船体監視システム研究のこれまでの成果とその規則化へむけて

開発部　小岩 敏郎・石橋 公也
技術研究所　湯浅 通史

1. 緒　　言

最近の重大な海難事故に関連して、今後、船舶の安全運航に対する社会的な要求がさらに厳しくなるものと考えられる。また、外航海運業界では運航管理の主体が船舶管理会社へ移行している。このような状況下で、陸上からの支援体制の構築をはじめ船舶の安全管理に対するさまざまな方策が実施されようとしている。

船舶の安全運航を援助するための有力な技術として提案された船体監視システムについてはそれぞれ異なる視点からの幅広い研究及び開発が行われている[1)~6)]。また、ＩＭＯにおいては航海データレコーダ（Voyage Data Recorder, ＶＤＲ）及び船体応力監視システムの検討が進められ[7),8)]、ＶＤＲについては SOLAS 条約第Ｖ章「航行の安全」に取り込まれ、本年中に海上安全委員会にて採択される予定である。船体監視システムについての規則を定めている船級協会もあり[9)~11)]、このシステムは欧米を中心に、ばら積貨物船及び油タンカー等の 200 隻以上の船舶に搭載されている。

本会においては、以前、長期実船計測で培われた技術をもとに船体監視システムに関する研究及び開発が行われたが、諸般の事情によりその実用化には至らなかった。その後、本会では新しい船体構造規則の開発を進めているが、このほど、その中間報告として船体構造強度評価のための技術指針がとりまとめられた[12)]。同技術指針における強度評価基準では船舶の安全運航に対して船体監視システムの関わりが深いことから、本会では船体監視システムについての規則を定めるべくその技術的な検討を行っている。

本稿では、その前半で本会が実施した船体監視システムに関する研究の成果をとりまとめて報告し、また、後半では船体監視システムの規則化に関連して本会の基本的な考え方について解説する。同システムの規則化にあたり関係者のご理解とご協力を頂ければ幸である。

2. 本会の船体監視システムに関する研究の概要

2.1 船体監視システムの開発

本会では、1970 年代から 10 数年間にわたり就航中の各種船舶についての実船計測が行われた[13)]。さらに、この実船計測で培われた技術を応用して船体監視システムに関する研究及び開発が行われた。プロトタイプとして開発されたシステムは１点のセンサー（ひずみゲージ）、アンプ、ローパスフィルター及びマイコンから構成され、応力の平均値、変動値の $\sqrt{E}$ (E は累積エネルギー密度、Fig.1 参照)及び平均周期の演算及び表示とアラーム機能を備えたものである。このシステムはコンテナ船に搭載されて約３年間にわたる確認試験が行われたが、試験結果は良好であった。

次に、実用型の船体監視システムとしてパソコンを用いたシステムを開発した[14)]。このシステムは最大８チャンネルで、監視項目は船体の縦曲げ応力、構造部材の応力、船体運動の加速

度、船速及びプロペラ回転数等の多岐にわたっている。この船体監視システムは、造船所及び海運会社の協力を得て自動車運搬船及び大型ばら積貨物船に搭載されそれぞれ約２年間及び約４年間継続して実船試験が行われた。システムは良好に作動して多くの貴重な船体応答データが得られた。

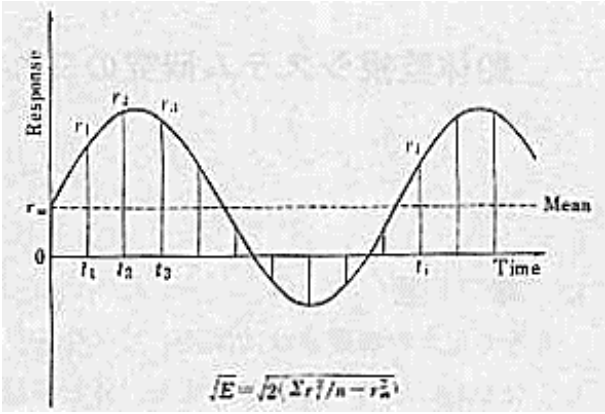

Fig.1 $\sqrt{E}$ of hull response

2.2 自動車運搬船の船体応答について [15)]

自動車運搬船を対象として行われた船体監視システムの実船試験から、同船の就航時の船体応答データについて応力、加速度等の頻度分布、各応答間の相関、荒天時の減速と船体応答の関係等の解析を行った。同船は約 3,200 台積の自動車専用運搬船で、ＬｘＢｘＤｘｄ=166.00mｘ27.00mｘ26.35m/11.90mｘ8.20m、航海速力 18.12kt である。船体応答の頻度分布から、船側のディープウェブフレームにはかなり高い応力が生じており、記録された $\sqrt{E}$ の最大値は 6.04kgf/mm^2 である（Fig.2)。また、最上層甲板の縦応力、船首部の垂直加速度及びブリッジの水平加速度の $\sqrt{E}$ の最大値はそれぞれ 0.66kgf/mm^2、0.226g 及び 0.142g である。応力及び加速度について各応答間の相関係数を求めたが、ブリッジの水平加速度とウェブフレーム面材の応力の間にはきわめて高い相関がみとめられた。

荒天時の船体応答と減速の関係については、船首部の垂直加速度が減速によく対応していることがわかった（Fig.3)。荒天時には船体応答、機関応答及び海面状態等から総合的に判断して減速、変針等が行われるが、船体監視システムから得られる船体応答についての客観的なデータは操船者にとって有力な情報であると考えられる。

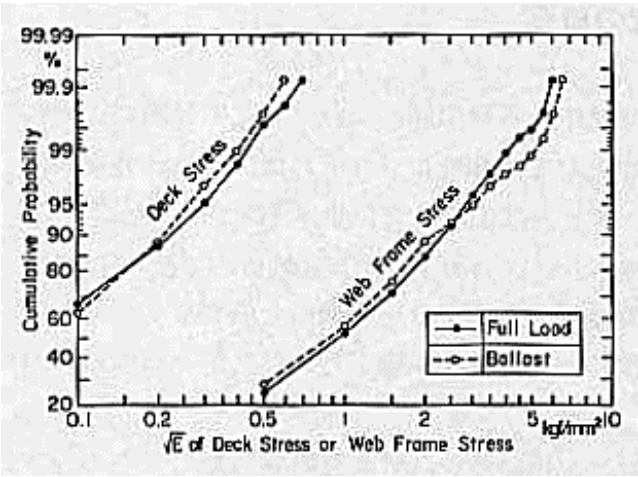

Fig.2 Cumulative probability of stresses

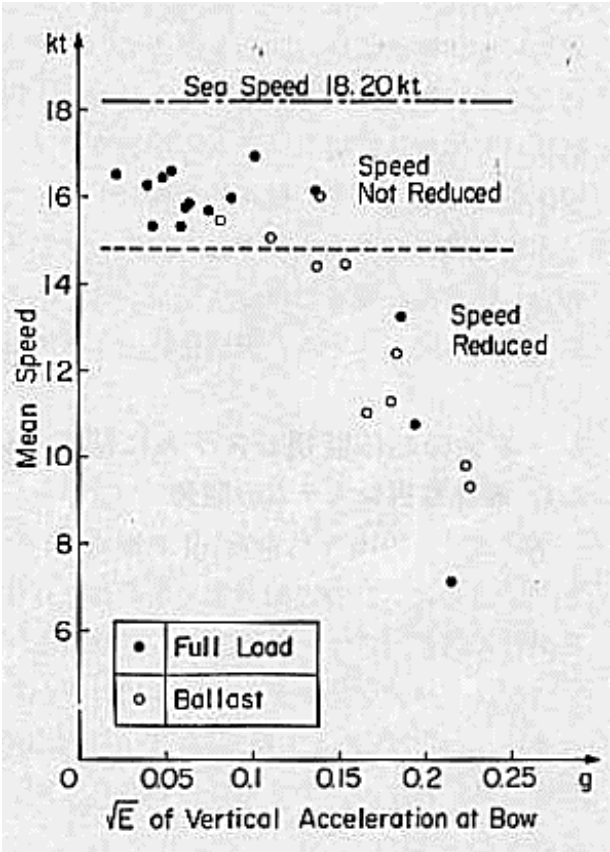

Fig.3 Mean speed (min.) vs. vertical acceleration (max.) in rough seas

2.3　大型ばら積貨物船の船体応答について [16)]

大型ばら積貨物船を対象として行われた船体監視システムの実船試験から、同船の船体応答データについて応力、加速度等の頻度分布及び荒天時の船速低下と応答レベルの関係等の解析を行い、さらに、船体運動計算から船速低下による船体応答の変化について検討を加えた。同船は載貨重量 201,000 トンの大型ばら積貨物船（石炭／鉱石運搬船）で、ＬｘＢｘＤｘｄ= 285.00mｘ50.00mｘ25.00mｘ18.53m、航海速力 12.35kt である。約２年間の船体応答データについて解析を行ったが、特に異常と考えられるものはなく、記録されたデータの $\sqrt{E}$ の最大値は船体中央部の上甲板縦応力で 2.77 kgf/mm^2（Fig.4)、船首部の垂直加速度で 0.094g であった。同船の航路ではインド洋の南アフリカからオーストラリアにかけての海域で荒天の頻度が高く、若干南よりに迂回したケースもあった。

荒天時における船体応答の最大値（極値）の分布について、船首部の垂直加速度では船速低下の影響によりそのレベルが高くなるにしたがって上限値に近づくような傾向がみとめられた（Fig.5)。荒天時の船体応答と船速の関係の時間的変化については、自動車運搬船の場合とは異なり、海象条件がきびしくなれば船速は急激に低下し海面状態が良くなれば徐々に復帰していることがわかった（Fig.6)。

また、ストリップ法による船体運動計算から、荒天時の船速低下による船体応答の変化について検討を行ったが、船体中央部の上甲板縦応力ではその影響はほとんどみとめられず、一方、船首部の垂直加速度では向波(Head waves)及び斜向波(Bow waves) の場合には、船速低下にともない加速度がかなり減少することが示された（Fig.7)。

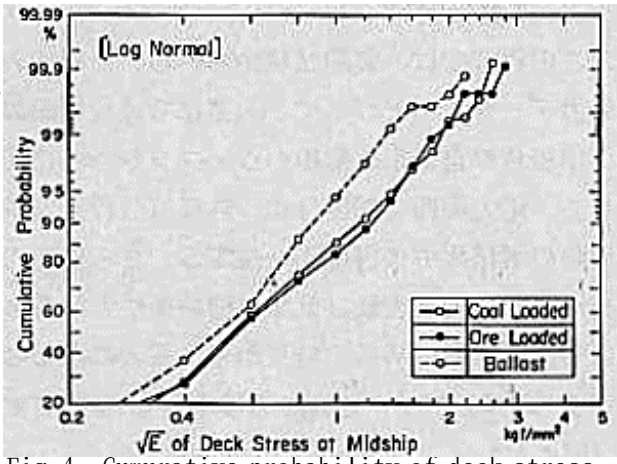

Fig.4　Cumurative probability of deck stress

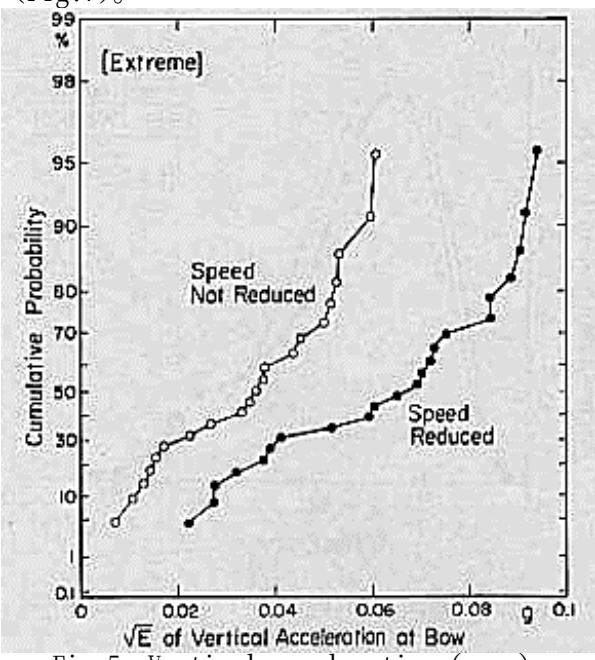

Fig.5　Vertical acceleration (max.) in rough seas

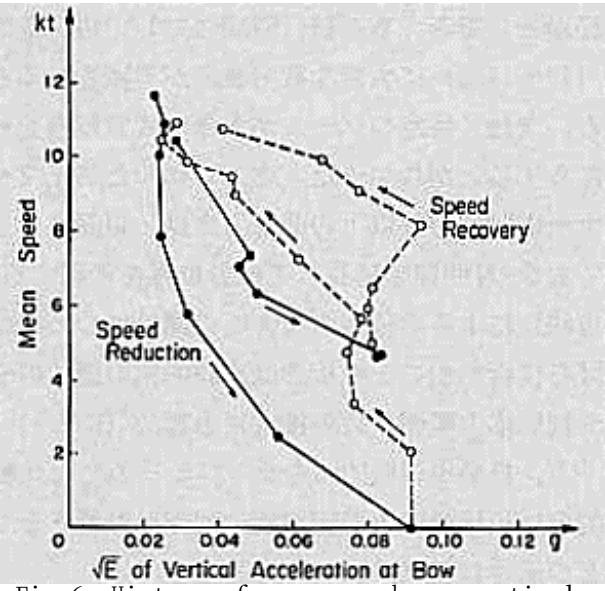

Fig.6　History of mean speed vs. vertical acceleration in rough seas

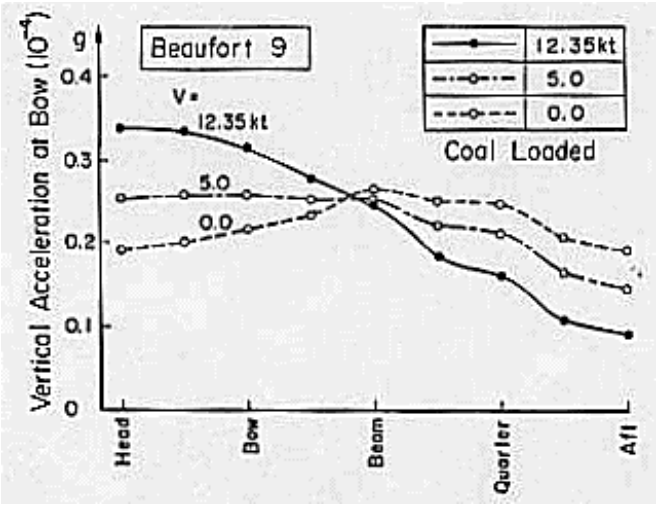

Fig.7 Predicted maximum probable value of vertical acceleration amplitude

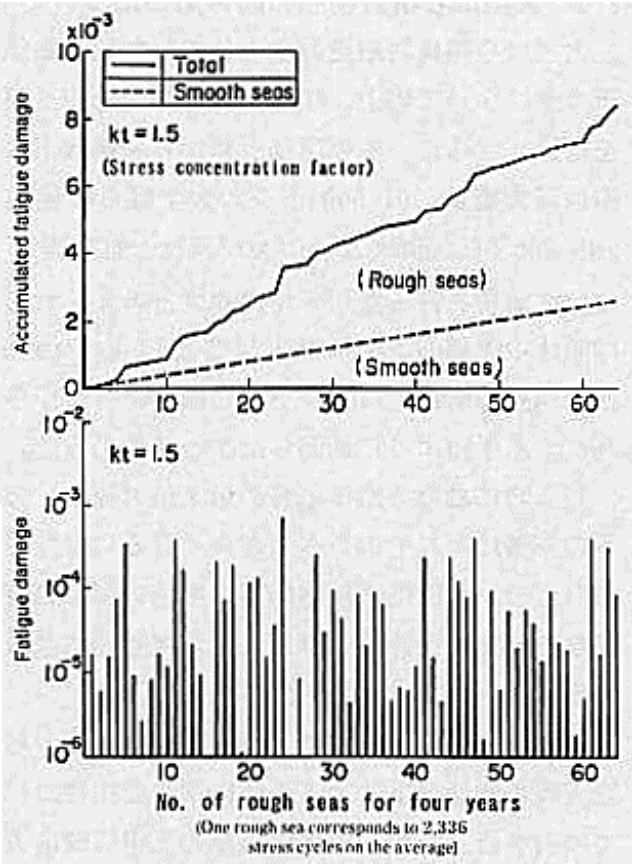

Fig.8 Accumulation process of fatigue damage in deck

2.4 実船試験の応力データによる船体疲労強度の検討[17)]

この研究では、実船試験から得られた船体の応力データにもとづいて、大型ばら積貨物船の上甲板及び自動車運搬船のウェブフレームに関して、応力範囲の頻度分布、外洋航行時及び荒天時の累積疲労被害度等を推定し、さらに応力レベルと疲労被害及び気象・海象条件と疲労被害の関係等について検討を行った。応力データにもとづく疲労解析の結果から、荒天による疲労被害及び外洋航行時の疲労被害の累積過程等が明らかにされ、実船における累積疲労被害の実態についての一つの基礎資料が得られた（Fig.8）。

さらに、荒天時の疲労被害については、時間経過として考えると航行時間に対して短い時間（13～14%）に大きな疲労被害が累積されること、また、特定のケースが大きな疲労被害をもたらすことがわかった。応力レベルと修正マイナー則（疲労限以下の低応力変動の範囲に対してもＳ-Ｎ曲線を延長して疲労被害を考慮する方法）による累積疲労被害度の関係については、ばら積貨物船の上甲板では比較的狭い領域のやや低い応力範囲が疲労被害に影響し（Fig.9）、一方、自動車運搬船のウェブフレームでは比較的広い領域の応力範囲が疲労強度に影響することが示された（Fig.10）。

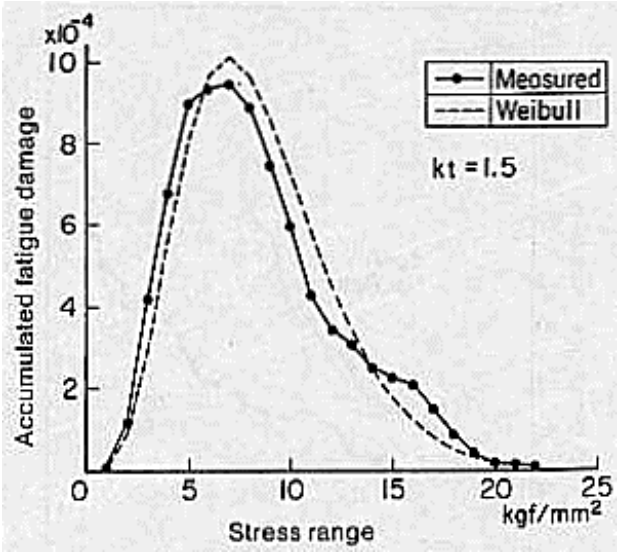

Fig.9 Accumulated fatigue damage vs. deck stress range

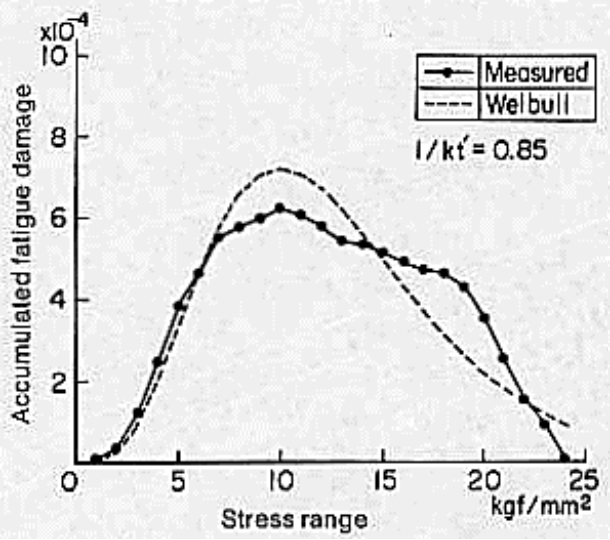

Fig.10 Accumulated fatigue damage vs. webframe stress range

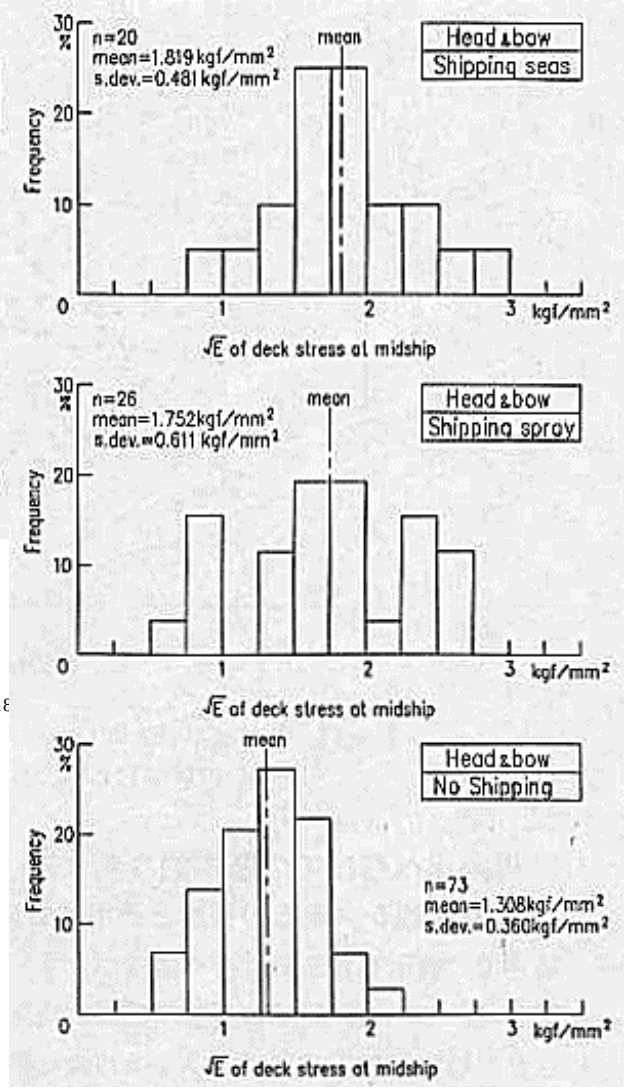

Fig.11 Relation between deck stress and conditions of shipping waters at rough seas (Head and bow wave)

2.5 荒天避航の判断指標と船体応答の関係[18]

この研究では、大型ばら積貨物船に関して運航マニュアルの荒天避航の判断指標である甲板の海水打込み及びプロペラの見掛けスリップ比（$S_A = 1 - (V_S/nH)$、V_Sは船速、nはプロペラ回転数、Hはプロペラピッチ）と代表的な船体応答との関係等についての検討を行った。甲板の海水打込み状況と船体中央部の上甲板縦応力及び船首部の垂直加速度との関係については、海水打込みの有無により縦応力及び垂直加速度にはかなりの差があることが示された（Fig.11）。同じくプロペラの見掛けスリップ比と上甲板縦応力及び船首部の垂直加速度との関係については、向波においては見掛けスリップ比と縦応力の間には高い相関がみとめられ、見掛けスリップ比と垂直加速度の間にもかなりの相関があることがわかった（Fig.12）。

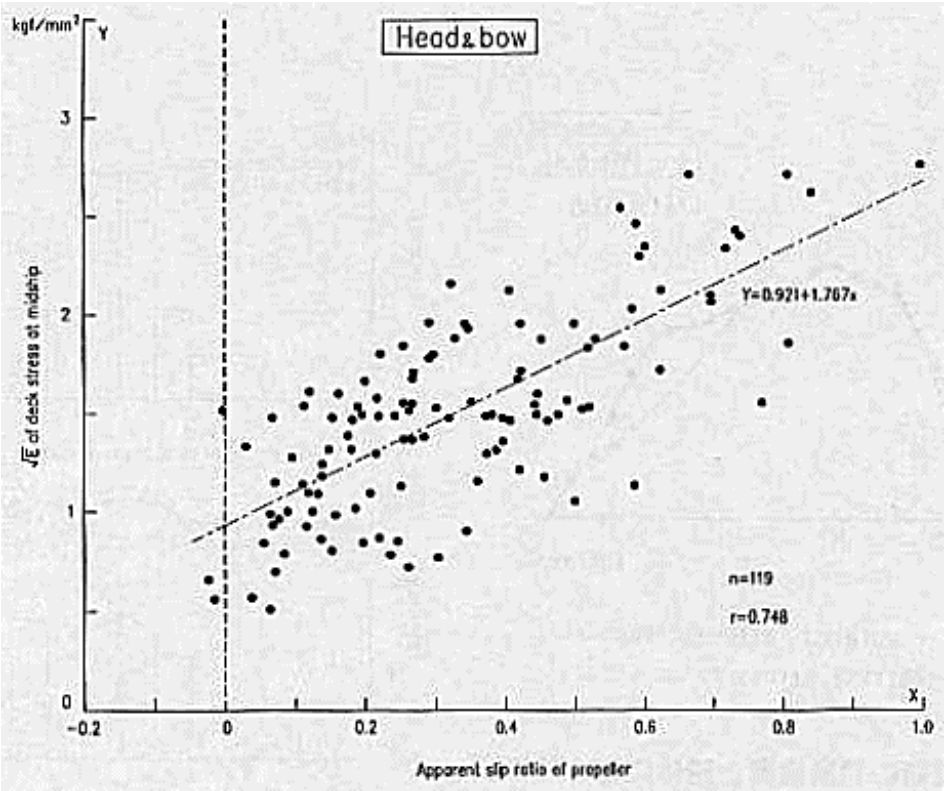

Fig.12 Correlation between deck stress and apparent slip ratio of propeller at rough seas (Head and bow wave)

3. 規則化へむけての基本的な考え方

3.1 船体監視システムの役割と適用について

最近では海運業界を取り巻く環境が大きく変化して船舶の安全運航に関するさまざまな問題が懸念されている。船舶の運航及び操船に関しては、一般に、操船者は伝承的な技術及び経験にもとづいて船舶の挙動についての知識を得ていると考えられる。しかしながら、大型船においてはあるいは視界制限状態においては荒天航海中の波浪荷重及び船体応答の状況が乗組員に感知されにくいこと、乗組員の乗船期間が短くなり荒天運航についての経験が必ずしも十分でないこと、また、経済性の追求と安全性の確保の板ばさみになること等のさまざまな問題点が指摘されている。

最近の船舶では各種の自動化された航海用機器が装備され、さらに、気象及び海象に関する予測システムならびに情報通信網がかなり整備されてきたが、荒天時の操船判断については専ら操船者の経験及び感覚によっているのが現状であると考えられる．しかし、これらの機器及びシステムに加えて船体監視システムから得られる応力及び加速度等の船体応答に関する正確なデータが利用できれば、さらに安全で経済的な運航が実現するものと期待される。船体監視システムが多くの船舶に装備されれば、操船者の経験及び感覚と船体の応答レベルとを対応づけることができ、また、外力及び操船条件と船体応答の関係についてのデータが得られるので、荒天時の操船法ならびに船舶の構造設計法にそれらを反映させることができる。船体監視システムを装備した場合には、以下のようなさまざまなメリットがあると考えられる。

(1) 船体の応力、加速度等についてリアルタイムの情報がブリッジに表示され、船長は具体的な数値にもとづいて操船判断ができるので、船舶をより安全に運航することができる。
(2) 船体監視システムにより各管理会社の安全運航に対する管理レベルを明確にすることができるので、フリートとしての適正な運航管理が可能となる。
(3) 荒天遭遇時に適切な操船が行われて、船体損傷の減少による修理費用の削減、燃料消費量の削減を計ることができるので、トータルの運航費用を節約することができる。
(4) 監視システムから得られるデータは船体の構造強度を評価する場合の貴重な資料であり、運航及び操船の影響を構造設計の段階で十分に反映させることができるようになる。
(5) 荷役時及びバラスト操作時には船体の縦曲げ応力が常時監視されるので、ホールドのオーバーロード、ハルガーダの過大応力等を未然に防止することができ安全性が向上する。

本会では、船体監視システムは船舶の安全運航を援助するための有用な設備であると考え、設備規則として船体監視システムに関する規則を定めることとした。

3.2 設備規則としての位置付け

船体監視システムに関する規則は、同システムを装備する船舶の船級登録を前提とする設備規則の一つとして位置づける。また、この規則要件に適合して設備登録を受けた場合には設備符号を付与する。船体監視システムの設備登録は、船舶の安全運航のみならず有利な商船活動のためのオプションとして船主にとって大きなメリットがあるものと考えられる。

船体監視システムは航海中又は荷役中の船舶のハルガーダとしての挙動を常時監視するためのものであり、船体の縦曲げ応力及び加速度についての情報をリアルタイムで表示できることが必要である。ただし、これらの情報は船長又は操船者の操船判断を援助するために提供されるものであり、船体監視システムは船長の判断及び責任に取って代わるものではない。また、船体監視システムを有効に利用するために、英語及び乗組員が理解できる言語で記述された同システムの操作マニュアルを船上に保管しておかなければならない。

監視データに対する標準値（しきい値）の設定に関しては、標準値を定めた根拠とそのプロセスを明確に示す必要があると考えられる。なお、本会は船主と協議して監視データに対する標準値の設定を行うが、それは基本的には承認された構造寸法及び運航条件等[19)]にもとづいて定めることとする。

検査の種類は登録検査及び維持検査として、維持検査は12ヵ月毎の年次検査と臨時検査を行うこととする。登録検査では図面審査のほか、システムの船上据付け後のシミュレーション試験及びひずみゲージの初期設定の確認を行う。また、年次検査においては、システムが正常に作動すること及び縦曲げ応力が積付け計算機の出力値と矛盾しないこと等を確認する。

3.3 標準値（しきい値）の設定に対する考え方

監視データに対する標準値の設定については、船級登録の際に承認された構造寸法及び運航条件等にもとづき、本会と船主が協議して定めることとする。縦曲げ応力については縦強度計算の資料を参照して、静水中応力と波浪中応力のそれぞれに対して標準値を設定する。垂直加速度については規則には規定されていないので、船体運動計算、運航限界に

関する資料あるいは実測されたデータ等を参照して設定することになる。

疲労強度を監視する場合には、承認された寸法及び運航条件等にもとづく初期の疲労強度に対して、標準値として常にその残存疲労寿命を表示するのが有効であろう。疲労寿命の予測には変動応力振幅のヒストグラムを求めるための頻度計数法、例えばレインフロー法及び疲労強度の解析法、例えばS-N線図とマイナー則を用いることとする。また、頻度計数におけるひずみ振幅のきざみ幅は50μストレインを超えない程度とする。

4. 監視システムの機能

4.1 一 般

船体監視システムの標準的な構成は、各種センサー（ひずみゲージ、加速度計等)、演算処理装置、ディスプレイ及びデータ記録装置からなるものとする。また、船体監視システムは船上の積付け計算機と連結させて、載貨及び揚貨の中間段階及び最終段階において、同システムの縦曲げ応力の出力値と承認された縦曲げモーメントの許容値に対応する応力値とを比較できるように同じ画面上に表示できるものとする。

計測点（センサー）の配置は、標準として、縦曲げ応力を４個所で、垂直加速度を船首部の１個所でそれぞれ計測することとする。縦曲げ応力の計測位置は縦強度計算の資料を参照して応力の高い個所を選定する。参考として、大型ばら積貨物船の２港揚げにおける縦曲げモーメントの分布例をFig.13に示す。 また、載貨量が比較的大きい船舶については、標準的な応力計測位置を上甲板の船体中央部（両舷)、船首から 1/4Ｌの位置（片舷）及び船尾から 1/4Ｌの位置（片舷）とする。縦曲げ応力は静水中応力と波浪応力の和であるが、一般に、運航及び操船の影響を受けるのは波浪応力である。このため、縦曲げ応力については静水中応力（平均値）と波浪応力（変動分）に分離して表示する必要がある。なお、航行時における平均値の大きな変化は浸水等の事態を意味している。

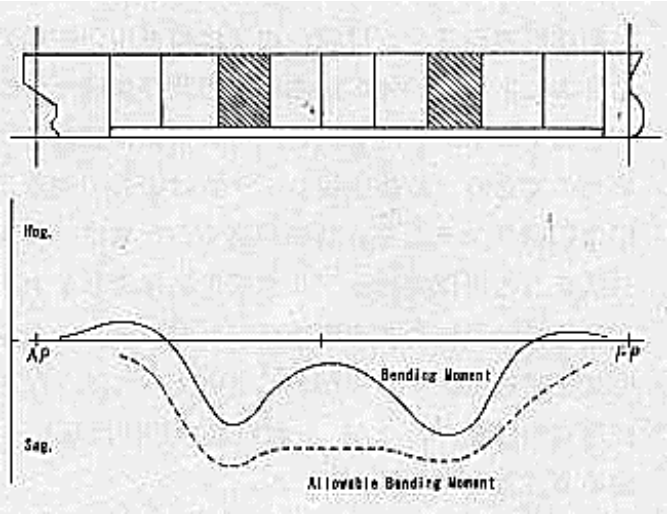

Fig.13 Bending moment diagram

波浪応力の計測はかなり正確であるが静水中応力の計測は複雑な温度影響のために一般にそれほど正確ではない。したがって、応力計算と応力計測によってこの特性を補完するという意味からも船体監視システムと積付け計算機のインターフェースは重要である。

各監視項目に対して標準値を設定し、監視データが標準値を超えた場合には直ちにアラームでブリッジに知らせることが必要となる。航行時にアラームが鳴れば、操船者は一般に速力を落とすあるいは針路を変えるという措置をとる。従来はこれらの措置を半ば勘でやっていたが監視システムにより合理的にコントロールできれば有用であると考えられる。また、コンテナ船の場合に問題となる波浪の打込みについては、船首部の垂直加速度を介して監視することが

可能であろう。

センサーについては海洋環境に耐えられることが第一の要件であるが、さらに可能なかぎり全て温度補償型とするべきであろう。船体監視システムは日本ではほとんど実績はないが欧米ではかなり普及しており、すでに200隻以上の船舶に装備されて有効に利用されている。船体監視システムでは計測手法の関係から信号レベルのドリフトが生じることがあるため、１年に１回程度の定期的な較正が必要となる。各種センサーやシステムについてはいくつかの製品も開発されており、ある程度の実績はあると判断されるが、厳しい海洋環境下におけるその信頼性及び耐久性が十分なものであることを確認するためには、異なる視点からのさらなる検討が必要であると考えられる。

船体監視システムの全ての電気的及び機械的システム及び部品、危険区域内の電気的設備はそれぞれ対応する規則に適合しなければならない。また、システムの電源については、無停電電源（ＵＰＳ）を設置するもしくは非常用電源回路に接続することが必要となる。システムは停電後には正常に閉じられ、また、電源復帰後は正常に再スタートできなければならない。

4.2　ひずみゲージ

応力は、一般に、ひずみゲージによるひずみの計測値から換算して求められる。ひずみ計測には、短いゲージ長の抵抗型ひずみゲージあるいは差動トランスまたはポテンショメータの付いたロングベースひずみゲージ等が用いられる。縦曲げ応力の計測には局部的な他の応力成分及び応力集中の影響を除去するためにロングベースひずみゲージを用いることとする。ひずみゲージについては物理的保護、青波、海洋環境及び振動等からの保護が必要となる。

縦曲げ応力を計測するひずみゲージに関しては、一般にゲージを設置した時点の応力はゼロではないため、応力レベルについての初期設定が必要となる。ひずみゲージの初期設定は、船の荷重条件が変化せず、大気と海水の温度差が小さい状態で、バラスト／軽荷、満載の２条件で行うこととする。ひずみゲージについては、一般に昼夜の温度サイクルによる構造の熱応力変動の影響が問題となる。荒天時には日射が少なく外気温も低いため熱応力の影響は小さいと考えられるが、晴天下の荷役時等では日射により甲板に圧縮の熱応力が生じることがある。実際に計測された例では 1.5～2.5 kgf/mm^2 程度の応力が生じており、縦曲げ応力の精度については熱応力の影響を考慮することが必要となる。

船体の疲労強度について監視を行う場合には、局部的な応力を計測するための抵抗型ひずみゲージの信頼性及び耐久性が問題となるが、システムの冗長性という観点から予備品を付けることも考慮するべきであろう。

4.3　加速度計

荒天航行時に波浪状況が厳しくなり船体運動が激しくなると、船長は過度の船体運動、スラミング、波浪の打込み等を回避するために適切な操船を行う。船体運動としてはピッチング、ローリング及びヒービングが問題となるが、一般的には、ローリングは避けるように操船が行われる。このため加速度についてはピッチング、スラミング及び波浪の打込みと関係する船首部の垂直加速度を監視することとする。加速度計は船首から0.01Ｌの範囲内における船体中心

線上の主甲板レベルに配置する。

スラミングの発生回数は、垂直加速度データの周波数解析から求めるが、この場合には船体２節振動モードの周波数で垂直加速度の減衰振動形状を確認する。なお、サンプリング周波数は100Hz程度以上として、衝撃の大きさは振動の振幅で表示する。気象・海象条件の悪化にともないスラミングの発生回数が増加して標準値（しきい値）に近づくことが表示された場合には、バラストの増し張り、船速あるいは出会角を変えることによりスラミングによる衝撃を減少させることができる。また、船底スラミングの発生をより正確に把握するには、船首船底部に水圧計（圧力トランスデューサ）を配置して水圧計が水面から露出することを確認し、衝撃の大きさを再没水の圧力で表示することが有効であると考えられる。

4.4　表示機能

監視結果の表示については、操船者が容易に理解でき利用できることが重要である。船体監視システムは、縦曲げ応力及び垂直加速度の平均値、標準偏差及びピーク値、スラミングの発生回数、及びこられのトレンドを表示するものとする（なお、標準偏差σと３章で述べた$\sqrt{E}$は$\sqrt{E}=\sqrt{2}\ \sigma$の関係にある）。また、監視データと本会及び使用者が定めた標準値と比較対照できる機能を備えて、監視データが標準値を超えた場合にはブリッジにアラームを出せるものとする。監視システムの標準設定としては、縦曲げ応力及び垂直加速度の平均値及びピーク値が常にディスプレイ上に表示されるものとする。さらに、縦曲げ応力の表示については、少なくとも１点は積付け計算機の出力点に対応するものとする。

波浪変動による縦曲げ応力及び加速度等の統計的データ（短期分布）については20～30分の期間にわたって計算を行うものとする。表示される統計的データの更新時間については十分な考慮を払うべきであろう。統計的データの更新時間が長すぎると操船者にとってデータの有効性が減少し、逆に、更新時間が短かすぎるとデータの信頼性と有効な利用を損なうことになる。さらに、操船により船速あるいは出会角を変えたことによる波浪荷重の変化についても適切な時間内に表示できることが重要となる。

最近では、石炭及び鉄鉱石等の積出し港には超大型の荷役設備が設置されており積荷速度が１時間当たり10,000トンを超えるものもある。このため、ばら積貨物船及び鉱石運搬船等ではバラストの排出能力との関係から積荷計画を超える速度でローディングが行われることが多く、積荷時の縦曲げ応力の監視は重要な課題となっている。船体監視システムでは、これらの船については縦曲げ応力の監視データをカーゴコントロール部にも表示することが望ましい。

4.5　データ記録装置

船体監視システムは、航海中に全てのセンサーが正常に作動していることを確認するためにデータ記録装置を備えるものとする。データ記録装置に記録する情報は30分間にわたり処理された縦曲げ応力及び垂直加速度の平均値、標準偏差、ピーク値及び平均周期、スラミング発生回数、日付及び時刻とする。また、データ記録装置の代わりに衛星を経由してこれらのデータを陸上へ定期的に送信することにより記録することも可能である。

陸上での事後解析を想定して監視データを長期間継続的に記録する場合には、解析の種類に

応じた形式のデータを、例えば、疲労解析を行う場合には変動応力振幅の頻度分布を収集して記録することになる。監視データの船級協会への提出義務はないが、貴重な資料であるので、何らかの形で船級協会も有効に利用できるようにしたい。

なお、船上にＶＤＲを装備している場合には、船体監視システムからの応力及び加速度等に関するリアルタイムのデータを常に記録しなければならない。

5. 今後の検討課題

船体監視システムに関して、監視データに対する標準値の設定が不適切な場合には、無理な運航及び操船による損傷の発生、あるいは慎重すぎる運航及び操船によるスケジュール遅延の恐れがあり、また、監視データについて十分に理解されていないとその結果が間違って解釈され適切でない運航及び操船が行われる可能性がある。これらの課題については、システムに関するトレーニングも含め、今後、十分な検討が必要であると考えられる。

最近の船体監視システムについては計測機器に関する変化は少ないが演算処理装置の性能は飛躍的に向上しており、また、ディスプレイもかなり進歩している。さらに、データ記録装置に関してはその記録容量が大幅に増加している。本会においては、最新のシステムを導入して実船で試験を行う計画を進めている。

監視データに対する標準値の設定については、船舶の種類及び大きさ、載貨条件及び運航条件等によって異なるものであるが、本会では代表的ないくつかのケースについては船体運動計算、従来からの運航マニュアル、荒天遭遇時の運航及び操船記録等を参考にして標準値の設定に関する技術資料をとりまとめる予定である。

参 考 文 献

1) David J. Witmer and Jack W. Lewis：Operational and Scientific Hull Structure Monitoring on TAPS Trade Tankers, SNAME Transactions, Vol.102 (1994)

2) Peter Lacey and Henry Chen：Improved Passage Planning Using Weather Forecasting, Maneuvering Guidance and Instrumentation Feedback, Marine Technology, Vol.32, No.1 (1995)

3) David J. Witmer and Jack W. Lewis：The BP Oil Tanker Structural Monitoring system, Marine Technology, Vol.32, No.4 (1995)

4) Henry Chen, Vincent Cardone and Peter Lacey：Use of Operation Support Information Technology to Increase Ship Safety and Efficiency, SNAME Transactions, Vol.106 (1998)

5) 日本造船研究協会第 233 研究部会：船舶の高度モニタリングの基礎研究、平成 10 年度報告書 (1999)

6) 日本造船研究協会第 240 研究部会：フリートサポートシステムに関する研究、平成 10 年度報告書 (1999)

7) IMO：Recommendations for the Fitting of Hull Stress Monitoring Systems, MSC/Cir. 646 (1994)

8) IMO：Recommendation on Performance Standards for Shipborne Voyage Data Recorders (VDRs), Resolution A.861(20) (1997)
9) Det Norske Veritas：Hull Surveillance System, Part 6 Chapter 11 of Rules for Classification of Ships (1995)
10) American Bureau of Shipping：Guide for Hull Condition Monitoring Systems (1995)
11) Lloyd's Register of Shipping：Provisional Rules for the Classification of Hull Surveillance Systems (1997)
12) 日本海事協会：船体構造強度評価のための技術指針、(1999)
13) 新田 顕、岡 吉則、熊野 厚、湯浅通史、鈴木康平：船体強度に関する長期実船計測、日本海事協会会誌、第 178 号 (1982)
14) 湯浅通史、鈴木康平、多田羅 豊：船体強度モニタリングシステムの実船試験、日本海事協会会誌、第 190 号 (1985)
15) 湯浅通史、鈴木康平、多田羅 豊：実船の就航時の船体応答について（第１報　自動車運搬船の船体応答)、日本造船学会論文集、第 159 号 (1986)
16) 湯浅通史、河地三郎、鈴木康平、多田羅 豊：実船の就航時の船体応答について（第２報　大型ばら積貨物船の船体応答)、日本造船学会論文集、第 161 号 (1987)
17) 湯浅通史：実船試験の応力データによる船体疲労強度の検討、日本造船学会論文集、第 173 号 (1993)
18) 湯浅通史：船体監視システムの役割とその適用について：日本造船学会論文集、第 186 号 (1999)
19) 日本海事協会：鋼船規則及び鋼船規則検査要領Ｃ編、(1999)