

鋼船規則 C 編関連 (2025 年改正 2) に関する改正の解説

1. はじめに

2026 年 6 月公表の、鋼船規則 C 編関連 (2025 年改正 2) に関する改正について、その内容を解説する。改正の対象は、鋼船規則 A 編、C 編である。なお、本改正は、2027 年 1 月 1 日以降に建造契約が行われる船舶に適用される。

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) Notation “*PrimeShip-Fatigue Assessment-Direct Load Analysis (PS-FA-DLA)*” の規定の見直し

直接荷重解析により求めた荷重に基づく疲労強度評価を実施した場合に、評価において考慮する波浪荷重 (ワールドワイド荷重 (*WW*) 又は北大西洋荷重 (*NA*)) 及び疲労設計寿命 T_{DF} を Notation “*PrimeShip-Fatigue Assessment-Direct Load Analysis (PS-FA-DLA)*” に追記する旨改めた。Notation の例は次のとおりである。なお、等価設計波に基づく疲労強度評価を実施する場合の Notation には既に波浪荷重及び疲労設計寿命に関する追記は含まれている。

(a) ワールドワイド荷重を用いて疲労強度評価を行った場合

PrimeShip-Fatigue Assessment-Direct Load Analysis (World Wide, T_{DF}) (略号 PS-FA-DLA (*WW*, T_{DF}))

(b) 北大西洋荷重を用いて疲労強度評価を行った場合

PrimeShip-Fatigue Assessment-Direct Load Analysis (North Atlantic, T_{DF}) (略号 PS-FA-DLA (*NA*, T_{DF}))

(2) 機関区域内のタンク等における変動圧力に関する代替算式の規定

船舶の機関区域内には、多種多様な液体積載タンクが配置される。通常、液体積載タンクに対して局部強度評価 (鋼船規則 C 編 1 編 6 章) を行う際、液体積載物による変動圧力 (鋼船規則 C 編 1 編表 4.4.2-8.) の算出にあたっては、評価対象部材に対して動的な液位 (水頭) が最も高くなるようなタンクの境界の点を変動圧力の基準点として使用する。この基準点の計算は PrimeShip-HULL(Rules) を使用して行うことが可能であるが、PrimeShip-HULL(Rules) への膨大な基準点の候補となる点の座標の入力作業が大きな工数負担となっていた。このような背景から、液体貨物タンクの荷重算出の簡易化を目的として、基準点の設定を要さず、かつ、合理的な設計荷重を容易に取得可能な代替算式を、鋼船規則 C 編 1 編表 4.4.2-8. に規定した。

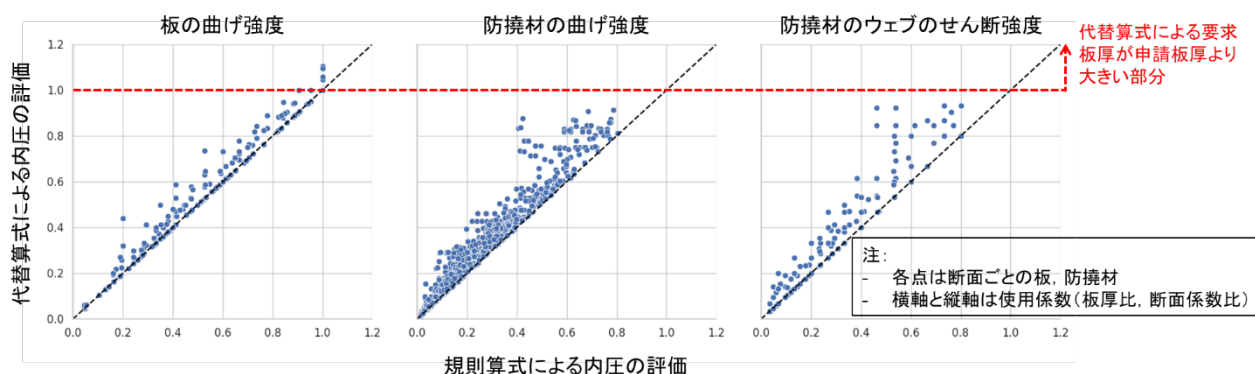
代替算式は、規則算式で使用する部材の位置や圧力の基準点に替えて、タンクの長さ、幅及び高さを使用する構成としている。算出される変動圧力は、タンク内で一律の値となり、規則算式による変動圧力のタンク内の最大値に相当する。これにより、基準点の候補点の設定作業が不要になるとともに、タンク内の全位置において現行算式と同等以上の安全側の荷重が算出される。なお、規則算式と代替算式は、任意に選択して使用して差し支えない。

代替算式を使用する場合、静的圧力の考慮は別途必要となるものの、変動圧力が一律となるため、静的圧力が最大となる任意の基本板パネル (Elementary Plate Panel) の評価結果を板全体に適用した効率的な寸法検討が可能になると期待される。また、PrimeShip-HULL(Rules) において部材単位で評価を行う Model-less member 機能の活用や、同ソフトウェアから取得した包絡加速度を用いて、断面モデルを作

成することなく効率的に寸法検討を行うことも可能になると期待される。

図 1 に C 編適用船に配置される機関区域内のタンク境界の板の曲げ強度並びに防撓材の曲げ強度及びウェブのせん断強度を対象とした、従来の規則算式と代替算式により算出した荷重に基づく評価の比較を示す。グラフの横軸は従来の規則算式、縦軸は代替算式による評価結果を表し、両軸の値は要求寸法と実寸法の比を表す。すなわち、プロットが右上がりの対角線付近に集中するほど、両算式による評価結果が近似していることを示している。グラフ上の各点は、検討対象の断面ごとの部材を表しており、板については、内圧の評価が最も厳しい基本板パネル (Elementary Plate Panel) の値をプロットしている。図からわかるとおり、機関区域内の多くの部材において、従来の規則算式及び代替算式により算出した荷重に基づく評価から得られた要求寸法はいずれも実寸法を下回る (使用係数が 1.0 未満である) 結果が得られている。つまり、小規模なタンクにおいては、内圧の評価に比べて水圧試験状態や細長比要件等の他の評価ケースが支配的であり、内圧による評価において安全側の荷重を使用することによる影響は限定的と言える。一方で、内圧による評価が支配的である場合には、代替算式による要求寸法が実寸法を上回る (使用係数が 1.0 を超える) 事例も確認され、特に大型タンクや複雑な形状を有するタンクに対しては、両算式の特性を考慮し、適宜使い分けることが肝要である。

図 1 規則算式と代替算式による部材評価結果の比較 (使用係数)



(3) ドッキングブラケット省略要件の追加

C 編 1 編 10.2.2 にはドッキングブラケットに関する要件を規定しており、縦式構造の場合はドッキングブラケットの設置を要求している。一方で、入渠時の外力を考慮した検討を実施する場合又はドッキングブラケットが無くても他の構造部材で荷重を十分伝達していると判断できる場合は、ドッキングブラケットは必ずしも必要ではない。本改正では、ドッキングブラケットを省略するための条件を明記するとともに、その際の詳細な検討資料の提出を要求するための根拠条文を追加した。なお、ドッキングブラケットの省略が認められるのは、例えば、二重底部に密にフロアが設置される構造等、盤木配置等を考慮して適切な検討を行った場合に限られる。したがって、あらゆる場合にドッキングブラケットの省略を認める趣旨ではないことに留意する必要がある。

(4) タンカーの貨物倉解析における波形隔壁下部の強度評価方法の見直し

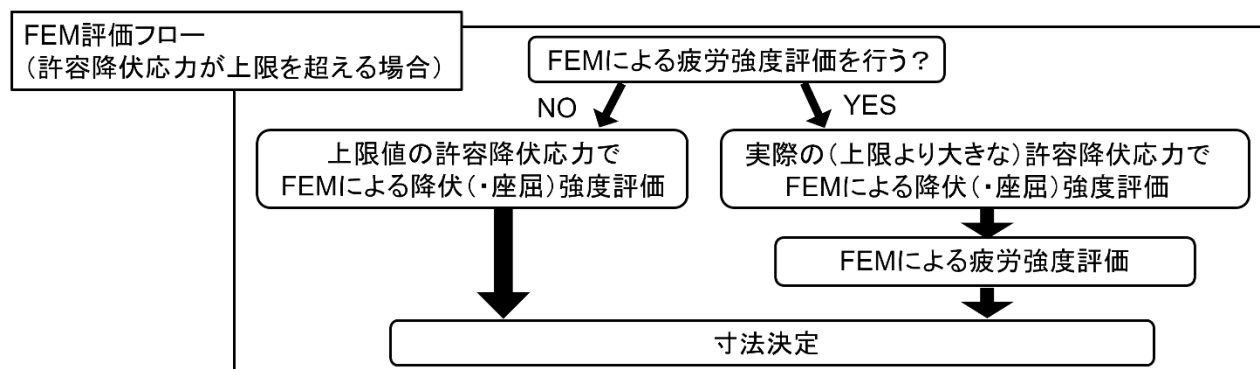
① 平均化範囲の見直し

鋼船規則 C 編 2-7 編 8.3.1.2 及び 8.5.1.1 においては、タンカーの貨物倉解析を行う場合、垂直波形隔壁下端周辺の板部材及び主要支持部材について、 $100\text{ mm}\times 100\text{ mm}$ 以下のメッシュサイズのシェル要素によりモデル化したうえで、垂直波形隔壁のウェブ深さを 3 分割した範囲 (約 $300\text{ mm}\times 300\text{ mm}$) 内にある複数要素の応力を平均化した値を参照応力として用いる旨規定していた。一方、CSR-B&T 編 1 編 7 章 2 節 2.4.3 においては、波形隔壁のメッシュについて、フランジ幅及びウェブ高さに対して 2 要素以上に分割することを規定している。C 編及び CSR-B&T 編において許容降伏応力は同一であることから、メッシュサイズがより細かい C 編の評価手法は、実質的に CSR に比べ厳しい評価となっていた。そこで、CSR-B&T 編の規定を参考に、C 編における応力平均化の範囲を、従来の「ウェブ深さを 3 分割した範囲 (約 $300\text{ mm}\times 300\text{ mm}$)」から、「2 分割した範囲 (約 $500\text{ mm}\times 500\text{ mm}$)」へ改めることとした。

② 材料係数 K の下限値の規定

旧鋼船規則 C 編 1 章 1.1.7-3.(3)においては、二相ステンレス鋼等の降伏応力の高い材料を波形隔壁に用いる場合、隔壁下部等の応力集中が想定される箇所について、疲労強度への影響を考慮し、寸法決定に用いる材料係数 K に下限値（降伏応力の上限值）を定める旨規定していた。一方、全面改正後の鋼船規則 C 編には同様の規定が存在しなかったことから、旧 C 編の取扱いを踏まえ、材料係数 K の下限値を新たに規定することとした。なお、全面改正後の鋼船規則 C 編では疲労強度評価法が新たに明記されたことを踏まえ、応力集中が想定される箇所に高強度材料を用いる場合において、疲労強度評価を実施する条件で、実際に使用する材料の降伏強度に基づく許容降伏応力を用いて降伏強度評価を行ってよい旨を明確化した。図 2 に評価フローを示す。

図 2 降伏応力の高い材料を波形隔壁に用いる場合の評価フロー



(5) 液化ガスばら積船の独立型方形タンクにおける横制水隔壁の隔壁板及び防撓材を対象とした局部強度評価に関する要件の規定

独立型方形タンクを有する液化ガスばら積船における横制水隔壁の評価要件について、C 編全面改正前においては、N 編検査要領に隔壁板の板厚や防撓材の断面係数を規定していた。その後、C 編全面改正の際、スロッシング荷重に関する要件及びスロッシングに対するタンク部材の寸法要件を C 編に規定したことに伴い、従来 N 編に規定していた横制水隔壁の評価要件を削除した。しかし、独立型方形タンクの場合、タンク内部に設けられる横制水隔壁により液体の動揺は大きく抑制され、その結果、液体の動揺周期が船体固有周期と一致しにくくなり、スロッシング荷重の適用条件を満たさないケースが多い。さらに、独立型方形タンクの横制水隔壁は、C 編に規定している局部強度評価の適用対象にも含まれていない。このため、C 編全面改正以降、横制水隔壁に対する明確な評価要件が存在しない状態が続いていた。

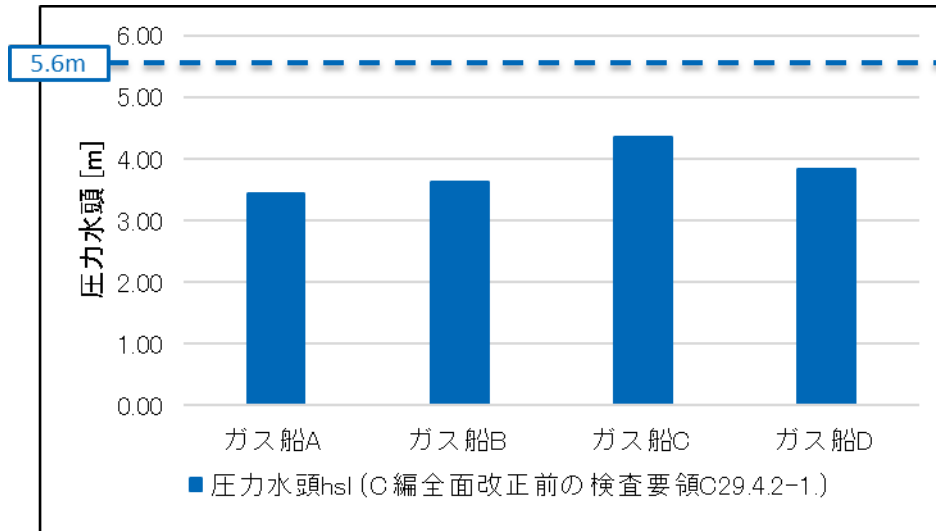
以上の背景を踏まえ、液化ガスばら積船における独立型方形タンクの横制水隔壁を対象として、強度評価のための算式を規定した。

本改正では、C 編全面改正前の N 編（以降、旧 N 編）に規定していた横制水隔壁の評価算式を、C 編 2-9 編 10.2 に取入れた。なお、取入れに際しては、C 編 1 編 6 章に規定している局部強度評価の思想と矛盾が生じないように整合を図った。改正内容の詳細は以下のとおりである。

① 評価荷重

旧 N 編における荷重要件は、C 編全面改正前の検査要領 C29.4.2-1.を基に、圧力水頭ベースで規定しており、最小圧力水頭については、当時の液化ガスばら積船における横制水隔壁の防撓材の実績寸法と整合するよう、5.6 m と設定していた。また、液化ガスばら積船 4 隻を対象に、同検査要領に基づいて算出した圧力水頭を確認した結果、図 3 に示すとおり、いずれの船においても、最小圧力水頭 5.6 m を超えていないことが確認されている。

図3 液化ガスばら積船における圧力水頭の比較



以上を踏まえ、本改正では、旧 N 編において用いられていた最小圧力水頭 5.6 m に相当する荷重を、評価荷重として採用した。また、C 編へ取入れるにあたり、C 編の表記体系との整合を図るため、圧力水頭ベースによる表記から圧力ベースの表記へ改めた。

② 横制水隔壁の隔壁板の厚さ

旧 N 編に規定していた板の局部強度評価算式では、強度クライテリアとして 3 点ヒンジを採用し、許容値に対して安全率 1.33 を考慮していた。その後、C 編全面改正において、横制水隔壁の隔壁板を除く板の算式を C 編に取入れる際、強度クライテリアを 2 点ヒンジ、安全率を 1.0 に変更して、C 編 2-9 編 6 章に規定した。

したがって、本改正においても、同様の方針で、旧 N 編に規定していた横制水隔壁の隔壁板の算式を、C 編 1 編 6.3 に規定している板部材の算式の形と整合するよう整理したうえで、C 編 2-9 編 10.2.2.1 に規定した。

なお、強度クライテリアの変更による寸法影響は、約 1.15 倍 ($\equiv \sqrt{(16/12)}$) である一方、安全率の変更による寸法影響は、約 1/1.15 倍 ($\equiv \sqrt{(1/1.33)}$) である。このため、両者の寸法影響は互いに相殺される関係であるため、要求寸法に変更はない。

③ 横制水隔壁に付く防撓材の断面係数

旧 N 編に規定していた横制水隔壁に付く防撓材の断面係数の算式を、C 編 1 編 6.4 に規定している防撓材の断面係数の算式の形と整合するよう整理したうえで、C 編 2-9 編 10.2.2.2 に規定した。なお、本改正において、強度クライテリア、許容応力、安全率及び固着条件に関する係数そのものについては、変更は行っていない。

(6) メンブレン方式の液化ガス運搬船の内殻材の局部強度評価において考慮する荷重の追加

メンブレン方式の液化ガス運搬船の内殻材（インナーデッキ、縦通隔壁、ビルジホッパ斜板、内底板、横隔壁で構成）の局部強度評価において、評価する設計荷重シナリオを貨物倉解析と対応させるべく、設計蒸気圧 P_0 より高い蒸気圧 P_h を用いる場合の港内状態と 30 度静的傾斜状態を追加する。これらのシナリオは IGC コードに対応した設計荷重シナリオである。

それぞれの設計荷重シナリオにおける具体的な評価条件を表 1 に示す。ハルガーダ応力の考慮以外は、独立型方形タンクの局部強度評価と同じである。メンブレン方式の液化ガス運搬船の内殻材には、縦強度部材も含まれることから、港内状態におけるハルガーダ応力も適切に考慮することになっている。ただし、30 度静的傾斜状態は、事故想定状態であることから、北大西洋を 25 年間航行した際に生じ得るハルガーダ応力を同時に考慮するのは合理的ではなく、当該状態においてはハルガーダ荷重を考慮しないこととしている。

なお、インナーデッキ周辺の部材及びハルガーダ応力が生じない又は小さい横隔壁や中性軸付近の

部材においては、最大荷重状態よりも本改正で追加した設計荷重シナリオが支配的となる場合がある。

表 1 港内状態及び 30 度静的傾斜状態の具体的な評価条件

	港内状態（高い蒸気圧 P_h ）	30 度静的傾斜状態
ネット寸法又は グロス寸法手法	ネット寸法手法	ネット寸法手法
強度	（板）2 点ヒンジ強度 （防撓材）弾性強度	（板）2 点ヒンジ強度 （防撓材）弾性強度
面外荷重	$P_{in1} = (P_h + P_s)/0.95$ P_h ：港内状態における設計蒸気圧 (kN/m^2) P_s ：静的圧力(kN/m^2) *5%は港内状態における安全余裕	$P_{in2} = P_{heel}$ P_{heel} ：30 度静的横傾斜状態における最大 静圧(kN/m^2)（設計蒸気圧を含む）
ハルガーダ応力	港内状態における静水中垂直曲げモー メント M_{PT} による軸応力	考慮しない