2. 船体構造の疲労モニタリングの実用化

船体構造の疲労モニタリングの実用化

1. はじめに

船体構造強度評価において，疲労強度は降伏強度，座屈強度及び最終強度と並び重要な検討項目の一つである。現在，船舶は想定した就航期間（一般商船の場合は通常 25 年）に対し，十分な疲労強度を有するように設計されている。しかしながら，

- 設計時に想定した標準的な航路と実際に本船が航行した航路が異なる場合
- 想定以上に厳しい海象に遭遇した場合
- 規則では想定していない荷重パターンを受ける場合（例えば，短期間で荷役を繰り返すシャトルタンカーなど）
- 長期間（25 年以上）に亘り運航する場合（LNG 船などの高付加価値船）

においては, 設計時の想定と実際の疲労の蓄積度合いの差を把握する必要がある。そこで，本船の疲労の蓄積度合いを把握するために用いられるのが，疲労モニタリングである。疲労モニタリングにより船体構造部材における疲労の蓄積度合いを監視することができれば, 補強や切り替え工事を実施する時期及び範囲などについて，合理的な保守管理が可能になると期待される。また，現状の疲労の蓄積度合いが判明していれば，LNG 船などの高付加価値船の合理的な延命対策も可能になると思われる。

そこで，ここでは本会がこれまで取り組んできた疲労モニタリングに関する研究について紹介する。

2. 疲労及び疲労モニタリング

2.1 疲労

船舶は航行中，繰り返し波浪を受ける。これにより，船体構造部材には繰り返し応力が作用する。一つ一つの応力は小さくても，少しずつ目に見えないダメージ（疲労）が船体構造部材に蓄積されていく。やがて，蓄積した疲労はき裂（疲労損傷）を発生させ，船体構造部材の強度低下を招く。このように，繰り返し応力が作用することにより船体構造部材にき裂を生じさせ，強度低下を招く現象を疲労と呼ぶ。

通常，疲労の蓄積度合いは目視で確認できない。それゆえ，疲労モニタリングにより現在疲労がどの程度蓄積しているかを把握することが重要となる。

2.2 疲労モニタリング

疲労モニタリングとは, 疲労の蓄積度合いを監視（モニタリング）するシステムである。疲労モニタリングの手法は，以下のように大別できる。

a） モニタリングツールを使用し，疲労の蓄積度合いを推定する手法

b） 本船の遭遇海象データを基に疲労強度解析を実施し，疲労の蓄積度合いを推定する手法

c）上記の a）及び b）を組み合わせた手法

どの疲労モニタリング手法を用いるかは，船種，モニタリング対象箇所数，疲労の蓄積度合いの推定精度，費用，定期的なデータ回収法といった様々な因子を考慮のうえ，適切な手法を選択する。

2.3　モニタリングツール

モニタリングツールとは，船体構造部材に作用する応力の大きさ，頻度に反応する機器で，

a）犠牲試験片タイプ

b）歪ゲージや光ファイバー等を用いた応力頻度計測タイプ　　に大別できる。

図１　モニタリングツールの一例（左：犠牲試験片，右：応力頻度計測器）

犠牲試験片タイプのモニタリングツールは一般的に薄い金属片であり，船体構造部材に溶接又は接着剤で取り付けられる。そして，犠牲試験片上に設けられた切り欠き又は初期き裂から進展したき裂について，その進展量を基に疲労の蓄積度合いを求める。

この犠牲試験片タイプのモニタリングツールの特徴は以下の通りである。

- 電源が不要である（配線工事が必要ない）
- ツール自体は比較的安価である
- き裂長さを計測するために，作業員が直接設置箇所まで赴く必要がある
- 基本的に一定応力下での使用を前提としているため，船舶特有のランダムな応力下での適用性を明確にする必要がある

一方，歪ゲージや光ファイバー等を用いた応力頻度計測タイプのモニタリングツールは，応力計測用の機器（歪ゲージや光ファイバー）と計測データを蓄える本体から成り立ち，船体構造部材に添付した計測用機器を介して作用応力の大きさ及びその頻度を計測する。

この応力頻度計測タイプのモニタリングツールの特徴は以下の通りである。

- 電源又はバッテリーが必要である（配線工事や船種によっては防爆処理が必要）
- 配線工事などを含めると，導入費用が掛かる

・ データケーブル等を用いれば，作業員が直接設置箇所に赴かなくてもデータの回収ができる
・ 船舶に特有なランダムな応力にも適用できる

3. 本会が実施した研究について

3.1 これまで実施した研究

本会は 2003 年以降，疲労モニタリングに関連した様々な研究を実施している（表 1）。

表 1　疲労モニタリングに関連する本会の研究

研究期間	研究タイトル
2003 年～2005 年	船体構造の健全性維持・保守点検に関する研究
2006 年	船体構造の寿命評価に関する研究
2007 年～2008 年	LNG 船のライフサイクルに亘るトータルサポートシステム
2009 年～2010 年	疲労モニタリングシステムに基づく余寿命評価
2011 年～2012 年	船体疲労強度に関する予防保全サービス

これらの研究においては，個別の要素技術について検討するのみならず，疲労モニタリングを技術サービスとして提供することを視野に入れ，研究を行ってきている。これらの研究成果については参考文献１）～15）を参照されたい。

3.2 本会が実施した研究の主な内容

本会がこれまで疲労モニタリングに関し取り組んできた研究の主な内容を以下に示す。

a）犠牲試験片タイプのモニタリングツールの特徴を把握するための疲労試験の実施
b）各種モニタリングツールの実船への試適用（鉱石運搬船，LNG 船，油タンカー，コンテナ運搬船等）
c）設計時の疲労強度評価からモニタリング箇所の選定，就航後の定期点検まで一貫した評価システムの構築に関する検討

これらの研究内容について簡単に紹介する。

3.2.1 犠牲試験片タイプのモニタリングツールの特性把握

犠牲試験片タイプのモニタリングツールが本来対象としている応力履歴は，図 2（左）に示すような一定応力履歴である。しかし，船体構造部材に作用する応力は図 2（右）に示すような，遭遇海象及び積付状態に応じて応力範囲及び平均応力が変化する変動応力履歴である。

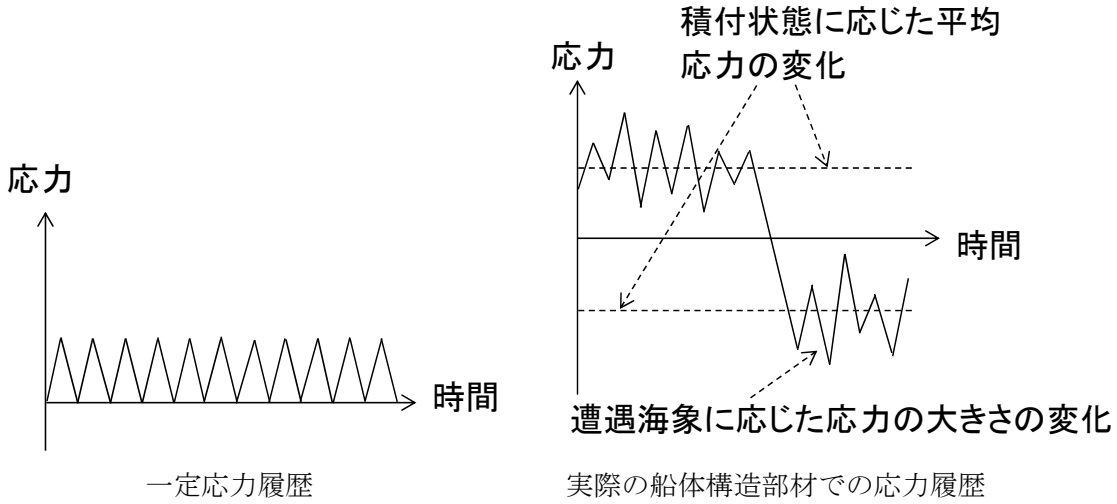


図 2　応力履歴

そこで，犠牲試験片タイプのモニタリングツールを試験体に取り付け，実際の船体構造部材に生じる応力履歴を模擬した荷重パターン（嵐モデル）と，線形累積被害則に基づき嵐モデルと等価な疲労被害度を与える一定荷重パターン（等価応力モデル）の下で，平均応力を引張側（50MPa）及び圧縮側（-50MPa）それぞれ 3 ケースで疲労試験を実施した（図 3 及び表 2 参照）。

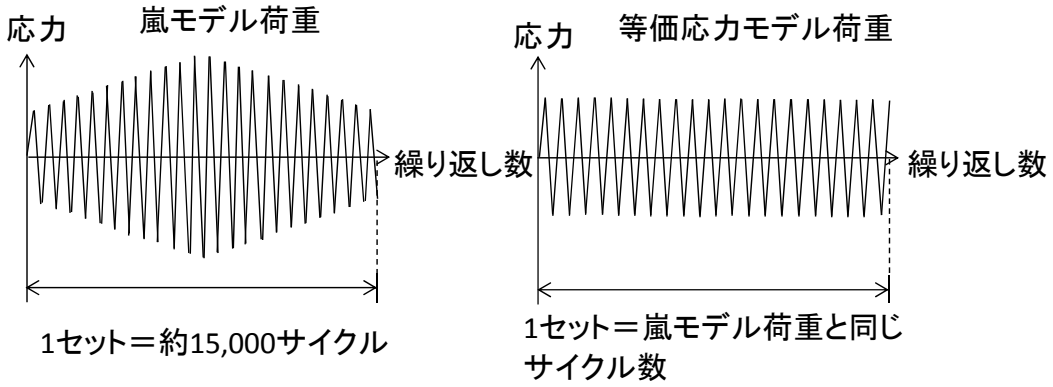


図 3　荷重モデル

表 2　荷重ケース

荷重モデル	平均応力	試験体数
嵐モデル荷重	50MPa	3
	−50MPa	3
等価応力モデル荷重	50MPa	3
	−50MPa	3

疲労試験結果を図 4 に示す。図 4 において横軸が繰り返しセット数（1 セット約 15,000 サイクル）を，縦軸が犠牲試験片上のき裂進展量を示している。また，青い実線が等価応力モデル荷重で平均応力が引張側の疲労試験結果，赤い実線が等価応力モデル荷重で平均応力が圧縮側の疲労試験結果，青い破線が嵐モデル荷重で平均応力が引張側の疲労試験結

果, 赤い破線が嵐モデル荷重で平均応力が圧縮側の疲労試験結果をそれぞれ示している（いずれも 3 ケースの平均を図示）。

このような疲労試験を様々に実施し，犠牲試験片タイプのモニタリングツールを船体構造部材に適用する場合の修正係数を提案した [12]。

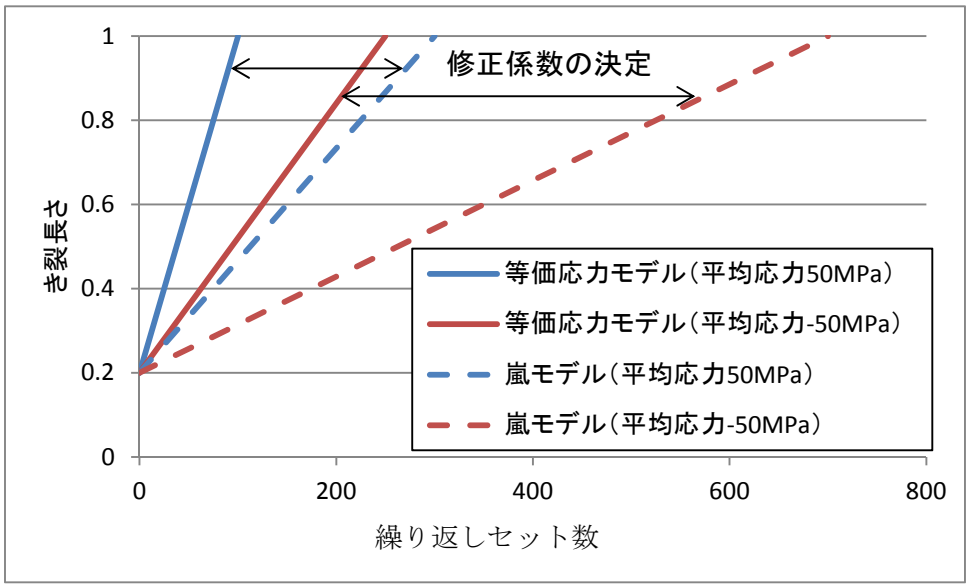


図 4　疲労試験結果

3.2.2　実船への試適用

各種モニタリングツールを LNG 船，コンテナ運搬船，鉱石運搬船及び油タンカー等に対し試適用した。そしてモニタリングデータを定期的に回収し，疲労の蓄積度合いの推定を実施した。ここでは，鉱石運搬船の例を示す。計測期間は 2009 年から 2011 年で，航路は日本―ブラジル（喜望峰経由：図 5），主要目は L x B x D x d=318 x 55 x 29.3 x 21.4(m) である。なお，データの回収は 8 回行われた。

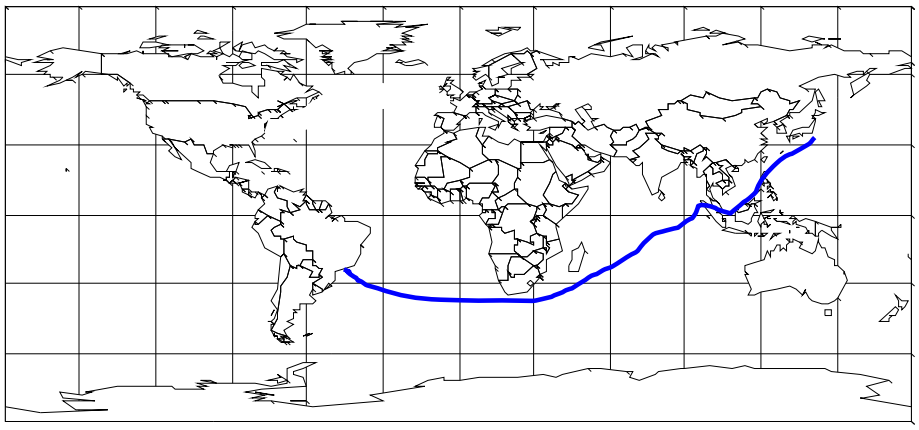


図 5　日本―ブラジル航路（喜望峰経由）

モニタリングツールは船体中央部における二重底ボイドスペース及び下部スツール内のそれぞれ 2 箇所に設置した（図 6 及び表 3）。

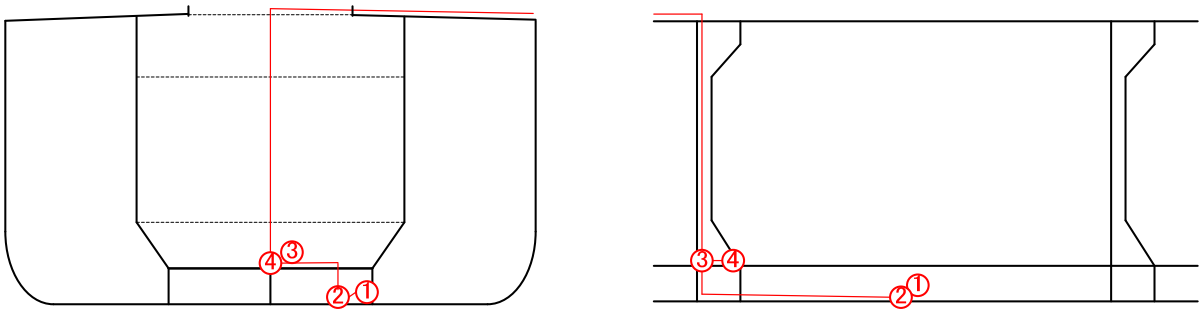


図 6　モニタリングツールの設置位置

表 3　モニタリングツールの位置と種類

設置位置		モニタリングツール
二重底ボイドスペース	①	犠牲試験片タイプ
	②	犠牲試験片タイプ及び応力頻度計測タイプ
下部スツール	③	犠牲試験片タイプ
	④	犠牲試験片タイプ及び応力頻度計測タイプ

計測結果の一例として，二重底ボイドスペースにおける計測結果を図 7 及び図 8 に示す。図 7 は犠牲試験片上のき裂進展量を示し，図 8 は応力頻度計測結果を示している。図 7 より，き裂進展量は計測時期により大きく異なることが分かる。また同様に，図 8 より応力頻度分布も計測時期により異なることが分かる。この計測結果より，遭遇海象に応じて疲労の蓄積度合いが異なるという現象をモニタリングツールにより把握できることが確認された。

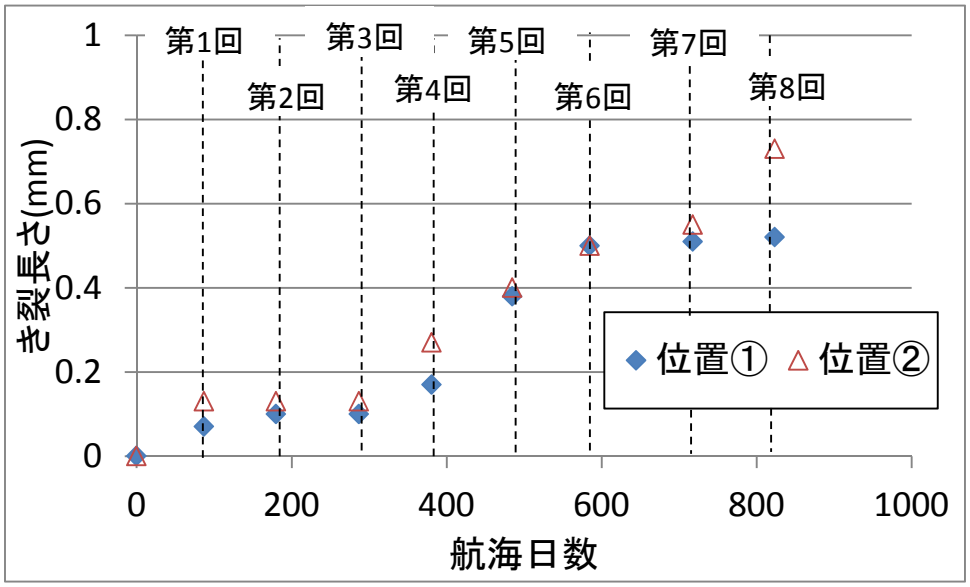


図 7　二重底ボイドスペースにおける犠牲試験片上のき裂進展量

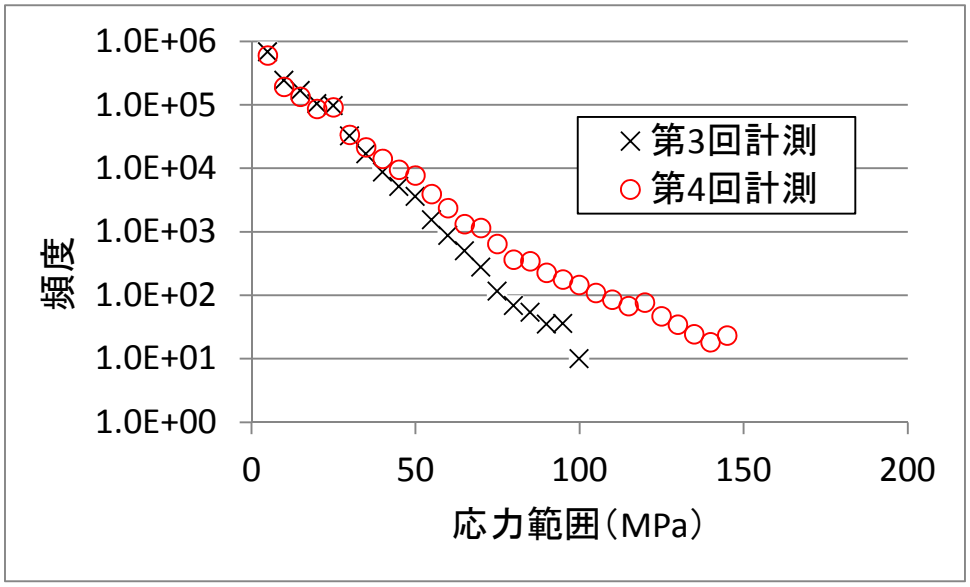


図 8　二重底ボイドスペースにおける応力頻度計測結果

また，実船への試適用を通じて判明したのが，「作業員が陸上から本船に乗船してデータを回収するシステムの場合，本格的な疲労モニタリングの運用を行うことは難しい」ということである。すなわち，

・ 日本に寄港しない航路の場合，海外で作業員がデータの回収を行う必要がある
・ 多数の船舶で同時にモニタリングを行う場合，作業員の確保が難しくなる

からである。それゆえ，本格的な疲労モニタリングの運用を行うには，本船乗組員が簡単に扱えるシステムにする必要があると考えられる。

3.2.3　疲労モニタリングシステムの構築

設計時における疲労強度評価からモニタリング箇所の選定，就航後の定期点検まで一貫した評価システムの構築に関する検討を行った。疲労モニタリングの流れを以下に示す。

① 疲労強度解析及び過去の損傷事例に基づき，疲労強度上危険な箇所をリストアップする。
② 疲労モニタリングの手法を決定する。
　a）モニタリングツールの使用
　b）遭遇海象データから疲労の蓄積度合いを推定
　c）上記 a）及び b）の組み合わせ
③ 損傷時の重大さ，アクセスの容易さ等を考慮してモニタリング対象箇所を決定する（モニタリングツールを使用する場合）。
④ 疲労モニタリングツールを設置する。
⑤ 就航後，定期的にデータの回収作業を実施する。
⑥ 疲労の蓄積度合いを推定する。
⑦ 本船の保守，管理計画に疲労蓄積推定結果を反映させる。

これらの項目について，順次説明していく。

3.2.3-1　疲労モニタリング対象箇所のリストアップ

設計海域及び設計寿命を定めて疲労強度解析を実施するとともに，過去の損傷事例を考慮して疲労強度上危険な箇所をリストアップする。例えば，ばら積み貨物船の場合，

（1）ハッチコーナー部
（2）下部スツールやビルジホッパー斜板と二重底頂板の取り合い部
（3）倉内肋骨端部
（4）ロンジとトランスウェブ付スティフナーの取り合い部

などが考えられる（図 9）。

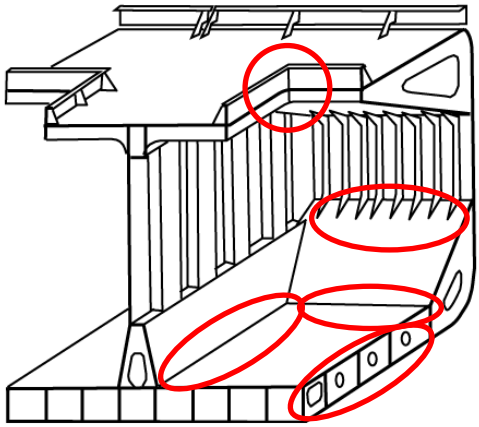


図 9　ばら積み貨物船における疲労強度上危険な箇所の例

3.2.3-2　疲労モニタリングの手法決定

船種，モニタリング対象箇所数，疲労の蓄積度合いの推定精度，費用，定期的なデータの回収法等の様々な因子を考慮して，適切な手法を選択する。

a）モニタリングツールの使用
b）遭遇海象データから疲労の蓄積度合いを推定
c）上記 a）及び b）の組み合わせ

なお，b）の手法では，遭遇海象データを，

・航海日誌や気象情報を基に推測する
・加速度や傾斜角といった船体運動を計測し，そのデータを基に船体運動解析を実施して推測する

といった方法が考えられる。そして，推測した遭遇海象データを基に疲労強度解析を実施し，疲労の蓄積度合いを推定する。

3.2.3-3　疲労モニタリング対象箇所の決定

損傷時の重大さ，アクセスの容易さ等を考慮してモニタリング対象箇所を決定する。しかしながら，リストアップされた全ての危険箇所にモニタリングツールを設置できるわけではない。なぜなら，設置工事及びデータ回収に掛かる費用及び手間が膨大になるからである。

そこで，以下の基準を基にモニタリング対象箇所を決定する。

・ 疲労損傷が生じると船体構造に致命的な影響を与える箇所
・ 疲労強度上危険な箇所のうち，モニタリングツールの設置工事及びデータ回収が容易な箇所
・ 上記箇所が多数ある場合には代表的な箇所を選ぶ
・ モニタリングツールを設置しない箇所については，疲労強度解析結果に基づきモニタリングツールを設置した箇所との相対評価を行う

3.2.3-4　疲労モニタリングツールの設置

疲労モニタリングツールを設置するが，設置個所によってはメンテナンス又はデータ回収作業のための恒久的な足場が必要になる。

3.2.3-5　モニタリングデータの回収

就航後，定期的にモニタリングデータを回収することになる。試適用では作業員が陸上から本船に乗船してデータの回収を行っていた。しかし，日本に寄港しない船舶で疲労モニタリングを実施する場合，又は同時に多数の船舶に対して疲労モニタリングを実施する場合のことを考慮すると，本船乗組員の手でデータの回収を行えるシステムが望ましい。

3.2.3-6　疲労の蓄積度合いの推定

犠牲試験片タイプのモニタリングツールの場合は，犠牲試験片上のき裂長さから現時点での疲労被害度を換算する。

一方，応力頻度計測タイプのモニタリングツールの場合は，得られた応力頻度分布を用い，船級協会の疲労強度評価手法に則り疲労被害度を算出する。

3.2.3-7　保守管理計画への反映

現在までの疲労の蓄積傾向から将来の疲労の蓄積度合いを推定し，今後の保守管理計画に反映させる。図 10 に疲労モニタリング結果から疲労の蓄積度合いを推定した結果の模式図を示す。青線が設計時に想定した疲労の蓄積を表しており，疲労モニタリング結果から得られた疲労の蓄積がこの青線を下回っている場合は，その構造部材の健全性は就航期間中保たれると考えられる（図 10 の緑印）。しかし，疲労の蓄積が青線を上回っている場合は，適切な時期に補強工事を行うよう保守管理計画を立案する必要がある（図 10 の赤印）。

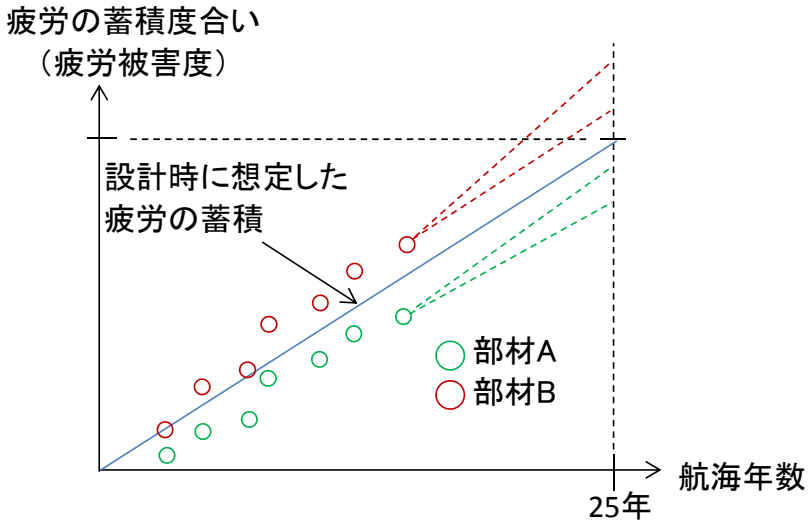


図 10　疲労の蓄積の様子

4. まとめ及び将来の展望

本会はこれまで10年近くに亘り，疲労モニタリングに関する研究を行ってきた。その結果，疲労強度評価を行いモニタリングツールの設置箇所を定め，モニタリング結果から得られた疲労の蓄積度合いを基に本船の保守管理計画立案に役立てる，という疲労モニタリングシステムの構築を行った。現状は疲労モニタリングシステムの枠組みが出来上がった段階であり，実用化に向けては，

- モニタリングツールを用いた疲労の蓄積度合いの推定精度の更なる向上
- 定期的に行うデータ回収の労力削減

といった課題が挙げられる。疲労モニタリングの実用化に向け，本会は今後もこれらの課題克服に取り組む予定である。

参考文献

1) 山本規雄，他：実船の応力計測と犠牲試験片観察，平成18年度日本船舶海洋工学会東部支部春季講演会，2006
2) 山本規雄：船舶の疲労寿命の予測方法（現状と将来），日本船舶海洋工学会会誌第6号，2006
3) Koiwa, T, et. al. : A Study on a Fatigue Management System for LNG Carriers Using a New Fatigue Damage Sensor, ICSOT, 2006
4) 小岩敏郎：疲労センサを使用したLNG船の船体疲労強度管理システム，平成18年度ClassNK研究発表会，2006
5) 山本規雄：船舶の疲労寿命の予測方法，日本海事協会会誌第278号，2006
6) 高野裕文，他：疲労センサを使用した船体寿命監視システム，溶接学会平成19年度秋季全国大会フォーラム，2007
7) 高野裕文，他：疲労センサを使用したLNG船の疲労強度管理システム，JCOSSAR2007　第6回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム，2007
8) 山本規雄, 他:船体疲労マネージメントシステムの検討, 日本海事協会会誌第279号，2007
9) 山本規雄，他：疲労センサを応用した船体寿命監視システム，日本海事協会会誌第282号，2007
10) Yamamoto, N, et. al. : Total Support System during Life Cycle of LNG Ships, GASTECH2008，2008
11) 山本規雄：船舶のTotal Life Assessment，溶接学会誌Vol.77，2008
12) 孝岡祐吉，他：疲労センサを用いた船体構造の疲労寿命推定精度向上について，日本船舶海洋工学会，平成20年度秋季講演会，2008
13) 山本規雄：船体構造の寿命に大きな影響を及ぼす疲労・腐食問題及び管理，日本鉄鋼協会会誌Vol.13，2008
14) 技術研究所：LNG船の生涯に亘るトータルサポートシステムの開発，日本海事協会会誌第288号，2009
15) 技術研究所：疲労余寿命評価に基づく就航中管理に関する研究，日本海事協会会誌第295号，2011

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

2013 ClassNK 春季技術セミナー

船体構造の疲労モニタリングの実用化

1

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

目次

1. 研究の背景
2. 疲労とは
3. 疲労モニタリングとは
4. NKが実施した研究について
5. まとめ

2

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

研究の背景(1)

- 船体構造強度において、疲労強度は降伏強度や座屈強度とならび重要な項目の一つである。
- 現在、船舶は想定した就航期間(一般商船の場合は通常25年)に対し、十分な疲労強度を有するように設計されている。

  - 設計時に想定した標準的な航路と実際に本船が航行した航路が異なる場合
  - 想定以上の厳しい海象に遭遇した場合
  - 規則では想定していない荷重パターンを受ける場合(短期間で荷役を繰り返すシャトルタンカーなど)
  - 長期間(25年以上)に亘る運航を想定している場合(LNG船などの高付加価値船)

⇩

設計時の想定と実際の疲労の蓄積度合いの差を把握する必要がある

3

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

研究の背景(2)

- 本船の疲労の蓄積度合いを把握する手段として用いられるのが疲労モニタリングである。

→ 補強や切り替えを実施する時期及び範囲について、合理的な保守管理計画の立案が可能になると期待される

→ LNG船等の高付加価値船について、疲労の蓄積度合いに応じた合理的な延命対策にも役立てると期待される

⇩

NKがこれまで取り組んできた疲労モニタリングに関する研究について紹介する

4

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

目次

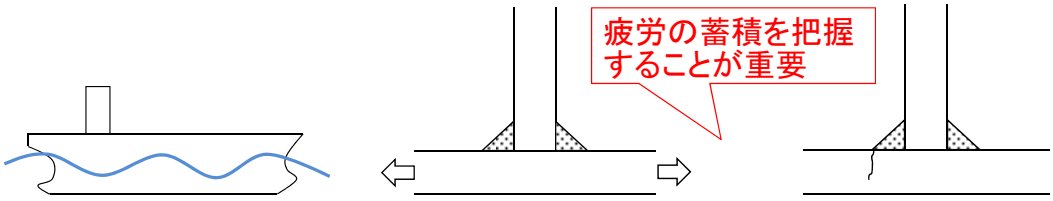
1. 研究の背景
2. 疲労とは
3. 疲労モニタリングとは
4. NKが実施した研究について
5. まとめ

5

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

疲労とは

- 船舶が航行中に波浪を受けることにより、応力が船体構造部材に繰り返し作用する。
- 一つ一つの応力は小さくても、少しずつ目に見えないダメージ（疲労）が蓄積されていく。
- やがて、蓄積した疲労はき裂（疲労損傷）を発生させ、船体構造強度に影響を及ぼすことになる。



波浪を受ける　　繰り返し応力が作用　目に見えない疲労の蓄積　　き裂の発生

6

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

目次

1. 研究の背景
2. 疲労とは
3. 疲労モニタリングとは
4. NKが実施した研究について
5. まとめ

7

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

疲労モニタリングとは

- 疲労モニタリングとは
  → 船体構造部材に蓄積される疲労の度合いを監視（モニタリング）するシステム
- 疲労モニタリング手法

1）モニタリングツールを使用し、疲労の蓄積度合いを推定する手法（費用は高いが、推定精度は比較的高い）

2）本船の遭遇海象データを基に疲労強度解析を実施し、疲労の蓄積度合いを推定する手法（簡便で費用も安いが、推定精度は低い）

3）上記の1）及び2）を組み合わせた手法

⇒ 船種、モニタリング対象箇所数、疲労の蓄積度合いの推定精度、費用、定期的なデータ回収法、といった様々な因子を考慮のうえ、適切な手法を選択する

8

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

モニタリングツール

- モニタリングツールとは

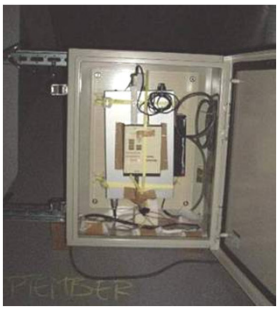
  船体構造部材に作用する応力の大きさ、頻度に反応する機器で、

  1）犠牲試験片タイプ

  2）歪ゲージや光ファイバー等を用いた応力頻度計測タイプ

  に大別できる

1）犠牲試験片の一例



2）応力頻度計測機器の一例

9

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

犠牲試験片タイプ

- 犠牲試験片タイプのモニタリングツールについて
  - 一般的に薄い金属片であり、船体構造部材に溶接又は接着剤で取り付ける。
  - 犠牲試験片上に設けられた切り欠き又は初期き裂から進展したき裂長さを基に、疲労の蓄積度合いを求める
- 犠牲試験片タイプのモニタリングツールの特徴
  - 電源が不要（配線工事が不要）
  - ツール自体は比較的安価
  - き裂長さを計測するため、直接設置箇所まで赴く必要がある
  - 基本的に一定応力下での使用を前提とされており、船舶に特有のランダムな応力下での適用性を明確にする必要がある

10

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

応力頻度計測タイプ

- 応力頻度計測タイプのモニタリングツールについて
  - 応力計測用の機器（一般には歪ゲージ）と計測データを蓄える本体から成り立つ
  - 船体構造部材に貼付した歪ゲージを介し、作用応力の大きさ及びその頻度を求める
- 応力頻度計測タイプのモニタリングツールの特徴
  - 電源またはバッテリーが必要（配線工事や船種によっては防爆処理が必要となる場合がある）
  - 配線工事などを含めると、導入費用が掛かる
  - データケーブル等を用いれば、直接設置箇所に赴かなくてもデータの回収ができる
  - 船舶に特有のランダムな応力にも適用できる

11

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

目次

1. 研究の背景
2. 疲労とは
3. 疲労モニタリングとは
4. NKが実施した研究について
5. まとめ

12

NKが実施した研究について

- NKでは2003年以降、疲労モニタリングに関連し様々な研究を実施している。

2003～2005年：
「船体構造の健全性維持・保守点検に関する研究」
2006年：
「船体構造の寿命評価に関する研究」
2007～2008年：
「LNG船のライフサイクルに亘るトータルサポートシステム」
2009～2010年：
「疲労モニタリングシステムに基づく余寿命評価」
2011～2012年：
「船体疲労強度に関する予防保全技術サービス」

⇨ 個別の要素技術について検討するのみならず、疲労モニタリングを技術サービスとして提供することを視野に入れ、研究を行っている

13

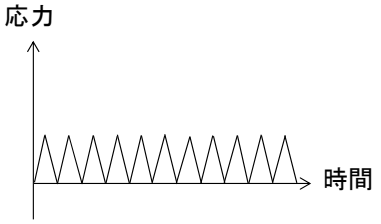
NKが実施した研究内容

- NKが取り組んできた研究の一部を以下に示す

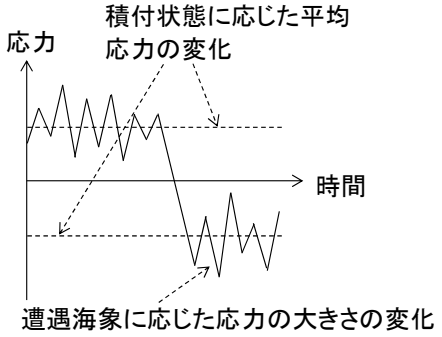
1. 犠牲試験片タイプのモニタリングツールの特徴を把握するための疲労試験の実施
2. 各種モニタリングツールの実船への試適用
（鉱石運搬船、LNG船、油タンカー、コンテナ運搬船等）
3. 設計時の疲労強度評価からモニタリング箇所の選定、就航後の定期点検までの一貫した評価システムの構築に関する検討

14

モニタリングツールの特性把握(1)



犠牲試験片タイプのモニタリングツールが本来対象としている応力履歴は一定応力



船体構造部材に作用する応力は複雑に変化する

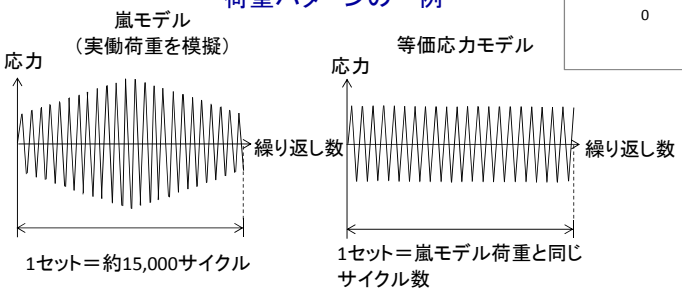
犠牲試験片タイプのモニタリングツールを試験体に取り付け、実際の船体構造部材に作用する応力履歴を模擬した荷重を負荷した

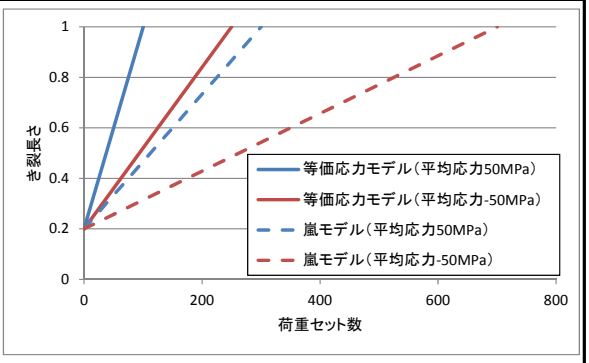
15

モニタリングツールの特性把握(2)

試験風景

荷重パターンの一例





試験結果の一例

等価応力モデルにおけるき裂進展量と、実働荷重履歴を模擬した嵐モデルにおけるき裂進展量を比較し、修正係数の提案を行った。

16

NKが実施した研究内容

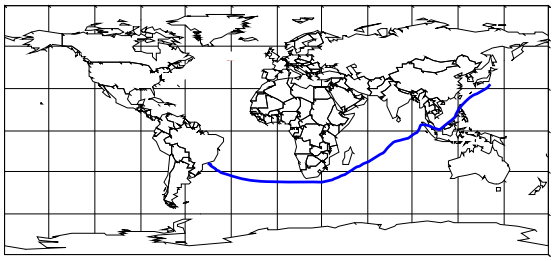
- NKが取り組んできた研究の一部を以下に示す

1. 犠牲試験片タイプのモニタリングツールの特徴を把握するための疲労試験の実施
2. 各種モニタリングツールの実船への試適用（鉱石運搬船、LNG船、油タンカー、コンテナ運搬船等）
3. 設計時の疲労強度評価からモニタリング箇所の選定、就航後の定期点検までの一貫した評価システムの構築に関する検討

17

実船への試適用(1)

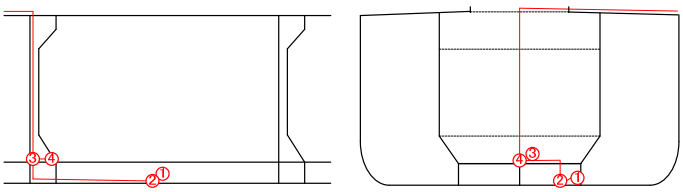
- 各種モニタリングツールの実船への試適用
  - LNG船、コンテナ船、鉱石運搬船、油タンカー等に対し、モニタリングツールを試適用
  - データの定期的な回収及び得られたデータから疲労の蓄積度合いの推定を実施
- 実船への試適用の一例（鉱石運搬船）
  - 主要目：L x B x D x d＝318 x 55 x 29.3 x 21.4 (m)
  - 航路：日本⇔ブラジル（喜望峰経由）
  - 計測期間：2009年～2011年（計8回計測）



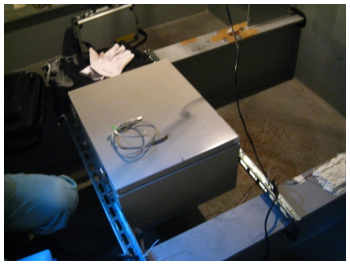
18

実船への試適用(2)

➢ モニタリングツールの設置位置
船体中央部の二重底ボイドスペースと下部スツール



位置②における設置状況

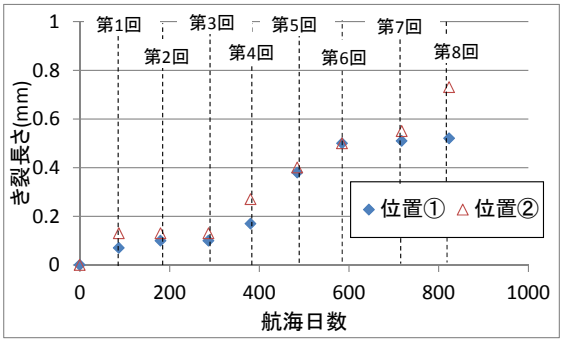


①二重底ボイドスペース:犠牲試験片タイプ
②二重底ボイドスペース:犠牲試験片タイプ及び応力頻度計測タイプ
③下部スツール:犠牲試験片タイプ
④下部スツール:犠牲試験片タイプ及び応力頻度計測タイプ

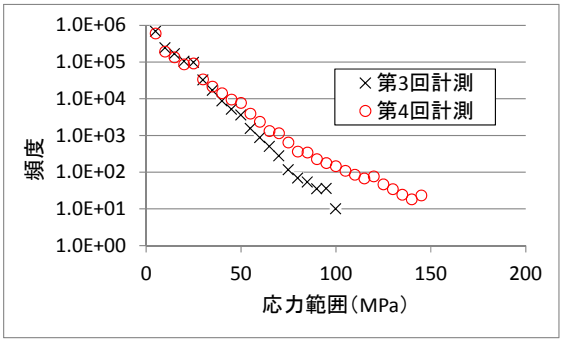
19

実船への試適用(3)

➢ 計測されたデータの一例



犠牲試験片上のき裂長さ
(位置①及び②)



応力頻度計測結果(位置②)

⇨ 実船計測を通じて、設置箇所及び遭遇海象による疲労蓄積の相違をモニタリングツールにより把握できることが確認できた。

20

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

実船への試適用(4)

➢ 運用面に関して得られた知見

- 現状では、犠牲試験片タイプ及び応力頻度計測タイプのモニタリングツールのどちらも、作業員が陸上から本船に乗船してデータの回収を行っている。

⇩

- 日本に寄港しない航路の場合、作業員が海外に赴きデータの回収を行う必要がある。
- 多数の船舶で同時にモニタリングを行う場合、作業員の確保が難しくなる。

⇩

本船乗組員が扱えるシステムにしなければ実用的でない

21

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

NKが実施した研究内容

➢ NKが取り組んできた研究の一部を以下に示す

1. 犠牲試験片タイプのモニタリングツールの特徴を把握するための疲労試験の実施
2. 各種モニタリングツールの実船への試適用
（鉱石運搬船、LNG船、油タンカー、コンテナ運搬船等）
3. 設計時の疲労強度評価からモニタリング箇所の選定、就航後の定期点検までの一貫した評価システムの構築に関する検討

22

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

疲労評価システム(1)

➢ 疲労モニタリングシステムについて検討を行い、以下の手順を確立した

①疲労強度解析及び過去の損傷事例に基づき、疲労強度上危険な箇所をリストアップする

例）ばら積み貨物船の場合

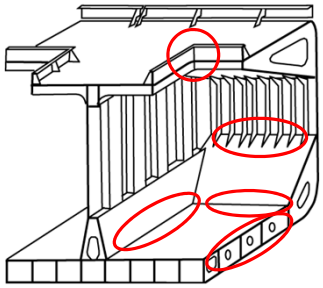
（1）ハッチコーナー部

（2）下部スツールやビルジホッパー斜板と二重底頂板の取り合い部

（3）倉内肋骨端部

（4）ロンジとトランスウェブ付スティフナーの取り合い部

など



23

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

疲労評価システム(2)

②疲労モニタリングの手法を決定する

1）モニタリングツールの使用

2）遭遇海象データから疲労の蓄積度合いを推定

3）上記の1）及び2）の組み合わせ

③モニタリングツールを使用する場合、モニタリングツールの設置箇所を決定する

①でリストアップした全ての危険箇所にモニタリングツールを設置すると、設置工事及びデータ回収に掛かる費用及び手間が膨大になる

⇩

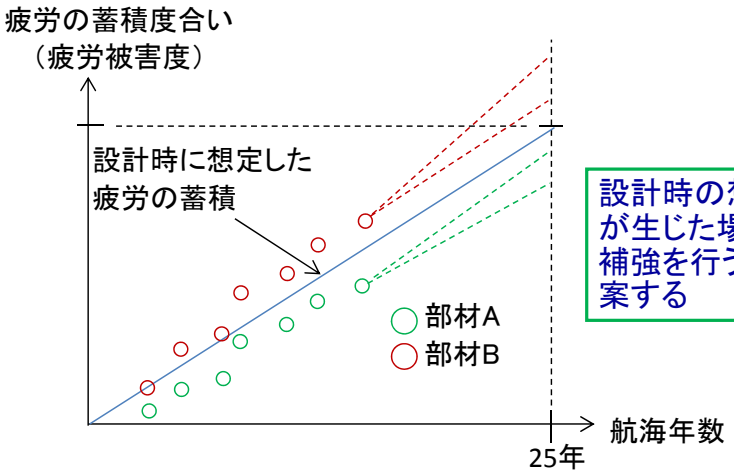
選定基準：

- 疲労損傷が生じると船体構造に致命的な影響を与える箇所
- 疲労強度上危険な箇所のうち、モニタリングツールの設置工事及びデータ回収が容易な箇所
- 上記箇所が多数ある場合は代表的な箇所
- その他の箇所については、疲労強度解析結果に基づき、モニタリングツール設置箇所との相対評価を行う

24

疲労評価システム(3)

④疲労モニタリングツールを搭載する
⑤就航後、定期的にデータ回収作業を実施する
⑥疲労の蓄積度合いを推定する
⑦本船の保守、管理計画に疲労蓄積推定結果を反映させる



設計時の想定を上回る疲労の蓄積が生じた場合には、適切な時期に補強を行うよう、保守管理計画を立案する

25

目次

1. 研究の背景
2. 疲労とは
3. 疲労モニタリングとは
4. NKが実施した研究について
5. まとめ

26

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

研究のまとめ

- 疲労強度解析を行いモニタリングツールの設置箇所を定め、モニタリング結果から得られた疲労の蓄積度合いを基に本船の保守管理計画立案に役立てる、という疲労モニタリングシステムの構築を行った。

- 現状は疲労モニタリングシステムの枠組みが出来上がった段階であり、実用化に向けては、
  - モニタリングツールを用いた疲労の蓄積度合いの推定精度の更なる向上
  - 定期的に行うデータ回収の労力の削減

  といった課題が挙げられる。

- 今後も疲労モニタリングの実用化に向け、これらの課題克服に取り組む予定である。

27