

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月 1日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21760668

研究課題名（和文） 極限海象下における船体構造の崩壊解析に関する研究

研究課題名（英文） Collapse Analysis of ship structure under extreme sea states

研究代表者

田中 智行 (TANAKA SATOYUKI)

広島大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：20452609

研究成果の概要（和文）：

本研究では、理想化構造要素法 (Idealized Structural Unit Method: ISUM) や有限要素法 (Finite Element Method: FEM) などの船体構造解析ツールを用いて極限海象下の船体構造挙動シミュレーションに関する研究を実施した。具体的に実施した内容は以下の通りである。(a) コンテナ試験体や二重底構造に対する ISUM システム の適用とその性能評価, (b) FEM を用いたシリーズ計算による矩形, 台形状パネルおよび防撓パネルの座屈, 塑性崩壊挙動の評価, (c) シリーズ計算により得られた結果による新しい ISUM 要素のためのたわみ関数の基礎的検討。

研究成果の概要（英文）：

In this research, collapse behavior of a ship structure under severe sea condition is evaluated using the structural analysis tools such as Idealized Structural Unit Method (ISUM) and Finite Element Method (FEM). The results of the project are follows: (a) Evaluation of the efficiency and accuracy of ISUM system for the analysis of container model and double bottom structure, (b) A series finite element analyses (FEAs) for rectangular, trapezoidal plates and stiffened panel for evaluating elastoplastic collapse behaviors and the ultimate strength, (c) A basic study for a new ISUM element development based on the series FEAs.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：計算力学, 応用力学, 船舶海洋工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：構造強度, 最終強度, 座屈・崩壊挙動, 構造解析, 有限要素法

1. 研究開始当初の背景

近年, 船体の縦曲げが原因と思われる折損, 沈没事故が発生している。タンカーなどが沈没し油流出事故が発生した場合, 沿岸海域に

甚大な環境被害をもたらす。そのような事故を未然に防ぐためにも, 船舶の一生の中で数回程度しか遭遇しないであろう極限海象下における船体構造強度を高精度に把握する

こと、またそのような状況下における船舶の安全性評価を行うことが重要となっている。本研究では、理想化構造要素法 (Idealized Structural Unit Method: ISUM) や有限要素法 (Finite Element Method: FEM) などの船体構造解析ツールを用いて極限海象下の船体構造挙動シミュレーションに関する研究を実施する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、極限海象下における船体構造強度評価の高度化および高精度化である。極限海象下における船体構造の力学挙動を調べるためには、船体構造パネルや船体構造全体に対して、弾性解析だけでなく座屈や最終強度などの非線形挙動を正確にシミュレーションする必要がある。一般的に、このような材料非線形および幾何学的非線形の強い力学挙動を把握するためには FEM を用いた解析が実施される。FEM を用いた船体構造解析では、船体構造パネルや構造全体を要素 (Element) やメッシュ (Mesh) と呼ばれる小領域に分割し、各要素において構造の関係式を導き解析モデル全体へと組み立て、外力と構造全体の釣り合いをとる。しかし、FEM を用いた船体構造の崩壊挙動解析では、解析モデルのサイズや精度の面から要素数が膨大となるため、現在の高性能計算機をもってしても現実的な時間で解析を行うことができていない。

そのような背景のもと、船体構造解析に特化した非線形構造解析法である ISUM が提案されている。ISUM では、座屈あるいは崩壊モードに基づいて変形を仮定し、各要素にたわみ関数として自由度を与えることで、各要素を可能な限り大きくし要素数を削減する。ISUM は有限要素法に基づく解析法であるが、板構造物の変形・座屈を理想化することで少ない要素数で変形を表現することができ、短時間で船体構造の崩壊挙動を追うことができる手法である。これまでもパネル、防撓パネル、二重底構造の崩壊解析などへの適用が行われてきた。

しかし、ISUM では部材や板構造物の変形をたわみ関数を用いて理想化して扱っているため、局所的な変形を十分に表現することができていない。極限海象下において船体構造が崩壊する場合、ローカルな構造部材の損傷、それらの部材損傷の連鎖、そして船体構造全体が崩壊するというシナリオが考えられる。このような部材レベルの変形から船体構造全体の崩壊挙動を同時に追跡することが必要となるが、現在の ISUM では、そのようなマルチスケール的な挙動を十分に捕らえることができていない。

そこで、本研究では部材レベルの変形から船体構造全体の崩壊挙動までを追うことが

できる船体構造のマルチスケール崩壊解析法に関する基礎的研究を実施する。

3. 研究の方法

(2009 年度)

主に船体構造の崩壊解析における構造部材の変形局所化の基礎データ収集、および新しい ISUM 開発のための数値解析上のモデル化について検討を行う。

矩形や台形状を持つ船体構造パネルを有限要素法によりモデル化し、非線形解析を実施する。パネルサイズ、パネル形状を変化させたパラメトリックスタディを実施し、座屈・崩壊挙動に関する基礎データを収集する。これらの、有限要素法を用いた非線形解析のパラメトリックスタディにより、船体構造部材の変形の局所化に関するモデル化に関する検討を行う。また、新しい ISUM のプログラムのための基礎的検討として、時間効率、解析精度の点から提案するモデル化の検討を行う。以上の検討をもとに、簡単な ISUM プログラム作成を行い、その精度検証を実施する。

(2010 年度)

2009年度に引き続き、新しい ISUM 要素の基礎的検討に取り組む。従来の ISUM 要素は矩形パネルについて取り扱うことが多かった。一方、船首、船尾部分などでは台形状のパネルなども見られる。昨年度の矩形や台形パネルに関する基礎データをもとに、新しい ISUM 要素 (アイソパラメトリック ISUM 要素) の要素開発を行う。

ISUM では、1 パネル領域に対して 1 要素を用いる。1 要素内で 1 つのたわみ関数を仮定して解析を実施するため最終強度後の変形の局所化を考慮することができない。そこで本研究では、メッシュフリー法などの解析手法を用い、高精度な ISUM 要素の開発を行う。2009 年度に実施した、FEM のパラメトリックスタディのデータベースをもとに簡単な比較計算を実施する。例えば以下の内容について検討を行う。パネルの局所変形を表現するためのたわみ関数の導入方法の検討、2 種類のたわみ関数を同時に導入、1 種類のたわみ関数で座屈前後および最終強度後の局所変形を表現するためのたわみ関数導入、新しい ISUM 要素の定式化、離散化、積分方法に関する検討、FEM 解析結果、従来の ISUM 解析との精度計算、解析時間の比較の検討、などである。

(2011 年度)

ISUM では、できるだけ少ない要素数を用

いて効率的に大規模な構造の解析を実施する必要がある。開発した ISUM システムに対する精度、効率性について大規模 FEM 解析を用いた比較計算を実施する。大規模構造を用いた解析として、二重底モデル、コンテナ模擬試験体等を用いて検討を実施する。

ISUM 要素では、実際に起こりうるたわみや座屈を理想化してモデル化を行う。非線形有限要素法を用いたパラメトリックスタディを実施し、どのような板厚、防撓材本数、防撓材形状の場合に、全体座屈、局所座屈、防撓材の横倒れが発生するかを系統的にまとめ、知見をまとめる。

得られた知見から ISUM 解析において適切なたわみ関数について検討を行う。

4. 研究成果 (2009 年度)

主に船体構造の崩壊解析における構造部材、大規模構造での変形局所化の基礎的検討およびデータ収集を行った。また、新しい ISUM 要素開発のための構造部材のモデル化について検討を行った。

船体構造部材の一部および二重底の大規模構造を有限要素 (シェル要素) によりモデル化し、汎用非線形有限要素法解析ソフトを用いて解析を実施した。船体構造部材、構造全体がどのような変形をして、その変形がどのように構造全体に影響を及ぼすかを平均ひずみ-平均応力線図などから考察した。また、板厚、モデル形状、要素分割を変化させたパラメトリックスタディを実施した。これらの結果を過去に行われた研究と比較して、解析の妥当性を検討した。

非線形有限要素法解析のパラメトリックスタディにより得られた知見をもとに、船体構造部材の変形の局所化をメッシュフリー法などの新しい数値解析法を用いて行うことが可能か検討した。その一つとして、有限要素法のアイソパラメトリック要素のアイデアを用いたアイソパラメトリック ISUM 要素の基礎検討を行い、簡単な精度検証を実施した。アイソパラメトリック ISUM 要素を用いることで、台形板などの矩形板以外の形状の板構造に対しても精度良く解析が実施可能なことを示すことができた。

(2010 年度)

昨年度に引き続き、有限要素法で用いるアイソパラメトリック要素のアイデアを用いた ISUM 要素の開発および精度検証を実施した。従来、一般的な ISUM 要素は矩形であるが、船体構造にはさまざまな形状のパネルが

存在する。そこで、矩形板以外の ISUM 要素を開発するためにアイソパラメトリック要素の形状関数を活用して台形状の ISUM 要素の開発および精度検証を実施した。

新しい ISUM 要素定式化のため非線形有限要素法を用いた最終強度解析を実施した。防撓材形状、防撓材高さ、防撓材寸法を変化させたパラメトリックスタディを実施した。一般的に、船体構造パネルは周期構造として解析が実施される。解析領域の範囲に関する適切な境界条件の検討を行った。

開発中の ISUM システムの妥当性を検討するために、船体構造パネル、二重底、コンテナ船を模擬した ISUM モデルによる解析結果と非線形有限要素法解析結果の比較を行った。非線形有限要素法には陰解法、陽解法それぞれを用いて検討した。

また、ISUMを用いた全体崩壊解析を実施する際、非線形解法において結果が収束しない問題が発生することがある。この問題に対して非線形方程式に粘性項を追加し、従来収束性の問題において解析が困難な問題に対する解決法を検討した。また、パネルの局所変形を考慮した新しい ISUM 要素に関する検討を実施した。

(2011 年度)

開発した ISUM システムの精度検証および効率性について検討を行った。代表的な船体構造として二重底構造およびコンテナモデルの解析を実施した。それぞれファインメッシュを用いた有限要素法解析との比較を行った。有限要素法モデルでは、ガーダ、トランスおよびスティブナなど全構造をシェル要素によりモデル化を行った大規模モデルである。二重底構造の解析では、せん断変形、水圧および溶接残留応力を考慮した。ISUM モデルでは、スティブナは梁-柱要素としてモデル化を行った。一方、コンテナモデルでは、曲げ、ねじり変形を加え、変形挙動に対する検討を行った。有限要素法と比較して、開発した ISUM システムでは高精度かつ効率的な崩壊解析が可能であるという知見を得た。

さらに、VLCC のデッキ、バルクキャリアの二重底構造に配置されている防撓パネル構造に対して有限要素法を用いたシリーズ計算を実施した。板厚、防撓材形状/サイズ、防撓材本数をパラメトリックに変化させ計 720 ケースの解析を実施し、座屈モード、最終強度値を系統的にまとめた。荷重条件として縦圧縮および二軸圧縮のモデルに対して検討を行った。さらに、CSR-B、PULS などの複数の既存の最終強度算式との比較を行った。現在

の最終強度算式の問題点を抽出し、弾性たわみ解析を用いて最終強度算式の修正を行った。これらから得られた知見から新しい ISUM 要素を作成するための適切なたわみ関数に関する考察を行った。

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 5 件)

1. Satoyuki Tanaka, Hiroshi Okada, Shigenobu Okazawa, A wavelet Galerkin method employing B-spline bases for solid mechanics problems without the use of a fictitious domain, Computational Mechanics, 査読有, 2012, 印刷中 (DOI: 10.1007/s00466-011-0671-9).

2. 貞本将太, 田中智行, 岡澤重信, 粒子法を用いた薄板構造物の幾何学的非線形解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 査読有, 2011, Vol. 67, No.2 (応用力学論文集 Vol. 14), pp. 171-178.

3. 田中智行, 岡田裕, 岡澤重信, 奚洋, 大槻康明, シェルソリッド混合解析を用いた船体構造部材に発生する表面き裂の三次元破壊力学解析に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, 2011, Vol. 13, pp. 147-155.

4. 岡澤重信, 中尾賢司, 西口浩司, 田中智行, 平均化統一解法による Euler 型固体流体連成解析手法, 日本機械学会論文集 A 編, 査読有, 2010, Vol. 76-772, pp. 1533-1540.

5. 田中智行, 岡田裕, 岡澤重信, 藤久保昌彦, ウェーブレット有限要素法を用いたき裂進展シミュレーション, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, 2009, Vol. 10, pp. 167-175.

[学会発表] (計 19 件)

1. 安岡彩, 田中智行, 岡澤重信, 矢尾哲也, 面内圧縮荷重を受ける防撓材本数の影響を考慮した防撓パネルの崩壊挙動と最終強度について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 11 号, 査読無, 2011.11.8, pp. 345-348 (CD-ROM), 神戸市.

2. Shota Sadamoto, Satoyuki Tanaka, Shigenobu Okazawa, A Nonlinear Analysis For Thin-Shells Using Particle-Based Approach, Proceedings of the 25 th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures

(TEAM 2011), 査読有, 2011.9.26, pp. 584-591, Incheon, Korea.

3. Pei Z., Iijima K., Gao C., Fujikubo M., Tanaka S., Okazawa S., and Yao T., Application of New System Simulating Progressive Collapse Behaviour of Ship's Hull Girder under Extreme Wave Loads, Proceedings of the 25 th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM 2011), 査読有, 2011.9.26, pp. 172-179, Incheon, Korea.

4. Aya Yasuoka, Satoyuki Tanaka, Shigenobu Okazawa, Tetsuya Yao, Influence of Number of Stiffeners on Collapse Behaviour and Ultimate Strength of Stiffened Plates subjected to Longitudinal Thrust, Proceedings of the 25 th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM 2011), pp. 査読有, 2011.9.26, 158-165, Incheon, Korea.

5. Gao, C., Pei, Z., Yasuoka, A., Tanaka, S., Okazawa, S., Iijima, K., Fujikubo, M., Yao, T., Collapse Analysis of Double Bottom Structures Considering Shear, Lateral Pressure and Welding Residual Stresses, The Proceedings of The 21 st (2011) International OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING CONFERENCE & EXHIBITION, 査読有, 2011.6.19, pp. 902 - 909, Maui, Hawaii, USA.

6. Pei, Z., Gao, C., Tanaka, Y., Tanaka, S., Okazawa, S., Iijima, K., Fujikubo, M., Yao, T., Collapse Analysis of Container Ship Model under Combined Torsion and Bending Applying Idealized Structural Unit Method, The Proceedings of The 21 st (2011) International OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING CONFERENCE & EXHIBITION, 査読有, 2011.6.19, pp. 894 - 901, Maui, Hawaii, USA.

7. 濱本将典, 田中智行, 貞本将太, 岡澤重信, Reproducing Kernel 近似を用いた厚肉板曲げ要素の開発, 第 16 回日本計算工学会講演会講演論文集, 査読無, 2011.5.25, D-2-4 (CD-ROM), 東京.

8. Shota Sadamoto, Satoyuki Tanaka, Shigenobu Okazawa, Large deflection analysis for thin-plate bending problem using HRK approximation, Proceedings of International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences

2011 (ICCES' 11), 査読有, 2011.4.8, (CD-ROM), Nanjing, China.

9. Shota Sadamoto, Satoyuki Tanaka, Shigenobu Okazawa, A development of structural element for the analysis of thin-plate structure using particle method, Proceedings of International Conference on Computational Methods 2010 (ICCM2010), 査読有, 2010.11.15, p. 16, Zhangjiajie, China.

10. Zhiyong Pei, Yu Ji, Keiji Nakamaru, Satoyuki Tanaka, Shigenobu Okazawa, Masahiko Fujikubo, Tetsuya Yao, Development of Isoparametric ISUM Plate Element, The Proceedings of The Twentieth (2010) International OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING CONFERENCE, 査読有, 2010.6.20, pp. 781 - 788, Beijing, China.

11. Satoyuki Tanaka, Hiroshi Okada, Suguru Ogawa, Shigenobu Okazawa, Analysis of Three-dimensional Crack in Welded Joint Structure using Shell-Solid Zooming Method, The Proceedings of The Twentieth (2010) International OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING CONFERENCE, 査読有, 2010.6.20, pp. 31 - 37, Beijing, China.

12. 貞本将太, 田中智行, 岡澤重信, HRK 近似を用いた板曲げ解析に関する研究, 第 59 回理論応用力学講演会講演論文集, 査読無, 2010.6.8, pp. 97 - 98, 東京.

13. 田中智行, 小河優, 岡田裕, 岡澤重信, シェル-ソリッド混合解析を用いた船体構造の疲労強度解析の高精度化に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 10 号, 査読無, 2010.6.7, pp. 591 - 594, 東京.

14. 貞本将太, 田中智行, 岡澤重信, HRK 近似を用いた板曲げ解析に関する基礎的研究, 第 15 回日本計算工学会講演会講演論文集, 査読無, 2010.5.26, pp.505 - 508, 福岡.

15. Keiji Nakamaru, Satoyuki Tanaka, Shigenobu Okazawa, Yu Ji, Zhiyong Pei, Tetsuya Yao, Development of Isoparametric ISUM Element to Collapse Analysis of Trapezoidal Plates, Proceedings of The 23 th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, 査読有, 2009.11.30, pp. 65-72, Kaohsiung, Taiwan.

16. Satoyuki Tanaka, Shigenobu Okazawa,

Hiroshi Okada, Crack propagation analysis using wavelet Galerkin method, Proceedings of the 9th International Conference on analysis of discontinuous deformation, 査読有, 2009.11.25, pp. 609-615, Chiba, Japan.

17. Satoyuki Tanaka, Hiroshi Okada, Shigenobu Okazawa, Three dimensional fracture mechanics analyses for welded joint structures using virtual crack closure-integral method, The Proceedings of The Nineteenth (2009) International OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING CONFERENCE, 査読有, 2009.6.21, pp. 415 - 421, Osaka, Japan.

18. 田中智行, 安璋, 岡田裕, 岡澤重信, 船体構造部材に発生するき裂の三次元破壊力学解析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 8 号, 査読無, 2009.5.28, pp. 443 - 446, 神戸.

19. 岡田裕, 大屋賢典, 田中智行, 重合メッシュ法解析における変位関数の一次独立性に関する問題とそのき裂問題への応用, 第 14 回日本計算工学会講演会講演論文集, 査読無, 2009.5.12, pp.397-400, 東京.

[その他]
ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 智行 (TANAKA SATOYUKI)
広島大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 20452609

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし