

鋼船規則 C 編における改正点の解説 (鋼船規則 C 編関連 (2024 年改正 2))

1. はじめに

2025 年 6 月 20 日付一部改正により改正されている鋼船規則 C 編中、鋼船規則 C 編関連 (2024 年改正 2) に関する事項について、その内容を解説する。なお、本改正は、2025 年 12 月 20 日以降に建造契約が行われる船舶に適用される。ただし、申出により先取りで適用可としている。

2. 改正の背景

鋼船規則 C 編は、2022 年 7 月に全面的な改正が行われたが、その後の関連業界からのフィードバックを参考に、規則の実用性、使用性向上を目的として、継続的な見直しを行う予定としている。また、より安全性、合理性に配慮した規則となるよう研究開発で得られた知見を適切に規則に反映することとしている。このため、規則の見直し結果及び研究開発成果を反映すべく、関連規定を改めた。

3. 改正の内容

主な改正点は以下のとおりである。

(1) 倉内隔壁に関する要件の構成見直し (C 編 1 編 2 章 2.2.1.4, 附属書 1.1 An1.3.1, 表 An4 関連) :

鋼船規則 C 編 1 編 2.2.1.4-1.には、鋼船規則 C 編 1 編 2.3 に規定する損傷時復原性要件を満足するような隔壁配置とする旨規定しているため、当該要件が適用される船舶は、鋼船規則 C 編 1 編 2.3 が適用される船舶となる。一方で、鋼船規則 C 編 1 編 2.2.1.4-2.及び-3.が適用される船舶については、同 2.2.1.4-1.及び 2.3.1.1 のそれぞれの適用に規定されている船舶以外であることから、それらを紐解くと、国際航海に従事しない乾舷用長さ L_f が 80m 以上の船舶であって、損傷時復原性要件の一部を満足しない船舶となる。

一方で、日本籍船舶用規則では、鋼船規則 C 編 1 編附属書 1.1 において、国際航海に従事しない乾舷用長さ L_f が 80m 以上の船舶であって、損傷時復原性要件に適合しない船舶には、浸水警報装置の設置と船長のための損傷時復原性に関する情報提供用の損傷制御図の搭載が要求される旨規定していたため、適用となる要件が鋼船規則 C 編 1 編 2 章と同附属書 1.1 に分かれており、要件全体が把握しづらくなっていた。

そのため、日本籍船舶用規則においては、鋼船規則 C 編 1 編 2.2.1.4 の規定の一部を附属書 1.1 An1.3.1 に移設するとともに、適用を明確にするため、附属書 1.1 表 An4 を新規規定し、適用すべき損傷時復原性要件の代替措置と倉内隔壁の配置要件を視覚的にわかりやすく規定した。なお、外国籍船舶用規則においても日本籍船舶用規則にならい、鋼船規則 C 編 1 編 2.2.1.4 の一部要件を同附属書 1.1 An1.3.1 へ移設した。図 1 及び図 2 に各船舶に対する倉内隔壁配置に関する要件の整理図を、日本籍船舶用規則と外国籍船舶用規則に分けて、それぞれ示す。

図 1 各船舶に対する倉内隔壁配置に関する要件の整理図（日本籍船舶用規則）

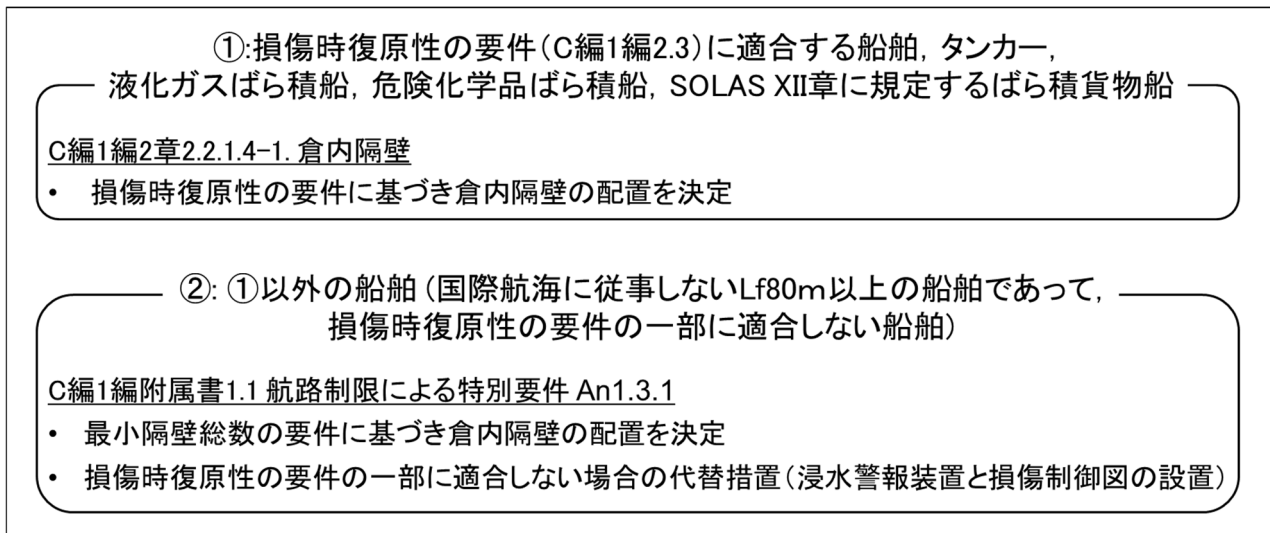
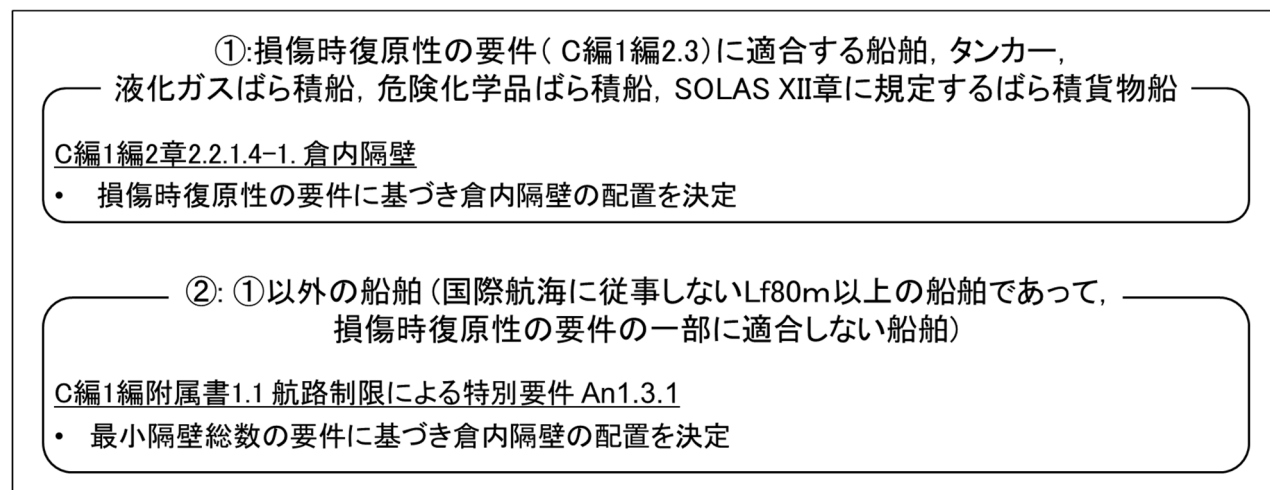


図 2 各船舶における倉内隔壁配置に関する要件の整理図（外国籍船舶用規則）



(2) 多層甲板船の最下層サイドフレームに対する要件明確化（C編1編6.4 関連）：

C編6章6.4.3 サイドフレーム要件に対し、適用要件及び構成の見直しを行った。

従来の規則においてサイドフレームに適用する規則は、一層甲板船及び多層甲板船の最下層のサイドフレームには一層甲板船及び多層甲板船の最下層のサイドフレーム（6.4.3.2）を、それ以外のサイドフレームには防撓材一般式（6.4.2）を適用していた。一方で、サイドフレーム算式（6.4.3.2）の適用にあたっては、複数のパラメータ・積付状態の入力が必要であり、入力に手間がかかるものとなっていた。

サイドフレーム算式（6.4.3.2）には、積付状態やスパン修正を考慮した低減係数が含まれており、防撓材一般式（6.4.2）の方が要求値は大きくなる。一方で、多層甲板船の最下層サイドフレームの実績値は防撓材一般式（6.4.2）の要求値を満足するため、本改正において、設計の手間削減を目的に、多層甲板船最下層サイドフレームに対しては防撓材一般式（6.4.2）を適用するよう改めた。

また、サイドフレーム要件の構成の見直しを行い、適用を明確化した。

(3) 単純桁に関する要件の適用明確化及び構成見直し（C編1編7.2 関連）：

C編7章7.2 単純桁（特にウェブフレーム）の適用が不明確との指摘があったため、適用要件及び構成の見直しを行った。

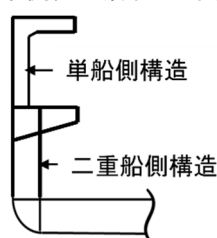
従来の規則においてウェブフレームの評価をする際、受ける荷重として、海水による外圧、片持ち梁を支持することによる付加モーメントの2種類を考慮していた。また、甲板の層数により表1

のように適用規則が分かれていた。

多層甲板船の外圧を受けるウェブフレーム（7.2.8.2）においては，多層甲板船の甲板位置を支持点とする連続梁での評価を行い，甲板間の節点に作用するモーメント及びせん断力を算出する。一方で，パラメータが多く設定が煩雑であること，二層甲板船への適用の妥当性が不明瞭であることが指摘されていた。また，各甲板間のウェブフレームを両端固定の単純桁とみなし行った強度評価との差異が不明確であった。

片持ち梁を支持するウェブフレーム（7.2.8.3）は，(1) 二層甲板船のウェブフレームと，(2) 3 層以上の船舶のウェブフレームに分かれている。(1) 二層甲板船のウェブフレームにおいては，一般的な一般貨物船でよく見られる，1 層目が二重船側で 2 層目が単船側（図 3 参照）の二層甲板船への適用が不明確であった。(2) 3 層以上の船舶のウェブフレームにおいては，下端固定，上端支持の単スパンの梁としての簡易的な評価を行うが， i 層目の甲板とウェブフレーム間節点 i の対応が不明確かつ煩雑であった。また，以上の区分では一層甲板船への適用が明記されていなかった。

図 3 1 層目が二重船側，2 層目が単船側の二層甲板船



以上の背景により，適用要件及び構成の見直しを行った。

まず，海水による外圧を受けるウェブフレームにおいては，連続梁としての評価手法(1 編 7.2.8.2)を C 編 2-6 編「自動車運搬船，ロールオン・ロールオフ船」へ移設した。また，二層甲板船への適用は，1 層目，2 層目それぞれを単純桁とみなした評価を行うこととした。3 層以上の多層甲板船においては，各甲板間のウェブフレームを単純桁とみなした評価又は 2-6 編に移設した連続梁での評価とした。

次に，片持ち梁を支持するウェブフレームにおいては，変数 i を用いた表記を変更し，(1) 1 層目が二重船側及び 2 層目が単船側の二層甲板船，一層甲板船並びに 3 層以上の多層甲板船のウェブフレーム（短スパンでの評価），(2) 1 層目かつ 2 層目が単船側構造の二層甲板船のウェブフレーム（連続梁での評価）と適用対象を明記し，構成を見直した。

表 2 に，改正後のウェブフレームの適用一覧を示す。なお，適用に変更のある箇所に下線を付した。

また，7.2 単純桁全体に対して構成の見直しを行った。本改正による実質的な影響はない。

表 1 改正前のウェブフレームへの適用要件一覧

	一層甲板船	二層甲板船	3 層以上の多層甲板船
海水による外圧を受けるウェブフレーム	単純桁モデルを適用し，7.2.3-7.2.5 の強度評価	<u>7.2.8.2</u> <u>多層甲板船の外圧を受けるウェブフレーム</u>	<u>7.2.8.2</u> <u>多層甲板船の外圧を受けるウェブフレーム</u>
片持ち梁を支持するウェブフレーム	<u>不明確</u>	7.2.8.3 片持ち梁を支持するウェブフレーム (1) 二層甲板船のウェブフレーム (<u>連続梁での評価</u>)	7.2.8.3 片持ち梁を支持するウェブフレーム (2) 3 層以上の船舶のウェブフレーム（単スパンでの評価）

表 2 改正後のウェブフレームへの適用要件一覧

	一層甲板船	二層甲板船	3 層以上の多層甲板船
海水による外圧を受けるウェブフレーム	単純桁モデルを適用し、7.2.3-7.2.5 の強度評価	単純桁モデルを適用し、 7.2.3-7.2.5 の強度評価	単純桁モデルを適用し、 7.2.3-7.2.5 の強度評価 又は 多層甲板船の外圧を受けるウェブフレーム (2-6 編 7.2.1.1)
片持梁を支持するウェブフレーム	1 編 7.2.2.2 (1) (単スパンでの評価)	1 層目が二重船側構造： 1 編 7.2.2.2 (1) (単スパンでの評価) 1 層目が単船側構造： 1 編 7.2.2.2 (2) (連続梁での評価)	1 編 7.2.2.2 (1) (単スパンでの評価)

(4) コンテナ船の港内状態における縦強度評価の追加（C 編 2-1 編 5.2 関連）：

C 編 2-1 編 5 章 5.2 降伏強度評価において、コンテナ船の縦強度評価において、港内状態の許容応力が規定されていなかったため、追加した。

C 編 1 編 5 章縦強度評価では、港内状態においては、波浪中垂直曲げモーメント及びせん断力を 0 とし、曲げ：15%，せん断：7.5%の安全率を設定し、許容応力を低減することで降伏強度評価を行う。C 編 2-1 編 5 章 5.2.1.1 においても同様の評価手法とし、荷重組み合わせ及び許容応力に対する部分安全係数 γ_2 に、港内状態の評価時の値を追加した。

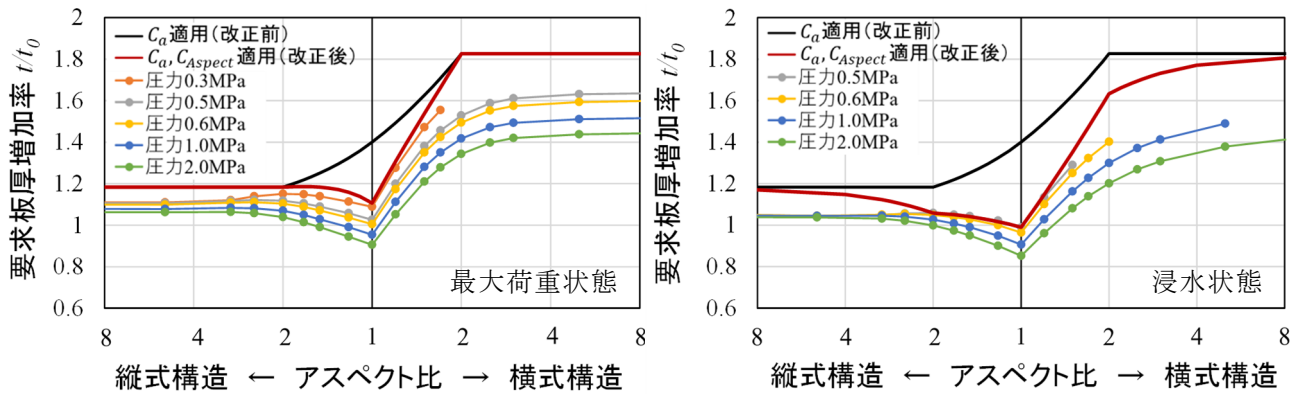
(5) 板アスペクト比影響補正係数の見直し（C 編 1 編 6.3.2.1 関連）：

C 編 1 編 6 章 6.3.2.1 では板の曲げ強度に基づく要求板厚を規定しており、軸力が板の強度を低下させる軸力影響を C_a 、板のアスペクト比が 1 に近いほど強度が上昇するアスペクト比影響を C_{Aspect} として考慮している。軸力影響係数 C_a は軸力が作用する縦強度部材に適用されるのに対して、アスペクト比補正係数 C_{Aspect} は周辺固定の板に圧力のみが作用する場合の理論式に基づき定式化したことから、軸力が作用しない縦強度部材以外の部材に適用することとしていた。軸力影響係数 C_a はアスペクト比の関数として定義されているが、これは軸力影響がアスペクト比によって変化することを考慮したものであり、アスペクト比影響による強度上昇成分は含まれていない。一方で、軸力が作用する縦強度部材であっても、アスペクト比影響によってアスペクト比が大きな板よりアスペクト比が 1 に近い板の方が板の強度は高くなると考えられる。

そのため、本改正ではアスペクト比補正係数の適用について弾塑性有限要素解析結果に基づいて見直しを行った。解析では板に作用する軸応力及び圧力並びに板のアスペクト比をパラメータとして、残留たわみをクライテリアとしたシリーズ計算を実施した。最大荷重状態と浸水状態の各強度クライテリアにおける解析結果のうち、作用する圧縮軸応力が $0.7\sigma_Y$ の場合を例に図 4 に示す。グラフには軸力影響係数 C_a とアスペクト比補正係数 C_{Aspect} がともに 1 となる条件における要求板厚 t_0 を基準とした、要求板厚の増加率 t/t_0 をプロットした。横軸は板のアスペクト比であり、グラフの左側が縦式構造、右側が横式構造、中央がアスペクト比 1 の正方形板を意味する。なお、座屈が生じた条件についてはプロットしていない。軸力影響係数 C_a に加えてアスペクト比補正係数 C_{Aspect} も適用した赤線は、マーカー付きの線で示した解析結果よりも安全側の値となることが分かる。また軸力影響係数 C_a だけを適用した黒線を比較すると、アスペクト比補正係数 C_{Aspect} も適用した赤線の方が解析結果の傾向とよく一致していることが分かる。

このような弾塑性有限要素解析結果に基づき、圧力に加えて軸力も作用する縦強度部材に対してもアスペクト比補正係数 C_{Aspect} を適用するよう改めた。

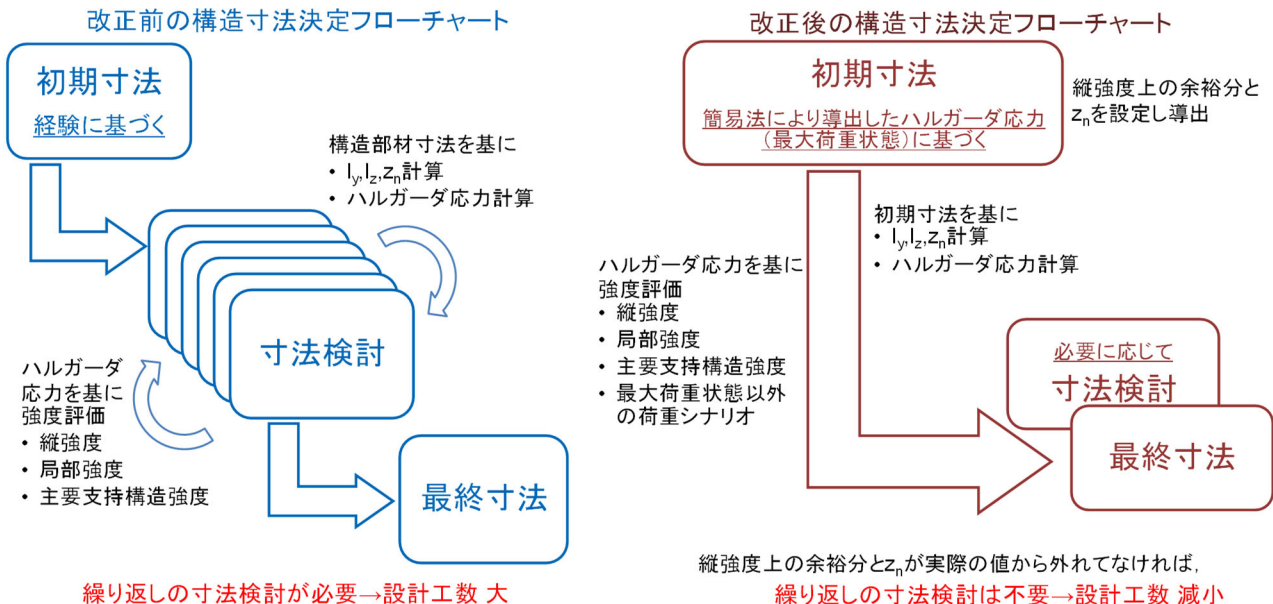
図 4 アスペクト比と要求板厚増加率の関係



(6) ハルガーダ荷重による応力の簡易計算法の規定 (C 編 1 編付録 C1.1.4 関連) :

1 編 6 章に規定する局部強度評価及び 7 章に規定する主要支持構造評価の際に必要なハルガーダ荷重による応力は、船体横断面の断面性能を用いて導出する必要がある、その船体横断面の断面性能を導出するためには、縦強度部材の配置/寸法が必要である。全面改正前の C 編においては、断面性能の代わりに、縦強度上の余裕度 (f_B , f_D) をあらかじめ考慮することで、縦強度部材の寸法決定を行うことが可能であったが、C 編においては、合理的な寸法を導くことを目的に、正しく計算された縦強度部材の断面性能を用いることとしている。この考えでは、構造部材の寸法決定の際に繰り返しの検討が必要であり、全面改正前の C 編と比べて設計工数が増加する原因となっていた。業界から、全面改正前の C 編のように簡易的にハルガーダ荷重による応力を評価できることが望ましいとの要望を受け、造船設計の初期検討において、縦強度上の余裕度を基にハルガーダ荷重による応力を求められる簡易法を開発した。ただし、本簡易法は最大荷重状態をのみを対象としていること、また、最終的な寸法決定においては、規則に規定しているとおりに、ハルガーダ荷重による応力を導出して強度評価を行う必要があることに留意する必要がある。(図 5 参照)

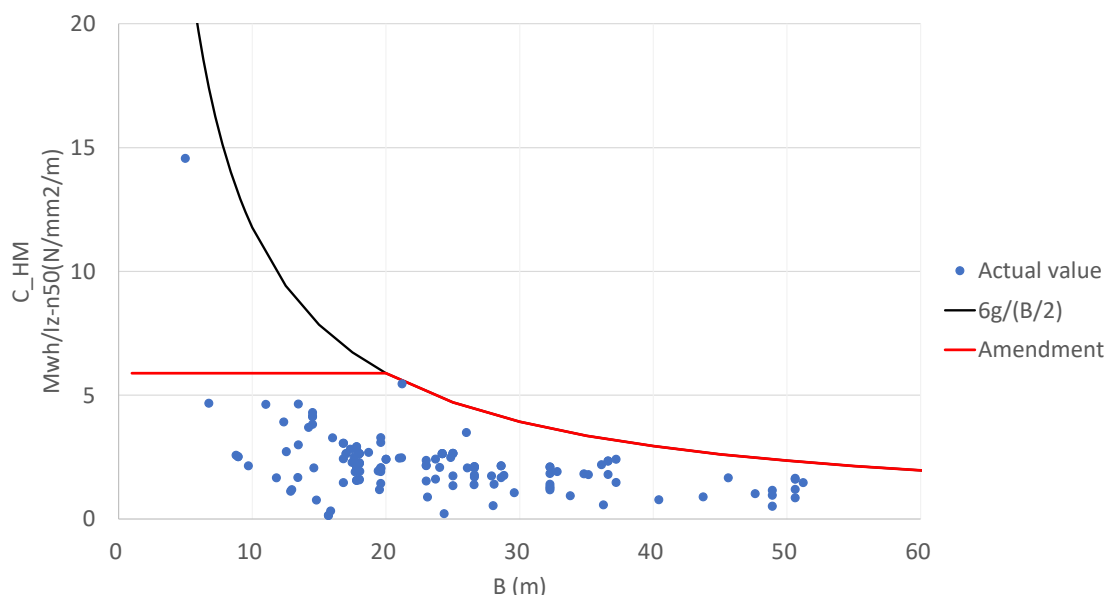
図 5 改正前後における構造寸法決定のフローチャート



本改正では、縦波及び横波状態に対して、ハルガーダ荷重による応力の簡易的な導出方法を規定した。まず、縦波に対しては、強度評価において垂直曲げモーメントによる軸応力のみを考慮していることから、全面改正前の C 編の考え方を準用し、ネット寸法に基づく縦曲げ降伏強度評価の許容応力 $190 (N/mm^2)$ に対して、設計者が設定した縦強度上の余裕度 (f_B , f_D) と横断面における水平

中性軸位置を基にハルガーダ荷重による応力を導出することとした。次に、横波に対しては、強度評価において垂直曲げモーメントと水平曲げモーメントによる軸応力を組み合わせて導出したものと、水平曲げモーメントのみによる軸応力の大きい方の値を考慮していることから、それらに対する簡易評価法を規定した。ここで、水平曲げモーメント M_{WH} による軸応力は、横断面の z 軸周りの断面二次モーメント I_{z-n50} と船幅方向の任意位置 y を用いて、 $M_{WH}/I_{z-n50} \cdot y$ により求まるが、全面改正前のC編においては、この値として船幅 B によらず船側位置で $6(\text{kg/mm}^2)$ という固定値を考慮していた。本改正においても、全面改正前のC編の考え方を準用し、水平曲げモーメントによる軸応力は、 $C_{MH} = 6g/(B/2)$ を用いて、船幅方向の任意位置 y において、 $C_{MH} \cdot y (\text{N/mm}^2)$ により導出することとした。ただし、船幅が小さい場合、 C_{MH} が過大になるため、実績を考慮して、 C_{MH} は、船幅が 20 m で最大値を取るよう設定した。図6に、複数の船種に対する船首尾部を含む複数の横断面における M_{WH}/I_{z-n50} の実績値を青点で、本改正による C_{MH} を赤線で示す。ある断面で、 C_{MH} を超えているが、これは $x=0.96L$ の船首部の断面であり、その他の断面が C_{MH} に収まっていることを考慮すると、簡易的な軸力評価に対する精度としては十分と判断した。

図6 M_{WH}/I_{z-n50} の実績値と C_{MH} の関係



この手法により、あらかじめ設計者が設定する縦強度上の余裕度と水平中性軸の位置が実際の値から外れていない場合は、ハルガーダ荷重による応力導出において、繰り返しの検討が不要になり、結果として、設計工数削減に寄与できるものとする。

(7) 船体重心位置の高精度化（C編1編4.2.4.1関連）：

C編1編4章に規定する局部強度、主要支持構造強度、貨物倉解析及び疲労強度の評価荷重を算出するためには、船長方向の重心位置 x_G の値を用いる必要があり、重心位置 x_G は、「考慮する積付状態に応じた重量分布に基づき算出した値（実船の値）」、又は、簡易算式として「 $x_G = 0.45L_C$ 」を用いて算出することとしている。本改正では、様々な船体形状に対応出来るよう、船長方向の重心位置 x_G の簡易算式の高精度化を行った。

等価設計波HMにおける波浪変動圧の船長方向分布の調査として、複数の船舶を対象に、船長方向の重心位置として、実船の値を用いた場合と、 $x_G = 0.45L_C$ を用いた場合の波の応答値をそれぞれ算出し、直接荷重解析の結果とそれぞれ比較したグラフを図7及び図8に示す。グラフの横軸は、船舶の断面位置、縦軸は、その断面に対する波の応答値を示している。また、グラフ中のヒストグラムは、ある断面位置に対して、同じ波の応答値を示した船の隻数を示している。図7及び図8を比較すると、船長方向の重心位置として、実船の値を用いた場合は、直接荷重解析の結果とほとんど同じ応答値を示したが、 $x_G = 0.45L_C$ を用いた場合は、オモテ側付近で直接荷重解析の結果と乖離

していることが分かる。

図 7 等価設計波 HM における波浪変動圧の船長方向分布（重心位置 x_G = 実船の値）

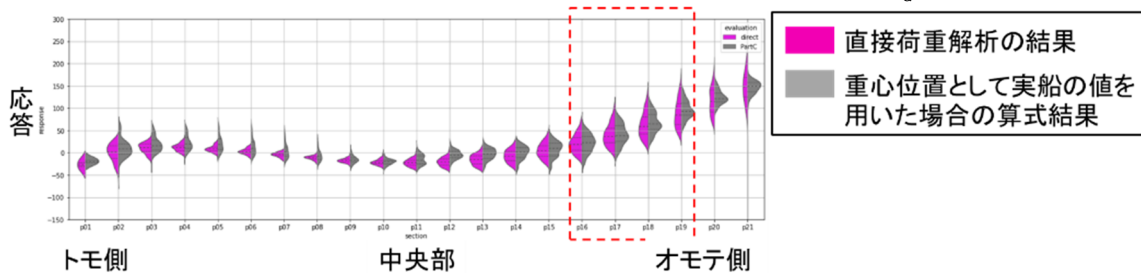
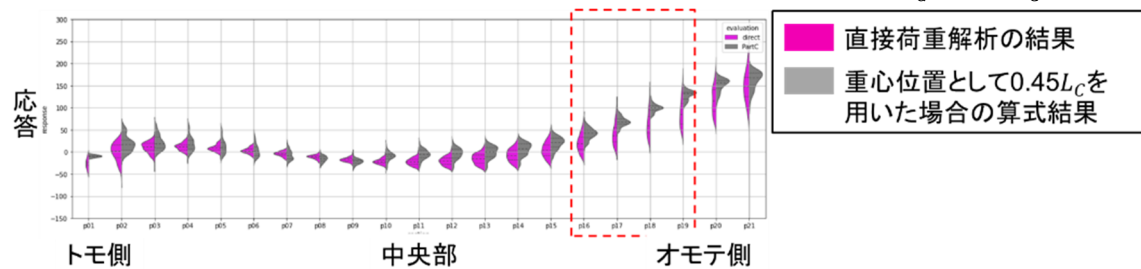
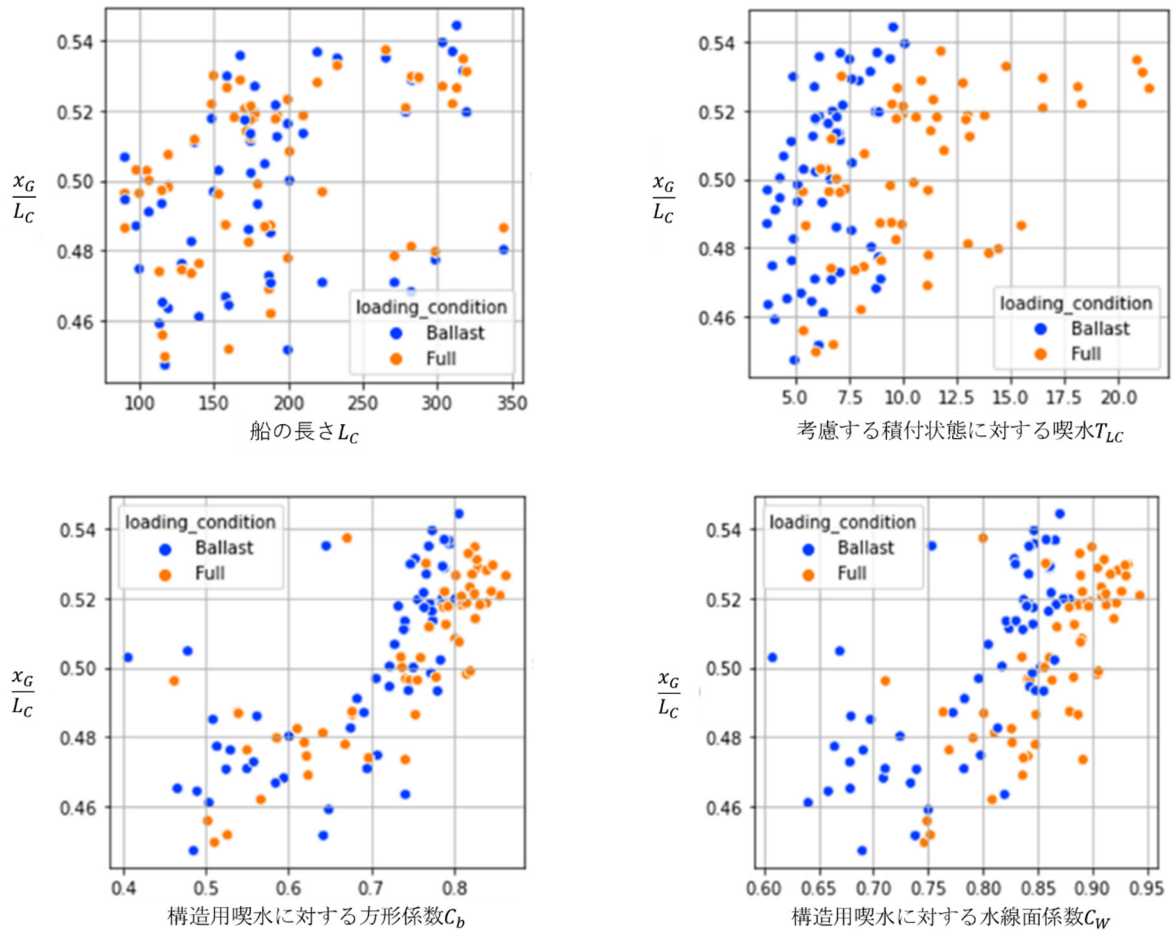


図 8 等価設計波 HM における波浪変動圧の船長方向分布（重心位置 $x_G = 0.45L_C$ ）



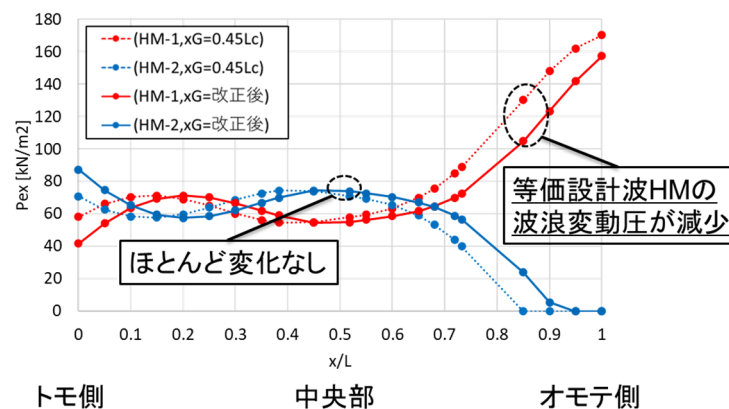
船長方向の重心位置 x_G の簡易算式の高精度化を検討するにあたって、複数の船舶のバラスト状態及び満載状態を対象に、船の長さに対する船長方向の重心位置の割合(x_G/L_C)と主要目(船の長さ L_C 、考慮する積付状態に対する喫水 T_{LC} 、構造用喫水に対する方形係数 C_b 及び構造用喫水に対する水線面係数 C_W)との相関について調査を行い、結果を図 9 に示す。図 9 より、船の長さに対する船長方向の重心位置の割合は、構造用喫水に対する方形係数 C_b との相関が良いことが分かったことから、相関図のデータから、回帰式を算出し、船長方向の重心位置の簡易式を $x_G = (0.36 + 0.2C_{B-LC})L_C$ に改めた。

図 9 船の長さに対する船長方向の重心位置の割合 (x_G/L_C) と主要目との相関図



本改正による影響の例として、ある一般貨物船の船底外板に作用する外圧 P_{ex} (P_{exs} (静水圧) + P_{exw} (等価設計波 HM における波浪変動圧)) の船長方向分布のグラフを図 10 に示す。グラフの赤色と水色の線は、船舶の断面位置に対する、それぞれの等価設計波 HM-1 と HM-2 における波浪変動圧と静水圧の和を示しており、点線が改正前の簡易算式で求めた重心位置、実線が本改正で新たに定義した簡易式で求めた重心位置を用いて算出したことを示している。このグラフより、本改正によって、オモテ側付近では、等価設計波 HM における波浪変動圧の値の減少が見られる一方、中央部では、ほとんど変化がないことが分かる。

図 10 外圧 P_{ex} (P_{exs} (静水圧) + P_{exw} (波浪変動圧 (HM))) の船長方向分布



(8) 二重船殻構造のせん断強度評価（C 編 1 編 7.3 関連）：

本改正は、二重船殻構造の桁部材の強度評価を対象に見直しを行った。改正内容は、以下のとおりである。

(a) 一般貨物船に対する評価積付け喫水

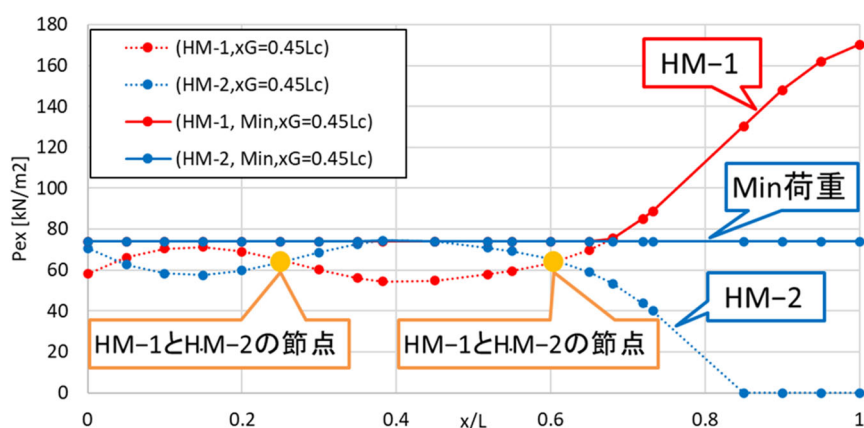
C 編 2 編 4 章では、二重船殻構造の桁部材の評価荷重を算出する際に、考慮する積付状態とその積付状態における評価喫水を船種毎に規定している。本改正では、一般貨物船を対象に、バラスト状態における喫水の調査を行った上で、評価喫水を $0.7T_{SC}$ から $0.6T_{SC}$ に改めた。

(b) 評価荷重の最小値の設定

C 編 2 編 4 章では、二重船殻構造の二重底の桁部材を評価する場合、考慮する積付状態によって、船底の外板に作用する外圧 P_{ex} を考慮する必要がある。静水圧 P_{exs} 及び等価設計波における波浪変動圧 P_{exw} をそれぞれ算出する。図 11 に、ある一般貨物船のバラスト状態での、船底外板に作用する外圧 $P_{ex}(P_{exs}(\text{静水圧})+P_{exw}(\text{等価設計波 HM における波浪変動圧}))$ の船長方向分布を示す。バラスト状態のように、外圧が支配的になる積付状態の場合、グラフ中の等価設計波 HM-1 と HM-2 の節点の位置での波浪変動圧が低くなり、外圧 P_{ex} の値が小さくなる。

このため、本改正では、外圧が支配的となる積付状態を対象に、船体重心位置 x_G に対する等価設計波 HM-2 における波浪変動圧の値を、二重底の桁部材を評価する際に用いる荷重における波浪変動圧 P_{exw} の最小値として規定した。

図 11 外圧 $P_{ex}(P_{exs}(\text{静水圧})+P_{exw}(\text{波浪変動圧(HM)}))$ の船長方向分布（バラスト状態）



(c) 安全率

C 編 1 編 7 章 7.3 では、二重船殻構造の桁部材に対して、曲げ、せん断及びせん断座屈に対する強度評価を規定している。全面改正前の C 編では、例えば、二重底の桁の評価は、二重底に発生するモーメントのみを考慮している一方、C 編では、評価モデルをより実体に即したものととして評価すべく、二重底の桁の評価では、二重底に加えて、二重船側に発生するモーメントも考慮しており、より精度の高い評価モデルを用いている。また、表 3 に示すとおり、C 編全面改正により、評価対象部材がガーダ又はフロアのいずれの場合であっても、安全率がこれまでより増加している。

このため、本改正では、試計算結果のフィードバックと全面改正前の C 編の安全率とのバランスを考慮して、安全率を一律 1.1 に改正した。

表 3 C 編全面改正前後の安全率

評価対象部材	旧 C 編	現行 C 編	改正後
ガーダ	1.0	1.2	1.1
フロア	1.15	1.2	1.1

(d) コンテナ船における部分隔壁の取り扱い

C 編 1 編 7 章及び 2-1 編 7 章では、二重船殻構造の桁部材の評価を行う場合、部分隔壁の有無にかかわらず、水密隔壁間の距離を二重底の長さ及び評価対象貨物倉の範囲と定義している。また、評価対象となる二重底の幅は、評価対象の貨物倉の中央の位置で二重底の幅をとる旨規定している。本改正では、全面改正前の C 編の規定に倣って、部分隔壁を有する場合、評価対象となる二重底の長さ及び貨物倉の範囲は、水密隔壁から部分隔壁までの範囲と定義した。また、二重底の幅の取り方について、評価対象となる貨物倉の範囲で二重底の幅が変わる場合、実体に即した評価を行うべく、二重底の幅を、それぞれの評価対象となる貨物倉の範囲で最大の二重底の幅を取るよう規定した。

以上の(a)から(d)の改正に対する影響評価を行うべく、C 編 7 章の適用船舶を対象に、二重船殻構造の桁部材のせん断及びせん断座屈評価の試計算を行った。試計算の条件を表 4 に、部材毎のせん断及びせん断座屈評価の試計算結果のグラフを図 12 に示す。グラフの横軸は各船舶の略号、縦軸は、改正前後のせん断及びせん断座屈評価の要求値に対する実寸法の割合を示しており、このグラフより、ほとんどの船舶の部材の実寸法が、せん断及びせん断座屈評価の要求値を満たしていることが分かる。

表 4 試計算条件

船種 (略号)	隻数	船の長さ	対象断面/部材	設計荷重 シナリオ
一般貨物船 (GC)	3	200m 未満	中央部の Hold ・ Girder ・ Floor ・ S.Stringer ・ S.Trans)	最大荷重状態
リーファー (RE)	2			
セメント船 (CE)	1			
コンテナ船 (CC)	2	150m 未満		
オイルタンカー(OC)	4			

図 12 試計算結果

