

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06627

研究課題名(和文) 不確定因子を考慮した大型コンテナ船の動的縦曲げ最終強度及び信頼性に関する研究

研究課題名(英文) Study on the Dynamic Hull Girder Ultimate Strength and Structural Reliability of Large Container Ships Considering Uncertainties

研究代表者

山田 安平 (Yamada, Yasuhira)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：90443241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：コンテナ船の縦曲モーメントに対する動的応答特性を明らかにするため全船モデルを用いた3次元弾塑性非線形有限要素解析を実施。最先端のシミュレーション技術を用いて、一発大波に対する船体の崩壊メカニズムを明らかにした。荷重周期・振幅・解析モデルが船体最終強度の動的構造応答に与える影響を明らかにした。最終強度推定には、少なくとも全船モデル又は1/2ホールドモデルが必要。最終強度推定について、3種類の解析手法の推定精度を相互比較検証すると共に、コンテナ船に適用可能な新たな簡易算式を開発しその有効性を検証した。模型実験の解析検証を実施し、実験時の摩擦影響及び面内応力集中影響を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：A series of 3-dimensional non-linear finite element simulation is carried out using a full model ship in order to investigate dynamic structural response of container ships. Dynamic collapse mechanism and structural response of container ships due to longitudinal bending moment are investigated in detail. Effects of load duration, amplitude and analysis models on dynamic structural response of ultimate strength is investigated. It is found by the analysis that, 1 transverse model gives un-conservative results, and that a full model and/or 1/2 hold model gives fairly reasonable results. Accuracies of 3 analysis methods(non-linear FEA, simplified method, closed formula) are compared, and a new closed formula for container ships is developed and its effectiveness is verified. Validation analysis for model test is carried out and effects of friction as well as in-plane stress-concentration on ultimate strength is revealed.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：船体最終強度 動的応答 スラミング コンテナ船 非線形FEA 荷重周期 Smith法 縦曲げモーメント

1. 研究開始当初の背景

人命の安全及び環境保全の観点から、船舶の折損事故防止は重要な構造要件の1つである。これまで、船体縦曲げ最終強度に関する様々な研究が行われてきたが船体折損事故は後を絶たない。船体縦曲げ最終強度は、従来、準静的に評価されることが多かったが、実際の現象は動的現象である。とりわけ、大型コンテナ船に対しては、出会い波周期と船体固有周期の近接による影響が指摘されている。

2. 研究の目的

本研究では、超大型コンテナ船の縦曲げモーメントに対する動的構造応答特性を明らかにするために、荷重周期、解析モデル、コンテナ重量等の不確定要因が最終強度に与える影響を明らかにする。コンテナ重量データを用いて、信頼性解析・リスクベースデザインに資するデータベースを整備する。

3. 研究の方法

- (1) 損傷時の崩壊メカニズム解明及び数値解法の妥当性検証
- (2) 動的応答解明のための陽解法弾塑性FEM解析
- (3) コンテナ重量及びマイナー損傷等の不確定要因を考慮したハル・ガーダー最終強度の確率論的評価手法の高度化

4. 研究成果

(1) 鋼製模型の4点曲げ崩壊実験の解析検証を行い、模型・治具間の摩擦が最終強度に与える影響が少なくないことを明らかにした。感度解析により、実験時の摩擦係数を同定した。

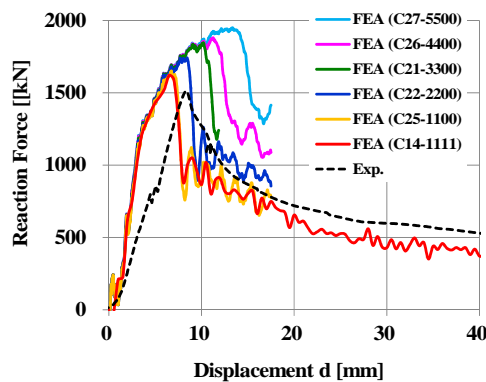


図1 摩擦力が最終強度に与える影響

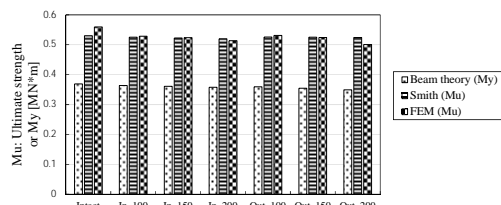


図2 損傷が最終強度に与える影響

(2) コンテナ重量の確率論的評価のために、実コンテナ重量データを用いて、コンテナ重量の頻度分布に関する調査を実施した。20feet コンテナ及び40feet コンテナが混在するため2峰性分布になること、及び定量的なコンテナ重量分布を明らかにした。今回の調査では限られたデータであったため、今後、実データの増大を図り、より一般的な統計データを習得することが有用であると考えられる。

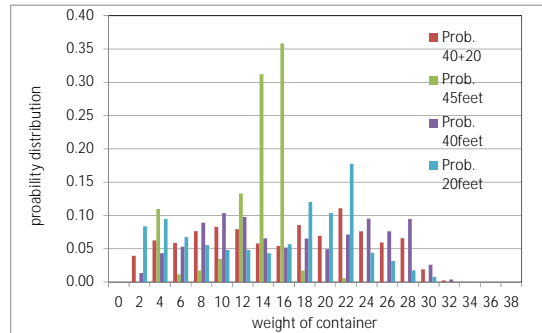


図3 コンテナ重量の頻度分布

(3) 非線形弾塑性有限要素解析を用いて、コンテナ船の縦曲げ崩壊解析のシリーズ解析を実施し、荷重周期、歪速度依存性等が崩壊メカニズム及び最終強度に与える影響を明らかにした。

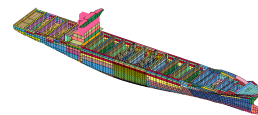


図4 コンテナ船モデル

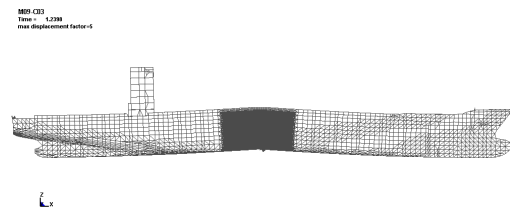


図5 コンテナ船の折損シミュレーション

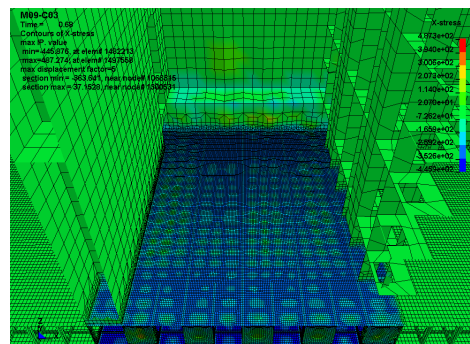


図6 ホールドの圧縮応力状態

(4)荷重周期によって、ホールドの崩壊メカニズムが変わり、1断面崩壊(図7)と2断面崩壊(図8)の2パターンが生ずることが分かった。

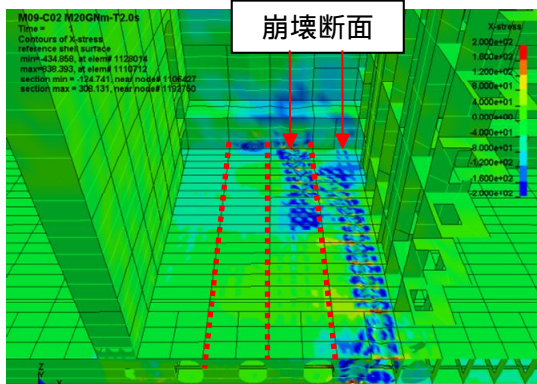


図7 ホールドの座屈崩壊状況(2断面崩壊)

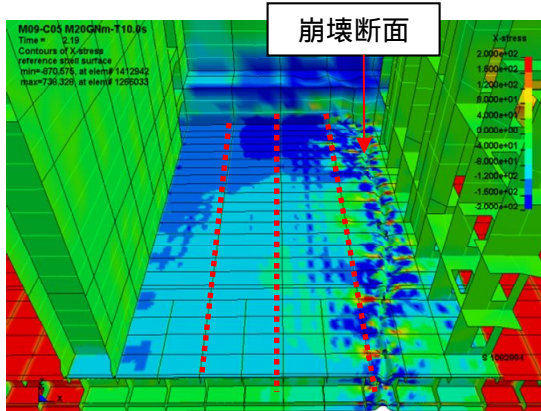


図8 ホールドの座屈崩壊状況(1断面崩壊)

解析モデル及び荷重周期が崩壊断面数に与える影響は表1のように複雑であるが、傾向として、荷重周期が長く準静的に近い場合は1断面崩壊となり、荷重周期が短く動的なほど2断面崩壊となりやすいことが指摘できる。準静的な場合には、最初に崩壊した箇所から同一断面で連続して崩壊すると考えられるが、動的現象においては、慣性力等の影響が複雑に作用し、2断面崩壊になると考えられる。詳細なメカニズムは今後の課題であるが、崩壊断面によって荷重周期をある程度予測できる可能性があると考えられる。

表1 荷重周期及びモデル毎の崩壊断面数一覧(1:1断面崩壊、2:2断面崩壊)

T	1Trans Model	Hold Model	Hold Model	Full Model	Full Model	Full Model	Full Model
	M10	M07	M07	Ballast	Full	Full+AM	M09
	M10	M07	M07	M05	M08	M09	M09
1	2	2	2	2	2	2	2
2	1	2	2	2	2	2	1
3	1	2	1	2	2	2	2
5	1	1	1	2	2	2	2
10	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	2	1	1	1	1

(5)5種類の解析モデルを用いて、様々な不確定性のうち解析モデルが最終強度に与え

る影響を明らかにした(図9)。その結果、1Tranモデルは境界条件影響により相対的に高い最終強度を与え非安全側となり、少なくとも、1/2ホールドモデル又は全船モデルを用いる必要があることが分かった。(6)荷重周期が最終強度に与える影響を明らかにした(図9及び図10)。荷重周期が非常に短い(T=1.0s)場合には、解析モデルによってであるが、最終強度を超える荷重であっても座屈崩壊しないことが確認できた。

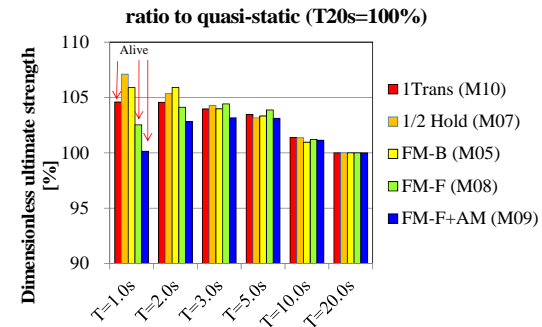


図9 解析モデルが最終強度に与える影響

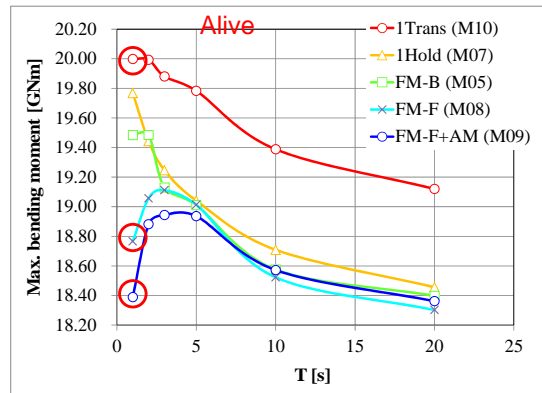


図10 荷重周期が最終強度に与える影響

(7)材料の歪速度依存性が最終強度に与える影響を明らかにした(図11、図12及び図13)。波浪荷重に対する動的応答では歪速度依存影響はほとんどないとの文献もあるが、全船モデルを用いた高精度解析の結果、歪速度依存性が最終強度に与える影響は、考慮しない場合に比べて10~18%増となりその影響は小さくないことが定量的に明らかとなった。歪速度依存性を考慮することで最終強度は増加するため考慮しない方が安全側の結果となる。しかしながら、前述のとおり動的現象においては荷重周期によって崩壊メカニズムが変化することも明らかになっており、歪速度依存性を考慮しないことにより、最終強度の値以外への影響を見逃してしまう可能性もあるため、実現象を再現するためには歪速度依存性を考慮して評価する必要があると考える。一方で、今次解析では歪速度依存性モデルと

して広く用いられる Cowper-Symonds 則を用いたが、波浪荷重のような比較的低速度に対して当該法則を適用することの妥当性については疑問視する意見もあり、今後、歪速度依存性モデルの改良や妥当性評価も必要となると考えられる。

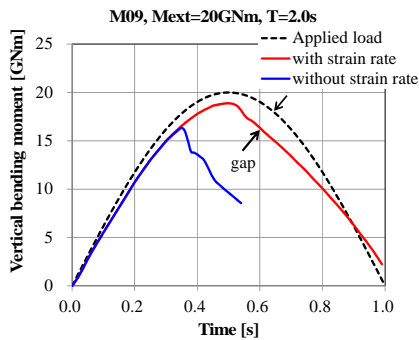


図 11 歪速度依存性が構造応答に与える影響

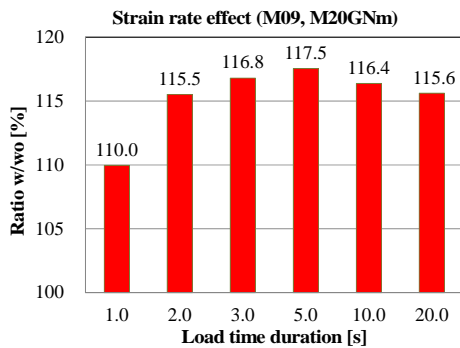


図 12 歪速度依存性及び荷重周期が最終強度に与える影響

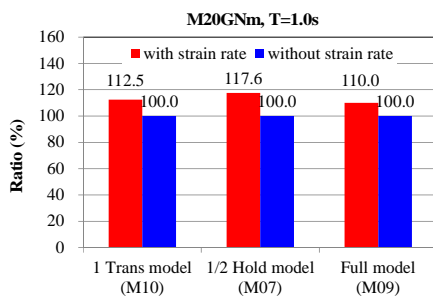


図 13 歪速度依存性及び荷重周期が最終強度に与える影響

(8)信頼性解析・確率論的評価に資するため大開口を有するコンテナ船に適用可能な船体最終強度の簡易推定手法を開発し、FEシミュレーション及び Smith 法と比較し妥当性の検証を行った。

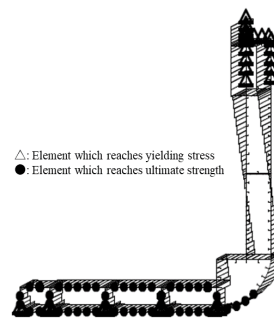


図 14 簡易解析による断面の曲応力分布

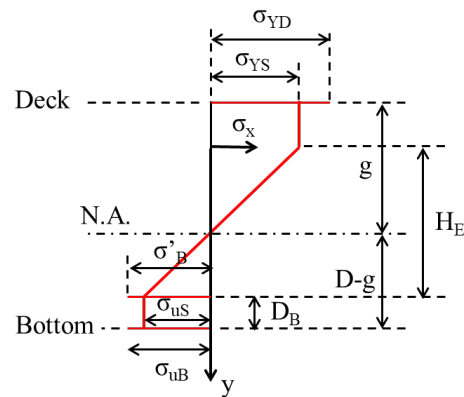


図 15 開発した簡易推定手法に用いた縦曲げ応力分布モデル

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計7件)

Yamada, Y., Kameya, K., "A Study on the Dynamic Ultimate Strength of Global Hull Girder of Container Ships subjected to Hogging moment", Proceedings of the ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE-2018), 2018

小森山祐輔, 亀谷恭子, 山田安平, ホギング状態のコンテナ船に対するハルガーダ船体最終強度簡易推定手法の適用について, 査読無、日本船舶海洋工学会講演会論文集第26号、2018

山田安平, 亀谷恭子, コンテナ船のハルガーダ動的応答に関する基礎的検討(第2報), 日本船舶海洋工学会講演会論文集第25号、2017

Yamada, Y., Kameya, K., A Fundamental Study on the Dynamic Response of Hull Girder of Container Ships due to Slamming Load, Proceedings of the ASME 2017 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE-2017), 2017

山田安平, 亀谷恭子, 小沢匠, コンテナ船のハルガーダ動的応答に関する基礎的検討, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 23 号, 2016

Yamada, Y., Takami T., Ozawa, T., Experimental and Numerical Study of Damaged Box Girders under Longitudinal Bending Moment, Proceedings of the Twenty-second International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2016), (2016)"

小沢匠, 山田安平, 損傷を有したコンテナ船縮尺模型の船体縦曲げ最終強度に関する検討, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 22 号、pp.553-555, 2016

〔学会発表〕(計 7 件)

Yamada, Y., Kameya, K., A Study on the Dynamic Ultimate Strength of Global Hull Girder of Container Ships subjected to Hogging moment", the ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE-2018), 2018

小森山祐輔, 亀谷恭子, 山田安平, ホギング状態のコンテナ船に対するハルガーダ船体最終強度簡易推定手法の適用について, 日本船舶海洋工学会春季講演会、2018

山田安平, 亀谷恭子, コンテナ船のハルガーダ動的応答に関する基礎的検討 (第 2 報), 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 25 号、2017

"Yamada, Y., Kameya, K., , A Fundamental Study on the Dynamic Response of Hull Girder of Container Ships due to Slamming Load, the ASME 2017 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE-2017), 2017

山田安平, 亀谷恭子, 小沢匠, コンテナ船のハルガーダ動的応答に関する基礎的検討, 日本船舶海洋工学会講演会秋季講演会, 2016

Yamada, Y., Takami T., Ozawa, T., Experimental and Numerical Study of Damaged Box Girders under Longitudinal Bending Moment, the Twenty-second International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2016), 2016

小沢匠, 山田安平, 損傷を有したコンテ

ナ船縮尺模型の船体縦曲げ最終強度に関する検討, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2016

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 安平 (YAMADA Yasuhiro)
海上・港湾・航空技術研究所・副センター長 / 上席研究員
研究者番号: 90443241

(2) 研究分担者

田中 義照 (TANAKA Yoshiteru)
海上・港湾・航空技術研究所・特別研究主幹
研究者番号: 40373419

小沢 匠 (OZAWA Takumi)
海上・港湾・航空技術研究所・研究員
研究者番号: 80711332

岡 正義 (OKA Masayoshi)
海上・港湾・航空技術研究所・G 長
研究者番号: 70450674

(3) 連携研究者

川村 恭己 (KAWAMURA Yasumi)
横浜国立大学大学院工学研究院・教授
研究者番号: 50262407

(4) 研究協力者

亀谷 恭子 (KAMEYA, Kyoko)
法政大学・職員