

PS-3 第二世代非損傷時復原性基準の過大加速度モードへの取り組み

流体性能評価系 * 黒田 貴子

1. はじめに

国際海事機関(IMO)では、非損傷時復原性に関する国際コード(2008ISコード)は波浪等による動的な要素が十分に考慮されたものではなく、超大型船や新船型への適用が困難なことから、動的復原性要素を導入した第二世代非損傷時復原性基準の策定を進めてきた。2020年2月に開催されたSDC7で第二世代非損傷時復原性基準暫定ガイドライン¹⁾が最終化し、SDC8(2021)での解説文書の最終化を目指している。これまでに当所で行ってきた基準策定に係る調査研究及び危険回避のための操船支援に関する研究について紹介する。

2. 第二世代非損傷時復原性基準の概要

2.1 基準の概要

第二世代非損傷時復原性基準は①デッドシップ状態、②過大加速度、③復原力喪失、④パラメトリック横揺れ及び⑤ブローチングの5つの復原性に起因する危険現象に対して三段階で判定するものである。簡易な計算法で安全余裕が大きい評価を行う第一、第二段階基準(簡易基準)と、高度な計算で個々の船を評価する第三段階基準(直接復原性評価)で構成されており、上記の基準が満足できない積載状態であっても海象を制限する運航制限や、操船要素(船速や針路)により危険を回避する運航ガイダンスで基準への適合性を示すことができれば運航することができる。

2.2 過大加速度

当所では5つの危険現象のうち過大加速度の基準策定及び操船支援に関する研究を実施してきた。過大加速度は、船で最も高い位置にある居住区や船橋に居る旅客あるいは船員に働く横方向の加速度に関する基準である。横加速度が大きくなる横波を主方向とする不規則波中での前進速度が無い状態で評価する。第一段階基準の基準値は横加速度 4.64m/s^2 、第二段階基準値は横加速度 9.81m/s^2 を閾値とした北大西洋での長期発生確率 0.00039 である。これら基準値は過大加速度に起因する事故を起こしたコンテナ船Chicago Expressの評価値を基準に第一、第二段階基準の判定に整合性がとれるよう設定されたものである。

3. 過大加速度の検討

3.1 簡易基準の合格率

現存する船舶の過大加速度簡易基準の適合率を把握するために複数の船種に対して満載、空載状態での試算を実施した²⁾。対象船はバルクキャリア10隻、コンテナ船4隻、PCC2隻、LNG船2隻、VLCC2隻、ケミカルタンカー11隻、PSV2隻、フェリー1隻、タンカー2隻、一般貨物船1隻の合計37隻で

ある。図1に載荷状態ごとの合格率を示す。満載、空載状態ともに合格した船は37隻中12隻であり、合格率は33%であった。23隻(62%)は満載、空載どちらかの状態で不合格、2隻(5%)は満載、空載状態どちらも不合格となった。67%の船が第三段階基準、または運航制限、運航ガイダンスに移行して計算、評価することになる。

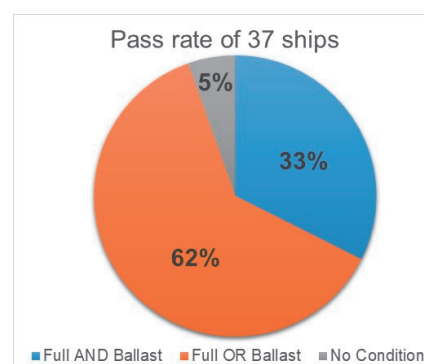


図1 載荷状態ごとの過大加速度簡易基準合格率

3.2 直接復原性評価の計算法

第三段階基準である直接復原性評価では、不規則波中での船体運動計算を実施し、5つの危険現象により横揺れ角 40deg .または横加速度 9.81m/s^2 を超えることを危険事象とし、1隻1年あたりの発生確率 2.6×10^{-3} を基準値として判定する。ここでの船体運動計算は時間領域で行うが、過大加速度は暫定ガイドラインでフルードクリロフ力の非線形性が要求されていない。そこで、Chicago Expressを模したコンテナ船を対象にストリップ法を用いた周波数応答の線形重ね合わせ法と時間領域計算法の2つの計算法による不規則波中船体運動計算を実施し、当所の実海域再現水槽で実施した模型実験と比較した^{3),4)}。

1つ目の計算法はストリップ法の1種であるSTF法を用いた周波数領域計算による船体応答関数に波スペクトルをかけ、方向分布関数を考慮した線形重ね合わせ法で求めた。ここでの流体力は2次元特異点分布法で求めており、扱う運動軸は前後揺れを除く5自由度である。2つ目の時間領域計算での流体力は3次元特異点分布法で求めており、扱う運動軸は6自由度、メモリー影響を考慮している。どちらも横揺れ減衰力は模型実験での自由横揺れ試験で得られた横揺れ減衰係数を使用した。波の周波数スペクトルはITTC型、方向分布関数は横揺れを主方向とした COS^4 分布である。

図2に短波頂不規則波中(有義波高 $H_s=5.5\text{m}$, ゼロアップクロス波周期 $T_z=9.5\text{s}$)の横加速度を周波数応答の線形重ね合わせ法および第二段階基準の計算法で求めた1/3最大平均値

を、模型実験と比較して示す。計算結果は試行 7 回分の実験結果の 95%信頼区間と重なっており、かつ第 2 段階基準の結果と整合性を持っている。図 3 に図 2 と同様の波条件で実施した試行 5 回分の時間領域計算と模型実験の横揺れの 1/3 最大平均値を 95%信頼区間と合わせて示す。実験と時間領域計算の 95%信頼区間は重なっており、時間領域計算法は十分な精度を持つことが分かる。簡易基準計算法と計算精度が十分であることを確認した 2 つの計算法に北大西洋の波浪発現頻度を用いて算出した長期発生確率を表 1 に示す。2 つの計算法で求めた長期発生確率は近い値になっており、周波数応答の線形重ね合わせ法の有用性を示している。

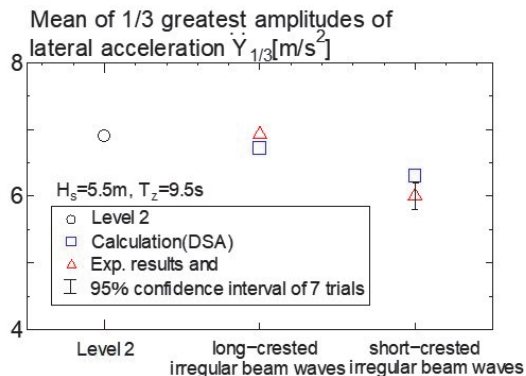


図 2 不規則波中横加速度の模型実験と第 2 段階基準及び線形重ね合わせ法の比較

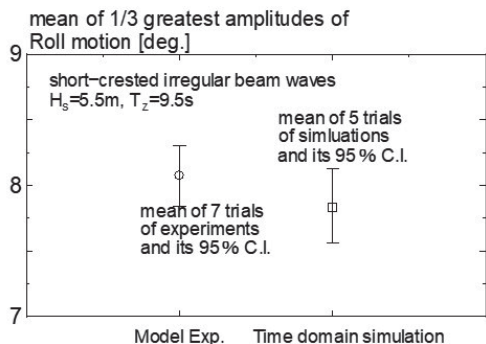


図 3 時間領域計算と模型実験での短波頂不規則波中横揺れの 1/3 最大平均値と 95%信頼区間との比較

表 1 第二段階基準、応答関数を用いた線形重ね合わせ法及び時間領域計算による長期発生確率 (IACS No. 34)

Used method	Level 2	The linear superposition method with RAO	Time domain simulation
The long-term failure probability	5.35×10^{-5}	2.02×10^{-5}	1.68×10^{-5}

3. 3 運航制限、運航ガイダンス

運航制限または運航ガイダンスでは適合状態での合計運航時間を総運航時間に対して比率 0.8 以上としている。最大有義波高までの運航制限は、指定海域、季節、ルートにおける波浪発現頻度表において、特定の有義波高以上をカットし

た特定海象条件での評価である。運航ガイダンスは操船により危険を回避するために各海象条件における船速と針路（波向き）について計算し、適合状態を示すものである。

3. 4 運航ガイダンスを考慮した操船支援

運航ガイダンスは計算条件が多いため、操船者に適合条件をどのように示すかが問題になる。操船者に適合条件を示す操船支援の一例として避けるべき波向きと波周期を示す極座標図を図 4 に示す。図中、黄色で囲まれた範囲が避けるべき波向きと波周期を示している。このように運航時の海象条件や操船要素による危険範囲を的確に示す工夫が必要である。

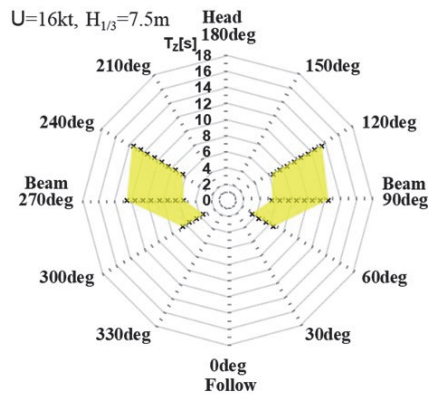


図 4 船速 16kts, 有義波高 7.5m での回避すべき波向きとゼロアップクロス波周期

4. まとめ

第二世代非損傷時復原性基準の策定及び操船支援に関する研究成果について紹介した。5 つの危険現象の 1 つである過大加速度について簡易基準の適合率を調査した結果、33%にとどまること、直接復原性評価での不規則波中船体運動計算に周波数応答の線形重ね合わせ法が有用であること、運航ガイダンスを考慮した操船支援の検討例について示した。

謝辞

本研究は、日本財団助成事業の一環として一般財団法人日本船舶技術研究協会からの平成 29, 31 年度委託研究「目標指向型復原性基準に関する研究」で実施しました。

参考文献

- 1) Finalization of second generation intact stability criteria, SDC 7/WP.6 (2020)
- 2) Sample calculations of excessive acceleration failure mode, SDC 7/INF.4 (2020)
- 3) Comments on document SDC 5/6-Application example of direct stability assessment for excessive acceleration failure mode, SDC 5/6/13 (2018)
- 4) Kuroda, T., Hara, S., Houtani, H., Ota, D., Direct stability assessment for excessive acceleration failure mode and validation by model test, Journal of Ocean engineering 187 (2019)