

# 鋼 船 規 則

## 鋼 船 規 則 檢 査 要 領

D 編

機 関

鋼船規則 D 編  
鋼船規則検査要領 D 編

2018 年 第 1 回 一部改正  
2018 年 第 1 回 一部改正

2018 年 6 月 29 日 規則 第 89 号／達 第 41 号

2018 年 1 月 31 日 技術委員会 審議

2018 年 6 月 25 日 国土交通大臣 認可

規則の節・条タイトルの末尾に付けられた  
アスタリスク (\*) は, その規則に対応する  
要領があることを示しております。

# 鋼船規則

D 編

機関

規則

2018 年 第 1 回 一部改正

2018 年 6 月 29 日 規則 第 89 号

2018 年 1 月 31 日 技術委員会 審議

2018 年 6 月 25 日 国土交通大臣 認可

規則の節・条タイトルの末尾に付けられた  
アスタリスク (\*) は, その規則に対応する  
要領があることを示しております。

2018 年 6 月 29 日 規則 第 89 号  
鋼船規則の一部を改正する規則

「鋼船規則」の一部を次のように改正する。

## D 編 機関

### 改正その 1

## 13 章 管艤装

### 13.6 空気管

13.6.1 を次のように改める。

#### 13.6.1 一般

(-1.は省略)

-2. 頂板の長さ又は幅のいずれかが  $7\text{ m}$  以上のタンクには、適当に離れた位置に 2 本以上の空気管を設けなければならない。ただし、頂板が傾斜しているタンクにあっては最高部付近に 1 本設けるだけにとどめて差し支えない。

-3. 2 本以上の空気管が要求されるタンクにおいては、大気までの空気の流れが確保されることを条件に、13.7.2 の規定を満足するオーバフロー管を空気管として使用して差し支えない。ただし、タンクには、少なくとも 1 本の空気管を設けなければならない。

~~-34.~~ 複雑な形状のタンク又はコファダムにあっては、空気管の位置及び数について特別の考慮を払わなければならない。

~~-45.~~ 空気管は、ドレンが溜まらないように配置しなければならない。

~~-56.~~ 燃料油サービスタンク、燃料油セトリングタンク及び潤滑油タンクに設ける空気管の位置及び配管は、空気管が破損した場合に海水及び雨水の侵入による危険に直接さらされないものでなければならない。

## 22 章 航路を制限される船舶及び小型の船舶に施設される機関の特例

### 22.2 特例の内容

#### 22.2.1 船級符号に *Coasting Service* 又はこれに相当する付記を有する船舶

-4.(6)を次のように改める。

-4. 船級符号に *Coasting Service* 又はこれに相当する付記を有する船舶のうち国際航海に従事しない船舶及び総トン数 500 トン未満の船舶にあつては、-1.から-3.によるほか、次によることができる。

((1)から(5)は省略)

(6) **13.5.10, 13.6.1-56., 13.8.5, 13.9.1-6.及び 13.9.1-7.**の規定は適用しなくても差し支えない。

((7)から(12)は省略)

#### 附 則 (改正その 1)

1. この規則は、2018 年 6 月 29 日（以下、「施行日」という。）から施行する。
2. 施行日以降に製造中登録検査の申込みをする船舶以外の船舶（以下、「現存船」という。）にあつては、この規則による規定にかかわらず、なお従前の例による。
3. 前 2.にかかわらず、船舶の所有者から申込みがあれば、この規則による規定を現存船に適用することができる。

## 14 章 タンカーの管装置

### 14.6 試験

#### 14.6.2 造船所等における試験

-2.を次のように改める。

-2. 貨物油タンク内の加熱管は、設計圧力の 1.5 倍以上の圧力で漏れ試験を行わなければならない。ただし、少なくとも 0.4 MPa 以上とする。

#### 附 則（改正その2）

1. この規則は、2018 年 6 月 29 日（以下、「施行日」という。）から施行する。
2. 施行日前に検査の申込みがあった試験については、この規則による規定にかかわらず、なお従前の例による。

## 18 章 自動制御及び遠隔制御

### 18.1 一般

#### 18.1.1 適用\*

-3.を次のように改める。

~~-3. 前-1.及び-2.に加えて、本会が必要と認める機器及び装置の機能を果たすために、コンピュータシステムを使用する場合は、当該コンピュータシステムの設計、構造、試運転及び保守~~コンピュータシステム並びにそれを構成するハードウェア及びソフトウェアの設計、構築、試験及び保守については、本章の規定によるほか、本会の別に定めるところによらなければならない。

-4.として次の1項を加える。

~~-4. -3.の規定は、次に掲げる設備等に該当するコンピュータシステムには適用しない。~~

- (1) 安全設備規則に規定する航海設備
- (2) 無線設備規則に規定する無線設備
- (3) 復原性計算機
- (4) 積付計算機

18.1.2 を次のように改める。

#### 18.1.2 用語\*

本章で使用する用語の意味は、次のとおりとする。

((1)から(9)は省略)

- (10) システムとは、相互動作するプログラマブル装置及び/又はサブシステムの組合わせであって、1つ以上の定められた目的を達成するために組織化された機器及び装置等をいう。
- (11) コンピュータシステムとは、制御、警報、監視、安全又は船内通信等の機能を与えるシステムであって、その機能を達成するためにソフトウェアを使用するものをいう。
- (12) サブシステムとは、システムを構成する特定可能な一部分であって、特定の機能を有するものをいう。
- (13) プログラマブル装置とは、ソフトウェアが搭載された物理的な構成要素をいう。
- ~~(10)~~(14) 安全システムとは、運転中の機器及び装置に重大な機能障害が発生したとき、機器及び装置の損傷を防止するため、自動的に次の(a)から(c)のいずれかの動作を行わせるシステムをいう。
  - (a) 予備装置の始動
  - (b) 機器及び装置の出力低減



(c) 機器及び装置の停止又は燃料供給の遮断

## 18.2 システム設計

### 18.2.4 制御システム

-1.を次のように改める。

#### -1. 制御システムの独立性

主機又は可変ピッチプロペラ，ボイラ，発電装置及び推進補機の制御システムは，それぞれ独立のシステムとしたものでなければならない。ただし，推進用発電装置と主電源装置が同一母線に接続されている場合には，これらの制御システムは共通のものとして差し支えない。

### 18.2.6 安全システム\*

-1.を次のように改める。

#### -1. 安全システムの構成独立性

安全システムの構成独立性については，次の(1)及び(2)によらなければならない。

- (1) 安全システムは，可能な範囲において制御システム及び警報システムから独立して設けること。
- (2) 主機，ボイラ，発電装置及び推進補機の安全システムは，それぞれ独立のシステムとしたものとする。

18.2.7 として次の 1 条を加える。

### 18.2.7 コンピュータの使用\*

-1. コンピュータシステムの信頼性及び保全会性は，コンピュータによらないシステムのそれより劣らないこと。

-2. コンピュータシステムを構成する制御システム，警報システム及び安全システムは，次の(1)から(3)の規定によらなければならない。

#### (1) コンピュータの要件

- (a) コンピュータの構成は，一部の回路又は装置の故障による影響の範囲ができる限り限定されるように計画されること。
- (b) 各装置は，入出力端子から侵入するおそれのある過電圧（電氣的ノイズ）に対して保護されること。
- (c) 中央処理装置及び重要な周辺装置は，自己監視機能を有すること。
- (d) 重要なプログラム及びデータは，外部からの給電が一時的に停止した場合にも消滅しないこと。
- (e) コンピュータは，給電が停止した後に復旧した場合，速やかに計画された順序に従って復帰するように構成されること。
- (f) 修理に専門的な技術を必要とする重要な構成要素に対して予備品を供給する場合には，予備品は容易に取換えできる部品単位で供給すること。

- (g) バックアップ手段への切換えは、容易かつ確実に行うことが可能であること。
- (2) バックアップ手段
- (a) ディーゼル船もしくはタービン船における主機の燃料制御（ガバナ制御，電子噴射制御等）及び遠隔制御又は電気推進船における主機の出力制御（回転数制御，負荷制御等）及び遠隔制御を1台のコンピュータにより同時に行うシステムは，当該コンピュータが故障した場合に備えて次のいずれかの機器又は装置を設けること。なお，これにより難い場合は，本会の適当と認めるところによる。
- i) 予備のコンピュータ
- ii) 主制御場所からのガバナ制御が可能となるバックアップシステム
- (b) 安全システムは，故障の際に速やかに使用するため，次のいずれかの機器又は装置を設けること。
- i) 予備のコンピュータ
- ii) コンピュータによらない安全システム
- (c) ビジュアルディスプレイユニット（VDU）を本章に定める警報システムの表示装置に用いる場合は，2台以上装備するか，本会の適当と認めるものとする。
- (3) 独立性
- コンピュータを使用する制御システム及び安全システムの独立性は 18.2.4-1.及び18.2.6-1.によることを原則とするが，次に掲げる構成の場合はこの限りではない。
- (a) 代替の制御システム又は予備のコンピュータを備える制御システムは，18.2.4-1.によらず，機器及び装置ごとの独立性を要しない。ただし，18.3.2-3.(2)に定める主機の機側制御装置は代替の制御システムとは認められない。
- (b) 前(2)(b)に適合する安全システムは，18.2.6-1.によらず，機器及び装置ごとの独立性並びに他のシステムからの独立性を要しない。
- (c) 制御システム及び安全システムの両方について，代替のシステム又は予備のコンピュータを備える場合には，警報システムを含めたシステム全体に対する機器及び装置ごとの独立性並びに他のシステムからの独立性を要しない。

### 18.3 主機又は可変ピッチプロペラの自動制御及び遠隔制御

#### 18.3.3 船橋制御装置\*

(3)及び(4)を次のように改める。

船橋制御装置は，18.3.2 によるほか次の(1)から(4)によらなければならない。

(1)及び(2)は省略)

- (3) 船橋制御装置には，主機の安全システムのうち ~~18.1.2(4014)~~(b)又は(c)に掲げる動作を行わせるシステムが作動する際に，当直者が操船上の状況判断に必要な時間を確保できるよう，事前にその作動が起こり得ることを船橋に知らせる可視可聴警報装置を設けること。
- (4) 船橋制御装置には，主機の安全システムのうち次に掲げる~~システム~~ものに対して，18.2.6-3.に示すオーバーライド装置を設けること。

- (a) **18.1.2(~~1014~~)(b)**に掲げる動作を行わせる安全システム
- (b) **18.1.2(~~1014~~)(c)**に掲げる動作を行わせる安全システム(短時間のうちに主機が完全な破壊に至る場合を除く)

#### 附 則 (改正その 3)

1. この規則は、2018 年 6 月 29 日（以下、「施行日」という。）から施行する。
2. 施行日前に建造契約が行われた船舶にあっては、この規則による規定にかかわらず、なお従前の例による。

## 改正その4

16 章を次のように改める。

# 16 章 ウインドラス及びムアリングウインチ

## 16.1 一般

### 16.1.1 適用

~~1. 本章の規定は、電動、油圧又は蒸気駆動による~~ウインドラス及びムアリングウインチに適用する。

~~2. 前1.に規定する以外のウインドラス及びムアリングウインチは、本会の適当と認めるところによる。~~

### 16.1.2 用語

本章で使用する用語の意味は、次の通りとする。

- (1) 駆動用動力装置とは、電動機、油圧モータ、蒸気機関等の鎖車を駆動するための原動機をいう。
- (2) 動力伝達部品とは、投揚錨時に駆動用動力装置から鎖車へ動力を伝える部品、すなわち、軸、歯車、クラッチ、継手、継手ボルト等をいう（駆動用動力装置を構成するものを含む。）。
- (3) 荷重支持部品とは、荷重を受ける部品であって、動力伝達部品に該当しない部品、すなわち、軸受、鎖車、シーブ、ドラム、ベッドフレーム、ブレーキ、制鎖器、補機台等をいう。

## 16.2 ウインドラス

### 16.2.1 一般\*

-1. 船舶に搭載するウインドラスは、アンカーチェーンの寸法に対して適切なものでなければならない。

-2. ウインドラスの設計、構造及び試験は、本章の規定に適合するとともに、本会が適当と認める規格又は同等の実施基準等（以下、本章において「規格等」という。）に適合しなければならない。当該規格等は、ウインドラスの負荷及び性能、試験に判定基準を与えるものでなければならない。

### 16.2.12 提出図面及び資料\*

提出すべき図面及び資料は、一般に次のとおりに掲げるウインドラスの設計要件、適合規格、強度計算書、構造等の詳細を示す図面及び資料とする。

- (1) 承認用提出図面及び資料
  - (a) ウインドラスの主要目表~~（適用規格を記載したもの）~~
  - (b) ウインドラスの全体装置図
  - (c) ウインドラスの主要部品の動力伝達部品及び荷重支持部品の寸法及び材料仕

様、溶接の詳細

- (d) 油圧システムに関する図面
  - (e) 制御装置、監視装置、計測装置の配置
  - (f) 製造工場等における試験の試験方案
  - (~~eg~~) その他本会が必要と認める図面及び資料
- (2) 参考用提出図面及び資料
- (~~a~~) ~~製造工場における試験方案~~
  - (~~ba~~) 主要部品動力伝達部品及び荷重支持部品の強度計算書
  - (b) 制鎖器の全体装置図及び組立断面図並びに **16.2.4-2.(6)**を満足していることを示す資料（制鎖器を備える場合に限る。）
  - (c) 駆動用動力装置の性能計算書（**16.2.5-1.(3)**に規定する負荷試験を実施しない場合に限る。）
  - (d) 鎖車ブレーキの保持力計算書（**16.2.5-1.(4)**に規定する鎖車ブレーキ試験を実施しない場合に限る。）
  - (e) 取扱説明書及び整備手順書
  - (~~ef~~) その他本会が必要と認める図面及び資料

### **16.2.3 材料及び組立\***

#### **-1. 材料**

ウインドラスの動力伝達部品及び荷重支持部品に使用する材料は、次の規定によらなければならない。

- (1) **K 編**の規定に従い本会の承認を受けたものであること。ただし、本会が適当と認める基準等に適合したものをを使用する場合はこの限りではない。
- (2) 使用する材料を **16.2.2(1)**に定める図面及び資料において明示すること。
- (3) 材料の製造者が発行する試験成績書等によりトレーサビリティを確保すること。

#### **-2. 溶接による組立**

溶接構造は、次の規定によらなければならない。

- (1) 適用する溶接継手の詳細、非破壊試験及び溶接後熱処理の範囲（実施する場合に限る。）を **16.2.2(1)**に定める図面及び資料において明示すること。
- (2) 溶接施工方法及び溶接士は、それぞれ本会が適当と認める基準等に従い承認及び資格を受けたものであること。
- (3) 溶接材料は、**M 編**の規定に従い本会の認定を受けたものであること。

### **16.2.24 性能及び構造等設計\***

-1. ウインドラス及びそれらの台板等の付属設備は、甲板に有効に、かつ、堅固に施設されなければならない。

-2. ウインドラスの機械設計は、次の規定によらなければならない。

- (1) 設計荷重は、次の規定によらなければならない。

#### **(a) 保持荷重**

次の **i)**及び **ii)**に規定する状態において、全ての荷重支持部品に作用する最大応力が材料の降伏応力又は 0.2%耐力を超えないことを計算により確認すること。

- i)** 保持状態（鎖車ブレーキによる制動力が完全に作用しており、かつ、クラッチにより鎖車が駆動用動力装置から切り離された状態において 1 のアンカーを保持した状態。）

ii) アンカーチェーンの切断試験荷重の 80%の荷重が作用した状態（制鎖器を備える場合は 45%として差し支えない。）

**(b) 慣性荷重**

駆動系部品（駆動用動力装置、歯車、軸受、クラッチ、軸、鎖車、ボルト締結部を含む）は、駆動用動力装置又はアンカーチェーンの急激な動きに起因する荷重を考慮して設計すること。

~~1. ウインドラスは、使用荷重で 30 分間以上の連続運転及び過負荷荷重で 2 分間以上の連続運転ができる性能を有しなければならない。~~

~~(1) 使用荷重は、使用されるアンカーチェーンによって、次の荷重とする。~~

~~(2) 連続使用荷重は、次の規定によらなければならない。~~

(a) ウインドラスの駆動用動力装置は、少なくとも 30 分間、アンカーチェーンの種類及び最大投錨水深によって決定される連続使用荷重で連続して運転することが可能な性能を有すること。連続使用荷重は、次の i) 及び ii) に規定する荷重とする。

i) 最大投錨水深が 82.5 m 以下のウインドラス

~~(a1)~~ 第 1 種アンカーチェーンの場合、 $Z_{cont1}=37.5d^2$  (N)  $(3.82 d^2 (kgf) )$

~~(a2)~~ 第 2 種アンカーチェーンの場合、 $Z_{cont1}=42.5d^2$  (N)  $(4.33 d^2 (kgf) )$

~~(a3)~~ 第 3 種アンカーチェーンの場合、 $Z_{cont1}=47.5d^2$  (N)  $(4.84 d^2 (kgf) )$

ここで、

$Z_{cont1}$ ：連続使用荷重

$d$ ：アンカーチェーンの呼び径 (mm)

ii) 最大投錨水深が 82.5 m を超えるウインドラス

$$Z_{cont2}(N) = Z_{cont1}(N) + (D - 82.5) \times 0.27d^2$$

$$(Z_{cont2}(kgf) = Z_{cont1}(kgf) + (D - 82.5) \times 0.0275d^2)$$

ここで、

$Z_{cont2}$ ：連続使用荷重

$d$ ：アンカーチェーンの呼び径 (mm)

$D$ ：最大投錨水深 (m)

(b) 一般に、連続使用荷重が作用した状態において、動力伝達部品に作用する応力が降伏応力又は 0.2%耐力の 40%を超えてはならない。

~~(2) 過負荷荷重は、使用荷重の 1.5 倍とする。~~

(3) 駆動用動力装置は、抜錨に必要な過負荷荷重で最低 2 分間の運転ができる性能を有しなければならない。当該過負荷荷重は、少なくとも連続使用荷重の 1.5 倍とする。この場合の巻き上げ速度は、(4)に規定する性能を下回って差し支えない。

(4) 少なくとも 3 連 (82.5 m) 以上のアンカー及びアンカーチェーンが水中にあり、アンカーが海底に付いていない状態から 2 連以上のアンカーチェーンを巻き上げる場合に、平均速度 0.15 m/sec 以上の速力で巻き上げる能力を有しなければならない。

~~2.(5) ウインドラスには、繰り出した錨及び錨鎖アンカー及びアンカーチェーンを制止する鎖車ブレーキを備えなければならない。この鎖車ブレーキは、アンカー及びアンカーチェーンを繰り出す際に、それらを制止するために十分な保持能力を有しなければならない。また、次の保持荷重を滑ることなく保持できるトルクを発生する性能を有しなければならないこと。~~

(a) ~~保持荷重（制鎖器付きの場合）~~制鎖器を備える場合：アンカーチェーンの破断

切断試験荷重 $\times 0.45$

- (b) ~~保持荷重（制鎖器無しの場合）~~制鎖器を備えない場合：アンカーチェーンの破断切断試験荷重 $\times 0.8$

~~3. ウインドラス及びそれらの台板等の付属設備は、甲板に有効に、かつ、堅固に施設されなければならない。~~

- (6) 制鎖器を備える場合は、その付属設備を含め、アンカーチェーンの切断試験荷重の80%の荷重に対して塑性変形を生じない強度を有しなければならない。

- (7) ウインドラス及び制鎖器の支持構造等については、次の規定によらなければならない。

- (a) ウインドラス及び制鎖器の支持構造は、**C 編 27 章**又は**CS 編 23 章**の規定によること。

- ~~4.(b)~~ **C 編 15.2.1-1.**に定める船の長さ  $L_1$  が 80m 以上の船舶において、 $L_1$  の前端から  $0.25L_1$  の箇所より前方の暴露甲板に設置されるウインドラスの据付部は、当該装置の設置位置における暴露甲板の計画最大満載喫水線からの高さが  $0.1L_1$  又は 22m のいずれか小さい値より小である場合には、波浪の打ち込みに対して十分な強度を有するものでなければならないこと。

- ~~5.(c)~~ ウインドラスを支える船殻構造の強度については、~~規則~~**C 編 10.7.1** 又は **CS 編 10.6.1** の規定にもよらなければならないこと。

~~3. ウインドラスの駆動に使用される油圧システムは、本章の規定に加え、本編各章の関連規定に適合しなければならない。~~

~~4. 電動機及び電気回路は、H 編の規定にも適合しなければならない。~~

~~5. 次の保護装置及び安全装置を設けなければならない。~~

- (1) 駆動用動力装置の過速度及び過トルクを防止し、ウインドラスの機械部品（ハウジングを含む）を保護する装置（油圧機器の加圧防止装置、電動機と減速機との間のスリッピングクラッチ、駆動用電動機の過負荷保護装置等）

- (2) 駆動用動力装置としてアキシアルピストン形の油圧モータを搭載する場合にあっては、アンカーチェーンを繰り出す際に制御不能となり、駆動用動力装置が過速度で損傷した場合に、破片の飛散を防止するカバー等

- (3) 使用者の安全のための装置（開放歯車装置のカバー、蒸気シリンダの火傷防止カバー等）

~~6. ウインドラスの原動機及び駆動装置には、過度のトルク、衝撃などを受けないように、また、安全のために次の保護装置及び安全装置を設けなければならない。~~

~~(1) 油圧機器の過圧防止装置~~

~~(2) 電動機と減速機との間のスリッピングクラッチ~~

~~(3) 過負荷保護装置（電動機駆動の場合）~~

~~(4) 開放歯車装置のカバー~~

~~(5) 蒸気シリンダの火傷防止カバー~~

~~7. ウインドラスは、3 連以上のチェーン及びアンカーを海中から平均速度 0.15m/sec 以上の速力で巻き上げる能力を有したものでなければならない。~~

~~6. 鎖車と駆動軸を切り離すためのクラッチを設けなければならない。また、当該クラッチが油圧式又は電気式の場合には、手動でも切り離すことができるものでなければならない。~~

~~7. 次の情報を恒久的に標示しなければならない。~~

- (1) アンカーチェーンの呼び寸法（例えば，“100/3/45”と記載して，呼び径 100 mm の第 3 種チェーンであり，ウインドラスの保持荷重が切断試験荷重の 45%であることを示す）
- (2) 最大投錨水深（*m*）

## 16.2.35 試験

### -1. 製造工場等における試験

製造工場等においては，本会検査員の立会の下で，ウインドラスが適合する規格等に規定される試験を実施し，承認図面に適合していることを確認しなければならない。この際，少なくとも次の(1)から(4)に規定する試験を実施しなければならない。

#### (1) 耐圧試験

ウインドラス（駆動用動力装置を含む。）を組み立てる前に，以下に示す部品は，~~D 編~~ 12.6.1 に従い，設計圧力の 1.5 倍で水圧試験を行わなければならない。ただし，蒸気シリンダにあつては使用圧力の 1.5 倍で圧力水圧試験を行わなければならない。

- (a) 油圧用動力装置及びそのポンプの受圧部
- (b) 付属する圧力配管部
- (c) 弁及び管取付け物
- (d) 圧力容器（アキュームレータ）
- (e) 蒸気シリンダ

#### (2) 無負荷試験

無負荷で正転，逆転各方向に 15 分ずつ合計 30 分間，定格速度に相当する回転速度で運転する。歯車切り換え式の場合は，切り換えごとに各 5 分間の同一試験を追加する。

#### (3) 負荷試験

連続使用荷重，過負荷荷重，巻き上げ速度について，16.2.4-2.の規定を満足していることを確認する。ただし，製造工場等に十分な試験設備が無い場合は，次のいずれかによることができる。

(a) 16.2.2(2)(c)に定める資料の提出。

(b) 船上における本試験（過負荷保護装置の調整を含んでもよい。）の実施。この場合，製造工場等においては無負荷で動作等を確認する試験を実施すること。

#### (4) 鎖車ブレーキ試験

鎖車ブレーキが 16.2.4-2.(5)に規定する保持力を有することを確認する。本試験は，16.2.2(2)(d)に定める資料の提出に代えることができる。

~~(2) ウインドラス（駆動用動力装置を含む。）は，負荷試験，過負荷試験，無負荷試験及び鎖車ブレーキ試験を行わなければならない。ただし，本会が適当と認めたものについては，その試験の一部を省略することができる。~~

~~(3) 本会の承認を受けたウインドラスについては，前(2)に規定する試験の一部又は全部を省略することができる。~~

### -2. （省略）



## 16.3 ムアリングウインチ

### 16.3.1 構造等

(-1.及び-2.は省略)

-3. ウインドラスと一体型のムアリングウインチの据付け部の強度については、~~16.2.2-4.16.2.4-2.(7)(b)~~及び~~5.(c)~~を準用する。

## 附 則 (改正その 4)

1. この規則は、2018 年 7 月 1 日（以下、「施行日」という。）から施行する。
2. 施行日前に建造契約\*が行われた船舶に搭載されるウインドラスであって、施行日前に承認申込みがあったものは、この規則による規定にかかわらず、なお従前の例による。

\* 建造契約とは、最新の IACS Procedural Requirement (PR) No.29 に定義されたものをいう。

### IACS PR No.29 (Rev.0, July 2009)

#### 英文 (正)

1. The date of “contract for construction” of a vessel is the date on which the contract to build the vessel is signed between the prospective owner and the shipbuilder. This date and the construction numbers (i.e. hull numbers) of all the vessels included in the contract are to be declared to the classification society by the party applying for the assignment of class to a newbuilding.
2. The date of “contract for construction” of a series of vessels, including specified optional vessels for which the option is ultimately exercised, is the date on which the contract to build the series is signed between the prospective owner and the shipbuilder. For the purpose of this Procedural Requirement, vessels built under a single contract for construction are considered a “series of vessels” if they are built to the same approved plans for classification purposes. However, vessels within a series may have design alterations from the original design provided:
  - (1) such alterations do not affect matters related to classification, or
  - (2) If the alterations are subject to classification requirements, these alterations are to comply with the classification requirements in effect on the date on which the alterations are contracted between the prospective owner and the shipbuilder or, in the absence of the alteration contract, comply with the classification requirements in effect on the date on which the alterations are submitted to the Society for approval.The optional vessels will be considered part of the same series of vessels if the option is exercised not later than 1 year after the contract to build the series was signed.
3. If a contract for construction is later amended to include additional vessels or additional options, the date of “contract for construction” for such vessels is the date on which the amendment to the contract, is signed between the prospective owner and the shipbuilder. The amendment to the contract is to be considered as a “new contract” to which 1. and 2. above apply.
4. If a contract for construction is amended to change the ship type, the date of “contract for construction” of this modified vessel, or vessels, is the date on which revised contract or new contract is signed between the Owner, or Owners, and the shipbuilder.

Note:

This Procedural Requirement applies from 1 July 2009.

#### 仮訳

1. 船舶の「建造契約日」とは、予定所有者と造船所との間で建造契約のサインが交わされた日をいう。なお、この契約日及び契約を交わす全ての船舶の建造番号（船番等）は、新造船に対し船級登録を申込む者によって、船級協会に申告されなければならない。
2. オプションの行使権が契約書に明示されている場合、オプション行使によるシリーズ船の「建造契約日」は、予定所有者と造船所との間で建造契約のサインが交わされた日をいう。本 Procedural Requirement の適用において、1 つの建造契約書に基づく船舶が同一の承認図面によって建造される場合は、シリーズ船と見なす。しかしながら、以下の条件を満たす設計変更にあつては、シリーズ船は原設計から設計変更を行うことができる。
  - (1) 設計変更が船級要件に影響を及ぼさない、又は、
  - (2) 設計変更が船級規則の対象となる場合、当該変更が予定所有者と造船所との間で契約された日に有効な船級規則に適合している、又は設計変更の契約が無い場合は承認のために図面が船級協会に提出された日に有効な船級規則に適合している。

オプションによる建造予定船は、シリーズ船の建造契約が結ばれてから 1 年以内にオプションが行使される場合、シリーズ船として扱われる。

3. 建造契約の後に追加の建造船又は追加のオプションを含める契約の変更がなされた場合、建造契約日は予定所有者と造船所との間で契約変更がなされた日をいう。この契約変更は前 1. 及び 2. に対して、「新しい契約」として扱わなければならない。
4. 船舶の種類の変更による建造契約の変更があつた場合、改造された船舶の「建造契約日」は、予定所有者と造船所との間で契約変更又は新規契約のサインが交わされた日をいう。

備考:

1. 本 PR は、2009 年 7 月 1 日から適用する。

---

# 鋼船規則検査要領

D 編

機関

要  
領

2018 年 第 1 回 一部改正

2018 年 6 月 29 日 達 第 41 号

2018 年 1 月 31 日 技術委員会 審議

「鋼船規則検査要領」の一部を次のように改正する。

## D 編 機関

### 改正その 1

## D5 動力伝達装置

### D5.3 歯車の強度

D5.3.1 を次のように改める。

#### D5.3.1 適用

かさ歯車において、規則 D 編 5.3.1 にいう「本会の適当と認めるところ」とは次をいう。

- (1) 歯の曲げ強さ及び歯面の面圧強さは、~~ISO 4GM4~~ 規格又は本会が適当と認める規格によって評価すること。
- (2) 歯面内部強さ  
歯面内部のビッカース硬さ  $HV$  は、次の算式による値以上とすること。

ただし、 $\frac{z}{w} < 0.79$  の場合にあっては、 $\frac{z}{w} = 0.79$  とすること。~~また、~~ほか、外端歯先円直径が 1,100 mm 未満のかさ歯車にあっては、本規定は適用しない。

$$HV = 1.11S_H p \left[ \frac{\frac{z}{w}}{\sqrt{1 + \left(\frac{z}{w}\right)^2}} - \frac{\left(\frac{z}{w}\right)^2}{\sqrt{1 + \left(\frac{z}{w}\right)^2}} \right]$$

$HV$  : ビッカース硬さ

$S_H$  : ヘルツ応力に関する安全係数で、附属書 D5.3.5 「歯車の強度計算に関する検査要領」 1.6.3-9.によること。

$p$  : ヘルツ接触面圧 (MPa) ただし、算式に用いる  $p$  の上限は 1,500 MPa とする。

$$p = AS_c$$

$S_c$  : ヘルツ応力 (MPa) で、~~ISO 10300/ANSI/AGMA 2003~~ 規格により算出すること。

$A$  : ~~ISO 10300/ANSI/AGMA 2003~~ 規格によりヘルツ応力  $S_c$  を算出する場合に、個々の検討に基づいて決定される定数。なお、~~ISO 10300/ANSI/AGMA 2003-486~~ 規格によりヘルツ応力  $S_c$  を算出する場合にあっては、 $A = 1.3217$  とすることができる。

$w$  : ヘルツ接触幅の半分 (mm) で、次式により算出される値

$$w = \frac{p\rho_c}{56300}$$

$$\rho_c = \frac{\rho_1\rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$$

$$\rho_1 = 0.5d_{vn1} \sin \alpha_n$$

$$\rho_2 = 0.5d_{vn2} \sin \alpha_n$$

$$d_{vn1} = d_{m1} \frac{\sqrt{1+u^2}}{u} \frac{1}{\cos^2 \beta_{vb}}$$

$d_{m1}$ : 小歯車の平均ピッチ円直径 (mm)

$u$  : 歯数比

$$\beta_{vb} = \arcsin(\sin \beta_m \cos \alpha_n)$$

$\beta_m$ : かさ歯車の平均まがり角

$\alpha_n$ : 歯直角圧力角

$$d_{vn2} = u^2 d_{vn1}$$

$z$  : 歯面からの深さ (mm)

#### 附 則 (改正その 1)

1. この達は、2018 年 6 月 29 日 (以下、「施行日」という。) から施行する。
2. 施行日前に承認申込みのあったかさ歯車にあっては、この達による規定にかかわらず、なお従前の例による。

## D12 管，弁，管取付け物及び補機

### D12.1 一般

#### D12.1.6 特殊な材料の使用

-6.を削る。

~~6. 規則 12.1.6 2.(3)(a)にいう「本会が特に認める場合」とは、テフロン及びナイロン等の補強が困難な材料を使用する場合をいう。ただし、この場合であっても、適当な材料により、外側を保護する等の補強をできる限り行うこと。~~

### D12.3 弁及び管取付け物の構造

#### D12.3.4 フレキシブル管継手

-3.として次の1項を加える。

-3. 規則 D 編 12.3.4-3.(3)(a)にいう「本会が特に認める場合」とは、テフロン及びナイロン等の補強が困難な材料を使用する場合をいう。ただし、この場合であっても、適当な材料により、外側を保護する等の補強をできる限り行うこと。

### D12.6 試験

#### D12.6.1 製造工場等における試験

-1.(1)を次のように改める。

-1. 突合せ溶接式及びさし込み溶接式管継手（エルボ，レジューサ，ティ，ベンド及びソケット類）の試験

(1) 1類又は2類の管に使用される突合せ溶接式及びさし込み溶接式の管継手の材料及び試験は次による。

(a) 管継手の材料

i) 規則 K 編の規定に適合した材料を用いること。（D1.1.4(6)参照）

ii) 前 i)にかかわらず，管継手の製造工程で熱間加工又は熱処理を行う場合であって，船用材料・機器等の承認及び認定要領第6編12章に従って使用承認を受けた場合には，ISO，JIS規格等の国際規格又は国家規格に適合した材料を用いることができる。

(b)から(e)は省略

((2)及び(3)は省略)

## 附 則（改正その 2）

1. この達は，2018 年 6 月 29 日から施行する。

## D18 自動制御及び遠隔制御

### D18.1 一般

D18.1.1 を次のように改める。

#### D18.1.1 適用

-1. (省略)

~~2. 規則 D 編 18.1.1 3.にいう「本会が必要と認める機器及び装置」とは、一般に次の(1)から(4)に示す用途に使用されるものをいう。この場合、シーケンサ等のプログラマブルコントローラを含むものとする。~~

~~(1) 規則 D 編 18.1.1 1.に掲げる機器及び装置の制御システム~~

~~(2) 規則 D 編 18.2.5 に規定する警報システム~~

~~(3) 規則 D 編 18.1.1 1.に掲げる機器及び装置の安全システム~~

~~(4) 附属書 D18.1.1 表 2.1 に関連する制御システム、警報システム及び安全システム~~

~~3. 2.にかかわらず、次の(1)から(4)に掲げる設備及び機器等については、規則 D 編 18.1.1 3.にいう「本会が適当と認める装置及び機器」に含めない。~~

~~(1) 安全設備規則に規定する航海設備~~

~~(2) 無線設備規則に規定する無線設備~~

~~(3) 復原性計算機~~

~~(4) 積付計算機~~

~~4. 規則 D 編 18.1.1 3.にいう「本会の別に定めるところ」とは、附属書 D18.1.1 「コンピュータシステム」をいう。~~

D18.1.2 として次の 1 条を加える。

#### D18.1.2 用語

規則 D 編 18.1.2(11)にいうコンピュータシステムには、シーケンサ等のプログラムコントローラを使用するシステムを含む。

D18.1.3 を次のように改める。

#### D18.1.3 提出図面及び資料

規則 D 編 18.1.3(6)にいう図面及び資料とは、附属書 D18.1.1 「コンピュータシステム」に掲げるものを標準とする。この場合、~~すでに~~既に本会の使用承認を受けた機器及び装置にあっては、船舶毎に仕様の異なる部分の図面及び資料として差し支えない。

## D18.2 システム設計

D18.2.7 として次の 1 条を加える。

### D18.2.7 コンピュータの使用

-1. 規則 D 編 18.2.7-2.(1)(a)にいう「一部の回路又は装置の故障による影響の範囲ができる限り限定される」とは、例えば、常時 2 台以上のコンピュータにより制御を行うシステムの場合、1 台のコンピュータの故障が他のコンピュータによる制御を妨げないようにすることをいう。

-2. 規則 D 編 18.2.7-2.(2)(a)にいう「本会の適当と認めるところ」とは、FMEA 等の故障解析手法によりシステムの信頼性の評価を行った結果について、本会の承認を得た場合をいう。

-3. 規則 D 編 18.2.7-2.(2)(c)にいう「本会の適当と認めるもの」とは、例えば VDU 及びアラームプリンタの組合せをいう。



## 附属書 D18.1.1 コンピュータシステム

### 1 章 通則

#### 1.1 一般

1.1.1 を次のように改める。

##### 1.1.1 適用

本附属書の規定は、規則 D 編 18.1.1-3.に基づき~~機器、装置等を自動制御又は遠隔制御するためのソフトウェアを用いたコンピュータシステムの設計、構造、動作及び保守に関するものであり、ソフトウェア及び同ソフトウェアと関連するハードウェア等、コンピュータシステム並びにそれを構成するハードウェア及びソフトウェアに適用する。~~

1.2 を次のように改める。

#### 1.2 提出図面及び資料

提出すべき図面及び資料は、一般に次のとおりとする。ただし、本会が必要と認めた場合には、その他の図面及び資料を要求することがある。分類 I のシステムに対しては、本会が必要と認めた場合を除きこれらの図面及び資料の提出を省略してもよい。

(1) 承認用図面及び資料：

- (a) 品質計画書 (3.1.1-3.)
- (b) 搭載前の統合試験における機能試験及び故障試験の試験方案 (3.1.3)
- (c) 最終統合前のシミュレーション試験方案 (3.1.5-1.)
- (d) 船上試験方案(ワイヤレスデータリンクに関する試験を含む) (3.1.5-2.及び-3., 5.2.2(3))
- (e) ~~UR-E10~~規則 D 編 18.7.1(1)に従い実施した試験記録 (3.1.4 及び 4 章)

(2) 参考用図面及び資料：

- (a) 品質システム関連資料 (3.4.1-1.に規定される) するセキュリティポリシーに関する資料を含む)
- (b) リスク評価報告書 又はリスク評価を省略することの妥当性を示す資料 (3.1.2-1.)
- (c) ソフトウェアコードの作成及び試験に関する資料 (3.1.2-2.)
  - ~~i) ソフトウェアモジュール及び関連ハードウェアの機能説明書~~
  - ~~ii) ソフトウェアコードを検証したことを証明する資料~~
  - ~~iii) ソフトウェアモジュール、サブシステム、システムのレベルでプログラマブル装置の機能試験を実施したことを証明する資料~~
- (d) システムに関するその他の関連資料 (3.1.3-4.(3))
  - i) ソフトウェアの機能説明書
  - ii) システムに搭載されたソフトウェアの一覧及びそれらのバージョンの一覧
  - iii) ユーザーマニュアル (ソフトウェアメンテナンス中の運用要領を含む)
  - iv) システム間のインターフェースの一覧

- v) データリンクに使用される規格の一覧
- vi) FMEA 又はそれと同等の解析手法による、船上に搭載する前の統合試験における故障試験の妥当性を示す資料（本会が必要と認めた場合に限る。）

## 2 章 定 義

### 2.1 ステークホルダー

2.1.1 を次のように改める。

#### 2.1.1 所有者

所有者には、所有者の定める仕様に適合したハードウェアシステム及びソフトウェアシステムを提供する統合者及び／又は供給者と契約を締結する責任が伴う。船舶の建造中時~~にあつては~~、造船所が所有者になることができる。船舶の引渡し後は、所有者は当該船舶の運航会社等に所有者としての責任の一部を委譲することができる。

2.1.2 を次のように改める。

#### 2.1.2 統合者

造船所以外の組織が特に指定されている場合を除き、船舶の建造中は、造船所が統合者の役割を担うこと~~統合者の役割は造船所が担うこと。~~

統合者とは、供給者から供給されたシステム及び製品を本附属書の要件によりもたらされる統合システムへと統合し、これを提供する事業者をいい、~~統合者には、~~船舶システムの統合に関する責任が伴う。1 つの統合段階において同時にシステムの統合を行う事業者が複数ある場合、代表となる 1 つの事業者がシステム統合全体を管理し、統合作業を調整する責任が伴う。複数の統合段階がある場合、統合段階ごとに異なる統合者が責任を担うこととしてよい。ただし、その場合であっても、代表となる 1 つの事業者にすべての統合段階の分類及び調整を行う責任が伴う。

2.1.3 を次のように改める。

#### 2.1.3 供給者

供給者とは、造船所又は統合者の調整のもとで、システムの構成要素又はソフトウェアの供給を実施する事業者をいい、~~供給者にはソフトウェア、~~プログラマブル装置、サブシステム及びシステム並びにソフトウェアを統合者へ供給する責任が伴う。供給者は本附属書の規定、~~及び適用する国際規格又は国家規格に適合し、所有者の定める仕様を満たすソフトウェアの機能に関する説明書を提供する。~~

2.2 を次のように改める。

## 2.2 システム

### 2.2.1 システムの定義

-1. 図 2.1 に典型的なコンピュータシステムの階層構造を示す。

図 2.1 (省略)

### ~~2.2.1 システムの定義~~

~~42. 「船舶」とは、コンピュータシステムが搭載される船舶（海洋構造物を含む。）をいう。~~

~~43. 「システム」、「サブシステム」及び「プログラマブル装置」とは、相互動作するプログラマブル装置及び又はサブシステムの組合わせであって、1つ以上の定められた目的を達成するために組織化された規則 D 編 18.1.2 に定めるものをいう。~~

~~3. 「サブシステム」とは、1つの特定の機能又は一連の機能を行うシステムの特定可能な部分をいう。~~

~~4. 「プログラマブル装置」とは、ソフトウェアが搭載された物理的な構成要素をいう。~~

~~54. 「ソフトウェアモジュール」とは、ソフトウェアコードの一部分であって、当該コードに密接に関連した特定の機能を独立して提供するソフトウェアコードの独立した部ものをいう。~~

2.3 を 2.2.2 とし、2.2.2 を次のように改める。

### ~~2.3~~2.2.2 システムの分類

システムは、その故障が人体及び船体への危険並びに環境への脅威に及ぼす影響帰結するリスクの度合いに応じ、表 2.1 のとおり分類 I、分類 II ~~及び又は~~分類 III に分類される。ただし、詳細な分類は想定されるすべての運用状況を考慮したリスク評価による。

表 2.1 (省略)

2.4 を 2.3 とし、2.3 を次のように改める。

## 2.43 その他

### 2.43.1 シミュレーション試験

シミュレーション試験とは、制御される機器の~~一部もしくはすべて又は~~、通信網及び回線の一部もしくはすべてをシミュレーションツールにより置き換えた状態で行う制御システムの試験をいう。

3章の表題を次のように改める。

### 3章 ソフトウェア及び同ソフトウェアをサポートに関連する ハードウェアの要件

3.1 を次のように改める。

#### 3.1 ライフサイクルアプローチ

ソフトウェアの開発及びシステムへの統合は、当該ソフトウェアのライフサイクルにわたり、~~全体~~包括的なトップダウン方式（本附属書に掲げるソフトウェアの開発に関する規格又はその他の本会が適当と認める規格による。）により行う実施すること。

##### 3.1.1 品質システム

-1. システムの統合者及び供給者は、ソフトウェアの開発及び試験並びに関連するハードウェアに関する品質システム（ISO90003 を考慮した ISO9001 等）を運用しているものであること。

-2. ~~前-1.の要件への適合は、~~次の(1)又は(2)のいずれかにより、前-1.の要件への適合を立証されるすること。

(1) 国際認定機関の認定を受けた組織によるより、当該品質システムが国際規格又は国家規格に適合していることの確認が証明されること。

(2) 当該品質システムについて、本会が適当と認めた規格に適合のしていることの確認と同等以上であることを検証し、証明すること。

-3. ~~前-1.に規定する品質システムには、~~次の(1)から(4)を満足する品質計画書の作成を含むこと。

(1) 責任、文書化、構成の管理、~~権限を有する職員有資格者に関する手順項目を記載しているすること。~~

(2) ~~次の(a)から(c)を含むソフトウェアのライフサイクル及び関連するハードウェアに関する手順のライフサイクル全体に渡り、~~次の(a)から(c)に掲げる事項の担当部署又は組織等並びに実施手順を記載しているすること。

(a) 供給者からの、関連するハードウェア及びソフトウェアを取得するために指定された者の取得

(b) ソフトウェアコードの作成及び検証を行うために指定された者

(c) 船上での統合の前にへの搭載前のシステムを検証するために指定された者

(3) 分類 II 及び分類 III に分類されるシステムに対してあつては、次の(a)から(c)に示す掲げる項目を記載しているすること。

(a) システム、サブシステム、プログラマブル装置、ソフトウェアモジュールのソフトウェアコードを検証するための手順

(b) 本会に提出する図面及び資料並びに本会検査員の立会いの下実施する試験

(c) 所有者との間で定めた、船上におけるソフトウェアの変更及び搭載に関するを実施する手順

(4) 当該品質管理システムを対象のコンピュータシステムへ適用する方法を記載するものであること。

### 3.1.2 設計の段階

- 1. システムのリスク評価については、次の(1)から(4)によること。
  - (1) システムの機能に伴うライフサイクルを通じた危険を特定し、評価することにより、システムがもつ各機能に異常が起こった際に生じる危険を、そのライフサイクル全体にわたって特定及び評価し、当該システムが内包するリスクを決定すること。本会が必要と認めた場合は、統合者又は供給者が供給者からの情報を含めたリスク評価の報告書を参考として、その他の供給者から提供された情報を含むリスク評価報告書を提出すること。
  - (2) リスク評価の方法は本会が合意したものとする。また、リスク評価の方法を決定するために、IEC/ISO31010「リスクマネジメントーリスク評価技法」を参照することとしてもよい。
  - (3) リスク評価に基づき、本会とシステム供給者間で合意の上、システムの分類に関して、表 2.1 に規定する分類とは異なる分類をすることがある。
  - (4) コンピュータシステムに関するリスクが十分に把握されている場合には、リスク評価を省略して差し支えない。この場合、供給者又は統合者は次の(a)から(c)の項目を含むリスク評価を省略することの妥当性を示す資料を提出すること。当該資料には、次の(a)から(c)の項目を含むこと。
    - (a) 当該システムのリスクの認識方法が自明である理由
    - (b) 現状のコンピュータシステム及び初期のリスク特定に使用したコンピュータシステム過去のリスク評価実施時との使用状況の同等性
    - (c) 現状の使用状況における既存の過去のリスク評価実施時と同じ制御方法を採用することの妥当性
- 2. 分類 II 及び分類 III に分類されるシステムについては、ソフトウェアコードの作成及び試験に関する次の資料を参考として本会へ本会に提出すること。
  - (1) プログラマブル装置に関連するソフトウェアモジュール及びハードウェアの機能に関する資料。当該資料説明。これは、供給者及び統合者が提出すること。
  - (2) ソフトウェアモジュールが、採用したソフトウェア開発規格に従って（ソフトウェアエラーの検知及び補正について）検証されたことを証明する資料。当該資料の証明。これは、供給者及び統合者が提出すること。
  - (3) プログラマブル装置における機能試験を、ソフトウェアモジュール、サブシステム及びシステムのレベルにおける機能試験をで実施したことを証明する資料。当該資料の証明。これは、供給者から統合者を経由して提出すること。また、当該試験は、オペレーティングシステムに提供される機能であってソフトウェアに使用されるもの、関数ライブラリ、ソフトウェアにおける個別の階層及びいかなる全てのパラメータについて試験できるよう計画されること。

### 3.1.3 船上に搭載する前の統合試験

- 1. ソフトウェア及びハードウェアの制御が互いに適切に連携して機能すること、又、故障時にソフトウェアシステムが適切に動作することを確認するため、システムを船上で統合する前に、システム及びサブシステム間のソフトウェアモジュールについてシステム内統合試験を実施すること。船上への搭載に先立ち、機能試験及び故障試験を含むシステム内統合試験を実施し、システム及びサブシステムのソフトウェアモジュールについて、次の(1)から(3)に掲げる事項を確認すること。
  - (1) ソフトウェアの機能が適切に動作すること

(2) ソフトウェア及びハードウェアが互いに適切に連携して機能し、制御されること

(3) ソフトウェアが故障に対して適切に応答すること

~~-2. システムの故障検知及び故障に対する応答を実証するため、システム~~の故障は可能な限り、~~実際の使用状況を想定して~~模擬すること。また、故障解析の結果が適切であることを確認すること。

~~-3. 機能試験及び故障試験はシミュレーション試験にて行っており、~~として差支えない。

~~-4. 分類 II 及び分類 III のシステムは前-1.から-3.に加え、~~以下によること。

(1) 機能試験及び故障試験の試験方案を本会に提出すること。本会が必要と認めた認める場合、故障試験方案を補足するために、FMEA 等の実施を要求することがある。

(2) 機能試験及び故障試験を含む製造工場における試験は、本会検査員の立会いの下実施すること。

(3) 次の(a)から(g)1.2(2)(d)に掲げる資料を本会に提出すること。

~~(a) ソフトウェアの機能説明書~~

~~(b) システムに搭載されたソフトウェア及びバージョンの一覧~~

~~(c) ユーザーマニュアル (ソフトウェアメンテナンス中の運用要領を含む)~~

~~(d) システム間のインターフェースの一覧~~

~~(e) データリンクに使用される規格の一覧~~

~~(f) 本会が必要と認めた場合、適用される故障試験の妥当性を示すための、FMEA 又はそれと同等の解析手法によるリスク評価に関する追加の資料~~

~~(g) その他、本会が必要と認めた資料~~

### 3.1.4 分類 II 及び分類 III に分類されるプログラマブル装置の承認

~~1. システム内に統合されるプログラマブル装置の承認申請は統合者又は供給者が行うこと。~~

~~-1. プログラマブル装置は個品ごとに承認を受けること。ただし、船用材料・機器等の承認及び認定要領第 7 編 1 章の規定に基づいて使用承認を受けた装置にあつてはこの限りではない。~~

~~-2. システムに統合されるプログラマブル装置の承認申請は統合者又は供給者が行うこと。~~

~~-3. 前-2.の適用上、承認のための資料には次の(1)から(3)を記載することが推奨される。~~

(1) 船内機器に対する互換性

(2) 最終統合時に船上試験を行う必要があること

(3) 当該プログラマブル装置を含む使用するシステムの構成要素

### 3.1.5 最終統合及び船上試験

~~-1. 他のコンピュータシステムと統合されるシステムについては、当該システム間の相互動作に関する安全性の確認が必要な場合であつて、かつ、事前に機能試験が実施出来ない場合には、本会検査員立会いの下、船舶への搭載前にシミュレーション試験を搭載前に実施すること。この場合、統合者はシミュレーション試験方案を本会へ提出すること。~~

~~-2. 相互動作するすべての他のシステムと結合統合された最終環境におけるおいて船上試験を実施し、コンピュータシステムの動作が以下に掲げる項目次の(1)から(3)に掲げる事項を満足することを船上試験において確認すること。~~

(1) 計画通りの機能に機能すること

(2) システム内部又は外部装置に起因する故障が発生した場合のシステムの安全性に

対する応答が安全であること

- (3) 船内で動作する船上に搭載された他のシステムとの相互作用の安全性に対する動作が安全であること

-3. 前-1.及び-2.の規定に加え、分類Ⅱ及び分類Ⅲに分類されるシステムの最終的な統合及び船上試験は以下によること。

(1) 統合者は、船上試験方案を承認のために本会へ本会に提出すること。

(2) 本会検査員立会いの下、試験を実施すること。

3.2 を次のように改める。

### 3.2 限定的な承認

#### 3.2.1 一般

-1. サブシステム及びプログラマブル装置は、それらの統合先が明確にされていない場合、本会は当該サブシステム又はプログラマブル装置を限定された用途に使用すのみ使用されるものとして承認することがある、必要な確認及び試験を実施した旨を示す限定的な承認を受けることができる。

-2. 前-1.による場合、この場合、本会が必要と認める、3.1.1 に定める品質システムに関する要件のうち、本会が必要と認める要件を可能な限り満足すること。また、本会は、供給者が申告した規格に関連する追加の図面、詳細資料、試験報告書及び検査を要求することがある。

~~-2. 前-1.による場合、サブシステム及びプログラマブル装置に対しては、限定された用途に要求される確認及び試験のみを実施した上で、限定承認を行う。~~

3.3 を次のように改める。

### 3.3 運用開始後のソフトウェアの変更

#### 3.3.1 責任

-1. 所有者は、ソフトウェアの変更を担当する組織を本会へに申告すること。

-2. 統合者は、所有者により指定されること。所有者は、必要に応じて統合者を指定すること。また、当該統合者は 3.1 に定める要件を満たすこと。

-3. ソフトウェアの変更は、~~ライフサイクルの段階毎に~~予め定められた手順に従って実施すること。

-4. 本会は、ソフトウェアの変更に関して必要な資料をその都度決定する。

-5. 船舶での運用開始後は、所有者の責任でソフトウェアの変更履歴を管理すること。分類Ⅱ及び分類Ⅲに分類されるシステムに対しては、統合者が次の(1)及び(2)に掲げる内容を含むソフトウェアレジストリを更新すること。ただし、当該ソフトウェアレジストリへの記録は統合者が行って差し支えない。

(1) ~~3.1.3 4.(3)(b)で要求される、~~システムに搭載されたソフトウェアの一覧及びバージョン

(2) ~~3.4.1-3.で要求される、~~に定めるセキュリティスキャンの結果

### 3.3.2 変更の管理

- 1. 所有者は、~~船上における~~ソフトウェア及びハードウェアの変更管理に必要な手順を保持し、~~いかなるソフトウェアの変更/更新もが船上に保持されていることを確実にし、全~~てのソフトウェアの変更及び更新を同手順に従って実施すること。
- 2. 運用中のコンピュータシステムに対するすべての変更を記録し、~~ソフトウェアレジストリ内に保管すること~~トレーサビリティを確保すること。

## 3.4 システムセキュリティ

3.4.1 を次のように改める。

### 3.4.1 一般

- 1. 所有者、統合者及び供給者はセキュリティポリシーを採用策定し、品質システム及び品質手順書に含めること。
- 2. 直接又は遠隔による操作にかかわらず、~~分類 I、分類 II 及び分類 III に分類されるシステムにおいて、~~不正又は予期しないソフトウェアの変更を防止するため、物理的及び論理的なセキュリティ対策を講じること。
- 3. ~~分類 II 及び分類 III に分類されるシステムにおいて~~あつては、船舶へ搭載するために使用するすべてのアーティファクト（ソフトウェアの開発過程で発生する副生産物）、ソフトウェアコード、実行ファイル及び物理メディアに対し、搭載前にコンピュータウイルス及び悪意のあるソフトウェアに感染していないことを確認すること。当該確認の結果は、ソフトウェアレジストリに記録し、保持すること。
- ~~-4. 3. の確認結果は文書化し、ソフトウェアレジストリ内に保管すること。~~



## 5 章 データリンクに関する要件

5.1 を次のように改める。

### 5.1 一般

~~-1. 特に規定する場合を除き、本章の規定は本章の規定は特に明記しない限り、分類 II 及び分類 III に分類されるシステムに適用する。~~

#### ~~5.1.1 データリンクの喪失~~

~~-2. リスク評価において、データリンクの喪失について、リスク評価報告書に明記を検討すること。~~

#### ~~5.1.2 単一故障発生時の自動復旧~~

~~-3. データリンクに関わるハードウェア内において、単一故障が発生した場合、自動的に正常なシステムの動作へと復旧できるようにすること。分類 III のシステムにあっては、データリンクに関するハードウェア内の単一故障が正常なシステムの正常な動作に影響を与えないようにすること。~~

#### ~~5.1.3 過負荷対策~~

~~-4. データリンクの特性は、いかなるシステムの全ての運用状態における過負荷も防止を受けないものとする。~~

#### ~~5.1.4 故障の監視及び検知~~

~~-5. データリンクは、当該データリンク自体の故障及びノード上のデータコミュニケーションエラーに対する自己監視機能を有し、故障を検知した場合に可視可聴警報を発すること。~~

### 5.2 ワイヤレスデータリンクに関する特別要件

5.2.1 を次のように改める。

#### 5.2.1 分類 III に分類されるシステムの要件

分類 III に分類されるシステムにあっては、ワイヤレスデータリンクを使用してはならない。ただし、本会が認める国際規格又は国家規格に従って実施した工学的解析を行った結果について、に基づいて本会の承認を得た場合を除く。

5.2.2 を次のように改める。

#### 5.2.2 分類 II に分類されるシステムの要件

分類 II に分類されるシステムにあっては、次の(1)から(3)に規定する要件に従って、ワイヤレスデータリンクを使用して差し支えないことができる。

(1) 次の(a)から(d)に関する事項を含む国際的なワイヤレス通信規約に適合すること。

(a) ~~メッセージの完全性送信メッセージとの比較の際、矢落防止、検出、診断及び補正により、受信メッセージの欠落、改変がないよう完全性を確保すること。~~

- 受信メッセージに欠落及び改変が起こらないよう、防止、検出、診断、訂正等による対策を講じること
- (b) 設定及び装置の認証は、システム設計において組込まれる装置のみの接続を許可するものであること。許可された装置の接続のみを可能とする設計であること
  - (c) メッセージの暗号化は、機密性及び重要性データの内容を保護するものであること。データが含む内容の機密性及び重要性を保護すること
  - (d) セキュリティマネージメントは、ネットワークを保護し、ネットワークへの権限のないアクセスを防止するものであること。ネットワークの構成要素を保護するとともに、権限の無いアクセスを防止すること
- (2) 船上のシステム間の通信に使用されるワイヤレスデータリンクワイヤレス装置は、周波数及び電力レベルに関し、本会が適当と認める規格（例えば、国際電気通信連合（ITU）の定める要件及び船籍国の法規等及び旗国によって規定された規格等）に適合するものとする。
- (3) 想定される動作環境において、ワイヤレスデータリンクに関連する通信機器が、係留運転及び海上試運転の際に次の(a)及び(b)に掲げる事項を満足すること  
を、係留運転及び海上試運転の際に確認すること。
- (a) 当該機器の無線通信による電磁的干渉が他のいかなる機器の故障を引き起こさ機能に障害を与えないこと
  - (b) 想定される動作環境において、電磁的干渉により当該機器が電磁障害によって故障しないの正常な機能が影響を受けないこと

#### 附 則（改正その3）

1. この達は、2018年6月29日（以下、「施行日」という。）から施行する。
2. 施行日前に建造契約が行われた船舶にあっては、この達による規定にかかわらず、なお従前の例による。

## D16 ウインドラス及びムアリングウインチ

D16.2 を次のように改める。

### D16.2 ウインドラス

#### D16.2.1 一般

規則 D 編 16.2.1-2.にいう「本会が適当と認める規格」として、次の規格等が挙げられる。ただし、これに限るものではない。

- (1) *SNAME T & R Bulletin 3-15 “Guide to the Design and Testing of Anchor Windlasses for Merchant Ships”*
- (2) *ISO 7825 “Deck machinery general requirements”*
- (3) *ISO 4568 “Shipbuilding - Sea-going vessels - Windlasses and anchor capstans”*
- (4) *JIS F6714 “ウインドラス”*
- (5) *BS MA35 “Specifications for Ship Deck Machinery Windlass”*

#### D16.2.2 提出図面及び資料

-1. 規則 D 編 16.2.2(1)(a)にいう「ウインドラスの主要目表」は、ウインドラスの主要目に加え、次の事項を含むこと。

- (1) アンカー及びアンカーチェーンの主要目
- (2) 最大投錨水深
- (3) 性能基準
- (4) 適合する規格等

-2. 規則 D 編 16.2.2(1)(b)にいう「ウインドラスの全体装置図」には、投揚錨及び係船に関する全ての構成要素を記載すること。構成要素の例として、次に掲げる装置及び部品が挙げられる。

- (1) 駆動用動力装置、軸、鎖車、アンカー、アンカーチェーン、ブレーキ、制御装置
- (2) ムアリングウインチ、ワイヤー、フェアリード（ウインドラスを構成するものに限る。）
- (3) アンカーチェーンの呼び寸法及び最大投錨水深の標示

-3. 規則 D 編 16.2.2(1)(c)にいう「動力伝達部品及び荷重支持部品の寸法及び材料仕様、溶接の詳細」は、次によること。

- (1) ウインドラスとムアリングウインチが一体型の場合には、ムアリングウインチに関する情報を含むこと。
- (2) 使用材料を明示すること。
- (3) 溶接継手で接合される箇所に非破壊試験又は溶接後熱処理を実施する場合には、その範囲を明らかにすること。

-4. 規則 D 編 16.2.2(1)(d)にいう「油圧システムに関する図面」は、少なくとも次に掲げる情報を含むこと。

- (1) システムの設計圧力及び油圧管線図
- (2) 安全弁の配置及び設定圧力

- (3) 管及び管取付け物の材料仕様
- (4) 管継手の種類及び材料
- (5) 油圧モータの技術資料及び詳細図

-5. 規則 D 編 16.2.2(2)(a)にいう「動力伝達部品及び荷重支持部品の強度計算書」は、次によること。

- (1) 動力伝達部品及び荷重支持部品が本会が適当と認める規格又は同等の実施基準等に適合していることを示すこと。
- (2) 歯車の解析は、本会が適当と認める規格によること。

-6. 規則 D 編 16.2.2(2)(c)にいう「性能計算書」は、ウインドラスの駆動用動力装置が規則 D 編 16.2.4 に規定する巻き上げ速度、連続使用荷重及び過負荷荷重を満足する性能を有していることを示すものであること。

-7. 規則 D 編 16.2.2(2)(e)にいう「取扱説明書及び整備手順書」には、最大投錨水深を記載すること。

### **D16.2.3 材料及び組立**

規則 D 編 16.2.3-1.(1)及び-2.(2)にいう「本会が適当と認める基準等」とは、例えば JIS, ISO 規格等の国家規格又は国際規格等をいう。

### **D16.2.4 性能及び構造等設計**

-1. 規則 D 編 16.2.4-2.(2)(a)に規定する連続使用荷重は、次の条件に基づいている。

- (1) 通常のスックレスアンカーを使用する。
- (2) アンカーの質量は、規則 C 編 27 章及び規則 L 編 2 章の規定による。
- (3) 1 のアンカーを巻き上げる。
- (4) 浮力及びホースパイプの効率による影響を考慮する（ホースパイプの効率は 70% とする。）。

-2. 規則 D 編 ~~16.2.2-4.~~16.2.4-2.(7)(b)にいう波浪の打ち込みに対する据付部の強度は以下による。

((1)から(4)は省略)

### **D16.2.3 試験**

~~1. 製造工場等における試験~~

~~規則 D 編 16.2.3-1.(2)にいう試験は、次によることとする。~~

- ~~(1) 無負荷試験は、無負荷で正転、逆転各方向に 15 分ずつ合計 30 分間、定格速度に相当する回転速度で運転し、歯車切り換え式の場合は、切り換えごとに各 5 分間の同一試験を追加する。~~
- ~~(2) 負荷試験及び過負荷試験を行うことができない場合には、主要機器等の性能を確認するための試験を行い、その結果を用いた計算によってもよい。~~
- ~~(3) 鎖車ブレーキ試験は、試験又は計算のいずれによってもよい。~~

## 附 則（改正その 4）

1. この達は、2018 年 7 月 1 日（以下、「施行日」という。）から施行する。
2. 施行日前に建造契約\*が行われた船舶に搭載されるウインドラスであって、施行日前に承認申込みがあったものは、この達による規定にかかわらず、なお従前の例による。  
\* 建造契約とは、最新の IACS Procedural Requirement (PR) No.29 に定義されたものをいう。

### IACS PR No.29 (Rev.0, July 2009)

#### 英文（正）

1. The date of “contract for construction” of a vessel is the date on which the contract to build the vessel is signed between the prospective owner and the shipbuilder. This date and the construction numbers (i.e. hull numbers) of all the vessels included in the contract are to be declared to the classification society by the party applying for the assignment of class to a newbuilding.
2. The date of “contract for construction” of a series of vessels, including specified optional vessels for which the option is ultimately exercised, is the date on which the contract to build the series is signed between the prospective owner and the shipbuilder. For the purpose of this Procedural Requirement, vessels built under a single contract for construction are considered a “series of vessels” if they are built to the same approved plans for classification purposes. However, vessels within a series may have design alterations from the original design provided:
  - (1) such alterations do not affect matters related to classification, or
  - (2) If the alterations are subject to classification requirements, these alterations are to comply with the classification requirements in effect on the date on which the alterations are contracted between the prospective owner and the shipbuilder or, in the absence of the alteration contract, comply with the classification requirements in effect on the date on which the alterations are submitted to the Society for approval.The optional vessels will be considered part of the same series of vessels if the option is exercised not later than 1 year after the contract to build the series was signed.
3. If a contract for construction is later amended to include additional vessels or additional options, the date of “contract for construction” for such vessels is the date on which the amendment to the contract, is signed between the prospective owner and the shipbuilder. The amendment to the contract is to be considered as a “new contract” to which 1. and 2. above apply.
4. If a contract for construction is amended to change the ship type, the date of “contract for construction” of this modified vessel, or vessels, is the date on which revised contract or new contract is signed between the Owner, or Owners, and the shipbuilder.

#### Note:

This Procedural Requirement applies from 1 July 2009.

#### 仮訳

1. 船舶の「建造契約日」とは、予定所有者と造船所との間で建造契約のサインが交わされた日をいう。なお、この契約日及び契約を交わす全ての船舶の建造番号（船番等）は、新造船に対し船級登録を申込む者によって、船級協会に申告されなければならない。
2. オプションの行使権が契約書に明示されている場合、オプション行使によるシリーズ船の「建造契約日」は、予定所有者と造船所との間で建造契約のサインが交わされた日をいう。本 Procedural Requirement の適用において、1 つの建造契約書に基づく船舶が同一の承認図面によって建造される場合は、シリーズ船と見なす。しかしながら、以下の条件を満たす設計変更にあっては、シリーズ船は原設計から設計変更を行うことができる。
  - (1) 設計変更が船級要件に影響を及ぼさない、又は、
  - (2) 設計変更が船級規則の対象となる場合、当該変更が予定所有者と造船所との間で契約された日に有効な船級規則に適合している、又は設計変更の契約が無い場合は承認のために図面が船級協会に提出された日に有効な船級規則に適合している。オプションによる建造予定船は、シリーズ船の建造契約が結ばれてから 1 年以内にオプションが行使される場合、シリーズ船として扱われる。
3. 建造契約の後に追加の建造船又は追加のオプションを含める契約の変更がなされた場合、建造契約日は予定所有者と造船所との間で契約変更がなされた日をいう。この契約変更は前 1. 及び 2. に対して、「新しい契約」として扱わなければならない。
4. 船舶の種類の変更による建造契約の変更があった場合、改造された船舶の「建造契約日」は、予定所有者と造船所との間で契約変更又は新規契約のサインが交わされた日をいう。

#### 備考：

1. 本 PR は、2009 年 7 月 1 日から適用する。

## 附属書 D2.3.1-2.(2) クランク軸応力の計算に関する検査要領 2

### 1.3 応力計算

#### 1.3.1 変動曲げ応力

-3.を次のように改める。

-3. すみ肉部及びクランクピン油穴出口部の変動曲げ応力

(1) クランクピンすみ肉部の変動曲げ応力は次式により求められる。

$$\sigma_{BH} = \pm(\alpha_B \cdot \sigma_{BFN})$$

$\sigma_{BH}$  : クランクピンすみ肉部の変動曲げ応力(N/mm<sup>2</sup>)

$\alpha_B$  : クランクピンすみ肉部の曲げに対する応力集中係数 (1.4.2 及び ~~1.4.4-4.(2)(b)~~付録 D1 の 3.1.2-2.参照)

(2) ジャーナルすみ肉部 (半組立形クランク軸のものを除く。) の変動曲げ応力は次の (a)又は(b)に示す式により求められる。

(a)  $\sigma_{BG} = \pm(\beta_B \cdot \sigma_{BFN} + \beta_Q \cdot \sigma_{QFN})$

$\sigma_{BG}$  : ジャーナルすみ肉部の変動曲げ応力(N/mm<sup>2</sup>)

$\beta_B$  : ジャーナルすみ肉部の曲げに対する応力集中係数 (1.4.3 及び ~~1.4.4-4.(2)(b)~~付録 D1 の 3.1.2-2.参照)

$\beta_Q$  : ジャーナルすみ肉部の半径方向力による圧縮に対する応力集中係数 (1.4.3 及び ~~1.4.4-4.(3)(b)i)~~付録 D1 の 3.1.3-2.(1)参照)

(b)  $\sigma_{BG} = \pm(\beta_{BQ} \cdot \sigma_{BFN})$

$\beta_{BQ}$  : ジャーナルすみ肉部の曲げ及び半径方向力による圧縮に対する応力集中係数 (~~1.4.4-4.(3)(b)ii)~~付録 D1 の 3.1.3-2.(2)参照)

(3) クランクピン油穴 (半径方向のものに限る。) 出口部の変動曲げ応力は次式により求められる。

$$\sigma_{BO} = \pm(\gamma_B \cdot \sigma_{BON})$$

$\sigma_{BO}$  : クランクピン油穴出口部の変動曲げ応力(N/mm<sup>2</sup>)

$\gamma_B$  : クランクピン油穴出口部の曲げに対する応力集中係数 (1.4.45及び付録 D4 の 3.1.2-2.参照)

#### 1.3.2 変動ねじり応力

-2.を次のように改める。

-2. すみ肉部及びクランクピン油穴出口部の変動ねじり応力

(1) クランクピンすみ肉部の変動ねじり応力は次式により求められる。

$$\tau_H = \pm(\alpha_T \cdot \tau_N)$$

- $\tau_H$  : クランクピンすみ肉部の変動ねじり応力( $N/mm^2$ )  
 $\alpha_T$  : クランクピンすみ肉部のねじりに対する応力集中係数 (1.4.2 及び ~~1.4.4-4.(1)(e)~~付録 D1 の 3.1.1-3.参照)  
 $\tau_N$  : クランクピンにおける呼称変動ねじり応力( $N/mm^2$ )
- (2) ジャーナルすみ肉部（半組立形クランク軸のものを除く。）の変動ねじり応力は次式により求められる。
- $\tau_G = \pm(\beta_T \cdot \tau_N)$   
 $\tau_G$  : ジャーナルすみ肉部の変動ねじり応力( $N/mm^2$ )  
 $\beta_T$  : ジャーナルすみ肉部のねじりに対する応力集中係数 (1.4.3 及び ~~1.4.4-4.(1)(e)~~付録 D1 の 3.1.1-3.参照)  
 $\tau_N$  : ジャーナルにおける呼称変動ねじり応力( $N/mm^2$ )
- (3) クランクピン油穴（半径方向のものに限る。）出口部のねじりによる変動応力は次式により求められる。
- $\sigma_{TO} = \pm(\gamma_T \cdot \tau_N)$   
 $\sigma_{TO}$  : クランクピン油穴出口部のねじりによる変動応力( $N/mm^2$ )  
 $\gamma_T$  : クランクピン油穴出口部のねじりに対する応力集中係数 (1.4.45-参照及び付録 D4 の 3.1.1-2.)  
 $\tau_N$  : クランクピンにおける呼称変動ねじり応力( $N/mm^2$ )

## 1.4 応力集中係数

### 1.4.1 用語及び記号の説明

-2.を次のように改める。

-2. 本 1.4 で使用される記号の意味は次による（図 5 を参照）。

- $D$  : クランクピン直径( $mm$ )  
 $D_{BH}$  : クランクピン内径( $mm$ )  
 $D_O$  : クランクピン油穴径( $mm$ )  
 $R_H$  : クランクピンすみ肉部半径( $mm$ )  
 $T_H$  : クランクピンすみ肉部のえぐり込み( $mm$ )  
 $D_G$  : ジャーナル直径( $mm$ )  
 $D_{BG}$  : ジャーナル内径( $mm$ )  
 $R_G$  : ジャーナルすみ肉部半径( $mm$ )  
 $T_G$  : ジャーナルすみ肉部のえぐり込み( $mm$ )  
 $E$  : ピンの偏心( $mm$ )  
 $S$  : ピンとジャーナルのオーバーラップ( $mm$ )  

$$S = \frac{D + D_G}{2} - E$$
 $W$  : 腕の厚さ ( $mm$ )

ただし、2 サイクル機関に用いられる半組立形クランク軸であつて、 $T_H > R_H$  である場合には、次式で求められる  $W_{red}$  に置き換える。

$$W_{red} = W - (T_H - R_H) \quad (\text{図 3 参照})$$

$B$  : 腕の幅 (mm)

ただし、2 サイクル機関に用いられる半組立形クランク軸については、図 3 に示すようにクランクピンすみ肉部半径中心における値とする。

$r = R_H / D$  (クランクピンすみ肉部について),  $R_G / D$  (ジャーナルすみ肉部について) ( $0.03 \leq r \leq 0.13$ )

$$s = S / D \quad (s \leq 0.5)$$

$$w = W / D \quad (0.2 \leq w \leq 0.5)$$

$$b = B / D \quad (1.1 \leq b \leq 2.2)$$

$$d_O = D_O / D \quad (0 \leq d_O \leq 0.2)$$

$$d_G = D_{BG} / D \quad (0 \leq d_G \leq 0.8)$$

$$d_H = D_{BH} / D \quad (0 \leq d_H \leq 0.8)$$

$$t_H = T_H / D$$

$$t_G = T_G / D$$

クランク軸の形状が上記に定める値の範囲外である場合は、クランクピンすみ肉部、~~及び~~ジャーナルすみ肉部~~及び~~クランクピン油穴出口部の応力集中係数について **1.4.4 付録 D1 及び付録 D4** に規定する線形弾性有限要素法解析又は本会がこれと同等と認めた方法により算出すること。この場合にミーゼス等価応力と主応力を混同しないように注意を払うこと。

1.4.4 を削り、1.4.5 を 1.4.4 に改める。

#### **1.4.5 1.4.4 クランクピン油穴出口部の応力集中係数**

-1. 曲げに対する応力集中係数  $\gamma_B$  は次式により求められる。

$$\gamma_B = 3 - 5.88 \cdot d_O + 34.6 \cdot d_O^2$$

-2. ねじりに対する応力集中係数  $\gamma_T$  は次式により求められる。

$$\gamma_T = 4 - 6 \cdot d_O + 30 \cdot d_O^2$$

#### **~~1.4.4 有限要素法計算による応力集中係数~~**

##### ~~1. 有限要素モデル~~

~~(1) 計算は、ジャーナル中央間のクランクスロー1個により構成されるモデルに対して行う。~~

~~(2) すみ肉部近辺において使用する要素タイプは次のいずれかとする。~~

~~(a) 10 節点 4 面体要素~~

~~(b) 8 節点 6 面体要素~~

~~(c) 20 節点の 6 面体要素~~

~~(3) クランク面の周方向  $\pm 90^\circ$  の範囲内におけるすみ肉部のメッシュは次による。~~

~~(a) すみ肉部における周方向の最大要素寸法  $a$  は、クランクピンすみ肉部においては  $a = R_H/4$ 、ジャーナルすみ肉部においては  $a = R_G/4$  とすること。20 節点 6 面体要素を用いる場合は周方向の最大要素寸法を  $5a$  まで拡大することができる。~~



~~すみ内部半径の値が場所により異なる場合は、採用したモデルにおける半径を用いること。~~

~~(b) すみ内部半径方向の要素寸法は、第1層厚さ、第2層厚さ及び第3層厚さをそれぞれ  $a$ 、 $2a$  及び  $3a$  とすること。(図6参照)~~

~~(4) 腕厚さ方向には少なくとも6つの要素を設けること。~~

~~(5) クランク軸の他の部分の要素はソルバーの数値安定性に適したものとすること。~~

~~(6) カウンターウェイトは、クランク軸の全体剛性に大きく影響を及ぼすときにのみモデル化すること。~~

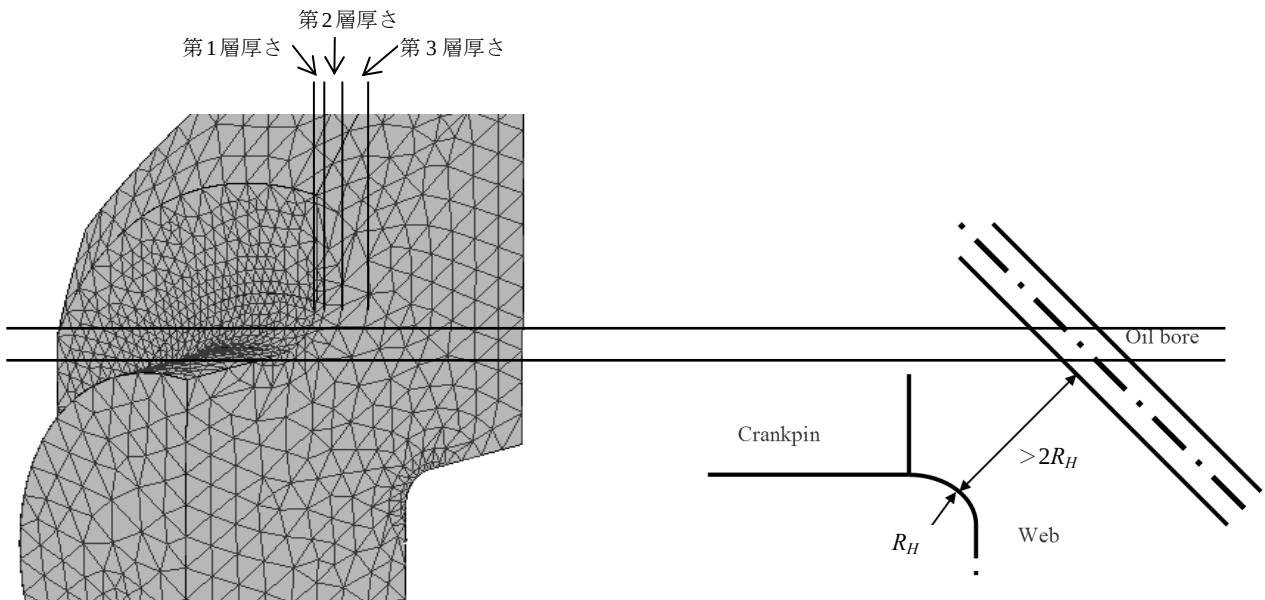
~~(7) 油穴については、クランク全体の剛性へ影響がごくわずかであり図7に示すすみ内部までの距離が  $2R_H$  又は  $2R_G$  より大きい場合はモデル化する必要はない。~~

~~(8) 重量減少のために設けられた穴はモデル化すること。~~

~~(9) ソフトウェア要件が満足されている場合サブモデリングを用いてもよい。~~

~~図6 すみ内部半径方向の要素寸法~~

~~図7 すみ内部と油穴との距離~~



## ~~2. 材料定数~~

~~鋼材について、解析に用いる材料特性値として次の値を用いること。~~

~~縦弾性係数  $E=2.05 \cdot 10^5 \text{ MPa}$~~

~~ポアソン比  $\nu=0.3$~~

## ~~3. 要素精度~~

~~要素メッシュは次に示す事項を満足することとし、評価点において、実際の要素メッシュが次に示す基準を満足しない場合は、より詳細なメッシュにおいて再度計算を行うこと。~~

~~(1) 評価点における主応力  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  及び  $\sigma_3$  は次式を満足すること。~~

$$\min(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|) < 0.03 \cdot \max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|)$$

~~(2) 評価点において、任意の節点に結合した各要素から求められた平均化されていない節点応力と、100%平均化された節点応力との差は5%未満であること。~~

## ~~4. 荷重条件~~

~~次の(1)から(3)に示す荷重条件を用いて計算を行うこと。~~

~~(1) ねじり~~

~~(a) クランク軸中心線上の中心節点にねじりモーメント  $T$  を作用させた場合を想定し、図 8に示す荷重境界条件において計算を行う。~~

~~(b) クランクピン及びジャーナルすみ内部の全ての節点における主応力を導き、等価ねじり応力を次式により計算する。~~

~~$$\tau_{equiv} = \max\left(\frac{|\sigma_1 - \sigma_2|}{2}, \frac{|\sigma_2 - \sigma_3|}{2}, \frac{|\sigma_1 - \sigma_3|}{2}\right)$$~~

~~(c) クランクピン及びジャーナルすみ内部のねじりに対する応力集中係数  $\alpha_T$  及び  $\beta_T$  は次式により求められる。~~

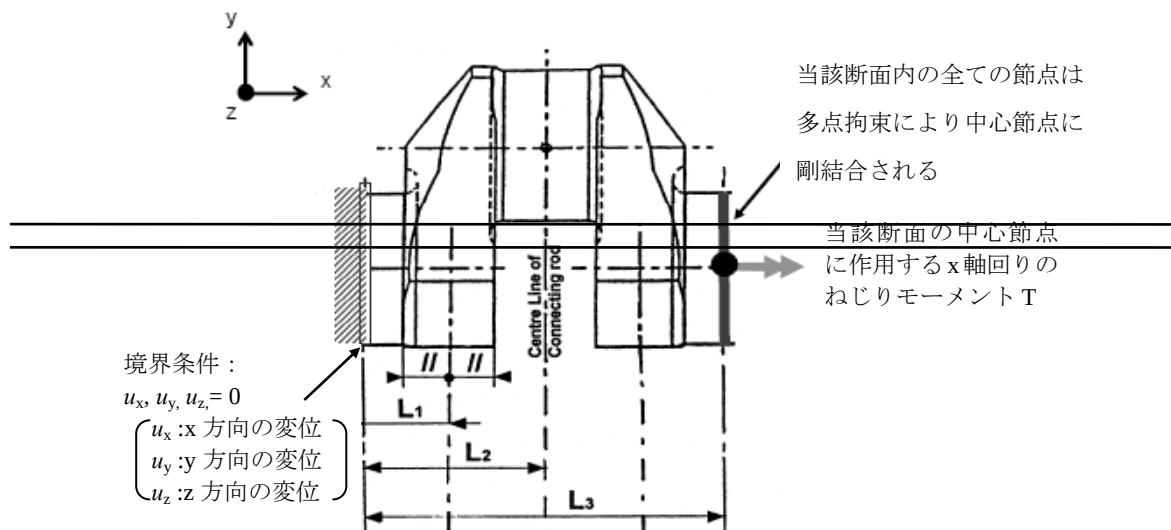
~~$$\alpha_T = \frac{\tau_{equiv,a}}{\tau_N}$$~~

~~$$\beta_T = \frac{\tau_{equiv,\beta}}{\tau_N}$$~~

~~ここで、 $\tau_N$  はクランクピン及びジャーナルそれぞれにかかる呼称ねじり応力であり次式により求められる。(W<sub>P</sub>は 1.3.2 参照)~~

~~$$\tau_N = \frac{T}{W_P}$$~~

~~図 8 ねじり荷重条件における境界荷重条件~~



~~(2) 純曲げ (4 点曲げ)~~

~~(a) クランク軸中心線上の中心節点に曲げモーメント  $M$  を作用させた場合を想定し、図 9に示す荷重境界条件において計算を行う。~~

~~(b) クランクピン及びジャーナルすみ内部における全ての節点のミーゼス等価応力  $\sigma_{equiv}$  が抽出される。最大値を用いて、曲げに対する応力集中係数  $\alpha_B$  及び  $\beta_B$  は次式により求められる。~~

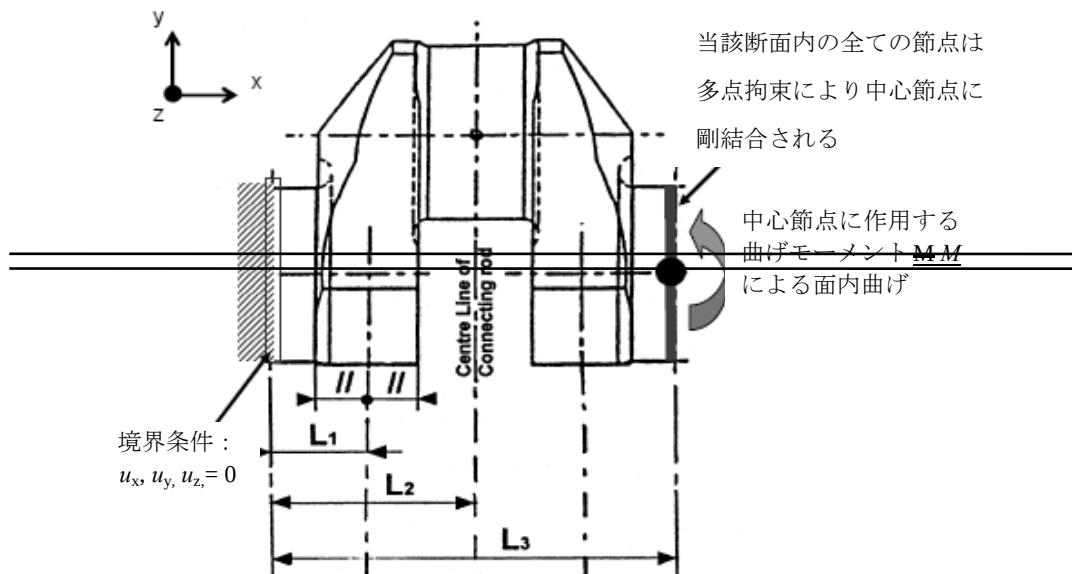
~~$$\alpha_B = \frac{\sigma_{equiv,a}}{\sigma_N}$$~~

~~$$\beta_B = \frac{\sigma_{equiv,\beta}}{\sigma_N}$$~~

~~ここで、呼称曲げ応力  $\sigma_N$  は次式で表される。(  $W_{eqw}$  は 1.3.1 2.(2) 参照 )~~

~~$$\sigma_N = \frac{M}{W_{eqw}}$$~~

~~図 9 純曲げ状態における荷重境界条件~~



~~(3) せん断力を伴う曲げ (3 点曲げ)~~

~~(a) 連接棒から力  $F_{2p}$  を受けた場合を想定し、図 10 に示す荷重境界条件において計算を行う。~~

図 10 直列型エンジンの 3 点曲げ荷重条件における荷重境界条件

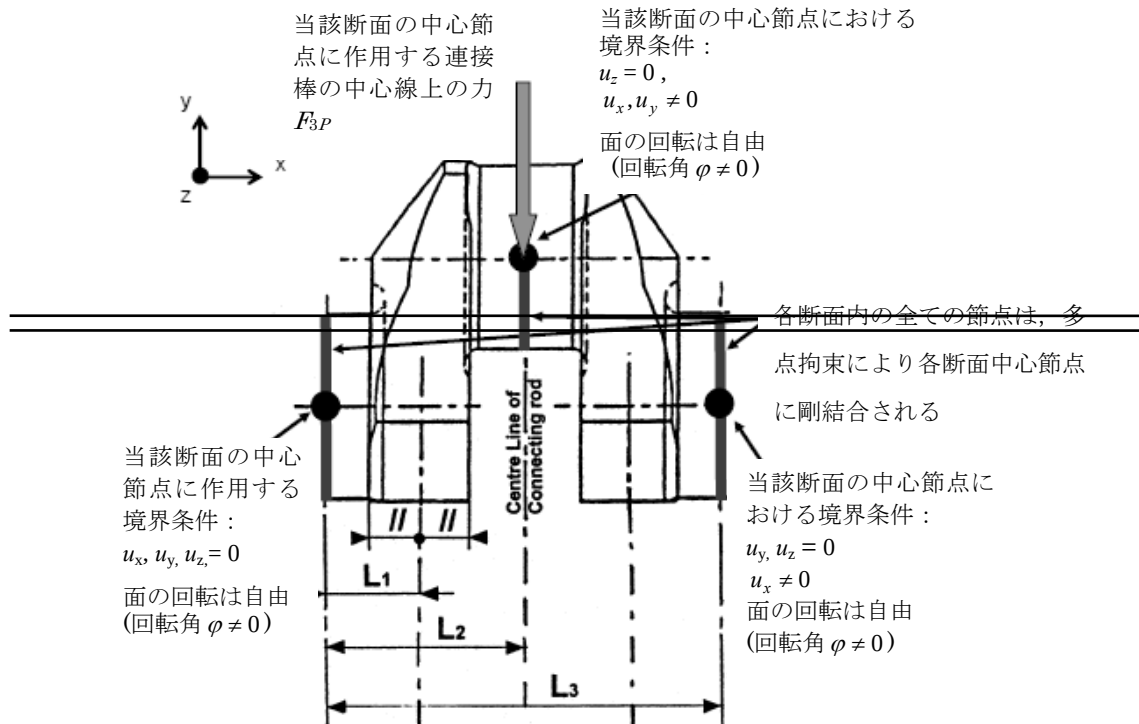
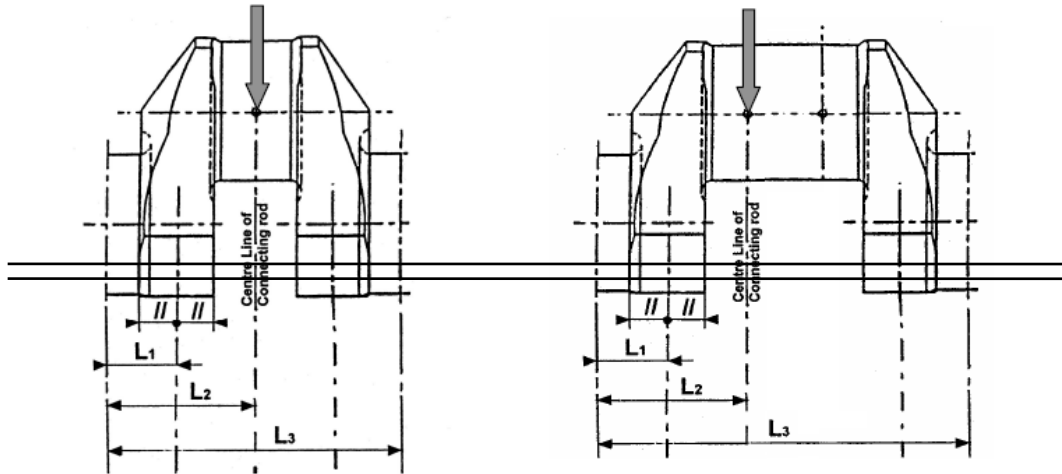


図 11 直列型及び V 型エンジンの荷重設定



- (b) ジャーナルすみ内部におけるミーゼス等価応力  $\sigma_{3P}$  が抽出される。ジャーナルすみ内部における応力集中係数は次の i) 又は ii) に示す方法により求められる。
- i) 半径方向力による圧縮に対する応力集中係数  $\beta_Q$  は次式により求められる。

$$\sigma_{3P} = \sigma_{N3P} \beta_B + \sigma_{Q3P} \beta_Q$$

ここで

$\sigma_{3P}$  : 有限要素解析により得られる応力

~~$\sigma_{N3P}$ : 連接棒から受ける力  $F_{3P}$  による腕における呼称曲げ応力 (図 11 参照)~~

~~$\beta_B$ : 前(2)(b)により得られる応力集中係数~~

~~$\sigma_{Q3P} = Q_{3P} / (B - W)$~~

~~$Q_{3P}$ : 連接棒  $F_{3P}$  により生じる腕における半径方向せん断力 (図 1 及び 2 参照)~~

~~ii) 曲げ及び半径方向力による圧縮に対する応力集中係数  $\beta_{BQ}$  は次式により求められる。~~

~~$$\beta_{BQ} = \frac{\sigma_{3P}}{\sigma_{N3P}}$$~~

~~記号については前 i) を参照のこと。~~

## 1.7 疲労強度

1.7.1 を次のように改める。

### 1.7.1 クランクピンすみ肉部に対する疲労強度

-1. クランクピンすみ肉部に対する疲労強度は、次式により計算する。ただし、計算において  $R_H$  は 2mm 以上とすること。

$$\sigma_{DW} = \pm K [0.42\sigma_B + 39.3] \times \left[ 0.264 + 1.073D^{-0.2} + \frac{785 - \sigma_B}{4900} + \frac{196}{\sigma_B} \sqrt{\frac{1}{R_H}} \right]$$

$\sigma_{DW}$  : クランク軸の許容疲労強度 ( $N/mm^2$ ) (すみ肉部表面並びに油穴の出口部及び内面 (油穴直径の 1.5 倍以上の深さまで) を滑らかに仕上げたクランク軸に関するもの。)

$K$  : 鍛造及び鋳造のクランク軸の製造方法の違いによる係数

= 1.05 (CGF 又は Drop-Forged (表面処理を行わないもの。))

= 1.0 (CGF を有さない自由鍛造 (表面処理を行わないもの。))

= 0.93 (鋳造 (すみ肉部に本会が承認した冷間ロール加工を行うもの。))

なお、 $K$  の値は、実寸法のクランクスロー若しくはクランク軸又はこれらから採取された試験片による疲労試験により求めることができる。

$\sigma_B$  : クランク軸材料の最小引張強さ ( $N/mm^2$ )

その他のパラメータは 1.4 を参照のこと。

-2. 実寸法のクランクスロー若しくはクランク軸又はこれらから採取された試験片により疲労強度を求める場合、当該試験の評価は、付録 D2 又は本会がこれと同等と認めた方法に従って行うこと。なお、当該評価結果及び関連資料を本会に提出すること。

-3. すみ肉部に表面処理を行う場合、各処理部を図面上に記載し、当該処理部については付録 D3 又は本会がこれと同等と認めた方法に従って疲労強度計算を行うこと。なお、当該計算結果及び関連資料を本会に提出すること。

1.7.3 を次のように改める。

### 1.7.3 クランクピン油穴出口部に対する疲労強度

-1. クランクピン油穴出口部に対する疲労強度は、次式により計算する。ただし、計算

において、 $D_o/2$ は $2mm$ 以上とすること。

$$\sigma_{DW} = \pm K [0.42\sigma_B + 39.3] \times \left[ 0.264 + 1.073D^{-0.2} + \frac{785 - \sigma_B}{4900} + \frac{196}{\sigma_B} \sqrt{\frac{2}{D_o}} \right]$$

$K$ ：鍛造及び鋳造のクランク軸の製造方法の違いによる係数

= 1.0（鍛造（表面処理を行わないもの。））

= 0.93（鋳造（すみ肉部に本会が承認した冷間ロール加工を施すもの。））

なお、 $K$ の値は、実寸法のクランクスロー若しくはクランク軸又はこれらから採取された試験片による疲労試験により求めることができる。

その他のパラメータは、**1.7.1**を参照のこと。

-2. 実寸法のクランクスロー若しくはクランク軸により疲労強度を求める場合、当該試験の評価は、付録 D2 又は本会がこれと同等と認めた方法に従って行うこと。なお、当該評価結果及び関連資料を本会に提出すること。

-3. 油穴出口部に表面処理を行う場合、各処理部を図面上に記載し、当該処理部については付録 D3 又は本会がこれと同等と認めた方法に従って疲労強度計算を行うこと。なお、当該計算結果及び関連資料を本会に提出すること。

付録 D1 として次の付録を加える。

## 付録 D1 有限要素法を用いたクランク軸腕のすみ肉半径における 応力集中係数の計算指針

### 1.1 一般

本付録で述べる解析の目的は、解析的に計算されるクランク軸すく肉部における応力集中係数を有限要素法による数値計算に代えることである。解析的手法は、様々なクランク軸形状の歪みゲージ測定により作成された経験式に基づいているため、当該算式の適用はクランク軸の形状により限定される。

本付録により計算される応力集中係数は、ジャーナル及びピンすみ肉部の呼称応力と有限要素法により計算した応力との比で定義される。**附属書 D2.3.1-2.(2)**において使用する場合、ねじり及び曲げについては、ミーゼス応力を計算すること。

本手法は一体形及び半組立形（ジャーナルすみ肉部を除く）に対し有効である。

解析は、線形弾性有限要素解析として行い、適当な大きさの単位荷重を全ての荷重条件に適用すること。

油穴における応力集中係数の計算は、**付録 D4** によること。

単純形状のモデルを使って、有限要素法により求められた応力と解析的手法により得られた応力を比較する等、有限要素ソルバーで要素精度の確認を行うことを推奨する。

有限要素法に代えて境界要素法を使用してもよい。

### 2.1 モデル化要件

有限要素モデルを構築するための基本的な推奨事項及び認識事項を **2.1.1** に示す。最終的な有限要素モデルは **2.2** の要件を満足すること。

#### 2.1.1 要素メッシュの推奨事項

-1. メッシュの精度基準を満足するため、次の事項に従って有限要素モデルを構築することを推奨する。

- (1) 計算は、ジャーナル中央間のクランクスロー1個により構成されるモデルに対して行う。
- (2) すみ肉部近辺において使用する要素タイプは次のいずれかとする。
  - (a) 10 節点 4 面体要素
  - (b) 8 節点 6 面体要素
  - (c) 20 節点 6 面体要素
- (3) クランク面の周方向 $\pm 90^\circ$ の範囲内におけるすみ肉部のメッシュは次による。
  - (a) すみ肉部における周方向の最大要素寸法  $a$  は、クランクピンすみ肉部においては  $a=R_H/4$ 、ジャーナルすみ肉部においては  $a=R_G/4$  とすること。20 節点 6 面体要素を用いる場合は周方向の最大要素寸法を  $5a$  まで拡大することができる。すみ肉部半径の値が場所により異なる場合は、採用したモデルにおける半径を用いる。
  - (b) すみ肉部半径方向の要素寸法は次の通りとする。（**図 1** 参照）

- i) 第一層の厚さは要素寸法  $a$
  - ii) 第二層の厚さは要素寸法  $2a$
  - iii) 第三層の厚さは要素寸法  $3a$
- (4) 腕厚さ方向には少なくとも 6 つの要素を設ける。
- (5) クランク軸の他の部分の要素はソルバーの数値安定性に適したものとする。
- (6) カウンターウェイトは、クランク軸の全体剛性に大きく影響を及ぼすときにのみモデル化する。
- (7) 油穴については、クランク軸の全体剛性への影響がごくわずかであり、図 2 に示すすみ肉部までの距離が  $2R_H$  又は  $2R_G$  より大きい場合は、モデル化する必要はない。
- (8) 重量減少のために設けられた穴はモデル化する。
- (9) ソフトウェア要件が満足されている場合、サブモデリングを用いてもよい。

図 1 すみ肉部半径方向の要素寸法

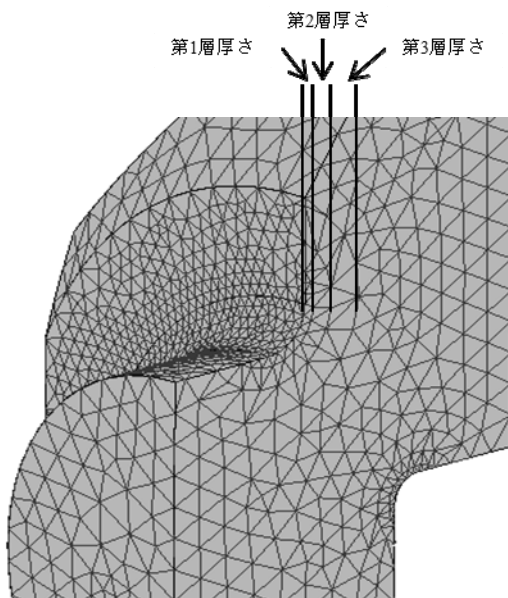
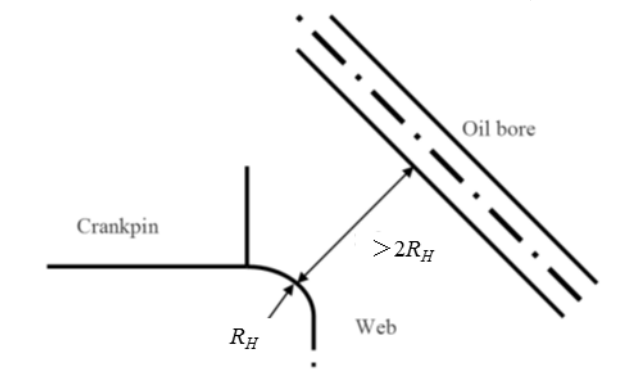


図 2 すみ肉部と油穴との距離



## 2.1.2 材料

-1. 鋼材について、解析に用いる材料特性値として次の値を用いること。

縦弾性係数  $E = 2.05 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

ポアソン比  $\nu = 0.3$

-2. 鋼材以外の材料について、文献に引用される値又は代表的な試験片による測定値のいずれかの信頼できる値を用いること。

## 2.2 要素精度基準

要素メッシュは次の 2.2.1 及び 2.2.2 に示す事項を満足することとし、評価点において、実際の要素メッシュが次に示す基準を満足しない場合は、より詳細なメッシュにおいて再度計算を行うこと。

### 2.2.1 主応力基準

評価点における主応力  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  及び  $\sigma_3$  は、次式を満足すること。

$$\min(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|) < 0.03 \cdot \max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|)$$



### 2.2.2 平均/非平均応力基準

評価点において、任意の節点に結合した各要素から求められた平均化されていない節点応力と、100%平均化された節点応力の差は5%未満であること。

## 3.1 荷重条件

次の 3.1.1 から 3.1.3 の荷重条件を用いて計算を行うこと。

### 3.1.1 ねじり

- 1. クランク軸中心線上の中心節点にねじりモーメント  $T$  を作用させた場合を想定し、図 3 に示す荷重境界条件において計算を行う。
- 2. ジャーナル及びクランクピンすみ肉部のすべての節点における主応力を導き、等価ねじり応力を次式により計算する。

$$\tau_{equiv} = \max \left( \frac{|\sigma_1 - \sigma_2|}{2}, \frac{|\sigma_2 - \sigma_3|}{2}, \frac{|\sigma_1 - \sigma_3|}{2} \right)$$

- 3. クランクピン及びジャーナルすみ肉部のねじりに対する応力集中係数  $\alpha_T$  及び  $\beta_T$  は次式により求められる。

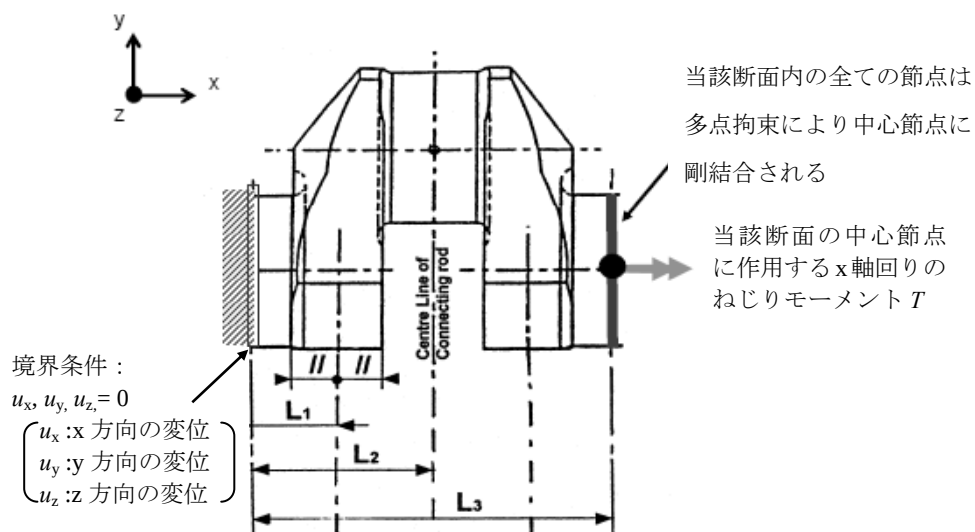
$$\alpha_T = \frac{\tau_{equiv,\alpha}}{\tau_N}$$

$$\beta_T = \frac{\tau_{equiv,\beta}}{\tau_N}$$

ここで、 $\tau_N$  はクランクピン及びジャーナルそれぞれにかかる呼称ねじり応力であり次式により求められる。（ $W_P$ は附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.3.2 参照）

$$\tau_N = \frac{T}{W_P}$$

図 3 ねじり荷重条件における境界荷重条件



### 3.1.2 純曲げ（4点曲げ）

-1. クランク軸中心線上の中心節点に曲げモーメント  $M$  を作用させた場合を想定し、図 4 に示す荷重境界条件において計算を行う。

曲げモーメントをクランク軸の座標軸に配置する中心節点に作用させる。

-2. クランクピン及びジャーナルすみ肉部における全ての節点のミーゼス等価応力  $\sigma_{equiv}$  が抽出される。最大値を用いて、曲げに対する応力集中係数  $\alpha_B$  及び  $\beta_B$  は次式により求められる。

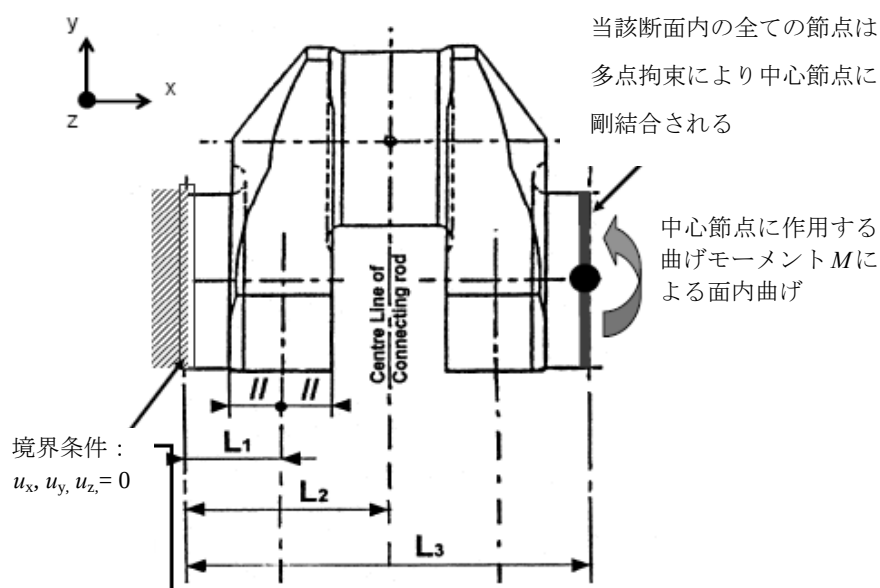
$$\alpha_B = \frac{\sigma_{equiv,\alpha}}{\sigma_N}$$

$$\beta_B = \frac{\sigma_{equiv,\beta}}{\sigma_N}$$

ここで、呼称曲げ応力  $\sigma_N$  は次式で表される。（ $W_{eqw}$  は附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.3.1-2.(2) 参照）

$$\sigma_N = \frac{M}{W_{eqw}}$$

図 4 純曲げ状態における荷重境界条件



### 3.1.3 せん断力を伴う曲げ（3点曲げ）

-1. 連接棒から力  $F_{3P}$  を受けた場合を想定し、図 5 に示す荷重境界条件において計算を行う。

図5 直列型エンジンの3点曲げ荷重条件における荷重境界条件

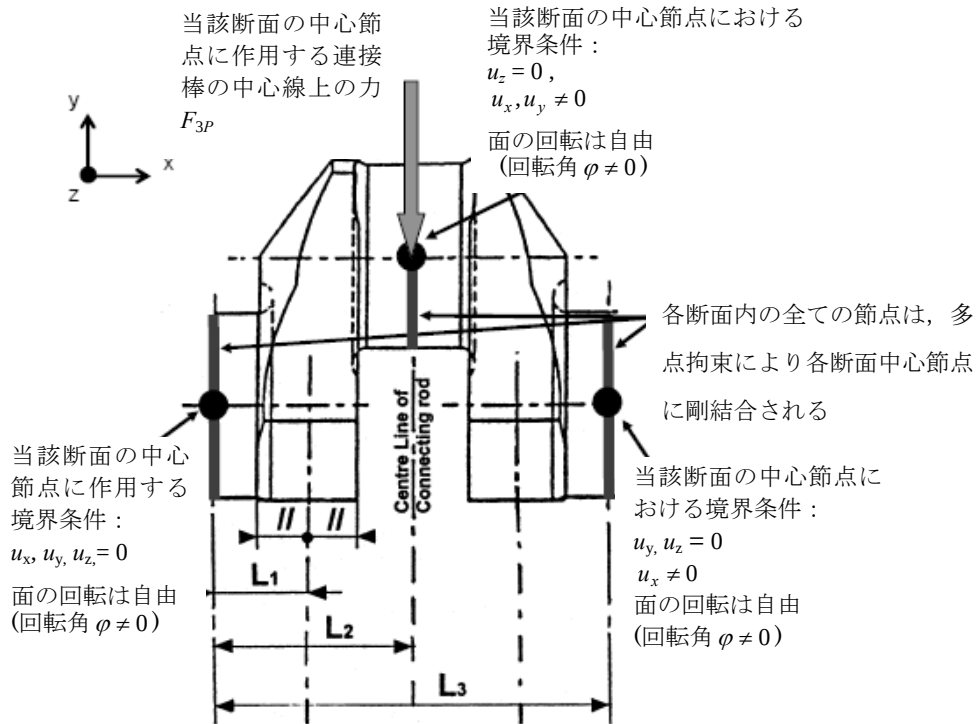
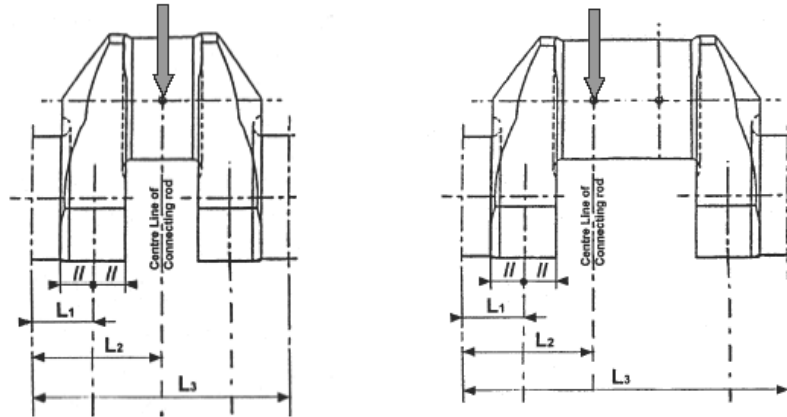


図6 直列型及びV型エンジンの荷重設定



-2. ジャーナルすみ肉部におけるミーゼス等価応力  $\sigma_{3P}$  が抽出される。ジャーナルすみ肉部における応力集中係数は次の(1)又は(2)に示す方法により求められる。

(1) 半径方向力による圧縮に対する応力集中係数  $\beta_Q$  は次式により求められる。

$$\sigma_{3P} = \sigma_{N3P} \cdot \beta_B + \sigma_{Q3P} \cdot \beta_Q$$

ここで

$\sigma_{3P}$  : 有限要素解析により得られる応力

$\sigma_{N3P}$  : 接続棒から受ける力  $F_{3P}$  による腕における呼称曲げ応力 (図6参照)

$\beta_B$  : 前 3.1.2-2.により得られる応力集中係数

$$\sigma_{Q3P} = Q_{3P} / (B \cdot W)$$

$Q_{3P}$  : 連接棒  $F_{3P}$  により生じる腕における半径方向せん断力

(附属書 D2.3.1-2.(2)の図 1 及び 2 参照)

- (2) 曲げ及び半径方向力による圧縮に対する応力集中係数 $\beta_{BQ}$ は次式により求められる。

$$\beta_{BQ} = \frac{\sigma_{3P}}{\sigma_{N3P}}$$

記号については前(1)を参照のこと。

付録 D2 として次の付録を加える。

## 付録 D2 疲労試験の評価指針

### 1.1 序

疲労試験は、主として小試験片による試験及び実寸法のクランクスローを用いた試験の 2 通りに分けられる。試験は、本付録のステアケース法又は修正ステアケース法を用いて行うことができる。その他の統計的評価手法を適用してもよい。

### 1.2 小試験片による試験

- 1. すみ肉部を表面処理していないクランク軸の場合、実寸法のクランクスローから採取した小試験片の試験により疲労強度を求めることができる。
- 2. すみ肉部近辺の他の領域が表面処理されており、すみ肉部に残留応力がかかる場合にあっては本手法を適用することはできない。
- 3. 本手法は大量の試験片を作成することができる利点がある。その他の利点としては、異なる応力比 ( $R$  比) 及び/又は異なるモード (例えば、軸、曲げ、ねじり及び切欠きの有無) での試験が可能なことである。これはクリティカルプレーン基準に用いる材料データの評価のため必要である。

### 1.3 実寸法のクランクスローによる試験

- 1. 表面処理したクランク軸の場合、疲労強度は実寸法のクランクスローを用いた試験からのみ求めることができる。
- 2. 荷重は 3 又は 4 点曲げの配置で油圧アクチュエーターによって付加するか、共振試験器の励振器により付加する。一般に応力比は  $R = -1$  に制限されるが、後者が頻繁に使用される。

## 2.1 試験結果の評価

### 2.1.1 原理

- 1. 疲労試験に先立ち、クランク軸に対し、化学組成、機械的性質、表面硬度、硬化層深さ及び範囲並びにすみ肉部表面仕上げ等の品質管理手順に従って要求される試験を行うこと。
- 2. 試験片は、許容範囲の「下端」を示すように用意するべきである。これは、例えば、高周波焼入れ処理したクランク軸の場合、硬化層深さ及びすみ肉範囲は許容範囲の下限であること等を意味する。あるいは、試験結果の平均値を信頼区間で補正するべきである。標本平均及び標準偏差とも 90% 信頼区間を使用してよい。
- 3. 試験結果は、-2. の 90% 信頼区間の考慮にかかわらず、平均疲労強度を表すものとして評価すること。標準偏差は 90% 信頼区間を考慮に入れて検討するべきである。疲労強度として使用する結果は、平均疲労強度から 1 標準偏差を引いたものである。
- 4. 当該評価が機械特性 (静的) と疲労強度との関係を見出すことを目的とする場合、その関係性は、規格最小特性ではなく、実際に測定した機械特性に基づくものであること。
- 5. 2.1.4 に示す計算手法はステアケース法用として開発されたものである。しかしなが

ら、修正ステアケース法専用の類似手法は存在しないため、同一のものを両者に適用する。

### 2.1.2 ステアケース法

- 1. ステアケース法では、次の通り疲労試験を実施する。
  - (1) 1 本目の試験片に、想定される平均疲労強度相当の応力を加える。
  - (2) (1)の試験片が $10^7$ サイクルの疲労試験で破断しなかった場合は、その試験片を取り除き、次の試験片には、1 段階増加した応力を加える。
  - (3) (2)の通り、破断しなかった試験片の次に使用する試験片には、1 段階増加した応力を加える。当該増加分は想定される標準偏差に対応するように選択するべきである。
  - (4) 試験片が $10^7$ サイクルの疲労試験で破断した場合は、得られたサイクル数を記録し、次の試験片には1 段階減少した応力を加える。
- 2. ステアケース法は多数の試験片を用意できるときのみに適した方法である。
- 3. 試験片は、少なくとも 25 本程度を用意すること。

### 2.1.3 修正ステアケース法

- 1. 試験片数が限られる場合には、修正ステアケース法の使用を推奨する。
- 2. 修正ステアケース法では、次の通り疲労試験を実施する。
  - (1) 1 つ目の試験片に、平均疲労強度よりも十分に低いと考えられる応力を加える。
  - (2) (1)の試験片が $10^7$ サイクルの疲労試験で破断しなかった場合、同一の試験片に対して1 段階増加した応力を加える。増分は想定される標準偏差に対応するように選択するべきである。この方法を同じ試験片が破断するまで継続する。
  - (3) 破断後、破断時のサイクル数を記録し、次の試験片には前の試験片が破断した際の応力よりも少なくとも2 段階減少した応力を加える。
- 3. 高い応力であるほど（特に高い平均応力における試験）、疲労限度を増加させる傾向があるため、修正ステアケース法により得られる結果は慎重に使用すべきである。ただし、この「トレーニング効果」は、高張力鋼（例えば  $UTS > 800MPa$ ）ではそれほど顕著ではない。
- 4. 試験片は、少なくとも 3 本を用意すること。

### 2.1.4 標本平均及び標準偏差の計算

5 のクラックスローの場合の計算例を次に示す。

- (1) 修正ステアケース法並びにディクソン及びムーアの評価手法を用いる場合、標本数が 10 であれば、非破断事象が 5、破断事象が 5 であることを意味する。  
標本回数： $n=10$
- (2) 破断事象と非破断事象を次の通り分類する。
  - (a) 破断事象が少ない場合： $C=1$
  - (b) 非破断事象が少ない場合： $C=2$本手法では、発生回数が少ない事象のみを用いる。たとえば破断事象が非破断事象より多い場合には、非破断事象の回数を用いる。
- (3) 修正ステアケース法では、通常、非破断事象及び破断事象の回数が同数である。しかしながら、例えば、直前の応力段階を 2 下回る条件で試験片が破断した場合、非破断事象の回数が破断事象の回数よりも少なくなる等、試験に失敗する可能性がある。一方、この予期せぬ早期破断が比較的高いサイクル数の後に発生する場合には、これより下の応力段階を非破断事象として定義することができる。

- (4) ディクソンとムードの手法は、特に標本数の少ない試験においても適用可能な最尤理論から導かれ、ステアケース試験の結果から標準偏差及び標本平均を計算するための簡単な近似式を示す。

- (a) 標本平均は次式により求められる。

$C=1$ の場合：

$$\overline{S}_a = S_{a0} + d \cdot \left( \frac{A}{F} - \frac{1}{2} \right)$$

$C=2$ の場合：

$$\overline{S}_a = S_{a0} + d \cdot \left( \frac{A}{F} + \frac{1}{2} \right)$$

- (b) 標準偏差は次式により求められる。

$$s = 1.62 \cdot d \cdot \left( \frac{F \cdot B - A^2}{F^2} + 0.029 \right)$$

$S_{a0}$ ：発生回数が少なかった事象での最小応力レベル

$d$ ：応力階差

$$F = \sum f_i$$

$$A = \sum i \cdot f_i$$

$$B = \sum i^2 \cdot f_i$$

$i$ ：応力レベル番号

$f_i$ ：応力レベル  $i$  における標本数

ただし、標準偏差の公式は近似式であり、次式を満足すること。

$$\frac{B \cdot F - A^2}{F^2} > 0.3$$

$$0.5 \cdot s < d < 1.5 \cdot s$$

上式のいずれかを満足しない場合、試験を新たに行うか、安全側となるよう極めて大きく標準偏差を取るべきである。

- (5) 応力階差  $d$  が標準偏差  $s$  と比べて非常に大きい場合、階差と標準偏差との差が比較的小さいときに計算した値と比較して、当該手法は、標準偏差がより低く、標本平均は僅かに高くなる。それぞれの応力階差  $d$  が標準偏差  $s$  よりはるかに小さい場合、当該手法は、標準偏差がより高く、標本平均は僅かに低くなる。

\*\*\*\*\*

## 例

試験結果を図 1 に示し、試験結果の処理方法並びに標本平均及び標準偏差の評価方法を図 2 に示す。

図 1 修正ステアケース法の試験記録

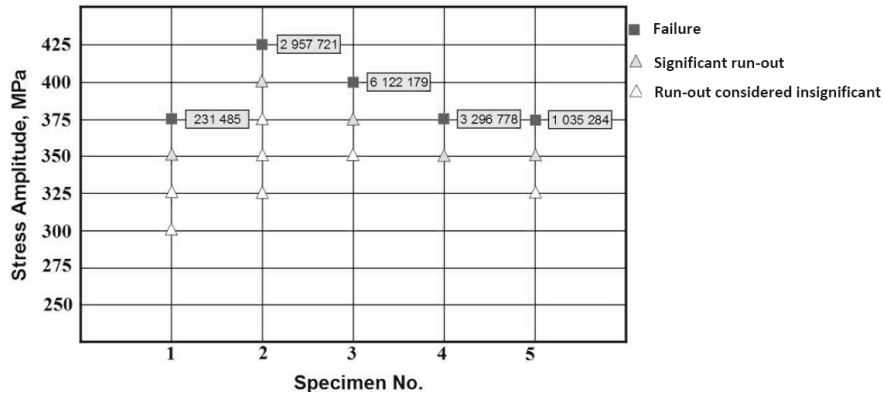
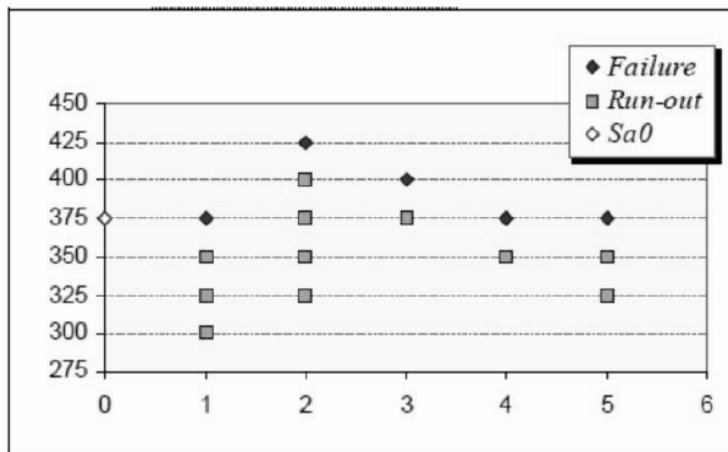


図 2 修正ステアケース法の試験結果の処理方法



| i | f <sub>i</sub> | i·f <sub>i</sub> | i <sup>2</sup> ·f <sub>i</sub> |
|---|----------------|------------------|--------------------------------|
| 2 | 1              | 2                | 4                              |
| 1 | 1              | 1                | 1                              |
| 0 | 3              | 0                | 0                              |
| Σ | 5              | 3                | 5                              |
|   | F              | A                | B                              |

$$F = \sum f_i$$

$$A = \sum i \cdot f_i$$

$$B = \sum i^2 \cdot f_i$$

(備考)

$i=0, 1, 2, \dots$  : 応力レベルの番号で通常 0 から始める。

$f_i$  : 応力レベル  $i$  における試験片数

図 2 より、標本平均及び標準偏差を以下の通り評価することができる

(1) 応力レベル 0 :  $S_{a0} := 375 \text{ MPa}$

ここでレベル 0 : 試験結果中で発生頻度が低い事象の最小値

(2) 応力階差 :  $d := 25 \text{ MPa}$

(3)  $F := 5, A := 3, B := 5$

(4) 標本平均は次式により求められる。

$$S_a := S_{a0} + d \cdot \left( \frac{A}{F} - \frac{1}{2} \right) \quad C=1 \quad S_a = 375.5 \text{ MPa}$$

(5) 標準偏差は、次式により求められる。

$$s := 1.62 \cdot d \cdot \left( \frac{B \cdot F - A^2}{F^2} + 0.029 \right) \quad s = 27.09 \text{ MPa}$$

(6) 標準偏差の比は、次式により求められる。



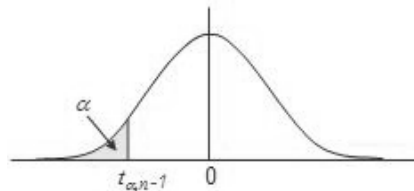
$$s_r := \frac{s}{S_a} \quad s_r = 0.072$$

\*\*\*\*\*

### 2.1.5 平均疲労限度の信頼区間

- 1. ステアケース疲労試験を繰り返すと、標本平均と標準偏差は、前の試験結果と異なる値となる可能性が高くなる。従って、標本平均に信頼区間を使用することによって、試験値が選択した疲労限度を確実に上回ることを保証する必要がある。
- 2. 未知の分散を有する標本平均の信頼区間は、平均を中心に対称な分布である  $t$  分布（スチューデントの  $t$  分布）に従って分布することが知られている。（図 3 参照）

図 3 スチューデントの  $t$  分布



（備考）

通常、標本平均に使用される信頼度は 90%であり、これは、繰り返し試験の標本平均の 90%が、選択された信頼度で計算値を上回ることを意味する。図 3 は、標本平均の  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$  の信頼区間に対する  $t$  値を示す。

- 3.  $S_a$  が経験的平均であり、 $s$  が一連の  $n$  個の標本にわたる経験的標準偏差であって、変数値が未知の標本平均及び分散で正規分布する場合、当該平均に対する  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$  の信頼区間は次式となる。

$$P\left(S_a - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} < S_{aX\%}\right) = 1 - \alpha$$

- 4. 得られた信頼区間は、標本値の経験的平均を中心に対称であり、下端は次式により求められる。

$$S_{aX\%} = S_a - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

これは欠陥の可能性を考慮した場合の低減した疲労限度を得るために使用する平均疲労限度（母集団値）である。

\*\*\*\*\*

### 例

90%の信頼区間（ $\alpha = 0.1$ ）として  $n = 10$ （破断回数 5 回，非破断回数 5 回）とすると、分布表（E.Dougherty: Probability and Statistics for the Engineering, Computing and Physical Sciences, 1990 の表中で  $\nu = n - 1$ ）より  $t_{\alpha, n-1} = 1.383$  を得られる。

このため、 $S_{a90\%}$  は次式で表される。

$$S_{a90\%} = S_a - 1.383 \cdot d \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} = S_a - 0.4373 \cdot s$$

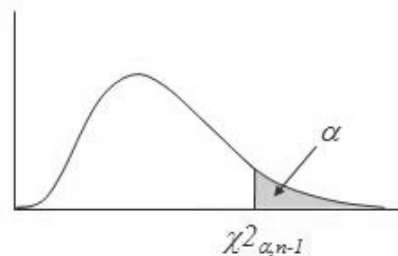
なお、安全側の値をとるため、 $n$  を使用した試験片数である 5 として、 $t_{\alpha, n-1}=1.533$  を使用する場合もある。

\*\*\*\*\*

## 2.1.6 標準偏差の信頼区間

-1. 正規確率変数の分散に対する信頼区間は自由度  $n-1$  のカイ 2 乗分布を取ることが知られている。（図 4 参照）

図 4 カイ 2 乗分布



（備考）

標準偏差の信頼度は、繰り返された試験の標準偏差がある信頼度の疲労試験の標準偏差から得られる上限未満であることを保証するために使用する。図 4 は、分散に対する  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$  の信頼区間のカイ二乗を示す。

-2.  $n$  個の標本から想定される疲労試験値は、 $\sigma^2$  の分散を有する正規確率変数であり、経験的分散は  $s^2$  である。当該分散に対する  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$  の信頼区間は次式により求められる。

$$P\left(\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} < \chi^2_{\alpha, n-1}\right) = 1 - \alpha$$

-3. 標準偏差について  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$  の信頼区間は、分散に対する信頼区間の上限値の 2 乗根により得られ、次式により求められる。

$$S_{X\%} = \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{\alpha, n-1}}} \cdot s$$

この標準偏差（母集団値）は、欠陥の可能性を考慮した疲労限度を得るために用いられる。

\*\*\*\*\*

## 例

90% の信頼区間 ( $\alpha = 0.1$ ) として、 $n = 10$ （破断回数 5 回、非破断回数 5 回）とすると、分布表（E.Dougherty: Probability and Statistics for the Engineering, Computing and Physical Sciences, 表中で  $\nu = n - 1$ ）より  $\chi^2_{\alpha, n-1} = 4.168$  を得られる。

このため、 $S_{90\%}$  は次式で表される。

$$S_{90\%} = \sqrt{\frac{n-1}{4.168}} \cdot s = 1.47 \cdot s$$

なお、安全側の値をとるため、 $n$  を使用した試験片数である 5 として、 $\chi^2_{\alpha, n-1} = 1.064$  を使用する場合もある。

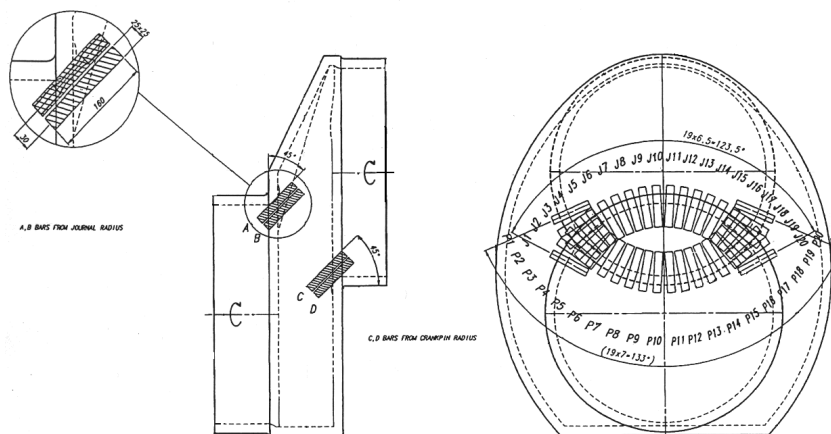
\*\*\*\*\*

### 3.1 小試験片試験

#### 3.1.1 一般

- 1. 本付録で、小試験片は、クランクスローから採取された 1 の試験片とみなす。
- 2. 試験片はすみ肉部の疲労強度を代表するものとなるように、すみ肉部近傍から採取すべきである。（図 5 参照）
- 3. -2. の試験片を使用する試験における主応力方向が、実寸法のクランクスローと同等であることを確認すべきである。有限要素法を使用して検証することを推奨する。
- 4. 機械特性（静的）は、品質管理手順に従って求めること。

図 5 クランクスローから採取する試験片の位置



#### 3.1.2 曲げ疲労強度の決定

- 1. 応力勾配の影響に関連する不確実性を避けるため、切欠きのない試験片を使用することを推奨する。引張圧縮試験法（応力比  $R = -1$ ）での試験が望ましいが、特にクリティカルプレーン基準の目的上、他の応力比及び方法を追加してよい。
- 2. 引張圧縮試験において、実寸法のクランクスローの主応力方向を示すように試験を行うため、また詳細な情報がない場合には、図 5 に示すように試験片を 45 度の角度で採取すること。試験目的が高潔度の影響を記録することである場合、円周方向に約 120 度の位置から採取した試験片を使用することができる。（図 5 参照）また、試験目的が CGF 鍛造の影響を記録することである場合、試験片の採取はクランク面の近傍に限定するべきである。

#### 3.1.3 ねじり疲労強度の決定

- 1. 試験片にねじり試験を行う場合、試験片は 3.1.2 の曲げに関する指針に従って選択すべきである。疲労強度の評価時には、応力勾配の影響を考慮すること。
- 2. 試験片に引張圧縮試験を行い、また詳細な情報がない場合には、試験片と実寸法の

クランクスローとの主応力方向の共線性を確保するため、供試材をクランク面に対して 45 度の角度で採取すべきである。試験片をすみ肉部に沿ってクランク軸の（クランク）中間面からある距離で採取する場合、この平面は、ピンの中心点の周りを回転して、ねじれによる破壊方向を再度採取することが可能になる（得られた結果は、適切なねじり疲労強度に変換すること）。

### 3.1.4 他の試験位置

- 1. 試験目的が疲労特性を見出すことであって、クランク軸が *CGF* と同様の方法で鍛造されている場合には、通常、機械試験片を採取する場所の延長線上の軸部から長手方向に試験片を採取してよい。ただし、この延長線上の軸部がクランク軸の一部として熱処理され、かつクランクスローと同様の焼入れ速度となる寸法のものであることが条件である。
- 2. 延長線上の軸部から採取した試験片による試験結果を使用する場合、その軸部の鍛流線がクランクすみ肉部をどの程度代表しているのかを考慮すること。

### 3.1.5 試験結果の相関

- 1. 試験片の試験によって得られた疲労強度は、適切な方法（寸法効果）で実寸法のクランク軸の疲労強度に対応するように変換すること。
- 2. **3.1** の試験から得られた曲げ疲労特性を使用する場合、*CGF* 鍛造では、他の鍛造（*CGF* 以外のもの）と比べて疲労強度は向上するが、通常、同程度のねじり疲労強度の向上には繋がらない。このような場合には、ねじり試験も行う、もしくはねじり疲労強度を安全側に評価することを推奨する。この方法は、ゴフ・ポラード基準を使用する場合に適用できる。ミーゼスやフィンドリー等の多軸基準を使用することは認められていない。
- 3. 曲げ疲労とねじり疲労の比が  $\sqrt{3}$  と著しく異なる場合、ミーゼス基準に代えてゴフ・ポラード基準を使用することを検討すべきである。また、クリティカルプレーン基準を使用する場合、*CGF* は疲労強度の点で材料を不均一にする。すなわち、材料パラメータは面方向で異なる点に留意すること。
- 4. いかなる影響因子の追加も注意して行うこと。例えば、清浄鋼にある種の添加物が記載されている場合、*CGF* の係数 *K* と組合せられない場合もある。清浄鋼及び *CGF* 鍛造のクランクから採取した供試材で試験することが望ましい。

## 4.1 実寸法試験

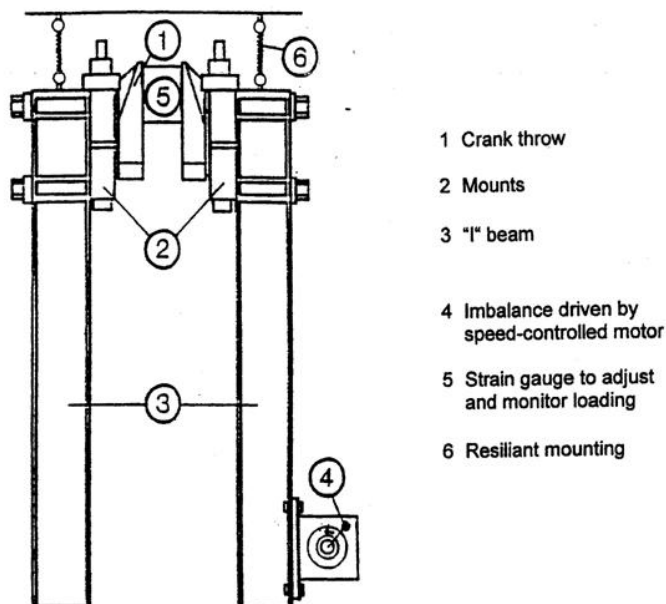
### 4.1.1 油圧脈動

- 1. 油圧試験機は、クランク軸の試験をねじり並びに 3 点又は 4 点曲げで実施できるよう配置する。これにより任意の応力比 *R* での試験が可能となる。
- 2. 試験の開始にあたり、付加荷重は軸部の平面上でのひずみゲージ測定によって確認すべきであるが、試験中の荷重制御のために必ずしも使用する必要はない。また、ひずみゲージチェーンですみ肉部の応力を確認することが適当である。
- 3. 試験装置は、付録 D3 の **3.1** に定める境界条件を与えるものであることが重要である。
- 4. 機械特性（静的）は、品質管理手順に規定される通り求めること。

#### 4.1.2 共振試験機

- 1. 通常、曲げ疲労試験機は、応力比  $R=-1$  で作動する。図 6 に試験機の配置を示す。
- 2. 付加荷重は、軸部の平面上でのひずみゲージ測定によって確認するべきである。また、ひずみゲージチェーンですみ肉部の応力を確認することが適当である。

図 6 曲げ荷重に対する共振試験機の試験配置例



-3. ジャーナルのクランプは、クランプ端部での破断に繋がる深刻なフレットイングを防止できるよう配置すること。クランプとジャーナルすみ肉部間にある程度の距離がある場合、荷重は 4 点曲げと一致しジャーナルすみ肉部を代表する。

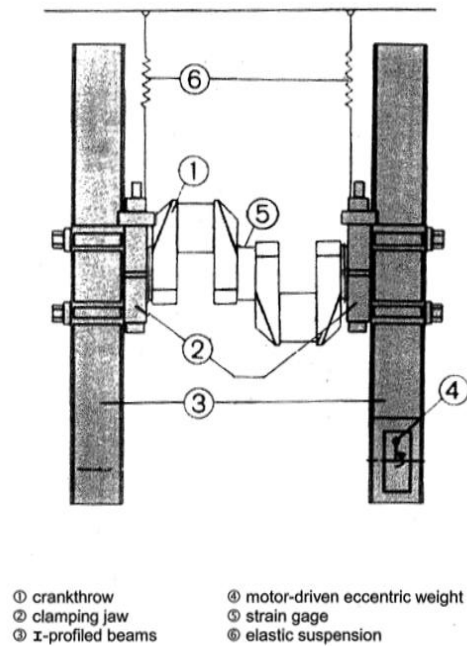
-4. 実際の機関では、通常、クランクピンすみ肉部における応力比は、 $R=-1$  を僅かに上回り、またジャーナルすみ肉部における応力比は、 $R=-1$  を僅かに下回る。必要な場合、スプリングプレロードによって平均荷重 ( $R=-1$  から逸脱) を加えてよい。

-5. ねじり疲労試験機は、図 7 に示すように配置することができる。クランクスローがねじれを受ける場合、クランクピンのねじれによりジャーナルが横方向に動く。単一のクランクスローをねじり共振試験機で試験する場合、錘付クランプとともにジャーナルは大きく横に振動する。この錘付クランプの横方向の動きは、特にクランクがほぼ同じ方向にある場合、2 のクランクスローを有することによって低減することができる。ただし、中央のジャーナルの移動は大きくなる。

-6. 横方向の動きは大きな曲げ応力を発生させる場合があるため、クランクピン平面部についても、試験結果に影響を及ぼし得る曲げを測定できるようにひずみゲージを取付けること。

-7. 曲げ疲労試験の場合と同様に、付加荷重は、軸部の平面上でのひずみゲージ測定によって確認すること。また、ひずみゲージチェーンですみ肉部の応力を確認することが適当である。

図7 2のクランクスロー部を有するねじり荷重に対する共振試験機の試験配置例



#### 4.1.3 結果の利用とクランク軸の判定

-1. クランク軸の判定計算（附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.8 参照）において，試験から得られた曲げ及びねじり疲労強度を組合せるため，次の通りゴフ・ポラード手法を適用することができる。

- (1) クランクピンの直径の場合，次式により求められる。

$$Q = \left( \sqrt{\left( \frac{\sigma_{BH}}{\sigma_{DWCT}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{BH}}{\tau_{DWCT}} \right)^2} \right)^{-1}$$

$\sigma_{DWCT}$  : 曲げ試験による疲労強度

$\tau_{DWCT}$  : ねじり試験による疲労強度

- (2) クランクピン油穴の場合，次式により求められる。

$$Q = \left( \sqrt{\left( \frac{\sigma_{BO}}{\sigma_{DWOT}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{BO}}{\tau_{DWOT}} \right)^2} \right)^{-1}$$

$\sigma_{DWOT}$  : 曲げ試験による疲労強度

$\tau_{DWOT}$  : ねじり試験による疲労強度

- (3) ジャーナル直径の場合，次式により求められる。

$$Q = \left( \sqrt{\left( \frac{\sigma_{BG}}{\sigma_{DWJT}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_G}{\tau_{DWJT}} \right)^2} \right)^{-1}$$

$\sigma_{DWJT}$  : 曲げ試験による疲労強度

$\tau_{DWJT}$  : ねじり試験による疲労強度

-2. 表面処理による疲労強度の増加が上記と類似しているとみなされる場合は、表面処理を考慮していない場合の算式に従い、最も重要な場所のみを試験することで十分である。

## 5.1 類似のクランク軸の既存の結果の利用

### 5.1.1 既存の結果の利用

-1. 表面処理していないすみ肉部又は油穴において、試験結果が次の条件を満足する場合には、当該結果を類似のクランク軸に利用することができる。

(1) 材料

- (a) 類似の材料を使用すること
- (b) 清浄度が同等以上であること
- (c) 同等の機械特性を保障できること（寸法対硬化性）

(2) 形状

- (a) 寸法効果による応力勾配の差異が小さいこと、又は差異を考慮すること
- (b) 主応力方向が等しいこと（**3.1** 参照）

(3) 製造

- (a) 類似の製造方法であること

-2. 高周波焼入れ又はガス窒化されたクランク軸は、表面において又は心部への遷移領域のいずれかで疲労の影響を受ける。実寸法のクランクの疲労試験によって求められる表面疲労強度は、疲労が表面から開始した場合、当該試験を実施したクランク軸と同等又は類似の設計のクランク軸において使用することができる。類似の設計とは、類似の材料及び表面硬度が使用され、すみ肉部半径及び硬化層深さは、試験を実施したクランク軸のおよそ±30%以内であることを意味する。

-3. 遷移領域における疲労は、表面下（すなわち硬質層下）又は硬化を終える表面のいずれかで発生する場合がある。心部への遷移点で疲労が開始することを条件に、心部への遷移点の疲労強度は、疲労試験によって求めることができる。心部材のみで行った試験は、遷移点の引張残留応力が欠けているため、代表することはできない。

-4. 以下の近年の研究内容に留意すること。

内部欠陥の周囲に拡散して集積する水素捕捉による表面下での亀裂発生により、疲労限度は、超高サイクル域において減少する可能性がある。この場合、 $10^7$ サイクル後を超える領域では、疲労限度をサイクル数が10倍になるごとに数%減少させることが適切と考えられる。村上敬宜氏の発表「Metal Fatigue: Effects of small Defects and Non-metallic Inclusions」では、特に水素含量が高いと考えられる場合には、この減少はサイクル数が10倍になるごとに5%とすることが提案されている。

付録 D3 として次の付録を加える。

## 付録 D3 表面処理されたすみ肉部及び油穴出口の計算指針

### 1.1 序

本付録では、表面処理されたすみ肉部及び油穴出口について取扱う。種々の処理に関して説明するとともに計算用の実験式を示す。

可能な場合、測定値又は詳細な情報を使用すること。ただし、残留応力等の値に大きなばらつきがある場合には、最も安全側となる値を選択すること。

### 2.1 表面処理の定義

「表面処理」とは、表面から心部にかけて不均一な材料特性（硬度、化学的特性又は残留応力等）をもたらす、熱的、化学的、機械的操作等の処理を含む用語である。

### 2.2 表面処理手法

表 1 に処理手法と各手法による疲労強度に関連する材料特性への影響を示す。

表 1 表面処理手法とその効果

| 表面処理手法           | 効果             |
|------------------|----------------|
| 高周波焼入れ           | 硬度及び残留応力       |
| 窒化               | 化学的特性、硬度及び残留応力 |
| 表面硬化             | 化学的特性、硬度及び残留応力 |
| ダイクエンチ（焼戻しを行わない） | 硬度及び残留応力       |
| 冷間ロール加工          | 残留応力           |
| ストロークピーニング       | 残留応力           |
| ショットピーニング        | 残留応力           |
| レーザピーニング         | 残留応力           |
| ボールコイニング         | 残留応力           |

（備考）

船用機関には、高周波焼入れ、窒化处理、冷間ロール加工、ストロークピーニングのみが関連すると考えられるため、表 1 に示す以外の方法（2 以上を組合せる場合を含む）は、本付録では取扱ない。加えて、ダイクエンチは、高周波焼入れと同様の方法とみなすことで差支えない。

### 3.1 一般

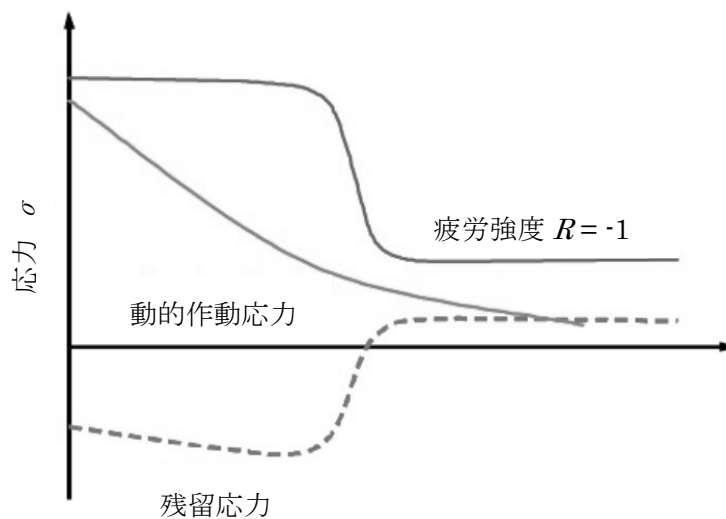
#### 3.1.1 一般

- 1. 変動作用応力は、停留亀裂が生じ得る局所疲労強度（表面処理の効果を含む）未満であること。（6.1.2 参照）これは、一定の安全係数をかけて求める。
- 2. -1.については、すみ肉部または油穴の輪郭全体並びに表面下から処理部（表面処理の影響を受ける領域）以下の深さ（心部までの深さを含む）まで適用すること。
- 3. 局所疲労強度には、局所硬度、残留応力及び平均作用応力の影響を考慮に入れること。



- 4. 「ギガサイクル効果」の影響（特に表面下での亀裂発生）に関しては、安全マージンを選択することで考慮すべきである。
- 5. 応力が集中する領域においては、硬化/ピーニングの範囲を適切に検討すること。
- 6. 硬化/ピーニングが終了するあらゆる遷移領域において、大きな引張残留応力を有する場合がある。これは「弱点」を形成し、高応力領域と一致する場合には強度に重大な影響を及ぼす。
- 7. 変動及び平均作用応力については、応力集中の存在する全領域及び表面処理深さの約 1.2 倍の深さまで求めること。（図 1 参照）
- 8. 判定基準は、すみ肉部表面の輪郭に沿った最大応力集中点から腕まで及び表面から心部まで段階的に適用すべきである。

図 1 深さの関数としての応力に関する一般原則（高周波焼入れの場合）



（備考）  
基準軸は、深さ（面に垂直）又はすみ肉部の輪郭を表す。

## 3.2 すみ肉部の局所応力の評価

### 3.2.1 有限要素法による評価

すみ肉部輪郭に沿った応力に加え、硬化層をある程度越えた深さまでの表面下の応力に関する情報を有する必要がある。これは、通常付録 D3 に記載される有限要素法により求められる。ただし、表面下の領域における要素寸法は、表面と同寸法とすること。クランクピンの硬化については、表面から硬化層にかけて小寸法要素のみを連続させること。

### 3.2.2 簡易手法による評価

- 1. 有限要素法を利用できない場合、簡易手法を使用してよい。この場合、有効範囲内であることを条件に附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.4 に定める経験的に決定された応力集中係数とすみ肉部半径に反比例する相対応力勾配に基づき決定することができる。曲げ応力とねじり応力について別々に対処すること。これらの組合せは判定基準によること。
- 2. 表面下遷移領域の応力は、最小硬化深さをもって、すみ肉部表面に垂直な軸に沿った局所応力集中係数によって定めることができる。

- (1) クランクピン及びジャーナルすみ肉部の曲げに対する局所応力集中係数 $\alpha_{B-local}$  及び $\beta_{B-local}$  は次式により求められる。(図 2 参照)

$$\alpha_{B-local} = (\alpha_B - 1) \cdot e^{\frac{-2 \cdot t}{R_H}} + 1 - \left( \frac{2 \cdot t}{\sqrt{W^2 + S^2}} \right)^{\frac{0.6}{\sqrt{\alpha_B}}}$$

$$\beta_{B-local} = (\beta_B - 1) \cdot e^{\frac{-2 \cdot t}{R_G}} + 1 - \left( \frac{2 \cdot t}{\sqrt{W^2 + S^2}} \right)^{\frac{0.6}{\sqrt{\beta_B}}}$$

パラメータは附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.3.1-3.及び 1.4 を参照のこと。

- (2) クランクピン及びジャーナルすみ肉部のねじりに対する局所応力集中係数 $\alpha_{T-local}$  及び $\beta_{T-local}$  は次式により求められる。(図 3 参照)

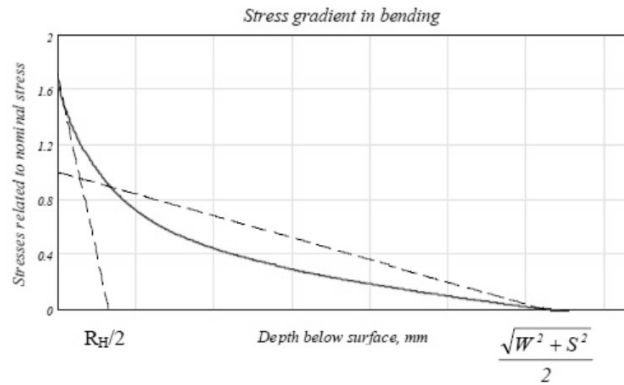
$$\alpha_{T-local} = (\alpha_T - 1) \cdot e^{\frac{-t}{R_H}} + 1 - \left( \frac{2 \cdot t}{D} \right)^{\frac{0.6}{\sqrt{\alpha_T}}}$$

$$\beta_{T-local} = (\alpha_T - 1) \cdot e^{\frac{-t}{R_G}} + 1 - \left( \frac{2 \cdot t}{D_G} \right)^{\frac{0.6}{\sqrt{\beta_T}}}$$

パラメータは附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.3.2-2.及び 1.4 を参照のこと。

-3. ピンのみが硬化処理され、硬化領域端とすみ肉部の距離が最大硬化深さの 3 倍未満の場合、有限要素法を使用して遷移領域の実際の応力を求めるべきである。

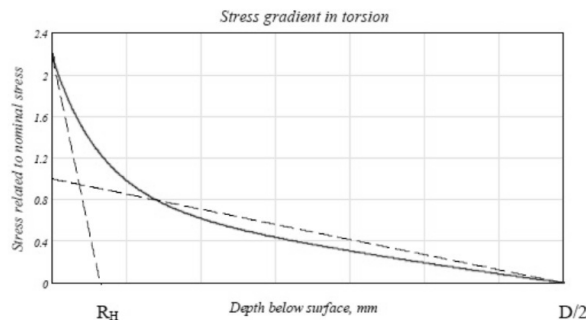
図 2 深さの関数としてのクランクピンすみ肉部の曲げの応力集中係数



(備考)

ジャーナルすみ肉部の対応する応力集中係数は、 $R_H$ を $R_G$ に置き換えることで得られる。

図 3 深さの関数としてのクランクピンすみ肉部のねじり応力集中係数



(備考)

ジャーナルすみ内部の対応する応力集中係数は、 $R_H$ を $R_G$ に、 $D$ を $D_G$ に置き換えることで得られる。

### 3.3 油穴部応力の評価

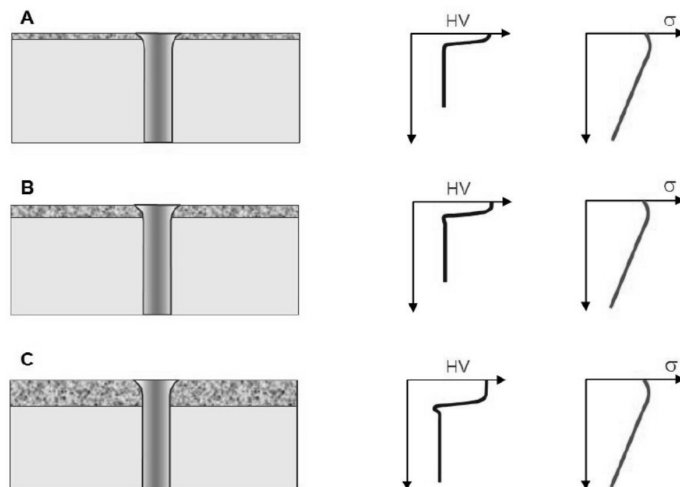
#### 3.3.1 有限要素法による評価

- 1. 油穴部の応力は、有限要素法によって求めることができる。
- 2. 要素寸法は油穴直径 $D_o$ の $1/8$ 以下とし、要素メッシュ精度は付録 D1 の基準に従うべきである。
- 3. 有限要素メッシュは、硬化深さに対応する半径方向の深さを十分に超えて適用するべきである。
- 4. 有限要素法において、ねじり及び4点曲げの荷重条件を与えること。(付録 D1 の 3.1.1 及び 3.1.2 参照)

#### 3.3.2 簡易手法による評価

- 1. 有限要素法が利用できない場合、簡易手法を使用してよい。当該手法は、適用範囲内であることを条件に、経験的に決定された附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.3 の応力集中係数に基づくものとすることができる。
- 2. ピーク応力点における曲げ応力とねじり応力は、附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.6 の通り組み合わせる。
- 3. 図 4 は、硬質材料と軟質材料の間の遷移領域において硬度が局所的に低下することを示している。この低下の発生は、調質処理での焼入れ後の焼き戻し温度に依存する。
- 4. 油穴部のピーク応力は、丸み面取りの終端部に発生する。この領域内での応力はピンの中心に向かってほぼ線形に降下する。図 4 より浅い硬化層の場合 (A) と中程度の硬化層の場合 (B) では、実質的に遷移点は最大応力点と一致する。深部まで硬化した場合 (C) では、遷移点はピーク応力点外となり、局所応力は、ピーク応力の $(1-2tH/D)$ として評価することができる。ここで、 $tH$ は硬化層深さである。

図 4 高周波焼入れされた油穴における応力と硬度



-5. 表面下の遷移領域の応力は、最小硬化層深さを用いて、油穴表面に垂直な軸に沿った局所応力集中係数によって求められる。

- (1) クランクピン油穴部の曲げに対する局所応力集中係数  $\gamma_{B-local}$  は次式により求められる。

$$\gamma_{B-local} = (\gamma_B - 1) \cdot e^{\frac{-4t}{D_o}} + 1$$

パラメータは**附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.3.1-3.**及び**1.4**を参照のこと。

- (2) クランクピン油穴部のねじりに対する局所応力集中係数  $\gamma_{T-local}$  は次式により求められる。

$$\gamma_{T-local} = (\gamma_T - 1) \cdot e^{\frac{-2t}{D_o}} + 1$$

パラメータは**附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.3.1-3.**及び**1.4**を参照のこと。

### 3.4 判定基準

油穴出口部、クランクピンすみ肉部及びジャーナルすみ肉部の等価変動応力及び疲労強度の比である許容係数  $Q$  は**附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.8**に定める次式を満足すること。

$$Q \geq 1.15$$

## 4.1 高周波焼入れ

### 4.1.1 一般

-1. 硬度の仕様において、表面硬度の範囲（最小値及び最大値），すみ肉部内又はすみ肉部に渡る最小及び最大範囲並びにすみ肉部輪郭に沿った最小及び最大深さを指定すること。参照ビッカース硬さは、 $HV0.5 \sim HV5$ とみなす。

-2. 高周波焼入れ深さは、指定最小表面硬度の80%の硬度となる深さとして定義する。

-3. クランクピン又はジャーナルのみを硬化する場合、**図 5**に示す熱影響部に生じる引張応力のため、すみ肉部までの最小距離を指定すること。

-4. 硬度と深さ分布及び残留応力が明らかでない又は指定されていない場合には、次のとおり仮定してよい。

- (1) 硬度特性は次の2層で構成される。（**図 6**参照）

(a) 表面から遷移領域まで一様な硬度

(b) 遷移領域から心材まで一様な硬度

- (2) 硬化領域における残留応力は  $200 \text{ MPa}$ （圧縮）

- (3) 局所硬度低下を回避しない限り、遷移領域の硬度は心部硬度の90%

- (4) 遷移領域における最大残留応力（ミーゼス応力）は  $300 \text{ MPa}$ （引張）

-5. クランクピン又はジャーナルの硬化の終端がすみ肉部に近接する場合、引張り残留応力の影響を考慮すること。硬化の終端とすみ肉部の始端との最小距離が最大硬化層深さの3倍を超える場合には、当該影響がないものとして差支えない。

図5 ピンとすみ肉部の表面に沿った残留応力

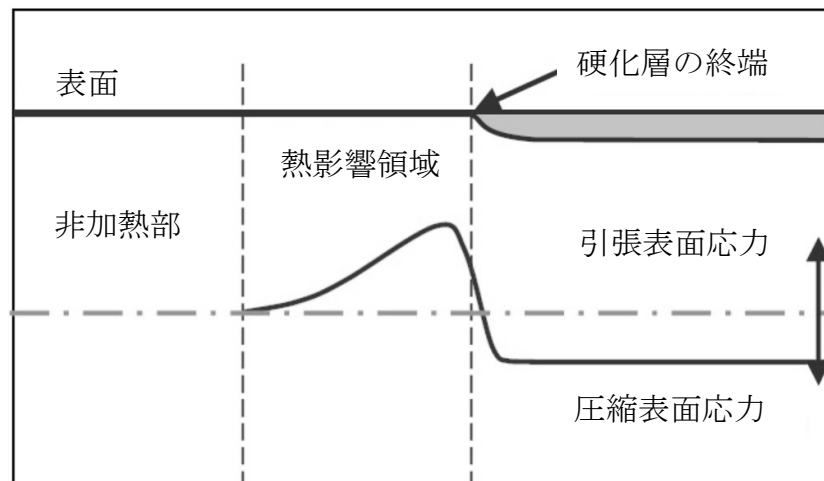
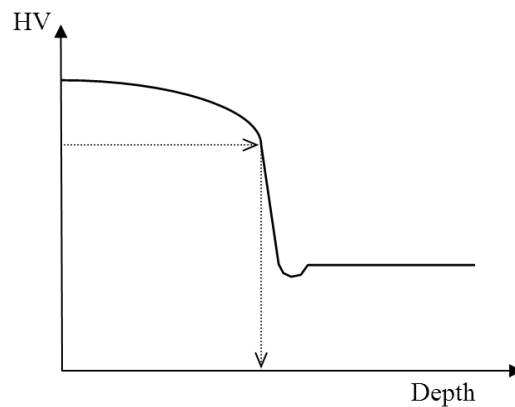


図6 深さの関数と硬度の例



（備考）

矢印は定義された硬化層深さを示す。心部への遷移時に図6に示すような硬度低下を生じ得る。局所強度の低下及び引張残留応力が生じ得るため、これは弱点となる可能性がある。

## 4.2 局所疲労強度

### 4.2.1 一般

高周波焼入れされたクランク軸は、表面又は心部への遷移点のいずれかにおいて疲労の影響を受ける。

### 4.2.2 疲労試験による評価

- 1. 表面及び遷移領域の疲労強度は、付録D2に定める実寸大のクランクによる疲労試験によって求めることができる。
- 2. 遷移領域の場合、疲労は表面下（硬質層の下側）又は硬化が終了する表面のいずれかで開始する場合がある。
- 3. 心部の材料のみを用いた試験は、遷移領域における引張残留応力が含まれないため、疲労強度を代表するものとはならない。

### 4.2.3 計算による評価

-1. 表面疲労強度については、次式により求められる。

$$\sigma_{F_{surface}} = 400 + 0.5 \cdot (HV - 400) \quad [MPa]$$

$HV$ ：表面ビッカース硬さ

当該式は、疲労強度に残留応力の影響が含まれると仮定しており安全側の値が得られる。計算結果は  $R = -1$  の作用応力比において有効である。なお、高周波焼入れされた鋼材の平均応力の影響は、調質鋼の平均応力の影響よりも著しく大きくなる場合があることに留意すること。

-2. 遷移領域における疲労強度は、あらゆる局所的な硬度低下を考慮せずに、次式により求めること。

$$\sigma_{F_{transition, cpin}} = \pm K \cdot (0.42 \cdot \sigma_B + 39.3) \cdot \left[ 0.264 + 1.073 \cdot Y^{-0.2} + \frac{785 - \sigma_B}{4900} + \frac{196}{\sigma_B} \cdot \sqrt{\frac{1}{X}} \right]$$

ジャーナルすみ肉部の場合  $Y = D_G$ ,  $X = R_G$

クランクピンすみ肉部の場合  $Y = D$ ,  $X = R_H$

油穴出口の場合  $Y = D$ ,  $X = D_O / 2$

パラメータは**附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.4**を参照のこと。

当該式に残留応力の影響は含まれていない。

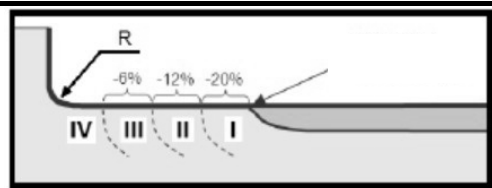
-3. 表面下の疲労を考慮する目的上、硬化層下においては、引張残留応力による悪影響を**-2.**により求められた値から20%引くことで考慮すること。当該20%は、300 MPaの残留引張応力を有する調質合金鋼の平均応力の影響に基づいている。

-4. 前**-3.**に定める残留応力がより低いことが得られている場合には、**-3.**で定める割合より低い値で差引くこと。また、低強度鋼の場合には、**-3.**で定める割合より大きな値で差引くべきである。

-5. 硬化部の終端付近における表面疲労（**図 5**に示す熱影響部）を考慮する目的上、引張残留応力の影響は、**-2.**により求められた値から**表 2**に従って一定の割合を差引くことで考慮することができる。

表 2 焼入れ終端からすみ肉部方向のある距離における引張残留応力の影響

| 領域  | 硬化層終端とすみ肉部の距離      | 割合  |
|-----|--------------------|-----|
| I   | 最大硬化層深さの 0～1.0 倍   | 20% |
| II  | 最大硬化層深さの 1.0～2.0 倍 | 12% |
| III | 最大硬化層深さの 2.0～3.0 倍 | 6%  |
| IV  | 最大硬化層深さの 3.0 倍以上   | 0%  |



## 5.1 窒化

### 5.1.1 一般

-1. 硬度の仕様には、表面硬度の範囲（最小及び最大）並びに最小及び最大深さを含めること。

-2. ガス窒化のみを考慮する。

- 3. 参照ビッカース硬さは、 $HV0.5$  とみなす。
- 4. 心部硬度より  $50 HV$  高い硬度までの深さを窒化層深さ  $tN$  とする。
- 5. 硬化分布は、心部まですべて指定すること。
- 6. -5.の硬化分布が得られていない場合は、次式により求めてよい。

$$HV(t) = HV_{core} + (HV_{surface} - HV_{core}) \cdot \left( \frac{50}{HV_{surface} - HV_{core}} \right)^{\left( \frac{t}{tN} \right)^2}$$

- $t$  : 局所深さ
- $HV(t)$  : 深さ  $t$  における硬度
- $HV_{core}$  : 心部硬度 (最小)
- $HV_{surface}$  : 表面硬度 (最小)
- $tN$  : 窒化層深さ (最小)

## 5.2 局所疲労強度

### 5.2.1 一般

窒化されたクランク軸の場合、疲労は表面又は心部への遷移部のいずれかに見られる。

### 5.2.2 疲労試験による評価

付録 D2 に定める試験によって疲労強度を求めることができる。

### 5.2.3 計算による評価

- 1. 表面疲労強度 (主応力) については、次式により求められる。

$$\sigma_{Fsurface} = 450 MPa$$

当該式は表面硬度が  $600 HV$  以上のときに有効な式である。

なお、この疲労強度は表面残留応力の影響を含むものとし、作用応力比  $R = -1$  に適用することに注意すること。

- 2. 遷移領域における疲労強度は、次式により求められる。

$$\sigma_{Ftransition, cpin} = \pm K \cdot (0.42 \cdot \sigma_B + 39.3) \cdot \left[ 0.264 + 1.073 \cdot Y^{-0.2} + \frac{785 - \sigma_B}{4900} + \frac{196}{\sigma_B} \cdot \sqrt{\frac{1}{X}} \right]$$

ジャーナルすみ肉部の場合  $Y = D_G, X = R_G$

クランクピンすみ肉部の場合  $Y = D, X = R_H$

オイルボア出口の場合  $Y = D, X = D_O / 2$

パラメータは附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.4 を参照のこと。

当該算式より得られる疲労強度は、残留応力の影響を含むよう仮定していないことに留意すること。

-3. 高周波焼入れとは対照的に、窒化された部材は心部への明確な遷移領域を有していない。表面における圧縮残留応力は高いが、硬化層深さが浅いため、心部の平衡引張応力は緩やかである。

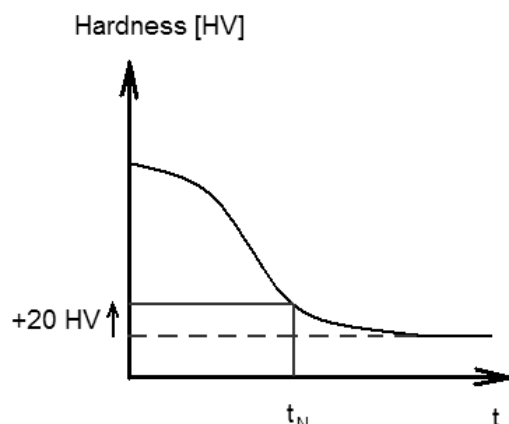
-4. 表面下の解析の目的上、窒化硬さ分布が滑らかな曲線であることを考慮し、遷移領域内及び遷移領域下での引張残留応力による悪影響をないものとして取り扱うことで差

支えない。

-5. 原則として、硬さ分布全体に沿って計算を行うべきであるが、簡易手法により、表面及び人工遷移点の評価に限定することもできる。（図 7 参照）

-6. 前-5.の人工遷移点は、局所硬度が心部硬度より 20 HV 程度高い深さとすることができる。この場合、心部材の特性を使用すべきであり、 $t=1.2t_N$  を 3.2.2 又は 3.3.2 の局所応力集中係数の算式に入れることで、心部への遷移時の応力を求めることができる。

図 7 深さ方向の人工遷移点における概略図



## 6.1 冷間加工

### 6.1.1 一般

-1. すみ肉部のストロークピーニング又は冷間ロール加工の利点は、高負荷領域に導入される圧縮残留応力である。

-2. 疲労強度は疲労試験より求めること。（付録 D2 参照）この試験は、通常、作用応力比  $R = -1$  の 4 点曲げで実施する。

-3. 前-2.の試験結果から、曲げ疲労強度（破壊様式に応じて表面又は表面下で開始）を求め、すみ肉部に掛かる曲げに対する疲労強度を代表することができる。

-4. 曲げと比較して、すみ肉部におけるねじり疲労強度は、ミーゼス応力基準で利用される比率  $\sqrt{3}$  とは大きく異なる場合がある。曲げに対しては表面下の疲労を防ぐために十分な処理深さであっても、ねじりにおいては表面下での疲労が発生する場合がある。曲げとねじりの差異の原因としては、高応力領域の範囲であると考えられる。

-5. 実寸法のクランク試験で得られた結果は、母材（調質合金）が類似の種類であって、表面及び深さにわたっての圧縮残留応力が類似レベルとなるように加工が行われることを条件に、他の寸法のクランクにも適用することができる。これは、冷間加工の範囲と深さの両方がすみ肉部半径に比例しなければならないことを意味する。

### 6.1.2 球によるストロークピーニング

-1. 曲げ疲労強度及びねじり疲労強度を調査した結果、当該比率が  $\sqrt{3}$  と異なる場合には、ミーゼス基準は除外すべきである。

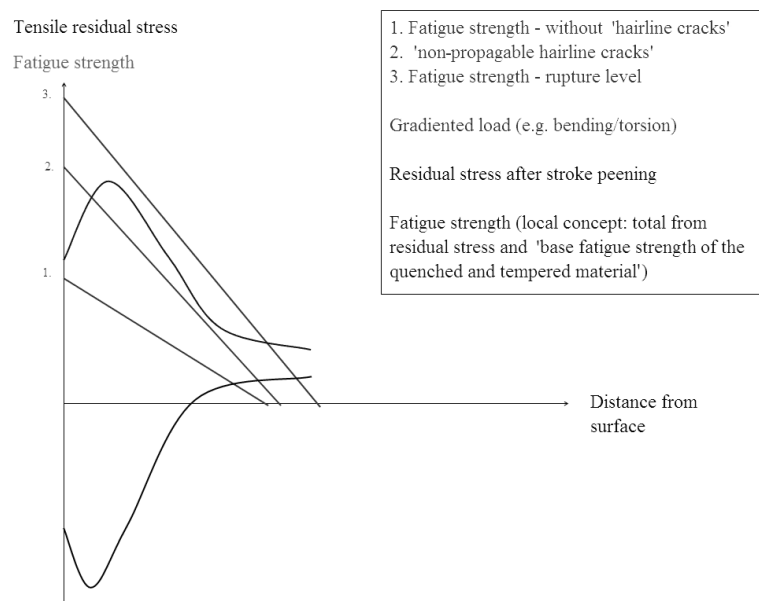
-2. 曲げ疲労強度のみを調査した場合は、ねじり疲労強度を安全側に評価すべきである。曲げ疲労強度が非ピーニング材料の疲労強度より  $x\%$  高いと結論づけられる場合、ね



じれ疲労強度は、非ピーニング材料の疲労強度の  $x\%$  の  $2/3$  を超えて評価するべきではない。

-3. ストロークピーニング処理の結果として、表面下領域で圧縮残留応力の最大値がみられる。従って、疲労試験荷重及び応力勾配によっては、表面の作用応力が、表面の局所疲労強度より高くなる可能性がある。このため、疲労試験中に小さな亀裂が生じる可能性はあるが、圧縮残留応力の分布のため、試験負荷の若干量の増加及び/又は更なる負荷サイクルによって伝播することはできない。すなわち、表面下の高い圧縮残留応力は、表面での微細な割れを「拘束」する。（図 8 の 2. を参照）

図 8 ストロークピーニング加工された表面下の作用及び残留応力



（備考）

直線 1～3 は、異なる負荷応力勾配を示す。

-4. 実寸法のクランク軸を使用した疲労試験では、小さな「ヘアークラック」を亀裂破壊とみなすべきではない。技術的に破壊に繋がる疲労亀裂であって、その結果として試験台を止める必要があるような亀裂は、破壊荷重レベルを決定する際に考慮すべきである。これは、高周波焼入れされたすみ肉部がストロークピーニングされる場合にも適用する。

-5. 高周波焼入れされたすみ肉部の疲労強度の改善のため、所要表面硬度まで高周波焼入れ及び焼戻しした後、クランク軸すみ肉部のストロークピーニング処理を適用することが可能である。当該処理を実施する場合、ストロークピーニング力を母材の引張強さではなく表層の硬度に適合させなければならない場合がある。

-6. 高周波焼入れ及びストロークピーニングを施したすみ肉部の疲労強度に関する影響は、実寸法のクランク軸の試験により求めること。

### 6.1.3 類似のクランク軸の結果の利用

試験結果は、次の基準をすべて満足する場合、他の類似のクランク軸に利用することができる。

- (1) 試験を実施したクランク軸と比較して、すみ肉部半径に対する球の寸法は $\pm 10\%$ 以内であること

- (2) 少なくともストロークピーニングの周方向の範囲が同一であること
- (3) 試験を実施したクランク軸と比較して、すみ肉部の半径に対するすみ肉部輪郭角度の範囲が $\pm 15\%$ 以内で、機関運転中の応力集中部を含むように配置されていること
- (4) 類似の母材であること（例えば、焼入れ焼戻し合金）
- (5) 同一半径比率の球を使用すること
- (6) 球に加えられる力は母材硬度に比例すること（異なる場合）
- (7) 球に加えられる力は球半径の 2 乗に比例すること

#### 6.1.4 冷間ロール

- 1. 疲労強度は、安全側で適用した場合、実寸法のクランク試験又は経験的方法により得られる。
- 2. 曲げ疲労強度及びねじり疲労強度の両方を調査し、当該比率が $\sqrt{3}$ と異なる場合、フォンミーゼス基準を除外するべきである。
- 3. 曲げ疲労強度のみを調査した場合は、ねじり疲労強度の評価を慎重に行うべきである。当該曲げ疲労強度が非ロール材料の疲労強度より  $x\%$  高いと結論づけられる場合には、ねじり疲労強度は非ロール材料の疲労強度の  $x\%$  の  $2/3$  を超えて評価するべきではない。

#### 6.1.5 類似のクランク軸の結果の利用

試験結果は、次の基準をすべて満足する場合、他の類似のクランク軸に利用することができる。

- (1) 少なくとも冷間ロールの円周方向の範囲が同一であること
- (2) 試験を実施したクランク軸と比較して、すみ肉部の半径に対するすみ肉部輪郭角度の範囲が $\pm 15\%$ 以内で、機関運転中の応力集中部を含むように配置されていること
- (3) 類似の母材であること（例えば、調質合金）
- (4) ローラー力は、少なくとも、すみ肉部半径に対して同一の相対処理深さとなるように計算すること

付録 D4 として次の付録を加える。

## 付録 D4 有限要素法を用いたクランク軸の油穴出口部における 応力集中係数の計算指針

### 1.1 一般

本付録で述べる解析の目的は、油穴出口部における応力集中係数の解析計算を適切な有限要素法による数値計算に代えることである。解析的手法は、様々な丸棒の光弾性測定又はひずみゲージから得られた経験式に基づいている。このため、当該算式の適用範囲外では、有限要素法を使用すること。

本付録の規定に従って計算された応力集中係数は、解析的に計算した呼称応力と有限要素法により計算した応力との比として定義される。附属書 D2.3.1-2.(2)において使用する場合、主応力を計算すること。

解析は、線形弾性有限要素解析として行い、適当な大きさの単位荷重を全ての荷重条件に適用すること。

単純形状をモデル化し、有限要素法より得られた応力を解析的手法により得られた応力と比較する等、有限要素ソルバーを使用し、要素精度を確認することを推奨する。

有限要素法に代えて境界要素法を用いてもよい。

### 2.1 モデル化要件

有限要素モデルを構築するための基本的な推奨事項及び認識事項を 2.1.1 に示す。最終的な有限要素モデルは 2.2 の要件を満足すること。

#### 2.1.1 要素メッシュの推奨事項

メッシュの精度基準を満足するため、次の事項に従って有限要素モデルを構築することを推奨する。

- (1) 計算は、ジャーナル中央間のクランクスロー1個により構成されるモデルに対して行う。
- (2) 油穴出口近辺において使用する要素タイプは次のいずれかとする。
  - (a) 10 接点 4 面体要素
  - (b) 8 接点 6 面体要素
  - (c) 20 接点 6 面体要素
- (3) 油穴出口部には次のメッシュ特性を使用する。
  - (a) 最大要素寸法は穴方向のみならず、出口すみ肉部全体に渡り  $a = r/4$  とする。  
(8 接点 6 面体要素を用いる場合は、この精度基準を満足するため、より詳細な要素が必要となる)
  - (b) すみ肉部半径方向の要素寸法に関する推奨手法は次の通り示す。
    - i) 第1層の厚さは要素寸法  $a$
    - ii) 第2層の厚さは要素寸法  $2a$
    - iii) 第3層の厚さは要素寸法  $3a$
- (4) クランク軸の他の部分の要素はソルバーの数値安定性に適しているものとする。

- (5) 重量減少のために設けられた穴はモデル化する。
- (6) ソフトウェア要件が満足されている場合、サブモデリングを用いてもよい。

### 2.1.2 材料

- 1. 鋼材について、解析に用いる材料特性値として次の値を用いること。

$$\text{ヤング率 } E = 2.05 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$\text{ポアソン比 } \nu = 0.3$$

- 2. 鋼材以外の材料について、文献に引用される又は代表の材料片から計測したもののいずれかの信頼できる値を用いること。

## 2.2 要素精度基準

要素メッシュは次に示す事項を満足することとし、評価点において、実際の要素メッシュが次に示す基準を満足しない場合は、より詳細なメッシュにおいて再度計算を行うこと。

### 2.2.1 主応力基準

評価点における主応力  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  及び  $\sigma_3$  は、次式を満足すること。

$$\min(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|) < 0.03 \cdot \max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|)$$

### 2.2.2 平均/非平均応力基準

評価点において、任意の節点に結合した各要素から求められた平均化されていない節点応力と、100%平均化された節点応力の差は5%未満であること。

## 3.1 荷重条件と応力評価

次の 3.1.1 から 3.1.3 の荷重条件を用いて計算を行うこと。

### 3.1.1 ねじり

- 1. クランク軸中心線上の中心節点にねじりモーメント  $T$  を作用させた場合を想定し、図 1 に示す荷重境界条件において計算を行う。

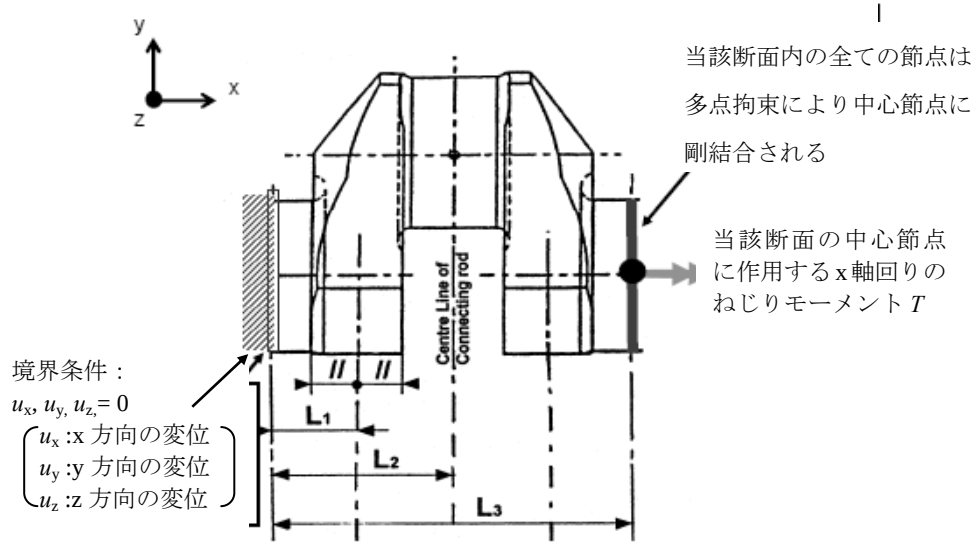
- 2. 油穴出口部のすべての節点における主応力を導き、その最大値より応力集中係数  $\gamma_T$  は次式により求められる。

$$\gamma_T = \frac{\max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|)}{\tau_N}$$

ここで、 $\tau_N$  はクランクピンにかかる呼称ねじり応力であり次式により求められる。 $(W_P$  は附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.3.2 参照)

$$\tau_N = \frac{T}{W_P}$$

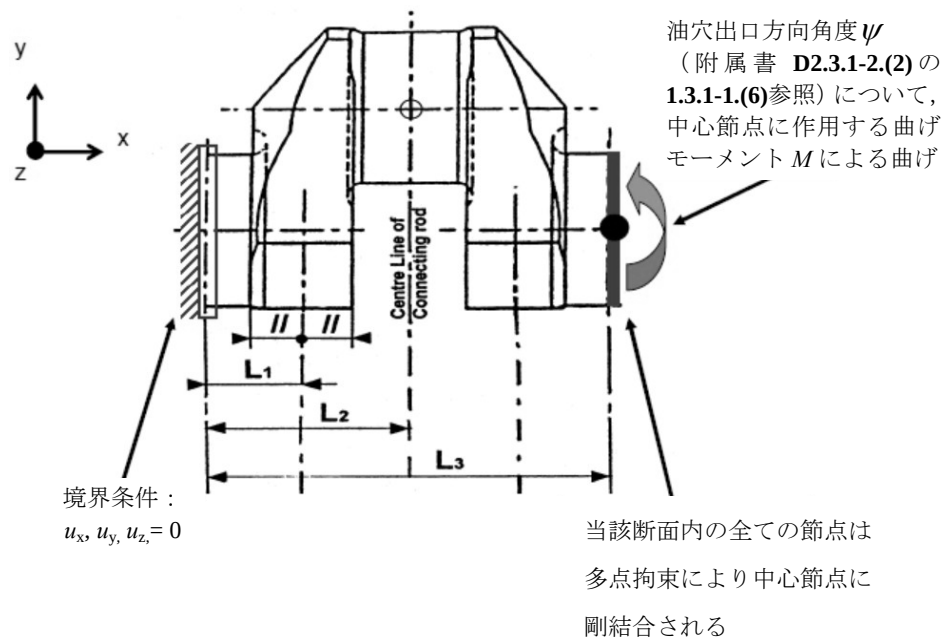
図1 ねじり荷重条件における境界荷重条件



### 3.1.2 曲げ

-1. クランク軸中心線上の中心節点に曲げモーメント  $M$  を作用させた場合を想定し, 図 2 に示す荷重境界条件において計算を行う。

図2 純曲げ荷重条件における荷重境界条件



-2. 油穴出口部のすべての節点における主応力を導き, その最大値より応力集中係数  $\gamma_B$  は次式により求められる。

$$\gamma_B = \frac{\max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|)}{\sigma_N}$$

ここで、 $\sigma_N$ は、クランクピンにかかる呼称曲げ応力であり次式により求められる。（ $W_e$ は**附属書 D2.3.1-2.(2)の 1.3.2** 参照）

$$\sigma_N = \frac{M}{W_e}$$

#### 附 則（改正その 5）

1. この達は、2018 年 7 月 1 日（以下、「施行日」という。）から施行する。
2. 施行日前に承認申込みのあったクランク軸にあっては、この達による規定にかかわらず、なお従前の例による。