

抜粋

27. 鋼船規則CSR-B&T編制定並びに鋼船規則A編、B編、C編、CSR-B編、CSR-T編、S編及びPS編における改正点の解説 (ばら積貨物船及び油タンカーのためのIACS共通構造規則)

1. はじめに

2015年2月27日付一部改正により制定されたCSR-B&T編並びに同日付一部改正により改正されている鋼船規則A編、B編、C編、CSR-B編、CSR-T編、S編及びPS編中、ばら積貨物船及び油タンカーのためのIACS共通構造規則に関する事項について、その内容を解説する。なお、本改正は、2015年7月1日以後に建造契約が行われる船の長さが90m以上のばら積貨物船及び船の長さが150m以上の二重船殻油タンカーに対して適用されている。

2. 改正の背景

IACSにおいて、2006年4月に施行されたばら積貨物船用及び二重船殻油タンカー用の2つの構造規則(Common Structural Rules for Bulk Carriers(CSR-BC)及びCommon Structural Rules for Double Hull Oil Tankers(CSR-OT))は、短期間で両CSRを開発するために2つのチームに分かれて開発作業が行われた。その際、並行して両CSRの調和作業が進められ、可能な限りの調和が図られたが、いくつかの基本的な技術要素については異なるアプローチが採用されることとなった。

これに対して、業界から、船種によらず共通で取扱うことのできる技術的項目については統一すべきであるとの強いコメントを受け、IACSは、両CSRを採択する際に、将来的に両CSRを統一することを公表し、その調和作業を2008年より本格的に開始した。調和作業においては、草案作成段階からその概要及び寸法への影響等を業界に説明するとともに、2度の

業界レビューを実施して、業界からのコメントを十分に反映させながら規則開発が進められた。

この調和された共通構造規則は、2013年12月に開催された第68回IACS理事会において採択されたことから、IACSにおいて採択されたばら積貨物船及び油タンカーのためのIACS共通構造規則(CSR-BC&OT)を本会規則に取入れた。

3. 改正の内容

- (1) CSR-BC&OTを取入れて、鋼船規則CSR-B&T編を新設した。ばら積貨物船及び油タンカーのためのIACS共通構造規則の具体的な解説については、日本海事協会誌No.311に掲載されている「ばら積貨物船及び油タンカーのためのIACS共通構造規則(CSR-B&T)について」及び本会誌の付録として掲載しているIACSが発行したCSR-BC&OTの技術背景資料の仮訳を参照されたい。
- (2) CSR-B&T編の適用を鋼船規則A編1.1.2(ばら積貨物船及び油タンカーに関する適用の特例)に明記するとともに、CSR-B編及びCSR-T編の適用を改め、CSR-B&T編の適用が開始される2015年7月1日の1日前の6月30日までに建造契約が行われた船舶については、CSR-B編及びCSR-T編が適用される旨を規定した。
- (3) CSR-BC及びCSR-OTの適用を受けるばら積貨物船及び油タンカーについては、船級符号に“CSR”が付記されていたが、CSR-BC&OTが適用される船舶に対しても同じ“CSR”を付記することがIACSにおいて合意されたことから、CSR-B&T編の適用を受ける船舶に対しても“CSR”を付記す

るようA編1.2.1を改めた。

- (4) 鋼船規則C編、S編及びPS編において、CSR-B編又はCSR-T編の要件を参照していたが、鋼船規則CSR-B&T編の制定に伴って、CSR-B&T編の関連要件を参照するよう改めた。

また、CSR-B編及びCSR-T編には就航船の切り替え基準等の検査要件が規定されており、鋼船規則B編

からそれらの要件が参照されている。CSR-B&T編の適用が開始された後であってもCSR-B編及びCSR-T編の適用を受けた船舶にあつては、CSR-B編及びCSR-T編に規定される切り替え板厚に関する要件等が適用されることから、検査要件に関する参照先については、CSR-B編及びCSR-T編に加えて、CSR-B&T編を加えた。

付録

ばら積貨物船及び油タンカーのためのIACS共通構造規則の技術背景
(仮訳)

目次

	4. 船首隔壁前方の区画	107
	5. 燃料油タンク	107
	6. 船尾隔壁後方の区画	107
	7. バラストタンク	107
	4節 交通設備	107
	1. 閉鎖場所	107
	2. 貨物エリア及び船首区域	107
	3章 構造設計の原則	108
	1節 材料	108
	1. 一般	108
	2. 船体構造用圧延鋼材	108
	3. 鍛鋼品及び鋳鋼品	108
	4. アルミニウム合金材	109
	5. その他の材料及び製品	109
	2節 ネット寸法手法	110
	1. 一般	110
	3節 腐食予備厚	110
	1. 一般	110
	4節 防食措置	111
	1. 一般	111
	2. 電気防食用アノード	111
	5節 限界状態	112
	1. 一般	112
	2. 基準	112
	3. 衝撃荷重に対する強度評価	113
	6節 構造詳細の原則	113
	1. 適用	113
	2. 一般原則	113
	3. 防撓材	114
	4. 主要支持部材 (PSM)	114
	5. 防撓材と主要支持部材の交差部	115
	6. 開口	115
	7. 二重底構造	116
	8. 二重船側構造	117
	9. 甲板構造	117
	10. 隔壁構造	117
	11. 梁柱	118
	7節 構造の理想化	118
	1. 防撓材及び主要支持部材の構造の理想化	118
	2. 板部材	121
	3. 防撓材	121
	4. 主要支持部材	121
1編 共通要件		
1章 一般原則	95	
1節 適用	95	
1. 適用範囲	95	
2. 規則の適用	96	
3. 船級符号への付記	96	
4. 船級規則の適用	97	
2節 原則	97	
1. 一般	97	
2. 一般原則	97	
3. 設計基礎	98	
4. 設計の原則	99	
5. 規則設計手法	101	
3節 適合確認	102	
1. 一般	102	
2. 提出書類	102	
3. 承認の範囲	103	
4. 工事	103	
5. 構造詳細	103	
6. 同等効力に関する手順	103	
4節 記号及び定義	103	
1. 主要な記号及び単位	103	
2. 記号	103	
3. 定義	103	
5節 ローディングマニュアル及び積付計算機	104	
1. 一般要件	104	
2. ローディングマニュアル	105	
3. 積付計算機	105	
4. ばら積貨物船に対する積付	105	
2章 一般配置要件	106	
1節 一般	106	
1. 一般	106	
2節 隔壁配置	106	
1. 水密隔壁の配置	106	
2. 船首隔壁	106	
3. 船尾隔壁	106	
3節 区画配置	106	
1. コファダム	106	
2. 二重底	106	
3. 二重船側	107	

4章 荷重	122	2. 評価基準	151
1節 序論	122	付録1 せん断流の直接計算	152
1. 一般	122	1. 計算式	152
2節 動的荷重ケース	124	2. 単船側構造の船体横断面に対する計算例	153
1. 一般	124	付録2 最終強度	153
2. 強度評価に用いる動的荷重ケース	124	1. 一般	153
3. 疲労評価に用いる動的荷重ケース	124	2. 増分反復法	153
3節 船体運動及び加速度	124	3. 代替手法	154
1. 一般	124	6章 船体局部寸法	155
2. 船体運動及び加速度	124	1節 一般	155
3. 任意の位置における加速度	125	1. 適用	155
4節 ハルガーダ荷重	126	2節 適用荷重	155
1. 適用	126	1. 荷重の組合せ	155
2. 静水中ハルガーダ荷重	126	2. 設計荷重条件	155
3. 動的ハルガーダ荷重	128	3節 最小板厚	156
5節 外圧	128	1. 板部材	156
1. 海水圧	128	2. 防撓材及びトリッピングブラケット	157
2. 暴露甲板における外圧	130	3. 主要支持部材	158
3. 船首部における衝撃圧	130	4節 板部材	158
4. 船楼及び甲板室に対する外圧	131	1. 面外圧力を受ける板部材	159
5. ハッチカバーに対する外圧	131	2. 特別要件	161
6節 内圧	131	5節 防撓材	162
1. 液体による圧力	131	1. 面外圧力が作用する防撓材	162
2. ばら積貨物による圧力及び力	133	6節 主要支持部材及び梁柱	164
3. 浸水状態におけるばら積貨物による圧力及び力	134	1. 一般	164
4. ばら積貨物船の貨物倉内におけるスチールコイルによる荷重	135	2. 貨物倉区域内の主要支持部材	164
5. 暴露していない甲板及びプラットホームに作用する荷重	136	3. 貨物倉区域外の主要支持部材	164
6. タンク内のスロッシング圧力	136	4. 梁柱	164
7. 水圧試験時の設計圧力	137	7章 直接強度評価	165
7節 設計荷重シナリオ	137	1節 強度評価	165
1. 一般	137	1. 一般	165
2. 強度評価に用いる設計荷重シナリオ	137	2. ネット寸法	165
3. 疲労評価に用いる設計荷重シナリオ	138	3. 要素の種類	165
8節 積付状態	138	4. 検討結果の提出	165
1. 適用	138	5. コンピュータプログラム	165
2. 共通の設計積付状態	138	2節 貨物倉の構造強度解析	165
3. 油タンカー	138	1. 目的及び範囲	165
4. ばら積貨物船	142	2. 構造モデル	166
5. 疲労評価に用いる標準積付状態	144	3. 有限要素解析の荷重組合せ	169
5章 ハルガーダ強度	146	4. 荷重の適用	169
1節 ハルガーダ降伏強度	146	5. 解析の評価基準	175
1. 船体横断面の強度特性	146	3節 局部構造強度解析	177
2. ハルガーダ曲げ強度評価	146	1. 目的及び範囲	177
3. ハルガーダせん断強度評価	147	2. 詳細メッシュ解析により評価する局部箇所	178
2節 縦曲げ最終強度	150	3. スクリーニング手順	179
1. 適用	150	4. 船体構造のモデル化	181
2. 評価基準	150	5. 有限要素解析の荷重組合せ	183
3節 残存強度	151	6. 解析の評価基準	183
1. 適用	151		

8章 座屈	185	2. ホットスポット応力	223
1節 一般	185	3. ハルガーダ応力	223
1. 序論	185	4. 防撓材に発生する局部応力	224
2. 適用	185	5. 応力集中係数	225
3. 定義	185	5節 有限要素応力解析	226
2節 細長比要件	186	1. 一般	226
1. 構造要素	186	2. 有限要素モデル	227
2. 板部材	187	3. 桁等で支持された十字継手以外の構造 詳細におけるホットスポット応力	228
3. 防撓材	188	4. 桁等に支持された十字継手のホットス ポット応力	229
4. 主要支持部材	189	5. ホットスポット応力手法の制限	232
5. ブラケット	189	6. スクリーニング疲労評価	232
6. その他の構造	191	6節 詳細設計標準	233
3節 規則算式による座屈要件	192	1. 一般	233
1. 一般	192	2. 防撓材とフレームの結合部	233
2. ハルガーダ応力	193	3. ブロック継手のスカラップ	233
3. 座屈評価基準	193	4. ホッパーナックルの結合部	233
4節 直接強度解析における座屈要件	194	5. ストリングのヒール部	234
1. 一般	194	6. 下部及び上部スツールと隔壁との結合部 	234
2. 防撓パネル及び非防撓パネル	194	7. 内底板と隔壁との結合部	234
3. 波形隔壁	195	8. 倉内肋骨の上下端	235
4. 単船側ばら積貨物船の垂直方向に防撓 される船側外板	198	9. ハッチコーナ	235
5. 支材, 梁柱及びクロスタイ	198	10章 その他の構造	236
5節 座屈強度	198	1節 船首部	236
1. 一般	198	1. 一般	236
2. 相関式	199	2. 構造配置	236
3. その他の構造部材	206	3. 衝撃荷重を受ける構造	236
付録1 応力法による参照応力	206	4. 追加の部材寸法要件	238
1. 応力法	206	2節 機関区域	238
2. 参照応力	207	1. 一般	238
9章 疲労	208	2. 機関区域の配置	238
1節 概論	208	3. 機器の台座	238
1. 疲労要件の適用	208	3節 船尾部	239
2. 定義	209	1. 一般	239
3. 前提条件	209	2. 船尾倉	239
4. 方法	210	3. 船尾材	239
5. 腐食モデル	210	4. 外板構造に対する特別な部材寸法要件 	239
6. 積付状態	211	4節 スロッシングを受けるタンク	239
7. 荷重ケース	211	1. 一般	239
2節 評価すべき構造詳細	211	2. 部材寸法要件	241
1. 簡易応力解析	211	11章 船楼, 甲板室及び艙装品	242
2. 有限要素解析	211	1節 船楼, 甲板室及び昇降口室	242
3節 疲労評価	212	1. 一般	242
1. 疲労解析法	212	2. 構造配置	242
2. 評価基準	213	3. 部材寸法	242
3. 疲労評価のための参照応力	213	2節 ブルワーク及びガードレール	242
4. S-N線図	218	1. 一般	242
5. 疲労被害度の算出	219	2. ブルワーク	243
6. 溶接改善法	221		
7. 施工技術	222		
4節 簡易応力解析	223		
1. 一般	223		

3.	ガードレール	243	1節	一般配置要件	256
3節	艙装	243	1.	船首楼	256
1.	一般	243	2節	構造設計の原則	256
2.	艙装数計算	243	1.	適用	256
3.	揚錨設備	244	2.	防食措置	256
4節	甲板機器及び艙装品の支持構造	245	3.	構造詳細の原則	256
1.	一般	245	3節	局部寸法	257
2.	ウインドラス及びチェーンストップ	245	1.	単船側ばら積貨物船の倉内肋骨	257
3.	ムアリングウインチ	245	2.	木製のダンネージ上のスチールコイルによる荷重を受ける構造	260
4.	クレーン、デリック及びリフティングマスト及び救命設備	246	3.	浸水状態に対する貨物倉間の水密波形隔壁	263
5.	ボラードとビット、フェアリード、スタンδροウラ、チョック及びキャプスタン	246	4.	BC-A又はBC-Bが付記された船舶の浸水時における許容貨物荷重	263
6.	その他の艙装品	247	4節	船の長さが150m未満のばら積貨物船の局部寸法	263
5節	小倉口	247	1.	一般	263
1.	一般	247	2.	防撓材を連結する支材	263
2.	暴露甲板前方部分の小倉口	248	3.	バラストホルドの波形隔壁	263
			4.	主要支持部材	263
12章	建造	249	5節	ハッチカバー	264
1節	建造及び組立て	249	1.	一般	264
1.	一般	249	2.	配置	264
2.	板の切出し及び端部処理	249	3.	板材の幅	265
3.	冷間加工	249	4.	荷重条件	265
4.	熱間加工	249	5.	強度評価	265
5.	組立て及び精度	249	6.	ハッチコーミング	266
2節	溶接工事	250	7.	風雨密性、閉鎖装置、締付け装置及び移動防止装置	266
1.	一般	250	8.	排水設備	267
2.	溶接施工方法、溶接材料及び溶接士	250	6節	グラブ荷役	267
3.	溶接継手	250	1.	一般	267
4.	非破壊試験	250	2.	寸法要件	267
3節	溶接継手の設計	250	2章	油タンカー	269
1.	一般	250	1節	一般配置要件	269
2.	T字継手及び十字継手	250	1.	一般	269
3.	突合せ継手	252	2.	貨物タンクの分離	269
4.	他の種類の継手	252	3.	二重船殻配置	269
5.	結合部の詳細	253	4.	点検設備	269
13章	就航後の船舶、切替え基準	254	2節	構造設計の原則	269
1節	原則及び検査要件	254	1.	防食措置	269
1.	原則	254	3節	船体局部強度	270
2.	船体検査に関する要件	254	1.	貨物倉区域の主要支持部材	270
2節	許容基準	254	2.	立て式波形隔壁	272
1.	一般	254	4節	船体艙装	273
2.	切替基準	254	1.	非常用曳航設備に使用する部品に対する支持構造	273
			2.	その他の甲板艙装	274
	2編 船種特有の要件				
1章	ばら積貨物船	256			

はじめに

本付録は、「ばら積貨物船及び油タンカーのためのIACS共通構造規則」に対するIACS発行の技術背景資料を仮訳したものである。

なお、当該規則の適用は、船の長さが90m以上のばら積貨物船及び船の長さが150m以上の油タンカーであって、2015年7月1日以後に建造契約が結ばれる船舶となっている。

ばら積貨物船及び油タンカーのためのIACS共通構造規則の技術背景(仮訳)

1編 共通要件

1章 一般原則

1節 適用

1. 適用範囲

1.1 一般

1.1.1

本規定では、ばら積貨物船及び油タンカーのための共通構造規則(CSR-BC&OT)への適用対象を明確に規定している。

1.1.2

本規定では、規則の適用対象となる船舶の典型的な構造配置を示している。

1.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2 ばら積貨物船に対する適用範囲

1.2.1

本規則は、一般に、二重底構造及び単船側構造又は二重船殻構造を持ち、一層甲板、貨物倉内にトップサイドタンクとビルジホップタンクを備える典型的な配置を持つ、船の長さが90m以上のばら積貨物船に適用する。

ここで、「一般に」は、典型的なばら積貨物船の構造配置として、トップサイドタンクとビルジホップタンクを有していることを意味する。しかしながら、ハイブリッド型ばら積貨物船のようなその他の配置の船舶に対しても本規則を適用することができる。

ハイブリッド型ばら積貨物船とは、少なくとも1つの貨物倉がホップタンクとトップサイドタンクを持ち合わせているばら積貨物船を指す。これは、本規則は、トップサイドタンク及び/又はホップタンクを有していない貨物倉が複数あり、その他の貨物倉に

おいてトップサイドタンク、ビルジホップタンクを備えるばら積貨物船にも適用することを意味する。

これは、MSC Res. 277(85) (その後の改正を含む。)において、“constructed generally with single deck, top-side tanks and hopper side tanks in cargo area”という表現につき、これらの構造上の特徴の一部又はすべてが欠如していることを理由に、ばら積貨物船の定義から外れるとは考えないとした解釈と一致している。

“intended primarily to carry dry cargoes in bulk”の表現についても、MSC Res. 277(85) (その後の改正を含む。)と同様に理解することができる。MSC Res. 277(85)の本文“primarily to carry dry cargo in bulk”は、貨物倉の大部分を占有して乾貨物を荷役、荷揚げ、運搬することを前提に設計されている船を意味している。

鉱石運搬船及び兼用船は、それらの典型的な配置(図1参照)を理由に本規則の適用から除く。

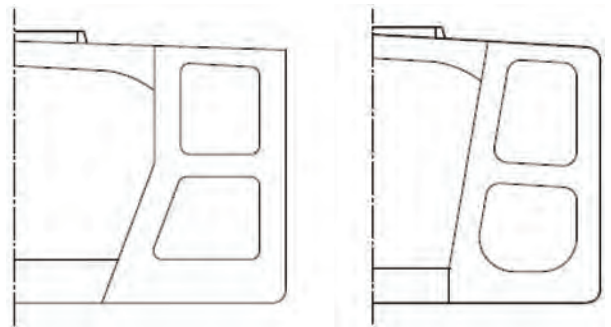


図1 鉱石運搬船の典型的な配置

以下の船種についても、本規則の適用から除く。

- チップ船
- セメント船、フライアッシュ運搬船及び砂糖運搬船。ただし、積荷又は揚荷に10トンを超えるグラブ、パワーショベル又はその他貨物倉の構造部材を損傷させる恐れがある機材を用いない場合に限る。
- 自動揚荷装置が備えられた船底構造を有する船舶
上記の船種は、MSC Res. 277(85) (その後の改正を含む。)の適用から除かれている。

本規則のばら積貨物船の定義は、SOLAS条約及びMSC Res 277(85) (その後の改正を含む。)に一致しており、上記の通り鉱石運搬船及び兼用船についてはそれらの典型的な構造配置のため適用から除かれる。

1.3 二重船殻油タンカーに対する適用範囲

1.3.1 長さ及び構造配置

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.3.2 貨物温度

本規定は、CSR-OT (July 2010) 2節3.1.8.4による。

2. 規則の適用

2.1 規則の記載

2.1.1 本規則の構成

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.1.2 番号付け

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2 規則要件

2.2.1 1編

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2.2 2編

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2.3 規則の適用

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2.4 一般基準

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.3 構造要件

2.3.1 材料及び溶接

船体用の材料に関する要件は、部材の位置、設計温度、応力を考慮して規定されている。(規則2節3.4.4及び3章1節参照) なお、本要件は、材料はIACS統一規則W13 (Rev.5, Feb 2012) に規定される圧延鋼材の寸法許容差に従って製造されているという前提に基づいている。

2.4 船舶の各部

2.4.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.4.2 船首部

原則として、船首部とは船首隔壁より前方を指す。ただし、船底スラミングに関する要件の適用範囲は、船首隔壁の後方にまで及ぶ。重複を避けるため、また利便性を考え、これらの要件を船首部に関する規定に含めた。

2.4.3 貨物倉区域

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.4.4 機関区域

SOLAS条約では貨物ポンプ室は貨物区域の一部とされているが、強度評価を目的として、貨物ポンプ室を機関区域に含める。

2.4.5 船尾部

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

る。

2.4.6 船楼及び甲板室

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.5 揚貨設備への適用制限

2.5.1 定義

本規定では、CSR要件のもと評価される、船体と一体構造とみなされる揚貨設備の固定部分について明記している。

2.5.2 揚貨設備への規則の適用

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.5.3 揚貨設備の固定部分に対する支持構造

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.6 特殊な設計

2.6.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3. 船級符号への付記

3.1 付記CSR

3.1.1 適用

本規定では船級符号への付記CSRについて定義している。本規則を満足する船舶については、船級証書にCSRが付記される。強制もしくは非強制要件であって、以前は、当該要件に基づいて船級符号に付記していた要件において、本規則に対して冗長な要件については、今後、CSR船に適用しない。ただし、各船級による、特定のガイドラインや要件に適合していることを示す現行の付記については、船級符号に付記される。

3.2 ばら積貨物船への付記

3.2.1 追加の付記BC-A, BC-B及びBC-C

本規定は、IACS統一規則S25.3 (失効済み) の要件を取り入れたものである。

3.2.2 追加の付記GRAB[X]

追加の付記符号GRAB(X)は、SOLAS条約第12章第6規則(その後の改正を含む。)との整合性を考慮して設けられている。CSR-BCとCSR-OTの調和作業中に、IACSが設立した外部諮問グループから、CSR-BCの設計基準に基づくGRAB(20)は、鉱石や石炭を運搬する大型の船舶において港湾で実際に使用されているクラブと比較すると小さすぎるとの指摘があった。IACS Hull Panelはこの指摘への対応として、船主団体及びIACSメンバーに対し実際のクラブ重量について情報収集を行い、以下のフィードバックがなされた。

情報源	内容 (グラブの重さは空の状態での重量とする)
船級1	ロッテルダム港で最大重量37トンのグラブを確認。 22トン～28トンのグラブが最も一般的
業界団体1	鉱石用グラブの最大重量は42.7トン、石炭用で最大43.7トン
業界団体2	最大重量は36トン～38トン
船級2 (1991年から の調査結果)	ヨーロッパにおける最大重量は37トンで、平均重量は19トン 日本/台湾における最大重量は31トンで、平均は21トン

ばら積貨物船は、船の一生のうちに使用されるであろう最大重量のグラブに対し設計されなければならない、大型の船舶になるに従い、ハンディサイズの船舶よりも鉱石や石炭をより頻繁に運搬し、大きいグラブを用いる頻度が大きいことが想定される。

貨物の取り扱いにおける安全性を確保するために必要な寸法に対して、多くの不確定要素があることが知られている。従って、内底板及びホッパータンクの寸法をCSR-BCより軽減することはできないと考えられる。最小グラブ重量は、参考とした船舶で用いられているものと同様の内底板の板厚となるよう設定されている。

グラブ重量の最小値は船の長さが250m以上の場合には35トン、200m以上250m未満の場合には30トン、その他の場合は20トンとする。大型船に対する設計グラブ重量の増加は、大型のグラブは鉄鉱石の積み降ろしに使用されることを考慮していたものである。規則2編1章6節に明記されているグラブの衝撃荷重に関する強度要件を満たさなければならない。

詳細な技術背景及び寸法影響については、2編1章6節によること。

4. 船級規則の適用

4.1 本規則に規定の無い構造について

4.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2節 原則

1. 一般

1.1 規則の目的

1.1.1

本規則の目的は、人命の安全、環境及び財産にかかわるような、構造物に損傷が生じる危険性を軽減

すること及び船体構造の十分な耐久性を保証することである。(図1参照)本規則の目的は、以下の通り分類される。

- ・ 安全目標

船体構造の安全性及び構造要件は、以下を考慮して規定されている。

- (a) 船体強度及び水密性が船舶の運航に十分な健全性を有すること。
- (b) 最低限の許容安全レベルが十分なものとなるよう、かつ、切替基準に関係する構造物の状態が船舶の使用期間を通じて把握できるよう、最低限あるべき構造の状態が明記されていること。

- ・ 性能及び耐久性方針

本規則は、船舶の耐久性に関する構造要件を含んでおり、以下を意味している。

- (a) 船舶は、そのスペックを満足するよう、要求されるオペレーションに対して十分な柔軟性を持ちながら、貨物を運搬することができる。
- (b) 腐食予備厚と疲労強度に関して、十分な耐久性を有する構造である。

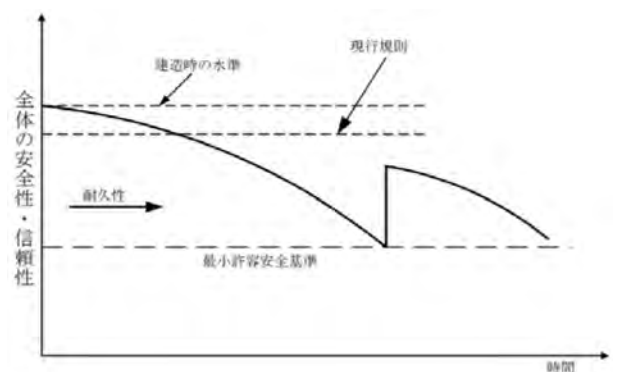


図1 構造安全性及び耐久性

1.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2. 一般原則

2.1 国際法及び国内法

2.1.1

船舶は、IMOで定められ、船籍国あるいは船籍国代行の船級協会によって実施される複雑な規制の枠組みの中で、設計、建造及び運航されている。法規制は、救命設備、区画、復原性、防火及び消火設備等の船舶に対する基準を定めている。これらの要件は運航や貨物を運ぶための設備に影響し、構造設計にも影響を及ぼす。

2.1.2

本号の意図は、構造に関する要件を持つ国際及び国内法を明確にし、要件を規則内に規定するかあるいは適用する規則を明確に参照することで、関連要件を船級要件の一部とすることである。本規則の要件は、対応する国際及び国内法を置き換えるものではなく、それらに加えて適合しなくてはならない要件である。主な法を以下に示す。

- ・ 海上人命安全条約 (SOLAS)
- ・ 第II-1章 構造 (構造、区画及び復原性並びに機関及び電気設備)
 - (a) 第3-2規則 すべての種類の船舶における海水バラストタンク及びばら積み貨物船の二重船側外板区域の保護塗装
 - (b) 第3-3規則 タンカーの船首部への安全通路
 - (c) 第3-4規則 非常用えい航設備及び手順
 - (d) 第3-6規則 油タンカー及びばら積み貨物船の貨物エリア内の区域への及び貨物エリア内の区域における通行並びに当該貨物エリア内区域の前方への通行
 - (e) 第12規則 船首尾隔壁、機関区域隔壁、軸路等
 - (f) 第15規則 旅客船の隔壁甲板及び貨物船のフリーボード甲板の下方の外板の開口
 - (g) 第16規則 水密戸、舷窓等の構造及び最初の試験
 - (h) 第16-1規則 水密甲板、トランク等の構造及び最初の試験
- ・ 第V章 航行の安全
 - (a) 第22規則 航海船橋の視界

2.2 規則の適用及び施行

2.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.2.2

船舶の設計、建造における関係者の基本的な責任について明記している。業界団体も構造設計に影響する要件を定めているが、これらの要件を満足させる責任は船主及び設計者/造船所にあることに留意すべきである。

3. 設計基礎

3.1 一般

3.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.1.2

本規定は、“Goal Based Standards, GBS” Tier II.3に規定される機能要件に対応している。

3.1.3 残存強度

本規定は“Goal Based Standards, GBS” Tier II.5に規定される機能要件に対応している。

3.1.4 有限要素法解析

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.1.5 疲労寿命

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.1.6

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.1.7

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.2 船体形状に関する適用制限

3.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.3 設計寿命

3.3.1

設計寿命は、船舶が運航を行い、環境条件、腐食環境に晒されることを想定した公証の期間であり、適当な設計パラメータを選択するために使われる。船舶の実際の運航寿命は実際の運航条件及び保守管理によって増減する。

設計時に設定した設計寿命と実際に安全に運航できる寿命の関係は、運航履歴及び保守管理により変化する。2隻の同じ船舶で、運航状況が異なる、あるいは異なった保守管理が行われる場合、実際の船舶の寿命は異なることとなる。

3.4 環境条件

3.4.1 北大西洋の波浪環境

船舶は世界中を運航すること及び運航形態の変化や遭遇海象に対する不確実性を考慮し、設計時の評価において厳しい波浪環境を用いることとする。

3.4.2 風及び潮流

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.4.3 海氷

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.4.4 設計温度

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.4.5 熱による荷重

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.5 運航条件

3.5.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.5.2

ばら積貨物船において、スロッシングや衝撃荷重を避けるため、外洋航行中にバラスト兼用倉の部分積載を行ってはならない。同様の理由により、悪天候中にバラスト兼用倉へのバラスト漲水及び排水作業を行ってはならない。

3.6 運航時の喫水

3.6.1

構造用喫水は、船舶の乾舷により決まる喫水より大きくすることが求められる。

船首部最小喫水に運航時の制限を設ける目的は、設計スラミング荷重を抑制することである。

寸法は、以下のケースを考慮した運航時のFPでの最小喫水に対応したものとしなければならない。

- ・ TF-e (m) 船底スラミング領域にあるいずれかの二重底バラストタンクが空の状態
- ・ TF-f (m) 船底スラミング領域にあるいずれかの二重底バラストタンクが満載の状態

3.7 内部環境

3.7.1 強度評価における貨物油密度

強度評価の目的は、最悪のシナリオにおいても、十分な強度を有していることを示すことであることから、海水密度と等しい値を用いる。設計者又は船主によって、より高い値を用いて評価することが求められる限りは、海水密度と等しい値を用いるものとする。

3.7.2 疲労評価における貨物油密度

疲労評価及び強度評価において異なるSG値(比重)を用いる理由は、両評価におけるアプローチが異なるためである。

疲労評価の目的は、船舶の運用期間に対する平均値を得ることである。従って、SG値の平均値として0.9を用いられる。疲労評価に用いられる積荷の比重0.9は最小値であり、設計者又は船主によって、より高い値を用いて評価することがあり得る。

3.7.3 乾貨物密度

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.7.4 バラスト水の密度

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.8 建造及び検査

3.8.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

る。

3.8.2

本規定は“Goal Based Standards, GBS” Tier II.11に規定される機能要件に対応している。

3.8.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.8.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.8.5

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.9 最大航海速力

3.9.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.10 船主の追加要求

3.10.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4. 設計の原則

4.1 全般的原則

4.1.1 序論

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.1.2 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.1.3 限界状態設計の原則

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.2 荷重

4.2.1 設計荷重シナリオ

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.3 構造強度の評価

4.3.1 一般

本規則に用いられている構造強度モデルは、考慮する限界状態により分類される。各構造部材における限界状態を体系的に検証し、その限界状態が設計荷重シナリオと構造要件を結び付けている。

降伏及び座屈による崩壊モードは、構造強度に関する評価基準を適用することにより明確に制約される。破断は、降伏による崩壊モードに対する制約により、陰の形で制約されることになる。脆性破壊については、構造部材が配置される場所に応じた適切な材料を選定することにより、陰に制約されている。

繰り返し荷重により生じる疲労亀裂による崩壊モードは、疲労に対して厳しい状態にある構造要素に対して、疲労評価基準を適用することで、陽の形で制約される。疲労亀裂は、他の崩壊モードと本質的に異なっていることから、異なった強度モデルを用いて評価を行う。

4.3.2 最終限界状態 (ULS), 使用限界状態 (SLS) 及び事故限界状態 (ALS) に対する強度モデル

強度モデルを用いることにより、崩壊モードを管理する。強度モデルは以下の2点を考慮している。

- (a) 構造応答モデルの選択。応力及び変形は、強度評価手法及び設計荷重の大きさに関連する。
- (b) 強度評価基準の選定。強度評価手法は、問題となる崩壊モードについて、適切な精度で解析できるものでなければならぬ。規則要件によっては、同じ崩壊モードであったとしても、度合によって、評価手法が異なることがある。

強度モデルの選定のための原則を以下に示す。

- ・ 構造部材が、より精度の高い手法又はより精度の高い応答計算を用いて、ヒエラルキーの高いレベル又は後の段階においても評価されるかどうか。
- ・ 応力成分のいくつかが無視された簡易的な強度モデルは、常に安全側の結果を与えなければならない。
- ・ 崩壊モードを評価するための適切な手法
- ・ 荷重の確率モデル
- ・ 規定の荷重レベルまで、構造の物理的挙動を現すための応答計算能力
- ・ 構造の複雑さ
- ・ 荷重の複雑さ
- ・ 構造部材の重要度。これは、主に評価基準に影響するであろうが、構造評価の適切な手法の選定と併せて考慮する必要がある。

ハルガーダ、構造部材の最終強度は、弾性範囲を

超える範囲を評価できる手法により評価する。これらの評価手法は応力の再分配、大変形、非線形性を考慮している。許容基準では、塑性域及び変形の許容範囲を制限している。

他の手法は、弾性範囲を超えても評価することが可能であるが、算定された強度をそのまま考慮することはできない。許容基準では、塑性域及び応力の再分配を制限している。

構造応答に関する荷重効果は、規則算式又は直接計算によって求められる。直接計算とは、一般的に線形有限要素法に基づく三次元解析のことをいう。構造応答を求めるための手法は評価手法のための要件に適合するものとする。

4.3.3 疲労限界状態 (FLS) に対する強度モデル

設計寿命にわたり繰り返し荷重による蓄積されたダメージを考慮する。疲労寿命は、局所的なホットスポット応力に依存する。つまり、構造詳細設計及び工作精度に関係する。

疲労強度評価手法は、設計条件環境下（北大西洋で25年）における設計寿命期間での負荷荷重の繰り返し数及び構造応答に基づく。本手法は、*S-N* 曲線、特定条件下の応力範囲及び長期応力分布曲線を組合せた線形累積疲労被害度 (*Palmgren-Miner's rule*) に基づく。長期間の応力分布曲線はワイブル確率分布による。

評価手法は、全体荷重及び局所荷重を合わせた影響を考慮している。

4.3.4 ネット寸法手法

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.3.5 非損傷時の構造

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

5. 規則設計手法

5.1 一般

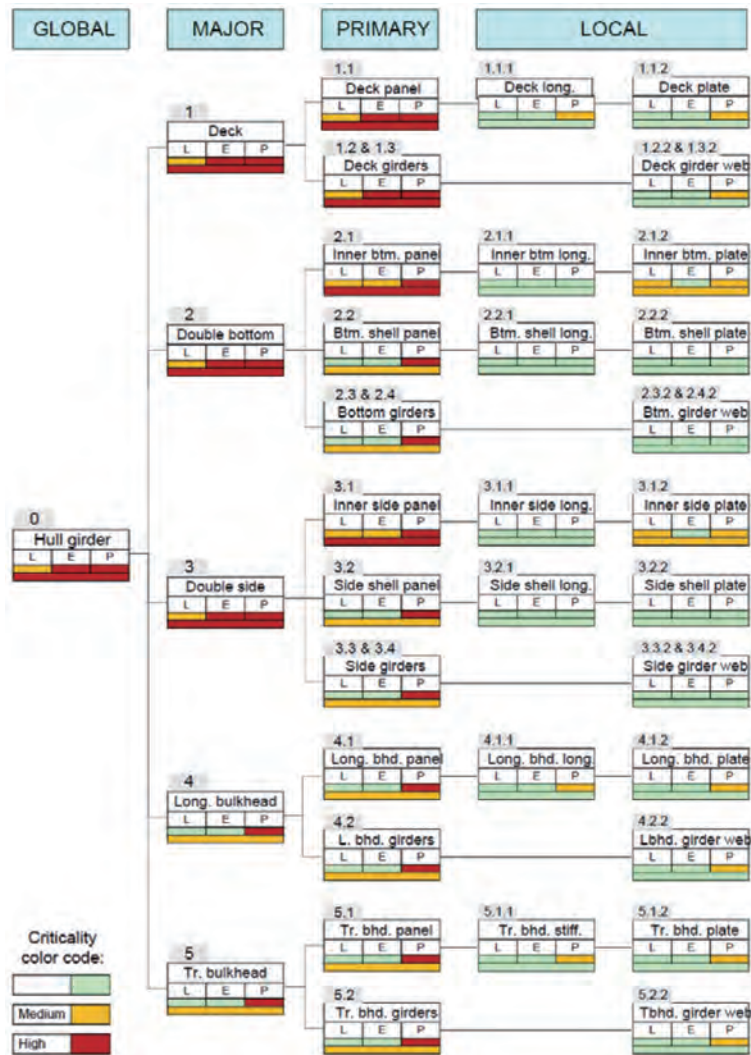
5.1.1 設計手法

様々な設計手法の目的は、十分な安全性、有用性及び耐久性を確保することである。この点を検証するために、選択された設計手法により計算を行う。各要素に対する安全余裕は、過去の損傷情報を反映している。

図2に示す階層ツリーにおいて、生命、環境及び財産に対する各構造要素の致命度の分類をすることで、それぞれの構造要素に「致命度クラス」を与えるこ

とができる。これは、より致命度が大きい要素には厳しい要件を適用し、あまり致命度が大きくない要素は崩壊の可能性が低くなるような、許容基準及び強度モデルの選定に役立っている。

貨物区域内の構造要素に対する「致命度クラス」の模式図を図2に示す。トップダウンのアプローチが用いられ、階層のトップレベル（ハルガード）から始まり、すべてのレベルの階層を通して板部材や防撓材へと下降していく。より高いレベルの致命度は、常に1つ下のレベルと同等以上であるものとする。



記号

L : 生命 E : 環境 P : 財産

図2 貨物区域の構造要素についての致命度クラス

規則では以下の設計手法が考慮されている。

- (a) 作用応力設計 (WSD) 法。許容応力度法としても知られる。
- (b) 部分安全係数 (PSF) 法。荷重抵抗係数設計 (LRF) 法としても知られている。

PSF法は、荷重、強度に対して部分安全係数を与えることで、それぞれ異なる要因による不確実性とばらつきの影響を分離し捉えたものである。

WSD法は、PSF法と同じ限界状態に対応したものであるが、許容応力等ある1種類の判定値の中で不

確実性を考慮している。

複雑な荷重や構造モデルを扱う場合、*PSF*法は*WSD*に比べて柔軟性が高く最適な設計評価を行うことができる。

作用応力設計 (*WSD*) 法は、規則において、構造設計を検証するための主な手法として用いられている。作用応力設計 (*WSD*) 及び部分安全係数 (*PSF*) 法は、静的及び動的荷重効果のすべての組合せに対して、一貫した許容安全レベルを確保できなければならない。作用応力設計 (*WSD*) 及び部分安全係数 (*PSF*) 法における許容基準は、“*S*” (静的) 及び“*S+D*” (静的及び動的) の荷重効果のすべての組合せに対して一貫した許容安全レベルが達成されるよう、種々の要件に応じて調整されている。

5.2 最低要件

5.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5.3 荷重及び強度に基づく要件

5.3.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5.3.2 使用限界状態 (*SLS*)、最終限界状態 (*ULS*) 及び事故限界状態 (*ALS*) に対する設計荷重

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5.3.3 疲労限界状態 (*FLS*) に対する設計荷重

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5.3.4 構造応答解析

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5.4 許容基準

5.4.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5.4.2 許容基準

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5.5 設計の検証

5.5.1 設計の検証—ハルガーダ最終強度

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5.5.2 設計の検証—全体有限要素解析

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5.5.3 設計の検証—疲労の評価

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

る。

5.5.4 規則算式による寸法要件及び有限要素解析の関係

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3節 適合確認

1. 一般

1.1 船舶の新造

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.1.2

本規定では、製造中登録検査にて船級協会が実施する事項について規定している。従来通り、製造中登録検査では、新造船が規則要件に適合して建造されていることを確認する。

1.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.1.4

1.1.2によること。

1.1.5

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.2 就航後の船舶

1.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2. 提出書類

2.1 書類及び資料に関する要件

2.1.1 積付資料

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.1.2 計算データ及び結果

計算データ及び結果の根拠となる提出すべき情報に関する詳細要件は、関連各章による。

2.2 図面及び補足計算書の提出

2.2.1 承認用提出図面及び補足計算書

承認に必要な図面、書類及び計算結果並びに船舶の建造、組立に関する補足資料を承認業務を行う部所に提出しなければならない。

2.2.2 参考図面

承認のために提出する必要がある参考図書については、2.2.1による。

2.2.3 船上に備え付ける図面及び図書

船上に備え付けるために船主に提供する図面において切替板厚を記載することが、本要件の重要な点

である。また、ハルガーダの断面特性も記載しなければならないことに留意すべきである。これは、船舶の使用期間にわたり一貫してネット寸法の概念を適用するためである。

3. 承認の範囲

3.1 一般

3.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.2 国際法及び国内法

3.2.1 責務

立場を明確にすると共に、曖昧さをなくすために責任について明確に規定している。

4. 工事

4.1 製造者が満足すべき要件

4.1.1

本規定は“Goal Based Standards, GBS” Tier IIに規定される機能要件に対応している。

4.2 品質管理

4.2.1

本規定は“Goal Based Standards, GBS” Tier II.11に規定される機能要件に対応している。

5. 構造詳細

5.1 製造文書の詳細

5.1.1

本規定は“Goal Based Standards, GBS” Tier II.11に規定される機能要件に対応している。

6. 同等効力に関する手順

6.1 規則の適用

6.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

6.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

6.2 特殊な設計

6.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

6.2.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

6.2.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

6.2.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

6.3 代替計算方法

6.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4節 記号及び定義

1. 主要な記号及び単位

1.1 一般

1.1.1

規則に用いる主な記号と単位の定義が規定されている。

2. 記号

2.1 船舶の主要データ

2.1.1

船舶の主要データの定義が規定されている。

2.2 材料

2.2.1

材料特性に用いられる記号の定義が規定されている。

2.3 荷重

2.3.1

荷重に関する記号の定義が規定されている。

2.4 寸法

2.4.1

寸法に関する記号の定義が規定されている。

3. 定義

3.1 主要目

3.1.1 L_{CSR} , 規則長さ

IACS統一規則S2 (Rev.1, May 2010) の定義による。ただし、「measured on the summer load waterline」については、船体強度に関連する最大許容喫水である構造用喫水に変更した。これは、乾舷によって規則長さが異なることを避けるためである。

3.1.2 L_{LL} , 乾舷用長さ

本定義は、国際満載喫水線条約 (ICLL) による。

3.1.3 船の型幅

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.1.4 型深さ

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.1.5 喫水

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.6 型排水量

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.7 最大航海速力

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.8 方形係数

本定義は、IACS統一規則S2（その後の改正を含む。）
に基づく。

3.1.9 軽荷重量

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.10 載貨重量

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.11 前端

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.12 後端

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.13 船体中央

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.14 船の中央部

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.15 乾舷用船首垂線

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.16 乾舷用船尾垂線

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.2 第1位置及び第2位置

3.2.1 第1位置

本定義は国際満載喫水線条約 (ICLL) による。

3.2.2 第2位置

本定義は国際満載喫水線条約 (ICLL) による。

3.3 船楼の標準高さ

3.3.1

本定義は国際満載喫水線条約 (ICLL) による。

3.3.2

本定義は国際満載喫水線条約 (ICLL) による。

3.4 A型及びB型乾舷船舶

3.4.1 A型船舶

本定義は国際満載喫水線条約 (ICLL) による。

3.4.2 B型船舶

本定義は国際満載喫水線条約 (ICLL) による。

3.4.3 B-60型船舶

本定義は国際満載喫水線条約 (ICLL) による。

3.4.4 B-100型船舶

本定義は国際満載喫水線条約 (ICLL) による。

3.5 運航の定義

3.5.1 多港積み

本定義は、疲労強度に影響が大きい長期航海に伴
う状態と区別するために加えた。

3.5.2 閉囲された水域

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.6 参照座標系

3.6.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.7 部材名称

3.7.1 構造に関する用語

IACS勧告No.82 (July 2003) “Surveyor’s Glossary, -hull
terms and hull survey terms” による。

3.8 用語

3.8.1 用語の定義

専門用語は、原則としてIACS勧告No.82 (July
2003) “Surveyor’s Glossary, -hull terms and hull survey
terms” による。なお、必要に応じて、その他の用語
及び定義を加えている。

5節 ローディングマニュアル及び積付計算機

1. 一般要件

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.1.2

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及
びS1A (Rev.6, May 2010) による。

1.1.3

本規定はIACS統一規則S25 (失効済み) による。

1.1.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.2 年次検査及び定期検査

1.2.1

本規定はIACS統一規則S1.1.3 (Rev.7, May 2010)による。

1.2.2

本規定はIACS統一規則S1.1.3 (Rev.7, May 2010)による。

1.2.3

本規定はIACS統一規則S1.1.3 (Rev.7, May 2010)による。

2. ローディングマニュアル

2.1 一般要件

2.1.1 定義

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

2.1.2 承認条件

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

2.1.3 積付状態

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

2.1.4 運航制限

本規定では、標準的な規則要件のベースとなり、運用上の柔軟性に影響を与える、設計による主な制限について述べている。これらによる運用上の制限は、規則における構造設計過程において用いられる。仮に、船舶の運用上、これらの制限を上回る必要性等がある場合、その拡張する運航制限を明記し、設計評価にて考慮しなければならない。そして、それについてローディングマニュアルに記載しなければならない。

2.2 油タンカーに対する要件

2.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2.3 ばら積貨物船に対する要件

2.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2.3.2

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

2.3.3

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

3. 積付計算機

3.1 一般要件

3.1.1 定義

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

3.1.2 積付計算機の承認条件

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

3.2 ばら積貨物船に対する要件

3.2.1 一般

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

3.2.2 承認条件

4. ばら積貨物船に対する積付

4.1 荷役／荷揚げの手順

4.1.1 適用範囲

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

4.1.2

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

4.1.3

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

4.1.4

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

4.1.5

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

4.1.6

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

4.1.7

本規定はIACS統一規則S1 (Rev.7, May 2010) 及びS1A (Rev.6, May 2010)による。

2章 一般配置要件

1節 一般

1. 一般

1.1 一般

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2節 隔壁配置

1. 水密隔壁の配置

1.1 水密隔壁の数及び配置

1.1.1

本規定は、*SOLAS*条約第II-1章第12規則に基づく。

1.1.2

電気推進装置を備える船舶にあっては、その他の船舶と同等の安全性を確保するために、発電機室及び機関室の両区画は水密隔壁により閉囲されなければならない。

1.1.3

貨物区域に設けられる隔壁については、*SOLAS*条約、その他の国際法(規則1章2節2.1.2を参照のこと。)及び国内法に基づき、浸水及び損傷時復原性について考慮した配置としなければならない。

1.1.4

本規定は、*SOLAS*条約第II-1章第11規則(その後の改正を含む。)に基づく。ただし、隔壁の数についてはRINA規則による。

1.1.5

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.2 水密隔壁の開口

1.2.1

本規定は、*SOLAS*条約第II-1章第13-1規則(その後の改正を含む。)に基づく。

1.2.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2. 船首隔壁

2.1 船首隔壁の範囲及び位置

2.1.1

本規定は、*SOLAS*条約第II-1章第12規則(その後の改正を含む。)に基づく。

2.1.2

本規定は、*SOLAS*条約第II-1章第12.2規則(その後の改正を含む。)に基づく。

2.2 船首隔壁の配置

2.2.1

本規定は、*SOLAS*条約第II-1章第12.4規則(その後の改正を含む。)に基づく。

2.2.2

本規定は、*SOLAS*条約第II-1章第12規則(その後の改正を含む。)に基づく。

3. 船尾隔壁

3.1 一般

3.1.1

*SOLAS*条約第II-1章第12.9規則(その後の改正を含む。)では旅客船のみに要求されるが、本規則では同要件に基づいた船尾隔壁の規定が要求される。

3.1.2

*SOLAS*条約第II-1章第12.9規則では旅客船のみに要求されるが、本規定は同要件に基づく。

3.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3節 区画配置

1. コファダム

1.1 定義

1.1.1

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 2, Sec 2, 1.1.1 (RINA規則 Reg 2, Sec 1, Ch 2, Pt A, January 2013に基づく。)に基づく。

1.2 コファダム配置

1.2.1

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 2, Sec 2, 2.1.1 (RINA規則 2.1.1, Sec 2, Ch 2, Pt B, January 2013に基づく。)に基づく。

1.2.2

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 2, Sec 2, 2.1.3 (RINA規則 2.1.3, Sec 2, Ch 2, Pt B, January 2013の第一文に基づく。)に基づく。

1.2.3

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 2, Sec 2, 2.1.4 (RINA規則 2.1.4, Sec 2, Ch 2, Pt B, January 2013に基づく。)に基づく。

2. 二重底

2.1 一般

2.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2 二重底の範囲

2.2.1

ばら積貨物船に対する要件については、旅客船及びタンカー以外の貨物船のための要件である SOLAS 条約第 II-1 章第 9.1 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

油タンカーに対する要件については、MARPOL 条約附属書 I 第 4 章第 22 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

2.2.2

本規定は、旅客船及びタンカー以外の貨物船のための要件である SOLAS 条約第 II-1 章第 9.2 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

2.3 二重底高さ

2.3.1

ばら積貨物船に対する要件については、SOLAS 条約第 II-1 章第 9.2 規則（その後の改正を含む。）に基づく。油タンカーにあっては、本規定は、MARPOL 条約附属書 I 第 4 章第 19.3.2 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

また、TB Report “TB Rep Pt2 Ch01 Sec02 BC Double Bottom Arrangement” によること。

2.4 二重底に設けるウェル

2.4.1

本規定は、旅客船及びタンカー以外の貨物船のための要件である SOLAS 条約第 II-1 章第 9.3 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

3. 二重船側

3.1 二重船側の幅

3.1.1 油タンカー

本規定は、MARPOL 条約附属書 I 第 4 章第 19.3.1 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

3.1.2 ばら積貨物船

本規定は、SOLAS 条約第 XII 章第 1.4 規則（その後の改正を含む。）に基づく。二重船側の最小幅の規定は、SOLAS 条約第 XII 章第 6 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

3.2 二重船側内の最小クリア幅

3.2.1 定義

本規定は、SOLAS 条約第 XII 章第 6.2.2.5 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

3.2.2 最小クリア幅の寸法

本規定は、SOLAS 条約第 XII 章第 6.2.2 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

4. 船首隔壁前方の区画

4.1 一般

4.1.1

本規定は、SOLAS 条約第 II-2 章第 4.2.2.3.1 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

5. 燃料油タンク

5.1 燃料油タンクの配置

5.1.1

本規定は、SOLAS 条約第 II-2 章第 4.2 規則（その後の改正を含む。）及び MARPOL 条約附属書 I 第 3 章第 12A 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

6. 船尾隔壁後方の区画

6.1 船尾管

6.1.1

本規定は、SOLAS 条約第 II-1 章第 12.10 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

7. バラストタンク

7.1 バラストタンクの容量及び配置

7.1.1

ばら積貨物船に対する要件については、IACS 統一規則 S25（失効済み）に基づく。油タンカーに対する要件については、MARPOL 条約附属書 I 第 4 章第 18 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

4節 交通設備

1. 閉鎖場所

1.1 一般

1.1.1

造船所は検査及び保守のために特別な措置を講じなければならない。この目的において験水栓を用いてもよい。

2. 貨物エリア及び船首区域

2.1 一般

2.1.1 点検設備に関する手引書

本規定は、SOLAS 条約第 II-1 章第 3-6 規則（その後の改正を含む。）に基づく。

2.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3章 構造設計の原則

1節 材料

1. 一般

1.1 材料規格

1.1.1

材料の規格、試験及び製造方法については、各船級協会の規則に関連する要件が規定されていることから、一般規定としてそれらを参照する規定を設けた。

1.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2 材料の試験

1.2.1

1.1.1によること。

1.3 製造方法

1.3.1

1.1.1によること。

2. 船体構造用圧延鋼材

2.1 一般

2.1.1 ヤング率とポアソン比

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.1.2 鋼材のグレード及び機械的特性

本規定は、*IACS*統一規則W11 (Corr.1, February 2009) に基づく。本文中の用語“normal”は*IACS*統一規則W11 (Corr.1, February 2009) に用いられており、本規定においても同じ用語を使用している。

2.1.3

本規定は、*IACS*統一規則W11 (Corr.1, February 2009) に基づく。

2.1.4 高張力鋼材

本規定は、*IACS*統一規則W11 (Corr.1, February 2009) に基づく。

2.1.5 船上に保持すべき図面等

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.2 材料係数 k

2.2.1

本規定は、*IACS*統一規則S4 (Rev.3, May 2010) に基づく。

2.3 鋼材のグレード

2.3.1

本規定は、*IACS*統一規則S6.1 (Rev.6, May 2010) に基づく。

2.3.2

本規定は、*IACS*統一規則S6.1 (Rev.6, May 2010) に基づく。

2.3.3

本規定は、*IACS*統一規則S6.1 (Rev.6, May 2010) に基づく。

2.4 低温にさらされる構造

2.4.1

低温大気にさらされる構造に用いる材料に関する要件は、各々の船級協会の材料に関連する要件を適用することとした。本規定が参照する最低気温は、航行する海域の日平均気温の統計平均の最低値が -10°C で航路制限のない船舶を対象としている*IACS*統一規則S6.1 (Rev.6, May 2010) に基づき -10°C としている。

2.5 板厚方向特性

2.5.1

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/1.1.5.1 に基づく。

2.6 ステンレス鋼

2.6.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3. 鍛鋼品及び鋳鋼品

3.1 一般

3.1.1

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 3.1.1 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 3.1.1 に基づく。) に基づく。

3.1.2

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 3.1.2 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 3.1.2 に基づく。) に基づく。

3.1.3

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 3.1.3 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 3.1.3 に基づく。) に基づく。

3.2 鍛鋼品

3.2.1

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 3.2.1 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 3.2.2 に基づく。) に基づく。

3.3 鋳鋼品

3.3.1

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 3.3.1 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 3.3.1 に基づく。) に基づく。

3.3.2

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 3.3.2 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 3.3.3 に基づく。) に基づく。

4. アルミニウム合金材

4.1 一般

4.1.1

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 4.1.1 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 4.1.1に基づく。)に基づく。

4.1.2

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 4.1.2 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 4.1.2に基づく。)に基づく。

4.1.3

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 4.1.3 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 4.1.3に基づく。)に基づく。

4.1.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

4.2 押出型材

4.2.1

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 4.2.1 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 4.2.1に基づく。)に基づく。

4.2.2

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 4.2.2 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 4.2.2に基づく。)に基づく。

4.2.3

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 4.2.3 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 4.2.3に基づく。)に基づく。

4.2.4

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 4.2.4 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 4.2.4に基づく。)に基づく。

4.3 溶接継手の機械的特性

4.3.1

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 4.3.1 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 4.3.1に基づく。)に基づく。

4.3.2

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 4.3.2 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 4.3.2に基づく。)に基づく。

4.3.3

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 4.3.3 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 4.3.3に基づく。)に基づく。

4.4 材料係数 k

4.4.1

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 4.4.1 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 4.4.1に基づく。)に基づく。

4.4.2

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 4.4.2 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 4.4.2に基づく。)に基づく。

4.5 その他

4.5.1

本規定は, CSR-OT (July 2010), Sec 6/1.3.2 (LR 規則 (January 2013), Pt 4, Ch 9, 2.3.1に基づく。)に基づく。

4.5.2

本規定は, CSR-OT (July 2010), Sec 6/1.3.2 (その後の改正を含む。LR 規則 (January 2013), Pt 4, Ch 9, 2.3.1に基づく。)に基づく。アルミニウムはある環境下において、酸化鋼と接触することで発火を引き起こす火花が発生する可能性がある。特に危険なのは、アルミニウム製の部材が、無塗装の鋼構造物上で引きずられたり擦られたりすることで、鋼材表面にアルミニウムの薄い付着物が生成される場合である。その付着物の上に、錆びた部品による高エネルギーの衝撃が加えられることで、周囲の可燃性ガスに着火する火花を発生させる可能性がある。

5. その他の材料及び製品

5.1 一般

5.1.1

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 5.1.1 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 5.1.1に基づく。)に基づく。

5.1.2

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 5.1.2 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 5.1.2に基づく。)に基づく。

5.2 鋳鉄品

5.2.1

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 5.2.1 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 5.2.1に基づく。)に基づく。

5.2.2

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 1, 5.2.2 (BV 規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 1, 5.2.2に基づく。)に基づく。

2節 ネット寸法手法

1. 一般

1.1 適用

1.1.1 ネット寸法手法

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.1.2 局部腐食及び全体的な腐食

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.1.3 グロス寸法の特例

本規則における構造寸法はネット寸法手法に基づいているが、経験的な算式により寸法が決定される船楼及び甲板室、舵構造並びに鍛鋼品及び鋳鋼品など大きな構造物にあっては、明確に強度上必要な寸法と腐食衰耗上必要な寸法を区別できないことから、ネット寸法手法を適用しない旨規定した。

1.2 グロス寸法及びネット寸法の定義

1.2.1 要求グロス板厚

本規定の式は、規則図1から導き出せるネット寸法に関する重要な関係を定式化したものである。

1.2.2 申請グロス板厚

1.2.1によること。

1.2.3 申請ネット板厚

1.2.1によること。

1.3 規則で考慮すべき寸法

1.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.3.2

規則で考慮すべき寸法は以下の2つに大別される：

- (a) 規則算式より求まる要求板厚
- (b) 規則算式に基づく断面特性並びに直接強度計算、縦曲げ強度あるいは疲労強度評価により評価された板厚等の構造性能を決定する寸法

前(a)を要求ネット板厚、前(b)を申請ネット寸法と定義し、それぞれの場合に対し、腐食予備厚の適用方法を明記した。

表1 グロス寸法に適用する腐食の評価
(規則参照)

直接強度計算による構造物全体の強度の評価やハルガーダ強度の評価においては、評価対象となるすべての構造部材の板厚が許容衰耗量まで衰耗すると仮定するのは、過度に安全側の仮定となる。そこで、腐食のばらつきを考慮すると、構造物全体の衰耗量は平均的な衰耗量としても差し支えないことから、腐食予備厚の半分を考慮することとしている。

防撓材及び板部材の座屈強度評価においては、構造

物全体が完全に腐食した状態で作用する応力を用いている。なお、防撓材及び板部材は局所的な構造であるため、当該部材の限界座屈応力を評価する場合には、安全側の評価となるよう腐食予備厚を100%考慮することとしている。

疲労強度評価においては、想定使用期間内に遭遇する繰り返し荷重を考慮する。評価部材が全く腐食していない新造時から想定使用期間に想定される腐食量まで衰耗した状態までを、経過時間に応じて評価することは困難である。そこで、想定使用期間の間に生じる平均的な腐食衰耗した状態を想定することとした。なお、塗装が有効な期間では、腐食はほとんど生じないことから、本評価は安全側の評価となる。

局部構造の疲労強度評価においては、グロス板厚から腐食予備厚の半分を差し引いたネット板厚を用いる。この考え方に従うと、疲労強度評価においては、グロス寸法から腐食予備厚の1/4を差し引いたネット板厚に作用するハルガーダ応力を用いなければならないことになる。しかし、この方法に基づくハルガーダ応力は、修正係数0.95を掛けたグロス寸法から腐食予備厚の半分を差し引いたモデルに作用する応力とおおよそ対応していることから、他の腐食モデルと考え方を一致させるために、グロス寸法から腐食予備厚の半分を差し引いたモデルを、疲労評価におけるハルガーダ応力を決定するために用いることとした。

以上より、本規則では、局部寸法要件及び座屈限界応力計算に用いる腐食予備厚を100%差し引いた腐食モデルとハルガーダ評価、直接強度計算及び疲労評価に用いる腐食予備厚の半分を差し引いた腐食モデルを用いることとする。

3節 腐食予備厚

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

ステンレス鋼材、ステンレスクラッド鋼板及びアルミニウム合金材は、運航中に腐食することはほとんどないと考えられるが、運航中に物理的な摩耗及び破損による損傷が考えられるため、多くの船級協会規則の実績を考慮して、 0.5mm (t_{res}) の腐食予備厚を規定している。

造船に用いる炭素鋼以外の材料においては、規則開発時に、それらの腐食に関する特有のデータを考慮していないため、腐食予備厚を設定する際には個別に検討することが要求される。

1.2 腐食予備厚の決定

1.2.1

構造部材の腐食予備厚、特に区画の境界を形成する

部材の腐食予備厚は、部材の両側の腐食予備厚を考慮して決定される。なお、腐食環境ごとに部材の腐食予備厚を0.1mm単位で設定しているが、鋼材の公称板厚が一般的に0.5mm単位であること及び切替基準に関する要件を考慮し、両面の腐食予備厚の和を0.5mm単位に切り上げ、その値に検査間隔(2.5年)の間に進行すると予想される腐食量の最大値0.5mmを加えた値を各々の構造部材の腐食予備厚とすることとした。

1.2.2 合計腐食予備厚の最小値

表1に従い、すべての構造に対し原則として腐食予備厚の下限値を2mmとした。

ただし、本要件を規定するために参照したデータでは、ドライスペース及びポンプルーム内部の腐食量はかなり小さい値であったことから、これらの構造部材には当該下限値を要求しないこととした。

1.2.3 防撓材

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.4

本要件は、1つの構造部材に対して該当する腐食予備厚の値が複数ある場合に生じる混乱を避けるための要件である。

腐食予備厚は、数十万点の板厚計測データ及び確率論に基づく腐食進行モデルにより得た25年間の腐食量の推定値に基づき設定している。

表1に示す腐食予備厚に関する背景の更なる詳細はTB Report “TB Rep PT1 CH03 Sec03”によること。

表1 構造部材の片側の腐食予備厚(規則参照)

備考(表1)

- 1) チェーンケーブルは物理的な損傷により腐食量が増加することが考えられるため、腐食予備厚を1mm増加させている。
- 2) バラストタンク、加熱される貨物油タンク、燃料油及び潤滑油タンクの構造部材の板厚計測データにおいては特に腐食量が大きかったことから、腐食予備厚を増加させている。
- 3) 2)によること。
- 4) 太陽光による加熱を受ける場合及び腐食が進行するような厳しい環境下では、腐食が増進することから、タンク上部に大きな腐食予備厚を要求している。なお、この傾向は板厚計測データからも確認されている。
- 5) 本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。
- 6) 本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

- 7) 最前端貨物倉の前端及び再後端貨物倉の後端の平板横隔壁は、波形隔壁と同様に3つの領域に分けて取り扱うこととする。
- 8) バラストタンク内部のように大きな腐食が発生する環境となるダクトキール区域内では、腐食性物質(バラスト水、凝縮水及びスラッジ等)が発生することがあるため、パイプトンネルはバラストタンクとして考慮する旨規定した。

4節 防食措置

1. 一般

1.1 保護されるべき構造

1.1.1 海水バラストタンク

海水バラストタンクの腐食から保護に関する規定は、SOLAS条約第II-1章第3-2規則(その後の改正も含む。)に基づく。

1.1.2 貨物油タンク

本規定には、塗装しなければならない場所が規定されている。なお、燃料油を格納する区画はCSR-BC及びCSR-OT(July 2010)と同様の取り扱いとする。

1.1.3 ばら積貨物船

1.1.2によること。

1.1.4 狭隘区画

本規定には、塗装しなければならない場所が規定されている。なお、狭隘区画はCSR-BC及びCSR-OTと同様の取り扱いとする。狭隘区画には、一般に乾燥空気が充填されていると考えられる。

2. 電気防食用アノード

2.1 船体へのアノードの取り付け

2.1.1

本規定はCSR-OT 6節2.1.2.4(July 2010)(DNV規則(January 2013), Pt 3, Ch 3, Sec 7, B300及びLR規則(January 2013), Pt 3, Ch 2, 3.3及び3.4に基づく。)に基づく。

2.1.2

本規定はCSR-OT 6節2.1.2.6(July 2010)(DNV規則(January 2013), Pt 3, Ch 3, Sec 7, B300及びLR規則(January 2013), Pt 3, Ch 2, 3.3及び3.4に基づく。)に基づく。

2.1.3

本規定はCSR-OT 6節2.1.2.7(July 2010)(DNV規則(January 2013), Pt 3, Ch 3, Sec 7, B300及びLR規則(January 2013), Pt 3, Ch 2, 3.3及び3.4に基づく。)に基づく。

2.1.4 貨物油タンク

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

5節 限界状態

1. 一般

1.1 限界状態

1.1.1 定義

本規定は、ISO 2394（その後の改正を含む。）と同一の限界状態を定義している。

1.1.2 使用限界状態

1.1.1によること。

1.1.3 最終限界状態

1.1.1によること。

1.1.4 疲労限界状態

1.1.1によること。

1.1.5 事故限界状態

本規定は、ISO 2394（その後の改正を含む。）と同一の事故限界状態を定義している。IACS統一規則S17 (Rev.8, May 2010), S18 (Rev.8, May 2010) 及びS20 (Rev.5, May 2010) と同様に、浸水状態を事故限界状態として考慮している。

1.2 崩壊モード

1.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.2 降伏

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.3 塑性崩壊

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.4 座屈

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.5 破断

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.6 脆性破壊

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.7 疲労亀裂

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2. 基準

2.1 一般

2.1.1

CSRにおいて評価すべき強度特性について、船体構造を、板及び防撓材など局所的な荷重を考慮する局部構造、桁部材のような構造体が受ける荷重を分担する主要支持構造、船体構造全体を梁とみなすハルガーダに分類し、それぞれの構造分類に対して要求され

る強度評価項目を規則中の表2に示している。

2.2 使用限界状態

2.2.1 ハルガーダ

本規定には、使用限界状態に関するハルガーダの降伏評価のための荷重レベルが記されており、強度基準は梁理論より求めた応力に対する許容応力度設計法に基づく。

なお、本規定の考え方はIACS統一規則S11 (Rev.7, November 2010) と同様である。

2.2.2 板部材

本規定には、使用限界状態に関する主要支持部材を構成する板部材の降伏及び座屈評価のための荷重レベルが記されており、主要支持部材を構成する板部材の応力は弾性理論に基づいた有限要素法解析により求められる。なお、強度基準は許容応力度設計法に基づく。

2.2.3 防撓材

本規定には、使用限界状態に関する二次防撓材の強度評価のための荷重レベルが記されており、強度基準は梁理論より求められた二次防撓材の応力に対する許容応力度設計法に基づく。

2.3 最終限界状態

2.3.1 ハルガーダ

本規定には、最終限界状態に関するハルガーダの最終強度評価のための荷重レベルが記されており、強度基準は部分係数設計法に基づく。

2.3.2 板部材

本規定には、最終限界状態に関する板部材の最終強度評価のための荷重レベルが記されており、強度基準は許容応力度設計法に基づく。

2.3.3 防撓材

本規定には、最終限界状態に関する二次防撓材の最終強度評価のための荷重レベルが記されており、本強度評価は防撓材の座屈評価も含んでいる。

2.4 疲労限界状態

2.4.1 構造詳細

二次防撓材と主要支持部材の接合部のような構造詳細部の疲労強度は、船舶の一生の中で作用する繰り返し荷重を考慮した線形累積的疲労損傷手法により評価される。本規定には、疲労強度評価を目的とした参照荷重レベルが記されている。

疲労強度評価においては、想定される荷重履歴を定義する必要があり、この荷重履歴を2母数ワイブル分布で表せられるものとする。なお、パラメータは倍率及び形状パラメータとする。疲労損傷において最も影響を与える 10^{-2} 確率レベルが倍率（荷重）を決定するために用いられている。（4章1節参照）

2.5 事故限界状態

2.5.1 ハルガーダ

1.1.5によること。

2.5.2 二重底構造

1.1.5によること。

2.5.3 隔壁構造

1.1.5によること。

3. 衝撃荷重に対する強度評価

3.1 一般

3.1.1

衝撃荷重は、一般的な波浪荷重と異なるため、その荷重レベルを議論することは困難である。これより、一般的な事項を本要件に規定し、3.1.2において本規則で用いる強度基準の概要のみを規定している。

3.1.2

本規定は、本規則に用いられている強度基準の概要を明記している。

6節 構造詳細の原則

1. 適用

1.1 一般

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2. 一般原則

2.1 構造の連続性

2.1.1 一般

構造の連続性を保持し、急激な変化を避け、なめらかな勾配を付けなければならない。

2.1.2 縦通部材

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2.1.3 主要支持部材

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2.1.4 防撓材

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2.1.5 板部材

板厚に差のある板の突合せ継手においては、建造板厚の板厚の差は、厚い方の板厚の50%を超えてはならない。50%を超える場合には、中間の板厚の板部材を挿入し、連続性を保持するために、厚い方の板を薄い方の板に合せるようにテーパをかけなければならない。

2.1.6 溶接継手

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2.2 局部補強

2.2.1 ナックル部の補強

タンカーにおける一般的なナックル部の図を示している。甲板のキャンバー等のナックル部については、大きな荷重は受けないことから、原則として、ナックル部の補強に関する要件の適用対象外としている。

2.2.2 固定点検設備のための補強

一般的な規定として、開口を有する構造部材は必要に応じて補強しなければならない旨を規定している。歩路及び手すり等の固定点検設備の取り付け箇所は、応力が集中しないようにしなければならない。また、過大な荷重を受ける場所には、適切な補強を施さなければならない。

2.2.3 集中荷重に対する甲板構造の補強

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2.2.4 インサートプレートによる補強

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2.3 ハルガーダ強度に寄与しない縦通部材の固着

2.3.1

船体構造に使用する鋼材に強度差がある場合、高張力鋼に隣接する鋼材（隣接する高張力鋼より低強度の鋼材）に対して特別な考慮が必要である。低強度の鋼材の防撓材が、高張力鋼の主要支持部材によって支持される場合、主要支持部材の変形による過度な応力を避けるために、主要支持部材の剛性及び寸法に対して特別な考慮が必要である。高張力鋼により主要支持部材が建造された場合、応力集中を最小化するために、端部ブラケットの先端部には特別な注意を払わなければならない。

Note : ハルガーダ曲げを考慮した応力が軟鋼材の許容応力を満たしていれば、二重底桁板に取り付けられる平鋼に軟鋼材を用いてもよい。

2.3.2

低強度の部材と高張力鋼との固着部に対する規定は様々な船級規則要件に基づき規定されている。ハッチサイドコーミング及びビルジキール等の甲板又は船底外板に溶接される構造部材は、縦強度部として考慮されないが、縦曲げの影響により、強力甲板又は船底と同じ最小降伏応力の鋼材としなければならない。

座屈を防止するために両端がスニップ端の縦方向に連続していない防撓材をハッチコーミング又は縦強度部材として設置される桁部材に固着する場合、防撓材の材料は、固着される部材と同じ降伏応力のもとしなければならない。

Note : ハルガーダ曲げを考慮した応力が軟鋼材の許

容応力以下であれば、二重底桁板に取り付けられる平鋼に軟鋼材を用いてもよい。

3. 防撓材

3.1 一般

3.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.1.2

る。本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.2 連続していない防撓材の端部ブラケット固着

3.2.1

本規定はCSR-OT (July 2010) (ABS規則 (January 2013), Pt 3, Ch 2, Sec 5, 1.5及びLR規則 (January 2013), Pt 3, Ch 10, 3.3.1 and 3.5.1) に基づく。ブラケット寸法の算式はDNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C200に基づく。ただし、算式はCSRの概念に沿って、ネット寸法及び材料係数の代わりの降伏応力の比を用いるよう修正を行っている。

3.2.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.2.3

る。本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.2.4 ウェブのネット板厚

ブラケット寸法の算式はCSR-OT (July 2010) (DNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C200に基づく。) に基づく。ただし、算式はCSRの概念に沿って、ネット寸法及び材料係数の代わりの降伏応力の比を用いるよう修正を行っている。

3.2.5 連続していない防撓材の端部のブラケット

ブラケット寸法の算式はCSR-OT (July 2010) (DNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C200に基づく。) に基づく。ただし、算式はCSRの概念に沿って、ネット寸法及び材料係数の代わりの降伏応力の比を用いるよう修正を行っている。規則の図3は、LR及びDNV規則に基づいたもので、本規定の参考に掲載している。

3.2.6 腕の長さの異なるブラケット

3.2.4によること。

3.2.7 ブラケット遊縁の防撓

3.2.4によること。

3.3 ブラケットのない固着

3.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.4 スニップ端

3.4.1

本規定は、CSR-OT (July 2010) (DNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C204及びABS規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 2, 15に基づく。) に基づく。本算式はDNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C204,の算式から腐食予備厚“tk”を除いたものである。

3.4.2

本規定はCSR-OT (July 2010) (DNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C204及びABS規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 2, 15に基づく。) に基づく。

4. 主要支持部材 (PSM)

4.1 一般

4.1.1

本規定は、実際の配置が本規則に規定される配置と異なる場合に適用される。

4.2 ウェブ防撓材の配置

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.3 トリップングブラケットの配置

4.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.3.2

る。本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.3.3

る。本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.3.4 腕の長さ

本規定はCSR-BC (July 2010) (BV規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 3, 4.7.6に基づく。) に基づく。

4.4 端部固着

4.4.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.4.2 端部ブラケットの寸法

本規定は、原則、ブラケットとの固着部の強度は主要支持部材の強度よりも低くできないことに基づく。ブラケットの腕の長さについては経験に基づくものである。

4.4.3 端部ブラケットの配置

本規定はCSR-BC (July 2010) (BV規則 (January 2013), Pt B, Ch 4, Sec 3, 4.7.6及びNK規則 (January 2013), Pt C, 1.1.14に基づいたもの) に基づく。

5. 防撓材と主要支持部材の交差部

5.1 スロット

5.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

5.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

5.1.3

この規定は、CSR-OT (July 2010) (LR規則 (January
2013) Pt 3, Ch 10, 5.2.1に基づく。)に基づく。

5.1.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

5.1.5

ソフトヒールを主要支持部材のウェブ防撓材に設
ける規定は、ウェブ防撓材及び縦通防撓材の固着部
における局部応力を減少させ、結果として、疲労損
傷の防止につながる。就航船の検査記録では、塗装
部及びウェブ防撓材の固着部において亀裂が確認さ
れている。これは、高サイクル及び低サイクル疲労
の両者によるもので、船底及び内底板の縦通防撓材
においては、低サイクル疲労が支配的であり、船側
の固着部においては、高サイクル疲労が支配的となっ
ている。低サイクル疲労は、ウェブ防撓材のヒール
部に高応力及びひずみを与える荷役が原因となる。

ウェブ防撓材のヒールにキーホールが設けられて
いる場合、該当箇所が発生する局部応力及びひずみ
は著しく減少し、その結果、ウェブ防撓材又は塗装
部における亀裂が発生する確率も減少する。キーホ
ールの設置は、許容応力の80%以上の応力が発生す
る部材に限定される。両側がブラケットで支持され
る固着部、水密隔壁との交差部及び防撓材の面材と主
要支持部材が直接溶接される箇所については、ウェブ
防撓材のヒール部においてキーホールが要求されな
いように局部応力の発生を抑える必要がある。

5.1.6

本規定は、CSR-OT (July 2010) (LR規則 (January
2013) Pt 3, Ch 10, 5.2.2に基づく。)に基づく。

5.2 主要支持部材への防撓材の固着

5.2.1 一般

最初の段落は、5.2.2から5.2.4の規定の適用につ
いて説明している。

5.2.2及び5.2.3の要件は、主要支持部材の固着部
に対するスロッシングの圧力を含めた面外圧力に適用
される一方で、5.2.4の要件は、船底スラミング及び
船首衝撃荷重に対して適用されるが、スロッシング
圧力には適用されない。

5.2.2

本規定は、LR規則 (January 2013), Pt 3, Ch 10, 5.2.3
to 5.2.15に基づいたものである。ネット板厚、荷重及
び許容基準等の詳細についてはCSRの概念に基づき
修正を行っている。

5.2.3

5.2.2によること。

5.2.4 船底スラミング及び船首衝撃荷重

5.2.2によること。

5.2.5

5.2.2によること。

5.2.6

5.2.2によること。

5.2.7

5.2.2によること。

5.2.8

5.2.2によること。

5.2.9

5.2.2によること。

6. 開口

6.1 防撓材の開口及びスカラップ

6.1.1

図は、スカラップに関して、共通する形をいくつ
か例示するために一般的な造船標準に掲載されてい
るものを載せている。a/bの比率は実績及び一般的な
プラクティスから0.5から1.0としている。

6.1.2

本規定はLR規則 (January 2013), Pt 3, Ch 10, 5.3.3
に基づく。本要件には、防撓材のスパンの中央方向
に少なくとも200mm及び反対方向に50mmの範囲に
開口及びスカラップを設けてはならないとする規定
が追加されている。また、本要件は、せん断応力が
小さい箇所には、開口及びスカラップを設けること
ができるよう修正されている。

6.1.3

本要件はLR規則 (January 2013), Pt 3, Ch 10, 5.3.3
に基づく。また、現在の取り扱いに合わせて、スカラ
ップ又は通水孔等の開口が密となる配置に関する要件
を規定すると共に、縦強度に寄与しない防撓材につ
いても本要件を適用する旨規定している。

6.2 主要支持部材の開口

6.2.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

6.2.2 マンホール及び軽目孔

本規定は、CSR-OT (July 2010) (LR規則 (January
2013) Pt 3, Ch 10, 4.6.1 (単船殻構造) 並びにLR規則
(January 2013) Pt 4, Ch 1, 8.2.3及びPt 4, Ch 9, 9.3.7(二

重船殻構造)) に基づく。

6.2.3 開口周辺の補強

本規定は、DNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C606に基づく。本規定の基準はCSRの許容基準に合うように修正されている。ABS規則 (January 2013), Pt 5, Ch 1, Sec 4, 11.17に類似する要件が規定されている。

スロット及び軽目孔を横部材、ウェブ、フロア、ストリング及びガーダに設ける場合には、他の開口から十分に離さなければならない。スロットの切断部は端部を整え、十分な丸みを付けなければならない。

軽目孔は、スロットから等距離となるよう配置し、外板、甲板及び隔壁からウェブ深さの約1/3の箇所に配置しなければならない。また、その直径は、ウェブ深さの1/3を超えてはならない。原則として、軽目孔はせん断応力が高いウェブ、フロア、ストリング、桁及び横部材には設けてはならない。等価ネットせん断面積を用いた評価についてはNK鋼船規則検査要領C15.2.3及びBV規則 (January 2013) Pt B, Ch 4, Sec 3, 4.6.5に基づいたものである。

6.3 強力甲板の開口

6.3.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考ええる。

6.3.2 小開口の配置

本規定は、CSR-BC (July 2010) (BV規則 (January 2013) Pt B, Ch 4, Sec 6, 6.1) に基づく。

7. 二重底構造

7.1 一般

7.1.1 構造様式

船の長さが120mを超える船舶にあっては縦式構造としなければならない旨規定している。

7.1.2 二重底高さの変化

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考ええる。

7.1.3 内底板の幅

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考ええる。

7.1.4 タンクトップの排水

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考ええる。

7.1.5 当て板

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考ええる。

7.1.6 ダクトキール

既存船の実際の配置に従い、CSR-BCから桁板の配置の要件を改正している。

7.2 平板竜骨

7.2.1

平板竜骨の幅に関する規定は、NK規則 (January 2013) Pt C, 1.1.11の舷側厚板及びビルジストレーキの規定に基づく。

7.3 ガーダ

7.3.1 センターガーダ

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考ええる。

7.3.2 サイドガーダ

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考ええる。

7.4 フロア

7.4.1 ウェブ防撓材

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考ええる。

7.5 ビルジキール

7.5.1 材料

ビルジキール及びその端部における損傷の防止について船主からコメントが多数あったため、ビルジキールの材料には、ビルジ外板と同じ降伏強度の材料を使用する旨規定した。IACS統一規則, S6 (Rev.6, May 2010) に規定するハッチサイドコーミングが0.15L_{CSR}よりも長い場合と同様に、ビルジキールが0.15L_{CSR}よりも長い場合には、ビルジキール及びパッドプレートの鋼材のグレードはビルジ外板と同じグレードにしなければならない。

7.5.2 設計

本規定の目的は、ビルジキールの損傷によって船体構造の損傷を引き起こさないことを確実にするものである。

7.5.3 パッドプレート

パッドプレートの突合せ溶接には溶接欠陥による船側への亀裂進展を防止するため、除去可能な裏当て金を使用しなければならない。応力集中による亀裂を防止するため、パッドプレート及びビルジキールの突合せ溶接は同じ断面内で行ってはならない。

7.5.4 端部詳細

本規定は、CSR-OT (July 2010) (LR規則 (January 2013) Pt 3, Ch 10, 5.6に基づく。) に基づく。

7.6 入渠

7.6.1 一般

検査員が確認すべき事項ではないとの単純な理由により、入渠配置は船級要件ではなく、今後もそうすべきではないと考える。しかしながら、現状、大型船の場合、3船級では、入渠計画書を要求している。構造配置と入渠配置に関係がある場合があるため、造船所は、適切な入渠計画書を船舶に備え付ける責任が

ある。しかしながら、内容の大半は、船級の目的とは外れるため、船級による承認は要求されていない。

7.6.2 ドッキングブラケット

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

8. 二重船側構造

8.1 一般

8.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

8.1.2

二重船側内を空所とする場合であって、貨物倉に高密度の貨物を積載する場合には、局部荷重は二重船側側の貨物倉の船側構造に作用すると仮定しなくてもよい。ただし、その場合であっても、最小板厚を超える適切な板厚とする必要がある。そのため、二重船側内を空所とする場合でも、バラスタタンクとして扱って局部強度を評価する要件を規定した。なお、腐食予備厚については、実際の環境を考慮して空所に対する値を用いる旨を規定した。

8.2 構造配置

8.2.1 主要支持部材

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

8.2.2 横式防撓材

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

8.2.3 縦式防撓材

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

8.2.4 舷側厚板

舷側厚板に関する要件はIACS統一規則S6 (Rev.6, May 2010) に基づく。

8.2.5 板の継手

二重底構造における構造の連続性と同様の要件を規定している。ホップ斜板がない場合、応力集中は最小化しなければならない。また、構造詳細についても降伏及び疲労の基準に適合する必要がある。また、ナックル部の近辺にはスカラップは設けてはならない。

9. 甲板構造

9.1 構造配置

9.1.1 構造様式

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

9.1.2 梁上側板

舷側厚板の幅に関する要件は、IACS統一規則S6 (Rev.6, May 2010) に基づく。

9.1.3 甲板室及び船楼の取り合い

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

9.2 甲板部材寸法

9.2.1

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

10. 隔壁構造

10.1 適用

10.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

10.2 一般

10.2.1

本規定では、隔壁に付く垂直主要支持部材のウェブ高さをテーパを付けることを認めている。これは、一般的に隔壁の上部よりも下部における面外荷重が大きいことを考慮したものである。

10.2.2

ガーダ付近の座屈を防止し、荷重の伝達が可能となるよう補強しなければならない。

10.2.3

ガーダ付近の座屈を防止するための要件が規定されている。

10.2.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

10.3 平板隔壁

10.3.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

10.3.2 防撓材の端部固着

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

10.3.3 防撓材のスニップ端

本規定は、水圧が作用する隔壁におけるスニップ端の防撓材の使用を制限することも目的として規定している。

10.4 波形隔壁

10.4.1 一般

CSRでは、主要支持部材の強度評価は、直接強度計算に基づいて行っており、また、ハルガーダ最終強度及び疲労強度評価は150m以上の船舶に対して行っている。本規定はIACS統一規則S17 (Rev.8, May 2010), S18 (Rev.8, May 2010), S20 (Rev.5, May 2010) 及びS25 (失効済み) に規定される浸水時の強度要件を取り入れている。これらの適用は、一貫したものとなっている。現在用いられているものよりも強固な波型隔壁を考慮して、スツールの取り扱いは、

IACS統一規則S18 (Rev.8, May 2010) において190m以上の船舶に対して適用される要件を、150m以上の船舶に対して適用することでより強化された規定となっている。

10.4.2 構造

原則として、本規定はIACS統一規則S18 (Rev.8, May 2010) に基づく。

10.4.3 波形隔壁の深さ

本規定はABS規則 (January 2013), Pt 5, Ch 1, Sec 4, 17.5.1 (油タンカー規則) に基づき、防撓材の剛性に関する最低要件を規定している。

10.4.4 波形部の断面係数

10.4.2によること。

10.4.5 波形部のスパン

10.4.2によること。

10.4.6 構造配置

10.4.2によること。

10.4.7 隔壁の端部支持

10.4.2によること。

10.4.8 隔壁スツール

10.4.2によること。

10.4.9 下部スツール

10.4.2によること。

10.4.10 上部スツール

10.4.2によること。

10.5 非水密隔壁

10.5.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

10.5.2 梁柱を兼ねない非水密隔壁

この規定はCSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 6, 10.5.1 (BV規則4.1.1, Sec 7, Ch 4, Pt B, (January 2013) に基づく。) に基づく。

10.5.3 梁柱を兼ねる非水密隔壁

この規定はCSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 6, 10.5.2 (BV規則4.2, Sec 7, Ch 4, Pt B, (January 2013) に基づく。) に基づく。

10.6 トランク及びトンネルの水密隔壁

10.6.1

本規定はSOLAS条約第II-1章第16-1規則 (その後の改正を含む。) に基づく。

11. 梁柱

11.1 一般

11.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

11.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

る。

11.1.3

タンク内に設ける梁柱は、爆発性の気体が梁柱の中に混入する又は内部の腐食が目視により確認できないといった、中空断面の場合において発生し得る問題を避けるために、中実又は開断面のものとする旨規定している。

11.2 固着

11.2.1

本規定はBV規則 (January 2013) Pt B, Ch 4, Sec 6, 4.2 に基づく。

7節 構造の理想化

1. 防撓材及び主要支持部材の構造の理想化

1.1 有効スパン

1.1.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.1.2 防撓材の有効曲げスパン

ブラケットを設けている場合にスパンを減じてもよい理由は、ブラケットの影響で、防撓材のみの横断面と比較して断面係数及び断面二次モーメントが増加し、荷重の伝達条件が異なることによる。防撓材の端部 (ブラケットが固着している場合) に作用する荷重は、防撓材の両端ではなく、支持部材に直接作用する。従って、ブラケットを設けていない防撓材と比較して、ブラケットを設けている防撓材においては、ブラケット固着部を除いた箇所に作用する曲げモーメントは小さくなる。

防撓材の反対側 (付き板側) にブラケットを設ける場合、追加したブラケットは、防撓材の中性軸近傍に配置されるため、断面係数及び断面二次モーメントに対する影響は少ない。よって、剛性は変化せず、スパン長さは減ずることはできない。一般的に、主要支持部材に見られるように、付き板に大きなブラケットを設ける場合、ブラケットの大きさは有効曲げスパンの定義において考慮されている。

ブラケットを設けた場合のスパンの定義はABS規則 (January 2013), Pt 5, Ch 1, Sec 4, Figure 5 に基づく。裏側にブラケットを設けない場合については、防撓材を回転方向にほとんど支持しないことから、規則中にあるように、曲げスパンを減じてはならない。ブラケット固着部が主要支持部材に対して非対称であることから、防撓材は支持部で回転する。これにより、ウェブ防撓材のヒール部において曲げモーメントが増加する。従って、スパン長さを減少させることを認めてはいない。ブラケットを設けた場合、より対称的になり回転運動を抑えることができる。そのため、

ウェブ防撓材を防撓材に固着させていないスニップ端としていても効果があると考えても差し支えない。

有限要素解析により、単船殻構造であって、裏側にブラケットを設けない場合、トリッピングブラケットは、有効曲げスパンに対してあまり影響がないことが確認されている。その理由は、トリッピングブラケットは非対称であり、回転を拘束する構造に隣接していないことから回転が生じるためである。回転の影響により、曲げモーメントはトリッピングブラケットのトウ部でわずかに減少するが、ヒール部で増加する。従って、回転を考慮したスパン修正を用いるのではなく、規則では計算においてフルスパンを用いる旨規定している。

ソフトトウのブラケットの場合、直線的なブラケットよりも応力は著しく小さくなる。しかしながら、これは、スパンの効果ではなくブラケットの終端部における応力集中に関係する。

1.1.3 防撓材の有効せん断スパン

有効せん断スパンと有効曲げスパンが異なる理由としては、せん断荷重の場合、ブラケットを設けることによる、支持部材の端部方向におけるせん断力の増加以上に、せん断面積の増加の影響が大きいためである。従って、ブラケット端部でせん断力の評価を行っても、原則、差し支えない。(ただし、湾曲したブラケット及び長いブラケットは、有効ブラケット長さは1:1.5の比で内接する最大の直角三角形に置き換えて検証する。) 曲げモーメントについては、ブラケットを含む梁の断面係数の増加分以上に曲げモーメントは増加する。ブラケットの約半分の深さの位置において、曲げモーメントの増加分の影響を相殺し、回転を十分に拘束できるようにブラケットを含む断面係数を増加させている。

せん断力の増加に対して、ブラケットを設けることは、せん断面積を増加させるのに効果的である。防撓材の面材側又は付き板側どちらにブラケットを固着しても、せん断面積は増加することから、付き板側にブラケットを固着した場合でも、せん断スパンは減じることができる。

防撓材を通じて支持部材に作用する圧力でなく、板部材に直接作用する圧力を考慮し、有効せん断スパンを決定している。板部材に圧力が作用する場合、最も近接している支持部材へ荷重が伝達する。これにより、板部材の終端 $s/2$ に作用する圧力は、主要支持部材に直接作用し、防撓材の終端 $s/2$ におけるせん断力は一定となる。

有限要素解析によって、単船殻構造の場合にはトリッピングブラケットは有効せん断スパンに対してあまり影響がないことが確認されている。その理由と

して、トリッピングブラケットは非対称であり、回転を拘束する構造物に隣接していないことから回転が生じるためである。回転の影響により、防撓材端部のせん断力は、ブラケットトウ近辺でわずかに減少し、トリッピングブラケットのヒール近辺で増加する。回転を考慮したスパン修正を用いるのではなく、規則では計算においてフルスパンを用いる旨規定している。ブラケットのスパンの定義はABS規則 (January 2013), Pt 5, Ch 1, Sec 4, Figure 7に基づく。

1.1.4 防撓材のスパンに影響を与える船体形状

防撓材長さの定義はDNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 6, A201及びABS規則 (January 2013), Pt 5, Ch 1, Sec 4, 7.5に基づく。防撓材の断面係数が最小となるのは一般的に防撓材の面材部分(平鋼の場合、遊縁)においてである。そのため、防撓材のフランジ及び遊縁の位置でスパン長さを計測する。

船体構造の防撓材は、通常、外板に対して法線方向に作用している圧力の影響を受けている。湾曲した防撓材に作用する圧力を評価する際、湾曲の影響を修正するのではなく、防撓材長さを修正する。防撓材の湾曲部に作用する圧力の合計は、湾曲部の弦長さの防撓材に作用する圧力の合計と等しいことから、湾曲した防撓材は、弦長さをを用いることで評価している。

1.1.5 支柱に支持される防撓材の有効スパン

二重底構造の主要支持部材(フロア)間の支柱の取り扱いにはBV規則 (January 2013) Pt B, Ch 4, Sec 3, 3.2.2に基づく。ただし、損傷した場合に支柱が船殻/二重船殻を貫通する危険性があることから、船主要望を考慮して、長さが120mを超える船舶においては、支柱の設置を認めていない。

1.1.6 主要支持部材の有効曲げスパン

主要支持部材の有効曲げスパンの定義はABS規則 (January 2013), Pt 5, Ch 1, Sec 4, Figure 8に基づく。スパンの定義は部材の評価法に関連している。圧力が作用する主要支持部材においては、曲げモーメントは部材の端部方向に向かって増加する。ブラケットが設けられる場合、横断面の断面係数は、ブラケットトウより内側で増加する。

本規則の目的は、主要支持部材の横断面の性能(例: 曲げモーメントに対する断面係数)が、荷重応答以上であると保証することである。計算を簡便にするため、CSR規則では有効スパンの端部の曲げモーメントに対して、ブラケットを考慮しない断面係数を評価する旨規定している。また、主要支持部材とブラケットの面材が連続している場合の断面係数は、端部方向に向かって、連続していない面材を持つブラケットよりもより速く増加する。これはスパンの定義に反映されている。

1.1.7 主要支持部材の有効せん断スパン

主要支持部材のせん断スパンの定義はABS規則 (January 2013), Pt 5, Ch 1, Sec 4, Figure 7に基づく。

1.1.8 有効ブラケットの定義

有効せん断スパンと有効曲げスパンが異なる理由としては、せん断荷重の場合、ブラケットを設けることによる、支持部材の端部方向におけるせん断力の増加以上に、せん断面積の増加の影響が大きいためである。従って、ブラケット端部でせん断力の評価を行っても、原則、差し支えない。(ただし、湾曲したブラケット及び長いブラケットは、有効ブラケット長さは1:1.5の比で内接する最大の直角三角形に置き換えて検証する。) 有効ブラケット長さの比の定義1:1.5については、曲げモーメントに対する断面係数の増加に関連したものである。

1.2 心距及び荷重支持幅

1.2.1 防撓材

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.2 主要支持部材

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.3 湾曲した板の心距

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.3 有効幅

1.3.1 防撓材

防撓材の曲げ強度を評価する際、防撓材の断面性能を評価しなければならない。防撓材の断面性能の評価では、防撓材が取り付けられる板部材の有効幅を考慮する必要がある。NK規則 (January 2013) C編, 1.1.13-3に示されるShade's理論に基づいた簡便な指標を板部材の有効幅として用いている。

付き板のネット板厚が8mmより薄い場合に、有効幅を600mm以下とする規定はLR規則 (January 2013), Pt 3, Ch 3, Sec 3に基づく。板厚の制限を8mmとし、元となった規則からCSRのコンセプトであるネット板厚を考慮して、調整を行っている。

1.3.2 主要支持部材

強度評価において、主要支持部材の付き板の有効幅の定義は、Henry SchadeによるSNAME会議, Vol. 59, 1951, "The effective breadth of stiffened plating under bending loads", G. Vedeler及びDNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C402.の理論的背景に基づく。なお、当該算式については有限要素解析により検証が行われている。

主要支持部材の断面係数又は断面二次モーメントの計算に用いる付き板の有効幅 b_{eff} (m) は以下の算

式に基づく。

$$b_{eff} = S \cdot \min \left[\frac{1.04}{1 + 2 / \left(\frac{\ell_{bdc}}{S\sqrt{3}} \right)^2}, 1.0 \right]$$

1.3.3 主要支持部材の湾曲した面材及び付き板の有効面積

主要支持部材における湾曲した面材/付き板の有効面積の定義はDNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C406-7に基づく。理論的背景は、R.W. Westrup, P. Silver: Some Effects of Curvature on Frames, Aero/Space Sciences, September 1958に基づく。

算式では、曲げモーメントに関して、湾曲した面材の効きの度合いを表している。効きの度合いは、面材の面積に対する比率として与えられている。このような修正を行う理由としては、湾曲により力の方向が変わるためである。湾曲した面材が取り付けられた部材のモーメントに対する耐力は、力の変化が面材にどの程度伝達されるかによる。広く湾曲した面材は、効率的な面材とはいえず、同様に、半径が小さい場合、力の変化は大きくなることから、効率的ではない。

1.4 主要支持部材の幾何学的性能

1.4.1 バルブ断面の防撓材形状

バルブ断面の防撓材を等価な形鋼形状として取り扱う場合の等価な断面係数を与える簡便な算式はBV規則 (January 2013) Pt B, Ch 4, Sec 3, 3.1.2に基づく。

1.4.2 防撓材の弾性ネットせん断面積

弾性ネットせん断面積の定義はCSR-OT (July 2010), Sec 4/2.4.2.1に基づく。

1.4.3 防撓材の有効せん断深さ

有効せん断深さの定義はCSR-OT (July 2010), Sec 4/2.4.2.2に基づく。

1.4.4 防撓材の弾性ネット断面係数

弾性ネット断面係数はCSR-OT (July 2010), Sec 4/2.4.2.3に基づく。

1.4.5 防撓材の有効塑性ネットせん断面積

防撓材の弾性ネットせん断面積は塑性ネットせん断面積と同じものとしている。

1.4.6 防撓材の有効塑性ネット断面係数

バルブプレートの塑性ネット断面係数を求めるため、腐食予備厚 (t_c) 及びHPバルブの種類を考慮して、規則表1及び表2中の $b_{f,gr}$ 及び $t_{f,gr}$ は与えられている。

1.4.7 付き板に対し直角に配置されない主要支持部材のウェブ

1.4.4の防撓材に関する規定と同様である。

1.4.8 ウェブに開口を有する主要支持部材のせん断面積

本規定では、せん断強度評価を行う箇所のウェブ近辺に開口を有する場合の有効ウェブ高さの考え方について説明している。

2. 板部材

2.1 *EPP*の理想化

2.1.1 *EPP*

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2.1.2 条板の要求板厚

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2.2 荷重計算点

2.2.1 降伏

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2.2.2 座屈

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3. 防撓材

3.1 基準点

3.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.2 荷重計算点

3.2.1 圧力に対する*LCP*

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.2.2 ハルガーダ曲げ応力に対する*LCP*

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.2.3 水平防撓材以外の防撓材

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

4. 主要支持部材

4.1 荷重計算点

4.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

4章 荷重

1節 序論

1. 一般

1.1 適用

1.1.1 範囲

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.1.2 等価設計波 (EDW)

等価設計波は、参考設計値（ある確率レベルにおける長期応答値（最大値））と同等の応答値を発生させる規則波として定義される。

等価設計波は、周期、振幅及び波との出会角より定義される。周期 T_0 、出会角 β_0 は、応答関数 (RAO) のピーク値（最大値）に基づき定義される。

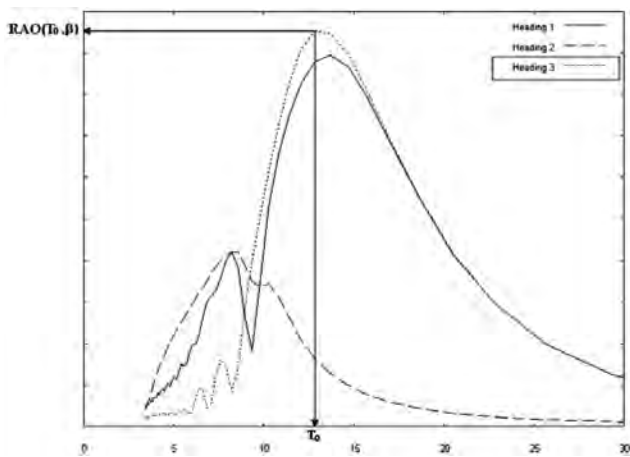


図1 等価設計波の出会角及び周期の定義

一方、振幅 A_{EDW} は、ある確率レベルにおける応答の長期予測値と、周期 T_0 及び出会角 β_0 における応答関数のピーク値（応答関数の最大値）との比率として定義される。

$$A_{EDW} = \frac{\text{Longterm value}}{RAO(T_0, \beta_0)}$$

上記の方法を適用することにより、それぞれの応答が最大、すなわち支配的荷重となる等価設計波を求めることができる。また、それぞれの等価設計波において、最大となる荷重に対するその他の応答（考慮する荷重）は荷重組合せ係数 (LCF) により得られる。考慮する荷重に対する荷重組合せ係数 C_{ji} （重ね合わせ係数とも呼ばれる。）は、各等価設計に対して、支配的荷重成分の応答関数や長期予測値を用いて次の算式により求められる。

$$C_{ji} = \frac{A_{EDWi}}{A_{EDWj}} \frac{RAO_j(T_i, \beta_i)}{RAO_{jmax}} \times \cos\{\varepsilon_j(T_i, \beta_i) - \varepsilon_i(T_i, \beta_i)\}$$

i : 支配的荷重に割り振る添え字

j : 考慮する荷重に割り振る添え字

A_{EDWi} : i 番目の支配的荷重成分の等価設計波の振幅

A_{EDWj} : j 番目の考慮する荷重成分の等価設計波の振幅

$\varepsilon_i(T_i, \beta_i)$: i 番目の等価設計波中の支配的荷重成分の応答関数の位相

$\varepsilon_j(T_i, \beta_i)$: i 番目の等価設計波中の考慮する荷重成分の応答関数の位相

$RAO_j(T_i, \beta_i)$: i 番目の等価設計波中の考慮する荷重成分の応答関数の振幅

RAO_{jmax} : 考慮する荷重成分の応答関数の最大値

荷重組合せ係数は、ハルガーダ荷重及び船体加速度成分に対して定義される。外圧は、等価設計波に対して直接与えられている。そのため、外圧に対する荷重組合せ係数は必要なく、算式においても考慮する必要はない。

1.1.3 強度評価及び疲労評価における超過確率レベル

「強度評価」という用語は、疲労評価を除くすべての強度に関する評価に対して用いることとする。強度評価は、次の状態に対して実施される。

- 極めて厳しい海象状態：船の設計寿命（25年）間に遭遇する最大波浪荷重に関連付けられたもの。荷重の超過確率 10^{-8} に対応する。
- バラスト水の交換状態：1年間に遭遇する最大荷重に関連付けた。（確率係数0.8）この確率係数は、船が荒天時に海上でバラスト水を交換しないことが考慮されている。
- 浸水状態：結合確率係数0.8に関連付けた。
- 港内状態：結合確率係数0.4に関連付けた。これは、船が港内にいる確率と、その時の波浪条件が北大西洋を航行時の波浪条件よりも比較的穏やかであることに関連している。

「疲労評価」という用語は、疲労に関する評価に対して用いることとする。疲労評価に用いる波浪荷重は、代表的な確率レベルである 10^{-2} で定義される。 10^{-2} の波浪荷重は2母数ワイブル分布の形状係数として用いられ、平均周期は期待荷重履歴を定義するとき用いられる。

1.1.4 動的荷重成分

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.1.5 強度評価のための荷重

強度評価用の波浪荷重は次の仮定に基づき導かれ

る。

- ・ 北大西洋の波浪環境を再現するものとする。北大西洋の波浪頻度表はIACS勧告No.34 (Corr. 1, November 2001) を参照。
- ・ Pierson-Moskowitz型波浪スペクトルに基づくものとする。
- ・ 波浪エネルギー角度伝播は、 \cos^2 の関数で与えられるものとする。
- ・ すべての波浪方向に対して均等な確率とする。
- ・ 船と波の方向が30度刻みの3次元線形流体計算に基づくものとする。
- ・ 設計寿命を25年とする。
- ・ 船速を5knotsとする。

油タンカーやばら積貨物船は、肥大船型であり、荒天時は非常に低速で航行することから、船速として5knotsを考慮する。次のグラフは、波高に対する減速の例を示す。

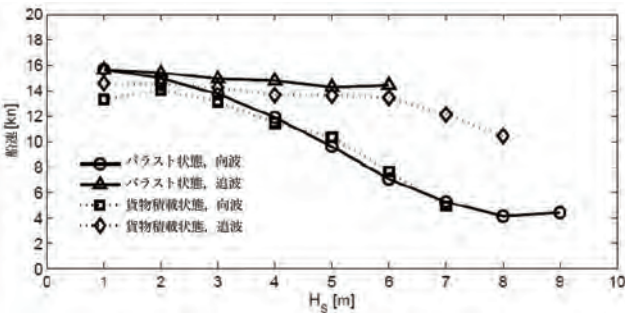


図2 波高に対する減速比

構造寸法要件及び強度評価において、非線形波浪影響を考慮する修正係数が線形波浪荷重に適用される。

各設計荷重シナリオは、静的荷重及び動的荷重から構成される。等価設計波手法は、ハルガード荷重、船体運動、加速度及び波浪変動圧を含む動的荷重を設定する時に用いる。

1.1.6 疲労評価のための荷重

疲労評価では、期待荷重履歴を定義する必要がある。ここでは、荷重履歴は2母数ワイブル分布で近似できるものと仮定した。それらのパラメータには、尺度係数と形状係数がある。荷重の尺度係数の決定には、疲労被害度にも寄与する 10^{-2} の確率レベルが選択されている。

10^{-2} の確率レベルにおける荷重の定義についても等価設計波手法に基づいている。ある構造要素に対する疲労被害度への寄与率の例を下図に示す。いくつかの異なる構造要素及びS-N曲線に対して実施された計算によると、疲労被害度のほとんどは 10^{-5} の確率レベルまでにおいて蓄積されるが、 10^{-2} の確率レベル付近が疲労被害度にも寄与していることが示された。

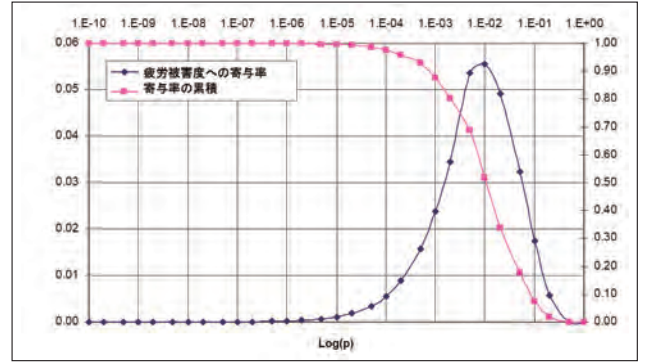


図3 各確率レベルの疲労被害度への寄与率

理論的には、形状係数が十分に正確であれば任意の確率レベルを選ぶことができる。しかしながら、疲労被害度にも最も寄与するとされる値がより正確であれば、形状係数の仮定で生じた誤差が疲労被害度全体にも与える影響は少なくなり、さらに、その影響はごく軽微となることが実証されている。従って、形状係数は、動的荷重ケースに関係なく定数（すなわち1.0）を用いることができる。異なる尺度係数における、疲労寿命に対する形状係数の影響を下図に示す。 10^{-2} の確率レベルの尺度係数を選択すると、形状係数が0.8から1.2まで変動する場合の疲労寿命の変動はごく軽微であることが確認できる。

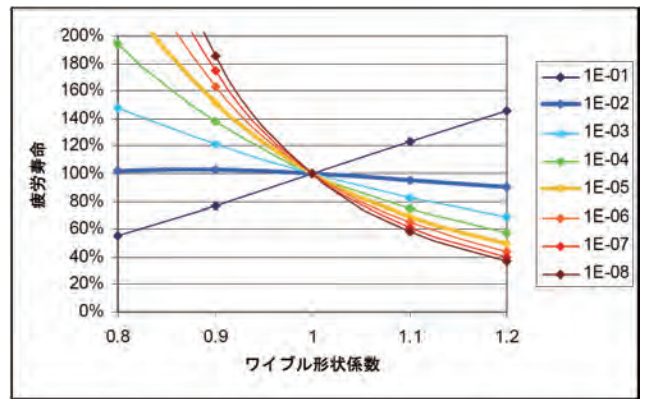


図4 疲労寿命に対する形状係数の影響

確率係数は、 10^{-8} の確率レベルで定義されている荷重を 10^{-2} の確率レベルまで落とすために用いる。この確率係数は、 10^{-8} の確率レベル時の5knotsから、船の一生の平均速度とみなされる 10^{-2} の確率レベル時の設計船速の75%に船速を変化させることを考慮している。数学的に、この確率係数は、 10^{-2} の確率レベルにおける長期予測値と 10^{-8} の確率レベルにおける長期予測値との比率に対応する。

$$f_p = \frac{\text{Longterm value}(10^{-8})}{\text{Longterm value}(10^{-2})}$$

1.2 定義

1.2.1 座標系

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.2.2 船体運動の符号の定義

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.2.3 ハルガーダ荷重の符号の定義

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2節 動的荷重ケース

記号

f_{ip} : 船体中央より後方と前方で波浪中垂直せん断
力の荷重組合せ係数 LCF の符号を調整する係
数

1. 一般

1.1 動的荷重ケースの定義

1.1.1

構造強度に厳しい等価設計波を選択するため、二
重船殻油タンカー及びばら積貨物船に対して構造解
析が行われた。結果として、次の表に示す等価設計
波が選択されている。

表1 動的荷重ケースの定義

等価設計波	χ (設計波出会角)
HSM	180 deg (波が船首から来る向波状態)
HSA	180 deg (波が船首から来る向波状態)
FSM	0 deg (波が船尾から来る追波状態)
BSR	90 deg/270 deg (波が左舷/右舷から来る横波 状態)
BSP	90 deg/270 deg (波が左舷/右舷から来る横波 状態)
OST	60 deg/300 deg (波が船尾の左舷/右舷から来 る斜波状態)
OSA	120 deg/240 deg (波が船首の左舷/右舷から 来る斜波状態)

1.2 適用

1.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2. 強度評価に用いる動的荷重ケース

2.1 動的荷重ケース

2.1.1

規則1編4章2節の表1から表3は、各等価設計波に
おいて同時に生じる船の応答について示すものであ
る。

2.2 荷重組合せ係数

2.2.1

等価設計波において、最大となる荷重に対するそ
の他の応答(考慮する荷重)は荷重組合せ係数 (LCF)
により得られる。詳細については、1節1.1.2を参照
のこと。

荷重組合せ係数は、相当数の油タンカー及びばら
積貨物船に対して実施したバラスト状態、満載積付
状態及び部分積付状態を含む各種付状態における直
接荷重計算より導出されている。

3. 疲労評価に用いる動的荷重ケース

3.1 動的荷重ケース

3.1.1

強度評価用の最も支配的な荷重成分は、疲労評価用
のものと同じである。ただし、船速影響により、垂
直方向加速度が最大となる等価設計波は波浪中垂直
曲げモーメントが最大となる等価設計波と同じであ
るため、荷重ケース HSM に対して冗長となる荷重ケ
ース HSA 及び OSA は省略することができる。

疲労評価用の等価設計波は、 10^{-2} の確率レベルに対
応する長期予測値を導く。規則表7から表9は、各等
価設計波に対する船の応答について示すものである。

3.2 荷重組合せ係数

3.2.1

2.2.1によること。

3節 船体運動及び加速度

記号

a_0 : 共通加速度パラメータは、前後揺れ、左右揺れ
及び上下揺れを表す基本的な垂直方向加速度パ
ラメータである。

R : 垂直回転中心は $D/2$ 及び $(D/4+T_{LC}/2)$ の小さい
方と仮定される。 $(D/4+T_{LC}/2)$ は、垂直方向の
船体重心位置の近似値である。

1. 一般

1.1 定義

1.1.1

船体運動及び加速度は、周期的に変化するものとす
る。本節における算式より規定される船体運動及び
加速度の振幅は、振幅の山から谷までの半分とする。

2. 船体運動及び加速度

2.1 船体運動

2.1.1 ロール運動

ロール周期 T_θ は、ロールの固有周期であり、次の
算式により推定される。

$$T_{\theta} = 2\pi \sqrt{\frac{(k_r^2 \Delta + A_r)}{g GM \Delta}}$$

k_r : ロールの環動半径

Δ : 船の排水量

A_r : ロールによる付加質量

GM : 横メタセンタ高さ

ロールによる付加質量をロールの慣性モーメントの約30%と仮定し、上式の A_r を $(0.3 k_r^2 \Delta)$ に置き換えると、規則算式が導出される。

ロールの環動半径 k_r 及び横メタセンタ高さ GM の値は、基本的にローディングマニュアル中の考慮する積付状態に対する値を用いる。これらの値が、初期設計時においてあらかじめ得られていない場合には、油タンカー及びばら積貨物船に対し、それぞれ規則1編4章3節の表1及び表2に示されている値を用いることができる。

非損傷状態での k_r 及び GM の値は、浸水状態での値と異なる。しかしながら、浸水状態での GM の簡易算式を開発することは困難である。非損傷状態と浸水状態の GM の差が与えるロールへの影響はごくわずかであることを考慮し、浸水状態の GM についても非損傷状態の GM を用いることとする。

調整係数 f_p は、適切な設計荷重シナリオを考慮し、応答の確率レベルの調整に用いる。疲労評価に対しては、船速影響も考慮する。

2.1.2 ピッチ運動

ピッチ周期 T_{θ} は、ピッチを誘起するモーメントが最大になることによって、ピッチの応答関数 RAO が最大になる時の周期に相当する。ピッチ周期における船速影響は、無視できると考えられる。

ピッチの応答関数が最大になる時の規則波波長 λ は、船体中央部における波浪中垂直曲げモーメントが最大となる時の規則波波長とほぼ同じである。

ピッチ角は、船速に、より厳密に言えばフルード数に依存する。強度評価において、船速 V は5 knots (2.57 m/s) とする。

$$\text{強度評価用 } F_u = \frac{V}{\sqrt{gL_{CSR}}} = \frac{2.57}{\sqrt{gL_{CSR}}}$$

ピッチ角の算式中の速力 V は、確率係数 f_p に船速影響が既に含まれているため、一定である。

調整係数 f_p は、適切な設計荷重シナリオを考慮し、応答の確率レベルの調整に用いる。疲労評価に対しては、船速影響も考慮する。

2.2 重心位置における船体加速度

2.2.1 前後揺れ加速度

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.2.2 左右揺れ加速度

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.2.3 上下揺れ加速度

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.2.4 ロール加速度

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.2.5 ピッチ加速度

ピッチの角加速度に対する船速影響は、ピッチ運動とは異なる。ピッチの角加速度は、 $(1.2F_u + 1.0)$ に等しい係数に比例し増加すると考えられる。ピッチ運動に関しては、規則算式の確率係数 f_p において船速影響が既に考慮されているため、船速は2.57 m/s (5 knots) に設定されている。

3. 任意の位置における加速度

3.1 一般

3.1.1

船体固定座標系のx軸(縦方向)、y軸(横方向)及びz軸(垂直方向)に沿った加速度の算式が与えられている。加速度は、船体重心位置における6自由度の基本的な剛体運動による加速度を組合せたものである。加速度は、船体固定座標系に対し定義されているので、ロールとピッチによる重力加速度の傾斜成分が含まれている。

3.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.2 動的荷重ケースにおける加速度

3.2.1 一般

算式は、選択された等価設計波の荷重ケースにおける加速度を特定の時間で抜き出したものである。

荷重組合せ係数は、剛体運動を考慮し組合せられる基本的な加速度成分に適用されるべきである。

3.2.2 縦方向加速度

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.2.3 横方向加速度

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.2.4 垂直方向加速度

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.3 包絡加速度

包絡加速度の算式は、各設計荷重のシナリオに対応する確率レベルにおける縦方向、横方向及び垂直方向加速度を推定する。確率係数は、基本的な加速度成分の計算に含まれている。

3.3.1 縦方向加速度

縦方向包絡加速度は、前後揺れ、ピッチ及び船首揺れによる加速度に依存する。縦方向加速度は、船首揺れが無視できるものと仮定し、船の全長にわたって一定とする。従って、船首揺れの項は、算式に陽的には与えられない。また、ピッチ運動による傾斜成分が算式に含まれる。

ピッチ及び前後揺れによる加速度は、大型船では統計的に独立であると考えられる。しかしながら、小さい船舶では、これらの加速度が互いに打ち消しあうこととなる。この影響を考慮し、係数 $L_{CSR}/325$ を設定した。

3.3.2 横方向加速度

横方向包絡加速度は、左右揺れ、ロール及び船首揺れによる加速度に依存する。横方向加速度は、船首揺れが無視できるものと仮定し、船幅全体にわたって一定とする。従って、船首揺れの項は、算式に陽的には与えられない。また、ロール運動による傾斜成分が算式に含まれる。

ロール及び左右揺れによる加速度は、統計的に独立であると考えられる。

3.3.3 垂直方向加速度

垂直方向包絡加速度は、上下揺れ、ロール及びピッチによる加速度に依存する。運動の参照点は、船体中心線で、船尾 (L_{CSR} の後端) から $0.45L_{CSR}$ の位置と仮定される。

ロールによる垂直方向加速度は、ロールによる加速度及び上下揺れとピッチの組合せ加速度間の位相差を考慮するため、係数1.2が乗じられている。ピッチ運動による垂直方向加速度は、加速度成分間の異なる位相関係を考慮するため、係数 $(0.3+L_{CSR}/325)$ が乗じられている。この位相は船の長さに依存する。

4節 ハルガーダ荷重 記号

C_w : 波浪係数 C_w は船の長さ L_{CSR} 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の算式に用いられる。 C_w の値はすべての海域に対して有効であり、北大西洋の波浪統計を代表するものである。

f_{β} : 横波中の荷重が最大となる動的荷重ケースにおいて、修正係数0.8を動的荷重成分に適用する。係数0.8は、等価設計波 (EDW) の発現確率を 10^{-8} から $10^{-6.5}$ (再現期間1年間) に低減させる。再現期間を25年から1年に低減しているが、これは荒天時の横波において操舵を維持することができなくなるような、推進力の喪失又は類似の事象の結合確率を考慮している。

1. 適用

1.1 一般

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2. 静水中ハルガーダ荷重

2.1 一般

2.1.1 航海中及び港内又は閉囲された水域での状態

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.1.2 浸水状態

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.1.3 疲労評価における静水中荷重

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.2 静水中垂直曲げモーメント

2.2.1 最小静水中垂直曲げモーメント

すべての船舶に対して、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、最小静水中ハルガーダ曲げモーメントが含まれている。

最小静水中ハルガーダ曲げモーメントの算式は、IACS統一規則S7 (Rev.4, May 2010) 及び統一規則S11 (Rev.7, November 2010) に基づき、開発されている。IACS統一規則S7は船体横断面の最小断面係数を規定しており、IACS統一規則S11は許容ハルガーダ応力及び波浪中ハルガーダ曲げモーメントを規定している。この2つの要件を組合せることにより、2つの基準を満たす静水中曲げモーメントの算式を導出することができる。

サギング状態における最小静水中曲げモーメントは、油タンカーのローディングマニュアルにおける許容静水中曲げモーメントに対して係数0.85を乗じて、調整を行った。

最小静水中曲げモーメントの値は、ばら積貨物船の寸法に影響を与えないよう、ばら積貨物船の許容静

水中曲げモーメントとも比較をしている。この最小値は、検討されたすべてのケースにおいて、ローディングマニュアルの許容値よりも小さいことが確認されている。

2.2.2 航海中における許容静水中垂直曲げモーメント

航海状態における許容静水中垂直曲げモーメントは、設計者により与えられなければならない。以下の値を包括した値でなければならない。

- ・ ローディングマニュアルにおけるホギング及びサギング状態の最も厳しい値
- ・ 規則に定義されている積付状態の最も厳しい値
- ・ 最小値

2.2.3 港内又は閉囲された水域並びに水圧試験における許容静水中垂直曲げモーメント

港内又は閉囲された水域並びに水圧試験における許容静水中垂直曲げモーメントはユーザにより定義され、以下の値を包括した値でなければならない。

- ・ ローディングマニュアルにおけるホギング及びサギング状態の最も厳しい値
- ・ 規則に定義されている積付状態の最も厳しい値
- ・ 最小値を25%増加させた値。港内状態における最小静水中ハルガード曲げモーメントは、積み降ろし作業での妥当な柔軟性を許容するため、航海状態における許容静水中曲げモーメントより25%大きい値を取る。25%という値は、実際の海上及び港内での状態を考慮し、オペレータと議論することによって決定された。

初期設計時において、合計許容曲げモーメントに相当するデフォルト値が用意されている。この値は、許容静水中曲げモーメント及び航海状態における波浪中垂直曲げモーメントの和から港内状態における波浪中垂直曲げモーメントを引くことにより与えられている。ここで、港内状態における波浪中垂直曲げモーメントは、航海状態における波浪中垂直曲げモーメントの0.4倍であると考えられている。従って、航海状態における波浪中垂直曲げモーメントの0.6倍に等しい許容静水中曲げモーメントの増加分 ($1.0M_{wv} - 0.4M_{wv}$) が導出される。

2.2.4 浸水状態における許容静水中垂直曲げモーメント

浸水状態における許容静水中曲げモーメントは、設計者により定義され、以下の値を包括した値でなければならない。

- ・ 規則に規定されている浸水状態に対して計算される最も厳しい値
- ・ ローディングマニュアルに規定されている浸水状態の最も厳しい静水中曲げモーメント

2.3 静水中せん断力

最小静水中せん断力は、油タンカーに対して規定されている一方で、ばら積貨物船に対しては具体的な規定値を設けていない。これは、ばら積貨物船では貨物密度のばらつきが大きく、貨物倉の容積に基づくせん断力の簡易算式を導くことが困難なためである。さらに、ばら積貨物船のローディングマニュアルにおいては、運航の柔軟性を許容する許容静水中せん断力を導出するのに十分な数の積付状態が含まれているためである。

2.3.1 油タンカーの航海中における最小静水中せん断力

最小静水中せん断力は、ローディングマニュアルに含まれている状態にかかわらず、すべての油タンカーが一定の運航の柔軟性を有することを保証するために規定されている。

算式は、隣接する貨物倉間における貨物重量、鋼材重量及び浮力の差により生じるローカルのせん断力を表す。横隔壁間のハルガード静水重量 (kN) は、次の算式で表される。

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

ρ : 海水又は貨物の密度。ただし、 $1.025t/m^3$ 未満としない。

B_{local} : 考慮するタンクの長さ中央における T_{SC} での喫水線における船の幅 (m)

l_{tk} : 考慮する横隔壁を挟む前後の貨物タンクのうち考慮する側の貨物タンクの長さ (m)

T_{SC} : 構造用喫水

プロダクトタンカーからVLCCまでの典型的な油タンカーに対する検証を通し、本簡易算式は、実際の鋼材重量の一般的な値を導くことが示されている。ばら積貨物船に関しては、船種と貨物密度が異なることから、最小せん断力の簡易算式を導出することが難しい。

2.3.2 油タンカーの港内及び閉囲された水域における最小静水中せん断力

2.3.1によること。

2.3.3 航海中における許容静水中せん断力

2.2.2によること。

2.3.4 港内又は閉囲された水域並びに水圧試験における許容静水中せん断力

2.2.3によること。

2.3.5 浸水状態における許容静水中せん断力

2.2.4によること。

3. 動的ハルガーダ荷重

3.1 波浪中垂直曲げモーメント

3.1.1

波浪中垂直曲げモーメントの値は、IACS統一規則S11 (Rev.7, November 2010) に従う。非線形影響に関する修正係数を明示するため、IACS統一規則S11に規定されている算式が示されている。

ホギング状態では、線形であるものと仮定される。従って、サギング状態で用いる非線形係数は、サギング及びホギング状態の曲げモーメントの比率と等しい。

$$f_{nl-s} = \frac{110 C_B + 0.7}{190 C_B} = 0.58 \frac{C_B + 0.7}{C_B}$$

疲労評価に対し、非線形係数は1.0に設定する。これは、非線形性が疲労に寄与する応答レベルにおいて無視できると考えられることによる。

調整係数 f_p は、適切な設計荷重のシナリオを考慮した応答の確率レベルの調整に用いる。疲労評価に対しては、船速影響も考慮する。なお、ここで取り扱う非線形影響にはホイッピングによる影響を含んでいない。

3.2 波浪中せん断力

3.2.1

波浪中せん断力の値は、IACS統一規則S11 (Rev.7, November 2010) の値に従う。非線形影響に関する修正係数を明示するため、IACS統一規則S11 (Rev.7, November 2010) に規定されている算式が示されている。

IACS統一規則S11 (Rev.7, November 2010) の算式は、サギング状態にある船舶の $3/4 L_{CSR}$ の位置におけるせん断力を規定する。線形波浪中せん断力(ホギング状態)を導出するため、この算式を3.1.1に示すサギング状態の非線形影響を考慮した係数で除している。

$$Q_{wv} = 0.30 f_q f_p C_w L_{CSR} B (C_B + 0.7) \times \frac{1}{0.58 C_B + 0.7} \frac{C_B}{C_B}$$

$$= 0.52 f_q f_p C_w L_{CSR} B C_B$$

波浪中垂直曲げモーメントの算式と異なり、波浪中せん断力用の非線形影響は f_q の定義に含まれている。従って、形状分布係数 f_q は、非線形影響が含まれているため、1.0に限定されない。

波浪中垂直曲げモーメントと同様に、調整係数 f_p は、適切な設計荷重のシナリオを考慮した応答の確率レベルの調整に用いる。疲労評価に対しては、船速影響も考慮する。

3.3 波浪中水平曲げモーメント

3.3.1

波浪中水平曲げモーメントは、算式の入力値に喫水を含むことにより、異なる積付状態に対して与えられる。波浪中垂直曲げモーメントと同様に、調整係数 f_p は、適切な設計荷重のシナリオを考慮した応答の確率レベルの調整に用いる。疲労評価に対しては、船速影響も考慮する。

3.4 波浪中振りモーメント

3.4.1

波浪中振りモーメントの算式はCSR-BC (July 2010) の規則算式と一致しており、超過確率 10^{-8} におけるモーメントに関係している。波浪中垂直曲げモーメントと同様に、調整係数 f_p は、適切な設計荷重のシナリオを考慮した応答の確率レベルの調整に用いる。疲労評価に対しては、船速影響も考慮する。

3.5 動的荷重ケースにおけるハルガーダ荷重

3.5.1 一般

荷重ケースに対するハルガーダ荷重は、適切な設計荷重シナリオにおけるハルガーダ荷重に規則4章2節に定義されている各等価設計波(EDW)用の荷重組合せ係数(LCF)を乗じて得た値に相当する。荷重組合せ係数が各種応答の符号を既に含んでいるため、各応答の包絡線の絶対値を用いる。

3.5.2 波浪中垂直曲げモーメント

3.5.1によること。

3.5.3 波浪中せん断力

3.5.1によること。

3.5.4 波浪中水平曲げモーメント

3.5.1によること。

3.5.5 波浪中振りモーメント

3.5.1によること。

5節 外圧

1. 海水圧

1.1 全圧

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2 静水圧

1.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.3 強度評価における動的な外圧

1.3.1 一般

規則中の波浪変動圧は、選択された等価設計波下での様々な積付状態において、油タンカー及びばら積貨物船を対象とした直接荷重解析によるシリーズ計算

の結果に基づくものである。各荷重ケースにおける波浪変動圧分布は、各等価設計波EDW(波長と波出会角)における波浪変動圧の応答関数(RAO)に、対応する等価設計波の規則波振幅を乗じることより得られる。各等価設計波の波高は、以下の表に示される。

表1 各等価設計波EDWの波高

EDW	H (規則波波高 (m))
HSM	$1.31 \times C_w \sqrt{\frac{L_{CSR} + \lambda - 125}{L_{CSR}}}$
HSA	$1.09 \times C_w \sqrt{\frac{L_{CSR} + \lambda - 125}{L_{CSR}}}$
FSM	$1.31 \times C_w \sqrt{\frac{L_{CSR} + \lambda - 125}{L_{CSR}}}$
BSR	$0.88 C_w \sqrt{\frac{L_{CSR} + \lambda - 125}{L_{CSR}}}$
BSP	$1.5 C_w \sqrt{\frac{L_{CSR} + \lambda - 125}{L_{CSR}}}$
OST	$1.38 C_w \sqrt{\frac{L_{CSR} + \lambda - 125}{L_{CSR}}}$
OSA	$1.38 C_w \sqrt{\frac{L_{CSR} + \lambda - 125}{L_{CSR}}}$

λ : 各等価設計波に対する設計規則波の波長 (m)
 C_w : 波浪係数 (m) で、次による。
 $C_w = 10.75 - \{(300 - L_{CSR})/100\}^{1.5}$ $90 \leq L_{CSR} \leq 300m$
 $C_w = 10.75$ $300 < L_{CSR} \leq 350m$
 $C_w = 10.75 - \{(L_{CSR} - 350)/150\}^{1.5}$ $350 < L_{CSR} \leq 500m$

1.3.2 荷重ケースHSMにおける波浪変動圧

荷重ケースHSM-1及びHSM-2の波浪変動圧分布は、等価設計波HSMにおいて、波浪中垂直曲げモーメントがそれぞれ最小(サギング)及び最大(ホギング)となるときの分布である。

振幅係数 k_a は、船体中央部における振幅に対し、船の長さ方向に沿った圧力振幅の変化を表すものである。従って、振幅係数 k_a は、船体中央部では常に1.0となる。一方、位相係数 k_p は、考慮する等価設計波に関し圧力の位相を表すものである。位相係数 k_p は、-1.0から1.0の間の値となる。

超過確率レベル 10^{-8} (極限波浪荷重)における荷重ケースHSM, HSA及びFSMの波浪変動圧に対して、模型試験の結果に基づき非線形係数 f_{nl} (=0.9)を考慮する。より小さい確率レベルであるほど、非線形性は弱くなる。

強度評価に対する調整係数 f_{ps} は、適切な設計荷重のシナリオを考慮した応答の確率レベルの調整に用いる。

甲板における最小圧は、1966年の国際満載喫水線

条約のハッチに対する要件に従って考慮する。この最小圧は、向波及び追波の等価設計波のみに適用する。

1.3.3 荷重ケースHSAにおける波浪変動圧

荷重ケースHSA-1及びHSA-2の波浪変動圧分布は、等価設計波HSAにおいて、船首での垂直方向加速度がそれぞれ最大及び最小となるときの分布である。

荷重ケースHSAにおける船体中央部の波浪変動圧は荷重ケースHSMの波浪変動圧の80%に相当する。より詳細な解説については1.3.2によること。

1.3.4 荷重ケースFSMにおける波浪変動圧

荷重ケースFSM-1及びFSM-2の波浪変動圧分布は、等価設計波FSMにおいて、波浪中垂直曲げモーメントがそれぞれ最小(サギング)及び最大(ホギング)となるときの分布である。

荷重ケースFSMについて、喫水の変化による船体中央部での圧力の変動は大きくないことが確認されている。より詳細な解説については1.3.2によること。

1.3.5 荷重ケースBSRにおける波浪変動圧

荷重ケースBSR-1及びBSR-2の波浪変動圧分布は、等価設計波BSRにおいて、ロール角がそれぞれ最大及び最小となるときの分布である。

波浪変動圧分布は、ロール角による静水圧の変動分(式の第1項)と上下揺れによる変動分(式の第2項)による。

超過確率レベル 10^{-8} (極限波浪荷重)における荷重ケースBSRの波浪変動圧に対して、非線形係数 f_{nl} (=0.8)を考慮する。より小さい確率レベルであるほど、非線形性は弱くなる。

1.3.6 荷重ケースBSPにおける波浪変動圧

荷重ケースBSP-1及びBSP-2の波浪変動圧分布は、等価設計波BSPにおいて、喫水線における波上側の波浪変動圧がそれぞれ最大及び最小となるときの分布である。非線形係数(=0.65)は、超過確率レベル $10^{-6.5}$ における非線形係数(=0.8)に船首方位修正係数 f_β (=0.8)を乗じることによる。

1.3.7 荷重ケースOSTにおける波浪変動圧

荷重ケースOST-1及びOST-2の波浪変動圧分布は、等価設計波OSTにおいて、船尾APから $1/4 L_{CSR}$ の断面における波上側の振りモーメントがそれぞれ最大及び最小となるときの分布である。

超過確率レベル 10^{-8} (極限波浪荷重)における荷重ケースOSTの波浪変動圧に対して、非線形係数 f_{nl} (=0.8)を考慮する。

1.3.8 荷重ケースOSAにおける波浪変動圧

荷重ケースOSA-1及びOSA-2の波浪変動圧分布は、等価設計波OSAにおいて、船首FPにおける波上側の垂直方向加速度がそれぞれ最大及び最小となるときの分布である。超過確率レベル 10^{-8} (極限波浪荷重)

における荷重ケース *OSA* の波浪変動圧に対して、非線形係数 f_{nl} ($=0.8$) を考慮する。

1.3.9 波浪変動圧の包絡値

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.4 疲労評価用の動的圧

1.4.1 一般

疲労評価用の等価設計波中における波浪変動圧分布は、 10^{-2} の超過確率に対し定義される。船速が異なるため、疲労評価用の波浪変動圧分布の算式は全く新しいものとしている。

船速影響のため、等価設計波 *HSA*、*OSA* 及び *HSM* は同等となる。従って、波浪中垂直曲げモーメント及び船首 *FP* における垂直方向加速度を同時に最大にするには等価設計波 *HSM* のみが必要となる。

喫水線より上方の波浪変動圧の水頭の修正は、*CSR-BC* 及び *CSR-OT* (July 2010) と同様に、 10^{-4} 確率レベル (ワイブル形状係数 1.0 を仮定) に対して行う。これは、 10^{-2} より小さい確率レベルにおいて喫水線より上方の要素の疲労被害度に対し過小評価することを避けるためである。なお、 10^{-2} 確率レベルにおける非線形修正は考慮していない。

1.4.2 荷重ケース *HSM* における波浪変動圧

1.3.2 によること。

1.4.3 荷重ケース *FSM* における波浪変動圧

1.3.4 によること。

1.4.4 荷重ケース *BSR* における波浪変動圧

1.3.5 によること。

1.4.5 荷重ケース *BSP* における波浪変動圧

1.3.6 によること。

1.4.6 荷重ケース *OST* における波浪変動圧

1.3.7 によること。

2. 暴露甲板における外圧

2.1 適用

2.1.1

疲労評価において、暴露甲板における外圧は考慮しない。

2.1.2

青波荷重と甲板貨物荷重は同時に考慮しない。

2.2 青波荷重

2.2.1 暴露甲板における外圧

規則1編4章5節2に規定する暴露甲板における外圧は、船楼及び甲板室の暴露甲板に対しても適用する。

2.2.2

青波圧は、暴露甲板上のブレイクウォータの設置にかかわらず考慮する必要がある。

2.2.3 荷重ケース *HSM*、*HSA* 及び *FSM*

荷重ケース *HSM*、*HSA* 及び *FSM* における青波圧は、規則1.3.2から1.3.4に定義されているデッキのコーナ部における船側位置での波浪変動圧の関数として与えられているが、国際満載喫水線条約 (又は *IACS* 統一規則 *S21* (Rev.5, May 2010)) に規定される値より大きな値としなければならない。青波圧を計算する際は、暴露甲板の位置に応じ、適切な係数 χ (χ は甲板の高さに応じた係数であり、甲板が高くなるほど小さくなる。) を考慮する。

2.2.4 荷重ケース *BSR*、*BSP*、*OST* 及び *OSA*

荷重ケース *BSR*、*BSP*、*OST* 及び *OSA* における青波圧は、規則1.3.5から1.3.8に定義されているデッキのコーナ部における船側位置での波浪変動圧の関数である。甲板上の圧力は、デッキのコーナ部の左舷及び右舷の位置での波浪変動圧の値を線形補間することにより得られる。

2.2.5 暴露甲板における波浪変動圧の包絡値

荷重ケース *BSR*、*BSP*、*OST* 及び *OSA* における青波圧は、船側位置の関数である。

2.3 暴露甲板上の積載物による荷重

2.3.1 分布貨物による圧力

暴露甲板上に分布貨物 (例えば木材等) を積載する場合、分布貨物による静的及び動的荷重を考慮する必要がある。

2.3.2 単位貨物による集中荷重

暴露甲板上に集中貨物 (例えば艀装品等) を積載する場合、集中貨物による静的及び動的荷重を考慮する必要がある。

3. 船首部における衝撃圧

3.1 適用

3.1.1

疲労評価において、衝撃圧は考慮しない。

3.2 船底スラミング圧

3.2.1

船底スラミング圧の算式は *LR* 規則 (January 2013), Pt 3, Ch 5, 1.5.8 に基づく。バラスト水のカウンタープレッシャーを考慮するため、船底スラミング圧の軽減を認めており、*LR* 規則 (January 2013), Pt 3, Ch 5, 1.5.8 に基づく。

LR 規則のスラミング圧の算式は、*Ochi-Motter* 法を用いた一般貨物船及び肥大船の範囲に対する船底スラミング圧の研究結果に基づく経験式である。本研究では、スラミング速度及び垂直方向の相対運動は、船体運動解析を用いて導かれ、北大西洋の海象における船体運動の短期統計解析に基づく。衝撃に関する形状係数の導出には、典型的な船の船首形状が用いられている。なお、本研究では前進速度が考慮されている。

規則の設計思想に合わせるため、LR規則による適用範囲を船底スラミング評価のために使用する船首喫水によって修正している。従って、2種類の船首最小喫水を規定する必要がある。

- ・ 1種類目は、各二重底バラストタンク（船首又は前部深水タンク）が空のときの船首最小喫水
- ・ 2種類目は、各バラストタンクが満載の場合に適用可能な船首最小喫水。この場合、バラスト水のカウンタープレッシャーにより有効なスラミング圧は減少される。

船首最小喫水は設計者により指定されるが、ローディングマニュアルにおける最小喫水より小さい値としてはならない。指定される喫水が1つしかない場合、これをバラストタンクが空になる場合の最小喫水と見なし、バラスト水のカウンタープレッシャーは考慮しない。

3.2.2 ローディングマニュアルに記載する情報

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.3 船首衝撃圧

3.3.1 設計圧

船首衝撃圧の算式は、CSR-OT (July 2010) の7節4.4に基づく。船首衝撃圧は船首方向の正面衝撃力によるものであり、船首エリアに対する圧力に変換される。

船首衝撃圧は、相対衝撃速度の2乗におよそ比例するというHagiharaとYuharaによる実験及び理論研究に基づき、以下による。

$$P_{im} \propto \rho V_{im}^2$$

ρ : 海水密度 (kg/m^3)

V_{im} : 相対衝撃速度 (m/s^2)

衝撃速度は、船舶と流体の相対速度を表す。スラミング、船首没水及び波浪中の抵抗増加による、自発的又は強制的な船速低下を考慮し、船速は航海速度の75%とした。支配的な出会波の速度は、船長の65%の波長に関連付けて仮定されている。これら2つの成分は、OchiとTasaiの研究に基づく。算式には、バウフレアスラミングの影響を考慮しない。

4. 船楼及び甲板室に対する外圧

4.1 適用

4.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.2 暴露した操舵室の頂板

4.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.3 船楼の側面

4.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.4 船楼端隔壁及び甲板室の周壁

4.4.1

船楼端隔壁及び甲板室の周壁に対する外圧は、隔壁における船長方向の位置及び高さに応じて、算定

5. ハッチカバーに対する外圧

5.1 適用

5.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5.2 青波荷重

5.2.1

青波荷重は、規則2.2より得られる。国際満載喫水線条約に定義されている最小甲板圧力には、係数 χ (=1.0)を適用する。

5.3 ハッチカバー上の積載物による荷重

5.3.1

ハッチカバー上に貨物が積載される場合、積載物による静的及び動的荷重は、積載物の種類によって、規則2.3の規定による。

6節 内圧

1. 液体による圧力

1.1 適用

1.1.1 非損傷状態の強度評価及び疲労評価における圧力

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.1.2 浸水状態の強度評価における圧力

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.2 液体による静圧

1.2.1 通常の航海

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.2.2 港内及び閉鎖された水域での運航

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.2.3 シーケンシャル法によるバラスト水の交換

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

る。

1.2.4 フロースルー法によるバラスト水交換

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.2.5 バラスト処理装置を用いたバラスト漲水

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.2.6 疲労評価における液体による静圧

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.3 液体による動圧

1.3.1

任意のタンクあるいは区画において均一な密度 ρ_L を有する液体が満載状態にあるとし、かつ、そのタンク壁が剛体であるとする、液体による動圧 P_{ld} (kN/m²)は、次式により与えられる。

$$P_{ld} = f_{\beta} f_{ca} \rho_L [a_z (z_0 - z) + f_{ull,t} a_x (x_0 - x) + f_{ull,b} a_y (y_0 - y)]$$

アレージ空間を考慮した修正係数 $f_{ull,t}$ 及び $f_{ull,b}$ は、CSR-OT (July 2010) によるものである。この係数は、貨物タンクの充填率が実際には通常98%以下となるものの、規則算式は、完全に充填されていることを想定して開発された経緯を考慮したものである。そのため、このアレージ空間を考慮した修正係数は、充填率98%と100%におけるタンク側壁の圧力差を表している。

加速度成分(a_x, a_y, a_z)は、タンク中心位置 $G(x_G, y_G, z_G)$ における値である。また、基準点 $O(x_0, y_0, z_0)$ は、 V_j の値が最大になる点である。 V_j の値は、次式により、タンク及びバラストホールドの上部境界を定義するすべての点において計算される。

$$V_j = a_x (x_j - x_G) + a_y (y_j - y_G) + (a_z + g) (z_j - z_G)$$

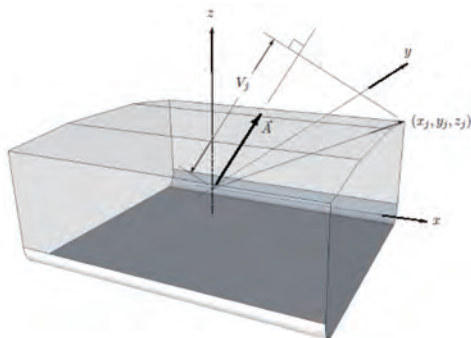


図1 基準点におけるx座標、 x_0 の定義

V_j は、重心位置から始まる位置ベクトルの、合加速度ベクトルへの射影となる。

$$A = A (a_x, a_y, a_z + g)$$

つまり、基準点 $O(x_0, y_0, z_0)$ は、以下の算式で定義されるべきである。

$$O = P_j, \text{ for } \max(V_j, j=1, 2, 3, \dots)$$

ここで、 P_j は、 $P_j(x_j, y_j, z_j)$ を有するタンク境界上のj番目の点である。

原則として、タンク境界にある交点や頂点のようなすべての点は、 P_j として考慮される必要がある。すべての例を網羅できていないが、具体的な例として、下図を示す。

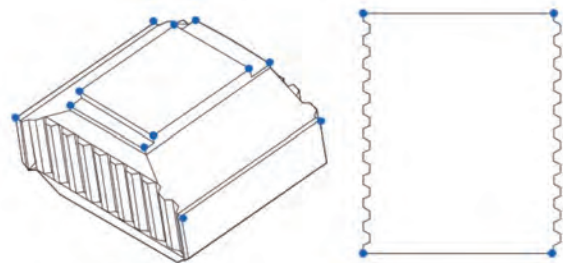


図2 ばら積み貨物船の貨物倉

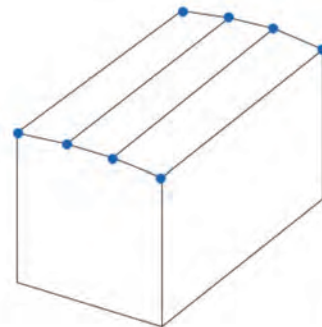


図3 キャンバーを考慮した場合のタンカーの貨物タンク

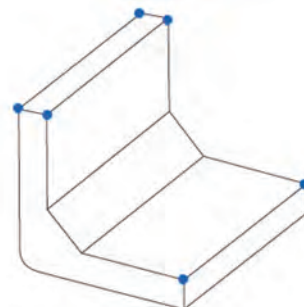


図4 バラストタンク

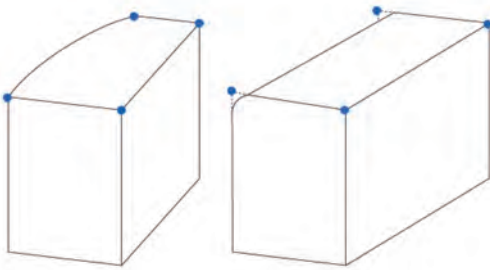


図5 湾曲部分を有する平面及び側面

1.4 浸水状態における静圧

1.4.1 浸水区画における静圧

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.5 浸水状態における動圧

1.5.1 浸水区画における動圧

1.3.1によること。

2. ばら積貨物による圧力及び力

2.1 適用

2.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2 貨物倉の定義

2.2.1 形状特性

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2.2 満載及び部分積付の貨物倉

ばら積貨物による圧力の計算において、貨物倉構造
評価において想定する積付パターンに依存した貨物
倉の充填率を定義することは重要である。これらの
積付パターンは、規則4章8節に定義されている。し
かしながら、圧力計算用に関連するパラメータは本
節において定義されている。ここでは、2種類の積載
状態を考慮している。

- ・ 貨物がハッチコーミング上端まで満載されたた
れた状態
- ・ 貨物が部分積付けされた状態

2.3 乾貨物の特性

2.3.1 満載の貨物倉におけるばら積貨物の上面の定 義

ばら積貨物をハッチコーミング上端まで積載する
場合、貨物と壁面間の摩擦影響を考慮し、実用性と
安全性への配慮から、トップサイドタンクを無視し
て貨物上面を定義する。

積載された貨物の表面高さ (h_c 、内底板から仮定さ
れたばら積貨物の上面までの垂直距離) は、その積
載された貨物を、考慮する貨物倉における船側外板
又は縦通隔壁間の幅と同じ幅を有する空間で積載し

た状態を想定し、定義される。

2.3.2 部分積付の貨物倉におけるばら積貨物の上面 の定義

密度の大きいばら積貨物が貨物倉に積載される場
合、貨物の上面が上甲板の位置まで達しないことが
ある。貨物による内底板に加わる貨物圧力を安全側
に設定するため、貨物の容積及び質量 (M) は変わら
ないと規定すべきである。また、貨物の上面は、船
体中心線上に $B_H/2$ (B_H は、貨物倉の平均幅) の幅の
水平面を有し、かつ、船側に安息角の半分 ($\Psi/2$) と
等しい傾斜部を有する貨物形状であるとして、貨物
表面高さ (h_c) が設定されている。

2.3.3 質量及び密度

IACS統一規則S25 (失効済み) に基づいた、CSR-
BC (July 2010) Ch 4, Sec 7の要件について更に検討
したところ、最大貨物密度のみを考慮した場合、降
伏強度、浸水状態 (IACS統一規則S18 (Rev.8, May
2010) による。) 及び疲労強度の基準として最も厳し
い状態が考慮できない可能性があることが明らかと
なった。貨物倉あるいは横隔壁の上部において、こ
の現象は顕著となる。

従って、強度評価において、満載状態に対応する貨物
倉の最小貨物密度は、CSR-BC (July 2010), Ch 4, Sec 7,
2.1.2における均等積状態及び3.4.2における隔倉積状
態に整合するよう、考慮するべきである。

このことは、降伏強度と浸水状態の評価において、
BC-A船とBC-B船は、均等積状態に対し二種類の積付
状態が考慮されるべきであり、また、BC-A船につい
ては隔倉積状態が考慮されるべきであることを意味
する。

均等積状態におけるBC-A船とBC-B船に対し、

- ・ 最大貨物密度を有する積付状態
- ・ 貨物倉が満載する場合に対応する最小貨物密度
を有する積付状態

隔倉状態に積載されるBC-A船に対し、

- ・ 最大貨物密度を有する積付状態
- ・ 貨物倉が満載する場合に対応する最小貨物密度
を有する積付状態

疲労評価用の圧力計算に用いる積付状態として、
CSR-BC (July 2010), Ch 4, App 3の表1と表2に定義
されている有限要素解析と同じ状態を考慮する。

2.3.4 有限要素解析の適用

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.4 ばら積貨物による圧力

2.4.1 全圧

静圧と動圧の合計は、 h_c で与えられる貨物表面高さ
より上にある貨物倉境界すべての荷重を負荷する点

において零となるべきである。

2.4.2 静圧

静圧は、貨物表面の高さと係数 K_0 及び係数 K_c ($K_c = \cos 2\alpha + K_0 \sin 2\alpha$) に依存する。 K_c は、斜板の角度をパラメータとし、見かけ上の静圧を与えるための係数である。

静圧を推定するための傾斜壁に適用する本係数 K_c は、実験結果と比較検討されている。Jaky式による静圧とRankine式による静圧の比較を、実験結果と共に下図に示す。Jaky式を用いた係数 K_c が最も実験結果と一致しており、安全側の値を与えるためにJaky式による K_c を採用した。更に、ばら積貨物による圧力を正確に推定するため、貨物間に生じる摩擦の影響を考慮した上で、ばら積貨物表面形状に修正を与える方法を開発した。

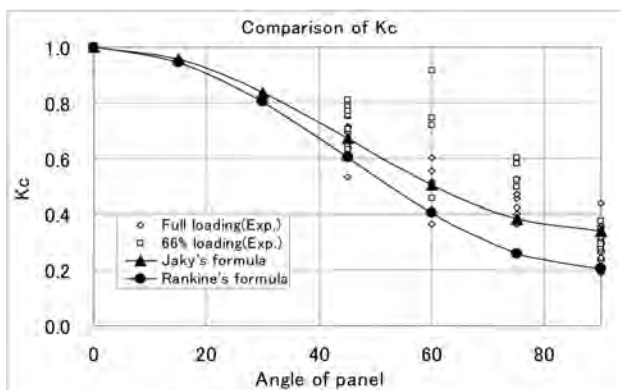


図6 パネルの角度に対する K_c の値の比較

2.4.3 動圧

粒状貨物の慣性力による動圧は、貨物上表面の高さ、 K_c 及び規則4章3節3.2に定義される区画(貨物倉)重心位置の縦、横及び垂直方向加速度に依存する。(加速度については、規則4章2節にて各荷重ケースに対応した値が定義されている。)

実験結果に基づき、縦揺れ又は横揺れの傾斜により生じる乾貨物の動圧は、 ρgh (又は、 $\rho g\varphi$) に貨物倉重心位置から荷重付与位置までの距離及び修正係数 $C_{\theta\varphi}$ を乗じることより近似的に推定できる。ここに、 θ と φ は、それぞれ、縦揺角及び横揺角である。また、修正係数 $C_{\theta\varphi}$ は、実験結果に基づき0.25とする。

2.5 せん断荷重

2.5.1 適用

直接強度計算において、有限要素モデルにかかる全体の圧力や荷重が縦、横、垂直方向で釣り合うよう、せん断荷重を考慮する。本節に規定するせん断荷重は、直接構造解析のためだけに考慮される荷重である。

2.5.2 ホッパタンク及び下部スツールの板材における静的せん断荷重

直接強度計算の際、有限要素モデルの垂直方向にかかる内圧や荷重(重力及び垂直方向加速度による慣性力)が全体で釣り合うよう、規則4章6節2.4.2に規定する算式による静圧に加え、規則4章6節2.5.2に規定する算式によるせん断荷重を考慮しなければならない。

2.5.3 ホッパタンク及び下部スツールの板材における動的せん断荷重

直接強度計算の際、有限要素モデルの垂直方向にかかる内圧や荷重(重力及び垂直方向加速度による慣性力)が全体で釣り合うよう、規則4章6節2.4.2に規定する算式による動圧に加え、規則4章6節2.5.2に規定する算式によるせん断荷重を考慮しなければならない。

2.5.4 有限要素解析のための内底板に沿った動的せん断荷重

縦方向及び横方向の加速度による慣性力は、基本的には2.5.2及び2.5.3と同じ理由により、縦方向及び横方向にしか生じない。従って、有限要素モデルの縦方向及び横方向に対する全体的な荷重(加速度による慣性荷重)の釣り合いを考慮するために、せん断荷重を内底板に付与する。

3. 浸水状態におけるばら積貨物による圧力及び力

3.1 立て式波形水密横隔壁

3.1.1 適用

本規定は、IACS統一規則S18 (Rev.8, May 2010)によるものである。各貨物倉が個別に浸水した状態を考慮する。

3.1.2 一般

本規定は、IACS統一規則S18 (Rev.8, May 2010)に基づく。

3.1.3 浸水水位

3.1.2によること。

3.1.4 浸水パターン

3.1.2によること。

3.1.5 浸水状態における貨物倉の立て式波形横隔壁に作用する圧力及び力

3.1.2によること。

3.1.6 非浸水状態における貨物倉の立て式波形横隔壁に作用する圧力及び力

3.1.2によること。

3.1.7 浸水状態における貨物倉の立て式波形横隔壁に作用する全圧及び合力

3.1.2によること。

3.2 浸水状態時におけるばら積貨物船の貨物区域内の二重底

3.2.1 適用

本規定は、IACS統一規則S20 (Rev.5, May 2010)に基づく。各貨物倉が個別に浸水した状態を考慮する。

3.2.2 一般

本規定は、IACS統一規則S20 (Rev.5, May 2010)の規則に基づく。

3.2.3 浸水水位

3.2.2によること。

4. ばら積貨物船の貨物倉内におけるスチールコイルによる荷重

4.1 一般

4.1.1 適用

スチールコイルによる荷重は、CSR-BC (July, 2010)の規定に従い定義されている。CSR-BCの算式から、物理的な特徴をより詳細に考慮しつつも、同等な結果を示すよう修正されている。スチールコイル荷重に関する追加情報は、TB Report “TB Rep Pt1 Ch04 Sec06 Steel coil loads”に記載されている。

4.1.2 スチールコイルの内底板上の積付け

スチールコイルは内底板及びビルジホップ斜板上に設置された木製の土台（ダンネージ）の上に積付けられるため、スチールコイルによる荷重は、ダンネージを通じて集中荷重として板部材に作用する。

しかしながら、集中荷重の作用点及び集中荷重間の距離は、積付パターンやダンネージの大きさに依存する。そのため、これらの集中荷重が最も厳しく作用するような荷重の作用点及び作用点間の距離を考え、その際の荷重を短い幅を持つ分布荷重（以下、「矩形荷重」という。）に変換することとした。

本仮定に基づき、荷重が均一に分布する場合の規則算式と分けて、スチールコイルの荷重を受ける板部材や防撓材の配置に関する規則算式が導入された。また、通常、スチールコイルはスチールワイヤによって相互に固縛される。スチールコイルの重量が大きい場合は1段又は2段に積付けられるが、重量が小さい場合は2段以上に積付けられる。スチールコイルの積付けの例を図7及び図8に示す。

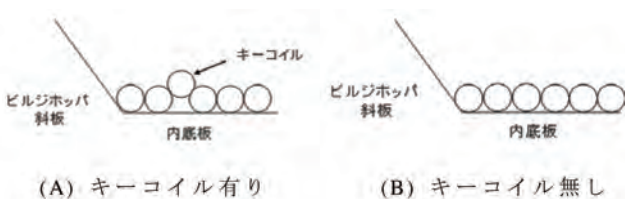


図7 1段積みの場合

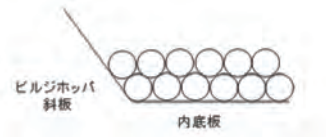


図8 2段積みの場合

スチールコイルによる荷重は、ダンネージを通じて集中荷重として基本板パネルに作用する。しかしながら、集中荷重の作用点及び集中荷重間の距離は積付パターン及びダンネージの大きさに依存するため、集中荷重を直接的に評価することは困難である。そのため、スチールコイルの荷重に対して以下の仮定を考慮する。

1. スチールコイルによる荷重は、板パネルの中心線に沿って作用する。
2. 集中荷重間の相互作用を考慮し、安全側の評価となるよう、集中荷重の代わりに矩形荷重を用いる。

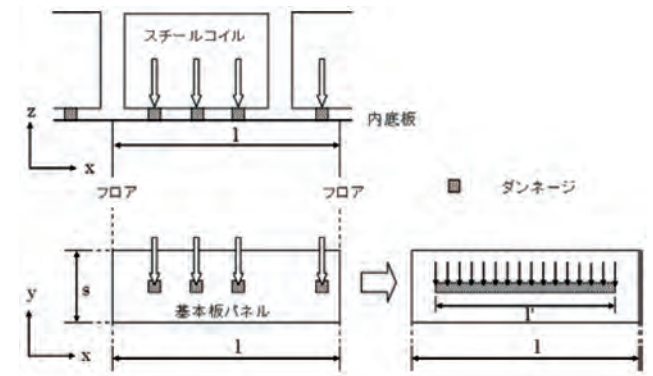


図9 集中荷重から矩形荷重への変換

荷重が内底板に垂直に作用するときに最も厳しい状態となるため、内底板構造の寸法算式において垂直方向加速度を考慮する。

4.1.3 フロアの位置を考慮しないスチールコイルの内底板上の積付け

基本板パネルあたりの荷重作用点の個数は、CSR-BC (July 2010)に従って定義されている。

4.1.4 フロア間のスチールコイルの積付け

基本板パネルあたりの荷重作用点の個数及び最も外側に位置する荷重作用点間の距離は、CSR-BC (July 2010)に従って定義されている。

4.1.5 スチールコイル貨物の重心

実際の積付状態における重心位置が得られる場合、速度の位置を計算する際にその実際の値を使用した方が好ましい。実際の重心位置が不明である場合、次式により算定する。

$$x: 0.5\ell_H$$

$$y: \varepsilon B_h/4 \text{ (中心線から測る)}$$

$$z: h_{DB} + \left(1 + (n-1)\sqrt{3}/2\right) d_{sc}/2$$

ここで、

$$\ell_H: \text{貨物倉の長さ (m)}$$

$$d_{sc}: \text{スチールコイルの直径 (m)}$$

$$h_{DB}: \text{二重底の高さ (m)}$$

$$B_h: \text{貨物倉の中心における幅 (m)}$$

$$\varepsilon: 1.0 \text{ (左舷の部材の場合)}$$

$$-1.0 \text{ (右舷の部材の場合)}$$

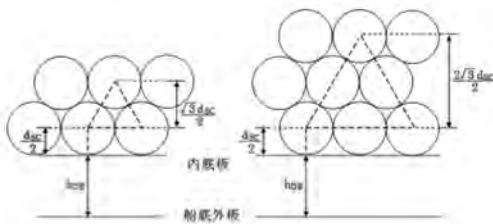


図10 スチールコイルの高さ

4.2 合計荷重

4.2.1 内甲板に作用する合計荷重

スチールコイル貨物により内甲板に作用する合計荷重は、個々の荷重組合せ係数により重み付けされた静的荷重及び動的荷重に分解される。

4.2.2 ホッパ斜板に作用するスチールコイル貨物による合計荷重

スチールコイルによりホッパ斜面に作用する合計荷重は、個々の荷重組合せ係数により重み付けされた静的荷重及び動的荷重に分解される。

4.3 静的荷重

4.3.1 内甲板に作用する静的荷重

内甲板に作用する静的荷重は、CSR-BC (July 2010) に従い定義されるスチールコイルの等価質量に対し、重力加速度を考慮して求められる。

4.3.2 ホッパ斜板に作用する静的荷重

ホッパ斜板に作用する動的荷重は、CSR-BC (July 2010) に従い定義されるスチールコイルの等価質量に対し、重力加速度を考慮して求められる。

4.4 動的荷重

4.4.1 ロールによる接線方向の加速度

ロールによる接線方向の加速度はCSR-BC (July 2010) に従い定義される。

4.4.2 内甲板に作用する動的荷重

内甲板に作用する動的荷重は、CSR-BC (July 2010) に従い定義されるスチールコイルの等価質量に対し、船の加速度を考慮して求められる。

4.4.3 ホッパ斜板に作用する動的荷重

ホッパ斜板に作用する動的荷重は、CSR-BC (July 2010) に従い定義されるスチールコイルの等価質量に対し、船の加速度を考慮して求められる。

5. 暴露していない甲板及びプラットホームに作用する荷重

5.1 適用

5.1.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

5.2 分布貨物による圧力

5.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

5.3 単位貨物による集中荷重

5.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

6. タンク内のスロッシング圧力

6.1 一般

スロッシング圧力は、CSR-OT (July 2010) (DNV 規則 (January 2010), Pt 3, Ch 1, Sec 4に基づく。) に従い定義された。

6.1.1 適用

スロッシング圧力は船体の動揺によりタンク内の液体が動くことにより作用する圧力であり、タンク容積が大きい場合にのみ適用される。

6.1.2

スロッシング圧力は、タンクが $b_{slh} \leq 0.56B$ のタンク有効幅又は $l_{slh} \leq 0.13L_{CSR}$ のタンク有効長さを有するときに考慮される。MARPOL条約（その後の改正を含む。）の要件により、タンクの有効長さが $0.13L_{CSR}$ 以上となる油タンカーはほとんどなくなった。また、復原性要件により、大きな船はその全幅に及ぶ貨物タンクを有することができない。全幅に及ぶ船首部バラスタタンクについては、一般的に、有効なスロッシング幅を減らすために、非常に多くの内部防撓材やウェブが配置される。こうした背景により、規則では、そのようなタンクに対してスロッシング荷重を統一的にまとめることはされていない。

6.1.3 タンク境界及び内部の仕切りに作用するスロッシング圧力

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

6.2 最小スロッシング圧力

6.2.1

すべての内部構造がタンク内の液体運動により生じる圧力に耐えられるように、最小スロッシング圧

力 $P_{sth-min}$ が規定されている。

6.3 縦方向の液体動揺によるスロッシング圧力

6.3.1 適用

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

6.3.2 有効スロッシング長さ

横水密隔壁と横制水隔壁は、それぞれ有効スロッシング長さが違うため、作用するスロッシング圧力が異なる。スロッシング圧力の算式において、タンク内の流体運動を抑制する横桁部材や横制水隔壁が考慮されており、これにより有効スロッシング長さが減少することとなる。

6.3.3 横隔壁に作用するスロッシング圧力

係数 f_{sth} は、水位が $0.7h_{max}$ のときスロッシング圧力の計算値が最大になるという事実に基づいている。これは、横制水隔壁や横方向の支柱などがなく、つまり、垂直方向のウェブ材のみが配置されているタンクにおけるものである。支柱やクロスタイがあるタンクの場合、最大のスロッシング圧力は、一般に、 $0.7h_{max}$ と $0.8h_{max}$ の間の水位で最大になるといえる。

6.3.4 横隔壁に隣接する横桁又は横ストリングに作用するスロッシング圧力

縦方向の流体運動によるスロッシング圧力もまた、横水密隔壁又は、横制水隔壁から離れた内部の横桁に作用するものと仮定している。この圧力は考慮している横隔壁から液体が反射することにより生じ、結果的に横隔壁に直接作用する圧力よりも小さくなる。評価対象の部材が隔壁に近いほど、圧力は大きくなる。横桁や横ストリングに対するスロッシング圧力の分布は、自由端側での圧力増大の可能性が限られていることから、自由端に近づくにつれ減少するよう規定している。

6.4 横方向の液体動揺によるスロッシング圧力

6.4.1 適用

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

6.4.2 有効スロッシング幅

スロッシング圧力の算式は、内部縦桁及び縦通制水隔壁がタンク内の流体運動を減らす効果を考慮している。貨物タンクのスロッシング幅は、タンクの幅と基本的に等しい。減少させたスロッシング幅は、主に最後部及び最前部におけるバラスタタンクのスロッシングを評価するために用いられる。

6.4.3 縦通隔壁に作用するスロッシング圧力

タンク側壁、縦通隔壁及び縦通制水隔壁のスロッシング幅はそれぞれ異なるので、作用するスロッシング圧力も異なる。この理由により、縦通制水隔壁近傍のスロッシング圧力は、水密隔壁に作用する圧

力よりも小さくなる。

6.4.4 縦通隔壁に隣接するガーダ又は縦通ストリングに作用するスロッシング圧力

横方向の流体運動によるスロッシング圧力もまた、縦通水密隔壁又は縦通制水隔壁から離れた内部縦桁に作用するものと仮定している。この圧力は、考慮している縦通隔壁から液体が反射することにより生じ、縦通隔壁に作用する値よりも小さい値を示す。評価対象となる部材が縦通隔壁から離れるほど、圧力は小さくなる。ガーダやストリングに作用するスロッシング圧力分布は、自由端側での圧力増大の可能性が限られていることから、自由端に近づくにつれ減少するよう規定している。

7. 水圧試験時の設計圧力

7.1 定義

7.1.1

水圧試験が要求される板部材及び防撓材の局部強度評価を行う場合は、静水圧を水圧試験時の水頭、構造部材の区画及び配置により算定する。

7節 設計荷重シナリオ

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.1.2

強度評価における設計荷重の組合せは、 S (静的) 荷重又は $S+D$ (静的+動的) 荷重で構成される。設計荷重シナリオのうち、事故浸水に対しては、事故を意味する略文字“ A ”を付ける。また、衝撃荷重 (I) とスロッシング荷重 (SI) に関連して、考慮すべき追加の設計荷重組合せがいくつかある。

疲労評価においては、設計荷重組合せに対して疲労を意味する略文字“ F ”を付け、 $S+D$ を考慮する。疲労評価において、動的荷重は応力範囲を算定するために用いられ、静的荷重は平均応力を算定し、平均応力影響による修正係数を得るために用いられる。静的荷重と動的荷重を同時に考慮する必要はない。

2. 強度評価に用いる設計荷重シナリオ

2.1 主要な設計荷重シナリオ

2.1.1

港内及び閉閑された水域における設計荷重シナリオに対して、異なる評価基準が適用されているので、 S 及び $S+D$ の設計荷重組合せが考慮される。また、事故浸水状態に対して、 S 及び $S+D$ 荷重による評価がなされる。

2.2 追加の設計荷重シナリオ

2.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3. 疲労評価に用いる設計荷重シナリオ

3.1 設計荷重シナリオ

3.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

8節 積付状態

1. 適用

1.1 長さ L_{CSR} が 150m 以上の船舶

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.1.2 強度評価に用いる設計積付状態

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.1.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.1.5 疲労評価に用いる標準設計積付状態

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.2 長さ L_{CSR} が 150m 未満のばら積貨物船

1.2.1

本規定は CSR-BC (July 2010) に基づく。

1.3 動的荷重ケース

1.3.1 航海状態

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.3.2 横波及び斜波における動的荷重ケース

本規定は2つの手法があることを意図しているもの
ではない。船体中心線に対して構造及び荷重が左右
対称であることから、左右の結果は完全に等価であ
ることがいえる。つまり、下記 a), b) について、降伏
及び座屈の結果が完全に等価であることがいえる。

- a) 左舷及び右舷に対する横波及び斜波の動的荷重
ケースがモデルに直接付与される。
- b) 左舷（名称に P が付いているもの）に対する横波
及び斜波の動的荷重ケースのみが有限要素モデル
に付与され、その荷重ケースの結果を船体中心
線に対して対称とする。

構造は左右対称だが、積付状態が非対称になる場

合については、3.2.5による。

2. 共通の設計積付状態

2.1 定義

2.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.1.2 出港状態

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.1.3 入港状態

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2 部分漲水とするバラストタンク

2.2.1 バラスト状態に部分漲水するバラストタンク

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2.2 貨物積載状態において部分漲水とするバラス トタンク

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.3 航海状態

2.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.4 港内及び閉鎖された水域における状態

2.4.1

港内及び閉鎖された水域において、せん断力及び
許容曲げモーメントの許容値を満足する状態でなけ
ればならない。従って、ローディングマニュアルに
以下の状態を含まなければならない。

- a) 貨物の典型的な荷役作業時の状態
- b) 入渠直前の状態
- c) プロペラ検査時の状態

2.5 積付状態

2.5.1 代替設計

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3. 油タンカー

3.1 油タンカー特有の設計積付状態

3.1.1 航海状態

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.2 追加の積付状態

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.2 直接強度解析に用いる設計荷重の組合せ

3.2.1

有限要素解析に用いる荷重組合せは、CSR-OTの要

件を採用しており、以下の内容に基づいている。

- (a) 有限要素解析に用いる荷重組合せは、規則4章8節の表2から表9までに定義されている積付パターンと4章2節に定義されている動的荷重ケースによる。各積付パターンに対応する動的荷重ケースは、規則の表2から表9において、動的荷重ケースの列に示されている。
- (b) 標準的な有限要素解析では、運航上予想される典型的な積付状態をすべてカバーするような積付パターン、船の喫水、静水中曲げモーメントと静水中せん断力を考慮する。そのため、以下の項目を明記する。
- ・ 航海状態における部分積付状態に対し、構造用喫水の90%に等しい最大喫水と構造用喫水の60%に等しい最小喫水
 - ・ 2列の縦通隔壁を有する油タンカーにおいて、港内及び水圧試験状態に対して構造用喫水と等しい最大喫水と構造用喫水の25%に等しい最小喫水
 - ・ 船体中心線に1列の縦通隔壁を有する油タンカーにおいて、港内及び水圧試験状態に対して構造用喫水と等しい最大喫水と構造用喫水の33.3%に等しい最小喫水
 - ・ ローディングマニュアルに記載されている、航海状態及び港内状態における静水中曲げモーメントと静水中せん断力
- (c) 航海状態において考慮される喫水は、通常の利用において生じる部分積付状態に対して、適切な柔軟性を与えるように設定されるべきである。1つ以上の貨物倉が空倉になる場合、船長が意図的にいくつかのバラストタンクを満たし喫水を増やさない限り、喫水が構造用喫水となることはまず生じない。従って、1つ以上の貨物倉が空になる部分積付状態であって、喫水が構造用喫水となる条件を設計要件とする必要性がない。代わりに、構造用喫水の90%と等しい最大喫水を条件とする。航海状態の部分積付状態における最小喫水は、構造用喫水の60%とする。
- (d) 港内及び水圧試験状態の荷重ケースにおいて、喫水が小さい条件が二重底構造に対し支配的になり得る。解析に用いられる最小喫水は、タンク配置 (b)を参照) を加味し、積付パターンによってあり得る最小の喫水に基づく。港内状態及び水圧試験状態で用いられる最小喫水は、これらの運用時における柔軟性を向上させるため、航海状態の最小喫水より小さい値であることに留意すべきである。港内状態における許容静水中曲げモーメントと静水中せん断力に対する船

体構造強度も、喫水が小さい場合と構造用喫水を用いて評価を行う。

- (e) 貨物倉が空倉状態であって喫水が大きい状態は、船底外板が受ける上向きの静的及び動的な水圧を相殺する方向に作用する内圧が存在しないため、船底構造に対して厳しい状態となる。船側タンクが空倉状態であって喫水が大きい場合、船側に静的及び動的な水圧を相殺する力が小さいため、船側及び横構造は横波中に対して厳しい状態に置かれる。同様に、タンクが満載状態であって喫水が小さい場合も、下向きの静的及び動的の荷重を相殺する方向に作用する外圧が小さいことから、船底構造に対して厳しい状態となる。船側タンクが満載であって喫水が小さい場合も、船側において内圧を相殺する外圧が小さいため、船側及び横構造に厳しい荷重が作用することになる。このことから、部分積付状態において要求される喫水が、標準的な有限要素解析に用いる最大喫水より大きくなる、又は最小喫水より小さくなる場合、その喫水を明記し、当該喫水条件を有限要素解析に含まなければならない。
- (f) 3.2.6によること。
- (g) 満載状態とノーマルバラスト状態は、有限要素解析では扱わない積付パターンである。これらの積付状態、つまり、深い喫水に対して貨物タンクが満載となる状態及び浅い喫水に対して空の貨物タンクとなる状態は、二重船殻構造に作用する荷重差が小さく、主要支持部材に対して厳しい荷重とならないためである。一方で、満載状態及びノーマルバラスト状態は、ハルガーダ曲げ強度に対して重要なコンディションであり、規則1編5章において適切な評価がなされることとなる。
- (h) 標準的な有限要素解析における荷重組合せでカバーできない運航状態を必要とする場合、その追加の積付状態を明記し、有限要素解析の条件に含める必要がある。
- (i) 有限要素解析の条件として、船体の主要支持部材 (つまり、フレームとガーダの格子構造) にとって最も厳しい静的な圧力、局部せん断力と曲げモーメントが生じるような積付パターンが選ばれている。選択された積付パターンは、起こり得るすべての部分積付状態で構成されている。構造に働く荷重が最大となるものを抽出できるように、前後左右の隣接貨物倉が満載状態あるいは空状態となる多種多様な組合せを与えている。

- (j) 解析に用いる積付パターンにおいて、船長方向に3タンクを有する有限要素モデルに対する積荷及びバラストの分布が定義されている。船体のモデル化範囲外にかかる荷重を考慮していないため、有限要素モデルに付与する荷重によって求まる静水中曲げモーメントで評価することは非安全側になり得る。このため、航海及び港内状態における有限要素解析の荷重組合せにおいて、対応する状態の許容静水中ハルガーダ曲げモーメントが用いられる。
- (k) 横一列すべての貨物倉が空の状態（かつ隣接する貨物倉の横一列すべてが満載状態）又は横一列すべての貨物倉が満載状態（かつ隣接する貨物倉の横一列すべてが空倉状態）のいずれかの積付状態において、ハルガーダ静水中せん断力が最も厳しくなるものとなる。一方で、これ以外の部分積付状態により生じるハルガーダ静水中せん断力は相対的に小さい値を示す。ハルガーダせん断力に対する船体強度を評価するために、有限要素解析に用いる積付パターンA3, A5, A11, A13, B3, B6, B8及びB11と最大波浪中せん断力を組合せることで、上述の横一列の満載状態と空倉状態が交互する積付状態の解析がなされる。航海状態の有限要素解析に用いる荷重組合せにおいて、許容静水中せん断力と最大波浪中せん断力のターゲット値に至るように、また、港内及び水圧試験状態の有限要素

解析に用いる荷重組合せにおいて、許容静水中せん断力のターゲット値に至るように、必要に応じて、せん断力修正をする必要がある。ハルガーダせん断力のターゲット値を得るために、有限要素解析に用いる積付パターンと喫水を注視しながら微修正を行うことが必要となる。これ以外の積付状態におけるハルガーダせん断力は小さいことから、許容値以上の値が生じない限りはせん断力修正を行うことは要しない。

- (l) 3.2.7による。
- (m) 有限要素解析に用いる荷重組合せ（つまり、航海状態に対する静的及び動的荷重の組合せと港内状態に対する静的荷重）は、考慮する積付パターンに対し、全体及び局部荷重の最も厳しい組合せを作るものとなっている。
- (n) 動的荷重ケースと積付パターンの組合せは、以下の一般的な概念に基づく。
 - ・ 同符号のハルガーダ曲げモーメントとせん断力となる動的荷重ケースと静的積付パターンを組合せることより、ハルガーダ荷重が最大となる。
 - ・ 構造部材が受ける内外圧差及び隣接構造に作用する荷重の影響を考慮しながら、積付パターンに対して適切な動的荷重ケースを組合せることにより、主要支持部材に作用する荷重差を最大化する。局部荷重差が最大化される基本原則を表1に示す。

表1 ネット局部圧力が最大となる条件

	積付パターン	船の喫水	動的荷重
内部にある水密隔壁	タンクが満載でかつ隣接するタンクが空である場合	NA	満載貨物倉において加速度により生じる最大荷重
二重底又は二重船側	空タンクの場合	深い静喫水	最大外水圧 (向波における波の山の状態、又は波上側の横波及び斜波)
二重底又は二重船側	満載タンクの場合	浅い静喫水	加速度により生じる最大内圧と最小外水圧 (向波における波の谷状態、又は波下側の横波状態)

- (o) 主要支持部材に作用する局部荷重により生じる応力とハルガーダ荷重による応力が重畳し最大となるように、ハルガーダ荷重と局部荷重の組合せが与えられるべきである。例えば、ハルガーダのサギング状態が最大となる状態（つまり、規則1編4章2節に定義される動的荷重ケー

スHSM-1で、波の谷の状態による最大波浪中サギング曲げモーメントと最大サギング静水中曲げモーメントによる。）は、有限要素モデルの中央貨物倉で満載状態となる積付パターンと浅い喫水の組合せとなり、船底外板に最大引張応力が発生する状態である。

- (p) 同様に、ハルガーダのホギング状態が最大となる状態（つまり、規則1編4章2節に定義される動的荷重ケース *HSM-2* で、波の山の状態による最大波浪中ホギング曲げモーメントと最大ホギング静水中曲げモーメントによる。）は、有限要素モデルの中央貨物倉が空倉状態となる積付パターンと深い喫水の組合せとなり、船底外板に最大圧縮応力が発生する状態である。
- (q) 有限要素解析に用いる航海状態の荷重組合せに対し、部材によって厳しい動的荷重ケースが異なるため、1つの積付パターンに対して複数の動的荷重ケースを組合せることが必要となる場合がある。
- (r) 有限要素解析に用いる港内状態の荷重組合せに対し、静的荷重のみを適用する。有限要素解析を行う際に必要となる静水中曲げモーメントとせん断力は、港内状態の許容静水中曲げモーメントと許容静水中せん断力に基づく。
- (s) 積付パターン及び動的荷重ケースの組合せの数を最小限に抑えるために、様々な様式及びサイズの船について、検討が行われた。

上記(a)から(s)で述べた積付に関する原則から、各荷重組合せがどの主要支持部材に対して厳しい状態となるか目星を付けることができる。例えば、二重底、二重船側、船底外板などの多くのケースについては具体的な例が挙げられている。

しかしながら、解析に用いた船の設計上の違いも結果に影響を与えるため、有限要素解析に用いる荷重組合せと、その荷重が支配的になる限られた主要支持部材に結び付けることは、今回のように検討のサンプル数が少ない場合、演繹的に正しいとはいえない。船首尾部のホールドモデルに対する有限要素解析用荷重組合せは現在開発中である。

3.2.2

規則1編4章8節の表2から表9に示されるAタイプとBタイプの油タンカーに対する静水荷重の喫水の規定は、標準的な構造配置を有するタンカー、つまり、VLCC、スエズマックス アフラマックス及びプロダクトタンカーに要求される。これらの船に比べ貨物タンクが短い船（例えば、化学薬品や石油製品を運搬するタンカー）にとっては、標準的なタンカーに対する要求喫水以外が強度的に厳しい喫水となり得る。例えば、横一列すべての貨物タンクが空倉状態（かつ隣接貨物タンクが横一列で満載状態）に対して深い喫水、もしくは横一列すべての貨物タンクが満載状態（かつ隣接貨物タンクが横一列で空倉状態）に対して浅い喫水が挙げられる。別個の喫水要求は、船の長さで貨物タンク長さの比が、タイプAであれば0.15

未満、タイプBであれば0.11未満である油タンカーに適用する。

3.2.3

3.2.2によること。

3.2.4

3.2.1によること。

3.2.5 船体中心線に対して左右対称な構造を有する船舶

船体中心線に対し対称な構造を有し、規則1編4章8節表2のA7a, A12aに示されるような左右非対称となる積付がなされる場合、有限要素解析の結果（それぞれの荷重組合せ又は最悪のケースに対して、かつ、すべての要素に対して）が船体中心線に対して左右対称であることを条件に、船体中心線に関して対称となる積付パターン（この場合、A7bとA12b）を省略してもよい。

3.2.6 2列の縦通油密隔壁を有する油タンカー

2列の油密縦通隔壁を有する油タンカーで中央貨物倉にクロスタイを配置している船舶に対し、片側の船側貨物タンクが縦一列に満載（つまり、航海状態A7と港内状態A12）となる特殊な非対称積付パターンで、満載状態の船側タンクに生じる圧力により作用する中央タンク内のクロスタイからの「パンチング」荷重を受ける縦通隔壁と支持構造（空タンク付近）の強度評価を行う。航海状態において、この積付パターンは、満載状態の船側タンク近傍における縦通隔壁に作用する静的及び動的圧力の組合せが最大となるような条件を考慮するために横波中の動的荷重ケースと組合せる。

積付パターンA12は必ず実施されるべき条件であり、港内状態又は水圧試験状態において、対となる船側貨物倉内で貨物積載が不均一である場合の強度及び突発的な非対称な貨物積載状態の強度を評価するためのものである。積付パターンA7は必ずしも必須の条件ではなく、ローディングマニュアルに航海状態に対してそのような積付パターンが含まれている場合にのみ、パターンA7を解析する必要がある。従って、GM及びkの値はローディングマニュアルに記載されている当該状態の値が使用される。これらの値がローディングマニュアルに記載されていない場合に限り、規則1編4章3節の表1及び表2の値を使用する。

これら非対称積付パターンは、中央タンクにクロスタイを配置しない船舶の縦通隔壁及び支持構造に対して支配的になるものではない。このことから、これらの積付パターンは、中央タンクにクロスタイを配置しない船において解析する必要がない。

3.2.7

2列の油密縦通隔壁（VLCCにおいて標準的な設計）

を有する油タンカーについて、横一列すべての貨物倉が空倉状態（かつ隣接する貨物倉は横一列すべてにおいて満載状態）を有する積付状態は、設計で必ずしも考慮されない。この積付状態と深い喫水の組合せによる静水中せん断力は、他の積付状態より大きい値を示すことから、この条件を考慮した場合、船側外板、内殻、ボトムガーダ、ホップ斜板及び縦通隔壁に対して補強の必要性が生じるだろう。しかしながら、この設計荷重において、喫水を深くすることを必須条件として含める必要はないと考えられ、浅い喫水が強制要件とされている。代わりに、要求されるハルガーダせん断力に対する船体強度を評価するために、積付パターンA3, A5, A11及びA13に対して、さらに浅い喫水の状態が用いられる。

しかしながら、横一列すべての貨物倉が空倉状態（かつ隣接貨物倉が横一列に満載状態）の積付状態におけるローディングマニュアル上の最大喫水（航海及び港内状態）が積付パターンA3とA13に対応する喫水より大きい場合、そのローディングマニュアルにおける喫水を用いて有限要素解析を行い、港内及び航海状態における最小（負で最大となる。）ハルガーダせん断力に対する船体強度の評価を行うべきである。

同様に、横一列すべての貨物倉が満載状態（かつ隣接貨物倉が横一列に空倉状態）の積付状態が運航上要求されており、ローディングマニュアルに記載される当該状態の最小喫水（航海及び港内状態）が積付パターンA5とA11に対応する喫水より小さい場合、そのローディングマニュアルにおける喫水を用いて有限要素解析を行い、航海及び港内状態における最大ハルガーダせん断力に対する船体強度の評価を行うべきである。

CSR-OT (July 2010) に規定される有限要素解析に用いる積付パターンA3, A5, A11及びA13の設計用喫水は、本規則において調整され、以下となった。

- ・ 横一列すべての貨物倉が空倉状態 (A3, A11) である場合の現実的な最大喫水
- ・ 横一列すべての貨物倉が満載状態 (A5, A13) である場合の現実的な最小喫水

設計に用いる喫水は、通常の航海状態及び港内状態におけるオペレーションにおいて、部分積付状態に対して適度な柔軟性を有するように考慮されている。

3.2.8

3.2.7によること。

3.2.9

3.2.1(c)によること。

3.2.10 バラスト状態

ローディングマニュアルに明記されている場合のみ、非常時及び荒天時のバラスト状態に対する有限要

素解析を行う必要がある。ローディングマニュアルに記載された実際の積付パターンが積付パターンB7と異なる場合、ローディングマニュアルに記載された実際の積付パターンに則して有限要素解析を行う必要がある。（例として、バラスト漲水された貨物タンクに隣接するバラストタンクに漲水されていない場合、貨物タンクにバラスト漲水がされておりかつ非対称な積付がなされている場合が挙げられる。）非対称な積付状態に必要とされる追加の強度評価については、各船級協会により判断される。

4. ばら積貨物船

4.1 ばら積貨物船特有の設計積付状態

本要件において、船級符号への付記の割り当て及び対応する設計条件を船級間で統一したことにより、貨物積載能力に関する透明性を改善した。ばら積貨物船は、ローディングマニュアルで定義された縦曲げ及び局部強度による制約、搭載している揚荷設備による制約及び復原性要件による制約が生じない限りは、ローディングマニュアルに記載された設計積付状態と異なる積付がなされる可能性がある。

4.1.1 航海状態

本規則は、CSR-BC (July 2010) 及びIACS統一規則S25 (失効済み) に基づく。

4.1.2 BC-C船の積付状態

4.1.1によること。

4.1.3 BC-B船の積付状態

最も厳しい状態を反映するため、船舶への適用が許容される最大貨物密度が $3.0t/m^3$ と異なる場合、許容される最大密度の貨物を均等に積んだ積付状態を考慮する必要がある。

4.1.4 BC-A船の積付状態

最も厳しい状態を反映するため、船舶への適用が許容される最大貨物密度が $3.0t/m^3$ と異なる場合、許容される最大密度の貨物による隔倉積状態を考慮する必要がある。

4.1.5 追加のバラスト状態

4.1.1によること。

4.1.6 スチールコイル又は重量物

4.1.1によること。

4.2 直接強度解析に用いる設計荷重組合せ

4.2.1 一般要件

本規則は、CSR-BC (July 2010) 及びIACS統一規則S25 (失効済み) より採用された。

4.2.2 多港積荷・揚荷状態

4.2.1によること。

4.2.3 隔倉積状態

4.2.1によること。

4.2.4 ヘビーバラスト状態

4.2.1によること。

4.2.5 すべてのばら積み貨物船の港内状態での追加の積付状態

4.2.1によること。

4.2.6 直接強度解析に用いる設計荷重の組み合わせ

直接強度解析において考慮すべき積付パターンは、船のタイプ (符号) により分類され、規則4章8節の表10にまとめられている。

4.2.7

直接強度解析に用いる設計荷重組合せは CSR-BC の規定によるものであり、以下の内容に基づいている。

- (a) 荷重組合せは、規則1編4章8節の表12から表21までに定義されている積付パターンと規則1編4章2節に定義されている動的荷重ケースの組合せによる。各積付パターンに対応する動的荷重ケースは、規則1編4章8節の表12から表21において動的荷重ケースの列に記載されている。
- (b) 標準的な有限要素解析では、運航上予想される典型的な積付状態のすべてをカバーするように積付パターン、船の喫水、静水中曲げモーメント及び静水中せん断力を考慮する。そのため、以下の項目を明記する。
 - ・ 規則1編4章4節における最小要件を満たし、かつローディングマニュアルに記載されている航海及び港内状態のハルガーダ静水中曲げモーメントとせん断力を用いる。しかし、通常は生じないような静水中曲げモーメントは考慮しなくてもよい。更に、均等積付状態における静水中曲げモーメントは、許容値の50%の値とする。
 - ・ 構造用喫水の100%と等しい最大喫水及び最も深いバラスト喫水と等しい最小喫水
- (c) 航海状態の喫水は、多港積荷及び隔倉積の状態に対して適切な柔軟性を提供できるように考慮されるべきである。部分積付状態に対して構造用喫水を考慮することは、必ずしも全設計に対して必須条件とはならない。
- (d) 隔倉積状態における空倉は、船底外板に上向きの静水圧及び波浪変動圧が作用し、その荷重を相殺するように作用する貨物荷重がないことから、船底構造に対して厳しい状態となる。また、船側に静水圧及び波浪変動圧が作用する一方で、その荷重を相殺する貨物による荷重がないことから、船側及び横構造に対しても厳しい状態となる。同様に、隔倉積状態の積載倉は、下向きの静的と動的タンク圧が作用し相対的に外圧 (水圧) が小さくなるため、船底構造にとって厳し

い状態となる。相殺する圧力が小さいという同様の理由で、隔倉積状態の積載倉における船側及び横構造にも大きな荷重がかかる。

- (e) ヘビーバラスト状態において、満載のヘビーバラストホールドと浅い喫水の組合せは、下向きに働くタンク圧力の静的及び動的成分に比べ、それらを打ち消す方向に働く水圧が小さいため、船底構造に対して厳しい状態となる。
- (f) 港内状態の荷重ケースについて、浅い喫水が二重底構造に対し厳しいものとなり得る。解析に用いる最小喫水は、積付パターンから推測された最小喫水に基づく。港内状態の許容静水中曲げモーメント及び静水中せん断力を受ける船体の構造強度は、浅い喫水状態でのみ評価される。
- (g) ノーマルバラスト状態は、有限要素解析に用いる積付パターンに含まれない。空の貨物タンクと浅い喫水の組合せにより、二重船殻構造に作用する内外圧の差が小さく、主要構造部材に最も厳しい荷重とならないためである。一方、ノーマルバラスト状態は、規則1章5節で規定するハルガーダ強度に対しては重要な積付状態である。
- (h) 標準的な有限要素解析の荷重組合せで考慮されない運航状態がある場合、その状態を明記し、有限要素解析で評価しなければならない。
- (i) 有限要素解析に用いる積付パターンは、船体の主要構造部材 (フレームとガーダの格子構造) に最も厳しい静的圧力、局部せん断力と曲げモーメントが負荷される状態の中から選択されている。
- (j) 解析に用いる各積付パターンにおいて、船長方向に3タンクを有した有限要素モデルにおける貨物及びバラスト分布が定義されている。モデル化範囲外にある船長方向に分布した荷重について考慮していないことから、同モデルに付与された荷重による実際の静水中曲げモーメントを用いることは非安全側の評価となり得る。このため、航海及び港内状態の荷重組合せにおいて、港内及び航海状態における許容静水中ハルガーダ曲げモーメントをそれぞれ用いる。
- (k) 静水中ハルガーダせん断力は、隔倉及びヘビーバラスト状態において最も厳しいものとなる。これらの積付パターンを向波又は追波中に最大波浪中せん断力となる動的荷重ケースと組合せることで、ハルガーダせん断荷重に対する船体強度を評価することができる。これらの荷重ケースの組合せでは、有限要素解析においてターゲット値となる航海状態の許容静水中せん断力及び波浪中せん断力になるように、必要に応じて、

せん断力修正が行われる。有限要素解析に用いる積付パターンと喫水を注意深く捉え、ハルガーダせん断力のターゲット値を得るために微修正が必要とされる。他の荷重組合せにおいては、モデルに付与した静的及び動的の局部荷重により生じるせん断力を用いる。生じたせん断力がターゲット値を超えるところでは、上下方向荷重の修正を行い、せん断力がターゲット値となるよう調整する。

- (l) 有限要素解析に用いる荷重組合せ（つまり、航海状態に対する静的及び動的荷重の組合せと港内状態に対する静的荷重）は、考慮する積付パターンに対し、構造に対して最も厳しくなる全体荷重と局部荷重の組合せとするべきである。
- (m) 動的荷重ケースと積付パターンの組合せについて、次の一般的な概念がある。
- ・ 同符号のハルガーダ曲げモーメントとせん断力を持つ動的荷重ケースと静的積付パターンを組合せることより、ハルガーダ荷重を最大化する。
 - ・ 構造部材が受けるネット圧力及び隣接構造に作用する荷重の影響を考慮し、適切な動的荷重ケースと静的積付パターンを組合せることにより、主要構造部材に作用する局部荷重差を最大化する。局部荷重差が最大化される基本原則を表1に示す。
- (n) 主要支持部材に作用する局部荷重差により生じる応力とハルガーダ荷重による応力が重畳し最大となるように、ハルガーダ荷重と局部荷重の組合せが与えられるべきである。例えば、ハルガーダのサギング状態が最大となる状態（つまり、規則1編4章2節に定義される動的荷重ケース *HSM-1* で、波の谷の状態による最大波浪中サギング曲げモーメントと最大サギング静水中曲げモーメントによる。）は、有限要素モデルの中央貨物倉で満載状態となる積付パターンと浅い喫水の組合せにより生じ、船底外板に最大引張応力が発生する状態である。
- (o) 同様に、ハルガーダのホギング状態が最大となる状態（つまり、規則1編4章2節に定義される動的荷重ケース *HSM-2* で、波の山の状態による最大波浪中ホギング曲げモーメントと最大ホギング静水中曲げモーメントによる。）は、有限要素モデルの中央貨物倉が空倉状態となる積付パターンと深い喫水の組合せにより生じ、船底外板に最大圧縮応力が発生する状態である。
- (p) 有限要素解析に用いる航海状態の荷重組合せに対し、部材によって厳しい動的荷重ケースが異

なるため、1つの積付パターンに対して複数の動的荷重ケースを組合せることが必要となる場合がある。

- (q) 有限要素解析に用いる港内状態の荷重組合せに対し、静的荷重のみを適用する。有限要素解析の荷重組合せに要求される静水中曲げモーメントとせん断力は、港内状態の許容静水中曲げモーメントと許容静水中せん断力に基づく。

積付パターン及び動的荷重ケースの組合せの数を最小限に抑えるために、様々な様式及びサイズの船について、検討が行われた。

上記(a)から(q)で述べた積付に関する原則から、各荷重組合せがどの主要支持部材に対して厳しいものとなるか目星を付けることができる。例えば、二重底、二重船側、船底外板など多くのケースについては具体的な例が挙げられている。

しかしながら、解析に用いた船の設計上の違いも結果に影響を与えるため、有限要素解析に用いる荷重組合せと、その荷重が支配的になる限られた主要支持部材に結び付けることは、今回のように検討のサンプル数が少ない場合、演繹的に正しいとはいえない。

船首尾部のホールドモデルに対する有限要素解析用荷重組合せ（規則1編4章8節の表18から表21）は現在開発中である。

4.3 マスチャート

4.3.1

この規則は、CSR-BC (July 2010) 及び IACS 統一規則 S25 (失効済み) に基づく。

4.3.2 多港積荷・揚荷状態

4.3.1によること。

5. 疲労評価に用いる標準積付状態

5.1 油タンカー

5.1.1

ノーマルバラスト状態において、燃料が50%となる状態に対応する平均喫水は、疲労評価において最も代表的な値となる。この平均喫水と標準バラスト状態に対応する最小喫水 T_{BAL} の差は小さいため、簡便のため T_{BAL} を用いる。

5.2 ばら積貨物船

5.2.1

積付パターン及び動的荷重ケースは、規則1編4章8節の表23から表25に規定されているように組合せる必要がある。静水中縦曲げモーメントのターゲット値は、同表に記載されている。有限要素モデルに静的及び動的の局部荷重を付与することにより生じる実際のせん断力を用いなければならない。このせん断力がターゲット値を超えた箇所においては、上下方向荷重の修正を行い、ターゲット値のせん断力が得られ

るよう調整する。9つの船級協会から実際に生じる静水中せん断力と許容静水中せん断力の情報を収集し、それに基づき、静水中のせん断力は、隔倉積状態及びヘビーバラスト状態に対しては許容せん断力の100%を与えることとした。

ノーマルバラスト状態及びヘビーバラスト状態に

おいて、燃料が50%のときの積付に対する平均喫水は、疲労評価に際し最も代表的な値となる。この平均喫水とノーマルバラスト状態に対する最小喫水 T_{BAL} 及び T_{BAL-H} の差は小さいことから、簡便のため T_{BAL} 又は T_{BAL-H} を用いる。

5章 ハルガーダ強度

1節 ハルガーダ降伏強度

1. 船体横断面の強度特性

1.1 一般

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.2 船体横断面

1.2.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.2.2 ネット寸法

本規則はネット寸法手法に基づいていることから、
船体横断面の強度特性の評価は申請グロス寸法から
 $0.5t_c$ を差し引いた寸法を用いて行う必要がある。3章
3節を参照すること。

1.2.3 ハルガーダ断面積に寄与しない構造部材

ハルガーダ応力の伝達を考慮し、ハルガーダ断面
積に寄与しない構造部材について規定している。

1.2.4 連続したトランク及び連続したハッチサイド コーミング

通常の構造配置による連続したトランク及び連続
したハッチサイドコーミングであれば、これらの部
材をハルガーダ断面積に含めて差し支えない。本規
定はIACS統一規則S5 (Rev.1, May 2010) に基づく。

1.2.5 強力甲板上に溶接された縦通防撓材及びガー ダ

甲板における断面係数を計算する場合、1.4.3に規
定される通り、強力甲板上に溶接された縦通防撓材及
びガーダを考慮しなければならない。本要件はIACS
統一規則S5 (Rev.1, May 2010) に基づく。

1.2.6 縦通隔壁に支持される倉口間ガーダ

ハルガーダ応力の伝達を考慮し、倉口間のガーダ
が縦通隔壁に支持される場合は、これを縦強度上有
効なものとする。本規定はIACS統一規則S5 (Rev.1,
May 2010) に基づいている。

1.2.7 立て式波型縦通隔壁

立て式波型縦通隔壁は、ハルガーダ曲げによる圧縮
／引張により波型部分が伸縮することから、ハルガー
ダ曲げに対する剛性は小さく、ハルガーダ曲げに対
して有効な部材とならない。せん断に対する波形部
分の伸縮は小さく、波型構造はせん断に対して有効
であるとする。

1.2.8 鋼以外の材料の構造部材

本規定では、ヤング率 $2.06 \times 10^5 N/mm^2$ 以外の材料
を用いた部材が、ヤング率 $2.06 \times 10^5 N/mm^2$ の材料を
用いた部材と等価となる断面積を計算する。本規定は

CSR-BC (July 2010) Ch 5, Sec 1, 1.2.6 (BV規則 (January
2013), Pt B, Ch 6, Sec 1, 2.1.6に基づく。)による。

1.2.9 開口の定義

本規定は、IACS統一規則S5 (Rev.1, May 2010) に
基づく。

1.2.10 大開口、マンホール及び周辺の小開口

1.2.9によること。

1.2.11 単独の小開口

1.2.9によること。

1.2.12 軽目孔、排水口及び単独のスカラップ

1.2.9によること。

1.2.13 不連続の甲板及び縦通隔壁

本規定はCSR-OT (July 2010) Sec 4, 2.6.3.10による。

1.3 強力甲板

1.3.1

本規定はCSR-BC (July 2010) Ch 5, Sec 1, 1.3.1 (BV
規則 (January 2013), Pt B, Ch 6, Sec 1, 2.2.1に基づく。)
による。

1.4 断面係数

1.4.1 任意点における断面係数

本規定の算式は線形梁理論に基づく。

1.4.2 船底における断面係数

本規定はIACS統一規則S5 (Rev.1, May 2010) に基
づいており、算式は線形梁理論に基づいている。

1.4.3 甲板における断面係数

本規定はIACS統一規則S5 (Rev.1, May 2010) に基
づいており、算式は甲板のせん断遅れを考慮してい
る。

1.5 断面二次モーメント

1.5.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2. ハルガーダ曲げ強度評価

2.1 一般

2.1.1

本規定はIACS統一規則S7 (Rev.4, May 2010) に基
づいている。

2.1.2

本規定はCSR-BC (July 2010) Ch 5, Sec 1, 4.1.2 (BV
規則 (January 2013), Pt B, Ch 6, Sec 2, 4.2.3に基づく。)
による。材料係数 k については、3章1節によること。

2.2 直応力

2.2.1

IACS統一規則S11 (Rev.7, November 2010) では、
中央部 $0.4L_{CSR}$ 間の許容応力を軟鋼ベースで $175 N/mm^2$
としており、これはグロス寸法手法に基づいている。
各船級の船体横断面に対する切替基準となる断面係
数は、建造時の断面係数の0.9倍となることから、ネッ

ト寸法手法を用いる本規則では、許容応力を、グロス寸法手法における許容応力を0.9で除した値、すなわち、 190N/mm^2 とした。 $(17.5\text{ kgf/mm}^2/0.9 \times 9.81 = 190\text{N/mm}^2)$

3章3節に示す腐食量は就航船(VLCC型タンカー、アフラマックス型タンカー、ケープサイズ型ばら積貨物船、パナマックス型ばら積貨物船、ハンディマックス型ばら積貨物船の計5種類の船舶)に対して当てはまるものである。図1は各船種の建造時と腐食を考慮した場合の断面係数の比(船底外板及び甲板)を示している。この図より、すべての船種において、腐食を考慮した場合、建造時の断面係数の約0.9倍となっていることがわかる。従って、許容応力 190 N/mm^2 を用いるネット寸法手法による評価は、従来の規則による評価と同等である。

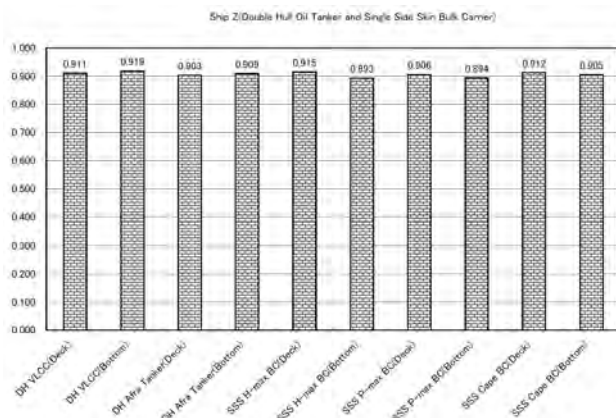


図1 ばら積貨物船及び油タンカーの腐食を考慮した断面係数

通常、縦強度に寄与する部材の寸法は、中央部 $0.4L_{CSR}$ 間の外側では中央部から離れるほど減少する。本規則では、ハルガーダ強度に寄与する構造部材の寸法の漸減を、中央部 $0.4L_{CSR}$ 間以外の許容応力を設定することで統一している。

2.2.2

非損傷状態(非浸水状態)において垂直曲げモーメントにより生じる直応力を算出する式が示されている。本算式は従来の規則と同じである。港内状態においては、規則4章7節表1に規定されているように、設計荷重(S)のみが考慮されている。

IACS統一規則S17(Rev.8, May 2010)に従い、BC-A船又はBC-B船では、任意の貨物倉が浸水した状態においても縦強度要件を満足する必要がある。本規定では、浸水状態の垂直曲げモーメントによる直応力を算出する式が与えられており、これは従来の規則と同様である。

2.2.3

鋼材以外の材料を用いる部材の直応力は、使用する材料のヤング率と鋼材のヤング率との比を用いた簡易算式により算定されなければならない。

2.3 船体中央部における最小ネット断面二次モーメント及びネット断面係数

2.3.1

本規定はIACS統一規則S4(Rev.3, May 2010)に基づく。

2.3.2

本規定はIACS統一規則S7(Rev.4, May 2010)に基づいており、腐食控除量 $0.5t_c$ を考慮した係数0.9を導入している。

2.4 高張力鋼の使用範囲

2.4.1 垂直方向範囲

垂直方向の高張力鋼の使用範囲はハルガーダ曲げ応力のみを考慮しており、甲板及び船底に作用する実際のハルガーダ曲げ応力を考慮した規定となっている。高張力鋼の使用範囲外の構造部材の応力が、同部材の許容応力以下となるよう、高張力鋼の船長方向の使用範囲と同様に、垂直方向の使用範囲を規定している。

2.4.2 船長方向範囲

船長方向の高張力鋼の使用範囲は、ハルガーダ応力が軟鋼の許容応力以下となるところまで連続しなければならない。

3. ハルガーダせん断強度評価

3.1 一般

3.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.2 ハルガーダせん断強度

3.2.1

航海状態(設計荷重組合せ: $S+D$)における許容せん断応力は、グロス寸法手法における $110/k\text{ N/mm}^2$ (IACS統一規則S11(Rev.7, November 2010))に基づいており、本規則ではネット寸法手法であることから $120/k\text{ N/mm}^2$ に変更されている。ハルガーダせん断応力の港内及び水圧試験時における許容値は航海状態における許容値の87.5%であり、一方で、ハルガーダ曲げ応力の港内及び水圧試験時における許容値は航海状態における許容値の75%である。この差は、せん断応力と曲げ応力では動的な成分と静的な成分の比が異なることによるものである。

波浪中曲げモーメントは静水中曲げモーメントの通常1.5倍から2倍であるが、せん断力においては逆になり、静水中せん断力は波浪中せん断力の約2倍となる。港内状態における上述の87.5%は、波浪中のハルガーダせん断力の動的成分の半分を加えたとき

に100%となるよう設定されている。

3.3 許容基準

3.3.1 許容せん断力

垂直せん断力の要求値は、許容静水中せん断力及び波浪中せん断力の合計により得られる。この垂直せん断力の合計値が全ハルガードせん断強度 Q_R 以下となる必要がある。ばら積貨物船においては、船長方向に配置されたガーダへのせん断力伝達によるせん断力修正を考慮することができる。港内状態においては、規則4章7節表1に規定されているように、設計荷重(S)のみが考慮される。

3.3.2 静水中せん断力

修正した静水中垂直せん断力は、積付状態にかかわらず、許容静水中せん断力より小さい必要がある。

3.4 油タンカーの貨物タンク間の縦通隔壁の有効ネット板厚

3.4.1

貨物タンク両端に近づくにつれ、縦通隔壁、内殻及び船側外板に作用するせん断力は、局部せん断力分布効果により、薄肉閉断面のせん断流理論とは異なる分布を示す。

3.4.2

局部せん断力分布効果は、フロアから縦通隔壁へ、又はガーダから横隔壁へ伝達するような、横式構造を介して縦式構造に伝わるせん断荷重により生じるものである。

局部せん断力分布効果は、せん断強度算定に用いられる縦通隔壁の板厚に対して、控除量 t_Δ を適用することで考慮される。この控除量は、局部せん断力分布効果に抵抗するために必要とされる縦通隔壁のせん断強度の割合を示している。すなわち、この控除量分の板厚は、垂直せん断強度の一部として考慮することができない。

$$t_{sfi-n50} = t_{i-grs} - 0.5t_c - t_{di}$$

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

局部せん断力分布により生じる付加的なせん断力として、内底板位置で最大となり上甲板で零となるような三角形型の分布形状を仮定している。従って、板厚控除の垂直方向分布も線形的に減少することとなる。この分布については、3次元有限要素解析により確認されている。

せん断力修正により最大板厚控除量 $t_{\Delta max}$ となる箇所は、内底板直上の横隔壁近傍、すなわち図2に示すように、 $x_{blk} = 0$ 、 $z_p = h_{db}$ の位置となる。また、この板厚控除量は、この最大値からタンク中央 ($x_{blk} =$

$0.5l_{tk}$) 位置において零となるように線形補間された分布となる。

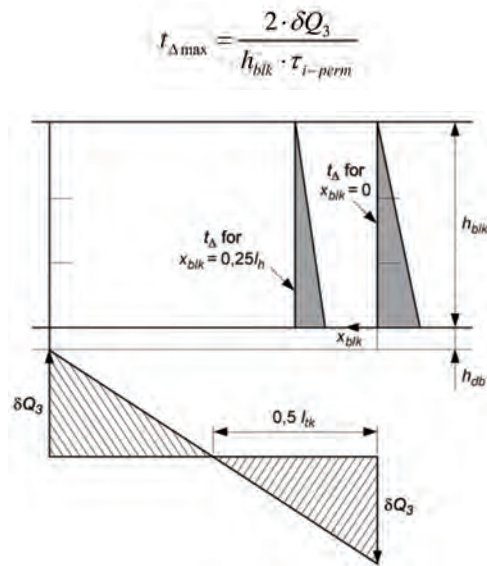


図2 縦通隔壁におけるせん断力修正

3.4.3 船体中心線上に縦通隔壁を有する船舶のせん断力修正

δQ_3 はフロアを介して縦通隔壁に伝達する局部せん断力の平均値を表す。この値は船底構造の配置及び剛性及び貨物タンクの形状による。すべてのケースにおいて、 δQ_3 の大きさは二重底構造に作用するネット荷重が最大となる状態に基づいている。

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

船体中心線上に縦通隔壁を有する油タンカーにおいて、局部荷重分布を考慮した修正係数 K_3 の値は構造配置に依存する。 K_3 の算式は局部荷重分布に影響するような半桁板は存在しないと仮定している。貨物タンクに下向きに作用する荷重が最大となる積付状態で δQ_3 は最大となることが知られている。

3.4.4 貨物タンク間に二列の縦通隔壁を有する船舶のせん断力修正

二列の縦通隔壁を有する油タンカーにおける、局部荷重分布を考慮した修正係数 K_3 の値は構造配置に依存する。既存の研究では、中央貨物タンクに下向きに作用する荷重が最大となる積付状態で δQ_3 は最大となることが知られている。

3.4.5 二重底に作用する垂直力

二重底に作用する最大合力 F_{db} を求める算式の一貫性のため、二重底に作用する最大ネット荷重を求める際に、有限要素解析に用いられる積付パターンも考慮している。標準的な油タンカーにおいて、 F_{db} を求める簡易式は、貨物タンクの主要寸法及び喫水の

関数として表すことができる。

3.4.6 波形部の等価ネット板厚

本規定はCSR-OT (July 2010) Sec 4, 2.6.4.4及び2.6.4.5による。波形部板部材の等価ネット板厚は、波形部の投影長さと波形部を平坦に展開した場合の長さの比によって減少する。この等価ネット板厚は、波形部のせん断剛性を表している。

3.5 油タンカーの貨物タンク間の縦通隔壁の有効ネット板厚-横隔壁付ストリングからの荷重による修正

3.5.1

3次元有限要素解析により、船側及び中央の貨物タンクが満載で、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状態の場合、横隔壁付ストリングの下部近傍の縦通隔壁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。これは横隔壁付ストリングから縦通隔壁に局部せん断力が伝達された結果である。この現象は有限要素法においても確認できる。従って、本規則においては、明確な方法でこの付加的な局部せん断力を考慮できるようにしている。

従って、ハルガーダせん断強度の規則算式では、縦通隔壁の有効な板厚が減少するとみなすことで、上記の積付状態に作用する付加的なせん断応力成分を考慮している。この影響を受ける主な箇所は、横隔壁付ストリングの端部付近の縦通隔壁となる。最大局部せん断応力は、横隔壁が片側のみから荷重を受ける場合に生じる。例えば、横隔壁の片側のタンクがすべて空で反対側のタンクがすべて満載となる積付状態の場合 (図3参照)、最大ネット荷重が隔壁に作用することになり、その結果、横隔壁付ストリングの端部に最大支持力が発生する。

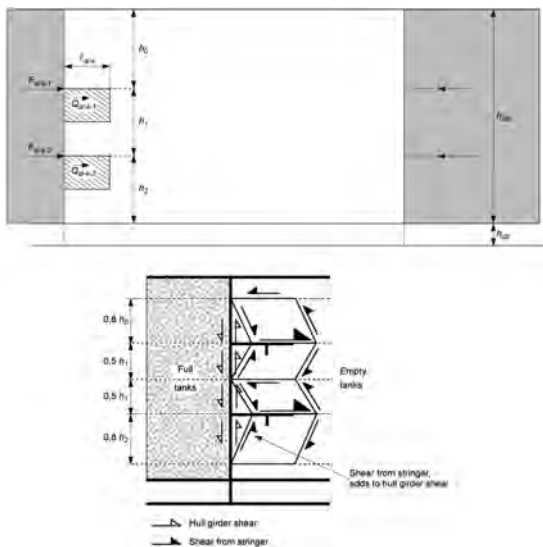


図3 2つのストリングスを有する油タンカーのストリングス修正の適用範囲

3.5.2

縦通隔壁付近の横隔壁付ストリングの支持力の合計 (F_{st-k}) は、次の3つに分解することができる。

- (a) ストリングスの下側において生じるハルガーダせん断応力と同じ向きに作用する共役せん断力 (Q_{st-k})
- (b) ストリングスの上側において生じるハルガーダせん断応力と異なる向きに作用する共役せん断力 (Q_{u-k})
- (c) ストリングスと縦通隔壁との結合部に沿って生じる直応力 (船長方向軸力又はストリングス端部に沿った方向の軸力)

備考: k は甲板から k 番目の水平桁を示す。

なお、ストリングスの上側に生じるせん断力 (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。ストリングス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。

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

ストリングス近傍に生じる実際のハルガーダせん断応力は次式で与えられる。

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

従って、

$$\frac{t_r \cdot \tau_{i-perm}}{t_k} + \frac{Q_{st-k}}{\ell_{st-k} \cdot t_k} \leq C_t \cdot \tau_{yd}$$

$$t_r = \frac{t_k}{\tau_{i-perm}} \cdot \left(C_t \cdot \tau_{yd} - \frac{Q_{st-k}}{\ell_{st-k} \cdot t_k} \right)$$

- C_t : 許容せん断応力係数で0.9
- τ_{yd} : 材料の最小せん断降伏応力 (N/mm^2)
- t_r : ストリングスから伝達されるせん断荷重を考慮したハルガーダせん断応力評価に基づく、 k 番目のストリングス近傍の有効板厚もしくは等価板厚 (mm)
- τ_{i-perm} : 許容ハルガーダせん断降伏応力 (N/mm^2)

規則では、上式の板厚 t_r を有効ネット板厚 $t_{st-k-n50}$ として再定義している。この有効ネット板厚 $t_{st-k-n50}$ は、横隔壁付ストリングスより生じる局部せん断応力に抵抗するために必要な板厚を控除した後の、ハルガーダせん断強度を評価するために有効な板厚のことである。従って $t_{st-k-n50}$ は、以下の算式で与えられる。

$$t_{st-k-n50} = \frac{t_{st-n50}}{\tau_{st-n50}} \left(C_i \tau_{yd} - \frac{Q_{st-k}}{\ell_{st} t_{st-n50}} \right)$$

t_{st-n50} : 貨物タンク間の縦通隔壁に対する局部せん断修正を行った後の有効ネット板厚

このストリングにより生じる修正は、ストリング結合部（支持部）の全長に対して、考慮するストリングから下方 $0.5h_k$ の範囲に適用しなければならない。（規則図8参照）内底板に最も近い位置にあるストリングに対しては、内底板位置まで適用される。（規則図8参照）

有限要素解析結果から、ストリングから縦通隔壁へ伝わるせん断力は、縦通隔壁におけるストリングの総支持力 F_{st-k} の75%から80%であり、残りはストリング結合部端部付近の直応力として生じることが確認されている。また、ストリング結合部の上下側におけるせん断力分布は、内底板と上甲板の相対距離により決まることが確認されている。従って、ストリングから縦通隔壁へ伝達されるせん断力 Q_{st-k} 及び Q_{u-k} は、次式で得られる。

$$Q_{st-k} = 0.8 \cdot F_{st-k} \cdot \left(1 - \frac{z_{st-k} - h_{db}}{h_{blk}} \right)$$

$$Q_{u-k} = 0.8 \cdot F_{st-k} \cdot \frac{z_{st-k} - h_{db}}{h_{blk}}$$

$$h_{db} \leq z_{st-k} \leq h_{blk} + h_{db}$$

3.6 ばら積貨物船のせん断力修正

3.6.1

せん断力修正の算式は、ボトムガーダが横隔壁により単純支持されているとの仮定に基づいている。更に、以下の仮定の下で、ボトムガーダに伝達される応力の割合を決定している。

- (a) フレームは単純支持である。
- (b) フレームはある程度の固着条件下にあることを考慮している。

二重底のボトムガーダにより横隔壁に伝達する荷重は二重底構造のアスペクト比 ℓ_0/b_0 を用いた関数によって算定されている。

2節 縦曲げ最終強度

1. 適用

1.1 一般

1.1.1

縦曲げ最終強度は、船体構造にとって最も重要な崩壊モードに対する強度であり、船の長さが大きくな

るほど重要な因子となる。従って、縦曲げ最終強度評価は L_{CSR} が150m以上の船舶に適用することとする。

1.1.2

垂直曲げモーメントは船首尾部では非常に小さくなるため、船首尾部において縦曲げ最終強度評価を行う必要はない。

1.1.3

ばら積貨物船及び油タンカーにおいて、縦曲げ最終強度評価を行わなければならない条件を示している。

2. 評価基準

2.1 一般

2.1.1

ばら積貨物船と油タンカーは、運航形態、荷重分布及び船体構造の特徴が異なることから、縦曲げ最終強度評価が必要となる設計荷重シナリオについても異なるものとなる。

油タンカーにおいては、垂直曲げモーメントが最大となる状態よりも満載積付状態を考慮して、設計荷重シナリオBでも評価しなければならない。なお、部分安全係数は信頼性解析に基づき設定された。

二重船殻油タンカーの標準的な構造配置（二重底を有する単甲板構造）及び貨物の積付状態により、満載積付状態におけるサギング状態での崩壊が最も支配的な崩壊モードとなる。このことから、設計荷重シナリオBに対してはサギング状態のみ評価することとなっている。

2.1.2

縦曲げ最終強度評価は、二重船殻油タンカーにおける支配的な崩壊モードの1つを陽の形で規定したものである。それ故、本評価の基準は部分安全係数法により与えられる。

縦曲げ最終強度に対する部分安全係数は次による。

$$\gamma_R = \gamma_M \gamma_{DB}$$

γ_M は材料、幾何学及び強度の不確定性を考慮した部分安全係数で、一般に、1.1とする。 γ_{DB} は二重底曲げを考慮した部分安全係数で、ホギング状態においてはBC-A船で1.25、BC-B船、BC-C船及び二重船殻油タンカーで1.10となり、サギング状態に対しては、ばら積貨物船、二重船殻油タンカー共に1.0となる。

TB Report “TB Rep Pt2 Ch01 Sec02 BC Double Bottom Arrangement” 及び TB Report “TB Rep Pt1 Ch05 HG Longitudinal Strength” を参照のこと。

2.2 縦曲げ最終荷重

2.2.1

TB Report “TB Rep Pt1 Ch05 HG Longitudinal Strength” によること。

2.3 縦曲げ最終強度

2.3.1

TB Report “TB Rep Pt1 Ch05 Sec02 Iterative Method for HGULS” によること。

2.3.2

2.3.1によること。

3節 残存強度

1. 適用

1.1 一般

1.1.1

船の長さが大きくなるほど、本強度評価は重要となる。従って、残存強度評価は L_{CSR} が150m以上の船舶に適用することとする。

1.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

1.1.3

船首尾部における損傷がハルガーダ強度に与える影響は限定的であることから、ハルガーダ残存強度評価は貨物区域及び機関区域に対して行うこととした。

2. 評価基準

2.1 一般

2.1.1

ハルガーダ残存強度はホギング状態及びサギング状態の両方に対して評価する。

2.1.2

ハルガーダ残存強度の評価基準は部分安全係数法により与えられる。

2.2 損傷状態

2.2.1 一般

衝突及び座礁による2つの損傷状態を想定する。

2.2.2 衝突

衝突による損傷範囲について規定している。損傷状態における船体横断面の強度は、片舷が損傷しかつ横傾斜していない状態として算定される。また、キャンバを有する船における h 及び d の定義を図1に示す。

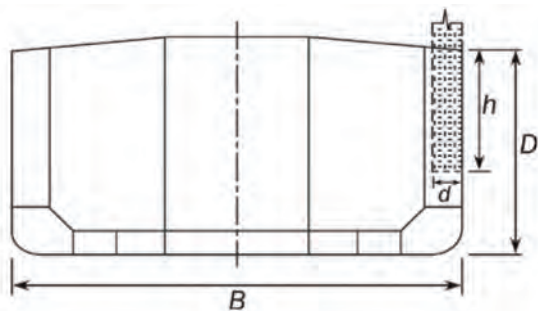


図1 衝突による損傷範囲
(キャンバを有する船)

2.2.3 座礁

座礁による損傷範囲について規定している。船底における損傷の横方向の位置については、実設計に基づき、構造上最も厳しい状態となるよう設定する必要がある。

2.3 損傷状態における縦曲げ最終荷重

2.3.1

大事故発生時の損傷範囲及び損傷箇所を予測することは非常に困難であるため、ハルガーダ残存強度評価においては事象を包括的に評価することが合理的であるといえる。 M_{sw} に対する部分安全係数1.1は、損傷箇所における静水中の荷重の増加の可能性を考慮しており、本係数は M_{sw-f} の最小値(M_{sw} の1.1倍以上の値)とも関連している。

本残存強度評価基準は以下の理由により、浸水時のシナリオとは異なるシナリオに基づいている。

- (a) 衝突及び座礁は、ハッチカバーからの浸水が発生するような外洋の荒れた海象環境ではなく、比較的穏やかな海象環境である、沿岸近くで発生する傾向が強い。
- (b) 残存強度とは、多大な損傷を引き起こす滅多に起きない事象に遭遇し、早急な修理を必要とするほど構造強度が大きく低下した場合について考慮したものである。浸水そのものは、残存強度にほとんど影響を与えないような状況でも起こり得る。つまり、浸水という事象は、ハルガーダ強度低下に至る事象に比べて生じる頻度が大きい。

以上の理由から、ハルガーダ残存強度評価時には、小さい係数(つまり、0.67)を与えることが合理的であると考えらる。先に述べた通り、損傷状態における静水中垂直曲げモーメントに対する部分安全係数 γ_{SD} は事故時の浸水による静水中垂直曲げモーメントの増加を考慮しており、一方で、損傷状態における波浪中垂直曲げモーメントに対する部分安全係数 γ_{sw} は3ヶ月間外洋にさらされることを考慮したものとなっている。TB Report “TB Rep Pt1 Ch05 Sec03 HG Residual Strength” を参照のこと。

2.4 損傷状態における縦曲げ最終強度

2.4.1

TB Report “TB Rep Pt1 Ch05 Sec03 HG Residual Strength” and “TB Rep Pt1 Ch05 Sec02 Iterative Method for HGULS” によること。

2.4.2

2.4.1によること。

付録1 せん断流の直接計算

1. 計算式

1.1 一般

1.1.1

垂直せん断力によって作用する船体横断面の各位置におけるせん断流 q は、1.2の規定に従い算定される確定せん断流 q_D 及び1.3の規定に従い算定される不確定せん断流 q_I の合計により求められる。

$$q = q_D + q_I \tag{1}$$

1.2 確定せん断流

1.2.1

面外荷重作用下で薄肉梁が曲げを受けている状態において、微小な要素に作用する力(図1参照)の釣り合いを考慮すると、次式が成り立つ。

$$\int_0^s \sigma_x t ds = \pi dx + \int_0^s \left(\sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} \right) t ds \tag{2}$$

軸力 σ_x は薄肉梁に作用する曲げモーメント M から与えられる。

$$\sigma_x = \frac{M}{I_y} (z - z_G) \tag{3}$$

M : 曲げモーメント

I_y : y 軸回りの断面二次モーメント

z_G : 水平(y 軸に平行)な中立軸の z 座標

式(2)に式(3)を代入することで、以下の通り確定せん断流の式を得ることができる。

$$q_D = \pi = -\frac{\partial M}{\partial x} \frac{1}{I_y} \int_0^s (z - z_G) t ds \tag{4}$$

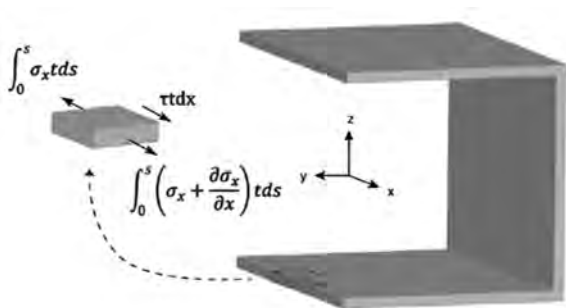


図1 薄肉梁の微小要素

1.2.2

1.2.1に規定する算式は、薄肉梁が線分で構成されていると仮定し、式(4)を離散化することで求めることができる。

1.2.3

本規定は確定せん断流の計算方法の説明である。

1.2.4

本規定は確定せん断流の計算方法の説明である。

1.3 不確定せん断流

1.3.1

薄肉梁のひずみエネルギー I は次による。

$$I = \frac{1}{2} \int_A \left(\frac{\sigma_x^2}{E} + \frac{\tau^2}{G} \right) t ds \tag{5}$$

閉じたセル周りの不確定せん断流 q_I は、薄肉梁のひずみエネルギーを最小化するように発生することから、次の算式が成り立つ。

$$\frac{\partial I}{\partial q_{Ik}} = 0 \tag{6}$$

q_{Ik} : 閉じたセル k 周りの不確定せん断流

式(6)に式(5)を代入することで、不確定せん断流 q_{Ik} が閉じたセル k を構成する壁のみに含まれることを意味する式(7)が成り立つ。

$$\oint_k \frac{q}{t} ds = 0 \tag{7}$$

閉じたセル k に沿ったせん断流の合計は以下の通りとなる。

$$q(s) = q_D(s) + q_{Dk} - q_{Di} \tag{8}$$

閉じたセル k とセル i が共有壁を有する場合、式(8)に式(7)を代入することで、次の式が成り立つ。

$$q_{Ik} \oint_k \frac{1}{t} ds - \sum_i q_{Ii} \oint_{k,i} \frac{1}{t} ds = -\oint_k \frac{q_D}{t} ds \tag{9}$$

1.3.2

1.3.1に規定する算式は、薄肉梁が線分で構成されていると仮定し、式(9)を離散化することで求めることができる。

1.4 船体横断面の断面特性の計算

1.4.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.4.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

る。

1.4.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2. 単船側構造の船体横断面に対する計算例

2.1 横断面データ

2.1.1

横断面における節点座標を規則表1に示している。
(なお、この座標は規則図4における黒点である。)

2.1.2

水平中立軸のZ座標及び水平中立軸に対する断面二
次モーメントは、規則1.4に規定する手法により計算
される。

2.2 確定せん断流の計算

2.2.1

確定せん断流 q_D は規則1.2に規定する手法により計
算される。

2.3 不確定せん断流の計算

2.3.1

不確定せん断流 q_I は規則1.3に規定する手法により
計算される。

2.3.2

2.3.1によること。

2.4 総和

2.4.1

せん断流 q は確定せん断流 q_D と不確定せん断流 q_I の
合計により求められる。

付録2 最終強度

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.1.2

縦曲げ最終強度の定義を規定している。

1.2 手法

1.2.1 増分反復法

規則で示すサギング状態における縦曲げ最終強度
を求める手法として、ハルガーダの逐次崩壊を計算
する増分反復法がある。

1.2.2 代替手法

縦曲げ最終強度を求める方法は様々あるが、これ
らは簡易算式、逐次崩壊解析によるアプローチ又は
非線形有限要素法によるアプローチの3種類に分類さ
れる。これらの手法が同程度の結果を示すことは比較
検証されている。

1.3 前提条件

1.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.3.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.3.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.3.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2. 増分反復法

2.1 前提条件

2.1.1

増分反復法では次に示す単純化を行っている。

- 船体横断面は、互いに独立した「要素」(防撓パ
ネル要素, 防撓材要素, ハードコーナー要素)に
よって構成されており, 要素ごとに構造挙動を
決定することができる。
- 船体横断面は中立軸と平行な面に垂直な状態で平
面保持され, 任意の曲率 χ に対してひずみ ϵ_E を
計算することができ, $\epsilon_E = z_\chi$ (z は考慮する要素と
中立軸の距離)で与えられる。
- 隣接する横方向の主要支持部材間に位置する構
造要素に対して崩壊が生じる。
- 引張状態及び圧縮状態の両方において, 各要素
は弾塑性挙動を示すもの。
- せん断応力の影響は考慮しないこと。
- ネット寸法で検討すること。

増分反復法では, 各要素に対して後述の応力-ひず
み曲線が与えられる。引張荷重を受ける要素に対し
ては弾塑性崩壊, 圧縮荷重を受ける要素に対しては
座屈崩壊が生じるという前提で応力-ひずみ曲線が与
えられる。増分反復法における応力-ひずみ曲線は以
下の2つの前提に基づく。

- GordoとSoaresにより提案された, ひずみ ϵ_E によ
る付き板の有効幅の変化
- 任意のひずみレベルにおける, Johnson-Ostenfeld
の塑性修正

2.2 手順

2.2.1 一般

TB Report “TB Rep Pt1 Ch05 Sec02 Iterative Method
HGULS”によること。

2.2.2 船体横断面のモデル化

2.2.1によること。

2.3 応力-ひずみ曲線

2.3.1 防撓パネル要素及び防撓材要素

2.2.1によること。

2.3.2 ハードコーナー要素

2.2.1によること。

2.3.3 構造部材の弾塑性崩壊

2.2.1によること。

2.3.4 梁柱座屈

2.2.1によること。

2.3.5 振れ座屈

2.2.1によること。

2.3.6 フランジのある防撓材ウェブの局部座屈

2.2.1によること。

2.3.7 平鋼タイプの防撓材ウェブの局部座屈

2.2.1によること。

2.3.8 板の座屈

2.2.1によること。

3. 代替手法

3.1 一般

3.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.2 非線形有限要素解析

3.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.2.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

6章 船体局部寸法

1節 一般

1. 適用

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.1.3 要求寸法

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.1.4 追加の局部強度要件

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.2 許容基準

1.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2節 適用荷重

1. 荷重の組合せ

1.1 ハルガーダ曲げ

1.1.1 直応力

本規定では、縦強度に寄与する板部材及び防撓材の強度評価において考慮する直応力について規定する。

1.2 面外圧力

1.2.1 非損傷状態の静的圧力及び動的圧力

荷重に関する基本概念として、静的及び動的荷重ケースに対応する海水、貨物、その他の液体及び多種の荷重に起因する静的及び動的荷重を考慮する。

1.2.2 浸水状態の面外圧力

液体を積載する区画の境界における浸水時の圧力は、それらの区画の空気管が乾舷甲板より上に設置されるため、一般に非損傷時及び/又は水圧試験時の圧力よりも小さい。船底及び船側等の外板では、浸水時の圧力は海水からのカウンタープレッシャーの影響により小さくなる。以上より、浸水時の面外圧力は液体を積載しない区画の境界（外板を除く。）で考慮する。

1.3 圧力の組合せ

1.3.1 外板の要素

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.3.2 外板の要素以外の要素

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

る。

2. 設計荷重条件

2.1 荷重成分の適用

2.1.1 適用

本節では、ばら積貨物船及び油タンカーの両方の船種に適用される設計荷重条件を規定する。貨物エリアにおける主要支持部材の設計荷重条件は船種特有であり、それぞれに対する要件は規則2編の各章に規定される。

2.1.2 荷重成分

P_m 、 P_{ex} 及び P_{dl} 等の荷重成分は、考慮する多くの区画及び設計荷重シナリオの組合せに応じて規則1編4章7節表1による。

2.1.3 板部材、防撓材及び主要支持部材に対する設計荷重条件

一般に、タンクの内圧と海水圧の圧力差を用いる船底及び船側外板以外箇所では、荷重成分として、考慮する喫水で境界の両側の圧力のうち大きい方の値を用いなければならない。詳細は規則1編6章2節の表1によること。

静的状態である水圧試験状態（設計荷重条件WB-3、WB-6及びTK-2）における船底及び船側外板については、構造配置にかかわらず、バラストによる内圧と海水圧間の圧力差として $0.25T_S$ を用いなければならない。

水圧試験は、バラストタンクのうち半分を千鳥状に満載して実施するものと考えられる。すなわち、水圧試験時の喫水は軽荷喫水とノーマルバラスト状態の喫水の平均値になるものと考えられる。表1によると、CSR-OT (July 2010) に規定される水圧試験時の喫水である $0.25T_{sc}$ が前述の2つの喫水の平均値よりも低い。従って、 $0.25T_{sc}$ は水圧試験時の喫水として合理的かつ安全側の近似であるといえる。

表1 様々な船舶の水圧試験時の喫水 $0.25T_{sc}$

	T_{sc} [m]	軽荷喫水 [m]	ノーマルバラスト状態の喫水 [m]	平均値 [m]	$0.25T_{sc}$ [m]
BC-1	11.50	2.26	4.88	3.57	2.28
BC-2	13.00	2.33	5.92	4.13	3.25
BC-3	14.55	2.23	5.78	4.01	3.64
BC-4	18.20	2.68	8.10	5.39	4.55
OT-1	12.30	2.56	6.69	4.63	3.08
OT-2	22.60	3.40	9.60	6.50	5.65

上架して水圧試験を実施する場合、 $0.25T_{sc}$ のカウンタープレッシャーを無視すると船底に働く圧力は一般的に約20%増加する。静的状態は頻繁に発生する荷重を考慮するものであり、上架した状態の水圧

試験状態は20%高い許容応力を用いる極限荷重ケース(AC-SD)として取り扱うことができる。また、船長方向の応力については無視して差し支えない。従って、上架した状態の水圧試験状態は、設計評価の対象とはならない。

3節 最小板厚

1. 板部材

1.1 最小板厚要件

1.1.1

本規定は船体構造全般に対して適用される。本規定は、CSR-OT (July 2010) 及びCSR-BC (July 2010) の要件を組合せたものである。既存の最小要件の規則算式は、長年にわたる運航実績に基づいており、規則において明確に取り扱われていない事項(振動、振動による疲労、衝撃荷重、接触荷重、大きな湾曲パネル部の局部座屈等プロペラ付近で頻発する事項)に対して堅牢性を与えている。

CSR-BC (July 2010) 及びCSR-OTで要求される最小寸法を可能な限り維持するため、安全側の要件、

つまり、CSR-OTとCSR-BCの要求値の大きい方の値を採用することとした。しかしながら、CSR-OT (July 2010)とは異なり、CSR-BCでは、船底外板と船側外板で要件に相違があった。このような相違により、特に船底外板と船側外板(もしくはビルジ外板)の境界が不明確な非平行部において、規則の適用が曖昧となる問題があった。従って、CSR-BC&OTでは、船底外板及び船側外板(もしくはビルジ外板)の要件として、ばら積貨物船の船底外板に対する要件を採用することとした。なお、この要件は、CSR-BC及びCSR-OTの要件を線形近似した算式とよく一致している。

パラメータとして用いる船の長さは300mを上限としている。この上限値はCSR-OT (July 2010)の要件に基づく。また、300mを超える油タンカーの設計において、この上限値の妥当性は確認されていることに加え、CSR-BC (July 2010)が適用となるばら積貨物船で300mを超えるものはないことから、現実的なものであるといえる。

CSR-OTとCSR-BC間の詳細な比較調査が実施されていることから、その結果を表1に示す。

表1 板部材の最小板厚の比較 (ネット)

対象部材	$L_{CSR} (m)$	150	200	250	300	350
キール	CSR-OT (mm)	11.0	12.5	14.0	15.5	15.5
	CSR-BC (mm)	12.0	13.5	15.0	16.5	-
	CSR-BC&OT (mm)	12.0	13.5	15.0	16.5	16.5
船底外板	CSR-OT (mm)	9.0	10.5	12.0	13.5	13.5
	CSR-BC (mm)	10.0	11.5	13.0	14.5	-
	CSR-BC&OT (mm)	10.0	11.5	13.0	14.5	14.5
船側外板 (後端)	CSR-OT (mm)	11.0	12.5	14.5	16.0	16.0
	CSR-BC (mm)	10.5	12.0	13.5	14.5	-
	CSR-BC&OT (mm)	11.0	12.5	14.5	16.0	16.0
船側外板及び ビルジ外板	CSR-OT (mm)	9.0	10.5	12.0	13.5	13.5
	CSR-BC (mm)	10.5	12.0	13.5	14.5	-
	CSR-BC&OT (mm)	10.0	11.5	13.5	14.5	14.5
暴露甲板及び 強力甲板	CSR-OT (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	10.5
	CSR-BC (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	-
	CSR-BC&OT (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	10.5
プラットホーム 甲板 (機関区域)	CSR-OT (mm)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
	CSR-BC (mm)	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
	CSR-BC&OT (mm)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
内底板	CSR-OT (mm)	-	-	-	-	-
	CSR-BC (mm)	10.0	11.5	13.0	14.5	-
	CSR-BC&OT (mm)	10.0	11.5	13.0	14.5	14.5
内底板 (機関区域)	CSR-OT (mm)	9.5	10.5	11.5	12.5	12.5
	CSR-BC (mm)	10.0	11.5	12.5	14.0	-
	CSR-BC&OT (mm)	10.0	11.5	12.5	14.0	14.0
トップサイドタンク (ばら積貨物船のみ)	CSR-OT (mm)	-	-	-	-	-
	CSR-BC (mm)	8.5	10.0	11.0	12.0	-
	CSR-BC&OT (mm)	8.5	10.0	11.0	12.0	12.0
船内タンク	CSR-OT (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	10.5
	CSR-BC (mm)	-	-	-	-	-
	CSR-BC&OT (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	10.5
横/縦通水密隔壁	CSR-OT (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	10.5
	CSR-BC (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	-
	CSR-BC&OT (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	10.5
非水密/制水隔壁	CSR-OT (mm)	6.0	6.5	7.0	7.5	7.5
	CSR-BC (mm)	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
	CSR-BC&OT (mm)	6.0	6.5	7.0	7.5	7.5
梁柱隔壁	CSR-OT (mm)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
	CSR-BC (mm)	-	-	-	-	-
	CSR-BC&OT (mm)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5

2. 防撓材及びトリッピングブラケット

2.1 最小板厚要件

2.1.1

本規定では、CSR-OT (July 2010) の規則要件に基づき、ウェブ及びトリッピングブラケットの最小ネット板厚を規定している。比較結果を表2に示す。倉

内肋骨のウェブ板厚の要件は、船の長さの上限値を200mとしている IACS 統一規則 S12.3 (Rev.5, May 2010) に基づく。更に、適切な溶接性を確保するため、防撓材のウェブ板厚と付き板の板厚の比率についても規定している。

表2 防撓材のウェブ及びトリッピングブラケットの最小板厚の比較 (ネット)

対象部材	$L_{CSR} (m)$	150	200	250	300	350
水密の境界	CSR-OT (mm)	6.0	6.5	7.5	8.0	8.0
	CSR-BC (mm)	6.0	6.5	7.5	8.0	-
	CSR-BC&OT (mm)	6.0	6.5	7.5	8.0	8.0
上記以外の構造	CSR-OT (mm)	5.0	5.5	6.5	7.0	7.0
	CSR-BC (mm)	-	-	-	-	-
	CSR-BC&OT (mm)	5.0	5.5	6.5	7.0	7.0
倉内肋骨 (ばら積貨物船のみ)	CSR-OT (mm)	-	-	-	-	-
	CSR-BC (mm)	8.5	10.0	11.0	12.0	-
	CSR-BC&OT (mm)	8.5	10.0	10.0	10.0	10.0
トリッピング ブラケット	CSR-OT (mm)	7.5	8.0	9.0	9.5	9.5
	CSR-BC (mm)	-	-	-	-	-
	CSR-BC&OT (mm)	7.5	8.0	9.0	9.5	9.5

3. 主要支持部材

3.1 最小板厚要件

3.1.1

本規定は、CSR-OT及びCSR-BCの要件を組合せたものである。CSR-BC (July 2010) 及びCSR-OT (July 2010) で要求される最小寸法を可能な限り維持するため、安全側の要件、つまり、CSR-OTとCSR-BCの要求値の大きい方の値を採用することとした。

船首部及び船尾部については、実際の建造板厚を考慮し、貨物区画における主要支持部材の最小ウェブ板厚を $0.6\sqrt{L_2}$ から $0.7\sqrt{L_2}$ に増加させた。本規定は、CSR-BC (July 2010) 及びRINA規則 (January 2013) に基づく。本規定によるフロア及び主要支持部材のウェブ板の要求最小板厚とCSR適用船の要求寸法の比較が実施された。主要支持部材に関する比較結果を表3に示す。

表3 主要支持部材の最小板厚の比較 (ネット)

対象部材	$L_{CSR} (m)$	150	200	250	300	350
センターガーダ 機関区域	CSR-OT (mm)	9.5	10.5	12.0	13.0	13.0
	CSR-BC (mm)	11.5	12.5	13.5	14.0	-
	CSR-BC&OT (mm)	11.5	12.5	13.5	14.0	14.0
センターガーダ その他の区域	CSR-OT (mm)	9.5	10.5	12.0	13.0	13.0
	CSR-BC (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	10.5
	CSR-BC&OT (mm)	9.5	10.5	12.0	13.0	13.0
ボトムガーダ 機関区域	CSR-OT (mm)	8.5	9.5	10.5	11.5	11.5
	CSR-BC (mm)	10.0	11.0	11.5	12.5	-
	CSR-BC&OT (mm)	10.0	11.0	11.5	12.5	12.5
ボトムガーダ 船首部	CSR-OT (mm)	8.5	9.5	10.5	11.0	11.0
	CSR-BC (mm)	8.5	10.0	11.0	12.0	12.0
	CSR-BC&OT (mm)	8.5	10.0	11.0	12.0	12.0
ボトムガーダ その他の区域	CSR-OT (mm)	8.5	9.5	10.5	11.5	11.5
	CSR-BC (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	10.5
	CSR-BC&OT (mm)	8.5	9.5	10.5	11.5	11.5
ダクトキール 機関区域	CSR-OT (mm)	-	-	-	-	-
	CSR-BC (mm)	12.5	14.0	15.0	16.5	16.5
	CSR-BC&OT (mm)	12.5	14.0	15.0	16.5	16.5
船底フロア 機関区域	CSR-OT (mm)	8.5	9.5	10.5	11.5	11.5
	CSR-BC (mm)	10.0	11.0	11.5	12.5	-
	CSR-BC&OT (mm)	10.0	11.0	11.5	12.5	12.5
船底フロア 船首部	CSR-OT (mm)	8.5	9.5	10.5	11.0	11.0
	CSR-BC (mm)	8.5	10.0	11.0	12.0	12.0
	CSR-BC&OT (mm)	8.5	10.0	11.0	12.0	12.0
船底フロア その他の区域	CSR-OT (mm)	7.5	8.0	8.5	9.5	9.5
	CSR-BC (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	10.5
	CSR-BC&OT (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	10.5
船尾部区域のフロア	CSR-OT (mm)	8.5	9.5	10.5	11.5	11.5
	CSR-BC (mm)	8.5	10.0	11.0	12.0	12.0
	CSR-BC&OT (mm)	8.5	10.0	11.0	12.0	12.0
ウェブ 船首/船尾部	CSR-OT (mm)	8.5	9.5	10.5	11.5	11.5
	CSR-BC (mm)	8.5	10.0	11.0	12.0	12.0
	CSR-BC&OT (mm)	8.5	10.0	11.0	12.0	12.0
ウェブ その他の区域	CSR-OT (mm)	7.5	8.5	9.5	10.0	10.0
	CSR-BC (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	10.5
	CSR-BC&OT (mm)	7.5	8.5	9.5	10.5	10.5

4節 板部材

記号

α_p : 板のアスペクト比による補正係数

この補正係数は、CSR-OT (July 2010) 開発時、アスペクト比を評価するために行った非線形解析に基

づく。解析結果は、DNVの算式とよく一致する。 s/l が0.4から1.0の間では、DNV算式の曲線はほとんど直線であることから、LR規則 (January 2013) のような形とした。

ABS 規則 : $k(ABS) = \frac{3.075\sqrt{\frac{\ell}{s}} - 2.077}{\frac{\ell}{s} + 0.272}, (\max 1.0)$

DNV 規則 : $k(DNV) = \left(1.1 - 0.25\frac{s}{\ell}\right)^2, (\max 1.0)$

LR 規則 : $k(LR) = 1.1 - 0.4\frac{s}{\ell}, (\max 1.0)$

CSR-BC&OT : $k(CSR) = 1.2 - \frac{s}{2100\ell}$
 $\max .1.0, s(mm), \ell(m)$

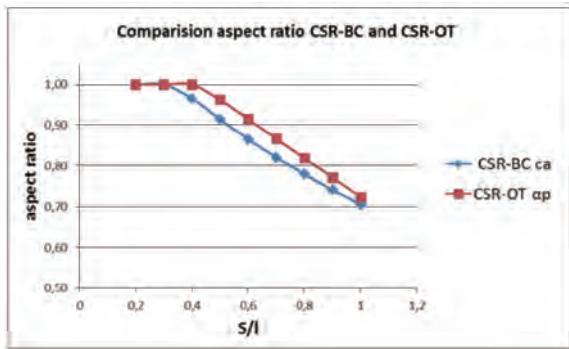
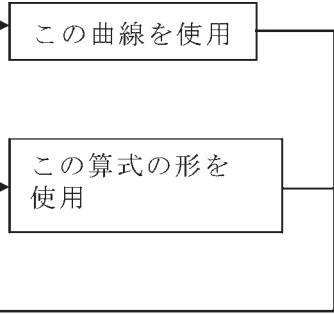


図1 CSR-BC及びCSR-OTにおける板のアスペクト比

χ : 係数

係数 χ は、規則2編1章3節3が適用される隔壁構造を除く、液体を運ぶことを想定していない浸水区画（例えば、ドライスペース、ボイドスペース、ばら積みで乾貨物を積載する貨物倉等）の境界に対して適用される。

許容基準は衝突隔壁及びその他の水密隔壁に対して係数 χ による調整を行っている。 χ は浸水状態の許容応力と非損傷状態の許容応力の比を表す。なお、当該係数はCSR-BC (July 2010) の浸水状態と厳しさと同程度となるよう調整がなされている。

また、係数 χ は、ばら積貨物船の貨物倉の内底板及びホoppa斜板の許容応力を減少させる。

板に対して : $\chi = 0.7$

防撓材及び主要支持部材に対して : $\chi = 0.9$

この目的は当該規則の板及び防撓材の寸法要件を、

CSR-BC (July 2010) で要求される寸法と同程度にすること及びばら積貨物船に対する多種の局部荷重レベルを考慮するためである。簡易的に扱うために、ばら積貨物船の内底板及びホoppa斜板に作用する液体圧力に対しても同じ値を用いている。

1. 面外圧力を受ける板部材

1.1 降伏強度評価

1.1.1 板部材

以下の4点について説明する。

- ・ 許容基準算式
- ・ C_a に対する許容応力
- ・ 係数 χ
- ・ 板のアスペクト比の補正係数 α_p

許容基準算式

面外荷重を受ける板のネット板厚 (mm) は次の算式による。

$$t = 0.0158\alpha_p s \sqrt{\frac{|P|}{\chi C_a R_{eH}}}$$

当該算式は単位幅1と板厚に等しい深さの梁を考慮して導出されている。両端固定の曲げモーメント分布は次の通りである。

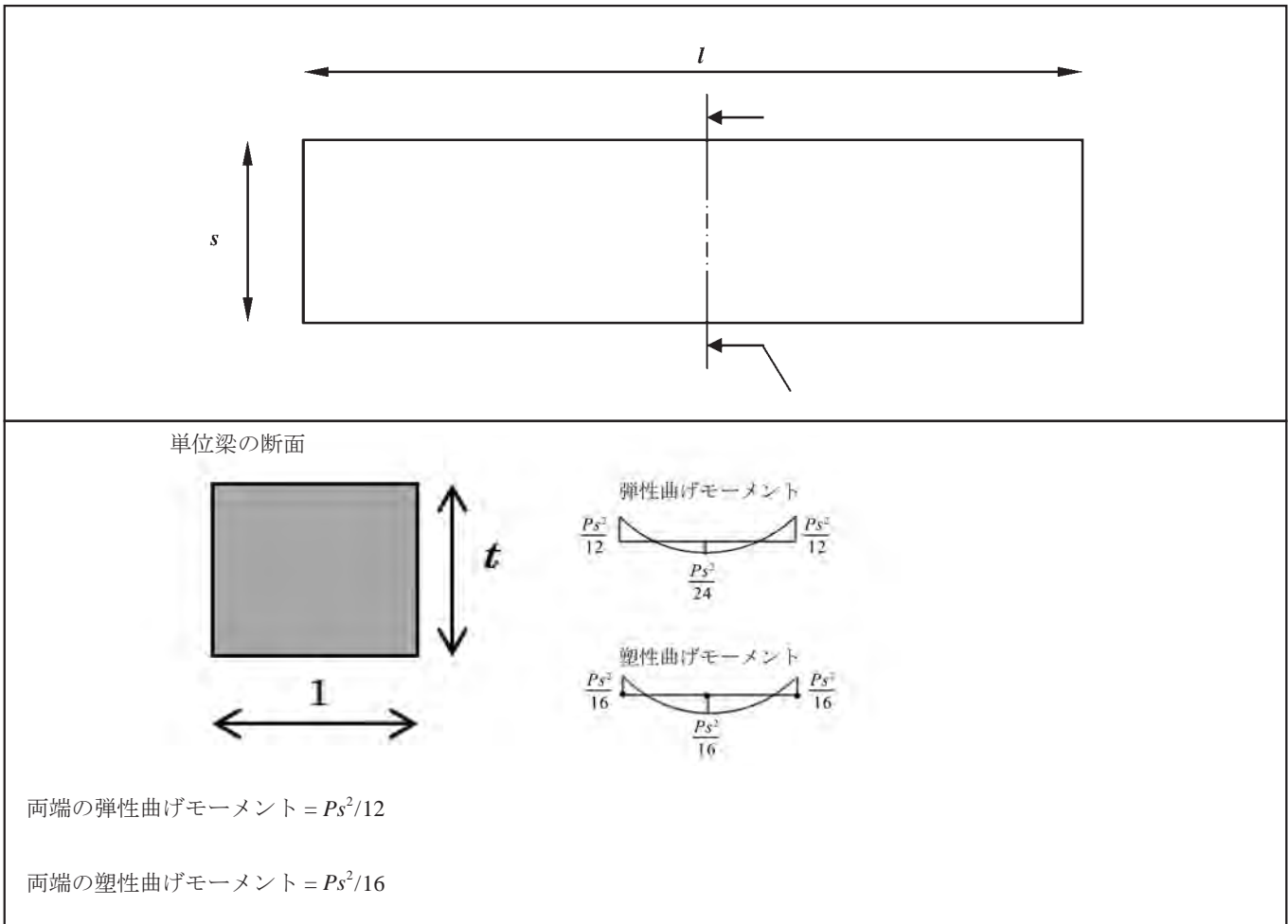


図2 局部部材又は主要支持部材に囲まれた平板パネル

塑性ヒンジが中央と両端に発生するまで上記のモデルに荷重を与えた場合、それぞれの値は次の通りである。

両端及び中央部のモーメント = $Ps^2/16$

塑性断面係数 = $t^2/4$

仮定する許容応力 = $C_a R_{eH} = M/SM = Ps^2/(4t^2)$

従って、

$$t = \frac{s}{2} \sqrt{\frac{P}{C_a R_{eH}}}$$

ただし、sの単位はmm、P及びR_{eH}の単位はN/mm²とする。

Pの単位をN/mm²からkN/mm²に換算すると、次の通りである。

$$t = \frac{s}{2\sqrt{1000}} \sqrt{\frac{P}{C_a R_{eH}}} = 0.0158s \sqrt{\frac{P}{C_a R_{eH}}}$$

板の許容曲げ応力係数 C_a :

板の許容曲げ応力係数 (C_a) は、CSR-OT (July 2010) 開発中に決定されたもので、以下の非線形有限要素解析に基づく。

表1に示す特性の板の塑性歪及び永久変形を調査する研究が行われた。すべての辺で回転を固定し、形状がまっすぐに保たれるようにした。材料曲線は、降伏応力 R_{eH}を超えた応力に対して、線形歪硬化 E_T = 1,000 N/mm²の直線とする。ヤング率は E = 206,000 N/mm²、ポアソン比は ν = 0.3とした。

板には、C_a = 1.0になるまで増大していく面外荷重と、組合せの異なる横方向及び縦方向の面内荷重を与えた。板曲げの最小許容値に対応する荷重履歴を与えるため、荷重をかける手順は十分に考慮した。

表1 使用した有限要素モデルの特性

板厚 t (mm)	板の長さ l (mm)	
	800	4800
10	-	HT32
13	-	MS, HT32, HT36
16	HT32	HT32

解析結果は以下のように要約できる。

1. 板曲げ強度に対しては、特に、横方向の圧縮が支配的である。
2. また、縦方向の圧縮は板曲げ強度を低下させるが、それは主に横方向の圧縮と組合せて起きるときである。
3. 結果の評価は、主に永久塑性歪に焦点をあてている。

永久塑性表面歪を与えるベンチマークは、以下の上限に基づく。

1. 荷重組合せ *a* (静的荷重, 揚貨設備等機械の動作による荷重又は短い再現期間の荷重) については、降伏の2倍
2. 荷重組合せ *b* (静的荷重及び発現頻度レベル 10^{-8} の動的荷重) については、降伏歪の4倍
3. 荷重組合せ *b* における最大歪の値は、最大永久変形 $0.004s$ に対応している。これは、座屈強度評価での標準的な欠陥レベル ($0.05s$) や IACS 報告 No.47 (Rev.5, October 2010) に規定されている基準をはるかに下回っている。

上記解析に基づき、板の許容曲げ応力係数 C_a は、表2に与えられた係数により決定される。

$$C_a = \beta - \alpha \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$$

表2 許容曲げ応力係数

許容基準条件	構造部材		β	α	C_{a-max}
AC-S	縦強度部材	縦方向に防撓された板	0.9	0.5	0.8
		横又は垂直方向に防撓された部材	0.9	1.0	0.8
	その他の部材		0.8	0	0.8
AC-SD	縦強度部材	縦方向に防撓された部材	1.05	0.5	0.95
		横又は垂直方向に防撓された部材	1.05	1.0	0.95
	水密隔壁を含むその他の部材		1.0	0	1.0

ハルガーダ応力を受ける板について、ハルガーダ応力と局部圧力に基づく応力の様々な組合せに対する許容範囲を次に示す。

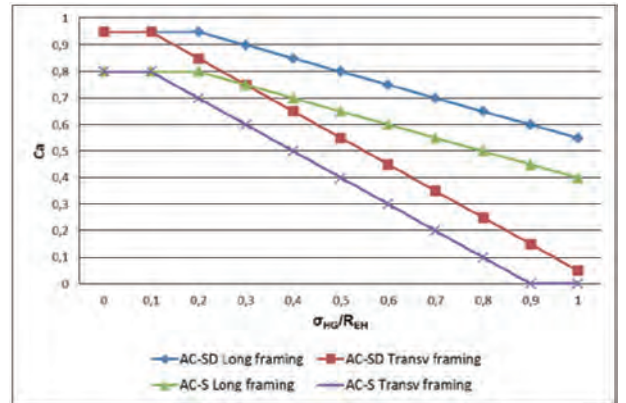


図3 板の許容曲げ応力の係数

1.2 波形隔壁の板部材

1.2.1 冷間加工及び熱間加工の波形隔壁並びに溶接構造の波形隔壁

波形隔壁には、非常に大きな（波形に沿った一軸の）面内応力が発生する可能性がある。加えて、局所的な崩壊が起きる際に荷重が膜応力により再分配される平面隔壁に比べ、波形隔壁は冗長性が低い。下端部や波形の中間部における局所的な崩壊は、たいていの場合、隔壁全体の崩壊につながってしまう。従って、波形隔壁の許容曲げ応力係数 (C_a) は、平面隔壁よりもわずかに小さな値に設定されている。

1.2.2 溶接構造の波形隔壁

算式はDNV規則 (January 2013) Pt 3, Ch 1, Sec 9, C101に基づく。

この波形隔壁の寸法算式は、波形のフランジとウェブで異なる板厚を用いることを考慮している。フランジとウェブのうち、厚い方の板に関しては、均一な板厚で波形隔壁を建造する場合に要求される板厚よりも厚くなる。反対に、薄い方の板については小さくなる。

2. 特別要件

2.1 平板竜骨の最小板厚

2.1.1 ビルジ部の定義

本規定では、隣接する船底外板の板厚を基準にキールの板厚を規定している。

2.2 ビルジ外板

2.2.1 ビルジ部の定義

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2.2.2 中央部 $0.4L_{CSR}$ 間のビルジ外板の板厚

本規定では、船体中央部 $0.4L_{CSR}$ 区間におけるビルジ外板の寸法要件を規定している。

- (a) 隣接する板厚を検討することで、十分な強度の連続性を担保している。
- (b) ビルジ外板の最小板厚の算式は、面外応力と軸

方向のハルガーダ曲げ応力を受ける横方向に防撓された湾曲した板の座屈要件に基づく。縦方向に防撓されたビルジ外板は、6章4節の降伏強度評価及び8章の座屈強度評価を考慮した防撓された平板と考えなければならない。横方向の範囲 ($\approx \pi R/2$) が横部材間の距離よりも長い湾曲した板について、板厚は当該算式及び規則 1.1.1 の許容値に関する算式により得られる値のうち最も小さい値より大きくしなければならない。

2.2.3 中央部 $0.4L_{CSR}$ 間以外のビルジ外板の板厚

本規定では、中央部 $0.4L_{CSR}$ 間の外のビルジ外板の板厚に関する寸法要件を規定している。中央部 $0.4L_{CSR}$ 間の外のビルジ外板は、船底外板及び船側外板の一般的な板部材の要件 (最小板厚要件を含む。) を考慮しなければならない。

2.2.4 ビルジ外板の最小板厚の拡張

本規定の船側及び船底の方向の適用範囲は、隣接する板継ぎ位置から湾曲が終わる点までの距離に基づいて制限される。

2.2.5 ビルジ部の船体外板付肋骨

本規定はビルジ外板の湾曲が終わる点と湾曲が終わってから1番目の縦通防撓材との間の距離を制限している。当該距離が Δs_1 又は Δs_2 を超える場合、規則6章4節2.2.2の寸法要件の導出時の仮定が成り立たなくなる。

2.3 船側外板

2.3.1 フェンダー接触範囲

本規定は、CSR-OT (July 2010) 及びDNV規則 (January 2013) のフェンダー接触の規定に基づく。算式中の係数は、ネット寸法用に調整されている。

2.3.2 フェンダー接触範囲要件の適用

貨物区域の全長にわたり、最小バラスト喫水と構造喫水上 $0.25T_{SC}$ (ただし $2.2m$ 以上とする。) の位置の水平線の間で、検討しなければならない。トリムは考慮していない。

2.4 舷側厚板

2.4.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.4.2 溶接構造による舷側厚板

本規定では隣接する船側外板の板厚を基準に舷側厚板の板厚を規定している。また、大きいハルガーダ曲げ応力が生じる領域の舷側厚板の下端に応力集中が起きようにするための追加の要件が規定されている。

2.4.3 丸型ガンネル

本規定では隣接する甲板の板厚を基準に舷側厚板の板厚を規定している。また、湾曲した舷側厚板の

上端に応力集中が起きないようにするための追加の要件が規定されている。

2.5 梁上側板

2.5.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.5.2

本規定は隣接する甲板の板厚を基準に梁上側板の板厚を規定しており、これまでの船舶設計のプラクティスと合致している。

2.6 波型隔壁の支持構造

2.6.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.6.2 下部スツール

本規定は、基本的に、浸水状態のみを考慮している IACS 統一規則 S18 (Rev.8, May 2010) に基づく。当該要件は、すべての積付状態に対応し、CSR-OT (July 2010) と同等な設計確認を行うことができるよう拡張している。

2.6.3 上部スツール

本規定は、IACS 統一規則 S18 (Rev.8, May 2010) 及び CSR-OT (July 2010) に基づく。

2.6.4 下部スツールが無い場合の波形隔壁の局部支持構造

本規定は、IACS 統一規則 S18 (Rev.8, May 2010) 及び CSR-OT (July 2010) に基づく。

5節 防撓材

1. 面外圧力が作用する防撓材

1.1 降伏強度評価

1.1.1 ウェブ

防撓材のウェブの板厚の算式は、原則として両端固定の一般的な梁理論に基づく。水平防撓材の f_{shr} は 0.5 であり、これは等分布荷重を想定している。一方で、垂直防撓材の下端の f_{shr} は 0.7 であり、線形に変化する圧力分布を想定している。垂直防撓材の上端の f_{shr} は 0.5 であり、安全側の値としている。

許容せん断応力係数 (C_t) の値は、AC-S に対して 0.75 であり、AC-SD に対して 0.9 である。この値は、ハルガーダ応力を受けない許容曲げ応力係数 (C_s) の値と同じである。

規則算式は、液体を積載することを意図していない浸水区画 (例えば、ドライスペース、ボイドスペース、ばら積みで乾貨物を積載する貨物倉等) の境界に対して適用できる。衝突隔壁及びその他の水密な境界に対する基本的な許容基準は、浸水状態と非損傷状態の許容応力の比率を表す係数 χ により調整され

ている。この係数は,CSR-BC (July 2010) の浸水状態と同様の厳しさとなるように調整されている。

1.1.2 断面係数

防撓材に対する曲げ:

防撓材の断面係数の算式は, 原則として両端固定の一般的な梁理論に基づく。水平防撓材の f_{bdg} は12であり, 等分布荷重を負荷した際の端部におけるモーメント $|P|sl_{bdg}^2/12$ に基づく。

一方, 垂直防撓材の f_{bdg} は10であり, 線形に変化する圧力分布(下端で荷重が大きくなる。)を想定した場合の下端の曲げモーメントである $|P|sl_{bdg}^2/10$ に基づく。また, 隣接する下部の防撓材からある程度の曲げモーメントが流れてくることも考慮している。垂直防撓材の上端の f_{bdg} は, 12であり, 安全側の値としている。

この算式は, 液体を積載することを意図していない浸水区画(例えば, ドライスペース, ボイドスペース, ばら積みで乾貨物を積載する貨物倉等)の境界にも適用可能である。

衝突隔壁及びその他の水密な境界に対する基本的な許容基準は, 係数 χ により調整されている。

許容曲げ応力係数 (C_s)

防撓材の許容曲げ応力係数(C_s)は, 板とは異なり弾性域で考慮しなければならない。

局部圧力に基づく応力とハルガーダ応力の組合せに基づく許容曲げ応力係数は, 基本的には, 静的及び動的荷重組合せ状態では1.0, 静的荷重状態では0.85とする。(ただし, 局部圧力のみを考える場合は, 最大値をそれぞれ0.9, 及び0.75とする。)

ハルガーダ応力を受ける部材に対する許容曲げ応力係数 (C_s)

ハルガーダ応力を受ける防撓材については, ハルガーダ応力と局部圧力による応力の様々な組合せに応じて, 以下のような許容基準が設けられている。

規則中の表1及び表2を参照すること。

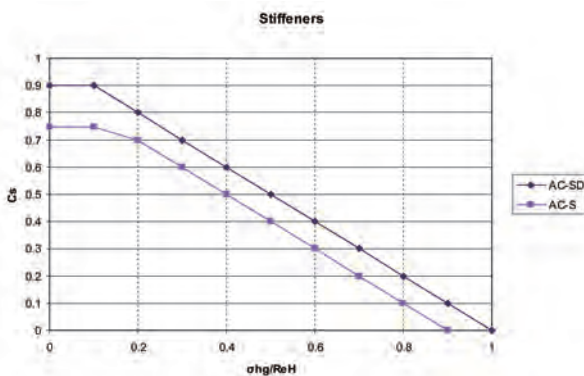


図1 防撓材の係数 C_s

ハルガーダ応力を受ける部材では, 局部圧力に基づく応力は, 単純にハルガーダ応力に加えられる。ハルガーダ応力と局部圧力に基づく応力の向きが異なる場合, 局部圧力に基づく応力の比率自体は最大値 C_{s-max} を超えてはならないという条件を除いて, 応力の合計は, 許容基準を満足しなければならない。また, ハルガーダ応力自体もハルガーダ応力の上限を超えてはならない。

1.1.3 防撓材のグループ

本規定では, 同じ寸法の防撓材が集まったグループで防撓材の寸法を確認するための実用的な基準を規定している。

1.1.4 異なる材料の板部材と防撓材

本規定では, CSR-OT (July 2010) Sec 3/5.2.6に基づく。防撓材の断面係数の要件が規格最小降伏応力が大きい材料に基づいて決められる場合, 防撓材側が規格最小降伏応力に達する前に, 規格最小降伏応力が小さい方の板が降伏しないようにしなければならない。

算式は次のように導出されている。

$\alpha_s / \beta_s = 1.0$ という仮定のもと, 平衡状態の板側及び防撓材側の最小降伏応力は, 限界曲げモーメントを用いて, それぞれ, 以下の通り表すことができる。

$$R_{eH-P} = \frac{M_p}{Z_p} + |\sigma_{hg}|$$

$$R_{eH-S} = \frac{M_s}{Z} + |\sigma_{hg}|$$

従って,

$$M_p = Z_p (R_{eH-P} - |\sigma_{hg}|)$$

$$M_s = Z (R_{eH-S} - |\sigma_{hg}|)$$

板側は, 防撓材側が降伏する前に降伏してはならないので, M_p は M_s より小さくしてはならない。

$$Z_p (R_{eH-P} - |\sigma_{hg}|) \geq Z (R_{eH-S} - |\sigma_{hg}|)$$

従って,

$$\frac{Z_p}{Z} (R_{eH-P} - |\sigma_{hg}|) + |\sigma_{hg}| \geq R_{eH-S}$$

M_p : 付き板の限界曲げ応力 (kNm)

M_s : 防撓材の限界曲げ応力 (kNm)

R_{eH-S} : 防撓材の最小降伏応力 (N/mm²)

R_{eH-P} : 付き板の最小降伏応力 (N/mm²)

σ_{hg} : S及びS+Dの状態におけるサギング状態及びホ

ギング状態の最大ハルガーダ応力。(N/mm²)

ただし、 $0.4R_{eH-P}$ を下回ってはならない。

Z: 防撓材の面材又は遊辺のネット断面係数(cm³)

Z_p: 付き板のネット断面係数 (cm³)

α_s, β_s : 規則表2において定義される係数

σ_{hg} の下限比率0.4及び材料比率(1.35)は、過去の実績に基づく。

1.2 梁解析

1.2.1 直接解析

本規定では、固着度が低い防撓材、変動荷重を受ける防撓材又はマルチスパンの防撓材のような格子構造の一部を構成している防撓材の垂直応力及びせん断応力を定めるために考慮すべきパラメータを規定している。

1.2.2 応力基準

本規定では、直接解析に基づく応力を確認する際に考慮すべき許容垂直応力及びせん断応力を規定している。

6節 主要支持部材及び梁柱

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2. 貨物倉区域内の主要支持部材

2.1 浸水状態

2.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.2 ばら積貨物船

2.2.1 船の長さが150m以上のばら積貨物船

ばら積貨物船の二重底構造は、フロアとガーダが複雑な格子を形成するように建造されている。通常、フロア及びガーダはその船で想定される荷重に対して適切な距離で配置されている。

クロスデッキ間のデッキガーダは片持梁であり、応力分布は局所的な圧力よりも船全体の変形に依存する。従って、直接解析(例えば有限要素解析)が主要支持部材の降伏や座屈評価に使われる。

2.2.2 船の長さが150m未満のばら積貨物船

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.3 油タンカー

2.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3. 貨物倉区域外の主要支持部材

3.1 適用

3.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.2 寸法要件

3.2.1 ネット断面係数

主要支持部材の基準は、曲げモーメント及びせん断力分布係数(規則中の表2参照)を選び、要求曲げ強度及びせん断強度の評価を行うという点で、柔軟性を持たせている。曲げモーメント及びせん断力分布係数は簡易梁解析の算式に基づく。この解析方法は、規則要件の一部と適合している。

3.2.2 ネットせん断面積

3.2.1参照。

3.3 高度な計算手法

3.3.1 直接計算

規則の表2の曲げモーメント及びせん断力分布係数を用いた方法では応力レベルが規則3.2を満足していることを評価するのに十分でないと考えられるような複雑な構造に対して、直接計算を適用する。

3.3.2 強度基準

規則3.3の許容応力基準は、より高度な梁解析に適用する。

4. 梁柱

4.1 圧縮軸荷重を受ける梁柱

4.1.1 基準

座屈強度要件は軸荷重のみを受ける梁柱型の構造に対して適用される。

梁柱に働く圧縮軸荷重は限界座屈応力から計算される許容荷重よりも小さくする必要がある。

4.2 引張軸荷重を受ける梁柱

4.2.1 基準

引張軸荷重を受ける梁柱は、降伏強度評価を行わなければならない。規則4.1.1に規定される座屈強度基準は適用しない。

7章 直接強度評価

1節 強度評価

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本章では、本規則の適用対象となるばら積貨物船及び油タンカーに対する直接強度評価のための計算手法について規定している。

貨物倉の有限要素構造強度解析の適用対象は以下の通り。

- a) 船の長さが150m以上の二重船殻油タンカー
- b) 船の長さが150m以上のばら積貨物船

1.1.2

規則2節で要求される解析は、主要支持部材の寸法を決定することを目的としており、規則3節で要求される解析は、応力集中部の局部補強を決定することを目的としている。

1.1.3

疲労強度解析に関しては、9章によること。

1.1.4

有限要素解析で用いる応力については、以下を考慮した。

- ・ 降伏強度評価：一次応力及び二次応力
- ・ 疲労強度評価：一次応力、二次応力及び三次応力

1.1.5

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.1.6

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2. ネット寸法

2.1 ネット寸法の適用

2.1.1

規則3章で規定される腐食予備厚は、船の設計寿命の中で減少すると考えられる板厚の最大の腐食量である。しかし、貨物倉の有限要素解析において、すべての部材に対してこれらの要求される最大の腐食量を適用することは過度の要求となるため、平均的な腐食量を適用することが適当だと考えられる。なお、平均的な腐食量として、最大腐食予備厚の半分の値を設定した。

一方、限界座屈応力は、各座屈パネルにおいて腐食予備厚の100%が腐食した状態を考慮することが適当だと考えられるため、この場合には腐食予備厚の100%の値を考慮する。

3. 要素の種類

3.1 使用する要素の種類

3.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4. 検討結果の提出

4.1 詳細な報告書

4.1.1

船級協会が有限要素モデル、境界条件、荷重及び積付状態の正確性を評価し、モデル全体における応力値を確認するために、詳細な報告書を提出しなければならない。

作成されたモデルの正確性を確認するため、有限要素法における断面係数及び中性軸の値を実際の値と比較し確認することを推奨する。

5. コンピュータプログラム

5.1 コンピュータプログラムの使用

5.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2節 貨物倉の構造強度解析

1. 目的及び範囲

1.1 一般

1.1.1

本評価手順は、以下の船体構造に対して適用する。

- ・ 規則1章1節1.3に規定される二重船殻油タンカー
- ・ 規則1章1節1.2に規定されるばら積貨物船

1.1.2

有限要素構造強度解析は、貨物倉区域内のすべての縦強度部材、主要支持部材及び隔壁構造に対して実施しなければならない。本規定は、規則7章2節5.1.2と併せて、船首隔壁より前方及び機関区域の構造部材にも適用される。

1.1.3

どの貨物倉を船体中央部の貨物倉区域の強度解析の対象としなければならないかに関して、AEから当該貨物倉の船長方向の重心位置までの距離が $0.3L_{CSR} \sim 0.7L_{CSR}$ にある貨物倉を、船体中央部の貨物倉区域の貨物倉と定義する。本定義により、ある貨物倉の全長の50%以上が従来の定義による船体中央部の貨物倉区域(AEから $0.3L_{CSR} \sim 0.7L_{CSR}$)に含まれる場合、その貨物倉は船体中央部の貨物倉区域の強度解析の対象となる。

実際面では、船長方向に5つの貨物倉を持つ標準的な設計の船舶の場合、No.3及びNo.4貨物倉が船体中央部の貨物倉区域（No.1貨物倉は最前端貨物倉）になる。船長方向に6つの貨物倉を持つ標準的な設計の船舶の場合、No.3～No.5貨物倉が船体中央部の貨物倉区域（No.1貨物倉は最前端貨物倉）になる。船長方向に7つの貨物倉を持つ標準的な設計の船舶の場合、No.3～No.6貨物倉が船体中央部の貨物倉区域（No.1貨物倉は最前端貨物倉）になる。船長方向に9つの貨物倉を持つ標準的な設計の船舶の場合、No.4～No.7貨物倉が船体中央部の貨物倉区域（No.1貨物倉は最前端貨物倉）になる。

従って、前方部貨物倉区域及び後方部貨物倉区域は、船体中央部の貨物倉区域より前方及び後方の貨物倉と定義される。また、最前端貨物倉及び最後端貨物倉は、独立した区域として定義される。このことから貨物倉区域は以下の5つの区域に分類される。

- ・ 最後端貨物倉
- ・ 後方部貨物倉区域
- ・ 船体中央部の貨物倉区域
- ・ 前方部貨物倉区域
- ・ 最前端貨物倉

それぞれの貨物倉区域に対して、規則4章8節に規定される独立した設計荷重組合せが適用される。

1.2 貨物倉の構造強度解析の手順

1.2.1 手順の概要

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.2.2 中央ホールドの定義

油タンカーにおける最後端貨物タンク区域の有限要素モデルでは、3ホールド有限要素モデルのうち前方部貨物タンクは(N-1)番目の貨物タンク（貨物区域内に貨物タンクが船長方向に6つ(N=6)ある場合はNo.5貨物タンク）としなければならない。また、後方部貨物タンクは機関室としなければならない。

このとき、3ホールドモデルの中央ホールドは、N番目の貨物タンク及び機関室隔壁からN番目の貨物タンクの前端隔壁までの間に位置するスロップタンクを表すものとする。

1.2.3 寸法評価

規則7章2節5.1.1に規定されている通り、有限要素解析の評価範囲は有限要素モデルの中央ホールドの前後の横隔壁を含む。図1に示すように、船首隔壁及び最後端の貨物倉における後端隔壁を除くすべての横隔壁が2つの有限要素解析の結果に含まれる。これらの隔壁に対する部材寸法は、対応する2つの有限要素解析に基づいて評価する必要がある。

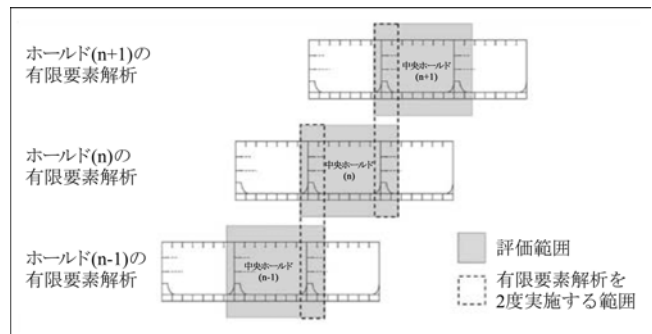


図1 個別貨物倉評価による寸法評価

2. 構造モデル

2.1 モデル化する部材

2.1.1

有限要素モデルの板厚は、規則3章2節に規定されるネット寸法手法に従う。

貨物倉有限要素モデルにおいては、全長にわたって船体の腐食環境を表現するものでなければならない。船体構造全体において、各部材に対して腐食予備厚最大分まで腐食することを想定するのは現実的ではない。そのため、船体構造の全体強度の解析を行う上では、全部材に対して、50%の腐食予備厚を差し引いた板厚を考慮する。これは、船の一生を通じて要求される、船体横断面に対する板厚計測要件に限らず、ハルガーダ強度要件とも整合している。

ハルガーダ強度に寄与するその他の構造部材例を以下に示す。ただし、以下に限定されるものではない。

- ・ 規則5章1節1.2.4に規定する連続したトランク
- ・ 規則5章1節1.2.5に規定する強力甲板上に溶接されたガーダ
- ・ 規則5章1節1.2.6に規定する縦通隔壁に支持される倉口間ガーダ

2.2 モデル化範囲

2.2.1 船長方向の範囲

貨物倉有限要素モデルの両端に作用する境界条件として変位を拘束した場合には、一般的に拘束点周辺に正常でない応力が発生する。そのため、応力評価範囲は、拘束による応力の影響を受けないようモデルの境界から十分に離れた位置でなければならない。

3ホールド有限要素モデルを使用する理由は以下の通り：

- 3ホールド有限要素モデルを使用する目的は、応力評価範囲において、変位を拘束する際に発生する正常でない応力が影響を与えないように、強度評価範囲を境界条件設定位置から十分離れた位置とするためである。また、有限要素モデルにおける強度評価範囲は、中央ホールドの後方隔壁のストリングャやバットレスの終点位置か

ら、前方隔壁のストリングやバットレスの終点位置までであることにも注意しなければならない。更に、モデル端部に調整曲げモーメントを負荷することや、1/2+1+1/2を使用した場合には、モデル端部の拘束による影響が及ぶ範囲から評価区域まで2フレーム程度しかない可能性があることも考慮すると、3ホールドモデルがより適切である。

- (b) 3ホールドモデルを用いる場合はモデル両端に横隔壁が存在するため、3ホールドモデルの中央ホールドの変形が、全船モデルにおける変形と相似する。
- (c) 3ホールドモデルを用いることで、せん断力、曲げモーメント及び振りモーメントを船長方向に沿って要求される値に調整することができる。この調整は1/2+1+1/2ホールドモデルでは困難である。

2.2.2 船体形状のモデル化

最前端貨物倉及び最後端貨物倉の有限要素モデルに適正な応力及び圧力荷重を与えるため、モデルの船体形状は実際の外板の曲率を表現したものとすべきである。最前端貨物倉及び最後端貨物倉のモデル化における混乱を避けるために、3ホールドモデルの中央ホールドにおける結果に影響を及ぼさない以下の簡略化された手順を用いることができる。

- ・ 最前端貨物倉モデル
船首部の中央より前方に向かって一番初めの横桁までの船体形状をモデル化する。船首部の中央とは、船首隔壁の位置と補強されたトランスリング又はウェブフレームが基線から強力甲板まで連続して設けられるモデル端部の位置との間における、船長方向の中心位置のことをいう。
- ・ 最後端貨物倉モデル
機関区域の中央より後方に向かって一番初めの横桁までの船体形状をモデル化する。

延長箇所における横桁の特性は、延長を始める箇所の横桁と同じ特性を有するよう考慮しなければならない。また、横桁の心距は横桁の特性の1つとして含まれる。

2.2.3 船幅方向の範囲

理論的には、船幅方向に左右対称な構造に対して非対称な荷重を負荷する場合は、船体中心線上の平面に適切な境界条件を設定した状態で、複数の対称及び非対称荷重ケースの解析結果から得られる応力を重ねあわせることにより、半幅のみモデル化した有限要素モデルを用いて解析を実行することができる。しかし、この手順は複雑であり、解析の際に人為的ミスが生じる危険性も高くなる。非対称な荷重ケー

スを単純化し、解析の際のミスの発生確率を低減させるべく、全幅をモデル化した有限要素モデルを用いなければならない。

2.2.4 垂直方向の範囲

縦通トランク構造など、ハルガーダ強度に寄与し、上甲板より上部に存在するすべての構造部材についてもモデル化する必要があることに注意しなければならない。

2.3 要素の種類

本有限要素解析で取り扱う応力及びひずみは、互いに線形の関係を持つ。同様に、線形理論に基づき、応力による変位が生じる。

2.3.1

船体構造を表現するためには、2節点ビーム要素及び3節点又は4節点シェル要素を使用すれば十分であり、これらが船級協会、造船所及び設計会社において有限要素解析の際に最も一般的に使用されている要素の種類である。従って、有限要素モデルの作成においてもこれらの要素を使用することを推奨する。その他の項目については、7章1節によること。

2.3.2

防撓材の中性軸の偏心を考慮することにより、可能な限り厳密に実際の構造応答を表現することができる。また、面外荷重を受けない防撓パネルだけでなく、面外荷重を受ける防撓パネルにおいても、実際の構造応答を表現できると考えられる。更に、防撓材の共通のモデル化手法を採用することで、評価結果の相違を最小限にし、規則を適用した際に共通の寸法を得ることに対しても有効である。

2.3.3

通常、シェル要素を用いて主要支持部材の面材をモデル化しようとする時、規則7章2節2.4.1で使用を制限されているアスペクト比が3より大きい要素を使用することは避けられない。主要な応力成分である軸応力を得るためには面材をロッド要素又はビーム要素でモデル化することで十分である。

2.4 構造のモデル化

2.4.1 アスペクト比

有限要素法で使用される要素は、使用されるメッシュに関して制限がある。歪んだ要素及びアスペクト比が高い要素においては、正確でない解析結果が得られる可能性があるため、これらの要素を使用することは避けるべきである。規則で要求される有限要素解析において正しい解析結果を得るためには、アスペクト比が3以下の要素を使用すれば十分と考えられる。

2.4.2 メッシュサイズ

船体構造の板部材や防撓材を可能な限り実際の構

造と同じようにモデル化することにより、正確な構造応答を得ることができる。更に、評価結果の相違を最小限にし、規則を満足する共通の寸法を得ることに対しても有効である。更に、防撓材の配置に従って板部材のメッシュを作成することにより、複数の防撓材をグループ化して1つの防撓材とし、それに対して適切に近似した要素特性を付加して板要素の端部に配置するといった作業の必要性を除外することができる。このモデル化手法を採用することで、座屈強度評価の際のパネル応力の抽出に関してもより容易かつ正確に実施することができる。

貨物倉有限要素解析における目的は、船体構造の全体的な強度を評価することであり、構造詳細及び不連続部の応力を取得することではない。これは、使用しているメッシュサイズが非常に粗く、正確な形状を表現できないためである。構造詳細における応力を取得するためには、詳細メッシュ有限要素解析が用いられる。

2.4.3 標準より詳細なメッシュ

貨物倉有限要素解析において、コースメッシュで構造詳細の形状を正確に表現できない場合は、詳細メッシュ解析によって応力を取得し、基準値と比較することができる。ただし、この解析オプションは、応力集中部にのみ適用可能であることに注意する必要がある。なお、詳細メッシュ解析と貨物倉コースメッシュ解析の整合性を保つためにも、詳細メッシュ解析において貨物倉有限要素解析で使用されるメッシュサイズの範囲で平均化された応力は、貨物倉解析で要求される許容応力を超えてはならない。応力の平均化は、等価な範囲内にある要素のミーゼス応力の面積平均に基づいて実施する。

2.4.4 波形隔壁

波形隔壁においては、波形の形状を正確に表現することが重要である。モデルが実際の形状と異なっている場合は、波形構造の断面剛性や断面積が正しく表現されず、不適正な応力応答が得られる可能性がある。波形構造における形状の不正確なモデル化は避けなければならない。

2.4.5

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.4.6 スニップ端の防撓材

スニップ端を有する小さな防撓材で、全長がシェル要素の縁より短い（例えば150mm以下）場合は、モデル化しなくてもよい。片側又は両側がスニップしている防撓材のうち、全長がシェル要素の縁より長いものについてはモデル化しなければならない。スニップ端の端部形状を正確にモデル化することが目的で

はなく、より実際に近い剛性及び主要支持部材における応力の低減への寄与を表現することが重要である。ただし、板の座屈強度評価においては、ウェブ防撓材によって区切られるパネルの正確な寸法に基づいて評価を行う必要がある。

防撓材をモデル化することにより、各パネルの寸法、パネルに作用する応力及び圧力荷重が明確に決定され、また、それによって座屈強度評価の有効性及び整合性を向上することができる。また、ストリングやウェブフレームに付く面材に平行かつ近傍にあるウェブ防撓材は、各構造部材の断面係数に寄与する部材とみなすことができるため、応力を低減させる効果がある。ただし、スニップ端を有する防撓材に対して何らかの修正を行わない場合、ストリングやウェブフレームに付く面材の応力を過小評価することとなる。なお、スニップ端を有する防撓材のモデル化の原則はCSR-OTに基づいている。CSR-BC&OTではCSR-OTの式より単純化されており、防撓材のウェブ深さを減らすよう規定されている。

2.4.7 主要支持部材のウェブ防撓材

ウェブフレームや隔壁付きストリングでは、ウェブ防撓材の配置が不規則となる場合がある。このような場合に望ましくないメッシュ形状（三角形要素や大きく歪んだ要素）となることを避けるために、ウェブ防撓材の端点をわずかに調整してもよい。一般的に、防撓材の心距の0.2倍を超えない範囲であれば調整を行っても差し支えないと考えられる。調整量がこの許容値以内であれば、応力及び座屈強度モデルは有限要素モデルから取得でき、調整を行う必要はない。なお、規則8章4節表1に規定する非防撓パネル以外の主要支持部材に付くウェブ防撓材はロッド要素を用いて表現してはならない。

2.4.8 主要支持部材の面材

本規定に関する技術背景は、1958年9月にR.W.Westrup及びP.SilverによってAerospace Sciencesにて発表された論文“Some effects of curvature on frames”に基づく。

本算式は、湾曲した面材における曲げモーメントに関する有効性を表している。有効性は、面材の断面積比という形で表現される。本修正は、曲率によって荷重が作用する向きが変化するために行う。湾曲した面材が付く部材におけるモーメントの許容値は、面材に働くせん断の変化が伝達される可能性によって決定される。湾曲した面材の幅が広いほど、断面としての有効性は低くなる。同様に、半径が小さい場合は荷重の働く向きの変化が大きく、有効性は低くなる。

2.4.9 開口

貨物倉解析は、船体構造の全体的な強度を評価す

ることのみを目的としている。開口部周辺の局部応力は、規則7章3節に規定する開口部の形状を正確に表現した詳細メッシュ解析による追加の評価を実施する。

$h_o/h \geq 0.5$ 又は $g_o \geq 2.0$ のいずれかを満たす大開口に関しては、適切な解析結果を得るために、貨物倉有限要素モデル内において開口形状をモデル化する必要があると考えられる。 l_o 、 h_o 及び g_o については、規則7章2節表1によること。この場合、開口部周辺の局部応力を評価するための詳細メッシュ評価を実施しなければならない。詳細については、7章3節によること。

$h_o/h < 0.5$ かつ $g_o < 2.0$ を満たす小開口に関しては、貨物倉有限要素モデル内においてモデル化する必要はないと考えられる。その代わりに、ウェブ材における切欠きやスロットによるせん断面積の減少を考慮するために、規則7章2節5.2.6の規定に従いせん断応力を修正しなければならない。以上により、いかなる形状であっても貨物倉有限要素解析に開口の影響が含まれることとなる。

ただし、規則7章3節に規定される開口部の詳細メッシュ解析を行うべきか判定するスクリーニング評価は、開口が有限要素モデル上でモデル化されていない場合のみ適用されることに注意しなければならない。開口が有限要素モデル上でモデル化されている場合は、開口部の詳細メッシュ解析が必須となる。

2.5 境界条件

2.5.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.5.2 適用

本境界条件は、規則で定められた設計荷重が負荷された3ホールド有限要素解析モデルを用いた解析に対して適用可能である。

2.5.3 境界条件

独立点で貨物倉モデルの拘束を行うため、モデル両端にy方向及びz方向変位に対する剛体結合を適用する。また、前端的独立点で拘束を行い、後端的独立点に規則で要求される振りモーメントを負荷するため、モデル両端にx軸周りの回転に対する剛体結合を適用する。

更に、構造を十分に支持するため、モデル前端的中心線と内底板の交差部でx方向変位を拘束する。この点をx方向変位の拘束点とした理由は以下の2つによる。

- (1) この点には物理的な節点が存在する。
- (2) 独立点と距離が非常に近く、(1)の拘束によって垂直曲げモーメントが生じるとしても、その影

響が最も小さくなる点と考えられる。

2.5.4 端部ビーム要素

全船の一部を切り出して作成する3ホールドモデルにおいて、端部の振り拘束をモデル化するため、貨物倉モデル両端にビーム要素を適用する。それにより、3ホールドモデルにおける切断部からの剛性が表現される。また、振り荷重に対しては、この面外剛性が振りに対する拘束として作用する。更に、モデル両端の断面に面外剛性を加えることで、ハルガーダ曲げに対する切断部の影響をモデル化することができる。従って、モデル両端の断面の全縦通部材に対して端部ビーム要素を配置することにより、切断の影響を取り除き、適正な剛性を表現することができる。なお、ここでいう縦通部材には、ばら積貨物船におけるクロスデッキも含まれる。

3. 有限要素解析の荷重組合せ

3.1 設計荷重組合せ

3.1.1 有限要素解析の荷重組合せの定義

4章8節によること。

3.1.2 必須となる荷重組合せ

4章8節によること。

3.1.3 追加の積付状態

4章8節によること。

4. 荷重の適用

4.1 一般

有限要素解析における最も重要な側面の1つとして、負荷された荷重に対して可能な限り正確な構造応答を得るといえることがある。そのため、規則ではハルガーダ荷重や局部荷重など、同時に働くすべての荷重を直接有限要素モデルへ負荷するよう規定されている。これにより、すべての構造部材における相互影響も含まれることとなる。

局部荷重を負荷した有限要素解析の結果上に、単純化された梁理論によるハルガーダ荷重から得られた応力を重ね合わせる方法は、上記で述べた構造部材における相互影響を保てないため適用することはできない。4章8節によること。

4.1.1 構造モデルの自重

実際の船においては、船の全重量のうち鋼材の重量が占める割合が大きいことから、船体構造の解析においても、鋼材の重量を考慮することが重要である。一般的なVLCCを例にとると、鋼材の重量は代表的な満載状態(貨物密度 $0.85t/m^3$)における全貨物重量の12~16%であり、代表的なバラスト状態においては全バラスト重量の40~50%である。

4.1.2 符号

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.2 外圧及び内圧

4.2.1 外圧

規則4章5節に従って外圧を有限要素モデルに負荷しなければならない。

ハッチコーミング上端に沿って負荷する青波荷重は、ハッチコーミング上端の分布荷重として負荷しなければならない。このとき、分布荷重の合計が対応するハッチカバーに働く青波圧の合計と同等とならなければならない。

4.2.2 内圧

規則4章6節に従って内圧を有限要素モデルに負荷しなければならない。

4.2.3 有限要素に対する圧力の適用

一定の圧力又は線形の分布圧力のいずれかをシェル要素に負荷したとしても、得られる応力の差は規則で要求される強度評価を行うための応力としてはごくわずかなものであると考えられる。

4.3 ハルガーダ荷重

4.3.1 一般

3ホールド有限要素モデルは両端で単純支持された船の一部を表現したただけのものであるため、規則で要求される局部荷重(例:タンク内静圧, タンク内動圧, 静水圧, 波浪変動圧, 構造モデルの自重)がモデルに負荷されているとき、ローカル荷重によって生じるハルガーダ荷重は、規則4.3で定義される目標値に届かないことがある。そのため、モデルにせん断力やモーメントを負荷することで、ハルガーダ荷重を調整する必要がある。調整量は、以下の通り各ハルガーダの成分ごとに個別に計算及び負荷される。

- a) ハルガーダせん断力
- b) ハルガーダ垂直曲げモーメント
- c) ハルガーダ水平曲げモーメント
- d) ハルガーダ振りモーメント

すべてのハルガーダ荷重成分は個別に調整することができるが、いくつかのハルガーダ成分の調整は正しい順序で行う必要がある。詳細については、規則4.4によること。

4.3.2 ハルガーダ垂直曲げモーメントのターゲット値

ハルガーダ垂直曲げモーメントのターゲット値は、考慮する荷重組合せにおける垂直曲げモーメントの最大設計値を表す。有限要素強度評価において、垂直曲げモーメントのターゲット値は以下の主要成分で構成される。

- (a) 静的な荷重組合せ (S) の場合：静水中垂直曲げモーメント M_{sw}
- (b) 静的荷重及び動的荷重の組合せ (S+D) の場合：静水中垂直曲げモーメント M_{sw} 及び波浪中垂直

曲げモーメント M_{wv-LC}

静水中垂直曲げモーメント M_{sw} とは、規則4章4節2.2.2及び2.2.3のそれぞれに規定される、航海時及び港内状態における考慮する船長方向位置での許容静水中垂直曲げモーメントのことをいう。許容最大値に達しない積付パターンの場合、静水中垂直曲げモーメントはその積付パターンに対応する係数 C_{BM-LC} により軽減される。波浪中垂直曲げモーメント M_{wv-LC} は動的荷重ケースごとに設定される値であり、規則4章4節3.5.2の規定により求める。

船体中央部の貨物倉区域においては垂直曲げモーメントのターゲット値は1つの値をとるが、許容静水中垂直曲げモーメント及び波浪中垂直曲げモーメントは $0.3L_{CSR} \sim 0.7L_{CSR}$ の間で必ずしも一定とはならないため、中央ホールド内で M_{sw} と M_{wv-LC} の組合せが最大となる値をターゲット値とする。一方、船体中央部以外においては M_{sw} と M_{wv-LC} の組合せの値は船の前端及び後端に向けて徐々に減少する。従って、船体中央部の貨物倉区域以外においては考慮する有限要素モデルにおけるそれぞれのウェブフレーム及び横隔壁の位置ごとにターゲット値が設定される。

4.3.3 ハルガーダせん断力のターゲット値

ハルガーダせん断力は、局部荷重によって生じる応力の組合せにより、横隔壁近傍で最も厳しくなるものと考えられる。ハルガーダせん断力は、その最大値とされる規則4.4.5の規定によるハルガーダせん断力のターゲット値に達するよう調整される。

ハルガーダせん断力のターゲット値は、有限要素モデルの中央ホールド前方及び後方の横隔壁位置のそれぞれについて規定される。ハルガーダせん断力のターゲット値は、ハルガーダせん断力の最大設計値を表す。有限要素強度評価において、せん断力のターゲット値は以下の主要成分で構成される。

- (a) 静的な荷重組合せ (S) の場合：静水中せん断力 Q_{sw}
- (b) 静的荷重及び動的荷重の組合せ (S+D) の場合：静水中せん断力 Q_{sw} 及び波浪中せん断力 Q_{wv-LC}

静水中せん断力 Q_{sw} とは、中央ホールドの前後の横隔壁位置における許容静水中せん断力のことをいう。許容最大値に達しない積付パターンの場合(例えば千鳥状の積付パターン)、静水中せん断力はその積付パターンに対応する係数 C_{SF-LC} により軽減される。許容静水中せん断力の符号は、局部荷重によって有限要素モデルに生じるせん断力の符号により決定される。

ばら積貨物船においては、許容静水中せん断力は規則4章4節2.3.3及び2.3.4に規定されるせん断修正に基づいた値となる。せん断力の公称値を評価するため、 Q_{sw} にはせん断修正が含まれていなければならない

い。せん断力調整の原則については、規則5章1節3.6.1によること。

波浪中垂直せん断力 Q_{wv-LC} は考慮する動的荷重ケースごとに設定される値であり、せん断力の値及び符号は、考慮する横隔壁位置において規則4章4節3.5.3の規定に基づき決定される。

4.3.4 ハルガーダ水平曲げモーメントのターゲット値

ハルガーダ水平曲げモーメントは、横波及び斜波の動的荷重ケースにおいて考慮しなければならない。波浪中水平曲げモーメントの目標値 M_{wh-LC} は、考慮する動的荷重ケースごとに規則4章4節3.5.4の規定により計算される。

規則4.3.2と同様に、船体中央部の貨物倉区域においては水平曲げモーメントのターゲット値は1つの値を取るが、船体中央部の貨物倉区域以外においては考慮する有限要素モデルにおけるそれぞれのウェブフレーム及び横隔壁の位置ごとにターゲット値が設定される。

4.3.5 ハルガーダ振りモーメントのターゲット値

ハルガーダ振りモーメントは、横波及び斜波の動的荷重ケースにおいて考慮しなければならない。油タンカーのように断面が閉じた構造においては、ハルガーダ振りモーメントの影響は無視できるものと考えられる。従って、ターゲット値はばら積貨物船にのみ設定される。動的荷重ケースOST及びOSAに対する波浪中振りモーメントのターゲット値 M_{wr-LC} は規則4章4節3.5.5の規定により求める。

有限要素モデルに M_{wr-LC} の最大値を負荷するため、考慮する中央ホールドの船長方向位置に応じて、中央ホールドの前後横隔壁のいずれかをターゲット位置に設定する。参照位置とする $0.531L_{CSR}$ は、規則で定める振りモーメントのゼロ交差位置である。ハルガーダ振りモーメントと無関係な動的荷重ケースにおいては、ターゲット値 M_{wr-LC} は中央ホールドの中央位置で0とする。これは、モデル両端を回転固定(θ_x)とした状態と同程度となるよう調整するためである。

4.4 ハルガーダせん断力及び曲げモーメントの調整手順

4.4.1 一般

最終的なハルガーダせん断力は、考慮する横隔壁の位置においてターゲット値を超える必要はない。また、最終的なハルガーダ曲げモーメントは、中央ホールド内のあらゆる位置においてターゲット値を超える必要はない。なお、要求されるすべてのターゲット値まで調整するためには、曲げモーメントの調整を行う前にせん断力の調整を行う必要があるということが重要である。

4.4.2 局部荷重の分布

考慮する横隔壁近傍のせん断力分布のうち、絶対値が最も大きいせん断力の値までハルガーダせん断力の調整を行うため、横隔壁直近の前後位置における適正なせん断力を得られるよう、横隔壁位置に対して船長方向に近い位置に計測点を設定しなければならない。

4.4.3 局部荷重によるハルガーダせん断力及び曲げモーメント

貨物倉有限要素モデルの船長方向にわたるハルガーダ曲げモーメント及びせん断力分布の計算に用いる手法は、縦強度計算並びに船上のローディングコンピュータによる静水中曲げモーメント及びせん断力計算と同じ手法としなければならない。局部荷重によって生じるハルガーダ曲げモーメント及びせん断力の分布の計算は単純な梁モデルに基づくものとし、その計算に用いる荷重は有限要素モデルに負荷される荷重を用いなければならない。

通常、船上のローディングコンピュータを用いて曲げモーメント及びせん断力を計算する際には、タンク内の貨物やバラストなどの船幅方向の分布を考慮せず、単純な梁として計算を行う。船幅方向に不規則に積付けられている場合、同じハルガーダ曲げモーメント及びせん断分布を持つ規則的な積付状態と比べ、局部荷重の影響により部分的に船長方向応力及びせん断力が上昇することがある。船幅方向に不規則な積付けにおいて最大の許容静水中曲げモーメント及びせん断力を受ける場合、船体強度の妥当性を検証するため、有限要素法を用いてその不規則な積付けによる局部荷重によって生じる応力上昇分を確認しなければならない。

4.4.4 船長方向の不均衡力

モデルに調整力を負荷することによって著しい高応力箇所及び曲げモーメント分布への影響が生じることのないよう、モデル前端に長手方向の分布荷重を負荷することによる船長方向の不均衡力を与える。

モデルにおける船長方向荷重の合計値が0でない場合はモデル中に船長方向不均衡力FIが存在するため、船長方向の反力によって生じる余分な垂直曲げモーメントの発生を防ぐために荷重を調整する必要がある。反力によるモデルへのいかなる影響も避けるべく、x方向の変位が拘束されている側のモデル端部の断面における、ハルガーダ曲げに有効な要素すべてに対して船長方向分布応力を負荷しなければならない。

4.4.5 ハルガーダせん断力の調整手順

ハルガーダ垂直せん断力の調整手順は、原則、規則4章8節に示す荷重組合せ以外にも適用することができる。ただし、類似した積付状態に対する規則4章

8節の荷重組合せパラメータが用いられることが条件となる。

パラメータは、以下による。

- 1) 積付パターン
- 2) 喫水
- 3) C_{BM-LC} : 許容静水中垂直曲げモーメントの百分率
- 4) C_{SF-LC} : 許容静水中せん断力の百分率
- 5) 最大せん断力の荷重組合せ (Max SFLC) の場合かどうか
- 6) 動的荷重ケース (荷重組合せ $S+D$ の場合)

せん断力の調整においては、中央ホールドの両方の隔壁位置でのせん断力を確認することが重要である。

そのため、規則4章8節の荷重組合せの表に含まれない最大せん断力の荷重組合せ (Max SFLC) を考慮する場合は、各動的荷重ケースが片方の隔壁位置におけるせん断力をターゲットとするよう、動的荷重ケースを選択しなければならない。

最大せん断力の荷重組合せ (Max SFLC) の場合、中央ホールドにおいてせん断力の調整を行う隔壁の位置は規則7章2節表4により決定する。

貨物エリアの長手方向にわたり、中央ホールドの両側の隔壁について確認する必要がある最大せん断力の荷重組合せ (Max SFLC) を表1に図示する。

表1 貨物エリアの中央ホールドにおいてターゲット値まで調整するせん断力

荷重シナリオ	中央ホールドの 前端隔壁における 局部せん断力	波状態	
(S+D)	$Q_{fwd} > 0$	サギング	
(S+D)	$Q_{fwd} \leq 0$	サギング	
(S+D)	$Q_{fwd} \leq 0$	ホギング	
(S+D)	$Q_{fwd} > 0$	ホギング	
(S)	$Q_{fwd} > 0$	-	
(S)	$Q_{fwd} \leq 0$	-	

本項に示す2つの手法（手法1及び手法2）は等しい結果を導き出すものではなく、互いに使い分けのできる代替手法という位置付けではない。本質の異なるこれらの手法は本項に従って用いなければならない。

せん断力を調整する場合、有限要素モデルに対していかなる調整荷重も負荷することがないため、手法1の方が手法2よりも望ましい。これは、局部荷重によるせん断力の勾配が維持されることから、より物理的な結果が得られるためである。

実際の運用においては、手法1を用いると中央ホルドのうち調整されない側の隔壁のせん断力がターゲット値（許容値）を超えてしまう場合にのみ、手法2が用いられる。言い換えれば、手法2を用いないとすれば、評価範囲において許容せん断力を超過してしまうことがあり、その場合は得られた結果の評価工程が複雑となってしまう。

SF-LC及びNon SF-LCについて、図2に手法1（M1）又は手法2（M2）を選択するための論理フローを示す。

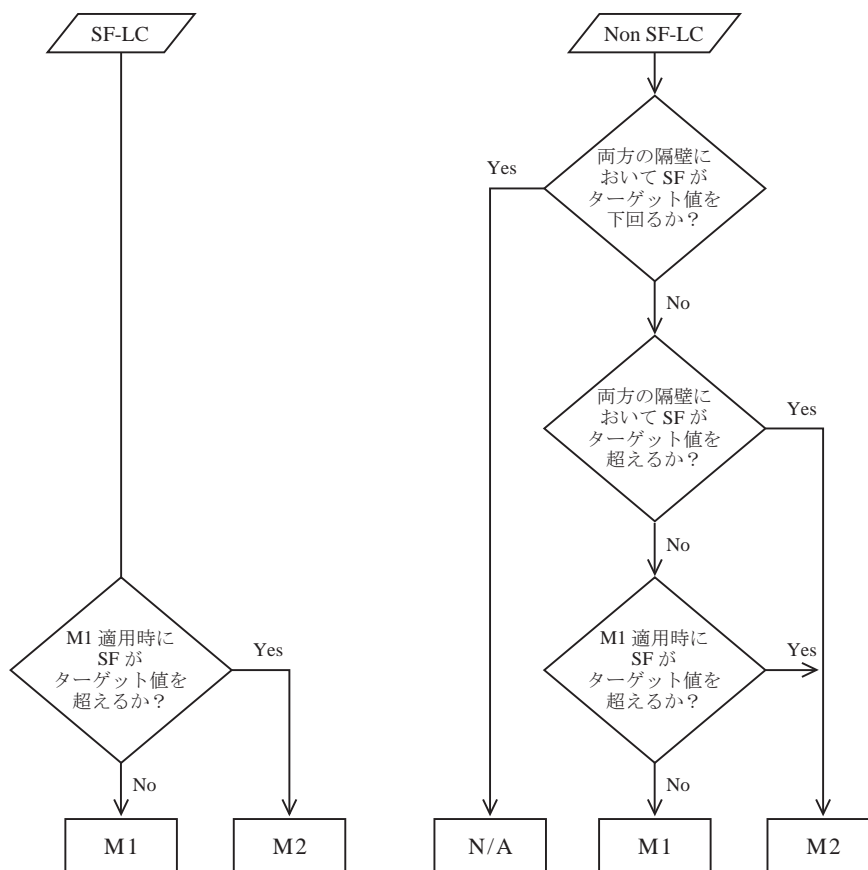


図2 せん断力の調整手法の適用

4.4.6 片方の隔壁位置におけるせん断力の調整を行う手法1

手法1では、ハルガーダ垂直せん断力の調整には有限要素モデルの境界上の荷重のみが用いられる。すなわち、（独立した各荷重シナリオに対して計算される。）局部荷重に対して垂直及び水平方向の内力が追加で考慮されることはない。

4.4.7 両方の隔壁位置におけるせん断力の調整を行う手法2

手法2では、次の2つの段階を踏む。

まず、端部に曲げモーメントを負荷することにより局部荷重によるせん断力曲線を（手法1と同様に）平行移動させる。続いて、中央ホルドの両隔壁にお

いてターゲット値（実際は一方がターゲット値でもう一方が許容値）となるようせん断力曲線の勾配を調整する。

1段階目では、2段階目において追加が必要となる垂直方向の内力を最低限に抑えるべく調整することで、実質的にはせん断力曲線の勾配の変化も最低限に抑えていることになる。2段階目は1段階目の延長上と取ることもできるが、必要となる場合にのみ実施する。結果的に、手法1及び手法2の境界上にある状況では、手法1から手法2へスムーズに移行する。

各断面における縦通部材に分布荷重として負荷するせん断力の割合は、せん断流計算によって決定される。せん断流手法により求められる垂直方向及び水平

方向の荷重成分は同時に負荷しなければならない。垂直方向成分のみ負荷できるものと考えられていたが、その場合、傾斜した構造及び水平な構造（すなわち、面外方向）に負荷すると過剰なスプリアス歪を生じてしまうことが判明した。

4.4.8 船体中央部の貨物倉区域における垂直曲げ及び水平曲げモーメントの調整手順

船体中央部の貨物倉区域では、図3に示すように、ハルガーダ垂直曲げモーメント及び水平曲げモーメントが中央ホールド内でターゲット値に達するよう調整するため、モデル端部に垂直及び水平曲げモーメントを負荷する。

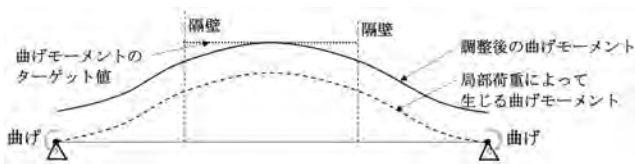


図3 船体中央部の貨物倉区域における曲げモーメントの調整

4.4.9 船体中央部の貨物倉区域以外における垂直曲げ及び水平曲げモーメントの調整手順

船体中央部の貨物倉区域以外においては、図4に示すように、ハルガーダ垂直曲げモーメント及び水平曲げモーメントがあらゆる位置でターゲット値に達するよう調整するため、モデル中のすべてのウェブフレーム及び横隔壁位置において垂直及び水平曲げモーメントを負荷する。船体中央部の貨物倉区域における曲げモーメントの調整の場合と同様に、この調整によってせん断力は発生しない。

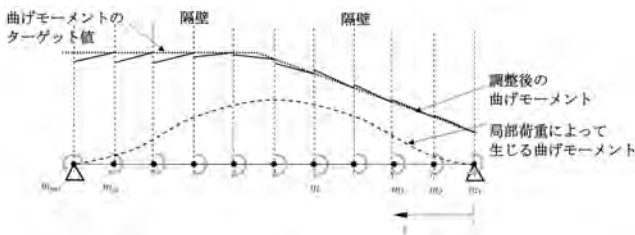


図4 船体中央部の貨物倉区域における曲げモーメントの調整

4.4.10 有限要素モデルにおける調整曲げモーメントの適用

規則4.4.6に規定されるモデル端部の曲げモーメントによるせん断力調整も含めた垂直曲げ及び水平曲げモーメントの調整は、船長方向の節点荷重として負荷しなければならない。当該荷重の分布は単純な梁

モデルに基づく考慮する断面の応力分布による。モデル端部ではx方向変位、y軸周りの回転及びz軸周りの回転に関して剛体結合が設定されないため、等価船長方向荷重による曲げモーメントがモデル端部の断面に負荷されなければならない。

4.5 ハルガーダ振りモーメントの調整手順

4.5.1 一般

規則4.5に規定される内容は、ハルガーダ振りモーメントの調整に対して適用する。

4.5.2 局部荷重による振りモーメント

各断面における振りモーメントの計算においては、正確な振りモーメントの基準点を参照することが極めて重要である。回転自由 θ_x が与えられるモデル端部では水平方向反力が生じている必要がある。

4.5.3 ハルガーダ振りモーメント

振りモーメントは、モデル両端のうち境界条件に回転自由 θ_x が与えられる側から、船長方向に足し合わせる。

4.5.4 ハルガーダ振りモーメントのターゲット値への調整方法

調整振りモーメント M_{T-end} は、回転自由 θ_x が与えられるモデル端部の独立点にのみ負荷しなければならない。局部荷重によって生じる振りモーメントは、図5のようにターゲット値まで平行に増減される。

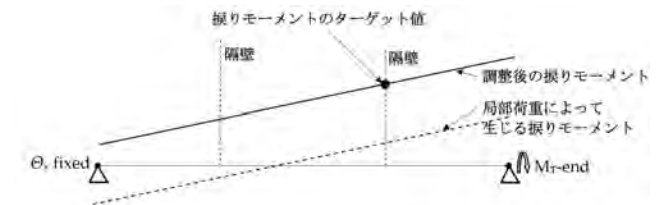


図5 ターゲット値までの振りモーメントの調整

4.6 ハルガーダ荷重の調整の概要

4.6.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

5. 解析の評価基準

5.1 一般

5.1.1 評価範囲

許容基準に対する結果の評価を行う船長方向の範囲は、3ホールド有限要素モデルの中央ホールド並びに中央ホールドの前後端の横隔壁に付随するストリング及びバットレスの範囲までとなる。この範囲においては、有限要素法の解析結果に基づいた許容基準に対する強度評価は妥当であると考えられる。ただし、

- モデルの中央ホールド区域内で、規則で定められるハルガーダ曲げモーメント及びせん断力が

適正に負荷されていることを確認しなければならない。ハルガーダ曲げモーメント及びせん断力の調整方法の詳細な説明については、規則7章2節4.3から4.5によること。

- モデル両端に負荷する拘束が応力応答に影響を及ぼさないよう、モデルに負荷する境界条件の位置が、強度評価位置から十分に離れていることを確認しなければならない。詳細については、規則7章2節2.4によること。

5.1.2 構造部材

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

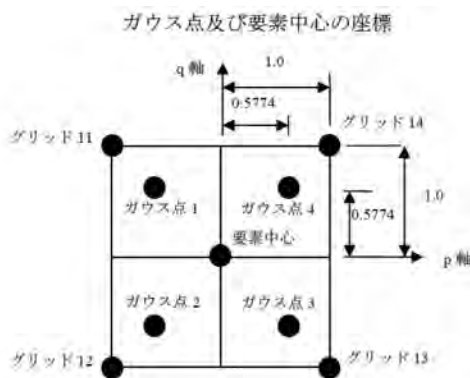
5.2 降伏強度評価

降伏及び座屈は、使用限界状態に関連する静的及び動的荷重を受ける船体構造における、2つの代表的な崩壊モードである。貨物倉の強度評価では、これら2つの崩壊モードに対する構造強度を検証する。構造解析においては、ミーゼス応力の許容基準並びに板及び防撓パネルの座屈に対する許容基準のいずれにおいても基準値を超えないことを示さなければならない。許容値は、最も厳しい条件と考えられる北大西洋を25年間航行するものとして設定されている。

5.2.1 ミーゼス応力

シェル要素における応力計測点は、局部圧力荷重によって生じる曲げ応力の影響を排除するため、板の中央平面とする。多くの有限要素解析プログラムは、要素中心の応力値を出力することができるが、要素中心の応力を取得できない場合は、ガウス点の応力を用いた要素の形状関数に基づく計算を行い要素中心の応力を求めても差し支えない。

上記の計算方法は、多くの有限要素に関する教科書及びソフトウェアの説明書に記載されている。単純な4節点要素内にあるガウス点及び要素中心の座標の例を図6に示す。なお、要素の形状関数は、要素の種類及び次数によって異なることに注意しなければならない。



ガウス点は p/q パラメトリック空間における $(i/3)^2$ に位置する。要素中心の座標は(0,0)

図6 ガウス点及び要素中心の座標

(備考)

単純な4節点要素においては、要素中心の応力は4つのガウス点の応力を平均した値と同じとなる。

5.2.2 ビーム及びロッド要素の軸応力

ビーム要素又はロッド要素でモデル化された（主要支持部材の）面材の軸応力は、桁部材における直応力を表している。同様に、ビーム要素又はロッド要素でモデル化された、波形構造のウェブと面材の交差部に働く軸応力は、波形構造における直応力を表している。有限要素モデル中に存在するその他のビーム要素及びロッド要素に関しては、強度評価を行う必要はない。詳細については、規則5.2.4によること。

5.2.3 コースメッシュ解析における許容降伏使用係数

応力の基準はミーゼス応力に基づいており、純粋なせん断応力に対する明確な基準はない。これは、ミーゼス応力にはせん断応力及びその他の軸応力成分なども含まれているため、通常（ミーゼス応力とせん断応力で同じ基準に基づいている場合は純粋なせん断応力に対する基準よりミーゼス応力における基準の方が厳しくなるためである。ただし、パネルにおける座屈使用係数の計算においては、せん断応力及び2軸直応力の個々の値が必要となる。

応力の基準値は要素の膜応力に基づいており、これにはハルガーダによる影響、主要支持部材の変形及び防撓材の曲げ応力の影響が含まれているが、板の曲げ応力の影響は含まれない。

港内又は水圧試験状態（設計荷重組合せS）については静的荷重のみに基づいた評価を行う。港内又は水圧試験状態（設計荷重組合せS）における降伏及び座屈の使用係数に対する許容基準は航海状態（設計荷重組合せS+D）に対する許容基準の80%に設定されており、動的荷重に対する事実上の許容値を20%としている。この許容値は、港内又は水圧試験状態時に閉囲された水域においても外洋からの波を受けることをいづらか許容し、また、一時的な想定外の過積載によって恒久的な変形が生じないための安全率としての役割も果たしている。本許容基準は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

5.2.4 降伏強度に対する評価基準

液体による面外圧力を受ける波形隔壁の波形構造を構成するシェル要素に対しては、信頼性をその他の部材と同等のレベルまで引き上げるために、追加の安全率（降伏及び座屈に対して許容使用係数の10%の減少と等価）を与えている。本許容基準は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

なお、CSR-BC (July 2010) における取り扱いと同

様に、ばら積貨物による圧力を受ける立て式波形隔壁の波形構造には、この追加の安全率は要求しない。これは、これらの重要部材は（初期降伏ではなく最終強度の評価となるが）貨物倉の不測の浸水シナリオにおけるより厳しい規則算式による確認がなされるためである。

応力に対する許容値は、規則で定められた特定の要素サイズに対して設定される。そのため、規則で要求されるより大きいサイズの要素で発生した応力に対してこれらの許容値を適用すると、非安全的側の要求寸法となる場合がある。

下部スツールがない波形隔壁においては、下部スツールがある波形隔壁と同等の信頼性まで引き上げるために、波形隔壁及び周辺の支持部材に対して追加の安全率（降伏及び座屈に対して許容使用係数の10%の減少と等価）を与えている。

これまでの損傷履歴より、下部スツールがない立て式波形隔壁は下部スツールがある波形隔壁に比べて応力が高くなること及び二重底内の支持部材との配置の不具合から、より厳しくなる（例えば局部損傷の傾向があるなど）ことが示されている。また、許容使用係数の減少は、下部スツールのない波形隔壁に対する規則算式要件が十分でないことを考慮し、それを担保するための手法としても導入されている。本許容基準は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

5.2.5 波形隔壁の波形部

波形隔壁の波形部においては、フランジの幅方向及びウェブの高さ方向に応力勾配を持つ。そのため、評価は以下の方法に従って行わなければならない。

- (a) 許容使用係数を10%減少させた状態でのシェル要素に対するミーゼス応力評価（液体による面外圧力下の場合のみ）
- (b) 波形構造のフランジとウェブの交差部の単位断面特性を持つダミーロッド要素の軸応力 σ_{rod} の評価。これは、ダミーロッド要素は（1次元要素であることから）応力勾配を持たず、最大許容降伏使用係数を適用することで十分なためである。

5.2.6 切欠きに対するせん断応力の修正

ウェブ材にある開口部周辺のせん断応力は、規則3章7節1.4.8によるせん断面積に基づいて計算し、せん断面積の減少を考慮して修正しなければならない。

5.2.7 開口部におけるせん断応力の修正の例外

規則5.2.6で要求される切欠きに対するせん断修正の適用を制限するため、桁材のウェブに対するせん断応力の修正の例外となる複数の標準的な形状を規定する。

これらの標準的な形状に対する修正はより簡便な許容降伏強度の減少という形で行われるため、せん

断応力（及びミーゼス応力）の修正を実施する必要はない。

5.3 座屈強度評価

5.3.1

座屈については、8章によること。

参照

1. IACS, “Common Structure Rules for Double Hull Oil Tankers”, July 2010.
2. IACS, “Common Structure Rules for Bulk Carriers”, July 2010.

3節 局部構造強度解析

1. 目的及び範囲

1.1 一般

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.1.2

詳細メッシュ解析による評価位置の選定は、ばら積貨物船及び油タンカーのそれぞれにおける損傷履歴及び過去に実施した複数の有限要素解析結果に対する研究に基づいて決定されている。なお、評価位置における詳細は、規則2.1及び3.2に記載されている。ここで指定される評価位置は、標準的な設計における中央部区域で最も厳しい応力が発生すると考えられる領域を含んでいる。ただし、規則で要求される評価対象位置は広範囲に及ぶため、詳細メッシュで解析を行うべき重要な位置を特定し、不必要な計算を繰り返し行うことを避けることを目的として、コースメッシュ解析の結果得られる応力と、詳細メッシュ解析の結果得られる応力の相関を調べた研究に基づくスクリーニング手順が開発された。詳細メッシュ解析のためのスクリーニング基準は、規則3.3に規定されている。

評価が必要な位置が多数存在するため、詳細メッシュモデルを用いて評価を行うべき位置を特定し、不必要な計算を繰り返し行うことを避けることを目的として、コースメッシュ貨物倉有限要素解析の結果から得られた応力に基づいた、数式を用いた評価によるスクリーニング手順が開発された。スクリーニング手順は、開口、ブラケット端部及び主要支持部材の端部も含めた、一般的な構造詳細に適用する。スクリーニング基準を満足する構造詳細箇所については、詳細メッシュ解析を行う必要はない。

1.1.3 詳細メッシュ解析手順

詳細応力評価の際は、高応力領域周辺で詳細化されたメッシュを用いる。これは、粗いメッシュサイズにおいては正確な構造詳細の表現ができず、ある程度

単純化してモデル化されており、この局所応力をコースメッシュ貨物倉有限要素モデルから得ることはできないためである。局部詳細メッシュ解析の目的は、評価位置における局部的な部材形状による影響を含んだ詳細応力が、許容基準を満たしているかを評価することである。

1.1.4 局部構造強度の評価範囲

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2. 詳細メッシュ解析により評価する局部箇所

2.1 評価が必須となる構造詳細のリスト

2.1.1 構造詳細のリスト

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2.1.2 二重船側を有する船のホッパナックル部

二重船側を有する船のホッパナックル部とは以下の部材の結合部を指す。ただし、これに限定するものではない。

(a) 下部ホッパナックル部

- ・ 内底板
- ・ 横式のスカーフィンングブラケット
- ・ ホッパ斜板
- ・ 二重底サイドガーダ
- ・ 二重底フロア
- ・ ホッパタンク部横桁

(b) 上部ホッパナックル部

- ・ 二重船側縦通隔壁
- ・ ホッパ斜板
- ・ 二重船側部水平ガーダ
- ・ 二重船側部横桁
- ・ ホッパタンク部横桁

ホッパナックル部における、詳細メッシュ解析が要求される重要部位は、損傷履歴及び過去に実施した複数の有限要素解析結果に対する研究に基づき、常に高応力が発生すると考えられる部材交差部が選定されている。

2.1.3 単船側ばら積貨物船の倉内肋骨の端部ブラケット及び下部ホッパナックル部

単船側の船舶のホッパナックル部とは以下の部材の結合部を指す。ただし、これに限定するものではない。

- ・ 内底板
- ・ 横式のスカーフィンングブラケット
- ・ ホッパ斜板
- ・ 二重底サイドガーダ
- ・ 二重底フロア
- ・ ホッパタンク部横桁

損傷履歴及び過去に実施した複数の有限要素解析

結果に対する研究によると、ホッパナックル下部及び倉内肋骨の上下端部は常に高応力が発生する。しかしそれ以上に、コースメッシュによる貨物倉有限要素モデルにおいては、ブラケット端部の詳細形状を正確に表現することができない。そのため、詳細メッシュ解析を実施し、基準値と比較するための正確な応力を得る必要がある。

2.1.4 大開口

開口の幾何形状が有限要素モデル上でモデル化されている場合は、通常コーナ部の縁に応力集中が発生する。開口周辺の正確な局部応力を得るためには、詳細メッシュ解析が有効な方法である。

同じタイプの主要支持部材間で、同じ位置に大開口が存在する場合は、コースメッシュ解析から得られるミーゼス応力が最も高い開口を、詳細メッシュ解析の対象としなければならない。大開口が異なる種類の主要支持部材に存在する場合又は同じタイプの主要支持部材にあっても他の部材と異なる位置に存在する場合は、一般的にはそれらも詳細メッシュ解析の対象としなければならない。

2.1.5 上甲板及び二重底の縦通防撓材と横隔壁構造との結合部

甲板及び二重底内の縦通防撓材の結合部端部に対して詳細メッシュ解析による評価を行う目的は、局部的なき裂及び塗装割れを発生させる可能性がある防撓材の支持構造間での相対変位によって生じる応力上昇を評価することである。主要支持部材と横隔壁の相対変位が最も大きい防撓材を、詳細メッシュ解析の対象とする。

船長方向に関しては、甲板、内底板及び外板に付く縦通防撓材における相対変位は、通常水密横隔壁及び制水横隔壁位置周辺で最大となる。船幅方向に関しては、最大変位は通常縦通隔壁間の中間位置で発生する。

当初、主要支持部材における相対変位によって生じる結合部端部の応力水準を制御することを目的として、変位を持つ単純な梁モデルに基づく、既存の設計に対して校正を行うことにより導かれた相対変位に対する基準を規則で設けていた。そして、もしこの変位における基準を満たしていない場合には、ブラケット端部、二重底及び甲板の縦通防撓材に付くウェブ防撓材及び最大相対変位を持つ隣接する横隔壁付き垂直防撓材周辺の全応力を評価するための詳細メッシュ解析が要求されていた。その後、相対変位における要件は削除され、あらゆる場合において、局部詳細メッシュ解析が要求されることとなった。

単純な相対変位における基準に比べて、詳細メッシュ解析を採用する利点は、詳細メッシュ解析では

結合詳細の正確な形状、ブラケット配置及びすべての荷重ケースを考慮に入れた解析を行うことにより、より正確な応力水準を得られることである。詳細メッシュ解析を行う意図は、防撓材の相対変位や、その他のあらゆる荷重によって生じる応力上昇に対して十分な強度を有しているかを評価することである。

2.1.6 波形隔壁と下部構造との結合部

波形隔壁と隣接構造部材の結合部は複雑な構造となっており、コースメッシュモデルによる貨物倉有限要素モデルでは、構造詳細の形状を十分な精度で表現することができない。そのため損傷履歴、設計上の応力集中及び構造的な不連続に関する解析の結果から、基準値と比較するための正確な応力を得るための詳細メッシュ解析を実施することとなった。

3. スクリーニング手順

3.1 スクリーニング範囲

3.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.2 構造詳細のリスト

3.2.1 貨物倉区域

スクリーニング基準は、応力勾配が大きい範囲に対して適用し、応力集中が発生せず、均一の応力が発生している範囲には適用しない。構造詳細に対するスクリーニング手順は、開口、ブラケット先端及び主要支持部材の端部にも適用できる。スクリーニング基準は、発生する応力が許容応力を超えるかどうかを予測するために使用される。スクリーニング基準を満たす構造詳細に対しては、詳細メッシュ解析は要求されない。

詳細メッシュ解析は、評価対象の構造詳細がスクリーニング基準を満たさない場合に、実施しなければならない。基準値に対して適合しているかどうかは、有限要素解析に使用されるすべての荷重条件に対して行わなければならない。

なおスクリーニングの式は、詳細メッシュ解析を行う必要があるかどうかを確認するため、貨物倉有限要素解析から得られた応力に基づき、構造詳細の局所応力を適切に推定することを目的としている。ただし、これらの式は必ずしも応力水準を正確に推測するものではない。

スクリーニング基準は、コースメッシュ有限要素解析の結果と、詳細メッシュ有限要素解析の結果の相互関係に基づいて設定されている。貨物倉有限要素モデルが、規則3.2.2で規定される要求に従っていない場合は、あらゆるスクリーニング評価は有効でない。

a) 主要支持部材のウェブには、規則3.2で定義される詳細メッシュ解析が必ず必要な大開口以外に

も、数多くの開口が存在する。そのため、(詳細メッシュ評価やスクリーニング解析による。)評価が必要ではない、重要でない開口を特定するための、開口に対する追加のスクリーニング手順が導入された。本スクリーニングの基準は、開口の大きさと位置に基づいている。

構造詳細のうち、降伏使用係数が最大となる代表的な構造詳細についてスクリーニング評価を実施することで差し支えない。代表的な構造詳細に対するスクリーニング評価の結果はグループ内のすべての構造詳細に適用することができる。代表の構造詳細と同様の形状及び位置関係にある貨物区域内の各構造詳細を同一のグループとする。

各グループにおいて構造詳細は以下について同様でなければならない。

- ・ 開口の形状及び大きさ
- ・ 開口端部の防撓材の配置
- ・ 板厚及び板の形状
- ・ スクリーニング評価を実施する構造詳細の防撓材の配置
- ・ 甲板横桁のブラケット端部のフランジ、縦通隔壁付立桁及び横隔壁付水平ストリンガの形状

構造詳細の形状及び位置関係が、考慮しているグループと異なる場合、当該構造詳細は同一のグループであるとしてはならない。すなわち、当該構造詳細のスクリーニング評価は別途実施しなければならない。

3.2.2 中央部貨物倉区域以外

規則7章3節3.2.2に規定されるスクリーニング手順は、中央部貨物倉区域と同様の構造詳細となる中央部貨物倉区域以外の構造詳細に適用される。中央部貨物倉区域の構造詳細に対する詳細メッシュ解析の結果は、同様の構造詳細となる中央部貨物倉区域以外の構造詳細の評価において参照することができる。

中央部貨物倉区域以外の構造詳細について、中央部貨物倉区域内で詳細メッシュ解析を実施した構造詳細と同様のものがない場合、別途実施する詳細メッシュ解析は、構造詳細のうち、降伏使用係数が最大となる代表的な構造詳細に対して実施することで差し支えない。代表的な構造詳細に対する詳細メッシュ解析の結果はグループ内のすべての構造詳細に適用することができる。代表的な構造詳細と同様の形状及び位置関係にある中央部貨物倉区域以外の各構造詳細を同一のグループとする。

各グループにおいて構造詳細は以下について同様でなければならない。

- ・ 板厚及び板の形状
- ・ 中央部貨物倉区域とは別に詳細メッシュ解析を実施する構造詳細の防撓材の配置

- ・ 倉内肋骨の端部ブラケットのフランジの形状
- ・ 大開口の形状及び大きさ
- ・ 大開口端部の防撓材の配置

構造詳細の形状及び位置関係が、考慮しているグループと異なる場合、当該構造詳細は同一グループであるとしてはならない。すなわち、当該構造詳細の詳細メッシュ解析は別途実施しなければならない。

3.3 スクリーニング基準

3.3.1 スクリーニング係数及び許容スクリーニング係数

コースメッシュ解析の結果得られる応力は、コースメッシュの範囲で平均化された応力である。しかし、複雑な形状によって急激に応力勾配が変化する局所的な位置においては、実際の応力は、コースメッシュの範囲で平均化された応力より大幅に高いものと考えられる。そのため、このような位置においては、実際の応力分布を調査するための詳細メッシュ解析が必要となる。

これまでの実績に基づき、確実に応力が高くなると考えられる複数の局部構造位置が選び出されている。そのため、これらの位置に対しては詳細メッシュ評価が必須となる。ただし、規則2.1で規定される複雑な構造を除く位置においては、応力が安全基準を超える可能性が最も高い位置を決めるためにスクリーニング評価を実施し、それらの位置においてのみ詳細メッシュ評価を行えばよい。

D1船及びS1船の、50mm×50mmメッシュにおける詳細メッシュ解析の数値検証の結果、S1船におけるハッチコーナ上の全要素及びD1船におけるハッチコーナ上のほとんどの要素で、許容応力を超えていなかった。これは、コーナの放物形状及び局所的な甲板の補強により、ハッチコーナの応力の大部分が他の部材に分配され、結果として応力が下がったためである。しかし、コースメッシュモデルではこの影響を表現することができない。そのため、CSR-BCで定義される、ハッチコーナに対する詳細メッシュ解析のためのスクリーニング基準（コースメッシュ解析における許容応力の95%）がそのまま導入されている。また、ハッチコーナに対する疲労強度評価は必ず実施しなければならない。

スクリーニングの目的は、詳細メッシュ応力が許容値を超える継手又は位置を予測することである。

$$\sigma_{fine_mesh} \geq [\sigma_{fine_mesh}] \quad (1)$$

コースメッシュ解析で得られる応力と、詳細メッシュ解析で得られる応力には、以下の関係がなければならない：

$$\sigma_{fine_mesh} = f_g \sigma_{coarse_mesh} \quad (2)$$

これら2つのメッシュサイズにおける許容応力の比は以下の通り規則で与えられている：

$$f_s = \frac{[\sigma_{fine_mesh}]}{[\sigma_{coarse_mesh}]} = \begin{cases} 1.7: \text{溶接に接しない要素} \\ 1.5: \text{溶接に接する要素} \end{cases} \quad (3)$$

式(2)及び式(3)を式(1)に代入する：

$$f_g \cdot \sigma_{coarse_mesh} \geq f_s \cdot [\sigma_{coarse_mesh}]$$

$$\sigma_{coarse_mesh} \geq \frac{f_s}{f_g} [\sigma_{coarse_mesh}]$$

係数 $C = f_s / f_g$ は、CSR-BC (July 2010) で使用されている許容応力の割合で表現されるスクリーニング基準である。既に f_g は規則で定義されているため、異なる関連する継手ごとに、係数

$f_g = \frac{\sigma_{fine_mesh}}{\sigma_{coarse_mesh}}$ を定義することが重要である。

それぞれの代表的な継手において、板部材ごとに f_g の平均比を取得し、その中から各継手における f_g の最大比を取得する。これにより、各継手が1つのスクリーニング解析基準解析のための比を持つことになる。次に、すべての継手を2つのグループ（詳細メッシュが必要な範囲及びスクリーニング解析が必要な範囲）に分類する。これにより、詳細メッシュが必要な範囲における平均比及びスクリーニングが必要な範囲における平均比を取得することができる。コースメッシュにおける基準値を $1.0\lambda_y$ とすると、規則で要求される詳細メッシュ (50mm×50mmメッシュ) の基準値は $1.5\lambda_y$ となり、スクリーニング基準として75%の値となる。本結果は、以下の表に示す通りである。

表1 D1船及びS1船のスクリーニング基準解析

船種	D1		S1	
	詳細メッシュ箇所	スクリーニング箇所	詳細メッシュ箇所	スクリーニング箇所
f_g	2.77	1.96	2.43	2.04
f_s	1.5	1.5	1.5	1.5
スクリーニング基準	54%	77%	62%	74%
スクリーニング範囲に関する結論	75% (77%と74%の平均)			

D1船及びS1船による、肋骨心距程度のコースメッシュ及び50mm×50mmメッシュによる詳細メッシュを用いた、一連の代表的な継手における相互数値解析を行った。そしてそれぞれの継手において応力の比較を行い、すべての荷重ケースにおいて係数 f_g を得た。次に、それぞれの継手において、詳細メッシュ解析における応力が最も高い荷重ケースにおける f_g のみ抜き出す。そして、すべての継手における最大の f_g の値を平均し、それを最終的な f_g の値として、スクリーニング基準を $C=0.75[\sigma_{coarse_mesh}]$ と決定した。

一時的にスクリーニング基準を $C=0.75[\sigma_{coarse_mesh}]$ とするのは合理的であるが、相関解析データは、2隻のみによる結果だけでは不十分であるため、別の船の異なる相関解析の結果によって、基準値は今後修正される可能性がある。

表5：表に示す主要支持部材の開口部に対するスクリーニング基準は、ウェブの開口のコーナに作用する最大応力を予測することを目的としている。各項における式の意味は以下の通り：

- ・ 式中の $|\sigma_x + \sigma_y|$ の項は、x方向及びy方向の両方の要素軸応力の影響を考慮するためのものである。
- ・ 式中の $\left(2 + \left(\frac{l_0}{2r}\right)^{0.74} + \left(\frac{h_0}{2r}\right)^{0.74}\right) |\tau_{xy}|$ の項は、要素せん断応力の影響を考慮するためのものである。
- ・ 式中の C_h の項は、ウェブ高さに関する影響を考慮するためのものである。主要なブラケット及びバットレスのウェブに存在する開口については、この影響は無視でき、 C_h の値は1.0となる。
- ・ 式中の係数0.85はコースメッシュ有限要素解析の応力と詳細メッシュ有限要素解析の応力の相関から得られた係数である。

表6：表に示す主要支持部材のブラケット端部におけるスクリーニング基準は、ブラケット端部におけるブラケット面材の先端周辺の最大応力を予測することを目的としている。各項における式の意味は以下の通り：

- ・ 式中の $\left(\frac{b_2}{b_1}\right)^{0.5} |\sigma_{vm}|$ の項は、板要素から伝達される、ブラケット端部周辺に発生する応力を考慮するためのものであり、比 $\left(\frac{b_2}{b_1}\right)^{0.5}$ はブラケット端部の傾斜の影響を考慮するものである。
- ・ 式中の $\left(\frac{A_{bar-net50}}{b_1 t_{net50}}\right)^{0.5} |\sigma_{bar}|$ の項は、ブラケットの

面材からの応力を考慮するためのものであり、

$$\left(\frac{A_{bar-net50}}{b_1 t_{net50}}\right)^{0.5}$$

のものである。

- ・ 式中の C_a の項はブラケット端部の形状（端部の角度や長さ等）を考慮するための修正係数であり、コースメッシュ有限要素モデルでは、モデル化されない箇所である。
- ・ 上記の項に付く係数0.75及び0.55は、コースメッシュ有限要素解析の応力と詳細メッシュ有限要素解析の応力の相関から得られた係数である。

表7：船側の水平桁及び横隔壁付きの水平桁のヒール部における局所応力は、コースメッシュモデルにおける、それらの位置における要素のミーゼス応力と比例関係にあることがわかっている。（規則3.2.1、表3に示すスクリーニング基準を参照のこと。）応力集中係数3.0は、コースメッシュ有限要素解析と詳細メッシュ解析の相関から得られた値である。

縦通隔壁付き水平桁及び横隔壁付き水平桁のヒール部における局所応力は、コースメッシュモデルにおけるヒール部周辺における船長方向要素軸応力と比例関係にあることがわかっている。（表に示すスクリーニング基準を参照のこと。）応力集中係数5.2は、コースメッシュ有限要素解析と詳細メッシュ解析の相関から得られた値である。

3.3.2 スクリーニング基準

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4. 船体構造のモデル化

4.1 一般

4.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.2 モデル化範囲

4.2.1

全体モデルから得られる境界変位の信頼性を保証するため、局部詳細メッシュモデルは、主要支持部材の位置で区切られていなければならない。

4.3 メッシュサイズ

4.3.1

最大メッシュサイズ50mm×50mmは、ブラケット端部や、開口のコーナなどの構造詳細の形状を正確に表現できるメッシュサイズであるという根拠に基づいている。局部応力は、構造の局部形状の影響を受け易く、異なる詳細設計における応力水準を決定するためには、実際の形状に基づいたモデル化が必要である。

4.3.2

詳細メッシュ領域は500mm以上、すなわち各方向に10要素以上の範囲としなければならない。応力分布の急激な変化を避けるため、コースメッシュ領域への滑らかな移行が要求される。

4.4 要素

4.4.1

平鋼に代表される、開口の縁に直接溶接されている防撓材は、シェル要素でモデル化しなければならない。ただし、ウェブ材に溶接されるウェブ防撓材のうち、開口縁に直接溶接されていない防撓材は、1次元要素でモデル化して差し支えない。もし、ウェブ防撓材が、開口縁から50mm以内にある（メッシュサイズ50mm×50mmの詳細メッシュ領域における1つの要素の幅内にある。）場合は、最も近いシェル要素の境界に1次元要素を配置してもよい。これらの1次元要素は、開口縁に配置してはならない。

4.4.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.4.3

開口部においては、開口端部より最低100mm（2層目の要素）までを詳細メッシュ領域としなければならない。詳細メッシュ領域の範囲は、腐食予備厚の半分まで腐食するものとみなす。

4.4.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.5 横桁

4.5.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.5.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.5.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.6 横隔壁付ストリング、バットレス及び隣接する横桁

4.6.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.6.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.6.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

る。

4.6.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.7 上甲板及び二重底の縦通防撓材並びに横隔壁付垂直防撓材

4.7.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.7.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.7.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.7.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.8 波形隔壁

4.8.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.8.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.8.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.8.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.8.5

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.8.6

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.8.7

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.9 ハッチコーナ構造

4.9.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

4.9.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5. 有限要素解析の荷重組合せ

5.1 一般

5.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

5.2 荷重及び境界条件の適用

5.2.1 一般

サブモデルに対して規則に適合した境界条件を適用するための最も一般的な方法は、節点変位を与えることである。サブモデルにおいて、全体モデルとの共通節点間に追加の節点を有する場合、追加の節点位置における変位を定義するために、多点拘束関係式を用いることができる。その際は、線形の多点拘束関係式を用いれば十分である。

多点拘束関係式はソフトウェアによって異なる形式で表現される。しかしながら、変位を与える節点が主要支持部材（ガーダやフロアなど）上に存在する限りは、ソフトウェアによる多点拘束関係式の形式の差が、境界条件位置から適切な距離だけ離れた位置における評価領域の応力に有効な影響を与えることはない。

モデルに節点荷重を与える場合は、剛体運動を防ぐために、モデル境界の特定の場所を拘束するのが一般的である。また、それぞれの方向において、平衡状態であれば、拘束点における合力は無視できるほど小さくなる。ほとんどのソフトウェアがモデルに節点変位を与える機能を有しているため、一般的には規則に基づく境界条件として、節点変位を与える方法が用いられる。

6. 解析の評価基準

6.1 応力評価

6.1.1 一般

鋼材は延性を有する。その延性により、鋼構造は、局所的な降伏が広範囲に及び、構造が崩壊することを避けることができる。また、一般に、降伏は意図した荷重が負荷される前の段階で発生している。船体構造は結合部の詳細と同様に構造自体が複雑であるため、局所的な降伏は実質避けられない。

降伏は、製造及び組立時に発生する可能性がある。例えば溶接を行うと、特に継手構造部などの加熱領域で、降伏応力を超える残留応力が発生する。降伏は、その他にも部材を取り付ける際及び鋼材の形状を変形させる際にも発生する可能性がある。ただし、ほとんどの場合において降伏は極めて局所的であり、低応力領域に囲まれているため、荷重の再分配が発生する。その結果、構造の健全性に対して全く影響を及ぼさない。

6.1.2 参照応力

参照応力は、規則7章2節5.2.1によること。

6.1.3 許容応力

許容基準は規則で指定されたメッシュサイズに対して設定されているため、適切でない寸法要求が発生する可能性があるような、より粗いメッシュサイズから得られた応力に対しては適用するべきではない。一方、規則で定められたメッシュサイズよりも細かいメッシュサイズのモデルに対しては、メッシュサイズ(50mm×50mm)に対する同等な応力を計算するために平均化手法を用いてよい。

詳細メッシュ解析と貨物タンク解析との整合性を保つため、貨物タンクモデルのメッシュサイズと同等の領域における平均応力は、貨物タンク解析で要求される許容値(降伏応力以下など)を超えてはならない。平均応力は、等価な範囲におけるミーゼス応力の面積平均により求められる。

6.2 許容基準

6.2.1

上記6.1.1で言及された局部応力の再分配に対する説明として、圧力容器基準に関するASME規格では、船殻に働く膜応力は降伏強度まで、膜応力と曲げ応力の合力は降伏強度の1.5倍まで作用することを許容している。また、もし、構造的な不連続による局部曲げが存在している場合は、許容値は、降伏強度の2倍の値としている。船体構造において、建造時に一般的に発生する極めて局所的な降伏を、一生の間発生しないよう禁止する理由はない。

特に構造の結合部や不連続部においては、メッシュサイズが細かければ細かいほど、有限要素解析から得られる応力は、降伏強度を超えて上昇し続けることはよく知られている。降伏点を超えるすべての応力は、線形の応力-歪関係に基づいた線形有限要素解析の直接的な結果であるということに注意しなければならない。実際には、鋼材の応力は、降伏応力をわずかに超える程度にまでしか上昇せず、“降伏応力の1.5倍や2倍”といった応力は、物理的に存在しない。つまり、降伏を超えた際のより正確な構造的挙動を得るための非線形解析を行わない限りは、降伏を超える応力は対象となる領域における相当応力を考慮して評価しなければならない。これは、荷重に対する応答を目的としており、必ずしも降伏を超える応力そのものの大きさには基づくべきではない。荷重モデルの校正に関して、許容基準の設定においては、構造モデル及び航路実績に対する許容基準が最も重要となる。

規則では、造船業界で一般的に採用されている、寸法要求の基準を得るために標準的なメッシュサイズ(50mm×50mm)に対して設定された局所領域にお

る許容応力基準（静的及び動的組合せ荷重に対して、一般的な要素では降伏の1.7倍、溶接線に隣接する要素では1.5倍とし、静的荷重に対して、一般的な要素では降伏の1.36倍、溶接線に隣接する要素では1.2倍とした基準）が採用されている。許容応力基準は、設計詳細の就航実績を用いた荷重モデルに対して、現在の要求より低い基準とならない（多くの場合で高くなる。）ことを確保するよう校正されている。

更に、疲労について明らかに考慮する必要のない構造詳細の場合、線形有限要素解析によって得られた降伏点を超える応力は低応力の領域に囲まれることとなり、荷重の再分配が生じ、その結果、構造の健全性には影響を及ぼさない。そのため、降伏強度の観点から、規則9章2節に規定される極詳細メッシュ解析の規定に完全に適合する構造詳細については、荷重

及び構造モデルの校正並びに航路実績を考慮し、局所領域における許容応力基準を20%増すことができる。

許容基準は規則で指定された詳細メッシュサイズに対して設定されているため、適切でない寸法要求が発生する可能性があるような、より粗いメッシュサイズから得られた応力に対しては適用すべきではない。一方、規則で定められたより細かいメッシュサイズのモデルに対しては、メッシュサイズ（50mm×50mm）に対する同等な応力を計算するために平均化手法を用いてよい。

6.2.2 下部スツールを持たない波形横隔壁又は波形縦通隔壁

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

8章 座屈

1節 一般

1. 序論

1.1 原則

1.1.1

本章では、座屈強度評価基準において、崩壊モードや構造要素について考慮している範囲を示している。

- ・ 崩壊モード（弾性全体座屈，弾性局部座屈及び最終強度）
- ・ 部材の種類（局部支持部材，主要支持部材）
- ・ その他構造（梁柱，波形隔壁及びブラケット等）

また，本章の要件及び基準は，船体局部寸法に関する規則6章及び直接強度評価に関する規則7章の規定に適用すべきである旨述べている。

1.1.2

この基準は座屈強度に基づく設計に対する基本原則となる。

1.1.3

座屈要件についてネット寸法手法が適用される旨述べている。主要支持部材の全体強度に関するすべての要件とパラメータ，つまり，せん断面積，断面係数及び断面二次モーメントについては，平均的な腐食量を考慮して，申請グロス板厚から $0.5t_c$ の腐食分を差し引いた板厚に基づき算定される。（規則3章2節1.1.2参照）一方で，トリッピングブラケットのフランジのネット断面積等の，細長比要件における $0.5t_c$ の腐食分を差し引いた板厚に基づく寸法要件は，過去の工学的経験によるものである。

1.1.4

本章の座屈要件にて用いられる圧縮応力や引張応力の符号について述べている。

2. 適用

2.1 範囲

2.1.1

それぞれの構造要素が，規則8章2節から5節までのどの座屈強度評価の対象となるか規定している。

2.1.2 防撓材

防撓パネルに対して，本章における防撓材の座屈要件は，防撓材の構造を評価するために，座屈パネルの長辺に沿った防撓材に対して適用される。カーリングのような防撓材に対しては，必要に応じて，規則8章5節に示す梁柱モードを用いて検討することができるが，負荷荷重や境界条件等についてはケースごとに考慮されなければならない。

2.1.3 幅広の防撓材

ウェブ防撓材の有無にかかわらず，固定点検設備（PMA）として用いられる幅広の防撓材の座屈強度は，

以下の要件による。

- (a) 主要支持部材（PSM）に対する細長比要件
- (b) 規則算式による座屈強度
- (c) 規則8章4節に規定される有限要素解析を用いた座屈要件で，幅広の防撓材のウェブ及び幅広の防撓材のウェブ防撓材又はフランジに対して（つまり，板もしくは防撓材の座屈に対して），それぞれ異なる要件が与えられる。

ウェブ防撓材が設けられていない縦通しているPMAの座屈強度も，ウェブのせん断座屈強度が板座屈の基準を満たしていれば，局部支持部材の基準を用いて評価して差し支えない。

3. 定義

3.1 一般

3.1.1 座屈の定義

「座屈」という用語について定義及び説明を述べている。また，荷重再配分を考慮した座屈強度評価がなされるよう最終強度の概念が導入されたことも述べている。

3.1.2 座屈強度

座屈強度の基本原則と，その計算手法の基本原則について述べている。板の弾性座屈後の影響を考慮し，構造要素内で荷重再配分がされるものとして評価する。

3.1.3 評価手法

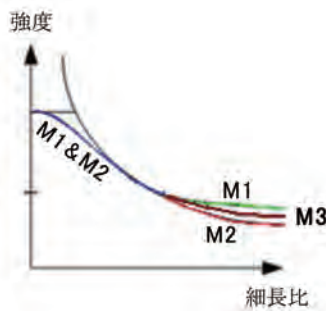
境界条件の違いにより2種類の計算方法（手法A，手法B）があり，その定義について述べている。手法Aによる最終強度をM1，手法Bによる最終強度をM3，弾性座屈強度をM2として，それぞれの関係を図1に示す。

手法Aの境界条件は，パネルの全辺が周辺構造や隣接する板により，直接保持されていることを想定している。（ただし，面内変位は自由）この境界条件下で，手法Aでは荷重再配分がなされたものとみなし，最終強度を考慮していることになる。

一方，手法Bの境界条件は，面内方向に長辺を拘束するための周辺構造がないことから，パネルの長辺（防撓材と平行な辺）が直線保持されないものとしてこのことが，手法Bによる評価が，板の細長比次第で手法Aに比べて安全側の評価となっている理由である。

規則8章4節では手法A及びBの両手法が適用される一方で，規則8章3節の規則算式による座屈要件では手法Aのみが用いられている。両手法の違いは規則8章5節表2におけるcase 2の係数 c の違いによるものである。

より詳細な情報は“TB Rep Pt1 Ch08 Sec04 In-plane Constraint Study”を参照のこと。



M1:最終強度(手法A)
M2:弾性座屈
M3:手法B(端部が直線保持されていない条件)

図1 手法A(最終強度)及び手法Bによる強度と弾性座屈の関係

2節 細長比要件

1. 構造要素

1.1 一般

1.1.1

ここでは、すべての構造要素が、本節の細長比及び寸法要件に適合しなければならない旨を述べている。局部及び主要支持部材の最小寸法要件は、1以上のアスペクト比(長辺÷短辺)を有する板パネルの弾性座屈強度に基づいたものとなっており、次式で与えられる。

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

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

$$0.9 = \frac{\pi^2}{12(1-\nu^2)}$$

$$\nu = 0.3$$

座屈係数は、それぞれの構造要素において支配的な座屈モードから算定され、細長比が小さい図1の領域“ A ”や細長比が大きい図1の領域“ C ”において調整がなされる。塑性影響を考慮した弾性座屈強度から支配的な座屈強度を求めるために、Johnson-Ostenfeldの修正式が用いられている。

高降伏強度材に対して、本規定は軟鋼ベースの式に修正係数を与えることで成り立っている。

防撓材のフランジ幅と同フランジ厚さの比は次式で与えられる。

$$b_{f-out} / t_f = 12 \sqrt{\frac{235}{R_{eH}}} \Rightarrow t_f = \frac{b_{f-out}}{12} \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}} \quad mm$$

板部材、ウェブ及びフランジの最小板厚に関する要件は、細長比要件から求められる。これらの細長比要件は、弾性座屈強度の降伏強度に対するギャップを測

るものである。これは、細長比 $\lambda = \left(\frac{R_{eH}}{\sigma_{EL}} \right)^{0.5}$ の定義

と同様である。また、降伏強度が大きくなると細長比は大きくなり、結果として、鋼材の降伏強度が大きくなるほど、より大きい板厚が要求されることになる。

しかしながら、規則は板部材が規則算式及び有限要素解析の座屈算式で検証される場合、軟鋼の最小降伏応力を用いることを認めている。詳細は以下の通り。

3.2 座屈使用係数

3.2.1

使用係数 η の定義を規定している。

3.2.2

使用係数の算式、算定方法について述べている。規則図1は作用応力と座屈強度及び最終強度と作用応力の関係を示している。

ここでいう使用係数(使用係数の比)の物理的意味はいわゆる usage factor とは異なる。これらは1.0程度を示すときは非常に似通った値を示すものの、usage factor は相関式から直接算定されるものである。

ここでは γ_c の概念について述べている。

3.3 許容座屈使用係数

3.3.1 一般的な構造要素

規則表1は、荷重組合せ“ S ”及び“ S+D ”に対して、波形隔壁だけではなく、それぞれの構造要素における許容座屈使用係数を示している。異なる使用係数を用いることで、荷重組合せの発生頻度を説明することができる。例えば、荷重組合せ“ S ”に対しては座屈許容使用係数として0.80が用いられる一方で、荷重組合せ“ S+D ”に対しては、1.00の係数が用いられており、発生頻度が低い状態に対して要件が緩和されている(使用係数が高い)ことを意味し、合理的な考え方である。

CSR-OT (July 2010) に基づく値が長年使用されている。また、この座屈使用係数は降伏の使用係数と同様の考え方に基づいている。

3.4 座屈に対する許容基準

3.4.1

座屈に対する許容基準について述べている。

- (a) 規則8章3節, 規則8章4節において, $235MPa$ を用いて評価した板部材及びウェブプレートであれば, 規則8章2節の細長比要件も $235MPa$ に基づいて算定することができる。これは, 貨物倉区域のすべての板部材とウェブプレート(規則算式と有限要素法両方)と貨物倉エリア以外の縦通部材(規則算式の要件のみ)が対象としてカバーされていることになる。
- (b) 規則8章3節, 規則8章4節によって評価されない部材, 例えば貨物倉区域以外のハルガーダ曲げに影響しない主要支持部材, 横隔壁等の部材については, 座屈評価として細長比要件のみが適用されるため, この緩和要件の対象とならない。

最小板厚, 板厚と幅の比に関する制限, 剛性, 曲げ剛性, 捩れ剛性及び最小断面二次モーメントを含んだ本節の細長比要件は, ハルガーダ及び各構造要素の過度の変形を抑える働きもある。これは, 弾性

座屈理論に基づいており, 過度な変形を許容しないためである。

また, 規則算式に基づいた防撓材心距による密な防撓構造には, 一般的に, 局部板パネル, 防撓パネルや格子構造に損傷を与えるような振動は発生しない。このため, この細長比要件に基づいた構造は, 船体構造, 設備, 機関に被害を与えるかもしれない振動を抑制することができる。

2. 板部材

2.1 板部材のネット板厚

2.1.1

防撓材, 縦通材間の板部材の最小寸法要件は, ネット板厚アプローチに対する補正と図1の領域Cの最大値を用いた上で, 就航船の実績に基づき修正されている。この寸法要件は, 表1の仮定に基づき開発された。一貫性を考慮し, b_{f-out} はネット寸法となる。

表1 板部材と防撓材の寸法, 軟鋼 $R_{eH} = 235N/mm^2$

一軸圧縮応力下における比較							
要件	F	σ_{EL}	K	λ	σ_{cr}	η	要求される細長係数 C
$s/t^{(1)}$	4.00	74	0.32	1.78	74	0.32	100
$s/t^{(2)}$	4.00	48	0.20	2.22	48	0.20	125
d_w/t_w (L型及びT型鋼)	4.00	132	0.56	1.33	131	0.56	75
d_w/t_w (バルブプレート) ⁽³⁾	1.25	115	0.49	1.43	115	0.49	45
d_w/t_w (平鋼)	0.43	165	0.70	1.19	152	0.64	22
b_{f-out}/t_f	0.43	556	2.37	0.65	210	0.89	12
ここで, F 境界条件から決まる座屈係数 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 $K = \sigma_{EL}/R_{eH}$ λ 細長比 $\lambda = \left(R_{eH} / \sigma_{EL} \right)^{0.5}$ σ_{cr} 限界座屈応力 (Johnson-Ostenfeld 修正式) N/mm^2 η 降伏応力に対する使用係数 $\eta = \sigma_{cr} / R_{eH}$							
備考: 1) 甲板, 外板, 貨物倉周壁及びタンク周壁 2) 非水密隔壁, 内部デッキ, 機関室, 居住区等の細長係数は大きくなる 3) CSR-OT (Corr. 2) による, 拘束係数1.25に基づく値							

フランジに対する表1の係数との関係を以下に示す。

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

$$\sigma_E \geq KR_{eH} \quad N/mm^2$$

よって、

$$\begin{aligned} \frac{b_{f-out}}{t_f} &\leq \sqrt{\frac{F}{K} \frac{\pi^2}{12(1-\nu^2)}} \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{eH}}} \\ &\leq 0.4 \sqrt{\frac{E}{R_{eH}}} \\ t_f &= \frac{b_{f-out}}{12} \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}} \quad mm \end{aligned}$$

F: 3辺単純支持, 1辺を自由端とした場合の値で 0.43。F = 0.425 + (s/l)2 ≈ 0.43

K: 2.36

表1において、要求細長係数Cは、CSR及びDNV-RP-C202 (Buckling strength of shells, January 2013) とした経験則に基づいている。板部材, 平鋼, T型鋼, アングル材に対する細長比要件はCSR-OT (July 2010) と同じ係数を用いている。バルブプレートに対する細長係数Cは、降伏強度に対する強度が平鋼と同じ安全レベルを有するようにPULSで調整されており、CSR-OT (July 2010) における値である41から45に変更されている。

フランジの座屈を防ぐために、DNV-RP-C202 (January 2013) と同じ下式が用いられている。

$$t_f = 0.4 \sqrt{\frac{E}{R_{eH}}} = \frac{b_{f-out}}{12} \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}$$

3. 防撓材

3.1 防撓材の寸法

3.1.1 全ての形状の防撓材のネット板厚

ウェブ材の最小寸法は細長比の最大値によるものであり、ネット板厚アプローチに対する補正と領域Cの最大値を用いた上で、就航船の実績に基づき修正されている。(図1参照)

フランジの最小板厚要件はフランジの振り座屈が生じないように規定されており、他の座屈基準にはフランジの振り座屈に対応するものがないことに注意が必要である。この要件は、ネット板厚アプローチに対する補正と領域Aの最小値を用いた上で、実績に

基づき、フランジが小さい細長比を有するよう調整されている。(図1参照) この要件は表1に示す仮定に基づき開発された。

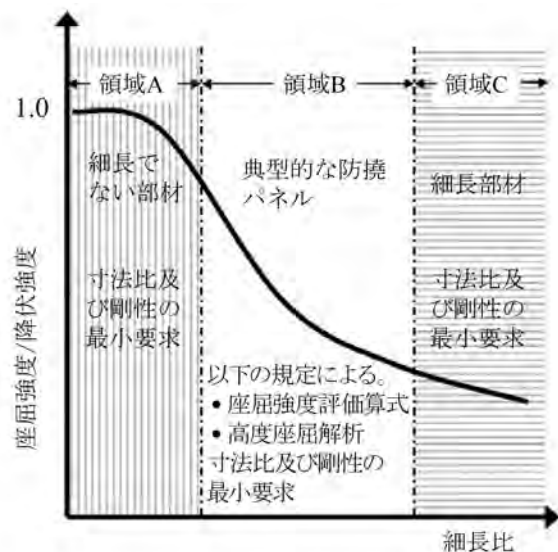


図1 支配的な座屈応力と細長比の関係

3.1.2 アングル材及びT型鋼のネット寸法

本規定はCSR-OT (July 2010) に基づいており、アングル材やT型鋼の振り変形を防ぐために含まれている。

3.1.3 防撓材の曲げ剛性

防撓材の曲げ剛性要件の目的は面外変形を防ぐことであり、単純支持の防撓材に対するオイラー座屈算式に基づくものである。要求される曲げ剛性はハルガーダ応力を受けない部材に比べて、ハルガーダ応力を受け持つ縦通部材の方が大きくなる。ここで規定されるクライテリアは甲板縦通梁として平鋼を使用することを制限するものとなる。

$$\sigma_E = \frac{10^{-4} \pi^2 EI_{net}}{l^2 A_{eff}} \quad N/mm^2$$

$$\sigma_E \geq KR_{eH}$$

よって、

$$I_{net} = C l^2 A_{eff} \frac{R_{eH}}{235} \quad cm^4$$

この曲げ剛性の要件は、以下の細長係数Cを与えることで、ネット板厚アプローチに対する補正をした上で実績に基づき調整されている。

- 1.43を与える。ハルガーダ応力を受ける防撓材に対して、K = 1.24とした場合の値で、細長比

$\lambda = 0.90$ に対応している。この係数はスニップ端の防撓材を含むすべての縦通防撓材に対して適用される。スニップ端の防撓材に対して同じ値を用いるのは、板部材が圧縮されることで、板部材から防撓材に荷重が配分されるためである。

- 0.72を与える。ハルガーダ応力を受けない防撓材に対して $K = 0.61$ とした場合の値で、細長比 $\lambda = 1.28$ に対応する。

本規定のクライテリアを導く際、簡易化のために、付き板の有効幅が断面の全幅の80%を超えないことを前提としている。有効幅を算定する式は複数の座屈基準において見られるが、そのような手法はこの簡易手法における評価では不要と考えた。

付き板の最小降伏応力を考慮する。防撓材設置の目的は板部材を安定したものとすることであり、パ

ネルにかかる圧縮応力は高降伏強度を用いることで大きくなるため、パネル形状を保つために大きな曲げ剛性を有する必要がある。

4. 主要支持部材

4.1 寸法及び剛性

4.1.1 ウェブプレートとフランジの寸法

主要支持部材の最小寸法要件は表2の仮定に基づいている。ウェブ防撓材の心距と板厚の比 (s/t_w) の要件は、甲板、外板、貨物倉周壁、タンク周壁の板部材パネルと同様の仮定に基づいている。フランジ板厚とウェブ板厚中心からフランジ端部までの距離の比 (b_{f-out}/t_f) は、フランジが十分な強度を有し、主要支持部材の遊辺を支持するものとなるよう、防撓材と主要支持部材で同じ算式が用いられている。

表2 主要支持の寸法, 軟鋼, $R_{eH} = 235N/mm^2$

	F	σ_{EL}	K	λ	σ_{cr}	η	要求される細長係数 C
ウェブプレート s/t_w	4.0	74	0.32	1.78	74	0.32	100
フランジ b_{f-out}/t_f	0.43	554	2.36	0.65	210	0.89	12

4.1.2 甲板横桁

本規定は甲板横桁に適用され、その他の横方向の主要支持部材には適用されない。甲板横桁について全体剛性に関する基準を設ける目的は、軸圧縮を受ける縦通部材が甲板横桁において適切に支持されるよう、十分な剛性を有するようにすることである。

この基準は主要支持部材の全体的な面外変形を抑制するものであり、S. P. TimonshenkoとJ. M. Gereによる“弾性座屈理論”に基づき実績に合わせて調整している。ばら積貨物船に関して、本規定はトップサイドタンク内にある甲板横桁には適用されるが倉口縁材には適用されない。

4.2 主要支持部材のウェブ防撓材

4.2.1 ウェブ防撓材の寸法

これらの基準の目的は、ウェブ防撓材の座屈を抑えるためである。オイラー座屈算式に基づいており、ウェブ防撓材と平行及び垂直方向の圧縮応力について考慮している。また、これらの基準は、ウェブ防撓材がウェブプレート、つまり主要支持部材を適切に支持するように調整した基準となっている。

4.2.2 ウェブ防撓材の曲げ剛性

規則表2の項目 (A) で与えられる圧縮応力に対して平行なウェブ防撓材に対する基準は、局部支持部材の基準と一致しており (規則3.1.3参照)、同表の項

目 (B) で与えられる圧縮応力に対して垂直なウェブ防撓材の座屈モードは複雑である。この基準はDNV CN30.1 (Buckling strength analysis of bars and frames, and spherical shells, April 2004) に基づいている。

ウェブプレートに作用する面外荷重はウェブプレートの板厚に関係するという仮定の下、面外荷重に抵抗するためにウェブ防撓材の曲げ剛性は、ウェブの板厚に応じて大きくなる。本規定は、ウェブ防撓材の弾性座屈強度がウェブプレートの弾性座屈強度より大きくなるように調整されている。細長いウェブプレートの場合、ウェブプレートの最終強度よりウェブ防撓材の弾性座屈強度が大きくなるような基準となっている。

5. ブラケット

5.1 トリップングブラケット

5.1.1 支持されないフランジの長さ

本規定の目的は、主要支持部材の振り座屈を防ぐことである。主要支持部材の振り座屈モードを考慮している唯一の要件であることから、フランジが十分な強度を有するよう規定された要件となっている。

ウェブ断面積による補正項の $A_{f-n50}/(A_{f-n50} + 0.33A_{w-n50})$ は、フランジ断面積に対して深さが大きいウェブを有する主要支持部材に対して、トリッピングブラケットの間隔を小さくするものとなっている。この要件

はDNV-RP-C201 (Buckling strength of plated structures, October 2004) の8章5節に規定されている振り座屈基準に基づいている。細長係数は以下の振り座屈強度 σ_T を考慮したものとなっている。

- ・ 対称フランジに対して,
 $C = 0.022 \quad \sigma_T = 0.85R_{eH}$
- ・ 非対称フランジに対して,
 $C = 0.022 \quad \sigma_T = 0.96R_{eH}$

このことは、ウェブに対して片側のみフランジが付いている部材の非対称曲げ挙動を考慮し、そのようなフランジを有する部材が、対称なフランジを有する部材に比べて、十分な強度を有するようにした結果である。また、貨物タンク区域内や貨物倉区域内におけるタンク境界等、タンク圧や海水圧を受ける主要支持部材に対して、トリッピングブラケットを3.0mより狭い間隔で設置する必要はない。これは、ABS規則及び実績に基づいている。

経験則より、機関室や船楼等(貨物タンク区域内や貨物区域内におけるタンク境界付近は除く。), 上記以外の区域にある主要支持部材のトリッピングブラケットについて、その間隔は4.0m未満にする必要はない。そのような、小さいフランジを有し、応力レベルの小さい主要支持部材については、 $s_{bmin} = 4.0$ で十分と考えている。加えて、トリッピングブラケット間にある防撓材も、これらの主要支持部材の倒れの抑制に寄与している。

5.1.2 遊辺の補強

トリッピングブラケットの遊辺の有効長さがネット板厚の75倍を超える場合、フランジ又は遊辺に防撓材を設置することで補強しなければならない。固着したブラケットはこの比が50から55であるが、端部ブラケットは端部中央近傍で最大圧縮となり、一方でトリッピングブラケットはカンチレバーのように作用することから支持部が最大圧縮となるため、トリッピングブラケット中央の応力レベルが端部ブラケットに比べて小さい。規則では、グロス寸法に基づいて、60の値を与えている。貨物倉における典型的なトリッピングブラケットにおいて、そのグロス板厚は12.5mmとなる。この寸法は20～25%の腐食予備厚を考慮したネット板厚10mmに対応しており、このことから、ネット板厚に対する係数として、 $60 \times 12.5/10 = 75$ とした。

5.2 端部ブラケット

5.2.1 寸法

本規定はDNV規則Pt 3, Ch 1, Sec 3, C202 (January 2013)に基づく。DNV規則では、ブラケット遊辺の長さが同規則で規定されるネット板厚の50倍を超えてはならないとしている。また、バラストタンクに対して、規則3章3節で規定される t_{corr} の50%である1.5mmの腐食予備厚を与えている。

現行の規則では20%の腐食衰耗を仮定しており、CSR-BC及びCSR-OT (July 2010) で規定されるネット板厚に対する遊辺の比は55 (50から10%増加させた値) としている。図2に示す片側の底角 α が90度となり、かつネット板厚に対する遊辺の比が55となる基本的な端部ブラケットをベースとし、同レベルの座屈強度を有する数多くのブラケット形状がある。(規則4.2.1参照)

座屈要件を満足する端部ブラケットの最小板厚が与えられている。座屈算式は以下の仮定に基づいている。(以下の表3と図2も併せて参照)

- ・ 遊辺に防撓材を有しない端部ブラケットの板厚に対する深さの比を制限することで、ブラケットの細長比を小さくする、つまり図1の領域“A”となるようにする。
- ・ 三角形の端部ブラケットは、長辺と短辺がそれぞれ、遊辺長さの2/3、ブラケット深さの2/3となる矩形板に置き換えている。
- ・ 遊辺の補強がされていないブラケットの遊辺は面外変形が生じるとしている。
- ・ 部材の形状が三角形であるため、荷重パターンは3方向である。
- ・ 細長係数は、底角 α が $50^\circ < \alpha < 150^\circ$ の範囲において有効である。これは、従来の研究により、十分に検証されている。
- ・ 遊辺の補強がある端部ブラケットは遊辺の補強がない端部ブラケットと同じ仮定に基づいている。遊辺の補強がなされているブラケットの座屈係数は、ブラケット遊辺の座屈を抑制するのに十分な剛性を有している、つまり同辺が単純支持条件との仮定に基づいている。

この座屈要件は端部で圧縮応力場となるブラケットに対するものであり、例えば空所に囲まれたタンク内に設置されたブラケットのように、常に引張応力場にあるブラケットにはこの要件は関係がなく、適用されない。しかしながら、規則3章6節にあるようにブラケット固着部に対する要件は別途適用される。

表3 ブラケット寸法, 軟鋼, $R_{eH}=235N/mm^2$

	F	σ_{EL}	K	λ	σ_{cr}	η	要求される細長係数 C
遊辺補強材なし	0.90	498	2.12	0.69	207	0.88	$20\left(\frac{d}{l}\right)+16$ $0.25 \leq \left(\frac{d}{l}\right) \leq 1/0$
遊辺補強材あり	7.64	650	2.77	0.60	214	0.91	70

F : 境界条件から決まる座屈係数

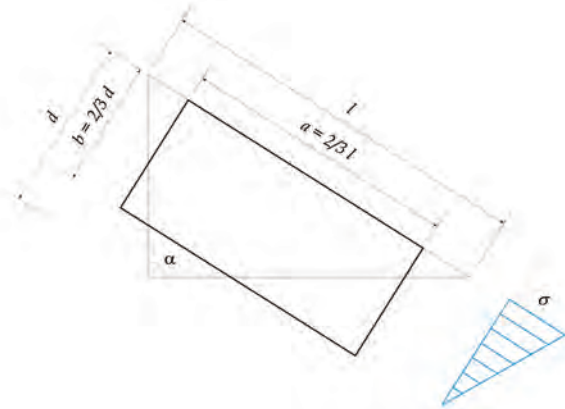


図2 ブラケットの定義

5.3 遊辺の補強

5.3.1 ブラケットの遊辺の補強

端部ブラケットの遊辺補強材の最小深さに関する要件は、スパン中央で最大圧縮応力が発生することを考慮し、細長比が小さくなるよう調整されている。このことから、降伏強度に対する弾性座屈強度の比を示す K が4となるようにしており、次式が与えられる。

$$h_w \geq 2200l_{sf} \sqrt{\frac{R_{eH}}{E}} = 75l_{sf} \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}$$

トリッピングブラケット又は開口の遊辺補強材の最小深さについての要件は遊辺補強材のスパン中央において応力レベルが小さいことを考慮している。このことから K が2となるようにしており、次式が与えられる。

$$h_w \geq 1560l_{sf} \sqrt{\frac{R_{eH}}{E}} = 50l_{sf} \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}$$

遊辺補強材の最小深さを $50mm$ とすることは、過去の実績と同等であり、合理的である。

5.3.2 遊辺補強材の寸法

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

6. その他の構造

6.1 梁柱

6.1.1 I型断面の梁柱の寸法

I型断面の梁柱の場合、規則3.1.1及び規則3.1.2で定義される通常の防撓材に対する細長比要件によって、梁柱のウェブ及びフランジの局部座屈が防止される。

6.1.2 ボックス型断面の梁柱の寸法

ボックス型断面の梁柱の場合、規則3.1.1(a)で定義される通常の防撓材に対する細長比要件によって、ウェブとフランジの局部座屈が防止される。

6.1.3 円筒型断面の梁柱の寸法

円筒型の梁柱の場合、細長比要件により、ウェブとフランジの局部座屈が防止される。

6.2 開口部の補強

6.2.1 遊辺補強材の深さ

開口や切り抜き部の遊辺補強材の断面二次モーメントに対する要件は単純支持条件に対するオイラーの式に基づいている。安全側の仮定である有効ウェブプレートフランジを除き、遊辺補強材の断面形状のみが用いられ、また遊辺補強材が平鋼であると仮定している。

$$\sigma_E = \frac{10^{-4} \pi^2 E}{l_{sf}^2} i^2 \quad N/mm^2$$

$$\sigma_E \geq KR_{eH}$$

これにより、

$$i \geq 100 \frac{\sqrt{K}}{\pi} l_{sf} \sqrt{\frac{R_{eH}}{E}} \quad cm$$

平鋼に対する回転半径 i は次式で表される。

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{h_w}{20\sqrt{3}} \quad cm$$

$$h_w \geq \frac{2000\sqrt{3K}}{\pi} l_{sf} \sqrt{\frac{R_{eH}}{E}} \quad mm$$

6.2.2 遊辺補強材の寸法

遊辺補強材の寸法要件は規則3.1.1及び規則3.1.2で規定する通常の防撓材に対する要件を満足すべき旨述べている。

3節 規則算式による座屈要件

1. 一般

1.1 範囲

1.1.1

本節では、ハルガーダ圧縮応力及びハルガーダせん断応力を受ける板及び防撓材に対する規則算式による座屈要件の技術的背景を述べる。また、対象部材には、本規則で挙げている波形部、支材、梁柱及びクロスタイ等の圧縮応力を受ける構造部材も含まれる。

1.1.2

ハルガーダ座屈強度評価は船の全長にわたって実施しなければならないことを強調している。

1.1.3 設計荷重条件

本項では、規則算式による座屈強度評価に対する設計荷重条件を説明している。荷重条件としては、規則6章2節に規定する非損傷状態及び浸水状態の両方を考慮しなければならない。設計荷重条件のすべての動的荷重ケースにおいては、規則3章7節に規定するLCP（荷重計算点）に対して、規則4章に従った面外圧力を考慮しなければならない。この面外圧力は規則2.2に規定するハルガーダ応力と同時に考慮しなければならない。

1.2 等価パネル

1.2.1

パネル幅bの範囲内で板厚が変化する場合、等価となる幅を用いなければならない。等価パネルの算式の有効性を評価するために非線形有限要素解析を用いた調査を行った。パネル幅の範囲内で板厚が変化する次の板に対する結果を示す。

- $b = 850 \text{ mm}$
- $a = 2550 \text{ mm}$
- $t_1 = 11.08 \text{ mm}$
- $t_2 = 15.83 \text{ mm}$
- $R_{eH} = 315 \text{ N/mm}^2$

軸方向の応力、短辺方向の応力及びせん断応力を図1から図3に示す。青点は、パネル幅の範囲内で板厚が変化する板の軽減係数（すなわち C_x 、 C_y 及び C_{tau} ）を表す。（図中の下のx軸は総板幅に対する薄い方の板の幅の比率を示している。）ピンク色の点は、板厚が11.08mmの等価パネルの軽減係数（すなわち C_x 、 C_y 及び C_{tau} ）を表す。（図中の上のx軸は総板幅に対する等価パネルの幅の比率を示している。）

短辺方向の応力及びせん断応力の場合、軽減係数

は常に薄い方の板の応力を使って計算する。（厚い方の板の応力は力の釣合いから小さくなる。）更に、短辺方向の応力及びせん断応力を受ける板にモーメントが伝わったとしても、（板厚中心が同一平面上にないことから）当該モーメントは有限要素解析において考慮されない。

本件については、更なる解析を要する場合がある。（例えば、その他の t_1/t_2 、板の細長比及びアスペクト比条件等）

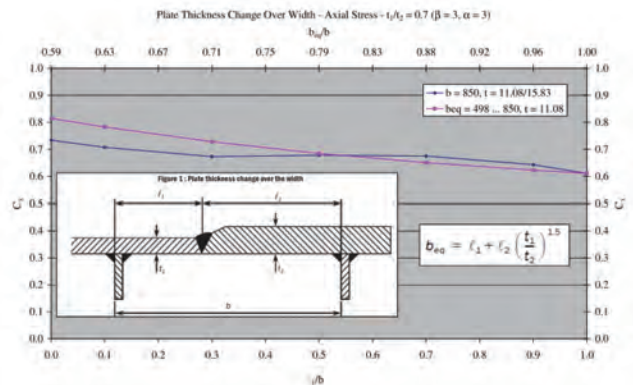


図1 パネル幅の範囲内における軸応力に対する板厚変化

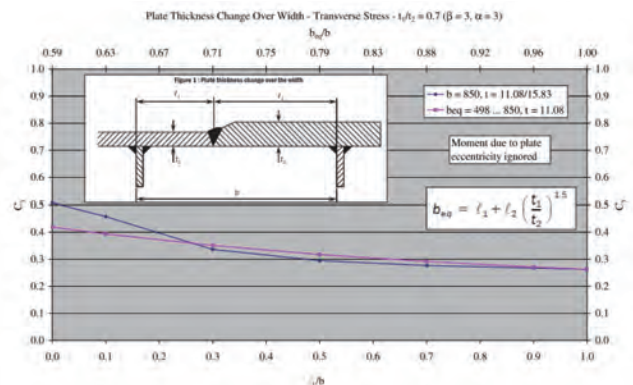


図2 パネル幅の範囲内における短辺方向の応力に対する板厚変化

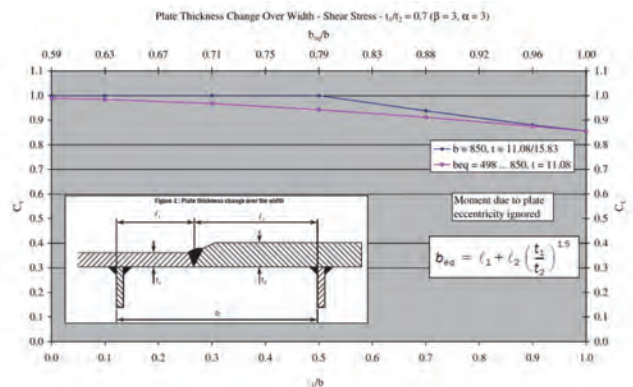


図3 パネル幅の範囲内におけるせん断応力に対する板厚変化

1.2.2

横式構造において板厚が変化する場合、板厚ごとに座屈強度評価を行うことで、EPPの最小の強度を導くことができる。

1.2.3 材料

本要件は、複数の材料で構成されるパネルの座屈強度評価の検討方法を明確にしており、座屈強度評価にはそれら材料のうち、最小の降伏強度を用いなければならないこととしている。

2. ハルガーダ応力

2.1 一般

2.1.1

座屈強度評価に用いるハルガーダ曲げ応力は、 σ_{hg} の算式を規定する規則6章2節に従って決定する。

2.1.2

せん断応力の計算に際しては、座屈強度は、規則5章1節3.6に規定されるような、せん断力修正を考慮することなく、最大ネット板厚（腐食予備厚を100%差し引いた板厚）に基づき決定されていることから、規則5章1節3.2.1の通り、腐食予備厚の半分を考慮したネット板厚を修正した板厚を用いなければならない。

2.2 応力組合せ

2.2.1

板の座屈強度評価にあつては、ハルガーダ曲げ応力及びハルガーダせん断応力のみを考慮する。なお、本評価では船体のハルガーダ曲げとハルガーダせん断力から生じるせん断応力の最大値は同時に作用しないことを考慮している。すなわち、曲げ応力100%及びせん断応力70%と、曲げ応力70%及びせん断応力100%の2つの組合せを考慮している。この直応力及びせん断応力の組合せの比は船級における座屈強度評価の長年の実績に基づいている。

応力の種類及び板の防撓形式に応じて次のケースを考慮しなければならない。

1. 圧縮応力に対して

- (a) 縦式構造の場合：規則8章5節表3のケース1で、x方向に作用する膜応力 σ_x を規則2.1.1に規定する直応力 σ_{hg} とする。
- (b) 横式構造の場合：規則8章5節表3のケース2で、y方向に作用する膜応力 σ_y を規則2.1.1に規定する直応力 σ_{hg} とする。

2. せん断応力に対して

- (a) 8章5節表3のケース15で、せん断応力 τ を規則2.1.2に規定するせん断応力 τ_{hg} とする。

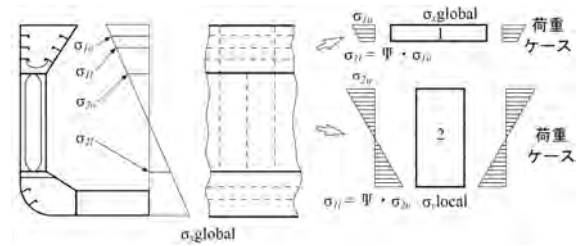


図4 基本板パネルの理想化

3. 座屈評価基準

3.1 防撓パネル全体

3.1.1

規則5節2.1の規定によって最大使用係数を得ることができる防撓パネル全体に対する基準を示す。

3.2 板部材

3.2.1

規則5節2.2の規定によって最大使用係数を得ることができる基本板パネルに対する基準を示す。規則算式による要件に対しては、SP-Aのみを選択することができる。

本規定は、単船側ばら積貨物船の垂直方向に防撓された船側外板（VSS板部材）にも適用され、VSS板部材に対する計算においては規則8章5節表3の短辺固定であるケースを用いる旨示している。

VSS板部材の短辺方向の応力については、船側外板がホップタンクやトップサイドタンクといった強固な構造に囲まれており、VSS板部材の役割はハルガーダ曲げにおいてさほど重要ではないことから（以下参照）、平均値を用いる。すなわち、板部材の座屈強度評価には $\Psi_y = 1.0$ のときの $0.5(\sigma_{y1} + \sigma_{y2})$ が用いられる。

また、単船側の船側外板（P/S）の長辺方向の剛性を除去し、せん断剛性のみ保持することによるハルガーダ座屈への影響度の評価が行われた。

本評価によると、トップサイドタンク内の下部に位置する船側外板において、座屈使用係数に最大8%の増加が認められた。また、ばら積貨物船のトップサイドタンクとホップタンク間のVSS板部材の短辺方向の座屈は、 M_H 及び M_V による全体のハルガーダ座屈に対してほとんど影響を与えないことがわかった。これは、トップサイドタンク及びホップタンク間の単船側は、基本的には縦通方向の応力によっては座屈しないことを示している。

以上に基づき、VSS板部材の新たな提案を次の通り取りまとめる。

- ・ 規則8章5節表3のケース2及びケース12の K_y を更新する。
- ・ 短辺固定状態、すなわち、規則8章5節表3のケース12を用いる。

- ・ 規則8章5節2.2.5に規定する $F_{tran}=1.15$ を用いる。
- ・ 平均応力、すなわち、規則算式による座屈要件を規定する規則8章3節3.2.1及び有限要素解析による座屈要件の「縦通方向の分布応力と垂直方向及びせん断応力との組合せ」を規定する規則8章4節4.1.1で要求しているように、 $\Psi_x = \Psi_y = 1.0$ を用いる。

3.3 防撓材

3.3.1

規則5節2.3の規定によって最大使用係数を得ることができる防撓材に対する基準を示す。また本規定は単船側ばら積貨物船の垂直方向に防撓された倉内肋骨（VSS倉内肋骨）にも適用される。計算においては、対応するVSS板部材と同じ σ_x 、 σ_y 及び τ を用いる。

3.4 垂直波形横隔壁及び垂直波形縦通隔壁

3.4.1

垂直波形横隔壁及び垂直波形縦通隔壁に対する基準並びに波形隔壁に対する最大せん断使用係数の算式を示す。

- ・ 縦通隔壁に対しては、規則2.1.2に規定するハルガーダ応力を考慮する。
- ・ ばら積貨物船の横隔壁に対しては、浸水状態に関する規則2編1章3節3.2.1に規定するせん断応力を考慮する。

3.5 水平波形縦通隔壁

3.5.1

水平波形縦通隔壁の基準を示す。各波形の範囲は、“1/2フランジ+ウェブ+1/2フランジ”と定義する。評価基準は梁柱座屈に基づいている。

3.6 支材、梁柱及びクロスタイ

3.6.1

支材、梁柱及びクロスタイに対する許容基準及び異なる形式に対する使用係数 η を示す。使用係数 η は規則8章5節3.1の規定によらなければならないことを示している。

4節 直接強度解析における座屈要件

1. 一般

1.1 範囲

1.1.1

本節では、圧縮応力、せん断応力及び面外圧力を考慮した有限要素解析（FEA）による座屈強度評価に対する背景を述べる。

注：規則で規定する状態における板部材及び防撓材の最終強度を検討する際は、応力の引張成分も考慮する。

1.1.2

規則7章に従って実施する有限要素解析の対象となるすべての構造要素に対して、個々に座屈強度評価を行わなければならない。また、面外圧を含むあらゆる応力は、有限要素解析によって決定される。有限要素解析の座屈強度評価要件にて評価しなければならない要素の種類を示す。

2. 防撓パネル及び非防撓パネル

2.1 一般

2.1.1

本節では、各船体構造部材について、防撓パネル又は非防撓パネルのどちらでモデル化しなければならないかを規定している。また、パネルの境界条件に関係する部材の位置に基づいて、手法A又は手法Bのどちらを適用されるかを規定している。詳細については、規則表1及び規則図1から図9を参照すること。

なお、UP-Aは、規則図5及び規則図7に示す通り、ばら積貨物船のトップサイドタンクにおける垂直パネルにのみ適用される。手法A及び手法Bについては、規則8章1節3.1.3及びTB Report “TB Rep Pt1 Ch08 Sec04 In-plane Constraint Study”を参照のこと。

2.1.2 パネルの平均板厚

パネル内で板厚が一定でない場合、簡易化のため、加重平均した板厚を用いて規則7章に規定する有限要素法に従ってモデル化しなければならない。

2.1.3 パネルの降伏応力

安全側の評価を行うため、パネルの降伏応力はパネル内の要素の降伏応力の最小値として与えられる。

2.2 防撓パネル

2.2.1

付き板を含んだ防撓材等、防撓パネルのモデル化範囲を示している。

2.2.2

防撓パネル内において防撓材の寸法又は防撓材の心距が変化する場合の取り扱い方法を示している。この方法により、防撓パネルにおける最も厳しい座屈崩壊モードを知ることができる。

2.3 非防撓パネル

2.3.1 不規則パネル

不規則パネルの座屈強度を決定する解析手法が存在しないため、不規則パネルを等価又は同様な座屈強度を有する規則的な非防撓パネルに変換する必要がある。非防撓パネルに変換後、座屈強度評価を実施する。

2.3.2 不規則な形状を有する非防撓パネルのモデル化

本規定では、多角形の非防撓パネルの矩形パネルへのモデル化の詳細な手順を示している。本規定は、

CSR-OT (July 2010) に基づいている。

2.3.3 三角形形状を有する非防撓パネルのモデル化

本規定では、三角形の非防撓パネルの矩形パネルへのモデル化の詳細な手順を示している。数値計算 (有限要素法) により、不規則なパネルと同等な座屈強度を持つ、規則的な形状として適切に理想化されたパネルの寸法を求めることができる。より詳細な情報は、TB Report “TB Rep Pt1 Ch08 Sec04 Unstiffened Panel with Triangular Geometry” を参照のこと。

2.4 参照応力

2.4.1

本規定は、応力分布は有限要素解析の結果から求め、その応力分布を座屈強度評価に用いなければならないことを規定している。

2.4.2

参照応力は規則8章付録1に規定する応力法により決定する。

2.5 面外圧力

2.5.1

面外圧力は、防撓材の座屈強度に影響を与えるため、防撓材の座屈強度評価において考慮する。

船底外板及び船側外板において、板の座屈/最終強度に対する面外圧力による影響は限定的であることが証明されているため、本規則では板に対する影響は無視されている。本規則においては、座屈パネルの長辺方向の応力は座屈強度評価用に修正される。修正した値は面外圧力による影響を間接的に考慮した最大応力となる。

2.5.2

座屈パネル内で面外圧力が一定の分布でないことを表現するために、簡易手法として加重平均値を用いる方法を考慮している。

2.6 座屈評価基準

2.6.1 UP-A

手法Aに対する非防撓パネルの評価基準を示す。

2.6.2 UP-B

手法Bに対する非防撓パネルの評価基準を示す。

2.6.3 SP-A

手法Aに対する防撓パネルの評価基準を示す。使用係数 η_{SP-A} の値は、本規則で考慮する3つの座屈/最終強度崩壊モードの中の最大値を考えなければならない。

なお、防撓パネル全体の強度を、座屈/最終強度の評価に対する閾値とみなす。

2.6.4 SP-B

手法Bに対する防撓パネルの評価基準を示す。使用係数 η_{SP-B} の値は、本規則で考慮する3つの座屈/最終強度崩壊モードの中の最大値を考えなければならない

い。

なお、防撓パネル全体の強度を、座屈/最終強度の評価に対する閾値とみなす。

2.6.5 開口を有するウェブ

開口を有するウェブの評価基準を示す。

3. 波形隔壁

3.1 一般

3.1.1

波形隔壁では、3つの座屈崩壊モード (波形部の全体コラム座屈、波形部のフランジにおけるパネルの座屈及び波形部のウェブにおけるパネルの座屈) に対して評価を行わなければならないことを示している。

3.2 参照応力

3.2.1

波形部のフランジ及びウェブの各パネルを評価しなければならないことを示している。

3.2.2

有限要素法による座屈強度評価では要素中心の膜応力を用いることを示している。本規定は有限要素法による降伏強度評価の手法と同じである。

3.2.3

座屈強度の評価基準において考慮すべき最も厳しくなる参照応力、つまり、波形部の端部又は波形部のスパン中央における波形部に平行な方向の最大直応力及び最大せん断応力を示している。また、座屈評価を実施する際に用いる応力の取り方を規定している。(例えば、フランジ及びウェブの応力の平均値の取り方等 (図4参照))

波形部の端部における最大直応力について、規則では2つの状況を考慮している。

- ・ 応力値を有限要素解析から直接得ることができる場合
- ・ 応力値を有限要素解析から直接得ることができない場合

応力値を有限要素解析から直接得ることができる場合、直接得た応力 σ_x 、 σ_y 及び τ を平均化して用いる。しかし、応力値を有限要素解析から直接得ることができない場合、応力は補間法により求めなければならない。

波形部の端部において、応力を読み取る点は次の状態によって異なる。

- ・ 波形部がシェダープレート及びガセットプレートのどちらにも接していない場合
- ・ 波形部がシェダープレート又はガセットプレートのどちらかに接している場合

波形部がシェダープレート及びガセットプレートのどちらにも接していない場合、応力を読み取る点は波形部の端部から $b/2$ に位置する点とする。波形部

がシェダープレート又はガセットプレートのどちらかに接している場合は、応力を読み取る点はシェダープレート又はガセットプレートと、フランジ又はウェブの幅中央との交点から $b/2$ に位置する点とする。

図1, 図2及び図3は, シェダープレート又はガセットプレートから $b/2$ に位置する応力の読み取り点の例を示している。読み取り点に対して距離を $b/2$ としているのは, 波形部の端部付近に生じる急激な応力勾配

による局所的な高応力よりも, 座屈強度の評価基準において用いる代表的な応力を考慮するためである。

安全性を確保するため, $3b$ の距離に含まれる等価座屈パネルのうち規則パネルに対しては, 規則8章付録1の1.2に従って補間を行わなければならない。つまり直応力 σ_x の規則パネルに対する補間は, 二次補間手法を用いることとする。せん断応力については $b/2$ に最も近い要素間の線形補間により求める。

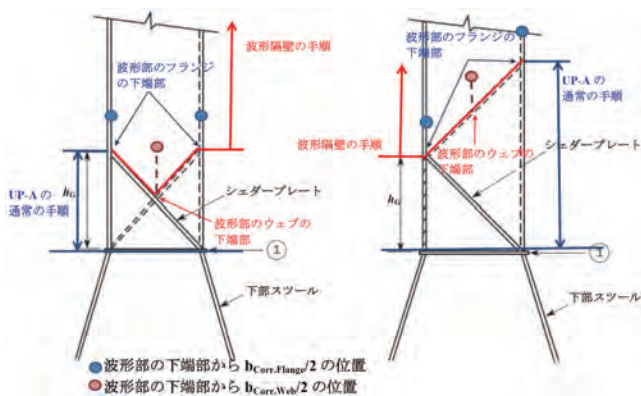


図1 対称及び非対称のシェダープレートの $b/2$ における読み取り点

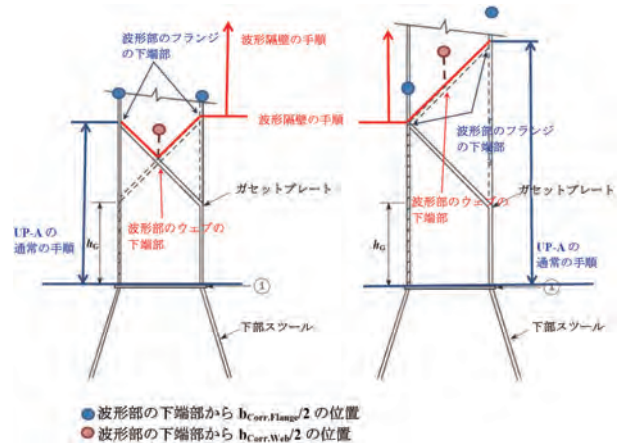


図2 対称及び非対称のガセットプレート／シェダープレートの $b/2$ における読み取り点

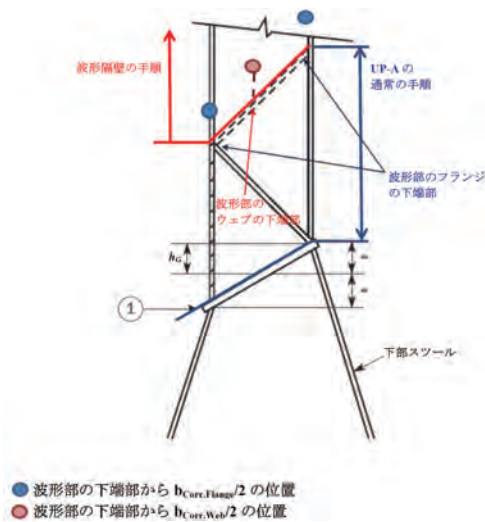


図3 非対称のガセットプレート／シェダープレートの $b/2$ における読み取り点

応力平均化の詳細手順
垂直波形隔壁のフランジ部のパネルの座屈に対する要素応力の平均化及び線形補間

- ・ 最初の手順として、波形部と垂直な方向の応力の平均化をフランジ幅にわたって行う。
- ・ 波形部と平行な方向の応力の平均化は行なわない。
- ・ 下端部から $b/2$ における応力値を有限要素解析から直接得ることができない場合は、補間法を用いる。
- ・ フランジの幅にわたって応力を平均化した後、また下部端から $b/2$ の位置における応力を得た後、これらの最大応力を座屈評価基準に用いる。

$\sigma_{v11}, \sigma_{v12}, \sigma_{v21}, \sigma_{v22}$: 要素中心で評価される垂直方向の膜応力
 σ_{v1} : σ_{v11} 及び σ_{v12} からの平均応力
 σ_{v2} : σ_{v21} 及び σ_{v22} からの平均応力
 $\sigma_{b/2}$: σ_{v1} 及び σ_{v2} 間の線形補間により得られる $b/2$ における応力
 $\sigma_{v3}, \sigma_{v4}, \sigma_{v5}, \sigma_{v6}, \dots, \sigma_{vn}$: フランジにおける平均化した垂直方向の応力
 $\sigma_{final} = \text{Max} (\sigma_{b/2}, \sigma_{v3}, \sigma_{v4}, \sigma_{v5}, \sigma_{v6}, \dots, \sigma_{vn})$

図4 応力平均化の詳細手順

3.2.4

フランジのパネル内で板厚が一定でない場合の取り扱いを示している。本規定は2.2.2と同様である。

3.3 全体コラム座屈

3.3.1

規則表2に波形隔壁に対する全体コラム座屈の適用及び局部的上下荷重を受ける立て式波形隔壁に対する特別要件を規定している。

3.3.2

各波形部に対する全体コラム座屈の評価基準を示している。図5及び規則図10に、各波形部の図を示す。

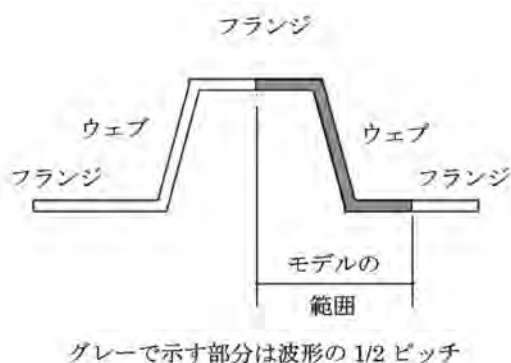


図5 波形部の図

3.3.3

端部拘束係数 f_{end} は、端部支持条件が単純支持となる場合の値とする。ただし、波形深さの2倍を超える幅のツールを有する場合は、強固な端部拘束を受けることから、端部支持条件が固定となる場合の値とする。

3.4 局部座屈

3.4.1

波形隔壁の局部座屈に対する評価基準を示している。本評価基準にて考慮する2つの応力（直応力及びせん断応力）の組合せは、規則3.2.3に従い、応力の値及び応力が発生する位置によって詳細に規定される。

座屈範囲は、過去の実績に基づき、図6のようにアスペクト比 $a = 2$ となる範囲（すなわち、寸法が $b \times 2b$ の座屈パネル）とする。また、安全側を考慮し、最大圧縮/せん断応力が発生する箇所の板厚を用いて座屈評価を実施することを規定している。

なお、波形部が波形の軸に沿って異なる板厚を有する場合、座屈評価は各板厚に対し行われなければならないことに注意する。

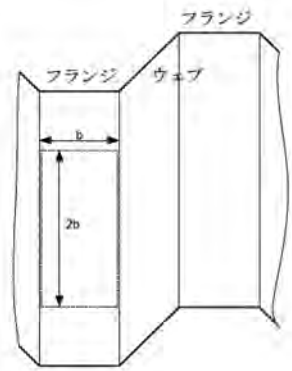


図6 $b \times 2b$ の座屈範囲の説明図

4. 単船側ばら積貨物船の垂直方向に防撓される船側外板

4.1 座屈評価基準

4.1.1 船側外板

ばら積貨物船の垂直方向に防撓される船側外板の評価基準を示している。また、手法A及び詳細な座屈強度評価を実施するための4つの荷重の組合せは、本規定の座屈強度評価にのみ適用されることも併せて示している。

図7は、ばら積貨物船の船側外板に対する座屈強度評価ケース(a), (b), (c)及び(d)を説明している。参照応力モデルは実際の倉内肋骨のパネルからどのように参照応力を求めるかを示し、座屈評価モデルは座屈評価で用いるべき仮想の理想化したパネルを表している。

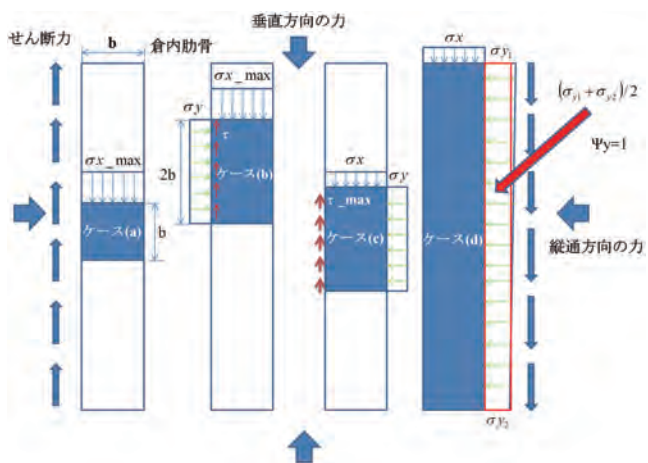


図7 船側外板に対する座屈範囲 (ケース(a), (b), (c)及び(d))の説明図

垂直方向に防撓された板部材上の短辺方向の応力については、ケース(d)において平均値が用いられる、すなわち、板部材の座屈評価には $\Psi_y = 1.0$ のときの $0.5(\sigma_{y1} + \sigma_{y2})$ を用いることとする。(規則8章3節3.2.1参照)

4.1.2 倉内肋骨

単船側ばら積貨物船の倉内肋骨の座屈評価は、規則8章5節2.3に規定する防撓材の座屈要件に基づいて行われなければならないこととする。倉内肋骨は両端をブラケットに固定しているものとして考慮される。倉内肋骨は、両端でブラケット支持を要求されていることから固定条件を考慮する。 b_{eff} の計算で用いる係数 c_x は規則4.1.1で用いられている板部材の境界条件に一致しなければならない。

5. 支材、梁柱及びクロスタイ

5.1 座屈評価基準

5.1.1

本規定は支材、梁柱及びクロスタイの評価基準を示している。

5節 座屈強度

1. 一般

1.1 範囲

1.1.1

本節では、板部材、防撓材、主要支持部材、支材、梁柱、クロスタイ及び波形隔壁等の構造部材の座屈強度計算手法について規定している。本節の適用については規則1.1.2参照のこと。

座屈崩壊モード(主に過度な変形、振り、反り)は、並進及び回転方向の変位を生じさせる。本規則に規定される弾性座屈要件や最終強度要件による座屈を防止する設計は、船体構造の圧縮によるそのような変位を抑制又は防止する。

1.1.2

規則算式及び有限要素解析に基づく座屈要件の適用方法は、それぞれ規則8章3節及び規則8章4節の規定によることを示している。また、荷重/応力(σ_x , σ_y 及び τ)は、それぞれ対応する要件(規則算式及び有限要素解析要件)から求める必要があることを示している。

1.1.3 座屈・最終強度

板部材、主要支持部材及び防撓材の座屈・最終強度の計算方法について規定している。

1.1.4 座屈使用係数

座屈使用係数 η はすべての座屈モードの最大値としなければならない。各座屈モードの座屈使用係数 η は、適切な繰返し計算により得られる γ の逆数として求める。

1.1.5 面外圧

面外荷重は曲げ応力に寄与するため、防撓材の座屈評価において考慮しなければならない。ただし、標準的な板部材においては、面外荷重は座屈強度に対して、ほとんど影響がないとみなせるため、考慮しない。

2. 相関式

2.1 防撓パネル全体の耐荷力

2.1.1

限界状態は、軸力及び面外荷重を受ける単純梁の弾性コラム座屈及び振り座屈に基づいている。

2.2 板部材の耐荷力

2.2.1 板部材の限界状態

本規定では、組合せた面内荷重下での板部材の限界状態に関する新たな相関式を示している。この相関式の検証のため、詳細な非線形有限要素解析 (NLFEA) を実施した。まず、以下3つの相関式について、非線形有限要素解析との比較を実施した。

- 1) CSR-BCに規定されている相関式
- 2) 2013年4月版CSR-BC&OTの相関式
- 3) 最新の文献による相関式 (Paik and Thayamballi, 2003の文献に基づく。)

更に、新しい相関式についても比較を行った。

- 4) 2013年11月版CSRの新相関式

これらの比較に基づき、新しい相関式は、広範囲のアスペクト比及び細長比の板部材に対して正確なものであることが示された。

より詳細な情報については、“TB Rep Pt1 Ch08 Sec05 Formula of Plate Capacity”を参照のこと。

2.2.2 参照細長比

座屈係数 K の算式について、CSR-BC及び船級協会規則に基づき、短辺が固定された条件を考慮した上で、規則表3を修正、補完した。

参照細長比は相対値であり、算式は次のように導出される：

オイラーの式より：

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 E}{K \lambda^2} \rightarrow \lambda_p = \pi \sqrt{\frac{E}{K \sigma_e}}$$

細長比が降伏応力の関数とすると：

$$K \sigma_e = R_{eH-P} \rightarrow \lambda_a = \pi \sqrt{\frac{E}{R_{eH-P}}}$$

よって、参照細長比は：

$$\lambda = \frac{\lambda_p}{\lambda_a} \rightarrow \sqrt{\frac{R_{eH-P}}{K \sigma_e}}$$

K は、長辺 a の境界条件による修正係数 F_{long} 又は F_{tran} 、アスペクト比 α 及び端部応力比 Ψ による座屈係数。ここで、単純支持端の場合、 $F_{long} = 1.0$ となる。

2.2.3 最終座屈応力

C_x 、 C_y 及び C_r は、最終強度 (降伏崩壊損傷モード) に関する軽減係数である。手法Aと手法Bの違いは、規則表3のケース2における係数 c_i の取り方による。

手法Aでは、 c_i は $c_i = (1 - \frac{1}{\alpha}) \geq 0$ としており、これは、DIN算式において、 σ_y は“曲げにより”発生する条件に基づく。一方、手法Bでは、 $c_i = 1.0$ であり、これは、 C_y が“直接荷重により”発生する条件に基づく。これは、CSR-OT (July 2010)に規定されるように、変形後にパネル周辺が直線を保たないような拘束のないパネルに対応する条件より得られる。

単純支持の境界条件となるケース1, 2, 11が一般的に使用される。また、ケース3, 4, 5は単純支持以外の境界条件として用いられる。垂直方向に防撓されるばら積み貨物船の単船側構造及び波形隔壁では、UP-Aを取る。

垂直方向に防撓されるばら積み貨物船の単船側部に対して、パネル短辺の固定条件は、表3に規定されるケースに対応すべきである旨述べられている。手法A及び手法Bに関するより詳細な情報については、“TBRep Pt1 Ch08 Sec04 I-plane Constraint Study”を参照のこと。

2.2.4 修正係数 F_{long}

本規則に規定される通り、係数 F_{long} は、パネル端にある防撓材のタイプにより異なる端部拘束影響の大きさを表す。(非防撓パネルの場合、係数は1.0となり、これは影響がないことを意味する。)規則表2のこれらの値は、非線形有限要素解析による検証に基づき、確認及び改訂された。より詳細な情報については、“TB Rep Pt1 Ch08 Sec05 Correction Factor F_{long} ”を参照のこと。

2.2.5 修正係数 F_{tran}

係数 F_{tran} は単船側肋骨に設けられる垂直方向に防撓された板パネルの長辺の回転拘束としての境界条件の影響を規定したものである。垂直方向に防撓された板部材以外の構造については、この影響を考慮しないため、 $F_{tran} = 1.0$ となる。

2.2.6 湾曲パネル

規則2.2.1に規定する相関式は表4にも適用する。曲率が $(R/t_p > 2500)$ より大きい場合、湾曲した板部材は平板とみなし、規則表2を適用する。規則表4のケース1とケース2を適用する際には、規則6章4節図1に示されるビルジ外板等の、平面パネルと境界をなす湾曲パネルの概念を理解する必要がある。

一般的に、規則表4のケース1と2は、縦通肋骨や湾曲パネルが平面パネルと直接境界をなさない構造様式に対して適用されるべきである。規則表3の備考1は、湾曲部の曲率にかかわらず湾曲パネルに適用可

能である。係数Cは表3で与えられる平面パネルとしての値と、表4で与えられる湾曲パネルの値の最大値を取る。

2.2.7 板部材に適用する直応力

本規定は、規則算式及び有限要素座屈要件といった板部材及び防撓材の座屈評価に用いる直応力の考え方について、その手順を述べている。格子構造解析(梁理論)は有限要素解析と異なるため、本規定ではポアソン修正が考慮されている。

しかしながら、ポアソン修正は規則算式による評価では考慮していない。より詳細な情報については、“TB Rep Pt1 Ch08 Sec05 Poisson Effect”を参照のこと。

2.3 防撓材

2.3.1 座屈モード

面外荷重をかける方向として、2通りを考え、それぞれの場合の軸応力及び圧縮応力を考慮するため、防撓材について2つの座屈崩壊モードを確認しなければならない。(図1参照)

- ・ 防撓材に起因した崩壊 (SI) : 圧縮となる時の点Bを評価
- ・ 付き板に起因した崩壊 (PI) : 圧縮となる時の点Aを評価

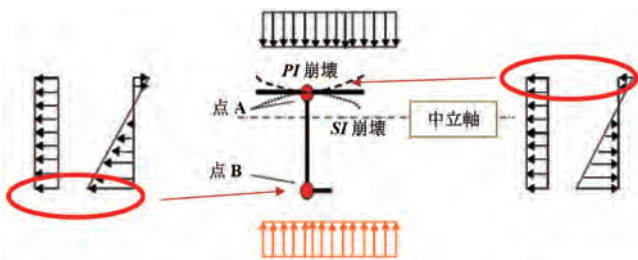


図1 座屈モード

2.3.2 平鋼のウェブ板厚

平鋼は局部面外変形により他の形状の防撓材に比べ剛性が大きく減少する。この減少を考慮して、座屈強度評価において平鋼のウェブ板厚は、次の算式を用いて減らさなければならない。

$$t_{w_red} = t_w \left(1 - \frac{2\pi^2}{3} \left(\frac{h_w}{s} \right)^2 \left(1 - \frac{b_{eff1}}{s} \right) \right)$$

弾性大変形解析 (ELDA) の理論を用いて、板の応答に関して次式の関係が得られる。

$$\epsilon_p = \frac{\sigma_p}{E} + \frac{\pi^2}{8a^2} W_{pl}^2 \tag{1}$$

ここで：

ϵ_p : 座屈後の板の平均ひずみ

σ_p : 座屈後の板の平均応力

W_{pl} : 板のたわみ量

また、ELDAを用いて、平鋼の弾性大変形挙動に関して次式の関係が得られる。

$$\epsilon_s = \frac{\sigma_s}{E} + \frac{m^2 \pi^2}{12a^2} V_{s1}^2 \tag{2}$$

ここで：

ϵ_s : 座屈後の防撓材の平均ひずみ

σ_s : 座屈後の防撓材の平均応力

V_{s1} : 防撓材のたわみ量

更に、結合部における板と防撓材の連続条件(たわみにより発生する角度が同じ。)により、次の式が導出できる。

$$V_{s1} = \frac{\pi h}{b} W_{pl} \tag{3}$$

ここで：

b : 板の幅

h : 防撓材のウェブ高さ

式(1)及び(2)から式(3)の関係を用いて、 W_{pl} 及び V_{s1} を消去すると、防撓材の平均応力 σ_s は次のように表される。

$$\sigma_s = E \epsilon_s - \frac{2\pi^2}{3} \left(\frac{h}{b} \right)^2 (E \epsilon_p - \sigma_p) \tag{4}$$

$$\frac{\sigma_s}{E \epsilon_s} = 1 - \frac{2\pi^2}{3} \left(\frac{h}{b} \right)^2 \left(\frac{\epsilon_p}{\epsilon_s} - \frac{\sigma_p}{E \epsilon_s} \right) \tag{5}$$

ここで、板の有効幅 b_e 及び防撓材の有効板厚 t_e は次による。

$$b_e = \frac{\sigma_p}{E \epsilon_p} \times b \tag{6}$$

$$t_e = \frac{\sigma_s}{E \epsilon_s} \times t \tag{7}$$

最終強度までの平均ひずみを $\epsilon_p = \epsilon_s$ と仮定すると、式(5)に式(6)及び(7)を代入すると、防撓材の有効板厚は次の通りとなる。

$$t_e = t \left[1 - \frac{2\pi^2}{3} \left(\frac{h}{b} \right)^2 \left(1 - \frac{b_e}{b} \right) \right] \tag{8}$$

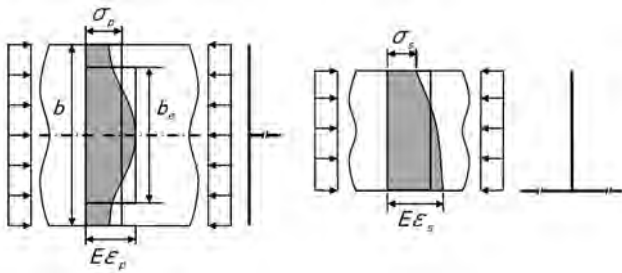


図2 局部座屈後の板及び防撓材ウェブの軸応力分布

ただし、8章5節2.3.5に定義される b_{eff} の算式は、付き板の座屈による減少率 C_x だけでなく、防撓材の曲げによるせん断遅れによる減少率 χ_s により算出される。

従って、 b_{eff} がせん断遅れにより決定される場合、負となるような正しくない値が得られる。

この問題を解決するため、 b_{eff} に加えて b_{eff1} という付き板の有効幅を定義することとした。また、この b_{eff1} は平鋼の有効板厚の計算に使用される。

- $b_{eff} = \min(C_x b, \chi_s s)$
- $b_{eff1} = C_x b$

付き板の有効幅に関し、有効軸応力 σ_a の計算では b_{eff} の代わりに b_{eff1} を用いる。これは、公称軸応力 σ_x の応答を考慮する際、付き板の座屈により軸応力は増加するが、防撓材の曲げによるせん断遅れは考慮する必要がないためである。

2.3.3 バルブプレートの理想化

バルブプレートを理想化するための等価な手法について規定している。等価なアングル材としてバルブプレートを理想化する当該手法を、本節では適用しなければならない。

2.3.4 座屈・最終強度

$$\frac{\gamma_c \sigma_a + \sigma_b + \sigma_{warping}}{R_{eH}} S = 1$$

面外座屈 振り座屈

座屈計算は防撓材の合応力に基づいている。まず、軸応力 σ_a は引張と圧縮の両方を考慮し、そこに曲げ応力とそり応力を重ね合わせる。合応力 $\sigma_a + \sigma_b + \sigma_w$ が正の場合、考慮する箇所において座屈評価する必要がある圧縮が働いているということを意味する。

評価基準は次の算式による：

$$\frac{\gamma_c \sigma_a + \sigma_b + \sigma_w}{R_{eH}} S = 1$$

ここで：

γ ： 応力乗数(算式=1における荷重のとき $\gamma = \gamma_c$)で、軸応力に対しては、上式において、曲げ応力及びそり応力に対しては、規則中に定義される別式において考慮されている。

付き板の有効幅と防撓材に作用する軸応力を算出するため、次の算式を用いる。

$$\sigma_a = \sigma_x \frac{st_p + A_s}{b_{eff1} t_p + A_s}$$

σ_x について、有限要素解析と規則算式の計算モデルが異なることから、それぞれについて値を求めており、有限要素解析においては、考慮する付き板要素(両端)で応力値を求め、規則算式では考慮する防撓材の荷重計算点(LCP)において計算結果から直接、応力値を求める。また、有限要素座屈評価においては、 σ_x と σ_y を規則2.3.6により補正する必要がある。そのため、防撓材座屈評価における σ_x と σ_y の値は σ_{xcor} と σ_{ycor} に置き換えなければならない。

面外座屈：

面外座屈に対する十分な安全性は、2次理論(非線形)を適用して証明される。そのため、次の荷重を考慮しなければならない：

- 防撓材方向の圧縮応力
- 防撓材と直角方向の圧縮応力
- 面内せん断応力
- 面外荷重(水圧等)

DIN 18800 Pt2, Sec 2.2 (その後の改正を含む。)の座屈曲線**b**に従って初期変形に起因する計算された荷重を考慮する。これは、構造部材がIACS勧告No.47(Rev.5, October 2010)又は、広く認められている工作基準に適合している限り有効である。

DIN 18800, Pt2 (その後の改正を含む。)に従って、初期変形による面内応力 σ_x 、 σ_y 及び τ_{xy} は、等価な面外荷重に置き換えられると仮定して、防撓材の曲げ応力の計算に用いる。ここで、付き板を含む防撓材の断面性能は、規則2.3.5に規定する付き板の有効幅を用いて求める。

曲げ応力 σ_b は次の算式による。

$$\sigma_b = \frac{M_0 + M_1}{1000Z}$$

M_0 は防撓材の面外変形 w による曲げモーメント

M_1 は面外荷重 P による曲げモーメント

M_1 は、単純梁理論を用いると、端部拘束条件により以下の通りとなる。(前者は両端固定又は連続梁、後者は両端単純支持)

$$M_1 = \frac{Psl^2}{24 \times 10^3} \quad (\text{両端固定又は連続梁の場合})$$

$$= \frac{Psl^2}{8 \times 10^3} \quad (\text{両端単純支持の場合})$$

また、 w_1 も同様に、2種類の端部境界条件により以下の通りとなる。

$$w_1 = C_i \frac{Psl^4}{384.10^7 EI} \quad (\text{両端固定又は連続梁の場合})$$

$$= C_i \frac{5Psl^4}{384.10^7 EI} \quad (\text{両端単純支持の場合})$$

防撓材の初期不整量 w_0 は、工作誤差のように座屈強度に影響する因子である。DIN18800及びIACS勧告No.47 (Rev.5, October 2010) 表6.1にある肋骨間における板部材の工作精度に基づいている。IACS勧告No.47によると、初期不整量 w_0 は、4mmから6mmを標準的な値としており、一般的な船の w_0 =スパン/1000に相当する。

w_0 : 想定する初期たわみ (mm)

$w_0 = \ell/1000$: 通常の場合

$w_0 = -w_{na}$: 両端がスニップである場合の防撓材に起因する崩壊

$w_0 = w_{na}$: 両端がスニップである場合の板部材に起因する崩壊

M_0 は、次の3つの項より得られる：

$$M_0 \rightarrow M_{\alpha x} + M_{\alpha y} + M_t$$

ここで：

$M_{\alpha x}$: x方向の圧縮応力によるモーメント

$M_{\alpha y}$: y方向の圧縮応力によるモーメント

M_t : せん断応力によるモーメント

$M_{\alpha x}$ の導出方法は以下に示す手順による。

まず、参照図1において、全たわみ w は次による。

$$w = w_0 \frac{F_{Ki}}{F_{Ki} - F_x}$$

ここで、限界座屈荷重 F_{Ki} は次による。

$$F_{Ki} = w_0 \frac{\pi^2 EI}{\ell^2}$$

また、荷重 F_x による曲げモーメントは、以下の通りとなる。

$$M_{\alpha x} = wF_x$$

曲げモーメントを等価なサイン分布の面外荷重 $q(x) = q \sin \frac{\pi x}{\ell}$ と仮定すると、梁中央部で $M_{\alpha x}$ は以下の通りとなる。(参照図2を参照)

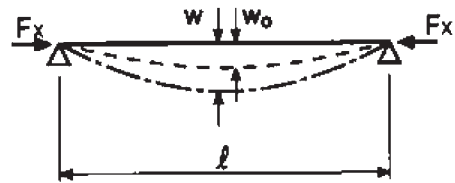
$$M_{\alpha x} = wF_x = \frac{q\ell^2}{\pi^2}$$

全たわみ w を当該曲げモーメント式に代入すると、梁中央部での荷重 q は以下の通りとなる。

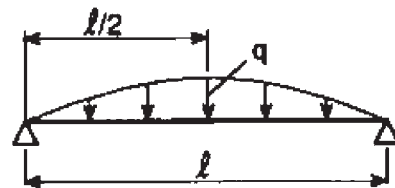
$$q = wF_x \frac{\pi^2}{\ell^2} = F_{Ki} \frac{\frac{\pi^2}{\ell^2} F_x w_0}{F_{Ki} - F_x}$$

よって、防撓材のたわみによる曲げモーメントは以下の通りとなる。

$$M_{\alpha x} = \frac{q\ell^2}{\pi^2} = F_{Ki} \frac{\frac{\pi^2}{\ell^2} F_x w_0}{\frac{\pi^2}{\ell^2} F_{Ki} - \frac{\pi^2}{\ell^2} F_x} = F_{Ki} \frac{p_{\alpha x} w_0}{c_f - p_{\alpha x}}$$



参照図1



参照図2

$M_{\alpha y}$ の導出方法は以下に示す手順による。

y方向の圧縮力は、防撓材に働く垂直荷重を引き起こすと仮定する。(参照図3を参照) 想定するモーメントと同値となる単位長さあたりの垂直荷重は、幾何形状から以下の通りとなる。

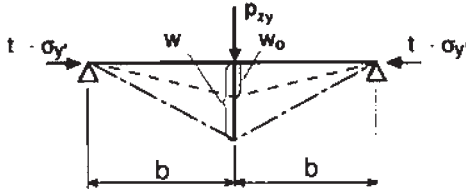
$$t\sigma_y' w_0 = \frac{p_{\alpha y}' \cdot 2 \cdot b}{4} \Rightarrow p_{\alpha y}' = 2t\sigma_y' \frac{w_0}{b}$$

x方向の圧縮応力と同様に処理するため、 $P_{\alpha y}$ は以下の通り初期たわみ w_0 と関連付けなければならない。

$$p_{\alpha y} = \frac{P_{\alpha y}'}{w_0} = 2\sigma_y' \frac{t}{b}$$

よって、防撓材のたわみによる曲げモーメントは以下の通りとなる。

$$M_{oy} = F_{Ki} \frac{p_{zy} w_0}{c_f - p_{zy}}$$



参照図3

非防撓等価パネルにより導出されるせん断応力 τ' は、縦 $2b$ 横 a の1枚のパネルを考慮して以下のように計算される。

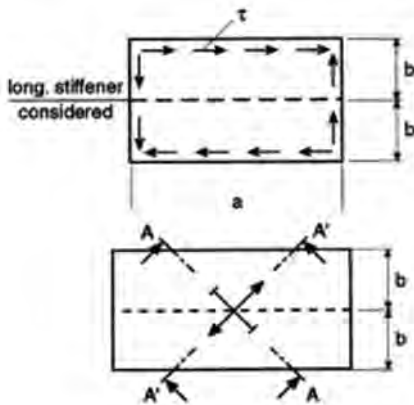
$$\tau' = \frac{\kappa_{\tau} R_{eH}}{\sqrt{3}} = \frac{0.84 R_{eH}}{\lambda \sqrt{3}}$$

結果として、せん断応力 $\tau_1 = \tau - \tau'$ の値が防撓材の設計を決定付けていることになる。本計算では、せん断応力は主応力として評価する。引張応力による支持効果を見捨てるならば、圧縮応力から生じる荷重から類推することで、せん断応力により生じる荷重が得られる。

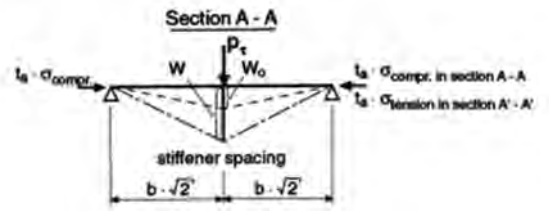
$$P_x = \sqrt{2} \tau_1 \frac{t}{b}$$

以上より、曲げモーメントは以下の通りとなる。

$$M_r = F_{Ki} \frac{p_x w_0}{c_f - p_x}$$



参照図4



参照図5

防撓材による弾性支持効果を表す c_f の算出手順は次の通り。

圧力に関する係数 C_i を考慮する際、面外荷重の作用する方向（プラス又はマイナス）の影響を M_1 又は w_1 で考慮するために板及び防撓材の圧力係数 (C_{PI} 及び C_{SI}) を使用する。

	PI 圧力モード	SI 圧力モード	
PI 損傷モード	$C_{PI} = +1$	$C_{PI} = -1$	$C_i = C_{PI}$
SI 損傷モード	$C_{SI} = -1$	$C_{SI} = +1$	$C_i = C_{SI}$

付き板の板厚 t_p は規則算式又は有限要素解析に対して次の要件によらなければならない：

- ・ 規則算式では、2つの付き板の平均板厚を使用
- ・ 有限要素解析では、防撓材の片側のEPPの板厚を使用（両側にEPPがある場合、そのうちの大きい方を採用する。）

本規則における振り座屈要件は、いくつかの研究・調査に基づき、振りによるそり応力を組み入れることにより面外座屈の算式を改良することで作成した。すなわち、下式のように面外座屈及び振り座屈を組合せている。

$$\frac{\sigma_a + \sigma_b + \sigma_w}{R_{eH}} S < 1.0$$

そり応力は次による。

$$\sigma_{warping} = Ey' \left(h_w + \frac{t_f}{2} \right) \Phi_0 \left(\frac{\pi}{l_{stf}} \right)^2 \left(\frac{1}{1 - \frac{\gamma \sigma_a}{\sigma_{ET}}} - 1 \right) \quad \text{防撓材}$$

に起因した損傷 (SI)

$\sigma_{warping} = 0$ 付き板に起因した損傷 (PI)

振り変形によるそり応力 σ_w は次の偏微分方程式により算出される。

$$\sigma_\omega = Ey' \left(z'_c - z'_s \right) \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} \right) \quad (1)$$

ϕ : 防撓材の捩り変形
 ϕ_0 : 防撓材の初期捩り変形
 z'_c, z'_s, y' : 図3に定義する距離

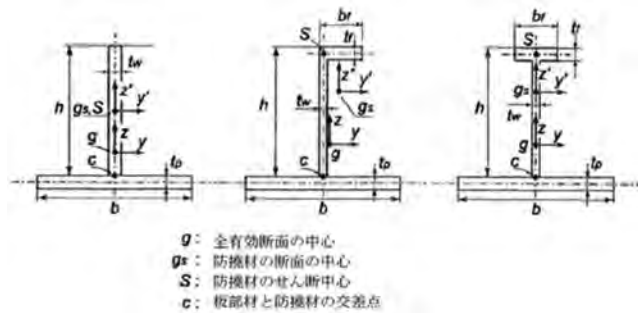


図3 防撓パネルの断面形状

微分方程式(1)を解析的に解くため、圧縮荷重Pとたわみ角φの関係を次のように仮定する。

$$\phi = \frac{\Phi_0}{1 - P/P_{cr}} \sin \frac{\pi}{a} x \quad (2)$$

$$\phi_0 = \Phi_0 \sin \frac{\pi}{a} x \quad (3)$$

P_{cr} : 捩り座屈荷重で、次による。

$$A \left[\frac{\pi^2 EI_w}{10^4 I_p a^2} \left(m^2 + \frac{K}{m^2} \right) + 0.385 E \frac{I_T}{I_p} \right]$$

I_T : 防撓材と板の結合部におけるサンプナン捩り剛性

I_p : 防撓材と板の結合部における極慣性モーメント

K : 板/防撓材間のバネ定数で、次による。

$$K = \frac{a^4 10^6}{\pi^4 EI_w} \left[\frac{k_p Et^3}{3b \left(1 + \frac{1.33 k_p h_w t^3}{1000 b t_w^3} \right)} \right] \quad (4)$$

k_p : 仮想圧縮応力比

m : 捩り座屈の半波数

Φ_0 : 最大初期たわみ角で、次による。なお、実績に基づき防撓材頂部の横たわみ量は防撓材スパンの0.1%と仮定している。

$$\Phi_0 = 0.001 \frac{a}{h_w} \quad (5)$$

ここで、式(2)において $x = 0.5a$ とし、式(1)に ϕ 及

び ϕ_0 を代入すると、防撓パネルのスパン中央部のそり応力は次のように表される。

$$\sigma_\omega = Ey' \left(z'_c - z'_s \right) \Phi_0 \left(1 - \frac{1}{1 - P/P_{cr}} \right) \quad (6)$$

実用的な範囲の板部材の細長比パラメータであれば、 $P = 0.44 \sigma_y$ と仮定した上で得られる式(7)は、そり応力の値について、よい近似値を与える。図5は式(7)により算定されたそり応力が、式(6)から得られた実際の値と近いことを示している。他の防撓パネルについても同じ傾向が見られ、次の簡易算式が σ_ω の評価に用いられる。

$$\sigma_\omega = Ey' \left(z'_c - z'_s \right) \Phi_0 \left(1 - \frac{1}{1 - 0.44 \sigma_y / P_{cr}} \right) \quad (7)$$

Type	Model	Shape	h_w	t_w	b_f	t_f	h/t_w
1	T1	Tee-bar	150	9	90	12	16.67
	A1	Angle-bar	150	9	90	12	16.67
	F1	Flat-bar	150	17	-	-	8.82
2	T2	Tee-bar	250	10	100	15	25.00
	A2	Angle-bar	250	10	100	15	25.00
	F2	Flat-bar	250	19	-	-	13.16
3	T3	Tee-bar	400	12	100	17	33.33
	A3	Angle-bar	400	12	100	17	33.33
	F3	Flat-bar	350	35	-	-	10.00
4	T4	Tee-bar	550	12	150	25	45.83
5	T5	Tee-bar	650	13.5	150	25	48.15

h_w : Height of stiffener web(mm)
 t_w : Thickness of stiffener web(mm)
 b_f : Breadth of stiffener flange(mm)
 t_f : Thickness of stiffener flange(mm)

図4 防撓材の断面形状

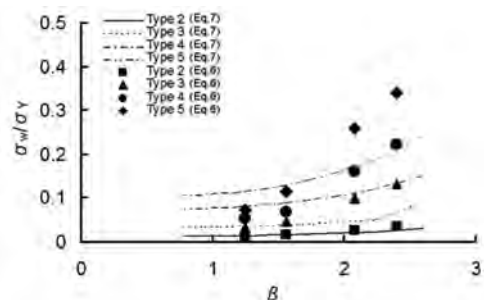


図5 式(6)及び(7)による防撓パネルの反り応力比較

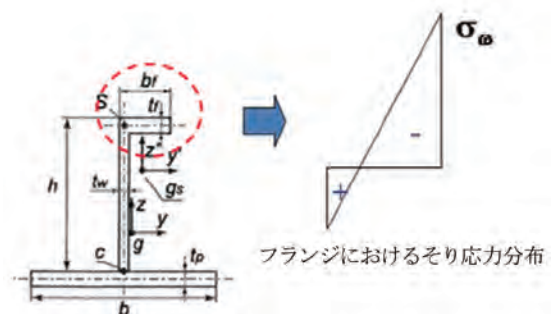


図6 防撓材フランジの反り応力分布

2.3.5 付き板の有効幅

標準的な防撓材の付き板の有効幅の算定に2つのアプローチを用いている。この2つのアプローチにより決定された最小値は、その後の計算に用いなければならない。1つ目のアプローチは、軽減係数 C_x に縦通防撓材間の距離 b を掛ける方法である。

このアプローチに用いる軽減係数 C_x は、基本板パネルの座屈評価に基づいている。2つ目のアプローチ(せん断遅れ効果を用いたアプローチ)は、軽減係数 χ_s に防撓材間の距離 s を掛ける方法であり、軽減係数 χ_s は防撓材の有効長さ l_{eff} による。(防撓材の長さに沿ったモーメント分布又は支持条件から求まる。)なお、この計算は標準的な防撓材に一樣分布荷重が作用していると仮定している。

引張応力 σ_x (負の値)では、座屈の問題はなく、せん断遅れの効果のみを考慮する。

χ_s は次式で与えられる。

$$\chi_s = \min \left[\frac{1.04}{1 + 2 / \left(\frac{l_{eff}}{s} \right)^2} ; 1.0 \right]$$

上式の技術背景として、“TB Rep Pt1 Ch03 Sec07 Effective Plate Breadth”を参照のこと。

平鋼に対しては $b_{eff1} = C_x b$ を用いる。規則2.4.2参照のこと。有限要素解析及び規則算式は別々の計算モデルであることから、 b_{eff} は、別々の方法で求める。

2.3.6 防撓材の座屈強度に対する有限要素修正応力

フックの法則に基づき、板の応力は次のように表される。

$$\begin{bmatrix} \sigma_x^* \\ \sigma_y^* \end{bmatrix} = \frac{E}{1 - \theta^2} \begin{bmatrix} 1 & \theta \\ \theta & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \end{bmatrix}$$

上記の式に次の単軸の梁の応力を代入する：

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x$$

$$\sigma_y = E \cdot \varepsilon_y$$

ここで：

σ_x ： 単軸の梁に働くx方向の応力 (N/mm²)

σ_y ： 単軸の梁に働くy方向の応力 (N/mm²)

σ_x^* ： x方向の平面応力 (N/mm²)

σ_y^* ： y方向の平面応力 (N/mm²)

ε_x ： x方向のひずみ

ε_y ： y方向のひずみ

- (a) 有限要素応力から梁の応力への変換(ポアソン効果を考慮した板応力を、ポアソン効果を考慮しない梁の応力へ変換する。例えば、防撓材の座屈評価のために変換する。)

$$\sigma_x < \nu \sigma_y \text{ の場合 : } \sigma_{xcor} = 0, \sigma_y = \sigma_y^*$$

$$\sigma_y < \nu \sigma_x \text{ の場合 : } \sigma_x = \sigma_x^*, \sigma_{ykor} = 0$$

$$\text{上記以外の場合 : } \sigma_x = \sigma_x^* - \nu \sigma_y, \sigma_y = \sigma_y^* - \nu \sigma_x$$

- (b) 梁の応力を板応力に変換(ポアソン効果を考慮した二軸応力状態における板の座屈算式に用いる梁の応力に適用できる。)

$$\sigma_x^* = \frac{1}{1 - \nu^2} (\sigma_x + \nu \cdot \sigma_y)$$

$$\sigma_y^* = \frac{1}{1 - \nu^2} (\sigma_y + \nu \cdot \sigma_x)$$

2.4 主要支持部材

2.4.1 開口を有するウェブ

板の座屈算式は規則的な形状で理想化された応力状態を想定して開発されている。一方で、開口まわりの形状及び応力勾配はかなり複雑である。この複雑さに起因する不確定性は、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している。

開口を有するウェブの座屈に対して重要な応力成分は、開口を通して伝わる軸方向又は接線方向の応力とせん断応力である。座屈評価に用いるこれらの応力は、開口による応力上昇を考慮する必要がある。(規則表6参照)

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。遊辺補強されていない開口に対して、限界座屈応力 $C_r \sigma_{yd}$ の計算は、3辺支持で開口に面する1辺を自由端と仮定したパネルの座屈強度により評価する。(規則表6(a)参照)

遊辺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。限界せん断座

屈応力 $C_r \sigma_{yd} / \sqrt{3}$ 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3にあるケース17を適用)

開口が補強されている場合には、ケース15を適用し、個々のパネルに分けて座屈強度を検討する。なお、ケース15及びケース17は規則表3に定義されており、座屈相関式は、 $\sigma_x = \sigma_{av}$ 、 $\sigma_y = 0$ 及び $\tau = \tau_{av}$ を用いて規則2.2.1による。

本規則では、規則表3のケース17の算式にて開口

による補正がなされているため、有限要素モデルにおける開口の有無は、平均せん断応力を加味することで考慮される。

2.4.2 開口を有するウェブの軽減係数

開口まわりのウェブの軽減係数は次による：

C_x ：規則表3のケース1又は3の場合の軽減係数

C_y ：規則表3のケース1の場合の軽減係数

C_t ：規則表3のケース15又は17の場合の軽減係数

2.4.3

本規定は、ウェブ防撓材が交差する防撓材に結合していない場合に用いられる。等価な矩形パネルに適用する現実的な応力の値を求めるため、本項に示す方法により、有限要素解析は実際の構造を再現しなければならない。

3. その他の構造部材

3.1 支材、梁柱及びクロスタイ

3.1.1 座屈使用係数

本規定では、支材、梁柱及びクロスタイの限界座屈応力は、コラム座屈応力及び振り座屈応力の小さい方としなければならないことを示している。なお、軸圧縮応力は平均値を用いる。

弾性座屈応力が、材料の最小降伏応力の50%を超える場合にあっては、全体座屈に対する限界圧縮応力はJohnson-Ostenfeldの塑性修正係数を用いて算出する。

薄肉断面の局部座屈については規則8章2節の細長比の要件で考慮される。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。

面外荷重で発生する曲げモーメントによる全体座屈は考慮していない。

3.1.2 弾性コラム座屈応力

コラム座屈（曲げ座屈）：抵抗力が小さい断面の軸周りの曲げ。これは二軸対象断面の細長い柱や振りの影響を受けない柱の限界座屈モードとなる。

弾性座屈算式は“Buckling of Bars, Plates and Pillars”, Brush and Almroth, McGraw-Hill, 1975”に基づいている。柱の有効スパンに対して端部拘束係数も考慮されている。

3.1.3 弾性振り座屈応力

振り座屈：曲げのない断面の振り。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。

クロスタイの評価については特別要件が与えられている。クロスタイの局部座屈は、貨物タンクの有限要素解析の強度の検証手順の一部として簡易算式を用いて評価する。

3.1.4 弾性振り/コラム座屈応力

コラム（曲げ）－振り座屈：断面のねじりと曲げの連成。この座屈モードはせん断中心と断面中心が一致せず、振りに対して弱い断面に対する限界座屈モードとなる。

3.2 波形隔壁

3.2.1

波形隔壁の波形部のウェブ及びフランジについて座屈評価に対する特別要件を規定している。波形部のウェブ及びフランジは、アスペクト比 $\alpha=2$ として考慮されており、平均応力 σ_x , σ_y 及び τ_{xy} が座屈強度評価に用いられている。つまり、規則2.2.1に定義する板部材座屈相関式において、 Ψ_x 及び Ψ_y は1として考慮されている。

付録1 応力法による参照応力

1. 応力法

1.1 序論

1.1.1

本節では規則8章4節の適用例を示す。この応力法とは、二次多項式曲線、最小二乗法を用いた線形分布及び加重平均手法によって、考慮する座屈パネルの辺上における応力分布を決定するものである。

1.1.2 定義

本要件は、規則パネルと不規則パネルの定義を示している。不規則パネルは規則4節2.3.1を参照のこと。

1.2 応力の適用

1.2.1 規則パネル

2.1.1で定義される規則パネルの参照応力は、下記2つの条件を満たす場合に用いることができる。条件を満たさない場合は、不規則パネルと同じように平均応力を用いなければならない。

- 規則パネルの長辺“ a ”を3分割した範囲のそれぞれにおいて、平面要素の要素中心が少なくとも1点存在していること。
- その隣接する範囲のそれぞれに含まれる少なくとも1つの要素中心が、パネルの局部座標系の x 方向について $a/4$ より離れて位置していること。

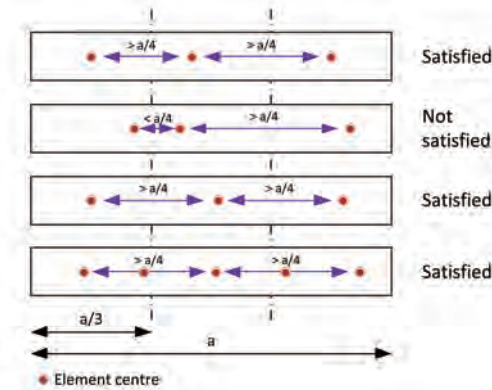


図1 規則パネルの参照応力

1.2.2 不規則パネル及び湾曲パネル

不規則パネルの参照応力は規則2.2で定義される。

2. 参照応力

2.1 規則パネル

2.1.1 長辺方向の応力

座屈パネルの短辺上に作用する長辺方向の応力は、2次多項式により算定される。応力分布を算定するために長辺方向に少なくとも3つの要素が必要となり、3つの要素がなければ不規則パネルのように応力分布を算定することになる。応力分布は2次多項式により曲げの影響を考慮したものとなり、それぞれの要素の面積は重み付け係数として与えられる。C, D, Eは、下式から与えられる。

$$\begin{cases} C = \frac{C_1 C_3 D_3 - C_2^2 D_3 + C_2 C_3 D_2 - C_1 C_4 D_2 + C_2 C_4 D_1 - C_3^2 D_1}{2C_2 C_3 C_4 + C_1 C_3 C_5 - C_2^2 C_5 - C_1 C_4^2 - C_3^3} \\ D = \frac{C_2 C_3 D_3 - C_1 C_4 D_3 + C_1 C_5 D_2 - C_3^2 D_2 + C_3 C_4 D_1 - C_2 C_3 D_1}{2C_2 C_3 C_4 + C_1 C_3 C_5 - C_2^2 C_5 - C_1 C_4^2 - C_3^3} \\ E = \frac{-C_3^2 D_3 + C_2 C_4 D_3 - C_2 C_5 D_2 + C_3 C_4 D_2 - C_4^2 D_1 - C_3 C_5 D_1}{2C_2 C_3 C_4 + C_1 C_3 C_5 - C_2^2 C_5 - C_1 C_4^2 - C_3^3} \end{cases}$$

ここで、

$$C_1 = \sum_{i=1}^n A_i, \quad C_2 = \sum_{i=1}^n A_i x_i, \quad C_3 = \sum_{i=1}^n A_i x_i^2, \quad C_4 = \sum_{i=1}^n A_i x_i^3,$$

$$C_5 = \sum_{i=1}^n A_i x_i^4$$

$$D_1 = \sum_{i=1}^n A_i \sigma_{ix}, \quad D_2 = \sum_{i=1}^n A_i x_i \sigma_{ix}, \quad D_3 = \sum_{i=1}^n A_i x_i^2 \sigma_{ix}$$

防撓材の座屈評価においては、曲げ応力を2重に考慮することを避けるために、加重平均法によって得られた軸応力が用いられる。

2.1.2 短辺方向の応力

応力分布を算定するために長辺方向に少なくとも2つの要素が必要であり、2つの要素がない場合は不規則パネルと同じように応力分布を算定することになる。重み付けを与えた最小二乗法は、座屈パネルの短辺方向応力が船長方向に線形に分布勾配するように考慮されている。要素の面積は重み付け係数として考慮される。これによりA, Bの値が算出される。

$$\begin{cases} A = \frac{\left(\sum_{i=1}^n A_i\right)\left(\sum_{i=1}^n A_i x_i \sigma_{iy}\right) - \left(\sum_{i=1}^n A_i x_i\right)\left(\sum_{i=1}^n A_i \sigma_{iy}\right)}{\left(\sum_{i=1}^n A_i\right)\left(\sum_{i=1}^n A_i x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n A_i x_i\right)^2} \\ B = \frac{\left(\sum_{i=1}^n A_i \sigma_{iy}\right)\left(\sum_{i=1}^n A_i x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n A_i x_i\right)\left(\sum_{i=1}^n A_i x_i \sigma_{iy}\right)}{\left(\sum_{i=1}^n A_i\right)\left(\sum_{i=1}^n A_i x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n A_i x_i\right)^2} \end{cases}$$

2.1.3 せん断応力

せん断応力の計算についても加重平均法が適用される。

2.2 不規則パネル

2.2.1 参照応力

不規則パネル及び不規則パネルに対しては、長辺方向応力、短辺方向応力及びせん断応力を算出するために加重平均法が用いられる。

9章 疲労

1節 概論

1. 疲労要件の適用

1.1 適用

1.1.1 一般

本章は長さ L_{CSR} が150m以上500m以下の二重船殻油タンカー及び単船側構造又は二重船側構造のばら積貨物船に適用される。この規則は、油タンカーについては長さ L_{CSR} が150m以上500m以下の船舶の船体構造に適用され(1編1章1節1.3.1を参照)、ばら積貨物船については長さ L_{CSR} が90m以上の船舶の船体構造に適用される。(1編1章1節1.2.1を参照)ただし、現在のところ疲労損傷は長さ150m未満のばら積貨物船では確認されていないため、150m未満のばら積貨物船においては疲労評価を適用しないこととした。

GBSの要件にあるように、設計者によって決定される疲労設計寿命は、25年未満であってはならない。

疲労評価の手順は以下の仮定に基づいている。

- ・ 貨物区域における簡易応力解析又は極詳細有限要素応力解析によって評価すべき構造詳細は、これまでの就航実績に基づき、重要な構造詳細と同等されたものである。
- ・ 作用応力が高い場合に疲労亀裂が生じる恐れがある構造詳細は、スクリーニング評価手順による確認を受ける。
- ・ 設計寿命は25年とする。(1編1章2節3.3.1を参照)

疲労設計荷重を決定する際には北大西洋の波浪環境のデータ⁽¹⁾が用いられている。(1編1章2節3.4.1を参照)準静的波浪荷重のみが疲労強度評価に適用される。ハルガーダの振動はCSR-BC&OTの疲労要件において非明示的に考慮されている。疲労評価法は、現存船のデータに基づき、作成及び検証がなされたものである。疲労評価法の作成及び検証に使用した現存船には、ハルガーダの振動が発生していた。北大西洋の波浪環境データを用いることは、一般的な世界標準のタンカーの疲労寿命に対して大きな安全余裕を与える。この安全余裕はハルガーダの振動による疲労への寄与を上回るものである。

1.1.2 評価領域

船体構造で頻繁に発生する疲労破壊の形態は以下の通りである。

1. 溶接止端部から発生した疲労亀裂が母材に進展していく、たびたび発生する損傷モード。ノッチ形状により応力が最大となる溶接止端部の小さな欠陥又はアンダーカットより、亀裂が発生する。一般的には、止端部の疲労亀裂は検査の

際に発見することが可能である。

2. ハッチコーナの自由端やブラケット遊辺で生じた疲労亀裂が母材に進展していく形態。疲労亀裂は切断面のような自由端における粗い表面から発生することがある。
3. 溶接ルート部において疲労亀裂が発生し、のど部を進展していく形態。すみ肉溶接や部分溶込み溶接の内部欠陥を非破壊検査で特定することは困難なため、重大な結果に至る可能性がある破壊形態である。この場合、亀裂が溶接部を完全に貫通するまで発見されない。
4. 溶接ルート部において疲労亀裂が発生し、溶接下部の板部材に進展していく形態。この形態における破壊に至るまでのサイクル数は、通常の寸法の溶接止端部から生じる疲労亀裂の場合と同程度である。つまり、溶接止端部の疲労寿命の改善が求められる場合、溶接ルート部からの疲労亀裂も起こりやすくなっているため、溶接ルート部の改善(完全溶込み溶接)が求められることを意味している。

現行規則における疲労強度評価は、上記1及び2のケースに示される溶接止端部で生じる疲労亀裂や母材の自由端で生じる亀裂を想定している。

上記3及び4のケースに示されるような、溶接ルート部で発生する亀裂の直接評価手法は現行規則では示されていない。溶接ルート部で発生する亀裂は設計基準によって防止することができる。ただし、現行規則においては、例えば構造詳細の重要なホットスポットにおける溶接部の最小のど厚のような、ルート部の亀裂損傷を防ぐための溶接に関する要件を規定している。

1.1.3 評価すべき構造詳細

本規則には、貨物倉における簡易応力解析や有限要素応力解析によって評価すべき構造詳細が規定されている。このアプローチは就航実績の蓄積により考慮された構造詳細においてのみ適切なものである。一般的でない構造又は配置となる場合は、追加の構造詳細について解析を行う必要がある可能性がある。

規則では船体全域で疲労損傷の生じる可能性のある箇所の体系的な確認が要求されている。疲労評価はこれまでの実績において、最も疲労損傷が多く発生した箇所に要求される。それゆえ、疲労の観点から最も重要な箇所である貨物倉の構造詳細に重点を置いた評価となる。

極詳細メッシュ有限要素解析のような複雑な解析により評価すべき構造詳細は、解析と経験から得られたIACSメンバーの知見により、最も重要であると定められた構造詳細である。

また、本規則では体系的なスクリーニング評価手順により評価すべき構造詳細が規定されている。スクリーニング評価手順のような簡易手法により評価される構造詳細は、油タンカーやばら積貨物船の疲労損傷のフィードバックによって、それほど損傷を生じる恐れが少ない構造詳細である。

1.1.4 詳細設計基準

1.1.2によること。

1.1.5 材料

疲労評価の手順は、最小規格降伏応力 R_{eH} が390 N/mm²以下で鋼材が海水環境下にあるか、もしくは腐食のない場合に有効である。⁽²⁾この制限は、降伏応力 R_{eH} が390 N/mm²以上の鋼材の疲労に対する電気防食の有効性がまだ実証されていないためである。

降伏応力 R_{eH} が390 N/mm²以上の鋼材及び疲労強度が改善された鋼材(例えばS-N曲線が改善された鋼材)については、個別に適切なS-N曲線を使用することに対して船級の合意を得なければならない。適切なS-N曲線は、鋼材の特性により、本規則、IIWもしくはその他の規格に記載されている曲線を用いるか、又は承認された疲労試験により得ることができる。

1.1.6 波浪荷重

1.1.1によること。

1.1.7 波浪荷重以外の荷重

複数貨物の積載のような低サイクル荷重による疲労は、積荷/揚荷の回数が比較的少ないため、商船では考慮しない。(25年の設計寿命において複数貨物の積載による1,000回以下のサイクル数がもたらす被害度は、同期間の10⁸回程度の繰り返し数に相当する波浪荷重による損傷と比較して無視できる程度である。)

油タンカー/ばら積貨物船のタンク/船倉は、通常は満載状態であるため、スロッシングはほとんど起こらない。加えて、油タンカーの甲板桁はスロッシング荷重を最小限に抑えるよう働く。

2. 定義

2.1 ホットスポット

2.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.2 公称応力

2.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.3 ホットスポット応力

2.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.4 自由端における局部応力

2.4.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.5 疲労応力

2.5.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3. 前提条件

3.1 一般

3.1.1

疲労評価は以下の仮定に基づいている。

- 不規則な波浪荷重下の疲労寿命の計算は、*Palmgren-Miner*の線形累積被害則を仮定した設計S-N線図に基づいている。この規定は、損傷の累積はそれぞれ独立した異なる応力レベルの繰り返し荷重による損傷の重ね合わせによって表されるという仮定に基づいている。
- 疲労評価で仮定される設計寿命は25年とされる。(1編1章2節3.3.1を参照) ネット寸法を用いることにより腐食を考慮する。また、バラスタタンク、貨物油タンク、燃料油タンク内の継手は一定期間中(以下、有効防食期間とする。)は効果的に腐食から保護されるが、それを過ぎると腐食保護の効果が薄れるために腐食環境下にさらされることから、防食はある程度有効であると仮定される。有効防食期間中は鋼材表面は腐食から保護されるため、鋼材は乾燥空気の下にあるとみなされる。この場合、疲労強度は空気中におけるS-N線図によって評価して差し支えない。(2節4を参照) それを過ぎると継手が腐食環境下にさらされるため、腐食環境下のS-N線図によって評価しなければならない。(2節4を参照)
- 構造詳細の応力範囲の長期分布は2母数のワイブル分布により近似される。2母数は尺度係数と形状係数である。10⁻²の確率レベルが最も疲労損傷に寄与することが明らかとなっていることから、10⁻²の確率レベルが尺度係数の決定に用いられる。(1.1.4を参照) しかし、参照応力を10⁻²の確率レベルとすると形状係数の疲労被害度への影響は非常に小さなものとなることから、形状係数は定数1.0とする。
- 準静的波浪荷重は10⁻²の確率レベルに対応する等価設計波の手法により決定される。(1.1.4を参照)
- 許容基準は、規則1編9章の疲労強度基準に従って算出された疲労寿命が、1.1.1で規定される設計疲労寿命を超えていなければならないことに

基づいている。

4. 方法

4.1 原則

4.1.1 一般

疲労強度は以下に示す2つの方法で評価されなければならない。

- ・ 簡易応力解析, 有限要素応力解析, スクリーニング手法の3つの異なる疲労寿命計算に基づく疲労強度評価
- ・ 構造詳細の疲労強度を改善するために採用される定性的手法の疲労設計基準

上記1.1.4で記されるように, 現行規則の疲労強度評価手法はケース1及び2のような溶接止端部や母材の自由端から生じる疲労亀裂を対象としている。

溶接止端部の亀裂評価にはホットスポット応力法が用いられる。ホットスポット応力法は溶接止端部の溶接構造の疲労強度解析において効果的な工学的手法とされる。評価しなければならない構造詳細(規則6節1及び2を参照すること。)において, ホットスポット応力は対象箇所(構造詳細)に応じて, 簡易応力解析又は有限要素応力解析のいずれかで計算される。

非溶接の構造詳細の自由端で生じる亀裂に対する疲労評価は, 自由端の局所応力を算出する規定された要素分割方法を用いた有限要素応力解析に基づく。

4.2 簡易応力解析

4.2.1

防撓材の端部結合部のホットスポット応力解析には簡易応力解析が用いられる。ハルガーダ曲げによる軸荷重や面外圧による局所曲げによる防撓材の端部結合部のホットスポット応力は表により与えられる応力集中係数を用いて梁理論に基づき計算される。

4.3 有限要素応力解析

4.3.1

荷重や構造がより複雑な, 重要な構造詳細では, 有限要素解析を行わなければならない。

桁で支持された十字継手を除く標準的な溶接詳細では, 溶接止端部におけるホットスポット応力の評価手順が与えられる。この手順は“FPSO Fatigue Capacity JIP”⁽⁶⁾で開発された評価手法に基づいている。ここでは, シェル要素を用いて導出された溶接止端部におけるホットスポット応力が桁で支持された十字継手を除くすべての構造詳細に適用される。“FPSO Fatigue Capacity JIP”⁽⁷⁾では, 導出されたホットスポット応力と疲労強度との適当な相関が見いだされ, 更に, S-N曲線⁽⁸⁾と組合わされた有限要素応力解析結果⁽⁵⁾に基づき疲労評価を行う方法に関する推奨事項が作成された。

また, 十字継手のフランジ結合部及びウェブのホッ

トスポット応力を導出するための手順が開発された。この手順は, とりわけ溶接型ナックル結合部, 水平ストリングのヒール結合部, 下部スツールと内底板との結合部等の十字継手において, 過大に安全側の結果となることを避けるためのものである。⁽¹⁰⁾

4.4 疲労スクリーニング評価

4.4.1

疲労スクリーニング評価は, 規則7章3節3で規定されるスクリーニング範囲(応力の高い箇所及び/又は応力集中箇所であって簡易応力解析や極詳細メッシュ有限要素解析による評価対象とならない箇所)に対応する構造詳細に実施しなければならない。

スクリーニング手法で評価される構造詳細は極詳細メッシュ有限要素解析での評価が要求される構造詳細と比較して疲労に関する重要度が低い箇所である。スクリーニング評価の対象となる構造詳細の応力レベルが高い場合, 当該構造詳細は重要であるとみなされる。スクリーニング評価により, 極詳細メッシュ有限要素解析による疲労評価が必要となる応力レベルの高い構造詳細が選定される。

この手順では, 強度評価において既に使用した詳細メッシュ有限要素解析(50mm×50mm)モデル(規則7章3節を参照)を用いて潜在的な疲労範囲が特定される。これにより, 時間, コストの面で負荷の大きい極詳細メッシュ(ネット板厚×ネット板厚)モデル(4節を参照)を用いた有限要素疲労解析を避けることができる。

4.5 疲労設計基準

4.5.1

疲労設計基準は, 以下に関する指針を示すことにより, 疲労強度を向上させるために構造詳細の設計に適用可能な定性的手法を提供するものである。

- ・ 各構造詳細における重要な箇所の特定
- ・ 幾何形状, 部材寸法, 溶接要件, 設計誤差に関する要件
- ・ 適切な選択肢としての, 改善された代替形状の要件
- ・ 溶接止端部に対するグライディングのような疲労寿命を向上させるための溶接後処理法

本節に規定される構造詳細は与えられた設計基準に従って設計されなければならないが, 十分な疲労強度を有すると証明された場合には代替の詳細設計が認められる。

5. 腐食モデル

5.1 ネット板厚

5.1.1 一般

強度評価には「ネット板厚」が用いられる。設計寿命の間に腐食による板厚の減少が生じた場合にも,

強度の健全性が維持されるよう強度基準が規定される。降伏、座屈、最終強度といった損傷現象においては極大荷重が支配的である。一方で、疲労現象においては長期間の繰り返し疲労荷重が支配的である。このため、疲労強度に対する腐食影響の検討は降伏、座屈、最終強度に対するものとは異なる。

疲労強度は時間に比例した線形累積疲労被害則によって評価される。この場合、腐食予備厚の半分に基づいて評価される疲労損傷は、腐食過程を検討した場合の評価値とおおよそ互換性のあるものとなりうる。このため、局部支持部材のネット板厚はグロス板厚から $0.5t_c$ 控除することにより得るのが適切である。

5.1.2 応力修正

腐食量はばらつきの大い空間的な確率変数で表されるため、評価の範囲が狭くなればなるほど腐食の確率的な性質の影響は大きくなる。逆に評価対象が大きくなるほど腐食の確率的な性質の影響は小さくなる。それゆえ、構造体やハルガーダの強度の評価には、平均腐食量の腐食モデルに基づく評価が適切である。

平均腐食量は腐食予備厚の半分にほぼ一致する。それゆえ、有限要素モデルで使用されるハルガーダ断面及び構造部材のネット板厚はグロス板厚から $0.25t_c$ (局部支持部材の腐食量の半分) 控除することで与えられる。 $0.25t_c$ 腐食モデルで計算された応力は $0.5t_c$ 腐食モデルで計算された応力の0.95倍となることが確認されている。有限要素モデルで共通のアプローチをハルガーダ応力と局部支持部材のネット板厚に適用する際には、 $0.5t_c$ を用いて、修正係数0.95を乗じた応力を用いるべきである。

6. 積付状態

6.1 説明

6.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

6.2 油タンカーの積付状態

6.2.1

2つの代表的な荷重条件が用いられる。通常、油タンカーは満載状態かノーマルバラスト状態 (IACS勧告No.56, July 1999)⁽⁹⁾のどちらかで運航される。

6.3 ばら積貨物船の積付状態

6.3.1

ばら積貨物船の場合では代表的な荷重状態として、均等積満載状態、隔倉積満載状態、ノーマルバラスト状態、ヘビーバラスト状態が挙げられる。

標準的なばら積船におけるこれらの代表的な積付け状態の頻度は、船社への質問及び受領したコメントに基づいて設定されている。

7. 荷重ケース

7.1 前提条件

7.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

7.1.2 支配的な荷重ケース

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

参考文献

1. IACS Rec 34, "Standard Wave Data", Nov 2001.
2. Health and Safety Executive, "Offshore Installations: Guidance on Design, construction and certification", Fourth Edition, 1995.
3. Technical Background, CSR-H, Pt 1, Ch 4, Sec 1 - Introduction, June 2011.
4. Technical Background, CSR-H, Pt 1, Ch 4, Sec 4 - Load Cases, June 2011.
5. Fricke, "Recommended Hot Spot Analysis Procedure for Structural Details of FPSOs and Ships on Round Robin FE analysis", 11th ISOPE, Stavanger, March 2002.
6. Lotsberg, "Fatigue design of plated structures using finite element analysis", Journal of Ship and Offshore Structures, 2006, Vol. 1, No. 1, pp. 45-54.
7. Lotsberg, "Overview of the FPSO Fatigue Capacity JIP", OMAE 2001, Rio de Janeiro.
8. Maddox, "Recommended design S-N curve for fatigue assessment of FPSOs", Proceedings of the 11th ISOPE 2001, Stavanger.
9. IACS Rec 56, "Fatigue Assessment of Ship Structures", July 1999.
10. Lotsberg & al, "A procedure for fatigue design of web stiffened cruciform connections", Vol. 3, No. 2, pp. 113-126, SAOS, 2008.

2節 評価すべき構造詳細

1. 簡易応力解析

1.1 評価すべき構造詳細

1.1.1

簡易解析による疲労評価の対象となる重要な構造詳細は、全船級による調査に基づくものである。

2. 有限要素解析

2.1 評価すべき構造詳細

2.1.2 極詳細メッシュ解析により評価すべき構造詳細

規則1編9章2節表1及び表3の有限要素解析により評価すべき重要な構造詳細及びその適用箇所の概要は、全船級による調査に基づくものである。

規則1編9章2節表1及び表3に示す極詳細メッシュ有限要素解析により評価すべき構造詳細は、疲労亀裂に対する脆弱性に基づき選択される。すなわち、ほとんどの重要な構造詳細は、極詳細メッシュ有限要素解析により検証されている。構造詳細は疲労亀裂の発生を抑制するように設計されなければならない。規則1編9章2節表3に示された構造詳細において、9章6節の設計標準を満足する場合は、極詳細メッシュ有限要素解析を省略して差し支えない。設計標準は全船級において蓄積された経験に基づいている。

重要な構造詳細において評価すべきホットスポットを規則1編9章2節表4から表18に示す。ホットスポットは、全船級による有限要素解析による疲労評価における広範囲な経験と調査に基づき選定された。

2.1.3 スクリーニング疲労評価により評価すべき構造詳細

規則1編9章2節表2に示す構造詳細は、規則7章3節2に規定するスクリーニング範囲のうち、高応力部及び/又は高応力集中部であって、簡易応力解析（規則9章2節1）もしくは有限要素解析（規則9章2節2）により評価すべき構造詳細でないもの又は疲労設計標準（規則9章6節）による設計でないもの及び主要支持部材の開口に対応する。

スクリーニング手法で評価される構造詳細は極詳細メッシュ有限要素解析での評価が要求される構造詳細と比較して疲労に対する重要度が低いと考えられる。スクリーニング評価の対象となる構造詳細の応力レベルが高い場合、当該構造詳細は重要であるとみなされる。スクリーニング評価は、極詳細メッシュ有限要素解析による疲労評価が必要となる応力レベルの高い構造詳細を選定するものである。

2.1.4 詳細設計基準による構造詳細

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3節 疲労評価

1. 疲労解析法

1.1 累積被害度

1.1.1

累積被害度は線形累積被害則（マイナー則）により求められる。構造物の疲労強度は、一定応力下において破壊に至る応力繰り返し数に基づき、算式化されている。変動振幅荷重による応力範囲の長期分布は一定の応力範囲のブロックに分割できる。ブロックごとのサイクル数に応じた被害度を計算し、マイナー則に従い、線形的に合計する。疲労被害度 D は以下の算式で求められる。

$$D = \sum_{i=1}^{n_{tot}} \frac{n_i}{N_i}$$

ここで、

n_i : 応力範囲 $\Delta\sigma_i$ における応力繰り返し数

N_i : 応力範囲 $\Delta\sigma_i$ における疲労に至るまでの繰り返し数

n_{tot} : 応力範囲のブロックの総数

この線形累積被害度を求めるモデルはPalmgren⁽¹⁾及びMiner (1945)によるとされ、彼らは被害度の合計が1に達したとき損傷が生じると提案した。本モデルでは、サイクルが発生する順番は考慮されていない。マイナー則は、複雑な現象（ランダム応力下での疲労等）を単純なアルゴリズムで予測するものであるが、実験の結果によると、マイナー則は不規則な荷重に対する疲労を予測するための工学的ツールとして合理的であるとされている。

1.1.2

設計寿命期間中、 N_D 回の応力が構造詳細に作用し、これらの応力が確率関数 $f(\Delta\sigma)$ に従う不規則な分布であると仮定すると、疲労被害度は次の算式で表される。

$$D = \int_0^{\infty} \frac{N_D \cdot f(\Delta\sigma)}{N(\Delta\sigma)} \cdot d\Delta\sigma$$

船体構造に対し、応力範囲の長期分布の確率密度関数は、以下の算式で与えられる2母数ワイブル分布によって表されるとみなされている。

$$f(s) = \frac{\xi}{k} \left(\frac{\Delta\sigma}{k} \right)^{\xi-1} \exp\left(-\frac{\Delta\sigma}{k} \right)^{\xi}$$

ここで、

$\Delta\sigma$ = 応力範囲

ξ = 形状係数

k = 応力範囲の特性値（尺度係数）

$$k = \frac{\Delta\sigma_R}{(\ln N_R)^{1/\xi}}$$

N_R = 超過確率 $1/N_R$ に相当する応力の繰り返し数

$\Delta\sigma_R$ = 超過確率 $1/N_R$ の応力範囲

ワイブル分布に従う応力範囲の長期分布及びS-N線図により与えられる疲労破壊時の応力繰り返し数 $N(\Delta\sigma)$ を用いると、疲労被害度を求める簡易算式は以下の通りとなる。

$$D = \frac{N_D}{K_2} \frac{\Delta\sigma_R^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right) :$$

1つの傾きからなるS-N線図

$$D = \frac{N_D}{K_2} \frac{\Delta\sigma_R^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \cdot \mu \cdot \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right) :$$

2つの傾きからなるS-N線図

ここで

$$\mu = 1 - \frac{\left\{ \gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}, \nu\right) - \nu^{-\Delta m/\xi} \cdot \gamma\left(1 + \left(\frac{m + \Delta m}{\xi}\right), \nu\right) \right\}}{\Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right)}$$

$$\nu = \left(\frac{\Delta\sigma_q}{\Delta\sigma_R}\right)^\xi \cdot \ln N_R$$

とする。

1.2 疲労強度評価

1.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2. 評価基準

2.1 疲労寿命及び評価基準

2.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

3. 疲労評価のための参照応力

3.1 疲労応力範囲

3.1.1

疲労応力範囲は各積付状態の各荷重ケースにおける最大応力範囲に対応する。疲労応力範囲は応力波形における最大値と最小値の差で定義される繰り返し応力範囲に対応する。

応力範囲は板厚影響 (3.3) や平均応力影響 (3.2) 等の影響を考慮し、修正される。

3.1.2 溶接継手

溶接継手の疲労強度は、いわゆるホットスポット応力に基づき評価される。ホットスポット応力は構造物の形状、寸法等の影響を考慮しているが、溶接止端部の影響によって生じる局所的な応力上昇については考慮していない。この局所的な応力上昇の影響は、ホットスポット応力で整理したS-N線図に含まれている。溶接部の実際の形状を設計段階で知ることでは

きない。溶接止端部の様々な形状について考慮するため、S-N線図の下限を設計線図として用い、解析においては溶接止端部形状の品質の下限を考慮する。

一般的に、ホットスポット応力は、極詳細メッシュ分割を行った有限要素解析により直接求めることができるが、解析により得られた公称応力と適切な応力集中係数を用いて求めることもできる。

ホットスポット応力の概念は板状構造物の疲労強度解析に対する効率的な工学的手法とみなされている。ここ数年の間で、有限要素解析に基づくホットスポット応力導出のための方法論は、一貫した疲労評価手法を与えるホットスポットのS-N線図と関連性を持っている。この概念は実物大試験により確認されている。ホットスポット応力の概念は国際溶接学会 (IIW) ^{(6),(7)} 及び “FPSO Fatigue capacity JIP” ^{(2),(3),(4),(5)} でなされた研究により裏付けられている。

多くの疲労設計基準は、溶接止端部に垂直な線との間でなす角が±45度以内である最大主応力範囲と溶接止端部に対して垂直な応力範囲によって作成されたS-N線図を疲労設計に用いることを推奨している。BS5400(1980)、BS7608(1993)及びDNV CN 30.7(2008)を参照のこと。IIW (2007) ⁽⁷⁾ において、最大主応力範囲が溶接線との間になす角度について±45度から±60度へ変更することが決まり、現行のIIWの疲労設計指針に取り入れられている。実際の設計においては、新しいIIWの基準は詳細構造設計に非常に大きな影響を与えうることが確認されており、設計者達はこの手法を用いて疲労強度評価基準を満たすのに苦慮している。それゆえ、Lotsberg⁽¹⁸⁾はKim及びYamada⁽¹³⁾の文献にある疲労試験結果を基に、評価基準の修正を行った。

Lotsbergは、主応力の方向が溶接止端部と直交しない場合に、S-N線図を用いて溶接止端部における疲労被害度をどのように計算するかを示した指針を提案し、その指針はCSR-BC&OTに取り入れられている。ホットスポット応力を用いて疲労強度評価を実施する場合、図1 (Lotsberg⁽¹⁸⁾から抜粋) に示すように、角度に応じて用いる線図を変える手法が提案されている。

疲労の問題を考える場合、2つの異なる方向における主応力の応力範囲を評価しなければならない。主応力の方向φが45度から90度の間であれば、Lotsberg⁽¹⁸⁾に示される有効応力減少係数 (φ=45度のとき:0.63) により溶接線に平行な応力が働く場合のS-N線図を用いることができる。FAT100のS-N線図をCSR-BC&OTで用いることについては、応力の方向が溶接線の垂直方向から45度以上の角度の場合に減少係数0.9を適用することで説明を付けている。

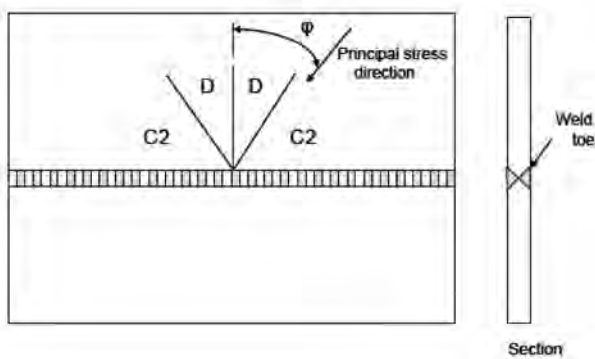


図1 溶接線と主応力のなす角度に応じた使用S-N線図 (D=FAT90, C2=FAT100)

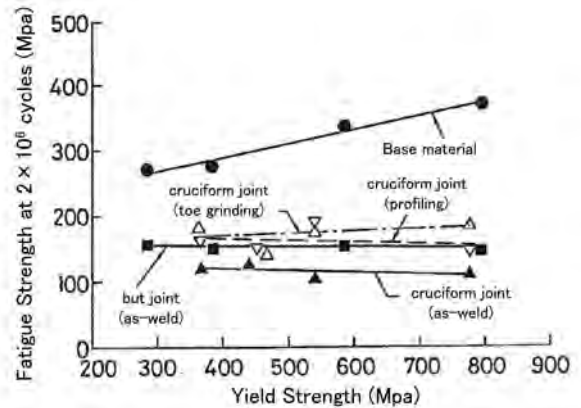


図2 降伏応力と2 × 10⁶回疲労強度の関係

そり影響による修正係数 f_{warp} はTB Report “TB Rep Pt1 Ch09 Sec04 Warping Effect Fatigue Longitudinal” に基づく。ハッチコーナ部における倉口の直近の甲板及びトップサイド斜板付縦通防撓材においては修正係数 $f_{warp} = 1.07$ ，その他の縦通防撓材及び位置においては修正係数 $f_{warp} = 1.0$ を用いる。

3.1.3 母材の自由端

母材の自由端に存在するホットスポットは、有限要素解析において付加物等による特異性の影響を受けない。疲労強度評価に用いる応力は、ホットスポット位置（自由端に沿った最も応力の高い位置）の値を直接読み取ることができ、外挿して求める必要はない。要素端部における実際の応力を確実に読み取るため、ダミーの梁要素を用いて板端部の軸方向及び曲げ応力を求めることが要求される。

母材については、引張強度や降伏強度の上昇に応じて疲労強度が向上することが知られている。降伏強度と応力発生回数 2×10^6 における疲労強度の関係を図2に示す。溶接継手の疲労強度が降伏応力とは無関係に一定であるのに対し、母材の疲労強度は降伏応力と明確な相関関係を示している。溶接継手間の疲労強度の差異は、溶接継手形式や溶接止端部の形状による応力集中の違いに起因している。

母材の疲労試験結果から、以下の算式が得られる。

$$\Delta\sigma(\sigma_Y) = 0.210\sigma_Y + 205$$

よって、鋼材の降伏強度に応じた修正係数は以下のように定められる。

$$f_{material} = \frac{\Delta\sigma(235)}{\Delta\sigma(\sigma_Y)} = \frac{254.35}{0.210\sigma_Y + 205} = \frac{1211.19}{\sigma_Y + 976.19} \cong \frac{1200}{\sigma_Y + 965}$$

3.2 平均応力影響

3.2.1 平均応力影響に対する修正係数

疲労強度評価に関しては、船舶よりも陸上及び海洋構造物の分野において長い伝統がある。ここで、なぜ船舶分野における疲労強度評価手法が他の分野における疲労強度評価基準に直接的に準拠していないのかという疑問が生じる。その答えは、設計寿命期間中に船体構造が受けた荷重履歴が他の分野における荷重履歴と異なるためであり、その結果、他の構造物に比べ、ホットスポット領域において残留応力の緩和（シェイクダウン）が大きくなり、また平均応力が疲労強度に及ぼす影響もより大きくなっている。

船体構造においては、過去の疲労損傷事例により、平均応力が溶接構造物の疲労強度に影響を与えることが明確に示された。(T. Yoneya, A. Kumano, N. Yamamoto and T. Shigemi, 1993⁽²¹⁾) また、残留応力に対するシェイクダウンの影響も示された。(Syahroni and Berge, 2010⁽¹¹⁾) Kim及びLotsberg, 2005⁽¹⁴⁾により実施された室内試験においては、予荷重を負荷した後に残留応力を計測しており、その成果は平均応力の評価手法に取り入れられている。

応力サイクルの圧縮領域では亀裂先端が閉口するため、亀裂先端が開口する応力サイクルの引張領域に比べ、疲労の蓄積の度合いは小さいと考えられる。亀裂が閉口するような圧縮応力下において疲労の蓄積に有効な圧縮応力成分は、溶接部における引張残留応力に依存する。引張残留応力が減少するにつれ、応力サイクルにおける圧縮応力の部分が疲労被害度に与える影響は小さくなる。

船体構造における長期間の疲労の蓄積は、上述したように他の分野における構造物の疲労の蓄積と異なり異なるものであるが、他の分野や室内実験から得られた経験はCSR-BC及びCSR-OT (July 2010) における疲労強度評価の調和作業の過程で参考にされている。加えて、この疲労強度評価手順は、他の文書化

されたデータがない海域についても、就航実績に基づき考慮されている。これらの実績から得られたデータは、特にホットスポットにおけるシェイクダウン及び圧縮平均応力の影響に関連したものとなっている。

CSR-BC&OTにおいて、応力範囲に対する平均応力修正係数は、CSR-OT⁽⁹⁾及びCSR-BC⁽¹⁰⁾で用いられた手法を更に発展させたものである。

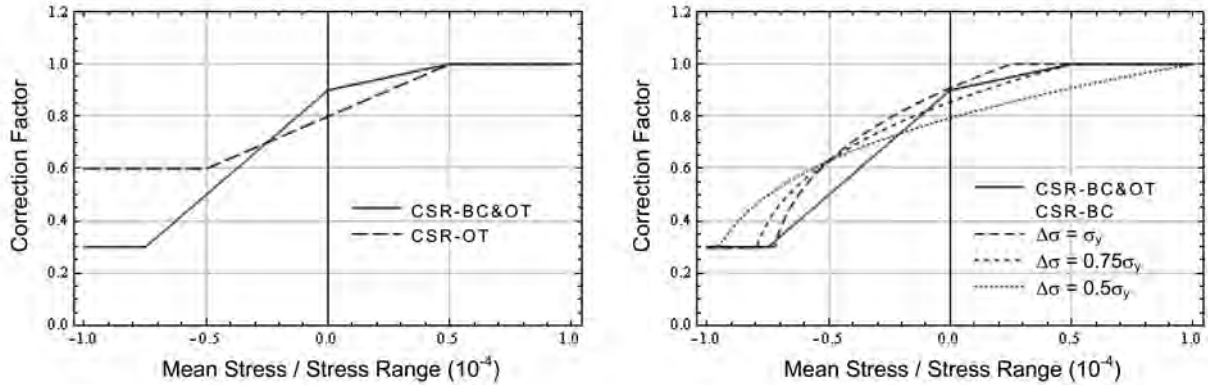


図3 縦通防撓材の溶接継手に対する平均応力修正係数

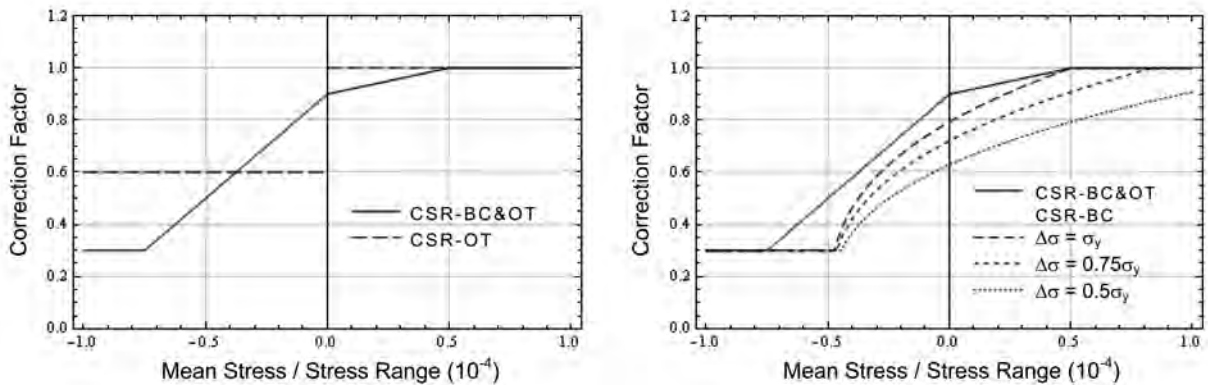


図4 主要支持部材の溶接継手に対する平均応力修正係数

CSR-BC&OTに適用するために定められた平均応力修正係数は、以下の考察に基づいている。

図3において平均応力が0のとき、CSR-OT (July 2010)における修正係数は0.8となっている。これは残留応力が0であるという状況を表しており、すなわち、対象としている構造において、シェイクダウンにより残留応力が既に0となっていることを示す。残留応力がない、平均応力が0の時の修正係数0.8は試験結果 (Gurney, 1992⁽¹²⁾)に基づいており、例えば、TB Report “TB Rep Pt1 Ch 09 Sec03 Mean Stress Effect”で言及されているように、応力が解放された継手部に適用される。

もし、ホットスポットに残留応力が存在しているのであれば、室内試験結果に基づいてLotsbergらが言及しているように、平均応力0のときの修正係数はより大きくなり、1.0に近づく。(Lotsberg, 2006⁽¹⁵⁾及びLotsberg et al, 2010⁽¹⁶⁾) TB Report “TB Rep Pt1 Ch 09 Sec03 Mean Stress Effect”で記述されているように、

IIW, 2009⁽²⁰⁾において、ホットスポットにおける溶接接合部に中程度の残留応力が存在する場合は係数を0.90とする、という主張がなされている。この手法では、残留応力のシェイクダウンがより少ない状態として、平均応力0における係数を0.9とおいている。平均応力0における修正係数に応じて、引張平均応力側の修正係数も図3のように決定される。

超過確率 10^{-2} レベルにおける実際の応力範囲は、超過確率 10^{-4} レベルの応力の半分程度しかない。超過確率 10^{-2} レベルの応力範囲を用いて係数を算出した場合、より大きな応力範囲を用いた場合と比べて、継手部に残っている残留応力及び平均応力の実際の大きさに影響を受けやすくなる。(平均応力の小さな評価誤差が、平均応力修正係数のより大きな誤差につながる。) CSR-BC及びCSR-OTと同等の感度を維持するために、平均応力の修正に用いる際には、超過確率 10^{-2} レベルの動的応力範囲に係数2.0を乗じている。係数2.0は、形状係数を1.0とした時のワイブル分布で予

測を行った超過確率 10^{-4} レベルの応力範囲を得るための尺度係数である。

圧縮平均応力について、ばら積貨物船の手法を裏付けている様々なデータベースからの知見を活用しないわけにはいかない。平均応力修正係数の下限0.3は、ばら積貨物船の手法を実験結果により修正した結果から得られている。0.5という下限値は、残留応力のシェイクダウンを考慮しない一定振幅の荷重による試験の結果に基づいて立証されている。(Lotsberg and Landet, 2005⁽¹⁷⁾) これは、応力範囲との比が-0.5となる平均応力(最大応力が0)に相当する。本手法における平均応力影響は、この点について図2に示すように検討している。平均応力と応力範囲の比が-0.5のとき、すなわち、現在の手法に従った平均(静的)応力に基づく応力サイクル全体が圧縮領域にあるとき、平均応力修正係数は0.5となる。圧縮平均応力が更に増加すると、圧縮応力領域の効果を最大(修正係数0.3)まで得ることができる。ホットスポットに存在する残留応力に打ち勝つためには、圧縮平均応力の更なる増加が必要であり、すなわち、完全なるシェイクダウンは生じていないと想定している。

平均応力が防撓材端部のように高くない場合及びタンカーによく見られる満載状態とバラスト状態のような2つの積付状態により平均応力が引張から圧縮に変動する場合において、上述の検討は適切なものである。

ばら積貨物船における典型的な4つの積付状態において、ホットスポットにおける大きな応力集中により、局部的な平均引張応力が材料の降伏強度を超える場合がしばしば生じる。一般的に、材料の降伏強度よりも大きな引張応力が作用すると、圧縮残留応力が局部的に生じる。ばら積貨物船の主要支持部材の疲労評価において本影響を考慮するために、“最大応力”の値が平均応力の評価手法に導入される。最大応力は、すべての荷重ケース及び積付状態において最大となる超過確率 10^{-4} レベルの動的波浪応力振幅

と平均応力レベルの組合せにより算出される。この最大応力が規定されている降伏強度を超える場合は、平均応力レベルの更なるシェイクダウン(減少)が起こると予想される。本修正は、タンカーの主要支持部材及び防撓材端部の固着部に対して大きく影響を及ぼす。超過確率 10^{-4} レベルの動的波浪応力振幅は超過確率 10^{-2} レベル(ワイブル形状係数を1.0とする。)の動的波浪応力範囲と一致するため、規則における手順では、超過確率 10^{-4} レベルの応力振幅を表すために超過確率 10^{-2} レベルの応力範囲が用いられる。

超過確率 10^{-4} レベルの応力範囲は平均応力の修正手法に適用される。他の超過確率レベルにおけるより大きな応力範囲は引張応力を生じさせ、より大きな圧縮平均応力の疲労被害度への寄与を変化させる。このことは、すべての応力サイクル及び平均応力レベルに対し、物理的な振舞いを簡便な手法によって表現するのは不可能であることを示している。この手法は典型的な応力の長期分布に対して開発されていること及びその手法を適用範囲外において使用することに対し注意しなくてはならない。

溶接部の存在しない母材においては、残留応力が存在しないことは明らかであり、残留応力が完全に解放された溶接継手と同様の状態である。平均応力が0の場合、図3より修正係数は0.8となる。残留応力のない、平均応力が0のときの修正係数0.8は試験結果(Gurney, 1992⁽¹²⁾)に基づいており、例えば、TB Report “TB Rep Pt1 Ch09 Sec03 Mean Stress Effect” で言及されているように、応力が解放された継手に適用される。

母材に対して、溶接継手で用いられていたのと同様に下限値として0.3を用いる。圧縮平均応力における線図の傾きは、ホットスポットに残留応力が存在しないため、溶接継手の線図と比較すると大きくなる。平均応力影響の恩恵を最大限に受けられるのは、平均応力と応力範囲の比が-0.5、すなわち応力サイクル全体が圧縮領域に存在する場合(最大応力は0)である。

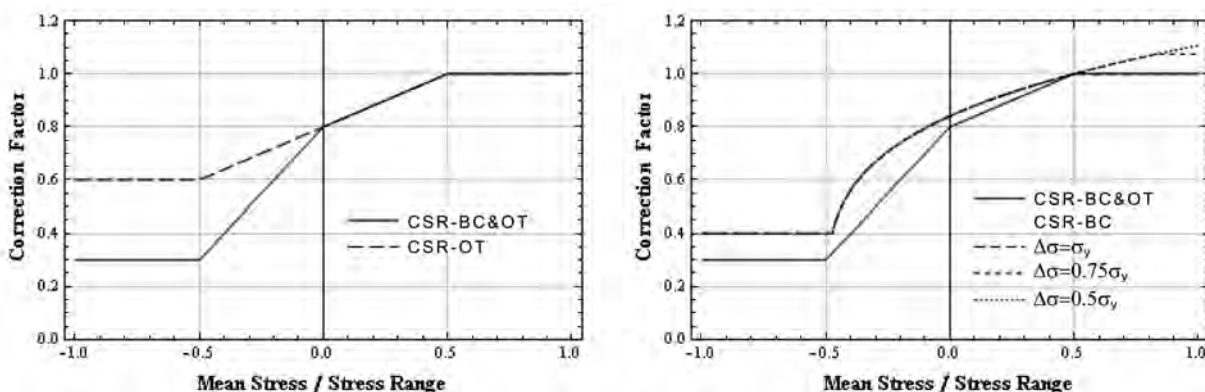


図5 母材に対する平均応力修正係数

3.2.2 母材の自由端に対する平均応力

与えられた方向において、平均応力は1つの応力サイクルにおける最大応力と最小応力の平均値に等しい。母材の自由端に対し、局所的な主応力の方向は自由端に配置した梁要素の座標系に沿う方向と一致する。それゆえ、平均応力は静的及び動的荷重ケース‘i1’及び‘i2’による局部応力の平均値となる。

3.2.3 簡易法のための平均応力

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.2.4 有限要素解析のための平均応力

溶接継手に対し、評価応力の方向はホットスポット主応力範囲の方向 pX 又は pY に一致する。(図6) 主応力方向 pX は要素座標系の X 方向(溶接線に対して垂直方向)から θ 度回転させたものとして定義し、主応力方向 pY は pX を90度回転させたものとして定義する。主応力方向は、溶接止端部における平均応力影響及び板厚影響による修正を加味した最大ホットスポット主応力範囲の方向と一致する。

溶接継手において、平均応力は上述した主応力方向 pX 及び pY に対する静的及び動的荷重ケース‘i1’及び‘i2’によるホットスポット応力成分の平均値となる。(図8)

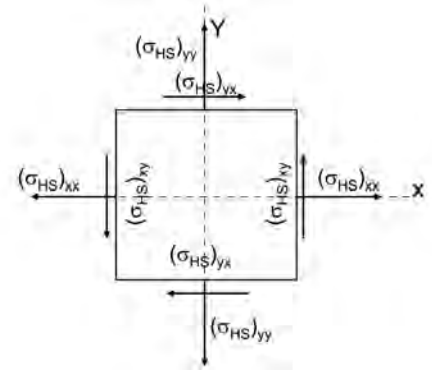


図7 要素座標系 (X, Y, Z) におけるホットスポット応力成分

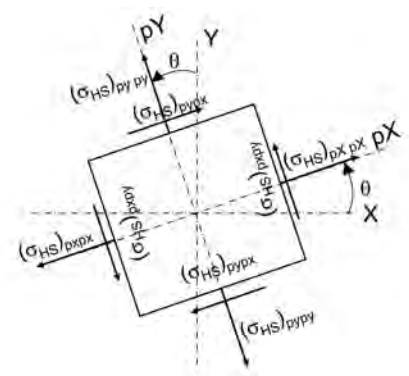


図8 主応力方向座標系 (pX, pY, pZ) におけるホットスポット応力成分

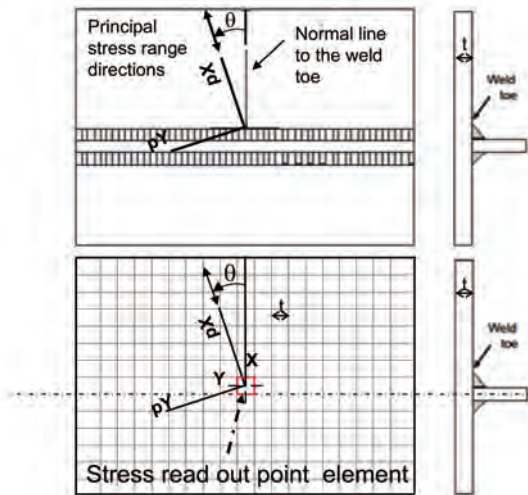


図6 有限要素モデルにおける応力算出要素位置

3.3 板厚影響

3.3.1

板厚係数はGurney⁽²²⁾によって初めて行われた研究に基づいて提案されており、同研究では、板厚影響は22mmの板の疲労強度に関して“1/4乗則”による指数方程式として扱われている。

$$t > 22\text{mm} \text{ の場合, } S_t = S_{22} \left(\frac{22}{t} \right)^{1/4}$$

ここで、 S_t は板厚 t の溶接部材における疲労強度であり、 S_{22} は板厚22mmの溶接部材における疲労強度である。Hobbacher⁽²⁰⁾によって、横方向付加物継手試験片の疲労試験結果から板厚係数 $n=1/4$ が初めて得られた。

Yamamoto⁽³⁰⁾によって、十字継手の板厚影響においては、溶接サイズに依存する溶接止端部の応力集中及び応力勾配が支配的要因となっていることが示された。すなわち、十字継手の板厚影響は主板よりも付き板の板厚によるところが大きい。そのため、十字継手に対してはIIW recommendation⁽²³⁾を導入した。

表1は、溶接ままの状態の溶接継手の板厚係数を、得られた研究(実験又は数値解析)の参考文献と共に示している。表2は、非溶接材の切欠きに対する板

厚係数を示している。

表1 溶接ままの状態における板厚係数

No	継手の分類	n	参考文献
1	十字継手, T型継手, 横方向付加物継手	0.25	(22), (23), (30)
2	横方向突合せ溶接	0.2	(23)
4	縦方向溶接又は板端部への付加物	0.1	(23)
5	平鋼又は球平形鋼への縦方向付加物	0	n/a
6*	縦方向付加物及び二重張板	0.2	(24)
7	縦方向に支持された縦方向付加物及び二重張板	0.1	(24)

* 様々な板厚を持つ主板において縦方向付加物継手試験片に対し、有効ノッチ応力手法を用いて応力解析を行った例を、TB Report “TB Rep Pt1 Ch09 Sec03 Thickness Effect for As Welded”に示している。

表2 切欠きを有する非溶接材における板厚係数

No	継手の分類	n	参考文献
3a	制御された機械又はガス切断による端部の切断面	0.1	(23)
3b	機械加工又はグラインダにより平滑に仕上げられた切断面*	0.0	(25)

* 参考文献(25)において、端部をグラインダ等により処理($R=3mm$)した板厚 $22mm$ から $100mm$ の試験片において亀裂発生及び亀裂の板厚貫通を検討する場合、板厚影響は有意ではないことが判明している。溶接止端部に対して改善処理を施した溶接継手の板厚係数に関する技術的背景については、5節に示している。

表3は、溶接止端部に改善処理を施した溶接継手の板厚係数を、得られた研究(実験又は数値解析)の参考文献と共に示している。

表3 溶接後処理を施した溶接継手における板厚係数

No	継手の分類	参考文献
1	十字継手, T型継手, 横方向付加物継手	(23)
2	フラッシングもしくは溶接後処理を行った横方向突合せ溶接止端部	(23)
3	縦方向付加物及び二重張板	(31)
4	縦通防撓材端部を除く縦方向に支持された縦方向付加物及び二重張板	(31)

4. S-N線図

4.1 標準S-N線図

4.1.1 耐力

本規則で用いている標準S-N線図はD_{En}, 1990⁽²⁷⁾及びHSE, 1995⁽²⁸⁾に基づいている。

4.1.2 設計S-N線図

設計S-N線図は業界標準として用いられているものであり、平均S-N線図(適切な試験データにおける非破壊確率50%に相当する。)から2標準偏差を差し引いたものである。従って、設計S-N線図は非破壊確率97.7%に相当する。

4.1.3 S-N線図の適用範囲

S-N線図は、軟鋼から下降伏点が $390N/mm^2$ の高張力鋼までに適用することができる。鋼材の降伏応力が $390N/mm^2$ より大きい場合については、別途検討する必要がある。1節1.1.5を参照のこと。

4.1.4 大気環境

D_{En}, 1990⁽²⁷⁾における標準設計S-N線図のB, C及びD線図は、線図の切片並びに $N=10^7$ で変化する線図の傾き等のパラメータに基づき定義される。 $N=10^7$ における線図の傾きの変化はハイバツハ影響と呼ばれており、一定荷重下において $N=10^7$ で設定された疲労限が、不規則荷重下では保証されないという事実に基づいている。

不規則荷重下における実際の疲労限はより小さくなるため、この現象を考慮し、 $N=10^7$ でS-N線図の傾きを変えている。その際、その傾きは $N=10^7$ より前における傾きより緩やかにしている。D_{En}, 1990⁽²⁷⁾では、 $N=10^7$ 以下におけるS-N線図の傾きを m とした場合、その後の線図の傾きを $m+2$ とすることを提唱している。

4.1.5 腐食環境

腐食環境下における標準設計線図D線図は、D_{En}が1990年に公表した疲労データに適合するものである。同文書において、以下のことが推奨されている。防食されていない溶接継手が海水中に暴露されている場合、すべての溶接継手形式に対する基本S-N線図の疲労寿命を2で除する。(注釈:高張力鋼,例えば $\sigma_y > 400 N/mm^2$ に対しては2で除することは必ずしも適切ではない。)また、S-N線図の傾きは変化させない。

腐食環境下における標準設計線図B線図及びC線図は、HSE, 1995⁽²⁸⁾による疲労データに適合するよう疲労寿命を3で除し、S-N線図の傾きはそのままとした。

4.2 S-N線図の選択

4.2.1 溶接継手

溶接継手の疲労強度評価においては、大気環境及び腐食環境の両者においてD線図にホットスポット応力を適用することが推奨される。D線図をホット

スポット応力線図として使用することに関しては、Maddox⁽⁵⁾ 及び Fricke⁽²⁾ が “FPSO fatigue capacity JIP” において行った研究を通して初めて推奨された。D線図をホットスポット応力線図として使用することは、極詳細メッシュモデルからホットスポット応力を得る手法及び極詳細要素モデルに与えられた要件と密接に結びついていることに留意すべきである。

4.2.2 母材の自由端

母材の自由端における疲労強度評価に対し、規則4.1.4表2及び規則4.1.5表3で定義されるB線図又はC線図を大気環境及び腐食環境にそれぞれ用いる。

4.2.3 表面処理係数

表4（規則中においては2節4.2.3表4）に示す表面処理係数 K_{sf} は、母材の切断の品質及び後処理の品質に依存する係数である。 K_{sf} はHobbacher, 2009⁽²⁰⁾において推奨されているS-N線図を4.1で適用されているS-N線図に変換することにより導かれる。

就航時において腐食、磨耗及び傷などに起因する切欠きが生じることが見込まれるため、表面処理の品質に応じて3つの異なる表面処理係数を表4に示した。係数は次による。

$$K_{sf} = \frac{\text{Stress of SN curve at } 2 \cdot 10^6 \text{ cycles}}{\text{CSR} - H} \Bigg/ \frac{\text{Stress of SN curve at } 2 \cdot 10^6 \text{ cycles}}{\text{cycles IIV FAT class}}$$

継手形式No.1の例：

$$K_{sf} = \frac{\text{CSR} - H : B \text{ curve}}{\text{IIV FAT160}} = \frac{149.91}{160} = 0.94$$

表4 表面処理係数

No	継手の分類	K_{sf}	S-N線図
1	表面欠陥及び圧延欠陥のない圧延又は成形された板及び形鋼並びに継目無管 推奨S-N線図はIIV, Hobbacher, 2009 ⁽²⁰⁾ におけるFAT 160 ($m=4$)	0.94	B
2	せん断又は熱間工程によって機械切断され、表面に亀裂や切欠きはなく、切断面の面取りがなされている板の端部。切断形状に起因する応力の増加を考慮しなければならない。 推奨S-N線図はIIV, Hobbacher, 2009 ⁽²⁰⁾ におけるFAT 140 ($m=4$)	1.07	B
3	タイプ2に適合しない板の端部。ただし、亀裂及び深い切欠きのないこと。 機械切断又はせん断による端部：推奨S-N線図はIIV, Hobbacher, 2009 ⁽²⁰⁾ におけるFAT 125 ($m=3.5$)	1.00	C
	手作業による熱切断：推奨S-N線図はIIV, Hobbacher, 2009 ⁽²⁰⁾ におけるFAT 100 ($m=3.5$)	1.24	C

5. 疲労被害度の算出

5.1 一般

5.1.1

設計寿命の期間において、船体及び構造詳細は船種に応じ様々な頻度の異なる積付状態におかれる。更に、25年という設計寿命の間、構造詳細は大気環境及び腐食環境に対応した2つの連続した期間を経験することが想定される。

防食はある程度有効であると想定される。すなわち、バラスタタンク、貨物油タンク及び燃料油タンクの溶接継手への防食はある程度の期間（有効防食期間と呼ぶ。）有効であるが、設計寿命における残りの期間については、防食の有効性に疑問の余地があるため、これらの溶接継手は腐食環境にさらされるものと想定される。有効防食期間中（保護された環境）、鋼材表面は腐食環境から保護されている。従って、鋼材は乾燥空気中にあるとみなして差し支えない。

この場合、有効な防食が施されているとして、規則4.1.4に示す大気環境におけるS-N線図を用いて疲労強度を評価する。残りの期間に関しては腐食環境下にあるとみなし、規則4.1.5に示す腐食環境におけるS-N線図を用いて疲労強度を評価する。次に、設計寿命を、保護された環境状態と保護されていない環境状態の2つの期間に分割する。更に、それぞれの期

間を船種に応じた異なる積付状態に分割する。

例えば、本規則の前提として、バラスタタンクは塗装され、それが維持されなければならない。そのため、構造部材は長時間の保護環境下であり、残りの時間は腐食環境下にあると考えることができる。限定的な塗装による保守が行われる場合、保護環境下にある期間 T_c は設計寿命($T_D = 25$ 年)の最後の5年と想定している。

5.1.2

上記に従い、大気環境及び腐食環境における疲労被害度を足し合わせ、設計寿命における疲労被害度の総計を算出する。1.1で示された疲労被害度計算の線形性を考慮して各積付状態を個別に検討し、保護されている期間(大気中と呼ぶ。)及び保護されていない期間(腐食環境下と呼ぶ。)に分割する。

結合疲労被害度は積付状態ごとに算出される。これは、ある特定の積付状態において大気中及び腐食環境下における累積被害度を組合せたものに相当する。ある特定の環境(大気中又は腐食環境下)における、ある特定の積付状態の累積被害度を要素疲労被害度と呼ぶ。

5.2 要素疲労被害度

5.2.1

各積付状態に対する要素疲労被害度は、規則1節6.2及び6.3で示されている支配的な荷重ケースに対して得られる応力範囲に基づき、大気中及び腐食環境下の両者に対して算出される。要素疲労被害度は“閉じた形”をしており、船体構造の構造詳細における応力の長期分布は1節3の通り形状係数及び尺度係数を持つ2母数ワイブル分布に従うという想定に基づいている。

要素疲労被害度は、IACS勧告No.56⁽²⁶⁾に基づき設計寿命25年の間に出会う波数に対し計算する。しかしながら、船の寿命のうち85%は航行状態であると考えられるが⁽²⁶⁾、残りの15%は積荷の荷役又は検査、補修等により寄港もしくは入渠状態にあると考えられる。大気中における要素疲労被害度は、UK DEn, 1990⁽²⁷⁾の大気中における標準設計S-N線図B線図、C線図及びD線図(これらの線図は小さな応力範囲におけるハイバツハ影響を考慮し $N=10^7$ において線図の傾きを変化させている。)に基づき計算する。大気中の場合、係数 μ はS-N線図の傾きの変化を考慮したものとなる。

腐食環境下における要素疲労被害度は、UK DEn, 1990⁽²⁷⁾及びHSE, 1995⁽²⁸⁾の腐食環境下における標準設計S-N線図B線図、C線図及びD線図(これらはすべての応力域においてS-N線図の傾きが $m=3$ で変化しない。)に基づき計算される。腐食環境下の場合、係

数 μ は1.0となる。

5.3 結合疲労被害度

5.3.1

各積付状態における結合疲労被害度は、大気中($T_D - T_c$)及び腐食環境下(T_c)の期間における累積被害度を足し合わせたものとなる。大気中及び腐食環境下の累積被害度は、各環境状態の継続時間の割合に応じて計算される。

腐食環境下にある期間は、溶接継手又は構造詳細の位置に応じて表4で与えられる。これらの値は規則1編1章3節及び2編3章3節の原則と整合する。

表5 腐食環境下にある期間 T_c

溶接継手及び構造詳細の位置	腐食環境下にある期間 T_c (年)
バラスタタンク	5
貨物油タンク	
ばら積み貨物倉及びバラスタ兼用倉の下部 ⁽¹⁾	2
ばら積み貨物倉及びバラスタ兼用倉の下部 ⁽¹⁾ 以外の箇所	
空所及びその他	

(1) 下部とは、単船殻構造の場合、倉内肋骨の端部ブラケットから下方300mmの水平位置より下の貨物倉部分、二重船殻構造の場合、ビルジホップタンク上端部から下方300mmの水平位置より下の貨物倉部分をいう。

5.4 全疲労被害度

5.4.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

5.5 疲労寿命の計算

5.5.1

疲労寿命 T_F は、大気中におけるすべての積付状態における全疲労被害度及び腐食環境下におけるすべての積付状態における全疲労被害度から求められる。

この2つの状態における計算は、構造詳細のおかれている環境状態(大気中又は腐食環境下)により疲労被害度の蓄積に差が出るという現象を考慮している。

1. 疲労損傷が大気中において生じる場合、すなわち、 T_F が $T_D - T_c$ 以下の場合、求められる疲労寿命 T_F は大気中における全疲労被害度より算出される。

$$\frac{T_D}{D_{air}} \leq (T_D - T_c) \text{ の場合, } T_F = \frac{T_D}{D_{air}}$$

2. 疲労損傷が腐食環境下において生じる場合、すなわち、 T_F が $T_D - T_C$ より大きい場合、求められる疲労寿命 T_F はまず大気中にある期間、すなわち、 $T_D - T_C$ において累積疲労被害度を求め、次に腐食環境下にある期間での累積疲労被害度を求める。損傷は累積疲労被害度が1となった際に生じると想定しているため、腐食環境下における累積疲労被害度は、1から上記計算により求めた累積疲労被害度を差し引いた値と等しくなる。疲労寿命 T_F は、大気中における期間、すなわち $T_D - T_C$ 、及び腐食環境下における累積疲労被害度から求められる腐食環境下にある期間の合計として求められる。

$$T_F = (\text{Time in air} = T_D - T_C) + (\text{Life in corrosive environment})$$

大気中にある期間 ($T_D - T_C$) における累積疲労被害度 $D_{air, (T_D - T_C)}$ は次による。

$$D_{air, (T_D - T_C)} = \frac{D_{air} \cdot (T_D - T_C)}{T_D}$$

腐食環境下における累積疲労被害度 (損傷発生前) は次による。

$$D = 1.0 - D_{air, (T_D - T_C)} = 1.0 - \left(\frac{D_{air} \cdot (T_D - T_C)}{T_D} \right)$$

上述したように、疲労寿命は以下の算式で表される。

$$T_F = (\text{Time in air} = T_D - T_C) + (\text{Life in corrosive environment})$$

腐食環境下における寿命は以下の通りである。

$$\left(1.0 - \left(\frac{D_{air} \cdot (T_D - T_C)}{T_D} \right) \right) \cdot \frac{T_D}{D_{corr}}$$

大気中にある期間は $T_D - T_C$ で表される。大気中にある期間と腐食環境下における疲労寿命を足し合わせると、全疲労寿命は以下の通りとなる。

$$T_F = T_D - T_C + \left(1.0 - \left(\frac{D_{air} \cdot (T_D - T_C)}{T_D} \right) \right) \cdot \frac{T_D}{D_{corr}}$$

$$T_F = T_D - T_C + \left(\frac{T_D}{D_{air}} - T_D + T_C \right) \cdot \frac{D_{air}}{D_{corr}}$$

ここで、

T_D = 設計寿命

T_C = 腐食環境下にさらされる期間

D_{air} = 大気中に25年間さらされる場合の疲労被害度

D_{corr} = 腐食環境下に25年間さらされる場合の疲労被害度

$D_{air, (T_D - T_C)}$ = 実際に大気中にさらされる期間における疲労被害度

6. 溶接改善法

6.1 一般

6.1.1

溶接後処理法及びその手順はIIWの推奨^{(32),(23)}に基づいている。

6.1.2 溶接後処理効果の制限

IIW^{(32),(23)}に基づき軟鋼の疲労寿命の改善係数は2.2とすることができる。公称応力レベルが非常に高くなること及び処理なしの場合の疲労寿命が短くなることを避けるために溶接後処理を考慮する前の寿命は17年を超えることが要求される。本要件はCSR-OT⁽³³⁾に基づいたものであり、設計寿命25年では有効な改善係数は1.47となる。しかしながら、ばら積貨物倉内部の構造詳細においては、腐食を防止する塗装が非常に早く損傷するため、設計段階で計算する疲労寿命は溶接後処理による影響を考慮しない状態で25年を超えなければならない。

6.1.3 建造段階での溶接後処理

建造段階での疲労強度を改善するための基本的な溶接後処理法に関する記述は、IIWの推奨^{(32),(23)}に基づくものである。

6.1.4 溶接止端部

溶接止端部に適用される溶接後処理法はIIWの推奨⁽³²⁾に基づく要件である。

6.1.5 溶接後処理のための溶接の種類

規則12章3節2.4の規定による最小ルート面とした完全溶込み溶接又は部分溶込み溶接を要求する規定は、IIWの推奨⁽³²⁾に基づくものである。

6.2 溶接止端部のグライディング

6.2.1

本項の溶接止端部のグライディングの要件はIIWの推奨⁽¹⁾及びCSR-OT⁽³³⁾に基づくものである。

6.2.2

本項の溶接止端部のグライディングの要件はIIWの推奨⁽³²⁾に基づくものである。

6.3 疲労改善係数

6.3.1

グライディングを施した溶接止端部の疲労改善係数はIIWの推奨^{(32),(23)}に基づくものである。

6.4 適用条件

6.4.1

本項における溶接後処理法の制限及び疲労改善係数の規定の背景は以下による。

- ・ 高サイクル疲労に適用を限定する規定はIIWの推奨⁽³²⁾に基づくものである。
- ・ 適用可能な板厚を制限する規定はIIWの推奨^{(32),(23)}に基づくものである。
- ・ グラインディングのみを考慮する規定はIIWの推奨^{(32),(23)}に基づくものである。
- ・ 腐食がない状態においてのみ溶接後改善効果を適用する規定はIIWの推奨⁽³²⁾より導入した。
- ・ 縦通防撓材の端部結合部は、損傷が溶接止端部から発生することが確実でないため、考慮の対象としない。
- ・ 機械損傷は、溶接部の疲労強度改善を行った溶接止端部に応力集中域を生じさせるため、そのような箇所に疲労改善係数は適用できない。
- ・ 大きな多層盛溶接の内部ビードの処理はIIWの推奨⁽³²⁾に基づくものである。

7. 施工技術

7.1 適用

7.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

7.2 構造詳細に対する施工管理

7.2.1 工作精度及び許容誤差の管理

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

7.2.2 溶接形状の管理

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。9章5節を参照のこと。

7.2.3 溶接後処理法

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。9章5節を参照のこと。

7.2.4 詳細設計標準

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。9章5節を参照のこと。

参考文献

1. A. Palmgren, "Die lebensdauer von kugellagern", Zeitschrift der vereines deutsches ingenieure, No. 68(4), pp 339-341, 1924.
2. Fricke, "Recommended hot spot analysis procedure for structural details of FPSOs and ships on round robin FE analysis", 11th ISOPE, Stavanger, March 2002.
3. Lotsberg, "Fatigue design of plated structures using finite element analysis", Journal of ship and offshore structures, Vol. 1, No. 1, pp 45-54, 2006.
4. S. Lotsberg, "Hot spot S-N curve for fatigue analysis of plated structures", OMAE, FPSO 04-0014, Houston, 2004.
5. Maddox, "Recommended design S-N curve for fatigue assessment of FPSOs", 11th ISOPE 2001, Stavanger, March 2002.
6. Niemi, Fricke and Maddox, "Fatigue analysis of welded components - designers guide to the structural hot spot stress approach", IIW-1430-00.
7. Hobbacher, "Recommendations for fatigue design of welded joints and components", IIW document, XIII-2151-07, June 2007.
8. BS 7608:1993, "Code of Practice for Fatigue Design and Assessment of Steel Structures", BSI.
9. IACS, "Common Structure Rules for Double Hull Oil Tankers", July 2010.
10. IACS, "Common Structure Rules for Bulk Carriers", July 2010.
11. N. Syahroni and S. Berge, "Fatigue assessment of welded joints taking into account effects of residual stress", OMAE 2010-20534.
12. T. R. Gurney, "The influence of mean and residual stresses on the fatigue strength of welded joints under variable amplitude loading - some exploratory tests", TWI Report 464/1992.
13. I. T. Kim and K. Yamada, "Fatigue behaviour of fillet welded joints inclined to a uniaxial load" TWI document XIII-2021-04, Institute of Welding, 2004.
14. W. S. Kim and I. Lotsberg, "Fatigue test data for welded connections in ship shaped structures", Journal of offshore and arctic engineering, Vol. 127, November 2005.
15. I. Lotsberg, "Assessment of fatigue capacity in the new bulk carrier and tanker rules", Marine structures, Vol. 19, pp 83-96, January 2006.
16. I. Lotsberg, S. Wästberg, H. Ulle, P. Haagensen and M. E. Hall, "Fatigue testing and S-N data for fatigue analysis of piles", Journal of offshore and arctic engineering, Vol. 132, November 2010.
17. I. Lotsberg and E. Landet, "Fatigue capacity of side longitudinals in floating structures", Marine structures, Vol. 18, pp. 25-42, 2005.
18. I. Lotsberg, "Fatigue design criteria as a function of principal stress direction relative to the weld toe", OMAE 2008.
19. Y. Sumi, M. Mohri and T. Okawa, "Simulation based fatigue crack management for ship structural details",

- 9th symposium on practical design of ships and other floating structures, Vol. 2, pp. 855-862, 2004.
20. A. Hobbacher, "Recommendations for fatigue design of welded joints and components", WRC bulletin 520, IIW document 1823-07, 2009.
 21. T. Yoneya, A. Kumano, N. Yamamoto and T. Shigemi, "Hull cracking of very large ship structures, IOS' 93, 1993.
 22. T. R. Gurney, "The basis of the revised fatigue design rules", Department of Energy, Paper 55, 2nd International conference on welded structures, London, 1982.
 23. A. Hobbacher, "Recommendations for fatigue design of welded joints and components", IIW document 1823-07, December 2008.
 24. T. Fukuoka and K. Mochizuki, "Effect of plate thickness on fatigue strength of typical welded joints for a ship structure", XIII-2333-10, July 2010.
 25. H. Polezhayeva and C. Badger, "Effect of plate thickness on fatigue strength of base material and butt welded specimens made from EH40 steel thick plates", 19th International offshore and polar engineering conference, Osaka, 2009.
 26. IACS, "Fatigue assessment of ship structures", Recommendations No.56, July 1999.
 27. UK DEn, "Offshore installations: guidance on design, construction and certification", 4th edition, January 1990.
 28. HSE, "Offshore installations: guidance on design, construction and certification", 4th edition, February 1995.
 29. Miner, A. M., "Cumulative Damage in Fatigue", Journal of Applied Mechanics, September 1945, pp 151-164
 30. N. Yamamoto, M. Mouri, T. Okada and T. Mori, "Analytical and experimental study on the thickness effect to fatigue strength", XIII-2434-12, July 2012
 31. IACS, "Thickness Effect for Post-Welded", TB Report, Pt 1, Ch 9, Sec 3, 2012.
 32. P. J. Haagensen and S. J. Maddox, "IIW recommendations on post-weld improvement of steel and aluminium structures", XIII-2200r4-07, February 2010.
 33. IACS, CSR Double Hull Oil Tanker, Consolidated, Effective 1 July 2012.

4節 簡易応力解析

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.2 前提条件

1.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.2.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2. ホットスポット応力

2.1 ホットスポット応力範囲

2.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2 ホットスポット平均応力

2.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3. ハルガーダ応力

3.1 波浪中ハルガーダ曲げモーメントによる応力

3.1.1

疲労評価の際は、波浪中ハルガーダ曲げモーメントによる応力を考慮する必要がある。公称応力範囲は梁理論により求められる。また、応力集中係数はホットスポット応力を求める際に考慮する。

3.2 静水中ハルガーダ曲げモーメントによる応力

3.2.1

疲労評価の際、静水中曲げモーメントによるハルガーダ応力は、平均応力影響として考慮される。静水中曲げモーメントは、許容静水中縦曲げモーメントに係数を用いて決定される。応力は梁理論により求める。

設計時に静水中曲げモーメントの値が変わることで疲労評価の結果が変化することを避けるため、静水中曲げモーメントは、9船級の静水中曲げモーメントの値の集計結果に基づいて、許容静水中縦曲げモーメントの比率を用いて評価することとした。

4. 防撓材に発生する局部応力

4.1 防撓材の曲げによる応力

4.1.1 動的圧力による応力

公称応力は梁理論により評価される。この公称応力に、応力集中係数を乗じることでホットスポット応力は評価される。各荷重に対する公称応力を梁理論により評価し、この各荷重に対する公称応力を足し合わせることで、疲労評価に用いられる公称応力は評価される。応力を足し合わせる際は、面外圧力の作用する方向による符号の違いに注意しなければならない。

横隔壁又は防撓桁を貫通する箇所、縦通防撓材が平鋼やブラケットに固着されている場合は、構造不連続による応力集中を考慮しなければならない。簡易評価法では、公称応力に応力集中係数を乗じることで評価する。上述のような縦通防撓材の構造詳細には多数の設計・製造実例があるので、代表的な継手詳細については設計の便のため応力集中係数を示している。

局部動的圧力による応力を評価する際は、接合部の形状による幾何的な応力集中及び防撓材の非対称断面による横倒れ止による応力の増加の影響を考慮しなくてはならない。また、弾性梁理論により定められる応力集中係数を考慮する。

一般的に、波浪変動圧の大きさは垂直方向位置に依存し、波高に比例する。従って、対象箇所が水線位置より上であれば、波の山が対象箇所より上に位置する場合に波浪変動圧が作用する。また、対象箇所が水線位置より下で、波の谷より上に位置すれば、波浪変動圧は作用しない。

特筆すべきなのは、上記の現象は評価箇所の垂直方向位置と波高の関係に依存していること及び波高は確率的であるということであり、これにより、水線付近の波浪変動圧に対する修正係数は、圧力とその発生確率を考慮した期待値により提案されている。

防撓材の両側、すなわち防撓材側及びその反対側の付き板に作用する圧力は、積付状態に応じて考慮する。この条件は、ローディングマニュアルが、防撓材の両側にあるタンクが同時に満載になる状態（例えば、油タンカーの満載状態において必ず満載にしなければならない貨物タンクの中の縦通隔壁など）を明確に要求している場合に用いることができる。バラストタンクに対しては、ローディングマニュアルで両方のタンクが同時に満載とする旨要求しなければならない。

b_{eff} : スパン並びにブラケット及び支持部材から求められる付き板有効幅 (mm) で、次の算式による。

$$b_{eff} = s \cdot \min \left[\frac{1.04}{1+3} \cdot 1.0, \left(\frac{l_{bdg} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \cdot 10^3}{s} \right)^{1.35} \right]$$

本算式に関する技術背景はTB Report “TB Rep Pt1 Ch03 Sec07 Effective Plate Breadth” に記載している。

4.1.2 静的圧力による応力

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.2 相対変位による応力

4.2.1 一般

縦通防撓材が横隔壁を貫通する箇所において、タンク全体の変形は拘束されている。この結果、横隔壁の貫通位置並びに前方及び後方の横隔壁の貫通位置で相対変位による二次的な曲げ応力が発生する。

4.2.2 相対変位の定義

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.2.3 符号

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.2.4 油タンカー

支持点間の相対変位により生じる縦通防撓材に発生する曲げ応力の影響を考慮した貨物タンクの有限要素法解析に基づき、応力修正係数 K_d の値は定められた。

4.2.5 ばら積貨物船

ばら積貨物船の場合、タンク配置、タンク形状及び荷重条件が複雑なため油タンカーのような簡易評価は困難である。従って、相対変位の影響を考慮するために有限要素解析により相対変位量を求める必要がある。

4.2.6 有限要素法を用いて求めた相対変位による応力

横隔壁に隣接する横桁の相対変位量が有限要素解析により求められた場合、相対変位による付加応力は連続梁理論により評価できる。

連続梁の実際の境界条件が固定と単純支持の中間状態にあるので、評価式中における境界条件を表す係数を有限要素解析により求めた。(TB Report “TB Rep

Pt1 Ch09 Sec04 Relative Displacement by FE” 参照)

4.2.7 静水中の相対変位による応力

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5. 応力集中係数

5.1 非対称な防撓材

5.1.1

フランジにおける応力集中係数 K_n は、非対称な防撓材によるその影響を考慮している。面外荷重を受けた時、非対称な防撓材のフランジとウェブは、面外変形するのに加え、横方向にそる。このそり変形によりフランジに発生する付加的な応力は、フランジに生じる公称応力に、そり応力集中係数 K_n を乗じることによって評価される。付加板のフランジの拘束影響により、防撓板に発生するそり応力は減じられる。

そり応力集中係数 K_n は弾性梁理論に基づいて算出されており、付加板のフランジの拘束影響を考慮している。⁽⁵⁾

規則算式及び有限要素法を用いて、非対称断面形状の防撓材に、面外荷重を負荷した際の応力を、そり変形を許容する場合と許容しない場合それぞれ計算した。計算の結果、応力集中係数 K_n を用いた規則算式の結果は、有限要素解析の結果とよく一致していた。^{(6),(7)}

5.1.2 バルブプレート

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5.2 縦通防撓材の端部結合

5.2.1

表にまとめられている防撓材端部の接合箇所の応力集中係数は、CSR-OT⁽³⁾ (継手詳細1, 2, 25は除く。)に記載された継手詳細の分類に基づいて、定められた。

参考文献(3)に規定されている継手分類及び本規則で用いられている応力集中係数は、試験データ、詳細メッシュを用いた有限要素法解析、実績、工学的判断に基づいており、船級協会間で合意が得られている。

継手詳細1, 2, 25の応力集中係数は、ひずみゲージ計測及び極詳細メッシュ有限要素解析から得られた値である。詳細はTB Report “TB Rep Pt1 Ch09 Sec04 SCF for Flatbar Web Stiffener”に記載されている。

本規則に規定されている縦通防撓材端部の接合箇所の応力集中係数は、以下のようにして定められた。

ホットスポット応力を求めるために疲労設計線図D-curveと共に用いる公称応力に用いられる応力集中係数 K_a (軸力に対する幾何的な応力集中係数) の値1.14, 1.34, 1.52は、UK Denの疲労設計線図E-curve, F-curve, F2-curveと共に公称応力を用いることと等価

である。UK Denの疲労設計線図は、IACS勧告No.56 (July 1999)⁽²⁾に記載されている。

応力集中係数 K_a は、以下の算式で算出される。

- SN-curveを用いる場合と等価な応力集中係数: $\sqrt[3]{K_2(Dcurve)/K_2(SNcurve)}$
- E-curveを用いる場合と等価な応力集中係数: $\sqrt[3]{1.52 \cdot 10^{12} / 1.026 \cdot 10^{12}} = 1.14$
- F-curveを用いる場合と等価な応力集中係数: $\sqrt[3]{1.52 \cdot 10^{12} / 6.319 \cdot 10^{11}} = 1.34$
- F2-curveを用いる場合と等価な応力集中係数: $\sqrt[3]{1.52 \cdot 10^{12} / 4.330 \cdot 10^{11}} = 1.52$

曲げ荷重に対する応力集中係数 K_b の値は、 K_a に、曲げに関する以下の付加的な条件を考慮することで定めた。

- すべての非ソフト部分 (トウ及びヒール) では、応力集中係数を10パーセント増加させる。 $K_b = 1.1 K_a$
- ID2以外のソフト部分では $K_b = K_a$ とする。

防撓材フランジ縁部と付加物 (ブラケット又は防撓材) の面材との距離が8mm以下の結合部において、ホットスポット応力手法を用いる場合は、応力集中係数を1.12倍しなければならない。もし公称応力手法を用いて評価する場合は、S-N線図の等級を一段階引き上げなくてはならない。⁽⁴⁾ UK-HSE⁽⁵⁾によると、付加物と防撓材フランジ縁部の距離には、アンダーカット、溶接スパッタ又は手動隅肉溶接部の重ね溶接部によって発生する防撓材フランジ縁部の局所応力集中を制限するための基準がある。

応力の発生している部材の端部が、溶接部に接している、又は重なっている場合、応力集中が増加し、疲労強度が低下する。このような応力集中については、別途考慮して疲労評価を行わなくてはならない。

5.2.2 その他の接合形式

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

5.2.3 重ね継手

ソリッド要素を用いた極詳細有限要素法解析の結果及び、IIW⁽¹⁾の推奨によると、端部の重ね継手では、ラップさせない場合に比べて、ホットスポット応力が上昇する。端部の重ね継手では、ロンジの種類に応じて1.13 ~ 1.43の応力集中係数を乗じた場合に相当するようS-N線図の等級を引き上げることをIIWでは推奨している。このように、端部の重ね継手は、疲労強度を著しく低下させるため、用いてはならない。

5.2.4 ウェブ防撓桁と結合していない防撓材の端部
本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

5.2.5 ウェブ防撓材及び裏当てブラケットのソフト
トウ

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

5.2.6 推奨される詳細設計

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

5.3 代替設計

5.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

参考文献

1. A. Hobbacher, "Recommendations for fatigue design of welded joints and components", IIW XIII-2151-07, June 2007.
2. IACS, "Fatigue assessment of ship structures", IACS Recommendation No. 56, July 1999.
3. IACS, "Common Structure Rules for Double Hull Oil Tankers", July 2010.
4. UK DEn, "Offshore Installations: Guidance on design, construction and certification", Department of Energy, Fourth edition, 1990.
5. Hetenyi, "Beams on elastic foundation", University of Michigan Press, 1946.
6. DNV, "The elastic bending response of panel stiffeners of unsymmetrical cross-section subjected to uniform lateral pressure loads", DNV Report No. 2004-1150, September 2004.
7. BV, "Warping stress concentration factor of unsymmetrical stiffener - CSRH Rule values versus FEM results", BV Report No. 3134, February 2011.

5節 有限要素応力解析

1. 一般

1.1 適用条件

1.1.1

疲労亀裂が発生する溶接止端部に対する解析は、ホットスポット応力手法による。ホットスポット応力については、構造詳細自体の寸法及び形状は考慮されるが、溶接止端部のノッチによる局部非線形応力は考慮されない。ノッチ効果はホットスポットS-N曲線に含まれている。実際の正確な溶接形状は設計段階では不明である。様々な局部的な溶接形状に対応するため、設計時にはS-N曲線の下限值を使い、解析時には溶接止端部形状の低めの品質基準を用いる。

構造的ホットスポット応力手法は、変動主応力が主として溶接止端部に対して直角に作用し、疲労亀裂がその止端部に発生するような溶接部に適用される。ホットスポット応力の概念は、板構造の疲労解析における効率的な工学手法と考えられる。過去、有限要素法に基づくホットスポット応力の算出手法は、ホットスポットS-N曲線とかかわり、一貫性のある疲労評価手法であることを示してきた。本概念は実物大試験でも支持されている。構造的ホットスポット応力の概念は、"FPSO Fatigue capacity JIP"^{(2),(4),(6),(10)}で実施された研究を含めて、これまでも国際溶接学会^{(3),(11)}及び様々な団体の研究において十分な定評を受けている。

1.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.1.3

異なる2つのホットスポットが板構造の結合部において存在する。^{(4),(12),(13)} 2つのホットスポットは、その板と溶接止端部に対する位置に応じて定義される。タイプaのホットスポットについては、ホットスポット応力は板表面上の溶接止端部に対し横方向のものである。溶接止端部前方の応力分布は、板厚及び応力読み取り位置($t_{n50}/2$)に依存し、要素サイズは板厚に応じて決定される。板厚内の応力分布はタイプaのホットスポット近傍において変化する。溶接止端部から $0.4 t_{n50}$ の板表面の箇所において非線形の応力成分は消滅し、板厚内の応力分布はほとんど線形となる。これは、構造的ホットスポット応力を算出するために応力算出技術として使われている。⁽¹²⁾

タイプbのホットスポットについては、ホットスポット応力は、面内ノッチを形成する付加物の縁の溶接止端部に対し横方向のものである。応力分布は板厚と関係なく、応力読み取り位置も板厚に関係しない。IIW⁽¹²⁾より提案され採用された手法は、実際の板厚にかかわらず $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ の絶対要素サイズのメッシュを利用し、応力読み取り位置を溶接止端部から 5mm の絶対距離の位置と定義している。^{(4),(12),(13)}

1.1.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.1.5

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.1.6

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2. 有限要素モデル

2.1 一般

2.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.1.2 腐食モデル

疲労評価においては、貨物タンクのモデルはグロス板厚から腐食予備厚の25%減厚した板厚を使用することが望ましい。しかしながら、この場合は強度評価のためのモデルと異なる貨物タンクのFEモデルを要求することになる。代案として、解析は、修正係数と併せてグロス板厚から腐食予備厚の50%減厚した板厚を使用した強度評価のためのモデルと同じ貨物タンクのFEモデルを使用して差し支えない。(規則Ch 9, Sec 1, 5.1.4参照)

強度評価と同じ貨物タンクのFEモデルを使用する場合、すべての構造部材、局所的な腐食ゾーンの裏表は、グロス板厚から腐食予備厚の50%減厚した板厚を使いモデル化することに留意すること。

2.1.3 局部有限要素モデル

構造不連続による応力集中は周囲の構造配置によるため、極詳細メッシュを適用するエリアは、応力集中における周囲構造配置の影響が表れるように拡大すること。

2.1.4

構造不連続による応力集中はローカルエリアにおいて顕著であるため、極詳細メッシュのサイズは応力集中の挙動が表れるように決定すること。極詳細メッシュモデルのメッシュ改良の要件はIIWガイダンスによること。⁽⁴⁾

2.1.5

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.1.6

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.1.7

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2 ビルジホッパナックルの溶接結合部

2.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.2.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

る。

2.2.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.3 水平ストリングのヒール結合部

2.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.3.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.3.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.4 下部スツールと内底板との結合部

2.4.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.4.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.4.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.5 下部スツールと波型隔壁との結合部

2.5.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.5.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.5.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.6 倉内肋骨のブラケットとビルジホッパ斜板との結合部

2.6.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.6.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.6.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.7 倉内肋骨のブラケットとトップサイド斜板/底板の結合部

2.7.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.7.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.7.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.8 ハッチコーナとハッチコーミング端部ブラケット

2.8.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.8.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.8.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.8.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.8.5

円弧状ハッチコーナの場合、ハッチ開口の曲率を描くために一般的には15要素が必要となるであろう。⁽¹⁾しかしながら、楕円形又は放物線のハッチコーナの場合、ピーク応力を捉えるために、曲率の厳しい箇所にはより詳細な要素分割が必要となる。TB Report “TB Rep Pt1 Ch09 Sec05 FE Mesh Free Plate Edge”の1節参照。更に、楕円形ハッチコーナにおける亀裂起点の推定位置は、TB Report, “TB Rep Pt1 Ch09 Sec05 FE Mesh Free Plate Edge”の2節に示す疲労損傷実績においても確認されている。

2.9 境界条件

2.9.1 貨物倉モデル

貨物タンクのFEモデル端部に適用する境界条件は、強度評価に使用したものと同一ものとする。(規則Ch 7, Sec 2, 2.4参照)

2.9.2 局部有限要素モデル

局部有限要素モデルにおいて、最も一般的に利用されている手法は、境界条件として要素節点変位をサブモデルに適用する方法である。要素節点荷重を利用する場合、剛体運動を防ぐために、その境界のいくつかの点でモデルを拘束することが一般的である。システムが平衡しているため、拘束点でのネット荷

重は無視できるほど小さい。サブモデルの共通節点間に追加節点がある場合、追加節点の変位を定義するため、多点拘束関係式を使用する。これは線形多点拘束関係式とする。

多点拘束関係式は異なる有限要素ソフトウェアにおいては異なる式で表示されるので注意すること。しかしながら、桁などの主要支持部材の節点変位が定義される場合においては、多点拘束関係式の厳密な選択は、モデル境界から適当な距離にある評価箇所の応力に大きな影響を与えない。実際に、多くの有限要素ソフトウェアが提供しているように、通常は所定の節点変位が適用される。

3. 桁等で支持された十字継手以外の構造詳細におけるホットスポット応力

3.1 溶接詳細

3.1.1

シェル要素を用いた溶接止端部のホットスポット応力の算出手順は、所謂桁等に支持された十字継手のホットスポットを除き(4及び曲げホッパナックル部3.3を参照)、船体構造に存在する構造詳細のすべての溶接止端部に適用する。

ホットスポット応力の算出手順は、“FPSO Fatigue Capacity JIP”の結果に基づき開発された。JIPとは、FPSOsの板構造物における信頼性のある疲労設計手順を確立する目的で始まり、石油会社、設計者、造船所及び船級協会からの19の参加者で構成されていた。

“FPSO Fatigue Capacity JIP”の期間、計算されたホットスポット応力と疲労強度の適当な関連が確立され、1つのS-N線図と有限要素法に基づく疲労評価を実施する方法に対する提案がなされた。

- 小型試験データの溶接止端部亀裂に対するホットスポット応力S-N線図が作成された。試験片はホットスポット応力算出のために有限要素法で解析された。統一的な疲労評価手順を得るために、応力評価手順は1つのS-N線図と関連付けられた。
- このS-N線図は実寸大疲労模型によっても確認された。
- 本作業に基づき、有限要素モデル及び応力外挿法の提案がなされた。
- $t_{n50}/2$ 及び $3 t_{n50}/2$ からの外挿と異なり、 $t_{n50}/2$ のみから読み取った応力を使用する場合、ばらつきが少ない。

従来、ホットスポット応力は交差部から $t_{n50}/2$ 及び $3 t_{n50}/2$ 位置の応力から外挿することによって求められてきている。外挿法から求めるホットスポット応力はDカーブの利用と対応する。“FPSO Fatigue Capacity JIP”の考察として、Eカーブ利用と共に、 $t_{n50}/2$ 箇所

の表面主応力のみを利用することで、従来の外挿法と同等の結果が得られると結論付けている。 $t_{n50}/2$ 箇所の応力をDカーブと関連付けるため、応力は係数で1.12倍される。

係数はEカーブとDカーブ間の比率を表している。外挿法を使用することなく $t_{n50}/2$ 箇所の応力のみを利用したい主な理由は、この方法が1点のみの読み取りであり外挿しない簡易な方法であるためである。8節点要素を使用することによって、 $t_{n50} \times t_{n50}$ メッシュは要素中間節点の要素応力を直接読み取ることができるため、この手法は非常に便宜的である。他の理由として、 $t_{n50}/2$ 箇所のみの応力を利用した場合にはホットスポット応力にばらつきが少ないということを示している“FPSO Fatigue Capacity JIP”の実績がある。この手法はユーザの誤解を減少させ、また、異なるユーザ間においても一致した計算結果を導き出すと考えられる。

この手法はDNV CN 30.7⁽²⁾においても採用されている。手順の背景はLotsberg⁽⁵⁾で解説されている。構造体の板厚中央にシェル要素を用いた有限要素モデルを用いる場合、応力読み取り箇所までの距離は、板厚中央の交差部から測ること。シェル要素では溶接ビードはモデル化されず、応力読み取り箇所($t_{n50}/2$)は、溶接の剛性喪失による応力の過小評価を避けるため、構造の交差部(板厚中央)から計測されることが推奨される。多くの場合、実際の溶接止端部の応力は、シェル要素モデルの剛性低下の影響で実構造と比較してかなり低めとなる。^{(2),(4),(5),(12)} 2つのホットスポットタイプ“a”及び“b”の背景は1.1.3に記載されている。

3.1.2 応力読み取り方法

応力読み取り箇所 $t_{n50}/2$ の主応力を決定するための応力外挿手順は、使用される要素タイプによる。 $t_{n50}/2$ 箇所に位置する中間節点の結果に加えて、より高次の要素による変位及び応力のよりよい求め方は、8節点要素モデルが用いられている場合、手順を簡素化することである。応力外挿手順はガイダンスDNV CN 30.7⁽²⁾による。

3.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.2 母材

3.2.1

母材エッジ部のホットスポットは、有限要素解析にそれ程影響されない。ホットスポット応力は外挿することなくホットスポット箇所(エッジ部のピーク応力)から直接読み取ることができる。応力読み取り箇所はホットスポット箇所である。ホットスポット応力が要素端から実際に読み取られていることを

確認するため、板縁部の軸及び曲げ成分の両方を表現するダミーのビーム要素を使用することが要求される。⁽²⁾ その理由は、応力計算は通常ガウス積分点で行われており、すべての有限要素ソフトウェアが要素表面端の応力外挿アルゴリズムを持っているわけではないためである。

3.3 曲げ加工型ビルジホップナックル

3.3.1

ソリッド要素とシェル要素の比較評価において、3.1.2に記載されている一般的な応力外挿法の利用は、曲げホップナックル部に対して不合理で過大な結果となることが示されている。比較評価において、所謂Xシフト箇所でのホットスポット応力の利用によって、シェル要素での結果がソリッド要素での結果と非常に類似することがわかった。Xシフトとは、溶接止端部から $t_{n50}/2$ 離れた箇所と定義され、 $x_{shift} = t_{n50}/2 + x_{wt}$ と表される。ここで、 x_{wt} は溶接脚長である。Xシフト箇所はフランジ(二重底)、横桁及び縦桁のホットスポット応力の読み取りにも利用される。

3.3.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3.3.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4. 桁等に支持された十字継手のホットスポット応力

4.1 適用条件

4.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.2 フランジにおけるホットスポット応力の算出

4.2.1

本手順は、特に所謂桁等で支持された十字継手の板フランジ継手向けとして開発された。本手順は、Lotsbergら⁽⁹⁾に示されているような不合理で過大な結果を避けるため、桁等で支持された十字継手において利用される。“FPSO Fatigue Capacity JIP”において、シェル要素と従来の外挿法を用いた有限要素モデルにおける疲労評価は、構造詳細におけるグローバル荷重の流れに支配される詳細箇所の計測試験結果と

よく一致することが示された。局部挙動に支配される詳細箇所においては十分に一致しない場合がある。従来の外挿法は、桁等で支持された十字継手において過大な結果となると考えられる。

Lotsberg ら⁽⁹⁾は、支配的な応力が板の曲げ応力を低減することにより得られるということを示している“FPSO Fatigue Capacity JIP”の結果に基づき、桁等で支持された十字継手に対する手順を開発した。この開発は、ホップ結合部、ストリングアヒール及び支持部材とのデッキ結合部などの船体構造に多く存在する桁等で支持された十字継手の有限要素解析に基づいている。本手順では、実際の溶接寸法や十字継手の板フランジ間の角度を考慮し、シェル要素を用いた結合部などのホットスポット応力を算出する。

本手順の主な修正 (図1参照) は、 $t_1 = t_2 = 10\text{mm}$ の試験片において実施された。読み取り点は板厚 t_1 に依存している。

$$x_{shift} = \frac{t_1}{2} + x_{wt} \quad (1)$$

読み取り点については、以下に示されるような t_2 を基準としたものにすべきではないかと疑問視されている。

$$x_{shift} = \frac{t_2}{2} + x_{wt} \quad (2)$$

図2に示すホットスポット1の板1側の溶接止端部の疲労強度を支配しているのは、板1の応力である。また、ホットスポット2の板2側の溶接止端部の疲労強度を支配しているのは、立板2の応力である。従って、ホットスポット位置やホットスポット応力読み取り点の有限要素モデルにおいて、板1側の溶接止端部の応力を支配しているのは板厚 t_1 であり、板2側の溶接止端部の応力を支配しているのは板厚 t_2 である。

図3に示す45度のホップ結合部の応力分布は、追加溶接なしの場合は図4、追加溶接ありの場合は図5に示す通りである。板1の局部曲げ応力は、メンブレン応力と比べてホットスポット応力を増加させる主要因である。図4及び図5では、参考のためにメンブレン応力及び曲げ応力を溶接止端部に外挿している。 $(t_1/2)$ 及び $3t_1/2$ 位置の応力を溶接止端部に外挿している。

ホットスポット1の応力分布は、たとえば板厚 t_2 が増厚された場合においても、それほど大きな変化はないものと想定される。しかしながら、読み取り点を図1の絵の右方向へ移動させると、シェル要素解析からの読み取り応力が小さくなり、過大なホットスポット応力ではなくなる。この結果に基づき、板厚 t_2 は、シェ

ル要素解析における応力読み取り点との交線から距離に影響を与える関連パラメータとして考慮しない。

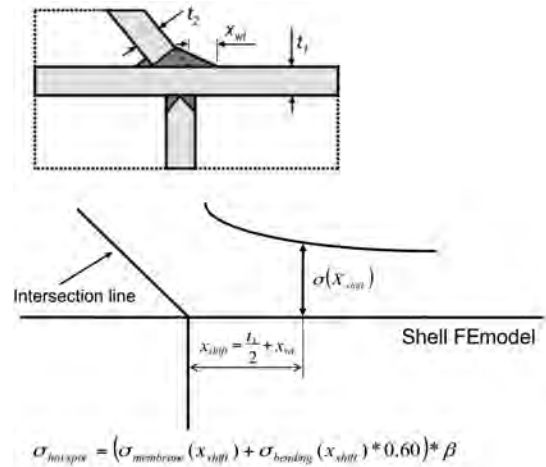


図1 シェル要素モデルを用いたホットスポット応力算出手順

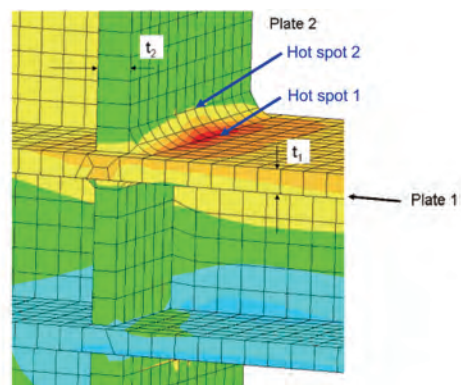


図2 90度の十字継手にホットスポットを有する板

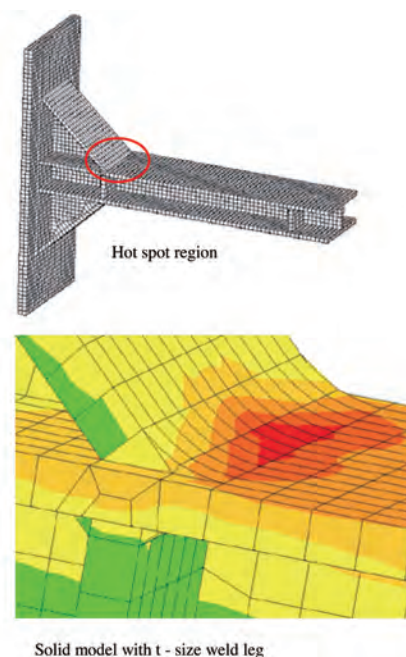


図3 試験片のソリッド要素モデル

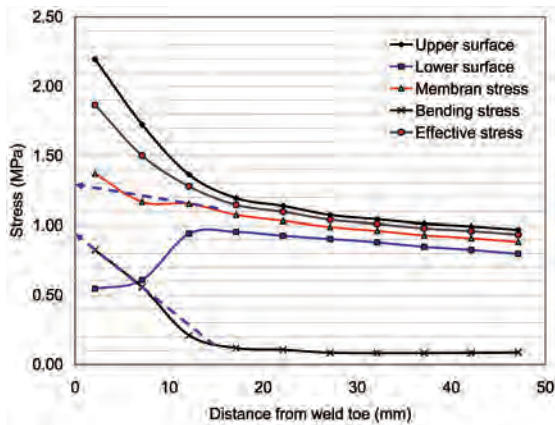
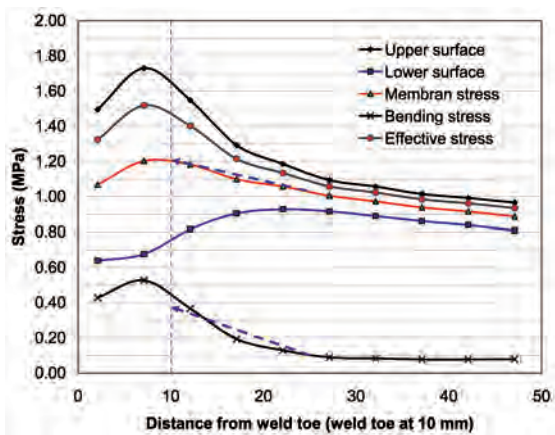


図4 板1 (追加溶接なし) の応力分布

図5 板1 (脚長10mmの追加溶接あり) の
応力分布

4.2.2

大きな板曲げ応力が作用するホットスポットにおいて、支配的なホットスポット応力が導かれる。曲げ応力に対する低減係数は、亀裂先端が、応力が低減した領域を進展する期間の荷重再配分によって説明される。この効果は、例えばホップコーナ部などの局所的応力集中が発生する箇所に限定される。しかしながら、溶接に沿った応力変動が小さい場合には、軸荷重と単純曲げにおける疲労寿命の差はかなり小さい。従って、一概に応力の曲げ成分を60%に低減することは正しくないことに配慮する必要がある。これは、疲労亀裂進展時の応力分布が荷重支配より変形支配の状況に類似しているような顕著な応力集中が発生する場合に限るべきである。

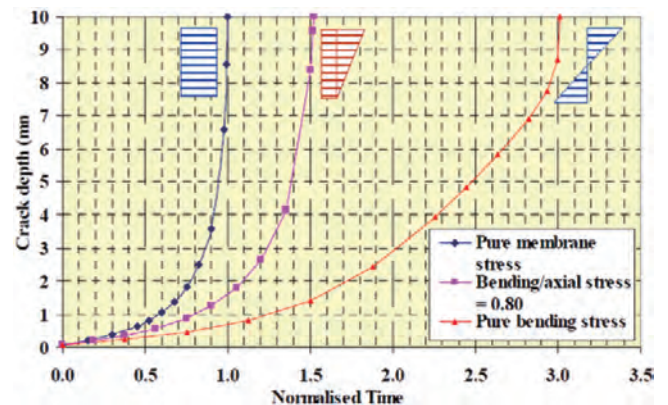
研究結果では、桁等で支持された十字継手の疲労試験データはあるホットスポットS-N線図上で高い位置にプロットされている。これは局部板曲げ及び板厚における応力勾配によるものであり、1つのホットスポットS-N線図に関連したホットスポット応力概念の限界を示している。この理由は、疲労寿命評価のS-N曲線に用いられる応力は、板厚の応力勾配に関する情報

がない表面応力を使用しているためである。従って、異なる応力勾配であるが同じホットスポット応力の構造詳細は、実際の寿命はかなり異なるであろうが、S-N曲線に基づき同じ疲労寿命を示すであろう。

これは破壊力学を用いた亀裂伝播解析によって説明される。Lotsberg及びSigurdsson⁽⁶⁾は問題を調査し、半楕円亀裂の伝播について考察している。異なる応力勾配であるが同じホットスポット応力である事例を図6に示す。⁽⁶⁾ 図6の結果から、単純曲げ応力の場合の疲労寿命は、単純膜応力と比較して、かなり上昇していることがわかる。板の面外荷重の疲労試験データに基づき、低減された実効的な応力はKangらによって求められた。⁽¹⁴⁾

$$\Delta\sigma_{effective} = \Delta\sigma_{membrane} + 0.592 \cdot \Delta\sigma_{bending} \quad (3)$$

ここで、ホットスポットの曲げ応力は係数によって低減される。Lotsberg及びSigurdsson⁽⁶⁾によると、提案された関係式は破壊力学の結果と同等の結果となる。

図6 異なる応力勾配であるが同じ
ホットスポット応力における亀裂伝播曲線

表面ホットスポット応力は、追加溶接の脚長による局部曲げを考慮するため、板部材の角度による係数 β を用いて以下の関係式によって増加される。

$$\sigma_{HS} = \sigma(x_{shift}) \cdot \beta \quad (4)$$

ここで、

$$\beta = \gamma + \alpha_1 \frac{x_{wt}}{t_1} + \alpha_2 \left(\frac{x_{wt}}{t_1} \right)^2 \quad (5)$$

ここで、 t_1 はホットスポット箇所の板厚である。係数 β の実際の計算は、曲げ応力による低減された亀裂

伝播の影響も含んでいる式(6)による。

$$\sigma_{shift} = (\sigma_{membrane}(x_{shift}) + \sigma_{bending}(x_{shift}) * 0.60) * \beta \quad (6)$$

現行の板部材の角度が90°となる場合の修正係数 β は、Lotsberら⁽⁹⁾の研究において開発された係数と比較し、CSR-BC及びCSR-OT (July 2010)の実績と合うよう調整している。

溶接をモデル化していないシェル要素を用いた有限要素解析は、大きな応力集中が作用する構造詳細の重要なパラメータであると考えられている溶接形状を考慮していない。Lotsberら⁽⁹⁾の研究において、溶接形状を含んだ3次元ソリッド要素や4節点及び8節点のシェル要素を用いて、いくつか校正評価が実施されている。これらの解析結果に基づき、シェル要素の有限要素モデルを用いた溶接結合部のホットスポット応力算出法が開発された。シェル要素の有限要素モデルに溶接が含まれていなくても、溶接寸法が解析手順において考慮されている。

4.2.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.3 ウェブにおけるホットスポット応力の計算

4.3.1

ソリッド要素とシェル要素の比較評価において、3.1.2に記載されている一般的な応力外挿法を利用することで、曲げホップナックル部に対して不合理で過大な結果となることが示されている。比較評価において、所謂Xシフト位置でのホットスポット応力を用いることによって、シェル要素での結果がソリッド要素での結果と非常に類似することがわかった。本手法はDNV CN 30.7(2)に基づいている。

5. ホットスポット応力手法の制限

5.1 ホットスポット応力手法の適用範囲

5.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

5.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

6. スクリーニング疲労評価

6.1 スクリーニング手順

6.1.1 前提条件

スクリーニング手順では、7章3節3に規定するように、疲労被害度の合計を計算することで疲労強度を評価する。疲労被害度は、特定の構造詳細の溶接止端部のホットスポット応力に基づいている。本ホットスポット応力は、7章3節に規定する詳細メッシュ

要素モデルにより求めた半公称応力に、9章2節3.1.2に規定する考慮する構造詳細の応力拡大係数(η)を乗じることにより計算する。

7章3節に規定されるすべての修正係数はスクリーニング評価において考慮しなければならない。

9章3節2に規定する評価基準に適合しない構造詳細は、9章5節に規定するように極詳細メッシュ解析用いた疲労強度評価を行わなければならない。

応力拡大係数 η は以下による。

$$\eta = \frac{\sigma_{txt-mesh}}{\sigma_{50 \times 50-mesh}}$$

ここで、 $\sigma_{txt-mesh}$ は $t_{n50} \times t_{n50}$ メッシュモデルより得られる主応力であり、 $\sigma_{50 \times 50-mesh}$ は $50mm \times 50mm$ メッシュモデルより得られる要素平均膜応力より得られる主応力である。

6.1.2 手順

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

6.1.3 スクリーニング疲労評価基準

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

6.2 応力読み取り手順

6.2.1 ブラケット先端部

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

6.2.2 ナックル部の詳細

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

6.2.3 読み取り点の応力

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

参考文献

1. IACS, "Consideration of torsion for fatigue assessment of bulk carrier hatch corners", draft of HPT06, Sept 2010.
2. DNV, "Fatigue assessment of ship structures", Classification Note 30.7, June 2010.
3. W. Fricke, "Recommended hot spot analysis procedure for structural details of FPSOs and ships on round robin FE analysis", 11th ISOPE, Stavanger, March 2002.
4. A. Hobbacher, "Recommendations for fatigue design of welded joints and components", IIW document XIII-2151-07, June 2007.
5. I. Lotsberg, "Fatigue design of plated structures using finite element analysis", Journal of ship and offshore

structures, Vol. 1, pp. 45-54, 2006.

6. I. Lotsberg and G. Sigurdsson, "Hot spot S-N curve for fatigue analysis of plated structures" OMAE FPSO04-0014, Houston, 2004.
7. I. Lotsberg, "Overview of the FPSO fatigue capacity JIP", OMAE, Rio de Janeiro, 2001.
8. I. Lotsberg, "Fatigue design criteria as function of the principal stress direction relative to the weld toe", OMAE, Portugal, 2008.
9. I. Lotsberg et al, "A procedure for fatigue design of web-stiffened cruciform connections", SAOS, Vol. 3, pp. 113-126, 2008.
10. I. Lotsberg, "Fatigue capacity of fillet welded connections subjected to axial and shear loading", OMAE, Hamburg, June 2006.
11. S. Maddox, "Recommended design S-N curve for fatigue assessment of FPSOs", 11th ISOPE, Stavanger, 2001.
12. Niemi, Fricke and Maddox, "Fatigue analysis of welded components - designers guide to the structural hot-spot stress approach", IIW-1430-00.
13. D. Radaj, C. M. Sonsino, W. Fricke, "Fatigue assessment of welded joints by local approaches", Woodhead Publishing Limited, 2006.
14. S. W. Kang, W. S. Kim and Y. M. Paik, "Fatigue strength of fillet welded steel structure under out-of-plane bending", International welding conference, Korea, 2002.

6節 詳細設計標準

1. 一般

1.1 目的

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.2 適用

1.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2. 防撓材とフレームの結合部

2.1 設計標準A

2.1.1

桁付防撓材が取り付けられていないもしくは桁付防撓材と縦通防撓材の面材が接合されていない場合の横桁と縦通防撓材の結合部のスロットなど、防撓

材とフレームの結合の設計標準AはCSR-OT (July 2010) の要件が採用されている。

2.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.2 防撓材とフレームとの結合部の等価設計

2.2.1

防撓材とフレームの結合の等価な代替設計の検証手順は, DNV CN 34.2⁽²⁾又はKaaseによる提案⁽¹⁾を適用する。シェル要素による偏心ラグプレートモデル化はDNV-RP-C206⁽³⁾による。

2.2.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.2.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.2.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.2.5

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3. ブロック継手のスカラップ

3.1 設計標準B

3.1.1

ブロック継手のスカラップの設計標準BはCSR-OT (July 2010) による。

4. ホッパーナックルの結合部

4.1 設計標準CからH

4.1.1

二重船殻オイルタンカーのホッパ斜板と内底板の間の溶接型ナックル部に関する設計標準C及びDは, ブラケットの有無により,それぞれ“建造公差”と“溶接要求”を除き, CSR-OT (July 2010) の要件が採用されている。建造公差はIACS勧告⁽⁴⁾とLR FDA Level 1⁽⁵⁾の要件が採用されている。

グラインダが要求される設計標準Cには, 完全溶け込みもしくは部分溶け込み溶接を推奨する。グラインダは, 9章3節6の十分な開先を取ったもしくは完全溶け込み溶接と一緒に施工された場合にのみ有効である。増し溶接とグラインダのための推奨は, LR FDA Level 1⁽⁵⁾の要件が採用されており, 疲労荷重ケースにおける応力分布の有限要素解析の結果に基づいている。

設計標準Dについて, 溶接後処理を考慮するためには, 完全溶け込み溶接をブラケット先端部に適用する。

4.1.2

ばら積貨物船におけるホップ斜板と内底板の溶接型ナックル部の設計標準EはLR FDA Level 1⁽⁵⁾と参考文献⁽⁶⁾の要件を採用している。

4.1.3

VLCCを除く二重船殻油タンカーのホップ斜板と内底板の曲げ加工型ナックル部の設計標準Fは、CSR-OT (July 2010) の要件を採用している。「側桁板とナックル中心の距離は可能な限り小さくすること、一般的には50mmを超えない」の追加要求はLR FDA Level 1⁽⁵⁾の要件を採用している。二重船殻油タンカーのうち、VLCCのホップ斜板と内底板の曲げ加工型ナックル部の設計標準Gは、Polezhayevaらの研究⁽⁷⁾に基づいている。

4.1.4

ばら積貨物船のホップ斜板と内底板の曲加工型ナックル部の設計標準Hは、LR FDA Level 1⁽⁵⁾と参考文献⁽⁶⁾の要件を採用している。

4.1.5

船縦通隔壁とホップ斜板取り合い部のR付ナックルによるホップコーナ部の設計詳細Iは、LR FDA Level 1(5)の要件を採用している。

4.1.6

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

5. ストリングアのヒール部

5.1 設計標準I

5.1.1

設計標準Iによる詳細設計改良は、横油密隔壁及び制水隔壁と縦通隔壁の取り合いに位置するストリングアのヒール部の応力レベルを減少させ、疲労強度を増加するために推奨される。この推奨は7章3節に要求される詳細メッシュ有限要素解析と共に考慮すべきである。

標準設計Iの推奨は、この部位におけるCSR-OT (July 2010) の推奨を採用している。CSR-OT (July 2010) に適用したフィードバックに基づき、いくつかの改正が提案されている。主なものは次の通り。

- ・ D級鋼厚板の挿入要件を削除した。この補強は裏側にブラケットがある場合は不要である。
- ・ 高降伏応力材料による縁部疲労亀裂の寿命の強化のため、裏側のブラケットの鋼種をAH以上とする旨規定した。
- ・ 高表面応力が生じる裏側のブラケット端部を完全溶け込み溶接とする旨規定した。
- ・ ブラケット先端部におけるスカラップを禁止する要件を追加した。

6. 下部及び上部スツールと隔壁との結合部

6.1 設計標準J, K及びL

6.1.1

隔壁と下部スツール結合部の疲労損傷の調査から下記の注目すべき結果が得られた。

- ・ 損傷は専らバラスト倉の波型隔壁の表側と裏側で発生している。
- ・ ほとんどの損傷は下部スツール頂板がシェダープレートを兼ねている場合に発生している。
- ・ ガセットプレートが付いている波型隔壁の場合、損傷はわずか5%である。
- ・ ガセットプレートが付いている波型隔壁の損傷は、ガセットプレートの形状が不適切であること及び溶接不良が原因である。

6.1.2

隔壁と上部スツール結合部の疲労損傷の調査から下記の注目すべき結果が得られた。

- ・ 99%の損傷はバラスト倉の波型隔壁の表側と裏側で発生している。
- ・ ガセットプレートが付いている波型隔壁の場合、損傷はわずか4%である。
- ・ ガセットプレートが付いていない波型隔壁の損傷は、船の中心線近傍の波型隔壁のコーナ部と上部スツール底板に発生している。
- ・ ガセットプレートが付いている波型隔壁の損傷は、スツールの桁にスカラップが設けられていること、ガセットプレートの形状が不適切であること及び溶接不良が原因である。

上記の注目点と既存の適切な設計の調査により、これらの構造の設計標準はまとめられた。そしてこれらの設計の有効性は有限要素解析により検証された。

7. 内底板と隔壁との結合部

7.1 設計標準M

7.1.1

スツールのない隔壁と内底板・ホッパープレートの結合部の疲労損傷の調査が行われ、下記の結果が得られた。

ほとんどの損傷は、波型のナックルコーナ部で発生している。波型のナックルコーナ部の応力集中を減少させる既存の適切な設計の調査結果により、これらの設計標準はまとめられた。そしてこれらの設計の有効性は有限要素解析により検証された。最も大事なことは、ブラケットを波型のウェブに沿って設けると、規定された最小の寸法を維持することである。スカラップは設けてはいけなない。

8. 倉内肋骨の上下端

8.1 設計標準N

8.1.1

倉内肋骨止端部の疲労損傷の調査が行われ、下記の結果が得られた。

倉内肋骨の損傷は損傷の6%である。ほとんどの損傷は、倉内肋骨ウェブ端部とホッパータンク及びトップサイドタンクの斜板の取り合いではなく、倉内肋骨の面材止端部のウェブに発生している。面材止端部の応力集中を減少させる既存の適切な設計の調査の結果により、これらの設計標準はまとめられた。そしてこれらの設計の有効性は有限要素解析により検証された。

9. ハッチコーナ

9.1 設計標準O

9.1.1

2編に規定されているハッチコーナの設計基準及びハッチカバーに関連する算式はIACS内部での調査に基づいている。本調査は50,000 DWTから180,000 DWTのばら積貨物船を対象としており、通常の規則による評価に加えてスペクトル疲労解析を用いて調査している。振り荷重ケース（例えば、斜波荷重）が支配的である。

参考文献

1. Kaase, G.O., “Fatigue strength verification of stiffener-frame connections - DNV Class notation PLUS”, PRADS 2010.
2. Det Norske Veritas, DNV Classification Note 34.2, “PLUS - Extended fatigue analysis of ship details”, Høvik, April 2009.
3. Det Norske Veritas, DNV-RP-C206, “Fatigue Methodology of Offshore Ships”, October 2006.
4. IACS Recommendations, No.47, “Shipbuilding and Repair Quality Standard”, 5 October 2010.
5. Lloyd’ s Register, “Fatigue Design Assessment, Level 1 Procedure, Structural Detail Design Guide”, May 2004.
6. Interpretation of 1.3 of Ch 8, Sec 1, CSR BC Rules, January 2006, drafted by IACS PT1 Rule Maintenance team. (Email Ref: 07C1G0023_PMa, Design detail for members and locations subjected to fatigue strength assessment, IACS PT1 dated 26 July 2007).
7. Helena Polezhayeva, Joong-Kyoo Kang, Joo-Ho Heo, “Adoption of a radiused hopper knuckle: Recommendations for design and fabrication”, Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol. 18, No. 3, 2008.

10章 その他の構造

1節 船首部

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2. 構造配置

2.1 フロア及びボトムガーダ

2.1.1 フロア

本規定は、既存の規則要件に基づく。

2.1.2 ボトムガーダ

本規定は、既存の規則要件に基づく。

2.1.3 代替の設計評価

本規定は、二重底の代替設計及び新設計を可能と
する。また本規定は、有限要素解析による設計評価
のための条件を示している。

2.2 制水隔壁

2.2.1

本規定は、既存の規則要件に基づく。

2.3 船側支持構造

2.3.1 特設肋骨

本規定は、既存の規則要件に基づく。

2.3.2 ストリング

本規定は、既存の規則要件に基づく。

2.3.3 代替の設計評価

2.1.3によること。

2.4 トリップングブラケット

2.4.1

横式構造となる船首部でのトリッピングブラケッ
トについては、IACS統一規則S12 (Rev.5, May 2010)
に基づく最前端貨物倉の倉内肋骨の要件が取り入れ
られている。

2.5 球状船首

本規定は、これまでの長期にわたる経験に基づい
ている。

2.5.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.5.2 膜板

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.5.3 特殊な設計の球状船首

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

2.5.4 アンカー及びアンカーチェーンとの接触箇所の補強

アンカーの巻き上げ作業中に船舶が揺れている場
合、アンカー及びアンカーチェーンが球状船首に接
触し、摩耗を促進する可能性がある。

3. 衝撃荷重を受ける構造

3.1 一般

3.1.1 適用

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.1.2 一般的な部材寸法要件

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.2 船底スラミング

3.2.1 適用

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3.2.2 補強範囲

本規定による補強範囲は、CSR-OT (July 2010) に
基づく。垂直方向の補強範囲は、就航船の損傷の
フィードバックに基づき、500mmとしている。

3.2.3 船底スラミング荷重に対する設計

本規定は、防撓材が端部固着となる設計を推奨し
ている。防撓材が端部固着と同等な設計とならない
場合、要求寸法の修正が必要となる。

ここで、荷重が十分に伝達されるよう支持構造に
適切な荷重経路を設ける必要があることに注意す
ること。また、適切な設計基準を参考にすること。

3.2.4 外板

スラミング荷重に対する板の曲げ強度モデルは、6
章で採用している板の曲げ強度モデルと同様である。

板耐荷修正係数 C_d により、スラミング荷重の発生
頻度に関する不確定要素を考慮し、船首部の衝撃荷
重を受ける板パネルの永久変形に対する許容レベル
をやや増加させている。板耐荷修正係数 C_d 及び許容
曲げ応力係数 C_e は、板パネルに作用する荷重がスラ
ミング衝撃圧のみであると仮定しており、算式では
ハルガーダ応力及びその他の膜応力を無視している。
 C_d は、その他の標準的な板厚算式と整合するよう規
定している。

C_d の値は、CSR-OT (July 2010) のスラミング要件
で用いられる板の曲げ強度モデルとの比較に基づい
て規定している。

3.2.5 外板防撓材

防撓材の曲げ強度モデルは、CSR-OT (July 2010)
で用いられている考え方に基づいている。船底スラ
ミングの損傷で見られる通常の崩壊モードを考慮し、3
点に塑性関節を形成する崩壊モデルを採用している。

強度モデルは、設計思想に一貫性を持たせた端部固着の条件及び降伏応力の使用係数を仮定し、設定している。

3.2.6 主要支持部材に対する船底スラミング荷重面積

衝撃現象は局部的、非定常的及び時間依存の現象であるため、荷重と構造応答の関係より、作用する荷重は考慮する構造の大きさに依存するといえる。

主要支持部材は、板部材及び防撓材といった各構成要素より大きいことから、スラミング発生時の主要支持部材に作用する平均荷重は、板部材又は防撓材に作用する圧力値よりも低くなる。

3.2.7 主要支持部材

二重底構造のガーダ及びフロアは、通常の強度評価基準による寸法の場合、曲げ最終強度の要件についても満足することがこれまでの知見により示されている。従って、主要支持部材に対して、適切な座屈強度を持たせるための要件及びせん断面積に関する要件のみを規定している。

本規則では、荷重分布の最悪のケースを予測した簡易手法を規定している。本手法では、主要支持部材の片端のみで受け持たれる分布荷重が特定の範囲に作用するものと仮定することで、荷重の簡易化を行っている。フロアのような短い主要支持部材の場合、局部荷重は両端部に分配されることから、このような短い主要支持部材においてはスラミング荷重面積の範囲 l_{sl} は最大 $0.5l_{shr}$ までに限定される。

荷重分布の最悪のケースは、直接計算からも得ることができる。主要支持部材のウェブ板の細長比はLR規則(January 2013) Pt 3, Ch 5, Table 5.1.1に基づいており、ネット板厚モデルに対応するよう修正している。

3.3 船首衝撃

3.3.1 適用

補強範囲は、これまでの長期にわたる経験に基づいている。

3.3.2 船首衝撃荷重に対する設計

本規定は、防撓材が端部固着となる設計を推奨している。湾曲防撓パネルが十分な強度を有するよう、縦式/水平防撓構造とすることが特に推奨される。また一般に、縦式構造とすることで、より適切な構造となる。

防撓材が端部固着と同等な設計とならない場合、要求寸法の修正が必要となる。

ここで、荷重が十分に伝達されるよう支持構造に適切な荷重経路を設ける必要があることに注意すること。また、適切な設計基準を参考にすること。

外板付き肋骨を支持する甲板及び隔壁の防撓方向

は、座屈強度の向上のため、板の圧縮応力の方向と平行であることが求められる。

3.3.3 船側外板

衝撃荷重に対する板の曲げ強度モデルは、スラミング要件で取り入れられているものと同様である。

船首部の板パネルは衝撃荷重を受けた際に永久変形に至るまでの強度余裕が小さいことから、船首衝撃を考慮する際の板耐荷修正係数 C_d は1となる。従って、板厚算式に含まれていない。板耐荷修正係数 C_d 及び許容曲げ応力係数 C_a は、板パネルに作用する荷重が船首衝撃圧のみであると仮定しており、算式ではハルガーダ応力及びその他の膜応力を無視している。 C_a はその他の標準的な板厚算式と整合するよう規定している。

C_d の値は以下に基づいて規定している。

- ・ CSR-OTのスラミング要件で用いられる板の曲げ強度モデルとの比較
- ・ 非線形解析に基づいた検証

3.3.4 船側防撓材

防撓材の曲げ強度モデルは、スラミング要件で採用しているものと同様である。船底スラミングに生じた損傷における一般的な崩壊モードを考慮し、3点に塑性関節を形成する崩壊モデルを採用している。

強度モデルは、設計思想に一貫性を持たせた端部固着の条件及び降伏応力の使用係数を仮定し、設定されている。

ブレストフック/膜板の最小板厚要件及び細長比要件はLR規則に基づいており、ネット板厚モデルに対応するよう修正している。従って、本規定は、これらの構造部材に対して最も一般的な崩壊モードに対応したものとなっている。

3.3.5 主要支持部材に対する船首衝撃荷重面積

想定衝撃荷重面積の考え方は、簡易化のため、スラミングに対する寸法要件と同様としている。

3.3.6 主要支持部材

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

- ・ 主要支持部材のたわみを制限するため、最小心距に関する要件を規定している。
- ・ 本規定は、規則荷重に対して十分な強度を持つ構造となるよう適切に設計することを推奨している。

主要支持部材の曲げ強度モデルは、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。曲げモーメントの係数 f_{bdg-pt} 及び局部荷重の修正係数 f_{BI} は、固定端を有する梁の-span内のあらゆる箇所において理想化された等分布衝撃荷重を適用することで得られる最大曲げを与える。

主要支持部材のせん断強度モデルは、作用するせ

せん断力を許容応力で割った形としている。局部荷重の修正係数 f_{PL} は、固定端を有する梁のせん断スパン内において理想化された等分布衝撃荷重を適用することで得られるせん断スパン端部での最大せん断力を与える。

最小ウェブ板厚の算式は、船側外板の近傍又はそれに隣接するウェブ板又は甲板／隔壁板の限界座屈応力が、理想化された衝撃荷重によって生じる軸応力より高くなるよう規定されている。

4. 追加の部材寸法要件

4.1 鋼板船首材

4.1.1

本算式は、これまでの経験に基づいており、コンテナ、木材又はその他漂流物等の浮遊物による衝撃を考慮している。また、GL規則から取り入れた算式である。最小寸法要件は、外板の材料と水平支持構造間の距離を考慮している。一定の範囲においてネット板厚を漸次減らしても差し支えない旨の規定は、荒天時の環境条件における衝撃の発生確率に基づいている。

また、本算式はネット寸法手法に対応するよう修正している。

4.1.2 プレストック及び膜板

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

4.2 スラストトンネル

4.2.1

本規定は、これまでの経験に基づいており、ネット寸法手法に対応するよう修正している。

2節 機関区域

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2. 機関区域の配置

2.1 構造配置

2.1.1

規則2.1.1から2.1.3の規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。機関区域に必要な開口部の構造に伴い、甲板の適切な支持、船側及び船底の剛性の確保並びに機関設備の重量の分散が困難となる場合は、構造の有効性を確保するにあたり、貫通する梁の板による補強、囲壁及び梁柱による支持等の措置を講じる必要がある。

2.1.2

2.1.1によること。

2.1.3

2.1.1によること。

2.1.4

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

2.1.5

規則2.1.5から2.1.7の規定は、CSR-BC (July 2010) に基づく。

2.1.6

2.1.5によること。

2.1.7

2.1.5によること。

2.1.8

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。予想されるすべての荷重条件下において、主推進機関、減速ギヤ、軸及びスラストベアリングの台座並びにその支持構造が要求されるアライメント及び剛性を十分に維持できることを確認するため、機関の台座の図面を提出することが重要である。

2.2 二重底

2.2.1 二重底高さ

CSR-OT及びCSR-BC (共にJuly 2010) の両規則には、機関区域は二重底構造としなければならない旨規定されている。ばら積貨物船については、SOLAS(その後の改正を含む。)においても二重底構造とするよう要求されている。

2.2.2 センターガーダ

本規定は、CSR-OT及びCSR-BC (共にJuly 2010) における既存の規則要件に基づく。

2.2.3 サイドガーダ

2.2.2によること。

2.2.4 主機台のガーダ

2.2.2によること。

2.2.5 二重底が縦式構造のフロア

2.2.2によること。

2.2.6 二重底が横式構造のフロア

2.2.2によること。

2.2.7 マンホール及びウェル

2.2.2によること。

2.2.8 内底板

2.2.2によること。

2.2.9 重い艀装品

2.2.2によること。

3. 機器の台座

3.1 一般

3.1.1

規則3.1.1から3.1.3の規定は、CSR-OT (July 2010) 及びLR規則に基づく。

3.1.2

3.1.1によること。

3.1.3

3.1.1によること。

3.2 内燃機関及びスラストベアリングの台座

3.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.2.2

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

3.3 補機の台座

3.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3節 船尾部

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2. 船尾倉

2.1 構造配置

2.1.1 フロア

本規定は、CSR-OT及びCSR-BC (共にJuly 2010) の要件と同様である。

2.1.2 プラットホーム及びサイドガード

本規定は、CSR-BC (July 2010) に基づく。

2.1.3 縦通隔壁

2.1.2によること。

2.1.4 代替の設計評価

規則2.1.1から2.1.3の規定は、これまでの経験に基づき、適切な構造配置のための規定である。ただし、より幅広い設計評価を実施することで、規則2.1.1から2.1.3の規定によらない設計とすることもできる。

2.2 船尾倉のフロア及びガーダの防撓

2.2.1

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。プロペラの振動により船尾倉に疲労亀裂が発生した船舶があったことから、本規定が導入されている。4-6枚翼のプロペラで回転数が80-100rpmという典型的なケースの場合、翼周波数の幅は5.3-10Hzとなる。

振動を避けるため、一般に、固有周波数が二次振動の周波数(翼周波数の2倍と同等)を15%上回るよう維持することを推奨している。これに基づき、フロア及びガーダに付く典型的な長さ及び寸法の防撓材に対し、様々な端部拘束(単純支持から固定まで)を想定した振動解析を実施した。本規定の評価基準

は、当該解析の結果より得られたものである。

CSR-OT (July 2010) と比べて、プロペラによる振動が発生しやすい区画に対する適用を詳細に規定している。なお、振動は空所に対して大きな影響を及ぼさないことが示されている。

2.2.2

2.2.1によること。

3. 船尾材

3.1 一般

3.1.1

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

3.1.2

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

3.2 プロペラ柱

3.2.1 プロペラ柱のグロス寸法

規則3.2.1から3.2.3の規定は、CSR-BC (July 2010) に基づく。ただし、既に確立されている大型油タンカーの船尾材の設計要件と合わせるため、 L_{CSR} を250mまで(L_1)に制限している。

3.2.2 プロペラボス下部の断面係数

3.2.1によること。

3.2.3 プロペラボス

3.2.1によること。

3.3 結合

3.3.1 船体構造との結合

規則3.3.1から3.3.4の規定は、CSR-BC (July 2010) に基づく。

3.3.2 平板竜骨との結合

3.3.1によること。

3.3.3 トランサムフロアとの結合

3.3.1によること。

3.3.4 中心線内竜骨との結合

3.3.1によること。

4. 外板構造に対する特別な部材寸法要件

4.1 外板

4.1.1 船尾材に結合する外板

規則4.1.1から4.1.3の規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

4.1.2 厚板の外板

4.1.1によること。

4.1.3 スラスタトンネルの板部材

4.1.1によること。

4節 スロッシングを受けるタンク

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規則のスロッシング要件は、液体を積載するタン

クの強度が、部分積載されたタンク内の液体運動による圧力に対して十分な強度となるよう規定している。

1.2 一般要件

1.2.1 貨物タンク及びバラストタンクの積載高さ

本規則の原則及び設計思想に基づき、すべてのタンクはあらゆる状態での積載に対応するよう設計されなければならない。貨物タンクの設計基礎としては、貨物密度 $1.025t/m^3$ の貨物をあらゆる状態で積載できるものとしている。貨物密度が $1.025t/m^3$ を超える場合、積載制限を設ける場合がある。

1.2.2 ばら積貨物船のバラスト兼用倉

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.3 構造詳細

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.3 スロッシング圧力の適用

1.3.1 一般

スロッシング圧力 $P_{slh-lng}$ 及び P_{slh-r} は、大きいタンクのみに対して支配的となる。小さいタンク及び二重船殻部のタンクのように多くの内部構造を持つタンクについては、最小スロッシング圧力 $P_{slh-min}$ が支配的となる。従って、本規定で計算される圧力に基づいた評価は、大きいタンクのみに対して実施する必要がある。

1.3.2 最小スロッシング圧力

スロッシング圧力 $P_{slh-lng}$ 及び P_{slh-r} に関して規定される有効長さ及び有効幅の閾値（それぞれに対して $0.03L_{CSR}$ 及び $0.32B$ ）は、それら2つのスロッシング圧力の算式から得られる。有効長さ及び有効幅がこれらの閾値を下回る場合、算式による値が最小スロッシング圧力より小さくなるため、スロッシング圧力は支配的とはならない。

1.3.3 評価すべき構造部材

本規定は、スロッシングに対する評価を行うべき構造部材を規定している。スロッシングによる荷重影響は局部的であると考えられるため、スロッシングに対する評価は、例えば水密境界上の板及び防撓材、ウェブ板並びに主要支持部材のウェブ防撓材／トリッピングブラケットといった局部支持部材のみに対して実施する必要がある。

スロッシング圧力は実際の貨物高さ付近で最も大きくなり、隔壁全体に同時に作用することはない。従って、スロッシング荷重に基づいた主要支持部材のせん断及び曲げ強度の評価を行う必要はない。

1.3.4 縦方向の液体運動による設計スロッシング圧力の適用

縦方向の液体運動によるスロッシング圧力 $P_{slh-lng}$ は、横隔壁のみでなく、例えば甲板、縦通隔壁、ストリングといった横隔壁に付くパネルにも作用する。これは、液体の圧力は全方向に作用することから、液体が横隔壁に衝突した際に生じる圧力が付近の部材表面にも作用するためである。この影響の範囲は、隔壁から $0.25l_{slh}$ の位置と隔壁に隣接する最初の横桁のうち、いずれか近い方までに限定される。

縦方向の液体運動によるスロッシングに対する評価は、横隔壁から近い箇所（ $0.25l_{slh}$ 以内）の内部横桁部材のウェブ及び防撓材に対して実施する必要がある。本評価は、横桁の強度が、液体が横隔壁に当たることによって生じる圧力に対して十分な強度となるよう規定している。

1.3.5 横方向の液体運動による設計スロッシング圧力の適用

横方向の液体運動によるスロッシング圧力 P_{slh-r} は、縦通隔壁のみでなく、例えば甲板、横隔壁、ガーダ／横桁／ストリングといった縦通隔壁に付くパネルにも作用する。これは、液体の圧力は全方向に作用することから、液体が縦通隔壁に当たることによって生じる圧力が付近の部材表面にも作用するためである。この影響の範囲は、隔壁から $0.25b_{slh}$ の位置と隔壁に隣接する最初の縦通ウェブフレーム／ガーダのうち、いずれか近い方までに限定される。

横方向の液体運動によるスロッシングに対する評価は、縦通隔壁から近い箇所（ $0.25b_{slh}$ 以内）の内部縦通部材のウェブ及び防撓材に対して実施する必要がある。

1.3.6 横方向及び縦方向の流体運動の組合せ

縦方向及び横方向の流体運動によるスロッシング圧力は、片方が最大のときはもう片方が0となる（その反対も同様）という意味において、それぞれ独立していると仮定する。

縦方向及び横方向のスロッシング圧力を受ける範囲の構造要素については、両方を足し合わせた圧力ではなく、各方向の最大スロッシング圧力に基づいてそれぞれ評価しなければならない。

1.3.7 追加のスロッシング衝撃評価

有効幅及び有効長さがそれぞれ $0.56B$ 及び $0.13L_{CSR}$ より小さいタンクにあつては、液体と部材の表面が高速で衝突することによる衝撃圧力は支配的でないと考えられるため、衝撃圧力を計算する必要はない。より長いタンクにあつては、そのような衝撃圧力が寸法に対して支配的となる可能性があることから、各船級規則に基づいた評価を実施することが求められる。

2. 部材寸法要件

2.1 板部材

2.1.1 ネット板厚

本規則におけるスロッシング圧力は、「通常の」又は「典型的な」荷重レベル(例えば1日のうちの最大)に対応する。スロッシング荷重に対する構造評価は規則表1の通りAC-Sとして取り扱う。

CSR-OT (July 2010) から取り入れたスロッシング荷重は 10^{-4} の確率レベルに対応しており、動的荷重に適用される許容基準AC-SDに対応する 10^{-8} の確率レベルではない。本規則のスロッシング荷重は1日のうちの最大としており、頻繁に生じる荷重として取り扱う。以上より、頻繁に生じる荷重に対応する許容基準AC-Sの方がAC-SDよりも適切である。

CSR-OT (July 2010) のスロッシング評価における許容応力は降伏応力のおよそ0.67倍であり、本規則と同様である。スロッシングに対する構造評価は、スロッシング圧力によって生じる応力及び静的ハルガーダ荷重によって生じる応力の組合せに基づいて行う。

自由表面の直上及び直下ではスロッシング圧力のみが支配的であることから、スロッシング圧力とタンク内の静圧及び慣性力による圧力は同時に考慮しない。また、静圧及び慣性力による圧力は液体が境界と常に接している状態を指す一方、スロッシングは液体が壁面と衝突することで生じる影響のことを指す。

最大スロッシング圧力はハルガーダ変動応力(波浪中のハルガーダ曲げ)が小さくなる不規則な海象で生じるが、最大ハルガーダ変動応力は規則的な長波長の海象で生じる。スロッシング圧力が最大になるときはハルガーダ変動応力が小さくなると考えられるため、ハルガーダ変動応力とスロッシング圧力は同時に考慮しない。

本規則のスロッシング評価は、弾性設計及び強度モデルに基づいている。一般に、大きなタンクのように

液体が高速でスロッシングする場合の衝撃に対する評価を行う場合、塑性設計基準が用いられる。スロッシング長さ及び幅が限定されたタンクを持つ標準的な設計の油タンカーではそのような現象は支配的でないため、一般に、タンク内での液体運動を表す準静的荷重を用いて評価される。本規則で要求するスロッシング評価も同様に弾性設計基準に基づいた準静的アプローチとしている。また、大きなタンクにおいて高速でスロッシングする場合の衝撃による荷重の評価については各船級規則によるが、一般的に、塑性強度に基づいた局所的な荷重及び許容基準が用いられる。

2.2 防撓材

2.2.1 ネット断面係数

スロッシングによる防撓材のせん断に関する要件は、防撓材の寸法に対して支配的でないため、本規則には規定していない。その他の規定については、2.1.1を参照のこと。

2.3 主要支持部材

2.3.1 ウェブ

スロッシングは局所的な現象であることから、主要支持部材の局部要素に対してのみスロッシングの評価を行う。言い換えれば、防撓材間のウェブ板、ウェブ防撓材、及びウェブを支持するトリッピングブラケットに対してはスロッシング圧力が荷重範囲(スパン×荷重幅)のすべて又は一部にかかると仮定した曲げ及びせん断の評価を行うが、主要支持部材を単一構成要素として考慮した評価は行わない。その他の内容については2.1.1を参照のこと。

2.3.2 ウェブ防撓材

2.3.1によること。

2.3.3 主要支持部材を支持するトリッピングブラケット

2.3.1によること。

11章 船楼, 甲板室及び艙装品

1節 船楼, 甲板室及び昇降口室

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.1.2

船体の中央部に位置し、長さが $0.15L_{CSR}$ より大きい船楼で、ハルガーダ荷重の影響を受けるものについては、今日まれな設計であることから、船級が個別に対応することとし、規則では考慮しない。

1.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.2 適用

1.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2. 構造配置

2.1 構造の連続性

2.1.1 甲板室の隔壁及び側壁

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

2.1.2 甲板室の隅部

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

2.2 端部の固着

2.2.1 甲板防撓材

本規定は、CSR-BC (July 2010) に基づく。

2.2.2 甲板縦桁及び甲板横桁

本規定は、CSR-BC (July 2010) に基づく。

2.2.3 船楼肋骨の端部の固着

本規定は、CSR-BC (July 2010) に基づく。

2.3 隔壁の局部補強

2.3.1

本規定は、CSR-BC (July 2010) に基づく。

3. 部材寸法

3.1 船楼の側壁及び甲板

3.1.1 暴露部の側壁及び暴露甲板

主甲板と船楼／船首楼甲板の間の船側構造は主甲板より下に位置する船側外板と同様に扱わなければならない。ただし、舷側厚板及び梁上側板に関する規定は適用しない。

3.1.2 非暴露部の甲板

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

3.2 甲板室

3.2.1 板部材

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

木製の被覆材を甲板上面の水密な保護コンパウンドの直上に設置し、効果的な追加の腐食保護とする場合、要求グロス板厚を $1.5mm$ 減じて差し支えない。ただし、最低板厚を $5mm$ とする。

3.2.2 非暴露部の甲板

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

3.2.3 梁及び防撓材

本規定は、CSR-BC (July 2010) に基づく。

3.2.4 縦桁及び横桁

本規定は、CSR-BC (July 2010) に基づく。

3.2.5 縦桁及び横桁の格子解析による代替配置

本規定はCSR-OT (July 2010) に基づき、格子解析等の解析による代替手法の許可及びそれらの定義を含んでいる。許容応力レベルはCSR-BC (July 2010) に基づいており、本規定の基礎となっている。

3.3 甲板室の周壁及び船楼端隔壁

3.3.1 適用

本節の要件は船楼端隔壁及び甲板室の周壁に適用され、国際満載喫水線条約（その後の改正を含む。）で要求される開口及び居住区だけを保護する。

3.3.2 板厚

本規定は、CSR-BC (July 2010) 及び国際満載喫水線条約（その後の改正を含む。）に基づく。

3.3.3 防撓材

3.3.2によること。

3.4 昇降口室

3.4.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2節 ブルワーク及びガードレール

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定は国際満載喫水線条約（その後の改正を含む。）第25規則及び第26規則に基づく。また、第一層の甲板室と船楼端の境界にガードレールを要求する規定は、IACS統一解釈LL14 (Rev.1, July 2008) に基づく。第一層の甲板室に関し、LR規則 (January 2013) Pt 3, Ch 8, 5.11中のブルワークを設けるか否かの選択肢は、IACS統一解釈LL14 (Rev.1, July 2008) に置き換えられたと考えられる。

1.2 最小高さ

1.2.1

ブルワーク及びガードレールの高さは甲板上面か

ら1.0m以上とし、要件に従った構造としなければならない。「甲板の上面から」との文言は、国際満載喫水線条約(その後の改正を含む。)の意図(乗組員の保護)をより正確に反映したCSR-OT (July 2010) 及びLR規則 (January 2013), Pt 3, Ch 8, 5.11に基づく。

2. ブルワーク

2.1 一般

2.1.1

本規定は船体中央部及び船尾端のブルワークにおける一般規定である。船首端のブルワークは一般的には規則要件よりも上回る設計となる。

2.1.2

本規定はCSR-OT (July 2010) に基づく。また、船級規則にも同様の規定が見られる。

2.1.3

開口部及び艀装部と隣接したブルワークに対する甲板下の支持及び補強 - 本規定はCSR-OT (July 2010) 及びLR規則 (January 2013), Pt 3, Ch 8, 5.2に基づく。

2.1.4

本規定はCSR-BC (July 2010) 及びBV規則 (January 2013) Ch 10, Sec 2, 2.2.5に基づく。

2.1.5

本規定はCSR-BC (July 2010) 及びBV規則 (January 2013) Ch 10, Sec 2, 2.2.5に基づく。

2.1.6

本規定はCSR-BC (July 2010) 及びBV規則 (January 2013) Ch 10, Sec 2, 2.2.6に基づく。

2.1.7

本規定はCSR-OT (July 2010) 及びLR規則 (January 2013) Pt 3, Ch 8, 5.2.1に基づく。

2.2 ブルワークの構造

2.2.1 板部材

最小板厚の要件は、CSR-OT (July 2010) 及びDNV規則 (January 2013) Pt 3, Ch 1, Sec 10, D301に基づく。ただし、最小板厚について、DNV規則における6.0mmに代わり、ABS規則より6.5mmを使用した。

2.2.2 ステイ

甲板上における断面係数 - 本規定はCSR-OT (July 2010) に基づく。本規定はLR規則 (January 2013) Pt 3, Ch 8, 5.2.3の要件自体を変更することなく、若干修正したものである。

2.2.3

本規定はCSR-OT (July 2010) 及びLR規則 (January 2013) Pt 3, Ch 8, 5.2.1に基づく。

2.2.4

本規定はCSR-BC (July 2010) 及びBV規則 (January 2013) 10章2節2.2.3に基づく。

3. ガードレール

3.1 一般

3.1.1

本規定は国際満載喫水線条約第26規則(7)(その後の改正を含む。)並びにCSR-OT (July 2010) 及びLR規則 (January 2013) Pt 3, Ch 8, 5.3.20に基づく。

3.1.2

本規定は国際満載喫水線条約第26規則(6)(その後の改正を含む。)並びにCSR-OT (July 2010) 及びLR規則 (January 2013) Pt 3, Ch 8, 5.3.19に基づく。

3.2 ガードレールの構造

3.2.1

本規定は国際満載喫水線条約第25規則(3)(その後の改正を含む。)及びIACS統一解釈LL47 (Rev.3, July 2008) に基づく。

3.2.2

間隙の大きさ - 本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。本規定は、国際満載喫水線条約第25規則(3)(船員の保護に関する修正を含む。)について、横棒の中心間の距離ではなく、クリアランスについて規定していると考え、その意図に基づくもの。このことは、条約中に最下位の横棒の下の「間隙」と明示されていることから明らかであり、表題は上記の意図を強調したものである。

3.2.3

本規定はCSR-BC (July 2010) 及びBV規則 (January 2013) Ch 10, Sec 2, 3.1.5に基づく。

3.2.4

本規定はCSR-BC (July 2010) 及びBV規則 (January 2013) Ch 10, Sec 2, 3.1.6に基づく。

3節 艀装

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定はIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.1.1に基づく。

1.1.2

本規定はIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.1.2及びA1.1.3に基づく。

1.1.3

本規定はIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.1.4及びA1.1.5に基づく。

2. 艀装数計算

2.1 要件

2.1.1

本規定はIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.2に基づく。

- 2.1.2
本規定はCSR-BC (July 2010) 及びRINA 規則 (January 2013) Pt B, Ch 10, Sec 4, 2.1.1 に基づく。
- 3. 揚錨設備**
- 3.1 一般**
- 3.1.1 一般
2基のアンカーを準備し、3基目のアンカーを予備として備える場合 - 本規定はIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.4.2 に基づく。
- 3.1.2 設計
本規定はCSR-OT (July 2010), LR 規則 (January 2013) Pt 3, Ch 13, 7.2 及びIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.4.3.1 に基づく。
- 3.1.3 試験
本規定はCSR-OT (July 2010) に基づく。また、船級規則にも同様の規定が見られる。
- 3.2 通常のアンカー**
- 3.2.1 アンカーの質量
アンカーの質量はIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.4.1 及び表1 に基づく。
- 3.3 高把駐力アンカー及び超高把駐力アンカー**
- 3.3.1 一般
本規定はIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.4.1.2 に基づく。超高把駐力アンカーの質量は最大1,500kg に制限されているため、IACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.4.1.3 は取り入れていない。
- 3.3.2 高把駐力アンカー及び超高把駐力アンカーの質量
本規定はIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.4.1 に基づく。
- 3.3.3 適用
本規定はIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.4.1.2 に基づく。
- 3.3.4 試験
本規定はIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.4.3 に基づく。
- 3.4 アンカーチェーン**
- 3.4.1 一般
本規定はCSR-BC (July 2010), RINA 規則 (January 2013) Pt B, Ch 10, Sec 4, 3.3 及びIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.5 に基づく。
- 3.4.2 適用
本規定はCSR-OT (July 2010), ABS 規則 (January 2013) Pt 3, Ch 5, Sec 1.1, LR 規則 (January 2013) Pt 3, Ch 13, 7.4.5 及び表1並びにIACS統一規則 (Rev.5, June 2005) A1.2 に基づく。
- 3.5 チェーンロッカ**
- 3.5.1 一般
本規定はCSR-OT (July 2010), DNV 規則 (January 2013) Pt 3, Ch 3, Sec 3, B104 及びLR 規則 (January 2013) Pt 3, Ch 13, 7.8.4 及び7.8.5 に基づく。チェーンロッカの容量について、「十分な」との表現はあいまいではあるが、規則本文において一貫しており、現在のところ、このままとする。
- 3.5.2 適用
本規定はCSR-OT (July 2010) に基づく。IACS 勧告 No.10 (Rev.2, June 2005) 1.2.2(a) より、破断強度は15% 以上30% 以下とした。
- 3.6 チェーンストッパ**
- 3.6.1 一般
本規定はCSR-OT (July 2010), ABS 規則 (January 2013) Pt 3, Ch 5, 1.1 節及びLR 規則 (January 2013) Pt 3, Ch 13, 7.8.2 に基づく。
- 3.6.2 適用
本規定はCSR-OT (July 2010) 及びLR 規則 (January 2013) Pt 3, Ch 13, 7.8.2 に基づく。
- 3.7 ウインドラス**
- 3.7.1 一般
本規定はCSR-OT (July 2010), LR 規則 (January 2013) Pt 3, Ch 13, Sec 7, 7.6, ABS 規則 (January 2013) Pt 4, Ch 5, Sec 1, DNV 規則 Pt 3, Ch 3, Sec 3F 及びIACS統一規則 S27 (Rev.5, May 2010) に基づく。
- 3.7.2 適用
本規定はCSR-OT (July 2010) に基づく。また、船級規則にも同様の規定が見られる。
- 3.7.3 ウインドラス試験
本規定はCSR-OT (July 2010) に基づく。また、船級規則にも同様の規定が見られる。
- 3.8 ホースパイプ**
- 3.8.1 一般
本規定はCSR-OT (July 2010) 及びCSR-BC (July 2010) に基づく。また、船級規則にも同様の規定が見られる。
- 3.8.2 適用
本規定はCSR-OT (July 2010) に基づく。また、船級規則にも同様の規定が見られる。
- 3.8.3 アンカーの格納及び配置
本規定はCSR-OT (July 2010) に基づく。また、船級規則にも同様の規定が見られる。

4節 甲板機器及び艀装品の支持構造

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本節では、船舶設計において通常備えられる最も共通かつ重要な甲板艀装品を対象としている。

1.1.2

寸法要件については、簡便で工学的な解析による強度評価に基づいて定められている。

1.2 提出書類

1.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2. ウインドラス及びチェーンストッパ

2.1 一般

2.1.1

本規定は、現状のプラクティス及びIACS統一規則S27 (Rev.5, May 2010) に基づく。

2.1.2

本規定は、現状のプラクティス及びIACS統一規則S27 (Rev.5, May 2010) に基づく。

2.1.3

アンカー操作による設計荷重は、CSR-OT (July 2010) に基づいている。なお、同様の要件が通常の船級規則に規定されている。

2.1.4

本規定は、現状のプラクティス及びIACS統一規則S27 (Rev.5, May 2010) に基づく。

2.1.5

アンカー操作による設計荷重は、CSR-OT (July 2010) に基づく。なお、同様の要件が通常の船級規則に規定されている。

2.1.6

船首部 $0.25L_{CSR}$ の範囲における青波による荷重については、IACS統一規則S27 (Rev.5, May 2010) に基づく。

2.1.7

設計青波荷重によるボルトに働く合力の計算は、IACS統一規則S27 (Rev.5, May 2010) に基づく。ボルトの寸法決定において、考慮している荷重を青波のみとしているのは、IACS統一規則S27 (Rev.5, May 2010) に従っている。

2.1.8

支持構造に働く力は、船級規則のプラクティスに基づく。

2.1.9

IACS統一規則S27 (Rev.5, May 2010) を参照のこと。

2.1.10

支持構造に働く力は、船級規則のプラクティスに

基づく。

2.1.11

支持構造に働く力は、船級規則のプラクティスに基づく。

2.1.12

設計荷重(アンカー操作)に対する許容応力-設計荷重(アンカー操作)に対する許容応力は、極限荷重に対するものであり、MSC Circ.1175(その後の改正を含む。)に基づく。

2.1.13

設計青波荷重に対する許容応力-ボルトの許容応力は、IACS統一規則S27 (Rev.5, May 2010) 5.2に基づく。IACS統一規則S27 (Rev.5, May 2010) に基づいて、ボルトの耐力に対する安全率は、2.0より小さいものとしようにしている。規則では、ボルトの耐力の50%としている一方、軸力に対しては、ボルトの材料の降伏強度の50%としている。

2.1.14

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

2.1.15

2.1.12を参照のこと。

3. ムアリングウインチ

3.1 一般

3.1.1

本規定は、ムアリングウインチの荷重を考慮して修正した船級協会のプラクティス及びIACS統一規則S27 (Rev.5, May 2010) に基づく。

3.1.2 台座

3.1.1によること。

3.1.3 定格引張力

3.1.1によること。

3.1.4 保持荷重

3.1.1によること。

3.1.5 支持構造

本規定は、IACS統一規則S27 (Rev.5, May 2010) に基づいているが、ウインドラスの支持構造に対する船級協会の共通基準に基づいて修正されている。

3.1.6 腐食モデル

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えらる。

3.1.7

設計荷重(ムアリング操作)-設計荷重はムアリングウインチの最大定格荷重に基づく。ウインチにブレーキをかけた状態の設計荷重は、アンカーウインドラスに対する要件と同様に、ウインチブレーキは索の破断強度より強く設計されているとの仮定に基づいている。

本規定では、OCIMFのガイダンスにおいて、ブレー

キは索の破断荷重の60～80%に設定することが推奨されていることを考慮して、保持荷重の100%としている。係船索の破断強度の125%の荷重については、MSC Circ.1175（その後の改正を含む。）に基づく。

3.1.8

ウインドラスの据付けボルトに関するIACS統一規則S27 (Rev.5, May 2010)の要件は、船首部 $0.25L_{CSR}$ の範囲におけるムアリングウインチに適用することとしている。これは、IACS統一規則S27 (Rev.5, 2010年5月)の環境荷重が船首部のみに適用されることによる。

3.1.9

3.1.7によること。

4. クレーン、デリック及びリフティングマスト及び救命設備

4.1 一般

4.1.1

本規定では、船体構造に関する要件のみ規定しており、揚貨装置に関する要件は規定していない。強度要件の適用については、CSR-OT (July 2010)及びDNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 3, Sec 5, A100に基づく。

4.1.2

本規定は、タンカー及びばら積貨物船に一般的に備えられる甲板機器のサイズ及び形状に基づく。この理由により、本規定は他の船種へ適用するには適していない。

4.1.3

本規定は、CSR-OT (July 2010)に基づいており、同様の要件が、船級規則にも規定されている。ただし、クレーンポストや脚部に関する取り扱いは各船級において異なることから、本要件では、甲板への固着部及び支持構造に限っている。

4.1.4 安全使用荷重の定義

安全使用荷重の定義は、船級協会のプラクティスに基づく。

4.1.5 自重

自重の定義は、CSR-OT (July 2010)に基づいており、本定義は船級協会のプラクティスと一致しているものとする。

4.1.6 転倒モーメント

転倒モーメントの定義は、船級協会のプラクティスに基づく。

4.1.7

本規定は、CSR-OT (July 2010)に基づく。同様の定義が、船級規則にも規定されている。

4.1.8

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

4.1.9

デリックマスト及びデリックポスト-本要件は、現状用いられている（承認されている。）タンカーの揚貨装置に共通している。

クレーン装置の脚部が甲板において連続しない場合の溶接及びクレーンの脚部周辺の大きな荷重が作用する甲板下構造の溶接は、4.1.15の要件を満足する完全溶け込み溶接が求められる。本規定は、CSR-OT (July 2010)に基づく。

4.1.10

本規定は、CSR-OT (July 2010)に基づいており、同様の要件が船級規則にも規定されている。

4.1.11

本規定は、CSR-OT (July 2010)に基づいており、同様の要件が船級規則にも規定されている。

4.1.12

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

4.1.13

本規定は、CSR-OT (July 2010)及びDNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 3, Sec 5, A500に基づく。

4.1.14

本規定は、CSR-OT (July 2010)及びDNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 3, Sec 5, A500並びにLSA (International Life-Saving Appliances)コードVI章6.1.1.5に基づく。

4.1.15

本規定は、CSR-OT (July 2010)及びDNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 3, Sec 5, A600並びにLSA (International Life-Saving Appliances)コードVI章6.1.1.6に基づく。

構造部材及び進水装置と共に使用するすべての滑車、つり索、アイ・プレート、リンク、締め具その他のすべての取り付け物は、最大使用荷重及び使用材料の引張強さに基づく安全係数を考慮して設計しなければならない。すべての構造部材に適用する安全係数は4.5とし、また、つり索、つり鎖、リンク及び滑車に適用する最小安全係数は6でなければならない。

最大許容応力を $0.67R_{eH}$ 、最大許容せん断応力を $0.39R_{eH}$ とし、安全使用荷重に対する安全率を2.2とすると、降伏応力及び引張応力の関係を考慮して4.5以上の安全率を確保していることになる。

5. ボラードとビット、フェアリード、スタンダードローラ、チョック及びキャプスタン

5.1 一般

5.1.1

本規定は、MSC Circ.1175（その後の改正を含む。）

において対象とされている甲板機器周辺の支持構造に関する要件を規定している。

5.1.2

本規定は、CSR-OT (July 2010) における基本的な強度及び構造の連続性に関する要件に基づく。

5.1.3

本規定は、CSR-OT (July 2010) における基本的な強度及び構造の連続性に関する要件に基づく。

5.1.4

本規定は、CSR-OT (July 2010) における基本的な強度及び構造の連続性に関する要件に基づく。

5.1.5

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

5.1.6

設計荷重は、MSC Circ.1175 (その後の改正を含む。)に規定されている安全使用荷重としている。

5.1.7

5.1.6を参照のこと。

5.1.8

作用点に働く荷重は、MSC Circ.1175 (その後の改正を含む。)に基づく。

5.1.9

支持構造の許容応力は、MSC Circ.1175 (その後の改正を含む。)に基づく。

5.1.10

5.1.6を参照のこと。

5.1.11

5.1.6を参照のこと。

6. その他の艀装品

6.1 支持材及び付属物

6.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

6.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

5節 小倉口

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

CSR船における倉口は、ばら積貨物船における貨物用倉口又は小倉口に分類される。1編11章においてのみ小倉口に対する詳細な要件が規定されており、その他の倉口については2編1章5節を参照することとなっている。

1.2 材料

1.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.3 ハッチコーミングの高さ

1.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.3.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.4 小倉口

1.4.1

小倉口の定義は、IACS統一規則S26 (Rev.4, May 2010)に基づく。

1.4.2

これらの要件は、CSR-BC (July 2010) 及びBV規則 (January 2013)に基づく。

1.4.3

これらの要件は、CSR-BC (July 2010) 及びBV規則 (January 2013)に基づく。

1.4.4

本規定は、CSR-BC (July 2010) に基づいており、国際満載喫水線条約 (以後の改正を含む。) (IMO決議MSC.143(77), 第16規則) における最小ネット板厚要件に基づく。ハッチカバーの頂部を形成する板のネット板厚 (mm) は、以下の板厚より大きくしてはならない。

- $t = 10s$

- $t = 6$

この要件を11章に規定しているグロス寸法の要件とした際に腐食予備厚として $2.0mm$ を考慮しており、 $600mm$ 以下のスペースの場合、板厚は $8.0mm$ となる。

1.4.5

本規定は、CSR-BC (July 2010) 及びBV規則 (January 2013)に基づく。

1.5 貨物タンクの倉口

1.5.1

1.5.1から1.5.4の規定は、CSR-OT (July 2010) 及びLR規則 (January 2013) に基づいている。大きな面積のカバー及び十分に丸みを帯びた形状を持つカバーに関する要件は、現行のプラクティスに基づいており、業界からのコメントによって加えられた。

1.5.2

1.5.1によること。

- 1.5.3
1.5.1によること。
- 1.5.4
1.5.1によること。
- 1.6 ガスケット**
- 1.6.1
本規定は, CSR-BC (July 2010) 及びBV規則 (January 2013) に基づく。
- 1.6.2
本規定は, CSR-BC (July 2010) 及びBV規則 (January 2013) に基づく。
- 2. 暴露甲板前方部分の小倉口**
- 2.1 一般**
- 2.1.1
2の要件は, 技術的にIACS統一規則S26 (Rev.4, May 2010) 並びにCSR-BC及びCSR-OT (July 2010) と同じ要件となっている。
- 2.1.2
2.1.1によること。
- 2.1.3
2.1.1によること。
- 2.2 強度**
- 2.2.1
2.1.1によること。
- 2.2.2
2.1.1によること。
- 2.2.3
2.1.1によること。
- 2.2.4
2.1.1によること。
- 2.3 主締付装置**
- 2.3.1
2.1.1によること。
- 2.4 主締付装置の要件**
- 2.4.1
2.1.1によること。
- 2.4.2
2.1.1によること。
- 2.4.3
2.1.1によること。
- 2.4.4
2.1.1によること。
- 2.4.5
2.1.1によること。
- 2.5 補助締付装置**
- 2.5.1
2.1.1によること。

12章 建造

1節 建造及び組立て

1. 一般

1.1 工事

1.1.1

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/4.1.1 (ABS規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 2, 9に基づく。)に基づいている。また、欠陥部の補修に関する要件については、LR規則 (January 2013), Pt 3, Ch1, 8.2.1に基づいている。

1.2 組立基準

1.2.1

本規定は、IACS勧告No.47 (Rev.5, October 2010)「建造及び補修に関する品質基準」を許容組立基準の基本要件として含めている。しかしながら、その他にも広く認知されかつ十分な実績を有する組立基準は存在しており、本規則ではそれら認知された組立基準についても適用することが可能としている。

1.2.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.3

組立基準に含まれる項目については、IACS勧告No.47 (Rev.5, October 2010) の内容に基づいている。

2. 板の切出し及び端部処理

2.1 一般

2.1.1

本規定は、板の切出し及び端部処理に関する一般的な対策である。

2.1.2

ハッチコーナ部の疲労強度は、規則9章7節に従い検討される。応力集中係数は、端部処理及びハッチコーナの形状に依存する。機械切断でないハッチコーナの応力集中係数は過大となり疲労評価を満足しないため、機械切断でないハッチコーナは認められない。本取り扱いは、造船所のプラクティスに基づいている。

3. 冷間加工

3.1 特殊構造部材

3.1.1

特殊な構造部材に対する冷間加工の規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/4.2.1 (ABS規則 (January 2013), Pt 2, Ch 4, Sec1, 3.13をLR及びDNVのプラクティスに沿うように若干の修正を加えたものに基づく。)による。本規則では、最小半径を板厚の10倍としている。これは、約5%の冷間変形に対応するものであり、DNV規則における海洋構造物に対する許容

値に基づいている。

より小さな半径を用いる場合の追加要件については、CSR-OT (July 2010), Sec 6/4.2.3 ((原則として、DNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C1102に基づく。)に基づいている。ステンレス鋼に関する許容値については本規則では取り扱わず、各船級の判断による。

3.2 波形隔壁及びホッパナックル部

3.2.1

波形隔壁及びホッパナックル部に対する冷間加工の規定は、CSR-OT Sec 6/4.2.2 (DNV規則 January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C1100に基づく。)に基づいている。より小さな半径を用いる場合の追加要件は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/4.2.3 (原則として、DNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C1102に基づく。)に基づいている。ステンレス鋼に関する許容値については本規則では取り扱わず、各船級の判断による。

3.3 曲げ半径を減じる場合

3.3.1

その他の部材に対する冷間加工に関する規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/4.2.3 (DNV規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, Sec 3, C1002に基づく。)に基づいている。許容値に関しては、LR及びABSの見解を参考に若干の修正を加えている。

4. 熱間加工

4.1 温度要件

4.1.1

熱間加工の基本的な要件は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/4.3.1 (ABS規則 (January 2013), Pt 2, Ch 4, Sec 1, 3.13及びLR規則 (January 2013), Pt 3, Ch 1, 8.2.1に基づく。)に基づいている。

4.1.2

TMCP鋼に関する規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/4.3.1 (ABS規則 (January 2013), Pt 2, Ch 4, Sec1, 1.9に基づく。)に基づいている。

4.2 線状加熱法又は点焼き法

4.2.1

線状加熱法及び点焼き法の規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/4.3.2 (LR規則 (January 2013), Pt 3, Ch 10, 2.12.17に基づく。)に基づいている。

5. 組立て及び精度

5.1 一般

5.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

5.1.2

一般的な溶接継手部の許容誤差については、IACS勧告No.47 (Rev.5, October 2010) としているが、本

勧告は強制要件ではない。JSQS等の信頼できる基準については承認されるべきであるとの業界からの意見を反映して、本件については、規則中で船級協会が適当と認めた場合には認める場合があると規定されている。

2節 溶接工事

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.2 溶接施工方法に関する適用の範囲

1.2.1 溶接の種類、寸法及び材料

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.2.2 準備、溶接及び検査

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2. 溶接施工方法、溶接材料及び溶接士

2.1 一般

2.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3. 溶接継手

3.1 一般

3.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.1.4

計算目的のために溶接のギャップは2.0mmとする。
(規則12章3節参照)

3.1.5

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.1.6

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.1.7

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.1.8

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.1.9 溶接交差部

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.1.10 水切り

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

4. 非破壊試験

4.1 一般

4.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

4.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3節 溶接継手の設計

1. 一般

本節に規定する溶接に関する要件は、主としてCSR-OT及びCSR-BC (July 2010) の要件に基づく。なお、CSR-OT及びCSR-BCに規定される溶接に関する要件及び手順については、CSR制定時に各船級協会のプラクティスに基づき取り込んだものである。

各船級協会において、溶接寸法を決定するための手順や規則は、十分な適用例と就航船による実績に基づき十分な信頼性を有している。本規則においては、CSR-OT及びCSR-BCに規定される要件のうち、最も適切なものを採用している。

1.1 適用

1.1.1

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/4.4.2.1に基づいている。

1.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.2 代替要件

1.2.1

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.11に基づいている。

2. T字継手及び十字継手

2.1 適用

2.1.1

一般的なT字継手及び十字継手について、代表的な

図を示している。

2.1.2

高応力箇所については、高品質の溶接が要求される。

2.2 連続すみ肉溶接

2.2.1

連続すみ肉溶接とする箇所の一覧は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.3.2 及び Table 6.5.1, CSR-BC (July 2010) Ch 11, Sec 2, Table 2 並びにその他両CSRに規定される関連規定に基づいている。

2.3 断続すみ肉溶接

2.3.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.3.2

本規定は、主にCSR-OT (July 2010), Sec 6/5.3.3.2 の規定を基に、造船所の一般的なプラクティスに基づいて修正を加えている。

2.3.3 甲板室

甲板室において、有意な荷重が作用しない場合には寸法を落とした断続隅肉溶接を適用することができる。

2.3.4 片面連続溶接の寸法

断続すみ肉溶接に基づいている。

2.4 部分溶込み溶接及び完全溶込み溶接

2.4.1 高応力域の定義

高応力域においては、高位の溶接が要求される。ここでは、部分溶込み溶接の定義が示されている。

2.4.3 片面部分溶込み溶接

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.4.4 完全溶込み溶接又は部分溶込み溶接の範囲

完全溶込み溶接又は部分溶込み溶接の一般的な適用範囲については、各船級協会の要件、図面承認手順及び造船所のプラクティスに基づき定めている。

2.4.5 完全溶込み溶接が要求される場所

重要箇所の一覧は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.3.4.3, CSR-BC (July 2010), Ch 11, Sec 2, 2.4.1 及びその他CSRに規定される関連要件に基づき定めている。また、要件の規定にあたっては、IACS発行の図書(ばら積貨物船の補修ガイドライン)の情報、各

船級、造船所及び業界からの情報等についても参考にしていく。

2.4.6 完全溶込み溶接又は部分溶込み溶接が要求される箇所

2.4.4によること。

2.4.7 詳細メッシュ要素解析

詳細メッシュ要素解析を実施する箇所には、少なくとも部分溶込み溶接を適用する必要がある旨の明確な基準を規定するべきとの業界からの強い要望に対応している。

2.4.8 シェダープレート

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 11, Sec 2, 2.4.2 に基づいている。

2.5 溶接寸法の基準

2.5.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.5.2

隅肉溶接の寸法は、取り付けられる板の建造板厚に基づく。建造板厚は当該部材のネット板厚に腐食予備厚及び船主による追加の予備厚を加えたものである。従って、溶接部の強度はネット寸法及び建造寸法(腐食予備厚に基づく調整が考慮される。)の両方で評価されることとなる。

溶接寸法を決定する算式は、CSR-OT (July 2010) の規定と概ね同様である。溶接係数の値については、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.7.1.2 及び Table 6.5.1 並びに CSR-BC (July 2010), Ch 11, Sec 2, 2.6.1, Ch 11, Sec 2, Table 1 及び Table 2 にそれぞれ規定される同様の構造に対する溶接寸法を比較して調整することによって、溶接係数の本規則に対する影響を最小化したものとなっている。

算式の中では腐食予備厚に応じた調整が考慮されている。CSR-BCには腐食予備厚に基づく調整方法が明示されている。表1に、腐食予備厚に基づく調整代を示す。太字で示す数字は、CSR-BCにおける腐食予備厚に基づく調整代を満足していることを示し、イタリックで示す数字は、CSR-BCにおける腐食予備厚に基づく調整代を満足していないことを示している。ただし、その差については無視できるほど小さい。

表1 腐食予備厚に基づく調整代及びCSR-BCにおける腐食予備厚に基づく調整代との比較

f_{weld}	t_c, mm								
	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
0.20	0.36	0.43	0.50	0.57	0.64	0.71	0.78/1.0	0.85/1.0	0.92/1.0
0.24	0.43	0.51	0.60	0.68	0.77	0.85	0.94/1.0	1.02	1.11
0.30	0.53	0.64	0.75	0.85	0.96	1.07	1.17	1.28	1.38
0.38	0.67	0.81	0.94	1.08	1.21	1.35	1.48	1.62	1.75
0.48	0.85	1.02	1.19	1.36	1.53	1.70	1.87	2.04	2.22
0.51	0.91	1.09	1.27	1.45	1.63	1.81	1.99	2.17	2.35

CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.7.1.2に規定される溶着金属の降伏強度を考慮した修正係数については、業界からの強い要望に応じて適用できることとしている。

最小溶接寸法の要件については、必要との判断から規則に規定している。この規定はCSR-OT (July 2010), Table 6.5.2に基づくが、ばら積貨物船及び油タンカーのいずれにも適用できるように調整を加えている。水及びバラスタタンク並びに清水タンクにおける最小脚長は0.5mm増しとなる。また、溶接ギャップの最大は2mmである。

2.5.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

2.5.4

本規定は、2.5.2に規定されない箇所に適用となる。この考え方はCSR-BC (July 2010), Ch 11, Sec 2, Table 2と概ね同様である。なお、CSR-OT (July 2010), Table 6.5.4の規定は主要支持部材に対して小さな脚長を与えることから適切ではないと判断した。

2.5.5

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.7.1.5に基づいている。

2.5.6

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.7.3.2に基づいている。

2.5.7 主要支持部材の端部接合部におけるせん断面積

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.7.4.1に基づいているが、規則における主要支持部材のグロス板厚の意味を明確にするための調整が加えられている。

2.5.8 縦通防撓材

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.7.5.1に基づいている。

2.5.9 甲板縦通防撓材

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.7.5.2に基づいている。

2.5.10 ブラケットにより連続性が保たれる縦強度部材

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.7.5.4に基づいている。

2.5.11 ブラケットなしの防撓材

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.7.5.6に基づいている。

2.5.12 溶接寸法の軽減

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.9.3.1に基づいている。なお、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.9.3.1は、CSR-BC (July 2010), Ch 11, Sec 2, 2.6.4よりも、より詳細に規定されている。

2.5.13 溶接寸法軽減の根拠

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

3. 突合せ継手

3.1 一般

3.1.1

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.2.1.1に基づいている。

3.2 板厚差

3.2.1 テーパー

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 11, Sec 2, 2.2.2及びCSR-OT (July 2010), Sec 6/5.2.2に基づいている。

4. 他の種類の継手

4.1 重ね継手

4.1.1 範囲

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 11, Sec 2, 2.7.1に基づいている。

4.1.2 重なる部分の幅

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.4.1.2に基づいている。

4.1.3 ラグ固着部の重ね合わせ

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.4.1.3に基づいている。

4.1.4 重ね継手の端部

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.4.2.1に基づいている。

4.1.5 シーム重ね継手

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.4.3.1に基づいている。

4.2 スロット溶接

4.2.1

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 11, Sec 2, 2.8.1に基づいている。

4.2.2

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.5.2.1に基づいている。スロット形状及び間隔に関する図と情報については、IACS勧告No.47 (Shipbuilding and Repair Quality Standard)に基づいている。

4.2.3 ふさぎ板

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.5.2.1に基づいている。

4.2.4

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.5.2.2に基づいている。

4.3 スタッド及びジグの溶接

4.3.1

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.6.1.1に基づいている。

5. 結合部の詳細

5.1 ビルジキール

5.1.1

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 11/3.3.4.1に基づいている。ビルジキール取り付けの際の溶接に関する要件は、CSR-OT (July 2010), Sec 11/3.3.4.1及びTable 11.3.1に基づく。図については、CSR-BC (July 2010), Ch 11, Sec 2, 3.1.3及びCSR-OT (July 2010), Sec 11/3.3.4.3に基づいている。

5.1.2

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 11/3.3.4.2に基づいている。

5.1.3

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 11/Sec 2, 3.1.3に基づいている。

5.1.4

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 11/3.3.4.3に基づいている。

5.2 ばら積貨物船の倉内肋骨

5.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

5.2.2

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 11, Sec 2, 2.6.1に基づいている。また、図についてはCSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 6, 8.3.1に基づく。

5.2.3

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 3, Sec 6, 8.5.1及びCh 11, Sec 2, Table 2に基づいている。

5.3 梁柱及びクロスタイの端部結合

5.3.1

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/5.10.1.1に基づいている。梁柱及びクロスタイの溶接寸法の算式は、溶接面積計算(有効のど厚面積×溶接長)に基づく。これらの算式にはCSR-OT (July 2010)/5.7.1.2にも規定されるDNV規則 (January 2010), Pt 3, Ch 1, Sec 12, C303に示される溶着金属の強度に関する余裕分が考慮されている。

5.4 小さい角度で板を取り付ける場合

5.4.1

本規定は、CSR-BC (July 2010), Ch 11, Sec 2, 2.6.3に基づいている。また、75度を超える場合には溶接寸法を増加する必要がないように調整を加えている。

5.4.2

本規定の背景には、角度が極度に小さい場合、当該箇所において良好な塗装を施工することが困難であるとの考えがある。

13章 就航後の船舶, 切替え基準

1節 原則及び検査要件

1. 原則

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.1.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.2 許容衰耗量の概念

1.2.1 許容衰耗量

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.2.2 評価

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.2.3 鋼材の切替え

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.3 書類に関する要求

1.3.1 図面

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.3.2 ハルガーダの断面特性

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2. 船体検査に関する要件

2.1 一般

2.1.1 検査の最低要件

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2節 許容基準

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

1.2 定義

1.2.1 甲板領域

本規定は, IACS統一規則Z10 (July 2011) に基づく。

1.2.2 船底領域

本規定は, IACS統一規則Z10 (July 2011) に基づく。

1.2.3 中性軸領域

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2. 切替基準

2.1 局部腐食

2.1.1 局部構造の切替板厚

本規定は, CSR-BC及びCSR-OT (July 2010) と同じ規定である。

2.1.2 切替範囲

本規定は, CSR-OT (July 2010), Sec 12/1.4.2.5 と同じ規定である。

2.1.3 代替措置

本規定は, CSR-BC (July 2010), Ch 12, Sec 2, 1.2 及びCSR-OT (July 2010), Sec 12/1.2.2.3 と同じ規定である。

2.2 全体的な腐食

2.2.1 適用

船齢が10年を超える船舶の定期検査において船体縦強度を評価するという規定は, 油タンカーのためのIACS統一規則Z10.4 (Rev.10, July 2011) の表IX(v) 及びAnnex III (その後の改正を含む。) に基づく。

本規定はCSR-BCと同じ規定が取り入れられている。本規則において使用している“Special Survey”という用語は, IACS統一規則Z10 (July 2011) に基づいている。しかしながら, いくつかの船級協会では“Renewal Survey”を代わりに使用している。

2.2.2 切替基準

(a) 甲板領域及び船底領域

全体強度評価では, ハルガーダ断面又は領域内のハルガーダフランジを構成する部材の断面積を計算し, ハルガーダ断面係数について, 簡易的ではあるが十分に確かな評価を行うこととする。

断面係数又は甲板領域及び船底領域の断面積の90%とする許容基準は, CSR-BC及び油タンカーのためのIACS統一規則Z10.4 (Rev.10, July 2011) に基づく。2船種の調和作業は, CSR-BC (July 2010) に基づいて行われ, 断面二次モーメント I_y 及び垂直軸に対するハルガーダ断面係数については要求しないこととなった。

(b) 中性軸領域

調和作業が行われたことによって, 中性軸領域

の断面積を計算することにより、検査員がハルガードせん断面積に対する実用的な評価を行うことができるようになった。この領域に対する許容基準は、考慮する中性軸領域におけるすべての板部材について、板厚を $t_{g,off} - 0.5t_c$ として計算した断面積となる。この許容基準は、新造時に実施する有限要素解析及びハルガード算式評価において考慮するものと同様である。規則中、最後から2番目の文章が意味するところ

は、横断面におけるすべての部材について当該部材が位置する領域の基準を個々に満足している場合には、横断面の全体の強度評価はなされているということである。つまり、それぞれの領域における断面積を計算しなくてもよい。評価基準は申請グロス板厚を基準としているため、船主は任意追加板厚を設定したメリットを受けることができる。

2編 船種特有の要件

1章 ばら積貨物船

1節 一般配置要件

1. 船首楼

1.1 一般

1.1.1

本規定は、*IACS*統一規則S28.1 (Rev.3, May 2010)の第1段落並びに*IACS*統一規則S28.2 (Rev.3, May 2010)の第1段落及び第2段落(その後の改正を含む。)に基づく。

1.1.2

本規定は、*IACS*統一規則S28.2 (Rev.3, May 2010)の第3段落に基づく。

1.1.3

本規定は、*IACS*統一規則S28.2 (Rev.3, May 2010)の第4段落に基づく。

1.1.4

本規定は、*IACS*統一規則S28.2 (Rev.3, May 2010)の第5段落に基づく。

2節 構造設計の原則

1. 適用

1.1

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2. 防食措置

2.1 一般

2.1.1 二重船側部の空所

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2.1.2 貨物倉及びバラストホールド

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2.2 二重船側部の空所の保護

2.2.1

乾舷用長さ L_{LL} が150m以上のばら積貨物船における貨物区域内の二重船側部の空所について、有効な防食措置を施さなければならない旨の規定は、*SOLAS*条約第II-1章第3-2規則(その後の改正を含む。)に基づく。

2.3 貨物倉内の保護

2.3.1 塗装

本規定は、*IACS*統一規則Z9 (Corr. 1, 1997)に基づく。

2.3.2 適用

2.3.1によること。

2.3.3 船側構造の塗装範囲

2.3.1によること。

2.3.4 横隔壁の塗装範囲

2.3.1によること。

3. 構造詳細の原則

3.1 二重底構造

3.1.1 適用

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.1.3 ガーダの心距

本規定は、有限要素計算によって評価されない二重底ガーダの心距が過大なものとならないようにするものである。本規定における算式は経験的なものである。

3.1.4 フロアの心距

本規定は、有限要素計算によって評価されない二重底フロアの心距が過大なものとならないようにするものである。本規定における算式は経験的なものである。

3.2 単船側構造

3.2.1 適用

本規定はすべて*IACS*統一規則S12 (Rev.5, May 2010)に基づくものであり、ネット寸法手法を考慮したものである。

3.2.2 一般配置

3.2.1によること。

3.2.3 倉内肋骨

3.2.1によること。

3.2.4 上部及び下部ブラケット

3.2.1によること。

3.2.5 トリップングブラケット

3.2.1によること。

3.2.6 支持構造

3.2.1によること。

3.3 甲板構造

3.3.1 トップサイドタンク内の桁部材

本規定は、有限要素計算によって評価されないトップサイドタンク内の桁部材の心距が過大なものとならないようにするものである。本規定における算式は経験的なものである。

3.3.2 ばら積貨物船の倉口間のクロスデッキ

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.3.3 トップサイドタンク構造

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.3.4 強力甲板の開ロ-ハッチコーナ

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

る。

3.3.5 ワイヤロープに対する保護

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

3節 局部寸法

1. 単船側ばら積貨物船の倉内肋骨

1.1 強度基準

1.1.1 ネット断面係数及びネットせん断面積

本規定は、IACS統一規則S12.4.1 (Rev.5, May 2010) に基づく。本規定は、次の算式によるネット断面係数及びウェブの最小ネット板厚を考慮している。

- ネット断面係数：

$$Z = C_3 \frac{m_m P_{frame} h}{\sigma_F}$$

- ウェブのネット板厚：

$$t_w = \frac{1000 C_s P_{frame}}{d_b \sin \phi \tau_a} \cdot \frac{h - 2h_B}{h}$$

CSR-BC&OTのばら積貨物船の要件に対応する記号を用いると、次の算式が得られる。

- ネット断面係数：

$$Z = 1.125 \alpha_m \frac{P_s \ell_{SF}^2}{f_{bdg} C_s R_{eH}} 10^3$$

- ネットせん断面積：

$$A_{sh} = 1.1 \alpha_s \frac{5 P_s \ell_{SF}}{C_s \tau_{eH} \sin \phi} \left(\frac{\ell_{SF} - 2\ell_B}{\ell_{SF}} \right)$$

静水圧及び波浪変動圧の合計値が倉内肋骨のスパ
ンに沿って一定であると仮定して、倉内肋骨の下端
部におけるせん断力を得る。また、倉内肋骨に作用
する面外荷重のうち、下端部の支持構造により伝達
される荷重の割合は次に等しいと仮定する。

- 60%：一般
- 66%：IACS統一規則S25 (失効済み) に定義さ
れる、BC-Aが付記される船舶における
空倉の倉内肋骨に対して用いる。より大
きな値となっているのは、二重底に作用
する海水圧によって生じる倉内の貨物と
釣り合うことのないホッパタンクの回転
の影響による。(下記参照)

断面b)のせん断力は、ある係数を乗じた断面a)の
せん断力と等しいと仮定する。この係数は、倉内肋
骨のスパン h から下部ブラケットの長さを2倍した値
を減じ、これを h で除した値に等しい。(ここで、上
部ブラケットと下部ブラケットの長さは等しいと仮

定している。)

倉内肋骨のウェブの最小ネット板厚は、外板に対す
るウェブの傾斜を考慮し、断面b)で評価される。倉
内肋骨における曲げモーメントは、倉内肋骨に作用
する面外荷重の合計に対し、倉内肋骨のスパン及び
そのスパン沿いでの最大曲げモーメントに対応する
係数 m_m を乗じることで得られる。

係数 m_m の値は、考慮する倉内肋骨のある貨物倉の
積付状態による。倉内肋骨の最大曲げモーメントは、
隔倉積の場合に積載する貨物倉ではスパン中央部に
発生し、空にする貨物倉では下端部に発生すること
が有限要素計算によって示されている。

有限要素計算に基づき、係数 m_m の値として、IACS
統一規則S25 (失効済み) に定義されるBC-Aが付記
される船舶では70を、その他のケースでは60を想定
する。BC-A船で、貨物を積載した貨物倉に対する値
(=70) は、ブラケット間で単純支持されていると仮
定した倉内肋骨における曲げモーメントに対応する
値と同等である。

隔倉積の場合に空にするBC-A船の貨物倉では、不
均等積付状態 (すなわち、最大喫水時) において二
重底に生じる海水圧が倉内の貨物と釣り合うことは
ないため、係数 m_m はより大きな値となる。すなわち、
ホッパタンクの回転及びそれに付随する倉内肋骨の
下端部の回転により、下端部における曲げモーメン
トが増加することを考慮している。

倉内肋骨の要求ネット断面係数は弾性領域で評価
される。極限荷重下における塑性挙動をある程度許容
するため、係数C3 (=0.83) を用いることにより、要
求ネット断面係数を20%低減している。

1.1.2 バラストホールドにおける倉内肋骨

本規定は、IACS統一規則S12.4 (Rev.5, May 2010)
に基づく。規則1.1.1の倉内肋骨に対する規定は、ば
ら積貨物及び海水圧を考慮したものである。バラス
トホールド内の倉内肋骨に対しては、バラスト水圧
が支配的であり、強度はその他のタンク境界におけ
る防撓材に対する要件と同様の手法で評価されるべ
きである。

1.1.3 追加の強度要件

本規定は、IACS統一規則S12.4.2 (Rev.5, May 2010)
に基づき、以下による。

ばら積貨物船及びその他の船舶の就航実績より、垂
直方向のき裂が船首隔壁に沿って船側外板上に発生
することが報告されている。船首隔壁とそれより船尾
側の倉内肋骨の間に船側外板付きのブラケットを設
置した場合、設置したブラケット上又はそのブラケッ
トの船尾側の倉内肋骨に沿って船側外板上にき裂が
発生する。

これは、繰返し発生する波浪荷重による倉内肋骨の変形が船首隔壁と倉内肋骨の間の船側外板の曲げを誘発し、船側外板の曲げが船首隔壁に沿った船側外板に疲労き裂を発生させると考えられる。ブラケット上又はブラケットの船尾側の船側外板で発生するき裂も同様の理由によると考えられる。

倉内肋骨に要求される断面二次モーメントの算式は、海水圧 P_{frame} が船側外板に作用した際に、倉内肋骨のスパン中央における変形を $3/1000 \times$ (倉内肋骨の心距) 以内に抑えるために規定している。

1.2 倉内肋骨の下部ブラケット

1.2.1

本規定は、IACS統一規則S12.4 (Rev.5, May 2010) に基づく。

1.2.2

本規定は、IACS統一規則S12.4 (Rev.5, May 2010) に基づく。

1.2.3

本規定は、IACS統一規則S12.4 (Rev.5, May 2010) に基づく。

1.2.4

本規定は、IACS統一規則S12 (Rev.5, May 2010) のS12.6及びS12.8に基づき、以下による。

IACS統一規則S12 (Rev.5, May 2010) に既に規定される倉内肋骨のウェブ深さと板厚の比に対する制限値に加え、下部ブラケットのウェブ深さと板厚の比に対する制限値を導入している。下部ブラケットのウェブ深さと板厚の比に対する制限値を規定するにあたり、IACS統一規則S12.6 (Rev.5, May 2010) に規定するブラケットの断面係数の要件に適合することで、下部ブラケットの上端でのウェブ深さ及びせん断力に対して、下部ブラケットのウェブ深さの増加分がせん断力の増加分よりも大きくなることを考慮している。結果として、下部ブラケットにおけるせん断応力は倉内肋骨におけるせん断応力より小さくなる。(最大せん断応力は下部ブラケットの上端で発生する。)

ウェブ深さと板厚の比を計算する際、下部ブラケットのウェブ深さはビルジホップタンクの斜板と船側外板との交点から下部ブラケットの面材に対して垂直に計測して差し支えない。

船首隔壁からすぐ船尾側にある倉内肋骨については、多くの場合は船首構造から倉内の船側構造へ移行する箇所において剛性が緩やかに変化するよう板厚を大きくすることがあるが、ウェブ深さと板厚の比の要件を満たす板厚 t_{dl} から t'_{dl} ($=\sqrt[3]{t_{dl}^2 t_w}$) まで減じることができる。 t'_{dl} の算式は、要求される最小ネットウェブ板厚 t_w が倉内肋骨のウェブが弾性領域で働く範囲にある場合、これらの倉内肋骨に作用するせん

断応力が許容値より小さくなることを説明付けるものである。

t'_{dl} の算式は次の通り導出される。

限界せん断応力とウェブの板厚の関係は算式(1)による。

$$\tau_{cr} = K \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 = S_f \tau_a \quad (1)$$

t : 安全係数を含む想定許容せん断応力に応じたせん断座屈の評価基準を満足するウェブの板厚 t_{dl}

τ_a : 許容せん断応力 ($=0.5\sigma_y$)

S_f : 安全係数

せん断応力 τ_{work} が許容せん断応力 τ_a より小さい場合、限界せん断応力は同じ安全係数を用いると次の通りとなる。

$$\tau_{cr}' = K \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t'_{dl}}{b} \right)^2 = S_f \tau_{work} \quad (2)$$

ここで、 t'_{dl} は限界せん断応力 τ_{cr}' を与えるウェブの板厚である。一方で、作用するせん断応力 τ_{work} は算式(3)による。

$$\tau_{work} = \frac{t_w}{t'_{dl}} \tau_a \quad (3)$$

ここで、 t_w はIACS統一規則S12.4.1又はS12.5 (Rev.5, May 2010) に規定されるうち、いずれか大きい方の値とする。

次の算式は、算式(3)の τ_{work} を算式(2)に代入することにより得られる。

$$K \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t'_{dl}}{b} \right)^2 = S_f \frac{t_w}{t'_{dl}} \tau_a = S_f \tau_a \frac{t_w}{t'_{dl}} \quad (4)$$

算式(1)及び(4)を組合せることにより、 t_{dl} と t'_{dl} の関係を示す次の算式が得られる。

$$\left(\frac{t'_{dl}}{b} \right)^2 = \frac{t_w}{t'_{dl}} \left(\frac{t_{dl}}{b} \right)^2 \quad (5)$$

算式(5)より、 t'_{dl} は次の通りとなる。

$$t'_{dt} = \sqrt[3]{t_{dt}^2 t_w} \quad (6)$$

算式(6)によって得られた t'_{dt} は、作用するせん断応力に応じたせん断座屈の評価基準を満足する倉内肋骨と下部ブラケットのウェブの板厚を与える。なお、 t_{dt} は t_w より大きい。

$$t'_{dt} \text{の算式は、せん断応力が } \frac{1}{2\sqrt{3}} \cdot \sigma_F \text{ (すなわち、}$$

材料の降伏強度の0.29倍)より小さい場合に有効である弾性せん断座屈応力の算式に基づいている。 t_w は材料の降伏強度の0.5倍に等しい許容せん断応力に基づいているため、板厚 t_{dt} が t_w の0.5/0.29倍(すなわち、 $1.73t_w$)より大きい場合、倉内肋骨のウェブは弾性領域の範囲で働くことになる。その場合、 t'_{dt} は次の算式によって得られる。

$$t'_{dt} = \sqrt[3]{t_{dt}^2 t_w}$$

さらに、左右非対称な断面を有する倉内肋骨に対する要件において、高張力鋼材の材料係数 k が削除されている。これは、左右非対称な断面を有する倉内肋骨では軟鋼材を用いるよう規定されているIACS統一規則S12 (Rev.5, May 2010)と同様の取り扱いとしている。

1.3 倉内肋骨の上部ブラケット

1.3.1

本規定は、IACS統一規則S12.4 (Rev.5, May 2010)に基づく。

1.3.2

本規定は、IACS統一規則S12.4 (Rev.5, May 2010)に基づく。

1.4 倉内肋骨上端及び下端の固着部

1.4.1 ネット断面係数

本規定は、IACS統一規則S12.7 (Rev.5, May 2010)に基づく。本規定は、次の算式によるネット断面係数と距離の関係を考慮している。

$$\sum_n (Z_i \cdot a_i) \geq \frac{1000 C_i P_{frame} h \ell_i^2}{16 s \sigma_F}$$

CSR-BC (July 2010)の要件に対応する記号を用いると、本算式は次の通りとなる。

$$\sum_n Z_i d_i \geq \alpha_T \frac{P_{BC} \ell_{SF}^2 \ell_i^2}{16 R_{eH}}$$

縦通防撓材の断面係数は、隔壁斜板及び船側外板の交点周りに生じる倉内肋骨の端部固着モーメントを支持する十分な曲げ剛性を持つことが求められる。

倉内肋骨の端部固着モーメントは、倉内肋骨(端部ブラケットを除く。)に作用する海水圧並びにビルジホッパ部及び二重底に作用する荷重による端部支持材のたわみ及び回転によって生じる。

端部ブラケットに作用する海水圧は、ビルジホッパタンク及びトップサイドタンクの結合部の構造に作用する海水圧と打ち消し合うと考えられるため、ここでは考慮しない。

隔壁斜板及び船側外板の交点周りに生じる倉内肋骨の端部固着モーメント M_{ef} (Nm) は、次の通り。

$$M_{ef} = 1000 \cdot P_{frame} \cdot h \cdot C_m + h_B \cdot 1000 \cdot P_{frame} \cdot C_s \cdot \frac{h-2h_B}{h}$$

- C_m は、倉内肋骨の下端又は上端の曲げモーメント係数
- C_s は、倉内肋骨の下端又は上端に伝達される全海水圧の割合

端部固着モーメント M_{ef} によって、下部及び上部ブラケットの固着部を支持する船側外板及び隔壁斜板の縦通防撓材に対して次の分布荷重 q_{ef} (N/m) が作用する。

$$q_{ef} = \frac{M_{ef}}{s a} = \frac{1000 P_{frame} h}{s a} \left(C_m + \frac{h_B}{h} \cdot \frac{h-2h_B}{h} C_s \right)$$

分布荷重 q_{ef} (N/m) によって、下部及び上部ブラケットの固着部を支持する縦通防撓材において次の塑性曲げモーメント M_c (Nm) が生じる。

$$M_c = \frac{q_{ef} \ell_i^2}{16} = \frac{1000 P_{frame} h \ell_i^2}{16 s a} \left(C_m + \frac{h_B}{h} \cdot \frac{h-2h_B}{h} C_s \right)$$

以上より、許容応力を降伏応力とすると、船側外板又は隔壁斜板の結合部に対する要求断面係数 (cm^3) は次の通りとなる。

$$Z = \frac{M_c}{\sigma_F} = \frac{1000 P_{frame} h \ell_i^2}{16 s a \sigma_F} \left(C_m + \frac{h_B}{h} \cdot \frac{h-2h_B}{h} C_s \right)$$

上記の算式は、1つの縦通防撓材を想定している。2つ以上の縦通防撓材に対する塑性曲げモーメント M_c は各縦通防撓材の合計を考慮して、次の通りとなる。

$$\sum_n (Z_i \cdot a_i) = \frac{1000 P_{frame} h \ell_i^2}{16 s \sigma_F} \left(C_m + \frac{h_B}{h} \cdot \frac{h-2h_B}{h} C_s \right)$$

上記の算式において、次を考慮する。

$$C_T = \left(C_m + \frac{h_B}{h} \cdot \frac{h-2h_B}{h} C_s \right)$$

従って、次の通りとなる。

$$\sum_n (Z_i \cdot a_i) = \frac{1000 P_{frame} h \ell_i^2}{16 s \sigma_F} C_T$$

有限要素計算に基づき、 C_m は倉内肋骨の下端部に対して0.07、倉内肋骨の上端部に対して0.02となる。また、IACS統一規則S12 (Rev.5, May 2010)に規定されるように、倉内肋骨の下部ブラケット長さは倉内肋骨スパンの0.125倍であるとして、考慮すべき C_s の値を0.66とする。

次の項は、下部ブラケットに対して安全側となるよう0.08とする。

$$\frac{h_B}{h} \cdot \frac{h-2h_B}{h} C_s$$

従って、下部ブラケットの固着部を支持する縦通防撓材では、 C_T は0.15となる。

上端部で支持されるせん断力は、下端部で支持されるせん断力の2/3とし、次の項は、上部ブラケットに対して安全側となるよう0.05とする。

$$\frac{h_B}{h} \cdot \frac{h-2h_B}{h} C_s$$

従って、上部ブラケットの固着部を支持する縦通防撓材では、 C_T は0.075となる。

1.4.2 ブラケットの固着部のネット面積

本規定は、IACS統一規則S12.7 (Rev.5, May 2010)に基づく。

本規定は、ブラケットとそれを支持する縦通防撓材との固着部のネット面積が十分なものとなるよう定めるものである。ブラケットとそれを支持する*i*番目の縦通防撓材との固着部のネット面積 A_i は、次の算式により与えられる。

$$A_i = 0.4 Z_i s k_{bkt} / (\ell_i^2 k_{long i})$$

CSR-BC (July 2010) の要件に対応する記号を用いると、本算式は次の通りとなる。

$$A_i = 0.4 \frac{Z_i s k_{bkt}}{\ell_i^2 k_{long i}}$$

2. 木製のダンネージ上のスチールコイルによる荷重を受ける構造

2.1 一般

2.1.1

板部材及び防撓材の寸法決定にあたり、板部材及び防撓材に作用するばら積乾貨物及び液体による静的及び動的荷重は、等分布荷重として考慮する。一方で、スチールコイルは内底板及びビルジホップ斜板上に設置された木製の土台（ダンネージ）に積載されるため、スチールコイルによる荷重は、ダンネージを通じて集中荷重として板部材に作用する。

しかしながら、集中荷重の作用点及び集中荷重間の距離は、積付パターンやダンネージの大きさに依存する。そのため、これらの集中荷重が最も厳しく作用するような荷重の作用点及び作用点間の距離を考え、その際の荷重を短い幅を持つ分布荷重（以下、「矩形荷重」という。）に変換することとした。本仮定に基づき、スチールコイルの積付けを行う板部材及び防撓材の寸法を決定する算式を規則2編1章3節2に規定する。

板部材に対する特別要件を規則2編1章3節2.3.1及び2.4.1に規定し、防撓材に対する特別要件を規則2編1章3節2.3.2及び2.4.2に規定する。

スチールコイルによる荷重の技術的背景は板部材及び防撓材で共通としており、1編4章6節4による。

これらの規定はスチールコイルが木製の土台に積載され、通常の方法で固縛されるという仮定に基づいている。これらの仮定は規則2編1章3節の図2による。

2.2 適用荷重

2.2.1 設計荷重条件

スチールコイルの設計荷重条件は規則1編6章2節2に示す他の荷重条件と同様の方法で規定されている。

2.3 内底板

2.3.1 内底板

(a) 荷重モデル：

通常、スチールコイルはスチールワイヤによって相互に固縛される。スチールコイルの重量が大きい場合は1段又は2段に積付けられるが、重量が小さい場合は2段以上に積付けられる。スチールコイルの積付けの例を図1及び図2に示す。

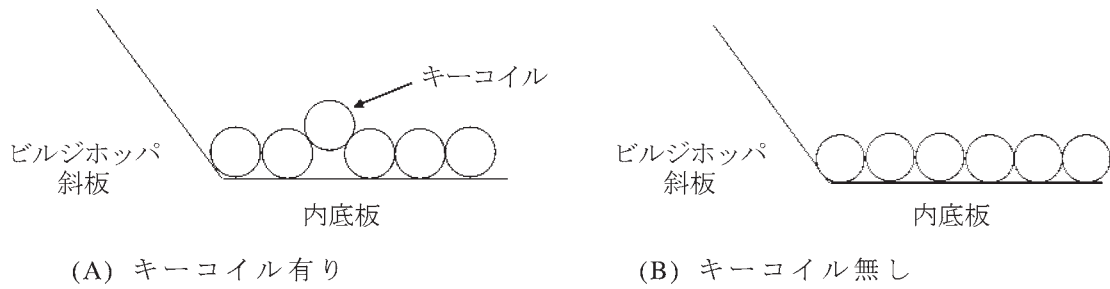


図1 1段積みの場合

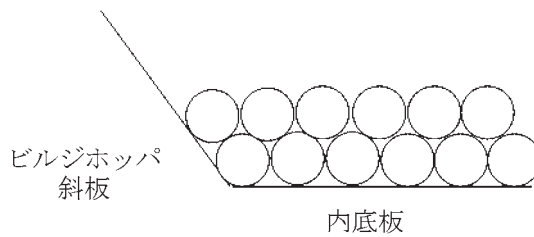


図2 2段積みの場合

スチールコイルによる荷重は、ダンネージを通じて集中荷重として基本板パネルに作用する。ただし、集中荷重の作用点及び集中荷重間の距離は積付パターンやダンネージの大きさに依存するため、集中荷重を直接的に取り扱うことは難しい。

そのため、スチールコイルによる荷重に対して以下の仮定を考慮する。

- スチールコイルによる荷重は、板パネルの中心線に沿って作用する。
- 集中荷重間の相互作用を考慮し、安全側の評価となるよう、集中荷重の代わりに矩形荷重を用いる。

x : (a) 貨物倉の中央がAEから $0.45L_{CSR}$ の位置より前方に位置する場合:

$$x_{G,SC} = \text{後端隔壁から } 0.75 l_H \text{ 前方の位置}$$

(b) 貨物倉の中央がAEから $0.45L_{CSR}$ の位置より後方に位置する場合:

$$x_{G,SC} = \text{前端隔壁から } 0.75 l_H \text{ 後方の位置}$$

y : 船体中心線から $\epsilon B_h/4$ の距離

$$z: h_{DB} + (1 + (n-1)\sqrt{3}/2)d_{SC}/2$$

l_H : 貨物倉の長さ

d_{SC} : スチールコイルの直径 (m)

h_{DB} : 二重底の高さ (m)

B_h : 貨物倉の中央における貨物倉の幅 (m)

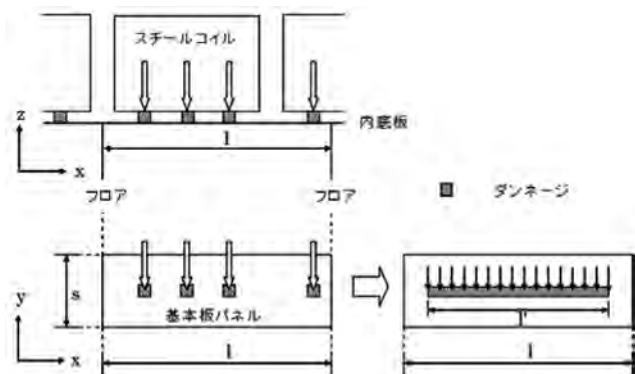


図3 集中荷重から矩形荷重への変換

荷重が内底板上に垂直に作用するときが最も厳しい状態となるため、内底板構造の寸法算式において垂直方向加速度を考慮する。貨物倉の重心位置は、次の通り与えられる。

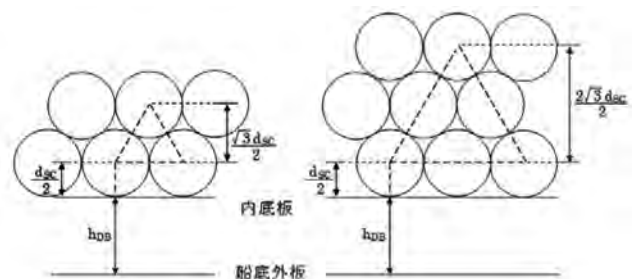


図4 スチールコイルの高さ

(b) 構造モデル:

2.3.1の(a)の通り、矩形荷重はパネルの中心線に沿って作用する。矩形荷重が作用する長さ l' はパネル長さ l 、スチールコイルの長さ l_s 、荷重の作用点の数 n_2 及び1つのスチールコイルを支持するダンネージの数 n_3 によって決定され、矩形

荷重が作用する幅 $0.3s$ は実際の積付情報に基づくダンネージの幅による。スチールコイルによる面外方向の矩形荷重に加えて、ハルガーダ曲げによる軸応力についても当然ながら考慮する。基本板パネルは図5のように崩壊する。基本板パネルの境界条件として、すべての辺を固定端とする。

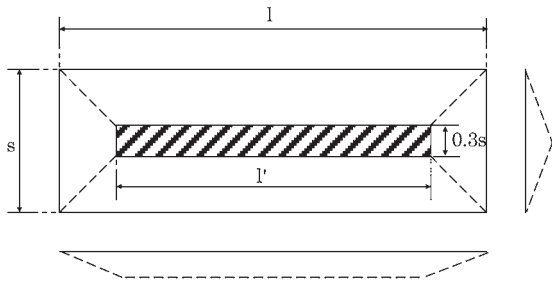


図5 矩形荷重及び崩壊モード

係数 K_1 及び K_2 ：

係数 K_1 及び K_2 は、材料物理学に基づく仮想仕事の原理より得られる。

内底板に対する要求板厚の算式：

最終的に、内底板に対する寸法算式は次の通りとなる。

設計荷重条件BC-9の場合：
$$t = K_1 \sqrt{\frac{F_{sc-ib-s}}{C_a R_{eH}}}$$

設計荷重条件BC-10の場合：
$$t = K_1 \sqrt{\frac{F_{sc-ib}}{C_a R_{eH}}}$$

$F_{sc-ib-s}$ ：規則1編4章6節4.3.1に規定する静的荷重 (kN)

F_{sc-ib} ：規則1編4章6節4.2.1に規定する合計荷重 (kN)

2.3.2 内底板付き防撓材

(a) 荷重モデル：

防撓材の構造モデルは、単純な弾性梁理論に基

づく。従って、防撓材の荷重モデルは、ダンネージを通じて作用するスチールコイルの集中荷重に基づく。加速度の計算は、板部材と同様の仮定に基づく。パラメータ及び係数についても板部材と同様である。

(b) 構造モデル：

防撓材の構造モデルは、境界条件を両端固定とした単純な弾性梁理論に基づく。

係数 K_3 ：

各 n_2 に対応する係数 K_3 は、集中荷重の作用点が l' 間に均等に分布する場合における、 $n_2=1$ の場合との防撓材端部のモーメントの比によって導出される。(図6参照) n_2 が10以上のとき、係数 K_3 は2/3となる。

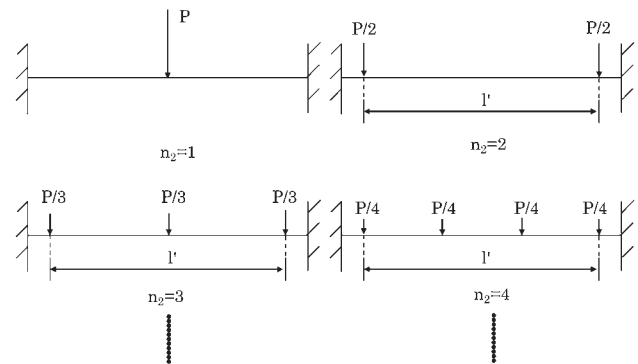


図6 防撓材に対する荷重の作用点

2.4 ホッパタンク及び内殻板

2.4.1 ホッパタンク斜板及び内殻板

(a) 荷重モデル：

本荷重モデルは、内底板と同様である。荷重の垂直方向成分は、内底板によって直接支持されるか、または他のコイルによって支持される。

(b) 構造モデル：

ビルジホッパ斜板及び内殻板の構造モデルは、内底板と同様である。

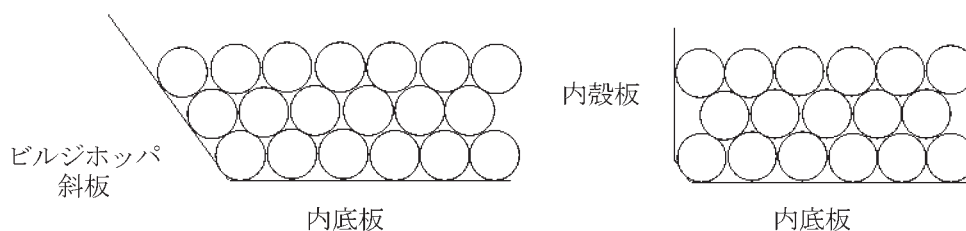


図7 スチールコイルの積付状態の例

2.4.2 ビルジホップ斜板付き防撓材及び内殻板付き防撓材

(a) 荷重モデル:

集中荷重は、2.3.2(a)により考慮する。ロール運動による加速度は規則1編4章6節4.4により考慮する。

(b) 構造モデル:

防撓材の構造モデルは2.3.2(b)を参照のこと。

3. 浸水状態に対する貨物倉間の水密波形隔壁

3.1 波形隔壁のネット板厚

3.1.1 冷間加工による波形隔壁

本規定は、浸水状態に対する貨物倉間の水密波形隔壁の要求板厚を規定する。本規定は、CSR-BC (July 2010) 及びIACS統一規則S18.4.7 (Rev.8, May 2010) に基づく。これらの強度算式は、偶発的に発生する荷重を考慮した、浸水の進行を防ぐためのものである。従って本規定は、規則的に負荷される静的又は動的タンク荷重による降伏又は永久変形を防ぐために規定されている規則1編6章4節1.2.1の波形隔壁の局部強度に関する要件とは異なるものである。

3.1.2 溶接構造の波形隔壁

3.1.1によること。

3.1.3 波形隔壁の下部

本規定は、CSR-BC (July 2010) 及びIACS統一規則S18.4.1 (Rev.8, May 2010) に基づく。

3.1.4 波形隔壁の中央部

3.1.3によること。

3.2 曲げ、せん断及び座屈強度評価

3.2.1 曲げ強度及びせん断強度

本規定は、CSR-BC (July 2010) 及びIACS統一規則S18 (Rev.8, May 2010) に基づく。

3.2.2 波形隔壁のウェブのせん断座屈強度評価

本規定は、CSR-BC (July 2010) 及びIACS統一規則S18 (Rev.8, May 2010) に基づく。

3.3 波形隔壁下端におけるネット断面係数

3.3.1 有効フランジ幅

本規定は、CSR-BC (July 2010) 及びIACS統一規則S18 (Rev.8, May 2010) に基づく。

3.3.2 ブラケットにより支持されないウェブ

3.3.1によること。

3.3.3 有効なシェダープレート

3.3.1によること。

3.3.4 有効なガセットプレート

3.3.1によること。

3.3.5 傾斜したスツール頂板

3.3.1によること。

4. BC-A又はBC-Bが付記された船舶の浸水時における許容貨物荷重

4.1 二重底強度評価

4.1.1 二重底のせん断容量

本規定は、CSR-BC (July 2010) 及びIACS統一規則S20 (Rev.5, May 2010) に基づく。

4.1.2 フロアのせん断強度

4.1.1によること。

4.1.3 ガーダのせん断強度

4.1.1によること。

4.1.4 許容貨物荷重

4.1.1によること。

4節 船の長さが150m未満のばら積貨物船の局部寸法

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

2. 防撓材を連結する支材

2.1 寸法要件

2.1.1 ネット断面積及び断面二次モーメント

平行した2本の梁が、そのスパンにおいて支材により連結されている場合、梁に作用する力は構造全体を変形させ、各部材の剛性率に応じた荷重の分配を生じさせる。

二重底構造の主要支持部材(フロア)間の支材の取り扱いについては、CSR-BC (July 2010) の規定を取り入れている。支材に関する規定は、船の長さが120m以上の船舶には適用されない。

3. バラストホルドの波形隔壁

3.1 板厚

3.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

3.2 ネット断面係数

3.2.1

本規定は、船の長さが150m未満の船舶のバラストホルドの波形隔壁に適用する。また、本規定は、波形構造の断面係数を示しており、CSR-BC (July 2010) に基づく。船の長さが150m以上の船舶については、バラストホルドの波形構造の曲げ強度は、本規則の関連規定に従った直接強度計算により評価される。

4. 主要支持部材

4.1 適用

4.1.1

長さが150m未満の船舶の主要支持部材について

は、せん断強度及び座屈強度に重点を置いた強度算式を規定している。

4.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.2 設計荷重条件

4.2.1 適用

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.2.2 積付状態

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.3 センターガーダ及びサイドガーダ

4.3.1 ウェブのネット板厚

本規定は、CSR-BC (July 2010) に基づく。 t_1 の算式による要求板厚は、ガーダの全長にわたるせん断強度に基づく。ただし、本規定の適用対象となる大きさのばら積貨物船の場合、ガーダのウェブ深さは非常に小さいため、腐食は局在化せず全体にわたると考えられる。従って、腐食予備厚の100%分を適用する。

規則の原則により、座屈強度に基づく t_2 の算式による要求板厚に腐食予備厚100%分を加えなければならない。

4.4 フロア

4.4.1 ウェブのネット板厚

4.3.1によること。

4.5 二重船側構造のストリンガ

4.5.1 ウェブのネット板厚

4.3.1によること。

4.6 二重船側構造の船側横桁

4.6.1 ウェブのネット板厚

4.3.1によること。

4.7 ビルジホップタンク及びトップサイドタンク内の主要支持部材

4.7.1 境界条件

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

4.7.2 ネット断面係数、ネットせん断面積及びウェブ板厚

ビルジホップタンク及びトップサイドタンクの主要支持部材のウェブは、一般的に自由端のフランジによって防撓されている。従って、せん断強度及び座屈強度に加えて、曲げ強度を評価する。曲げ及びせん断の算式に関する背景については、1編6章5節によること。

5節 ハッチカバー

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本節の規定は、国際満載喫水線条約（以後の改正を含む。）、IACS統一規則S21 (Rev.5, May 2010) 及び統一規則S26 (Rev.4, May 2010) に基づく。バラストホールド内のバラスト水による内圧を考慮するとき、ハッチコーミングに設けられた通気口からの静水圧はハッチカバーに作用しないものとして取り扱う。

このため、バラストホールド内のバラスト水による荷重を静水圧と動圧に分け、静水圧には0を、動圧には0.9を乗じることとした。

1.2 材料

1.2.1 鋼材

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.2.2 その他の材料

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.3 ネット寸法

1.3.1

本規定は、IACS統一規則S21 (Rev.5, May 2010) に基づく。

1.4 腐食予備厚

1.4.1

本規定は、IACS統一規則S21 (Rev.5, May 2010) に基づく。

1.5 許容応力

1.5.1

本規定は、国際満載喫水線条約（以後の改正を含む。）(IMO決議MSC.143(77), 第15.6規則及び第16.5規則) に基づく。座屈使用係数は、作用する荷重とそれに対応する最終強度又は座屈強度の比とすることで、座屈崩壊に対する安全余裕度を示すものとして用いられる。この定義により、特に組合せ荷重（例えば、軸方向と横方向の圧縮応力が生じる荷重）に対して、座屈使用係数の計算を一元化することができる。

2. 配置

2.1 ハッチコーミングの高さ

2.1.1

本規定は、国際満載喫水線条約（以後の改正を含む。）(IMO決議MSC.143(77), 第14規則(1.1)) に基づく。

2.1.2

本規定は、国際満載喫水線条約（以後の改正を含む。）(IMO決議MSC.143(77), 第14規則(1.2)) に基

づく。

2.2 ハッチカバー

2.2.1

本規定は、IACS統一規則S21 (Rev.5, May 2010) に基づく。

2.2.2

本規定は、IACS統一規則S21.1 (Rev.5, May 2010) に基づく。

2.2.3

本規定は、IACS統一規則S21.3.5 (Rev.5, May 2010) に基づく。

2.2.4

本規定は、IACS統一規則S21 (Rev.5, May 2010) に基づく。

2.2.5

本規定は、IACS統一規則S21 (Rev.5, May 2010) に基づく。

2.3 ハッチコーミング

2.3.1

本規定は、IACS統一規則S21 (Rev.5, May 2010) に基づく。

2.3.2

2.3.1によること。

2.3.3

2.3.1によること。

2.3.4

本規定は、ハッチエンドコーミング下の構造の連続性について規定している。

3. 板材の幅

3.1 防撓材

3.1.1

2.3.1によること。

3.2 主要支持部材

3.2.1

本規定は、IACS統一規則S21.3.2 (Rev.5, May 2010) に基づく。

4. 荷重条件

4.1 面外圧力及び荷重

4.1.1 一般

本規定は、IACS統一規則S21.2 (Rev.5, May 2010) に基づく。

4.1.2 海水圧

本規定は、IACS統一規則S21.2(Rev.5, May 2010) に基づく。

4.1.3 バラスト水による内圧

2.3.1によること。

4.1.4 均質な貨物による圧力

2.3.1によること。

4.1.5 特別な貨物による圧力

2.3.1によること。

4.1.6 コンテナによる荷重

2.3.1によること。

4.2 荷重算出点

4.2.1 暴露甲板のハッチカバーに作用する波浪による面外圧力

本規定は、IACS統一規則S21.2 (Rev.5, May 2010) に基づく。

4.2.2 波浪による圧力以外の面外圧力

2.3.1によること。

5. 強度評価

5.1 一般

5.1.1 適用

本規定は、IACS統一規則S21.3.1 (Rev.5, May 2010) に基づく。

5.1.2 コンテナを積載するハッチカバー

本規定は、コンテナが積載される場合、コンテナ荷重を考慮しなければならない旨を規定している。コンテナ荷重はCSR-BCに定義されていないため、各船級協会によらなければならない。

5.1.3 特別な貨物を積載するハッチカバー

2.3.1によること。

5.2 板部材

5.2.1 ネット板厚

本規定は、IACS統一規則S21.3.3 (Rev.5, May 2010) に基づく。

5.2.2 最小ネット板厚

本規定は、国際満載喫水線条約(以後の改正を含む。)(IMO決議MSC.143(77), 第16規則(5,c))に基づく。

5.2.3 座屈強度

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

5.3 防撓材

5.3.1

本規定は、IACS統一規則S21.3.6.2 (Rev.5, May 2010) に基づく。

5.3.2 ウェブの最小ネット板厚

2.3.1によること。

5.3.3 ネット断面係数及びネットせん断面積

本規定は、IACS統一規則S21.3.4 (Rev.5, May 2010) に基づく。

5.3.4 座屈強度

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

5.4 主要支持部材

5.4.1 適用

本規定は、IACS統一規則S21.3.5 (Rev.5, May

2010) に基づく。

5.4.2 ウェブの最小ネット板厚

2.3.1によること。

5.4.3 梁モデル解析における直応力及びせん断応力

2.3.1によること。

5.4.4 評価基準

本規定は、*IACS*統一規則S21.3.1 (Rev.5, May 2010) に基づく。

5.4.5 撓みの制限

本規定は、*IACS*統一規則S21.3.7 (Rev.5, May 2010) に基づく。

5.4.6 主要支持部材のウェブの座屈強度

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

5.4.7 細長比の基準

2.3.1によること。

5.5 断面形状が変化する防撓材及び桁部材

5.5.1

2.3.1によること。

6. ハッチコーミング

6.1 防撓構造

6.1.1

本規定は、*IACS*統一規則S21.1 (Rev.5, May 2010) に基づく。

6.1.2

2.3.1によること。

6.1.3

2.3.1によること。

6.1.4

2.3.1によること。

6.1.5

2.3.1によること。

6.2 荷重モデル

6.2.1

本規定は、*IACS*統一規則S21.4.1 (Rev.5, May 2010) に基づく。

6.2.2

本規定は、*IACS*統一規則S21.4.1 (Rev.5, May 2010) に基づく。

6.2.3

本規定は、*IACS*統一規則S21.4.1 (Rev.5, May 2010) に基づく。

6.2.4

2.3.1によること。

6.3 構造寸法

6.3.1 板部材

本規定は、*IACS*統一規則S21.4.2 (Rev.5, May 2010) に基づく。

6.3.2 防撓材

本規定は、*IACS*統一規則S21.4.3 (Rev.5, May 2010) に基づく。

6.3.3 ハッチコーミングステイ

本規定は、*IACS*統一規則S21.4.4 (Rev.5, May 2010) に基づく。

6.3.4 構造詳細

本規定は、*IACS*統一規則S21.4.5 (Rev.5, May 2010) に基づく。

7. 風雨密性, 閉鎖装置, 締付け装置及び移動防止装置

7.1 風雨密性

7.1.1

本規定は、国際満載喫水線条約 (以後の改正を含む。) (IMO決議MSC.143(77), 第16規則(1)) に基づく。

7.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

7.2 ガスケット

7.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

7.2.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

7.2.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

7.2.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

7.2.5

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

7.2.6

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。

7.3 締付け装置及び移動防止装置

7.3.1 一般

本規定は、*IACS*統一規則S21.5.1 (Rev.5, May 2010) に基づく。

7.3.2 配置

本規定は、*IACS*統一規則S21.5.1 (Rev.5, May 2010) に基づく。

7.3.3 締付け装置の間隔

2.3.1によること。

7.3.4 構造

本規定は、*IACS*統一規則S21.5.1 (Rev.5, May

2010)に基づく。

7.3.5 締付け装置の断面積

本規定は、IACS統一規則S21.5.1 (Rev.5, May 2010)に基づく。

7.3.6 縁部におけるハッチカバーの断面二次モーメント

本規定は、IACS統一規則S21.5.1 (Rev.5, May 2010)に基づく。

7.3.7 ロッド又はボルトの径

本規定は、IACS統一規則S21.5.1 (Rev.5, May 2010)に基づく。

7.3.8 移動防止装置

本規定は、IACS統一規則S21.5.2 (Rev.5, May 2010)に基づく。

7.4 クリート

7.4.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

7.4.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

8. 排水設備

8.1 配置

8.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

8.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

8.1.3

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

8.1.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

6節 グラブ荷役

1. 一般

1.1 適用

1.1.1

本節は、SOLAS条約第XII章第6規則(以後の改正も含む。)に対応する要件を規定している。また、グラブによる衝撃荷重に関する要件を満足する場合に与えられる追加の付記に対する要件も規定している。追加の付記を付ける場合にグラブ重量を明確に示すため、考慮するグラブ重量を「GRAB」のあとに記載

する。

本規定は、SOLAS条約(以後の改正を含む。)によりBC-A船及びBC-B船に対する適用が強制されるが、その他の船舶に対する適用は任意である。

1.1.2

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2. 寸法要件

2.1 要求板厚

2.1.1 一般

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2.1.2 内底板

グラブ重量、使用材料及び防撓材の心距を用いた簡易算式は、各船級協会のグラブ関連要件を調査した上で規定している。内底板のグラブ要件の比較を図1に示す。CSR-BC&OTでは L_{CSR} が200mを超えるばら積貨物船に対する設計グラブ重量を増加させているため、内底板及びホップ斜板の算式はCSR-BCによる算式を修正した上で規定している。設計グラブ重量の増加により、荷揚げに使用されるグラブの重量が設計グラブ重量と同等となる確率が下がり、また、修正した算式では、CSR-BCと比較すると、設計グラブ重量が20tを超える場合の耐荷重量はより大きくなる。

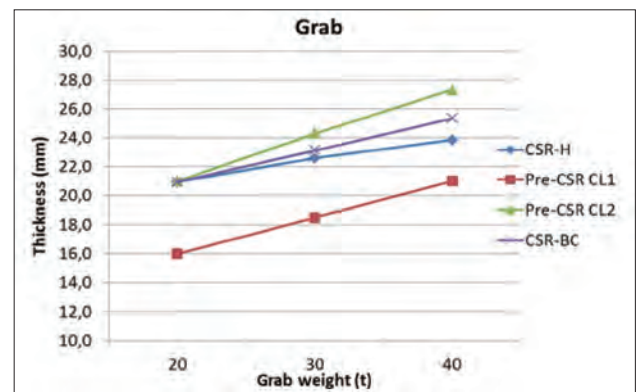


図1 内底板のグラブ要件の比較

規則1編1章1節3.2.2に規定される強制要件である最小グラブ重量によると、一般的に、グラブ要件は船の長さ L_{CSR} が200mを超える船舶の隔倉積の場合に空にする貨物倉の内底板に対して支配的となる。隔倉積の場合に積載する方の貨物倉に対しては、一般的に、グラブ要件が内底板の板厚を増加させることはない。

6隻の船舶に対する重量影響のまとめを表1に示す。

表1 重量影響

重量影響のまとめ						
ID*	BC-1	BC-2	BC-3	BC-4	BC-5	BC-6
規則1編1章1節3.2.2によるグラフ重量	35	35	35	30	30	30
隔倉積の場合に積載する方の貨物倉の板厚 [mm]**	-	-	-	-	-	-
隔倉積の場合に空にする法の貨物倉の板厚 [mm]***	+1.5	+0.5	+1.0	+0.5	+1.0	+1.0
* IDは、CSR-BC&OTの影響評価に用いられた船舶を参照。各情報は表2を参照						
** グラフ要件は支配的ではない						
*** 建造板厚との比較。建造板厚は、CSR-BCを満足している。						

表2 船舶の情報

船舶の情報						
ID	ID	L_{pp}	B	T_{sc}	D	DWT
BC-1	Capesize 1	285	46	18	25	180200
BC-2	Capesize 2	284	45	18	25	180000
BC-3	Capesize 3	293	50	18	25	205000
BC-4	Baby Cape 1	240	43	15	21	114500
BC-5	Baby Cape 2	248	43	15	20	115000
BC-6	Panamax 1	225	32	14	20	82000

船の長さ L_{CSR} が200m未満の船舶は、一般的にスチールコイルを積載するよう設計されており、その積付けは支配的な規則要件となる。

2.1.3 貨物倉の垂直部及び傾斜部
規則2.1.2と同様の簡易算式を規定している。

2章 油タンカー

1節 一般配置要件

1. 一般

1.1 一般

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

2. 貨物タンクの分離

2.1 一般

2.1.1

本要件は、貨物タンクとその他の区域との分離を考慮した主な配置について要約したものである。適用する要件は、*SOLAS*条約第II-2章第4規則5（その後の改正を含む。）に含まれている。

2.1.2

貨物タンクと機関区域を分離するためのコファダムに関する規定は、*SOLAS*条約第II-2章第4規則5.1（その後の改正を含む。）に基づく。

3. 二重船殻配置

3.1 一般

3.1.1

本要件は、*MARPOL*条約第19規則（その後の改正を含む。）の適用する要件に基づく。

3.1.2

本要件は、貨物タンクの大きさ及び配置の制限について、一般的な事項を規定するものである。適用する要件は、*MARPOL*条約附属書1第4章第24規則から第26規則（その後の改正を含む。）に基づく。

4. 点検設備

4.1 油タンカーに対する特別要件

4.1.1

本規定は、*SOLAS*条約第II-1章第3-6規則（その後の改正を含む。）の規定に基づいており、貨物タンク区域の前方及び内部並びに当該区域への交通に用いる開口及び付加物の詳細及び配置については、*SOLAS*条約に規定される固定点検設備の要件を規定している。ただし、現行の規則要件では、固定点検設備の支持構造の強度又は寸法に関する要件については、当該支持構造が船体構造の一部となる場合を除き明記していない。

今後の規則改正として、固定点検設備の支持構造に対する腐食予備厚に関する指針を規定又は提示することを検討している。

なお*SOLAS*要件に加えて、追加した要件は、LR規則(January 2013), Pt 4, Ch 9, 13.2及びABS規則(January 2013), Pt 5, Ch 1, Sec 1, 5.1に基づく。

4.1.2

4.1.1によること。

4.1.3

4.1.1によること。

2節 構造設計の原則

1. 防食措置

1.1 一般

1.1.1 貨物タンク内部の電気防食システム

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.1.2 アルミニウムを含有する塗料

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え

1.2 内部電気防食システム

1.2.1

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/2.1.2.1 (DNV 規則 (January 2013), Pt 3, Ch 3, Sec 7, B300及びLR規則 (January 2013), Pt 3, Ch 2, 3.3及び3.4に基づく。)に基づく。

1.2.2

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/2.1.2.2 (DNV 規則 (January 2013), Pt 3, Ch 3, Sec 7, B300及びLR規則 (January 2013), Pt 3, Ch 2, 3.3及び3.4に基づく。)に基づく。

1.2.3

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/2.1.2.3 (DNV 規則 (January 2013), Pt 3, Ch 3, Sec 7, B300及びLR規則 (January 2013), Pt 3, Ch 2, 3.3及び3.4に基づく。)に基づく。

1.2.4

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/2.1.2.8 (DNV 規則 (January 2013), Pt 3, Ch 3, Sec 7, B300及びLR Rules (January 2013), Pt 3, Ch 2, 3.3及び3.4に基づく。)に基づく。

1.3 アルミニウムを含有する塗料

1.3.1

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/2.1.3.1 (LR 規則 (January 2013), Pt 4, Ch 9, 2.3.3に基づく。)に基づく。

1.3.2

本規定は、CSR-OT (July 2010), Sec 6/2.1.3.1 (LR 規則 (January 2013), Pt 4, Ch 9, 2.3.3に基づく。)に基づく。

3節 船体局部強度

1. 貨物倉区域の主要支持部材

1.1.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.1.2

本節には、本規則において主要支持部材に関する要件が適用となる構造要素/配置について規定している。その他の構造要素/配置については、要求寸法を直接強度計算により求めることとしている。直接強度計算により計算される典型的な構造要素とは、上甲板より上に設ける甲板横桁、バットレス又はその他の中間支持部材が取り付けられる横隔壁のストリング等である。

1.1.3

1.1.2によること。

1.1.4

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.1.5

本要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

1.1.6

本要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

1.1.7

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.2 設計荷重条件

1.2.1

静的及び動的荷重を考慮する航海状態 (AC-SD) においては、貨物タンクが空の状態での最大喫水まで積付される可能性は低いことを考慮し、二重底のフロア、ガーダ及び船側横桁に対し $0.9T_{sc}$ が適用される。しかし、二重底に作用する垂直上向きのネット静的荷重が、貨物タンクが空の状態かつ平均喫水が $0.9T_{sc}$ の状態において、二重底に作用する垂直上向きのネット静的荷重を超えるような積付状態での航行を想定する場合には、その積付状態は特別に承認されたものである必要がある。

甲板横桁においては、最大青波圧を考慮する際に $1.0T_{sc}$ が適用される。また、静的荷重を考慮する満載状態 (AC-S) においては、包括的な値を使用することが適当と考えられることから $1.0T_{sc}$ としている。

静的荷重を考慮する港内/水圧試験状態 (AC-S) については、二重底のフロア及びガーダの評価のための内圧と外圧間のネット圧力の差を計算するために、 $0.25T_{sc}$ (一列の縦通隔壁を有する船の場合) 又は $0.33T_{sc}$ (二列の縦通隔壁を有する船の場合) が適用される。

1.3 二重底のフロア

1.3.1 構造配置

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.3.2 ネットせん断面積

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。規則中の表2に示すせん断力分布係数は、実船に対するキャリブレーションに基づき調整されている。

1.4 二重底のガーダ

1.4.1 構造配置

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.4.2 センターガーダのネットせん断係数

本規定は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

1.4.3 サイドガーダのネットせん断係数

1.4.2によること。

1.5 甲板横桁

1.5.1 ウェブ深さ

甲板横桁のウェブ深さに関する要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

1.5.2 上甲板下に設ける甲板横桁のネット断面係数

甲板横桁の断面係数に関する要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

船側横桁に与えられる最大外圧と甲板横桁に与えられる最大青波荷重の位相は異なることが考えられるため、船側横桁から甲板横桁へ伝達される曲げモーメントには、青波荷重による成分を考慮していない。

1.5.3 上甲板下に設ける甲板横桁のネットせん断面積

規則1.5.3の甲板横桁のせん断面積に関する要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

船体横断面において、甲板横桁はトランスリングを構成している。従って、規則1.5.2及び1.5.3に基づく甲板横桁の断面係数及びせん断面積は、端部ブラケットが設けられている箇所を除いて一様としなければならない。スパン中央に対する本規定の軽減は認められない。

1.5.4 上甲板上に設ける甲板横桁

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考え
る。

1.6 船側横桁

1.6.1 ネットせん断面積

規則1.6.1の船側横桁のせん断面積に関する要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

船側横桁の上部ブラケットの有効長さ h_u の定義、上甲板上に甲板横桁が設けられる構造及び船側部の上部構造に内殻の縦通隔壁を設ける場合の設計荷重 P_u の計算点について特定の要件が追記されている。

1.6.2 船側横桁の全長に亘るせん断面積

本規定は船側横桁のせん断面積の分布について規定している。同様のせん断面積の分布に関する要件は、縦通隔壁の立桁にも適用される。

1.7 縦通隔壁の立桁

1.7.1 ウェブ深さ

縦通隔壁の立桁のウェブ深さに関する要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

1.7.2 ネット断面係数

規則1.7.2の縦通隔壁の立桁の断面係数に関する要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

1.7.3 縦通隔壁の立桁の全長に亘る断面係数

本規定は、縦通隔壁の立桁の断面係数の分布について規定している。同様の断面係数の分布に関する要件は、横隔壁のストリングに対して適用される。

1.7.4 ネットせん断面積

縦通隔壁の立桁のせん断面積に関する要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

1.7.5 縦通隔壁の立桁の全長に亘るせん断面積

本規定は、縦通隔壁の立桁のせん断面積の分布について規定している。同様のせん断面積の分布に関する要件は、船側横桁に対しても適用される。

1.8 横隔壁付ストリング

1.8.1 ウェブ深さ

横隔壁付ストリングのウェブ深さに関する要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。要求ウェブ深さを算出するための最小有効曲げスパンは、実船に対するキャリブレーションに基づき調整されている。

1.8.2 ネット断面係数

規則1.8.2の横隔壁付ストリングの断面係数に関する要件は、(July 2010) に基づく。

1.8.3 ストリングの全長に亘る断面係数

本規定は、横隔壁付きストリングの断面係数の分布に関する要件を規定している。同様の断面係数の分布に関する要件は、縦通隔壁の立桁にも適用される。

1.8.4 ネットせん断面積

規則1.8.4の横隔壁付ストリングのせん断面積に関する要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。

1.8.5 有効せん断スパンの midpoint におけるせん断面積

本節は、横隔壁付きストリングのせん断面積の分布に関する要件を規定している。

1.9 クロスタイ

1.9.1 最大設計軸荷重

規則1.9.1のクロスタイに関する要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。作用する圧縮荷重は、規則の表1に基づき、クロスタイの両端に作用する荷重を平均することで、算出しなければならない。許容圧縮荷重は規則1編8章5節3の評価基準に基づき算出する。

一般的にクロスタイの振り座屈モードは、最も重要であり、クロスタイの座屈使用係数は実船に対するキャリブレーションに基づき調整されている。非線形有限要素解析による算式の評価では、異なる長さの2タイプのクロスタイが用いられた。長い方の桁の長さは、評価に用いた船舶のクロスタイの有効スパンと同じ長さとしている。振り座屈強度は1編8章5節3.1.3に規定される算式を用いて算出し、非線形有限要素解析による結果との比較を行っている。

また、クロスタイの端部拘束条件を決定するため、図2に示すように必要な範囲で隣接する構造を含めたモデルを用いて、非線形有限要素解析を実施した。

荷重は、クロスタイに軸圧縮による破壊が生じるまで、モデルのそれぞれの端部の隔壁に徐々に作用させた。端部条件を固定端及びヒンジ端とした場合の比較を行い、端部固定では、現実的ではないことが確認された。従って、本規定においては、ヒンジ端を用いることとした。

1編8章5節3.1.3に規定する座屈強度及び本節に規定する許容座屈使用係数に基づいて行ったクロスタイの座屈強度計算は、正確かつ十分な余裕を持った結果が得られている。

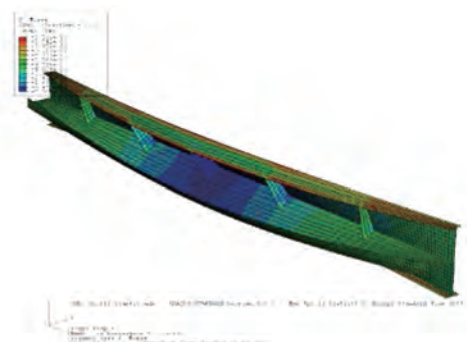


図1 評価に用いた梁モデル

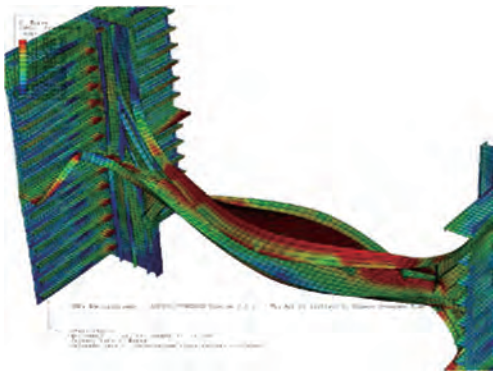


図2 クロスタイ

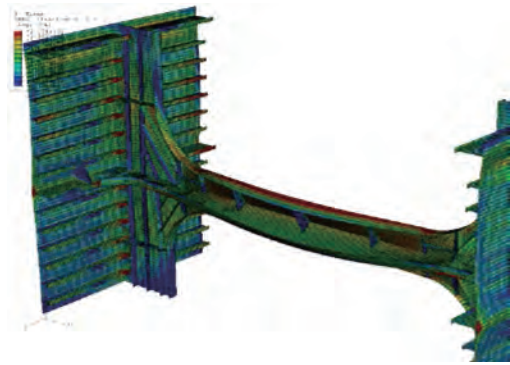


図3 ストリングにトリッピングブラケットを加えたクロスタイ

表1 CSRに規定する振り座屈の算式による結果と非線形有限要素解析による結果の比較

モデル	f_{end}	CSR-OT Sec.10 3.5.1.4		非線形解析	
		弾性座屈	限界応力	弾性座屈	限界応力
フルモデル (図2)	2			151	142
トリッピングブラケットを加えたフルモデル (図3)	2	149	142	171	150
有効スパンを15mとしたモデル	1	152	144	147	131
	4	520	208	469	216
有効スパンを20mとしたモデル (図1) (図2におけるクロスタイと同じスパン)	1	89	89	89	-
	2	149	142	-	-
	4	271	184	252	188

表2 評価に用いた5隻より得られた結果

		評価に用いた5隻のVLCC				
		1	2	3	4	5
AC1	実応力 - CSR 前の各船級規則の許容値と等しい値又は小さい値	139	129	113	107	118
	使用係数	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
	$f_{end} = 2$					
	コラム座屈に対する許容応力	149	147	142	148	149
	振り座屈に対する許容応力	121	105	85	110	103
	$\sigma_{act}/\sigma_{allow}$	114%	123%	133%	97%	115%

1.9.2 溶接結合部

本規定に対する技術背景は必要ないものとする。

1.9.3 水平防撓材

本規定に対する技術背景は必要ないものとする。

2. 立て式波形隔壁

2.1 適用

2.1.1

本規定に対する技術背景は必要ないものとする。

2.2 寸法要件

2.2.1 高さ方向に亘るネット板厚

本要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。同様の要件は、IACS統一規則S18 4.1 (Rev.8, May 2010) に含まれている。

2.2.2 高さ方向に亘るウェブのネット板厚

せん断強度に関する要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。せん断力は横隔壁の下部に作用する分を考慮し、IACS統一規則S18 (Rev.8, May 2010) における同様の要件の適用と整合させ、波形隔壁の下方15%の範囲に限定している。これらの要件は、下部スツールが設けられていない波形隔壁には適用されない。

2.2.3 高さ方向に亘るフランジのネット板厚

本要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。規則における板厚の算式は、波形隔壁の座屈強度の計算結果に基づく。これは波形隔壁のフランジに対する局部座屈強度の評価基準であり、梁柱として波形構造における全体の座屈強度を決定する。

規則の算式は、波形隔壁の座屈強度に関する理論及び実績に基づいており、特に板部材は面内圧縮ではなく面外荷重によって座屈することに注意する必要がある。

2.2.4 高さ方向に亘るネット断面係数

本要件は、CSR-OT (July 2010) に基づく。断面係数の算式は、単純な梁理論及び垂直波形隔壁はそれぞれ独立した垂直な梁柱から構成されるという仮定に基づく。波形隔壁に対する荷重は主に以下の3つの要素からなる。

1. 面外荷重
2. 二重底の曲げ変形により伝達された曲げモーメント
3. 二重底の曲げ及び甲板荷重による波形構造における垂直軸力

算式は、波形構造の端部における境界条件が考慮されており、それらを定式化したものを規則表7に規定している。なお、本要件は有限要素法による計算結果を基に、キャリブレーションが行われている。

下部スツールが設けられていない波形隔壁に対する算式は、下部スツール及びデッキボックス付きの波形隔壁の算式に基づいている。垂直方向曲げモーメントを算出するために用いる曲げモーメントの係数 C_i は、 A_d/b_d (隔壁の上部部スツールを形成する部材により閉囲される断面積/上部船側タンク間又は上部船側タンクと中心線状の上部スツール間又は上部スツールがない場合は波形フランジ間の甲板上での貨物タンク幅) を広い範囲で変化させた場合の変数 R_b (下部スツールに対する変数) に応じた係数 C_i (横隔壁及び縦通隔壁における下端及び中点における値) を計算することによって、 R_b を変数として係数 C_i を定式化した。

前述の係数 C_i の算式を用いて、 R_b を0とした場合 (下部スツールなしの場合) の係数 C_i を得ることができる。この場合の $R_b=0$ に対する係数 C_i より、横隔壁及び縦通隔壁について A_d/b_d を変数とし C_1 、 C_{m1} 、 C_3 及び C_{m3} に対応する算式をそれぞれ規定した。

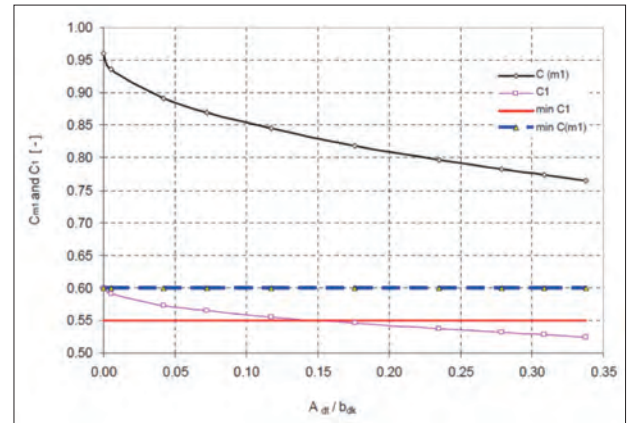


図4 下部スツールが設けられていない波形横隔壁に対する C_1 及び C_{m1}

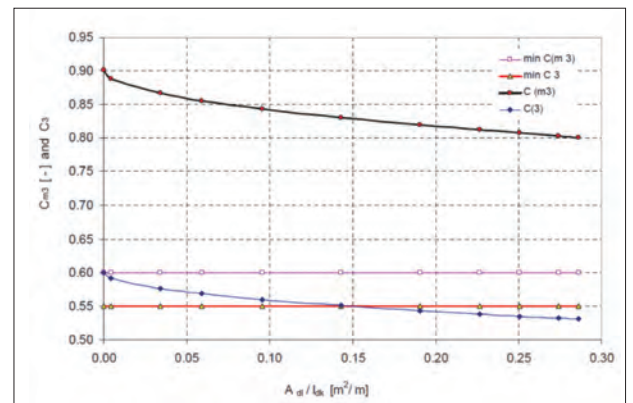


図5 下部スツールが設けられていない波形横隔壁に対する C_3 及び C_{m3}

4節 船体艤装

1. 非常用曳航設備に使用する部品に対する支持構造

1.1 一般

1.1.1

本節の要件は、SOLAS条約第II-1章第3-4規則 (その後の改正を含む。) 及びMSC 35(63)で採択された“guidelines for emergency towing arrangements for tanks” (その後の改正を含む。) に基づく。

1.1.2

1.1.1によること。

1.2 提出図面

1.2.1

本規定に対する技術的背景は必要ないものと考えられる。

1.3 構造配置

1.3.1 強度の連続性

1.1.1によること。

1.3.2 応力集中

1.1.1によること。

1.4 最小板厚要件

1.4.1 甲板

1.1.1によること。

1.5 荷重

1.5.1 安全使用荷重

1.1.1によること。

1.5.2 荷重条件

1.1.1によること。

1.6 寸法要件

1.6.1 一般

1.1.1によること。

1.6.2 計算手順

1.1.1によること。

1.6.3 許容応力

1.1.1によること。

2. その他の甲板艙装

2.1 カーゴマニホールド

2.1.1 カーゴマニホールドの支持

本規定に対する技術的背景は必要ないものとする。