変動荷重を対象としたものである。

応力から圧力を推定する方式は、局部的な部材に鉱石圧が加わった場合の圧力と応力との関係を近似的に仮定し、その仮定のもとに計測した応力を圧力に換算したものである。

この実験から次のような点が明らかにされた。

- a) 鉱石の側面圧力分布は、船倉の底面の近くで急激に減少し、ターロンの理論式とはかなり異なった分布形状を示す。この両者の相違は、ドプロワと同様な方法で計算するとかなり改善できる。
- b) 圧力分布は、揚荷時と積荷時で異なる。防撃材に加わる荷重は航行中に増加するが、板の部分では逆に減少する傾向にある。これは船体動搖や振動による締め固まりの影響と考えられる。
- c) ターロンの理論値は積荷時の上方の圧力をほぼ正しく表わしているが、その他は実際とかなり異なっている。
- d) 船体の動搖等による圧力変動は、上方の防撃材において大きく、板に加わる荷重変動は比較的小さい。

この実験の他、二、三の鉱石圧の変動に関する実験が試みられているが、比較的応力変動の小さいことと、応力によって計測した場合は、応力から圧力を推定する場合の精度の問題があるので、満足すべき結果が得られていないように思われる。

## 6.5 その他の波浪荷重

船体の受けるスラミングに関する実船試験は、一般の商船ではほとんど実施されていない。

最近の計測例としては、駆逐艦船型による防衛艦において実施されたスラミングの実船試験が報告されている。<sup>6.6)</sup>

計測は、船体の前部 0.1~0.3 L間の 5 個所において、外板に孔を開けて水圧計を取り付けている。

試験は、船を風浪に向けて 12, 18, 26 kt の各速力で航走し、さらに反転して追波中で実施した。

実験結果は、主としてストリップ法による応答関数を用いて解析し、統計手法によって処理している。

この結果によれば、スラミング水圧のヒストグラムは指数分布を示し、理論計算と大体一致することが得られている。しかしどうか衝撃回数の計算値は、実測値に比べて 2~3 倍になっている。

今後の問題としては、一般の実船試験と同様に、波浪計測に関して精度を向上することが必要となっている。

その他、甲板上に打上げる青波水圧の実船による計測はこれまでに何回か試みられているが、これまでの計測結果からは、衝撃的水圧というような極端に大きい圧力は計測されていない。

実船試験において遭遇した海象が、必ずしも苛酷でなかったこともあるが、船首にかなりの青波を受ける状態であっても、衝撃的な水圧を発生することは少なく、上甲板上には静水圧程度の圧力しか受けていないようと思われる。

したがって青波による異常水圧を実験的に求めるためには、水圧計を広範囲に配置するとともに、長期間にわたって実験を行うことが必要となってくる。

## 6.6 今後の問題点

この章においては船体が航行中において受ける波浪衝撃圧力、荷油圧および鉱石圧などについて、今までにわが国で実施された実船試験結果の概略を述べたものであるが、一般に、これまで得られた資料のみでは、それ

それの局部的な荷重の機構や大きさなどについて十分な解明が得られているとは考えられない。

船体が航海中に受ける衝撃圧力あるいは動的外力のような複雑な要因を含む局部荷重について十分な解明を行うためには、試験条件を系統的に変えられる模型試験によってその定性的な性質を求めることが必要であるが、しかし一方において、なるべく多くの機会を設けて実船試験を実施することが資料の信頼度を増し、模型試験の結果を一層効果的にするために必要である。

一般的に局部荷重に関する実船試験においては測定技術上の問題が多い。すなわち、実船においては局部荷重は船体全体としての荷重に付加されているため、測定においては局部荷重とその他の要因による荷重がたえず加わっていること、局部的な荷重であるため、荷重の発生位置を適確に推定することが困難であるとともにその分布範囲を捉えることも難しい、一般には短期間の測定であるため遭遇する海象条件が限定されるなどの問題があり、数少ない実船試験によって十分な成果をあげることはあまり期待できない。

これまでの実船試験の結果からも明らかなように、その成果はきわめて限られた条件のもとで得られたもののみであり、この章で述べてきた局部荷重について、さらに信頼性のある資料を得るためにには一つの目的をもって比較的長期間にわたる実船試験の計画が実現されることが望まれる。

#### 参 考 文 献

6. 1) SR124 : "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" 造研報、156(1972)、170(1973).
6. 2) 中島 他: "大型タンカーの船首外板に受ける波浪荷重の実船計測"、石橋報、12-5(1972).
6. 3) 萩原 他: "船の動揺によってロングタンクに生ずる動圧の研究"、三菱報、4-4(1967).
6. 4) 萩原 他: "長大槽に生ずる動圧の実船計測"、造船論、121(1967).
6. 5) 萩原 他: "鉄鉱石によって船倉圍壁に加えられる荷重"、三菱報、4-6(1967).
6. 6) 門田 他: "スラミングの実船計測について"、日立報、29-2(1968).

## 7. 船体強度

### 7.1 総論

#### 7.1.1 実船試験の目的

船体強度に関する実船試験をその目的から分類すると、

- a) 実際に生じている応力変動と外界条件を調査し、不規則荷重の頻度分布を直接知る。
- b) 応力分布を調査して構造強度の理論計算の精度を確認する。

に大別できる。

a)は船体の実態を把握することを目的とするもので応力振幅の頻度分布や極値推定の手掛りを得ようとする。また、b)は荷重条件がはっきりしたほうがよく、タンクの水圧試験時などを利用して静的計測として実施されることが多い。

#### 7.1.2 実船試験の実施状況

実船試験の歴史を見ると、まず縦強度（応力集中部、平坦部）の計測が進水時を利用して実施され次に縦強度基準に関する統計値の集積がはかられ、現在も続けられている。これに対し、いわゆる局部強度（縦曲げによる応力集中を除く）の計測は最近のものが圧倒的に多い。

この理由は

- a) 計測技術上の制約
- b) 橫強度の重要性が最近になって増加した。
- c) 理論解析の手法が進歩し、応力分布の計算が詳細にできるようになった。そのため、計測データと比較して精度を確認する必要が生じた。
- d) 統計的な考え方方が局部強度設計にとり入れられるようになったのが比較的新しい。

等によるものと思われる。このような背景から、まず、タンクの水圧試験時などを利用した静的応力計測が行われ、動的計測が本格的になったのはここ数年来のことである。

### 7.2 タンカーおよび鉱石船

#### 7.2.1 静的計測

静的計測は、応力値を直接知ることももちろん大きな目的であるが、零点の評価の問題などもあり、前述のように理論計算との比較をする場合が多い。その計測対象としては大骨材の応力が多く、これには船体変形の計測も同時に行われている例が多い。また、理論計算との比較と言う意味などから面材やウェブの応力など比較的変化のゆるやかなところのものが多く、スロットやウェブ付スチフナ端部などの激しい応力集中部を対象としたものはこれに比べて少なくなっている。

国内で実施された主なものを見ると、トランスリングの応力と、船側外板と縦通隔壁の相対ずれを主目的に計測したものが、他に比べて非常に多く、SR83で6.7万～19万DWTの6隻について行われたものを始め<sup>7.1)</sup>、造船各社で12万～37万DWTの船約10隻について行われている<sup>7.2・7.4・7.7・7.12・7.13)</sup>。その他の部分としては水平桁に重点をおいたもの<sup>7.3・7.13)</sup>、スロットまわりを対象としたもの<sup>7.9)</sup>、機関室二重底の撓みを計測し

たもの<sup>7.8)</sup>もある。鉱石船については、上記の中にも含まれているが、特に縦通隔壁付バーチカルウェブ下方の二重底に接続する部分を重点的に計測したもの<sup>7.10)</sup>がある。以上の計測はいずれもタンクの水圧試験などバラスト注排水によって（喫水の変化を含めて）荷重を加えたもので、応力計測点は10点程度から635点に達する。また、入渠時の強度検討を行う際の基礎資料として入渠時の船体（盤木）変形を計測したもの<sup>7.11)</sup>もある。

次に上記の各文献をもう少し詳しく紹介する。まず、7.1)は、6.7万～19万DWTの6隻についてバラストの注排水に伴なう船体変形と代表的なトランスリングの応力変化を計測したもので、この結果により、いわゆる立体強度計算法（本研究では計測実施場所ごとに3種のプログラムにより理論計算を実施している）がかなり信頼できるものであることが確認された。ただし、水平ストリッピング方式のものや中央タンクに側ガータのあるものについては一部に誤差の大きいものもある。中央タンク水圧試験時の応力変化は大きいもので20kg/mm<sup>2</sup>程度（1点降伏点を越えているものもあるが）である。船体変形も一部に合わないものもあるが、よく合っている船が多い。また1隻については、スロットの局部応力も計測され、著しい応力集中のあることも示されている。7.2)は鉱石船のウイングタンクの中央ストラット下側の面材全周に歪ゲージを貼り、中央タンクの水圧試験時に応力変化を計測したもので最大応力は縦通隔壁付バーチカルウェブと船底トランスの交叉部、いわゆる三叉部に生じ25～26kg/mm<sup>2</sup>となっている。計算値との差はこの部分で15%程度とかなり良く一致している。通常のトランスリングとウェブの深い制水隔壁との比較では、平均的には後者が高い応力を示すが最大値は通常のトランスリングの三叉部に生じている。7.4)は、タンカーにつき三叉部を中心とする模型実験とFEMによる解析を行い、実船計測結果とも比較している。中央タンクの水圧試験時荷重に対し最大応力変化は20kg/mm<sup>2</sup>をかなり超えている。また、下部のストラット端部にも20kg/mm<sup>2</sup>程度に達する高い応力変化が見られる。理論計算との比較では全体的には良好だが、上記三叉部のウイングタンク側で誤差が大きくなっている。次に、7.5)は12万～31万DWTのタンカー4隻について計測したもので船体撓みと、トランスリングの応力を計測して理論計算値と比較している。船体撓みについては、計算と計測値は10%程度の誤差で一致している。また、コーナ部の面材の応力は2軸ゲージで計測すると1軸ゲージの歪計測値にEを乗じたものに比べてかなり低くなる。7.4)の例を含めて1軸ゲージのものが理論計算よりかなり高目に出るのはこのためと考えられる。本実験でも中央タンクの水圧試験状態に対する最大応力変化は三叉部に生じ（中央タンク側プラケット）30kg/mm<sup>2</sup>程度になっている。7.6)は、31万DWTについて行われたもので前記7.5)内の1隻と同じ実験について述べたものである（2社共同実施）。本船については、撓み、応力とも全般的に計測値と計算はきわめてよい一致を示す。最大の応力変化は三叉部中央タンク側プラケットで30kg/mm<sup>2</sup>に及ぶ応力変化が生じている。7.7)も13万DWTの鉱油兼用船のトランスリングについて計算精度を確認したもので両者はよく一致している。また、計測された応力はあまり高くなない。本報告の主目的はこの確認された計算法によって、種々の横強度を検討することにある。7.12)は、中心線ガーダなし、アーチ形船底トランスの応力分布と、横隔壁に隣接するトランスリングのストラットを省略した場合につき、応力を計測したものでこれらの部分の応力分布を示すとともに水平桁、タンク中央のトランスリングの応力と相対撓みについて理論計算と比較し精度を確認している。大きな応力は中央タンクの船底トランス縦通隔壁側プラケット（三叉部中央タンク側）、下段ストラットの縦通隔壁側、水平桁のプラケット部、中心線上のロンジと最下段の水平桁を結ぶプラケットなどに生じており、22～25kg/mm<sup>2</sup>程度である。7.13)は37万DWTのタンカーについて中央部トランスリング、制水隔壁、横隔壁付水平桁の応力、変形を合計約640点計測し、数種のプログラムにより理論解析を行ったものである。理論計算と計測値はトランスリング、水平桁など全般によく合っているが曲げ応力については多少差のあるところもある。大きな応力は、三叉部や水平桁端部のプラケットに生じているが、最大値は25kg/mm<sup>2</sup>程度である。また、本計測では一般に行われている計測のほか少数

ではあるが、スロット部の応力やウェブの面外変形などについても行われている。

以上は、トランスリングを主対象にしたものであるが、7.3)は横隔壁付水平桁について行ったもので、この部分（隔壁と隣接トランスリング）を取り出して骨組構造に置換して計算し実船計測結果と比較している。この比較は、中央タンクの水圧試験状態で行われているが両者の一致はよい。最大応力は  $10 \text{ Kg/mm}^2$  程度である。次にスロット回りについては、前記 7.1) のほか 7.9) があり種々の検討を行っている。これは、模型実験と 2 隻（タンカー、鉱石船）の実船計測によりスロット部応力の簡易計算式を求め、実船の解析を行って損傷の有無と対比し許容応力を求めたもの。実船計測では荷重条件の割にかなり大きな応力が生じている。また、7.10) では鉱石船特有の問題として二重底フロアとウイングタンクの船底トランスまたは接続プラケットの結合部の応力を計測し FEM による計算結果と比較している。計算値は一部差のあるところもあるが、全体的に計測値とかなりよい一致を見せており、計測された最大の応力変化も中央船倉にバラストを満載した状態に対して  $10 \sim 13 \text{ Kg/mm}^2$  程度であり高くない。

以上は、タンク内大骨材を対象としたものであるが、他に大型船の機関室の二重底の撓みを計測したもの<sup>7.8)</sup> と入渠時の盤木の計測から船体撓みを計測したもの<sup>7.11)</sup> などがある。前者は 20 万 DWT 油送船につき、喫水変化に対応する二重底の変形を計測したものである。計測結果を理論計算と比較して計算法の精度を検討すると同時に、各変形成分の効果を理論計算を主に示している。この結果、本船の場合、船体を 1 本の梁と考えたときの変形がかなり大きく、二重底の高さを増すことが、変形減少に有効でないことが注目される。後者は 24 万～31 万 DWT の船 3 隻について入渠時に盤木の変形を計ることによって船体の撓みを求め、別途盤木をバネに置き換えた変断面梁の計算値と比較したものである。これにより撓みの理論計算法の精度を確認すると同時に盤木の適正配置について検討を加えている。

最後に国外で行われたものに触ると、1,400 点におよぶ歪ゲージを用いた ESSO NORWAY の水圧試験時の計測<sup>7.21)</sup> が他を圧しているが、これは理論解析は行っておらず、その意味では、一般的な利用はあまり容易ではない。

### 7.2.2 動的計測

国内の計測すでにまとめられているものとしては、SR99<sup>7.13～7.15)</sup> および船研から発表されたもの<sup>7.16, 17)</sup> などあるが、いずれも縦曲げと横強度を合わせて 20 点以下の歪ゲージを配したものである。縦曲げ応力の計測に対してはこれらの結果が種々検討されているが、現象の複雑な横強度に対しては計測規模が小さくあまりまとまった結果が得られていない。しかし、応力頻度分布など興味ある結果が得られている。

まず、7.14) は SR99 の第 1 年度報告で 15 万 DWT 「東京丸」による 3 回の計測結果が報告されている。計測は船体中央部上甲板の縦曲げ応力と横応力（船体中央ビルジ部面材 4 点、機関室甲板ビーム端部プラケット 1 点）について行われているが、後者は第 1 回計測のみである。3 回の計測での最大縦曲げ応力は複振幅で  $12 \text{ Kg/mm}^2$  を超えている。これらの結果から、1 年間、20 年間の頻度予測を行っており、応力集中係数 3 のところがあれば疲労破壊発生の可能性があると論じている。また、ビルジ部での最大応力は複振幅で  $3.6 \text{ Kg/mm}^2$  に達している。

次に<sup>7.15)</sup> は同部会第 2 年度報告で、上記「東京丸」の継続分（第 4、5 回計測）と同じく 15 万 DWT のタンカー「明扇丸」の計測結果について報告している。「明扇丸」の計測は縦曲げ応力と横応力（船体中央部ウイングタンクの船底トランス）で上記第 1 年度と同様な検討を行っているほか、「東京丸」と合わせ風力階級との関係を求めていている。また、「東京丸」については、第 4、5 回計測結果のほか、第 1 回計測結果を用いて波長と波高の関係などの海象および横応力と波高の関係などについても検討している。また、縦応力について第 1 ～ 5 回の計測を合わせ理論計算値と計測値を比較している。

7.16) は同じく SR99 の第 3 年度報告で上記「明扇丸」と「日興丸」(3.5 万 DWT タンカー) の計測結果が報告されている。前者は縦曲げ応力と横応力(船体中央部船底トランス 12 点と船底ロンジ 2 点)について計測を行ったものである。本計測ではかなりのスプリングイング応力が記録されているが、これはスプリングイング現象がはっきりした記録の形で発表された最初のものであろう。ここではこれと非振動の縦曲げ応力の双方について検討している。また横応力の各計測の振幅の RMS と波高の関係を図に示している。「日興丸」の計測は縦曲げ応力のみで、その結果を Rayleigh 分布と比較するほか、風力階級との関係を求めている。さらに本報告では、縦曲げモーメントについて本部会の 3 隻の全計測結果について総合検討を行っている。すなわち、これらの船につき、波高と縦曲げ応力、曲げモーメントの関係や短期分布の最大応力、長期分布の推定などの検討を行っている。

次に、船研より発表された 7.17) がある。本報告に述べられた 2 隻の計測のうち、1 隻は SR99 のものと重複する。他の 1 隻は 5 万 DWT のタンカー「成和丸」について行われたもので、縦曲げ応力と横応力(船体中央部、ウイングタンクの船底トランス 9 点)を計測している。これらの結果より縦曲げ応力について短期分布と長期予測を示し、疲労強度を検討するほか、波周期や波高と縦曲げモーメントの関係を求めている。また、横応力については船底トランスの面材に沿う応力の頻度分布や代表点の波浪階級別の頻度分布を示している。さらに各短期分布の振幅の RMS と波高との関係も示している。また、7.18) はそれまでに船研で実施された広範な実船試験の結果を簡単に項目別にまとめたもので、本節関係では上記各船の他、「紀乃川丸」等についても触れられている。

以上は応力の計測であるが、7.19)、7.20) はレーザー光線を利用した専用装置を開発し船体の曲げ撓みを動的に計測したもので、対象船は 11.6 万 DWT の鉱石船である。本研究では航行中の計測のほか、荷役中にも計測しており変断面梁の理論計算値と比較している。撓みの大きさ( $P - P$ )は、スパン 190 m(船長 249 m) で、風浪階級 6 の波による 12 cm、荷役時最大 23 cm、温度差によるもの(赤道圏) 3 cm が得られている。

外国で行われたものとしては、前記の ESSO NORWAY が 70 点について同時計測を行っており、これが最大規模のものと思われるが詳しい結果は不明である。

### 7.3 バルクキャリア

#### 7.3.1 静的計測

バルクキャリアは一般に構造が複雑であり、構造様式もバラエティに富んでいる。このため、これまで実施してきた実船試験は、強度計算法の精度を確認することを主な目的としており、いずれの場合も、計測値と計算値との比較検討が行われている。計測箇所についてみると、二重底と船側構造などの試験でも対象として取上げられている。特に船側構造は、強度計算上の困難さを反映してかなり重点的に取扱われており、二重船側構造との比較検討なども行われている<sup>7.23~7.25)</sup>。また、ホッパータンク、トップサイドタンク内のトランスリングの計測も実施されている<sup>7.24, 7.26)</sup>。さらに、隔壁下部スツールを二重底ガーダとの関連で計測したものもある<sup>7.22)</sup>。計測はほとんど船倉に張水した状態で行われているが、SR118 では、鉱石荷役時にも計測を行っている<sup>7.26)</sup>。応力計測点の数は 200~300 点程度であるが、多いものでは 800 点にも達している。さらに、これらの応力計測と併行して二重底などの変位計測も実施されている例が多い。

強度解析法としては比較的古いものでは西部造船会の方法またはこれを若干修正した方法が用いられているが、7.22, 7.25) この方法では、たとえばホッパータンクのトランスリングの解析が行えないもので、立体骨組としての解析<sup>7.24, 7.26)</sup>、かなりよい精度であることが確認された。その後、NK で開発された計算法など、全面的に FEM を適用した解析法も可能になっているが、これら

の実船試験との対比などはまだ行われていない。

次に各文献をもう少し詳しく紹介する。7.22)は6万DWTのばら積油兼用船について、バласт注排水に伴なう二重底のたわみと応力の変動を計測し、西部造船会の計算法と比較している。その結果、隣接ホールドの影響と縦曲げの影響を加えれば、設計上十分な精度で算定できるとしている。計測された応力については、軽荷奥水でホールド満載という苛酷な状態でも  $10 \text{Kg/mm}^2$  を超える個所は少なかった。7.23)は船側フレームの強度計算法を確立することを目的としたもので、このための基礎試験として1.6万DWT~5.5万DWTの6隻についてバласт注排水に伴なうフレームの変位と歪を計測している。その結果より、フレームの応力にはホッパーの横断面変形の影響が大きいことがわかり、等価スパンを用いる簡易計算法が提案されている。7.24)は、11.5万DWTのバルクキャリアについて、船倉張水時の変位および歪の計測を行っている。二重底の応力は高い個所でも  $10 \text{Kg/mm}^2$  前後であるが、中心線ガーダの横隔壁の下部スツールとの結合部付近で主応力  $19 \text{Kg/mm}^2$  剪断応力  $13 \text{Kg/mm}^2$  という高応力を生じていることが注目される。またホッパー、トップサイドタンクのランス面材の応力は最大  $13 \text{Kg/mm}^2$  であった。解析には、立体骨組計算を行い、ホッパー・トップサイドタンク内は平面F.E.Mで計算する方法が採られている。7.25)は9.4万DWTのOBOキャリアについて船倉張水時に船側フレーム下端部を中心にした歪計測を行い、西部造船会の方法により結果を解析している。船側フレーム下端の計測応力は  $8.5 \text{Kg/mm}^2$  程度であるが、フレーム先端部のホッパー斜板では応力集中により  $16 \text{Kg/mm}^2$  程度の応力が計測されている。

7.26)は動的応力の計測が主たる内容であるが、鉱石荷役時の船体各部の静的応力の計測も行われている。鉱石荷役に伴なう応力変動は最大  $10 \text{Kg/mm}^2$  程度である。解析は7.24)と同じく、立体骨組と平面F.E.Mの組合せで行われているが、傾向はかなり一致している。

### 7.3.2 動的計測

動的計測としてはSR118<sup>7.26)</sup>における実施例があるのみである。供試船は6万DWT級の3隻で計測項目は、上甲板の縦曲げ応力のほか、二重底、船側フレーム、ホッパー内トランスリング等の応力変動を計測しており、さらに、これらのうち2隻については船首部の青波水圧の計測も行っている。気象、海象、船速等は目視観測およびログブックによっている。応力等の計測は原則として1日1回定時20分間の変動連続記録をとり、荒天時には同様の計測を適宜追加している。得られた結果の概要は次の通りである。

縦曲げ応力については、スプリングによる応力成分を除去しない場合と、した場合と比較すると、短期分布の振幅のR.M.Sにかなり差があることが示されている。計測された応力の最大値はピーク値間で  $19 \text{Kg/mm}^2$  とかなり高い値を示していることが注目される。なお、この時の波高は  $12 \text{m}$  と観測されている。

波浪曲げ応力は波の出合周期および縦揺との相関が大きいが、横揺との相関については本実船計測の場合は少なかった。

船側フレーム、二重底等の局部応力は風力や波高との相関が認められるが応力振幅は小さい。船体動揺と船側フレームの応力との関係をみると、縦揺との相関が大きく横揺との相関は比較的小さい。青波水圧については、実際に青波の打込みを経験しなかったため計測されていない。

## 7.4 コンテナ船

### 7.4.1 静的計測

コンテナ船は、従来の船と比較して倉口幅が非常に広いため、船体の捩り剛性が著しく低下するが、その実船

試験の目的は、主として捩り強度について正確に把握し、理論計算の実用性を確認しておくことにあろう。

現在まで、実施された実船試験の静的計測としてはバラストタンク張水によって捩りモーメントを発生させ、主に船体捩れ角およびハッチ開口部、上甲板面上、クロスデッキと船体取合い部、船底隅部等における変形量、歪を計測している。

7.27)、7.28)では、16,000 DWT の船で倉口変形量、船体捩れ角、上甲板の水平変位量、ハッチコーナ部の歪を計測しているが、倉口変形量は、理論計算により求め得ることを確認した。また、ハッチコーミングトップでの変形量は上甲板面での変形量より約4%大きく、船体の捩れ角は、計算値より約10%大きくなっている。

7.29)では、24,000 DWT および15,000 DWT の2隻の船について上記と同様な計測を行い、理論式の精度チェックを行っている。そしてハッチコーミングトップ隅部の応力は上甲板面隅部の応力に比べて、船側よりのコーミングでは約70%、中央部よりのコーミングでは、同程度の値が計測された。また、船体捩れ角については、計算値とは、傾向的によく一致しているが、絶対値では最大相対捩れ角で15%程度、差が見られた。

7.30)、7.31)では、23,000 DWT の船で捩り実験を行って上記と同様な計測を行い、それらと解析結果とを比較し、FEMによるコンテナ船全体構造解析法の実用性を確認した。さらに変断面特性を考慮した梁理論についても、船体各断面のモデル化をうまく行えば、実用性の高い計算方式が得られ、かつ捩りに対する船体レスポンスの諸特性は実船実験結果と良く合致していると論じている。

7.32)では、12,500 DWT の3列倉口間縦通甲板の有効性について調べるために、進水時を利用してハッチサイドデッキおよび倉口間甲板に歪ゲージを貼り歪計測を行い、Lift by Stern 時の応力分布を求めて、解析解の実船への適用性を検討し、計算値との良好な一致をみている。

7.33)は、33,025 DWT 「ニュージャージ丸」について横強度に関する静水中の実船計測を行い、さらに、それに対応して、いくつかの理論計算を行い、相互比較により、考察を加えたものである。計測された応力は局部的なものを除いて、全般的には、比較的小さく、3~4 kg/mm<sup>2</sup>程度であり、本船に特有のひな段隅部など局部的な応力集中箇所で10~12 kg/mm<sup>2</sup>である。

#### 7.4.2 動的計測

船の大型化、高速化に伴ない、船体運動、波浪外力、構造の応答などに関する実船のデータが必要となってくる。これらのデータ解析にあたっては統計的手法を用いるが、

- a) 船体運動と部応力の関係
- b) 応力・水圧などの発生頻度
- c) 各応答の大きさと海象の関係
- d) 各応答の短期及び長期予測
- e) 計算値との比較

など、できる限り幅広い検討を行う必要がある。

国内の計測で、すでにまとめられているものとして、SR108<sup>7.34)</sup> および SR125<sup>7.35)</sup> があるが、これらは船体運動に関する計測が主であり、一方波浪外力、構造応答に関する実船計測については7.36)、7.37)、7.38)、7.39)がある。

7.36)は、35,400 DWT の船の縦強度、横り強度、波浪による水圧およびコンテナ挙動に関する実船計測結果を報告している。計測は、中央部上甲板縦方向応力(4点)、倉口菱形変形量(3ホールド)、倉内コンテナの横方向移動量(4点)、変動水圧(船底2点; 船側1点; 船首部4点)について行われている。上甲板縦方向

応力については、その短期分布は、Reyleigh 分布に従い、そのワーピングによる上甲板縦応力への影響は無視できないとしている。また、波浪中縦曲げモーメントは、波長、波高を用いた規則波中縦曲げモーメントの計算により、ある程度推定でき、さらに変動水圧について、ISSCの波スペクトラムを用いた推定計算値と計測値を比較してみると、比較的良く合う例と、全く合わない例があるが、全く合わない例は波スペクトラムがISSCのものと大きく異なっている場合で、この場合もピッキングの記録から解析した波スペクトラムを用いれば、計算値と計測値は良く合うと論じている。

7.37) は「HT号」(20,400 DWT)、「NJ丸」(33,000 DWT)航行時における船体中央部の縦曲げ応力(HT号: 2点; NJ丸: 2点)、衝撃水圧(HT号: 2点; NJ丸: 5点)、変動水圧(NJ丸: 1点)、青波水圧(NJ丸: 5点)の計測を行っている。(昭和50年2月現在、解析中)

7.38)、7.39) は「ジャパンエース」(15,819 DWT)を供試船として計測点53点について、上甲板縦応力、倉口隅部応力、船首部波浪衝撃圧、船倉口変形量、船体上下加速度、ロール・ピッチ等の計測を行っている。上甲板縦応力に関しては、縦全応力と、これを縦曲げ、水平曲げ、捩りに分離した各応力について、短期分布を論じ、さらに、長期分布を推定している。この結果によれば上甲板上、水平曲げ応力は全体的に小さいが、捩り応力は海象に応じて縦曲げ応力の40~80%のものが発生しており無視できないことや、縦全応力は船体中央部より、やや後方機関室前端壁近くで最大となり、純縦曲げ応力についても、同様であるとしている。また、その長期分布を推定すると、計測船の20年間における最大縦全応力は  $10 \text{ Kg/mm}^2$  程度(単振幅)であり、一方波浪縦(垂直)曲げモーメントによる応力の20年間における最大期待値は  $7 \text{ Kg/mm}^2$  程度(単振幅)となり、これは縦全応力の70%に相当するとしている。

さらに、倉口隅部の応力集中率は、クロスデッキ部で考えると波との出合角が  $45^\circ \sim 125^\circ$  の斜波中で3.0、その他で1.8程度であり、また、該部の20年間における最大応力値は  $30 \text{ Kg/mm}^2$  と推定している。そして倉口変形量および船体塙れによる上甲板ワーピング応力の計測結果は計測時の波高、波長を使って静的に船体捩り変形を理論計算した結果と良い一致を示していると論じている。

## 7.5 一般貨物船その他

### 7.5.1 静的計測

ここで対象とする一般貨物船その他これに類似の船種は、実船実験においては、横強度的関心よりもむしろ縦強度のほうに重点がおかれており、縦通部材の有効度や倉口隅部の応力集中などを計測した結果の報告が多い。このような計測は、縦強度計算の精度を向上し、あるいは応力集中係数を把握するなどして、直接実船設計に役立てようとする意図にもとづいており、ほとんどの場合、進水時を利用して実船実験が行われている。これらの計測を船種別に分けると、まず、一般貨物船に関しては、倉口隅部の応力集中を9隻について系統的に計測したもの<sup>7.40)</sup>、隆起甲板の諸問題点を総括的に検討し、6隻について応力集中を計測したもの<sup>7.41)</sup>、縦曲げに起因する種々の応力集中を計測したSR2の報告<sup>7.42)</sup>、および、甲板室の有効度を調べたSR11<sup>7.43)</sup>の報告などがある。次に、2列倉口船に関しては、縦強度に対する倉口間縦通甲板の有効度を計測した結果がいくつか報告されている<sup>7.44)~7.46)</sup>。また、長倉口船の倉口変形についてはSR23の計測がある<sup>7.47)</sup>。その他の船種では、鉄道連絡船について進水時の計測法および外力計算法の改良を重ねつつ、縦強度に対する上部船楼の有効度を数隻にわたって計測した一連の報告がある<sup>7.48)~7.52)</sup>。

他に、FRP 救命艇の強度試験および衝撃試験の例<sup>7.53)</sup>などもある。次に各文献をもう少し詳しく紹介する。

7.40) は、ほぼ同型の150m型貨物船6隻を中心とする9隻の貨物船について倉口隅部の応力を系統的に

計測したもので、その結果は次の通りである。倉口隅部の応力集中率は 300 R の場合、最大 3.7 でその最大値は倉口側線上の R 止まりから約 30° 内側において生ずる。倉口隅部の押入厚板あるいは二重張り補強は応力低減に有効ではなく、また、倉口隅部のコーミングの平面形状が丸型か角型かということは応力集中に影響しない。倉口隅部の応力集中率は倉口側線内の甲板構造が剛なほど高い。隆起甲板における倉口隅部応力集中については 1 隻の計測と他から引用した 3 隻の計測をあわせて調べた結果、上甲板上の応力集中はなくなるが、代りに、倉口側線上の上甲板上ガーダの縦曲げ応力伝達が良好であるため、隆起甲板の隅部応力集中は普通型甲板と同等に高くなるということを示している。

7.4.1) は隆起甲板に関する強度上、工作上などの諸問題点について総合的な検討を行ったものである。その一部として、4 隻について完全隆起甲板の隅部応力集中の計測結果が示されており、それによると、応力集中率は 300 R の場合に最大 3.7 で、非隆起甲板の場合とほとんど差異がない。また 2 隻について計測された半隆起甲板の上甲板上倉口ガーダの R 部の応力集中率は 1,000 R の場合 2.9、実験用に仮に設けた 250 R の場合 6.5 であった。

7.4.2) は貨物船の縦曲げに起因する諸応力集中を計測した SR2 の報告で、甲板室の側壁出入口隅部、船楼あるいは船橋の接合部、倉口隅部および船底フロア軽目穴の応力などが計測されている。ここで、倉口隅部の応力集中率は 2.0~2.5 であった。

7.4.3) は SR11 において中央部に甲板室を有する貨客船の縦曲げに対する有効度を調べたもので、それによると、全長の  $\frac{2}{3}$  に及ぶ下部船橋甲板は船体曲げと一体となって挙動しており、それ以上の上部構造の効きは次第に低下している。

2 列倉口船の場合はその倉口間縦通甲板の縦強度に対する有効度が問題となるのであるが、これに関しては次のような報告がある。

7.4.4) は縦強度に対する倉口間縦通甲板の有効性を調べるための計測を行ったもので、その有効度の近似算式と推定曲線を与え、これを、長さ 136 m と 138 m の 2 隻の 2 列倉口船に適用して計算した結果、その有効度は 60~70 % であることを示している。

7.4.5) では、7.4.4) の算式を参照して、さらに、図式解法を与えた。この中で  $\sin$  曲線、 $0.5 M_0 (1 - \cos 2\pi x/L)$  、進水時曲げモーメントおよび均一分布曲げモーメント等の曲げモーメント分布について倉口間縦通甲板の有効度を比較した結果、それぞれの有効度が異なることを示している。その他、倉口間縦通甲板両端の剛性、倉口間甲板の剛性、倉口長さおよび位置等が有効度に関係する要因としてあげている。

7.4.6) は、2 列倉口船に第 2 甲板がある場合の倉口間縦通甲板の有効度を計測したもので、第 2 甲板における倉口間縦通甲板の有効度が約 50% と無視し得ないことを示している。

7.4.7) は長倉口船の倉口変形、開口に関する SR23 の計測結果である。これによると、倉口の開閉は縦曲げ応力に基づく剪断力によるものが約  $\frac{3}{5}$  を占め、残りは横強度的なものであるとしている。

7.4.8)～7.5.1) は鉄道技術研究所による連絡船に関する一連の計測の報告である。

7.4.8) は、次々と実施された鉄道連絡船の進水時計測のうち、「十和田丸」による初期の段階の計測である。この中で、加速度および見かけの質量などの動的な影響も考慮した計測によって縦応力計算の精密化をはかり、また、計測上の種々の工夫を試みている。

7.4.9) はフォイト・シュナイダープロペラを装備する宇高速船「讃岐丸」について 7.4.8) と同様な方法で進水時計測を行い、また、静的強度試験を行っている。後者は船首尾タンクの注排水および車両甲板上の 30t トロッコの移動による静的曲げ試験であり、補助として、船尾部起振実験も併用している。これらの結果、た

わみ、および中甲板以下の曲げ応力は遊歩甲板までを有効として求めた計算値とほぼ一致し、遊歩甲板およびその上層の航海甲板の応力は上記計算値の約 $\frac{1}{2}$ であった。

7.51)は、GT8,300Tのほぼ同型の4隻の青函連絡船について計測したものであり、進水時の曲げモーメント計算法を示し、上層甲板の縦曲げに対する有効度を求めた。これによると、船尾浮揚時の喫水分布、上下方向加速度、および、できれば船底水圧分布を計測し、付加質量を仮定することにより、それらの動的釣合条件から進水時曲げモーメントをかなり正確に推定できる。計測の結果によると、縦曲げ応力に対しては上甲板のうち遊歩甲板は100%有効に効いており、航海甲板は60~70%であった。また、たわみの計測値は航海甲板まで有効としたたわみときわめて近く、そのうち、20%は剪断たわみであった。

7.50)は7.48)以来改良を重ねられて7.51)で用いられた進水時計測の方法を紹介したもので、超高圧水銀灯とスリットを用いた船体たわみの動的測定法、喫水標識および刻時用合図灯をシネカメラで連続撮影して喫水を測定する方法、歪ゲージ式水圧計による船底水圧測定法、電気接点による船体走行距離測定法などについて述べている。なお、7.52)は17隻の戦標型連絡船の構造強度、工作、材質、腐食等に関する広範囲な調査を行った報告である。

計測法そのものについて紹介したものとしては7.50)の他に、7.54)、7.55)および7.56)がある。7.54)は進水時船体応力を切替装置の付加によってただ1組の増幅器と記録器で計測できるように考案したもので、装置の簡便化、軽量化をはかったものである。これによる進水時の縦応力計測によると良好な性能であることを示している。7.55)は進水時に船首かえ台に作用する圧力を計測するため、ロードセルによる比較的簡便かつ安全な装置を考案したもので、2隻の計測例が示されている。7.56)は進水時の初発進力を計測するのに、2インチ径の鋼球と軟鋼板との圧力によって生ずるくぼみを測る型式の押込型圧力計について紹介したものである。

### 7.5.2 動的計測

商船の波浪中の応力が本格的に計測されたのは、わが国では、貨物船「日聖丸」<sup>7.57)</sup>がその最初のものであろう。その後、貨物船および類似の船種について実施された波浪中応力計測の報告としては、まず、SR関係ではSR10、24<sup>7.58)</sup>、SR47<sup>7.59)</sup>、およびSR63<sup>7.60)</sup>のものがある。7.59)で供された「穂高山丸」については、別に7.61)および7.62)の計測報告がある。また、船研関係では、北太平洋航路における一連の実船実験の報告<sup>7.63~7.66)</sup>がある。これらの実船実験は、一部、日本近海で行われたものを除いては、冬期北太平洋ないしは北大西洋航路において行われており、数多くの計測の結果、貨物船の船型に関する船体縦応力の短期分布のデータが集積され、これらによって、長期予測がかなり具体的にできるまで至った。貨物船以外の船種については、駆逐艦船型の計測例<sup>7.67、7.68)</sup>が見られる。以上の文献の船体強度に関連する部分について、以下にもう少し詳しく述べる。

7.57)は、「日聖丸」の耐航性実船実験の報告である。この中で、11点の計測点について、船体縦応力が計測されているが、これは、耐航性諸計測と併行して便宜的に行われたもので詳細な説明はなされていない。

7.58)は、スラミング特性を明らかにすることを目的として計測したSR10、24の報告である。実験は、日本近海において、練習船「北斗丸」および「銀河丸」によって行われた。前者は予備実験である。その結果、スラミング時の水圧、水位、上下加速度、船体動揺の計測値から動的影響を考慮して求めた船体縦応力の計算値は、その実測値とよく一致している。実測値から推定されるスラミングの衝撃力は約150tであった。一方、波浪による縦応力の実測値はそのホッギングとサッギングの複振幅で約2.5Kg/mm<sup>2</sup>であった。この値は、L/20の波高のトロコイド波中における標準縦強度計算から得られる約8.1Kg/mm<sup>2</sup>の応力とは大きな差があるが、動的

影響を考慮して求めた計算値とは良く一致した。また、船体横断面内の縦応力分布は梁理論によく従うことが示されている。その他に、船首部外板およびフレームの応力の実測値は、水圧等の計測値から外力を推定して Schade 式によって求めた計算値と良く一致している。

7.59) は、各種操船条件下において応力頻度の短期分布および長期分布の計測を行った SR49 の報告である。供試船は、貨物船「摂津丸」、「もんたな丸」、「穂高山丸」、「はどそん丸」、「大島丸」、「西京丸」、「埼玉丸」、「のうほうく丸」、冷凍船「牡洋丸」、その他 2 隻に及び、この実験のために試作された 17 帯域の機械的応力頻度計が用いられた。解析では新しい試みとして、応力頻度の短期分布をヒストグラムの形で表し、これを直線で近似して要素ヒストグラムを求めた。この要素ヒストグラムを各種操船条件に対して求めておけば、就航海面の波浪の統計資料から得られる重み係数によって全体のヒストグラムを組み立てることができ、これから、長期の応力頻度分布を推定できることを確かめた。この方法で、波高、船速、出合周期の 3 変数によって 20 年間の最大応力を推定すると、中央甲板上で圧縮約  $10 \text{ Kg/mm}^2$  、および引張約  $6 \text{ Kg/mm}^2$  であった。

7.60) は、実船試験における計測、記録、解析の一貫システムの開発と、計測された多くの応答の相互の関連性を求める目的とした SR63 の報告である。実験は、練習船「淡青丸」および「北斗丸」による予備実験を経て、貨物船「しあとる丸」による本実験が行われた。「しあとる丸」による応力計測の結果から、波浪による縦曲げ応力およびこれから換算される波浪曲げモーメントの短期分布および RMS が求められ、その結果はそれまで国内外における計測結果の傾向とほぼ一致していることが認められた。また、この結果から、過去 10 年間の北太平洋の波の観測資料を用いて長期分布が試算されている。その他、縦応力と縦揺、横応力と横揺はそれぞれ互いに強い相関関係があることが示されている。

7.61) および 7.62) は「穂高山丸」による実船実験の、それぞれ、船体縦応力頻度およびスラミングに関する報告である。7.61) の計測結果によると、一冬期航路の異常応力は  $7.0 \text{ Kg/mm}^2$  、20 年間の最大応力の推定値は  $8.5 \text{ Kg/mm}^2$  であった。また、航路別の影響としては、北大西洋西航、同東航、北太平洋東航の順に異常応力が減少している。7.62) では、スラミングによる上甲板中央部の縦応力および船首 0.2 L 付近の船首船底外板応力が計測され、これらと船首上下加速度、うねりの方向、船速ピッティング角度との関連性が示されている。スラミングの衝撃による上甲板縦応力および船首船底外板応力の計測値はそれぞれ  $4.5 \text{ Kg/mm}^2$  および  $11 \text{ Kg/mm}^2$  であった。

7.63)～7.66) は、船研が毎年連続して行った実船実験のうち貨物船に関する一連の報告である。7.63)～7.65) は推進性能および波浪中における船体運動の動特性の調査を主目的としており、その中に応力計測が含まれている。7.66) は強度試験に主眼が置かれている。

7.63) は貨物船「大島丸」による船研の第 1 回北太平洋航路航海性能実船試験の報告である。その結果によると、甲板縦応力のスペクトラムは、縦揺および出合周期のスペクトラムと似ているが、縦揺のスペクトラムとくらべると、応力のスペクトラムのパワーは縦揺の固有周期より長い周期で小さく、また、やや短い周期で大きく現れる傾向を示している。上甲板縦応力頻度の短期分布は Rayleigh 分布に従い、これから、20 年間の最大値を推定すると  $7.41 \text{ Kg/mm}^2$  であった。

7.64) は「まんはったん丸」による第 2 回実船試験の報告で、上甲板縦応力の測定値が示されている。

7.65) は「山陰丸」による第 3 回実船試験の報告である。縦応力は、その値の連続記録ではなく、頻度分布のみが記録されている。その短期分布から波高、船速および波の出会い角の 3 つの因子によって長期分布を求めた結果は、SR49 で推定された値よりもかなり小さい値となっている。

7.66) は、主に、強度試験を目的とした「隅田丸」による第 4 回実船試験の報告である。上甲板縦応力頻度の

短期分布は Rayleigh 分布に良く一致しており、波高、船速、出合角の 3 つの要素を選んで長期分布を推定した結果、船の一生に対して、圧縮  $8.0 \text{ Kg/mm}^2$  、引張  $3.8 \text{ Kg/mm}^2$  であった。これは、SR49 の結果より小さく、7.6.5) の結果とよく一致している。船側特設フレームの横応力は波高とはほぼ比例関係にあるが、船側水位の変動量とはほとんど相関関係がなかった。その長期分布の推定値は船の一生で  $6 \sim 7 \text{ Kg/mm}^2$  程度であった。

貨物船以外の船種では、SR23-3<sup>7.47)</sup>において巡視船「しきね」の波浪中における甲板応力計測がある。これによると風速  $50 \text{ kt}$  の海面を 2 日間航行したときの計測から最大期待値を求めるとき従来の標準縦強度計算によるものよりかなり小さいという結果を得ている。他に、7.6.7) および 7.6.8) において駆逐艦船型 2 隻のスラミング水圧および曲げモーメント頻度の短期分布の計測例が見られる。曲げモーメントの短期分布は Rayleigh 分布とあまり良好に一致していない。

## 7.6 今後の問題点

実船計測の重要性については改めて述べるまでもないが強度設計をより合理的なものとするためには次のような点を考慮して今後の実船計測計画が立てられるべきであると考えられる。

従来の実船計測では、理論解析法の精度確認がその大きな目的となっていた。しかし、実船計測は船体の初期変形や温度分布の不均一に基づく歪、計測器のドリフトなどその結果に信頼性が乏しい一面がある。そのため立體強度計算が現われた初期はともかく、最近のように理論解析の手法が高度になったときには実船計測結果と比較して精度を検討することは、それほど優れた方法とは思われない。むしろ実船計測は初期撓みの影響などを含めた総合的な応力状態の把握（計測器のドリフトなどの難問があるが）のために行われるべきであろう。

さらに、疲労強度などに關係して応力変動の統計的頻度分布の把握がぜひとも必要である。この中で縦曲げに関するものは波計測と組合せたものやいままであまりデータの得られていない航路の計測などが残されている。一方、局部強度に関するものはまだ単発的なデータしかなく、今後の課題として残されている割合が多い。しかし局部強度に対しては縦曲げなどと異なり、荷重条件と構造形状がきわめて複雑なので、理論解析に手数がかかり得られた結果の一般化は困難である。また、データの集積だけで直接設計に役立てるには膨大な計測が必要であり実用的ではない。したがって、このような計測には、その結果の利用方法について予め十分な検討が必要であるとともに、直に有効な計測を行うためには、その困難さのために従来避けて来た感のある外力条件の計測にも十分努力する必要があると考えられる。

次に計測上の問題について考えると、まず、膨大なデータをいかに処理するかの問題がある。局部強度では特に計測点が多く、また、相互相関などをとる必要もあると考えられるので、この点に対する十分な検討が必要であろう。また、自動計測、自動解析では、計測点、計測時期の選択や雑音処理、無効振幅のとり方などについても一定の約束を定めておくことも、多種の計測データを総合的に比較・検討する際に不可欠であろうと考えられる。

以上のように船体強度の実船計測に対する要求は、質量とともに高度になりつつあると考えられる。このような要求に応えるためには単に造船界のみならず、船主、荷主、乗船員等を含めた大規模な組織による長期かつ系統的な計測が今後強く望まれるところである。このような大規模な組織が必要な理由は、次の通りである。

- a) 経済原理に従って、緻密なスケジュールのもとに運航されている一般商船を用いて多少なりとも苛酷な条件下での計測を行うには単に船主の協力のみならず、荷主、海員組合等の援助が不可欠である。
- b) 経済性を損うことへの補償、トラブルに対する備えなど資金的にもかなりのものを準備する必要がある。
- c) 極極的に大きなものを対象とする場合には、なるべく多くの船で長期にわたって実施する必要がある。

d) 強度、性能などのほか、艤装品などを含めた諸問題の計測を効果的に行うべきである。また、波浪計測などのように計測機器の開発研究も並行して行うなど、関連先が広範囲にわたる。

今後ますます出現するであろう新しい種類の船に対しても合理的な設計を行うため、このような実船計測を実施して、船体強度設計をより高度なものに高める必要がある。

## 参 考 文 献

7. 1) SR83: "船体横強度に関する調査研究"、造研報、68(1970).
7. 2) 鬼塚他: "鉱石運搬船の横強度実験"、石播報、8-41(1968).
7. 3) 永元他: "水密横隔壁付水平横桁の強度"、三菱報、5-5(1968).
7. 4) 永元他: "大型油送船の横桁部材及びその結合部の強度"、三菱報、6-1(1969).
7. 5) 岡部他: "大型タンカー横強度実船試験"、三菱報、6-2(1969).
7. 6) 横浜造船設計部、構造強度部: "32,600 DWT タンカー UNIVERSE IRELAND における横強度実船実験"、石播報、9-3(1969).
7. 7) 服部他: "鉱石専用船および鉱石／油兼用船の横強度の検討"、造船論、129(1971).
7. 8) 中嶋他: "機関室二重底のたわみに関する研究"、石播報、11-5(1971).
7. 9) 越智他: "縦通材貫通用スロットまわりの強度"、石播報、11-6(1971).
- 7.10) 安江他: "大型鉱石運搬船の二重底強度"、川重報、44(1972).
- 7.11) 永元他: "入渠時の船体強度に関する研究"、三菱報、9-4(1972).
- 7.12) 永元他: "油槽船の横強度に関する実船計測ならびにその解析"、造船論、131(1972).
- 7.13) 田代他: "超大型油送船「日石丸」の強度実験"、造船論、133(1973).
- 7.14) SR99: "航海中の船体応力頻度に関する実船試験"、造研資、62(1967).
- 7.15) SR99: "航海中の船体応力頻度に関する実船試験"、造研資、76(1968).
- 7.16) SR99: "航海中の船体応力頻度に関する実船試験"、造研資、96(1969).
- 7.17) 安藤他: "巨大船の実船強度試験(第1報)"、造船論、125(1969).
- 7.18) 山内他: "船舶技術研究所における実船試験"、昭和44年度船研特別講演会講演概要、(1969).
- 7.19) 高橋他: "大型船における船体たわみの動的計測"、造船論、134(1973).
- 7.20) 日本船用機器開発協会: "船体撓み監視装置の開発事業報告書"、(1973).
- 7.21) SNAME前刷: "Interpretations of the ESSO Norway Static Tests"、(1973).
- 7.22) 新田他: "二重底構造の強度に関する実船実験"、造船論、123(1968).
- 7.23) 寺田他: "バルクキャリアの倉内肋骨の強度"、造船論、121(1967).
- 7.24) 鈴木他: "大型バルクキャリアの横強度の水試時実船試験"、造船論、132(1972).
- 7.25) 中村他: "大型OBOキャリヤーの船倉構造"、川重報、39(1970).
- 7.26) SR118: "大型鉱石運搬船の船体各部応力に関する実船試験"、造研報、72(1972).
- 7.27) 中村他: "コンテナ船の捩り強度に関する実船実験"、造船論、126(1969).
- 7.28) 梅崎他: "コンテナ船「箱根丸」の実船実験"、三菱報、7-1(1970).
- 7.29) 山本・太田: "コンテナ船の捩り強度"、日立報、32-4(1971).
- 7.30) 田中他: "有限要素法によるコンテナ船の捩り強度解析"、造船論、127(1970).

7. 31) 川井 他 : "有限要素法と実船実験によるコンテナ船の捩り強度解析"、三井報、73(1971).
7. 32) 蔦 : "コンテナ船の強度(その2)"、川重報、41(1971).
7. 33) 田代 他 : "コンテナ船の横強度実船試験"、造船論、136(1974).
7. 34) SR108 : "高速貨物船の波浪中における諸性能に関する研究"、造研資、125(1971).
7. 35) SR125 : "超高速コンテナ船の耐航性に関する研究"、造研資、171(1973).
7. 36) 米谷 他 : "超大型コンテナ船の強度実船計測"、関西誌、154(1974).
7. 37) SR125 : "超高速コンテナ船の耐航性に関する研究"、造研資、188(1974).
7. 38) 熊倉 他 : "コンテナ船の実船強度の計測"、造船論、136(1974).
7. 39) 熊倉 他 : "コンテナ船「ジャパンエース」の船体強度及び運動の実船計測"、石播報、14-6(1974).
7. 40) 大川 他 : "一般貨物船の強力甲板における倉口隅部応力集中について"、造船論、105(1959).
7. 41) 船体構造委員会関東地区部会隆起甲板小委員会 : "隆起甲板について"、造船誌、355(1959).
7. 42) SR2 : "船体構造と応力分布測定に関する研究"、造研報、3(1955).
7. 43) SR11 : "上部構造の船体強度への影響に関する研究"、造研報、5(1955).
7. 44) 八木 他 : "2列倉口船の中央甲板の有効性について"、関西誌、122(1966).
7. 45) 宮川・多賀谷 : "2列倉口を有する船の倉口間甲板に働く応力"、西部報、38(1969).
7. 46) 三好・金井 : "2列倉口を有する2層甲板船の中央甲板の有効率について"、西部報、40(1970).
7. 47) SR23 : "船舶の安全性向上に関する研究"、造船研究、2-4(1961).
7. 48) 白石 : "十和田丸進水時強度試験結果"、鉄道技術研究報告、29(1958).
7. 49) 白石 : "宇高連絡船瀬岐丸の進水時強度試験ならびに船尾部強度試験"、鉄道技術研究報告、446(1964).
7. 50) 白石 : "新造青函連絡船の進水時強度試験に用いた各種の動的測定法"、造船論、117(1967).
7. 51) 白石 : "新造青函連絡船の進水時強度試験"、造船論、121(1967).
7. 52) 白石 他 : "戦標型連絡船の船質"、鉄道技術研究報告、493(1965).
7. 53) 寺田・渡辺 : "FRP救命艇の実艇強度試験"、造船論、125(1969).
7. 54) 船体構造研究委員会計器小委員会 : "進水時船体応力測定用計器の試作報告"、造船誌、296(1952).
7. 55) 寺尾 他 : "進水時 Fore Poppet にかかる圧力測定の一方法について"、造船論、100(1957).
7. 56) 平尾 : "初発進力の計測について"、造船誌、282(1949).
7. 57) 脇 : "航海性能に関する日聖丸実船実験の概要"、造船論、92(1957).
7. 58) SR10, SR24 : "実船航走時の強度試験"、造研報、24(1958).
7. 59) SR49 : "高速船の波浪中の応力頻度ならびに甲板荷重の実験的研究"、造研報、49(1965).
7. 60) SR63 : "船舶の耐航性に関する実船試験"、造研報、65(1968).
7. 61) 秋田・石山 : "穂高山丸の航走中の船体応力頻度について"、造船論、105(1959).
7. 62) 小杉 他 : "穂高山丸によるスラミング実船計測"、造船論、105(1959).
7. 63) 矢崎 他 : ニューヨーク定期貨物船大島丸による北太平洋航海性能実船試験について、  
船研報、1-3, 4(1964).
7. 64) 北川 他 : "ニューヨーク定期貨物船 まんはったん丸 による第2回北太平洋航海性能実船試験について"、船研講演会、第3回(1964).

7. 65) 高石 他 : " ニューヨーク定期貨物船 山隆丸 による北太平洋航海性能実船実験について ( 第 1 報 ) " ,  
船研報、2-2(1965).
7. 66) 安藤 他 : " 隅田丸による北太平洋実船強度試験 " , 造船論、119(1966).
7. 67) 永井 他 : " 荒天中における船体の運動および船首船底水圧の実船計測例 " ,  
造船論、120(1966).
7. 68) 門田 他 : " スラミングの実船計測について " 日立報、29-2(1968).

## 8. あ と が き

本分科会の調査研究の対象としたものは、非常に広範囲の分野の実船試験であって、その目標とするところや結論も異なる点も多いが、各分野の結論を要約すると次のようになる。

### a 波浪計測

- i 波浪に対する船体応答の実船計測、とくに短期計測では、波浪状態の同時計測が重要である。現在の舶用波浪計にはまだ決定的といえるものはない。この種の波浪計の開発研究を進める必要がある。
- ii 目視観測による長期波浪観測資料の集積は現在も続けられており、それだけの価値はあるが、船体応答理論の精密化に対応するためには、計器による観測資料、特に波スペクトルの形であらわされた観測値の集積が必要である。
- iii I S S Cスペクトルのような現在使用されている波スペクトルは、決して完全なものではなく、広範囲かつ長期にわたる波スペクトルの実測資料の集積が必要である。
- iv 波浪観測はひとり造船界だけでなく、航海、気象、海洋などの各方面でも重要な問題であり、強力な協力態勢によって観測資料を集めねばならない。わが国としては、北方観測定点の復活、北太平洋の商船による計器観測の継続的実施を検討してもよいと思われる。

### b 船体運動性能の計測

- i 船体運動性能の分野では、理論値と模型実験値あるいは実船計測値の比較が、さらに要求される段階である。これにはSR125方式のような波浪状態の計器による同時計測を伴った短期多項目計測方式が最もよい方法である。
- ii 従来は6自由度の船体運動の計測が主な目標であったが、運用上は船体に働く加速度、海水打込み、プロペラレーシング等の船体運動の計測結果だけでは十分判らない諸量が問題となる。したがって、今後はこれらの計測も同時に実施する必要がある。
- iii 船体運動は操船条件によって大きく変化する。したがって、操船者がどのような操船をするのか、その判断の基となるものは何であるかを、実船試験によって明らかにすることも非常に重要である。
- iv 今後の実船試験においては、測定される諸量もますます多くなり、計測値相互の連関もより複雑なものとなる。したがって、不規則現象の解析法も多入力スペクトラム解析や高次スペクトラム解析等の手法を用いる必要性が、ますます増大していく。

### c 波浪曲げモーメントの計測

- i 波浪曲げモーメントのような波浪荷重においても、理論値と実船計測値の比較は、最も基礎的な問題であるが、精度のよい比較検討例は少ない。この場合、荷重は垂直曲げモーメントだけでなく、水平曲げモーメント、ねじりモーメントも対象とする段階に到達しており、実船計測もこれらの量が計測できるものでなくてはならない。
- ii 波浪曲げモーメントの実船計測において、現在重視されているのは長期分布の計測である。長期計測は莫大な労力を要するため、計測の自動化、簡略化の研究が要求され、そのためには長期にわたる精密計測値の集積が必要となる。
- iii 波浪曲げモーメントの長期分布は、対象船の遭遇海象に支配されるから、各海域の海象資料の整備が必要である。現時点では波浪計測装置を装備した海象観測船を使用することが不可能であるとすると、商船を使用して精度の高い資料を得る方法も研究されねばならない。

d 局部荷重の計測

- i 局部荷重は複雑な要因によるものが多く、その定性的解明は模型試験によるべきだが、実船試験の資料は模型試験の結果の信頼度確認のために必要である。
- ii 局部荷重に関する実船試験は、他の要因の影響は避けられず、技術的にも困難が多く、さらに一般的に短期間の試験であって遭遇海象が限定される等の問題があり、数少ない実船試験で十分な成果をあげることは期待できない。
- iii 波浪、貨物油等の衝撃圧、鉱石圧等の問題について、実船計測によって信頼度の高い資料を得るために、それらの計測を目的とした比較的長期間にわたる試験計画によるべきである。

e 船体強度

- i 船体強度に関する理論解析の方法が高度となった現段階では、実船計測は理論値の精度の検討という問題よりは、総合的な船体の応力状態の把握のために実施されるべきである。
- ii 局部強度に関する問題は、荷重条件と構造形状の複雑さのために、一般化は困難である。したがって、実船計測については、計測結果の利用方法について予め十分検討する必要がある。また、計測資料は莫大なものになることが多いから、これを如何に解析するかの企画が重要である。
- iii 長期にわたる大規模な造船界、船主、荷主、乗組員の協力によってはじめて可能となるものであるから、このような試験が充分な成果をあげられるような、大規模な組織の結成が必要である。

全体を通じて言いうことは、理論分野と実験分野の緊密な関係に対する再確認であって、理論の進歩がなくては実験の進歩は望めず、また実験の結果から理論の発展が促進されるものであるという事実である。今後は理論の進歩とともに、ますます高精度、大規模な実験が要求され、この要求に応じるために実験技術の発展が必要となる。

実船試験結果には常に2次、3次の要因の影響が混入することは避けられないものであり、場合によっては他の手段による方が合理的な場合もある。実船試験の企画にはこの点と、計測結果の解析あるいは利用方法とを、充分検討しなければならない。このことは、実船試験が高精度、大規模になればなる程、重要なってくる。

なお、波浪応答に関する分野において、計測の標準化と計測資料の保存制度の必要性が述べられている。この問題は実現させるためには、検討すべき事柄が多く残されているが、是非実現させたい事項である。

(付録)

実船計測一覧表

1. わが国における実船計測の一覧表を示す。

2. 大別して

- |           |            |
|-----------|------------|
| (A) 耐航性   | (E) 推進・操縦性 |
| (B) 進水時計測 | (F) 機関・軸系  |
| (C) 静的強度  | (G) 諸装置    |
| (D) 動的強度  | (H) 防食・防汚  |

の8項目に分類したが、複数の項目にまたがるものは、より重点が置かれていると思われる項目に入れた。

3. 上記分類中(A)～(D)は本文展望と関係があるが(E)以下の項目に関しては本文でほとんど触れられていない。

振動に関する実船計測は、SR200第3分科会で詳しく展望されるはずであるから、ここでは一切省略した。

4. 「参考文献」は原則として最近10年間のものに限定したが、日本造船研究協会で実施した実船計測に関するものはすべて採録した。

5. 「文献番号」は本文記載の文献番号で、頭の数字は本文各章の番号に該当する。二個所以上で引用されたものには複数の番号が付せられている。

6. 「DWT その他」欄で、数字のみ記載してあるのは DWT(t) である。GT は総トン数 (t)、△は排水量 (t)、L は船の長さ (m) を示す。

## (A) 耐航性

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT	その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
SR1: 造船報 1(54) 著: 造船論 92(57)	5.4 3.2 4.9 5.5 7.57	日聖丸	貨	9,914	51/12-52/5		北太平洋、中部太平洋、印度洋	抵抗・推進・運動・応力の実験と水槽試験との比較	気象・海象、横・縦・船首揚、回転数、トルク、舵角、応力	ステレオカメラ、シネカメラ、風速計、ログ、スペリーモーター、螺旋計、舷角計、振幅計、回転計、伸び計、抵抗線歪計、伸び計	
SR17: 造船報 25(59)	3.4 4.2	北斗丸	練習船	GT 1,631	54/12-55/3		三陸沖、南九州	復原性を中心として海洋波の統計処理と運動の関係	波浪・横・縦・船首揚	シネカメラ、スペリーモーター、角加速度計、曳航ブイ、リンクブイ	
矢崎他: 船研報 1-3、4(64)	3.19 4.15 5.13 7.63	あつみ島丸	漁業工船	GT 877	55/10	GT 877	南太平洋				
北川他: 船研報 3回(64)	4.16 7.14	大鳥丸	貨	12,033	56/5~6		GT 9,398	シーマーチン、動揺特性、縦強度	船速、トルク、回転数、横・縦・船首揚、上下加速度、舵角、応力頻度、青波水压	船速ログ、志波式ログ、抵抗線歪計、ジャイロ動搖計、応力頻度計、水圧頻度計	SR49と共同
高石他: 船研報 2-2(65)	3.9 4.17 5.14 7.65	山峰丸	貨	12,472	62/10~12		GT 11-12	耐航性能	船速、トルク、回転数、横・縦・船首揚、操舵頻度、上下加速度、応力頻度、横応力、青波水压、船側水位	電航ログ、抵抗線歪計、加速度計、ジャイロ動搖計、応力頻度計、最大水压計、貯易水压計	
平田他: 鋼音報 53(65)	4.14 5.14 7.65	桂くど	渡標船	L 43.2	63/11-64/1		東京湾	アンチピッチングタンクの性能確認	縦揚、船首上下加速度、エアダクトの空気出入速度	超音波水位計、船底ログ、馬力計、ジャイロ動搖計、操舵頻度計、加速度計、抵抗線歪計、応力頻度計、穿孔機	
SR87: 造船資 51(66)	海明洋	漏量船					東京湾口	2隻の船の動搖を同一海面で同時に計測し、船速、横揚	相対水位、風向、風速、波周期、船速、横揚	スペリーモーター、アモモスロープ、馬力計、ジャイロ動搖計	
SR65: 造船資 65(67)	3.13 4.19 7.60	しあとる丸	貨	1,2022	65/12-66/3		北太平洋 北大西洋	データ処理システムの開発と耐航性の指標	波浪、船側水位、風向、風速、船首揚、横・縦・トルク、応力、青波水压	電航式波高計、超音波水位計、アモモスロープ、ジャイロモーター、加速度計、トルク計、馬力計、横軸頻度計、データコレクタ、データ処理装置	

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考	
Yamamoto; Proc. IITC(69)	2.6.6	青雲丸	練習船	G T	5,000.0 69/2, 70/1/1, 71/10	日本沿海	船首出合波浪計の開発 および動搖特性の調査	船首出合波高、船速、スラスト トルク、回転数、横・縦搖 スト計、馬力計、シャイロ動搖 計、ブイ式波浪計	レーダ式船首出合波浪計、スラ スト計、馬力計、シャイロ動搖 計、ブイ式波浪計	模型試験あり	
田才他： 西部報 59(70)	4.3.7	B丸	油	8,000.0	69/7~69/8	中近東	大型タンカーの耐航性 突出バルブの有効性	船首船底水压(2)、横・縦搖、 上下加速度(3)、左右加速度	PMS圧力計、シャイロ式動搖 計、加速度計		
平野他： 三井報 74(71)		おーすとりあ丸	コンテナ	2,351.2		潮ノ岬	アンチローリングターナ の効果確認	横搖	加藤式動搖記録計		
SR108; 造船資 1.5(71) SR125; 造船資 1.5(72)	4.2.6 7.3.4 4.2.7	加利丸 あめりか丸		1,501.4 1,544.0 1,592.6	70/1/1~1/2 71/12~72/1 70/1/2~71/1	北太平洋	耐航性に関する模型実 験と実船の対比を求める ため、船体運動の実 態を把握する	横・縦・船首懸、加速度	シャイロ動搖計、加速度計、 データレコーダ、ビシグラフ		
小川他： 船研報 8-2(71)、 9-3(72) 永松他： 船研報 8-4(71)	4.2.8	ジャパンエース 箱根丸 雄名丸		1,581.9 1,630.6 1,629.0	70/1/1~1/2 71/1 71/1						
豊田他： 東臨船報 23(72)	4.4.0	さんた・いさべ丸	鉄	5,447.2	72/1~72/2	豪州	荒天時の応答及び操船 効果の測定	横・縦搖角・角速度、指圧図、 燃料消費、機関操作、過給機非 気温、回転数、舵角、船速、 風向、風速	シャイロ式動搖計、レートジャ イロ、航海計器(録取)		
SR125; 造船資 1.1(73), 1.8(8 (74), 2.1(75) SR132; 造船資 1.9(74) 2.14(75), 造船報 82(77)	3.1.6 4.2.7 2.7.9	鎌倉丸 J A 号 S A 号 H T 号 N J 号 H I 丸		3,540.6 2,24.9.9 3,04.6.5 2,04.0.0 3,28.5.0 2,36.64	71/1/2~72/2 72/1/1~1/2 73/2~3 73/1/2~74/1 74/2~3 74/1/1~75/1	北太平洋、北大西洋 北太平洋、南大西洋	耐航性に関する諸問題 の解明、波浪中特性と 船型・每象・運航状態 との関連	船首水圧(一部) 横・縦・船首懸、回転数、トル ク、3軸加速度、舵角、風向、 風速、船速、波高等	水圧計 計測コントローラ、リモートコント ローラ、データレコーダ、ITV、 モニターレビ、投擲式波浪パイ モニターレビ、投擲式波浪パイ		
小川他： 船研報 1.2-4(75)	4.4.8	しゃれとこ丸 えりも丸	カーフェリー	3,26.4 3,17.2	72/10	東京～苦小牧	フィンスタビライザの 効果測定	横・縦搖、船首上下・左右加速度、 横・縦搖角速度、フィン角度、 揚力	シャイロ式動搖計、加速度計、 レートジャイロ	模型試験あり	
翁永他： 船研報 1.2-5(75)	3.2.0 4.5.0	鰐高丸	コンテナ	2,040.0 72/1~ 72/12		北太平洋	シーマーシン、船体運 動、甲板傾コンテナの 挙動および固縛	横・縦搖、船首上下加速度、ス ラスト、トルク、回転数、船底 ログ、供試コンテナの応力と変形、コンテ ナ加速度、ラッシュ張力	シャイロ式動搖計、加速度計、 抵抗線歪計、船底ログ、コンテ ナ		

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
野中他： 船研講26(75)	4.3.1	黒部丸	コンテナ	32,343	74/11~75/1	ニューヨーク	多軸コンテナ船のアローベラ負荷変動の実態調査	トルク・スラスト(2)、横・縦振、舷角、上下(3)左(2)回転数、舷角、上下(3)左右(2)加速度、前後加速度、輪受温度	抵抗線歪計式トルク・スラスト計、ジャイロ式動搖計、舷角計、サーミスタ温度計	
小林： 船研報13-2(76)	4.5.9	ふじ	南極観測船	△8,000	74/11~75/4	東京～南極	氷海域での航行実態調査	氷象調査、甲板温度(7)、横・縦揺、上下・前後加速度、プロペラトルク、碎冰能力	携帯用サーミスタ温度計、ジャイロ式動搖計、加速度計、軸トルク計	

(3) 進水時計測

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT	その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
S R2： 造研報3(55)	7.4.2	洋錆丸 永真丸 協運丸 和光丸 香華丸 ADRIAS ALLIANCE 祐邦丸 ぶらじる丸	貨 貨 貨 油 油 貨	L 13.0 L 13.8 L 14.2 L 13.4 L 13.4 L 16.7 L 16.7 L 18.5 L 14.5	52/3 52/7 52/7 52/8 52/11 52/10 52/11 52/12 54/4	進水時	縫曲げによる船体各部応力集中の計測	甲板室側壁付近応力(36) 船橋端部応力(23) 河上	甲板室側壁付近応力(36) 船橋端部応力(23) 甲板室端部応力(36) 倉口周辺、船底、肋板(47) 船底縫通材(46)		
S R1.1： 造研報5(55)		SANTAMARIA NATIONAL POWER SANTADESPINA NATIONAL PRESTIGE PACIFIC OWNER PACIFIC CONQUEROR SUNEK 宝水丸 豊国丸		L 15.0 L 15.0 L 15.0 L 15.0 L 15.0 L 15.7 L 13.6 L 12.8		進水時	長甲板室の縫曲げへの効き	同上	同上	抵抗線歪計	
大川他： 造船論105(59)	7.4.0	A丸	鉄道連絡船4隻	L 13.2	6.5~6.4	進水時	倉口隅部の応力集中、隆起甲板の影響	倉口隅部の応力集中	計測、水位計、オシログラフ		
信岡： 日立報26-34(65)				L 10.5	6.4/1	進水時	進水時の船体運動	進水時の船首落下	8ミリシネカメラ		
白石：造船論117(65) 白石：造船論121(67)	7.5.0 7.5.1					各種の動的計測	船体たわみ、応力、水圧、奥水分布、角加速度、走行距離	歪計、光学式動的たわみ計、水圧計、その他			

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT	その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
山口他： 三井報 65(69)	さばな丸			11,700	67/4						
	TALABOTO	貨		10,500	67/10						
	TAIKO			10,500	67/9						
	中越山丸	チップばら		28,200	67/5						
	三国山丸	ば		60,150	67/8						
	GIMLEHANG	油		74,600	67/7						
豪虎丸	POLYMONARCH			91,050	67/4						
				10,7600	67/4						
萬：川重報 41(71)	7.5.2	いんぐらんど丸	貨	12,450	69/10	進水時		3列倉口船倉口間縫 通甲板の有効性	上甲板応力(8)、倉口間甲板応 力(14)	歪計	
白神丸： 日立報 33-2(72)	A	氣・油		14,983.0	70/9						
	B	氣		114,000	70/7	進水時、水試時					
	C	鉱・ばら・油		112,300	70/12						

(C) 静的強度

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT	その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
SR23-3： 造船研究 2-4(61)	7.4.7	鉄隆丸	貨	2,540		57/10	荷役時				
寺田： 造船論 121(67)	A	丸	鉱	54,300	65/9						
	B	丸	ばら	55,000	65/11						
	C	丸	石炭	36,000	65/11						
	D	丸	穀物	76,000	66/2		船台 上				
	E	丸	鉱・石炭	37,000	66/5		岸壁系留中				
	F	丸	ばら	47,570	65/8		岸壁系留中				
新田他： 造船論 123(68)	7.2.2	A 船	鉱・油	58,700							
永元他： 三菱報 5-5(68)	7.3	A 船	油	12,20000							
		B 船		20,20000							
山口他： 三井報 64(68)		A 丸	鉱	102,000							

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT	その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
鬼塚他： 石橋技8-41(68)	7.2	A 丸	鉄	9,620		67/11	水圧試験時	横強度実験と理論計算との比較	トランシング圧力(38)、 ウイングタンクの相対変位、倉口開閉量	歪計、トランシット、ピアノ線	
吉田他： 石橋技9-3(69)	7.6	UNIVERSE IRELAND	油	32,600	68/6		水圧試験時	横強度実験と理論計算との比較	トランシング・センター・ガーダー圧力(143)、ウイングタンク相対変位、隔壁の変形	歪計、トランシット、ピアノ線	
永元他： 三菱報6-2(69)	7.4	A 丸	油	12,200			水圧試験時	タンカーの横強度	船体縦部材の相対たわみ(5)、 トランシング圧力(37)	連通管、歪計	
岡部他： 三菱報6-2(69)	7.5	A 丸 B 丸 C 丸 D 丸	油	12,200 15,700 20,200 31,200			水圧試験時	タンカーの横強度	船体縦部材の相対たわみ、トラスリングの応力	連通管、光線、ピアノ線、 歪計	
中村他： 造船論126(69) 梅崎他： 三菱報7-1(70)	7.2 7	箱根丸	コンテナ	16,306	68/7	岸壁係留中		コンテナ船ねじり強度	倉口変形(1)、船体ねじり角(9)、 上甲板水平変位(2)、上甲板応力(50)	ピアノ線、光線、ダイヤルゲージ、歪計	
SR83： 造研報68(70)	7.1	A 丸 B 丸 C 丸 D 丸 E 丸 F 丸		66,900 10,350 11,8,500 12,0,200 12,3,000 18,7,500	66/9 66/11 66/12 66/6 66/11 67		海上公試時	タンカーの横強度	船体縦部材の相対たわみ、トラスリング圧力、スロット部応力	ピアノ線、光線、連通管、 歪計	
中村他： 川重報39(70)	7.2 5	HÖEGHAINBOW	鉄・ばら・油	94,000	70/2	岸壁係留中		OBOの一重船側構造の強度	サイドフレーム圧力(22)、内底板応力(8)	歪計	
服部他： 日立報32-2(71)	7.7	A 船	鉄	13,000			水圧試験時	鉱石船の横強度	横けた面材応力(27)	歪計	
山本・太田： 日立報32-4(71)	7.2 9	T 丸 K 丸	コンテナ	L 200 L 175	69/1 68/8		水圧試験時	コンテナ船の振り強度	振れ角(9)、倉口変形量(28)、 倉口隅部応力(8)	振子、ダイヤルゲージ、 歪計	

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT	その他	試験年月	衝格・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
田中他： 造船論 27(70)	7.5.0	おーすとらりあ丸	コンテナ	23,312	69/12	岸壁係留時	コントナ船の振り強度	甲板面上変位(2)、倉口開口部、横隔壁、クロスデッキと船体取合い部、船底構造等(113)	レーザビーム、マノメータ、ダイヤルゲージ、直計		
川井他： 三井報 75(71)	7.5.1										
眼部他： 造船論 129(71)	7.7	A 船 B 船 C 船	鉄 鉄・油 鉄・油	28,170 10,9000 13,0,000		水圧試験時	横強度の検討	各荷重状態における横けたりングの応力と変形			
中鶴他： 石橋技 11-5(71)	7.8	B 丸	油	200,000	70/10	海上公試時	ターピン船の機関室二重底のたわみ	中心線・横方向及び外板沿いの変位(15)	ピアノ線、スケールマイクロスコープ		
越智他： 石橋技 11-6(71)	7.9	A 丸 B 丸	油 鉄	84,000 99,000	70/10	水圧試験時	スロット周辺のウェブ・ウェブスチーナ下端(1スロット15点)	スロット周辺のウェブ・ウェブスチーナ下端(1スロット15点)	直計		
永元他： 造船論 151(72)	7.1.2	A 船	油	180,000	69/6	水圧試験時	タンカ一横強度	各荷重状態における応力及び変形、船体の温度分布	直計、サーミスタ温度計、レーザ光線式たわみ計		
永元他： 三菱報 9-4(72)	7.1.1	A 船 B 船 C 船	油 油 油	202,600 205,800 326,800		入渠時	入渠時船体強度、適正舷外配置	船体の直下および近傍の盤木変位量、各船約75点	ものさし	トリム調整のためバラスト搭載	
中村他： 関西誌 143(72)		HØEGH RA INBOW	鉄・ばら・油	94,000	72/12	岸壁係留時	トプサイドタンク・トランジンクリング応力(8)	トプサイドタンク・トランジンクリング応力(8)	直計		
安江他： 川重報 44(72)	7.1.0	JALNA	鉄・油	144,400	70/8,9	岸壁係留時	二重底構造部の強度	二重底肋板応力(15)、船底横桁応力(12)			
鎌木他： 造船論 122(72)	7.2.4	第二後丸	ばら	115,721	70/9	岸壁係留時	ばら積船横強度	船倉横断面材応力(138)、船倉断面の変形量、船体温度	直計、ピアノ線、連通管		
田代他： 造船論 133(73)	7.1.3	日石丸	油	372,700	71/7	水圧試験時	超大型船の強度	直(595)、たわみ(40)	直計、ピアノ線		
田代他： 造船論 136(74)	7.3.3	セイジャー丸	コンテナ	32,850	75/1	岸壁係留時	横強度の検討	荷重、変形、直、温度			

## (D) 動的強度

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
SR10、SR24; 造船論24(58)	5.8	北斗丸	練習船	GT 1,631	5.4/1~3	四国丸洋	スラミング時の水圧 ・応力・加速度	水圧計、歪計、動盤計、加速 度計、水位計、ウェーブプロ ファイル(53)、横・縦盤、加速度、ウェーブプロ ファイル(6断面水位)		
		銀河丸	タ	GT 3,170	5.6/1~2	三陸北海道沖				
秋田他: 造船論105(59)	4.11 5.9	穂高丸	貨	11,184	5.7/1~5.8/3	北太平洋 北大西洋	スラミング時の挙動 と波浪曲げ応力頻度	船底ヘルカル応力、上甲板曲げ 応力	歪計、応力頻度計	
小杉他: 造船論105(59)	7.6.1 4.10 7.6.2									
SR23-3: 造船研究2-4(60)		しきね	巡視船	△ 493	5.9/1		上甲板凹損の原因調 査	上甲板波浪曲げ応力(5)、応力 頻度、船首加速度	歪計、加速度計、接点型応力 頻度計	
		横津丸		1,1,182	5.9/12~6.0/12~	世界一周				
		もんたな丸		13,361	6.0/12~6.1/12~					
SR44、SR49; 造船論49(65)	3.10 4.14 5.10	穂高丸 はとそん丸 大島丸	貨	11,184 12,151 12,033	6.1/1~4 6.1/2~6.1/1~ 6.0/12~6.1/2~	ニューヨーク	船体中央上甲板の応力頻度、船 首上甲板の青波水圧	歪計、接点式応力頻度計、青 波最高水圧計、簡易青波水圧 頻度計		
		牡洋丸	冷凍運搬	11,864	6.1/3~6.1/2~	南太平洋				
		ぶるっくりん丸	貨	12,592	6.0/12~6.1/2~	ニューヨーク				
		八幡山丸	鉱・油	27,490	6.1/1~6.2/1	北太平洋				
		のうほく丸	貨	12,200	6.1/12~6.2/2	ニューヨーク				
		信濃川丸	油	33,600	6.1/12~6.2/2	中近東				
		西京丸	貨	11,750	6.1/12~6.2/2	ニューヨーク				
		姫玉丸	貨	11,560	6.1/1~6.2/3					
安藤他: 造船論(65)	4.18 5.15 7.6.6	隅田丸	貨	11,876	6.4/1~6.5/1	ニューヨーク	波浪中の船体強度	船速、回転数、トルク、横・ 縦盤、船側水位、波浪曲げ応 力及び頻度、機応力、青波水 圧	馬力計、ジャイロ動盤計、超 音波水位計、歪計、応力頻度 計、青波最高水圧計、簡易青 波頻度計	
永井他: 造船論120(66)	7.6.7	A B	警備艦	L 91 65.12	64.1/1 65.1/2	日本海	荒天中の強度	船体運動、波浪曲げ応力、船 首船底水圧	歪計、動盤計、水圧計、オシ ログラフ	

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT	その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考	
SR74: 造研報62(68) 萩原他: 三菱報4-4(67) 萩原他: 造船論12(67)	6.3 6.4	富秀丸 川丸	鉄 油	5,610t 65,12~66t		65,100 65,12~66t	南太平洋	長大慣性に生ずる動圧 の計測	各方向加速度、槽内水压計 ひびき力(24)	加速度計、水压計、歪計		
門田他: 日立報29-2(68)	6.6 7.6	A	船 警備艦				日本海	スマシング時の水 圧、船底水压(5)、縦傾(1)、上下加 速度(3)、応力(6)	水压計、歪計、加速度計			
山内他: 船研特報(69)	5.12	日成紀乃川丸	丸 丸	4,093t 5,230t 1,24,852t	67/1~2 68/6~7 68/11~12	中近東	波浪曲げ応力、横応 力および青波水压	波浪曲げ応力、船底トランス の応力、機関室内局部応力	歪計、オシログラフ、応力頻 度計、振動計、動搖計、青波 水压計			
SR99: 造研報62(67)、76 (68)、96(69)	3.12 5.2.2 7.16	明扇丸	丸	15,285t 3,527t	67/8~68/7~ 68/3~69/1	中近東	波浪曲げ応力頻度	上甲板応力(3)、その他の応力 (21)	歪計、機械式および電子式応 力頻度計、データレコーダー、 RMSコンピュータ、ビシグ ラフ	2 航海計測 3 航海計測		
安藤他: 造船論12(69)	4.34 5.18 7.17	東京丸 成和丸	丸 丸	15,000t 5,230t	66/10~67/4 68/6	中近東	波浪曲げ応力及び機 応力	上甲板応力、舷側タンク・船 底トランスの横応力	歪計、オシログラフ、応力頻 度計	5 航海計測		
SR83: 造研報68(70) 萩原他: 三菱報4-6(67)	7.1 6.5	富秀丸	鉄	5,610t			南太平洋	航走時および荷役時 の鉛石圧	上甲板応力(1)、縦隔壁応力(5)、 加速度(1)	歪計、加速度計、オシログラ フ	1 航海計測	
SR118: 造研報120(70)、135 (71)、152(72)、 造研報72(72)	3.14 7.26	八雲川丸 昭武丸	丸 丸	6,483t 6,342t	69/8~70/4 69/11~70/2	世界一周 南太平洋 豪州		上甲板(7)、横部材(9)、二重底 (16)、横・縦傾	歪計、応力頻度計、RMS計、 青波最高水压計、青波頻度計、 動搖計、高速データ集録装置 (データック)、オシログラフ	2 航海計測		
中島他: 石橋技12-5(72)	6.2	紀見丸	丸	6,232t	70/6~71/1	北太平洋		上甲板(19)、側外板(18) 横肋骨(22)、二重底(62)、青 波水压(14)、横・縦傾	歪計、応力強度計、RMS計、 青波最高水压計、青波頻度計、 動搖計、高速データ集録装置 (データック)、オシログラフ	2 航海計測 3 航海計測		
高橋他: 造船論13(73) 開発協会報告(73)	3.17 7.19 7.20	C國見丸	油 鉄	20,7,00t 11,6,00t	70/10~71/10 72/4~12	中近東 豪州	超大型船の船首部外 板の衝撃水压	船首部外板水压(6)	水压計	レーザームを用いた船体たわみ 計測及び監視装置	2 航海計測	

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
熊倉他： 造船論156(74) 旗倉他： 石擲投14-6(74)	5.2.6 7.3.8 7.3.9	シャンエース	コンテナ	15.6.19	7.2.1~3 7.3.1~2~7.4.10	北太平洋	航海中の強度	波浪曲げ応力、倉口隅部応力、 倉口変形、波浪衝撃压、上下 加速度等(53)	歪計、デジタルデータレコー ダ、電磁オシロ	
SR124： 造研報81(76) SR152： 造研報82(77)	2.7.8 3.1.5 5.2.5 6.1	笠木山丸	鉱	11.7.5.21	7.1.1~11 7.3.1~2~7.4.10	豪州 鉱石庄	船首波浪荷重および 波高、波向、横・縦・船首・ 上下搖、水压(18)、サイドロ ンジ応力(19)、隔壁ロング 応力(5)、波浪曲げ応力(3)、上 下加速度(11)	波高、波向、横・縦・船首・ 上下搖、水压(18)、サイドロ ンジ応力(19)、隔壁ロング 応力(5)、波浪曲げ応力(3)、上 下加速度(11)	投棄式波浪ブイ、レーダー波 向計、歪計、データレコード ビデオテープレコード	各期5航海 ずつ
SR124： 造研報81(76) SR152： 造研報82(77)	2.7.8 3.1.5 5.2.5 6.1	若幡丸 ジャパンオーナー 千鳥丸 笠木山丸 ぼうじゅつ丸 千秋丸 鏢倉丸	鉱 ぱら 鉱 鉱 ぱら 鉱 ぱら コンテナ	9.3.1.13 5.7.9.11 1.6.4.6.44 1.1.7.5.21 9.3.3.5.6 11.5.0.0 3.5.4.0.6	7.2.1~74/10 7.2.9~74/9 7.5.1~75/2 7.1.12~74/11 7.2.2~74/10 7.2.10~74/11 7.2.12~74/12	豪州 豪州 豪州 南米 豪州 世界一周	長期連続自動計測 波浪曲げ応力、横・縦揺、波 浪水压	自動 RMS 計測装置(1時間 ごとに記録、デジタルプリ ント)	27航海 21航海 19航海 31航海 17航海 21航海 11航海	自動ダイナミックデータ集 録装置(荒天時のみ自動記 録、アナログ磁気テープ)

(E) 推進・操縦

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
SR4： 造研報11(54)		やよひ丸	曳船	1.	1.8.3	5.2.6~5.3.10	折戸湾	船体及び推進器汚損 の推進性能への影響	ピトー管式速度計、芝速度 計、タシノ式歪計	模型実験あり
SR9： 造研報9(55)		B.A. CANADA 高水丸 協徳丸 康島丸 北斗丸 洋洋丸 眉山丸 秀邦丸	油 貨 貨 練習船 油 鉄道連絡船 油	1.4.0.0 7.3.0.0 6.7.0.0 9.5.0.0 1.6.5.1 1.2.9.0.0 1.4.5.0 1.2.0.0.0	5.3.1.0 5.3.1.1 5.4.1 5.4.4 5.4.6 5.4.11 5.5.2 5.5.2		発停操作中の過渡的 現象の把握	トルク、スラスト、タービン 室蒸気圧力、減速歯車の応力	歪計、圧力計、可変インダ クタンス	
SR4： 造研報11(54)		エベレスト丸 龍邦丸 カルテクスピリマ アチイカ オリエンティシャイアント 長榮丸 X号	油 油 油 油 日本沿海	47.0.0.0 〃 〃 〃 6.8.0.0.0 4.7.0.0.6 〃	5.9.10 6.0.5 6.0.5 6.0.1 5.9.12 5.9.12 6.0.6		推進性能に觸する実船 と模型船との相関関係 潮流、風向、風速、船体表面 粗度	研究式波浪計、志波式ログ、 小野式潮流計、エックマンメ ルツ式潮流計、ロビンソンカ ップ式風速計、阪大式粗度計	模型実験あり	

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT	その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
越智： 日立報 25-3(64)		漁船 5隻	漁船	L38~66		6.0~5.4	瀬戸内海	漁船の伴流係数の性 定			水槽試験と 対比
富山他： 钢管報 31(64)		平洋	測量船	L	△	6.4~4	東京湾	船速停止実験、低速 時の操縦性		電磁ログ	
S.R.2： 造研報 57(66)		第3松島丸	油	L	23.0	6.4					
根岸丸		△	L	24.2	"						
OLYMPIC GAMES		△	L	22.3	"						
EVDORI		△	L	22.8	"						
COSAR SOLVEIG		△	L	21.7	"						
山口丸		貨	L	15.0	6.5						
IMPERIAL II		△	L	15.7	"						
北斗丸		練習船	L	6.9	"						
日海防： 調-9(66)		汐路丸	練習船	GT	3.31	6.5~8	館山沖	操縦性能	旋回試験、追従性試験		
明洋		測量船	△	4.86	6.5~11	千葉沖					
小山： 造船論 122(67)		ふろりだ丸	貨	17,000	6.7	ニューヨーク					
国米他： 日立報 28-3(68)		A 丸	油	L	26.5						
		B 丸	油	L	24.6						
越智： 日立報 31-2(70)		中小型船29隻	各種	L75~143	5.5~7.0		瀬戸内海	中小型船の伴流係数 の推定			
岡本他： 川重技 41、43(71)		SANJUAN GUARD	鉛・油	1,506.68	6.9~1.1						
		MATINA	冷凍運搬	6,086	6.9~9						
		AUSTRALIAN ENTERPRISE	貨	1,408.2	6.9~8						
R.R.2： 造研報 7R(71)		E 丸	鉛・油・ばら	10,220.0	7.0~2						
		F 丸	油	21,98.25	7.0~4						
		G 丸	△	13,50.00	7.0~5						
		H 丸	△	25,30.00	7.0~6						
		I 丸	△	21,20.00	7.0~6						
		青雲丸	練習船	GT 5000	7.0~11						

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT その他の 量	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
SR107 造研資142(72)		はんぶん丸	ばら・油	1,68,859	71/8	海上公試時	対水速度計の性能調査、伴流調査	電磁式速度計、超音波式速度計、電波ログ、圧力式ログ、ピトー管（空気式・電気式）、超音波式流速計、超音波ノイズマイクロフォン	対水速度、対地速度、風向、風速、軸角、横傾斜、主機回転数、船尾部流速	
安部他： 三井報79(72)		新鶴丸	鉛	1,63,811						
RR2： 造研資12R(72)		タンカーワン	油	21,760.0 (同型)		海上公試時	巨大船の試運転精度に関する問題点の指摘	軸馬力、中間軸のせん断弹性係数、船速、風速、風向	ホブキンソン式振れ計、AE振れ計、歪計、電波ログ、風速計、風力計	ターピン船
RR2： 造研資17R(73)		J K L M	丸 丸 丸 丸	油 々 コンテナ 油	2,24,590 23,2,540 71/10 22,2,400	71/11 71/7 71/10 71/12	日本沿海	操縦性能	旋回、乙、逆スパイナル、低速舵効、前後進、舵力、変形Z、新針路	模型試験あり
		A B C 辰巳	丸 丸 丸 丸	カーフェリー コンテナ 油 硫酸運搬		72/7 72/9 72/11 72/12	日本沿海	操縦性能	旋回、乙、スパイナル、片舷・低速・減航旋回、舵効、舵力、前後進、スタビライザ、バウスラスター、回頭角速度等	

(F) 機関・軸系

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT その他の 量	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
加納他： 日立報24-3(63)	DJAWA 第2かふじ丸 はごろも		高速艇	1. 29 1. 23 1. 15	61/10 60/11 61/3	平水中	プロペラ軸、舵、スケグ等の付加物の抵抗の推定	船速、馬力		模型実験と对比
SR67： 造研報58(66)		麥洋丸	油	9,100.2	5-7/4	海上公試時	舶用補機タービンのプロクラム方式による自動化の確認	主給水泵ポンプを用いての遠隔操作テスト		
SR93： 造研資70(68)	A	丸	貨	1,41,55	67/10	海上公試時	船尾管内軸系の損傷対策	輪受温度(6)、冷却海水温度(3)、ブッシュ・温度(2)、軸受表面毎水圧力(3)、プロペラ軸振動(3)、船尾管入口海水温度及び流量計、積算流量計	熱電対、自動平衡熱電記録計、圧力計、DM、電磁オシログラフ、非接触型振動計、積算流量計	

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
SR93: 造研資70(68)	B	ばら丸	鉱	64,131	67/11	海上公試時	船尾部の振動及び軸と軸受メタルの接触状態の把握	補振動、船尾部船体振動(1)、船体と軸の相対変位、軸受メタル温度(8)	充計、直視式記録計、加速度計、D M、変位計、A-D変換器、データ集録装置、熱電対、テープレコーダ	
大槻他： 浦賀報13(68)	ほうとうらっせん	鉱	93,50	68/1	相模湾		排ガス利用自動追焚蒸気発生装置の過渡特性	補助ボイラ、排ガスエコノマイザー、発電機の圧力・水位負荷		
SR106: 造研資123-3(71)	高瀬丸	油	22,600	70/10	海上公試時		タービンプラント主要部の開ループ動特性試験	主タービン操縦弁開度、燃焼量、給水流量、デスマーベーハード制御弁開度	圧力、水位、主軸回転数、輸馬力、熱電対、差動変圧器	
百武他： 三菱報8-6(71)	十和田丸	油	22,729	70/11~12	中近東		タービン加速度振動スペクトルから内部の異常発生を検知するセンサーの開発	タービンの内部異常検知、外洋航行時と試運転時の音響パターンの差異の有無	ノイズリミッティンジケータ、加速度計、データレコーダ、周波数分析器、レベルレコーダ	
大槻他： 住重報20-57(72)	慶洋丸	油	21,000	69/11~	海上公試時		船尾管軸受とプロペラ軸の相対変位	クリアランス(6)、軸回転数、船体加速度(1)、舵角	電磁オシログラフ、回転数検知器、舵角検知器、加速度計、クリアランス検出器	
竹前他： 住重報20-57(72)	はんぶとん丸	鉱・油・石炭	16,886	71/8	相模湾		タービンプラントの過渡特性	圧力、流量、液面、温度、角度、トルク、回転数		
大槻他： 住重報20-58(72)	AVON BRIDGE EDEN BRIDGE	油・ばら・鉱	14,500	71/8			スクープ冷却方式の性能確認	回転数、船速、舵角、並開度、海水流入量、真空、圧力、温度		
SR106: 造研資123-4(71), 141-4(72)	三峰山丸	油	22,450	71/1~9	世界各海域		排ガス利用自動追焚蒸気発生装置の過渡特性	補助ボイラ、排ガスエコノマイザー、発電機の圧力・水位負荷		
SR122: 造研資138(71), 155 (72)	X H W	丸 鉱 丸	1,646.0 1,128.0 76,200	70/12~71/3 71/6 72/1	停泊時		ジーゼル機燃料供給システムの耐久性向上のための調査	ジーゼル機燃料供給の耐久性向上のための調査	外見調査、噴射テスト、機関性能調査	5航海 日立B&W12K84EF 〃 9K84EF 日立984V12B5F80

( G ) 諸 装 置

参考文献	文献番号	船名	船種	DWTその他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
SR56、SR68: 造船報54(65)	た ちば な 丸	曳 船	GT 190	6.3	曳船時、停船時	油水分離器の性能確認	ビルジ吸引時の油・スラッシュ・エマルジョンの量的変化、沪材が目づまりしたときの海水による逆流洗浄効果等			
SR75: 造船報60(67)	さくら 丸	貨 客 (見本船)	GT 12470	6.6/3 ~ 7	南米・日本近海	上部構造居住区にアレハブ方式を取り入れた軽量化と経済的組立法	試作船室の防熱・防湿などの居住性につき、乗組員7名の意見聴取			
日海防: 開9(67)	青 楠 丸 汐 路 丸	練習船	GT 5044 " GT 351	6.6/7			汐路丸を目標船として捕獲し、監視開始から開放までの運動状態・方位・距離・速力・針路・航跡を規定	センチ波レーダー、ミリ波レーダー、ITV、I.I.I-TV		
SR64: 造船報64(68)	銀 河 丸	練習船	GT 3.171	65.5/10~12	ニュージャンド	居住性と防熱、冷暖房設計の指針	気温、湿度、壁表面温度、貫熱流、日射量、風向、風速	抵抗測温体、乾湿器、熱電対、熱流計、エブリー、風向風速計、集中完全自動記録装置		
SR64: 造船報64(68)	各種	10隻 各種	667 57859		海上公試時		騒音分布と分析、船体の音響振動分布と加速度分析(機関室居住区・操縦区画)	音響振動分析計測装置(OAI-1B型)		
SR102: 造船報99(69)	練習船 4隻	練習船	GT 1.631 3,465		日本近海		船内騒音防止に有効な構造方式の設計資料をうる	上記のほか、居室隔壁の振動・騒音、機関室周辺の騒音、主機出力との関係、居室内の吸音特性・残響時間	音響振動記録装置(VRM-14H) 騒音録音再生装置、周波数分析器、帯域分析器、高速度レベル記録器	
SR116: 造船報118(70), 133(71)	日 楩 丸	油	32,847	68/4	東南アジア	タンカーのヒートイシング効果の調査	横幅、タンク内温度(29)、ヒートフローメータ表面温度(11)、ヒートイシングコイル表面温度(8)、上甲板・蒸気・ドレン・海水温度、隣接タンク内部温度	張子式換熱計、熱電対、抵抗温度計、アルコール温度計	冷却水温度、被冷却水温度、冷却水分析、冷却器の汚れ、システム分析、主機運転時間・出力	

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
SR106: 造研費123-1(71) 141-1(72)	第12 とよた丸	自動車運搬	GT 12,400	70.10~12	北太平洋	自動航法システムの指示、船位、気象・海象、針路、船速、喫水、固着ロープの張力、加速度、横・縦振	船体加速度の検知、回頭運動の指示、船位、気象・海象、針路、船速、喫水、固着ロープの張力、加速度、横・縦振	局所最適航路設定システム 暗礁探知ソーナ		
	日 安 丸	油	1,941,000	70.7~9	マラッカ海峡	座礁予防システムの開発	船首要素下で取付けた超音波送受波装置で前方海底を探る	NNS, DRPC, NDR, ANTICOL, TOSBAC-3000S		
	星 光 丸	油	1,385,500	70.9~11	中近東	航法システムの評価	船位規定、船位推定、航行計算表示、衝突予防	COL, TOSBAC-3000S	2航海	
SR106: 造研費123-2(71) 141-2(72)	海 龍 丸	ボークサイト運搬	3,294,1	71.1/1, 72.2	岸壁係留時	係船装置の適応制御方式の開発	気象・海象、船位、喫水、ヒール	張力発生装置、ワイヤ長検出器、トランシット、角度検出器、船位規定装置		
	三 峰 山 丸	油	2,24,500	71.1~6	中近東	荷役システムの自動制御方式	横荷・揚荷・バラスト排水の荷役方式	コントローラ制御荷役装置		
	高 尾 山 丸	油	2,24,500	71.1~6	東南アジア	火災検知と消火の自動化システム	イオン式・補償率式・熱式検知器、自動消火方式	機器室区画検知器(45)、泡消火装置		
日海防：調7(73)	あさ ち ど り	巡視船	△ 296	72.9	小松島沖	無線通信の自動化システム	無線通信の自動化システム	自動無線通信システム		
	しら は ま 丸	カーフェリー		72/11	東京湾口	室内材料・家具の発火発煙・消火	耐火性、発煙、消火			羅針前の船による実物実験
	え り も 丸	カーフェリー	GT 7,875	72.1/1~12	三陸沖	車輪回轉装置の実態調査	車輪の排氣ガス導度の調査	積載状況と荷重・積口配置・面積などの関係		
RR6:造研費21R(73) 日海防：調7(73) 土屋：船研講2(73)	し れ と こ 丸 え り も 丸	カーフェリー	3,264 3,172	72.1/1~12	三陸沖	方程式シングルの実験	横・縦振、車輪加速度、ラップ・シングル張力	ジャイロ動搖計、加速度計、歪計		
計他： 船研講19(73)	ごうろひあらう	コンテナ	1,909,0	71.1/1~72/1	北太平洋	コンテナラッシングの荷物変動調査	横・縦振、上下・前後加速度、船速、ラッシング張力、回転数、トルク、スラスト、シリンドラ圧	ジャイロ動搖計、加速度計、歪計、圧力計		
SR13-2:造研費177 (73), 193(74), 214(75) 造研費82(77)	海 洋 か へ お う 進 徒	測量船 設置船 練習船		71/2 72/1 73/2	平塚沖 博多沖	各種波浪計の性能試験	波高、波スペクトル	水压式波浪ブイ2種、加速度計、波浪ブイ、クローバ型波浪ブイ、レーダ波向計		

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT	その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
岩井他： 開発協会報(75, 76)	とまこまい丸	カーフェリー	4,385	75/12~76/2	三陸沖	航行援助装置の開発 船体運動	船位、方位、舵角、船速、 船体運動	航行援助装置(自動航行お よび船体運動計測表示)			

( H ) 防食・防汚

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT	その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
SR15: 造研報10(56)		照国丸	油			54/4~55/3	北米・ペルシ...湾	強制通電法による軸 流ポンプの防食	翼車、サンプルケーシングの電 位(13)、試験片の腐食量(2) 目視観察	磁性酸化鉄電極 準電極	
SR20: 造研報7(56)		昌和丸	貨			55/4~56/4					
SR27: 造研報16(57)		第1鉄栄丸	曳	GT	143	55/3~56/3	高松港				
		第2鉄栄丸	ク	GT	160	55/4~56/6	宇野港				
		空知丸	鉄道連絡船	GT	3,428	55/8~56/5	青函航路				
		横山丸	ク	GT	3,428	55/8~56/7	宇高航路				
		横瀬丸	ク	GT	1,462	55/8~56/3	宇高航路				
		広義丸	曳	GT	155		横浜港				
		日之出丸	ク	GT	214		ク				
SR27: 造研報16(57)		日高丸	鉄道連絡船					係留時	迷送電流	船体電位、迷送電流	
		NAE COMPANION				56/1 ~ 6					
SR27: 造研報16(57)		光栄丸	油				中近東				
		べるしゃ丸	ク		20,938	53/11~54/5	ク				
		すまとうら丸	ク			55/4 ~ 56/8	ク				
SR50: 造研報46(64)		さんべどろ丸	ク				ク				
		あらびあ丸	ク				ク				
		ほるねお丸	ク				ク				
		栄邦丸	ク				ク				
		眉山丸	鉄道連絡船				青函航路				
SR50: 造研報46(64)		むさしの実驗船	GT	9			東京湾				
		相互五	貨		5,180	61/8 ~ 62/8	東南アジア				
		長田丸	曳	GT	118						
SR50: 造研報46(64)		むさしの実驗船	GT	9	61/8 ~ 62/3	東京湾					
		信濃川丸	油		35,364	60/9~61/10	中近東				
		铁邦丸	ばら		19,521	61/12~62/6	主Cゴア				
							防食塗装				
								船体電位、試験片電位、陽極 減量、目視観察			

参考文献	文献番号	船名	船種	DWT その他	試験年月	航路・試験場所	試験目的	計測項目・計測点	使用機器	備考
SR75: 造船報66(68)	丁抹丸	貨	1,0,78.4	65,7~67/12	北太平洋、西アフリカ					
	昭星丸	油	61,37.0	65,9~67/12	中近東					
	五十銘川丸	ク	11,80.0	66,1~68/3	〃					
	千鳥丸	港内船	GT	7	65,6~66/7	神戸港	尾羽防食・防腐塗料の開発	塗膜の電気抵抗、目視観察		
	第1銘栄丸	曳	GT	1,4.3	65,6~67/5	高松港				
	第2銘栄丸	〃	GT	1,6.0	65,5~67/6	宇部港				
	鷗羽丸	鉄道連絡船	GT	1,4.6.3	65,6~67/6	宇高航路				
	富山丸	油	1,2,6,90.0	67/11~68/1	係留	外板の陰極防食	船体電位(8)			
SR96: 造船73(68)、93 (69) 造船研究12-1(71)	八州川丸	鉛	5,2,2,5.8	68,3~69/3	チリ	外部電源法による自動制御	船体電位(0)、電流、塗膜の電気抵抗、目視観察			
	神鳳丸	練習船	GT	3,8.2	66/10~11	係留時	高性能防腐塗料の開発	船体電位(0)による自動制御		
SR97: 造船研究9-1(68) 造船94(69)	進徳丸	ク	GT	3,0.0.0	67/6~68/6	アカブルコ	振動子の周波数特性、振動子付近の振動分布、外板振動の振幅・加速度、給外音圧、動	超音波発振器、ニッケル・		
	みようじょう	設標船	GT	2,5.3	68,3~69/3	大阪湾	インピーダンス、放射音圧分布、目視観察	フレイト・チタン酸バリウム振動子、周波数測定装置、水中マイク、振動ピックアップ、シンクロスコープ、自記記録計		
SR115: 造船132(71)150(72)	ジャパンヒヤンス	油	1,3,1,6.2.9	70/10~71/8	中近東	大口径荷油管の防食	試験片(20)、試験管(8)の腐食量のステーシ分析			