

第4部 鋼船規則 CSR-T 編

二重船殻油タンカーのための共通構造規則の解説

はじめに

鋼船規則 CSR-T 編 二重船殻油タンカーのための共通構造規則の目次を以下に示す。

1 節	序論
2 節	原則
3 節	本編の適用
4 節	基本情報
5 節	構造配置
6 節	材料及び溶接
7 節	設計荷重
8 節	部材寸法要件
9 節	設計評価
10 節	座屈及び最終強度
11 節	タンカーの共通構造規則に関する一般要件
12 節	就航船の切替基準
付録 A	ハルガーダの最終強度
付録 B	構造強度の評価
付録 C	疲労強度評価
付録 D	座屈強度評価

1 節及び 2 節は情報的な規定であり、3 節から 12 節は規則要件で、付録は規則要件のうち特に詳細な手順等を含む技術事項を定めたものである。

以下に、各節の主な規定の解説をする。なお、本解説は、二重船殻油タンカーのために CSR を開発した ABS, DNV 及び LR の協力のもと作成したものである。

なお、以下の見出し番号は、CSR-T 編本文の見出し番号と対応している。

1 節 序論

1 一般

(1) CSR-T 編が適用される船の種類 (二重船殻油タンカー) 及び船の長さ ($L \geq 150m$) 及び適用日に関する規定は鋼船規則 A 編の規定と重複するが、CSR-T 編単独でも分かるよう規定した。なお、CSR-T 編には記載されていないが、鋼船規則 A 編 1.1.2 により、国際航海に従事し、かつ、航路を制限しない船舶が本編の適用を受ける。また、油タンカーは、基本的に油をばら積み運送する船舶をいい、危険化

学品ばら積船であっても油/油プロダクトを運送するものも適用となる。

(2) 国際航海に従事しない油タンカー、航路制限のある油タンカー或いは船の長さが 150m 未満の油タンカーについては、CSR-T 編以外の規定が適用となる。

2 節 原則

1 一般

本節は、規則の目的及び規則適用に関する一般情報である“一般原則”、“設計基礎”、“設計の原則”及び“原則の適用”を記載している。

2 一般原則

一般原則として、船舶は、IMO で定める条約や国内法規及び既存の IACS UR を適用する旨規定している。なお、規則に記載されている IACS UR は、ここで参照しているだけでなく、それぞれ該当する規定にその内容を取り入れている。また、IACS で採択された規則には、一般原則として船級協会、建造者及び船主の責任に関する規定が掲載されているが、これらの内容は、登録規則及び船級登録及び設備登録に関する業務提供の条件という鋼船規則より上位に位置づけられる規則に含まれるため、CSR-T 編からは削除している。

3 設計基礎

(1) 設計基礎

CSR-T 編に規定する構造要件は、本項で述べる設計基礎に従い、この範囲に該当する船舶に対し開発されている。

これらの設計ベースとして、以下のものを掲げている。

- (a) 隔壁配置、機関室配置及び構造部材配置に加え、IACS UR S11にある主要構造寸法比 (方形係数 C_b が 0.7 以上、 L/B が 5 以上等)
- (b) 設計寿命を 25 年とする。なお、これは設計のためのパラメータであり実際の寿命ではない。なお、実際の寿命は、設計だけでなく、航行状態や保守によりそれより長くもなるし、短くなる場合もあるとしている。
- (c) 外部環境条件として、船舶の設計寿命の間、北大西洋の波浪環境を航行すると仮定している。
- (d) 鋼材の使用区分の前提条件となる設計温度として、一日の最低平均温度を $-15^{\circ}C$ 、一日の最低平均水温を $0^{\circ}C$ としている。
- (e) 貨物密度として、構造強度評価の目的が、「最悪のシナリオ」に対しても満足 of いく構造挙動を確保すること

にあるため、 $1.025t/m^3$ と海水密度と同じ数値とすることになっている。一方、疲労強度評価においては、船舶の設計寿命における平均的な挙動を把握することになるので、保守的ではあるが、平均貨物密度として $0.9t/m^3$ を用いることとした。当然のことながら、積載を予定している貨物の貨物密度が $1.025t/m^3$ より大きい場合は、それを両評価に使用することになる。

上記のうち、(b)及び(c)は、IMOで検討されている Goal Based Standard の要求事項と一致している。

(2) 設計基礎と異なる船舶の取り扱い

上記(1)に示す設計基礎から逸脱する場合、特別な考慮を払う旨 3.1.1.2 に規定している。ここで、特別な考慮がなされる場合とは、以下のような場合をいう。

- (a) 3.1.2 に示される配置、レイアウト及び主要目等が異なる船舶
 - (b) 3.1.7 に示される以上の厳しい波浪環境での運航を定期的に行う事を目的とした船舶。この場合、設計荷重について厳しい環境条件を考慮することになる。なお、穏やかな波浪環境を定期的に運航しようとする船舶に対しては、それを考慮しない。
 - (c) 3.1.3 に示される設計寿命25年より長い設計寿命とする船舶の設計は、基本的には、船主による任意の追加事項とする。この場合、腐食予備厚の増加と疲労強度評価のために波浪荷重及び繰返し数の増加を考慮する。
- (3) 船主の追加要求

3.1.10 に示すような規定を上回る追加事項（長設計寿命、追加の腐食予備厚、追加の強度余裕）や規定されていない事項（振動解析等）の評価はすべて船主の追加要求と位置づけ、船級要件外としている。しかし、構造設計に重要な影響を及ぼすものについては、それを図面などに明記することを要求しているので注意する必要がある。

4 設計の原則

4.1 原則全般

4.1 として構造設計の目標を教科書的に記述している。

4.2 荷重

荷重シナリオ、荷重の組み合わせ、荷重の分類、荷重特性値、運航荷重、環境荷重、事故荷重及び変形による荷重を教科書的に記載している。これらの考え方は、上記 3.4 に示す前提条件と異なる船舶の構造強度を評価する場合にも使用できる汎用的な考え方である。

4.3 構造強度評価

4.3.1 一般

4.3.1.1 に記載されている適切な構造モデルは、限界状態設計の考え方に基づき分類される。夫々の構造要素の重要度は、構造要件に対する指定された荷重シナリオに関連付けて適用されることになる。降伏及び座屈は、構造強度に関連している。破断は、降伏損傷モードの極限值として表

され、脆性破壊は、構造構成要素の位置に関連した適切な材料の選択によって表される。一方、疲労亀裂は、周期的な荷重に関連しており、上記の降伏及び座屈損傷モデルとは異なるため、異なった構造モデルとして取り扱われる。

4.3.2 強度モデル

4.3.2 の規定は、強度評価手法の考え方を示したもので、4.3.2.2 から 4.3.2.4 にその評価手法の原則を記載している。ここで、崩壊モードを解析できる手法とは、以下の2つの事項を含む構造モデルを用いて管理されると考えられる。

(i) 構造応答モデルの選択

応力及び変形の決定方法は、選択した強度評価方法と設計荷重の大きさに関連する。

(ii) 強度評価手法の選択

要求精度を有し、当該損傷モードを解析することができる強度評価手法を選択する。種々の規則要件に対する評価方法は、強度容量の使用率が異なるので、同じ損傷モードでさえ異なる場合がある。

例えば、ハルガーダ又は構造部材の終局強度は、弾性応答範囲を超えた構造能力を設定できる方法によって評価される。これは、この方法が力の再配分、大変形及び非線形挙動を説明できることを意味しており、許容基準は、塑性範囲と変形量により規定される。また、弾性の範囲を超えて構造を評価することはできるが、最大構造能力を評価できないその他の手法の場合、評価基準は、塑性範囲と荷重再配分を考慮して決定される。また、構造応答に関する荷重影響は、規則算式に基づく解析法又は直接計算によって決定される。通常、直接計算とは線形有限要素法に基づく三次元解析を言う。構造応答決定方法は、評価手法として規定されている。

4.3.3 疲労強度評価モデル

4.3.3 は、疲労強度評価モデルについて説明した規定である。“疲労”とは、全設計寿命にわたり、繰返し荷重により蓄積された損傷をいい、疲労寿命は、ホットスポット応力（疲労損傷が生じる箇所における応力）に依存する。従って構造の詳細設計や工作品質にも関連する。

疲労評価方法は、繰返し荷重の回数と北大西洋環境における25年間の運航に基づく構造応答に基づいている。本規則における疲労評価方法は、応力範囲と S-N 線図と組み合わせた線形累積被害側（すなわち、Palmgren-Miner の法則）に基づいている。応力範囲の長期頻度分布曲線は、ワイブル確率分布によるものと仮定している。

4.3.4 ネット寸法評価、4.3.5 非損傷時の構造及び 4.4 材料及び溶接

規則自体が解説的な記述であるため、解説は省略する。

4.5 評価基準及び許容基準

- (a) 設計計算の目的は、安全性、実用性及び耐久性が満足するレベルであることを確保することにある。これを

検証するために、計算が選択された設計法によって実行される。様々な要素に対する安全余裕は、損傷結果を反映している。従って、様々な構造要素の危険性度合いを区分することは、危険性の高い構造要素が、危険性の少ない要素よりもより厳しい要求（損傷の可能性を低くする）に対応した強度モデルと許容基準が選択される。貨物区域にある構造要素の危険性分類の概念図を図4.2.1に示す。この図は、船体構造全体を1つの梁に置き換えた構造（ハルガーダ）を最上層とし、タンカーにおける構造要素の階層を考慮して示したものである。危険度階層において与えられた危険度を減ずる方法が評価される。ある階層の危険度は、それより下方の階層の危険度と等しいか高くなる。

(b) 図4.2.1に示すような船体構造の危険度階層を考慮してそれぞれの構造要素に応じた評価方式が考慮される。これらの代表的な評価方式（設計法）を4.5.1.1に記載している。

- (i) 作用応力設計（WSD）法，所謂，許容応力法。
- (ii) 部分係数（PF）法，所謂，荷重抵抗係数法（LRFD）
- (c) PF法は、荷重成分及び強度容量の各成分に対し、部分係数を用いることにより、異なる原因に起因する不確定要素及び変数の影響を分離する。WSD法はPF法と同じく限界状態を述べているが、ひとつの使用要素（1つの安全率又は許容応力）により不確定性の影響を説明する手法である。PF法は、複雑な荷重や構造モデルに対し、より柔軟で、かつ、最適な設計評価ができる手法である。
- (d) 強度評価のうち、縦曲げ最終強度評価を除く規定は、WSD法に基づき、構造設計の検証に用いられている。
- (e) WSD法もPF法の評価方法は、4.5.1.3及び4.5.1.4に記載されている。

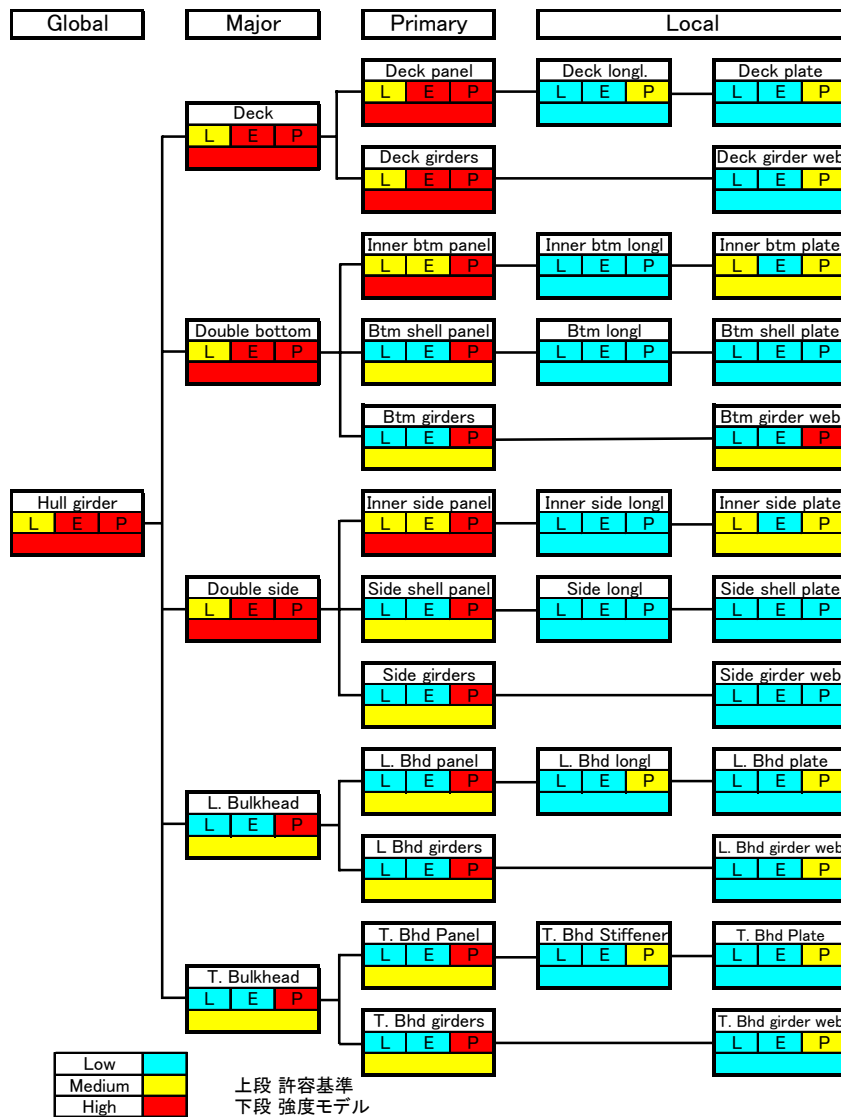


図 4.2.1 船体構造の危険度階

4.6 安全性に関する同等性の原則

規則が対象としている構造配置や新設計の取り扱いを規定したものである。

5 原則の適用

原則の適用に関し、その概要を説明する規定であり、本内容の解説は、個々の要件の解説に含まれる。

3 節 規則の適用

1 船級符号への付記

1.1 船級符合への付記

CSR-T 編の要件を全て満足している船には、それが明確に識別できるよう、船級符号に、“CSR”を付記する。なお、本規定は、鋼船規則A編の規定と重複するが、CSR-T 編単独でもその旨がわかるよう IACS で採択された通り規定することとした。

2 書類、図面及び資料に関する要件

2.1 及び 2.2 書類、図面及び資料に関する要件

提出図面などについては、CSR-T 編で記載されるもののほか、鋼船規則 B 編で要求されるものを提出する必要がある。なお、CSR-T 編で要求される構造図面では、切替基準に関わる情報を含める必要がある。本件に関しては、12 節の解説に記載する。また、コンピュータソフトに関して、“認証した規則計算ソフト”とは、本会の承認を得たものではなく、本会が承認するときに使用するソフトウェアにより確認されたものを意味し、本会（各船級協会）はソフトウェアの承認は行わない。

5 寸法要件の計算及び評価

5.1 板部材に対する寸法要件

板の寸法を詳細に決定するために、理想化された基本板パネルの概念を導入した。本概念は、CSR-B 編と共通である。基本板パネルの決定法及びそのときの荷重評価点の詳細は、規則に図示されている通りである。本概念では、1 条の板であっても、複数個の基本板パネルに分割され、その最大の要求寸法が、当該板の要求寸法となる。

なお、縦曲げによる直応力は、板厚算式においては、基本板パネルの中央における値を用い、座屈強度評価では、基本板パネルの幅方向の分布を考慮する必要がある。

5.2 防撓材の寸法要件

縦及び水平の防撓材のスパン（フルスパン）は、桁部材間の距離とし、寸法評価における荷重は、防撓材のスパン中央の値を用いる。横及び垂直の防撓材にあっては、スパン中央における荷重が防撓材両端における荷重の平均値が一樣に作用すると仮定している。また、局部強度評価において縦曲げ応力を考慮する場合は、基本的に防撓材の面材側の頂点における値を考慮することとしている。

なお、防撓材の材質が HT36 或いは HT40 で、防撓材が

取り付けられる板部材の材質が MS の場合は、板側の断面係数と面材側の断面係数、防撓材と板部材の規格降伏強度及び縦曲げ応力による条件式を満足しない限り使用することができないことに留意する必要がある。

4 節 基本情報

1 定義及び用語

IACS Rec. No.82“検査員のための用語、船体及び船体検査の用”を、用語の定義として記した。

2 構造の理想化

2.1 スパンの定義

2.1.1 局部支持部材の有効曲げスパン

現行 C 編に規定する防撓材の寸法算式では、二重底内及び二重船側内に有効な支持部材により防撓材が支持されている場合、防撓材の曲げ強度評価において、その効果をスパン修正として考慮している。本規則においても、同様であるが、ブラケットを追設した場合や、単船殻構造において桁部材の両側にブラケットを設ける場合、二重船殻構造の場合と同様にスパン修正をできることとしている。ブラケットの形状が三角形或いは曲縁を有する場合であっても、ブラケットの高さが、防撓材の深さの半分に相当する箇所をスパンポイントとすることができることにしている。

2.1.2 局部支持部材の有効せん断スパン

現行鋼船規則 C 編に規定する防撓材の寸法算式では、せん断強度に関する規定をしていない。これは、防撓材スパン(l)が有意な長さであり、かつ、ウェブ深さ (hw) に比べ大きい場合、曲げ強度が支配的なためである。しかし、防撓材のスパンが短く、かつ、相対的にウェブ深さとの比が小さくなるとせん断強度が問題となる場合がある。

そこで、防撓材のせん断強度を評価するために、スパンの取り扱いを記載している。一般に、せん断力は、桁部材も分担するため、せん断を考慮するときのスパンは、次式（規則 2.1.2.4）に示すように、防撓材のフルスパン（桁部材間の距離）より短いと仮定することができる。

$$l_{shr} \leq l_{full} - s / 2000$$

ここで、

l_{shr} : 有効せん断スパン (m)

l_{full} : 防撓材のフルスパン (m)

s : 防撓材間の心距 (mm)

ブラケットが取り付けられる場合は、それを考慮した有効せん断スパンとすることができる。

2.2 及び 2.3 心距及び支持幅の定義

桁部材及び防撓材の端部及びスパン中央部に対し、DNV 規則（Shade 理論に基づく有効幅）を規定した。なお、本

規定は、CSR-B 編における防撓材の疲労強度評価における有効幅と同一である。

2.4 局部指示部材の幾何学的性能

腐食予備厚の取り扱いを明示している。バルブプレートについては、代表的なものに対し簡易に算定できるよう等価な型鋼に置き換える換算表を用意している。また、防撓材のせん断面積の算定において、防撓材が取り付けられる板の板厚を含む防撓材深さとしている点が現行鋼船規則 C 編や CSR-B 編の考え方と異なるので留意する必要がある。

3 構造詳細設計

3.1 標準構造詳細

提出詳細図書に関する要件は、ABS規則Pt 3, Ch 1, Sec 2, 15.1に基づいている。

3.2 局部支持部材の終端部

3.2.1 一般

これらの要件は、ABS規則Pt 3, Ch 1, Sec 2, 15.3及びPt 3, Ch 2, Sec 5, 1.5及びDNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 3, C 201に基づいている。

3.2.2 縦通部材

これらの要件は、LR規則LR Rules Pt 3, Ch 5, 4.1.2, 及びDNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 8, A403の規定に基づいている。

3.2.3 ブラケット結合

これらの要件はABS規則Pt 3, Ch 2, Sec 5, 1.5及びLR規則Pt 3, Ch 10, 3.3.1及び3.5.1の規定に基づいている。肘板の寸法式はDNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 3, C200に基づいている。式はネット寸法及び規則の考え方に整合させるために材料係数の代わりに降伏応力比に変更されている。規則の図4.3.1はDNVの慣例に基づいた第4節3.2.3.3及び3.2.3.4の要件の適用を明確にしている。

3.2.4 ブラケットのない結合

これらの要件は、LR規則Pt 3, Ch10, 3.1.1及び3.5.2並びにABS規則3-2-5/1.5に基づいている。

3.2.5 スニップ端部

これらの要件は、DNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 3, C204及びABS規則Pt 3, Ch 1, Sec 2, 15の規定に基づいている。また、算式は、DNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 3, C 204で使用されている算式の腐食予備厚を除き同じである。

3.2.6 空気孔、排水孔及びスカラップ

これらの要件はLR規則Pt 3, Ch 10, 5.3.3に基づいている。なお、規則に示す図は、スカラップの標準的形状の幾つかの例を示すために一般貨物船の建造標準を参考として記載したものである。

3.2.7 特別要件

本規定は、LR規則Pt 3, Ch 10, 5.3.3に基づいている。

3.3 主要支持部材の終端部

3.3.1 一般

これらの要件はLR規則Pt 3, Ch 10, 4.3.1及び4.3.2の規定

に基づいている。

3.3.2 端部結合

これらの要件はLR規則Pt 3, Ch 10, 4.3.3, 4.3.4及び4.3.5及びDNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 3, C 301の規定に基づいている。

3.3.3 ブラケット

これらの要件はLR規則Pt 4, Ch 9, 10.13.1及び10.13.2及びDNVの規則Pt 3, Ch 1, Sec 3, C302の規定に基づいている。ブラケット面材の断面積に関する算式は、DNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 3, C302と同じである。

3.3.4 ブラケットの先端

本要件はLR規則Pt 3, Ch 10, 5.1.6及び5.1.7及び一部分は、ABS規則Pt 3, Ch 1, Sec 2, 15.3の規定に基づいている。なお、図はLR規則Pt 3, Ch 10, 5.1, 図10.5.1を写したものである。

3.4 連続した局部支持部材と主要支持部材の交差部

3.4.1 一般

一般要件は3.4.1.4の規定を除きLR規則Pt 3, Ch 10, 5.2.1に基づいている。3.4.1.4の規定の目的は縦通防撓材とウェブ防撓材の結合部の局部応力を減少させることである。当該ウェブの配置及び寸法は、3.4.3により評価することになるが、特に船底、船側及び二重底縦通材と取り合うウェブ防撓材のヒール付近では特に非常に高い局部応力を受けやすく、損傷が多く報告されているため、ウェブ防撓材の基部をソフトにして応力を緩和させる旨追記したものである。問題は、船底縦通肋骨及び内底板縦通肋骨に対して重大な影響がある低サイクル疲労と、船側外板との結合部に対して支配的な影響となる高サイクル疲労の組合せである。

3.4.2 スロットの詳細

本規定は、LR規則Pt 3, Ch 10, 5.2.2に基づいている。

3.4.3 主要支持部材と交叉する防撓材の結合（局部支持部材）

ウェブ防撓材の配置及び寸法に関する規定で、CSRの基本的な考え方であるネット寸法手法及び荷重条件に基づき、LR規則Pt 3, Ch 10, 5.2.3から5.2.15の規定を修正して取り入れたものである。

3.5 開口

3.5.1 一般

開口の配置に関する一般的な規定であり、LR規則Pt 3, Ch 10, 4.6.2及び5.3.1並びにABS規則Pt 5, Ch 1, Sec 4, 11.7及びDNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 3, C500及びC600に基づく。

3.5.2 補強の必要がない単板の断面のマンホール及び軽目孔

本要件はLR規則Pt 3, Ch 10, 4.6.1に基づく。

3.5.3 補強の必要がない複板の断面のマンホール及び軽目孔

本要件はLR規則Pt 4, Ch 1, 8.2.8及びPt 4, Ch 9, 9.3.7に基づく。

3.5.4 補強を要するマンホール及び軽目孔

本要件はDNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 3, C606の規定を、CSR-T編の判定基準と整合するよう修正したものである。

3.6 局部補強

3.6.1 ナックル部の補強

本要件はDNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 3, C700に基づく。

5 節 構造配置

1 一般

1.1 一般

1.1.1 範囲

本規定は、ABS 規則 1-1-5 による。

2 水密区画

2.1 水密隔壁の配置

2.1.1 一般、及び 2.1.2 水密隔壁の最小数及び配置

SOLAS 条約 Reg.II-1/11 に基づくもので、鋼船規則 C 編 13.1 の規定に対応している。

2.2 船首隔壁の位置

2.2.1 一般

SOLAS 条約 Reg.II-1/11.2, 11.3 及び 11.4 に基づくもので、鋼船規則 C 編 13.1.1 の規定に対応している。

2.3 船尾隔壁の位置

2.3.1 一般

本規定は、LR 規則 Pt 3, Ch 3, 4.3 によるもので、SOLAS 条約 Reg.II-1/11.9 に基づくとともに、船尾隔壁の高さについては、同 Reg.II-1/10.7 の旅客船に対する要件を準用している。鋼船規則 C 編 13.1.2 及び 13.1.5 (3) の規定に対応している。

3 二重船殻配置

3.1 一般

3.1.1 貨物タンクの保護

本規定は、MARPOL 条約の関連規則(附属書 I の Reg.13F) から抜粋しており、海洋汚染防止のための構造及び設備規則 3 編 3.2.4 (1) の規定に対応している。

3.1.2 バラストタンクの容量

本規定は、MARPOL 条約の関連規定(附属書 I の Reg.13 (2)) から抜粋しており、海洋汚染防止のための構造及び設備規則 3 編 3.2.3 (1) の規定に対応している。

3.1.3 貨物タンクの大きさ及び配置の制限

本規定は、MARPOL 条約の関連規定(附属書 I の Reg.24) から抜粋しており、海洋汚染防止のための構造及び設備規則 3 編 3.2.1 の規定に対応している。

3.2 二重底

3.2.1 二重底高さ

本規定は、MARPOL 条約の関連規定(附属書 I Reg.13F (3)(b)) から抜粋しており、海洋汚染防止のための構造及び

設備規則 3 編 3.2.4(1)(a)ii) の規定に対応している。

3.3 二重船側

3.3.1 二重船側幅

本規定は、MARPOL 条約の関連規定(附属書 I Reg.13F (3) (a)) から抜粋しており、海洋汚染防止のための構造及び設備規則 3 編 3.2.4(1)(a)i) の規定に対応している。

4 区画の分離

4.1 貨物タンクの分離(4.1)

4.1.1 一般

本規定は、SOLAS 条約 Reg.II-2/4.5.1 に基づくもので、鋼船規則 R 編 4.5.1 の規定に対応している。

4.2 コファダム区画

4.2.1 一般

点検設備に関する記述については、SOLAS 条約 Reg.II-1/3-6.2.1 の記述に基づいている。

5 点検配置

5.1 貨物タンク区域内及び前方の区画への交通

5.1.1 一般

5.1.1.a 本規定は、LR 規則 Pt 4, Ch 9, 13.2 及び ABS 規則 5-1-1/5.19 に基づくもので、SOLAS 条約 Reg.II-2/ 4.5.2.4 及び Reg.II-1/25-9.2 にもよっている。(該当部分は鋼船規則 R 編 4.5.2-4.及び鋼船規則 C 編 13.3 の規定に対応している。) 5.1.1.b 5.1.4 に『垂直船側バラスト区画の各水平桁及び暴露甲板に少なくとも 1 個の 600mm×800mm の開口をもつ水平交通用の開口を設けなければならない。』と規定しているが、LR 規則に基づく追加の安全措置で、SOLAS 条約の最低要件による交通を与えるものである。また、構造配置上、600mm×800mm の開口が現実的で無い場合について、600mm×600mm の開口を許容することを規定している。SOLAS 条約 Reg.II-1/3-6 に関連する事項については、鋼船規則 C 編 35.2 の規定と対応している。

6 節 材料及び溶接

1 鋼材のグレード

1.1 船体構造用鋼材

1.1.1 適用

材料に関する適用は、各船級協会ともほぼ同様であるため、鋼船規則C編及びK編を参照することとした。なお、CSR-T編は、ステンレス鋼及びステンレスクラッド鋼など一般鋼材以外の材料の取り扱い、各船級規則によることとしている。

1.1.3 材料のグレード

鋼船規則C編及びK編において、高張力鋼は、F級鋼を規定しているが、CSR-T編では、F級鋼の使用に関する規定がないため、E級鋼までとしている。

1.1.4 高張力鋼係数

鋼船規則C編及び鋼船規則K編に規定していない降伏応力が $265N/mm^2$ 及び $340N/mm^2$ の鋼材は、現行LR及びDNV規則にある規定を取り入れたものである。その他の材料は、現行規則の通りである。なお、降伏応力が $390N/mm^2$ の材料のハルガーダ強度に対応する材料係数は、IACS URでは採択されていないが、各船級協会の取り扱いである0.68としている。また、高張力鋼の降伏応力の取り扱い方及び局部強度解析への適用についてはここでは取り扱わない。これらについては、直接強度解析の規則の部及び規定要件で扱う。原則として、高張力係数は縦強度及び限定された局部要素に適切に適用する。原則として、強度限界を決めるのに、局部部材寸法要件は降伏強度を用いる。

1.2 鋼材の適用 (1.2)

1.2.1 材料グレードの選択

本規定は、IACS UR S6に基づく。なお、UR S6は、すべての船舶に適用する規定であるため、タンカーには適用されない規定も含まれるが、UR S6の通り規定した。

1.2.2 適用する板厚

LR規則では、建造時板厚に対応する鋼材の最低要求グレードを規定しており、それを採用した。なお、鋼材の使用区分の備考にある詳細な取扱いは、現行のLR規則及びDNV規則に基づくものである。例えば、表6.1.3の備考(8)は、DNV規則を取り入れたものであり、備考(9)及び(10)は、LR規則を取り入れたものである。

1.2.3 低温環境域での運航

IACS UR S6には、低温環境域で運航する船の鋼材のグレードを定めているが、これらは、適用可能なIce Classに基づいて決めるべきであり、Ice Classを扱う要件は、本規則とは独立に取り扱うべきとの判断から、個々の船級協会によるものとした。なお、IACS UR S6の一般的に適用される規定は、設計温度を明記していないが、その背景では、最低平均気温 $-20^{\circ}C$ を想定している。CSR-T編では、CSR-T編第2節に定めるように、最低平均気温を $-15^{\circ}C$ と厳しくしている。

1.3 アルミ合金

1.3.1 一般

アルミ合金は、タンカーの限られた局部要素にのみ適用可能であるので、材料及び部材寸法要件は、個々の船級協会によるものとした。

1.3.2 鋼との衝撃による発火性スパーク

本規定は、LR規則Pt 4, Ch 9, 2.3.1に基づいている。

2 塗装を含む腐食防止

2.1 船体の防食

2.1.1 一般

本規定は、本規則がバラストタンクの腐食防止に関するSOLAS条約Reg.II-1/3-2の要件を満足すること目的として

いる。なお、IMOにて議論されていた”Performance Standard for Protective Coatings for ballast tanks and void spaces”については、船主の強い要望により取り入れることとした。本件については、2006年5月に開催されたIMO MSCにおいて承認され、2006年12月に開催されるMSCにおいて採択される予定である。本要件がIMOで採択されると、その日以降建造契約される船舶は、IMOにおける適用日より早く適用することになる。また、アノードに関する規定は、DNV規則Pt 3, Ch 3, Sec 7, A203に基づいている。

2.1.2 内部電気防食システム

本規定は、DNV規則Pt 3, Ch 3, Sec 7, B300及びLR規則Pt 3, Ch 2, 3.3及び3.4による。

2.1.3 アルミを含有する塗料

本規定は、LR規則Pt 4, Ch 9, 2.3.3による。

3 腐食予備厚

3.1 一般

腐食予備厚は、ネット寸法手法を採用した構造規則においては、新造船の構造強度評価に際して用いた値と、就航後の腐食衰耗における鋼材の切替基準に関係して定まる。これらの技術的な背景は、CSR-B編の腐食予備厚と共通である。(本解説の第3部参照)

なお、ステンレス鋼及びステンレスクラッド鋼の腐食予備厚は、各船級協会規則によることとしている。

3.2 局部腐食予備厚

局部腐食予備厚 t_{corr} は、特定の構造要素の腐食環境に応じた腐食量 t_{was} に、2.5年の検査間隔で進行すると予想される最大腐食量に相当する $0.5mm$ を加えることにより導かれる。即ち、 $t_{corr}=t_{was}+0.5$ となる。腐食予備厚と衰耗限度に関する解説は、12節に記載する。

3.3 腐食予備厚の適用

各強度評価における腐食予備厚の適用を、表4.6.1に示す。

表 4.6.1 腐食予備厚

		腐食予備厚	HG 応力	
局 部 支 持 部 材	板厚	t_{corr}	$0.5t_{corr}$	
	最小板厚	t_{corr}	NA	
	断面性能	t_{corr}	$0.5t_{corr}$	
主 要 支 持 部 材	板厚	$0.5t_{corr}$	$0.5t_{corr}$	
	最小板厚	t_{corr}	NA	
	断面性能	$0.5t_{corr}$	$0.5t_{corr}$	
HG	断面性能	$0.5t_{corr}$	$0.5t_{corr}$	
	座屈	t_{corr}	$0.5t_{corr}$	
	縦曲げ最終強度	$0.5t_{corr}$	$0.5t_{corr}$	
FEA	応力評価	$0.5t_{corr}$	$0.5t_{corr}$	
	座屈評価	t_{corr}	$0.5t_{corr}$	
疲 労 強 度	防撓材		$0.5t_{corr}$	
			$0.25t_{corr}^{*1}$	
	FEA	一般	$0.25t_{corr}^{*1}$	$0.25t_{corr}^{*1}$
		詳細	$0.5t_{corr}$	$0.5t_{corr}$

*1 代替手法 (係数 f_{model} を使用する手法) の場合、 $0.5t_{corr}$ とする。

4 組立

4.1 一般

4.1.1 工事

本規定は、ABS規則3-1-2/9に基づく。なお、欠陥修理の記述は、LR規則Pt 3, Ch 1, 8.2.1による。

4.1.2 組立標準

本規定は、ABS規則3-1-2/15.5に基づく。なお、基準としては、IACS Rec. No.47, *Shipbuilding and Repair Quality Standard* 又は船級協会に認知された基準としており、JSQSなどの基準も適用できるようにしている。

4.2 冷間加工

4.2.1 特殊構造部材

特殊構造部材（材料の使用区分の分類に用いられる部材で、例えば、丸型ガンネルやビルジ外板の曲げ加工部が該当する）の冷間加工は、ABS規則Pt 2, Ch 4, Sec 1, 3.13を基として、LR及びDNVの海洋構造物に対する取り扱いを参考に、おおよそ5%の冷間変形に対応する、板厚の10倍という最小半径を規定した。ステンレス鋼に対する基準は、ここでは適用できない。

4.2.2 その他の部材及び 4.2.3 追加要件

その他の部材に対する冷間加工及び追加要件は、DNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 3による。

4.3 熱間加工

4.3.1 温度要求

熱間加工に関する一般的な予防措置は、ABS規則2-4-1/3.13及び2-4-1/1.9 (TMCP 鋼板対象)に基づく。

4.3.2 線状加熱又は点焼き法

線状加熱又は点焼き法に関する規定は、LR規則Pt 3, Ch 10, 2.12.17に基づく。

4.4 溶接

溶接に関する規定は、LR規則Pt 3, Ch 10の該当規定に基づく。

5 溶接設計と寸法

5.1 一般

5.1.1 範囲

溶接工事をする場合は、ネット寸法ではなく実際の最終寸法であることから、溶接寸法は、グロス寸法である旨規定した。

5.1.2 図面と仕様書

溶接に関する提出図面の要件は、ABS規則3-2-19/1.1.1による。

5.1.3 許容値の要件

本規定は、ABS規則3-2-19/1.1.2に基づく。なお、2mmギャップのすみ肉溶接に対する取り扱いは、IACS Rec. No.47 *Shipbuilding and Repair Quality Standard* と同一とした。

5.1.4 特別な予防策

本規定は、ABS規則3-2-19/1.1.3による。

5.2 突合せ継ぎ手

5.2.1 一般

本規定は、DNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 12, B100による。また、規則に示す図は、IACS Rec. No.47, *Shipbuilding and Repair Quality Standard* から引用しているが、上述のように船級協会が認める他の工作基準も使用できるため、同図は、単なる指針である旨注記を入れた。

5.2.2 突合せ継ぎ手の板厚差

本要件は、ABS規則2-4-1/3.1, LR規則Pt 3, Ch 10, 2.2.1及びDNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 12, B102に基づく。なお、板厚差のある場合の取り扱いについて、ABS及びLRは3mmとしているが、DNV規則及び他船級協会規則を考慮して、4mmまで許容することとした。

5.3 T継手又は十字継手

5.3.1 一般

本規定は、DNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 12, B300に基づく。また、規則に示す図はIACS Rec. No.47, *Shipbuilding and Repair Quality Standard* から引用しているが、上述のように、船級協会が認める他の工作基準も使用できるため、同図は単なる指針である旨注記を入れた。

5.3.2 連続溶接

本規定は、LR規則Pt 3, Ch 10, 2.6.9の一部用語を明確にして取り入れた。

5.3.3 断続溶接

本規定は、ABS規則3-2-19/3.5及びLR規則Pt 3, Ch 10, 2.6.10に基づく。

5.3.4 完全又は部分溶込の継手又はT継手

本規定は、DNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 12, C201及びC203に基づく。

5.4 重ね継手

本規定は、LR規則Pt 3, Ch 10, 2.3.1, DNV規則Pt 3, Ch 1, Sec .12, B200及びABS規則3-2-19/11に基づく。なお、重ね継手の重ね幅は、LR規則に基づくものである。また、規則に示す図は、IACS Rec. No.47, *Shipbuilding and Repair Quality Standard* から引用しているが、上述のように、船級協会が認める他の工作基準も使用できるため、同図は、単なる指針である旨注記を入れた。

5.5 スロット溶接

5.5.1 一般

本規定は、ABS規則3-2-19/13及びDNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 12, C601に基づく。スロット溶接の間隔は、DNV規則に基づく。また、規則に示す図はIACS Rec. No.47, *Shipbuilding and Repair Quality Standard* から引用しているが、上述のように船級協会が認める他の工作基準も使用できるため、同図は、単なる指針である旨注記を入れた。

5.5.2 ふさぎ板及び 5.5.3 舵のふさぎ板

本規定は、LR規則Pt 3, Ch 10, 2.4及びPt 3, Ch 13, 2.2.5に

基づく。

5.6 スタッド溶接

5.6.1 一般

本規定は、LR規則Pt 3, Ch 10, 2.5.1 に基づく。

5.7 溶接寸法の決定

5.7.1 一般

- (a) 5.7.1.1の規定は、溶接寸法の丸め方を示したもので、0.5mm単位で最も近い値に丸めること、即ち、2捨3入を標準としている。(ABS規則3-2-19/1.1.1も参照)
- (b) すみ肉溶接寸法は、LR規則及びDNV規則では、のど厚としているが、実際的な面を考慮してABS規則にある脚長の規定とした。
- (c) すみ肉溶接寸法を定める算式は、DNV規則 (Pt 3, Ch 1, Sec 12, C100) を参考に、脚長となるよう変更したものである。なお、溶着金属の降伏応力に関する値は、IACS UR W17に定める最低溶着金属降伏強度とした。
- (d) 表6.5.2に示す最小脚長は、LR規則Pt 3, Ch 10, Table 10.2.2を脚長に変換し、かつ、薄板への適用を7.5mmから6.5mmに改めている。
- (e) 5.7.1.5のスラブ縦通材に対する規定及び5.7.1.6のギャップ間隔に応じた取り扱いは、ABS規則に基づく。

5.7.2 主要構造要素のすみ肉継手溶接

表6.5.1は、薄板に対して厳しいABS規則と厚板に対して厳しいLR規則を調整して定めたものである。

5.7.3 主要構造部材の溶接

本規定は、LR規則Pt 3, Ch 10, 2.7.1から2.7.4に基づき、表6.5.4は、LR規則Pt 3, Ch 10, Table10.2.3ののど厚に対する規定を脚長に対するものに変換したものである。

5.7.4 主要構造部材の端部接続溶接

本規定は、LR規則Pt 3, Ch 10, 2.8.1に基づく。

5.7.5 防撓材端部溶接

本規定は、LR規則Pt 3, Ch 10, 2.8.2から2.8.6に基づく。また、表6.5.5は、LR規則Pt 3, Ch 10, Table10.2.4に基づき、のど厚を脚長に変換したものである。

5.8 高引張応力を受ける構造の溶接

5.8.1 最小脚長

本規定は、DNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 12, C200に基づく。なお、高いせん断応力を受ける構造の溶接寸法を求める算式については、溶接脚長を修正することとした。

5.9 溶接寸法の削減

5.9.1 一般

規定する溶接寸法を軽減する場合の取り扱いを明記した。この場合、軽減する前の溶接寸法と軽減した溶接寸法を併記しなければならないことに注意を要する。

5.9.2 制御されたギャップ

本規定は、ABS規則3-2-19/9.3に基づく。

5.9.3 完全溶込溶接

本規定は、LR規則Pt 3, Ch 10, 2.6.3及びABS規則3-2-19/9.5に基づく。即ち、LR規則は、15%と20%の間の削減量としているが、ABS規則では1.5mmを超えないとしているため、それらを組み合わせて規定した。

5.9.4 管理された溶接材料

本規定は、DNV規則に基づく品質管理システムと関連づけた軽減規則である。

5.10 梁柱とクロスタイの端部固着

5.10.1 有効溶接面積

本規定は、DNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 12, C303に基づく。なお、梁柱及びクロスタイの溶接寸法決定の算式は溶着金属に対する余裕を含むため、単純に溶接面積計算、即ち、(有効のど面積 × 溶接長さ)としている。

5.11 代替要件

5.11.1 一般

本規定は、ABS規則3-2-19/17に基づく。

7 節 荷重

1 一般

適用規定、座標系、符号の定義を規定した。

2 静的荷重成分

2.1 静水中ハルガーダ荷重

2.1.1 許容ハルガーダ静水中曲げモーメント

2.1.1.a 許容静水中曲げモーメントは、設計を評価するために必要不可欠である。

2.1.1.b 規則は、最小許容静水中曲げモーメント及びその分布を与えている(規則2.1.2参照)。しかしながら、設計者が強度評価のためのベースとして使用するより大きいモーメントを規定することは自由である。

2.1.1.c 最小許容静水中曲げモーメントは、その分布曲線が必ずしも横置隔壁位置で最大にはならないため、横置隔壁位置に加え船倉中央におけるものも要求される。

2.1.1.d ハルガーダ静水中曲げモーメント制限に関するガイダンスノート(規則では「備考」としている。)は、規則要求ではないが、設計過程の最終段階での、船殻重量の変化による設計変更などを避けることを推奨するために設けた。許容静水中曲げモーメントが特定の積付状態に対して与えられており、船殻重量の変化によりモーメントが増加する場合は、最新の許容曲げモーメントに基づき、船体強度の再評価を要求されることがある。

2.1.2 最小ハルガーダ静水中曲げモーメント

2.1.2.a すべての船において、ローディングマニュアルに含まれている積付状態に関係なく、ある程度の運航上の柔軟性を持つことを確保するため、最小ハルガーダ静水中曲げモーメントに関する規定を設けた。

2.1.2.b 最小ハルガーダ静水中曲げモーメントの規定は、

IACS UR S7及びUR S11に基づいている。UR S7は最小ハルガーダ断面係数を、UR S11は許容ハルガーダ応力及びハルガーダ波浪曲げモーメントを規定している。2つの要件を組み合わせることにより、この2つの基準を満たす最大許容ハルガーダ静水中曲げモーメントを求めることが出来る。

2.1.2.c 2.1.2bに述べている運用はホギングとサギング両方に対してなされている。その結果のモーメントは、典型的な二重船殻油タンカーに対し、適切な数の積付状態及び運航の柔軟性を有するローディングマニュアルにある許容静水中曲げモーメントと比較される。最小の静水中ホギングモーメントは、船の許容ホギングモーメントとよい整合性を示している一方で、最大許容IACSハルガーダ静水中サギングモーメントは、前述のローディングマニュアルの積付状態における最大サギングモーメントより顕著に高くなっている。

2.1.2.d 最小の静水中曲げモーメント値を設ける目的は、セーフティネットを与えることであり、部材寸法を決めることではない。これと上記に基づき、最小静水中サギングモーメントは、URで規定する許容サギングモーメントに0.85を掛けて調整することとした。

2.1.2.e 港湾運航に対する規則最小ハルガーダ静水中曲げモーメントは、荷役中の合理的な柔軟性を許容するために、海上運航に対する許容静水中曲げモーメントより25%高とした。この25%という値は、実際の海上と港内状態の調査及び運航者との討議に基づき決定したものである。

2.1.2.f 最小ハルガーダ静水中曲げモーメントと同じように、規則中の図7.2.1に与える静水中曲げモーメント分布は、船が合理的に運航上の柔軟性を持つことを確実にするために定めた。

2.1.3 静水中せん断力

2.1.3.a 許容静水中せん断力は、設計を評価するために許容静水中曲げモーメント同様必要不可欠である。

2.1.3.b 許容ハルガーダせん断力は、包絡曲線を与えて、横置隔壁に向かっての縦通隔壁の局部補強の範囲を評価することが出来るようにするため隔壁位置に加えて、船倉中央位置についても算定するよう要求した。

2.1.3.c ハルガーダ静水中せん断力制限に関するガイダンスノート（規則では「備考」としている。）については、2.1.1.d参照のこと。

2.1.4 最小ハルガーダ静水中せん断力

2.1.4.a 規則最小ハルガーダ静水中せん断力は、すべての船舶がローディングマニュアルに含まれる状態に関わらず柔軟性のある運航を有することを確保するために含まれる。

2.1.4.b 算式は、隣接貨物倉間の貨物重量、鋼材重量及び浮力の違いにより生じる局部せん断力を示す。

2.1.4.c 横置隔壁間の鋼材重量は、次式で表される。

$$W_{steel-weight} = 0.1\rho g B_{local} l_{tk} T_{SC} \quad (kN)$$

ここで、

ρ : 貨物油/海水密度で、 $1.025 t/m^3$ 以上とする。

g : 重力加速度で、 $9.81 m/s^2$ とする。

B_{local} : 考慮しているタンクの長さ方向の中央位置で、 T_{SC} における幅 (m)

l_{tk} : 考慮する横置隔壁の前方又は後方から測られる、考慮している貨物油タンク長さ (m)

T_{SC} : 規則4節/1.1.5.5に規定する最大喫水 (m) とする。

この簡易算式は、プロダクトキャリアからVLCCまでの典型的なタンカーの鋼材重量から導かれたものである。

2.1.4.d 最小の正及び負の静水中せん断力の算式は、規則付録Bの表B2.3及び表B2.4のFEAに対し規定される積付状態に合致する。

2.1.4.e 規則7節2.1.4で与えられる最小値は、貨物油タンク間の横置隔壁箇所に適用する。他の箇所に対しては、せん断力は、規則7節2.1.3.5及び2.1.3.6に与えられる。

2.2 局部静的荷重

2.2.1 一般

考慮する局部荷重は、(a) 静水圧、(b) 静タンク圧、(c) タンク超過圧及び(d) 船用品及び艀装機器による静甲板荷重を考慮する。

2.2.2 静水圧

静水圧は、重力による静水圧水頭とする。ロールによる船舶の傾斜が生じる静水圧は、準静的荷重として、動的波浪圧の計算において考慮する。

2.2.3 静タンク圧

静タンク圧には、種々の荷重シナリオ及びタンク形式に適用可能な種々の項が含まれる。これらは表4.7.1に示すように種々の成分に分けられている。

2.2.4 分布荷重による甲板静荷重

載貨は均一分布すると仮定し、圧力式は、荷重と投影荷重面積より導かれる。

2.2.5 大きい重量を有する設備からの甲板静荷重

大きい重量を有する貨物設備による静荷重は、当該設備の重力による力とする。

表4.7.1 静的タンク圧力及び超過圧

圧力	説明
P_{in-tk}	液体による静圧。圧力は、タンクが100%積載されたと仮定し、最高点から計測する。
P_{in-air}	上記と同様であるが、超過注水できる/されるバラスタタンク及び他のタンクのみ適用する。圧力は、空気管の上端又はオーバーフロー管の上端から計測する。この状態は、航海状態及び停泊状態でフロースルーバラスタ水交換中のタンクを考慮するときに用いられる。
P_{drop}	オーバポンピング中の空気管中の抵抗による圧力増加。バラスタタンクに対して、 25 kN/m^2 とし、他のタンクに対してゼロとする。実際の P_{drop} があれば、それを 25 kN/m^2 の替わりに用いるべきである。
$P_{in-flood}$	浸水時の水密隔壁における設計圧力を考慮する。荷重作用点は、適用可能な損傷時復原性計算から得られる損傷時状態下における最も深い平衡喫水線から計測する。
$P_{in-test}$	タンクテスト間のタンク圧。規則2節/表2.5.1及び規則11節11.5.1を参照
P_{valve}	圧力逃し弁の設定圧力。貨物タンクには圧力逃し弁が取り付けられる。 25 kN/m^2 とする最小圧力を構造試験に用いる。 P_{valve} は、圧力逃し弁が取り付けられるタンクにのみ適用される。このため、分離バラスタタンクには適用されない。

の75%とした。これは、スラミング影響、船首没水、付加波浪抵抗及び自主的な減速を考慮したためである。

3.1.2.b 発生確率は、以下の通り、最終的に規則に用いられる荷重及び選択した構造評価法に対し適切に適用できるものとした。

- (a) 疲労評価の荷重は、超過確率 10^{-4} レベルにおけるものである。この確率レベルは、平均的な運航における荷重を表すものとして与える。 10^{-4} は参照確率レベルであり、ワイブル (Weibull) 形状パラメータとゼロクロス平均周期と共に、予測される荷重履歴を定義する。
- (b) 強度評価用荷重は、超過確率 10^{-8} レベルにおけるものである。この確率レベルは、強度能力を評価するのに使われる設計寿命中の予測最大荷重を表すものとして与える。

3.1.2.c 線形波浪に誘起される船の運動、加速度、ハルガーダ荷重及び波浪変動圧に対する算式は、 10^{-8} 及び 10^{-4} の両方の確率レベルに対して与えた。

3.1.2.d 部材寸法要件及び強度評価に対して、非線形波浪影響を説明するための修正係数を、線形荷重に適用する。横波状態において、強度評価のために、運航面を考慮する修正係数を線形荷重に適用する。

3.1.2.e 船速影響を考慮した修正係数は、疲労強度評価用線形荷重に適用される。また、 10^{-8} レベルの荷重から 10^{-4} レベルの荷重に調整するための調整係数が適用される。

3.1.3 メタセンタ高さとロール回転半径

3.1.3.a 横メタセンタ高さ GM 及びロール回転半径 $r_{roll-gyr}$ の典型的な値を規則で与えた。 GM の値は、ローディングマニュアルに記載されるタンカーの典型的な積付状態のデータを基に概算した。

3.2 船体運動

3.2.1 一般

3.2.1.a ロール及びピッチ運動は、超過確率 10^{-8} レベルのみの値を与えた。

3.2.1.b ピッチ周期 U_{pitch} に対し、速度影響が疲労強度評価用ピッチ周期に含まれる。ピッチ周期は加速度を定めるのに使われる。

3.2.2 ロール運動

3.2.2.a ロール周期 U_{roll} は、ロール固有周期を表すために与えた。付加質量影響として2.3を考慮した。

3.2.2.b ロール振幅 θ は超過確率 10^{-8} レベルにおけるロール角の包絡値となる算式を与えた。 θ はロール周期の影響と共に、ビルジキールの影響、質量分布及びロール周期に対する GM を考慮した。

3.2.2.c ロール角は、ロール固有周期 U_{roll} に依存しており、また、波浪頻度分布の平均周期と関係する。規則で与える算式は、ロール固有周期と相互に関連され、波浪エネルギー

3 動的荷重成分

3.1 一般

3.1.1 基本成分

動的荷重の基本は、標準的な長期統計予測であり、以下の適用を含む。

- (a) 北大西洋の波浪環境を代表するもの。適用する詳細な波浪データ及び短期と長期統計予測方法は、IACS Rec. No.34に基づく。
- (b) Piersion-Moskowitz型波浪スペクトル。
- (c) 波浪エネルギー伝播 \cos^2 。
- (d) すべての波浪方向に対し均等な確率。
- (e) 船/波の30度刻みでの、3次元線形流体力計算。

3.1.2 包絡荷重値

3.1.2.a 荷重の値は、選択した積付状態と船速を用い直接荷重計算により決定される。船速と積付状態は、最終的に規則で用いられる荷重及び構造評価法に対応して選ばれる。

強度評価：ヘビーバラスタ状態及び構造喫水における満載状態が、評価のために用いられる。船の前進速度は0とする。これは、タンカーは肥大船型であるため、荒天時では速力は無視できると仮定でき、この仮定は、詳細な模型試験により確認されているからである。

疲労評価：ノーマルバラスタ及び構造喫水における満載状態が、2つの標準的航海状態として評価されている。生涯における平均速度としてサービス速度

波浪周期 対 船のロール周期の考察に基づく。

3.2.3 ピッチ運動

3.2.3.a ピッチ周期 U_{pitch} は、その船に固有の周期である。即ち、向波におけるRAO（与えられた波浪周期における運動を表す周波数応答関数）のピークとして与えられる。

3.2.3.b U_{pitch} は、 \sqrt{L} に比例し、積付状態にも影響される。 f_T は検討している積付状態における喫水と寸法喫水との比である。

3.2.3.c ピッチ周期は、向波における主な波浪周期（出会い周期）に強く依存しているため、船速の影響を受ける。船速が増すと、固有ピッチ周期は減少する。

3.2.3.d ピッチ角は、超過確率 10^{-8} レベルにおけるピッチ角の包絡を表すよう与えた。

3.3 船体加速度

3.3.1 一般

3.3.1.a 船体に固定した x 軸（船長方向）、 y 軸（横方向）及び z 軸（上下方向）に沿った加速度の算式を規定した。加速度は、各成分を独立と考えた場合、6自由度の剛体運動による加速度の組み合わせで与えられるが、加速度成分間の位相差を考慮する係数を含めたため、3方向のみとした。なお、船首揺加速度は無視した。

3.3.2 共通加速度パラメータ

3.3.2.a 加速度パラメータ a_0 は、基本的に上下方向の加速度パラメータで、上下揺、左右揺、船首揺、前後揺運動を表すもので、CSR-B編と共通である。

3.3.3 上下加速度

3.3.3.a 上下加速度 a_v は、船体に固定した z 軸に沿った加速度である。一般式は、船の任意点において、 f_v 及び f_{prob} が1.0と仮定した超過確率 10^{-8} レベルの上下加速度が与えられる。 a_v は、上下揺、縦揺れ及び横揺れ成分を含む。運動の参照点は、船体中心線で、船尾（ L の後端）から $0.45L$ の位置と仮定した。

3.3.3.b 横揺運動による上下加速度 a_{roll-z} は、横揺加速度及び上下揺と縦揺の組み合わせ加速度間の位相差を考慮するための係数1.2を乗ずることで与えられる。縦揺運動による上下加速度 $a_{pitch-z}$ は、加速度成分間の異なる位相差を考慮するために船長に依存する係数（ $0.3+L/325$ ）を乗じた。

3.3.3.c 疲労に対する確率低減係数 f_{prob} は0.45とする。これは直接計算の結果と非常に良く合い、疲労強度評価に対する確率レベルの相違（確率 10^{-4} 及び 10^{-8} ）及び速度影響が考慮されているためである。

3.3.3.d a_{heave} で表される上下揺による上下加速度は、船速影響を考慮する係数 f_v を含む。 f_v は、船体中央部領域の上下加速度を、直接計算における積付状態とバラスト状態との傾向の違いを調整するために設定した。前進速度による縦揺上下加速度の増加は、縦揺周期を減少させることにより考慮される。縦揺周期を考慮する場合は、縦揺運動に対す

る船速影響は無視する。また、横揺上下加速度は、船速による影響はないと仮定する。それは、横揺は、横波が支配的な応答であり、横波における出会い周期は船速変化に影響されないからである。

3.3.3.e 上下加速度に他の非線形影響はないと仮定する。

3.3.4 左右加速度

3.3.4.a 左右加速度 a_l は、船体に固定した y 軸に沿った横揺、左右揺、船首揺加速度による影響の組み合わせで与えられる。船舶の任意点における左右加速度の一般式は超過確率 10^{-8} レベルのものとする。船首揺が無視できるという仮定に基づき、左右加速度は、船幅全体にわたり一定とする。また、 a_l は、横揺の g 成分を含む。

3.3.4.b 横揺加速度 a_{roll-y} に対する垂直回転軸 R_{roll} は $D/2$ 及び $(D/4+T_{LC}/2)$ の大きい方とする。 $(D/4+T_{LC}/2)$ は、船の垂直重心の近似値である。

3.3.4.c 横揺と船首揺左右加速度 a_{roll-y} 及び a_{sway} は、統計的に独立と仮定される。

3.3.4.d 疲労に対する f_{prob} は、超過確率 10^{-4} レベルにおける直接計算と最も良く合う0.5とする。

3.3.4.e 左右加速度は、横波が支配的であることから、船速影響は無いものとする。他の非線形影響は含まない。

3.3.5 前後加速度

3.3.5.a 前後加速度 a_{ing} は、前後揺、船首揺及び縦揺の加速度による影響の組み合わせで与えられる。船の任意点における前後加速度の一般式は、 10^{-8} 発生確率レベルのものとする。船首揺が無視できるという仮定に基づき、前後加速度は、船の全長にわたり一定とする。また縦揺の g 成分は式に含まれる。

3.3.5.b 縦揺及び前後揺加速度は、大型船舶に対して統計的に独立と仮定される。しかしながら、船の長さの短い船舶に対して加速度は互いのキャンセルが生じる。この影響を考慮する係数が含まれる。

3.3.5.c $a_{pitch-x}$ に対する垂直回転軸 R_{pitch} は $D/2$ 及び $(D/4+T_{LC}/2)$ の大きい方とする。 $(D/4+T_{LC}/2)$ は、船の垂直重心の近似値である。

3.3.5.d 疲労に対する f_{prob} は、超過確率 10^{-4} レベルにおいて直接計算と最も良く合う0.5とする。

3.3.5.e 縦揺前後加速度 $a_{pitch-x}$ は船速係数 f_v を考慮する。

3.4 動的ハルガーダ荷重

3.4.1 縦波浪曲げモーメント

3.4.1.a 波浪縦曲げモーメントは、IACS UR S11に規定されるものを用いる。

3.4.1.b 波浪係数 C_{wv} は、船の長さ L の関数として与えられ、波浪変動圧及びハルガーダ波浪荷重を与える算式に含まれる。 C_{wv} の値は、北大西洋の波浪統計を代表するもので世界的な運航に対して有効である。

3.4.1.c 波浪中ハルガーダ縦曲げモーメント M_{wv} は、超過確

率 10^{-8} レベルにおける包絡値として明記される。ハルガーダ曲げに対する非線形波浪誘起荷重の影響は、以下の算式による係数を通じて考慮される。

$$\text{ホギング: } \frac{1.9C_b}{C_b + 0.7}, \text{ サギング: } -1.1$$

また、以下のホギングとサギングの比で与える。

$$\frac{M_{wv-hog}}{M_{wv-sag}} = \frac{1.727C_b}{C_b + 0.7}$$

ここに、

M_{wv-hog} : 波浪中縦曲げモーメント (ホギング状態)

M_{wv-sag} : 波浪中縦曲げモーメント (サギング状態)

C_b : 方型係数で、0.6より小さくしてはならない。

3.4.1.d スラミングとホイッピング (フレアの影響) の影響は非線形影響に含まれていないが、これらは、分布係数 f_{wv} に含まれているとする。

3.4.1.e 疲労評価には、確率レベルの調整係数 f_{prob} として0.5が適用される。これは、確率レベルのほか、以下の船速影響を考慮している。

船速影響は、一般に、満載状態では小さいと考えられるが、バラスト状態では大きいと考えられるためである。このことは、この2つの積付状態に対して同じ波浪中縦曲げモーメントを使うことが出来るということを正当化するものである。

3.4.1.f 疲労評価に対して、直接計算により近い一致を得るために、縦波浪曲げモーメント分布は、A.P.から0.1L及び0.9Lの位置で変化するものとした。

3.4.2 波浪水平曲げモーメント

3.4.2.a 波浪に誘起されるハルガーダ水平曲げモーメント M_{wv-h} は、おおそ超過確率 10^{-8} レベルにおける包絡値に対応している。 M_{wv-h} は喫水に依存することから、異なる積付状態に対しても与えられる。

3.4.2.b 疲労強度に対しての f_{prob} は0.5とする。係数は、確率レベルの相違を考慮したものである。

3.4.2.c 横波の影響が支配的な応答であるので、 M_{wv-h} は船速影響及び非線形影響が無いと仮定される。

3.4.2.d 疲労評価に対して、直接計算により近い一致を得るために、波浪水平曲げモーメント分布は、A.P.から0.1L及び0.9Lの位置で変化するものとした。

3.4.3 波浪せん断力

3.4.3.a 波浪せん断力は、IACS UR S11に規定されるものを用いる。

3.5 動的局部荷重

3.5.1 一般

3.5.1a 波浪変動圧、タンク内の動的圧力、青波荷重などは、

すべて包絡値とする。

3.5.2 波浪変動圧

3.5.2.a 波浪変動圧は、 10^{-8} 及び 10^{-4} 確率レベルの包絡値として記述されており、船の任意の点に適用可能である。

3.5.2.b 波浪変動圧は、圧力 P_1 及び P_2 の結果から得られる最大圧をとる。 P_1 は、向波/斜め向波における縦揺れ運動によって支配される、一方、 P_2 は横波における横揺れ運動に支配される。 P_2 は船体中央部領域において支配的であり、 P_1 は船の前後端部において支配的である。

3.5.2.c 波浪変動圧算式は、種々の動的影響を考慮する。船体運動及び加速度 (例えば、横揺れ、縦揺れ及び上下揺)、波浪誘起及び波浪重ね合せの影響のようなものである。

3.5.2.d P_1 波浪変動圧の一般式は、縦揺れ/上下揺運動の結果から生ずる最大波浪変動圧の凡そ80%及び横揺運動からの波浪変動圧の凡そ40%としたものの組み合わせである。

3.5.2.e P_2 の算式は、横揺れ及び上下揺運動による圧力に支配される。これらは向波状態におけるものより、横波状態におけるものの方が大きい。 P_2 は、与えられた船体中心線からの横方向距離及び基線からの垂直距離に対して、船の長さ方向に沿って一定である。

3.5.2.f P_1 は、非線形修正係数 $f_{nl-p1}=0.9$ が、 P_2 は、非線形修正係数 $f_{nl-p2}=0.65$ が用いられる。非線形修正係数 f_{nl-p2} は、非線形影響とともに運航面の考慮を含む。これらの係数は、NKが実施した試験結果に基づくものである。

3.5.2.g 係数 f_1 及び f_2 は、ガス方向に実際的な分布を与えるためのものである (図4.7.1及び図4.7.2参照)

3.5.2.h 部材寸法要求と強度評価のための喫水線上の波浪変動圧は、1:1とする。即ち、喫水線上の高さは、喫水線における等価水頭に等しい。

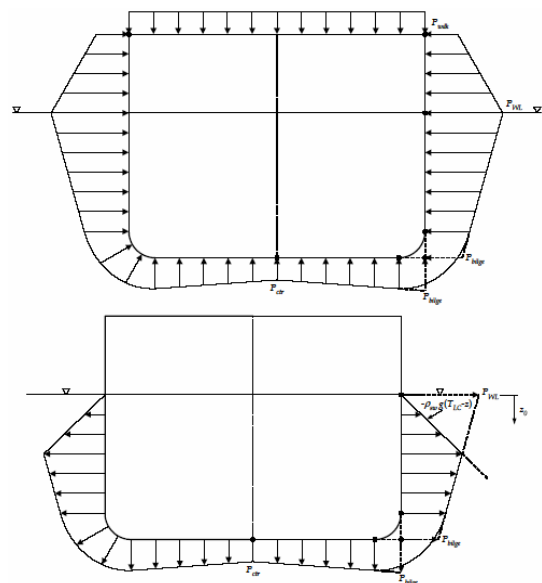


図4.7.1 規範的なルール要件及びFE解析による強度評価用の波浪変動圧のガス方向分布

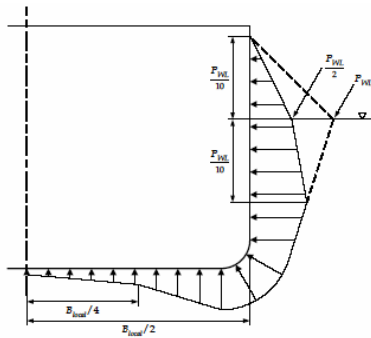


図4.7.2 疲労強度評価用の波浪変動圧のガス方向分布

3.5.2.i 波の谷の場合に、負の圧力に対しては、合成圧力はゼロより小さくしてはならない。

3.5.2.j 疲労強度のための確率調整係数 f_{prob} は、直接強度計算と良く合う0.5とする。喫水線上への波浪変動圧の拡張は、動的荷重が0となる箇所及び最小乾舷高さとして取られる喫水位置並びに喫水線において波浪荷重の減少率を最大1:1となる箇所から線形補間により見出される。

3.5.3 青波荷重

3.5.3.a 海水打込み圧は、甲板のコーナーにおける船側外板の波浪変動圧の関数として考慮する。 P_{1-dk} 及び P_{2-dk} は、それぞれ P_1 及び P_2 から得られる。

3.5.3.b 係数 f_{1-dk} は、向波における船首加速度及び甲板上への海水の打込みによる動的影響を表し、船首甲板の上の青波荷重 P_{1-dk} に適用する。係数 f_{1-dk} は、青波荷重が船首から甲板上に作用し、甲板上で後方に流れると仮定できるため、幅方向に一定とする。

3.5.3.c 後方区域に対し、運航に関わる係数 f_{op} が P_{1-dk} に適用される。係数 f_{op} は、船舶が荒天状態においては追い波中を運航しないと仮定している。これにより、後方区域の甲板上に波浪の流出に遭遇する可能性が減少される。結果として、後方区域の甲板の青波に対し、1年再現期間が仮定される。係数 f_{op} は、船尾垂線より0.2L前方において100%の青波荷重を与える1.0まで線形に増加する。

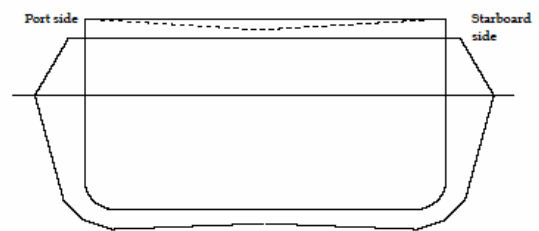
3.5.3.d 甲板を横切る f_{2-dk} の変化は、横波における海水打込み荷重分布を表す。横波において、瞬間的な海水打込みによる荷重の分布を計算する場合、 f_{2-dk} は波上側の甲板コーナーで1とし、波下側の船側外板の圧力は常に0であると仮定し、波下側の甲板コーナーでは0とする。波上側と波下側の間における圧力は、線形補間により得る。前後部領域の暴露甲板の幅は、静水中喫水線における幅とは異なるので、係数は、甲板位置の幅の関数とする。

3.5.3.e 甲板コーナー部における P_2 圧力から生じる青波荷重は、横波状態の時に、喫水線上に拡張した圧力が1:1未満となることを代表するために、0.8が乗じられる。

3.5.3.f FEMによる強度評価のための海水打込み分布は、

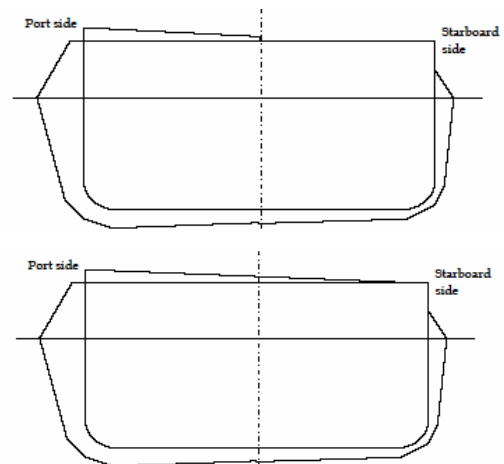
左舷及び右舷の海水打込み圧力の線形補間により求める。
3.5.3.g 部材寸法計算のための海水打込み分布は、算式からのみ適用される。このとき、船側外板の圧力が、考慮している船側の甲板の交差部での圧力よりも小さい場合には、海水打込みは0とする。

3.5.3.h FE強度評価と部材寸法要件とでは、荷重評価手順がわずかに異なる。これは、部材寸法要件で局部構造を評価する場合、他の場所の荷重は寸法に影響しないためである。同様に、主要構造部材の算式評価を行う場合の海水打込み圧力分布は、スパンの中央と近似する。図4.7.3から図4.7.5参照。



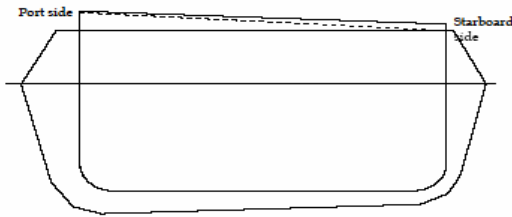
(備考) FE 評価においては、青波荷重は、甲板の幅方向に渡り等分布とする。(図中、実線で示す。)寸法要求においては、青波荷重の分布は、係数 f_{2-dk} に従う。(図中、点線で示す。)青波荷重は、規則算式によるものが強度評価に対するものより小さいが、向波状態の動的荷重ケースにおける青波荷重は、甲板構造に対し支配的でなく、それ故、分布形状はさほど重要ではない。

図4.7.3 向波：暴露甲板における海水打込み荷重



(備考) 上図は、FE 評価に対する分布を、下図は、寸法要求に対する分布を示す。上図は、左舷を評価する場合の分布を示す。寸法要求に対し、右舷側には荷重が作用しない。左舷上の青波荷重は、右舷側より大きいので、左舷側の圧力が寸法要求に対し支配的となる。

図4.7.4 横波：暴露甲板における海水打込み荷重



(備考) FE 評価においては、青波荷重分布は、実線とする。寸法要求においては、青波荷重分布は点線とする。2つの分布の相違は、考慮する範囲では非常に小さい。これは、波浪荷重が両側において暴露甲板上に決して拡張されることはないので、人為的なケースとして考えられる。

図4.7.5 横波又は斜波：暴露甲板における海水打込み荷重

3.5.3.i 疲労損傷に対する海水打込み荷重の影響は無視できるので、疲労強度に対する海水打込み荷重は0とする。

3.5.4 タンク内の動的圧力

3.5.4.a 船体運動によるタンク内の動的圧力に対する規則算式は、タンクは完全に液体が満載で、かつ、タンク壁は剛体という仮定に基づき開発された。貨物タンクは通常、満載の98%以上には積載されないもので、貨物タンクのタンク圧力にはアレージ係数を取り入れる。さらに、タンクの重心位置における船体加速度から圧力を得ることで十分であると仮定する。部分積付状態によるスロッシング荷重は、別に取り扱う。

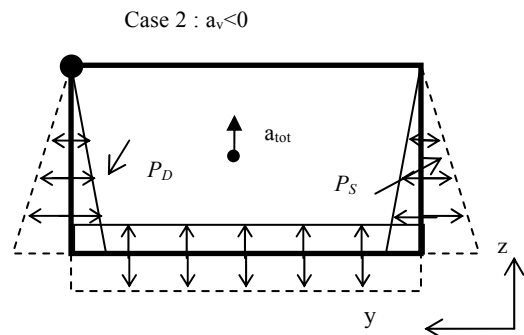
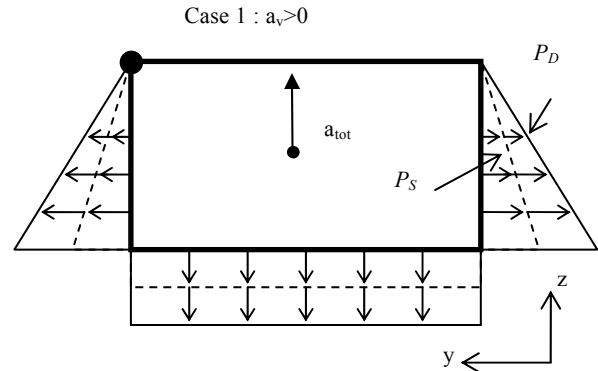
3.5.4.b 圧力は、ピッチ運動及びロール運動を含む3つの加速度成分による3つの基本的な圧力成分の線形的な合計として得られると仮定する。部材寸法要件及びFE解析による強度評価に対して、圧力成分は、タンク圧力の同時分布を与える等価設計波から見出された動的荷重組合せに基づき組み合わせられる。

3.5.4.c 部材寸法要件及びFE解析による強度評価に対して、上下方向、左右方向及び船長方向加速度によるタンク圧力水頭に対する参照点は、以下による。

(a) 上下加速度に対し、参照点は、タンクトップとする。上下加速度 a_v による動的タンク圧力の3つのシナリオがあり、そのうちCase 1とCase 2は現実的なものであり、図4.7.6に示す。

- Case 1: $a_v > 0$
上下加速度が正の値で、結果としてタンク圧力を増加させる場合、タンク圧力の参照点は、タンク内静圧と同様、タンクトップとなる。
- Case 2: $-g < a_v < 0$
上下加速度が負の値で、結果としてタンク圧力を減少させるが、合加速度は、なお正の値の場合、タンク圧力の参照点は、タンクトップとなる。
- Case 3: $a_v < -g$

上下加速度が負の値で、かつ、合加速度も負の値となる場合、通常上下加速度の絶対値は重力加速度 g より小さいため、本ケースは人為的なケースと仮定される。従って、本ケースは規則では考慮しない。



ここで、 P_S は、重力加速度 g によるタンク静圧で、次式による。

$$P_S = \rho g(z - z_0)$$

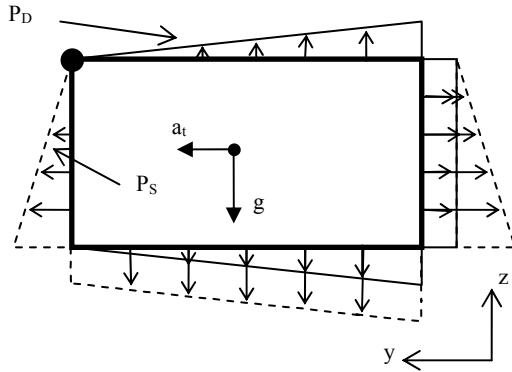
P_D は、上下加速度によるタンク動圧で、次式による。

$$P_D = \rho a_v(z - z_0)$$

$(z - z_0)$ は、荷重点から参照点までの垂直距離

図4.7.6 上下加速度によるタンク圧力 (S+D)

- フロースルー (flow through) によるバラスト交換の設計がなされるタンクに対しては、配管中の液体も全体タンク圧力に加わるので、上下参照点は空気管の上端或いはオーバーフロー管の上端の小さい方とする。
- (b) 左右加速度 a_t による動的タンク圧力は、重力加速度 g により生じる静圧と同様の方法で扱われる。左右方向加速度に対し、参照点は、正の左右加速度に対し左舷のタンクトップが、負の場合、右舷のタンクトップとなる。参照点は、エアポケットがある場合、そのコーナーとする。図4.7.7に、左右加速度が正の場合を示す。液体の表面に合加速度は垂直となり、タンク圧力は、自由表面までの垂直距離に比例して増加する。バラストタンクも同様である。しかし、一般的に2つの異なるシナリオがある (図4.7.8参照)。



ここで、

P_S は、重力加速度によるタンク静圧で、次式による。

$$P_D = \rho g(z - z_0)$$

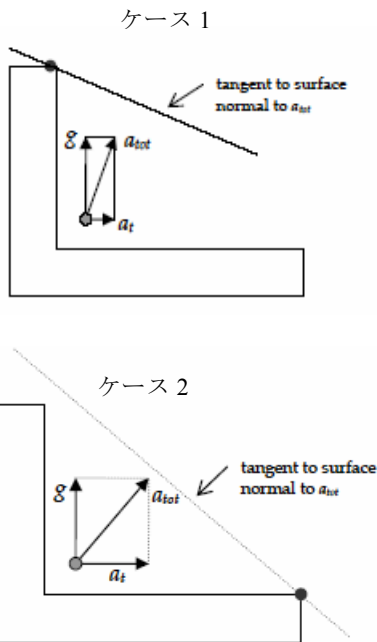
$(z - z_0)$ は、荷重点から参照点までの垂直距離

P_D は、左右方向加速度 a_t によるタンク動圧で、次式による。

$$P_D = r a_t (y - y_0)$$

$(y - y_0)$ は、荷重点から参照点までの水平距離

図4.7.7 上下加速度によるタンク圧力



備考：上の図は、 $a_t < a_{t-crit}$ に対する参照点を表す。下の図は、 $a_t > a_{t-crit}$ に対する参照点を表す。

図4.7.8 バラストタンク用の横参考点

ケース1では、自由表面の接面では圧力ゼロとなり、参照点はタンクトップコーナーとなる。ケース2では、参照点は船底タンクコーナーとなる。なお、参照点は、タンク幅(b_{tk})、タンクトップでのタンク幅(b_{tt})、タンク高さ(h_{tk})及び二重底高さ(h_{db})を用いて次式の臨界左右方向加速度 a_{t-crit} が得られる。この臨界左右方向加速度においてケース1からケ-

ス2に移る。

$$a_t > a_{t-crit} = \frac{b_{tk} - b_{tt}}{h_{tk} - h_{db}} g$$

ただし、ケース2はありそうもないと考えられるため、規則では、参照点がタンクトップにある状態をデフォルトとして採用している。また、前後加速度による参照点も、左右加速度によるタンク圧力と同様で、正の前後加速度に対しては後部横置隔壁でのタンクトップ、負の前後加速度に対しては前部横置隔壁でのタンクトップとする。

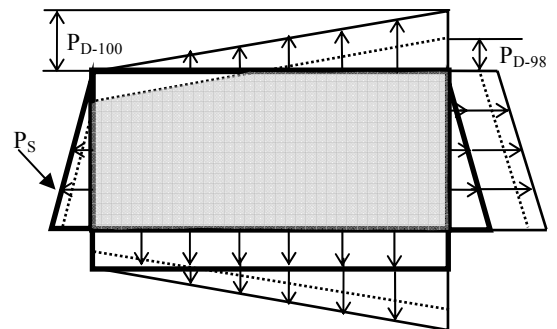
3.5.4.d タンク動圧の参照点は、100%タンク積載の仮定に基づく。98%以上積載しない貨物タンクに対しては、特に左右加速度及び前後加速度によるタンク動圧は、保守的となる。従って、貨物タンクの圧力を軽減する係数(アレージ係数)が与えられる。この係数は、98%タンク積載と100%タンク積載のタンク側部における圧力の相違を表す。従って、アレージ係数 f_{ullage} は以下の通り定められる。

$$f_{ullage} = \frac{P_{D-98}}{P_{D-100}}$$

ここで、

P_{D-98} : タンク側部における98%タンク積載時の左右加速度によるタンク動圧 (kN/m^2) (図4.7.9参照)

P_{D-100} : タンク側部における100%タンク積載時の左右加速度によるタンク動圧 (kN/m^2) (図4.7.9参照)



図中、点線は、98%積載時の左右加速度による圧力分布を、実線は、100%積載時の左右加速度による圧力分布を示す。太い実線は、静圧を示す。

図4.7.9 左右加速度又は前後加速度によるタンク圧力

P_{D-98} 及び P_{D-100} は、準静的に計算される。液体表面は合加速度に垂直であること及びタンク動圧が自由表面までの垂直距離に比例して増加することを考慮して、多くの船に対する P_{D-98} 及び P_{D-100} が計算された。その結果、左右加速度による平均アレージ係数は0.67となり、前後加速度では0.62となる。計算は、船の満載状態におけるGMと $r_{roll-gyr}$ をそれ

ぞれ0.12*B*と0.35*B*とし、ヘビーバラスト状態におけるGMと*r_{roll-gr}*をそれぞれ0.33*B*と0.45*B*とした。満載及びバラスト状態に対して同じような結果となる。

3.5.4.e 寸法要求及びFE解析は、動的荷重ケースに対する同時分布を要求するが、疲労強度評価は、確率レベルが10⁻⁴におけるタンク表面上の圧力の包絡分布を要求する。疲労強度評価用タンク動圧の大きさは、タンク圧力のpeak to peakの値であるタンク圧力レンジの半分の値となる。この近似は、タンク動圧が疲労強度評価用繰り返し荷重となることを許容するものである。さらに、この近似は、タンク囲壁上の動圧レンジを与える。

3.5.4.f 疲労強度評価にあつては、圧力成分の組合せは、タンク圧力分布の長期予測値に対する平均的な荷重組合せ係数に基づく。それらは、全方位の波を考慮した確率レベル10⁻⁴におけるタンク動圧の長期予測値の包絡値の直接計算に基づき設定された。貨物油タンク及びバラストタンクの形状及び重心位置が異なるため、動的荷重組合せ係数もそれぞれ異なるものとなる。

3.5.4.g 疲労強度評価用アレイジ係数は、タンクが98%満載として考慮する。タンクは100%満載ではないため、タンク上部は乾湿状態となる。この状態は、喫水線近傍の船側と同じである。この状態を考慮するために、アレイジ係数は、左右加速度及び前後加速度から得られるタンク動圧に対し、それぞれ加えられる。この影響を図4.7.10に示す。自由表面下からの距離*h_{roll}*の箇所において、完全な圧力レンジとなる一方、自由表面より上方は、圧力レンジは0となる。2つの点の間では、自由表面位置において、左右加速度からの寄与が100%の場合の半分となるよう圧力レンジは線形的に変化する。

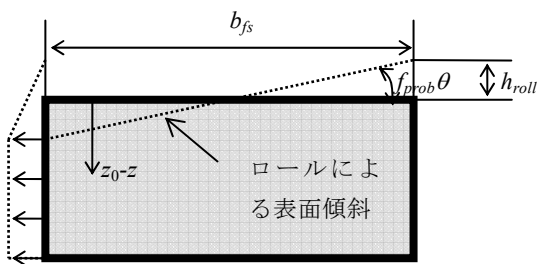


図4.7.10 タンクのロールによるタンク圧

3.5.5 甲板における分布積荷からの動的圧力

3.5.5.a 甲板上に均一に分布された質量による圧力が与えられる。

3.5.5.b 甲板、ハッチカバー及び内底板荷重のみ（即ち、水平荷重領域のみ）が考慮されるので、左右方向及び前後方向加速度は無視することが出来る。

3.5.6 大きい重量を有する設備による動的荷重

3.5.6.a 上下方向、左右方向及び前後方向の加速度による

大きい重量を有する設備による力が含まれる。

4 スロッシング荷重及び衝撃荷重

4.1 一般

衝撃荷重としてタンク内のスロッシング、船首における船底スラミング及びバウフレアスラミングを考慮する。

4.2 タンク内のスロッシング圧力

4.2.1 適用及び制限

4.2.1.a スロッシング圧力は、船の運動及び加速度によるタンク内の液体の全体運動に基づき求められる。

4.2.1.b スロッシング圧力は、有効幅及び有効長さが夫々 $b_{slh} \leq 0.56B$ と $l_{slh} \leq 0.13L$ のタンクに対して適用可能である。

4.2.1.c MARPOL条約の要件より、有効タンク長さが0.13Lより大きいタンカーは稀である。また、復原性要件は、大型船に対して全幅の貨物タンクを持つことを認めない。全幅の船首バラストタンクは、一般的に有効スロッシング幅を減少させる内部防撓材とウェブを持っているため、規則には、このようなタンクに対するスロッシング荷重を規定していない。

4.2.1.d 液体の入っているタンク内のすべての構造部材は、スロッシング圧力を受ける。最小スロッシング圧力はすべての構造部材に適用する。一方計算されたスロッシング圧力はタンク端に適用する。

4.2.1.e 前後方向及び横方向スロッシング圧力は、与えられた確率レベルにおける最大値であり、お互いに独立と仮定される。

4.2.1.f 規則の最小基準は、貨物タンクの積付状態に関係なく規定される。

4.2.1.g スロッシング圧力は、通常の荷重レベルと関連する。スロッシング荷重に対する構造評価は、規則中の第2節/表2.5.13に示す如く、設計荷重組合せ“3”と規則要求AC1によりカバーされる。

4.2.2 前後方向液体運動によるスロッシング圧力

4.2.2.a スロッシング圧力に対する算式は、DNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 4, C306に基づく。

4.2.2.b スロッシング圧力に対する算式は、タンク内の液体運動を減少させる内部ウェブフレームと横置制水隔壁を考慮している。ウェブフレームと制水隔壁の効果は、タンクの有効スロッシング長さを減らすことにより考慮される。

4.2.2.c 横置隔壁と横置制水隔壁に作用するスロッシング圧力は、有効スロッシング長さが違いのため、異なる。

4.2.2.d 最大計算スロッシング圧力は、通常、液面高さが $0.7h_{max}$ の場合に確認される。これは、制水隔壁或いは横支柱を持たない、即ち、縦ウェブだけを持つすべてのタンク形状に該当する。横支柱/クロスタイを持つタンクに対し、最大スロッシング圧力は、典型的に液面高さが $0.7h_{max}$ から $0.8h_{max}$ 間に確認される。

4.2.2.e また、前後方向液体運動によるスロッシング圧力

は、横置水密/制水隔壁から第1番目のウェブフレームにも作用すると仮定する。この圧力は、考慮する横隔壁からの液体の反射によって現れ、結果として直接横隔壁に作用する圧力より低い。ウェブフレームが、検討する隔壁から近いほど圧力は高い。

4.2.2.f ウェブフレーム及びストリングのスロッシング圧力分布は、圧力累積の可能性の限られることを考慮して、自由端に向けて減少させる。

4.2.3 左右方向の液体運動によるスロッシング圧力

4.2.3.a スロッシング圧力に対する算式はDNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 4, C306に基づく。

4.2.3.b GM 値0.33Bはバラスト状態に対する代表値であり、バラストタンクのスロッシング圧力計算の基礎として使われる。 GM 値0.24Bは、いくつかの貨物タンクが満載で、いくつかは空あるいは部分積付状態に対する代表値である。

4.2.3.c スロッシング圧力算式は、タンク内の液体運動を減少させる内部縦通桁及び縦通制水隔壁を考慮する。

4.2.3.d タンク側面/縦通隔壁及び縦通制水隔壁に作用するスロッシング圧力は、異なるスロッシング幅の適用により区別される。このことは、制水隔壁に比べて水密隔壁にある程度高めのスロッシング圧力を与える。

4.2.3.e 横方向の液体運動によるスロッシング圧力は、縦置水密/制水隔壁から第1番目の内部桁にも作用すると仮定される。しかしながら、その圧力は、縦通隔壁に対して計算されたものよりある程度減少される。それは縦置隔壁に作用する液体運動を反映して、肋骨のスロッシング圧力が上昇するからである。桁が、検討する隔壁からの距離が離れるほど圧力は低くなる。

4.2.3.f 桁及びストリングのスロッシング圧力分布は、圧力累積の可能性の限られることを考慮して、自由端に向けて減少させる。

4.2.4 最小スロッシング圧力

4.2.4.a 最小スロッシング圧 $P_{slh-min}$ は、内部構造がタンク内の液体運動による圧力に耐え得ることを確保するために、規定された。

4.3 船底スラミング荷重

4.3.1 適用及び制限

4.3.1.a 規則は、長さ150m以上の典型的なタンカーの設計をカバーする。従って本節は C_b が0.7を下限とする設計に対する要求のみを満たす。

4.3.1.b 船底スラミング要求は、F.P.において0.02L及び0.045Lの間の船底スラミング喫水を持つ船舶に適用する。この適用は、ABS、LR及びDNV規則のうち最も厳しい適用規定を取り入れたものである。

4.3.2 スラミング圧力

4.3.2.a 船底スラミングの算式は、LR規則Pt 3, Ch 5, 1.5.8に基づく。なお、ABS、DNV及びLR規則の船底スラミング

に対する強度要件は、ほぼ同程度の要求値となる。

4.3.2.b LR規則Pt 3, Ch 5, 1.5.8に基づき、バラスト水のカウンター圧を考慮することができることとした。

4.3.2.c LR規則のスラミング圧力の算式は、Ochi-Motter法を用いた一般貨物及び肥大船の範囲に対する船底スラミング圧力の検討結果に基づく経験式である。この検討で、スラミング速度と相対上下運動は、船の前進速度を含む運動解析を用いて導かれ、北大西洋の海象における短期統計的運動解析に基づく。衝撃形状係数は、典型的な船の船首形状のものとした。

4.3.2.d CSRの基本的な考え方に合致させるため、LR規則の適用規定のうち、船底スラミング評価のために使われる前部喫水に関し修正して取り入れた。従って、2組の最小前部喫水が明記される必要がある。

- 1組は、各二重底タンク（或いは船首/前部深水タンク）が空の時の最小前部喫水を記する。
- もう1組は、各バラストタンクが満載の場合に適用可能な最小前部喫水を記する。この場合、バラスト水のカウンター圧により有効なスラミング圧力は減少される。

4.4 船首衝撃荷重

4.4.1 適用と制限

4.4.1.a 規則は、長さ150m以上の典型的なタンカーの設計をカバーする。

4.4.2 船首衝撃圧力

4.4.2.a 船首衝撃圧力算式は、ABS規則5.1.3/13に基づく。なお、ABS、DNV及びLR規則の船首衝撃に対する強度要件は、ほぼ同程度の要求値となる

4.4.2.b 船首衝撃圧は、前後方向の正面衝撃力による。これは船首領域に対する圧力に変換される。

4.4.2.c 船首衝撃圧力は、相対衝撃速度の2乗に凡そ比例するという萩原と湯原による実験及び理論研究に基づくもので、 ρ （海水密度 (kg/m^3)）及び V_{im} （相対衝撃速度 (m/s^2)）

を用い、 $P_{im} \propto \rho V_{im}^2$ と表される。

4.4.2.d 衝撃速度 V_{im} は船の前進速度と波浪による流体の相対速度との間の相対的な速度を表す。船速は、スラミング、船首没水及び付加波浪抵抗による船速低下を考慮して、船のサービス速度の75%とした。支配的な出会波の速度は、船の長さの65%の波長を仮定した。これら2つの仮定は、OchiとTasaiの研究に基づく。

4.4.2.e バウフレアスラミング圧力以外の圧力は考慮しない。

5 事故による荷重

5.1 浸水状態

5.1.1 局部圧

5.1.1.a 事故による浸水/損傷状態のタンク圧力は、 $P_{in-flood}$ とする（規則7節2.2.3参照）。

6 荷重の組合せ

6.1 一般

6.1.1 適用

6.1.1.a 下記の設計荷重組合せが規則に定義される (規則の第2節の表2.5.1参照)。

- (a) 静的設計荷重組合せ (S)
- (b) 静的+動的設計荷重組合せ (S+D)
- (c) 衝撃とスラミング設計荷重組合せ (Impact)

(d) スロッシング設計荷重組合せ (Sloshing)

(e) 周期的荷重 (疲労)

(f) 事故設計荷重組合せ (A)

6.1.1.b 表4.7.2は各設計荷重組合せで考慮される荷重成分を示す。規則の表7.6.1には、S、S+D及びAのみで、これらは明確に与えられる。これら各々の規則要件を参照することにより、残りの設計荷重はカバーされる。

表4.7.2 荷重シナリオ及び荷重組合せ

荷重シナリオ		停泊荷重	運航荷重	衝撃荷重	スロッシング	事故浸水荷重	変動荷重	
設計荷重の組合せ		S	S + D	Impact	Sloshing	A	Fatigue	
ハルガーター	$M_{v-total}$	$M_{sw-perm-harb}$	$M_{sw-perm-sea} + M_{wv}$	-	$M_{sw-perm-harb}$	-	M_{wv}	
	$M_{h-total}$	-	M_h	-	-	-	M_{wv-h}	
	Q	$Q_{sw-perm-harb}$	$Q_{sw-perm-sea} + Q_{wv}$	-	-	-	-	
局部荷重	P_{ex}	暴露甲板	-	P_{wdk}	-	-	-	
		船体曲面	P_{hys}	$P_{hys} + P_{ex-dyn}$	P_{im} と P_{slm}	-	-	P_{ex-amp}
	P_{in}	バラストタンク (sequential filling methodによるバラスト交換)	aとbの大きい方 a) $P_{in-test}$ b) $P_{in-air} + P_{drop}$	$P_{in-ik} + P_{in-dyn}$	-	P_{slh}	$P_{in-flood}$	P_{in-amp}
		バラストタンク (フロースルーバラスト交換)	aとbの大きい方 a) $P_{in-test}$ b) $P_{in-air} + P_{drop}$	$P_{in-air} + P_{drop} + P_{in-dyn}$	-	P_{slh}	$P_{in-flood}$	P_{in-amp}
		貨物タンク (バラスト水を積む予定の貨物タンクを含む)	$P_{in-test}$	$P_{in-ik} + P_{in-dyn}$	-	P_{slh}	-	P_{in-amp}
		液体を積むための他のタンク	aとbの大きい方 a) $P_{in-test}$ b) P_{in-air}	$P_{in-ik} + P_{in-dyn}$	-	P_{slh}	$P_{in-flood}$	-
	P_{in}	水密境界	-	-	-	-	$P_{in-flood}$	-
	P_{dk}	甲板室等の内部甲板	P_{stat}	$P_{stat} + P_{dyn}$	-	-	-	-
大きい重量を有する甲板		F_{stat}	$F_{stat} + F_v + F_t + F_{lng}$	-	-	-	-	

ここに、

M : 設計縦曲げモーメント (kNm)

$M_{sw-perm-harb}$: 港内時の許容静水曲げモーメント (kNm)

$M_{sw-perm-sea}$: 航海時の許容静水曲げモーメント (kNm)

M_{wv} : 動的荷重ケースを考慮した波浪中縦曲げモーメント (kNm)

$M_{h-total}$: 設計水平曲げモーメント (kNm)

M_h : 動的荷重ケースを考慮した波浪水平曲げモーメント (kNm)

Q : 設計垂直せん断力 (kN)

$Q_{sw-perm-harb}$: 港内時の許容静水中せん断力 (kNm)

$Q_{sw-perm-sea}$: 航海時の許容静水中せん断力 (kNm)

Q_{wv} : 動的荷重ケースを考慮した波浪垂直せん断力

P_{ex} : 設計波浪圧力

P_{hys} : 考慮する喫水における静水圧

P_{ex-dyn} : 動的荷重ケースを考慮した波浪変動圧

P_{stat} : 静的甲板荷重

P_{dyn} : 動的甲板荷重

P_{slm} : 船底スラミング圧力

P_{im} : 船首衝撃圧力

P_{in} : 設計タンク圧力

$P_{in-test}$: 水圧試験による圧力

P_{in-air} : 空気管の上端から計測する静的タンク圧力

P_{drop} : 空気管又はオーバーフロー管を通してフロースルーした場合の追加圧力

P_{in-ik} : タンクトップから荷重評価点まで計測するタンク圧力

P_{in-dyn} : 動的荷重ケースを考慮したタンク内の動的圧力

$P_{in-flood}$: 浸水/損傷状態時の圧力

P_{slh} : スロッシング圧力, $P_{slh-lng}$, P_{slh-t} , $P_{slh-ref}$, $P_{slh-grd}$ 及び $P_{slh-min}$ の中の最大値をとる。

6.2 設計荷重の組合せ

6.2.1 一般

6.2.1.a 表4.7.2は、すべての設計荷重組合せに対する構造評価の中に考慮される荷重成分を与える。

6.2.2 静的設計荷重の組合せ(S)

6.2.2.a ハルガーダ荷重は、構造試験を含む最大静的局部タンク及び海水圧と共に、最大港内許容縦曲げモーメント及びせん断力をカバーする。

6.2.3 静的+動的設計荷重の組合せ(S+D)

6.2.3.a 静的+動的荷重は、 10^{-8} 確率レベルでの同時作用動的荷重の現実的な組合せと共に、最もふさわしい静的荷重の組合せを与える。

6.2.3.b 静的ハルガーダ荷重は、規則の第7節/2.1に示す大洋航行における許容静水中ハルガーダ極限とする。許容ハルガーダ曲げモーメントは、許容静水中曲げモーメントと荒天との結合発生確率を考慮して減じることはできない。

6.2.3.c 静的圧力は、各構造詳細に対し、構造上最も重荷になる喫水に基づく。静的タンク圧力は、フロースルー法でバラスト水交換の設計がなされるタンクにおいては、付加水頭及び可能な過圧を含む、考慮しているタンクに対する航海中の最大圧とする。

6.2.3.d 順次的積む予定のタンクに対し、可能な過重積み継続時間が短いと仮定する。したがって、付加水頭及び過圧は無視できる。

6.2.4 スロッシング設計荷重の組合せ

6.2.4.a スロッシング荷重に対する構造評価のために、構造評価中、規則の第7節4.2に与えられる圧力を考慮する。停泊中の静水中曲げモーメントは、許容応力を考慮する。この組合せは、規則の第8節6.2に示す。

6.2.5 衝撃とスラミング設計荷重の組合せ

6.2.5.a 船底スラミングと船首衝撃荷重に対して、強度評価中、規則の第7節4.3及び第7節4.4に与えられる圧力を考慮する。ハルガーダ荷重は、考慮する領域においては無視できると考える。設計荷重は、規則の第8節6.3及び第8節6.4に示す。

6.2.6 事故浸水設計荷重の組合せ

6.2.6.a 事故時におけるハルガーダ荷重は、規則或いは法令の要件に明確に述べられていない。それは損傷時においてタンカーに負荷される荷重が、通常の運航状態における荷重とは異なるものだからである。従って、この状態は、他の設計荷重組合せによってカバーされると考えられる。

6.2.7 疲労設計荷重

6.2.7.a 疲労に対して、 10^{-4} 確率レベルにおける波浪及びタンク圧力によるハルガーダ曲げ荷重及び局部荷重を考慮する。疲労荷重は、規則第7節3に明確に与えられる。

6.3 動的荷重の適用

6.3.1 方向修正係数と動的荷重組合せ係数

6.3.1.a 動的荷重は幾つかの動的荷重ケースに対して与えられ、この動的荷重ケースは各荷重成分に対する動的荷重組合せ係数(LCF)を含む。LCFは、特定の設計動的荷重組合せケースに適用される同時作用荷重成分を得るために、 10^{-8} 確率レベルにおけるそれぞれの荷重包絡値に乘じられる。各動的荷重ケースは、一つの支配的な荷重成分の最大値を与えるものとする。荷重は、超過確率 10^{-8} レベルにおける包絡値を再現する波浪中で最大化される。最大化された応答として同時に作用する動的荷重の“スナップショット”が取られる。“スナップショット”における動的荷重の値の比率及びそれぞれの長期包絡値は、各動的荷重ケースに対する動的荷重組合せ係数を与える。従って、

$$LCF = \frac{\text{"スナップショット値"}(\text{snapshot value})}{\text{長期予測値}(\text{long-term value})}$$

動的荷重組合せ係数を得る方法は、等価設計波概念(EDW)と呼ばれる。

6.3.1.b 等価設計波は、参照設計値、それ故に最大化された応答の超過確率 10^{-8} レベルにおける包絡値と同じ応答値を与える規則波と定義される。EDWは、与えられた波周期、 T_0 、包絡長期値及び最大化された応答の応答関数に基づき定義される。波の振幅は次のように与えられる。

$$A_{EDW}(T_0) = \frac{\text{Long-term value}}{RAO(T_0)}$$

ここに、

A_{EDW} : EDW振幅 (m) ,

T_0 : EDW周期 (sec) , 図4.7.11参照

RAO : 周波数応答関数で、周期 T_0 におけるものを取る

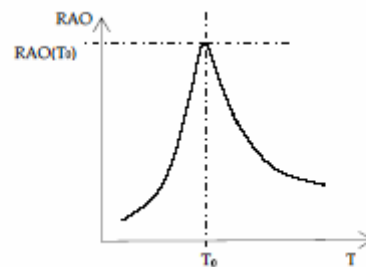


図4.7.11 RAOの解説

6.3.1.c 最大化荷重成分を*i*とすると、荷重成分*j*に対する動的荷重組合せ係数は数学的に次のように与えられる。

$$LCF_j = \frac{\text{"snapshot value"}_j}{\text{Long-term value}_j} = \frac{A_{EDW-i}(T_i) \times RAO_j(T_i) \times \cos(\Delta\varepsilon)}{\text{Long-term value}_j}$$

ここに、

A_{EDW-i} : 最大化応答*i*に対する等価設計波の振幅 (m)

RAO_j : 応答*j*の周波数応答関数

$\Delta\varepsilon$: 周期 T_i に対する応答*i*と応答*j*との位相差(rad)

T_i : 応答*i*の設計波に対するEDW周期(sec)

同時に、荷重成分*j*に対する設計波振幅は次式で与えられることが分かる。

$$A_{EDW-j}(T_j) = \frac{\text{Long-term value}_j}{RAO_j(T_j)}$$

$$\Rightarrow \text{Longterm value}_j = A_{EDW-j}(T_j) \times RAO_j(T_j)$$

ここに、

A_{EDW-j} : 応答*j*の等価設計波の振幅 (m)

T_j : 応答*j*のEDW周期 (sec) , 図4.7.11参照

RAO : 応答*j*の周波数応答関数

以上のことを考慮して、荷重組合せ係数は次のように与えられる。

$$LCF = \frac{A_{EDW-i}(T_i)}{A_{EDW-j}(T_j)} \times \frac{RAO_j(T_i)}{RAO_j(T_j)} \times \cos(\Delta\varepsilon)$$

6.3.1.d 参考波浪周期 T_0 は通常RAOのピークの周期を取る(5.7.11参照)。しかしながら、RAOのピークは、支配的な波浪スペクトルの最大波浪エネルギーに等しい周期と常に一致するとは限らない(図4.7.13参照)。そのようなケースでは、包絡荷重に最大の寄与を統計的に与える周期が、包絡荷重に寄与する波浪周期において荷重が評価されていることを保証するために参考波浪周期として選ばれる。この場合、RAO曲線は、通常、鈍いピーク、2つのピーク或いは非常に長い短いピーク周期を持っている。周期 T_0 におけるEDWの勾配の険しさも検討され、不自然な波浪及び不自然なLCFを避けるために、周期 T_0 におけるEDWの急勾配も考慮された。

6.3.1.e 一般的に、荷重は、評価された応答に対する最も厳しい波方向において最大化される。しかし、荷重が最大にならない波方向において荷重を最大化し、支配的になることがしばしばある。このようなケースに対応するため、EDW振幅は異なる波浪方向の長期値を考慮して、調整されている。(即ち、上下加速度は、大きなハルガーダ縦波曲げモーメントも発生する向波において最大化されるが、船体中央部の最大上下加速度は横波において発生する。EDW振幅は、向波において最大の長期値を与えるように調整されている。)

6.3.1.f 横波において荷重が最大になる場合の動的荷重ケースに対して、操船修正係数 f_β (規則第2節/7.5.13参照), 0.8

が動的荷重成分に適用される。係数0.8は、25年統計周期の代わりに1年統計周期の波浪に対応するように、EDW振幅を減少させる。この波浪の発現確率は凡そ $10^{-6.5}$ 、これは荷重値の20%削減に対応する ($6.5/8 \approx 0.81$)。

6.3.2 考慮する動的荷重ケースに対する波浪中縦曲げモーメント

6.3.2.a 同時に作用する波浪中縦曲げモーメントが与えられる。動的組合せ係数の符号は、サギング或いはホギング波浪曲げモーメント包絡のいずれを使うべきかを示す。 f_{mv} が正の時は、ホギングモーメントが使われ、 f_{mv} が負の時はサギングモーメントが使われる。

6.3.3 考慮する動的荷重ケースに対する波浪水平曲げモーメント

6.3.3.a 同時に作用する波浪水平曲げモーメントが与えられる。動的組合せ係数の符号は、曲げが右舷或いは左舷のどちらに引張りを与えるかを示す。

6.3.4 考慮する動的荷重ケースに対する波浪垂直せん断力

6.3.4.a 同時に作用する波浪垂直せん断力が与えられる。動的組合せ係数の符号は、負或いは正の波浪せん断力包絡のいずれを使うべきかを示す。 f_{qv} が正の時は、正のせん断力が使われ、 f_{qv} が負の時は、負のせん断力が使われる。

6.3.5 考慮する動的荷重ケースに対する波浪変動圧力分布

6.3.5.a 同時に作用する波浪変動圧力が与えられる。ガス方向の波浪変動圧力分布は、船体中心線、左右舷のビルジ、左右舷の静水中喫水線位置である5つの定められた点の間を線形補間して定められる。“スナップショット”位置では、波浪変動圧力分布はこれらの点の間に線形と考える。横波係数(本解説7.6.3(1) 6.3.1.f参照)は、 P_2 圧の非線形係数でカバーするため波浪変動圧力に含まれない。

6.3.6 考慮する動的荷重ケースに対する青波荷重

6.3.6.a 同時に作用する青波荷重が、部材寸法要件及びFE解析による強度評価のために与えられる。青波荷重は、静水中喫水線における波浪変動圧力に基づき、同時に作用する荷重は、静水中喫水線における波浪圧力のLCFにより調整される。

6.3.7 考慮する動的荷重ケースに対する動的タンク圧力

6.3.7.a 動的タンク圧は、上下、左右及び前後加速度からの動的タンク圧力分布の線形組合せとする。

6.3.7.b タンク圧力の荷重組合せ係数は、各タンクに与えられる。前後及び上下加速に対して、タンク位置(左舷、右舷、中央貨物或いは二重底タンク)がどのLCFを使うべきか示す。

6.3.7.c タンク圧は、準静的方法により考える。即ち、動的タンク圧力は全体タンク圧力(組合せ加速度 $g+a$ から生ずるもの)の圧力分布及び静的タンク圧(重力加速度 g から

生ずるもの)の間の差を表す。参照点は100%満載状態のタンクに基づく。

6.3.7.d 上下加速度の参照点はタンクの最高点とする。

6.3.7.e 左右加速度に対して、参考点は、正の左右加速度に対しては左舷タンクトップ、負の左右加速度に対しては右舷タンクトップとする。エアポケットがある場所では、参照点はコーナーとする。

6.3.7.f 前後加速度に対して、参考点は、正の前後加速度に対しては後部横置隔壁のタンクトップ、負の前後加速度に対しては前部横置隔壁のタンクトップとする。

6.3.7.g 貨物領域外に位置するタンクに対して、単純化のために、動的タンク圧力はタンク内の如何なる場所であれ、最大の圧力とする

6.3.8 考慮する動的荷重ケースに対する動的甲板荷重

6.3.8.a 同時に作用する甲板荷重が与えられる。LCFは、単純化のために、甲板荷重の重心におけるものとする。

6.4 直接強度評価のための動的荷重ケース及び動的荷重組合せ係数

6.4.1 一般

6.4.1.a FEMによる強度評価用の動的荷重組合せ係数の開発のために、本解説7.6.3(1)の6.3.1に記述されるEDW概念が使われる。

6.4.2 FE 動的荷重ケース

6.4.2.a 規則の表7.6.2は、FEMによる強度評価に適用可能な動的荷重ケースを与える。

6.4.2.b FEMに対する動的荷重ケースは、船が船体中央部で経験する最も厳しいハルガーダ曲げモーメント及びネット圧力を反映するように与えられる。選択された動的荷重ケースは、一箇所又は数箇所の構造に対し最も重荷になると考えられる動的荷重ケースである。例えば、二重底及び船側外板の桁(等)。更に、横置隔壁のせん断強度が十分であることを保証するために、最も厳しいせん断力を動的荷重ケースに適用する。

6.4.2.c 一般的に、ハルガーダ荷重は船体中央部で評価される。一方、垂直せん断力は船体中央部から $\pm 0.5l_{tk}$ (タンク長さ)の位置で最大せん断力を与える方の位置において評価される。波浪変動圧は船体中央部において評価され、3ホールドモデルに亘り一定と仮定する。波浪変動圧は、喫水線、ビルジ及び中心線の点から構成され、分布はこれらの点の線形補間で与えられる。タンク動圧を定める加速度は、船体中央部の中央及び両船側において評価される。

6.4.2.d せん断力の評価の動的荷重ケースのために、応答は船体中央部の代わりに長さの4分の1において考慮する。

6.4.2.e FE強度評価の動的荷重組合せの基礎として使われる動的荷重ケースは、手順の一貫性を維持するために、部材寸法要件に使われるものと同じである。満載状態に対する10の動的荷重ケースとバラスト状態に対する10の動的荷

重ケースのセットから構成される。船体中央部貨物領域での部材寸法要件決定のために考慮される動的荷重ケースは、表4.7.3及び表4.7.4に与えられる。

6.4.2.f 解析が必要される動的荷重ケースを減らすために、動的荷重ケースの元のフルセットを整理する下記の単純化の適用に基づいて、FE強度評価のために使われる動的荷重ケースを得る。

- (a) 満載とバラスト状態に対するLCFを組み合わせて、一つのLCFとする
- (b) LCF値が類似する又は近似できると看做せる動的荷重ケースを統合させる。
- (c) 構造への重要な荷重を生じさせない動的荷重ケース、即ち、主要構造部材に働く小さいネット圧力及び小さいハルガーダ荷重を削除する。
- (d) ただ一つのLCFを前後加速度に適用する。
- (e) 横波及び斜波の動的荷重ケースに対し、重要でないハルガーダ荷重成分のLCFは0とする。この調整は、手順の適用を単純化し、ホギング或いはサギング曲げモーメント(負或いは正の静水中せん断力)を受けている積付パターンと横波及び斜波の動的荷重ケースとのより論理的な組み合わせを可能とする。

以下は、各FEM動的荷重ケースに対するこの手順についての詳細を示す(規則の表7.6.2に示す)。

6.4.2.g 動的荷重ケース1:最大波浪サギング曲げモーメント(向波)

- (a) この動的荷重ケースは、参考動的荷重ケースA(最小化 M_{wv} (サギング曲げモーメント)と表4.7.3及び表4.7.4に与えられLCFに係数-1.0を掛ける)と表4.7.3に与えられる満載状態に対する参考動的荷重ケースC(最大化 a_v)とを組み合わせることにより得られる。
- (b) この2つの荷重ケースからのLCFは近い一致を示す。組合せられた動的荷重ケースLCFは、 M_{wv} (サギング曲げモーメント)を最小化する動的荷重ケースからのLCFの結果をとる。しかし上下及び前後加速度のLCFは、より大きなタンク圧力を生ずる向波中の a_v 動的荷重ケースを最大化する動的荷重ケースをとる。
- (c) 組合せられた動的荷重ケースは、最大サギング状態と高いネット圧力をもたらす大きなタンク圧力と組み合わせられた船体中央部の波の谷に帰着する。
- (d) バラスト及び満載状態からのLCFは非常に近い一致を示す。しかしながら、満載状態はやや高い上下加速度を示し、その結果としてより高いタンク圧力とネット圧力が生じる。従って、満載状態は、FE動的荷重ケース1に対する荷重組合せケースを選択するための参照状態とした。
- (e) この動的荷重ケースは、喫水の減らされた静的積付パターンに対して適当である。しかし最大ネット圧力を

得るために貨物タンクは満載とする。

6.4.2.h FE動的荷重ケース2:最大ホギング波浪曲げモーメント(向波) (表4.7.5参照)

- (a) FE動的荷重 動的荷重ケース2は, FE動的荷重ケース1とは180度位相のずれた動的荷重及び運動応答を表す。従って, 両方の動的荷重ケースに対するLCFは大きさが同じで符号が逆である。
- (b) 動的荷重ケースは, 最大波浪ホギング曲げモーメントと, 船体中央部に大きな波浪変動圧を生じる波の山を有する。
- (c) この動的荷重ケースは, 最大喫水における空タンクを伴う静的積付パターンとの組合せて適当である

6.4.2.i FE動的荷重ケース3と4:最大の正の波浪垂直せん断力及び負の垂直せん断力(向波) (表4.7.6参照)

- (a) FE動的荷重ケース3と4は, 表4.7.4中の参考荷重ケースBから直接取ったLCFを持つ向波動的荷重ケースである。この荷重ケースは, A.P.の前方0.75Lにおける波浪縦せん断力を最大化する。
- (b) 満載及びバラスト状態に対する荷重組合せ係数は, 近い一致を示す。FE解析のための動的荷重ケースは, 満載及びバラスト状態の大きい方のLCFに基づく。
- (c) 1組の動的荷重ケースが, 180度位相の異なる設計波浪の荷重及び運動応答を表す。従って, これら2つの荷重ケースに対するLCFは, 大きさが同じで逆の符号を持つ。
- (d) 応答は, 波浪せん断力が最大値となる船長の前部4分の1において評価される。
- (e) FE動的荷重ケース3及び4は, A.P.から0.75Lの位置で発生する。そして船の前部における縦強度部材のせん断能力を評価する。

6.4.2.j 動的荷重ケース5aと5b:最大左右加速度(横波) (表4.7.7参照)

- (a) 左右加速度を最大化するFE動的荷重ケースは, 表4.7.3及び表4.7.4中の横波中における等価参考動的荷重ケースI(負の左右加速度を最大化)に基づく。
- (b) これらの荷重ケースに対する満載状態及びバラスト状態からのLCFは表4.7.7に示すように, 近い一致を示す。FE動的荷重ケースに対するLCFは満載状態に基づくが, 上下加速度及びせん断力に対するLCFは, やや保守的な荷重を得るために満載及びバラスト状態からの得られる最大値とする。
- (c) さらに, 波浪中縦曲げモーメント, 波浪水平曲げモーメント及び波浪垂直せん断力に対するLCFは, 手順の単純化のために調整してゼロとする。

FE動的荷重ケース5a及び5bは, 同じ設計波浪で, 逆の波方向の波浪を表す。従って, 左舷からの波(波上側が船の

左舷)及び右舷からの波(波上側が船の右舷)の左右加速度をそれぞれ最大化する。両方の動的荷重ケースを, 非対称積付パターン及び/或いは構造形状の評価のために考慮されなければならない。

6.4.2.k 動的荷重ケース6a及び6b:最大水平ハルガード曲げ(斜め波) (表4.7.8参照)

- (a) FE動的荷重ケース6a及び6bは, 表4.8.3及び表4.8.4中の参考動的荷重ケースGから直接得たLCFによる斜め波動的荷重ケースである。
- (b) バラスト状態に対する荷重組合せ係数(表4.7.4に与えられるもの)が, 一般的に満載状態から得た値(表4.7.3に与えられるもの)より大きいため使われる。
- (c) 手順の適用の単純化のために, 波浪垂直せん断力に対するLCFは調整され, ゼロとする。

6.4.2.l 前後加速度(縦揺れ)及び向波での波浪変動圧(表4.7.3及び表4.7.4中の参考動的荷重ケースD及びF)を最大化する動的荷重ケースは, 大きなハルガード荷重を与えるFE動的荷重ケース1及び2よりカバーされ, 省略される。また, 上下加速度及び横波中の波浪変動圧を最大化する動的荷重ケースは, 非支配的に示されるため, 省略される。

6.5 部材寸法要件における動的荷重ケース及び動的荷重組合せ

6.5.1 一般

6.5.1.a 6.3.1に記述されたEDW概念が寸法要件のための動的荷重組合せ係数の開発に使われる。

6.5.1.b 動的荷重組み合わせ係数は, 図4.7.12に示すように船の長さ方向に沿って4つの位置において計算から得られる。これは, 船長に沿った位相の考慮や大きさ/局部支配 vs. 全体支配の変化を確保するためである。

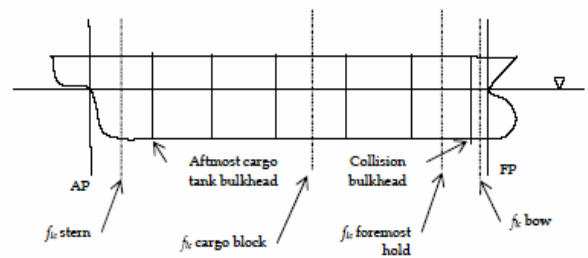


図4.7.12 荷重組合せ係数の評価のための船長方向位置

表4.7.3 満載積付状態の船体中央部船倉における荷重組合せ係数

Maximised Secondary		向波						斜波	横波						
		M_{WV}	Q_{WV}	a_v	a_{lng}	P_{ctr}	P_{WL}	M_{WV-h}	a_{v-mid}	$a_{v-bt-stb}$	$a_{v-bt-pt}$	a_{t-mid}	$a_{t-bt-stb}$	P_{ctr}	P_{WL}
Hull girder	M_{WV}	1.0	-1.0	-1.0	0.5	0.7	0.8	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3
	Q_{WV}	-1.0	1.0	0.5	-	-0.3	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1
	M_{WV-h}	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0
タンク圧力	a_{v-mid}	-0.2	0.3	0.5	-0.4	0.0	0.1	-0.1	1.0	1.0	0.9	0.5	0.5	1.0	1.0
	a_{t-mid}	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.6
	$a_{lng-mid}$	0.3	-0.6	-0.6	1.0	0.2	0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.1	-0.1	-0.5	-0.6
	$a_{v-ctr-pt}$	-	-	-	-0.3	-	-	-0.1	0.8	0.8	0.8	0.2	0.2	0.8	0.8
	$a_{t-ctr-pt}$	-	-	-	0.0	-	-	0.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.6
	$a_{lng-ctr-pt}$	-	-	-	0.9	-	-	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.1	-0.1	-0.4	-0.5
	$a_{v-ct-stb}$	-	-	-	-0.3	-	-	-0.1	1.0	1.0	0.9	0.6	0.6	1.0	1.0
	$a_{t-ct-stb}$	-	-	-	0.0	-	-	0.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.6
	$a_{lng-ct-stb}$	-	-	-	0.9	-	-	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.1	-0.1	-0.4	-0.5
	$a_{v-bt-pt}$	-	-	-	-0.2	-	-	-0.1	0.8	0.8	0.7	0.2	0.2	0.8	0.8
	$a_{t-bt-pt}$	-	-	-	0.0	-	-	0.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.6
	$a_{lng-bt-pt}$	-	-	-	0.9	-	-	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.1	-0.1	-0.4	-0.5
	$a_{v-bt-stb}$	-	-	-	-0.2	-	-	-0.1	1.0	1.0	0.9	0.7	0.7	1.0	1.0
	$a_{t-bt-stb}$	-	-	-	0.0	-	-	0.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.6
	$a_{lng-bt-stb}$	-	-	-	0.9	-	-	-0.1	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	-0.1	-0.4	-0.5
	a_{v-ctr}	-	-	-	-	-	-	-0.1	1.0	1.0	0.9	0.5	0.5	1.0	1.0
a_{t-ctr}	-	-	-	-	-	-	0.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.7	
$a_{lng-ctr}$	-	-	-	-	-	-	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.1	-0.1	-0.5	-0.6	
左舷波浪変動圧	P_{ctr}	0.7	0.2	-0.6	0.2	0.6	0.9	-0.3	0.9	0.9	0.9	0.4	0.4	0.9	0.9
	$P_{B/4}$	0.5	0.2	-0.4	0.1	0.5	0.7	-0.2	0.7	0.7	0.6	0.1	0.1	0.7	0.7
	P_{bilge}	0.3	0.1	-0.2	0.1	0.3	0.5	-0.1	0.4	0.4	0.4	-0.3	-0.3	0.4	0.4
	$P_{B/2-T/2}$	0.3	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	-0.1	0.4	0.4	0.4	-0.3	-0.3	0.4	0.4
	P_{WL}	0.3	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	-0.1	0.4	0.4	0.3	-0.2	-0.2	0.4	0.4
右舷波浪変動圧	P_{ctr}	0.7	0.2	-0.6	0.2	0.6	0.9	-0.3	1.0	1.0	0.9	0.6	0.6	1.0	0.9
	$P_{B/4}$	0.5	0.2	-0.4	0.1	0.5	0.7	-0.4	1.0	1.0	0.9	0.7	0.7	1.0	1.0
	P_{bilge}	0.3	0.1	-0.2	0.1	0.3	0.5	-0.4	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0
	$P_{B/2-T/2}$	0.3	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	-0.5	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.9	1.0
	P_{WL}	0.3	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	-0.6	0.8	0.8	0.7	0.5	0.5	0.8	1.0
運動	□	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.2	1.0	1.0	0.3	0.2
	□	-0.1	0.4	0.5	-0.6	0.0	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2
寸法要求用動的荷重ケースNo..	1	NA	2	3	(2)	NA	4a, 4b	6a, 4b			5a, 5b		7a, 7b	8a, 8b	
FE用参照動的荷重ケース	A	B	C	D	(C)	E	F	G			H		I	J	

表4.7.4 バラスト状態の船体中央部船倉における荷重組合せ係数

Secondary		向波						斜波	横波						
		M_{WV}	Q_{WV}	a_v	a_{Ing}	P_{ctr}	P_{WL}	M_{WV-h}	a_{v-mid}	$a_{v-bt-stb}$	$a_{v-bt-pt}$	a_{t-mid}	$a_{t-bt-stb}$	P_{ctr}	P_{WL}
Hull girder	M_{WV}	1.0	-1.0	-1.0	0.4	0.8	0.4	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.1	-0.2	-0.2
	Q_{WV}	-0.9	1.0	0.3	-	0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
	M_{WV-h}	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	-0.2	-0.1	-0.2	0.1	0.1	-0.1	-0.2
タンク圧力	a_{v-mid}	-0.1	0.2	0.4	-0.2	0.0	0.2	0.1	1.0	0.8	0.9	0.5	0.5	1.0	1.0
	a_{t-mid}	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	0.4	1.0	1.0	0.8	0.6
	$a_{Ing-mid}$	0.2	-0.3	-0.1	1.0	0.1	-0.5	-0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0
	$a_{v-ctr-pt}$	-	-	-	-0.1	-	-	0.1	0.6	0.4	0.6	0.1	0.1	0.8	0.7
	$a_{t-ctr-pt}$	-	-	-	0.0	-	-	0.0	0.5	0.7	0.5	1.0	1.0	0.6	0.6
	$a_{Ing-ctr-pt}$	-	-	-	1.0	-	-	-0.6	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1
	$a_{v-ctr-stb}$	-	-	-	-0.1	-	-	0.1	0.9	1.0	0.9	0.7	0.7	1.0	1.0
	$a_{t-ctr-stb}$	-	-	-	0.0	-	-	0.0	0.5	0.7	0.5	1.0	1.0	0.6	0.6
	$a_{Ing-ctr-stb}$	-	-	-	1.0	-	-	-0.4	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1
	$a_{v-bt-pt}$	-	-	-	-0.1	-	-	0.1	0.5	0.4	0.5	-0.1	-0.1	0.7	0.6
	$a_{t-bt-pt}$	-	-	-	0.0	-	-	0.0	0.5	0.7	0.5	1.0	1.0	0.6	0.6
	$a_{Ing-bt-pt}$	-	-	-	1.0	-	-	-0.6	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1
	$a_{v-bt-stb}$	-	-	-	-0.1	-	-	0.1	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	1.0	1.0
	$a_{t-bt-stb}$	-	-	-	0.0	-	-	0.0	0.5	0.7	0.5	1.0	1.0	0.6	0.6
	$a_{Ing-bt-stb}$	-	-	-	1.0	-	-	-0.4	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1
a_{v-ctr}	-	-	-	-	-	-	0.1	1.0	0.9	0.9	0.6	0.6	1.0	1.0	
a_{t-ctr}	-	-	-	-	-	-	0.0	0.5	0.7	0.5	1.0	1.0	0.6	0.7	
$a_{Ing-ctr}$	-	-	-	-	-	-	-0.4	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	
左舷波浪変動圧	P_{ctr}	1.0	0.3	-0.8	0.3	1.0	0.9	-0.5	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.7	0.3
	$P_{B/4}$	0.7	0.2	-0.5	0.2	0.7	0.7	-0.2	0.2	-0.2	0.2	-0.1	-0.1	0.4	0.2
	P_{bilge}	0.3	0.1	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.0	0.2	-0.4	0.2	-0.4	-0.4	0.3	0.2
	$P_{B/2-T/2}$	0.3	0.1	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.0	0.2	-0.3	0.2	-0.4	-0.4	0.2	0.2
	P_{WL}	0.3	0.1	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.0	0.2	-0.3	0.2	-0.4	-0.4	0.2	0.2
右舷波浪変動圧	P_{ctr}	1.0	0.3	-0.8	0.3	1.0	0.9	-0.5	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4	0.8	0.4
	$P_{B/4}$	0.7	0.2	-0.5	0.2	0.7	0.7	-0.5	0.6	0.7	0.5	0.7	0.7	0.9	0.7
	P_{bilge}	0.3	0.1	-0.2	0.1	0.4	0.5	-0.4	0.8	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9
	$P_{B/2-T/2}$	0.3	0.1	-0.2	0.1	0.4	0.5	-0.5	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0
	P_{WL}	0.3	0.1	-0.2	0.1	0.4	0.5	-0.6	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	1.0
運動	□	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.2	0.9	0.9	0.4	0.3
	□	-0.2	0.3	0.1	-0.8	-0.1	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
寸法要求用動的荷重ケースNo..	1	NA	2	3	2	NA	4a, 4b	6a, 6b	5a, 5b	6a, 6b	5a, 5b	7a, 7b	8a, 8b		
FE用参照動的荷重ケース	A	B	C	D	C	D	E	F	G	F	H	I	J		

表4.7.5 FE動的荷重ケース1と2の由来

波向		計算された (LCFs)				FE解析 (LCFs)	
		向波 (満載)		向波 (バラスト)		向波	
参照表		表4.7.3		表4.7.4		規則の表7.6.2	
最大応答		M_{wv}	a_v	M_{wv}	a_v	M_{wv}	M_{wv}
参考動的荷重ケース		A*	C	A*	C		
FE動的荷重ケース						1	2
ハルガーダ	M_{wv}	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	1.0
	Q_{wv}	1.0	0.5	0.9	0.3	1.0	-1.0
	M_{wv-h}	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
タンク圧力計算用の加速度	a_{v-mid}	0.2	0.5	0.1	0.4	0.5	-0.5
	$a_{v-ct-pt}$	0.2	0.5	0.1	0.4	0.5	-0.5
	a_{v-mid}	0.2	0.5	0.1	0.4	0.5	-0.5
	a_t	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$a_{lng-mid}$	-0.3	-0.6	-0.2	-0.1	-0.6	0.6
	$a_{lng-ct-pt}$	-0.3	-0.6	-0.2	-0.1	-0.6	0.6
	$a_{lng-ct-stb}$	-0.3	-0.6	-0.2	-0.1	-0.6	0.6
右舷用の波浪変動圧	P_{ctr}	-0.7	-0.6	-1.0	-0.8	-0.7	0.7
	P_{bilge}	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	0.3
	P_{WL}	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	0.3
	左舷用の波浪変動圧	P_{ctr}	-0.7	-0.6	-1.0	-0.8	-0.7
P_{bilge}		-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	0.3
P_{WL}		-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	0.3

備考:
 1. *係数を表4.7.3及び表4.7.4中のLCFと乗じることより最小(サギング)波浪曲げモーメントを得る。
 2. サギング曲げモーメントは、負、ホギング曲げモーメントを正とする。

表4.7.6 FE動的荷重ケース3と4の由来

波向		計算された (LCFs)		FE解析 (LCFs)	
		向波 (満載)	向波 (バラスト)	向波	
参照表		表4.7.3	表4.7.4	規則の表7.6.2	
最大応答		Q_{wv}	Q_{wv}	Q_{wv}	Q_{wv}
参考動的荷重ケース		B	B		
FE動的荷重ケース				3	4
ハルガーダ	M_{wv}	-1.0	-1.0	-1.0	1.0
	Q_{wv}	1.0	1.0	1.0	-1.0
	M_{wv-h}	0.0	0.0	0.0	0.0
タンク圧力計算用の加速度	a_{v-mid}	0.3	0.2	0.3	-0.3
	$a_{v-ct-pt}$	0.3	0.2	0.3	-0.3
	a_{v-mid}	0.3	0.2	0.3	-0.3
	a_t	0.0	0.0	0.0	0.0
	$a_{lng-mid}$	-0.6	-0.3	-0.6	0.6
	$a_{lng-ct-pt}$	-0.6	-0.3	-0.6	0.6
	$a_{lng-ct-stb}$	-0.6	-0.3	-0.6	0.6
右舷用の波浪変動圧	P_{ctr}	0.2	0.3	0.3	-0.3
	P_{bilge}	0.1	0.1	0.1	-0.1
	P_{WL}	0.1	0.1	0.1	-0.1
	左舷用の波浪変動圧	P_{ctr}	0.2	0.3	0.3
P_{bilge}		0.1	0.1	0.1	-0.1
P_{WL}		0.1	0.1	0.1	-0.1

6.5.1.c 船尾領域及び機関スペースに対する係数は、A.P.と最も後ろの貨物タンク隔壁との間の位置で求められた。
 6.5.1.d 貨物タンク領域に対しては、最前端船倉を除き、動的荷重組合せ係数は、船体中央部船倉における計算に基づく。最後部船倉と船体中央部との比較により、船体中央部に対する組合せ係数の方がより保守的な結果を与える。

なお、計算位置は、検討する船倉の船長方向重心とする。
 6.5.1.e 最前端船倉に対しては、船長方向計算位置は船倉の船長方向重心に置く。
 6.5.1.f 船首倉の動的荷重組合せ係数は、船首隔壁とF.P.との間で計算する。

表4.7.7 FE動的荷重ケース5aと5bの由来

波向		計算された (LCFs)		FE解析 (LCFs)	
		横波 (満載)	横波 (バラスト)	横波	
参照表		表4.7.3	表4.7.4	規則の表7.6.2	
最大応答		a_t	a_t	a_t	a_t
参考動的荷重ケース		I	I		
FE動的荷重ケース				5a	5b
ハルガーダ	M_{wv}	-0.1	-0.1	0.0	0.0
	Q_{wv}	0.0	-0.1	0.0	0.0
	M_{wv-h}	0.1	-0.1	0.0	0.0
タンク圧力計算用の加速度	a_{v-mid}	0.5	0.5	0.5	0.2
	$a_{v-ct-pt}$	0.6	0.8	0.8	0.8
	a_{v-mid}	0.2	0.1	0.2	0.5
	a_t	-1.0	-1.0	-1.0	1.0
	$a_{lng-mid}$	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
	$a_{lng-ct-pt}$	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
	$a_{lng-ct-stb}$	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
	$a_{lng-ctr}$	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
右舷用の波浪変動圧	P_{ctr}	0.5	0.3	0.5	0.5
	P_{bilge}	-0.3	-0.4	-0.3	0.8
	P_{WL}	-0.2	-0.4	-0.2	0.5
左舷用の波浪変動圧	P_{ctr}	0.5	0.3	0.5	0.5
	P_{bilge}	0.8	0.9	0.8	-0.3
	P_{WL}	0.5	0.7	0.5	-0.2

表4.7.8 FE動的荷重ケース6aと6bの由来

波向		計算された (LCFs)		FE解析 (LCFs)	
		斜波 (満載)	斜波 (バラスト)	斜波	
参照表		表4.7.3	表4.7.4	規則の表7.6.2	
最大応答		M_{wv-h}	M_{wv-h}	M_{wv-h}	M_{wv-h}
参考動的荷重ケース		G*	G*		
FE動的荷重ケース				6a	6b
ハルガーダ	M_{wv}	0.2	0.4	0.4	0.4
	Q_{wv}	0.1	0.1	-0.1	-0.1
	M_{wv-h}	1.0	1.0	1.0	-1.0
タンク圧力計算用の加速度	a_{v-mid}	0.1	-0.1	-0.1	-0.1
	$a_{v-ct-pt}$	0.1	-0.1	-0.1	-0.1
	a_{v-mid}	0.1	-0.1	-0.1	-0.1
	a_t	0.0	0.0	0.0	0.0
	$a_{lng-mid}$	0.3	0.6	0.5	0.5
	$a_{lng-ct-pt}$	0.2	0.4	0.5	0.5
	$a_{lng-ct-stb}$	0.4	0.6	0.5	0.5
	$a_{lng-ctr}$	0.3	0.4	0.5	0.5
右舷用の波浪変動圧	P_{ctr}	0.3	0.5	0.5	0.5
	P_{bilge}	0.1	0.0	0.0	0.4
	P_{WL}	0.1	0.0	0.0	0.6
左舷用の波浪変動圧	P_{ctr}	0.3	0.5	0.5	0.5
	P_{bilge}	0.4	0.4	0.4	0.0
	P_{WL}	0.6	0.6	0.6	0.0

備考:
 1. * 係数は、表4.7.3及び表4.7.4の中のLCFsに適用し、最小ケースを得る。
 2. サギング曲げモーメントは、正、ホギング曲げモーメントを負とする。
 3. 前後加速度は平均値に基づく。

6.5.1.g 計算はFE動的荷重組合せケースに対する基礎であるため、垂直せん断力は、 10^{-8} 確率レベルで波浪垂直せん断力の最大値が得られる点において求められる。これらの結果は参考のため表に含まれる

6.5.1.h 2つの異なる積付状態が考慮される。即ち、ヘビーバラスト状態と寸法喫水における満載状態である。応答関

数の基礎として使われる3次元波浪流体力解析は、前進速度ゼロとして行われる。

6.5.1.i 動的荷重組合せ係数は、検討された船舶の結果として得られた平均係数に基づく。

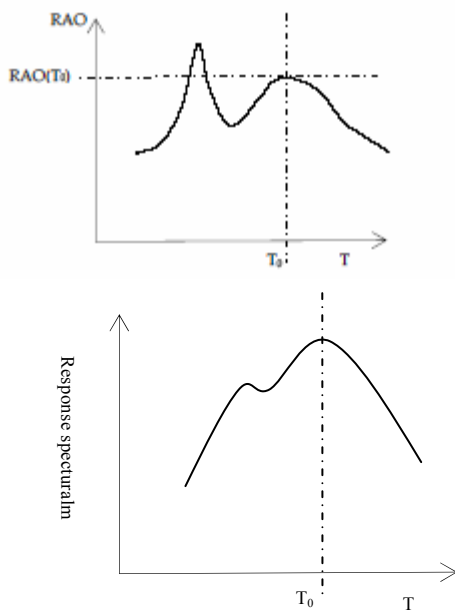
6.5.2 船体中央部及び船尾貨物領域に対する動的荷重ケース

6.5.2.a 表4.7.3及び表4.7.4は、規則の表7.6.4及び表7.6.5のベースとなる結果を与える。

6.5.2.b 満載及びバラスト状態に対するEDWは、縦曲げモーメント、垂直せん断力及び水平曲げモーメントの夫々に対し、同じような結果を生じる。せん断力影響がFE強度評価により正確的に評価されるため、局部部材寸法評価に対しては、せん断力は規則要求に含まれない。

6.5.2.c 線形重ね合わせにより全体動的タンク圧力を得るために、タンク圧力は3つの加速度成分を個別に最大化することにより記述できると仮定する。検討された波の方向は、一般的に最大応答が発生する方向である。上下と左右加速度に対して、横波であり、一方前後加速度に対しては向波である。さらに、タンク圧力とハルガーダ曲げとの組合せが重要なので、向波における上下加速度に対するEDWから導かれるスナップショットが検討された。

6.5.2.d 向波中において、上下加速度の応答関数は、2つのピークを持つ（図4.7.13参照）。



注：2番目の応答関数のピークは、最大ピークより 10^{-8} 確率レベルにおける包絡値により大きな寄与を与える。応答スペクトルよりわかる

図4.7.13 向波中の上下加速度応答関数と応答スペクトル

長期応答に対する波浪スペクトルの寄与が検討され、最も高いピークは、エネルギー寄与範囲外の波浪周期において発生するという結論を得た。従って、さらなる検討には2番目のピークが選ばれた。最大化された向波による上下加速度は、最大化された縦曲げモーメントによるものと類似である。

6.5.2.e 横波における上下加速度は、中心線、左舷及び右舷の位置で最大化される。満載状態に対しては、これら3つの位置は同じ設計波と荷重組合せ係数を与える。バラスト状態に対して、結果は、船のタイプによって変わる。小型船は、3つすべての位置に対して同じ等価設計波を与えるのに対して、大型船では中心線と波下側では同じ等価設計波を与えるのに、波上側では左右加速度の等価設計波に従う。

6.5.2.f 上下加速度応答は、上下揺運動に密接に関連する。横揺れ固有周期が上下揺固有周期に近づいたケースでは、上下加速度応答も、横揺れ運動に影響される。このケースは、特に大型の船のバラスト状態で、波上側で横揺れが支配的であることが見られる。

6.5.2.g 3つの a_y -横波動的荷重ケースの類似点は、それらを横波における上下加速度に対する1つの動的荷重ケースに統合することが正当化される。

6.5.2.h 左右加速度は、中央タンク及び波上側で最大化される。両位置は、共に同じEDW及び動的荷重組合せ係数の結果を生じる。両方の積付状態において、すべての船舶は、最大横揺れ角及び無視できる縦揺れ角に関して、同じような性質を示す。左右加速度に対して、2つの動的荷重ケースは1つの動的荷重ケースに統合される。

6.5.2.i 波浪変動圧は、向波及び横波における中心線と喫水線の波浪変動圧を最大化する4つのEDWについて検討された。

6.5.2.j 横波における満載状態に対して、中心線波浪変動圧EDWは、横波中の上下加速度動的荷重ケースに等しい。喫水線波浪変動圧は、類似の設計波を持つが、少し高めめのタンク圧力を持つ。

6.5.2.k バラスト状態に対して、中心線長期圧力は、横波ではなく向波において最大となる。中心線波浪変動圧に対するEDWと上下加速度動的荷重ケースとの相違は、満載状態に対するものより大きい。満載状態でも観察されていることと同じように、最大化横波喫水線圧力は、横波上下加速度荷重と類似を示す。

6.5.3 船首部貨物領域に対する動的荷重ケース

6.5.3.a 表4.7.9及び表4.7.10は、規則の表7.6.6及び表7.6.7のベースとなる結果を与える。

6.5.3.b 前端貨物倉においては、ハルガーダ荷重を最大化することは関心がない。それはこの領域においては、局部荷重は増えるが、ハルガーダ荷重が小さくなるためである。ハルガーダ荷重は2次の応答としてのみ含まれる。

6.5.3.c タンク圧力は、最も大きい長期応答の波浪方向において最大化される。それは前後加速度に対しては向波であり、上下と左右加速度に対しては横波である。上下加速度は更に前後加速度とハルガーダ荷重との組合せ影響を捉えるため向波において最大化される。

表 4.7.9 満載積付状態の最前部船倉における動的荷重組合せ係数

Maximised Secondary		向波		斜波					横波					
		a_v	a_{lng}	$a_{lng-ct-stb}$	$a_{lng-bt-stb}$	P_{ctr}	P_{bilge}	P_{WL}	a_{v-mid}	$a_{v-ct-stb}$	$a_{v-bt-stb}$	a_{t-mid}	$a_{t-ct-stb}$	$a_{t-bt-stb}$
Hull girder	M_{wv}	-0.7	1.0	0.3	0.3	-0.6	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
	M_{wv-h}	0.0	0.0	-0.2	-0.2	0.2	-0.1	0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.5	-0.5
タンク圧力	a_{v-mid}	0.7	-0.6	-0.5	-0.5	0.7	0.9	0.7	1.0	0.9	0.9	0.4	0.4	0.4
	a_{t-mid}	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1	0.7	0.5	0.8	0.7	0.7	1.0	1.0	1.0
	$a_{lng-mid}$	-1.0	1.0	0.8	0.8	-1.0	-0.6	-1.0	-0.6	-0.6	-0.6	-0.2	-0.2	-0.2
	$a_{v-ct-pt}$	-	-0.6	-0.6	-0.5	0.7	0.9	0.7	0.9	0.9	0.8	0.3	0.3	0.3
	$a_{t-ct-pt}$	-	0.0	0.4	0.4	0.1	0.7	0.5	0.8	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0
	$a_{lng-ct-pt}$	-	0.9	0.6	0.6	-1.0	-0.6	-1.0	-0.6	-0.5	-0.5	-0.2	-0.1	-0.1
	$a_{v-ct-stb}$	0.7	-0.6	-0.6	-0.5	0.7	1.0	0.6	1.1	1.0	1.0	0.6	0.6	0.6
	$a_{t-ct-stb}$	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1	0.7	0.5	0.8	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0
	$a_{lng-ct-stb}$	-0.8	0.9	1.0	1.0	-0.9	-0.5	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.1	-0.1	-0.1
	$a_{v-bt-pt}$	-	-0.6	-0.6	-0.5	0.7	0.8	0.6	0.8	0.8	0.8	0.2	0.3	0.3
	$a_{t-bt-pt}$	-	0.0	0.4	0.4	0.1	0.7	0.5	0.8	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0
	$a_{lng-bt-pt}$	-	1.0	0.4	0.4	-1.0	-0.6	-1.0	-0.6	-0.5	-0.5	-0.2	-0.1	-0.2
	$a_{v-bt-stb}$	0.7	-0.6	-0.6	-0.5	0.7	1.0	0.6	1.1	1.0	1.0	0.6	0.6	0.6
	$a_{t-bt-stb}$	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1	0.7	0.5	0.8	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0
$a_{lng-bt-stb}$	-0.8	1.0	1.0	1.0	-0.8	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5	-0.5	-0.1	-0.1	-0.1	
左舷波変動圧	P_{ctr}	-	-0.9	-0.4	-0.4	1.0	0.8	0.5	0.9	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4
	$P_{B/4}$	-	-0.7	-0.5	-0.5	0.8	0.6	0.4	0.6	0.6	0.6	0.1	0.1	0.1
	P_{bilge}	-	-0.6	-0.6	-0.6	0.6	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	-0.1	-0.1	-0.1
	$P_{B/2-T/2}$	-	-0.6	-0.8	-0.7	0.5	0.5	0.2	0.5	0.5	0.5	-0.1	-0.2	-0.2
	P_{WL}	-	-0.5	-0.9	-0.8	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4	0.4	-0.1	-0.2	-0.2
右舷波変動圧	P_{ctr}	1.0	-0.9	-0.4	-0.4	1.0	0.8	0.5	0.9	0.8	0.8	0.5	0.5	0.5
	$P_{B/4}$	0.9	-0.7	-0.3	-0.3	0.9	0.9	0.6	1.0	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7
	P_{bilge}	0.6	-0.6	-0.2	-0.2	0.9	1.0	0.7	1.1	1.0	1.0	0.7	0.8	0.8
	$P_{B/2-T/2}$	0.5	-0.6	-0.2	-0.2	0.8	1.0	0.9	1.1	1.0	1.0	0.7	0.7	0.7
	P_{WL}	0.3	-0.5	-0.2	-0.2	0.8	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9	0.5	0.6	0.6
運動	□	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.4	0.0	0.5	0.4	0.4	1.0	1.0	1.0
	□	1.0	-0.6	-0.5	-0.5	0.7	0.3	0.6	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1
寸法要求用動的荷重ケースNo.		1	2	3a, 3b		4a, 4b	5a, 5b	6a, 6b	7a, 7b			8a, 8b		

6.5.3.d 向波における上下加速度RAOは、ピークが2つを有する。向波における上下加速度に対する動的荷重組合せ係数を開発する際には、短期応答への波浪エネルギー寄与は考慮される。上下加速度に対して検討された3つの動的荷重は、1つの動的荷重ケースに統合される。

6.5.3.e 左右加速度を最大化する3つの動的荷重ケースは、同じようなEDW値を与える。従って、1つの動的荷重ケースに合併される。

6.5.3.f 前後加速度は、3つの位置で最大化され、結果として2つの動的荷重ケースとなる。1つは、斜波に対するものであり、1つは向波に対するものである。中央貨物タンクの前後加速度に対して、向波が支配的である。船側貨物倉及びバラスタタンクに対して、斜波が支配される。

6.5.3.g 船側貨物倉及びバラスタタンクは、同じEDWと動的荷重組合せ係数を持つ。

表4.7.10 バラスト状態の最前部船倉における動的荷重組合せ係数

Maximised Secondary		向波		斜波					横波					
		a_v	a_{lng}	$a_{lng-ct-stb}$	$a_{lng-bt-stb}$	P_{ctr}	P_{bilge}	P_{WL}	a_{v-mid}	$a_{v-ct-stb}$	$a_{v-bt-stb}$	a_{t-mid}	$a_{t-ct-stb}$	$a_{t-bt-stb}$
Hull girder	M_{wv}	-0.8	0.9	0.7	0.8	-1.0	-0.2	-0.3	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
	M_{wv-h}	0.0	0.0	0.4	0.3	0.0	-0.5	0.3	-0.5	-0.4	-0.4	-0.7	-0.4	-0.4
タンク圧力	a_{v-mid}	0.8	-0.6	-0.7	-0.7	0.5	0.6	0.9	1.0	0.9	0.9	0.4	0.4	0.4
	a_{t-mid}	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.2	0.8	0.7	0.8	1.0	1.0	1.0
	$a_{lng-mid}$	-1.0	1.0	1.0	1.0	-0.6	-0.3	-1.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
	$a_{v-ct-pt}$	-	-0.5	-0.7	-0.7	0.4	0.4	0.7	0.6	0.6	0.6	0.0	0.1	0.1
	$a_{t-ct-pt}$	-	0.0	0.0	0.1	0.0	0.9	0.1	0.8	0.7	0.7	1.0	1.0	1.0
	$a_{lng-ct-pt}$	-	1.0	1.0	0.9	-0.6	-0.4	-0.9	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
	$a_{v-ct-stb}$	0.7	-0.5	-0.7	-0.7	0.4	0.8	0.7	1.1	1.0	1.0	0.7	0.7	0.7
	$a_{t-ct-stb}$	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.9	0.1	0.8	0.7	0.7	1.0	1.0	1.0
	$a_{lng-ct-stb}$	-0.9	1.0	1.0	1.0	-0.6	-0.2	-0.7	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$a_{v-bt-pt}$	-	-0.5	-0.7	-0.7	0.4	0.3	0.7	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0
	$a_{t-bt-pt}$	-	0.0	0.0	0.1	0.0	0.9	0.2	0.8	0.7	0.7	1.0	1.0	1.0
	$a_{lng-bt-pt}$	-	1.0	0.9	0.9	-0.6	-0.5	-0.9	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.1
	$a_{v-bt-stb}$	0.7	-0.5	-0.7	-0.7	0.4	0.8	0.7	1.1	1.0	1.0	0.7	0.7	0.7
	$a_{t-bt-stb}$	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.9	0.2	0.8	0.7	0.7	1.0	1.0	1.0
$a_{lng-bt-stb}$	-0.8	1.0	1.0	1.0	-0.6	0.2	-0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	
左舷波浪変動圧	P_{ctr}	-	-0.7	-0.9	-0.9	1.0	0.5	0.6	0.6	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2
	$P_{B/4}$	-	-0.6	-0.9	-0.9	0.8	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	-0.2	-0.2	-0.2
	P_{bilge}	-	-0.4	-0.7	-0.8	0.6	-0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	-0.3	-0.3	-0.4
	$P_{B/2-T/2}$	-	-0.2	-0.7	-0.7	0.4	-0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	-0.4	-0.4	-0.4
	P_{WL}	-	-0.2	-0.6	-0.7	0.4	-0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	-0.3	-0.4	-0.4
右舷波浪変動圧	P_{ctr}	1.0	-0.7	-0.9	-0.9	1.0	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3
	$P_{B/4}$	0.8	-0.6	-0.6	-0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
	P_{bilge}	0.5	-0.4	-0.3	-0.4	0.6	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
	$P_{B/2-T/2}$	0.4	-0.2	-0.2	-0.2	0.4	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.8
	P_{WL}	0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0.4	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
漕動	<input type="checkbox"/>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.8	0.0	0.5	0.5	0.5	0.9	0.9	1.0
	<input type="checkbox"/>	1.0	-0.7	-0.8	-0.8	0.5	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
寸法要求用動的荷重ケースNo.		1	2	3a, 3b		4a, 4b	5a, 5b	6a, 6b	7a, 7b			8a, 8b		

6.5.3.h 最前端船倉の中央バラストタンクに対して、上下及び前後加速度荷重組合せ係数は、‘中央’位置における荷重組合せ係数と同じ係数とすることができる。これは、船体中央部における計算で確認されるように、上下加速度が横断面における高さに対して一定であるためである。

6.5.3.i 中心線、ビルジ及び喫水線の波浪変動圧を最大化する3つのEDWがある。設計波方向として、最も大きい長期応答値の波向が選ばれている。横/斜波が波向を支配する

が、バラスト状態の中央線における波浪変動圧に対するEDWは除外される。これは向波に対して大きい。しかし、横/斜波における長期応答は、90°及び120°/150°の間の波向で微少な変化しか示さないの、波向は統一される。EDWの3つの位置は、中心線とビルジの間及びビルジと喫水線間の波浪変動圧を表す、更に2つのEDWを加えることにより、厳しい動的荷重の組合せをカバーすることが確かめられている。満載状態に対して、 $P_{B/2-T/2}$ に対するEDWは、 P_{bilge}

に対するEDWと等しく、そして $P_{B/4}$ に対するEDWは、 P_{WL} 及び P_{ctr} に対するEDWと等しい。バラスト状態に対して、2つの新しい波浪変動圧動的荷重ケース、 $P_{B/4}$ 及び $P_{B/2-T/2}$ は、最大化された P_{bilge} 動的荷重ケースと非常に類似する。

6.5.4 貨物タンク領域外の領域に対する動的荷重ケース

6.5.4.a 表4.7.11及び表4.7.12は、規則の表7.6.8及び表7.6.9に示される動的荷重ケースのベースとなる結果を与える。

- (a) 波浪中縦曲げモーメントは、最後部の貨物タンク隔壁位置で最大化され、機関室領域をカバーする。船尾領域では、最大の長期値は追波で発生する。この動的荷重ケースは、支配的ではないので、最終的な表の中に省略された。
- (b) タンク圧力は、最大長期応答の波向において最大化される。その波向は上下及び左右加速度に対して横波である。
- (c) 上下加速度は、中央及び船側外板の2つの位置において最大化される。それらは、類似した動的荷重組合せ係数及び設計波を生じる。このことは、それらを1つの動的荷重ケースにマージされるためである。
- (d) 左右加速度は、中央、船側外板及び甲板室の3つにおいて最大化される。中央と船側外板位置は、同じ荷重組合せ係数と設計波を生じ、甲板室トップではそれと類似のものとなる。この3つの a_t -動的荷重ケース（横波中）は、左右加速度に対する1つの横波動的荷重ケ

ースに統合される。

- (e) 中心線及び喫水線における波浪変動圧を最大化する2つの波浪変動圧EDWがある。設計波方向として、最大の長期応答の方向を選ぶ。斜波は喫水線圧力に対して支配的であるが、中心線における波浪変動圧の最大長期応答は、追い波中に発生する。

6.5.4.b 表4.7.13及び表4.7.14は、規則の表7.6.8及び表7.6.9に船首のベースとなる結果を与える。

- (a) 中心線及び喫水線において波浪変動圧を最大化する2つのEDWがある。最大の長期応答の波向が、設計波方向として選ばれている。斜波は、喫水線における波浪変動圧に対して支配的であるが、一方船底圧力の最大長期応答は追波において発生する。この二つ荷重ケースは、支配的ではないので、規則の表から削除された。
- (b) 上下加速度は、中央及び船側外板の横断面の2つの位置において最大化される。2つの a_v EDW（横波中）が類似しているのは、1つの動的荷重ケースに統合されるためである。
- (c) 左右加速度は、中央及び船側外板の横断面の2つの位置において最大化される。それらは、同じ荷重組合せ係数及び設計波を生じる。

表4.7.11 満載状態の船尾領域用の荷重組合せ係数

Maximised		追波		斜波	横波				
		M_{wv}	P_{ctr}	P_{WL}	a_{v-mid}	a_{v-ss}	a_{t-mid}	a_{t-ss}	$a_{t-house}$
Secondary									
ハルガーダ	M_{wv}	1.0	-1.0	-0.7	-0.4	-0.4	-0.1	-0.1	-0.1
タンク圧力	a_{v-mid}	-0.4	0.6	0.9	1.0	1.0	0.3	0.3	0.3
	a_{t-mid}	0.0	0.0	0.2	0.5	0.5	1.0	1.0	0.9
	$a_{lmg-mid}$	-0.6	0.8	0.7	0.5	0.5	-0.1	-0.1	-0.1
	a_{v-ss}	-0.4	0.6	0.9	1.0	1.0	0.4	0.4	0.4
	a_{t-ss}	0.0	0.0	0.2	0.5	0.5	1.0	1.0	0.9
	a_{lmg-ss}	-0.6	0.7	0.6	0.5	0.4	-0.1	-0.1	-0.1
	$a_{v-house}$	-0.4	0.6	0.9	1.0	1.0	0.3	0.3	0.3
	$a_{t-house}$	0.0	0.0	0.2	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0
	$a_{lmg-house}$	-0.6	0.7	0.8	0.6	0.6	-0.1	-0.1	-0.1
左舷波浪変動圧	P_{ctr}	-0.8	1.0	0.8	0.7	0.7	0.2	0.2	0.2
	P_{WL}	-0.5	0.5	0.2	0.3	0.3	-0.3	-0.3	-0.3
右舷波浪変動圧	P_{ctr}	-0.8	1.0	0.8	0.7	0.7	0.3	0.3	0.3
	P_{WL}	-0.5	0.5	1.0	0.8	0.8	0.5	0.5	0.4
運動	θ	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	1.0	1.0	1.0
	ϕ	0.5	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	0.1	0.1	0.0
寸法要求用動的荷重ケースNo.		非支配的	1	2aと2b	3aと3b		4aと4b		

表4.7.12 バラスト状態の船尾領域用の荷重組合せ係数

Secondary		Maximised	追波		斜波	横波			
			M_{wy}	P_{ctr}	P_{WL}	a_{v-mid}	a_{v-ss}	a_{t-mid}	a_{t-ss}
ハルガード	M_{wy}	1.0	-1.0	-0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
タンク圧力	a_{v-mid}	-0.4	0.6	0.9	1.0	0.9	0.3	0.3	0.3
	a_{t-mid}	0.0	0.0	0.1	0.6	0.6	1.0	1.0	0.9
	$a_{lmg-mid}$	-0.5	0.7	0.8	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	a_{v-ss}	-0.3	0.5	0.9	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5
	a_{t-ss}	0.0	0.0	0.1	0.6	0.6	1.0	1.0	0.9
	a_{lmg-ss}	-0.5	0.7	0.7	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	$a_{v-house}$	-0.4	0.6	0.9	1.0	0.9	0.3	0.3	0.3
	$a_{t-house}$	0.0	0.0	0.1	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0
左舷波浪変動圧	P_{ctr}	-0.8	1.0	0.7	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1
	P_{WL}	-0.7	0.8	0.3	0.1	0.1	-0.3	-0.3	-0.3
右舷波浪変動圧	P_{ctr}	-0.8	1.0	0.7	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2
	P_{WL}	-0.7	0.8	1.0	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4
運動	θ	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	1.0	1.0	0.9
	ϕ	0.4	-0.6	-0.5	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
寸法要求用動的荷重ケースNo.		非支配的	1	2aと2b	3aと3b		4aと4b		

表4.7.13 満載状態の船首用の荷重組合せ係数

		向波	斜波	横波			
		P_{ctr}	P_{WL}	a_{v-mid}	a_{v-ss}	a_{t-mid}	a_{t-ss}
タンク圧力	a_{v-mid}	0.6	0.7	1.0	1.0	0.3	0.3
	a_{t-mid}	0.0	0.2	0.7	0.6	1.0	1.0
	$a_{lmg-mid}$	-0.9	-1.0	-0.7	-0.7	-0.1	-0.1
	a_{v-ss}	0.6	0.7	1.0	1.0	0.3	0.3
	a_{t-ss}	0.0	0.2	0.7	0.6	1.0	1.0
	a_{lmg-ss}	-0.9	-0.9	-0.7	-0.6	-0.1	-0.1
左舷波浪変動圧	P_{ctr}	1.0	0.9	0.8	0.8	0.2	0.2
	P_{WL}	0.9	0.9	0.6	0.6	0.0	0.0
右舷波浪変動圧	P_{ctr}	1.0	0.9	0.8	0.8	0.2	0.2
	P_{WL}	0.9	1.0	0.8	0.8	0.2	0.2
運動	θ	0.0	0.1	0.3	0.3	1.0	1.0
	ϕ	0.6	0.6	0.3	0.3	0.1	0.1
寸法要求用動的荷重ケースNo.		非支配的	非支配的	5aと5b		6aと6b	

表4.7.14 バラスト状態の船首用の荷重組合せ係数

		向波	斜波	横波			
		P_{ctr}	P_{WL}	a_{v-mid}	a_{v-ss}	a_{t-mid}	a_{t-ss}
タンク圧力	a_{v-mid}	0.6	0.7	1.0	0.9	0.3	0.3
	a_{t-mid}	0.0	0.1	0.7	0.7	1.0	1.0
	$a_{lmg-mid}$	-0.9	-1.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0
	a_{v-ss}	0.5	0.7	1.0	1.0	0.5	0.5
	a_{t-ss}	0.0	0.1	0.7	0.7	1.0	1.0
	a_{lmg-ss}	-0.8	-1.0	-0.3	-0.3	0.0	0.0
左舷波浪変動圧	P_{ctr}	1.0	0.9	0.5	0.5	0.1	0.1
	P_{WL}	0.8	0.7	0.3	0.3	-0.1	-0.1
右舷波浪変動圧	P_{ctr}	1.0	0.9	0.6	0.6	0.2	0.2
	P_{WL}	0.8	1.0	0.7	0.6	0.3	0.3
運動	\square	0.0	0.1	0.3	0.3	1.0	1.0
	\square	0.6	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0
寸法要求用動的荷重ケースNo.		非支配的	非支配的	5aと5b		6aと6b	

8 節 部材寸法要件

1 縦強度

1.1 積付要領

1.1.1 一般

縦強度要件は、ハルガーダ静水中せん断及び曲げに対する制限という項目で船の運航全体を定義しており、以下の項目が含まれる。

- (1) ハルガーダ曲げ強度 (C 編 15.2)
- (2) ハルガーダせん断強度 (C 編 15.3)
- (3) ハルガーダ座屈強度 (C 編 15.4)
- (4) ハルガーダ疲労強度

また本節は、表 4.8.1 示す IACS UR に従い規定している。

表 4.8.1 関連する IACS UR

S1	積付状態、ローディングマニュアルそして積付計算機に対する要件
S4	降伏点 $315N/mm^2$ と $355N/mm^2$ の高張力鋼を使用するための評価基準 (縦強度に関する)
S5	船の部材寸法を決めるための代表的船舶に対する中央部の断面係数の計算
S7	最小縦強度基準
S11	縦強度基準

1.1.2 ローディングマニュアル

基本的に、IACS UR S11 及び S1 に基づく。

1.1.3 付計算機

基本的に、IACS UR S1 に基づく。

1.2 ハルガーダ曲げ強度

1.2.1 一般

ネット寸法とする以外は、IACS UR S11 に基づくもので、鋼船規則 C 編 15.2 と同様である。

1.2.2 最小要求値

IACS UR S4 による最小ハルガーダ断面二次モーメントは、次式で表される。

$$I_{\min-URS4} = 3Z_{\min-URS7}L$$

$Z_{\min-URS7}$: IACS UR S7 で与えられる、軟鋼に対するその船舶の最終船齢時若しくはネット断面係数の要求値。

$$Z_{\min-URS7} = C_s C_{wv} L^2 B (C_b + 0.7)$$

C_s : 1.0 (新造船に対して)
: 0.9 (就航船に対して)

要求する最小ハルガーダ断面二次モーメントは、ネット寸法規定に基づいたものとし、上記の新造船に対する算式から、腐食控除量として 10% を減じた値を要求値とする。

また本要件は、IACS UR S7 における就航中の船舶に対する要求値と一致する。

$$I_{v-\min} = 2.7 C_{wv} L^3 B (C_b + 0.7)$$

また、1.2.2.5 有効甲板高さの規定は、有効な連続した縦強度部材を有する場合に適用され、その有効甲板高さは、UR S5 に基づき規定している。

1.2.3 トータル設計曲げモーメントに対するハルガーダ要件

IACS UR S11 を基に、ネット寸法規定に対応した算式に修正している。

(a) 航海状態 (S+D) について

- ・中央部 0.4L 間

IACS UR S11 によるグロス寸法に対する許容ハルガーダ応力 $\sigma = 175/k$ (N/mm^2) から、腐食控除量として 10% を減じた値をネット寸法に対する要求値とする。即ち、 $\sigma = 190/k$ と丸めた値としている。

- ・船首垂線及び船尾垂線から 0.1L 以内

許容ハルガーダ応力は、DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 5, C303 の要件 $\sigma = 125/k$ (N/mm^2) 及び LR 規則の要件 $\sigma = 122/k$ (N/mm^2) から、腐食控除量として 10% を減じた値をネット寸法に対する要求値とし、 $\sigma = 125/0.9k = 139 \approx 140$ (N/mm^2) とする。

(b) 港内/タンク試験時 (S) について

静水中曲げモーメントのみが作用するとし、航海状態における許容ハルガーダ応力の 75% を許容応力とする。

1.3 ハルガーダせん断強度

1.3.1 一般

船舶の全長にわたり適用する旨規定した。

1.3.2 ハルガーダせん断強度の評価

LR 規則 Pt 3, Ch 4 の要件を、ネット寸法規定に適合させたものである。

(a) せん断容量

貨物タンクの中央部においては、各構造部材に生じる実際のせん断力は、薄肉閉断面のせん断流理論によく一致する。せん断容量を計算する際に用いる、パネルの相当板厚は次の算式による。

$$t_{ij-net50} = t_{grs} - 0.5t_{corr}$$

添字 i は構造部材に関連付けられ、船側外板、縦通隔壁、二重船側内板などを示す。添字 j は各板要素を示す。

(b) せん断力分布係数 (係数 f_i)

図 4.8.1 に示すせん断力分布係数は、LR 規則 Pt 3, Ch 4, Table 4.6.1 から取り入れている。標準的な設計でない船舶にあっては、注意して使用し、せん断流解析によりその値を確認しなければならない。

1.3.3 貨物タンク間の縦通隔壁に対するせん断力修正

上記(2)(a)で述べたように、貨物タンク中央部においては、各構造部材に生じるせん断力は、薄肉閉断面のせん断流理論によく一致する。しかしながら、貨物タンク両端に近づくにつれ、「局部せん断力分布効果」のため、せん断の分布は薄肉閉断面のせん断流理論とは異なる分布となる。「局部せん断力分布」は、フロアから縦通隔壁へ、又は縦桁から横置隔壁へとといったように、横式構造を介して縦式構造に伝わるせん断荷重によるものである。

LR 規則において、「局部せん断力分布効果」は係数“mi”で取り扱われており、DNV 規則においては、Pt 3, Ch 1, Sec 5, D で、係数“ ΔQ_3 ”で取り扱われている。また、ABS, DNV 及び LR のタンカー規則では、この効果について、FEM 解析による要件の中で明確に考慮されている。CSR-T 編においては、せん断容量の相当板厚 (1.3.2 (a) 参照) を計算する際に、縦通隔壁に対する有効な板厚を減じることで適用しており、次の算式で与えられる。

$$t_{sfc-net50} = t_{grs} - 0.5t_{corr} - t_{\Delta}$$

$$t_{\Delta} = \frac{\delta Q_3}{h_{blk} \tau_{ij-perm}} \left(1 - \frac{x_b}{0.5l_{tk}} \right) \left(2 - \frac{2(z_p - h_{db})}{h_{blk}} \right)$$

「局部せん断力分布効果」により生じるせん断力は、二重底位置で最大となり上甲板で 0 となる三角荷重を想定していることから、垂直方向の板厚控除の分布も同様の分布となる。なお、この分布は三次元 FEM 解析によって確認されている。従って、「局部せん断力分布効果」を考慮してせん断力を修正する際に、板厚控除量が最大となる箇所は、二重底直上の横置隔壁の位置、即ち図 4.8.1 に示すように、 $x_b=0$, $z=h_{db}$ の位置であり、控除量は、この最大値からタンク中央 ($x_b=0.5l_{tk}$) において 0 となるように線形補間された分布となる。

$$t_{\Delta max} = \frac{2\delta Q_3}{h_{blk} \tau_{ij-perm}}$$

算式中の δQ_3 はフロアを通じて縦通隔壁に伝わる局部せん断力の平均値を表し、その大きさは、船底構造の配置及び剛性及び貨物タンクの配置に依存する。 δQ_3 の大きさは、

二重底にかかるネット荷重が最も大きくなる状態に基づき、次式による。

$$\delta Q_3 = 0.5K_3 F_{db}$$

上式中の局部荷重分布係数 K_3 について、中心線上に隔壁を有するタンカーに対しては、DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 5, D400, 二列の縦通隔壁を有するタンカーに対しては、DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 5, D302 に、それぞれ基づく。

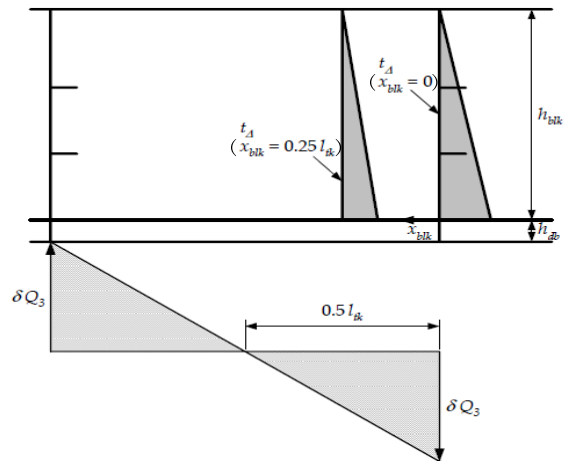


図 4.8.1 縦通隔壁に対するせん断力修正

1.3.4 横置隔壁付水平桁からの荷重によるせん断力修正

三次元 FEM 解析により、中央の貨物タンクを満載とし、その貨物タンクと隣接した前後の貨物タンクを空とした積付け状態の場合に、横置隔壁付水平桁の下側の縦通隔壁近辺に非常に高いせん断力が発生することが確認されている。これは横置隔壁付水平桁から縦通隔壁に局部せん断力が伝達された結果である。このことは、DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 5, D500 に明確に記述されており、また LR 規則 Pt 4, Ch 9, 8.3.1 (e) でも扱われている。

CSR-T 編においては、1.3.3 で述べた「局部せん断力分布効果」と同様に、せん断容量の相当板厚 (1.3.2 (a) 参照) を計算する際に、縦通隔壁に対する有効な板厚を減じることによって、上記の積付け状態で作用する付加的なせん断応力成分を考慮する。

横置隔壁の片側が空で反対側が満載となる積付け状態の場合 (図 4.8.2 参照)、最大ネット荷重が隔壁をまたいで生じ、その結果、横置隔壁付水平桁の端部に最大支持力が発生する。

縦通隔壁付近の横置隔壁付水平桁の支持力の合計 (F_{str-k}) は、次の 3 つに分類することができる。

- (a) 水平桁の下側、ハルガーダせん断応力と同じ向きに作用するせん断力 (Q_{str-k})
- (b) 水平桁の上側、ハルガーダせん断応力を打ち消す向き

に作用するせん断力 (Q_{u-k})

(c) 水平桁と縦通隔壁との結合部の先端と後端部付近の直接応力

備考: k は甲板から k 番目の水平桁を示す。

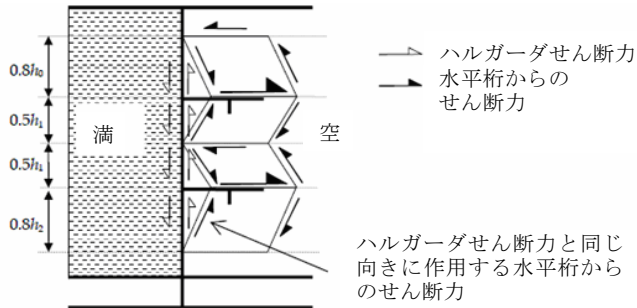


図 4.8.2 隔壁付近のせん断力分布

ハルガーダせん断応力と同じ向きに作用するせん断力によって発生するせん断応力 τ_k は、静水中ハルガーダせん断応力と同じ符号を持ち、次式で表される:

$$\tau_k = \frac{Q_{str-k}}{l_{str} t_k}$$

l_{str} : 水平桁の結合長さ (m)

t_k : せん断修正をした、 k 番目の水平桁付近の縦通隔壁

のネット板厚で、 $t_k = t_{grs} - 0.5t_{corr} - t_{\Delta}$ となる。

なお、水平桁の上側に生じるハルガーダせん断応力を打ち消す向きに作用するせん断力 (Q_{u-k}) は、ハルガーダせん断応力とは逆符号のせん断応力 (τ_{u-k}) を発生させる。

水平桁の下側に生じるせん断応力の合計は、次式を満足しなければならない。

$$\tau_{HG} + \tau_k \leq C_t \tau_{yd}$$

水平桁付近の実際のハルガーダせん断応力は次式で与えられる。

$$\tau_{HG} = \frac{t_r \tau_{ij-perm}}{t_k}$$

従って、

$$\frac{t_r \tau_{ij-perm}}{t_k} + \frac{Q_{str-k}}{l_{str} t_k} \leq C_t \tau_{yd}$$

$$t_r = \frac{t_k}{\tau_{ij-perm}} \left(C_t \tau_{yd} - \frac{Q_{str-k}}{l_{str} t_k} \right)$$

ここで、

C_t : 許容せん断応力係数で 0.9

τ_{yd} : 最小せん断降伏応力 (N/mm^2)

t_r : 水平桁から伝わるせん断荷重を考慮した、 k 番目の水平桁付近の有効板厚 (mm)

$\tau_{ij-perm}$: 許容ハルガーダせん断応力 (N/mm^2)

規則中では、上式の板厚 t_r は相当ネット板厚 t_{str-k} として再定義している。相当ネット板厚 t_{str-k} は、横置隔壁付水平桁から伝わる局部せん断応力に抵抗するために必要な板厚を差し引いた後、ハルガーダせん断容量評価に用いる有効な板厚である。従って t_{str-k} は、以下の算式で与えられる。

$$t_{str-k} = \frac{t_{sfc-net50}}{\tau_{ij-perm}} \left(C_t \tau_{yd} - \frac{Q_{str-k}}{l_{str} t_{sfc-net50}} \right)$$

$t_{sfc-net50}$: 貨物タンク間の縦通隔壁のための局部せん断修正を行ったの後の有効な板厚

この水平桁に関する修正は、水平桁結合部 (支持部) の全長にわたり、考慮する水平桁から下方 $0.5h_k$ の範囲に行わなければならない。最下端に位置する水平桁に対しては、二重底位置まで適用される (図 4.8.3 参照)。

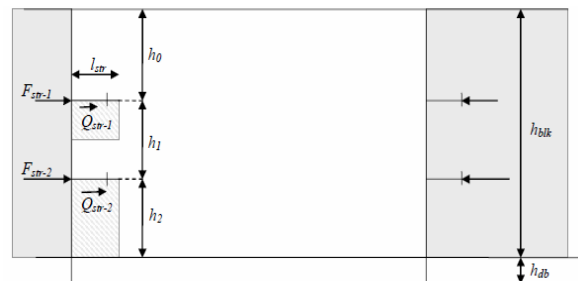


図 4.8.3 水平桁に関する修正の範囲

FEM 解析結果から、水平桁から縦通隔壁へ伝わるせん断力は、縦通隔壁における水平桁の総支持力 F_{str-k} の 75-80% であり、残りは水平桁結合部の先端及び後端付近の直接応力によって生じること、及び、水平桁結合部の上下のせん断力分布は、二重底及び甲板までの相対距離に依存することが確認されている。従って、水平桁から縦通隔壁へ伝わるせん断力 Q_{str-k} 及び Q_{u-k} に対し、次式が導かれる。

$$Q_{str-k} = 0.8 F_{str-k} \left(1 - \frac{z - h_{db}}{h_{blk}} \right)$$

$$Q_{u-k} = 0.8 F_{str-k} \frac{z - h_{db}}{h_{blk}}$$

$$h_{db} \leq z \leq h_{blk} + h_{db}$$

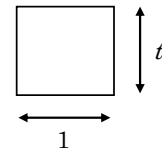


図 4.8.5 梁の断面

1.4 ハルガーダ座屈強度

初期座屈評価要件に用いる作用応力及び評価基準に関しては、CSR-B 編に規定する座屈規定と同様の規定を適用する。

1.5 ハルガーダ疲労強度

本要件は、疲労強度評価を実施する前に、ハルガーダ断面係数を十分合理的な値にすることが目的であることから、縦強度検討に対する一般的指針であり、詳細な疲労強度検討は規則 9 節 3 において要求される。

1.6 船長方向ハルガーダの漸減と構造の連続性

これらの規定は、ABS, DNV 及び LR の取り扱いを規定化したものである。

2 貨物タンク区域

8 節 2 の規定は、貨物タンク区域の局部強度に関わる規定、所謂、規則算式に関する規定である。従って、解説は、逐条ではなく、構造要素（板部材、防撓材及び主要支持部材）に対する規則算式を主に記述する。

2.1.1 適用

貨物タンク区域として、貨物油ポンプ室を除外した。

2.1.5 及び 2.1.6 最小板厚

最小板厚規定として、2.1.5 板材及び支持部材における最小板厚及び 2.1.6 主要支持材における最小板厚を設けた。これらの要件は、応力に基づく規定ではなく、絶対的な最小要件であることから、高張力鋼に対する修正は考慮しない。

2.2 船体外板

一般的な板材に対する算式の仕様及び過程は、鋼船規則 CSR-B 編と基本的に同じであり、以下に示す考え方にに基づき導かれる。

防撓材又は主要支持部材に囲まれた板材を考える（図 4.8.4 参照）。等分布荷重を受ける、単位幅 1mm、深さ t (mm) の断面を持った梁（図 4.8.5 参照）に対して、支持条件を両端固定とした場合の両端における曲げモーメントは、 $ps^2/12$ となる（図 4.8.6 参照）。仮に、上記モデルに更に荷重を負荷し、塑性関節を中央と両端に形成した場合の曲げモーメントは $ps^2/16$ となる。（図 4.8.7 参照）

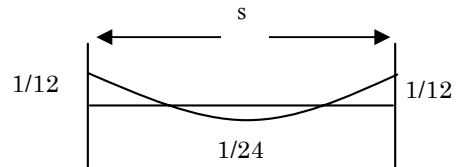


図 4.8.6 両端固定の場合の曲げモーメント分布

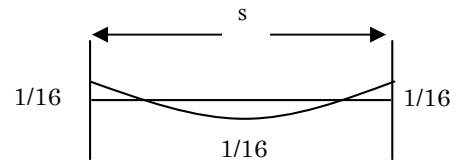


図 4.8.7 塑性関節を形成した場合の曲げモーメント分布

ここで、塑性断面係数 $SM=t^2/4$ であるから、許容応力は以下の通りとなる。

$$C_a \sigma_{yd} = M / SM = (ps^2 / 16) / (t^2 / 4) = ps^2 / (4t^2)$$

従って、

$$t = \frac{s}{2} \sqrt{\frac{p}{C_a \sigma_{yd}}}$$

なお、記号の単位は、 $s : mm$, $p : N/mm^2$, $\sigma_{yd} : N/mm^2$ である。

ここで、 p の単位を N/mm^2 から kN/m^2 に変換すると

$$t = \frac{s}{2\sqrt{1000}} \sqrt{\frac{P}{C_a \sigma_{yd}}} = 0.0158s \sqrt{\frac{P}{C_a \sigma_{yd}}}$$

2.2.1 竜骨

竜骨の幅に関する要件は、ABS 規則 5-1-4/7.1.2, DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 6, C200, LR 規則 Pt4, Ch4, 9.4.7 に基づく。

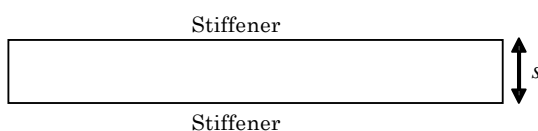


図 4.8.4 防撓材又は主要支持部材で囲まれた板材

2.2.3 ビルジ部の外板

ビルジ部に縦通肋骨がない場合のビルジ部の外板の板厚に関する要件は、DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 6, C306 に基づいた要件で、横圧を受ける曲面の座屈強度を規定したものである。算式中の係数は、ネット寸法規定に合わせて修正している。また、本要件の適用に関して、ビルジキールは縦通肋骨として考えないものとする。

2.2.4 船側外板

DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 7, C103 に基づき、係留岸壁設備と接触する範囲の板厚を規定したものである。算式中の係数は、ネット寸法規定に合わせて修正している。

2.2.5 舷側厚板

DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 7, C206 及び C207 に基づく。

2.3 船体外板付肋骨

防撓材の断面係数とせん断の要求値は共に、両端固定の弾性梁理論に基づく。なお、曲げ強度を評価する場合は、ハルガーダ曲げモーメントによる軸力を考慮する。

2.3.1.2 ビルジ部で縦通肋骨を省略する場合の規定

DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 6, C307 及び C705 並びに LR 規則 Pt 4, Ch 9, 5.4.2 に基づく。また、ビルジ部の湾曲部と最も近い船側縦通肋骨の距離の規定に関して、外板板厚の 50 倍の比率は、グロス板厚に対する 40 倍の比率 (LR 規則 Pt 4, Ch 9, 5.4.2) を、ネット寸法規定に合わせて調節した値である。

2.5 波形隔壁に関する主な規定

2.5.6.2 波形の角度

ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 17.1 を基に、波形の角度制限を 60 度から 55 度にする若干の修正を加えた規定である。

2.5.6.4 波形隔壁のウェブ及びフランジの板厚

板材の一般算式に基づく。

2.5.7.3 立て型波形隔壁のせん断強度

ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 17.3 に基づく。適用範囲については、せん断力は隔壁下部に影響が大きいことから、IACS UR S18 の適用と同様に、波形隔壁深さの 15 パーセント以内を適用範囲とする。

2.5.7.5 立て型波形隔壁のフランジ部のネット板厚

ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 17.5.3 に基づく。本算式は、波形のフランジ部の局部座屈強度基準であり、梁柱としての波形の全体座屈強度を規定する。波形隔壁の座屈強度に関する実験結果及び理論に基づいた算式となっている。

2.5.7.6 立て型波形隔壁のネット断面係数

これらの要件は ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 17.5.2 に基づく。断面係数に対する算式は、単純梁の理論及び、立て方向波形隔壁は、個々に機能する立て方向の梁一柱の集合 (即ち波形) から成るといった基本的な考えに基づく。波形隔壁に作用する荷重は、次の三つの重要な要素から成る。

(a) 横荷重

(b) 二重底の曲げによる“伝達曲げモーメント”

(c) 二重底の曲げ及び甲板荷重による波形内の立て方向軸力。

本要件においては、波形端部に対する境界条件を明確に考慮しており、FEM 解析により検証されている。

2.5.7.9 下部スツールを設置しない場合の規定

船の型深さが 16m 未満で、2.5.7.9 の規定を満足する場合には、下部スツールを設置しなくても差し支えない。このような船に対しては、前述した隔壁のせん断強度 (2.5.7.3)、フランジ部の座屈強度 (2.5.7.5) 及び断面係数 (2.5.7.6) に関する要件を適用しない。一方で、隔壁のせん断強度及び座屈強度について、10%減じた最大許容使用係数を使って、FEM により評価しなければならない。また、隔壁と二重底の結合部においては、下部スツールを設置する船と同等以上の要件となる。

2.6 主要支持部材

2.6.1.4 直接強度評価 (FEA) による寸法軽減

主要支持部材に対し FEA による断面係数及びせん断面積の軽減の規定は、ABS 規則 Pt 5, Ch 1, 4, 7.1 及び 11.1 に基づく。

2.6.3 二重底内の縦桁とフロア

縦桁の配置の規定は LR 規則 Pt 4, Ch 9, 9.3.1 に基づく。

2.6.3.2 フロアのせん断面積

ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 7.7.3 を基に、せん断の分布係数に修正を加えた算式に基づく。

2.6.3.3 中心線縦通隔壁を有さない場合の、中心線縦桁のせん断面積

ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 7.7.1 に基づく。

2.6.3.4 上部に縦通隔壁を配置していない場合の二重底の側桁

ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 7.7.2 に基づく。

2.6.4 甲板横桁

ウェブの深さ (2.6.4.1) の規定は、ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 11.11 に基づく。評価基準は、LR 及び DNV によって承認された実例船での計測結果を基に、ABS 規則に若干の修正を加えたものである。

断面係数 (2.6.4.3) 及びせん断面積 (2.6.4.4) の規定は、ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 11.3 を基に、若干の修正を加えている。青波荷重に対する要件を追加している。

2.6.5 立桁

せん断面積 (2.6.5.1) 及びせん断面積の要求範囲 (2.6.5.2) に関する規定は、ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 11.7 に、若干の修正を加えたものに基づく。

2.6.6 縦通隔壁の立桁

ウェブ深さに関する規定は、ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 11.11.3 に基づく。また、断面係数、せん断面積などに関する規定は、ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 15.3.1 に基づく。

2.6.7 横置隔壁の水平桁

ウェブ深さ(2.6.7.1)に関する規定は、ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 11.11.4 に基づく。また、断面係数及びせん断面積に関する規定は、ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 15.5.1 に、若干の修正を加えたものに基づく。

2.6.8 クロスタイ

ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 15.11 に基づく。作用する圧縮荷重は、クロスタイの両端に作用する荷重の平均とする。許容圧縮荷重は、規則 10 節の基準による。また、クロスタイの端部固着に関する規定は、主に ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4 15.11 から取り入れており、DNV 規則及び LR 規則にも同様の規定がある。

2.6.9 中央部 0.4L の範囲外に配置する主要支持部材

中央部 0.4L の範囲外に配置する主要支持部材の断面係数(2.6.9.2)及びせん断面積(2.6.9.3)は、中央部 0.4L 間とその範囲外の材料の降伏強度及び作用する曲げモーメントの比を考慮する。

3 最前部貨物タンクの前方の構造

構造配置、構造詳細及び区画配置に対する要件は、LR, ABS 及び DNV の各規則から取り入れている。また、部材寸法要件及び設計荷重に関連する評価基準は、船体中央部に使用した方法に倣い規則化を行っている。

3.1 一般

3.1.3 構造の連続性

本要件は、縦強度部材の構造連続性に関する一般的な規定であり、ABS 規則、DNV 規則及び LR 規則における評価基準(例、ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 6, 5, DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 5, C104 及び C105, LR 規則 Pt 3, Ch 5, 1.3)を取り入れたものである。

3.1.4 最小板厚

3.2.3.2 に規定する最前部貨物タンクより前方の構造の最小板厚の要件は、一般的に、中央部における部材の最小板厚の要件が適用される。ピラー隔壁、ブレストック、フロア及び桁板等に対する要件は、ABS, DNV 及び LR 規則を基に、現存船に対して検証を行ったものである。

3.2.5 船底縦桁

船底縦桁(3.2.5)の要件は、ABS, DNV 及び LR 規則における基準及び慣習を取り入れたものである。(例、ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 4, 3.9 及び Pt 5, Ch 5, Sec 6, 15.1, DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 6, G100, LR 規則 Pt 3, Ch 5, 5, 6.2 及び 7.2)

3.2.6 船首材

船首材の支持(3.2.6.1)の規定は、LR 規則 Pt 3, Ch 5, 3.3.2 に基づく。また、3.2.6.2 船首材の板厚(3.2.6.2)の規定は、ABS 規則 Pt 5, Ch 5, Sec 6, 5.5 を基に、材料の降伏強度による修正を加えた算式に基づく。

3.3 船側構造

船側外板の局部支持構造(3.3.2)は、LR 規則 Pt 3, Ch 5,

4.1 から 4.3 に基づく

3.3.3 船側主要支持構造

規則 4 節 2.2.2 に規定する桁部材(3.3.3.1)、船首隔壁水平桁の前方の横桁(3.3.3.2)及び軽目孔を有する水平板材(3.3.3.3)の規定は、LR 規則 Pt 3, Ch 5, 4.4, 4.5 及び 6.3 に基づく。また、桁部材の追加要件について(3.3.3.4)は、ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 4, 11.7 に基づく。

3.4 甲板

甲板の板厚(3.4.1.2)の規定は、ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 3/Table 2 に、多少の修正を加えたものに基づく。

3.4.4 梁柱

本規定は、ABS, DNV 及び LR 規則における基準及び取り扱いを取り入れたものである。(例、LR 規則 Pt 4, Ch 1, 4.4, ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 8, 3, DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 3, C800)

3.6.2 船首隔壁

ドア、マンホール等の配置(3.6.2.3)及び船首隔壁の前方の区画(3.6.2.4)の規定は、DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 3, A605 及び A801 に基づく。

3.7 船楼

船首楼構造(3.7.1)の規定は、ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 11, 9 を基に、多少の修正を加えたものである。

3.8 その他の構造

3.8.1 梁柱隔壁

DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 9, E300 に基づく。

3.8.2 パルバスバウ(C 編 9.2.4)

LR 規則 Pt 3, Ch 5, 6.5 に基づく。

3.8.4 パウスラストトンネル

ABS 規則 Pt 5, Ch 5, Sec 6, 5.7 に基づく。

3.9 部材寸法要件

3.9.2 板材及び防撓材の寸法要件

(a) 許容曲げ応力係数

前端部においては、ハルガーダ応力の影響が小さいと考えることができることから、許容曲げ応力係数 C_a (板材) 及び C_s (防撓材) は単純化した値を用いる。

(b) 曲げモーメント及びせん断力の係数

防撓材が受ける荷重条件及び端部の境界条件に対応した曲げモーメント及びせん断力の係数を、単純梁の理論に基づき規定する。

3.9.3 主要支持部材の寸法要件

(a) 曲げモーメント及びせん断力の係数

防撓材の場合と同様に、主要支持部材が受ける荷重条件及び端部の境界条件に対応した曲げモーメント及びせん断力の係数を、単純梁の理論に基づき規定する。

4 機関区域

構造配置、構造詳細及び区画配置に対する要件は、LR, ABS 及び DNV の規則から取り入れている。また、部材寸

法要件及び設計荷重に関連する評価基準は、船体中央部に使用した方法に倣い、規則化を行っている。

4.1 一般

4.1.3 構造の連続性

本要件は、縦強度部材の漸減に対する一般的な規定とともに、機関区域における甲板開口等による構造の不連続性に関して規定している。(例, DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 5, C104 及び C105, LR 規則 Pt 3, Ch 6, 1.3)

4.1.5 最小板厚

機関区域の板及び防撓材の最小板厚 (4.1.5.1) は、一般的に、中央部における最小板厚の要件が適用される。内底板、フロア及び縦桁に対する要件等は、ABS, DNV 及び LR 規則の一部分を取り入れた要件であり、現存船に対して検証を行い、機関室に適した要件になるよう修正したものである。

4.2 船底構造

これらの規定は、LR 規則, ABS 規則及び DNV 規則における基準及び取り扱いを取り入れたものである。(例, LR 規則 Pt 3, Ch 7, 4.1, ABS 規則 Pt.3, Ch.2, Sec4, 3 から 5, DNV 規則 Pt.3, Ch.1, Sec.6, D)

4.3 船側構造

これらの規定は LR 規則 Pt 3, Ch 7, 3.2 を取り入れたものである。

4.4 甲板構造

規則 4.4.1.2 から規則 4.4.1.6 は、LR 規則 Pt 3, Ch 7, 2.2 を取り入れたものである。また、甲板防撓材のウェブ深さ (4.4.2.3) は、LR 規則 Pt 3, Ch 6, 表 6.2.3, 備考 5 を取り入れている。

4.4.3 梁柱

LR, ABS 及び DNV 規則における基準及び慣習を取り入れたものである。(例, LR 規則 Pt 4, Ch 1, 4.4, ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 8, 3, DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 3, C800)

4.5 機関の台座

一般規定 (4.5.1) 及び機関の台板に関する規定は、LR 規則 Pt 3, Ch 7, 6.1 から取り入れたものである。また、内燃機関の台板及びスラスト軸受台 (4.5.2) は、DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 6, D102 から取り入れたものである。

4.8 部材寸法要件

4.8.1 板材及び局部支持部材

(a) 許容曲げ応力係数

機関区域においては、水平曲げモーメントによるハルガダ応力成分は小さいと考えることが出来ることから、許容曲げ応力係数 C_a (板材) 及び C_s (防撓材) を計算する際には、水平曲げモーメントの成分を考慮しないこととする。

(b) 曲げモーメント及びせん断力の係数

防撓材が受ける荷重条件及び端部の境界条件に対応した

曲げモーメント及びせん断力の係数を、単純梁の理論に基づき規定する。

4.8.2 部材寸法要件

防撓材の場合と同様に、主要支持部材が受ける荷重条件及び端部の境界条件に対応した曲げモーメント及びせん断力の係数を、単純梁の理論に基づき規定する。

5 船尾部

構造配置、構造詳細及び区画配置に対する要件は、LR, ABS 及び DNV 規則から取り入れている。また、部材寸法要件及び設計荷重に関連する評価基準は、船体中央部に使用した方法に倣い、規則化を行っている。

5.1.3 構造の連続性

本要件は、縦強度部材の構造連続性に関する一般的な規定であり、ABS, DNV 及び LR 規則の各部にある評価基準を取り入れたものである。(例, DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 5, C104 及び C105, LR 規則 Pt 3, Ch 6, 1.3)

5.1.4 最小板厚

船尾部区域の板及び防撓材の最小板厚 (5.1.4.1) の規定は、一般的に、中央部における最小板厚の要件が適用される。ピラー隔壁に対する要件は、ABS, DNV 及び LR 規則の一部分を取り入れ、現存船に対して検証を行ったものである。

5.2 船底構造

船尾部区域のフロア及び桁 (5.2.2) の規定は、DNV による最近の策定作業に基づく。プロペラの引き起こす振動により、船尾倉内に疲労クラックが生じる事例があることから、導入されたものである。本規定は、フロア及び桁付きの典型的な防撓材 (長さ及び部材寸法) に対して、種々の端部拘束 (支持及び固着) を想定した振動解析を行った結果を基に規定したものである。また、船尾材 (5.2.3) の規定は、ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 13, 3 に基づく。

5.3 外板構造

船側外板及び船尾外板の板厚 (5.3.1.1) の規定は、ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 2, 5.1 に基づき、ネット寸法規定に対する修正を加えている。船尾材に接する外板の板厚 (5.3.1.2) 及びプロペラボス及びヒールプレートの箇所の外板 (5.3.1.3) の規定は、ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 2, 5.13 に基づき、ネット寸法規定に対する修正を加えている。また、規則 5.2.2.3 に規定する厚板のフロア (5.3.1.5) に関する規定は、LR 規則 Pt 3, Ch 6, 7.3.2 に基づく。

5.4 甲板構造

甲板の板厚 (5.4.1.2) の規定は、ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 3, 表 2 を基に、若干の修正を加えている。また、梁柱 (5.4.4) の規定は、ABS, DNV 及び LR 規則の評価基準及び取り扱いを取り入れたものである。(例, LR 規則 Pt 4, Ch 1, 4.4, ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 8, 3, DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 3, C800)

5.7 その他の構造

梁柱隔壁 (5.7.1) の規定は、DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 9, E300 に基づく。船尾スラストトンネル (5.7.3) の規定は、ABS 規則 Pt 5, Ch 5, Sec 6, 5.7 に基づく。

また、ラダートランク (5.7.2) は、ABS, DNV 及び LR 規則の取り扱いを基として、「ラダートランクは、水密としなければならない。また、同じ位置にある外板と同等の強度を持つように設計しなければならない。」旨規定した。

6 スロッシング荷重及び衝撃荷重に対する構造評価

6.1 一般

衝撃荷重として、タンク内のスロッシング及び船首部の衝撃荷重 (船底スラミング及びバウインパクト) を考慮する。なお、このような衝撃荷重に対してネット寸法手法を適用する。

6.2 タンク内のスロッシング

6.2.1 範囲及び制限

本要件は、DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 4, C300 に基づく。本節に規定するスロッシングの要件の目的は、液体を運ぶタンクが、半載状態における液体の動揺に起因する圧力の上昇に耐えるための適当な強度を有することである。

規則 8 節 6.2.1.2 にいう小さいタンクにおいては、スロッシングによる強度評価を要求しない。当該タンクにあっては、スロッシング荷重は小さく、タンク構造に対する寸法基準に影響は無いと考えるからである。潤滑油タンク及び機関室にある同様のタンクは小さいタンクと考え、スロッシングに対する評価を要求しない。

規則 8 節 6.2.1.4 に規定する構造要素は、スロッシングによる要件を満足させなければならない。スロッシングは局部荷重効果を仮定しており、そのため、例えば、水密隔壁付き板及び防撓材並びにウェブ板、ウェブ防撓材/主要支持部材に付く倒れ止め肘板等の局部支持部材のみが、スロッシングによる評価対象部材となる。スロッシング荷重は実際の積付け高さの周辺で最も顕著となり、隔壁全体に同時に作用することはない。

6.2.2 スロッシング荷重の適用

縦方向の液体運動に起因するスロッシング荷重 ($P_{slh-lng}$) は、横置隔壁に作用するだけでなく、当該隔壁に付帯する板 (例えば甲板、縦通隔壁及び水平桁) に対しても作用する。液体が流動することにより生じる荷重は全ての方向に作用するために、液体が横置隔壁に波打つと、荷重が隣接する部材表面にも作用するからである。当該荷重の適用範囲は、横置隔壁から $0.25l_{slh}$ の距離及び最初の特設肋骨/縦材の中で、最も小さいものに制限される。同様に横方向の液体運動に起因するスロッシング荷重 (P_{slh-t}) は、縦通隔壁に作用するばかりでなくその隔壁に付帯する板 (例えば甲板、横置隔壁及び桁/特設肋骨/水平桁) に対しても作

用する。当該荷重の適用範囲は、横置隔壁から $0.25l_{slh}$ の距離及び最初の特設肋骨/縦材の中で、最も小さいものに制限される。

横置隔壁に近接する ($0.25l_{slh}$ 以内) 内部特設肋骨のウェブ及び防撓材は、縦通方向の液体運動に起因するスロッシングに対する評価を実施する。本要件により、液体が横置隔壁に反射することによって生じるスロッシング荷重に対して、特設肋骨が必要な強度をもつことが要求される。同様に、縦通隔壁に近接する ($0.25b_{slh}$ 以内) 内部縦通特設肋骨のウェブ及び防撓材は、横方向の液体運動に起因するスロッシングに対する評価が要求される。

縦通及び横方向の液体運動に起因するスロッシング荷重は、一方がゼロであれば他方は最高値となり、それぞれが独立であると想定している。縦及び横方向のスロッシング荷重を受ける範囲にある構造要素は、その二つを足し合わせた荷重ではなく、二つの内の最高値を用いて評価しなければならない。

6.2.3 タンク境界を形成する板のスロッシング評価

スロッシングによる構造評価は、スロッシング荷重による応力と静水中縦曲げ応力の組み合わせにより実施する。

その他の内部荷重が小さい自由表面の上下近傍レベルにおいては、スロッシング荷重のみ顕著になるため、内部静荷重及び慣性力は考慮していない。スロッシングは障害物に対する液体運動の結果でもあるが、一方で、静的荷重及び慣性力は液体が境界に接したままの状態を想定している。

スロッシング荷重が最大に達した時、動的な船体縦曲げ応力 (船体波浪中縦曲げ応力) は小さいと考えられるので、考慮しないこととした。最大のスロッシング荷重は、動的な船体縦曲げ応力が小さい不規則な海象で発生するという考えに基づいており、最大の動的な船体縦曲げ応力は、長波長規則波の海象で生じると考える。

6.2.5 主要支持部材のスロッシング評価

スロッシングは局部的現象であるので、主要支持部材の局部要素のみが、スロッシングの評価対象となる。例えば防撓材間のウェブ板、ウェブの防撓材及びウェブを支持する倒れ止め肘板は評価するが、荷重面積 (スパン×荷重幅) に対するスロッシング荷重を想定することにより、単一部材としての主要支持部材は、曲げ及びせん断に対して評価を行わない。

6.3 船底スラミング

6.3.1 適用

LR規則Pt 3, Ch 5, 1.5.1に倣い、船首喫水が0.045Lより浅い場合に適用することとした。

6.3.2 補強範囲

補強範囲は、LR規則Pt 3, Ch 5, 1.5.4に基づく。

6.3.3 船底スラミング荷重に対する耐波設計

本規則は、設計において組込型端部拘束の採用を推奨し

ている。設計上、“組込型”の端部固着と同等とならない箇所については、修正した部材寸法要件を適用する。

6.3.4 外板

スラミング荷重に対する板の曲げ容量モデルは、本規則第8節に規定する板の曲げ容量モデルに合わせて開発した。

スラミング荷重の発生頻度が不明確なことから、係数 C_d は、船首部において、衝撃荷重を受ける板要素の永久変形に対する許容基準を僅かに厳しくしていることを意味する。

係数 C_d 及び C_a は、板要素には、スラミング荷重のみ作用することから、ハルガーダ応力及び他の面内応力の影響は無視できるという仮定の下で規定している。また、 C_d の値は、LR、DNV及びABS規則の既存のスラミング規定の中で使用した板曲げ容量モデルと比較を行った後に策定し、本規則開発のための実験船を用いて実施した検証にて、 C_d の値が適当であることを確認している。

6.3.5 外板付き防撓材

防撓材の曲げ容量モデルは、DNV及びLRによる既存の概念から開発したものであり、3点に塑性関節を形成する崩壊モデルを採用している。

6.3.6 主要支持部材に対する船底スラミング荷重面積の定義

理想化した船底スラミング荷重面積の概念は、LRの直接計算方法から取り入れたものである。衝撃現象は局部的、非定常的、時間に依存した現象であるため、構造物に作用する荷重の大きさは、当該作用荷重に対する応答に関連して、考慮する構造物の大きさに依存する。

主要支持部材に対する荷重面積は、個々の板及び防撓材と比較して、大きくなると考えられる。従って、スラミング発生時の主要支持部材に対する平均荷重は、板又は防撓材にかかると想定する荷重の値よりも小さくなる。

6.3.7 主要支持部材

二重船殻構造に対して、二重底の桁及び肋板の寸法が通常の強度基準で決定されたものであれば、二重底の最終曲げ容量は十分あるため、主要支持部材のせん断面積に対する明確な制御規定のみを、座屈制御規定と共に規定する。

主要支持部材のウェブ板に対する細長比は、LR規則Pt 3, Ch 5, 表4.1.1に基づくものであり、ネット板厚モデルに対して補正を加えている。

6.4 船首衝撃

6.4.1 適用及び 6.4.2 補強範囲

DNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 7, E301に倣い、船首垂線より後方0.1Lの箇所までを適用対象とした。

6.4.3 船首衝撃荷重に対する耐波設計

本規則は、設計において組込型端部拘束の採用を推奨している。弧を有する防撓パネルは、優れた荷重応答を示すことから、縦通／水平肋骨は、特に組込型端部拘束の採用を推奨している。設計上、“組込型”の端部固着と同等とな

らない箇所については、修正した部材寸法要件を適用する。

6.4.4 船側外板

衝撃荷重の板曲げ容量モデルは、船底スラミングの規定で用いたものと一致する。船首衝撃荷重を考慮する場合には、係数 C_d の値は1.0であるため、算式中には係数 C_d は記載されていない。

係数 C_d 及び C_a は、板要素には、船首衝撃圧のみ作用することから、ハルガーダ応力及び他の面内応力は無視できるという仮定の下で規定している。

C_d の値は、LR、DNV及びABS規則の既存のスラミング規定の中で使用されている板曲げ容量モデルとの比較を行った後策定し、非線形解析により検証を行っている。また、 C_d の値は、本規則開発のための実験船を用いて行われた検証にて、適当であることを確認している。

6.4.5 外板付き防撓材

防撓材の曲げ容量モデルは、スラミングの規定で用いたものと一致しており、3点に塑性関節を形成する崩壊モデルを採用した。また、容量モデルは、端部固着条件及び設計理念と整合した降伏応力の使用係数を明確に仮定している。プレストック／膜板について、最小板厚の要件は、LR規則を基に取入れており、ネット板厚モデルに対応したものに修正している。

6.4.7 主要支持部材

主要支持部材の最小スペースは、主要支持部材の変形を制限するために取入れた。

主要支持部材の曲げ容量モデルは、許容応力以上の曲げモーメントを適用した形としている。係数 f_{bdg-pt} 及び f_{slm} は、固定端を有する梁のスパン内の何れの箇所においても、理想化し、等分布衝撃荷重の適用から得られる最高曲げを与えている。

主要支持部材のせん断容量モデルは、許容応力によって分類されたせん断力を適用して策定している。係数 f_{pt} は、固定端を有する梁のスパン内において、理想化し、等分布衝撃荷重の適用から得られるせん断スパンの端部の最高せん断力を与えている。

9 節 設計評価

1 ハルガーダ最終強度

ハルガーダ最終強度については、その技術的な背景に焦点を当てて第3部及び13にも記載しているので、それらを参照されたい。なお、規則の逐条の解説は省略する。

2 強度評価 (FEM)

2.1 一般

2.1.1 適用

有限要素法による強度評価は、貨物タンク部を対象とし、規則中の図 9.2.1 に示すように、中央貨物タンク部と前後

部貨物タンク部に対し異なる評価方法を採用している。中央貨物タンクは、一般的な直接強度計算であり、前後部貨物タンク部は、船側外板、内殻側板及び縦通隔壁のせん断強度解析としている。なお、構造詳細については、詳細メッシュによる解析が要求される。

2.2 貨物タンク構造強度解析

構造モデル、構造強度解析に用いる積付状態、波浪荷重などの具体的な規定は、すべて付録として解説的に記載している。なお、FE解析を、与えられた荷重条件に対し可能な限り正確に構造の応答を決定することと捉えているため、規則では同時に作用するハルガーダ及び局部荷重をFEモデルに直接適用すること、即ち、直接法のみを認めている。これは、全ての構造部分の相互作用、材料のポアソン影響に伴うハルガーダ曲げモーメントに起因する横構造部材に生ずる応力のような影響が結果に含まれ、重要な構造物の相互作用を把握することは困難なため、局部荷重に対するFE解析から導かれた応力とハルガーダ荷重に対する簡素化された梁理論モデルから得られた応力を重ね合わせる方法は適当ではないという判断に基づくものである。

2.2.5 許容基準

(1) 許容基準の対象箇所

中央部の3タンク区域をモデル化するが、詳細に評価する箇所、即ち、許容基準を適用する箇所は、モデル化された中央タンク部とする。

これは、モデルに作用させる縦曲げモーメント及びせん断力が中央タンク領域内で正しく適用されるようにしていること並びにモデルの境界は、モデル端部に適用された拘束が応力応答に影響するためである。

(2) 応力基準

応力基準は、ハルガーダ効果及び主支持部材の撓みによる応力を表わす要素の中央におけるメンブレン応力とする。なお、このメンブレン応力は、局部面外荷重により生ずる板部材及び防撓材の局部曲げ応力は含まない。

(3) 許容応力

前述のように応力基準をメンブレン応力としているため、構造部材を、面外荷重の作用する水密部材と面外荷重の作用しない非水密部材に分類した。水密部材は、さらに、二重底構造及び横置隔壁のように構造体の撓みによる応力が生じる部材とそれ以外の部材に分類した。

非水密部材の許容応力は、材料の降伏強度とし、局部面外荷重が作用する部材のうち、撓みによる応力が生じないものは、材料の降伏強度の0.9倍を許容応力とし、撓みによる応力が生じるものは、材料の降伏強度の0.8倍を許容応力とする。なお、荷重の組み合わせにおいて、静的荷重のみを考慮する場合は、動的荷重+静的荷重の組み合わせにおける許容応力の0.8倍としている。

なお、応力集中箇所、即ち、主要支持構造部材の開口部

の隅、ナックル継手、肘板のトウなど、における要素に対して、材料の降伏応力は 315 N/mm^2 未満とする旨規定している。これは、疲労損傷の生じ易い箇所において、疲労強度に対する余裕を確保するためである。

(4) 座屈に対する最大許容使用係数

パネルの局部座屈は、ハルガーダ荷重、主要支持部材の撓み及び局部面内圧力荷重による2軸圧縮応力、せん断応力が組み合わせた応力状態で評価される。全ての荷重がパネルの座屈評価において考慮されるので、座屈に対する許容使用係数は、静的荷重及び動的荷重の組み合わせ荷重状態において、1.0を基本としている。また、許容応力の取り扱いと同様に、静的荷重のみの場合における最大許容使用係数は、組み合わせ荷重状態における最大許容使用係数の0.8倍とする。

2.3 局部詳細メッシュ構造強度解析

(1) 目的

詳細メッシュ解析の目的は、防撓材の相対的撓みと他の全ての作用荷重に起因する応力を受けた場合でも、構造が十分な強度を有することを証明することにある。

本目的のために、応力が集中する箇所のうち、ビルジホップナックル部と内底板との取り合い箇所を除く、主要な箇所は、基本的に局部詳細メッシュ解析を実施する必要がある。ただし、実際の運用を考慮して、指定された箇所について、付録Bに示すスクリーニング基準を満足する場合は、詳細メッシュ解析を実施しなくても良い。

(2) 詳細メッシュ解析の手法

メッシュサイズは、肘板のトウや開口の隅のような構造詳細を表すために十分な最大メッシュサイズとして $50\text{mm}\times 50\text{mm}$ とした。なお、解析手法は、上述のFEモデルに詳細メッシュを埋め込む方法寸や境界条件を考慮した局部モデルのいずれでもよい。

(3) 許容基準

ASME圧力容器規格では、降伏強度に達した殻のメンブレン応力と曲げ応力が加わったメンブレン応力の許容値は降伏応力の1.5倍にしてもよく、構造的不連続に伴う局部曲げが存在する場合には、許容値を降伏応力の2倍にしてもよいこととしている。そこで、溶接部で許容値の1.5倍、非溶接部で許容値の1.7倍としている。なお、高張力鋼を使用する場合は、高張力鋼の規格降伏強度に関わらず高張力係数を0.78としている。これは、通常のFEAにおいて疲労強度を考慮して許容応力を 315 N/mm^2 とすることに対応している。

2.4 貨物タンク区域における部材寸法の適用

(1) 甲板

甲板の部材寸法は船体中央部0.4L内において同一寸法を維持することが原則である。船舶の実際の載貨状態によるが、最大許容曲げモーメントは船体中央部0.4L以内の任

意の場所において発生する可能性があるため、甲板の部材寸法は FEA で要求される貨物タンク有限要素モデルの中央タンクの長さ方向に沿った最大値としなければならない旨規定した。

(2) 内底板及び船底

最前部及び最後部の貨物タンクにおいては、中央部における値を、経験算式に基づき減じることができることとしている。

3 疲労強度

3.1 疲労評価

3.1.1 一般

3.1.1.a 疲労強度は下記に概説する手順及び付録 C にて詳細に述べられている手順に従って評価される。

3.2 疲労基準

3.2.1 腐食モデル

3.2.1.a 腐食モデルについては、規則第 6 節 3.3.7 を参照。

3.2.2 荷重

3.2.2.a 北大西洋の波浪環境に基づく荷重 (規則第 7 節 3 を参照) とする。

3.2.2.b 比較的波高が低く出現頻度の高い波が疲労強度に大きく影響するため、疲労強度評価に際しては変動荷重の超過確率を 10^{-4} レベルとする。

3.2.3 許容基準

3.2.3.a 規則第 2 節にて記述する設計基礎は、船舶の設計寿命を 25 年として要件を定めた。疲労被害度 ($D=1.0$) は、平均 S-N 曲線の 2 標準偏差を考慮した設計 S-N 曲線を用い、疲労被害度計算における他の全ての変数は決定論的であるという仮定に基づき、97.7% の生存確率を意味する。これらの規則に含まれる全ての詳細は、疲労き裂の発生確率に関して同じ安全余裕を割り当てられている。

3.3 適用

3.3.a 一般的な二重船殻油タンカーに対しては、規則第 9 節 3.3.1 及び 3.3.2 に記述されている範囲が、これらの規則の意図を満たす最小限の要件として十分であると考えられる。

3.3.1 縦式構造

3.3.1.a 規則第 9 節 3.3.1.1 に規定するように、貨物タンク区域内にある縦通防撓材と横桁部材及び横隔との結合部を評価対象とする。

3.3.2 横式構造

3.3.2.a 規則第 9 節 3.3.2.1 に規定するように、内底板とビルジホップ斜板との間の取り合い部を評価対象とする。なお、付録 C に記載されているが、評価対象となるのは、溶接結合される箇所としており、ビルジホップ斜板の端部において曲げ加工をし、内底板と突合せ溶接されるもの (曲げ加工型) は、評価対象ではない。

3.4 疲労強度評価法

3.4.1 公称応力法

3.4.1.a 従来の疲労計算は、公称応力及び幾何形状に依存する S-N 曲線の使用に基づいている。S-N 曲線は、ホットスポット応力の概念 (この概念に基づき作成された S-N 曲線には、溶接止端部の局所的な形状に起因するノッチ応力の影響を含んでいると看做されている)、又は溶接止端部の形状による影響を含むノッチ応力の概念に基づき作成されている。どちらの概念も以下のような長所及び短所を持ち合わせている。

長所: 詳細に分類された S-N 曲線は、き裂伝播領域を超えるノッチ応力及び応力場の両者を考慮できる。

短所: 実際の船体構造の詳細設計において、幾何形状毎に定められる S-N 曲線のうちいずれを用いるのか定めること及び適用する公称応力を定めることは困難である。さらに、疲労設計において使用できる、確立された S-N 曲線は限られているため、構造部材の局部形状設計及び仕上げの改良を疲労寿命評価に反映させることは複雑な作業となる。

3.4.2 ホットスポット応力法

3.4.2.a ホットスポット応力には公称応力及び構造的不連続並びに付属物の存在に起因する応力が含まれているが、溶接の存在に起因する応力は含まれない。詳細メッシュ有限要素モデルより得られる応力はホットスポット応力である。しかしながら、工作上的の不完全さ、例えば構造部の目違いなどによる影響は、通常有限要素解析において陽の形で考慮することを求められず、もしこの誤差が許容限界を超えているならその影響は別途考慮しなければならない。溶接形状によって影響を受ける領域のすぐ外側の溶接止端部に外挿された応力のピーク値を通常ホットスポット応力としている。この手法の長所と短所を以下に示す。

長所: ホットスポット応力法を用いることにより、局所的な切欠きの影響は S-N 曲線に含まれ、切欠き形状の差異は疲労被害度のばらつきとして考慮することができる。よって、各種溶接継手に対し 1 つの S-N 曲線を用いればよい。

短所: ホットスポット応力は、切欠き領域外側の応力を外挿して求めなくてはならない。有限要素メッシュは、この領域における応力を表すために十分詳細でなくてはならない。有限要素モデル作成には厳密な一貫性が求められる。応力の外挿は少なくとも切欠きの 0.3t 外側の点より行うべきである。外挿の実施法は、ホットスポット領域における応力分布の数値解析及び試験計測の経験にその基礎に基づいているため、様々である。

3.4.3 代替の直接計算法

3.4.3.a 統計的頻度分布を用いた疲労強度評価のような直接

的な計算手法は、本規則の範囲外である。そのような代替手法が採用された場合、それらは各船級協会の手順に基づくことになる。しかし、直接的な代替手法が本規則でカバーされる構造詳細に適用された場合は、承認を得るためには、疲労寿命は、本規則に基づく決定されなければならない。

10節 座屈及び最終強度

1 一般

(a) 規則における座屈及び最終強度の要件は、以下の三つに分類される。

・剛性と寸法 (第10節2)

本要件は、最大許容細長比或いは最小断面二次モーメントを規定するもので、応力ベースの要件ではない。

・座屈に対する要求規定 (10節3)

本要件は、各構造要素 (例えば板、柱等) の限界座屈応力を解析的な強度算式によって評価するための強度要件である。

・高度座屈解析 (10節4)

本要件は、高度な座屈解析法を用いて座屈強度を評価する際の要求事項、適用及び構造のモデル化における原則に関する一般的な要件を記述するものである。

(b) 座屈・最終強度要件は、当該構造要素の最も起こりうる崩壊挙動に応じた強度要件を適用する。これを図4.10.1に示す。図4.10.1はどのような要件を適用するのが適切であるかを判断するために、構造要素の特性に応じて仕分けしたものである。

(c) 全ての座屈・最終強度要件は、構造要素のネット板厚に基づいている。

2 剛性と寸法

(a) 剛性と寸法は、構造要素のネット板厚あるいはネット断面二次モーメントの最小値として定義される。これらの要件は、全ての構造要素に適用され最小の構造特性を与える。これは、特に応力を算出することが容易ではなく、従って経験に基づく最小要求値が与えられるような構造要素に対して、適用される。本要件は、図4.10.1の領域Cに示されるような細長比の高い構造要素に対して規定される。このような構造要素は、弾性座屈強度が降伏強度の50%未満である場合が多い。

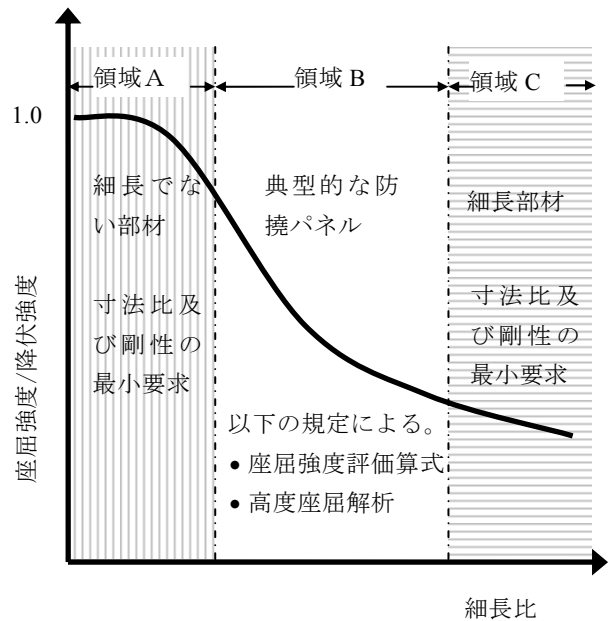


図 4.10.1 限界座屈応力と細長比の関係

(b) ある構造要素は頑健で、十分な剛性を有していると判断される場合もあり、この場合、当該要素の座屈強度を陽に評価する必要はなくなる、即ち、当該要素は、圧縮を受ける場合、座屈ではなく降伏によって崩壊に至る。これを、図4.10.1の領域Aに示す。このような場合の一つの例として、局部支持部材 (例えば、ロンジ材のフランジ) のフランジの局部座屈が挙げられる。これらの要素の弾塑性座屈強度は、降伏強度の90%を超える場合が多い。

(c) 図4.10.1に領域Bで示される頑健な要素と細長い要素の間にある構造要素に対しては、座屈に対する要求規定かあるいは高度座屈解析が適用される。

(d) 上記の区分けに拘らず、全ての構造要素は領域A, B, Cのための要件を用いて、座屈に対して評価される。

3 座屈に対する強度要件

(a) 座屈に対する強度要件には、個々の構造部材(例えば、パネル、有効板を含んだ防撓材及び柱の座屈強度など)の限界座屈応力を評価するための解析的な算式を用いる。適用される要件は、構造要素の種類や考慮すべき崩壊モードに依存する。

(b) 一般には、バルクキャリアに対するIACS共通規則、第6章3節で定義されるパネルと防撓材に対する座屈強度算式をタンカーに関しても流用する。

(c) ストラット、ピラー、クロスタイの全体座屈に対しては、起こりうる全ての崩壊モードに対応した弾性座屈応力を定義し、弾性座屈応力が降伏応力の50%以上の場合には、限界座屈応力は弾性座屈応力をジョンソンオステンフェルド修正することにより算出する。

4 高度座屈解析

- (a) 高度座屈解析法は、非線形解析技術に基づいており、防撓パネルやパネルの複雑な挙動をより理論的に予測できる手法である。標準的な手法と同等であれば、代替手法として受け入れられる。この場合、標準手法に対して、提案手法による結果の検証が必要となる。(付録D参照)
- (b) 高度座屈解析のための一般要件と考慮すべき影響因子は、いかなる設計者も容易に高度座屈解析が実施できるように規定されている。適用、モデル化手法及び評価基準についても規定されている。
- (c) 規則では、極大荷重を受けるある種の構造部材(例えば、デッキ、サイド及びボトム部材)に対して、最大耐荷能力で定義される最終強度をその評価基準として用いることを許容している。
- (d) 高度座屈解析の要件に適合した標準手法とソフトウェアは船級協会により提供される。下記の構造要素については、現在のソフトウェアでは対応できない。これらの要素については、上記 (b) の座屈に対する要求規定により評価を行う。

- (i) 主要支持部材に対する全体座屈モード
- (ii) 開口部に於けるウェブ板の座屈
- (iii) 柱及びクロスタイ

記号と定義

- s, s_w, s_{stf} : 防撓材間の距離 (mm)
- l, l_{stf} : 防撓材の長さ/スパン(m)
- l_a : パネルの短辺の長さ(mm)
- α : パネルのアスペクト比
- t_{net} : パネルのネット板厚(mm)
- t_{w-net} : ウェブのネット板厚(mm)
- t_{f-net} : フランジのネット板厚(mm)
- d_w : 部材の深さ(mm)
- b_f : フランジ/フェースプレートの幅 (mm)
- b_{f-out} : フランジの幅(mm) $b_{f-out} = b_f/2$ (T型防撓材の場合)
- $t_{bkt-net}$: 肘板のネット板厚 (mm)
- d_{bkt} : 肘板の深さ(mm)
- l_{bkt} : 肘板の有効遊辺の長さ (mm)
- l_{bdg} : 主要支持部材のゼロ曲げモーメントスパン (m)
- S : 主要支持部材間の距離 (m)
- $A_{w-net50}$: 主要支持部材のネットウェブ面積 (cm²)
- $A_{f-net50}$: 主要支持部材のネットフランジ面積 (cm²)
- C, C_w, C_f : 合成と寸法比のための細長比係数
- E : ヤング率 $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
- σ_{yd} : 材料の最小降伏強度の規定値 (N/mm²)
- $\sigma_{xcr}, \sigma_{ycr}, \tau_{cr}$: パネルの限界座屈応力 (N/mm²)
- C_x, C_y, C_τ : パネルの座屈強度規定における低減係数
- σ_E, σ_{ET} : ストラット、ピラー及びクロスタイの曲げ捻り弾性座屈応力 (N/mm²)
- σ_{ETF} : ストラット、ピラー及びクロスタイの限界座屈応力 (N/mm²)
- σ_{cr} : ストラット、ピラー及びクロスタイの限界座屈応力 (N/mm²)
- A_{net} : 有効パネルを除いた防撓材のネット断面

積(cm²)

- I_{net} : 有効パネルを含んだ防撓材の断面 2 次モーメント(cm⁴)
- η : 使用係数
- K : 座屈応力と降伏応力との比率, $K = \sigma_E/\sigma_{yd}$

パネル及び防撓パネル

パネルと防撓パネルに対する座屈強度要件一覧を表 4.10.1 に示す。局部支持部材の寸法における定義を図 4.10.2 に示す。

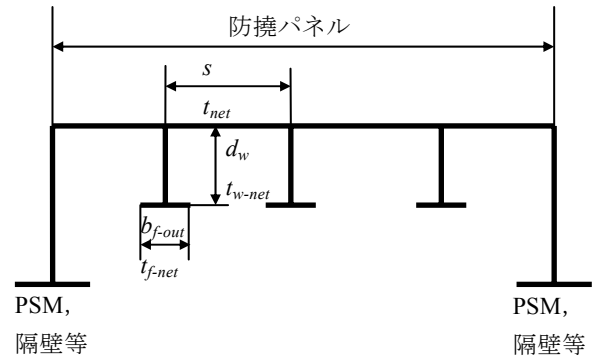


図4.10.2 防撓パネル及び防撓材の寸法

主要支持部材

主要支持部材に対する座屈強度要件一覧を表 4.10.2 に示す。主要支持部材の寸法における定義を図 4.10.3 に示す。

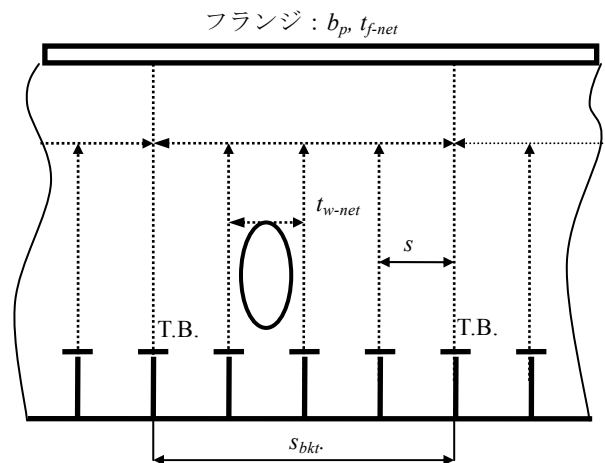


図4.10.3 主要支持部材の寸法

その他の部材

その他の部材に対する座屈強度要件の一覧を表 4.10.3 に示す。

表 4.10.1 パネル及び防撓材に対する強度要件

構造要素	領域A (図4.10.1)	領域B (図4.10.1)		領域C (図4.10.1)
	最小剛性と寸法比 (10節2) ⁽¹⁾	座屈に対する要求規定 (10節3)	高度座屈解析 (10節4)	最小剛性と寸法比 (10節2)
プレート	-	一軸又はせん断限界座屈応力, 低減係数C (3.2.1)		幅と板厚 s/t (2.2.1.1)
防撓材 8.1.4における縦強度より得られる応力を用いる		コラム座屈モード (33.2,3.3.4)		深さと板厚 d_w/t_w (2.2.1.1) 断面二次モーメント要件I, コラム座屈 (2.2.2)
防撓パネル 9.2におけるFEMより得られる応力を用いる	- フランジ幅と板厚 b_f/t_f (2.2.1.1)	-振り座屈モード (3.3.3)	-	
			二軸圧縮, せん断及び横圧座屈又は最終強度(4.1.1)	
注				
1. 構造要素が頑健であることを保障するための適用すべき要件				
2. 括弧内の数字は適用すべき規則の節を示す。				

表 4.10.2 主要支持部材に対する強度要件

構造要素	領域A (図4.10.1)	領域B (図4.10.1)		領域C (図4.10.1)
	最小剛性と寸法比 (10節2) ⁽¹⁾	座屈に対する要求規定 (10節3)	高度座屈解析 (10節4)	最小剛性と寸法比 (10節2)
規則的に防撓されたウェブプレート ⁽³⁾			二軸圧縮とせん断座屈強度 (4.1.1)	幅と板厚 s_w/t_w (2.3.1) - - -
不規則に防撓された又は不規則形状のウェブプレート	フランジ幅と板厚 b_f/t_f (2.3.1)	-	二軸圧縮とせん断座屈強度 (4.1.1)	
開口を有するウェブプレート		一軸圧縮とせん断座屈強度(3.4)	-	
主要部材の遊辺上のフランジ		-	-	
トリッピングブラケット	ブラケット間の長さ S_{bkt} 振り座屈強度 (2.3.3)	-		-
ウェブ付防撓材	フランジ幅と板厚 b_f/t_f (2.2.1)	-	-	深さと板厚 d_w/t_w (2.2.1) 断面二次モーメント要件I, コラム座屈 (2.3.2)
主要支持部材の曲げ剛性	断面二次モーメント要件I, コラム座屈 (2.3.2)			
注				
1. 構造要素が頑健であることを保障するための適用すべき要件				
2. 括弧内の数字は適用すべき規則の節を示す。				
3. 規則的に防撓されたウェブプレートに適用される。不規則に防撓されている場合には、ウェブプレートとして適用する必要がある。				

表 4.10.3 その他の部材に対する強度要件

構造要素	領域A (図4.10.1)	領域B (図4.10.1)		領域C (図4.10.1)
	最小剛性と寸法比 (10節2) ⁽¹⁾	座屈に対する要求規定 (10節3)	高度座屈解析 (10節4)	最小剛性と寸法比 (10節2)
ブラケット板厚, t_{bkt}	比率 d_{bkt} / t_{bkt} (2.2.1) 遊辺補強がない場合の最大肘板長さ	-	-	-
開口及び肘板端部における端部補強	端部防撓材の最小深さ, d_w (2.4.3)	-	-	細長比(2.2.1)
ストラット, ピラー		コラム座屈, 振り座屈 (3.5.1)		細長比(2.2.1)
クロスタイ		コラム座屈, 振り座屈 (3.5.1)	二軸圧縮とせん断ウェブプレート の座屈 (4.1.1)	
波型隔壁板		フランジの一軸圧縮座屈 (3.5.2)		比率s/tnet (2.2.1)
波型隔壁		コラム座屈 (3.5.2)		

注
 1. 構造要素が頑健であることを保障するための適用すべき要件
 2. 括弧内の数字は適用すべき規則の節を示す。

表4.10.4 板要素と防撓材の寸法

板要素と防撓材の寸法 - 降伏強度 ($\sigma_{yd} = 235N/mm^2$) 軸圧縮下における比較							
要件	F	σ_{EL}	K	λ	σ_{cr}	η	要求細長比係数C
$s/t = 100$ ¹⁾	4.0	74	0.32	1.78	74	0.32	100
$s/t = 125$ ²⁾	4.0	47	0.20	2.23	47	0.20	125
$dw/tw = 75$, L or T	4.0	132	0.56	1.34	130	0.55	75
$dw/tw = 37$, bulb	1.0 (1.25)	135 (138)	0.58 (0.59)	1.32 (1.30)	133 (135)	0.57 (0.59)	37 (41)
$dw/tw = 22$, FB	0.43	165	0.70	1.19	151	0.64	22
$bf-out/tf$	0.43	554	2.36	0.65	210	0.89	12

ここで
 F : 座屈係数
 σ_{EL} : 弾性座屈応力 (N/mm^2)
 K : 弾性座屈応力と降伏応力の比, $K = sE/syd$
 λ : 細長比 $\lambda = (\sigma_{yd}/\sigma E)^{0.5}$
 σ_{cr} : 限界座屈応力(ジョンソン塑性修正) (N/mm^2)
 η : 降伏に対する使用係数, $\eta = \sigma_{cr} / \sigma_{yd}$
 括弧内の数値は F を 1.0 から 1.25 へ増分して検証した場合の各係数を示す。

注 1) 外板, タンク周壁板
 2) 非水密隔壁板, 機関室や居住区内の甲板等の細長比が高い構造部材

2 剛性と寸法要件

2.1 構造要素

(a) 局部及び主要支持部材の最小寸法要件は, パネルの座屈強度算式に基づいて開発した。このとき, 1より大きいアスペクト比(長辺長さ/短辺長さ)を有するパネルの座屈応力は以下のように表される。

$$\sigma_E = 0.9C_{\sigma}E \left(\frac{t_{net}}{1000l_a} \right)^2 \quad (N/mm^2)$$

$$\tau_E = 0.9C_{\tau}E \left(\frac{t_{net}}{1000l_a} \right)^2 \quad (N/mm^2)$$

(b) 座屈係数は個々の構造要素に対する限界座屈モードに対して計算され, 図4.10.1の領域Aを下限值に, 領域Cを上限值として検証されている。

(c) 塑性の影響を考慮すべく, 弾性座屈応力に対してジョンソンオステンフェルド修正を用いて限界座屈応力を算出する。

(d) 要求値は軟鋼ベースで開発され、高張力鋼を用いる場合には、修正係数を用いる。一例として、フランジ幅と板厚比の要件を以下に示す。

$$\frac{b_{f-out}}{t_{f-net}} = 12 \sqrt{\frac{235}{\sigma_{yd}}} \Rightarrow t_{f-net} = \frac{b_{f-out}}{12} \sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}}$$

2.2 板部材及び局部支持部材

2.2.1 寸法要件

(a) 防撓材／縦肋骨間の板要素及びウェブプレートの最小寸法要件は、最大細長比（領域“C”の限界値）を用い、ネット板厚手法に適合させた上で、現行実績に基づいて算定した。

(b) 同様に、ウェブプレートの最小寸法比要件も、最大細長比であり、同様な手法により検証されている。

(c) 面材とフランジに対する要件は、他の座屈基準ではフランジ材の振り座屈はカバーされないことに注意した上で、フランジの振り座屈を防止するように規定した。本要件は、領域Aの下限值を用い、ネット寸法手法との整合性に配慮した上で、現行実績に基づき、フランジプレートが頑健な寸法を有するように検証されている。

(d) 寸法要件は、表 4.11.4 に示す仮定の下に算定した。

(e) フェースプレートの要求値開発の詳細を以下に示す。

$$\sigma_E = F \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_{f-net}}{b_{f-out}} \right)^2 \quad (N/mm^2)$$

$$\sigma_E \geq K \sigma_{yd} \quad (N/mm^2)$$

この2つの式から以下の式が得られる。

$$\frac{b_{f-out}}{t_{f-net}} \leq \sqrt{\frac{F}{K} \frac{\pi^2}{12(1-\nu^2)}} \sqrt{\frac{E}{\sigma_{yd}}} \leq 0.4 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{yd}}}$$

これに $F=0.43$, $K=2.36$ を代入すると、次式を得る。

$$t_{f-net} = \frac{b_{f-out}}{12} \sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}} \quad (mm)$$

2.2.2 剛性要件

(a) 剛性要件は、防撓材や縦通肋骨の面外の不安定座屈を防止することが目的であり、下式に示す両端単純支持の Euler座屈算式に基づき規定している。要求される剛性は、

ハルガーダ応力を受ける縦通肋骨に対しては、他の防撓材より高く設定している。

$$\sigma_E = 10^{-4} \frac{\pi^2 I_{net}}{l_{stf}^2 A_{net}}, \quad \sigma_E \geq K \sigma_{yd} \text{ より,}$$

$$I_{net} = C l_{stf}^2 A_{net} \frac{\sigma_{yd}}{235} \quad (cm^4)$$

を得る。

(b) 慣性剛性要件はネット板厚手法に整合させた上で、現行実績に基づき検証されている。

細長比係数Cは、1.43、 $K=2$ で細長比 $\lambda=0.71$ に相当する。

ハルガーダ応力を受ける防撓材に適用される。

細長比係数Cは、0.72、 $K=1$ で細長比 $\lambda=1.0$ に相当、即ち、弾性座屈応力が降伏応力に等しい場合に相当する。ハルガーダ応力を受けない防撓材に適用される。

(c) 慣性モーメント要件を導くに当たって、断面積や断面二次モーメント算定のための付板の有効幅は、全幅の80%を超えないとの仮定を設けた。

(d) 降伏応力は、防撓パネルのパネルのものを参照する。

2.3 主要支持部材

2.3.1 ウェブプレートとフランジ/面材の寸法要件

最小寸法要件は、表 4.11.5 に示される仮定に基づいて開発した。ウェブの幅/板厚の要件は、外板やタンク周壁板に対する板要素の要件と同様である。防撓材に対するフランジの幅と板厚の比の要件は、主要支持部材に対しても用いられる。

2.3.2 剛性要件

(a) 本要件は、ウェブ付防撓材の不安定座屈（Euler座屈）を防止するためであり、ウェブ付防撓方向に平行及び垂直方向の圧縮応力を考慮する。評価基準は、ウェブ付防撓材がウェブプレートを有効に支持できるように設定した。

(b) 圧縮応力に対して平行なウェブ付防撓材の評価基準は、ハルガーダ応力を受けない局部支持防撓材と同一である。

(c) 圧縮に対して垂直なウェブ付防撓材の座屈モードは、圧縮に対して平行な防撓材の場合より複雑となる。この場合には、DNVのClassification Note 30.1から評価基準を取り入れた。

(d) 主要支持部材の剛性要件は、軸圧縮を受ける縦通材を主要支持部材が有効に支持できるように十分な剛性を持たせることを目的としており、主要支持部材の全体座屈を抑制するものである。本要件は、S. P. Timonshenko 及び J. M. Gere の“弾性安定論”を基に取り入れた。

2.3.3 横倒れ防止肘板の間隔

本要件は、主要支持部材の振り座屈を防止することが目

的であり、下記の条件式に基づいて開発した。

$$s_{bkt} \leq b_f C \sqrt{\frac{A_f}{\left(A_f + \frac{A_w}{3}\right)} \frac{235}{\sigma_{yd}}}$$

ここで、

b_f : フランジ幅 (mm)

C : 細長比係数で、対称フランジに対し0.022、片側フランジに対し0.033とする。

A_f : フランジ/面材の断面積 (cm²)

A_w : ウェブプレートの断面積 (cm²)

σ_{yd} : 材料の最小降伏応力 (N/mm²)

$s_{bkt-min}$: カーゴタンクエリアの暴露甲板を含む船体外壁、タンク周壁における主要支持部材に対して、3.0 m、その他のエリアにおける主要支持部材に対して、4.0 m

(b) 上式においてウェブ面積の修正 ($A_f/(A_f+0.33A_w)$) がなされているが、これはフランジ面積に比べて大きなウェブ深さを持つ主要支持部材に対して、横倒れ防止肘板の間隔をより小さくするためのものである。

(c) タンク外壁を構成する、即ち、海水圧やタンク圧を受ける主要支持部材に設けられるトリッピングブラケットの間隔は、3m以下とする必要はない。この下限値は現行ABS規則を基にこの要件に取り入れた。

(d) 現行実績に基づき、他のエリア、例えば機関室や船楼内に設けられるトリッピングブラケットの間隔は、4m以下とする必要はない。このような主要支持部材は、そのフランジ面積が小さく応力レベルも低いため、4m間隔で十分と考える。さらに、トリッピングブラケット間に通常設けられる防撓材も横倒れ防止効果がある程度期待できる。

2.4 その他の構造部材

2.4.1 柱の寸法要件

柱の寸法要件は、断面のウェブとフランジの局部座屈強度に基づき設定した。

2.4.2 肘板の寸法

(a) 肘板寸法の基準は、既存船の実績に基づいて設定し、肘板の遊辺の長さは、ネット板厚の55倍よりも長くしてはならないという要件を課した。(図4.10.4参照)

(b) 肘板の最小板厚に対する強度算式は、次のような仮定を基に開発した。(表4.10.5参照)

(c) この規定は、端部において圧縮を受けるブラケットの要件であり、引張り応力のみを受けるブラケットに適用するのは適当ではない。(ボイドスペースの中間部ラケットなど)しかしながら、規則の第4節の肘板に対する要件は適用する必要がある。

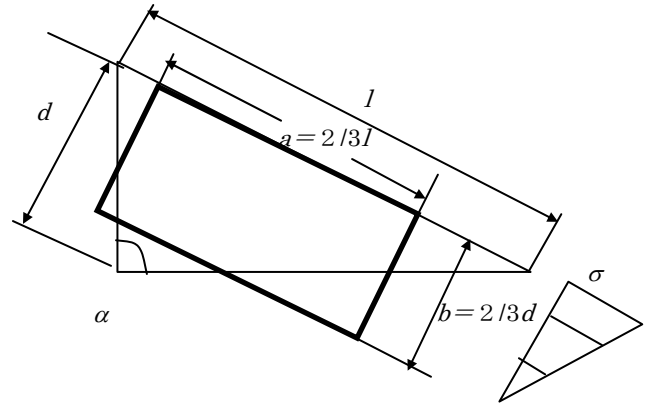


図4.10.4 肘板の寸法

表4.10.5 主要支持部材に対する寸法要件

主要支持部材に対する寸法要件 - 軟鋼 ($\sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$)							
要求値	F	σ_{EL}	K	λ	σ_{cr}	η	要求細長比係数C
ウェブ $s_w/t_w = 100$	4.0	74	0.32	1.78	74	0.32	100
面材 $b_{f-out}/t_f = 12$	0.43	554	2.36	0.65	210	0.89	12

- 遊辺補強のないブラケットの深さ-板厚比は、頑健な寸法を与える(面積“A”)ように制限される。
- 三角肘板は、肘板の深さと遊辺の長さの2/3をそれぞれ短辺と長辺に持つ等価な矩形板と仮定する。
- 遊辺補強のないブラケットの遊辺は面外変形を許容する。
- 荷重パターンは三角形分布
- 板の細長比計数は関連角 ($50^\circ < a < 150^\circ$) の範囲で適用可能である。
- 遊辺を補強された肘板も補強されない肘板と同様の仮定に基づいている。遊辺を補強された肘板の座屈係数は、遊辺補強が肘板のねじり座屈を防止するために十分であると仮定の下に算定されている。(周辺単純支持)(表4.10.6参照)

表4.10.6 肘板の寸法 (遊辺補強の有無)

肘板の寸法 (公称降伏強度 $\sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$)							
遊辺補強	F	σ_{EL}	K	λ	σ_{cr}	η	要求細長比係数C
有	0.90	498	2.12	0.69	207	0.88	*
無	7.64	650	2.77	0.60	214	0.91	70

備考

* $C = 20(d/l) + 16$ ただし、 $0.25 \leq (d/l) \leq 1.0$

また、Fは、端部拘束による座屈係数で、下記(d)の仮定に基づく。

(d) トリッピングブラケットの端辺がネット板厚の75倍以上となる場合、遊辺を補強する必要がある。しかしなが

ら、端部肘板では、この比は50から55倍であるが、これは倒れ止め肘板の応力レベルは、端部肘板よりも低いと推測され、また片持ち梁として挙動し、最大圧縮応力は支持点近くに生ずる。従って、遊辺長さの基準を端部肘板より減じ、ネット板厚の75倍を許容値とした。

2.4.3 開口部や端部肘板の遊辺補強に対する要件

遊辺補強材に対する断面二次モーメント要件、深さ要件も、パネルの座屈強度算式或いは単純支持防撓材のEuler座屈算式をベースに規定した。

3 座屈に対する要求規定

3.1 一般

- (a) 本規定は限界座屈応力の決定、座屈使用係数の定義、そして局部支持部材と主要支持部材の座屈を制御するために必要なその他の対策が含まれる。
- (b) 防撓材に対する要件は、IACS UR S11の要件に相当する。

3.2 板の座屈

3.2.1 平板の一軸座屈

- (a) 板要素の限界座屈応力は、一軸面内圧縮応力又はせん断応力を受ける矩形板の圧縮最終強度を用いる。
- (b) 横方向圧縮の場合、CSR-B編6章3節の表1の係数F1を1.0とする。これは、非線形FEM解析と共に高度座屈解析による検討結果に基づく。

3.3 防撓材の座屈

3.3.1 限界座屈応力

- (a) 防撓材と縦通材の座屈は、コラム及び振り座屈モードにおける圧縮最終強度に対してチェックする必要がある。

3.4 主要支持部材

3.4.1 開口を有する主要支持部材のウェブプレートの座屈

- (a) 板の座屈算式は規則的な形状で理想化された応力に対して開発されている。一方、開口まわりの形状及び応力勾配はかなり複雑である。この複雑さによる不確定性は、板の座屈算式において安全側の仮定を設けることにより考慮する。
- (b) 開口を有するウェブパネルの重要な応力成分は、開口に対して接線方向の軸応力とせん断応力成分である。座屈評価に用いるこれらの応力は、開口による応力の上昇を考

慮する必要がある。(図4.10.3参照)開口に対して法線方向の応力成分は座屈に対して支配的ではないので、無視して差し支えない。

- (c) 補強されない開口に対して、限界座屈応力の計算は、3辺支持、開口に面する1辺を自由辺と仮定したパネルの座屈強度 $C\sigma_{yd}$ により評価する。(表4.10.7参照)
- (d) 補強されている開口に対しては、4辺単純支持パネルと仮定して座屈強度を検討する。
- (e) 限界せん断座屈応力の計算は、開口が補強されていない場合には、開口を含んだ4辺単純支持の有孔パネルに対して座屈応力を算出する。(規則表10.3.1におけるケース6を適用)一方、開口が補強されている場合には、ケース5に示した個々のパネルに分けて座屈強度を検討する。
- (f) 座屈相関式のベースは、CSRバルク規則6章3節で与えられるが、一軸圧縮とせん断の組み合わせでは、以下の算式を用いる。

$$\eta = \left(\frac{|\sigma_{av}|}{C\sigma_{yd}} \right)^e + \left(\frac{|\tau_{av}|\sqrt{3}}{C\tau\sigma_{yd}} \right)^{\varepsilon_\tau}$$

ここで、

- σ_{av} : 平均圧縮応力で規則表10.3.1のケース1, 2, 3のうち適当なものを用いる (N/mm^2)
- τ_{av} : 平均せん断応力で規則表10.3.1のケース5, 6のうち適当なものを用いる (N/mm^2)
- ε : 圧縮応力に対するべき乗係数で、 $\varepsilon=1+C^4$
- ε_τ : せん断応力に対するべき乗係数で、 $\varepsilon_\tau=1+C\times C_\tau^2$
- $C=C_x$: 規則表10.3.1のケース1又は3による低減係数で、 $C=C_x$
- $C=C_y$: 規則表10.3.1のケース2による低減係数で、 $C=C_y$
- C_\square : 規則表10.3.1のケース5又は6による低減係数
- (g) 開口を有する主要支持部材の詳細は表4.10.7による。
- (h) 座屈の判定基準は、 $\eta \leq \eta_{allow}$ とする。

表4.10.7 開口を有する主要支持部材のウェブプレートの座屈

モード	低減係数	
	C_x, C_y	C_\square
(a) 端部補強なし 	規則表10.3.1のケース3による低減係数を用いてP1とP2をそれぞれ個別に評価する。このとき、端部応力勾配は、 $\psi = 1.0$ 。	規則表 10.3.1 のケース6による低減係数を用いてP1とP2を夫々同時に評価する。評価する領域を で示す。
(b) 端部補強有り 	P1 と P2 をそれぞれ個別に評価する。このとき、 C_x については規則表 10.3.1 のケース1を、 C_y についてはケース2を用いる端部応力勾配は、 $\psi = 1.0$ 。	規則表 10.3.1 のケース5による低減係数を用いてP1とP2をそれぞれ個別に評価する。
(c) ウェブに開口を有する例 	パネルP1 とP2 について、上記(a)に従ってチェックする。パネルP3 は上記(b)に従ってチェックする。	

備考

開口部における座屈において考慮すべきウェブプレートは、図中斜線にて示す。

3.5 その他の構造

3.5.1 支材、柱及びクロスタイ

本要件は、軸応力のみを受ける柱構造に対する要件で、以下の全体座屈モードを考慮している。

- (a) コラム座屈（曲げ座屈）：断面の最弱軸回りの曲げ。これは二軸対称断面の細い柱や振りに対して影響を受けない柱の限界座屈モードとなる。
- (b) 振り座屈：曲げの無い断面の振り。この座屈モードはせん断中心と断面中心とが一致する薄肉開断面に対する限界座屈モードとなる。
- (c) コラム（曲げ）－振り座屈：断面の振りと曲げの連成。この座屈モードはせん断中心と断面中心とが一致せず、振りに対して弱い断面に対して、限界座屈モードとなる。

座屈算式は“*Buckling of Bars, Plates and Pillars*”, Brush and Almroth, McGraw-Hill 1975に基づいている。また、柱の有効スパン長に対する端部拘束係数も考慮される。薄肉断面の局部座屈については第2節で考慮される。全体座屈モードに対する算式では、断面は100%有効であると仮定する。なお、曲げモーメントによる座屈は考慮していない。

3.5.2 波形隔壁

波形隔壁の全体座屈は、3.5.1に従って柱、支材として検討する。波形のフランジに対する弾性座屈は、長辺の固着度 $C=5$ を持つ短辺方向の一樣圧縮を想定している。コラム座屈モードは、軸応力を受ける波形の（例えば、水平波形を持つ縦隔壁）全体座屈に対して適用する。この崩壊モードは、垂直波形隔壁に対しては、通常は問題とならない。

4 高度座屈解析

高度座屈解析に関しては、本規則の付則Dを参照のこと。

11 節 タンカーの共通構造規則に関する 一般要件

1 船体部開口及び閉鎖装置

1.1 外板及び甲板部開口

1.1.2 貨物タンク用ハッチの材料, 1.1.10 ロープハッチ,

1.1.11 取外し式プレート及び 1.1.12 タンク洗浄及びア レージのための開口

これらの規定は、LR 規則に基づく。

1.1.3 貨物タンク交通用ハッチコーミング

1.1.3.a 本規定は、LR 規則 Pt 3, Ch 11, 7.2 に基づく。

1.1.3.b LR 規則では、縁材の高さが 600mm を超える場合、板厚を増加と端部への防撓材の取り付けの両方を要求しているが、二つの対策のいずれか一方を実施することで認めることとした。

1.1.4 貨物タンク交通用ハッチカバー

1.1.4.a 本規定は、LR 規則に基づく。

1.1.4.b 皿状の蓋は一般的なものであり、これらの要件の適用を免除して差し支えないと考えられるため、『1.1.4.1 から 1.1.4.3 までの要件は、皿状の蓋及びその他の特に承認を受けた設計の蓋には適用しない。』の記述を追加した。

1.1.5 機関室交通口の保護

本規定は、ABS 規則 Pt 5, Ch 1, Sec 1, 3.3 によるもので、A 型乾舷船舶に対する機関室囲壁を形成する構造物の高さに関する規定を除き、国際満載喫水線条約（以下、LL 条約という）Reg.17 に対応している。鋼船規則 C 編 20.3 の規定に対応している。

1.1.6 暴露前部甲板上の小型ハッチ

IACS UR S26 によるもので、鋼船規則検査要領 C20.2.10 の規定に対応している。

1.1.7 マンホール及び平甲板口

LL 条約 Reg.18 (1) に基づいており、鋼船規則 C 編 20.4.1 の規定に対応している。

1.1.8 その他の開口

本規定は、ABS 規則に基づく。

1.2 通風筒

本節は、各船級協会の機関関係規則の現要求事項が維持されるとの理解の上で、主として LL 条約 Reg.19 の要件を規定しており、IACS UR S27 の要件を含んでいる。鋼船規則 C 編 23.6 の規定に対応している。

1.3 空気管及び測深管

1.3.2 高さ

本規定要求事項は LL 条約 Reg.20, LR 規則 Pt 3, Ch 12, 3.2.5 及び DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 11, I306 に基づいている。

鋼船規則 D 編 13.6.4 の規定に対応している。

1.3.3 空気管及び測深管の詳細、配置及び部材寸法

本規定は IACS UI LL36 に基づくものであるが、IACS UR S27 に基づくブラケット設置要件が、船首部以外に設置される空気管等にも適用することとしている。鋼船規則 D 編 12.2.2 の規定に対応しているが、ブラケット設置要件については追加要件となっている。

1.3.4 空気管及び測深管に対する適用荷重

本規定は IACS UR S27 に基づくもので、鋼船規則検査要領 D13.6.5 (1) の規定に対応している。

1.3.5 空気管及び測深管並びにその閉鎖装置に対する強度要件

本規定は IACS UR S27 に基づくもので、鋼船規則検査要領 D13.6.5 (2) の規定に対応している。

1.3.6 空気管の閉鎖装置

1.3.6.a 本規定は LR 規則 Pt 3, Ch 12, 3.3.1 から 3.3.4 までの規定を一部修正して取り入れたものである。

1.3.6.b 『空気管には通気機能を損なう恐れがある弁を取り付けてはならない。』の記述は、DNV 規則 Pt 4, Ch 6, Sec 4, K102 によるものである。

1.4 甲板室及び昇降口室

1.4.1 適用範囲

1.4.1.a 甲板室及び昇降口室の寸法は、下記の 2 つの理由から船楼とは区別している。

(a) 船の長さ 150m 以上の標準的なタンカー設計における唯一の船楼は船首楼である。

(b) 船首楼側部の荷重は、船首部外板と同様である

1.4.1.b 船楼に対する要件は、船殻寸法の要件の中に組み入れている。

1.4.1.c 本規定における寸法はグロス寸法である。本節の寸法要求の主たる出展となっている IACS UR S3 がグロス寸法を採用しているため、グロス寸法を採用した。

1.4.1.d 上記に加え、甲板室に対する腐食予備厚が、ABS, DNV 及び LR 規則に明記されていないことが、ネット寸法の採用を困難にしている。

1.4.3 定義

1.4.3.a 甲板室の定義は DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 10, A203 によるもので、1966 年の LL 条約に基づいている。

1.4.3.b 昇降口室の定義については、1966 年の LL 条約に関連し、開口した場合に浸水をもたらす恐れのある開口を保護するための構造物としている。

1.4.3.c 一般に 1966 年の LL 条約及び各種の規則規定から採用している。1.4.3.3 は LR 規則 Pt 3, Ch 8, 1.3 によるものである。

1.4.4 構造上の連続性

1.4.4.1~1.4.4.4 の規定は DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 10, B101 に、1.4.4.5 の規定は LR 規則 Pt 3, Ch 8, 2.6.4 による。

1.4.5 甲板

甲板の板厚は LR 規則 Pt 3, Ch 8, 2.3 による。甲板室内について 10%低減後の最小板厚は LR, ABS 及び DNV 規則に従ったものである。これは、鋼船規則 C 編 17.3.1-1.(2)の規定に対応するが、鋼船規則の規定が当該甲板の位置に応じて甲板荷重を決定するのに対し、簡易化した形となっている。

1.4.6 甲板縦通材及び梁

甲板縦通材及び梁に対する要求事項は ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 7 による。鋼船規則 C 編 10.3.3-3.及び 10.4.3 の規定に対応するが、鋼船規則の規定が当該甲板の位置に応じて甲板荷重を決定するのに対し、簡易化した形となっている。

1.4.7 甲板縦桁及び横桁

1.4.7.a 甲板室の甲板縦桁及び横桁の要求事項は ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 8, 5 による。鋼船規則 C 編 12.2 及び 12.3 の規定に対応するが、鋼船規則の規定が当該甲板の位置に応じて甲板荷重を決定するのに対し、簡易化した形となっている。

1.4.7.b 寸法比(板厚と深さ)については ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 8, 5.7 による。

1.4.8 ピラー

1.4.8.a ピラーに関する要求事項は、ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 8, 3 による。鋼船規則 C 編 11.2 の規定に対応するが、鋼船規則の規定が当該甲板の位置に応じて甲板荷重を決定するのに対し、簡易化した形となっている。

1.4.8.b 居住区域内では高張力鋼のピラーが使用されることが無いため、高張力鋼に対する修正係数“k”に関する記述は削除した。

1.4.9 暴露する隔壁

本規定は、ABS 規則 Pt 3, Ch 22, Sec 11, 3.1 による。

1.4.10 暴露隔壁の板部材

1.4.10.a 本規定は IACS UR S3 に基づくもので、鋼船規則 C 編 19.2.2-1.の規定に対応している。

1.4.10.b 高張力鋼に対する修正係数“k”については、LR 規則 Pt 3, Ch 8, 2.2.1 及び DNV 規則による。

1.4.11 暴露隔壁の防撓材

本規定は、基本的に IACS UR S3 に基づくもので、高張力鋼に対する修正係数“k”については、LR 規則 Pt 3, Ch 8, 2.2.1 及び DNV 規則による。鋼船規則 C 編 19.2.2-1.の規定に対応している。

1.4.12 暴露隔壁付き防撓材の端部処理

本規定は、基本的に IACS UR S3 に基づくもので、鋼船規則 C 編 19.2.2-2.の規定に対応している。

1.4.13 暴露隔壁付きウェブの配置

本規定は、LR 規則 Pt 3, Ch 8, 2.6 によるもので、鋼船規則 C 編 19.2.4 及び 19.2.5 の規定に対応している。

1.4.14 甲板室及び昇降口室の開ロ部のための閉鎖装置

本規定は扉に対する一般要求事項を述べたもので、国家規格又は国際規格に従い設計された風雨密扉を認めること等の規定を含んでいる。また、貨物エリアに面している隔壁に装備される扉及び窓又は舷窓の位置に関する SOLAS 条約 Reg.II-2/4.5.2 の要件を含んでいる。鋼船規則 C 編 19.2.3 及び 20.4 並びに R 編 4.5.2 の規定に対応している。

1.4.15 交通用開口の敷居

敷居高さに関する要件は、LR, DNV, ABS 規則及び 1966 年の LL 条約の規定を取り入れている。鋼船規則 C 編 19.2.3 及び 20.4 の規定に対応している。

1.4.16 A 型乾舷のタンカーの機関室囲壁に設ける交通用開口

1966 年の LL 条約の規定を取り入れている。鋼船規則 C 編 20.3.4-3.の規定に対応している。

1.4.17 角窓及びげん窓

1.4.17.a “Port-lights”に代えて 1966 年の LL 条約使われている“side scuttles”を採用した。

1.4.17.b 残りの要求事項については、LR, DNV 及び ABS 規則並びに 1966 年の LL 条約の規定による。鋼船規則 C 編 23.5 の規定に対応している。

1.5 排水管、吸入口及び排出口

1.5.1 閉区画からのドレン

本規定は LR 規則 Pt 3, Ch 12, 4.1.3 によるもので、LL 条約 Reg.22 (1) 及び (2) に基づいている。鋼船規則 D 編 13.4.1-3.及び-5.の規定に対応している。

1.5.2 暴露区域からのドレン

本規定は、要求事項は LL 条約 Reg.22 に基づくもので、鋼船規則 D 編 13.4.1-2.の規定に対応している。

1.5.3 排水の船内への浸入防止

1.5.3.a 本規定は、LL 条約 Reg.22 及び IACS UI LL11 に基づくもので、鋼船規則 D 編 13.4.1-2.の規定に対応している。

1.5.3.b 通常開放されるドレンに関する要求事項は、LL 条約 Reg.22 及び IACS UI LL11 に基づくもので、規則中の図 11.1.3 は IACS UI LL11 から採用した。鋼船規則 D 編 13.4.1-3.の規定に対応している。

1.5.3.c 海上では閉鎖されるドレンに関する要求事項は、IACS UI LL11 に基づくもので、鋼船規則 D 編 13.4.1-6.の規定に対応している。

1.5.3.d 積極的に閉鎖可能な弁に関する要求事項は、LL 条約 Reg.22 に基づくもので、鋼船規則 D 編 13.4.1-6.の規定に対応している。

1.5.3.e 1.5.3.7 の要求事項は、LL 条約 Reg.22 に基づくもので、鋼船規則 D 編 13.4.1-3.の規定に対応している。

1.5.4 海水吸入口

本規定は、LL 条約 Reg.22 に基づくもので、鋼船規則 D 編 13.3.2.の規定に対応している。

1.5.5 船外弁及び付属品

1.5.5.a 取付けに関する要求事項は、ABS 規則 Pt 4, Ch 6, Sec 2, 9.13 によるもので、鋼船規則 D 編 13.3.2-1.及び-2.の規定に対応している。

1.5.5.b 材料に関する要求事項は、LL 条約 Reg.22 に基づくもので、鋼船規則 D 編 12.1.5 及び R 編 11.5.1 の規定に対応する。

1.5.6 人員を配置しない機関区域

本規定は、DNV 規則 Pt 3, Ch 4, Sec 11, K500 による。

1.5.7 配管

1.5.7.a 材料に関する要求事項は、LL 条約 Reg.22 に基づくもので、IACS UR P4 に適合したものとすることを条件に、船内配管へ合成樹脂管の使用を認めている。鋼船規則 D 編 12.1.5 の規定に対応する。

1.5.7.b 管厚に関する要求事項は、IACS UI LL36 に基づくもので、鋼船規則 D 編 12.2.2 の規定に対応する。

1.5.8 廃棄物、くず物及び類似物の投棄

1.5.8.a 本規定は、LR 規則 Pt 3, Ch 12, 4.3 によるもので、IACS UI LL11 に基づき一部修正している。鋼船規則 D 編 13.4.3 及び 13.4.4 の規定に対応している。

2 乗組員の保護

本項の要求事項は全ての船舶に適用されるものであるが、タンカーに適用すべき要求事項については徹底的な再検討を実施した。このため、2.1.1 の規定は、この事実を反映すべく作成した。本文は ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 17, 3.1 によるが、LR 規則及び DNV 規則の一般要件も包含している。規則 2.3 の規定並びに規則中の表 11.2.1 及び表 11.2.2 は、ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 17 の表 1 に基づいており、IACS UI LL50 を基に必要に応じ解説を加えつつ開発したものである。同表は、タンカー適用できない部分を除外するのではなく、長さ 150m 以下の船舶に対する要件を含め、すべての船舶及び乾舷の種類に適用される全内容を含めることに決定した。(本規定は、鋼船規則 C 編 23.7 の規定に対応している。)

2.1 ブルワーク及びガードレール

2.1 の規定は、LL 条約 Reg.25 に基づいており、鋼船規則 C 編 23.1 の規定に対応している。

2.1.1 一般

LL 条約の意図(乗組員保護)をより正確に反映させるため、LR 規則に基づき、ブルワーク等の高さを甲板被覆材上面からとした。また、ブルワーク等の高さの斟酌について、それを正当化する資料の提出を、ABS 規則に基づき要件化しているが、用語については LL 条約に整合させた。

2.1.2 ブルワークの構造

2.1.2.a 本文は DNV 規則による。ただし、最小板厚については、6.0mm に代えて ABS 規則による 6.5mm を採用している。

2.1.2.b これらの規定は、船体の中央部及び後部のブルワークに対する一般要件であることを認識すること。船体前部のブルワークについては、一般的に規定要求より堅牢に設計されている。

2.1.2.c 甲板部における断面係数—要求事項は LR 規則を小改正の上採用したが、要求事項に変更はない。

2.1.2.d 甲板下支持部材—要求事項は LR 規則によるもので、DNV 規則も満足している。

2.1.2.e 開口や装備品位置のブルワークの補強—要求事項は LR 規則による。

2.1.3 ガードレールの構造

本規定は、LL 条約 Reg.25 (3) 及び IACS UI LL47 によるものである。

2.1.4 油流出抑制に関連するブルワーク及びガードレールに関する追加要件

2.1.4.a 本規定は、DNV 規則に基づく。

2.1.4.b 一般に、伸縮継手のある配置では航海中に問題が生じることが知られているので、伸縮継手を有する長いガッターバーは避けたほうが良い。

2.1.5 より深い積付状態に対する追加要件

LL 条約 Reg.26 は、表 A による最小乾舷を有するタンカーのより深い積付けに関するものである。今日、全てではないものの多くのタンカーでは、Reg.2 (5) の規定により修正された要求事項が適用される。2.1.5.1 の規定において B-100 型乾舷に対する注記(表 B-60 の乾舷より少ない乾舷)は、適用される乾舷をより正確に定義するため LR 規則に基づいた。また、ガードレールの代替としてブルワークを備える場合の開口面積に関する規定は、LR 規則によっている。

3 支持構造及び付随構造物

3.1 甲板艙装品の支持構造

3.1.1 一般

3.1.1.a 本節は、標準的なタンカーの設計において一般的に装備される甲板艙装品に関する最も一般的で重要なもののみを規定した。

3.1.1.b 寸法規準は、簡易化した工学的解析をもとにした強度評価を用いて作成されたものである。

3.1.1.c 許容応力は、平均応力レベルのものであり、板要素解析により予測される応力集中の領域まで含んでいない。2 つの許容応力レベルが示されているが、一つは“normal”荷重に対応し、もう一方は“extreme”荷重に対応する。

3.1.1.d 支持構造について承認を受けることが要求される甲板艙装品に対する一般基準は、IACS UR S27 及び MSC Circ. 1175 による。

3.1.2 ウィンドラス及びチェーン止めの支持構造

3.1.2.a 本規定は、IACS UR S27 に基づくものであるが、ウィンドラスの支持構造に関する標準を包含するよう拡張

した。鋼船規則検査要領 D16.2.2 の規定に対応している。

3.1.2.b 3.1.2 の規定は、LR, DNV 及び ABS 規則における現行の取り扱いに基づいている。

3.1.3 係船機の支持構造

3.1.3.a 本規定は、IACS UR S27 に基づくものであるが、係船機により生ずる特別な荷重に耐えるように適切に修正している。

3.1.3.b 船首部 0.25L 内に設置される係船機については、ウインドラス取付けボルトの対する IACS UR S27 の要求事項を適用する。取付けボルトの対する主要な要求事項は長さに沿って適用されるべきで、S27 の中で提案されている外荷重は船首部にのみ適用されるものと考えられる。それ故、現時点においては、0.25L より後方の係船機の取付けボルトに対する要求事項は規定しなかった。

3.1.3.c 係船操作に伴う設計荷重一係船機の最大牽引力に対する設計荷重は DNV 規則 Pt 3, Ch 3, Sec 3, B105 による。係船機ブレーキの設計荷重は、係船機のブレーキは係船索の破断強度より強力に設計されているという仮定の上で、ウインドラスに対する要求事項と整合している。

3.1.3.d 係船操作に伴う設計荷重に対する許容応力一許容応力は 3.1.2 の規定と整合している。

3.1.4 クレーン、デリック及び揚貨マストの支持構造

3.1.4.a 3.1.4 に定める規定は、船体構造にのみ適用するもので、揚貨装置に適用するものではない。強度要件の適用規準は DNV 規則 Pt 3, Ch 3, Sec 5, A100 による。

3.1.4.b 本規定は、タンカーで一般に見られる甲板艀装品／装着品の寸法及び形状を基礎にして策定した。

3.1.4.c 風、横傾斜及び縦傾斜による動的荷重は、港湾内でのみ使用されるものについては設計荷重において係数 130% を DNV 規則 Pt 3, Ch 3, Sec 5, A501 に基づき使用する。また、海上で操作を行うものについては、設計海象に対して実際に計算される加速度及び風荷重 (DNV 規則解釈により、係数の下限値を 150% とする。) に包含させた。

3.1.4.d 安全使用荷重 (SWL)、クレーン台座及びポストの定義については、DNV, LR 及び ABS 規則による。

3.1.4.e 転倒モーメントの定義は DNV 規則 Pt 3, Ch 3, Sec 5 による。

3.1.4.f 強度基準として採用している設計荷重及び許容応力は、DNV 規則による。

3.1.5 タンカーの非常曳航装置に使用する部品に対する支持構造

本規定は、IMO 決議 MSC.35 (63), LR, ABS, DNV 規則及び MSC Circ.1175 の要求事項をとりまとめたもので、鋼船規則 C 編 27.3 に対応している。

3.1.6 から 3.1.8

これらの規定は、LR, ABS 及び DNV 規則の取り扱いを採用したものである。

3.2 入渠

3.2.1 入渠計画

入渠計画に関する事項は、従来船級要件ではなく、今後もそうあるべきと判断した。しかしながら、ABS, LR 及び DNV 規則では、大型船舶について入渠要領図を要求している。幾つかの事例では構造配置が入渠計画に影響されるため、造船所は特別な船について適切な入渠要領図を船に支給する責任を持つことになる。しかしながら、内容の大部分は船級要件外の事項であるため、承認はしない。

3.3 ビルジキール

ビルジキールに対する要求事項は、LR 規則 Pt 3, Ch 10, 5.6, ABS 規則 Pt 3, Ch 2, Sec 2, 13 並びに DNV 規則 Pt 3, Ch 1, Sec 6, A408 及び Pt 5, Ch 1, Sec 3, G100 に基づいている。なお、規則中に含まれている図は LR 規則によるもので、ABS 規則及び DNV 規則の同様の要件に基づき、中間防撓材上に終端部を配置するビルジキールに関する適切な配置についての修正を行っている。

4 艀装

4.1 艀装数計算

4.1.1 要件

4.1.1.a 本規定は IACS UR A1.2 に基づくもので、本文及び表は ABS 規則による。鋼船規則 C 編 27.1 の規定に対応している。

4.2 アンカー及び係船装置

4.2.1 一般

本規定は、LR 規則 Pt 3, Ch 13, 7.2.1, ABS 規則 Pt 3, Ch 5, Sec 1, 1 及び DNV 規則 Pt 3, Ch 3, Sec 3, C201 による。

4.2.6 一般的なアンカー

本規定は、ABS 規則 Pt 3, Ch 5, Sec 1, 7 の『アンカーの型式』による。鋼船規則 C 編 27.1.3 及び L 編 2 章の規定に対応している。

4.2.7 高把駐力アンカー

本規定は、IACS UR A1.4.1.2 に基づいているが、本文は LR 規則 Pt 3, Ch 13, 7.3, ABS 規則 Pt 3, Ch 5, Sec 1, 7 及び DNV 規則 Pt 3, Ch 3, Sec 3, D500 から引用している。なお、IACS UR A1.4.1.3 の超高把駐力アンカーについては、質量を 1500kg までに制限しているため含めていない。鋼船規則 C 編 27.1.3 及び L 編 2 章の規定に対応している。

4.2.8 アンカーチェーン

本規定は、ABS 規則 Pt 3, Ch 5, Sec 1, 1 及び LR 規則 Pt 3, Ch 13, 7.4.5 の適用可能な部分を採用した。鋼船規則 C 編 27.1.4 及び L 編 3 章の規定に対応している。

4.2.9 チェーンロッカ

本規定は、DNV 規則 Pt 3, Ch 3, Sec 3, B104 及び LR 規則 Pt 3, Ch 13, 7.8.4 及び 7.8.5 に基づいており、IACS UR L4 の要件を含んでいる。鋼船規則 C 編 27.1.6 の規定に対応している。

4.2.10 錨鎖の安全及び緊急離脱

破断強度の15%~30%は、IACS Rec. No.10, 1.2.2 (a) に基づく。

4.2.11 チェーン止め

本規定は、ABS 規則 Pt 3, Ch 5, Sec 1, 1 及び LR 規則 Pt 3, Ch 13, 7.8.2 の適用可能な規定を採用した。鋼船規則 C 編 27.1.7-2.の規定に対応している。

4.2.12 試験

鋼船規則 L 編に規定するアンカー、アンカーチェーン、ワイヤ及び索の試験に関する該当規定を参照した。

4.2.13 係船索及び曳航索

規則中の表 11.4.2 は、IACS Rec. No.10 を基にした DNV 規則及び ABS 規則における表である。なお、日本籍船舶については、係船索及び曳航索を備える必要がある。(長さが180mを超える船舶の曳航索(引綱)を除く。)

4.2.14 係船索の数又は強度の増強

4.2.14.a 4.2.14.1 の規定は、LR 規則 Pt 3, Ch 13, 7.5.3 によるもので、OCIMF による『係船装置指針』も参照している。ただし、推奨事項である。

4.2.15 代替係船装置

本規定は、LR 規則 Pt 3, Ch 13, 7.5.5, ABS 規則 Pt 3, Ch 5, Sec 1, 9.1 及び DNV 規則 Pt 3, Ch 3, Sec 3 の表 C1 に対する注記を組み合わせたものである。鋼船規則 C 編 27.1.5-3.の規定に対応している。

4.2.16 係船索の固縛

本規定は LR 規則 Pt 3, Ch 13, 7.5.6 による。

4.2.18 ムアリングウインチ

本規定の本文は LR 規則 Pt 3, Ch 13, 7.5.6 による。鋼船規則 D 編 16.3 の規定に対応している。

4.2.19 ウインドラス

ウインドラスの設計に対する規定は、LR 規則 Pt 3, Ch 13, Sec 7, 7.6, DNV 規則 Pt 3, Ch 3, Sec 3, F 及び ABS 規則 Pt 4, Ch 5, Sec 1 を参考に規定した。鋼船規則 D 編 16.2 の規定に対応している。

4.2.20 ウインドラス試験

本規定は、ABS 規則 Pt 3, Ch 7, Sec 2, 1 及び LR 規則 Pt 2, Ch 13, 7.6.4 による。鋼船規則 D 編 16.2.3-2.の規定に対応している。

4.2.21 アンカーの格納及び配置

本規定は、ABS 規則 Pt 3, Ch 5, Sec 1, 13, DNV 規則 Pt 3, Ch 3, Sec 3, B101 から 103 及び LR 規則 Pt 2, Ch 13, 7.8.3 の規定による。

4.3 非常曳航設備

本規定は SOLAS 条約 Reg.II-1/3-4 から抜粋したもので、C 編 27.3 の規定に対応している。

5 試験要領

5.1 タンクテスト

5.1.1 適用

これらの要件は、IACS UR S14 及びそれらを取り入れた ABS, LR 及び DNV の該当規定及び取り扱いに基づく。

12節 就航船の切替基準

1 船体構造の板厚許容衰耗量

1.1 一般

1.1.1 適用

CSR-T編は、ネット寸法手法を採用しており、設計時に使用する腐食予備厚の取り扱いだけでなく、就航後の取り扱いを明確に示すことによりネット寸法手法を説明することを目的として本節を設けている。従って、本節に示す考え方は、設計時にCSR-T編で示すネット寸法手法を適用したものに限定される。

1.1.2 許容衰耗量の概念

許容衰耗量は、構造部材に対するものとハルガーダ全体の衰耗量に分けられ。なお、ある部材が局部的に衰耗し、局部的な衰耗限度を超えているが、ハルガーダ全体としては衰耗限度に達していない場合であっても、当該部材は切替が要求される旨1.1.2.3に記した。

1.1.3 図書類についての要件

設計時に考慮した腐食予備厚が、就航後の切替基準となるため、船上に備える主要な構造図面には、切替が要求される板厚と建造時の板厚の両方の情報を含むものとする必要がある。もし、船主の要求により増厚している場合には、その板厚を示す必要がある。就航後における定期的検査で実施される板厚計測では、本図面に記載された切替基準をもとに検査を実施することになる。

1.2 板厚計測値の評価

基本的に、検査及び板厚計測は、鋼船規則B編によることになるため、解説は省略する。

1.3 腐食の分類

1.3.1 一様腐食

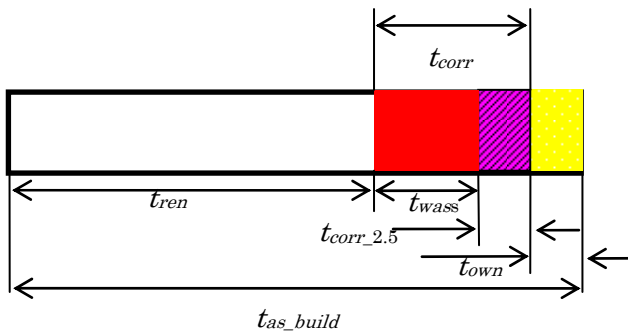
一様腐食は、文字通り対象とする構造部材が広範囲に亘り腐食している腐食を示す。なお、広範囲などの解釈は、明記されていないため、基本的に各船級協会の取り扱いによることになる。

1.3.2 点食, 1.3.3 エッジ部における腐食及び 1.3.4 グルーピング

基本的に局部的に発生する腐食を指しており、衰耗限度の取り扱いが一様衰耗と異なるため、それぞれの腐食形態を規則の図とともに定義した。

1.4 局部構造の一様衰耗に対する板厚の許容衰耗量

計測板厚 t_m が、切替要求板厚 t_{ren} より小さい場合は、切替が要求される。



切替基準，腐食予備厚及び船主による追加がある場合の関係を上図に示す。

なお，切替えた後の板厚は，船主による追加を除く寸法未満としてはならない旨も明記した。

また，上記図は，板厚の決定方式（局部強度算式，FEA，座屈，疲労，縦曲げ強度）に関わらず，当該箇所の切替基準は適用された腐食予備厚により決定されることを意味している。

1.5 一様腐食に対するハルガーダの断面特性の許容衰耗量

基本的な考え方は，計測された板厚を用いて計算されたハルガーダ断面特性が，設計時に腐食予備厚の半分を考慮して算定した数値より下回った場合に切替が要求される。

1.6 点食，グルーピング及びエッジ部における材料の許容衰耗量

点食率が20%未満の場合及びエッジ部における腐食は，元厚（船主追加要求がある場合は，その板厚を差し引いた板厚）の30%又は一様衰耗における衰耗限度+1mm以上衰耗していた場合，切替が要求される。また，グルーピングについては，IACS UR S31に倣い規定した。

付録A ハルガーダの最終強度 (ハルガーダ縦曲げ最終強度の計算法)

1 計算手法

1.1 簡易手法

ハルガーダの縦曲げ最終強度の計算法は，タンカーについては，シングルステップ簡易算式で計算することも認められている。この簡易算式は，以下に示す曲げモーメントと曲率の関係から導かれる。

$$M_u = \Delta M_1 = EI_{red} \Delta k_1 \quad (kNm)$$

ここに，

EI_{red} : 甲板の座屈の影響を考慮して減じたハルガーダの曲げ剛性

E : ヤング率 (N/mm^2)

$\Delta k_1 = \frac{\epsilon_{yd}}{Z_{dk-mean} - Z_{NA-red}}$: 甲板のモーメントゼロの状態から降伏歪 ϵ_{yd} までの曲率増分

1.2 代替手法による計算法

タンカー規則では，サギング状態のみを考慮している。代替手法は通常サギング及びホギングの両状態におけるハルガーダの最終強度を評価するのに適している。

代替手法によりハルガーダ縦曲げ最終強度を計算する場合，以下の増分反復法或いは非線形FEMによる手法を用いる。

(1) 増分反復法

この手法は，ハルガーダの非線形な曲げモーメントと曲率の関係を繰り返し増分計算により追跡する方法で，所謂Smithの方法であり，CSR-B編と共通である。

(2) 非線形FEMによる手法

この手法は，汎用の非線形FEMコードを用いてハルガーダ縦曲げモーメントを直接計算する方法で，具体的な手順は明記していないが，解析条件において上記(1)で示した構造上の諸影響因子を考慮する必要がある。

付録B 構造強度の評価

1 通則

1.1 適用

1.1.1 一般

1.1.1.a 船体中央部として強度評価を行うべきタンクは，当該タンクの重心位置がAPから0.3Lの位置より前方に位置し，かつ，APから0.7Lの位置より後方に位置するタンクとする。即ち，あるタンクの50%を超える部分が船体中央部0.4L間 ($0.3L < x < 0.7L$) に位置する場合，そのタンクは船体中央部の構造要素として強度評価を行う必要がある。具体的には，5タンクを有するタンカーの場合，通常2番，3番タンク及び4番タンク(1番タンクは最前部タンク)が船体中央部としての評価の対象となり，6タンクの場合には，3番，4番，5番タンクが対象となることを意味する。

1.1.1.b 船体中央部の強度評価に使用するせん断力は， $0.3L < x < 0.65L$ の範囲内での最大せん断力及び最後部貨物タンクの前部横置隔壁でのせん断力に基づいている。最大せん断力を選択する際に，最後部隔壁位置を考慮に入れるのは，APから0.3Lの位置より後方に位置するかもしれないこの隔壁に対し，せん断力評価のための別の解析を行う必要を排除するためである。実際，最後部タンクの前部横置隔壁は通常APから0.3Lの位置に近接している。

1.1.1.c 5タンク船の場合(1番タンクは最前部貨物タンク)，通常，2番と3番間，3番と4番間及び4番と5番間の隔壁

が、船体中央部の強度評価に含まれる。6 タンク船の場合では、通常、3番と4番間、4番と5番間及び5番と6番間の隔壁が含まれ、3番タンクの前部隔壁（通常 AP から約 $0.7L$ に位置する）は前部貨物領域の船体せん断力に対する強度評価の一部として評価されることになる。

1.1.1.d 前部貨物領域の船体せん断力に対する強度評価には、船体中央部の強度評価に含まれない横置隔壁を扱うことは必要不可欠である。AP から $0.65L$ より前方に位置する全ての横置隔壁を（ただし、有限要素解析では取り扱わない船首隔壁は含まない）、その領域内での最大せん断力に基づく単一の解析により評価することは認められる。

1.1.1.e 船体中央部の評価及び前部貨物領域の船体せん断力に対する強度評価に基づき、中央部貨物領域内（即ち、最後部貨物タンクの前方の隔壁と $x < 0.65L$ の間）及び前部貨物領域内（即ち、 $x > 0.65L$ ）の全ての横置隔壁は同一の強度を有することとなる。これに代えて、個々の横置隔壁位置におけるせん断力に対する強度評価を行っても良い。

2 貨物タンクの構造強度解析

2.1 構造のモデル化

2.2.1 一般

2.2.1.a 貨物タンク構造モデルの端部領域は、そこに与えられる境界条件により、変位が拘束され異常な応力応答を招く。応力評価すべきモデル領域は、境界条件による拘束が応力応答に重要な影響を与えないようモデルの境界から十分に離れていなければならない。

2.2.1.b 以下の理由により、3タンク長の有限要素(FE)モデルを使用する：

(a) 3タンク長の FE モデルでは、応力評価するモデル内の領域が、モデル境界から十分離れており、拘束条件が応力結果に影響しない。評価を行うモデル内の領域には、センタータンク後方の横置隔壁付き水平桁端部から、前方の隔壁付き水平桁端部迄の範囲が含まれる。特に端部に作用させる曲げモーメントの影響を考えた場合、3タンクモデルは、 $1/2 + 1 + 1/2$ タンクモデルに比べて、より適切であると考えられる。 $1/2 + 1 + 1/2$ のタンクモデルの場合には、モデルの端部は評価対象範囲から2ウェブフレーム間隔しか離れておらず、端部強制の影響が大と考えられる。

(b) 3タンク長のモデルの両端には横置隔壁がモデル化されており、3タンクモデルのセンタータンクは、全船モデルと同様の変位が生じる。

(c) 3タンク長のモデルでは、モデル長さわたり正しい曲げモーメント及びせん断力分布を得るために、調整せん断力及び曲げモーメントを作用させる手法を用いる。 $1/2 + 1 + 1/2$ モデルでは要求される分布を得るのは困難と考えられる。

2.2.1.c 船体構造が中心線回りに対称であれば、非対称荷重が作用している場合であっても、片舷モデルにより解析

することができる。しかしながら、数多くの対称、非対象の荷重ケースを組み合わせて、中心線面に適切な境界条件を与える必要があり、手順が複雑となり、解析中に誤りを誘導する危険性を増す。非対称荷重条件の解析を単純化し、解析中の誤りを誘発する確率を減ずるため、両舷モデルを使用することを要求している。

2.2.1.d 貨物タンク FE モデルは、船殻全体が腐食した状態を再現することになるが、全ての船体構造が腐食予備厚一杯まで腐食した状態にあると考えることは非現実的である。全体強度評価においては、全ての構造部材が腐食予備厚の50%分まで腐食していると考えている。

2.2.1.e 詳細メッシュを使用する局部領域の詳細応力評価では、全腐食予備厚を控除する。規則の B/3.21.5 参照。

2.2.1.f ローカルな板材と防撓パネルの座屈評価においては、防撓材を含めパネル全体に対して全腐食予備厚分を控除する。規則の B/2.7.3 参照。

2.2.1.g 横方向荷重下の防撓パネルは、梁要素（即ち、軸、ねじり、2方向のせん断と曲げの剛性を持つ線要素）とシェル要素（面内剛性と面外曲げ剛性を持つ板要素）を組み合わせることでモデル化されなければならない。このような要素の組み合わせにより、局部圧力による節点変位と回転が正確に再現され、また、梁要素と膜要素（即ち、面内剛性のみの板要素）の組合せによる自由度の不適合のための特異点を回避することができる。横荷重が作用していない領域では、ロッド要素と膜要素の組み合わせを使用してよい。

2.2.1.h 板要素の短辺（例えば 150mm ）より短いスニップ端の防撓材はモデル化する必要はない。板要素の短辺より長い、一端又は両端がスニップの防撓材はモデル化すべきである。防撓材のスニップ端部を正確に表現する意図はないが、そのような防撓材の剛性と主要支持部材の応力軽減の役割をより現実的に表現することを趣旨としている。水平桁や横桁の面材に平行で、かつ、近くに設けられるウェブ防撓材はその構造部材の断面係数に寄与し、発生応力を減少させる。スニップ端防撓材が何かの方法で修正されない場合、水平桁/横桁の面材の応力は過小評価となるおそれがある。

2.2.1.i 横桁材や隔壁付き水平桁においては、ウェブ防撓材の配置は規則的ではないかもしれない。その中の望ましくない要素メッシュ（三角形又は鋭角を有する要素など）を避けるために、ウェブ防撓材の終端点を主要メッシュの線上に合わせる微調整が行われてよい。一般に、防撓材間隔の0.2倍以下の調整は許容される。ただし、パネル座屈強度の評価では、実際のウェブ防撓材の配置による正しい寸法を使用すべきことに留意しなければならない。この許容誤差に合っていれば、FEAの結果を、応力及び座屈評価にそのまま使用して差し支えない。

2.2.1.j 開口のあるウェブ部材のモデル化に対し、規則の

付録B/表B.2.2に示される板厚修正方法を導入する趣旨は、全ての開口をモデル化しないでも、正しい荷重伝達ができるように3タンクモデル全般の剛性を決定することにある。

2.2.1.k 開口の高さ h_0 が長さ l_0 以上である場合、開口周りの変形はせん断変形に支配されるため、開口による断面積の減少比により板厚修正を行う。

2.2.1.l 長い開口については、せん断と曲げによる変形の組合せとなる。曲げ変形の影響は、せん断変形による板厚修正に、修正係数 r_0 を導入することによって考慮される。

2.2.1.m 規則の付録B/表B.2.2による板厚修正によってその影響を考慮できるような大きさの開口であっても、開口の幾何形状を直接モデル化することは可能である。しかしながら、詳細メッシュ解析を行う必要の可否を決定するために用いられる規則の付録B/3.1.6に与えられるスクリーニングの規定は、開口の幾何形状が貨物タンクFEモデルに含まれなかった場合にのみ適用可能であることに留意すべきである。開口の幾何形状が貨物タンクFEモデルに含まれているならば、開口周りの局部応力の決定のため詳細メッシュ解析を行うこと。

2.3 積付状態

2.3.1 有限要素荷重ケース

解析対象の各積付状態において、貨物とバラスト水の積載状態は3タンク長のモデル範囲内のみで定義されている。3タンク有限要素モデルに作用する荷重により発生する静水中曲げモーメント及びせん断力を使うことは、モデル範囲外の船体に作用する荷重を考慮していないので、安全側とは言えないかもしれない。有限要素モデル範囲外の貨物/バラスト/燃料油等全ての組み合わせを考慮して、各積付状態に与えるべき船体静水中曲げモーメントとせん断力(量とその正負)を確立する研究が多くのタンカーに対して成され、有限要素解析で使用する各積付状態に与えられている静水中縦曲げモーメント及びせん断力は、航行中に発生しうる最大ものを反映している。この最大値は最大許容静水中曲げモーメント又はせん断力と必ずしも一致しないことに留意すべきである。各積付状態毎に適切な静水中縦曲げモーメント及びせん断力を対応させることにより、さほど大きな修正せん断力を加えなくても、所用のハルガーダ力を得られる結果となっている。

2.3.2 動的荷重ケース

有限要素強度解析に使用する動的荷重ケースは、ある特定の荷重要素を確率レベル 10^{-8} で最大化することに基づき導き出される。有限要素強度解析においては、表4.B.1の動的荷重ケースが考慮される。

表 4.B.1 有限要素強度解析における動的荷重ケース

動的荷重ケース	波向	最大となる荷重要素	適用
1	向波	波浪サギング縦曲げモーメント	中央部及び後部貨物領域
2	向波	波浪ホギング縦曲げモーメント	中央部及び後部貨物領域
3	向波	正方向のせん断力	前部貨物領域
4	向波	負方向のせん断力	前部貨物領域
5a, 5b	横波	横方向加速度	中央部貨物領域
6a, 6b	横波	上下方向加速度(及び動的波浪荷重)	中央部貨物領域
7a, 7b	斜波	波浪水平曲げモーメント	中央部貨物領域

2.4 適用荷重

2.4.2 構造重量, 貨物油及びバラスト水の密度

船体構造の鋼材重量は、船により運搬される合計重量に比べかなりの割合となるため、解析において鋼材重量を考慮することは重要である。例えば、代表的なVLCCでは、軽荷重量は典型的な満載状態(貨物密度 $0.85t/m^3$)における合計貨物重量の12から16%となり、ノーマルバラスト状態における合計バラスト重量の40から50%に相当する。

2.4.3 静水圧

2.4.3.a 荷重のモデル化を簡易化するため、モデル長さに沿って静喫水は同一としている。

2.4.3.b 有限要素強度解析に用いる全ての荷重ケースにおいて、正立状態の喫水に対応する静水圧が適用されていることに留意すること。横波と斜め波の荷重ケースでは、船の横揺れによる静水圧の変化分は動的波浪圧力の定式化に含まれる。

2.4.4 波浪変動圧

荷重のモデル化を簡易化するため、波浪打ち込み力と動的波浪圧力の分布形状は、有限要素モデルの全長にわたって同一としている。

2.4.7 貨物タンク及びバラストタンク内圧力

設計荷重組合せS + D(航海荷重ケース)に対しては、フローズルー方式によるバラスト水交換に使用されるタンクを除き、付加圧力は適用しない。貨物密度 $1.025t/m^3$ に基づいて算定された静的及び動的タンク圧力を使用することにより、付加圧力を考慮しなくても良いと考えられる。

2.5 せん断力及びハルガーダ曲げモーメントの調整手順

2.5.2 局部荷重によるせん断力と曲げモーメント

積付計算機では、船体を単純梁と看做す曲げモーメント及びせん断力を計算しており、横方向の貨物/バラストの分布を考慮していないことに留意すべきである。横方向タンクの積付状態が均等でない場合には局部荷重の影響のため、同じ縦曲げモーメント及びせん断力を生じる均等積付の場合に比べ、縦曲げ応力及びせん断応力が局部的に増加しう

る。不均等積付状態におけるこのような応力増加は、最大許容静水中曲げモーメント及びせん断力下での不均等積付状態に対し、有限要素解析することによって担保される。

2.7 結果の評価

2.7.2 応力評価

2.7.2.a 多くの有限要素解析プログラムは要素の面積中心での応力値を出力するが、要素中心での応力値が直接出力されない場合、要素の形状関数に基づいたガウス点での応力を用いて計算することができる。この計算法については、多くの有限要素の教科書やソフトウェアの手引書に記載されているが、要素内に4つのガウス点を持つ単純な4節点要素に対する計算方法の一例を図4.B.1に示す。

形状関数は要素タイプと要素の次数により異なることに注意が必要である。この例で用いられる形状関数は、内挿法の説明のために用意されたものであり、有限要素解析ソフトにおける実際の要素形状関数がこれと一致するとは限らない。しかしながら、実際の要素形状関数がこのような補間に利用できない場合には、この例の形状関数を用いる近似計算による応力を求めることができる。

2.7.3 座屈評価

2.7.3.a 局部パネルの座屈評価においては、パネルと防撓材は規則で想定される全腐食予備厚分が衰耗していると仮定する。

2.7.3.b 座屈計算においては、二軸の圧縮応力、せん断応力及び横圧力荷重の組合せによる、相互作用が考慮される。

2.7.3.c 座屈評価においては、有限要素解析から得られる板要素の膜応力を使用すること。局部圧力の影響は、パネルの座屈評価において別途考慮される。

2.7.3.d パネル座屈評価に使用されるソフトウェアが、パネルの圧力、直応力又はせん断応力の変化を正確にモデル化できない場合には、平均応力及び平均圧力を座屈評価に使用してもよい。パネルが複数の有限要素を含んでいれば、パネル内の要素に対し面積比による加重平均をとった応力と圧力を使用する。パネル全面に作用する圧力及び応力は一定と考えてよい。応力と圧力に対する加重平均の計算方法は、規則の付録D/6.3に記載されている。

2.7.3.e 波形板の局部座屈評価においては、波形板のナックル線に平行な単軸圧縮荷重下での局部座屈モードを考える。他の応力成分があまり大きくないため、他の座屈モードは支配的でないと考えることができる。

2.7.3.f 波形板とスツールとの結合付近であって、局部的高応力及び急激な応力の立ち上がりが生じる領域に対し、この局部的応力に基づいたパネルの座屈評価を行う必要はないと考えられる。下部スツール頂板から $s/2$ の範囲（ここで s はフランジの幅）については、スツール頂板から鉛直上方 $s/2$ の位置での応力に基づく座屈評価を行うこととして差し支えない。この点の応力が直接得られない場合、

近隣する要素の応力を線形補間して求めてよい。

2.7.3.g これ以外の箇所においては、FEA から直接得られる応力を用いて座屈評価を行う。

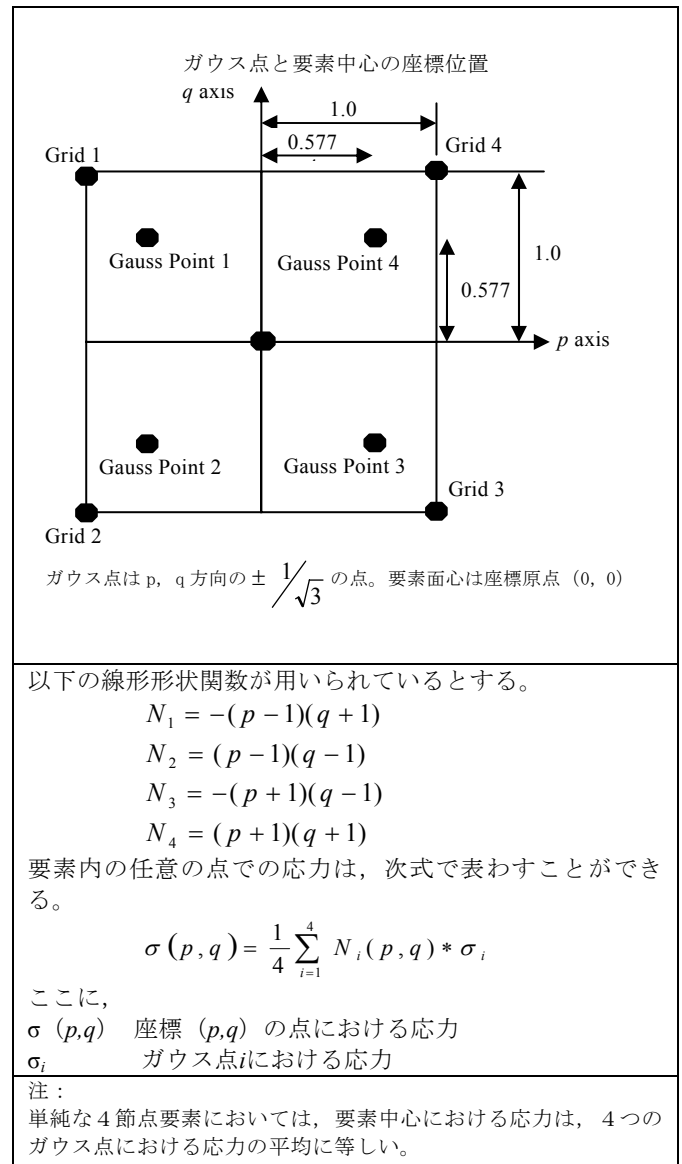


図 4.B.1 4 節点要素のガウス点応力を用いた要素中心応力の内挿方法

3 局部詳細メッシュを用いた局部構造強度解析

3.1 一般

3.1.1 適用

3.1.1.a 高応力部の局部応力の評価には、詳細メッシュを用いた有限要素解析 (FE 解析) が要求される。コースメッシュを使用したタンクモデルでは、構造詳細を十分再現できないため、このような局部応力を得ることができない。詳細メッシュを使用する目的は、局部構造の幾何形状による影響も含めて、高応力部の局部応力が許容範囲内にあることを検証することにある

3.1.1.b 詳細メッシュによる FE 解析を必要とする構造部

材と領域は、過去の損傷実績及びこれまでに行われた検討結果に基づいている。

3.1.6 詳細メッシュ解析のスクリーニング基準

3.1.6.a スクリーニング基準は以下の構造詳細に適用する：

- (a) 一次支持構造部材の開口部（開口の幾何形状が貨物タンク FE モデルに含まれていない場合）
- (b) 一次支持構造部材のブラケット止端部
- (c) 横置隔壁付き水平桁と船側水平桁の取合い部のブラケット基部

3.1.6.b 詳細メッシュ FE 解析は次の構造詳細には必須条件である：

- (a) 代表的な横桁の上部ホッパーナックル部
- (b) 波形横及び縦通隔壁と底部スツールとの結合部
- (c) 代表的な甲板及び二重底の縦通防撓材と横置隔壁防撓材との取合い部並びに取り合い部のウェブ防撓材
- (d) 貨物タンク FE モデルに幾何形状が含まれる開口部

3.1.6.c 評価対象の構造詳細がスクリーニング基準に合致しない場合には、詳細メッシュ FE 解析を行なう必要がある。スクリーニング基準は、全ての荷重ケースについて実施すること。

3.1.6.d スクリーニング基準は、詳細メッシュ FE 解析を行う必要があるかを判断することを目的として、貨物タンク FE 解析から得る応力に基づいて、構造詳細部の局部応力を安全側に評価するものであるが、応力レベルの正確な予想を与えるものではない。

3.1.6.e スクリーニング基準は、コースメッシュの貨物タンク FE 解析から得られた応力と詳細メッシュ FE 解析から得られた応力の相関関係に基づいて開発されたものである。有効なスクリーニング評価を行うためには、貨物タンク FE モデルが、規則の付録 B/2.2.1 で規定する要件に従って構築されていなければならない。

3.1.6.f 規則の付録 B/表 B.3.1 に規定される、一次支持構造部材の開口についてのスクリーニングの算式は、桁板の開口コーナー部での最大応力を推定するものである。算式の中の各項の意味は以下の通りである：

- 式中 $|\sigma_x + \sigma_y|$ は要素の x , y 方向の応力の寄与分。
- $\left(2 + \left(\frac{l_o}{2r}\right)^{0.74} + \left(\frac{h_o}{2r}\right)^{0.74}\right) |\tau_{xy}|$ は要素のせん断応力の寄与分。
- Ch の項はウェブ高さの影響分。主要なブラケット又は連続性を確保するために設ける部材（バットレス）のウェブ中の開口については、この影響は無視され、そして Ch の値は 1.0 と置かれる。
- 係数 0.85 はコースメッシュの貨物タンク FE 解析から

得た応力と極詳細メッシュ FE 解析から得たものとの相関関係から導出された係数である。

3.1.6.g 規則の付録 B/表 B.3.2 の一次支持構造部材のブラケット止端部についてのスクリーニングの算式は、ブラケットのフランジ終端部におけるブラケット止端部での最大応力を推定するものである。算式の中の各項の意味は以下の通りである。

- 式中 $(b_2/b_1)^{0.5} |\sigma_{vm}|$ の項は、ブラケット端部の板要素からの応力寄与分。ここで、比 $(b_2/b_1)^{0.5}$ はブラケット止端部の傾斜（角度）の影響を考慮したものである。

- $\left(\frac{A_{bar-net50}}{b_1 t_{net50}}\right)^{0.5} |\sigma_{bar}|$ の項はブラケットのフランジから

の応力寄与分。ここで $\left(\frac{A_{bar-net50}}{b_1 t_{net50}}\right)^{0.5}$ の項はフランジの寸法による影響分を表す。

- Ca はブラケット止端部の幾何形状（即ち、止端部角度と長さ）を考慮した修正係数で、貨物タンク有限要素解析では考慮されていない。
- 上記の項の係数 0.75 と 0.55 は、コースメッシュの貨物タンク FE 解析から得られた応力と詳細メッシュ FE 解析から得られたものとの相関関係から導出したものである。

3.1.6.h 船側水平桁と横置隔壁水平桁の取合い部基部の局部応力は、貨物タンク FE モデルにおける当該基部での要素内 Von Mises 応力に比例することが分かっている。（規則の付録 B/表 B.3.3 のスクリーニングの式を参照）。貨物タンク FE 解析と極詳細メッシュ FE 解析の応力結果の相関関係から、応力集中係数 3.0 が導出された。

3.1.6.i 縦通隔壁水平桁と横置隔壁水平桁の取合い部基部の局部応力は、貨物タンク FE モデルにおける当該基部での要素内縦方向応力に比例することが分かっている。（規則の付録 B/表 B.3.3 にあるスクリーニングの式を参照）。貨物タンク FE 解析と極詳細メッシュ FE 解析の応力結果の相関関係から、応力集中係数 5.2 が導出された。

3.2 船体構造のモデル化

3.2.1 一般

3.2.1.a ブラケット止端部や開口のコーナー部のような、実際の構造詳細の幾何形状をモデル化するためには、最大メッシュサイズを $50mm \times 50mm$ とする必要があり、これをもとにメッシュサイズが選定されている。局部応力は構造部材の局部的幾何形状に大きく依存し、また、異なる詳細設計における応力レベルの変化を評価するには、幾何形状の忠実なモデル化が重要である。

3.2.1.b 局所的な高応力の領域は、最小許容板厚（即ち、全腐食予備厚を控除したもの）まで完全に腐食した状態で

あるとして扱う。局所的高応力域以外の領域では、全体貨物タンク有限要素モデルの場合と同様に、腐食予備厚の半分を控除した平均耗状状態を仮定する。

3.2.1.c ブラケット止端部、踵部及び十字継ぎ手に対して、詳細メッシュを用いる範囲は、調査対象箇所から全方向に少なくとも 500mm (10 要素分) の所までとすること。詳細メッシュ領域内においては、防撓材のウェブ及びフランジはシェル要素を用いてモデル化すること。詳細メッシュ領域外の防撓材は、線要素を用いてモデル化してよい。詳細メッシュ領域内の板材、防撓材のウェブ及びフランジは、最小許容板厚まで完全に腐食された状態であると仮定する。

3.2.1.d 開口部については、詳細メッシュ領域は開口縁から少なくとも 100mm (要素2層分) までとすること。詳細メッシュ領域内においては、最小許容板厚まで完全に腐食された状態であると仮定する

3.2.1.e 開口の縁部防撓材 (開口縁に直接溶接付けされる平鋼材) は板要素でモデル化すること。ウェブ板に溶接されるが開口縁に直接溶接されないウェブ防撓材は、線要素を用いてモデル化してよい。ウェブ防撓材が開口縁から 50mm 以内 ($50\text{mm} \times 50\text{mm}$ のメッシュの要素幅以内) の位置にある場合、開口縁に最も近い板要素境界に沿ってモデル化された線要素とすることができる。この線要素は開口縁に位置してはならない。

4 疲労解析用ホットスポット応力の評価

4.2 構造のモデル化

4.2.1 一般

4.2.1.a 疲労評価用 FE 解析で使用される板厚は 6 節 3.3.7 による。疲労は、船の一生を通しての累積過程であるので、疲労強度評価のための FE モデルにおいて使用される部材寸法は、構造部材の最大腐食状態に代わり平均的腐食状態 (船の設計寿命の中間点での腐食状態) を表すべきである。疲労ホットスポットに近接する領域は、腐食予備厚の半分まで腐食してすると仮定する。この局所的腐食域は、疲労ホットスポットから全方向に少なくとも 500mm の範囲とする。この局所的腐食域の範囲は、詳細メッシュ FE 解析で使用されるものと同じである。B/3.2.1.c を参照。局所的腐食域以外の構造部材は、腐食予備厚の $1/4$ 分が腐食していると仮定している。

4.2.1.b 疲労評価に対しては、貨物タンク FE モデルは理想的には腐食予備厚の $1/4$ 分を総板厚から控除した板厚を基にするべきである。しかしながら、これを実現するためには、強度評価用とは別の貨物タンク FE モデルを用意する必要が生じる。

4.2.1.c これに代わる方法として、強度評価に使用する同じ貨物タンク FE モデル (総板厚から腐食予備厚の半分を控除した板厚に基づくモデル) を用いて解析を行い、モデル化修正係数による修正を加えてもよい。規則の付録

C/2.4.2.7 を参照のこと。ただし、この場合には、局所的腐食領域の内外を問わず、全ての構造部材は総板厚から半分の腐食予備厚を控除した板厚を用いてモデル化することに注意する必要がある。

付録 C 疲労強度評価

1 公称応力手法

1.1 一般

1.1.1 適用

1.1.1.a 本付録に示す適用範囲は現在の船級協会の手順及び業界標準に一致している。

1.1.1.b S-N 曲線は降伏点が 400N/mm^2 未満の構造用鋼に適用される。

1.1.1.c 降伏点が 400N/mm^2 より高い鋼材については、疲労設計パラメータを確立するために環境、電気防食レベル及び温度の影響を含む、承認された試験方案又は破壊力学解析法から得られたデータを使用すること。上記のデータをまとめ、疲労設計パラメータが提出することが、各船級協会の承認条件となる。

1.1.2 前提条件

1.1.2.a 疲労強度評価に用いる前提条件を下記に示す。

- (a) 線形累積被害度モデル (即ち、Palmgren-Miner の線形累積被害則) は S-N データに関連して用いられる。
- (b) 縦通部材端部結合部にあつては、経験式及び規則に基づく荷重から得られる公称応力が、疲労強度評価の基礎となる公称応力基準となる。
- (c) 構造詳細の長期応力範囲は、修正 Weibull 確率分布パラメータ等によって定められる。
- (d) 構造詳細は理想化されて分類される。
- (e) 船舶の設計寿命は 25 年とする。

1.1.2.b 構造詳細の分類は単純な荷重下における溶接継手形状に基づいている。荷重又は構造詳細の形状が単純な分類に対し著しく複雑な場合、構造詳細の疲労応力を決定するために詳細な FE 解析を実施する。

1.1.2.c ホットスポット応力を決定するために、有限要素解析手法を適用する。横式主要支持部材付近の溶接型ホッパーナックルの溶接結合部に典型的に見られる溶接止端部に対し、この手法は用いられる。

1.2 腐食モデル

1.2.1 ネット板厚

1.2.1.a 疲労強度評価における腐食予備厚の取り扱い、規則第 6 節 3 に記載しているのを、それを参照した。

1.3 荷重

1.3.1 一般

1.3.1.a 疲労強度評価における荷重は、他の強度評価における荷重とともに、規則第 7 節に記載しているのを、それ

を参照することとした。

1.3.2 積付状態の選択

1.3.2.a 最も代表的な二つの積付状態が選ばれる。これらの規則で取り扱われる船舶は通常、満載状態又はノーマルバラスト状態のどちらかで運航されている（これはまた、IACS Rec. No.56 と一致している）。異なるタイプの船舶（即ち、FPSO のような海洋構造物、ケミカルタンカー及びばら積貨物船）又は異なる運航意図を有する船舶に関しては、積付状態の選択は別途考慮する。

1.3.2.b 船体中央部における喫水は、船舶に対して明確な設計基準を与えるように選択し、現在の慣例に一致させる。

1.3.6 動的波浪変動圧

1.3.6.a 静水面より上方における外圧の分布及び静水面より下方における外圧の減少は、断続的な乾湿区域を考慮するために用いられる。この区域の高度は、超過確率 10^{-4} における静水面での静水圧分布に基づく。この区域における圧力分布は線形であると仮定する。

1.4 疲労被害度の計算

1.4.1 疲労強度の決定

1.4.1.a Palmgren-Miner の線形累積被害則は一般的に業界に受け入れられており、多くの船級協会において現在の業務に用いられている。

1.4.1.b 繰返し数 N_L に対する公式は、IACS Rec. No.56 から引用され、直接計算により立証されている。

1.4.1.c ワイブル形状パラメータに対する基本公式は IACS Rec. No.56 から引用されている。直接計算に基づき、このパラメータは甲板縁の下から船側外板、船底外板及び縦通隔壁構造に対し修正される。

1.4.1.d 船舶の非運航時に対する、15%の運航寿命の許容は IACS Rec. No.56 に定義されている。

1.4.4 応力成分の定義

1.4.4.a 応力計算は縦通防撓材及びハルガーダに対し、線形梁理論に基づいている。公称応力を基本 S-N 曲線に適用するために、いくつかの特別な修正を施している。

1.4.4.b 有効スパン及び心距の計算に関しては、規則第 4 節 2 に規定しているので、それを参照することとした。

1.4.4.c 係数 K_n について

(a) 係数 K_n は非対称形状の防撓材における横倒れの影響を考慮している。

(b) 非対称横断面のパネル防撓材において、パネルに負荷される面外荷重は防撓材の面材に水平荷重を働かせ、防撓材を横倒れにより水平に撓ませる。

(c) 水平撓み及びこれに伴う防撓材の面材に働く横倒れ応力の大きさは、防撓材のウェブ及び面材の曲げ剛性によって抑制される。

(d) これらの規則においては係数 K_n によって表される、横倒れ応答における防撓材ウェブ及び面材の抑制効果は、

弾性論における梁の理論に基づき導かれている。

1.4.4.d 隔壁係数 K_d は貨物倉の有限要素解析に基づき、支持間の相対変形により縦通防撓材に生ずる曲げ応力の影響を考慮している。

1.4.4.e 応力合成係数

(a) 応力範囲合成係数は定常狭帯域のガウス過程の理論に基づき導かれる。

(b) 短期海象における合成応力の総計は、対応する合成係数の応力成分を線形加算することにより表される。この表現は、任意の一つの海象状態に適用する場合に正しいことが数学的に証明されている。

(c) 長期における応力の総計は、適切な合成係数の応力成分の線形加算によって同様に表される。

1.4.4.f 環境係数 f_{SN} は、設計寿命のある期間に対し、非保護環境下における結合部の疲労の様態を考慮するためのものである。

(a) 結合部は設計寿命のうち 20 年間は保護環境下に、5 年間は非保護環境下にあると仮定している。

(b) 規則にて規定されている S-N 曲線は、英国エネルギー省“設計、製造及び証明書に関するオフショア設置基準、第 4 版、1990”に基づいている。同基準において、以下の勧告を行っている：

- ・海水中に暴露し保護されていない結合部の場合、基本 S-N 曲線はすべての結合部分類に対し疲労寿命を半分に減じる（注：高張力鋼、即ち $\sigma_y > 400 \text{ N/mm}^2$ については係数を半分に減じるのは適当ではない）。
- ・上記に加え、海水中に暴露し保護されていない結合部の場合、S-N 曲線の傾きを変えなくてよい。

(c) 前(b)に記述するように、保護されていない結合部の疲労寿命は、保護された環境下における S-N 曲線を近似的に半分に減じて計算することが出来る（疲労寿命の半減は、非保護環境下における S-N 曲線の傾きは保護環境下の傾きと同じという事実に基づく近似値である）。非保護環境下の設計寿命 5 年に対する寿命半減の適用を反映し、 f_{SN} は疲労寿命と応力との 3 次関係に基づいて計算された応力範囲に適用される。従って、 f_{SN} は $\{(20+5*2)/25\}^{(1/3)}=1.06$ として得られる。

1.4.5 S-N 曲線の選択

1.4.5.a S-N 曲線の基本設計は英国 HSE から出版された“オフショア設置の設計、製造及び証明書についての基準要旨、第 4 版、1990”の疲労データに適合している。

1.4.5.b 生存確率 97.7%に相当する設計 S-N 曲線を用いることは業界標準である。

1.4.5.c 平均応力の影響は、英国エネルギー省の“オフショア構造物における鋼の溶接結合部に対する新しい疲労設計基準の背景、1984”に適合している。

1.4.5.d 板厚効果は英国 HSE の“オフショア設置の設計、

製造及び証明書についての基準要旨、第4版、1990”に適合している。

1.4.5.e 溶接部の表面処理の効果は認められている。しかしながら、溶接部の表面処理は“設計手段”として用いてはならないが、表面処理が必要となる状況下において疲労寿命改善の手段として用いるべきである。

1.5 構造詳細の分類

1.5.1 一般

1.5.1.a この節における勧告の大部分は、英国の保険安全委員会の出版物に適合しているが、船級協会における現行取り扱いも反映している。

1.5.1.b 規則表 C1.7 備考 2 の 10mm 制限に関わる基準は、UK DEN の推奨事項(d)に基づく。

1.5.1.c ソフトトウについては、国際溶接学会 (IIW) の文章“溶接された構成要素の疲労に関する勧告 XIII-1539-95/XV-845-95, 1995”を参照している。

1.5.1.d カラー結合

(a) 有限要素ホットスポット応力解析の比較計算を、典型的なカラー及びラグ結合それぞれに対し実施した。この研究から得られた結論は、軸荷重下におけるカラー結合において、より高い等級の S-N 曲線の割り当てを支持している。

(b) 卓越した軸荷重下のカラー結合に対し、等級 F が提案され、一方、曲げ荷重及び軸荷重の組合せ荷重下のカラー結合に対し、等級 F2 が提案されている。支柱として働く防撓材止端部付近のホットスポット応力に対するカラーの影響は大きくなく、S-N 曲線の等級は維持すべきである (例えば、曲げ荷重及び軸荷重の組合せ荷重に対しては F2 とする)。

1.5.1.e “Pillar-less”構造

(a) ウェブ防撓材を縦通防撓材の面材に取り付けていない場合、縦通防撓材のスロット/ラグ固着付近に潜在的な危険部位を作り出す結果となる。

(b) このため、船側、船底及び内底板のように面外荷重が支配的な箇所における Pillar-less 結合は、スロット/ラグ固着付近のホットスポット応力を最小化できない場合、使用しないことを推奨する。

1.5.1.f 最適なスロット設計は現在の取り扱いに基づいている。

2 ホットスポット応力手法 (有限要素ベース)

2.1 一般

2.1.1 適用

2.1.1.a 内底板とホッパーナックル部が溶接結合されている場合のみ適用される。曲げ加工型のホッパーナックル部にあつては、付録の図 C2.4 に示す詳細構造基準に適合することが推奨される。

2.4 疲労被害度の計算

2.4.2 使用する応力

2.4.2.a ホットスポット応力の外挿箇所は規則開発作業中に行われた研究に基づき定めた。

2.4.2.b 応力範囲合成係数は付録 C1.4.2 と同じ理論に基づき開発されている。

2.4.2.c 溶接線に対し直角方向に沿う応力を選択することはホッパーナックルの溶接結合部に対し有効である。

2.4.2.d き裂は溶接止端部から表面に沿って生じ、板厚方向へと進展するため、表面応力をホットスポット応力手法と関連して疲労応力とすることがより適当である。

2.4.3 S-N 曲線の選択

2.4.3.a ホットスポット応力解析において S-N 曲線のうち等級 D を選択したのは、規則開発作業中に行われた研究に基づいている。

2.5 詳細設計基準

2.5.1 ホッパーナックル

2.5.1.a ホッパーナックルの詳細設計として、現在の取り扱いを参考として表記した。

2.5.2 横置隔壁付き水平桁のヒール部及び 2.5.3 横置波型隔壁及び縦通波型隔壁と下部スツールの取り合い

これらの箇所の詳細設計として、現在の取り扱いを参考として表記した。

参考として、本解説で引用している参考文献を以下に示す。

- (1) IACS Rec. No.56 “船体構造の疲労強度評価”, July 1999
- (2) 一様等分布荷重を受ける非対称断面の防撓パネルの弾性曲げ応答 (DNV Technical Report, No.2004-1150, rev.01, 2004)
- (3) 国際溶接学会 (IIW) の文書“XIII-1539-95/XV-845-95 溶接された構成要素の疲労に関する勧告, 1995”
- (4) 英国エネルギー省“設計、製造及び証明書に関するオフショア設置基準要旨、第4版、1990”
- (5) 英国エネルギー省“オフショア構造物における鋼の溶接結合部における新しい疲労設計基準の背景, 1984”

付録D 座屈強度評価

1 高度座屈解析法

1.1 一般

1.1.2 代替手法

高度座屈解析手法と同等の結果を与える代替手法を認めている。代替手法としては、荷重の再配分を許容する評価手法と荷重の再配分を許容しない評価手法を例示している。

2 高度座屈解析法

2.1.4 初期不整—幾何学的不整／非平面性

実際の構造部材に生じている幾何学的及び材料の不整

は、初期たわみとして座屈強度モデルに考慮する。初期たわみは、形状とその大きさに特徴付けられるが、その形状は特に重要パラメータである。計算結果がどの防撓パネルに対しても安全側の結果となるように、最終強度の観点から、最も支配的な初期たわみ形状を選択する。このことは、モデルの初期たわみ形状は実際に生じている典型的な初期たわみとは異なることを意味している。考慮する初期たわみは、防撓材間のパネルの局部たわみ、ウェブの横倒れたわみ及び防撓材の面外方向たわみで、これらは適切な振幅値でスケーリングする。JTPが供給する高度座屈評価法プログラムにおける初期不整の振幅のデフォルト値を以下に示す。

- (a) 防撓材間の板材 : $s/200$
- (b) 防撓材横倒れ : $l/1000$
- (c) 防撓材の横たわみ : $l/1000$

ここで、

s : 防撓材心距

l : 防撓材のスパン

初期たわみ形状に関しては、どの防撓パネルに対しても代表できるように選択する。初期たわみの大きさは想定する不整形と密接な関係があることを考慮する必要がある。従って、規定された公称値（即ち、*IACS Shipbuilding and Quality Repair Standard*）又は初期たわみの計測値などと等しく取るべきではない。

謝辞

本解説作成にあたり、資料の提供及び校閲にご協力いただきましたABS、DNV及びLRSの関係各位に対し、紙上を借りて御礼申しあげます。特に、多大なご協力を頂きましたABSの関係各位に深甚なる謝意を表します。