

第2部 CSRにおける技術的共通事項の解説

1. はじめに

タンカー及びばら積貨物船の共通構造規則は、以下のよう
な共通の基本的な考え方に基づいている。

(1) 環境条件

最も厳しい自然環境条件を設計条件とするものとし、
航行区域は北大西洋、設計寿命は25年とする。

(2) ネット寸法手法

腐食による板厚減少を考慮した寸法、所謂ネット寸
法における強度を評価する手法が採用されている。考
慮する腐食量は、統計データに基づき設定した、使用
期間25年における腐食推定値に基づいており、就航期
間において生じると予想される腐食衰耗量を考慮した
寸法における強度が評価されている。また、考慮する
腐食量は、鋼材の切替基準とも直接関連付けられてい
る。

(3) 限界状態設計に対応

終局限界状態、使用限界状態、事故限界状態、疲労
限界状態の4つの損傷モードを考慮する限界状態設計
法に対応している。

(4) IMO Goal Based Standard

IMOで議論されているGoal Based Standardの第II階
層に位置づけられる機能要求事項に合致するよう策定
された。

(5) 各船級協会の経験や最新技術のフィードバック

各船級協会における図面審査及び就航中の構造検査
を通じて得られた経験（損傷及び損傷による影響等）
が構造規則にフィードバックされている。また、各船
級が独自に実施していた研究開発の成果も反映されて
いる。

(6) 透明性の確保

技術的背景や現行設計に対する影響などを規則内容
と共に業界に説明し、また、業界からの意見をフィー
ドバックするなど、透明性の高い規則開発手順が採用
されている。

以下に、両規則に共通な技術的事項であるネット寸法手
法における腐食予備厚とハルガーダの縦曲げ最終強度に
ついて解説する。

2. 腐食予備厚

2.1 合理的なネット寸法手法の導入

2.1.1 腐食推定モデルの開発

船舶は、常に厳しい腐食環境に曝されながら使用される
鋼構造物である。NKにおける損傷データを、腐食衰耗の
ない変形、腐食衰耗のない亀裂、腐食衰耗による変形・亀
裂・破孔に分類した結果、船齢が若いときは、設計や工作
に起因する損傷が多く発生し、船齢が高くなると、腐食或
いは腐食衰耗による強度低下による損傷が発生する、所謂
バスタブカーブといわれる損傷の特徴が見られ、一般的な
構造物に共通する損傷発生形態であることが判明している。

このような状況は、従前より生じているため、検査関連
規定の強化、バラストタンク、貨物倉の塗装などの防食対
策に関する要件が規定されている。しかしながら、防食対
策や定期的な保守だけでは、腐食衰耗による構造部材の強
度低下を抑制することができないため、想定使用期間に生
じる腐食量、即ち、腐食予備厚を初期寸法に追加する対策
も採用されてきた。

従来採用されてきた腐食予備厚は、腐食量の時間依存性
を考慮した年間衰耗率（或る時点での腐食衰耗量を時間で
除した値）をベースに設定されていた。この年間衰耗率は
算定方法が、以下の理由により採用されてきた。

- ① 算定方法が、簡単で、且つ、直感的に分かり易い。
- ② この結果に基づく衰耗量の評価が簡便である。即ち、
年間平均衰耗量 (mm/year) × 年数で、腐食予備厚を
評価できる。

しかし、板厚計測データから年間衰耗率を評価した場合、
以下のような不具合がある。

- 1) 算定される年間衰耗率の値は大きくばらつく
- 2) 評価に用いるデータの取得年数の違いにより結果が異
なる

また、年間衰耗率の考え方は、腐食の進行量が時間に比
例するという考えであるが、実際の計測データの1次回帰
を行った場合、以下のような不具合がある。

- 3) 相関係数が非常に小さい
- 4) 1次回帰式の切片が0とはならない

以上の不具合の内、1)及び3)は腐食現象が確率事象であるこ
とに由来している。このことは、腐食量の評価を行う場合には、
確率論的な評価に立脚しなければ有効な判断が下せないことを
意味している。一方、2)及び4)はある程度時間が経過しても塗装
が有効な間は腐食量がゼロの状態があること及び腐食の進行量
が時間に対して線形関係でないことに由来している。

従って、腐食量を合理的に評価するためには、上述の不
具合を解消する評価手法を採用する必要がある。そこで、
(a) 板厚減少が生じるような腐食状態に至るまでの時間、
(b) 板厚減少の時間依存性、及び

(c) 前(a)及び(b)の現象が確率現象であり、実測データのバラツキの大きさ

を考慮できる確率論的評価手法を導入した腐食進行モデルを開発した。即ち、塗膜が健全な期間は、腐食衰耗は発生しないが、その健全性が損なわれてくる時期になると、塗膜損傷箇所へ腐食がランダムに発生し始める。腐食発生当初は、腐食は、板厚を減少させる方向に進展するが、ある程度板厚が減少すると、板の面内方向へも進展し始め、全体的に腐食衰耗するという経緯をたどる。これを模式的に示すと、図 2.2.1 のようになる。

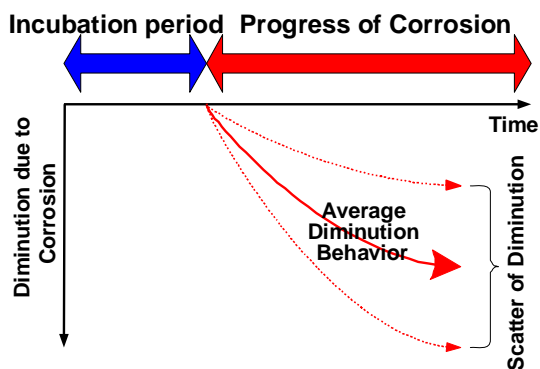


図 2.2.1 腐食衰耗の発生進展の模式図

この腐食衰耗の発生進行過程をモデル化するに際し、次のような仮定を設け、それぞれの過程を確率論に基づくモデルを構築することとした。

- ① 就航後時間が経過するにつれ、一部塗膜の有効性が損なわれ部材表面に孔食点に推移する可能性を有する孔食活性点が生じる。
- ② 生成された孔食活性点が実際に腐食・衰耗を生じさせる孔食点へと推移する。
- ③ 生成された孔食点は夫々独立に成長する。

2.1.2 ネット寸法手法の導入

前述のように、現行規則では、板部材に対し、年間平均衰耗率を考慮した板厚 (2.5mm (0.1mm/year × 25year), タンカーにあっては 3.5mm) を、強度モデルから得られる要求板厚に加え、骨部材に対しては、要求断面性能に安全率を乗ずる方式が採用されてきた。しかし、定期的検査における構造部材の切替基準は、強度モデルとは直接関係なく、縦強度部材、横強度部材など船体構造の重要度を考慮し、現場において取り扱いが簡単な方式、即ち、元厚に対する割合を定めていた。この場合、強度的観点から板厚が厚くなっている部材ほど、その許容衰耗量が大きくなる。また、防撓材のように梁としての強度特性 (断面係数) が規定される部材については、板厚計測の結果から、強度レベルを定量的に判断できないものであった。

CSR では、強度的に必要な寸法と腐食衰耗による衰耗量を明確に区別し、船舶の就航期間中、常に強度的に必要な

寸法を確保することとした。従って、就航中に生じた腐食衰耗が、強度的に必要な寸法を減少させないようにするために、設計時に考慮した腐食予備厚を切替基準として絶対値で与えるネット寸法手法が導入された。また、防撓材のように断面特性が規定されている構造部材の切替基準も、絶対値で与えられることにより、板厚計測結果から、切替の有無が容易に判断できるものとした。

2.2 板厚計測記録

ネット寸法手法導入にあたっては、実際の腐食量に基づく腐食量を推定することが最も重要となる。しかし、板厚計測データだけでは、以下の理由により実際の腐食量を推定することが困難である。

- (1) 設計寿命25年とした場合に、25年における板厚計測データが多くない。
- (2) 二重船殻油タンカーや二重船側ばら積貨物船では、有意な板厚計測データがない。

そこで、前述の確率論に基づき、腐食現象を科学的に評価できる腐食進行モデルと数多くの板厚計測データを用いて、腐食量を評価することとした。板厚計測データは、IACS AHG/Hull Damageが収集した、シングルハルタンカー (SH タンカー) 376,895点及びばら積貨物船 (BC) 148,133点、合計500,000点以上ものデータを用いた。

また、これらの板厚計測データでは、塗装要件、タンカーにおける分離バラスタタンク (SBT) 設置など適用規則の違いにより生じる異なる腐食環境のデータが含まれているため、バラスタタンクの塗装の有無、タンカーにおける SBT の採用の有無及びばら積貨物船の倉内の塗装の有無を整理し、それぞれの場合について、腐食進行モデルの妥当性を確認した。

腐食予備厚設定にあたっては、今後設計される船舶に適用される規定である

- (a) バラスタタンクは、タールエポキシ又は同等の塗装が施工されている。
- (b) タンカーにおける SBT が採用されている。
- (c) ばら積貨物船の倉内は、タールエポキシ又は同等の塗装が施工されている。

2.3 腐食進行モデルによる腐食量の推定

2.3.1 船齢及び累積確率値

船体構造部材の腐食量は経過年数に依存し、船齢が高くなればなるほど腐食量は大きくなる。従って、腐食量の推定にあたっては、この経過年数をいかに設定するかが一番重要なポイントとなる。そこで、船舶の廃船年数を LMSI データ (2000) から調査した。その結果を表 2.2.1 に示す。

この結果は、CSR の基本的な考え方に掲げた設計寿命を 25年とすることが妥当であることを示すものであり、腐食推定における評価期間も 25年とした。

表2.2.1 平均廃船年齢

船の種類	平均廃船年齢(年)
旅客船	32.70
タンカー	22.40
ばら積貨物船	23.00
液化ガス運搬船	23.37
一般貨物船	24.44
全船舶	約 25年

また、腐食現象が確率的な現象であることから、その確率レベルを定めることも重要なポイントである。

前述のように想定する腐食量は、設計時に考慮する腐食予備厚となり、就航中における切替基準となるものである。就航中における切替量を最小にするためには、高い確率レベルの値を採用する必要がある。ここでは、ばらつきが多い現象を取り扱う疲労強度の評価基準と同様に、2標準偏差の余裕をみることにした。なお、腐食現象は、ばらつきが大きく、塗装の有無などの腐食環境により異なることから、各構造部材の2標準偏差の余裕をみた平均値に相当する確率レベル95%の数値を採用した。この数値の持つ統計的な意味は、同一部材で約5%は推定腐食量を超える、即ち、切替が必要となる。しかし、実際の腐食状況は、船舶の保守状況に強く依存しているため、保守状況の悪い船舶は、切替箇所が5%より多くなり、標準的な保守がなされている船舶では、5%より小さく、殆ど切替がないレベルを意味している。

2.3.2 腐食推定結果

25年における累積確率値95%の腐食推定結果について、表2.2.2にBCの結果を、表2.2.3にSHタンカーの結果を示す。これらの結果に対する考察を以下に示す。

- (1) 貨物油タンク (COT) 及びバラスタタンク (BWT) 内の桁部材及び防撓材は、残油や残水の影響があると思われる水平方向の部材とその影響が少ないと思われる垂直方向の部材に分類できるが、取り付け方向による腐食量の平均値を見る限り、取り付け方向による腐食量の差は殆どない。
- (2) COT及びBWT内の桁部材の腐食は、面材の方がウェブより大きい。また、防撓材の腐食量は、桁部材のウェブとほぼ同じである。これは桁部材の面材には高応力が生じていること、また、切断加工される桁部材の面材は、エッジ部から腐食が進行し易く、防撓材には型鋼のデータが多いためと考えられる。
- (3) SHタンカーのCOTの船底外板の腐食量は、SHタンカーのBWTの船底外板やばら積貨物船の船底外板の腐食量に比べて大きな腐食量となっている。これは、COTの船底外板において生じるピッチングコロージョンの影響と考えられる。

表2.2.2 ばら積貨物船の構造部材の腐食推定結果 (mm)

Structural member		Cargo hold	Ballast hold	
Bulk carrier of deadweight above 50,000 tons	Bulkhead	L & M	7.03	7.24
		Upper	5.28	4.79
	Hold Frame	L & M	4.91	4.82
		Upper	4.08	4.21
	Slope plate of Lower stool		6.92	5.89
	Inner bottom		5.39	-
	Slope plate of BHT		5.45	-
	Slope plate of TST		3.51	-
	Side shell		3.48	-
	Hatch coaming		3.35	-
Bulk carrier of deadweight below 50,000 tons	Bulkhead	L & M	3.64	2.32
		Upper	2.29	2.42
	Hold Frame	L & M	2.29	2.70
		Upper	1.64	4.41
	Slope plate of Lower stool		3.88	3.88
	Inner bottom		5.89	-
	Slope plate of BHT		4.74	-
	Slope plate of TST		2.06	-
	Hatch coaming		2.00	-
	Side shell		3.70	-
All	Upper Deck		4.69	-
	Bootm plate		1.83	-
	Longl. In DB tank		2.41	-
	Longl. In TST		2.956	-
	Floor		2.52	-
	Girder		3.05	-
	Trans. Ring in BHT		3.38	-
Trans. Ring in TST		4.47	-	

注) L & Mは、Lower & Middle (下部及び中央部)を示す。

表2.2.3 SHタンカーの構造部材の腐食推定結果 (mm)

Structural member	COT	WBT
Bottom trans. Web	3.26	2.94
Bottom trans. Face	2.22	2.01
Cross tie Web	2.23	2.01
Cross tie Face	2.21	2.06
Deck trans. Web	2.35	2.21
Deck trans. Face	2.65	3.38
Horizontal Girder Web	2.30	2.16
Horizontal Girder Face	3.48	3.43
L B nd . trans. Web	2.71	1.64
L B nd . trans. Face	1.68	1.63
Side trans. Web	1.71	2.59
Side trans. Face	1.70	1.63
Transverse Bulkhead	2.72	3.02
Longitudinal Bulkhead	2.22	2.20
Upper Deck plating	3.54	2.19
Side shell plating	2.18	2.46
Bottom plating	3.66	3.42
Deck longl. web	2.22	2.09
Decl longl. Face	2.15	2.02
Side longl. Web	2.09	2.04
Side longl. Face	2.08	2.04
Bottom longl. Web	2.13	2.13
Bottom longl. Face	2.19	2.05
L B nd . Stiffener Web	2.07	2.07
L B nd . Stiffener Face	2.10	3.06

- (4) BCのトップサイドタンク内の構造部材の腐食量は、二重底及びビルジホップタンク内の構造部材の腐食

量より大きい数値となっている。これらのタンクはバラストタンクとして使用されるが、トップサイドタンクはその頂部が直射日光の影響を受け、また、二重底タンクと異なり海水に冷却されないため、内部が高温になるため、腐食量が大きくなっていると考えられる。

- (5) BCの倉内構造部材の腐食量は、貨物倉の方がバラストホールドよりもばらつきがあるものの、ほぼ同程度であった。このことから、BCの倉内部材の腐食量を決定する際は、バラストホールドであっても貨物倉の腐食量を用いれば安全側になる。
- (6) BCの貨物倉内の構造部材の腐食量は、貨物倉の深さ方向により異なる。これは、下方にある構造部材は、貨物との接触や荷役装置などの影響をより強く受けるためである。
- (7) 倉内肋骨の腐食量は、横置隔壁の腐食量より小さい。これは、倉内肋骨は、バラスト時には、船側外板を通して冷却されるが、横置隔壁では、それがない。また、横置隔壁は、一般に波型であり、曲がり部の塗装が早期に損傷受けやすいこともその原因と考えられる。
- (8) BCの倉内構造部材の腐食は、積載貨物による影響(積載貨物の腐食性、接触の有無、荷役方法)を強く影響される。一般的に、船の長さが200m以上のBCは、石炭や鉄鉱石など腐食性物質を積載するのに対し、200m未満のBCは、それらを殆ど積載しないことが多いためである。

2.4 腐食環境の整理

上記の腐食進行モデルは、計測データのある構造部材に対しての腐食推定量を与える。しかし、この結果からでは、計測データのない二重船側ばら積貨物船の二重船側部及び二重船殻油タンカーの内底板や二重船側部の構造部材の腐食量は評価できない。そこで、腐食現象は、構造部材が曝される腐食環境因子に強く依存することから、推定結果のある構造部材の腐食環境を整理した。これにより、計測データのない部材であっても、当該部材の腐食環境から腐食量を推定することができる。そこで、腐食環境を上記腐食推定結果の考察を踏まえ、以下のとおり整理した。

1) ばら積貨物船

- ① 大気に曝される箇所
- ② バラスト水に曝される箇所
- ③ 倉内部材
- ④ 高温になる箇所
- ⑤ 桁部材の面材と桁部材のウェブ及び防撓材
- ⑥ 倉内の高さ方向の位置
- ⑦ 主要な積載貨物の種類

2) タンカー

- ① 貨物油に曝される箇所
- ② バラスト水に曝される箇所
- ③ 大気に曝される箇所

- ④ 海水に曝される箇所
- ⑤ 高温になる箇所
- ⑥ 桁部材の面材と桁部材のウェブ及び防撓材
- ⑦ ピッチングコロージョンが発生する箇所

各構造部材において、上記腐食環境の腐食量を未知数とし、各構造部材の腐食量を解とする連立一次方程式を解くことにより、腐食要因による腐食量を求めることができる。なお、同一環境にある構造部材であっても腐食量が異なることから、これらの解を求める際には、計測点数を重み関数として解を求めた。

2.5 腐食予備厚

上述の腐食環境による腐食量は、構造部材の片面が接する場合の腐食量となる。また、IACS AHG / Hull Damage が収集した板厚計測データは、単船側構造の BC 及び SH タンカーの中央部の倉内に焦点をあてているため、燃料タンク内や清水タンクなどのデータが含まれていない。これらについて、追加の計測データから類推した。また、船側については、港湾に着岸する際に塗装が損傷する恐れがあるため、少し余裕を持たせるべきとの船主の意見を反映して 0.5mm 追加した。その結果が、CSR における腐食予備厚である。さらに、BC については、IACS UR S25 との整合性を考慮した。

設定した腐食予備厚と腐食推定結果の比を図 2.2.2 及び図 2.2.3 に示す。図中の縦軸の値が 1 より大きい場合(図中、赤線より上方となる構造部材)の腐食は、設定した腐食予備厚が推定結果より大きいことを示す。

これらの図から、設定した腐食予備厚に、検査間隔 2.5 年における腐食進行分である 0.5mm を加えた腐食予備厚は、若干のばらつきはあるものの、腐食推定値より安全側の値となっていることが分かる。なお、タンカーにおける船底外板及び船底横桁の腐食推定値が設定した腐食予備厚より大きい値となっているのは、設定した腐食予備厚が二重底構造であることを考慮したためである。また、ばら積貨物船において、上甲板、横隔壁、下部スツール斜板の腐食推定値が腐食予備厚より大きい値となっているのは、腐食環境要因分析において、同様の腐食環境における加重平均を採用したことによるばらつきにより生じたものである。

また、現行鋼船規則 C 編で規定する腐食予備厚と CSR に規定する腐食予備厚の違いを図 2.2.4 及び図 2.2.5 に示す。なお、現行鋼船規則では、防撓材の腐食予備厚は明記されていないが、防撓材の断面係数の規則算式の中に安全率として含まれているものを示す。この結果から、タンカーにおいては、甲板及び内底板の腐食予備厚が強化され、BC においては、バラストタンク、倉内構造全般にわたり強化されていることが分かる。

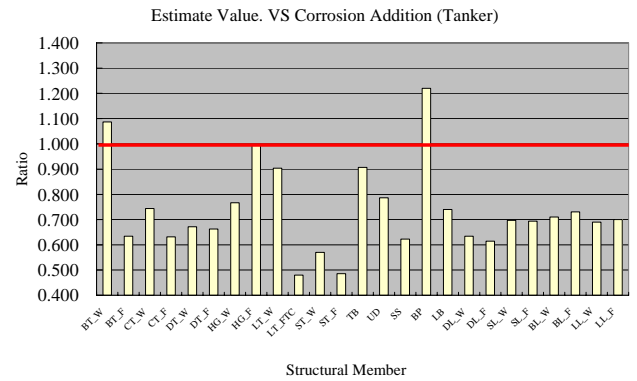
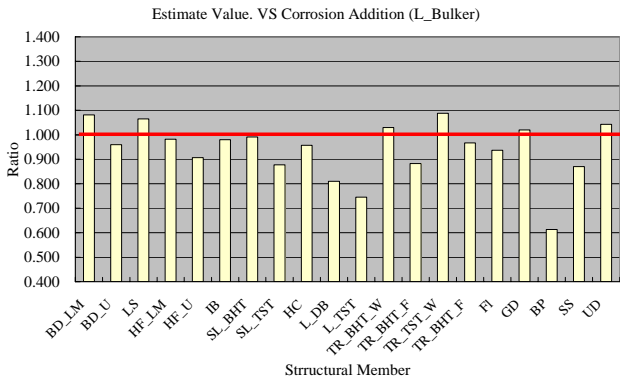


図 2.2.2 ばら積貨物船の腐食予備厚と腐食推定量の比較

図 2.2.3 タンカーの腐食予備厚と腐食推定量の比較

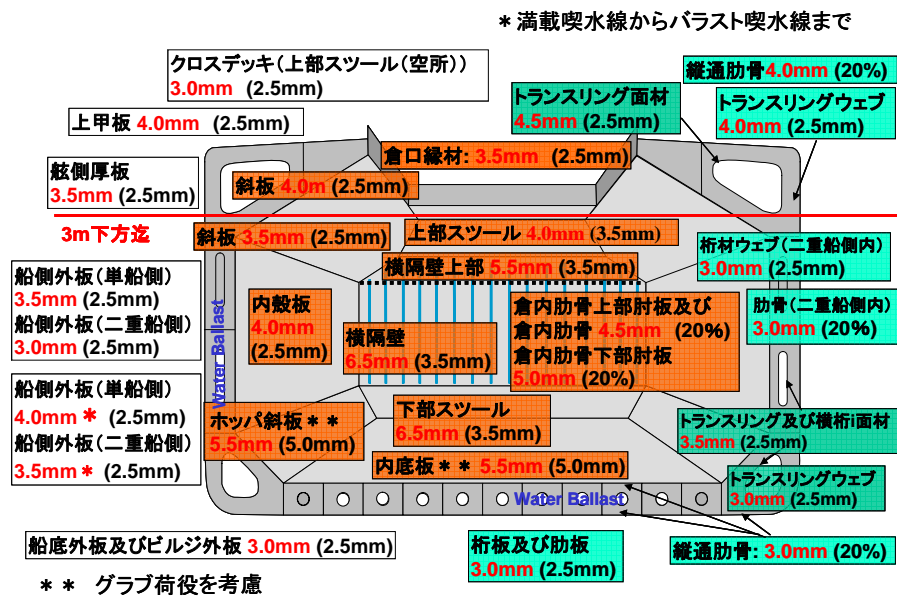


図 2.2.4 現行規則(C編)と CSR における腐食予備厚の違い(BC-A)

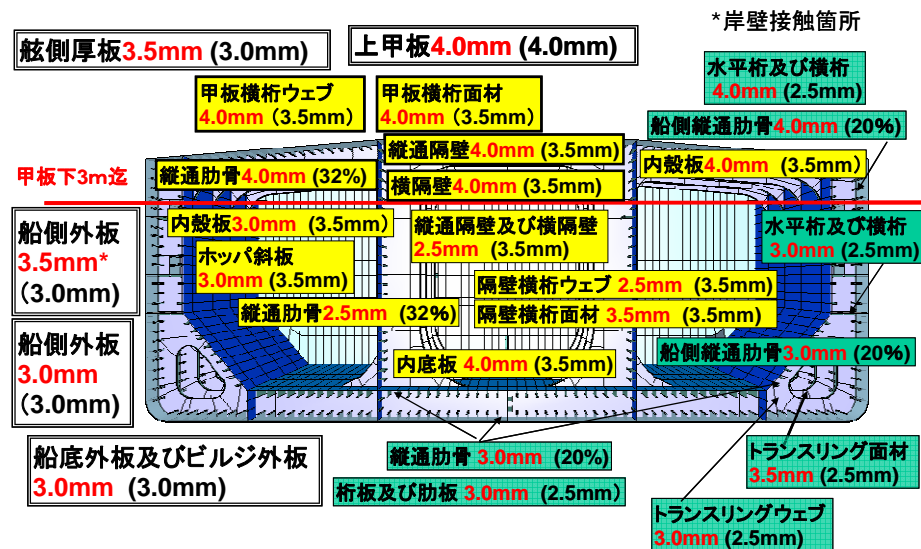


図 2.2.5 現行規則(C編)と CSR における腐食予備厚の違い(タンカー)

3. ハルガーダ縦曲げ強度の評価基準

3.1 はじめに

ハルガーダ縦曲げ最終強度は、ばら積貨物船及び二重船殻油タンカーの最も重要な崩壊状態に対する強度要件であり、縦曲げ最終強度の評価基準は、複数隻のタンカーに対する構造信頼性解析により導かれた部分安全係数に基づいている。ここで、部分安全係数法とは、限界状態設計法とも呼ばれ、複数の変数（ここでは、静水中縦曲げモーメント、波浪中縦曲げモーメント及びハルガーダ縦曲げ最終強度の3つの変数）の不確定性を別個に扱うために開発されたものである。以下の解説は、JTPにより公開されていた解説に基づくものであるが、基本的にBCも同様な考え方に基づいているので、共通の解説として記載する。

縦曲げ最終強度に対する評価基準算式を、下記に示す。

$$\gamma_S M_S + \gamma_W M_W \leq \frac{M_U}{\gamma_R}$$

ここで、

M_S : 静水中縦曲げモーメント

γ_S : 静水中縦曲げモーメントに対する部分安全係数

M_W : 波浪中縦曲げモーメント

γ_W : 波浪中縦曲げモーメントに対する部分安全係数で、周辺環境、波浪荷重及び波浪中縦曲げモーメント推定におけるモデル不確定性を含む

M_U : ハルガーダ縦曲げ最終強度

γ_R : ハルガーダ縦曲げ最終強度に対する部分安全係数で、材料、幾何形状及び強度推定におけるモデル不確定性を含む

上式における部分安全係数 γ_S 、 γ_W 及び γ_R を構造信頼性解析に基づいて設定した。

3.2 構造信頼性解析

構造信頼性解析は、不確定要因を抽出し、可能な限り現実に近い構造強度評価を実施することを目的としており、構造信頼性解析においては、荷重や強度のばらつきが考慮される。また、同時に、荷重や強度推定におけるモデル不確定性も考慮される。

信頼性解析とこれに基づいた部分安全係数設定の流れを図2.3.1に示す。ここで部分安全係数は、目標とする信頼性レベルにおける設計点での値(崩壊が最も起こりやすい点)と特性値との比として計算される。部分安全係数の大きさは、規則の適用範囲にある試適用船に対して、一貫性のある信頼性レベル、即ち、非安全側の評価や過大な安全側の評価とならないように設定される。

3.3 荷重及び強度の不確定性のモデル化

環境条件(有義波高、平均波周期)、静水中縦曲げモーメント、波浪中縦曲げモーメント及びハルガーダ縦曲げ最

終強度について、関連する最新の研究結果を基にその不確定性を調査、検討し、それぞれの適切な確率モデルを仮定した。構造信頼性解析に用いた確率モデルを、タンカーについて、表2.3.1に示す。

3.4 信頼性解析法

荷重と強度のばらつきを考慮した上で、荷重が強度を超えたとき、ハルガーダは縦曲げ最終強度に至ると定義する。この確率、即ち、破壊確率の計算は、実用的手法として一般に広く用いられている一次近似信頼性解析法、FORM (First Order Reliability Method) を用いる。

3.5 信頼性解析結果

FORMにより、破壊点、即ち、最も破壊が起こりやすい変数の組み合わせが求まり、静水中、波浪中モーメント及び縦曲げ最終強度に対する設計点の値に対応して、図2.3.1に従って部分安全係数が求まる。この値(縦軸)と、年間破壊確率(横軸で、対数值)の関係を図2.3.2に示す。

図2.3.2より、静水中曲げモーメントに対する部分安全係数 γ_S は1.0より小さく、縦曲げ最終強度の部分安全係数 γ_R は、1.0から1.1の範囲にあることが確認できる。一方、波浪中モーメントに対する部分安全係数 γ_W は、対象船舶により、ある程度のばらつきを示しており、破壊確率が小さくなるにつれて、他の部分安全係数よりも増加する傾向が顕著である。

3.6 部分安全係数の設定

構造信頼性解析より得られた破壊確率に対して、目標安全性レベルとして、許容破壊確率を設定し、この許容破壊確率以下に収まるように、各部分安全係数を設定した。

統一的な許容破壊確率の値を決めることは現状では難しいが、船舶では 10^{-3} から 10^{-4} 程度が妥当であろうと考えられ、この場合、図2.3.2の結果から、タンカーに対して、それぞれ、 $\gamma_S = 1.0$ 、 $\gamma_W = 1.2$ 又は 1.3 、 $\gamma_R = 1.1$ の部分安全係数を用いることとした。なお、 $\gamma_W = 1.2$ は、許容静水中縦曲げモーメントを使用する場合に用い、 $\gamma_W = 1.3$ は、実際に生じる最大の静水中縦曲げモーメントを使用する場合に用いる。BCにおいては、許容静水中縦曲げモーメントを使用するため、 $\gamma_W = 1.2$ を用いる。

以上のように、許容静水中縦曲げモーメントを用いる場合には、すべての部分安全係数が統一されている。

また、ハルガーダ縦曲げモーメントの算定方法において、タンカーCSRでは簡易算式による手法を認めているが、両規則とも、Smithの方法による点で共通である。

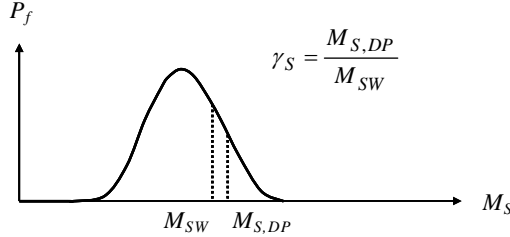
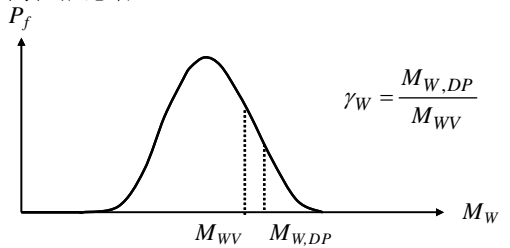
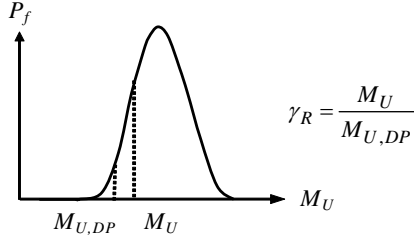
	規則算式	信頼性評価
基準	$\gamma_S M_S + \gamma_W M_W \leq \frac{M_U}{\gamma_U}$ 安全係数, $\gamma_S, \gamma_W, \gamma_U$	$P_f \leq P_{f,target}$, ここで, P_f は, 確率密度関数 限界状態: $g = M_U - M_S - M_W$ 設計点 (Design Point) : DP
静水中縦曲げモーメント, M_{SW}	規則要求値 (経験的) 実際の積付状態 その他	実際の積付状態 モデルの不確定性 → 静水中縦曲げモーメント M_S の分布 
波浪中縦曲げモーメント, M_{WV}	規則要求値 (経験的) 直接計算 (解析の種類に関する詳細, 環境条件, 確率レベル等) その他	強度モデルと環境モデルの結合 流体力学的解析 モデルの不確定性 → 年間極限応答 
縦曲げモーメント強度容量, M_U	計算方法の例として, 反復増分法 材料強度 その他	任意の使用材料 幾何形状による不確定性 モデルの不確定性 → 強度容量分布 

図2.3.1 部分安全係数設定の流れ

表2.3.1 構造信頼性解析に基づく変数

変数名	分布	パラメータ
応答に関する変数		
有義波高 (h_s)	ワイブル分布	$f_{H_s}(h_s) = \frac{\beta}{\alpha} \left[\frac{h_s - \gamma}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{h_s - \gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]$ $\alpha = 2.721, \beta = 1.401, \gamma = 0.866$
ゼロ交差における波周期 (T_z)	対数正規分布	$f_{t_z H_s}(t_z h_s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp \left[- \frac{\{\ln(t_z) - \mu\}^2}{2\sigma_z^2} \right]$ $\mu = E\{\ln(T_z)\}, \sigma = \sqrt{Var\{\ln(T_z)\}}$
波浪縦曲げモーメントの短期予測値	グンベル分布	波浪階級の関数
波浪縦曲げモーメントの年間最大値	数値計算	ISSC2000に報告されている手法による。
静水中縦曲げモーメント	正規分布	平均値は, LM最大値の0.7倍 標準偏差は, LM最大値の0.2倍
縦曲げ最終強度に関する変数		
降伏強度 (軟鋼)	対数正規分布	平均値=269MPa, CoV=0.08, 下限値=0
降伏強度 (高張力鋼)	対数正規分布	平均値=348MPa, CoV=0.06, 下限値=0
計算モデルの不確定性に関する変数		
線形解析における波浪縦曲げモーメント	正規分布	平均値=1.0, 標準偏差=0.1
非線形影響を考慮した波浪縦曲げモーメント	正規分布	平均値=1.0, 標準偏差=0.1
静水中縦曲げモーメント	正規分布	平均値=1.0, 標準偏差=0.1
縦曲げ最終強度の計算	正規分布	平均値=1.05, 標準偏差=0.1

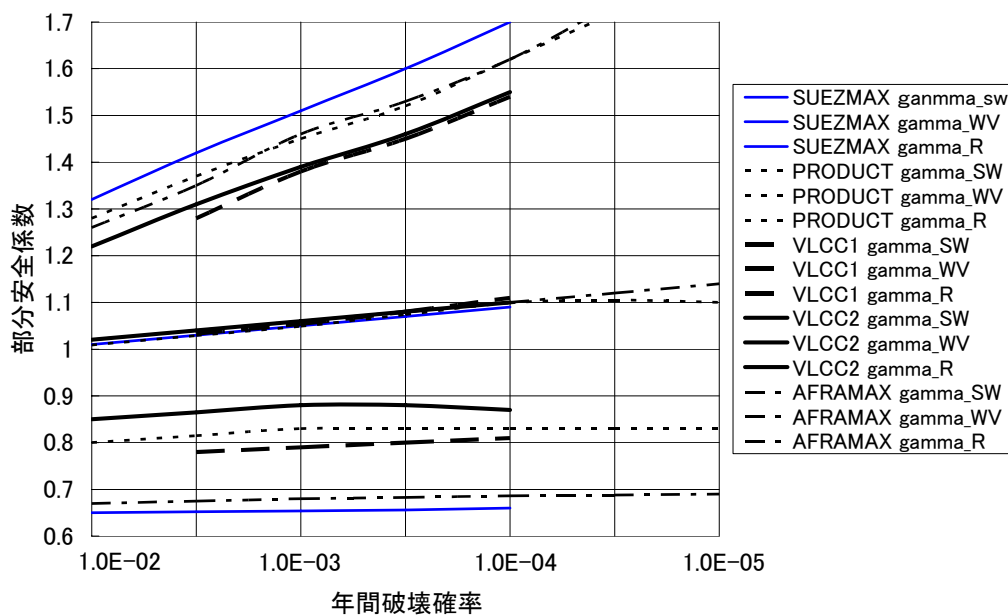


図2.3.2 目標年間破壊確率に対する部分安全係数