

2024 年 6 月 27 日 一部改正
2024 年 1 月 30 日 技術委員会 審議
2024 年 5 月 31 日 国土交通大臣 認可

船体構造部材の座屈強度評価

改正対象

鋼船規則 C 編

改正理由

IACS における座屈強度評価の要件を規定した統一規則 (UR) として、船体のハルガーダ座屈強度評価の要件を規定した UR S11 及び S11A 並びにハッチカバーの座屈強度評価の要件を規定した UR S21 及び S21A がある。さらに、ばら積貨物船及び油タンカーのための共通構造規則 (Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers) (以下 CSR-B&T) にも、座屈強度評価の要件が規定されている。これらの規則のうち、UR S11, S11A, S21 及び S21A は鋼船規則 C 編に、CSR-B&T は、鋼船規則 CSR-B&T 編にそれぞれ取入れられている。

これらの規則では、異なる座屈強度評価手法が用いられていたことから、IACS は、評価手法を統一すべく、CSR-B&T の座屈評価手法を基に調和作業を行って、2023 年 2 月に座屈強度評価に関する統一規則として、UR S35 を採択した。

今般、IACS 統一規則 S35 に基づき、関連規定を改める。

改正内容

鋼船規則 C 編附属書として、座屈強度評価に関する一般的な要件を規定する。

施行及び適用

2024 年 7 月 1 日以降に建造契約が行われる船舶 (全面改正される前の C 編適用船も含む) に適用

ID: DH23-06

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
鋼船規則 C 編 船体構造及び船体艀装 1 編 共通要件 <u>附属書 14.6 船体構造部材の座屈強度評価</u> <u>記号</u> <u>EPP: An1.2.3.1 で定義する基本板パネル</u> <u>PSM: 主要支持部材</u> <u>SP: An1.2.3.3 で定義する防撓パネル</u> <u>UP: An1.2.3.3 で定義する非防撓パネル</u>	UR S35, Section1, Symbols
<u>An1. 適用及び定義</u> <u>An1.1 適用</u> <u>An1.1.1 通則</u> <u>An1.1.1.1</u> <u>本附属書は、一般的な座屈評価手順を規定したものであり、関連規定と合わせて適用しなければならない。</u>	UR S35, Section1, 1.1.1
<u>An1.1.2 概要</u> <u>An1.1.2.1</u> <u>次の規定に従って、座屈評価を行わなければならない。</u> <u>An1：座屈強度，許容座屈使用係数，座屈評価基準の一般的な定義</u> <u>An2：縦通防撓材及び横式防撓材の細長比要件</u> <u>An3：ハルガード応力を受ける板部材，縦通防撓材及び横式防撓材，主要支持部材及びその他の構造の規則算式による座屈</u>	UR S35, Section1, 1.2.1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>要件</u> An4 : ハッチカバーの構造部材（板部材，防撓材，主要支持部材を含む）の直接強度解析（一般的には有限要素法）による座屈要件 An5 : 板部材，防撓材，主要支持部材，柱状構造部材の座屈強度の決定	
An1.1.2.2 座屈評価 <u>ハッチカバー及び部材の座屈評価については，関連規定に従って，An2 で定義する細長比要件及び An3 又は An4 で定義する座屈要件を用いて評価しなければならない。</u>	UR S35, Section1, 1.2.2
An1.1.2.3 代替手法 <u>本附属書は，板，防撓材，主要支持部材，及び柱状構造部材の座屈強度を決定するための一般的な方法を示す。本附属書で網羅されていない特殊なケース，例えば 2 方向に防撓材を持つ板構造（すなわち，一次及び二次防撓材を持つ防撓パネル）については，有限要素解析法などのような，本会が適当と認めた方法を用いること。</u>	UR S35, Section1, 1.2.3
An1.2 用語及び前提条件 An1.2.1 座屈 An1.2.1.1 座屈強度 <u>座屈強度又は耐力は，面内圧縮力及び／又はせん断力及び面外荷重下における構造強度を指す。An1.2.1.2 の座屈挙動を考慮した座屈強度は，構造部材が大きな永久損傷を受けることなく耐えられる最終強度又は最大荷重の下限推定値を与えるものである。それぞれの構造部材に対して，それらの強度上最も支配的な座屈モードに対応するよう考慮しなければならない。</u>	UR S35, Section1, 2.1.1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>An1.2.1.2 座屈挙動</u> 座屈強度評価では、弾性座屈と座屈後の挙動の両方を考慮する。座屈後の挙動は、荷重状態や細長比、構造様式に応じて、内部荷重の再分配を考慮することが出来る。例えば、板材の座屈評価では、一般に実際の弾性座屈後の効果を利用することができる。従って、計算により求まる細長構造の座屈強度は、一般に、理想化した弾性座屈応力（最小固有値）より高い値となる。細長い板パネルの弾性座屈を許容することは、座屈使用係数が高い箇所において、大きな弾性変形が生じ、面内剛性が低下することを意味する。	UR S35, Section1, 2.1.2
<u>An1.2.2 ネット寸法手法</u> <u>An1.2.2.1 一般</u> 他に規定する場合を除き、本附属書の細長比要件を含むすべての寸法要件は、申請グロス板厚から腐食予備厚 t_c を差し引いたネット寸法に基づく。	UR S35, Section1, 2.2.1
<u>An1.2.2.2 腐食予備厚</u> 本附属書でいう腐食予備厚 t_c は、関連規定に従わなければならない。	UR S35, Section1, 2.2.2
<u>An1.2.2.3 応力計算モデル</u> 座屈評価で適用する応力計算に用いる構造モデル（通常はネット寸法に基づく）は、関連規定に従わなければならない。	UR S35, Section1, 2.2.3
<u>An1.2.3 構造の理想化</u> <u>An1.2.3.1 基本板パネル</u> 基本板パネル (EPP) とは、防撓材や主要支持部材間の防撓されていない部分の板部材をいう。EPP のパネル長さ a 及び幅 b は、それぞれ板の最も長い辺及び最も短い辺の長さとする。（図 An1 参照）	UR S35, Section1, 2.3.1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
図 An1 基本板パネル (EPP) の定義 縦式又は水平式構造 横式又は立て式構造	
An1.2.3.2 防撓材の代表的なタイプ 図 An2 に代表的な防撓材の断面寸法を示す（平鋼，バルブプレート，アングル材，T 型鋼及び L2）。他の種類の防撓材を適用する場合，座屈評価のため，図 An2 の典型的な種類のいずれかに理想化することできる。また，ハッチカバーに使用される U 型防撓材について，その断面寸法を図 An3 に示す。 特に規定のない限り，座屈評価には防撓材のスパン又は全長ℓ (mm)（主要支持部材の間隔）を使用する。 断面寸法の記号は次の通り。 b_1 : U 型防撓材で囲まれた板の幅 (mm)（図 An3 参照） b_2 : 隣接する U 型防撓材間の付き板幅 (mm)（図 An3 参照） b_f : 防撓材のフランジの幅又は面材幅 (mm)（図 An2, 図 An3 参照） b_{f-out} : ウェブの板厚中心からフランジ端部までの最大距離 (mm)（図 An2 参照） d_f : L2 形状のフランジの延長部分の幅 (mm)（図 An2 参照） e_f : プレートからフランジの中心までの距離 (mm)（図 An2 参照）。詳細な定義は，An5「記号」を参照 h_w : 防撓材のウェブ深さ (mm)（図 An2, 図 An3 参照） t_f : フランジのネット板厚 (mm)	UR S35, Section1, 2.3.2

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
t_p : 板部材のネット板厚 (mm) t_w : ウェブのネット板厚 (mm)	
図 An2 代表的な防撓材断面の寸法 平鋼 バルブプレート アングル材 T形鋼 L2	UR S35, Section1, Figure 3
図 An3 U型防撓材断面の寸法	UR S35, Section1, Figure 4

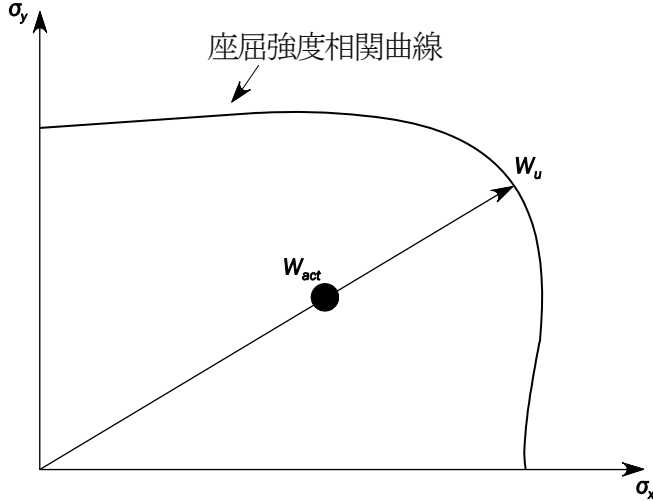
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>An1.2.3.3 防撓パネル(SP)及び非防撓パネル(UP)</u> <u>防撓材と付き板との相互作用が比較的強いパネルでは、防撓材と付き板を防撓パネルとしてモデル化し、局部座屈モードと全体座屈モードの両方を考慮できるようにしなければならない。</u> <u>一方、基本板パネル (EPP) の場合、EPP の端部に取り付けられた防撓材との相互作用を考慮せずに座屈強度を確認できる場合は、非防撓パネルとしてモデル化しなければならない。</u>	UR S35, Section1, 2.3.3
<u>An1.2.4 符号</u> <u>An1.2.4.1 応力</u> <u>本附属書においては、圧縮応力とせん断応力を正、引張応力を負の値としなければならない。</u>	UR S35, Section1, 2.4.1
<u>An1.3 評価手法と許容基準</u> <u>An1.3.1 評価手法</u> <u>An1.3.1.1 手法 A 及び手法 B</u> <u>座屈評価は、境界条件の種類を考慮して、次の 2 つの手法の内のいずれかに従って実施しなければならない。</u> <u>・手法 A：基本板パネルの端部全てが、周辺構造や隣接する板により直線保持されていることを想定して評価する。（ただし、面内変位は自由）</u> <u>・手法 B：基本板パネルの端部が、端部の面内剛性が低いこと或いは周辺構造や隣接する板が存在しないことにより、直線保持されないと想定して評価する。</u>	UR S35, Section1, 3.1.1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>An1.3.1.2 SP-A, SP-B, UP-A 及び UP-B モデル</u> <u>An1.2.3.3 で定義した防撓パネル(SP)及び非防撓パネル(UP)モデルの座屈評価について、板座屈評価手法 A 又は手法 B を適用することで、次の 4 つの座屈評価モデルを設定する。</u> ☐SP-A：手法 A を適用した防撓パネル ☐SP-B：手法 B を適用した防撓パネル ☐UP-A：手法 A を適用した非防撓パネル ☐UP-B：手法 B を適用した非防撓パネル	UR S35, Section1, 3.1.2
<u>An1.3.2 座屈使用係数</u> <u>An1.3.2.1</u> <u>使用係数ηは、作用荷重とこの作用荷重に対応した座屈強度との比とする。</u>	UR S35, Section1, 3.2.1
<u>An1.3.2.2</u> <u>組合せ荷重下において、使用係数η_{act}は、等価作用応力とこの等価作用応力に対応した座屈強度との比とし、次の算式によらなければならない。（図 An4 参照）</u> $\eta_{act} = \frac{W_{act}}{W_U} = \frac{1}{\gamma_c}$ <u>W_{act}： 等価作用応力（N/mm²）で規則算式及び直接強度解析による座屈評価において、それぞれ An3 及び An4 による。</u> <u>W_U： 板部材及び防撓材に対する等価座屈強度（N/mm²）で、An5 に規定する座屈強度又は最終強度とする。</u> <u>γ_c：崩壊時の応力の乗数</u> <u>一般的な各崩壊モードに対して、パネルの対応する強度は、実際の応力組合せを適用した上で、崩壊に至るまで（すなわち、増加又は減少した応力が座屈強度相互作用曲線又は表面上にあるとき）応力を比例的に増加又は減少させることにより計算する。</u> <u>σ_x及びσ_yの応力を受ける構造部材の座屈強度及び座屈使用係数を図 An4 に示す。</u>	UR S35, Section1, 3.2.2

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
図 An4 座屈強度及び座屈使用係数の例 	UR S35, Section1, Figure 5
<u>An1.3.3 許容座屈使用係数</u> <u>An1.3.3.1</u> <u>許容座屈使用係数η_{all}は関連規定に従って決定しなければならない。</u>	UR S35, Section1, 3.3.1
<u>An1.3.4 座屈に対する許容基準</u> <u>An1.3.4.1</u> <u>構造部材は、次の評価基準を満足する座屈強度を有していなければならない。</u> <u>$\eta_{act} \leq \eta_{all}$</u> <u>$\eta_{act}$:作用応力に基づく座屈使用係数で、An1.3.2.2 の規定による。</u> <u>η_{all}:許容座屈使用係数で、An1.3.3.1 の規定による。</u>	UR S35, Section1, 3.4.1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
記号 本節に規定されない記号については、An1.2.3.2 による。 σ_Y：考慮する構造部材の規格最小降伏応力 (N/mm^2)。	UR S35, Section2, Symbols
An2. 細長比要件 An2.1 一般 An2.1.1 序論 An2.1.1.1 U 型防撓材を除く防撓材は、An2 に示す細長比及び寸法の要件に適合しなければならない。	UR S35, Section2, 1.1.1
An2.2 防撓材 An2.2.1 防撓材の寸法 An2.2.1.1 全ての形状の防撓材のネット板厚 防撓材のネット板厚は、次に示す評価基準を満足しなければならない。 (a) 防撓材のウェブ $t_w \geq \frac{h_w}{C_w} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{235}}$ (b) フランジ $t_f \geq \frac{b_{f-out}}{C_f} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{235}}$ C_w, C_f：表 An1 に示す細長係数 (b)の要件を満たさない場合、実際のネット断面係数の算定を含む強度評価に使用する有効なフランジ端部までの最大距離は、次の算式による値としなければならない。	UR S35, Section2, 2.1.1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考															
$b_{f-out-max} = C_f t_f \sqrt{\frac{235}{\sigma_Y}}$																
表 An1 細長係数 <table><tr><td>防撓材の形状</td><td>C_w</td><td>C_f</td></tr><tr><td>アングル材及びL2材</td><td>75</td><td>12</td></tr><tr><td>T形鋼</td><td>75</td><td>12</td></tr><tr><td>バルブプレート</td><td>45</td><td>⋮</td></tr><tr><td>平鋼</td><td>22</td><td>⋮</td></tr></table> 遊縁に補強材を有する組立形鋼において、遊縁に補強材がないものとみなした組立形鋼のウェブが降伏強度評価を満足する場合、当該ウェブは、表 An1 に規定するアングル材及びL2材のウェブの細長係数に従って評価し、当該遊縁補強材は、平鋼として An2.2.1.1 に従って評価して差し支えない。ただし、An2.2.1.2 に規定するフランジに対する要件は適用しなければならない。	防撓材の形状	C_w	C_f	アングル材及びL2材	75	12	T形鋼	75	12	バルブプレート	45	⋮	平鋼	22	⋮	UR S35, Section2, Table 1
防撓材の形状	C_w	C_f														
アングル材及びL2材	75	12														
T形鋼	75	12														
バルブプレート	45	⋮														
平鋼	22	⋮														
An2.2.1.2 アングル材及びT形鋼のネット寸法 アングル材及びT形鋼のフランジの全幅b_f (mm) は、次の評価基準を満足しなければならない。 $b_f \geq 0.2h_w$	UR S35, Section2, 2.1.2															
An2.3 主要支持部材 An2.3.1 寸法及び剛性 An2.3.1.1 ウェブとフランジの寸法 主要支持部材のウェブ及びフランジの寸法は、関連規定に従って決定しなければならない。	UR S35, Section2, 3.1.1															

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
記号 <u>η_{all}: 許容座屈使用係数で, An1.3.3.1 の規定による。</u> <u>LCP: 荷重計算点で, An3.1.2.1 の規定による。</u>	UR S35, Section3, Symbols
<u>An3. 規則算式によるハルガーダの座屈要件</u> <u>An3.1 一般</u> <u>An3.1.1 序論</u> <u>An3.1.1.1</u> <u>本節は, ハルガーダ圧縮応力及びハルガーダせん断応力を受ける平面及び湾曲パネルを含む板部材, 防撓材及び波形縦通隔壁の波形部に適用する。</u>	UR S35, Section3, 1.1.1
<u>An3.1.1.2</u> <u>ハルガーダ応力を受ける構造要素の座屈評価が行われる船長方向の範囲は, 関連規定に従わなければならない。</u>	UR S35, Section3, 1.1.2
<u>An3.1.1.3 設計荷重条件</u> <u>座屈評価は, 関連規定で定義した最も厳しい荷重の組み合わせでの設計積付条件に対応する, すべての設計荷重条件に対して, 実施されなければならない。</u> <u>各設計荷重条件の, すべての静的及び動的荷重ケースについて, 面外荷重は, An3.1.2.1 で定義された荷重計算点で計算し, 関連規定で定義したハルガーダの応力組み合わせと共に適用しなければならない。</u>	UR S35, Section3, 1.1.3

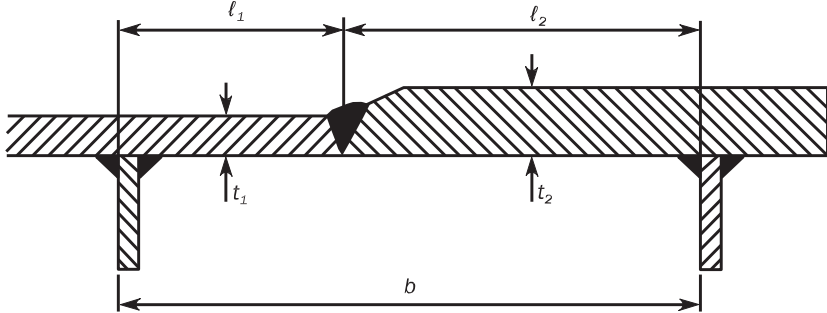
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新		備考																	
An3.1.2 定義		UR S35, Section3, 1.2.1																	
An3.1.2.1 荷重計算点																			
基本板パネル (EPP) と防撓材の荷重計算点 (LCP) は次のように定義する。																			
(a)EPP のハルガーダ応力に対する LCP																			
EPP のハルガーダ応力は、表 An2 で定義する荷重計算点にて計算する。																			
(b)縦通防撓材のハルガーダ応力に対する LCP																			
縦通防撓材のハルガーダ応力は、以下の荷重計算点で計算しなければならない。																			
・ 考慮する防撓材の長さの midpoint																			
・ 防撓材と付き板の交点																			
(c)水平防撓材の圧力に対する LCP																			
圧力に対する荷重計算点は、次の位置とする。																			
・ 考慮する防撓材の全長 ℓ の midpoint																			
・ 防撓材と付き板の交点																			
(d)水平防撓材以外の防撓材の圧力に対する LCP																			
面外圧力 P は、全長 ℓ の midpoint における圧力と次の算式による圧力の最大値として計算しなければならない。																			
$p = \frac{p_U + p_L}{2} : \text{垂直防撓材の上端が、圧力が 0 となる位置の中で最も低い位置よりも低い場合}$																			
$p = \frac{\ell_1}{\ell} \frac{p_L}{2} : \text{垂直防撓材の上端が、圧力が 0 となる位置の中で最も低い位置以上の場合 (図 An6 参照)}$																			
ℓ_1 : 垂直防撓材の下端と圧力が 0 となる位置の中で最も低い位置の間の距離 (m)																			
p_U, p_L 垂直防撓材のスパン ℓ の上端及び下端におけるそれぞれの面外圧力																			
表 An2 板の座屈に対する LCP 座標		UR S35, Section3, Table 1																	
<table><tr><th rowspan="2">LCP 座標</th><th colspan="2">ハルガーダ曲げ応力</th><th rowspan="2">ハルガーダせん断応力</th></tr><tr><th>水平板部材以外</th><th>水平板部材</th></tr><tr><td>x 座標</td><td colspan="2">EPP の長さの中間</td><td></td></tr><tr><td>y 座標</td><td>EPP の上端及び下端 P (図 An5 の点 A1 及び点 A2)</td><td>EPP の舷外側及び舷内側 (図 An5 の点 A1 及び点 A2)</td><td>EPP の midpoint (図 An5 の点 B)</td></tr><tr><td>z 座標</td><td colspan="3">x 座標及び y 座標に対応</td></tr></table>			LCP 座標	ハルガーダ曲げ応力		ハルガーダせん断応力	水平板部材以外	水平板部材	x 座標	EPP の長さの中間			y 座標	EPP の上端及び下端 P (図 An5 の点 A1 及び点 A2)	EPP の舷外側及び舷内側 (図 An5 の点 A1 及び点 A2)	EPP の midpoint (図 An5 の点 B)	z 座標	x 座標及び y 座標に対応	
LCP 座標	ハルガーダ曲げ応力			ハルガーダせん断応力															
	水平板部材以外	水平板部材																	
x 座標	EPP の長さの中間																		
y 座標	EPP の上端及び下端 P (図 An5 の点 A1 及び点 A2)	EPP の舷外側及び舷内側 (図 An5 の点 A1 及び点 A2)	EPP の midpoint (図 An5 の点 B)																
z 座標	x 座標及び y 座標に対応																		

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
図 An5 板の座屈に対する <i>LCP</i> 考慮する横断面 考慮する横断面 主要支持部材 主要支持部材 縦式構造 横式構造	UR S35, Section3, Figure 1
図 An6 垂直防撓材に作用する圧力の定義 l l_1 P_L	UR S35, Section3, Figure 2

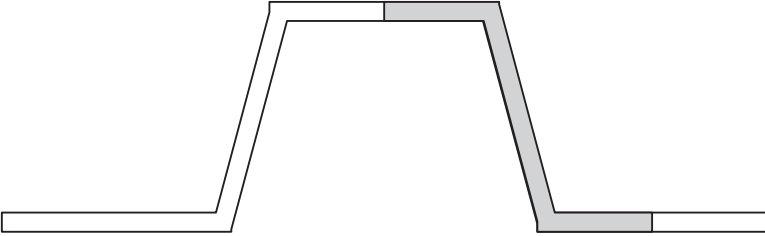
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
An3.1.3 等価板パネルの前提条件 An3.1.3.1 板厚変化する縦通防撓構造 縦式構造において、パネル幅bの範囲内で板厚が変化する場合、板厚を薄い方の板厚t_1とする等価パネルを用いて座屈評価を行わなければならない。等価パネルの幅b_{eq} (mm) は、次の算式により求まる値とする。 $b_{eq} = \ell_1 + \ell_2 \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{1.5}$ ℓ_1 : 薄い方の板厚 t_1 の箇所のパネル幅 (mm) (図 An7 参照) ℓ_2 : 厚い方の板厚 t_2 の箇所のパネル幅 (mm) (図 An7 参照)	UR S35, Section3, 1.3.1
図 An7 パネル幅の範囲内での板厚の変化 	UR S35, Section3, Figure 3
An3.1.3.2 板厚変化する横式防撓構造 横式構造において、EPP 内で板厚が変化する場合、EPP の板厚を EPP 内に存在するある板厚で一定と仮定した上で、EPP の LCP において算出した応力と圧力を適用して、板部材及び防撓材の座屈評価を行わなければならない。評価については、EPP 内に存在する板厚毎に実施する。	UR S35, Section3, 1.3.2
An3.1.3.3 異なる材料のパネル パネル内で材料が異なる場合、座屈強度評価においては、最小の降伏強度を用いなければならない。	UR S35, Section3, 1.3.3

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>An3.2 座屈評価基準</u> <u>An3.2.1 防撓パネル全体</u> <u>An3.2.1.1</u> 防撓パネル全体の座屈強度は、次の評価基準を満足しなければならない。 <u>$\eta_{overall} \leq \eta_{all}$</u> $\eta_{overall}$: 最大使用係数で、An5.2.1 の規定による。	UR S35, Section3, 2.1.1
<u>An3.2.2 板部材</u> <u>An3.2.2.1</u> 基本板パネルの座屈強度は、次の評価基準を満足しなければならない。 <u>$\eta_{plate} \leq \eta_{all}$</u> η_{plate} : SP-A に従って計算された板部材に対する最大使用係数で、An5.2.2 の規定による。 <u>単船側ばら積貨物船のホッパタンクとトップサイドタンクとの間で垂直方向に防撓された船側外板に対するη_{plate}にあつては、表 An5 のパネルの短辺固定に対応するケース 12 及び 16 において、σ_yを平均化し$\psi_y = 1$と見なして、決定しなければならない。</u>	UR S35, Section3, 2.2.1
<u>An3.2.3 防撓材</u> <u>An3.2.3.1</u> 防撓材又は単船側ばら積貨物船のサイドフレームの座屈強度は、次の評価基準を満足しなければならない。 <u>$\eta_{stiffener} \leq \eta_{all}$</u> $\eta_{stiffener}$: 防撓材に対する最大使用係数で、An5.2.3 の規定による。 <u>(備考 1) An3.2.1 に示す防撓パネル全体の強度を満足する場合にのみ、本座屈評価を実施することができる。</u> <u>(備考 2) 防撓材の座屈評価は、座屈パネルの長辺に沿って取り付けられた防撓材にのみ適用する。</u>	UR S35, Section3, 2.3.1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>An3.2.4 垂直波形縦通隔壁</u> <u>An3.2.4.1</u> <u>垂直波形縦通隔壁のせん断座屈強度は、次の評価基準を満足しなければならない。</u> <u>$\eta_{shear} \leq \eta_{all}$</u> η_{shear} : 波形隔壁に対する最大せん断使用係数 <u>$\eta_{shear} = \frac{\tau_{bhd}}{\tau_c}$</u> τ_{bhd} : 隔壁のせん断応力 (N/mm²) で、関連規定に規定するハルガーダせん断応力による。 τ_c : 最終せん断応力 (N/mm²) で、An5.2.2.3 の規定による。	UR S35, Section3, 2.4.1
<u>An3.2.5 水平波形縦通隔壁</u> <u>An3.2.5.1</u> <u>1/2 フランジ+ウェブ+1/2 フランジの範囲内の各波形部（図 An8 においてグレーで示す波形の 1/2 ピッチ）は、次の評価基準を満足しなければならない。</u> <u>$\eta_{column} \leq \eta_{all}$</u> η_{column} : 柱としてみた単位波形部全体に対する座屈使用係数で、An5.3.1 の規定による。	UR S35, Section3, 2.5.1
図 An8 波形の 1/2 ピッチ 	UR S35, Section3, Figure 4

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
記号 σ_{Y_P}: An4.2.1.3 で定義する板部材の規格最小降伏応力 σ_{Y_S}: An4.2.1.3 で定義する防撓材の規格最小降伏応力 α: パネルのアスペクト比で, An5 の記号による。 η_{all}: 許容座屈使用係数で, An1.3.3.1 の規定による。	UR S35, Section4, Symbols
An4. 直接強度解析によるハッチカバーの座屈要件 An4.1 一般 An4.1.1 序論 An4.1.1.1 本節の規定は, 直応力, せん断応力及び面外圧力を受けるハッチカバーの構造部材の直接強度解析 (一般的には, 有限要素解析) による座屈評価に対して適用する。	UR S35, Section4, 1.1.1
An4.1.1.2 関連規定に従って実施する直接強度解析における全ての構造要素に対して, 個々に評価を行わなければならない。座屈評価を行う構造要素は, 次によらなければならない。 ・ <u>防撓パネル及び非防撓パネル</u> ・ <u>開口を有するウェブ</u>	UR S35, Section4, 1.1.2

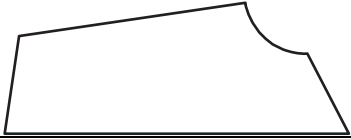
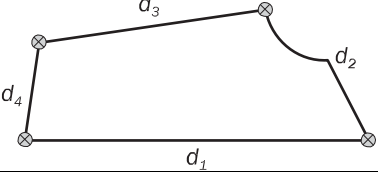
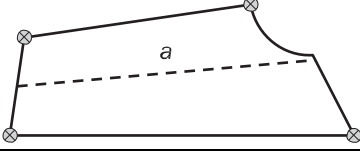
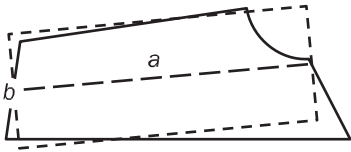
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>An4.2 防撓パネル及び非防撓パネル</u> <u>An4.2.1 一般</u> <u>An4.2.1.1</u> ハッチカバー構造のパネルは、防撓パネル又は非防撓パネルとしてモデル化され、板座屈強度の計算には An1.3.1.1 で定義する手法 A 又は手法 B のいずれかを使用し、その組み合わせは An1.3.1.2 で定義する座屈評価モデルによらなければならない。	UR S35, Section4, 2.1.1
<u>An4.2.1.2 パネルの平均板厚</u> 有限要素解析において、パネル内で板厚が一定でない場合には、座屈評価に用いるパネルは、次に示す加重平均板厚を用いて、モデル化しなければならない。 $t_{avr} = \frac{\sum_1^n A_i t_i}{\sum_1^n A_i}$ <u>A_i : i 番目の板要素の面積</u> <u>t_i : i 番目の板要素のネット板厚</u> <u>n : 座屈パネルを構成する有限要素の数</u>	UR S35, Section4, 2.1.2
<u>An4.2.1.3 板部材及び防撓材の規格最小降伏応力</u> 板部材の規格最小降伏応力 σ_{Y_p} は、板部材内の各要素の降伏応力の最小値とする。また、防撓材の規格最小降伏応力 σ_{Y_s} は防撓材内の各要素の降伏応力の最小値とする。	UR S35, Section4, 2.1.3

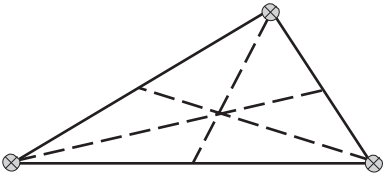
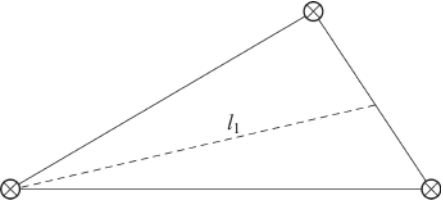
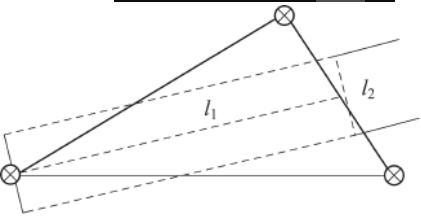
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>An4.2.2 防撓パネル</u> <u>An4.2.2.1</u> <u>防撓パネルの場合、各防撓材（付き板を有する）は、関連規定で定義する範囲の防撓パネルモデルとして理想化しなければならない。</u>	UR S35, Section4, 2.2.1
<u>An4.2.2.2</u> <u>防撓材寸法又は防撓材心距が防撓パネル内で変化する場合、パネル内の全ての配置（すなわち、防撓材及び防撓材間の板のそれぞれ）について個々に計算しなければならない。考慮する箇所の板厚、防撓材寸法及び防撓材心距がパネル全体で同一と仮定して計算を行う。</u>	UR S35, Section4, 2.2.2
<u>An4.2.2.3</u> <u>防撓パネルの防撓材の座屈評価は、座屈パネルの長辺に沿って取り付けられた防撓材にのみ適用する。</u>	UR S35, Section4, 2.2.3
<u>An4.2.3 非防撓パネル</u> <u>An4.2.3.1 不規則パネル</u> <u>ウェブフレーム及びブラケットにあっては、パネルの形状（ウェブ防撓材／面材に囲まれたパネル）は矩形でない場合がある。この場合、有限要素解析において、不規則な形状に対しては An4.2.3.2、三角形形状に対しては An4.2.3.3 に従って、当該パネルを等価な矩形パネルと考え、座屈評価を満足しなければならない。</u>	UR S35, Section4, 2.3.1
<u>An4.2.3.2 不規則な形状を有する非防撓パネルのモデル化</u> <u>不規則な形状を有する非防撓パネルは、板の座屈評価を行うため、次の手順に従って等価なパネルに理想化しなければならない。</u>	UR S35, Section4, 2.3.2

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>(a) 多角形板において、最も 90 度に近い 4 つのコーナを特定する。</u> 	
<u>(b) 多角形板の境界に沿ったコーナ間の距離、すなわち、コーナ間の各直線部分の合計距離を計算する。</u> 	UR S35, Section4, 2.3.2
<u>(c) 向かい合う辺の長さの合計 d_1+d_3 及び d_2+d_4 のうち、小さい方を特定する。</u> 	UR S35, Section4, 2.3.2
<u>(d) 選んだ向かい合う辺のそれぞれ中間の点（すなわち、境界に沿ったコーナ間の距離の半分における点）を直線で結ぶ。この線分を強度モデルの長辺方向と定義する。この線分の長さを強度モデルの長さ a として定義する。</u>	UR S35, Section4, 2.3.2
<u>(e) 短辺方向の長さ b (mm) は、次の算式による。</u> $b = \frac{A}{a}$ <u>A : 板の面積 (mm²)</u> <u>a : (d)に示す長さ (mm)</u> 	UR S35, Section4, 2.3.2
<u>(f) 直接強度解析から求まる応力は、等価な矩形パネルの座標系における値に変換しなければならない。これらの応力は、座屈評価において用いなければならない。</u>	UR S35, Section4, 2.3.2

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
An4.2.3.3 三角形形状を有する非防撓パネルのモデル化 三角形形状を有する非防撓パネルは、板の座屈評価を行うため、次の手順に従って等価なパネルに理想化しなければならない。 (a) 次を示すように中線を引く。 	UR S35, Section4, 2.3.3
(b) 中線の内、最長のものを特定する。この中線の長さをℓ_1 (mm) とし、この中線を強度モデルの長辺方向と定義する。 	UR S35, Section4, 2.3.3
(c) モデルの幅ℓ_2 (mm) は、次の算式による。 $\ell_2 = \frac{A}{\ell_1}$ A : 板の面積 (mm²) 	UR S35, Section4, 2.3.3

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
(d) 等価な矩形パネルの短辺方向の長さ b 及び長辺方向の長さ a (mm) は、次の算式による。 $b = \frac{\ell_2}{C_{tri}}$ $a = \ell_1 C_{tri}$ $C_{tri} = 0.4 \frac{\ell_2}{\ell_1} + 0.6$	UR S35, Section4, 2.3.3
(e) 直接強度解析から求まる応力は、等価な矩形パネルの座標系における値に変換し、等価な矩形パネルの座屈評価において用いなければならない。	UR S35, Section4, 2.3.3
<u>An4.2.4 参照応力</u> <u>An4.2.4.1</u> 座屈モデルに適用する応力分布は、関連規定に従って、直接強度解析により求めなければならない。	UR S35, Section4, 2.4.1
<u>An4.2.4.2</u> 有限要素解析において、参照応力は、付録 14.6「応力法による参照応力」に規定する参照応力に基づく応力を用いて計算しなければならない。	UR S35, Section4, 2.4.2
<u>An4.2.5 面外圧力</u> <u>An4.2.5.1</u> 直接強度解析に適用する面外圧力は、座屈評価においても適用しなければならない。	UR S35, Section4, 2.5.1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>An4.2.5.2</u> <u>有限要素解析において、座屈パネルが多数の有限板要素から構成されていて、座屈パネル内の面外圧力が一定でない場合、平均面外圧力 (N/mm²) は、次の算式を用いて計算しなければならない。</u> $P_{avr} = \frac{\sum_1^n A_i P_i}{\sum_1^n A_i}$ <u>A_i : i 番目の板要素の面積 (mm²)</u> <u>P_i : i 番目の板要素の面外圧力 (N/mm²)</u> <u>n : 座屈パネル内の有限要素の数</u>	UR S35, Section4, 2.5.2
<u>An4.2.6 座屈評価基準</u> <u>An4.2.6.1 UP-A</u> <u>UP-A の圧縮座屈強度は、次に示す評価基準を満足しなければならない。</u> $\eta_{UP-A} \leq \eta_{all}$ <u>η_{UP-A} : 板部材の座屈使用係数で、An5.2.2 に規定する手法 A に従って計算する。</u>	UR S35, Section4, 2.6.1
<u>An4.2.6.2 UP-B</u> <u>UP-B の圧縮座屈強度は、次に示す評価基準を満足しなければならない。</u> $\eta_{UP-B} \leq \eta_{all}$ <u>η_{UP-B} : 板部材の座屈使用係数で、An5.2.2 に規定する手法 B に従って計算する。</u>	UR S35, Section4, 2.6.2

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
An4.2.6.3 SP-A <u>SP-A の圧縮座屈強度は、次に示す評価基準を満足しなければならない。</u> <u>$\eta_{SP-A} \leq \eta_{all}$</u> <u>$\eta_{SP-A}$: 防撓パネルに対する座屈使用係数であり、次の座屈使用係数の最大値とする。</u> • <u>An5.2.1 に規定する防撓パネル全体の座屈使用係数$\eta_{overall}$</u> • <u>An5.2.2 に規定する手法 A に従って計算する板部材の座屈使用係数</u> • <u>An5.2.3 に規定する防撓材の座屈使用係数$\eta_{stiffener}$ で、形状（板厚、寸法）、圧力（An4.2.5.2 参照）及び防撓材の両側の各 EPP における参照応力を別々に考慮するものとする。</u> <u>（備考 1）防撓材の座屈強度評価は、An5.2.1 に示す防撓パネル全体の強度評価を満たす場合にのみ、満足する。</u>	UR S35, Section4, 2.6.3
An4.2.6.4 SP-B <u>SP-B の圧縮座屈強度は、次に示す評価基準を満足しなければならない。</u> <u>$\eta_{SP-B} \leq \eta_{all}$</u> <u>$\eta_{SP-B}$: 防撓パネルに対する座屈使用係数であり、次の座屈使用係数の最大値とする。</u> • <u>An5.2.1 に規定する防撓パネル全体の座屈使用係数$\eta_{overall}$</u> • <u>An5.2.2 に規定する手法 B に従って計算する板部材の座屈使用係数</u> • <u>An5.2.3 に規定する防撓材の座屈使用係数$\eta_{stiffener}$ で、形状（板厚、寸法）、圧力（An4.2.5.2 参照）及び防撓材の両側の各 EPP における参照応力を別々に考慮するものとする。</u> <u>（備考 1）防撓材の座屈強度評価は、An5.2.1 に示す防撓パネル全体の強度評価を満たす場合にのみ、満足する。</u>	UR S35, Section4, 2.6.4
An4.2.6.5 開口を有するウェブ <u>開口を有する主要支持部材のウェブは、次の評価基準を満足しなければならない。</u> <u>$\eta_{opening} \leq \eta_{all}$</u> <u>$\eta_{opening}$: 開口を有するウェブに対する最大使用係数で、An1.3.2.2 の規定により計算し、崩壊時の応力の乗数であるγ_cは、An5.2.4 の規定により計算する。</u>	UR S35, Section4, 2.6.5

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
記号 A_p : 付き板のネット断面積 (mm^2) で、次による。 $A_p = st_p$ A_s : 付き板を含まない防撓材のネット断面積 (mm^2) a : パネルの長辺方向の長さ (mm) b : パネルの短辺方向の長さ (mm) b_{eff} : 防撓材の付き板の有効幅 (mm) で、An5.2.3.5 の規定による。 b_{eff1} : せん断遅れによる影響を無視した防撓材の付き板の有効幅 (mm) で、次による。 • $\sigma_x > 0$ の場合 規則計算による評価に対して： $b_{eff1} = \frac{C_{x1}b_1 + C_{x2}b_2}{2}$ 有限要素解析に対して： $b_{eff1} = C_x b$ • $\sigma_x \leq 0$ の場合 $b_{eff1} = b$ b_f : 防撓材のフランジの幅 (mm) b_1, b_2 : 考慮する防撓材の両側のパネルの幅 (mm) で、U 型防撓材を有する防撓パネルの場合は、図 An3 の規定による。 C_{x1}, C_{x2} : 表 An5 に規定する軽減係数で、ケース 1 に従い考慮する防撓材の両側の $EPP1$ 及び $EPP2$ に使用する。 d : 表 An6 に示す湾曲パネルに対応する円柱軸に平行な辺の長さ。 (mm) d_f : L2 形状のフランジの延長部分の幅 (mm) で、図 An2 による。 e_f : 付き板からフランジ中央までの距離 (mm) (図 An2 参照) で、次による。 平鋼の場合：$e_f = h_w$ バルブプレートの場合：$e_f = h_w - 0.5t_f$ 山型鋼、L2 材及び T 型鋼の場合：$e_f = h_w + 0.5t_f$ F_{long} : 係数で、An5.2.2.4 の規定による。	UR S35, Section5, Symbols

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>F_{tran} :</u> 係数で, An5.2.2.5 の規定による。 <u>h_w :</u> 防撓材のウェブ深さ (mm) (図 An2 参照) <u>ℓ :</u> 防撓材のスパンで主要支持部材間の心距に等しい。又は船側におけるサイドフレームのスパンでホップタンクとトップサイドタンク間の距離に等しい。(mm) <u>R :</u> 湾曲パネルの半径 (mm) <u>σ_{y_p} :</u> 板の規格最小降伏応力 (N/mm²) <u>σ_{y_s} :</u> 防撓材の規格最小降伏応力 (N/mm²) <u>S :</u> 部分安全係数で, 他に規定されている場合を除いて, 1.0 とする。 <u>t_p :</u> パネルのネット板厚 (mm) <u>t_w :</u> 防撓材のウェブのネット板厚 (mm) <u>t_f :</u> フランジのネット板厚 (mm) <u>x-axis :</u> 矩形座屈パネルの長辺に平行な局部座標軸 <u>y-axis :</u> 矩形座屈パネルの長辺に垂直な局部座標軸 <u>α :</u> パネルのアスペクト比 (表 An5 参照) で, 次による。 $\alpha = \frac{a}{b}$ <u>β :</u> 係数で, 次による。 $\beta = \frac{1 - \psi}{\alpha}$ <u>ω :</u> 係数で, 次による。 <u>$\omega = \min(3, \alpha)$</u> <u>σ_x :</u> 座屈パネルの辺上に作用する x 軸方向の応力 (N/mm²) <u>σ_y :</u> 座屈パネルの辺上に作用する y 軸方向の応力 (N/mm²) <u>σ_1 :</u> パネルの辺上に作用する最大応力 (N/mm²) <u>σ_2 :</u> パネルの辺上に作用する最小応力 (N/mm²) <u>σ_E :</u> 弾性座屈参照応力 (N/mm²) で, 次による。 <u>・ An5.2.2.1 による板部材の限界状態を適用する場合</u>	

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t_p}{b} \right)^2$ ・ <u>An5.2.2.6 による湾曲パネルを適用する場合</u> $\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t_p}{d} \right)^2$ τ : <u>作用するせん断応力 (N/mm²)</u> τ_c : <u>せん断座屈強度 (N/mm²) で, An5.2.2.3 の規定による。</u> ψ : <u>端部応力比で, 次による。</u> $\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ γ : <u>荷重に掛ける応力の乗数。作用荷重が相関式に達する場合, $\gamma = \gamma_c$ となる。</u> γ_c : <u>崩壊時の応力の乗数</u> γ_{GEB} : <u>全体弾性座屈強度の応力の乗数</u>	
<u>An5.座屈強度</u> <u>An5.1 一般</u> <u>An5.1.1 導入</u> <u>An5.1.1.1</u> <u>An5.では, 板部材, 防撓材, 主要支持部材, 柱状構造部材の座屈強度の決定手法について規定する。</u>	UR S35, Section5, 1.1.1
<u>An5.1.1.2</u> <u>本節の適用にあたり, 構造部材に作用する応力σ_x, σ_y, τは, 次による。</u> ・ <u>規則算式によるハルガーダの座屈要件については, An3 の規定</u> ・ <u>直接強度解析によるハッチカバーの座屈要件については, An4 の規定</u>	UR S35, Section5, 1.1.2

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>An5.1.1.3 座屈強度</u> 座屈強度は、実際の応力組合せを適用した上で、An5.2.1.1、An5.2.2.1 及び An5.2.3.4 に規定するそれぞれの相関式が 1 に等しくなるまで応力を比例的に増加及び減少させることにより計算する。	UR S35, Section5, 1.1.3
<u>An5.1.1.4 座屈使用係数</u> 構造部材の座屈使用係数は、異なる座屈モードにおいて得られる使用係数の最大値に等しい。	UR S35, Section5, 1.1.4
<u>An5.1.1.5 面外圧力</u> 面外圧力は、An5.1.1.3 に規定する座屈強度の計算において一定値として考慮し、適用しなければならない。	UR S35, Section5, 1.1.5
<u>An5.2 板部材の座屈強度</u> <u>An5.2.1 防撓パネル全体</u> <u>An5.2.1.1</u> 弾性防撓パネルの限界状態は、次の相関式による。これは、An5.2.3.4 による防撓材の座屈評価の前提条件となる。 $\frac{\gamma_c}{\gamma_{GEB}} = 1$ 対応する座屈使用係数は次による。 $\eta_{overall} = \frac{1}{\gamma_c}$ 全体弾性座屈強度の応力の乗数γ_{GEB}は、次の算式に基づき計算しなければならない。 $\tau \neq 0$ かつ $(\sigma_x > 0 \text{ 又は } \sigma_y > 0)$ の場合、$\gamma_{GEB} = \gamma_{GEB,bi+\tau}$ $\tau = 0$ かつ $(\sigma_x > 0 \text{ 又は } \sigma_y > 0)$ の場合、$\gamma_{GEB} = \gamma_{GEB,bi}$ $\tau \neq 0$ かつ $(\sigma_x \leq 0 \text{ かつ } \sigma_y \leq 0)$ の場合、$\gamma_{GEB} = \gamma_{GEB,\tau}$ $\gamma_{GEB,bi}$、$\gamma_{GEB,\tau}$ 及び $\gamma_{GEB,bi+\tau}$ は、それぞれ An5.2.1.2、An5.2.1.3 及び An5.2.1.4 による異なる荷重組合せに対する全体弾性座屈強度の応力の乗数とする。ただし、$\gamma_{GEB,bi}$、$\gamma_{GEB,\tau}$ 及び $\gamma_{GEB,bi+\tau}$ の計算において、σ_x 及び σ_y は 0 未満としては	UR S35, Section5, 2.1.1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
ならない。 σ_x, σ_y : 板部材に作用する直応力 (N/mm²) で, An5.2.2.7 の規定による。 τ : 作用するせん断応力 (N/mm²) で, An5.2.2.7 の規定による。	
An5.2.1.2 二軸荷重を受ける防撓パネルの応力の乗数 $\gamma_{GEB,bi}$ は, 次による。 $\gamma_{GEB,bi} = \frac{\pi^2}{L_{B1}^2 L_{B2}^2} \frac{[D_{11} L_{B2}^4 + 2(D_{12} + D_{33}) n^2 L_{B1}^2 L_{B2}^2 + n^4 D_{22} L_{B1}^4]}{L_{B2}^2 N_x + n^2 L_{B1}^2 N_y}$ N_x : 防撓パネルの辺上に作用する x 軸方向の単位長さ当たりの荷重 (N/mm) で, 次による。 $N_x = \sigma_{x,av} (A_p + A_s) / s$ U 型防撓材を有する防撓パネルにあつては, 防撓材の心距 s は次による。 $s = b_1 + b_2$ ここで, b_1 及び b_2 は, 図 An3 による。 N_y : 防撓パネルの辺上に作用する y 軸方向の単位長さ当たりの荷重 (N/mm) で, 次による。 $N_y = c \sigma_y t_p$ L_{B1} : 防撓材のスパン (mm) で, 主要支持部材間の心距 ℓ に等しい。特に単船側ばら積貨物船の垂直方向に防撓される船側外板にあつては, $L_{B1} = 0.8\ell$ とする。 L_{B2} : 側面支持間の防撓パネルの合計の幅 (mm) で, 防撓材の心距の 6 倍 ($6s$) とする。 n : 防撓材に垂直な方向に沿った半波の数。乗数 $\gamma_{GEB,bi}$ は波のパラメータ n について最小, すなわち, ゼロより大きい最小値としなければならない。 c : 防撓材に垂直な方向に作用する付き板内の直応力を考慮するための係数 $0 \leq \Psi \leq 1 \text{ の場合 : } c = 0.5(1 + \Psi)$ $\Psi < 0 \text{ の場合 : } c = \frac{1}{2(1 - \Psi)}$ Ψ : 表 An5 によるケース 2 の端部応力比 $\sigma_{x,av}$: 板及び防撓材の平均応力で, 次の算式による。	UR S35, Section5, 2.1.2

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
$\sigma_x > 0$ 及び $\sigma_y > 0$ の場合: $\sigma_{x,av} = \sigma_x - \nu c \sigma_y A_s / (A_p + A_s) \geq 0$ $\sigma_x \leq 0$ 又は $\sigma_y \leq 0$ の場合: $\sigma_{x,av} = \sigma_x$ $D_{11}, D_{12}, D_{22}, D_{33}$: 防撓パネルの曲げ剛性係数 (Nmm) で、次による。 $\left. \begin{aligned} D_{11} &= \frac{EI_{eff} 10^4}{s} \\ D_{12} &= \frac{Et_p^3 \nu}{12(1 - \nu^2)} \\ D_{22} &= \frac{Et_p^3}{12(1 - \nu^2)} \\ D_{33} &= \frac{Et_p^3}{12(1 + \nu)} \end{aligned} \right\}$ U 型防撓材を有する防撓パネルの場合、D_{12} 及び D_{22} は次による。 $D_{22} = \frac{Et_p^3}{12(1 - \nu^2)} \left[1.2 + 4.8 \times \text{Min} \left(1.0, \frac{b_1^2}{h_w(b_1 + b_2)} \right) \times \text{Min} \left(1.0, \left(\frac{t_w}{t_p} \right)^3 \right) \right]$ $D_{12} = \nu D_{22}$ h_w は U 型防撓材のウェブの幅であり、図 An3 の規定による。 I_{eff}: 付き板の有効幅を含む防撓材の断面二次モーメント (cm^4) で、An5.2.3.4 に規定する I と同じものとする。	
An5.2.1.3 純せん断荷重を受ける防撓パネルの応力の乗数 $\gamma_{GEB,\tau}$ は、次による。 $D_{11}D_{22} \geq (D_{12} + D_{33})^2 \text{ の場合: } \gamma_{GEB,\tau} = \frac{\sqrt{D_{11}^3 D_{22}}}{(L_{B1}/2)^2 N_{xy}} \left[8.125 + 5.64 \sqrt{\frac{(D_{12} + D_{33})^2}{D_{11}D_{22}}} - 0.6 \frac{(D_{12} + D_{33})^2}{D_{11}D_{22}} \right]$ $D_{11}D_{22} < (D_{12} + D_{33})^2 \text{ の場合: } \gamma_{GEB,\tau} = \frac{\sqrt{2D_{11}(D_{12} + D_{33})}}{(L_{B1}/2)^2 N_{xy}} \left[8.3 + 1.525 \frac{D_{11}D_{22}}{(D_{12} + D_{33})^2} - 0.493 \frac{D_{11}^2 D_{22}^2}{(D_{12} + D_{33})^4} \right]$ $N_{xy} = \tau t_p$	UR S35, Section5, 2.1.3

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
An5.2.1.4 <u>組合せ荷重を受ける防撓パネルの応力の乗数$\gamma_{GEB,bi+\tau}$は、次による。</u> $\gamma_{GEB,bi+\tau} = \frac{1}{2} \gamma_{GEB,\tau}^2 \left[-\frac{1}{\gamma_{GEB,bi}} + \sqrt{\frac{1}{\gamma_{GEB,bi}^2} + 4 \frac{1}{\gamma_{GEB,\tau}^2}} \right]$ <u>$\gamma_{GEB,bi}$及び $\gamma_{GEB,\tau}$は、それぞれ An5.2.1.2 及び An5.2.1.3 による。</u>	UR S35, Section5, 2.1.4
An5.2.2 板部材 An5.2.2.1 板部材の限界状態 <u>板部材の限界状態は、次の相関式による。</u> $\left(\frac{\gamma_{c1} \sigma_x S}{\sigma_{cx}} \right)^{e_0} - B \left(\frac{\gamma_{c1} \sigma_x S}{\sigma_{cx}} \right)^{\frac{e_0}{2}} \left(\frac{\gamma_{c1} \sigma_y S}{\sigma_{cy}} \right)^{\frac{e_0}{2}} + \left(\frac{\gamma_{c1} \sigma_y S}{\sigma_{cy}} \right)^{e_0} + \left(\frac{\gamma_{c1} \tau S}{\tau_c} \right)^{e_0} = 1$ $\sigma_x \geq 0 \text{ の場合 : } \frac{\left(\frac{\gamma_{c2} \sigma_x S}{\sigma_{cx}} \right)^{2/\beta_p^{0.25}} + \left(\frac{\gamma_{c2} \tau S}{\tau_c} \right)^{2/\beta_p^{0.25}}}{\left(\frac{\gamma_{c3} \sigma_y S}{\sigma_{cy}} \right)^{2/\beta_p^{0.25}} + \left(\frac{\gamma_{c3} \tau S}{\tau_c} \right)^{2/\beta_p^{0.25}}} = 1$ $\sigma_y \geq 0 \text{ の場合 : } \frac{\left(\frac{\gamma_{c3} \sigma_y S}{\sigma_{cy}} \right)^{2/\beta_p^{0.25}} + \left(\frac{\gamma_{c3} \tau S}{\tau_c} \right)^{2/\beta_p^{0.25}}}{\left(\frac{\gamma_{c4} \tau S}{\tau_c} \right)} = 1$ <u>$\gamma_c = \text{Min}(\gamma_{c1}, \gamma_{c2}, \gamma_{c3}, \gamma_{c4})$</u> <u>対応する座屈使用係数は次による。</u> $\eta_{plate} = \frac{1}{\gamma_c}$ <u>σ_x, σ_y : 板部材に作用する直応力 (N/mm²) で、An5.2.2.7 の規定による。</u> <u>τ : 板部材に作用するせん断応力 (N/mm²)</u> <u>σ_{cx} : 座屈パネルの長辺に平行な方向の最終座屈応力 (N/mm²) で、An5.2.2.3 の規定による。</u>	UR S35, Section5, 2.2.1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考									
σ_{cy} : 座屈パネルの短辺に平行な方向の最終座屈応力 (N/mm²) で, An5.2.2.3 の規定による。 τ_c : 最終座屈せん断応力 (N/mm²) で, An5.2.2.3 の規定による。 $\gamma_{c1}, \gamma_{c2}, \gamma_{c3}, \gamma_{c4}$: 上記の異なる限界状態における崩壊時の応力の乗数。γ_{c2} 及び γ_{c3} は, それぞれ $\sigma_x \geq 0$ 及び $\sigma_y \geq 0$ の場合のみ考慮しなければならない。 B : 係数で表 An3 による。 e_0 : 係数で表 An3 による。 β_p : 板部材の細長パラメータで, 次による。 $\beta_p = \frac{b}{t_p} \sqrt{\frac{\sigma_{Y-P}}{E}}$										
表 An3 係数 B 及び e_0 の定義 <table><tr><th>作用応力</th><th>B</th><th>e_0</th></tr><tr><td>$\sigma_x \geq 0$ 及び $\sigma_y \geq 0$</td><td>$0.7 - 0.3 \beta_p / \alpha^2$</td><td>$2 / \beta_p^{0.25}$</td></tr><tr><td>$\sigma_x < 0$ 又は $\sigma_y < 0$</td><td><u>1.0</u></td><td><u>2.0</u></td></tr></table>	作用応力	B	e_0	$\sigma_x \geq 0$ 及び $\sigma_y \geq 0$	$0.7 - 0.3 \beta_p / \alpha^2$	$2 / \beta_p^{0.25}$	$\sigma_x < 0$ 又は $\sigma_y < 0$	<u>1.0</u>	<u>2.0</u>	UR S35, Section5, Table 1
作用応力	B	e_0								
$\sigma_x \geq 0$ 及び $\sigma_y \geq 0$	$0.7 - 0.3 \beta_p / \alpha^2$	$2 / \beta_p^{0.25}$								
$\sigma_x < 0$ 又は $\sigma_y < 0$	<u>1.0</u>	<u>2.0</u>								
An5.2.2.2 参照細長比 参照細長比は, 次によらなければならない。 $\lambda = \sqrt{\frac{\sigma_{Y-P}}{K \sigma_E}}$ K : 表 An5 及び表 An6 に示す座屈係数	UR S35, Section5, 2.2.2									

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
An5.2.2.3 最終座屈応力 板部材の最終座屈応力 (N/mm^2) は、次によらなければならない。 $\sigma_{cx} = C_x \sigma_{y-p}$ $\sigma_{cy} = C_y \sigma_{y-p}$ せん断力を受ける板部材の最終座屈応力 (N/mm^2) は、次によらなければならない。 $\tau_c = C_\tau \frac{\sigma_{y-p}}{\sqrt{3}}$ C_x, C_y, C_τ : 表 An5 に示す軽減係数 • <u>An5.2.2.1 の第1 算式において、$\sigma_x < 0$ 又は $\sigma_y < 0$ の場合、軽減係数は次による。</u> $C_x = C_y = C_\tau = 1$ • <u>その他の場合</u> • <u>SP-A 及び UP-A の場合、表 An5 に従って C_y を計算する際には次を用いる。</u> $c_1 = \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \geq 0$ • <u>SP-B 及び UP-B の場合、表 An5 に従って C_y を計算する際には次を用いる。</u> $c_1 = 1$ • <u>ばら積貨物船の垂直方向に防撓される単船側部の場合、表 An5 に従って C_y を計算する際には次を用いる。</u> $c_1 = \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \geq 0$ • <u>波形隔壁の波形部の場合、表 An5 に従って C_y を計算する際には次を用いる。</u> $c_1 = \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \geq 0$ 板の境界条件は、表 An5 のケース 1, 2 及び 15 に示すように、単純支持として考慮しなければならない。境界条件が単純支持と大きく異なる場合は、本会の同意を条件として、表 An5 の別のケースに従って、より適切な境界条件を適用して差し支えない。	UR S35, Section5, 2.2.3

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>An5.2.2.4 修正係数F_{long}</u> <u>座屈パネルの長辺方向の端部防撓材のタイプにより決定される修正係数F_{long}は、表 An4 による。異なる端部防撓材を持つ板部材に対しては、F_{long} の平均値を用いなければならない。防撓材のタイプが表 An4 に示すもの以外の場合は、c の値は本会の同意を得た値としなければならない。また、非線形有限要素解析を用いたパネルの座屈強度評価によりc の値を検証し、かつ、本会が適当と認める場合にあっては、表 An4 に示すc の値より大きい値を用いて差し支えない。</u>	UR S35, Section5, 2.2.4

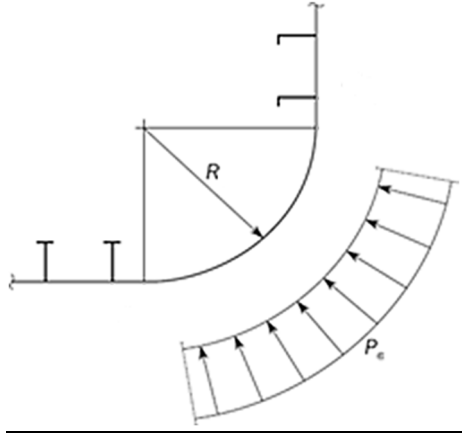
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新				備考	
表 An4 修正係数 F_{long}					UR S35, Section5, Table 2
構造要素のタイプ		F_{long}		c	
非防撓パネル		1.0		N/A	
防撓パネル	両端固定以外の防撓材		1.0	N/A	
	両端固定の防撓材	平鋼 ⁽¹⁾		0.10	
		バルブプレート	$\frac{t_w}{t_p} > 1$ の場合 $F_{long} = c + 1$	0.30	
		山型鋼及び L2 材	$\frac{t_w}{t_p} \leq 1$ の場合 $F_{long} = c \left(\frac{t_w}{t_p} \right)^3 + 1$	0.40	
		T 型鋼		0.30	
		剛性の高い桁部材 (船底横桁等)	1.4	N/A	
	ハッチカバーに設ける U 型鋼 ⁽²⁾		・ U 型鋼を設けた板部材で, $EPP\ b_1$ 及び $EPP\ b_2$ を含む ・ $b_2 < b_1$ の場合 $F_{long} = 1$ ・ $b_2 \geq b_1$ の場合 $F_{long} = \left(1.55 - 0.55 \frac{b_1}{b_2} \right) \left[1 + c \left(\frac{t_w}{t_p} \right)^3 \right]$ ・ その他の U 型鋼 : $F_{long} = 1$ 0.2		
(1) t_w は, An5.2.3.2 に規定する修正を含まないウェブのネット板厚 (mm) とする。 (2) b_1 及び b_2 は図 An3 の規定による。					

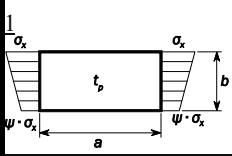
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
An5.2.2.5 修正係数F_{tran} <u>修正係数 F_{tran} は、次によらなければならない。</u> ・ <u>単船側ばら積貨物船のホッパタンク及びトップサイドタンク間の横式に防撓された EPP の場合：</u> ・ $F_{tran}=1.25$：2つの隣接するフレームが、隣接する板部材の箇所において1つのトリッピングブラケットにより支持される場合 ・ $F_{tran}=1.33$：2つの隣接するフレームが、隣接する板部材の箇所において2つのトリッピングブラケットにより支持される場合 ・ $F_{tran}=1.15$：上記以外の場合 ・ <u>ハッチカバーにおけるU型防撓材を有する防撓パネルの場合：</u> $F_{tran} = \text{Max}(3 - 0.08(F_{tran0} - 6)^2, 1.0) \leq 2.25$ <u>ここで、</u> $EPP \text{ } b_2 \text{ に対して, } F_{tran0} = \text{Min}\left(\frac{b_2}{b_1} + \frac{6b_2^2}{\pi^2 h_w(b_1+b_2)} \left(\frac{t_w}{t_p}\right)^3, 6\right)$ $EPP \text{ } b_1 \text{ に対して, } F_{tran0} = \text{Min}\left(\frac{b_1}{b_2} + \frac{6b_1^2}{\pi^2 h_w(b_2+b_1)} \left(\frac{t_w}{t_p}\right)^3, 6\right)$ <u>b_1, b_2 及び h_w は図 An3 による。</u> <u>表 An5 のケース 2 に定義する係数 F は、次の式に置き換えること。</u> $F = \left[1 - \left(\frac{K_y}{0.91F_{tran}} - 1\right)/\lambda_p^2\right] c_1 \geq 0$ ・ <u>上記以外の場合：$F_{tran}=1$</u>	UR S35, Section5, 2.2.5
An5.2.2.6 湾曲パネル <u>本規定は、$R/t_p \leq 2500$ の湾曲パネルに適用する。その他の湾曲パネルについては、An5.2.2.1 の規定による限界状態の規定を適用する。</u> <u>湾曲パネルの限界状態は、次の相関式による。</u> $\left(\frac{\gamma_c \sigma_{ax} S}{C_{ax} \sigma_{Y-P}}\right)^{1.25} - 0.5 \left(\frac{\gamma_c \sigma_{ax} S}{C_{ax} \sigma_{Y-P}}\right) \left(\frac{\gamma_c \sigma_{tg} S}{C_{tg} \sigma_{Y-P}}\right) + \left(\frac{\gamma_c \sigma_{tg} S}{C_{tg} \sigma_{Y-P}}\right)^{1.25} + \left(\frac{\gamma_c \tau \sqrt{3} S}{C_{\tau} \sigma_{Y-P}}\right)^2 = 1.0$	UR S35, Section5, 2.2.6

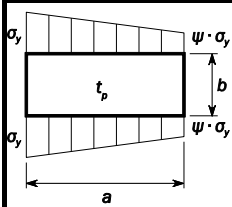
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
対応する座屈使用係数は次による。 $\eta_{curved_plate} = \frac{1}{\gamma_c}$ σ_{ax}: 湾曲パネルの作用軸応力 (N/mm²)。引張の場合, 0 とする。 σ_{tg}: 湾曲パネルの作用接線応力 (N/mm²)。引張の場合, 0 とする。 C_{ax}, C_{tg}, C_T: 湾曲パネルの座屈軽減係数で, 表 An6 による。 湾曲パネルの応力の乗数γ_cは, An5.2.2.1 により展開した平板パネルに対する応力の乗数γ_cより小さくする必要はない。	
図 An9 横式構造のビルジ外板 	UR S35, Section5, Figure 1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新					備考
表 An5 平板パネルの座屈係数及び軽減係数					UR S35, Section5, Table 3
ケース	応力比 ψ	アスペクト比 α	座屈係数 K	軽減係数 C	
	$1 \geq \psi \geq 0$		$K_x = F_{long} \frac{8.4}{\psi + 1.1}$	$\sigma_x \leq 0$ の場合: $C_x = 1$ $\sigma_x > 0$ の場合: $\lambda \leq \lambda_c$ の場合 $C_x = 1$ $\lambda > \lambda_c$ の場合 $C_x = c \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2} \right)$ $c = (1.25 - 0.12\psi) \leq 1.25$	
	$0 > \psi > -1$		$K_x = F_{long} [7.63 - \psi(6.26 - 10\psi)]$		
	$\psi \leq -1$		$K_x = F_{long} [5.975(1 - \psi)^2]$	$\lambda_c = \frac{c}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{0.88}{c}} \right)$	
2	$1 \geq \psi \geq 0$		$K_y = F_{tran} \frac{2 \left(1 + \frac{1}{\alpha^2} \right)^2}{1 + \psi + \frac{(1 - \psi)}{100} \left(\frac{2.4}{\alpha^2} + 6.9f_1 \right)}$	$\sigma_y \leq 0$ の場合: $C_y = 1$ $\sigma_y > 0$ の場合:	
		$\alpha \leq 6$	$f_1 = (1 - \psi)(\alpha - 1)$		

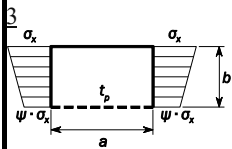
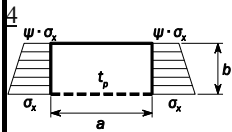
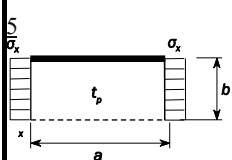
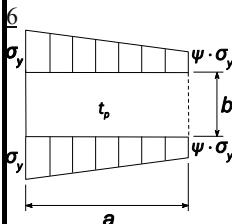
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新					備考
		$\alpha > 6$	$f_1 = 0.6(1 - \frac{6\psi}{\alpha})(\alpha + \frac{14}{\alpha})$	$C_y = c \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{R + F^2(H - R)}{\lambda^2} \right)$	
			<u>ただし、$14.5 - \frac{0.35}{\alpha^2}$を超える値としてはならない。</u>	<u>$c = (1.25 - 0.12\psi)$</u> ただし、1.25 以下としなければならない。 <u>い。</u> $\lambda < \lambda_c$ の場合 $R = \lambda(1 - \lambda/c)$ $\lambda \geq \lambda_c$ の場合 $R = 0.22$	
		$0 \geq \psi \geq 1 - \frac{4\alpha}{3}$	$K_y = \frac{200F_{tran}(1 + \beta^2)^2}{(1 - f_3)(100 + 2.4\beta^2 + 6.9f_1 + 23f_2)}$	$\lambda_c = 0.5c(1 + \sqrt{1 - 0.88/c})$ $F = \left[1 - \left(\frac{K}{0.91} - 1 \right) / \lambda_p^2 \right] c_1$ <u>ただし、0 以上としなければならない。</u>	
			$\alpha > 6(1 - \psi)$ $f_1 = 0.6(\frac{1}{\beta} + 14\beta)$ <u>ただし、$14.5 - 0.35\beta^2$を超える値としてはならない。</u> $f_2 = f_3 = 0$	$\lambda_p^2 = \lambda^2 - 0.5$ <u>ただし、λ_p^2は1 以上3 以下の値とすること。</u>	
		$3(1 - \psi) \leq \alpha \leq 6(1 - \psi)$ $f_1 = \frac{1}{\beta} - 1$ $f_2 = f_3 = 0$	<u>c_1はAn5.2.2.3 の規定による。</u> $H = \lambda - \frac{2\lambda}{c(T + \sqrt{T^2 - 4})}$ <u>ただし、R 以上としなければならない。</u>		

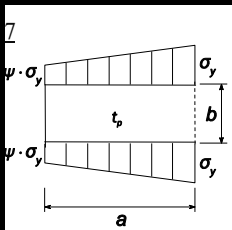
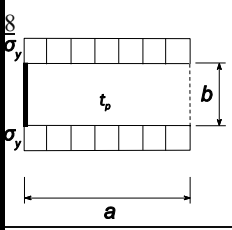
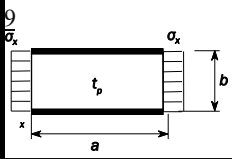
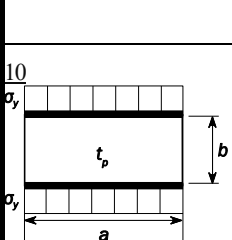
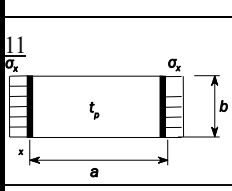
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新						備考
			$1.5(1-\psi) \leq \alpha < 3(1-\psi)$ $f_1 = \frac{1}{\beta} - (2 - \omega\beta)^4 - 9(\omega\beta - 1) \left(\frac{2}{3} - \beta \right)$ $f_2 = f_3 = 0$	$T = \lambda + \frac{14}{15\lambda} + \frac{1}{3}$		
		$1-\psi \leq \alpha < 1.5(1-\psi)$	• $\alpha > 1.5$ の場合 $f_1 = 2 \left(\frac{1}{\beta} - 16(1 - \frac{\omega}{3})^4 \right) \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right)$ $f_2 = 3\beta - 2$ $f_3 = 0$ • $\alpha \leq 1.5$ の場合 $f_1 = 2 \left(\frac{1.5}{1-\psi} - 1 \right) \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right)$ $f_2 = \frac{\psi(1 - 16f_4^2)}{1 - \alpha}$ $f_3 = 0$ $f_4 = (1.5 - \text{Min}(1.5; \alpha))^2$			
		$0.75(1-\psi) \leq \alpha < 1-\psi$	$f_1 = 0$ $f_2 = 1 + 2.31(\beta - 1) - 48 \left(\frac{4}{3} - \beta \right) f_4^2$ $f_3 = 3f_4(\beta - 1) \left(\frac{f_4}{1.81} - \frac{\alpha - 1}{1.31} \right)$ $f_4 = (1.5 - \text{Min}(1.5; \alpha))^2$			

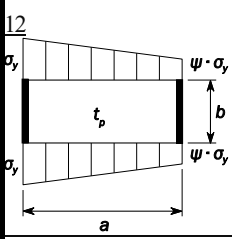
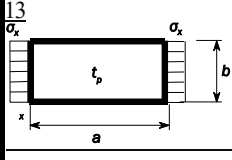
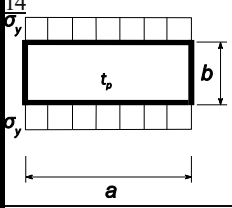
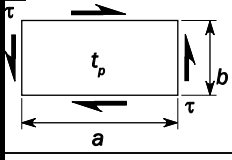
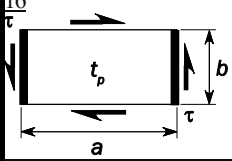
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新				備考			
		$\left. \begin{array}{c} 4\alpha \\ \psi < 1 - \frac{3}{3} \end{array} \right\}$	$K_y = 5.972 F_{tran} \frac{\beta^2}{1 - f_3}$ $f_3 = f_5 \left(\frac{f_5}{1.81} + \frac{1 + 3\psi}{5.24} \right)$ $f_5 = \frac{9}{16} (1 + \text{Max}(-1; \psi))^2$				
	$\left. \begin{array}{c} 1 \geq \psi \geq 0 \end{array} \right\}$		$K_x = \frac{4(0.425 + 1/\alpha^2)}{3\psi + 1}$	<u>UP-A</u> $\lambda \leq 0.75$ の場合 <u>$C_x = 1$</u> $\lambda > 0.75$ の場合 $C_x = \frac{0.75}{\lambda}$			
	$\left. \begin{array}{c} 0 > \psi \geq -1 \end{array} \right\}$		$K_x = 4(0.425 + 1/\alpha^2)(1 + \psi) - 5\psi(1 - 3.42\psi)$				
	$\left. \begin{array}{c} 1 \geq \psi \geq -1 \end{array} \right\}$		$K_x = \left(0.425 + \frac{1}{\alpha^2} \right) \frac{3 - \psi}{2}$			<u>UP-B</u> $\lambda \leq 0.7$ の場合 <u>$C_x = 1$</u> $\lambda > 0.7$ の場合 $C_x = \frac{1}{\lambda^2 + 0.51}$	
		-	$\left. \begin{array}{c} \alpha > 1.64 \\ \alpha < 1.64 \end{array} \right\}$				
			$K_x = \frac{1}{\alpha^2} + 0.56 + 0.13\alpha^2$				
	$\left. \begin{array}{c} 1 \geq \psi \geq 0 \end{array} \right\}$		$K_y = \frac{4(0.425 + \alpha^2)}{(3\psi + 1)\alpha^2}$	<u>UP-A</u> $\lambda \leq 0.75$ の場合 <u>$C_x = 1$</u> $\lambda > 0.75$ の場合 $C_x = \frac{0.75}{\lambda}$			
	$\left. \begin{array}{c} 0 > \psi \geq -1 \end{array} \right\}$		$K_y = 4(0.425 + \alpha^2)(1 + \psi) \frac{1}{\alpha^2}$ $-5\psi(1 - 3.42\psi) \frac{1}{\alpha^2}$				

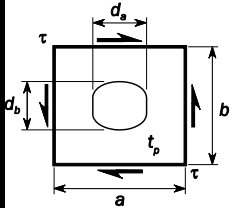
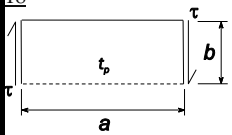
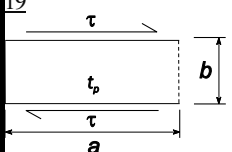
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新				備考
7		$\frac{1}{1} \geq \psi \geq \frac{1}{1}$	$K_y = 4(0.425 + \alpha^2) \frac{(3 - \psi)}{2\alpha^2}$	UP-B $\lambda \leq 0.7$ の場合 $C_y = 1$ $\lambda > 0.7$ の場合 $C_y = \frac{1}{\lambda^2 + 0.51}$
8		—	$K_y = 1 + \frac{0.56}{\alpha^2} + \frac{0.13}{\alpha^4}$	
9		—	$K_x = 6.97$	$\lambda \leq 0.83$ の場合 $C_x = 1$ $\lambda > 0.83$ の場合 $C_x = 1.13 \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2} \right)$
10		—	$K_y = 4 + \frac{2.07}{\alpha^2} + \frac{0.67}{\alpha^4}$	$\lambda \leq 0.83$ の場合 $C_y = 1$ $\lambda > 0.83$ の場合 $C_y = 1.13 \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2} \right)$
11		—	$\alpha \geq 4$ $K_x = 4$ $\alpha \leq 4$ $K_x = 4 + 2.74 \left[\frac{4 - \alpha}{3} \right]^4$	$\lambda \leq 0.83$ の場合 $C_x = 1$ $\lambda > 0.83$ の場合 $C_x = 1.13 \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2} \right)$

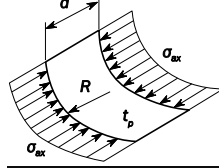
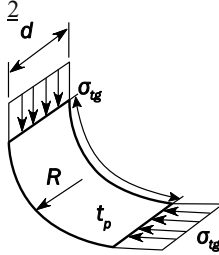
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新				備考
	-	K_y はケース 2 において決定される K_y	$\alpha < 2$ の場合 $C_y = C_{y2}$ $\alpha \geq 2$ の場合 $C_y = \left(1.06 + \frac{1}{10\alpha}\right) C_{y2}$ C_{y2} : ケース 2 において決定される C_y	
	-	$\alpha \geq 4$ $K_x = 6.97$ $\alpha < 4$ $K_x = 6.97 + 3.1 \left[\frac{4 - \alpha}{3} \right]^4$	$\lambda \leq 0.83$ の場合 $C_x = 1$ $\lambda > 0.83$ の場合 $C_x = 1.13 \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2} \right)$	
	-	$K_y = \frac{6.97}{\alpha^2} + \frac{3.1}{\alpha^2} \left[\frac{4 - 1/\alpha}{3} \right]^4$	$\lambda \leq 0.83$ の場合 $C_y = 1$ $\lambda > 0.83$ の場合 $C_y = 1.13 \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2} \right)$	
	-	$K_\tau = \sqrt{3} \left[5.34 + \frac{4}{\alpha^2} \right]$	$\lambda \leq 0.84$ の場合 $C_\tau = 1$ $\lambda > 0.84$ の場合	
	-	$K_\tau = \sqrt{3} \left\{ 5.34 + \text{Max} \left[\frac{4}{\alpha^2}; \frac{7.15}{\alpha^{2.5}} \right] \right\}$	$C_\tau = \frac{0.84}{\lambda}$	

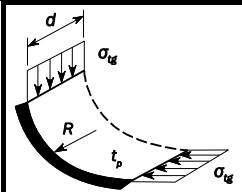
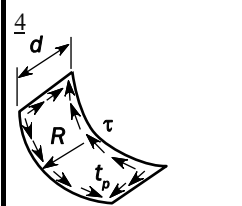
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新				備考
17		-	$K_{\tau} = K_{\tau \text{ case 15}} r$ $K_{\tau \text{ case 15}}$: ケース 15 での K_{τ} r : 開口による軽減係数で、次による。 $\frac{d_a}{a} \leq 0.7$ かつ $\frac{d_b}{b} \leq 0.7$ の場合 $r = \left(1 - \frac{d_a}{a}\right) \left(1 - \frac{d_b}{b}\right)$	
18		-	$K_{\tau} = \sqrt{3}(0.6 + 4/\alpha^2)$	$\lambda \leq 0.84$ の場合 $C_{\tau} = 1$ $\lambda > 0.84$ の場合 $C_{\tau} = \frac{0.84}{\lambda}$
19		-	$K_{\tau} = 8$	
板部材周縁の境界条件 : ----- 自由端 ===== 単純支持 ===== 固定端				
備考 1 : 明記されているケースは一般的なものを示す。各応力成分 (σ_x, σ_y) は局部座標系によらなければならない。				

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新				備考
表 An6 $R/t_p \leq 2500$ の湾曲パネルの座屈係数及び軽減係数				UR S35, Section5, Table 4
ケース	アスペクト比	座屈係数 K	軽減係数 C	
1 	$\frac{d}{R} \leq 0.5 \sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = 1 + \frac{2}{3} \frac{d^2}{R t_p}$	一般的な場合： $\lambda \leq 0.25$ の場合 $C_{ax} = 1$ $0.25 < \lambda \leq 1$ の場合 $C_{ax} = 1.233 - 0.933\lambda$	
	$\frac{d}{R} > 0.5 \sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = 0.267 \frac{d^2}{R t_p} \left[3 - \frac{d}{R} \sqrt{\frac{t_p}{R}} \right] \geq 0.4 \frac{d^2}{R t_p}$	$1 < \lambda \leq 1.5$ の場合 $C_{ax} = 0.3/\lambda^3$ $\lambda > 1.5$ の場合 $C_{ax} = 0.2/\lambda^2$ 平面パネルと境界を成す湾曲パネル (ビルジ外板等) の場合 (図 An9 参 照) : $C_{ax} = \frac{0.65}{\lambda^2} \leq 1.0$	
2 	$\frac{d}{R} \leq 1.63 \sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = \frac{d}{\sqrt{R t_p}} + 3 \frac{(R t_p)^{0.175}}{d^{0.35}}$	一般的な場合： $\lambda \leq 0.4$ の場合 $C_{tg} = 1$ $0.4 < \lambda \leq 1.2$ の場合 $C_{tg} = 1.274 - 0.686\lambda$	
	$\frac{d}{R} > 1.63 \sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = 0.3 \frac{d^2}{R^2} + 2.25 \left(\frac{R^2}{d t_p} \right)^2$	$\lambda > 1.2$ の場合 $C_{tg} = \frac{0.65}{\lambda^2}$ 平面パネルと境界を成す湾曲パネル (ビルジ外板等) の場合 (図 An9 参 照) : $C_{ax} = \frac{0.8}{\lambda^2} \leq 1.0$	
3	$\frac{d}{R} \leq \sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = \frac{0.6d}{\sqrt{R t_p}} + \frac{\sqrt{R t_p}}{d} - 0.3 \frac{R t_p}{d^2}$	応力状態2による	

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新					備考
	$\frac{d}{R} > \sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = 0.3 \frac{d^2}{R^2} + 0.291 \left(\frac{R^2}{d t_p} \right)^2$			
	$\frac{d}{R} \leq 8.7 \sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = \sqrt{3} \sqrt{28.3 + \frac{0.67 d^3}{R^{1.5} t_p^{1.5}}}$	$\lambda \leq 0.4$ の場合 $C_\tau = 1$ $0.4 < \lambda \leq 1.2$ の場合 $C_\tau = 1.274 - 0.686 \lambda$		
	$\frac{d}{R} > 8.7 \sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = \sqrt{3} \frac{0.28 d^2}{R \sqrt{R t_p}}$	$\lambda > 1.2$ の場合 $C_\tau = \frac{0.65}{\lambda^2}$		
境界条件: -----自由端 =====単純支持 =====固定端					
An5.2.2.7 板部材に適用する直応力及びせん断応力 An5.2.1.1 及び An5.2.2.1 にそれぞれ規定する防撓パネル全体の耐荷力及び板部材の耐荷力の計算において適用する直応力 σ_x 及び σ_y (N/mm²) は、次によらなければならない。 - 有限要素解析にあつては、An4.2.4 に規定する参照応力 - 防撓パネル全体の耐荷力及び板部材の耐荷力の規則計算による評価にあつては、考慮する基本板パネル又は考慮する防撓材の荷重計算点（それぞれ An3.1.2.1(a) 及び (b) 参照）において関連規定に従って計算される軸方向及び横方向の圧縮応力。ただし、横式構造の場合、防撓パネル全体の耐荷力の評価に使用する横方向の圧縮応力は、An3.1.2.1(a) に規定する防撓材の付き板の荷重計算点で計算された圧縮応力とすること。 - 応力を梁理論に基づき算出する骨組構造解析にあつては、応力は次による。 $\sigma_x = \frac{\sigma_{xb} + \nu \sigma_{yb}}{1 - \nu^2}$					UR S35, Section5, 2.2.7

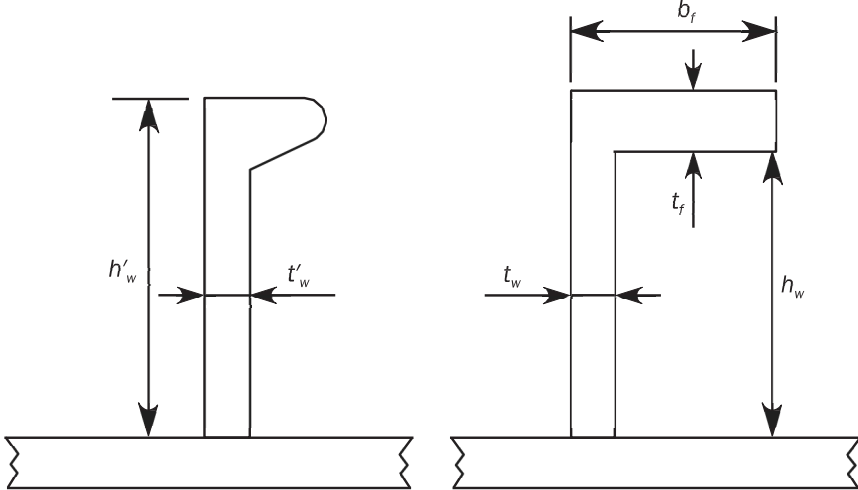
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
$\sigma_y = \frac{\sigma_{yb} + \nu \sigma_{xb}}{1 - \nu^2}$ σ_{xb}, σ_{yb} :骨組構造梁解析から得られた主要支持部材の付き板の x 軸又は y 軸方向の応力 (N/mm^2) An5.2.1.1 及び An5.2.2.1 にそれぞれ規定する防撓パネル全体の耐荷力及び板部材の耐荷力の計算において適用するせん断応力τ (N/mm^2) は、次によらなければならない。 ・ 有限要素解析にあつては、An4.2.4 に規定する参照せん断応力 ・ 板部材の耐荷力の規則計算による評価にあつては、考慮する基本板パネルの荷重計算点 (An3.1.2.1(a)参照) において、関連規定に従って計算されるせん断応力 ・ 防撓パネル全体の耐荷力の規則計算による評価にあつては、次の荷重計算点において関連規定に従って計算されるせん断応力 ・ 考慮する防撓材のスパンℓの中央部 ・ 考慮する防撓材と付き板の交点 ・ 骨組構造梁解析にあつては、主要支持部材の付き板において$\tau=0$ とする。	
An5.2.3 防撓材 An5.2.3.1 座屈モード 次の座屈モードを評価しなければならない。 ・ 防撓材に起因する崩壊 (SI) ・ 板に起因する崩壊 (PI)	UR S35, Section5, 2.3.1
An5.2.3.2 平鋼のウェブの板厚 An5.2.1 及び An5.2.3.4 の規定を適用する際、局所的な面外変形による剛性の低下を考慮するため、防撓材のネット断面積 A_s、ネット断面係数 Z 及び断面二次モーメント I の計算において、次に示す平鋼防撓材の有効ウェブ板厚 (mm) を用いなければならない。 $t_{w_red} = t_w \left(1 - \frac{2\pi^2}{3} \left(\frac{h_w}{s} \right)^2 \left(1 - \frac{b_{eff1}}{s} \right) \right)$	UR S35, Section5, 2.3.2

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
An5.2.3.3 バルブプレートの理想化 <u>バルブプレートの断面形状は、等価な山型鋼の断面形状として考慮しなければならない。断面のネット寸法 (mm) は、次によらなければならない。</u> $h_w = h'_w - \frac{h'_w}{9.2} + 2$ $b_f = \alpha \left(t'_w + \frac{h'_w}{6.7} - 2 \right)$ $t_f = \frac{h'_w}{9.2} - 2$ $t_w = t'_w$ <u>h'_w, t'_w: バルブ断面のネット高さ及びネット板厚 (mm) (図 An10 参照)</u> <u>α: 係数で以下による。</u> <u>$h'_w \leq 120$の場合:</u> <u>$\alpha = 1.1 + \frac{(120-h'_w)^2}{3000}$</u> <u>$h'_w > 120$の場合:</u> <u>$\alpha = 1.0$</u>	UR S35, Section5, 2.3.3

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
図 An10 バルブプレートの理想化  バルブプレート 等価な山形鋼	UR S35, Section5, Figure 2
An5.2.3.4 座屈・最終強度 <u>$\gamma = 1$としたときに$\sigma_a + \sigma_b + \sigma_w > 0$となる場合、防撓材の座屈・最終強度は、次の相関式に従って評価しなければならない。</u> $\frac{\gamma_c \sigma_a + \sigma_b + \sigma_w}{\sigma_Y} S = 1$ 対応する座屈使用係数は次による。 $\eta_{stiffener} = \frac{1}{\gamma_c}$ <u>σ_a : 付き板を有する防撓材に作用する防撓材のスパン中央における有効軸応力 (N/mm²)</u> $\sigma_a = \sigma_x \frac{st_p + A_s}{b_{eff1} t_p + A_s}$	UR S35, Section5, 2.3.4

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
σ_x : <u>付き板を有する防撓材に作用する公称軸応力 (N/mm^2)</u> - 有限要素解析にあつては、防撓材に平行な方向の付き板内の有限要素修正応力 (An5.2.3.6 参照) を σ_x とする。 - 規則計算による評価にあつては、防撓材の荷重計算点 (An3.2.2.1 参照) において An3.1.2.1 の規定に従つて計算される軸応力を σ_x とする。 - 骨組構造梁解析にあつては、座屈パネルの x 軸方向に作用する応力を σ_x とする。 σ_y : <u>材料の規格最小降伏応力 (N/mm^2)</u> $\sigma_y = \sigma_{y_s}$ 防撓材に起因する崩壊 (SI) の場合 $\sigma_y = \sigma_{y_p}$ 板に起因する崩壊 (PI) の場合 σ_b : <u>防撓材の曲げ応力 (N/mm^2)</u> $\sigma_b = \frac{M_0 + M_1 + M_2}{1000Z}$ Z : An5.2.3.5 の規定による板の有効幅を含む防撓材のネット断面係数 (cm^3) で、次による。 - 防撓材に起因する崩壊 (SI) の場合、防撓材のフランジの頂部側で計算される断面係数 - 板に起因する崩壊 (PI) の場合、付き板側において計算される断面係数 M_2 : <u>スニップ端防撓材の偏心による曲げモーメント (Nmm) で、次による。</u> 連続する防撓材の場合 : $M_2 = 0$ 両端又は片端スニップの防撓材の場合 : $M_2 = C_{snip} w_{na} \gamma \sigma_x (A_p + A_s)$ C_{snip} : <u>両端又は片端スニップの防撓材の端部影響を考慮した係数で、次による。</u> 防撓材に起因する崩壊 (SI) を考慮する場合 : $C_{snip} = -1.2$ 板に起因する崩壊 (PI) を考慮する場合 : $C_{snip} = 1.2$ M_1 : <u>面外荷重 P による曲げモーメント (Nmm)</u> 連続する防撓材の場合 : $M_1 = C_i \frac{ P sl^2}{24 \times 10^3}$ スニップ端の防撓材の場合 : $M_1 = C_i \frac{ P sl^2}{8 \times 10^3}$ 片側がスニップ端、反対側が連続する防撓材の場合 : $M_1 = C_i \frac{ P sl^2}{14.2 \times 10^3}$ P : <u>面外荷重 (kN/m^2)</u>	

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
・ 有限要素解析にあつては、付き板内の平均圧力 (An4.2.5.2 参照) を P とする。 ・ 規則計算による評価にあつては、防撓材の荷重計算点 (An3.1.2.1 参照) において計算される圧力を P とする。 C_i : 圧力に関する係数 防撓材に起因する崩壊 (SI) の場合 : $C_i = C_{SI}$ 板に起因する崩壊 (PI) の場合 : $C_i = C_{PI}$ C_{PI} : 板に起因する崩壊における圧力に関する係数 $C_{PI} = 1$ 面外圧が防撓材の逆側から作用する場合 $C_{PI} = -1$ 面外圧が防撓材と同じ側から作用する場合 C_{SI} : 防撓材に起因する崩壊における圧力に関する係数 $C_{SI} = -1$ 面外圧が防撓材の逆側から作用する場合 $C_{SI} = 1$ 面外圧が防撓材と同じ側から作用する場合 M_0 : 防撓材の面外変形 w による曲げモーメント (Nmm) $\gamma_{GEB} - \gamma > 0$ を前提として, $M_0 = F_E C_{SI} \frac{\gamma}{\gamma_{GEB} - \gamma} w_0$ γ_{GEB} は, An5.2.1 に規定する全体弾性座屈強度の応力の乗数。 F_E : 防撓材の理想弾性座屈力 (N) $F_E = \left(\frac{\pi}{\ell}\right)^2 EI \cdot 10^4$ I : An5.2.3.5 の規定による付き板の有効幅を含む防撓材の断面二次モーメント (cm^4)。 I は次の規定を満足しなければならない。 $I \geq \frac{st_p^3}{12 \cdot 10^4}$ t_p : 板のネット板厚 (mm) で、次による。 ・ 規則計算による要件の場合 : 2つのパネルの平均板厚 ・ 有限要素解析の場合 : 防撓材の片側において考慮する EPP の板厚 C_{SI} : 全体細長比を考慮した変形軽減係数で、次による。 $\lambda_G \leq 1.56$ の場合 : $C_{SI} = 1 - \frac{1}{12} \lambda_G^4$	

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
$\lambda_G > 1.56$ の場合： $C_{sl} = 3 / \lambda_G^4$ λ_G：防撓パネルの参照全体細長比で、次による。 $\lambda_G = \sqrt{\frac{\gamma_{\sigma Y}}{\gamma_{GEB}}}$ $\gamma_{\sigma Y} = \frac{\min(\sigma_{Y_P}, \sigma_{Y_S})}{\sqrt{\sigma_{x,av}^2 + \sigma_y^2 - \sigma_{x,av}\sigma_y + 3\tau^2}}$ $\sigma_{x,av}$：板及び防撓材の平均応力で、An5.2.1.2の規定による。 σ_y：板部材に作用する直応力 (N/mm²) で、An5.2.1.1の規定による。 τ：作用するせん断応力 (N/mm²) で、An5.2.1.1の規定による。 w_0：仮想初期不整量 (mm) で、次による。 一般的な場合： $w_0 = \ell / 1000$ σ_w：振り変形による応力 (N/mm²) で、次による。 - 防撓材に起因する崩壊 (SI) の場合： $\sigma_a > 0$ の場合 $\sigma_{ET} - \gamma\sigma_a > 0 \text{ を前提として, } \sigma_w = Ey_w e_f \Phi_0 \left(\frac{m_{tor}\pi}{l_{tor}} \right)^2 \left(\frac{1}{1 - \frac{\gamma\sigma_a}{\sigma_{ET}}} - 1 \right) -$ $\sigma_a \leq 0$ の場合 $\sigma_w = 0$ - 板に起因する崩壊 (PI) の場合： $\sigma_w = 0$ y_w：防撓材の断面中心から防撓材のフランジの自由端までの距離 (mm) で、次による。 平鋼の場合： $y_w = \frac{t_w}{2}$ 山型鋼及びバルブプレートの場合： $y_w = b_f - \frac{h_w t_w^2 + t_f b_f^2}{2A_s}$ L2 材の場合： $y_w = b_{f-out} + 0.5t_w - \frac{h_w t_w^2 + t_f (b_f^2 - 2b_f d_f)}{2A_s}$ T 型鋼の場合： $y_w = \frac{b_f}{2}$	

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>Φ_0 : 係数で、次による。</u> $\Phi_0 = \frac{l_{tor}}{m_{tor} h_w} 10^{-4}$ <u>σ_{ET} : 捩り座屈に対する参照応力 (N/mm²)</u> $\sigma_{ET} = \frac{E}{I_p} \left[\left(\frac{m_{tor} \pi}{\ell_{tor}} \right)^2 I_\omega \cdot 10^2 + \frac{1}{2(1+\nu)} I_T + \left(\frac{\ell_{tor}}{m_{tor} \pi} \right)^2 \varepsilon \cdot 10^{-4} \right]$ <u>I_p : 図 An2 に示す C 点に対する防撓材のネット断面極二次モーメント (cm⁴) (表 An7 参照)</u> <u>I_T : 防撓材のサンブナンのネット捩り抵抗モーメント (cm⁴) (表 An7 参照)</u> <u>I_ω : 図 An2 に示す C 点に対する防撓材のネット曲げ捩り抵抗モーメント (cm⁶) (表 An7 参照)</u> <u>ℓ_{tor} : 防撓材のスパンで、主要支持部材間の心距 ℓ に等しい。防撓材がトリッピングブラケットにより支持される場合、ℓ_{tor} は当該トリッピングブラケットと隣接する主要支持部材との間の最大心距とする。</u> <u>m_{tor} : ℓ_{tor} 内の半波の数で、捩り座屈の参照応力が最小となる正の整数とする。</u> <u>ε : 固着率 (mm²) で、次による。</u> <u>バルブプレート、山型鋼、L2 材及び T 型鋼の場合 : $\varepsilon = \left(\frac{3b}{t_p^3} + \frac{2h_w}{t_w^3} \right)^{-1}$</u> <u>平鋼の場合 : $\varepsilon = \left(\frac{t_p^3}{3b} \right)$</u> <u>$A_w$: ウェブのネット断面積 (mm²)</u> <u>A_f : フランジのネット断面積 (mm²)</u>	

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新		備考												
表 An7 慣性モーメント		UR S35, Section5, Table 5												
	<table><tr><th></th><th>平鋼⁽¹⁾</th><th>バルブプレート, 山型鋼, L2 材及びT 型鋼</th></tr><tr><td>I_P</td><td>$\frac{h_w^3 t_w}{3 \times 10^4}$</td><td>$\left(\frac{A_w(e_f - 0.5t_f)^2}{3} + A_f e_f^2 \right) 10^{-4}$</td></tr><tr><td>$I_T$</td><td>$\frac{h_w t_w^3}{3 \times 10^4} \left(1 - 0.63 \frac{t_w}{h_w} \right)$</td><td>$\frac{(e_f - 0.5t_f)t_w^3}{3 \times 10^4} \left(1 - 0.63 \frac{t_w}{e_f - 0.5t_f} \right) + \frac{b_f t_f^3}{3 \times 10^4} \left(1 - 0.63 \frac{t_f}{b_f} \right)$</td></tr><tr><td>$I_w$</td><td>$\frac{h_w^3 t_w^3}{36 \times 10^6}$</td><td> バルブプレート, 山型鋼及びL2 材の場合⁽²⁾ $\frac{A_f^3 + A_w^3}{36 \times 10^6} + \frac{e_f^2}{10^6} \left(\frac{A_f b_f^2 + A_w t_w^2}{3} - \frac{(A_f(b_f - 2d_f) + A_w t_w)^2}{4(A_f + A_w)} - A_f d_f(b_f - d_f) \right)$ T 型鋼の場合 $\frac{b_f^3 t_f e_f^2}{12 \times 10^6}$ </td></tr></table>		平鋼 ⁽¹⁾	バルブプレート, 山型鋼, L2 材及びT 型鋼	I_P	$\frac{h_w^3 t_w}{3 \times 10^4}$	$\left(\frac{A_w(e_f - 0.5t_f)^2}{3} + A_f e_f^2 \right) 10^{-4}$	I_T	$\frac{h_w t_w^3}{3 \times 10^4} \left(1 - 0.63 \frac{t_w}{h_w} \right)$	$\frac{(e_f - 0.5t_f)t_w^3}{3 \times 10^4} \left(1 - 0.63 \frac{t_w}{e_f - 0.5t_f} \right) + \frac{b_f t_f^3}{3 \times 10^4} \left(1 - 0.63 \frac{t_f}{b_f} \right)$	I_w	$\frac{h_w^3 t_w^3}{36 \times 10^6}$	バルブプレート, 山型鋼及びL2 材の場合⁽²⁾ $\frac{A_f^3 + A_w^3}{36 \times 10^6} + \frac{e_f^2}{10^6} \left(\frac{A_f b_f^2 + A_w t_w^2}{3} - \frac{(A_f(b_f - 2d_f) + A_w t_w)^2}{4(A_f + A_w)} - A_f d_f(b_f - d_f) \right)$ T 型鋼の場合 $\frac{b_f^3 t_f e_f^2}{12 \times 10^6}$	
	平鋼 ⁽¹⁾	バルブプレート, 山型鋼, L2 材及びT 型鋼												
I_P	$\frac{h_w^3 t_w}{3 \times 10^4}$	$\left(\frac{A_w(e_f - 0.5t_f)^2}{3} + A_f e_f^2 \right) 10^{-4}$												
I_T	$\frac{h_w t_w^3}{3 \times 10^4} \left(1 - 0.63 \frac{t_w}{h_w} \right)$	$\frac{(e_f - 0.5t_f)t_w^3}{3 \times 10^4} \left(1 - 0.63 \frac{t_w}{e_f - 0.5t_f} \right) + \frac{b_f t_f^3}{3 \times 10^4} \left(1 - 0.63 \frac{t_f}{b_f} \right)$												
I_w	$\frac{h_w^3 t_w^3}{36 \times 10^6}$	バルブプレート, 山型鋼及びL2 材の場合⁽²⁾ $\frac{A_f^3 + A_w^3}{36 \times 10^6} + \frac{e_f^2}{10^6} \left(\frac{A_f b_f^2 + A_w t_w^2}{3} - \frac{(A_f(b_f - 2d_f) + A_w t_w)^2}{4(A_f + A_w)} - A_f d_f(b_f - d_f) \right)$ T 型鋼の場合 $\frac{b_f^3 t_f e_f^2}{12 \times 10^6}$												
(1) t_w は, ウェブのネット板厚 (mm) を示す。An5.2.3.2 に規定する $t_{w, red}$ は, 本表において用いてはならない。 (2) バルブプレート及び山型鋼の場合, d_f は 0 とする。														
An5.2.3.5 付き板の有効幅 防撓材の付き板の有効幅b_{eff} (mm) は, 次によらなければならない。 ・ $\sigma_x > 0$ の場合 ・ 有限要素解析の場合 $b_{eff} = \min(C_x b, \chi_s s)$ ・ 規則計算による評価の場合 $b_{eff} = \min \left(\frac{C_{x1} b_1 + C_{x2} b_2}{2}, \chi_s s \right)$		UR S35, Section5, 2.3.5												

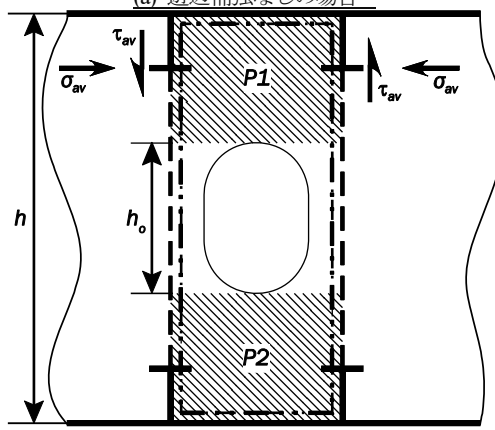
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
・ $\sigma_x \leq 0$ の場合 $b_{eff} = \chi_s S$ χ_s : 有効幅に関する係数で、次による。 $\frac{l_{eff}}{S} \geq 1 \text{ の場合 : } \chi_s = \frac{1.12}{1 + \frac{1.75}{\left(\frac{l_{eff}}{S}\right)^{1.6}}} \leq 1.0$ $\frac{l_{eff}}{S} < 1 \text{ の場合 : } \chi_s = 0.407 \frac{l_{eff}}{S}$ l_{eff} : 防撓材の有効長さ (mm) で、次による。 両端固定の防撓材の場合 : $l_{eff} = \frac{l}{\sqrt{3}}$ 一端単純支持、他端固定の防撓材の場合 : $l_{eff} = 0.75l$ 両端単純支持の防撓材の場合 : $l_{eff} = l$	
An5.2.3.6 防撓材の座屈強度に対する有限要素修正応力 <u>An4.2.4 の規定に従って有限要素解析により得られる参照応力 σ_x 及び σ_y が共に圧縮の場合、σ_x は次の算式により修正しなければならない。</u> ・ $\sigma_x < \nu \sigma_y$ の場合 : $\sigma_{xcor} = 0$ ・ $\sigma_x \geq \nu \sigma_y$ の場合 : $\sigma_{xcor} = \sigma_x - \nu \sigma_y$	UR S35, Section5, 2.3.6
An5.2.4 主要支持部材 An5.2.4.1 開口を有するウェブ <u>開口を有する主要支持部材のウェブは、軸圧縮応力とせん断応力の組合せに基づき座屈評価を行わなければならない。</u> <u>開口部に位置するウェブは、表 An8 に示すようにそれぞれ単独の非防撓パネルとして考慮しなければならない。</u> <u>An5.2.2.1 に規定する相関式においては、次の応力を用いなければならない。</u> ・ $\sigma_x = \sigma_{av}$ ・ $\sigma_y = 0$	UR S35, Section5, 2.4.1

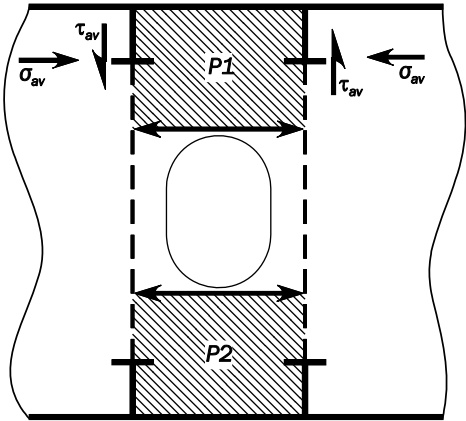
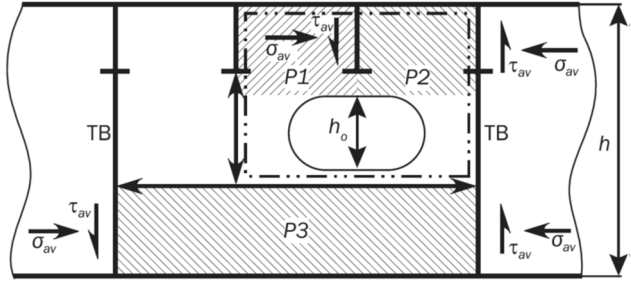
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
・ $\tau = \tau_{av}$ σ_{av} : 考慮するウェブ領域 (表 An8 に示す $P1, P2$ 又は $P3$) の加重平均圧縮応力 (N/mm^2) <u>表 An8 の適用にあたり, 加重平均せん断応力は次によらなければならない。</u> ・ 主要支持部材に開口をモデル化する場合 : τ_{av} : 考慮するウェブ領域 (表 An8 に示す $P1, P2$ 又は $P3$) の加重平均せん断応力 (N/mm^2) ・ 主要支持部材に開口をモデル化しない場合 : τ_{av} : 加重平均せん断応力 (N/mm^2) で, 表 An8 による。	
An5.2.4.2 開口を有するウェブの軽減係数 <u>開口部に位置するウェブパネルの軽減係数C_T (C_x 又は C_y と組合わせる) は, 表 An8 によらなければならない。</u>	UR S35, Section5, 2.4.2

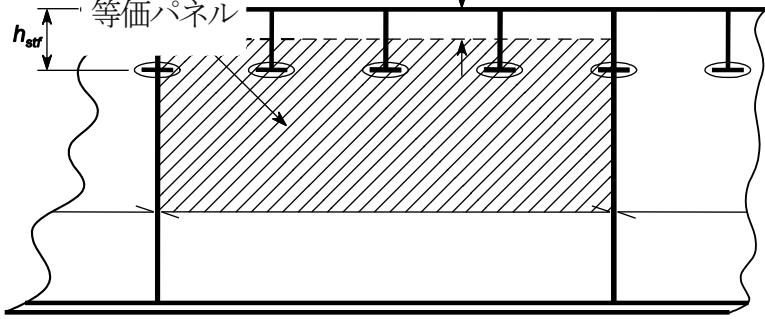
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新			備考
表 An8 軽減係数			
配置 ⁽¹⁾	C_x, C_y	C_σ	
		PSM にモデル化 された開口	PSM にモデル化 されない開口
(a) 遊刃補強なしの場合 ⁽²⁾ 	P1 領域及び P2 領域に対し、 応力比 $\psi = 1.0$ として表 An5 のケース 3 又はケース 6 を適用 し軽減係数を個別に求める。	P1 領域及び P2 領域に対し、表 An5 のケース 18 又は 19 を適用し軽減 係数を個別に求める。	表 An5 のケース 17 を適用する 場合: 表 An5 のケース 17 を適用して 得られる共通の軽減係数を P1 領域及び P2 領域に用いる。こ の場合、 $\bar{\sigma}_n = \bar{\sigma}_n(web)$ とする。
(b) 遊刃補強ありの場合	P1 領域及び P2 領域に対し、 応力比 $\psi = 1.0$ として、表 An5 を適用し軽減係数を個別 に求める。ケース 1 に対しては C_x を、ケース 2 に対しては C_y を使用する。	P1 領域及び P2 領域に対し、表 An5 のケース 15 を適用し軽減係数を個 別に求める。	P1 領域及び P2 領域に対し、表 An5 のケース 15 を適用し軽減 係数を個別に求める。この場 合、 $\bar{\sigma}_n = \bar{\sigma}_n(web)h/(h-h_o)$ とする。

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
	
(c) 開口を有するウェブの例 	パネル P1 及びパネル P2 は、(a)に従って評価しなければならない。 パネル P3 は、(b)に従って評価しなければならない。
備考 1: 開口部の座屈において考慮を払わなければならないウェブのパネルは、影付きで P1, P2 等で示す。 備考 2: (a)の配置のような開口を有する主要支持部材であって遊辺補強がないウェブパネルの場合、適用すべき座屈評価手法は指定の境界条件による。面材又は付き板に沿った長辺のひとつが「直線保持」しない場合、すなわち、長辺が引き込まれる場合、手法 B を用いなければならない。その他、短辺に沿って付き板がある場合は、手法 A を用いて差し支えない。	
h: 開口のある主要支持部材のウェブの高さ (m) h_o: ウェブの深さ方向に対する開口の高さ (m) $\tau_{av}(\text{web})$: 主要支持部材のウェブの高さ h における加重平均せん断応力 (N/mm²)	

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
An5.2.4.3 <u>防撓材が貫通する主要支持部材のウェブのパネルは、図 An11 に示すような等価パネルとして理想化しなければならない。</u>	UR S35, Section5, 2.4.3
図 An11 ウェブの理想化  <u>ウェブ又はカラープレートが貫通する防撓材の少なくとも片側に取り付けられる場合、その他のスロット形状に対してもパネル幅の修正を適用する。</u>	UR S35, Section5, Figure 3
An5.2.5 U 型防撓材を有する防撓パネル An5.2.5.1 局部座屈 <u>U 型防撓材を有する防撓パネルについては、板パネル $EPP\ b_1, b_2, b_f$ 及び h_w (図 An3 参照) の局部座屈を、次により別々に評価しなければならない。</u> <u>付き板パネルの $EPP\ b_1$ 及び b_2 は、SP-A により評価しなければならない。ここで、表 An5 ケース 1 に規定する座屈係数 K_x の計算においては、表 An4 に規定する U 型防撓材の修正係数 F_{long} を用いること。表 An5 ケース 2 に規定する座屈係数 K_y の計算においては、An5.2.2.5 に規定する U 型防撓材の修正係数 F_{tran} を用いること。</u> <u>面材及びウェブのパネルの $EPP\ b_f$ 及び h_w は、$F_{long}=1$ 及び $F_{tran}=1$ として UP-B により評価しなければならない。</u>	UR S35, Section5, 2.5.1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
An5.2.5.2 防撓パネル全体の座屈及び防撓材の座屈 U型防撓材を有する防撓パネルについては、防撓材の全体座屈強度及び最終強度は、振り応力$\sigma_w = 0$及び次の仮定に基づき計算した付き板の有効幅を含む断面二次モーメントにより評価しなければならない。 ・ U型防撓材の2つのウェブのパネルは、板厚をt_w、高さを付き板と面材間の距離とし、付き板に対して垂直であるとみなす。 ・ 付き板の有効幅b_{eff}は、SP-Aモデルに従って、$EPP\ b_1$及びb_2に対してそれぞれ計算したb_{eff}の合計とする。 ・ せん断遅れによる影響を無視した防撓材の付き板の有効幅b_{eff1}は、$EPP\ b_1$及びb_2に対してそれぞれ計算したb_{eff1}の合計とする。	UR S35, Section5, 2.5.2
An5.3 柱状構造部材の座屈強度 An5.3.1 波形部のコラム座屈 An5.3.1.1 座屈使用係数 軸圧縮を受ける波形部に対するコラム座屈使用係数ηは、次によらなければならない。 $\eta_{column} = \frac{\sigma_{av}}{\sigma_{cr}}$ σ_{av}:部材内の平均軸圧縮応力 (N/mm²) σ_{cr}:最小限界座屈応力 (N/mm²) で、次による。 $\sigma_E \leq 0.5\sigma_{Y_S}$の場合: $\sigma_{cr} = \sigma_E$ $\sigma_E > 0.5\sigma_{Y_S}$の場合: $\sigma_{cr} = \left(1 - \frac{\sigma_{Y_S}}{4\sigma_E}\right) \sigma_{Y_S}$ σ_E: 弾性圧縮コラム座屈応力 (N/mm²) で、An5.3.1.2の規定による。 σ_{Y_S}:考慮する部材の規格最小降伏応力 (N/mm²)。組立式の部材については、規格最小降伏応力の最小値を用いなければならない。	UR S35, Section5, 3.1.1

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>An5.3.1.2 弾性コラム座屈応力</u> <u>軸圧縮を受ける部材の弾性圧縮コラム座屈応力σ_E (N/mm²) は、次によらなければならない。</u> $\sigma_E = \pi^2 E f_{end} \frac{I}{A \ell_{pill}^2} 10^{-4}$ <u>I : 断面の弱軸に対するネット断面二次モーメント (cm⁴)</u> <u>A : 部材のネット断面積 (cm²)</u> <u>ℓ_{pill} : 部材の支持されない長さ (m)</u> <u>f_{end} : 端部拘束係数。スツールとして使用される固定端支持で、幅が波形の深さの2倍を超えるものを除いて、単純支持端に対応する端部拘束係数を次のように算定する。</u> <u>・両端単純支持の場合 : $f_{end}=1.0$</u> <u>・一端単純支持, 他端固定の場合 : $f_{end}=2.0$</u> <u>・両端固定の場合 : $f_{end}=4.0$</u>	UR S35, Section5, 3.1.2

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
付録 14.6 応力法による参照応力 記号 <u>a : パネルの長辺方向の長さ (mm) で, An5 の規定による。</u> <u>b : パネルの短辺方向の長さ (mm) で, An5 の規定による。</u> <u>A_i : 座屈パネルの i 番目平面要素の面積 (mm²)</u> <u>n : 座屈パネル内の平面要素の数</u> <u>σ_{xi} : 座屈パネルの短辺上に作用する, i 番目平面要素の要素中心における x 方向の実応力 (N/mm²)</u> <u>σ_{yi} : 座屈パネルの長辺上に作用する, i 番目平面要素の要素中心における y 方向の実応力 (N/mm²)</u> <u>ψ : 端部応力比で, An5 の規定による。</u> <u>τ_i : 座屈パネルの i 番目平面要素の要素中心における実せん断膜応力 (N/mm²)</u>	UR S35, Appendix 1, Symbols
1 応力 1.1 序論 1.1.1 <u>本節では, 二次多項式曲線, 最小二乗法を用いた線形分布及び加重平均手法によって, 考慮する座屈パネルの辺上における応力分布を決定する方法について規定する。この方法を応力法と呼ぶ。</u> <u>参照応力は, 考慮する座屈パネルの局部座標系に変換した平面要素の要素中心における応力成分とする。</u>	UR S35, Appendix 1, 1.1.1
1.1.2 定義 <u>規則パネルは矩形形状のパネルとする。不規則パネルを規則パネル以外のパネルとする。(詳細は An4.2.3.1 参照)</u>	UR S35, Appendix 1, 1.1.2

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
<u>1.2 応力の適用</u> <u>1.2.1 規則パネル</u> <u>次の条件を満足する場合，規則パネルの参照応力は，2.1 の規定によらなければならない。</u> <u>・規則パネルを長辺方向に 3 分割した範囲のそれぞれにおいて，平面要素の要素中心が少なくとも一つは位置していること。</u> <u>・その隣接する範囲のそれぞれに含まれる少なくとも一つの要素中心が，パネルの局部座標系の x 方向について $a/4$ より離れて位置していること。</u> <u>それ以外の場合，参照応力は，不規則パネルに対する 2.2 の規定によらなければならない。</u>	UR S35, Appendix 1, 1.2.1
<u>1.2.2 不規則パネル及び湾曲パネル</u> <u>不規則パネル又は湾曲パネルの参照応力は，2.2 の規定によらなければならない。</u>	UR S35, Appendix 1, 1.2.2
<u>2 参照応力</u> <u>2.1 規則パネル</u> <u>2.1.1 長辺方向の応力</u> <u>座屈パネルの短辺上に作用する長辺方向の応力 σ_x は，次のように計算しなければならない。</u> <u>・板部材の座屈評価にあつては，$\sigma_x(x)$ の分布を次の二次多項式曲線と仮定する。</u> $\sigma_x(x) = Cx^2 + Dx + E$ <u>最適曲線 $\sigma_x(x)$ は，重み付け係数として各要素の面積を考慮して平方誤差 Π を最小化することにより求めなければならない。</u> $\Pi = \sum_{i=1}^n A_i [\sigma_{xi} - (Cx^2 + Dx + E)]^2$ <u>未知係数 C，D 及び E は，C，D 及び E のそれぞれに関する一次偏導関数 $\partial \Pi$ が 0 と等しくなるように決定しなければならない。</u>	UR S35, Appendix 1, 2.1.1

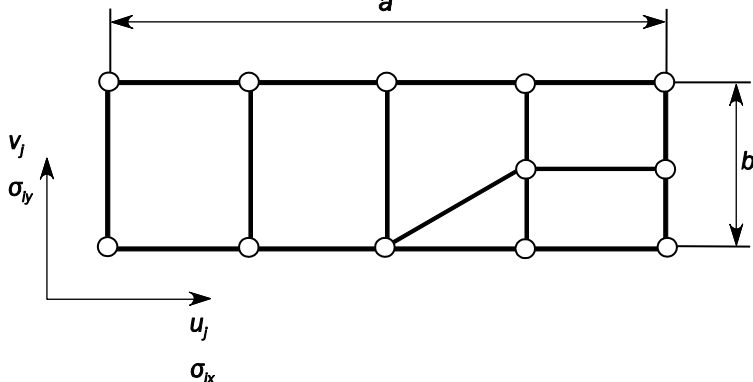
「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
$\begin{cases} \frac{\partial \Pi}{\partial C} = 2 \sum_{i=1}^n A_i x_i^2 [\sigma_{ix} - (C x_i^2 + D x_i + E)] = 0 \\ \frac{\partial \Pi}{\partial D} = 2 \sum_{i=1}^n A_i x_i [\sigma_{ix} - (C x_i^2 + D x_i + E)] = 0 \\ \frac{\partial \Pi}{\partial E} = 2 \sum_{i=1}^n A_i [\sigma_{ix} - (C x_i^2 + D x_i + E)] = 0 \end{cases}$ 未知係数 C, D 及び E は, 上記の3つの算式を解くことにより得られる。 $\sigma_{x1} = \frac{1}{b} \int_0^b \sigma_x(x) dx = \frac{b^2}{3} C + \frac{b}{2} D + E$ $\sigma_{x2} = \frac{1}{b} \int_{a-b}^a \sigma_x(x) dx = \left(a^2 - ab + \frac{b^2}{3} \right) C + \left(a - \frac{b}{2} \right) D + E$ $-\frac{D}{2C} < \frac{b}{2}$ 又は $-\frac{D}{2C} > a - \frac{b}{2}$ の場合, σ_{x3} は無視しなければならない。それ以外の場合, σ_{x3} は次による。 $\sigma_{x3} = \frac{1}{b} \int_{x_{min}}^{x_{max}} \sigma_x(x) dx = \frac{b^2}{12} C - \frac{D^2}{4C} + E$ $x_{min} = -\frac{b}{2} - \frac{D}{2C}$ $x_{max} = \frac{b}{2} - \frac{D}{2C}$ 長辺方向の応力は, 次によらなければならない。 $\sigma_x = \max(\sigma_{x1}, \sigma_{x2}, \sigma_{x3})$ 端部応力比は, 次によらなければならない。 $\psi_x = 1$ ・防撓パネル全体及び防撓材の座屈評価にあつては, 付き板の短辺上に作用する長辺方向の応力 σ_x は, 次によらなければならない。	

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
$\sigma_x = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \sigma_{xi}}{\sum_{i=1}^n A_i}$ 応力σ_xに対する端部応力比ψ_xは、1 とする。	
2.1.2 短辺方向の応力 座屈パネルの長辺上に作用する短辺方向の応力σ_yは、考慮する座屈パネルの短辺間におけるすべての要素の短辺方向の応力を外挿することにより計算しなければならない。 $\sigma_y(x)$の分布は直線状と仮定する。従って、 $\sigma_y(x) = A + Bx$ 最適曲線$\sigma_y(x)$は、重み付け係数として各要素の面積を考慮して平方誤差Πを最小とする最小二乗法により求めなければならない。 $\Pi = \sum_{i=1}^n A_i [\sigma_{yi} - (A + Bx_i)]^2$ 未知係数A 及びBは、A 及びB のそれぞれに関する一次偏導関数$\partial \Pi$が0 と等しくなるように決定しなければならない。 $\frac{\partial \Pi}{\partial A} = 2 \sum_{i=1}^n A_i [\sigma_{yi} - (A + Bx_i)] = 0$ $\frac{\partial \Pi}{\partial B} = 2 \sum_{i=1}^n A_i x_i [\sigma_{yi} - (A + Bx_i)] = 0$ 未知係数A 及びBは、上記の2つの算式を解くことにより得られ、次のとおり与えられる。 $A = \frac{(\sum_{i=1}^n A_i \sigma_{yi})(\sum_{i=1}^n A_i x_i^2) - (\sum_{i=1}^n A_i x_i)(\sum_{i=1}^n A_i x_i \sigma_{yi})}{(\sum_{i=1}^n A_i)(\sum_{i=1}^n A_i x_i^2) - (\sum_{i=1}^n A_i x_i)^2}$ $B = \frac{(\sum_{i=1}^n A_i)(\sum_{i=1}^n A_i x_i \sigma_{yi}) - (\sum_{i=1}^n A_i x_i)(\sum_{i=1}^n A_i \sigma_{yi})}{(\sum_{i=1}^n A_i)(\sum_{i=1}^n A_i x_i^2) - (\sum_{i=1}^n A_i x_i)^2}$ $\sigma_y = \max(A, A + Ba)$	UR S35, Appendix 1, 2.1.2

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
$\sigma_y > 0 \text{ の場合 : } \psi_y = \frac{\min(A, A+Ba)}{\max(A, A+Ba)}$ $\sigma_y \leq 0 \text{ の場合 : } \psi_y = 1$	
図 1 座屈パネル 	UR S35, Appendix 1, Figure 1
2.1.3 せん断応力 せん断応力τは、加重平均手法を用いて計算し、次によらなければならない。 $\tau = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \tau_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$	UR S35, Appendix 1, 2.1.3

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
2.2 不規則パネル及び湾曲パネル 2.2.1 参照応力 長辺方向の応力，短辺方向の応力及びせん断応力は，加重平均手法を用いて計算し，次によらなければならない。 $\sigma_x = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \sigma_{xi}}{\sum_{i=1}^n A_i}$ $\sigma_y = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \sigma_{yi}}{\sum_{i=1}^n A_i}$ $\tau = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \tau_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$ 端部応力比は，次によらなければならない。 $\psi_x = 1$ $\psi_y = 1$	UR S35, Appendix 1, 2.2.1
附 則 - この規則は，2024 年 7 月 1 日（以下，「施行日」という。）から施行する。 - 施行日前に建造契約*が行われた船舶にあつては，この規則による規定にかかわらず，なお従前の例による。 - 全面改正された鋼船規則 C 編（2022 年 7 月 1 日 規則 第 61 号）及び同検査要領（2022 年 7 月 1 日 達 第 46 号）前の鋼船規則 C 編及び同検査要領（以下，規則 旧 C 編及び検査要領 旧 C 編）が適用される船舶であつて，この規則の施行日以降に建造契約*が行われたものにあつては，次に示す規定にこの規則を適用する。 検査要領 旧 C 編 附属書 C20.2（新規） * 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 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み者によつ	

「船体構造部材の座屈強度評価」 新旧対照表

新	備考
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.	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舶は、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。