

付録 C 疲労強度評価

1 公称応力手法

1.1 一般

1.1.1 適用

1.1.1.1 本付録 C.1 は、船舶の構造詳細の疲労強度評価に使用する簡易型疲労強度評価について手順を規定したものである。当該疲労強度評価は、梁理論に基づいた公称応力手法を使用している。

1.1.1.2 疲労強度評価は、最小降伏応力が 400N/mm^2 未満の鋼材の溶接結合部に適用しなければならない。

1.1.2 前提条件

1.1.2.1 疲労強度評価は、次の前提条件による。

- (a) 線形累積被害度モデル（すなわち、*Palmgren-Miner* の線形被害則）は、1.4.5 に規定する *S-N* データを使用する。
- (b) 縦通防撓材の端部結合部にあっては、1.4.2 から 1.4.4 に規定する経験式より得られる公称応力及び 1.3 に規定する規則荷重を用いる公称応力基準の疲労強度評価に基づく。
- (c) 構造詳細の長期応力変動幅は、1.4.1.5 及び 1.4.1.6 に規定する修正 Weibull 確率分布パラメータ等によって表される。
- (d) 構造詳細は、1.5 の規定に従って理想化され、分類される。

1.1.2.2 1.5 に規定する構造詳細の分類は、単純な荷重下における典型的な結合部様式を基本とする。構造詳細が 1.5 に示すものと異なっている場合、疲労強度の観点から当該詳細の同等性を証明するために適当な有限要素法解析を行わなければならない（2.1.1.3 参照）。

1.1.2.3 荷重又は形状が非常に複雑な場合にあっては、その詳細の疲労応力を算定するために有限要素法解析を行わなければならない。付録 C.2 は、横式の主要支持部材の溶接構造のビルジホップナックル結合部にある溶接止端部のホットスポット応力を算定及び評価するための有限要素解析の手順を規定している。曲げ構造のナックル部にあっては、2.1.1.2 を参照のこと。

1.2 腐食モデル

1.2.1 ネット板厚

1.2.1.1 6 節 3 に規定するネット板厚及び腐食予備厚を用いて、構造強度をモデル化しなければならない。

1.3 荷重

1.3.1 一般

1.3.1.1 船体構造は次に挙げる荷重を考慮すること。

- (a) 貨物重量及び船殻重量を含む静荷重
- (b) 波浪荷重
- (c) 船底スラミング衝撃荷重、バウフレア衝撃荷重及び半載タンクにおけるスロッシング荷重のような衝撃荷重
- (d) 主機又はプロペラより発生する振動の繰返し荷重
- (e) 熱荷重のような過渡的な荷重
- (f) 残留応力

1.3.1.2 疲労強度解析は、長期応力分布の計算に対して次の波浪荷重を考慮すること。

- (a) ハルガード荷重（すなわち、波浪縦曲げモーメント及び波浪水平曲げモーメント）
- (b) 動的波浪変動圧
- (c) 船体の動揺によるタンク内変動圧力

1.3.2 積付状態の選択

1.3.2.1 疲労強度解析は、想定する船舶の運航に従って、代表的な積付状態について行わなければならない。また、次の二つの荷重条件について解析を行わなければならない。

- (a) 計画喫水における満載状態 T_{full} で、4 節 1.1.5.4 を参照のこと。
- (b) ノーマルバラスト喫水におけるバラスト状態 T_{bal-n} で、4 節 1.1.5.3 を参照のこと。ノーマルバラスト状態がローディングマニュアルに規定されていない場合にあっては、最小バラスト喫水 T_{bal} (4 節 1.1.5.2 参照) を使用しなければならない。

1.3.2.2 船体中央部における喫水は、疲労荷重の決定に対して使用しなければならない。

1.3.3 荷重の決定

1.3.3.1 関連の積付状態に対する応力変動幅を決定するために、構造に適用する荷重を算定しなければならない。

1.3.3.2 全体的及び局所的な荷重の働きによる合成応力は、 10^{-4} の確率レベルを考慮して 1.4.4 により計算しなければならない。

1.3.4 波浪縦曲げモーメント

1.3.4.1 波浪縦曲げモーメントは、7 節 3.4.1 により算定すること。満載状態及びバラスト状態に対する波浪縦曲げモーメント $M_{wv-v-amp}$ の振幅（半分の変動幅）値は次の算式によらなければならない。

$$M_{wv-v-amp} = 0.5(M_{wv-hog} - M_{wv-sag}) \quad (kNm)$$

M_{wv-hog} : 波浪ホギング縦曲げモーメント (kNm)

M_{wv-sag} : 波浪サギング縦曲げモーメント (kNm)

1.3.5 波浪水平曲げモーメント

1.3.5.1 波浪水平曲げモーメントは、7 節 3.4.2 により算定しなければならない。満載状態及びバラスト状態に対する波浪水平曲げモーメント $M_{wv-h-amp}$ の振幅（半分の変動幅）値は次の算式によらなければならない。

$$M_{wv-h-amp} = 0.5(M_{wv-h-pos} - M_{wv-h-neg}) \quad (kNm)$$

$M_{wv-h-pos}$: 正の波浪水平曲げモーメント (kNm)

$$= M_{wv-h}$$

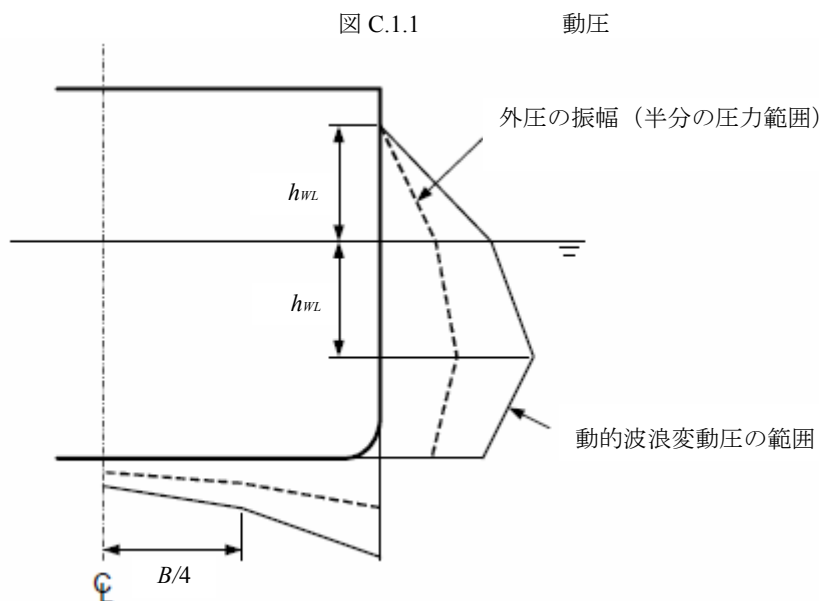
$M_{wv-h-neg}$: 負の波浪水平曲げモーメント (kNm)

$$= -M_{wv-h}$$

1.3.6 動的波浪変動圧

1.3.6.1 動的波浪変動圧は、7 節 3.5.2 により算定しなければならない。

1.3.6.2 断続的な乾湿の区域による外圧の広がり考慮する場合、外圧（半分の圧力変動幅）の振幅の詳細については、7 節 3.5.2.3 の規定によること。また、当該外圧の振幅を図 C.1.1 に図示する。



1.3.7 タンク内変動圧力

1.3.7.1 タンク内変動圧力振幅 P_{in-amp} は、7 節 3.5.4.5 及び 7 節 3.5.4.6 により算定しなければならない。ただし、甲板に対して、タンク内変動圧力は考慮しないこと。

1.4 疲労被害度の計算

1.4.1 疲労強度の決定

1.4.1.1 構造の疲労強度評価にあつては、次に規定する *Palmgren-Miner* の累積被害則を適用すること。累積被害度 DM が 1 を超えるような疲労強度の構造は認められない。 DM は次の算式による値としなければならない。

$$DM = \sum_{i=1}^{i=n_{tot}} \frac{n_i}{N_i}$$

n_i : 応力変動幅 S_i における繰返し数

N_i : 応力変動幅 S_i における疲労寿命

n_{tot} : 応力変動幅のブロックの総数

1.4.1.2 溶接構造部材の疲労強度評価は、次の 3 つの手順によること。

- (a) 応力変動幅の計算
- (b) 設計 $S-N$ 曲線の選択
- (c) 累積被害度の計算

1.4.1.3 累積被害度 DM は、船舶の設計寿命に対して 1 未満としなければならない。また、設計寿命は 25 年以上としなければならない。他に規定がない限り、累積被害度は次の算式によらなければならない。

$$DM = \sum_{i=1}^2 DM_i$$

DM_i : 適用する積付状態の累積疲労被害度

i : 1 (満載状態)

2 (ノーマルバラスト状態)

1.4.1.4 応力変動幅の長期分布が 2 母数 *Weibull* 確率分布に適合するとした場合、各関連積付状態の累積疲労被害度 DM_i は次の算式によらなければならない。

$$DM_i = \frac{\alpha_i N_L}{K_2} \frac{S_{Ri}^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \mu_i \Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi} \right)$$

N_L : 予想設計寿命の繰返し数。特に記述がなければ、 N_L は次の算式によらなければならない

$$= \frac{f_0 U}{4 \log L}$$

繰返し数の値は、一般的に 25 年の設計寿命に対して 0.6×10^8 と 0.8×10^8 の間となる。

f_0 : 0.85 で、荷役、荷揚、修理等のような活動のための非航行時間を考慮した係数。

U : 設計寿命 (sec.)

$= 0.788 \times 10^9$ (25 年の設計寿命)

L : 4 節 1.1.1.1 に規定する船の長さ (m)

m : 1.4.5.5 に規定する $S-N$ 曲線のパラメータ

K_2 : 1.4.5.5 に規定する $S-N$ 曲線のパラメータ

α_i : 船舶の寿命の比率

$\alpha_1 = 0.5$ (満載状態)

$\alpha_2 = 0.5$ (バラスト状態)

S_{Ri} : 10^{-4} の代表的な確率レベルの応力変動幅 (N/mm^2)

N_R : 10000 で、 10^{-4} の確率レベルに対する繰返し数

ξ : *Weibull* 確率分布パラメータで、1.4.1.6 の規定による

Γ : ガンマ関数

μ_i : $S-N$ 曲線の傾きの変化を考慮した係数

$$\mu_i = 1 - \frac{\left\{ \gamma \left(1 + \frac{m}{\xi}, v_i \right) - v_i^{-\Delta m / \xi} \gamma \left(1 + \frac{m + \Delta m}{\xi}, v_i \right) \right\}}{\Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi} \right)}$$

$$v_i : \left(\frac{S_q}{S_{Ri}} \right)^{\xi} \ln N_R$$

S_q : $S-N$ 曲線の二つの傾きの異なった線の交差部の応力変動幅で、表 C.1.6 による (N/mm^2)

Δm : $S-N$ 曲線の上部一下部の傾きの変化で 2 とする。

$\gamma(a, x)$: 不完全ガンマ関数 (Legendre フォーム)

1.4.1.5 長期分布の応力変動幅 (ハルガーダ+局部曲げ) の確率密度関数は、2 母数 Weibull 分布により示さなければならない。これにより、Weibull 分布を 2 母数が決まれば、疲労寿命の計算のための閉じた方程式の使用が可能となる。確率密度関数 $f(S)$ は次によらなければならない。

$$f(S) = \frac{\xi}{f_1} \left(\frac{S}{f_1} \right)^{\xi-1} \exp \left(- \frac{S}{f_1} \right)^{\xi}$$

S : 応力変動幅 (N/mm^2)

ξ : Weibull 確率分布パラメータで、1.4.1.6 による

f_1 : スケールパラメータで、次の算式による値

$$= \frac{S_R}{(\ln N_R)^{1/\xi}}$$

N_R : $1/N_R$ の超過確率に対応する繰返し数

S_R : $1/N_R$ の超過確率にある応力変動幅 (N/mm^2)

1.4.1.6 考慮する各構造詳細に関して、Weibull 形状パラメータは繰返し応力を発生させている荷重の種類を考慮して選択しなければならない。Weibull 確率分布パラメータ ξ は次の算式によらなければならない。

$$\xi = f_{Weibull} \left(1.1 - 0.35 \frac{L-100}{300} \right)$$

L : 4 節 1.1.1.1 に規定する船の長さ (m)

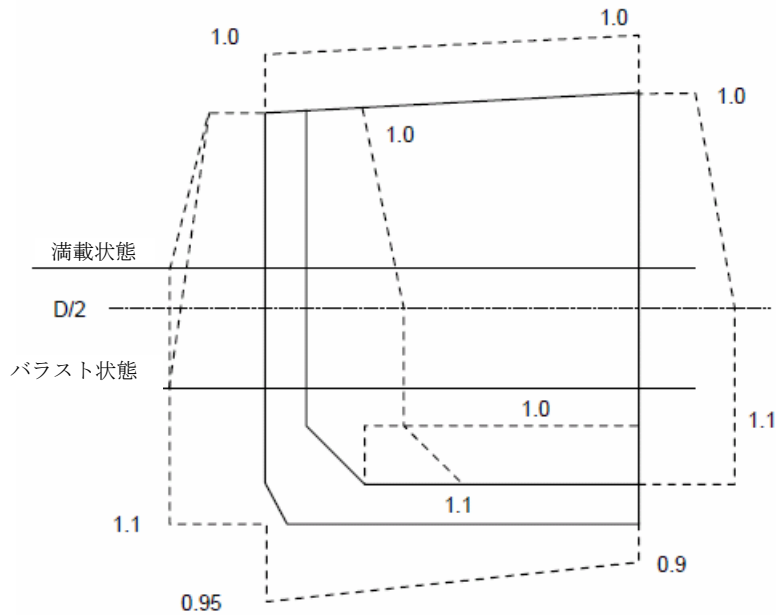
D : 4 節 1.1.4.1 に規定する船の型深さ (m)

$f_{Weibull}$: 変動幅依存修正関数で、表 C.1.1 及び図 C.1.2 による

表 C.1.1 $f_{Weibull}$ 関数の分布

板の範囲	$f_{Weibull}$
船底	船体中心線にあつては 0.9 それ以外は 0.95
船側及びビルジ部	喫水線 T_{LC} 以下は 1.1 甲板にあつては 1.0
甲板	1.0
内底板	1.0
内部材	$D/2$ 以下は 1.1 甲板にあつては 1.0
二重船側を形成する縦通隔壁	$D/2$ 以下は 1.1 甲板にあつては 1.0
中心線縦通隔壁	$D/2$ 以下は 1.1 甲板にあつては 1.0
(備考) 中間に位置する値は補間法によること。	

図 C.1.2 $f_{Weibull}$ 関数の分布



1.4.1.7 累計疲労被害度 DM は、次の算式に示す関係を使用して算定した疲労寿命として差し支えない。この形式にあつては、算定疲労寿命は船の設計寿命以上としなければならない。

$$\text{疲労寿命} = \frac{\text{設計寿命}}{DM} \quad (\text{年})$$

1.4.2 使用応力

1.4.2.1 公称応力は、詳細の全般的な形状の変化を考慮して決定しなければならない。構造の不連続性、付着物及び溶接形状による応力集中の効果は考慮しないこと。

1.4.3 公称応力計算

1.4.3.1 本 1.4.3 は、船の応力応答の全体及び局部応力要素の組合せを規定する簡易手法について規定する。

1.4.3.2 応力応答は詳細のレベルを変えて計算しなければならない。簡易手法として次の手順を採用して差し支えない。

- ハルガーダは、ハルガーダを考慮する縦通要素における公称応力レベルに対する合理的な近似を得る方法として単純梁とすること。これは限界の詳細部におけるハルガーダの応力レベルの評価に使用する。
- 有効な板部材を有する構造部材は、波浪変動圧及びタンク内変動圧力による縦通肋骨及び横肋骨の公称応力応答の決定に使用する。部材端部の拘束及びモーメントは考慮すること。

1.4.4 応力成分の定義

1.4.4.1 動的応力変化は応力変動幅 S 又は応力振幅 σ の何れかを参照すること。

1.4.4.2 疲労強度解析で考慮する全体的な動的応力要素（主要応力）は、波浪中船体縦曲げ応力 σ_v 及び波浪中船体水平曲げ応力 σ_h とすること。

1.4.4.3 考慮する動的局部応力振幅は、波浪変動圧の荷重又はタンク内変動圧の荷重による合計局部応力振幅 σ_{e-i} とすること。

1.4.4.4 局部応力成分は、縦桁方式の曲げによる二次応力 σ_2 、縦桁支持間の防撓材の曲げによる応力振幅 σ_{2A} 並びに縦通肋骨間及び横肋骨間の防撓されていない板要素の曲げによる三次応力振幅 σ_3 とすること（図 C.1.3 参照）。

1.4.4.5 波浪変動圧又はタンク内変動圧の荷重による合計局部応力 σ_{e-i} は次の算式によること。

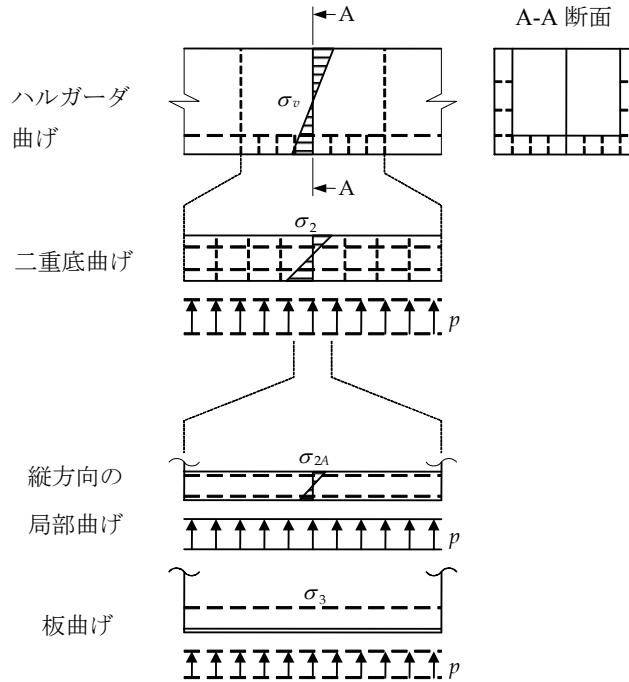
$$\sigma_{e-i} = \sigma_2 + \sigma_{2A} + \sigma_3 \quad (\text{N/mm}^2)$$

σ_2 : 1.4.4.4 に規定する局部応力成分 (N/mm^2)

σ_{2A} : 1.4.4.4 に規定する局部応力成分 (N/mm^2)

σ_3 : 1.4.4.4 に規定する局部応力成分 (N/mm^2)

図C.1.3 局部応力成分の定義



1.4.4.6 応力成分の算定について、波浪中船体縦曲げ応力 σ_v は次の算式によること。

$$\sigma_v = \frac{M_{wv-v-amp}}{Z_{v-net75}} 10^{-3} \quad (N/mm^2)$$

$M_{wv-v-amp}$: 1.3.4 に規定する見かけ上の振幅（半分の変動幅）(kNm)

$$Z_{v-net75} = \frac{I_{v-net75}}{|z - z_{NA-net75}|} \quad (m^3) \quad (4 \text{ 節 } 2.6.1 \text{ 参照})$$

$I_{v-net75}$: 水平中性軸に対する船体横断面のネット断面二次モーメント（開口部を除く）(m⁴)

$I_{v-net75}$ は、全有効構造要素のグロス板厚から腐食予備厚 $0.25t_{corr}$ を差し引いた値を基に算定しなければならない（4 節 2.6.1.3 参照）。

z : 基線から考慮する部材の重要部位までの距離（すなわち、縦通防撓材のフランジの頂部）(m)

$z_{NA-net75}$: 基線から $I_{v-net75}$ にいう水平中性軸までの距離 (m)

1.4.4.7 波浪中縦曲げモーメントに対応する応力変動幅 S_v は次の算式によらなければならない。

$$S_v = 2\sigma_v \quad (N/mm^2)$$

σ_v : 1.4.4.6 に規定する波浪中船体縦曲げモーメント (N/mm²)

1.4.4.8 波浪中船体水平縦曲げ応力 σ_h は以下とする。

$$\sigma_h = \frac{M_{wv-h-amp}}{Z_{h-net75}} 10^{-3}$$

$M_{wv-h-amp}$: 1.3.5 の規定によること(kNm)

$$Z_{h-net75} = \frac{I_{h-net75}}{|y|} \quad (m^3) \quad (4 \text{ 節 } 2.6.2 \text{ 参照})$$

y : 船体横断面の垂直中性軸から考慮する部材の重要部位までの距離（すなわち、縦通防撓材の面材の頂部）(m)

$I_{h-net75}$: 垂直中性軸に対する船体横断面のネット断面二次モーメント（開口部を除く）(m⁴)

$I_{h-net75}$ は、全有効構造要素のグロス板厚から腐食予備厚 $0.25t_{corr}$ を差し引いた値を基に算定しなければならない。

1.4.4.9 波浪中船体水平曲げモーメントに対応する応力変動幅 S_h は次の算式によらなければならない。

$$S_h = 2\sigma_h \quad (N/mm^2)$$

σ_h : 1.4.4.8 の規定によること (N/mm^2)

1.4.4.10 1.4.4.4 に規定する二次応力 σ_2 の影響は、一般的に、二重船殻タンカーに対して小さいため、考慮しなくて差し支えない。

1.4.4.11 縦桁支持（例えば、肋骨、隔壁）間の防撓材の曲げによって生じる応力振幅 σ_{2A} は次の算式によらなければならない。

$$\sigma_{2A} = K_n K_d \frac{M}{Z_{net50}} 10^6 \quad (N/mm^2)$$

K_n : 1.4.4.15 に規定する非対称形状に対する応力係数

K_d : 支持間の相対変形により起こる縦通防撓材の曲げ応力の応力係数は、実際の相対変形による貨物タンクモデルの有限要素解析により決定して差し支えない。又は次によること。

1.0 : 肋骨結合部

1.15 : 次の場合を除いた、制水隔壁を含む横隔壁に結合する全ての縦通肋骨

(a) 満載状態

1.3 : 最下部の船側桁と甲板縁の間にある船側縦通部材及びビルジ部の縦通肋骨

1.15 : 最下部の船側桁及び甲板の縁における船側縦通部材及びビルジ部の縦通肋骨

中間に位置する場合は補間法によること

1.5 : 縦通隔壁、船底縦桁又はブラケット構造の中間の船底縦通肋骨

1.15 : 縦通隔壁、船底縦桁又はブラケット構造における船底縦通肋骨

中間に位置する場合は補間法によること (図 C1.4 参照)

(b) バラスト状態

1.5 : 縦通隔壁、船底縦桁又はブラケット構造の中間の船底縦通肋骨

1.15 : 縦通隔壁、船底縦桁又はブラケット構造における船底縦通肋骨

中間に位置する場合は補間法によること

M : 防撓材の溶接終端部（例えばブラケットの終端部）の防撓材支持位置におけるモーメント (kNm)

$$= \frac{P s l_{bdg}^2}{12} 10^3 r_p$$

s : 防撓材の心距 (mm)

l_{bdg} : 図 C.1.5 に示す縦通防撓材の有効スパン (m)。ソフトトウのブラケットにあつては、4 節図 4.2.1 及び図 4.2.2 を参照のこと。ソフトトウ付の防撓材頂部は、ソフトトウブラケット付の平鋼と同等としなければならない。スパンポイントは、部材の面材から測ったブラケット端部の深さが、部材の半分の深さと等しい点とする。

Z_{net50} : 腐食予備厚 $0.5t_{corr}$ を差し引いたグロス板厚を基に算定した、有効なフランジ b_{eff} 付きの縦通防撓材の断面係数 (cm^3)

b_{eff} : 4 節 2.3.3 の規定によること

r_p : 防撓材の長さに沿ったトウの溶接部までの補間法に対するモーメント補間係数で次の算式による

$$= \left| 6 \left(\frac{x}{l_{bdg}} \right)^2 - 6 \left(\frac{x}{l_{bdg}} \right) + 1.0 \right| \quad (0 \leq x \leq l_{bdg})$$

ただし、 x は図 C.1.5 に規定するホットスポットまでの距離 (m)

P : 考慮する肋骨と隣接する肋骨間におけるスパン中間の変動横圧力振幅 (kN/mm^2)。タンク内変動圧力 P_{in-dyn} は 1.3.7 の規定によらなければならない。波浪変動圧力 P_{ex-amp} は 1.3.6 の規定によらなければならない。

図 C.1.4 二つの縦通隔壁を有する船に対する満載状態における隔壁係数 K_d の変化

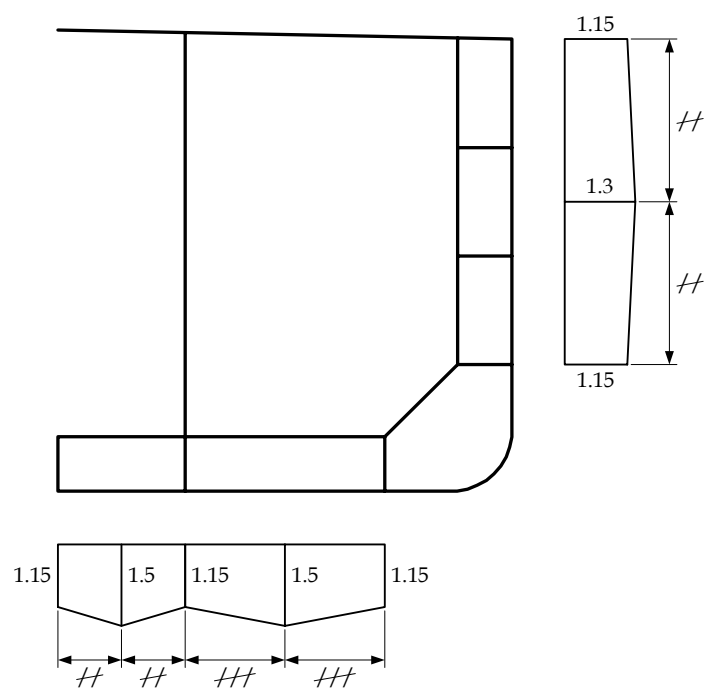
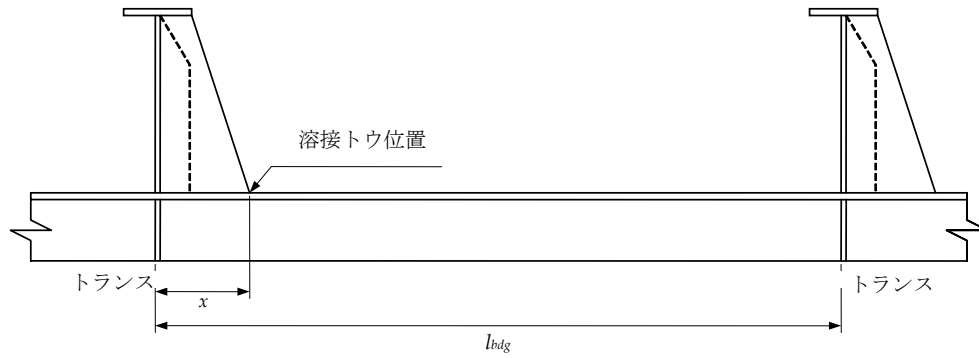
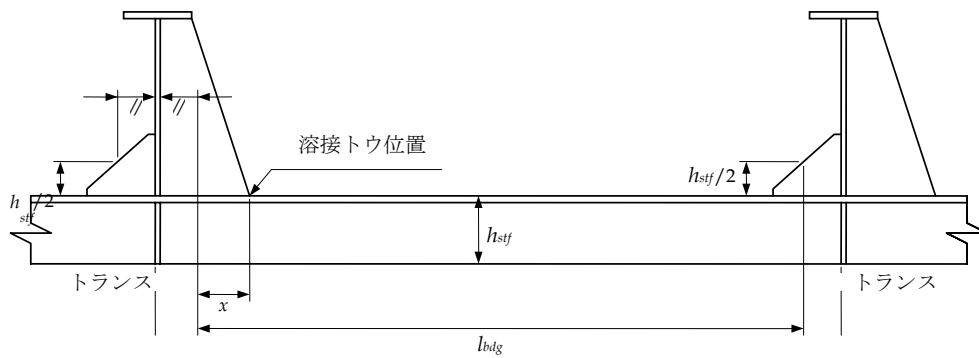


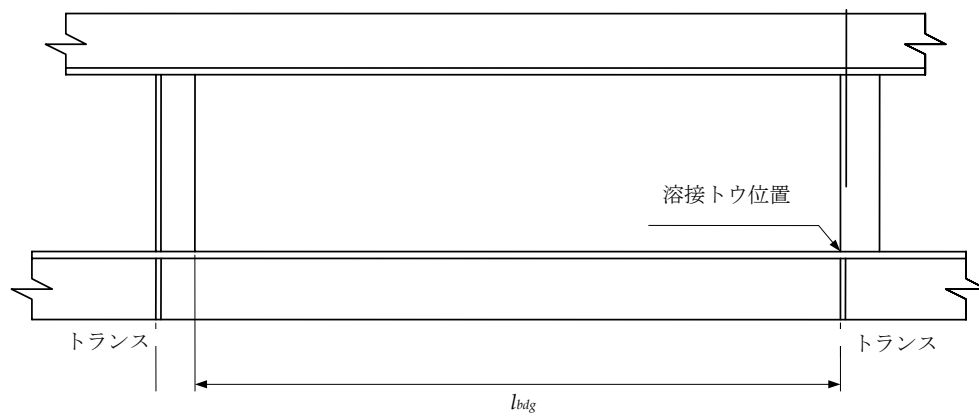
図 C.1.5 有効スパン長さ



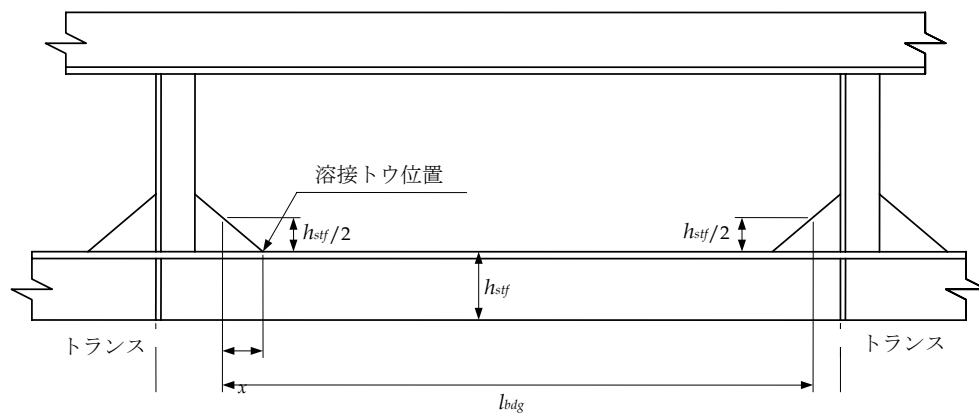
横方向の自由端フランジによる支持 (1)



横方向の自由端フランジによる支持 (2)



二重外板/横隔壁による支持 (1)



二重外板/横隔壁による支持 (2)

1.4.4.12 外部波浪圧力又は内部タンク圧力による応力変動幅 S_e 又は S_i は、次の算式によらなければならない。

$$S_e = 2\sigma_{2Ae} \quad (N/mm^2)$$

$$S_i = 2\sigma_{2Ai} \quad (N/mm^2)$$

σ_{2Ae} : P_{ex-amp} を使用する場合にあつては 1.4.4.11 に規定する応力振幅 (N/mm^2)

σ_{2Ai} : P_{in-amp} を使用する場合にあつては 1.4.4.11 に規定する応力振幅 (N/mm^2)

1.4.4.13 板、横肋骨又は隔壁交差部の溶接部における縦通局部板曲げ三次応力振幅 σ_3 は、考慮する重要部位に関連しないため、考慮してはならない。

1.4.4.14 端部の曲げに対する一様分布の横荷重を受ける（せん断遅れによる）曲げ防撓材（縦肋骨）の板フランジの有効幅は、4 節 2.3.3 の規定によること。

1.4.4.15 図 C.1.6 に示す、横荷重を受けるパネルの非対称防撓材のフランジの応力集中係数 K_{n1} 及び K_{n2} は、次の算式によらなければならない。

$$K_{n1} = \frac{1 + \lambda\beta}{1 + \lambda\beta^2\psi} \quad (\text{フランジ端部の場合})$$

$$K_{n2} = \frac{1 + \lambda\beta^2}{1 + \lambda\beta^2\psi} \quad (\text{ウェブの場合})$$

K_{n2} は縦通材端部の結合部の疲労強度解析に一般的に使用すること。

$$\beta : 1 - \frac{2b_g}{b_f} \quad (\text{組立形鋼})$$

$$: 1 - \frac{t_{w-net50}}{b_f} \quad (\text{圧延形鋼})$$

b_g : ウェブの中心線からのフランジ幅で図 C.1.7 を参照のこと (mm)

$t_{w-net50}$: 防撓材のウェブ板厚 (mm)

d_w : 防撓材のウェブ深さで図 C.1.7 を参照のこと (mm)

λ : 1.4.4.17 に規定する係数

ψ : フランジ位置で算定したフランジ付防撓材のウェブの断面係数と、全体のパネル防撓材の断面係数との比率で次の算式による値を近似値として使用して差し支えない。

$$\frac{d_w^2 t_{w-net50}}{4Z_{net50} 10^3}$$

Z_{net50} : 防撓材ウェブの垂直中性軸に関して、考慮する板付の全幅 s を含むパネルの防撓材の断面係数 (cm^3)。

ただし、グロス板厚から腐食予備厚 $0.5t_{corr}$ 差し引いて計算しなければならない。

図 C.1.6 同寸法のウェブ及びフランジ面積における対称及び非対称のパネル防撓材の曲げ応力

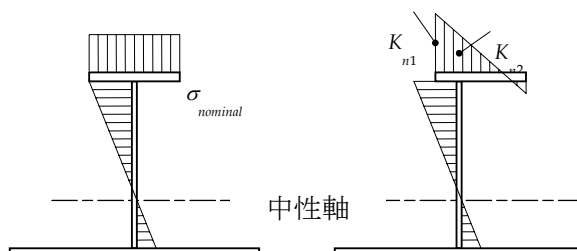
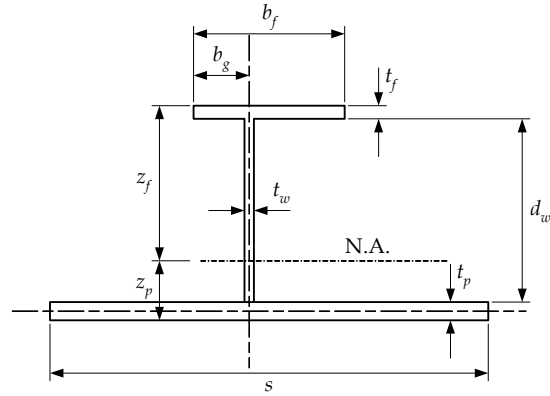


図 C.1.7 防撓材の形状



1.4.4.16 パルプ形鋼にあつては、算式を直接適用することはできない。パルプ形鋼に対しては、図 C.1.8 に示すように、同等の組立形鋼を考慮しなければならない。想定する組立形鋼のフランジは、垂直軸及び中性軸の位置において断面積及び断面二次モーメントに対するパルプフランジの性能と同等でなければならない。HP パルプ形鋼にあつては、同等の組立形鋼の寸法を規定しており、その例を表 C.1.2 に記す。

1.4.4.17 連続した防撓材（固定端）において、支持位置における λ 係数は次によらなければならない。

$$\lambda = \frac{3 \left(1 + \frac{\eta}{280} \right)}{1 + \frac{\eta}{40}}$$

$$\eta = \frac{l_{bdg}^4 10^{12}}{b_f^3 t_{f-net50} h_{stf}^2 \left(\frac{4 h_{stf}}{t_{w-net50}^3} + \frac{s}{t_{p-net50}^3} \right)}$$

l_{bdg} : 縦通防撓材の有効曲げ長さ

b_f : フランジ幅 (mm)

$t_{f-net50}$: フランジのネット板厚 (mm)

h_{stf} : 面材厚さを含む防撓材のウェブ深さ (mm)

$t_{w-net50}$: 防撓材ウェブのネット板厚 (mm)

$t_{p-net50}$: ネット板厚 (mm)

s : 防撓材間の板幅 (mm)

図 C.1.8 パルプ形鋼及び同等の組立形鋼のフランジ

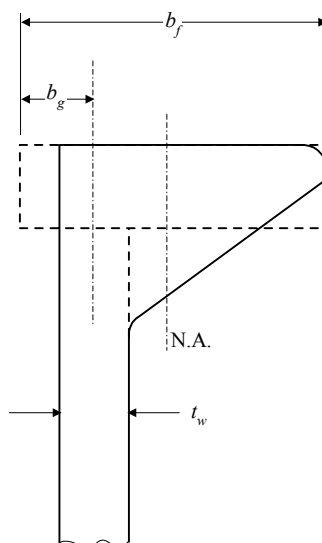


表 C.1.2 HP バルブ形鋼と同等な組立形鋼の寸法

HP バルブ		同等な組立形鋼フランジ		
高さ (mm)	ウェブ厚さ t_w (mm)	b_f (mm)	t_f (mm)	b_g (mm)
200	9 - 13	$t_w + 24.5$	22.9	$(t_w + 0.9)/2$
220	9 - 13	$t_w + 27.6$	25.4	$(t_w + 1.0)/2$
240	10 - 14	$t_w + 30.3$	28.0	$(t_w + 1.1)/2$
260	10 - 14	$t_w + 33.0$	30.6	$(t_w + 1.3)/2$
280	10 - 14	$t_w + 35.4$	33.3	$(t_w + 1.4)/2$
300	11 - 16	$t_w + 38.4$	35.9	$(t_w + 1.5)/2$
320	11 - 16	$t_w + 41.0$	38.5	$(t_w + 1.6)/2$
340	12 - 17	$t_w + 43.3$	41.3	$(t_w + 1.7)/2$
370	13 - 19	$t_w + 47.5$	45.2	$(t_w + 1.9)/2$
400	14 - 19	$t_w + 51.7$	49.1	$(t_w + 2.1)/2$
430	15 - 21	$t_w + 55.8$	53.1	$(t_w + 2.3)/2$

1.4.4.18 各積付状態に対して、同時に働くタンク内変動圧及び波浪変動圧による合成局部応力成分は、波浪中船体縦曲げによる全体の応力成分と合成しなければならない。

1.4.4.19 全組合せ応力変動幅 S は次の算式によること。

$$S = f_{SN} |f_1 S_v + f_2 S_h + f_3 S_e + f_4 S_i| \quad (N/mm^2)$$

f_1 , f_2 , f_3 及び f_4 : 表 C1.3 から表 C1.5 に規定する応力変動幅係数で、1.0 から-1.0 の間にある総合応力変動幅と各応力変動幅の成分間の位相の相関関係を表している。係数が 1.0 を超える場合にあっては、1.0 とすること。また、係数が-1.0 未満の場合にあっては、-1.0 としなければならない。

f_{SN} : 結合部が、疲労に対して保護された環境と非保護の環境にある場合があることを考慮するための係数で、1.06 とする

S_v : 縦曲げモーメントによる応答応力変動幅で、1.4.4.7 の規定によること (N/mm^2)

S_h : 水平曲げモーメントによる応答応力変動幅で、1.4.4.9 の規定によること (N/mm^2)

S_e : 外部波浪圧力及び内部タンク圧力による応力変動幅で、1.4.4.12 の規定によること (N/mm^2)

S_i : 外部波浪圧力及び内部タンク圧力による応力変動幅で、1.4.4.12 の規定によること (N/mm^2)

1.4.4.20 次の区域に適用する応力変動幅の合成係数、 f_1 , f_2 , f_3 , 及び f_4 は、表 C.1.3 から表 C.1.5 の規定によらなければならない。

- ゾーン M : 船体中央部区域。当該区域は、タンクの LCG が AP から $0.35L$ と $0.8L$ の間にある全てのタンクの全長をいう。
- ゾーン A : 後方区域。当該区域は、ゾーン M に隣接する後方のタンクの中央から、船尾タンク全長を含む、後方の区域をいう。
- ゾーン F : 前方区域。当該区域は、ゾーン M に隣接する前方のタンクの中央から、船首タンク全長を含む、前方の区域をいう。
- ゾーン AT : ゾーン M とゾーン A の間の後方区域への移行区域。応力変動幅合成係数にあっては、ゾーン M 及びゾーン A の応力変動幅の合成係数の値を用いて補間法により算定すること。
- ゾーン FT : ゾーン M とゾーン F の間の前方区域への移行区域。応力変動幅合成係数にあっては、ゾーン M 及びゾーン F の応力変動幅の合成係数の値を用いて補間法により算定すること。

(備考)

バラストタンク、中央貨物タンク及び船側貨物タンクが同じタンク長さではない場合（例えば、スロップタンクがある場合）、タンクの中央位置はより長いタンクの中央としなければならない。

表 C.1.3 ゾーンMの応力変動幅合成係数

防撓材位置			f_1	f_2	f_3	f_4	f_i
バラスト 状態	船底外板	a_i	-0.49	0.49	-1.04	-0.13	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	0.97	0.17	0.87	0.56	
	$D/2$ より下方の船側外板及びビルジ外板	a_i	-1.48	0.50	-0.64	0.72	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.94	0.40	0.72	0.04	
	$D/2$ より上方の船側外板	a_i	1.70	-1.00	-1.10	-0.60	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.65	1.15	0.95	0.70	
	内底板及び下部スツール	a_i	-0.18	0.34	0.00	-0.30	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	0.90	0.22	0.00	0.74	
	$D/2$ より下方の二重船側部を形成する縦通隔壁（ビルジホッパ斜板を含む）	a_i	-1.70	-0.90	0.00	1.04	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.15	0.70	0.00	0.45	
	$D/2$ より上方の二重船側部を形成する縦通隔壁	a_i	1.40	0.50	0.00	-1.94	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.40	0.00	0.00	1.94	
	甲板及び上部スツール	a_i	-0.15	1.05	0.00	0.00	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	1.02	-0.27	0.00	0.00	
	$D/2$ より下方の船体中心線上の縦通隔壁	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	
	$D/2$ より上方の船体中心線上の縦通隔壁	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	
	$D/2$ より下方の縦通隔壁	a_i	-0.20	1.30	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.00	0.10	0.00	0.00	
	$D/2$ より上方の縦通隔壁	a_i	0.20	-1.30	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.80	1.40	0.00	0.00	
満載状態	船底外板	a_i	-0.43	0.78	-0.77	0.00	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	0.98	0.13	0.75	0.00	
	$D/2$ より下方の船側外板及びビルジ外板	a_i	-0.29	-0.47	0.14	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.19	0.78	0.92	0.00	
	$D/2$ より上方の船側外板	a_i	1.77	-0.05	-1.20	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.84	0.57	1.59	0.00	
	内底板及び下部スツール	a_i	-0.71	1.13	0.00	0.55	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	1.03	0.18	0.00	-0.18	
	$D/2$ より下方の二重船側部を形成する縦通隔壁（ビルジホッパ斜板を含む）	a_i	-0.80	-1.70	0.00	2.60	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.55	1.20	0.00	-0.35	
	$D/2$ より上方の二重船側部を形成する縦通隔壁	a_i	1.90	0.30	0.00	-1.70	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.80	0.20	0.00	1.80	
	甲板及び上部スツール	a_i	-0.26	1.40	0.00	0.00	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	1.02	-0.16	0.00	0.00	
	$D/2$ より下方の船体中心線上の縦通隔壁	a_i	-1.40	0.00	0.00	1.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.75	0.00	0.00	0.60	
	$D/2$ より上方の船体中心線上の縦通隔壁	a_i	1.70	0.00	0.00	-1.20	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.80	0.00	0.00	1.70	
	$D/2$ より下方の縦通隔壁	a_i	-0.60	0.40	0.00	1.10	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.00	0.40	0.00	0.05	
	$D/2$ より上方の縦通隔壁	a_i	0.60	-0.84	0.00	-0.84	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.40	1.02	0.00	1.02	

表 C.1.4 ゾーン A の応力変動幅合成係数

防撓材位置			f_1	f_2	f_3	f_4	f_i
バラスト 状態	船底外板	a_i	-0.20	-0.80	1.20	1.50	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	0.00	0.50	-0.25	1.07	
	$D/2$ より下方の船側外板及びビルジ外板	a_i	-1.00	1.20	-0.80	2.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.20	0.00	0.60	-0.40	
	$D/2$ より上方の船側外板	a_i	3.40	-1.20	-2.80	0.80	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-2.00	1.20	1.60	0.20	
	内底板及び下部スツール	a_i	-0.50	-1.90	0.00	0.30	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	-0.05	0.60	0.00	0.85	
	$D/2$ より下方の二重船側部を形成する縦通隔壁	a_i	8.20	-2.80	0.00	0.20	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-3.50	1.00	0.00	0.90	
	$D/2$ より上方の二重船側部を形成する縦通隔壁	a_i	0.60	2.80	0.00	-0.50	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.30	-1.80	0.00	1.25	
	甲板及び上部スツール	a_i	0.00	0.70	0.00	0.00	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	
	$D/2$ より下方のタンク内縦通隔壁	a_i	-1.20	2.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.10	0.00	0.00	0.00	
	$D/2$ より上方のタンク内縦通隔壁	a_i	1.50	-2.70	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.25	2.35	0.00	0.00	
	$D/2$ より下方の船体中心線上の縦通隔壁	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
	$D/2$ より上方の船体中心線上の縦通隔壁	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
満載状態	船底外板	a_i	-2.20	1.50	2.60	0.00	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	1.20	-0.15	-0.30	0.00	
	$D/2$ より下方の船側外板及びビルジ外板	a_i	-1.20	-1.20	0.60	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.30	0.80	0.70	0.00	
	$D/2$ より上方の船側外板	a_i	3.00	-0.30	-0.50	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-1.80	0.35	1.25	0.00	
	内底板及び下部スツール	a_i	-1.00	2.30	0.00	-0.20	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	1.00	-0.10	0.00	0.00	
	$D/2$ より下方の二重船側部を形成する縦通隔壁	a_i	-0.80	1.00	0.00	1.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.20	0.00	0.00	0.50	
	$D/2$ より上方の二重船側部を形成する縦通隔壁	a_i	3.20	-1.00	0.00	-0.80	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-1.80	1.00	0.00	1.40	
	甲板及び上部スツール	a_i	-0.10	1.50	0.00	0.00	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	1.00	-0.15	0.00	0.00	
	$D/2$ より下方のタンク内縦通隔壁	a_i	-0.80	0.30	0.00	1.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.00	0.50	0.00	0.30	
	$D/2$ より上方のタンク内縦通隔壁	a_i	0.20	-0.90	0.00	-0.08	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.50	1.10	0.00	0.84	
	$D/2$ より下方の船体中心線上の縦通隔壁	a_i	-1.10	0.00	0.00	0.44	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.60	0.00	0.00	0.80	$a_i (z/D) + b_i$
	$D/2$ より上方の船体中心線上の縦通隔壁	a_i	1.30	0.00	0.00	-0.56	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.60	0.00	0.00	1.30	$a_i (z/D) + b_i$

表 C.1.5 ゾーンF の応力変動幅合成係数

防撓材位置			f_1	f_2	f_3	f_4	f_i
バラスト 状態	船底外板	a_i	-0.90	1.00	2.40	-1.20	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	0.85	-0.10	-1.00	1.10	
	$D/2$ より下方の船側外板及びビルジ外板	a_i	-0.60	-0.40	1.00	-1.80	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.00	0.50	-0.15	0.90	
	$D/2$ より上方の船側外板	a_i	0.60	-0.90	-2.70	3.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.60	0.75	1.70	-1.50	
	内底板及び下部スツール	a_i	-0.30	-1.00	0.00	0.00	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	0.90	0.25	0.00	1.00	
	$D/2$ より下方の二重船側部を形成する縦通隔壁	a_i	-12.00	-2.40	0.00	1.20	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	5.00	1.00	0.00	0.50	
	$D/2$ より上方の二重船側部を形成する縦通隔壁	a_i	3.00	1.40	0.00	-0.90	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-2.50	-0.90	0.00	1.55	
	甲板及び上部スツール	a_i	0.00	1.00	0.00	0.00	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	1.00	-0.10	0.00	0.00	
	$D/2$ より下方のタンク内縦通隔壁	a_i	-1.80	1.90	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.30	0.00	0.00	0.00	
	$D/2$ より上方のタンク内縦通隔壁	a_i	1.80	-2.50	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.50	2.20	0.00	0.00	
	$D/2$ より下方の船体中心線上の縦通隔壁	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
	$D/2$ より上方の船体中心線上の縦通隔壁	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
満載状態	船底外板	a_i	-0.60	-0.15	0.00	0.00	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	-0.45	0.05	1.00	0.00	
	$D/2$ より下方の船側外板及びビルジ外板	a_i	-1.20	0.18	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.00	-0.03	1.00	0.00	
	$D/2$ より上方の船側外板	a_i	4.00	0.02	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-2.60	0.05	1.00	0.00	
	内底板及び下部スツール	a_i	2.80	2.20	0.00	-1.00	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	-0.80	-0.30	0.00	1.10	
	$D/2$ より下方の二重船側部を形成する縦通隔壁	a_i	10.20	1.60	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-4.50	-0.60	0.00	1.00	
	$D/2$ より上方の二重船側部を形成する縦通隔壁	a_i	-0.80	-0.90	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.00	0.65	0.00	1.00	
	甲板及び上部スツール	a_i	-0.24	1.80	0.00	0.00	$a_i (y /B) + b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	
	$D/2$ より下方のタンク内縦通隔壁	a_i	-2.10	-1.00	0.00	1.50	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	1.15	0.60	0.00	0.35	
	$D/2$ より上方のタンク内縦通隔壁	a_i	0.40	-0.30	0.00	-0.40	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.10	0.25	0.00	1.30	
	$D/2$ より下方の船体中心線上の縦通隔壁	a_i	-0.60	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	0.25	0.00	0.00	1.00	$a_i (z/D) + b_i$
	$D/2$ より上方の船体中心線上の縦通隔壁	a_i	0.20	0.00	0.00	0.00	$a_i (z/D) + b_i$
		b_i	-0.15	0.00	0.00	1.00	$a_i (z/D) + b_i$

1.4.5 S-N 曲線の選択

1.4.5.1 疲労強度に関する鋼材の溶接結合部の耐力は、詳細部に適用する応力変動幅及び損傷に至る一定の振幅荷重の繰返し数との関係を示す S - N 曲線によって表すこと。

1.4.5.2 船体構造詳細について、 S - N 曲線は次の算式によること。

$$S^m N = K_2$$

S : 1.4.4.19 に規定する応力変動幅 (N/mm^2)

N : 応力変動幅 S における予測疲労寿命

m : 1.4.5.5 に規定する、材料及び溶接の種類、荷重の種類、形状及び環境条件（大気又は海水の状況）による定数

K_2 : 1.4.5.5 に規定する、材料及び溶接の種類、荷重の種類、形状及び環境条件（大気又は海水の状況）による定数

1.4.5.3 実験に基づいた S - N 曲線は、平均疲労寿命及び標準偏差により規定すること。平均 S - N 曲線は、構造詳細が繰返し数 N の後に 50% の確率レベルにて破壊する応力レベル S を与えるものとする。本編にて考慮している S - N 曲線は、適切な実験データの統計解析に基づいており、かつ、疲労強度の平均値から 2 倍の標準偏差を差し引いて求めた下限線となっている。

1.4.5.4 実験測定値を直接利用することが出来ない場合にあっては、構造詳細の疲労強度評価に使用する S - N 曲線は、1.4.5.5 から 1.4.5.16 の規定によらなければならない。

1.4.5.5 図 C.1.9 に示すように、基本的な設計曲線は $\log(S)$ と $\log(N)$ の比例関係が成立ち、次の算式によらなければならない。 S - N 曲線は、応力変動圧 S_q に対応する $N=10^7$ の繰返し数において m から $m+2$ まで負の傾きを有する。

$$\log(N) = \log(K_2) - m \log(S)$$

$$\log(K_2) = \log(K_1) - 2\delta$$

N : 応力変動幅 S における予測疲労寿命

K_1 : 表 C.1.6 に規定する平均 S - N 曲線に関する定数

δ : $\log(N)$ の標準偏差

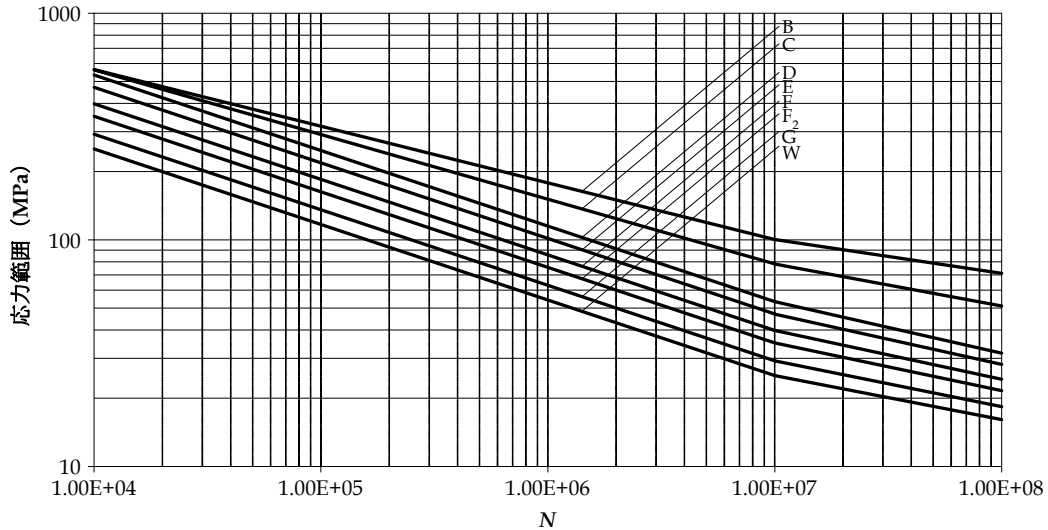
m : 表 C.1.6 に規定する S - N 曲線の負の傾き

S_q : 表 C.1.6 に規定する S - N 曲線の 10^7 繰返しに対応する応力変動幅 (N/mm^2)

表 C.1.6 大気中の S - N 曲線の基本データ

等級	K_1			m	標準偏差		K_2	S_q (N/mm^2)
		$\log_{10}$	$\log_e$		$\log_{10}$	$\log_e$		
B	2.343 E15	15.3697	35.3900	4.0	0.1821	0.4194	1.01E15	100.2
C	1.082 E14	14.0342	32.3153	3.5	0.2041	0.4700	4.23E13	78.2
D	3.988 E12	12.6007	29.0144	3.0	0.2095	0.4824	1.52E12	53.4
E	3.289 E12	12.5169	28.8216	3.0	0.2509	0.5777	1.04E12	47.0
F	1.726 E12	12.2370	28.1770	3.0	0.2183	0.5027	0.63E12	39.8
F ₂	1.231 E12	12.0900	27.8387	3.0	0.2279	0.5248	0.43E12	35.0
G	0.566E12	11.7525	27.0614	3.0	0.1793	0.4129	0.25E12	29.2
W	0.368 E12	11.5662	26.6324	3.0	0.1846	0.4251	0.16E12	25.2

図 C.1.9 大気中の S-N 曲線の基本設計



1.4.5.6 累積疲労被害度 DM の算定にあたって選択する S - N 曲線の等級は、使用する疲労強度評価方法及び解析する詳細の種類との整合性をとらなければならない。

1.4.5.7 実験 S - N 曲線は、公称応力変動幅及び疲労寿命との関係を示している。これらの S - N 曲線を使用する場合には、算出した応力は当該曲線の作成時に使用する公称応力と同等でなければならない。

1.4.5.8 縦通防撓材端部の結合箇所の疲労強度評価に対して本付録において使用する基本的な S - N 曲線は、表 C.1.6 に規定する S - N 曲線パラメータと共に 1.4.5.5 の規定によらなければならない。

1.4.5.9 原則として、次の事項を考慮して S - N 曲線の調整を行うこと。

- a) 平均応力の効果
- b) 板厚の効果
- c) 溶接方法の改良
- d) 環境の影響

1.4.5.10 平均応力の状態（引張状態又は圧縮状態）によって、応力変動幅を減じて差し支えない。圧縮応力が存在し、かつ、定量化が可能であることを確認できる場合、平均応力の効果は、応力変動幅を圧縮成分の 60%を加えた引張成分と同等であると仮定して差し支えない。満載状態又はバラスト状態の実際の静水中縦曲げモーメント $SWBM$ 並びに静水圧及びタンク内圧は、平均応力レベルを算定時に使用しなければならない。

1.4.5.11 平均応力の効果を考慮する全応力変動幅は次の算式によらなければならない。

$$S_{Ri} = \sigma_{tensile} - 0.6 \sigma_{compressive} \quad (\sigma_{compressive} < 0 \text{ かつ, } \sigma_{tensile} > 0 \text{ の場合})$$

$$S_{Ri} = S \quad (\sigma_{compressive} \geq 0 \text{ の場合})$$

$$S_{Ri} = 0.6S \quad (\sigma_{tensile} \leq 0 \text{ の場合})$$

$\sigma_{tensile}$: 平均応力に応力変動幅の半分を加えたもの (N/mm^2)

$$= \sigma_{mean} + S/2$$

$\sigma_{compressive}$: 平均応力に応力変動幅の半分を除いたもの (N/mm^2)

$$= \sigma_{mean} - S/2$$

σ_{mean} : 満載状態又はバラスト状態の静水圧荷重成分による平均応力で、1.3.2 を参照のこと (N/mm^2)

公称応力手法に対して、 S 及び σ_{mean} は次の規定により算定しなければならない。

S : 1.4.4.19 に規定する全組合せ応力変動幅 (N/mm^2)

$$\sigma_{mean} = \sigma_{hg} + \sigma_{ex} + \sigma_{in}$$

σ_{hg} : 満載状態又はバラスト状態の実際の静水中縦曲げモーメント $SWBM$ にて得られる $M_{wv-v-amp}$ と共に 1.4.4.6 に規定する σ_v から算定する船体縦曲げによる平均応力 (1.3.2 参照)。

σ_{ex} : 外部静水圧による平均局部曲げ応力。 σ_{ex} は、満載状態又はバラスト状態に対する実際の喫水を基に算定した P と共に 1.4.4.11 に規定する σ_{2A} から算定しなければならない (1.3.2 参照)。ただし、 $P = P_{hys}$ で 7 節

2.2.2.1 を参照のこと。

σ_{in} : 内部静水圧による平均局部曲げ応力。 σ_{in} は、満載状態又はバラスト状態に対するタンクトップの水頭及びタンク容積を基に算定した P と共に 1.4.4.11 に規定する σ_{24} から算定しなければならない (1.3.2 参照)。
ただし、 $P = P_{in-tk}$ で 7 節 2.2.3.1 を参照のこと。

(備考)

- (1) P は、防撓材側に作用する圧力を正とし、板側に作用する圧力を負としなければならない。
- (2) 防撓材が 2 つの貨物タンクの間の囲壁にある場合、平均圧力は防撓材に作用するネット圧力を考慮しなければならない。
- (3) バラスト水及び貨物タンクは、100%積載していることを想定しなければならない。液体密度は、7 節 2.2.3.1 によること。ただし、貨物密度は $0.9 \text{ (t/m}^3\text{)}$ 以上としなければならない。

付録 C.2 のホットスポット応力手法において、平均応力は、適切な満載又はバラスト状態での有限要素モデルに適切な静荷重を適用して計算しなければならない。

代替として、有限要素モデルに静荷重を適用する代わりに、全振幅応力は 2.4.2.8 により計算しなければならない。

1.4.5.12 構造詳細の疲労強度は、部材の板厚に依存する。同等の応力変動幅において、部材の増厚により結合部の疲労限度は小さくなる。この効果 (寸法効果) は、隣接する板の厚さ及び当該板厚の応力勾配に関連した溶接端部の局部形状によって起こる。基本的な設計 $S-N$ 曲線は、考慮する板厚が 22mm を超えない場合に適用すること。板厚が 22mm を超える部材にあつては、ネット板厚 t_{net50} を考慮した結合部の $S-N$ 曲線は次の算式によらなければならない。

$$\log(N) = \log(K_2) - m \log \left(\frac{S_{Ri}}{(22/t_{net50})^{0.25}} \right)$$

$$\log(K_2) = \log(K_1) - 2\delta$$

N : 応力変動幅 S における予測疲労寿命

K_1 : 表 C.1.6 に規定する平均 $S-N$ 曲線に関する定数

δ : $\log(N)$ の標準偏差

m : 表 C.1.6 に規定する $S-N$ 曲線の負の傾き

S_{Ri} : 1.4.5.11 に規定する応力変動幅 (N/mm^2)

1.4.5.13 縦通防撓材が平鋼又はバルブプレートの場合、1.4.5.12 の寸法効果を適用しないこと。

1.4.5.14 溶接端部の表面処理の効果は、設計段階において考慮しないこと。ただし、局部板厚の増厚、溶接脚長の延長及び局部形状の修正のような設計の選択が行われた結果、規定の設計疲労寿命を満足することが出来ない場合にあっては、ビルジホップ斜板と内底板の溶接結合部に対して特別に考慮することがある。算定した疲労寿命は、表面処理による効果を除いて、17 年を超えなければならない。表面処理を適用する場合にあっては、範囲、表面粗さの詳細、最終溶接形状並びに表面処理の施工者の技量及び品質の判断基準を含む表面処理の全ての詳細は、適用可能であることを明確に示すために、算定した疲労寿命における提案する係数を示した追加の計算書を添付して提出しなければならない。表面処理は、円を描く様にして行い、溶接端部の欠陥を除去できるように板の表面の内部まで処理することが望ましい。また、溶接端部の欠陥の周囲は、効果的な腐食防止対策を講じなければならない。補修は、目視可能なアンダカットの底部から少なくとも 0.5mm の深さまで板の表面を研磨することを含めて、溶接端部において滑らかにくぼんだ形状とすること。溝の深さは、最小に留めなければならない。また、原則として 1mm 以内とすること。 2mm 又はgross板厚の 7% のうちいずれか小さい方の値を超える表面処理の深さとしてはならない。表面処理は、高応力箇所を除いて、広範囲にわたって施工すること。上述の推奨内容を施工した場合、疲労寿命を最大 2 倍まで改めることができる。

1.4.5.15 図 C.1.9 に示す基本的な設計 $S-N$ 曲線は、有効な塗装によって腐食を適切に保護する大気中に位置する結合部又は海水中の詳細部に有効である。非保護の海水中の詳細部にあっては、基本的な $S-N$ 曲線は疲労寿命に対して係数を 2 減じなければならない。

1.4.5.16 図 C.1.9 に示す基本的な設計 $S-N$ 曲線は、本付録にて使用のこと。結合部が、疲労に対し保護された環境又は非保護の環境の状態があることを考慮して、係数 f_{SN} は全公称応力変動幅の計算に取入れる。

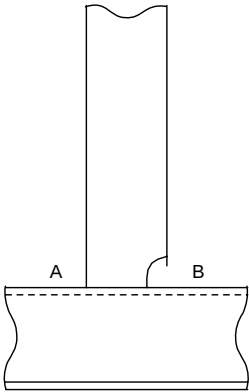
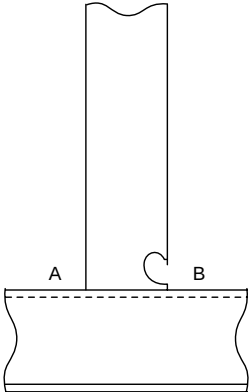
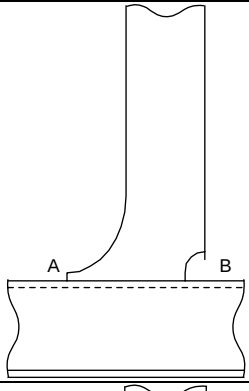
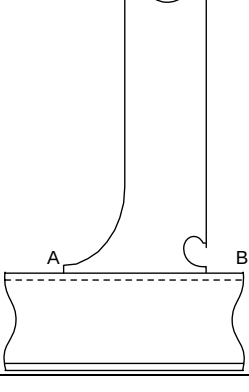
1.5 構造詳細の分類

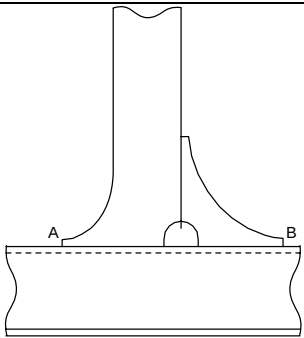
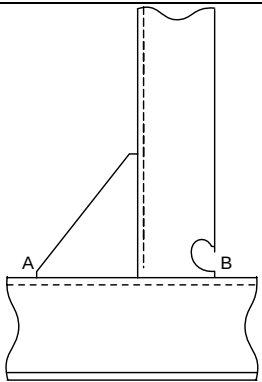
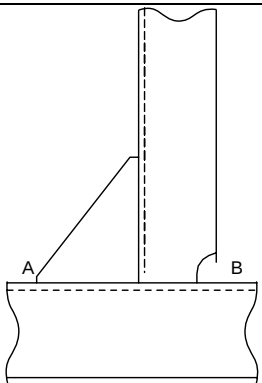
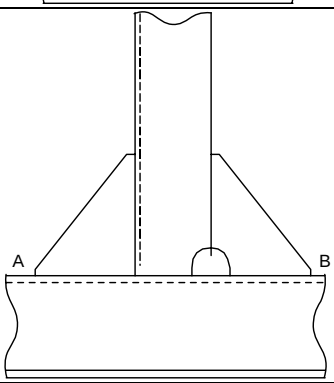
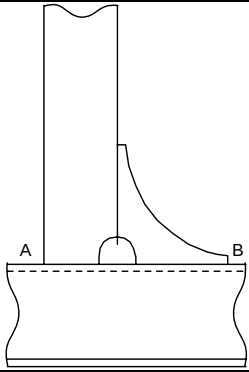
1.5.1 一般

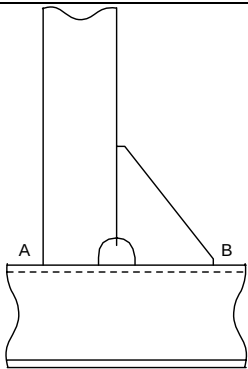
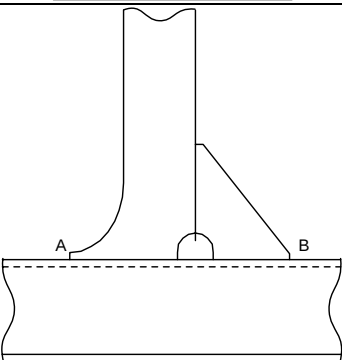
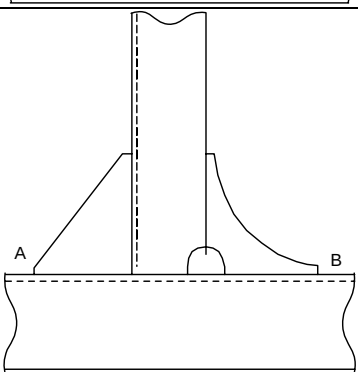
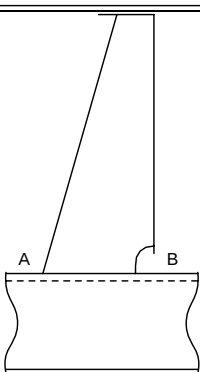
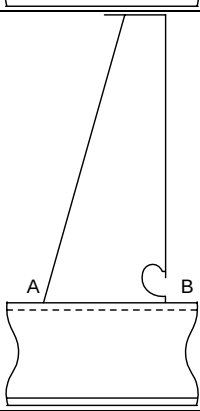
1.5.1.1 ソフトウ及び後部ブラケットの設計が図 C.1.10 と一致している場合、構造詳細の結合部の分類は、表 C.1.7 によらなければならない。各々の設計を提示した場合、疲労強度の観点から考慮する妥当性は適した有限要素解析を使用して検証しなければならない（2.1.1.3 参照）。

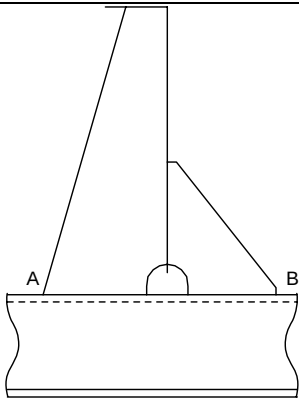
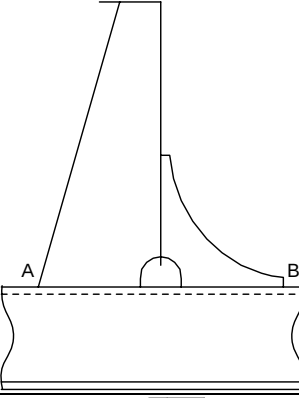
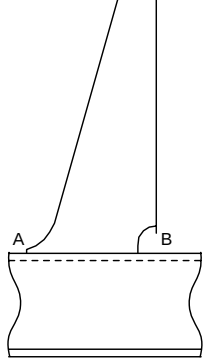
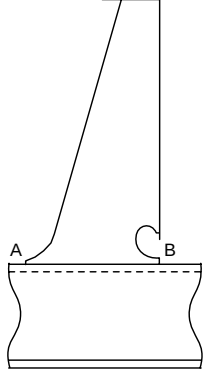
1.5.1.2 船底、船側及び内部構造に縦通防撓材を繋ぐフロアに付く防撓材のない構造を採用している場合、図 C.1.11 に示すスロット形状の設計を推奨する。

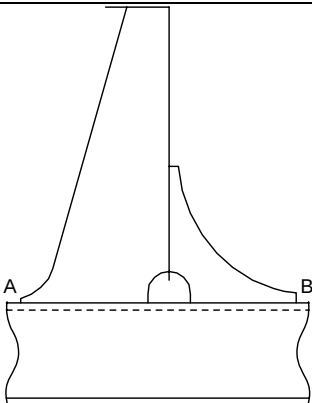
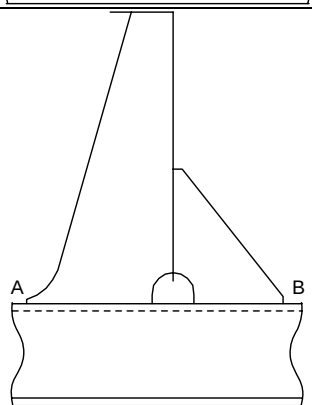
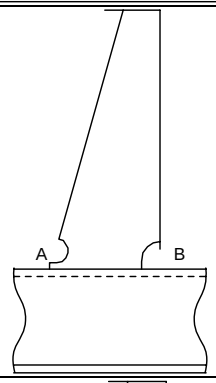
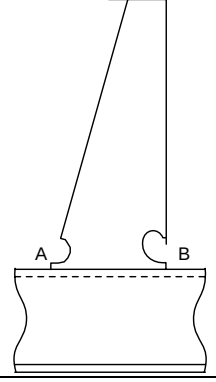
表 C.1.7 構造詳細の分類

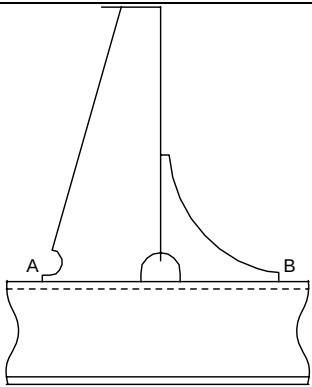
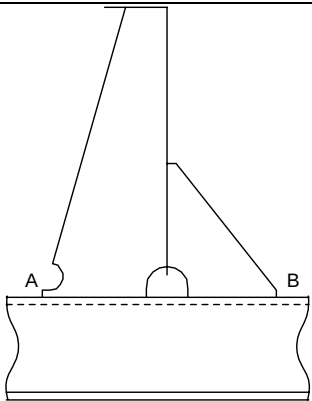
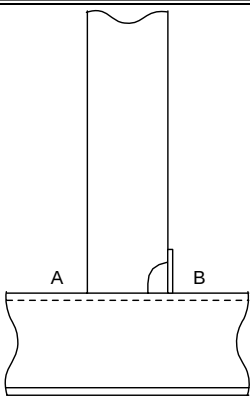
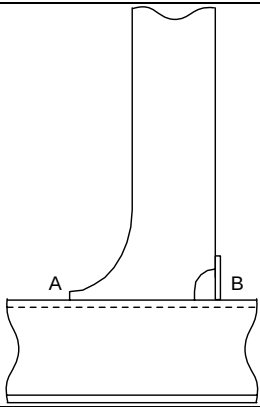
ID	結合部の種類	重要部位 ^{(1),(2),(3)}	
		A	B
1		$F2$	$F2$
2		$F2$	$F2^{(4)}$
3		F	$F2$
4		F	$F2^{(4)}$

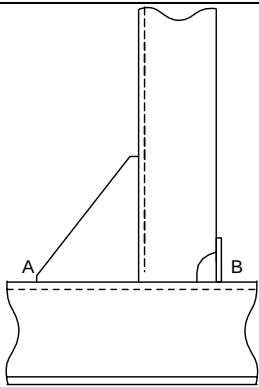
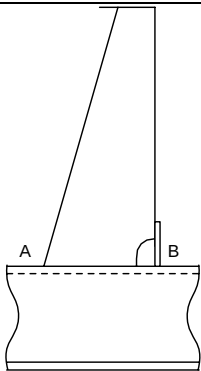
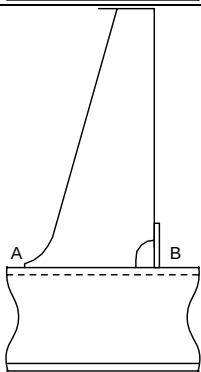
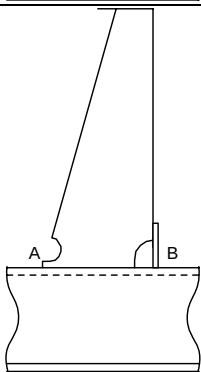
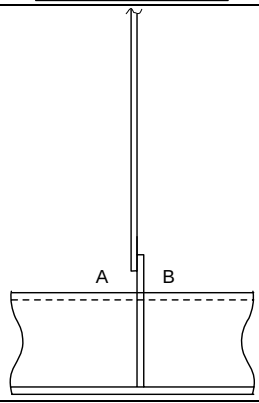
5		F	F
6		$F2$	$F2^{(4)}$
7		$F2$	$F2$
8		$F2$	$F2$
9		$F2$	F

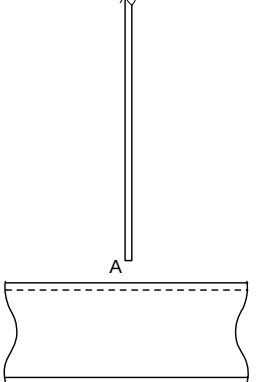
10		$F2$	$F2$
11		F	$F2$
12		$F2$	F
13		$F2$	$F2$
14		$F2$	$F2^{(4)}$

15		$F2$	$F2$
16		$F2$	F
17		F	$F2$
18		F	$F2^{(4)}$

19		F	F
20		F	$F2$
21		F	$F2$
22		F	$F2^{(4)}$

23		F	F
24		F	$F2$
25		$F2$	$F2^{(5 \text{ のみ})}$
26		F	$F2^{(5 \text{ のみ})}$

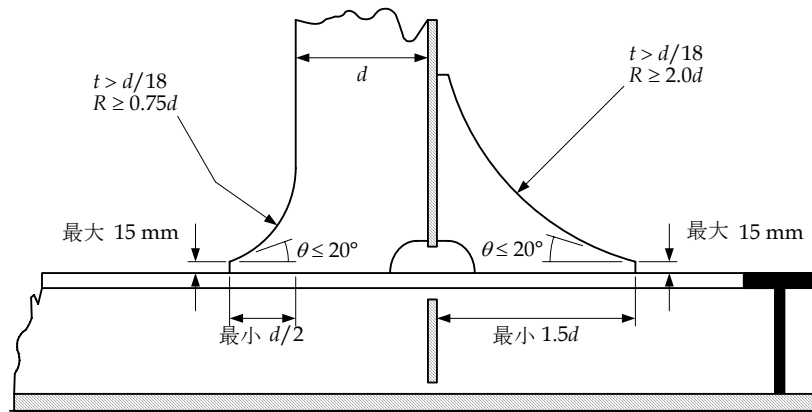
27		$F2$	$F2^{(5 \text{ の } \vec{z}_2)}$
28		$F2$	$F2^{(5 \text{ の } \vec{z}_2)}$
29		F	$F2^{(5 \text{ の } \vec{z}_2)}$
30		F	$F2^{(5 \text{ の } \vec{z}_2)}$
31		$F2^{(5 \text{ の } \vec{z}_2)}$	$F2^{(5 \text{ の } \vec{z}_2)}$

32		$F^{(6 \text{ のみ})}$	N/A
----	---	----------------------	-----

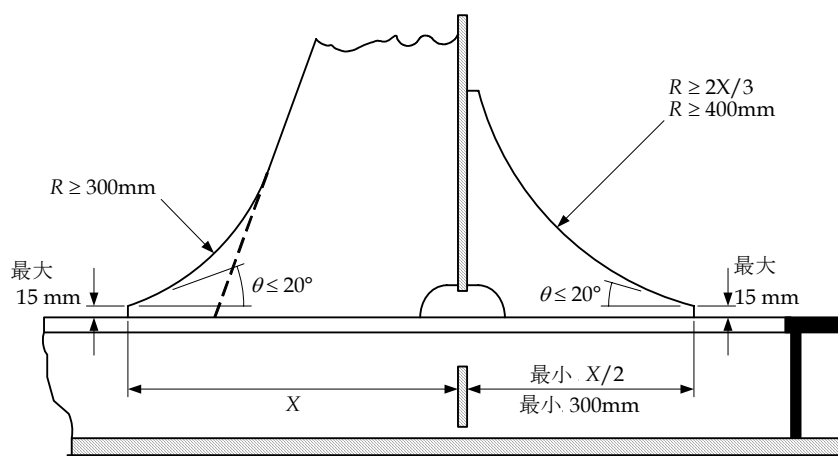
(備考)

- (1) 接合部の長さが 150mm 以下の場所にあつては、 $S-N$ 曲線は表中に指定の級から 1 つ級を上げること。例えば、表に示す級が $F2$ の場合、 F に級を上げる。接合部の長さはスカラップを差し引かない縦通防撓材の面材上の溶接接合部の長さによって規定する。
- (2) 防撓材フランジ端部と接合部の面材との最小間隔が 10mm 未満の場合（例えば、縦通防撓材が平板の場合）にあつては、 $S-N$ 曲線は表中にて規定した級から 1 つ級を下げる。例えば、表に示す級が $F2$ の場合、 G に級を下げる。これはバルブ形鋼、アングル形鋼等の非対称材にあつても同様に適用する。
- (3) 接続部の重複（縦通肋骨のウェブに溶接するブラケット等）は採用してはならないため、表に記載していない。
- (4) ソフトヒールの接続部に対して、軸荷重が支配的な場合にあつては、 F 級を使用すること。甲板上及び甲板端部より下方 $0.1D$ 以内に取付く防撓材にあつては、当該条件を満足するように考慮すること。
- (5) 面材周辺にある密閉式カラーの取付け接続部に対して、軸荷重が支配的な場合にあつては、 F 級を使用すること。甲板上及び甲板端部より下方 $0.1D$ 以内に取付く防撓材にあつては、当該条件を満足するように考慮すること。
- (6) ウェブが省略又は縦通防撓材の面材に接合していない場合にあつては、 $ID32$ を適用すること。船側における波浪を受ける箇所及びその下部、船底部及び甲板端部下 $0.1D$ より下方の内殻材において、水密カラー、**図 C.1.11** に示す切抜き式の詳細設計又はそれと同等のものを適用しなければならない。また、 FEM に基づいたホットスポット応力と比較して満足できる疲労強度評価がある場合は、それに従ったその他の設計とすること。**図 C.1.11** に示す切抜き式の詳細設計又はそれと同等のものに対して、 $S-N$ 曲線は E 級とすること。
- (7) **備考(6)**以外のその他の範囲（すなわち、波を受ける範囲より上方の船側、船底、甲板、甲板端部より下方 $0.1D$ 以内の内殻材）において、ウェブが省略又は縦通防撓材の面材に接合していない場合にあつては、通常のスロット形状を取付け、 F 級を適用すること（ $ID32$ によること）。

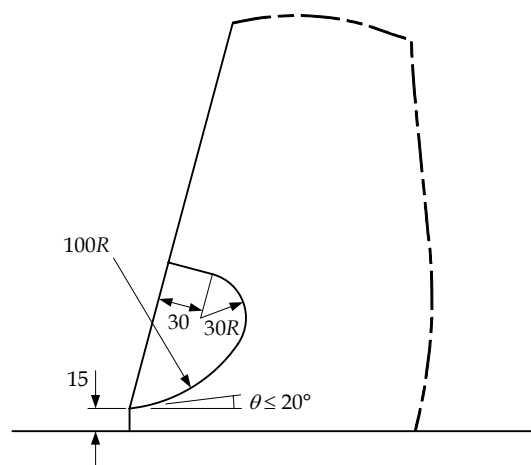
図 C.1.10 ソフトトウ及び裏当てブラケットの詳細設計



ピラー防撓材のソフトトウ及び裏当てブラケットの推奨設計

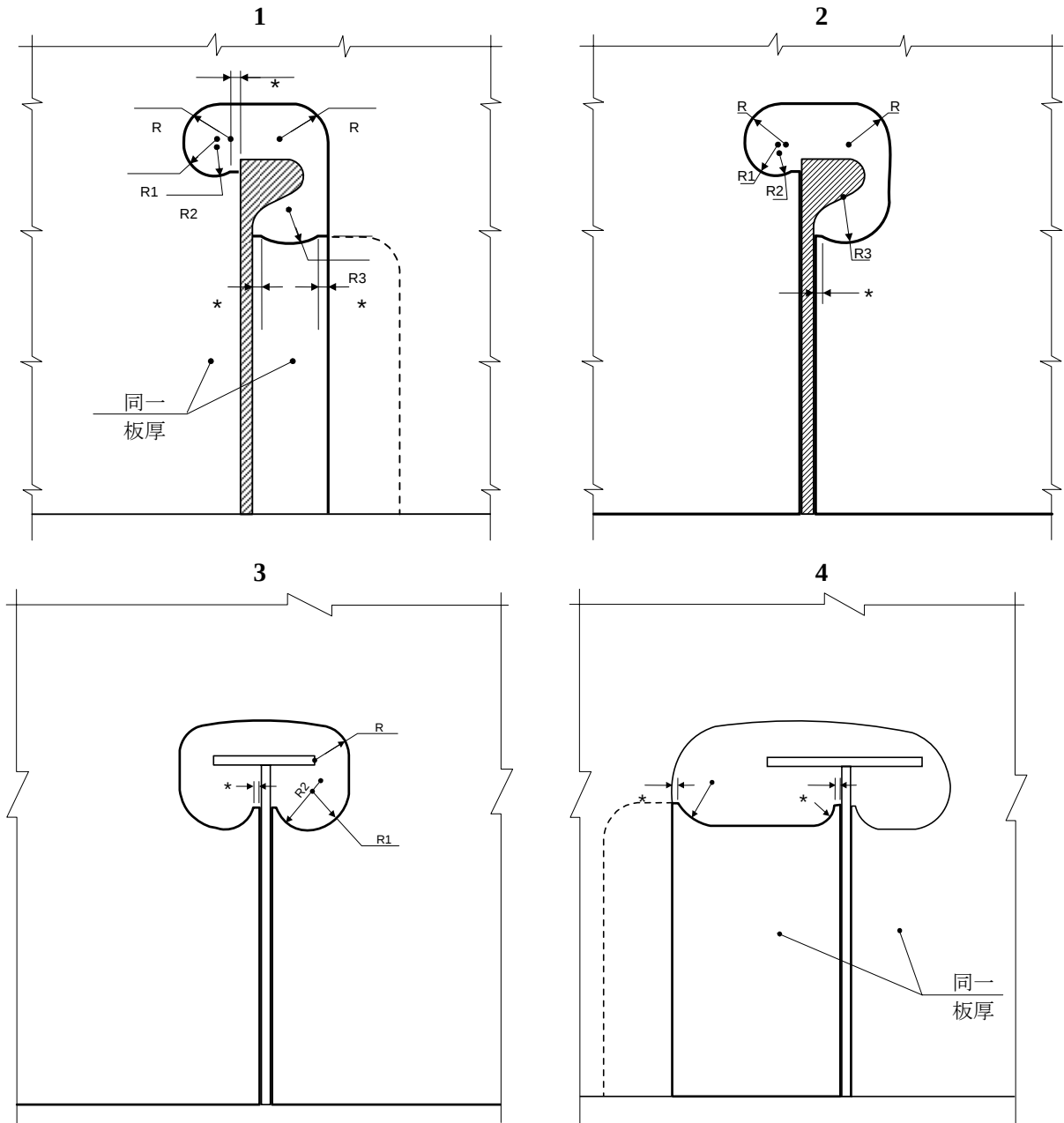


倒止ブラケットのソフトトウ及び
裏当てブラケットの推奨設計



倒止ブラケットのソフトトウの推奨代替設計

図 C.1.11 スロットの設計



(備考)

- (1) “*” 印付のソフトウは、溶接部から曲がり部になめらかに移行するように溶接脚長に一致するように必要な寸法にしなければならない。最大 15mm とする。
- (2) 船側及び船底にあつては、形状 2 又は 3 を推奨する。突合せラグプレートを使用して差し支えない。

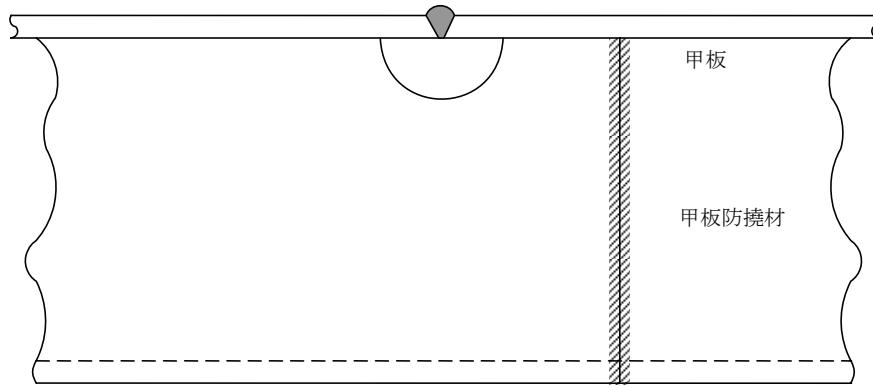
1.6 その他の詳細

1.6.1 ブロック結合部のスカラップ

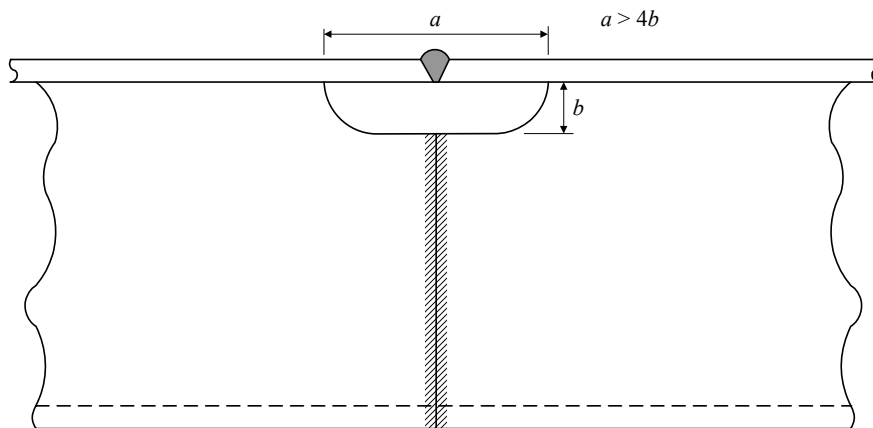
1.6.1.1 強力甲板に位置する貨物タンク区域及び甲板縁から $0.1D$ までにあるブロック結合部のスカラップは、F2 級による 8 節 1.5.1.3 の規定を満足しない限り、図 C.1.12 により設計しなければならない。

図 C.1.12 ブロック結合部の甲板付防撓材の溶接

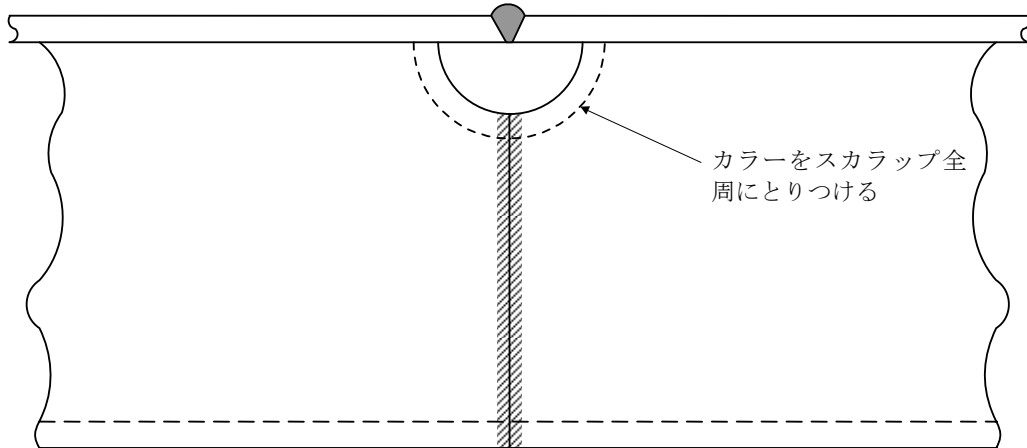
(I) 防撓材でのオフセット突合せ



(II) 防撓材での延長スカラップ



(III) カラーを付けた接近スカラップ



(備考)

(II) に示す各スカラップの形状は、溶接箇所の追加応力集中係数、詳細メッシュを使用した *FEM* 解析及び *D* 級の *S-N* 曲線の適用を考慮して、ハルガーダ荷重を基に規定を満足した疲労寿命の検証を条件として認める場合がある。

2 ホットスポット応力手法（有限要素ベース）

2.1 一般

2.1.1 適用

2.1.1.1 本付録 C.2 の手順は、ホットスポット応力手法に基づく有限要素（FE）を使用した、内底板とビルジホップ斜板間の溶接ナックル部の疲労解析に適用する。また、本付録 C.2 の規定以外に、公称応力手法に関する付録 C.1 に規定する同様の適用方法を使用すること。

2.1.1.2 内底板とビルジホップ斜板間の溶接ナックル部が曲げ構造の場合にあつては、ホットスポット応力疲労強度評価は 2.5.1.2 に規定する詳細設計基準を適用してはならない。各設計の申請時に、適当な有限要素（FE）解析は疲労強度による詳細の同等性の証明に使用すること。

2.1.1.3 ホットスポット応力手法が公称応力手法に代わって縦通防撓材端部接合部の同等性の検討に対して必要であると判断する場合にあつては、付録 C.1 に規定する手順は、原則として、 S_v 、 S_h 、 S_i 及び S_e が表面のホットスポット応力成分を使用する有限要素解析の箇所の垂線から直線により外挿して得られる取付材の中心線及び溶接止端部を除いて、本付録 C.2 によること。また、2.4.3 に規定する $S-N$ 曲線を適用すること。

2.1.2 前提条件

2.1.2.1 前提条件は、1.1.2 によること。

2.2 腐食モデル

2.2.1 ネット板厚

2.2.1.1 ネット板厚及び 6 節 3 に規定する腐食予備厚を、付録 B.4 に規定するように構造強度を FE モデル化する際に組み入れなければならない。

2.3 荷重

2.3.1 一般

2.3.1.1 1.3.6 及び 1.3.7 に規定する内底板とビルジホップ斜板間の溶接ナックル部の FE ベースの疲労解析においては、波浪変動圧及びタンク内圧力を考慮しなければならない。

2.4 疲労被害度の計算

2.4.1 疲労強度の算定

2.4.1.1 疲労強度の算定にあつては、1.4 にいう手順を適用しなければならない。

2.4.1.2 内底板とビルジホップ斜板間の溶接ナックル部に適用する Weibull 確率分布パラメータ ξ は、次の算式によるなければならない。

$$\xi = 1.1 - 0.35 \frac{L - 100}{300}$$

L : 4 節 1.1.1.1 に規定する船の長さ (m)

2.4.2 使用する応力

2.4.2.1 ホットスポット応力を決定するために、3 次元の粗いメッシュの応力解析と共に、2 次元又は 3 次元の局部詳細メッシュ応力解析を使用しなければならない。高応力範囲、特に、構造の不連続付近にあつては、応力レベルは高応力勾配のために要素サイズに依存している。応力領域が一軸領域よりも複雑である場合、潜在的に亀裂が発生しやすい位置近傍の応力を使用しなければならない。また、メッシュサイズが急に変わることなく徐々に大きさが変化するように作成しなければならない。

2.4.2.2 局部構造のモデル化に対する一般的な原則は次によること。

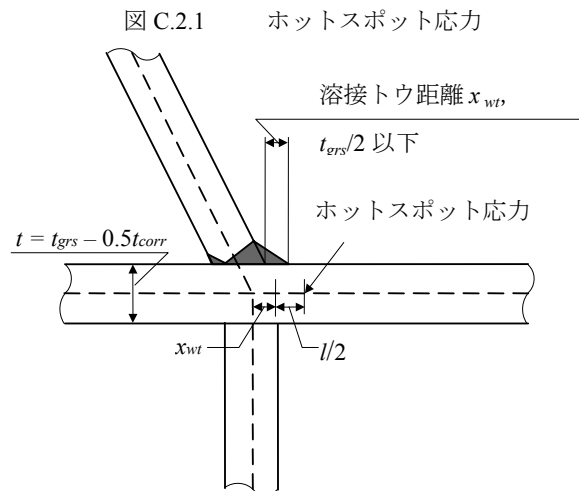
- (a) ホットスポット応力は、初期不整がないと理想化した溶接継手を使用して算定しなければならない。有限要素メッシュは、ホットスポットの付近で応力及び応力勾配が十分な精度となるように細かくしなければならない。
- (b) 主要部材及び二次部材である板、ウェブ及び面材は、4ノードの薄いシェル要素としてモデル化しなければならない。急な応力勾配の場合にあっては、8ノードの薄いシェル要素を使用しなければならない。
- (c) 薄いシェル要素を使用する場合、構造は板の中央でモデル化しなければならない。実用的な目的のために、隣接する異なった板厚は、中央線に沿っていると仮定する。(すなわち、板厚の変化によって互い違いに配置しないこと。)
- (d) 要素のアスペクト比は、ホットスポット近傍で3を超えてはならない。
- (e) ホットスポット近傍に位置する要素の寸法は、構造部材のネット板厚との整合性をとらなければならない。
- (f) 応力は、関連している箇所において板の曲げモーメントを考慮するために板の表面にて算定しなければならない。

2.4.2.3 有限要素モデルを使用するホットスポット応力算定のあつては、付録 B.4 に規定する。

2.4.2.4 一般に、要素の応力は、ガウス点にて算定すること。要素のタイプによって、考慮するホットスポットの位置で実応力を決定するための幾つかの補間法の適用がすること。

2.4.2.5 重要な構造詳細に関して、一般に、ホットスポット応力は構造を表すために使用する有限要素モデルに大きく依存している。ホットスポット応力を導出するためにここに規定する構造詳細に対する代替手順は、同様の構造詳細について有効な疲労試験の成績を参照して確認、又は、記録しなければならない。

2.4.2.6 ホットスポット応力は、溶接止端から $0.5t$ 離れた表面応力とすること (図 C.2.1)。当該応力は、構造の交点から1番目及び2番目の要素において各応力を使用し、補間法を適用して算定すること。



2.4.2.7 2.3 に規定する荷重による溶接に直角方向に沿った応力変動幅成分は、付録 B.4 に基づいて計算しなければならない。全組合せ応力変動幅 S は次によらなければならない。

$$S = f_{model} \left| 0.85(S_{e1} + 0.25S_{e2}) - 0.3S_i \right| \quad (\text{満載状態})$$

$$S = f_{model} \left| 0.85(S_{e1} - 0.25S_{e2}) \right| \quad (\text{バラスト状態})$$

S_{e1} : 解析を行う側のビルジホップナックル部の有限要素モデルに適用する動的波浪変動圧による応力変動幅 (N/mm^2)

S_{e2} : 解析する部分の反対側のビルジホップナックルの有限要素モデルに適用する波浪変動圧による応力変動幅 (N/mm^2)

S_i : FE モデルに適用するタンク内動圧による応力変動幅 (N/mm^2)

f_{model} : 1.0, 疲労に対するネット板厚によって FE モデルを作成した場合。すなわち、 $0.5t_{corr}$ の腐食予備厚を使用する場合 (ナックル部及びナックル部から全ての方向に $500mm$ 以内) 部位の構造の重要を除いて、 $0.25t_{corr}$ の腐食予備厚を用いる場合。

0.95, 強度評価に対する FE モデルを使用する場合。強度評価のための FE モデルは、重要部位の構造を含む全モデルに対して $0.5t_{corr}$ の腐食予備厚を適用すること。

2.4.2.8 静荷重を FE モデルに適用する代わりに、平均応力効果を考慮して全応力変動幅は次の算式によること。

$S_{Rt} = 1.0S$ (満載状態)

$S_{Rt} = 0.6S$ (バラスト状態)

S : 2.4.2.7 に規定する全組合せ応力変動幅 (N/mm^2)

2.4.3 S-N 曲線の選択

2.4.3.1 ホットスポット応力を 2.4.2.8 により算定する場合、溶接詳細部に対して D 級の $S-N$ 曲線を適用して疲労強度解析を行わなければならない。また、1.4.5.12 による寸法効果は適用して差し支えない。

2.5 詳細設計基準

2.5.1 ビルジホップナックル部

2.5.1.1 ビルジホップ斜板と内底板間の溶接ナックル部の設計詳細は、図 C.2.2 によらなければならない。

(備考)

図 C.2.2 は、ビルジホップ結合部の疲労強度の増加に対して任意に使用して差し支えない。

2.5.1.2 ビルジホップ斜板と内底板間の曲げ構造のナックル部の設計詳細は、図 C.2.4 の規定によらなければならない。

2.5.2 横隔壁付水平桁ヒール部

2.5.2.1 図 C.2.5 による詳細設計は、油密横隔壁板及び制水隔壁板と内部縦通隔壁板との間の水平桁ヒール部における応力レベルの低減及び疲労強度の増加に対して推奨する。本推奨内容は、付録 B.3.1.3 に規定する詳細メッシュ有限要素解析と共に考慮すること。

図 C.2.2 ブラケット無しビルジホップナックル結合部の詳細

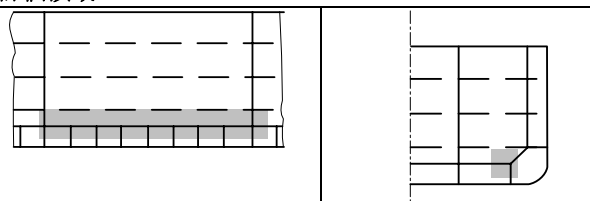
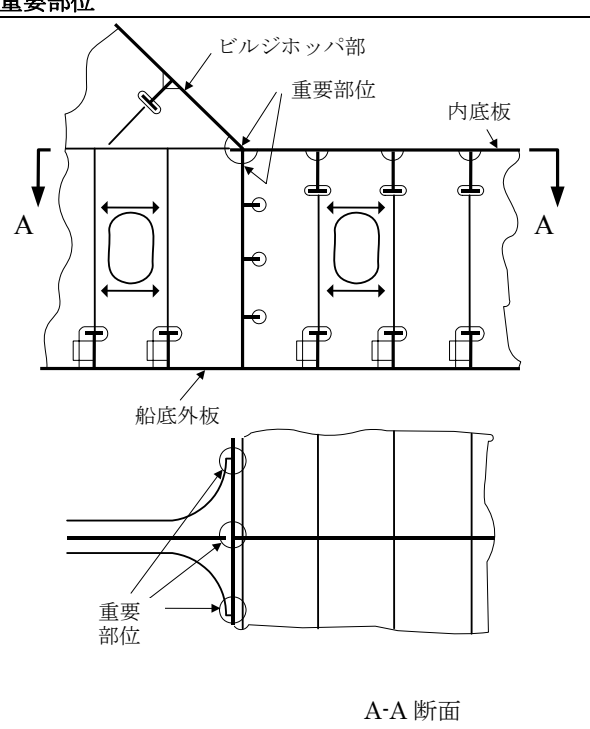
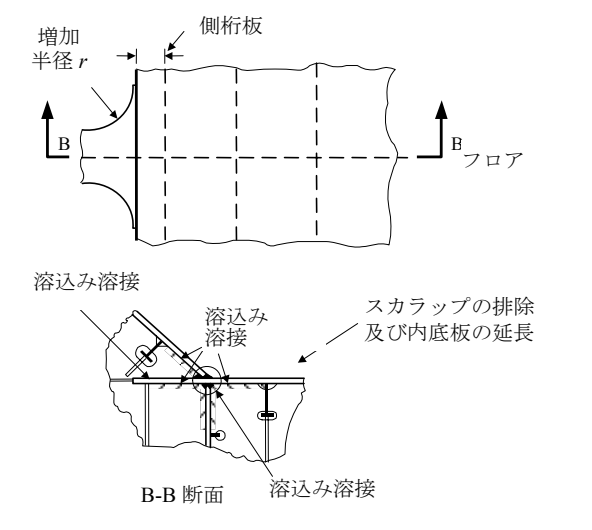
二重底タンクからビルジホップパタンクにおけるフロアの結合部 内底板とビルジホップ斜板間のビルジホップ角部溶接結合部	
評価領域	詳細設計基準 A
 重要部位  A-A 断面	 B-B 断面 ビルジホップ斜板及び内底板との間の溶接部はドレッシング及びブライディングにより滑らかにすること。 明らかなアンダカットは取り除くこと。 フロア両側のドレッシング範囲 - VLCC 250 mm - Suezmax 200 mm - Aframax 150 mm - Product 100 mm (備考) 6 節 5.3.4 に規定する溶込み溶接に対して、隣接する板厚の最大 1/3 のルート面とすること。 - フロアのスパンが形状により減じることのできる No.1 タンクにあつては、表面加工を適用しなくて差し支えない。 - 横隔壁に位置するナックル接合部又は横隔壁に隣接したフロアにあつては、表面加工を適用しなくて差し支えない。
最小要求値	最小値として、詳細設計基準 A 又は B としなければならない。ただし、ビルジホップ斜板の角度が 50° を超える場合にあつては、更に検討すること。貨物タンクのビルジホップ下部のナックル部が塗装されていない場合、床表面は適切な塗料成分の塗料のはけ塗り等のストライプ塗装によって保護しなければならない。
重要部位	フロアにおける内底板に接合するビルジホップ傾斜板。 ビルジホップ角部における内底板及び側桁に接合するフロア。
詳細設計基準	ビルジホップ角部におけるスカラップの除去、繰返し波浪変動外圧、貨物慣性応力及びハルガーダ荷重から生じる合成応力レベルの低減による内底板の延長。スカーフィングブラケット板厚はナックル部における内底板の板厚と同等としなければならない。
建造許容差	内底板の板厚が t の場合、ビルジホップ斜板の中央線はフロアにおける中心線の 0.15 t の許容誤差で縦桁の中心線と一致させなければならない。
溶接の要求	溶込み溶接（ビルジホップ傾斜板と内底板との間）。溶込み溶接（フロアと内底板及び側桁との結合部、ビルジホップ角部におけるビルジホップトランスウェーブとビルジホップ斜板、内底板及び側桁との結合部）。

図 C.2.3 バルクヘッドを有するビルジホップナックル結合部の詳細（任意）

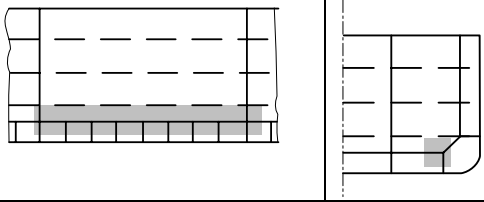
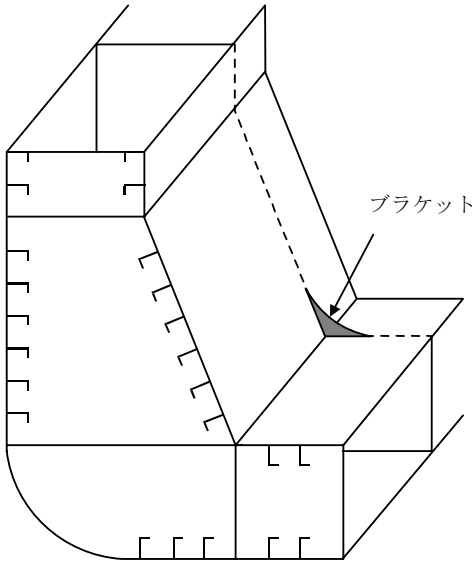
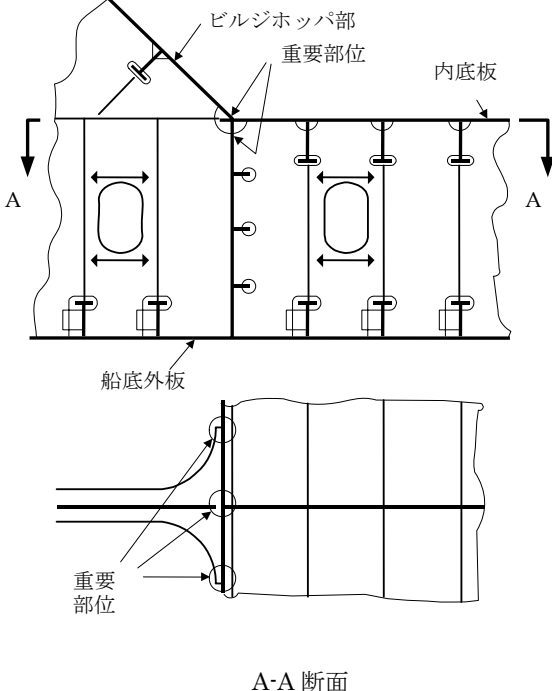
二重底タンクからビルジホップタンクにおけるフロアの結合部 内底板とビルジホップ斜板間のビルジホップ角部溶接結合部	
評価領域	詳細設計基準 B
	 （備考） 1. 貨物タンクの内側に取付けるブラケット 2. 第一縦通材までほぼ拡張するブラケット 3. ブラケットトウはソフトな形状にする 4. ブラケットトウ部での完全溶込み溶接 5. ブラケットの材料を内底板と同じにする 6. ブラケットの座屈を確認する。 $\frac{d}{t_{bkt}} < 21 \sqrt{\frac{235}{\sigma_{yd}}}$ d = 表 10.2.3 に規定されるブラケット最大深さ t_{bkt} = ブラケット板厚 σ_{yd} = 材料の最小降伏応力
重要部位	
 A-A 断面	
最小要求値	最小値として、詳細設計基準 A 又は B としなければならない。ただし、ビルジホップ斜板の角度が 50° を超える場合にあっては、更に検討すること。貨物タンクのビルジホップ下部のナックル部が塗装されていない場合、床表面は適切な塗料成分の塗料のはけ塗り等のストライプ塗装によって保護しなければならない。
重要部位	フロアにおける内底板に接合するビルジホップ傾斜板。 ビルジホップ角部における内底板及び側桁に接合するフロア。
詳細設計基準	ビルジホップ角部におけるスカラップの除去、繰返し波浪変動外圧、貨物慣性応力及びハルガード荷重から生じる合成応力レベルの低減による内底板の延長。スカーフィングブラケット板厚はナックル部における内底板の板厚と同等としなければならない。
建造許容差	内底板の板厚が t の場合、ビルジホップ斜板の中央線はフロアにおける中心線の $0.15t$ の許容誤差で縦桁の中心線と一致させなければならない。
溶接の要求	溶込み溶接（ビルジホップ傾斜板と内底板との間）。溶込み溶接（フロアと内底板及び側桁との結合部、ビルジホップ角部におけるビルジホップトランスウェブとビルジホップ斜板、内底板及び側桁との結合部）。

図 C.2.4 曲げ構造のビルジホップナックル結合部の詳細

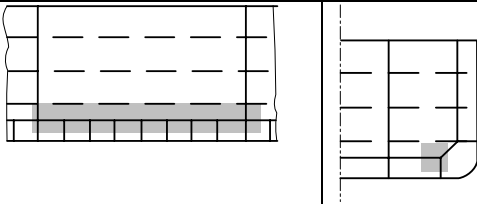
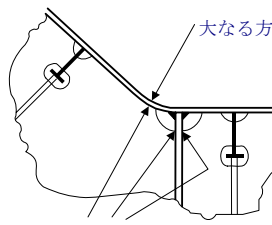
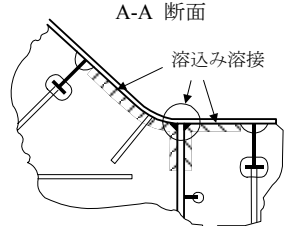
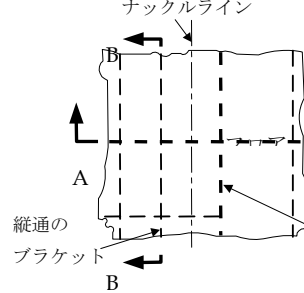
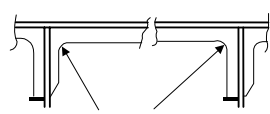
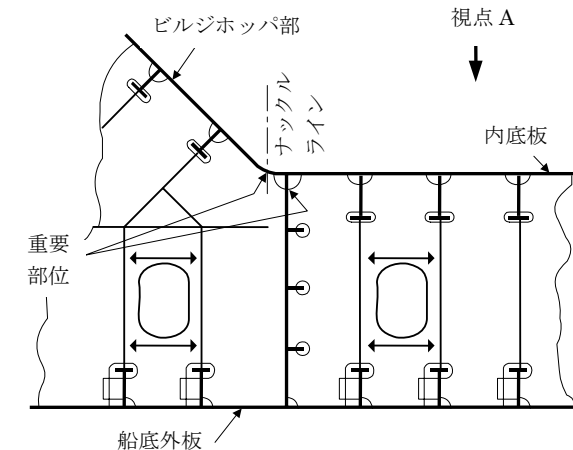
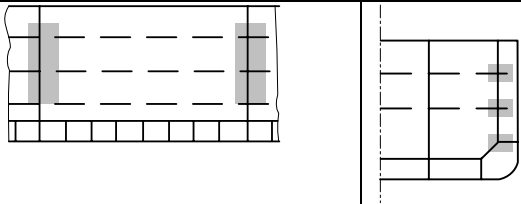
二重底タンクからビルジホップタンクにおけるフロアの結合部 内底板とビルジホップ斜板間のビルジホップ角部の曲げ構造	
評価領域 	詳細設計基準 C ナックル部の径は、$5 \times t$ と 100mm の内、 大なる方とすること。ただし、t は板厚と ナックルラインにおけるスカラップの排除及び内底板の延長について  重要部位 A-A 断面  溶込み溶接 ナックルライン  B-B 断面  縦通のブラケット 縦通桁 縦通のブラケット (備考) 縦通桁がナックルラインにおいて十分に支持機能を果たしていることを確認できる場合、縦通のブラケットは省略して差し支えない。
重要部位  ビルジホップ部 ナックルライン 内底板 重要部位 船底外板 側桁板 フロア 重要部位	
最小要求値	最小値として、詳細設計基準 C とすること。
重要部位	フロアにおける内底板に接合する側桁。 ビルジホップ角部における内底板及び側桁に接合するフロア及びビルジホップパトランスウェーブ。
詳細設計基準	ビルジホップ角部におけるスカラップの除去並びに繰返し波浪変動外圧、貨物慣性応力及びハルガーダ全荷重から生じる合成応力レベルの低減による追加の縦通のブラケット。
建造許容差	強化基準とする。隣接する二つの部材（フロア及びビルジホップウェブ並びに追加の支持ブラケット）の板厚中心の許容誤差は、当該部材に挟まれる板部材の板厚の $1/3$ を超えないこと。
溶接の要求	隣接する板厚の最大 $1/3$ のルート面とする溶込み溶接（内底板及び側桁との結合部、フロアと内底板及び側桁との結合部、ビルジホップ角部におけるビルジホップパトランスウェーブとビルジホップ斜板）。

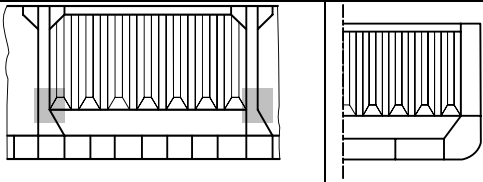
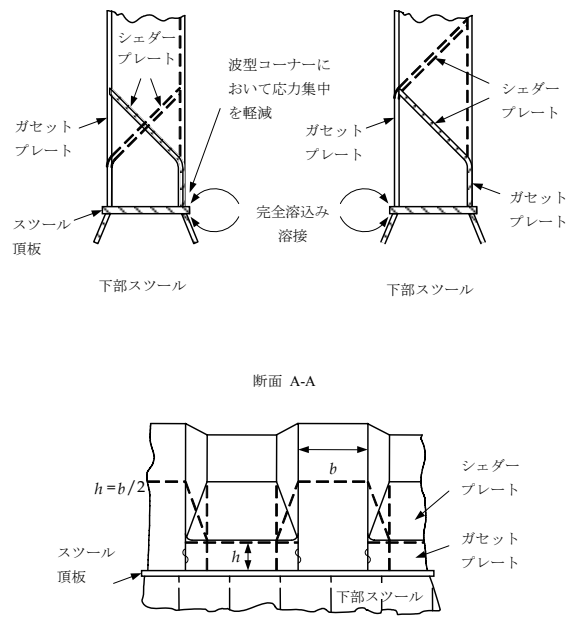
図 C.2.5 横隔壁付水平桁のヒール部（任意）

二重船側タンクから横隔壁における水平桁の結合部 油密横式の平板隔壁又は制水隔壁に付く水平桁から船殻内部縦通隔壁の結合部	
評価領域 	詳細設計の改良
重要部位 	（備考） * ブラケットがない場合，溶接先端部は滑らかで，目視できるアンダーカットは除去しなければならない。 ** 面材が必要な場合，面材の継手位置において応力集中を軽減するような設計とすることを推奨する。（すなわちテーパ及びソフト形状）
重要部位	横隔壁付水平桁のウェブと四角形の角部を形成する二重船側タンクの水平桁の交差部。
設計変更の詳細	十字結合部にあるスカラップの除去並びに繰返し波浪変動外圧，貨物慣性応力及びハルガーダ荷重から生じる合成応力レベルの低減による局部に配置する <i>D</i> 級鋼挿入板（本編に規定する板厚に加えて最小 <i>7mm</i>）。また，適当な寸法のソフトトウの裏当てブラケットを配置しなければならない。ブラケットの寸法は次を推奨する。 ・ VLCC：800×800×30 R600（図に示すソフトトウとする） ・ スエズマックス及びアフラマックス：800×600×25 R550 （ブラケットの長腕が内部材に達している場合は，図に示すソフトトウとする。） 実際のブラケットの設計は付録 B.3.1.3 により詳細メッシュ有限要素解析によって検証しなければならない。
建造許容差	強化基準とする。隣接する二つの部材（フロア及びビルジホップウェブ並びに追加の支持ブラケット）の板厚中心の許容誤差は，当該部材に挟まれる板部材の板厚の 1/3 を超えないこと。
溶接の要求	裏当てブラケットを有する場合にあつては最小溶接係数 0.44 とした隅肉溶接とし，裏当てブラケットが無い場合にあつては溶込み溶接とする。溶込み溶接の範囲は，縦通方向に溶接する箇所とすること。スカラップを除去する場合は，隔壁における連続溶接施工後の状態に近い適当な形状の小さいスカラップを考慮すること。

2.5.3 下部スツールと接合する波形横隔壁及び波形縦通隔壁

2.5.3.1 図 C.2.6 による詳細設計改良は、波形横隔壁及び波形縦通隔壁と下部スツールとの結合部における応力レベルの低減に対して推奨する。本推奨内容は、付録 B.3.1.5 に規定する詳細メッシュ *FE* と共に考慮すること。

図 C.2.6 下部スツールと接合する波形横隔壁及び波形縦通隔壁

二重船側タンクの船側縦桁と横隔壁の結合部 高張力鋼ストリンガと水平桁と油密横隔壁板又は制水隔壁板付との結合部	
評価領域	詳細設計の改良
	 (備考) * 波型隔壁とスツール頂板との取り合い及びスツール頂板と下部スツールとの取り合いは完全溶込み溶接としなければならない。 ** 隣接するシェダープレートが交差する場合、交差部にブラケット防撓材を設けなければならない。
重要部位	1. 波形隔壁と下部スツール及び下部スツール頂板との接合部 2. ガセットプレートがない場合、波形隔壁とシェダープレートとの接合部
設計変更の詳細	1. ガセットプレートは、波形隔壁角部において応力集中を減じるように波形隔壁の面材部に垂直に頂板に配置すること。ガセットプレートの最小高さは、波形隔壁のフランジ幅の半幅とすること。 2. シェダープレートの交差部における応力集中を減じるために、シェダープレートは図に示すように各形状に対して配置を考慮すること。また、支持防撓材をシェダープレート下部の交差部に配置することで対応してもよい。
建造許容差	可能な限り下部スツール斜板と波形隔壁の面材との接合は確実に良い配置とすること。2つの隣接する部材の板厚の中心間の許容誤差は、当該部材に挟まれる板部材の板厚の1/3を超えないこと。
溶接の要求	完全溶込み溶接は隔壁の波形を形成する面材、ガセットプレート及び下部スツールの斜板と下部スツールの頂板（Z級鋼板を推奨する）との結合部に使用すること。溶接部の始端部及び止端部は波形隔壁隅部からできる限り離すこと。