

PS-7 第二世代非損傷時復原性基準過大加速度モードの 直接復原性評価

流体性能評価系系 *黒田 貴子、原 正一、宝谷英貴、大田大地

1. はじめに

現在 IMO で審議されている第二世代非損傷時復原性基準にある 5 つの危険モードの 1 つである過大加速度は、旅客または船員が最も高い位置にある居住区や船橋に居る場合に働く横方向の加速度に関する基準であり、簡易基準である第 1、2 段階基準と直接復原性評価を行う第 3 段階基準の合計 3 段階に分けられている。

本研究は過大加速度が危険モードに取り入れられるきっかけとなった事故を起こしたコンテナ船を供試船として直接復原性評価の試算を実施した。直接復原性評価に使用する船体運動計算の定量的検証のための模型実験を実施し、検証した計算法と波浪発現頻度表を用いて求めた長期の超過確率で直接復原性評価を行った。

2. 供試船と簡易基準評価

供試船は 2008 年 9 月に香港沖で台風回避中に大きな横加速度の発生により乗組員が死傷したコンテナ船 CHICAGO EXPRESS の事故調査書¹⁾に記載のある正面線図より描き起こしたもので、事故調査書にある排水容積との誤差は 1%未満である。表 1 に主要目と設定状態を示す。供試船の状態は調査書に示されている事故当時の状態である。ビルジキールは SLF 54/INF.7 にあるビルジキール面積と船長の関係式より、船橋の位置と高さは類似船を参考に設定した。

供試船の簡易基準である第 1、2 段階基準を SDC 3/WP.5 Annex2、Annex7 に基づき算出した。第 1 段階基準は 8.183m/s²、第 2 段階基準は 0.00021 である

表-1 供試船主要目と状態

Length between perpendiculars	320.000m
Breadth	42.80m
Draught at midship	8.078m
Metacentric height GM	8.540m
Breadth of bilge keel	0.600m
Length of bilge keel	96.000m
Longitudinal distance of bridge from A.P.	77.700m
Height of bridge from base line	50.000m

3. 過大加速度の直接復原性評価

過大加速度の直接復原性評価は、不規則波中船体運動計算法の精度を模型実験で定量的に評価し、横加速度の閾値 9.81m/s²を越える 1 年あたりの超過確率で評価することが提案されている (SDC 4/WP.4)。基準値は 10⁻⁴である。

3. 1 過大加速度模型実験

過大加速度の直接復原性評価に用いる計算法の定量的評価のために、横波からの規則波と長波頂不規則波、および横波を主方向とする短波頂不規則波中前進速度無しの状態での船体運動と横加速度の計測と自由横揺れ試験を ITTC 7.5-02-07-04 に基づいて海上技術安全研究所の実海域再現水槽で実施した。模型船の全長は 3.5m、縮尺 1/96.054 である。横加速度はブリッジ高さに加速度センサーを設置して計測した。船体運動は 6 軸を自由とし、前後揺れ、左右揺れ、船首揺れには定常力と変位に比例する復原力を与えた。

使用した波の有義波高と波周期は北大西洋の波浪発現頻度表 (IACS No. 34) から有義波高 5.5m 相当を選択した。不規則波の周波数スペクトルは ITTC 型、方向スペクトルは COS4 乗分布で与えた。波形表現はシングルサンメンション法とし、初期位相と方向角初期値は乱数で設定した。周波数分割数は 150 分割である。計測時間は実船時間で 3 時間相当の 20 分とし、波の周波数スペクトルと方向スペクトルの時間変化が無いことを確認している²⁾。

3. 2 周波数応答を用いた不規則波中船体運動計算法

ここでの横加速度の直接復原性評価は主方向が横波の短波頂不規則波中、前進速度無しでの船体運動を扱うこととする。ストリップ法の 1 種である Salvesen、Tuck and Faltinsen's Method (STF 法)を用いた周波数領域計算による船体応答関数を用いて長波頂不規則波中応答は応答関数に波スペクトルをかけて求め、短波頂不規則波中応答は方向分布関数を考慮した線形重ね合わせで求めた。ここで用いた STF 法は前後揺れを除く 5 自由度であり、流体力は 2 次元の特異点分布法で求めている。横揺れ減衰力は等価線形化で扱い、横揺れ減衰係数は自由横揺れ試験の値を用いた。

3. 3 実験結果と計算結果の比較

規則波横波中前進速度無しでの横揺れとブリッジ高さでの横加速度の模型実験結果を STF 法による計算結果と比較した。図 1 に実験と計算での横揺れ振幅を最大波傾斜で無次元化した値を、図 2 に実験と計算での横加速度を比較して示す。横揺れ、横加速度ともに計算結果は実験結果とよく一致しており、本計算法は十分な精度を有していることを確認した。

次に主方向を横波とする長波頂不規則波及び短波頂不規則波中での横揺れ、横加速度の実験結果と第 2、3 段階基準計算結果を比較した。波条件は IACS の波浪発現頻度表の波

条件にある有義波高 5.5m、ゼロアップクロス波周期 9.5s 相当である。短波頂不規則波中での実験は波の初期位相と方向角初期値を乱数で与えて 7 回実施した。図 3 にブリッジ高さ位置での横加速度の両振幅分布の 1/3 最大平均値の実験結果と計算結果を第 2 段階基準の計算結果と合わせて示す。図中の短波頂不規則波中模型実験の値は試行 7 回分の平均値と 95% 信頼区間を示している。長波頂不規則波及び短波頂不規則波での実験結果と周波数応答を用いた直接復原性計算結果はよい一致を示しており、かつ、第 2 段階基準の計算結果と整合性を持っている。よって、本計算手法は直接復原性評価に適していることを確認した。

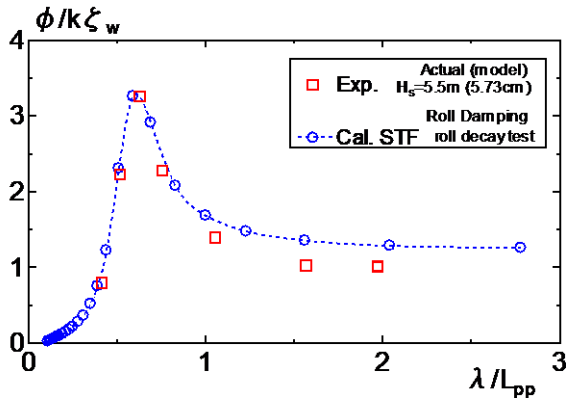


図-1 規則横波中での横揺れ実験結果と計算結果

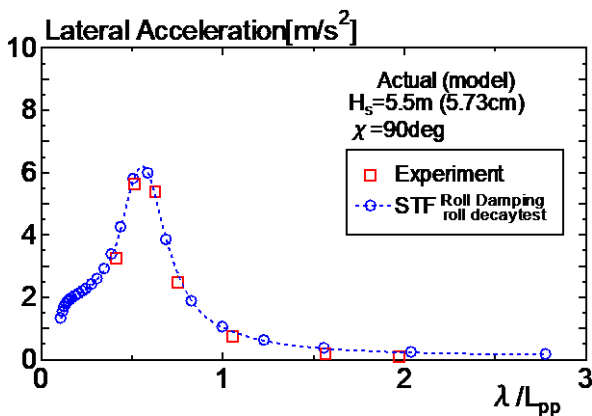


図-2 規則横波中での横加速度実験結果と計算結果

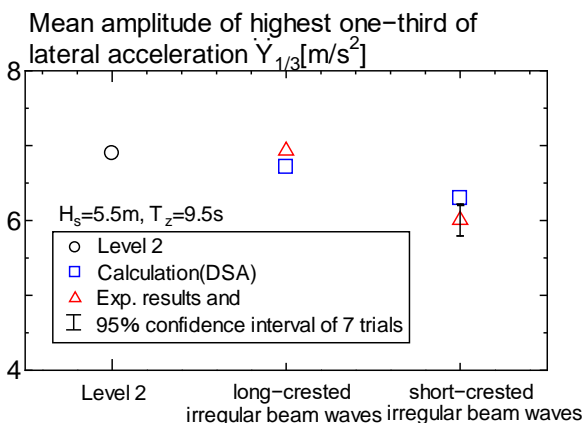


図-3 横加速度の第 2、3 段階基準計算と実験の比較

3. 5 長期の超過確率を用いた直接復原性評価

ここで、北大西洋の波浪発現頻度表 (IACS No. 34) と短波頂不規則波中での横加速度の 9.81m/s^2 を閾値とした短期の超過確率を用いて、次式に示す加重平均により長期の超過確率 C を求めた場合、0.00002020 になる。第 2 段階基準 (0.0000535) は簡易計算法を用いて同様の手法で求めており、ここで求めた長期の超過確率よりも第 2 段階基準の値の方が大きく、安全側評価であることから、整合性があることが確認できる。

$$C = \frac{\sum_i W_i C_i}{\sum_i W_i} \quad (1)$$

次に、船の出会い周期を 10sec. と仮定して、直接復原性評価の指標である 1 年あたりの超過確率 S_{DSA} を次式で算出する。

$$S_{DSA} = 1 - (1 - 0.00002020)^{365 \times 24 \times 3600 / 10} \quad (2)$$

供試船の S_{DSA} は 1.0 であり、基準値 10^{-4} よりも大きい。よって供試船は過大加速度に対して危険であると言える。

4. まとめ

第二世代非損傷時復原性基準にある過大加速度モードの第 3 段階基準である直接復原性評価の試算と模型実験を実施した。以下に得られた結果を述べる。

- 1) 短波頂不規則波中の船体運動を周波数応答の線形重ね合わせ法で計算し、模型実験結果と比較した結果、本計算法が十分な精度を有していることを示した。
- 2) 1) の方法で計算した短波頂不規則波中での横加速度 (第 3 段階基準) は、第 2 段階基準の計算法と整合性を持つことを確認した。
- 3) 1) の計算法を用いて IACS の波浪発現頻度表にある全ての波浪条件で分散値から超過確率を求め、海象の出現確率との積の加重平均による長期の超過確率を用いて求めた 1 年あたりの超過確率で第 3 段階基準評価を評価した。

謝辞

本研究は、日本財団助成事業の一環として日本船舶技術研究協会が実施した「目的指向型復原性基準に関する調査研究」の受託研究として実施しました。関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation: Fatal accident on board the CMV CHICAGO EXPRESS during Typhoon "HAGUPIT" on 24 September 2008 off the coast of Hong Kong, The investigation report 510/08, 2009.
- 2) 大田大地、黒田貴子、宝谷英貴: 短波頂不規則波の長時間造波による特性変化の検証、日本船舶海洋工学会論文集、第 26 号、pp. 435-438.