

平成22年5月10日現在

研究種目：基盤研究（S）  
 研究期間：2006～2009  
 課題番号：18106015  
 研究課題名（和文） 船体桁の複合荷重下における縦最終強度評価法の確立に関する研究  
 研究課題名（英文） Establishment of Method to Assess Longitudinal Strength of Ship's Hull Girder  
 研究代表者 矢尾 哲也（YAO TETSUYA）  
 大阪大学・名誉教授  
 研究者番号：20029284

研究成果の概要（和文）：曲げ／捩り／剪断の複合荷重を受ける船体桁の縦最終強度総合評価システムの構築のため、(1) 効率的かつ高精度の船体桁の逐次崩壊挙動解析法の開発、(2) 大波高中を航行する船体に働く波浪荷重解析法の開発、および(3) 信頼性解析を適用した縦強度安全性評価法の開発を実施した。また、実船の縮尺 1/13 のコンテナ船モデルに対する曲げ／捩りモーメントの複合荷重下の逐次崩壊試験を実施して、崩壊挙動および最終強度相関関係を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In order to establish a total system to assess ultimate longitudinal strength of ship's hull girder under combined bending, torsion and shear, (1) efficient and accurate method of progressive collapse analysis of ship's hull girder under combined loads, (2) method of analysis of extreme wave loads on ships in rough seas, and (3) method of structural safety assessment of ship's hull girder based on structural reliability analysis were developed. Collapse tests of 1/13-scale container ship models under combined bending and torsion were carried out and their progressive collapse behavior and ultimate strength interaction relationship were investigated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	32,600,000	9,780,000	42,380,000
2007年度	27,700,000	8,310,000	36,010,000
2008年度	25,000,000	7,500,000	32,500,000
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
総計	87,800,000	26,340,000	114,140,000

研究分野：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：船舶；船体構造；波浪荷重；構造解析；座屈強度；最終強度；信頼性解析

1. 研究開始当初の背景  
 ナホトカ号、エリカ号、プレステージ号な | どの重大事故発生に対応して、国際船級協会は新しい共通構造規則（CSR）を制定し、そ

の中で、船体横断面が耐え得る最大縦曲げモーメントすなわち縦曲げ最終強度の評価を義務づけている。しかしながら、CSR で指定される縦曲げ最終強度の計算方法は近似的な方法であり、また鉛直曲げ状態だけに対応している。さらに、荷重も各断面の曲げモーメント、剪断力の設計値を船長や船形の関数で確定的に与えたものであり、実荷重との対応が明確であるとは言えない。

真の意味での船体構造の安全性評価のためには、船体横断面の最終強度と船体に作用する最大荷重をより正確に算定する必要がある。また、船種や荷重条件によっては、鉛直曲げだけでなく、振りモーメントや剪断力の影響が無視できない場合もある。さらに、船体の最終強度も作用荷重も確定量ではなく、様々な不確定因子の影響を受ける統計量である。したがって、信頼性解析に基づいた強度評価が必要である。

## 2. 研究の目的

本研究では、大波高中を航行して曲げ/剪断/振りの複合荷重を受ける船体梁の縦強度を総合的に評価できる解析システムの構築を目指す。そのため、

- (1) 船体が曲げ/振り/剪断の複合荷重の下で有する最終強度の正確かつ効率的な計算法を開発すること、
  - (2) 船体に作用する極限波浪荷重をより正確に計算する方法を開発すること。
  - (3) 信頼性解析を適用した強度評価法を確立すること
- を、研究の目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) 複合荷重下の船体桁の逐次崩壊挙動解析法の開発

① 理想化構造要素法による解析システムの開発：船体桁の崩壊は、船体を構成するパネルおよび骨部材に座屈および降伏が逐次的に発生することにより生じる。有限要素法 (FEM) によれば、このような逐次崩壊挙動を原理的に解析できる。しかし多数の部材で構成される船体の解析には、莫大な計算労力と時間を要する。そこで、FEM に比べて格段に大きな構造要素を単位要素と定義し、その座屈・塑性崩壊挙動を力学的に理想化して自由度を大幅に減じる理想化構造要素法 (ISUM) が開発されている。しかし従来の ISUM 要素は、圧縮を受けるパネルおよび防撓材に適用に限られる。そこで本研究では、従来のパネル要素に、面内曲げモーメントおよび剪断力の影響を導入して、二重底構造の桁材やフロア材および船側外板のモデル化に適用できる要素を開発する。また大型構造への ISUM 適用の実用化のため、モデル作成用のプリプロセッサ、解析部、結果表示用のポ

ストプロセッサからなる解析システムを構築する。

② 複合荷重状態に対する Smith の方法の拡張適用：Smith は、断面平面保持の仮定の下に、船体横断面の曲げモーメント～曲率関係を座屈および降伏の影響を考慮して近似的に求める方法を提案している。この方法は、CSR に縦曲げ最終強度計算法として取り入れられている。しかし、断面に曲げと同時に剪断あるいは振りが作用する場合、断面には軸方向に反り変形が生じ、断面平面保持の仮定はもはや成立しない。また軸応力と共に剪断応力が発生する。そこで本研究では、Smith の方法に剪断および振りによる剪断応力と、反りによる軸応力の影響を取り入れることにより、複合荷重状態に対する縦最終強度の簡易計算法を開発する。

③ 実船相似模型試験体の崩壊試験の実施：本研究の大きな特徴の一つは、実船相似模型試験体を用いた複合荷重下における逐次崩壊試験の実施である。当初はタンカー、バルクキャリアおよびコンテナ船モデルを設計・製作して試験する予定であったが、崩壊試験実施例がこれまでほとんどなく、また振りの影響が大きいと考えられるコンテナ船に船種を絞り、曲げとねじりの比を変化させた崩壊試験を実施する。

④ FEM による逐次崩壊解析の実施：崩壊試験体について、商用 FEM 解析コード LS-DYNA による逐次崩壊解析を実施し、崩壊挙動を詳細に調べる。また理想化構造要素法および Smith 法の拡張による簡易計算法の結果を FEM 解析結果と比較して、各提案手法の精度と計算効率を調べる。

⑤ 曲面板および曲面防撓パネルの座屈・塑性崩壊挙動の解明と強度評価法の開発：コンテナ船のビルジ部は、他船種に比べて一般に曲率半径が大きい曲面防撓パネルとなる。曲面板および曲面防撓パネルの座屈・塑性崩壊挙動を FEM 解析により調べると共に最終強度推定法を開発する。

(2) 極限波浪荷重計算法の開発

① 極限荷重下における船体運動/荷重解析プログラムの開発：Froude-Krylov 力、diffraction 力、重力、静水圧、慣性力、貨物による内圧、付加水質量などを考慮して、大波高中を航行する船体の運動および荷重解析コードを開発する。船体は弾性梁あるいはシェル要素でモデル化する。船体の断面形状に起因する幾何学的非線形性影響および衝撃荷重によるホイッピングの影響を考慮した断面力の時系列が求められる。

② 短期極限海象と荷重の極値分布の同定：①で開発される船体運動/荷重解析プログラムを用いて、短期不規則海象における船体の運動および荷重応答を種々の非線形影響を

考慮しながら解析する。その結果を基に、長期予測結果と同等な極限荷重を与える短期極限海象の同定法を明らかにする。さらに、短期極限海象中の荷重の極値分布を同定する合理的手法を明らかにする。

### (3) 信頼性解析を適用した縦強度評価法の確立

信頼性に基づく船体桁の縦強度評価法を確立するためには、荷重および強度の確率モデル、信頼性解析法、目標安全レベルの3つの要素が必要となる。そこでまず、Smithの方法を適用して縦曲げ最終強度とその感度を計算し、モデル化誤差の影響を含めて縦曲げ最終強度の平均および標準偏差を求める。これと(II)の解析により与えられる極限波浪荷重の極値分布を用いて、FORM/SORM法より船体桁の破壊確率を求めるシステムを開発する。本システムを用いて、既存船の縦曲げ最終強度の信頼性レベルの変遷を定量的に明らかにする。さらに、リスク(=破壊確率×破壊による損失)を指標として、費用便益解析(Cost-Benefit Analysis, CBA)に基づいて、船体の目標安全レベルについて考察する。

## 4. 研究成果

### (1) 船体桁の逐次崩壊挙動解析法の開発

① 新しいISUM要素の開発：隔倉積み状態のバルクキャリアでは、二重底に曲げ変形が生じ、これにより底板に生じる付加的な曲げ応力は、船体桁の縦曲げ最終強度に影響を及ぼす。またガーダーとフロアには、このとき圧縮に加えて面内曲げと剪断が作用する。さらにこれらの桁部材には、通行用あるいは配管用の開孔が設けられ、構造強度に影響を与える。そこで、組み合わせ面内荷重および開孔の影響を考慮できる新しいISUMパネル要素を開発した。本要素を桁部材に用いた二重底モデルの崩壊解析を実施し、FEM解析との比較より精度を確認した。ISUMによる計算時間はFEM解析の1/100程度であった。

② ISUM解析システムの構築：船体構造設計ツールとしてのISUMの実用化のため、汎用FEMプリ・ポストシステムPatranとISUMを統合化した解析システムを構築した。①に述べたISUMの高い計算効率の達成と本システムの構築が船体構造設計に与えるインパクトは極めて大きい。

③ Smithの方法に基づく複合荷重下の船体梁の簡易縦強度計算法の開発：船体横断面の縦曲げ最終強度解析法であるSmithの方法に、剪断および振りの影響を考慮するため、藤谷の方法を適用した剪断応力および反り応力の計算コードを開発した。藤谷の方法では、断面を微小な線要素に離散化し、要素内では線形の軸方向変位を仮定して、仮想仕事の原

理から、断面に発生する反りに関する剛性方程式を導く。本計算コードにより、任意の薄肉断面について反り関数とせん断ひずみ分布を求めることができる。

Smithの方法は、断面平面保持の仮定の下に横断面の逐次曲げ崩壊挙動を解析する方法である。一方、振りモーメントの作用下では、反りによる軸ひずみは船長方向の振り率の変化に依存するため、特定の横断面のみの計算では合理的な軸ひずみの評価ができない。そこで船体を船長方向に梁要素に分割する。各梁要素には藤谷の方法から決まる反り関数を与える。梁要素の断面はSmithの方法に従って、板あるいは防撓パネル要素に分割し、各要素の軸力荷重下での平均応力～平均ひずみ関係をあらかじめ与える。本研究では、CSRの平均応力～平均ひずみ関係を使用する。剪断応力の影響は、Misesの降伏条件に基づいて降伏応力を減じて考慮する。梁要素の節点は、曲げ、振り、軸変位の自由度を有し、軸変位は軸力ゼロの条件で許容する。これにより、座屈および降伏による断面の中立軸や剪断中心の移動を自動的に考慮できる。

初めに所定の剪断力あるいは振りモーメントを与え、剪断応力と反りによる軸応力を弾性計算により求める。次に曲率あるいは曲げ変位を加えて、所定の剪断あるいは振りモーメントの作用下での最大曲げ強度を計算する。本計算法は、最初に与える剪断力あるいは振りモーメントによる応力が弾性範囲内においてのみ有効である。ISUMと本簡易解析法による船体桁の解析結果は、次項に示す。

### (2) 実機相似模型試験体の崩壊試験の実施

① 模型試験体：ポストパナマックス型コンテナ船の縮尺約1/13の模型試験体(幅3m; 深さ1.825m; 長さ7.5m(H18), 6.6m(H19, 20))を設計・製作した。ただし、完全な相似模型ではパネル板厚が薄くなり過ぎ製作不能となるので、防撓材間パネルの細長比を実船とほぼ同じとし、最小板厚を3mm(H18)および2.3mm(H19, 20)とした。図1に試験体の写真を示す。一端を反力壁に固定、他端を自由とし、自由端に油圧ジャッキで荷重を負荷した。左右の荷重比を変えて、曲げ/振りの比

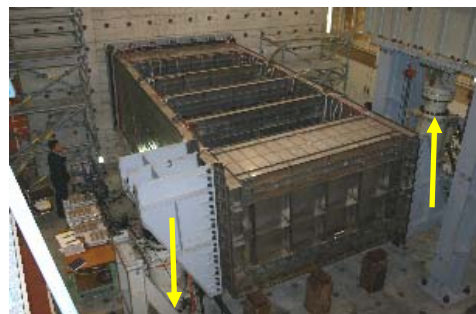


図1 コンテナ船模型試験体

を変化させた。溶接残留応力を計測するため各試験体とも部分モデルを別途製作した。また各試験体の初期たわみを計測した。

② 模型試験体の逐次崩壊試験：H18年度の試験体（1体）に対しては純振りを、またH19、20年度の試験体（計4体）に対しては、純曲げ、純振りおよび曲げ/振りの複合荷重を作用させた。曲げモーメントは、ホギング側に作用させた。ここではH19、20年度の結果をまとめる。振り試験では、まず船側外板の最も板厚の薄い部分で剪断座屈が発生した。その後、固定端の反り拘束による圧縮応力の発生箇所で圧縮座屈が、また船側部で剪断座屈が生じ、さらに甲板側開口部の隅部に亀裂が生じて最終強度に達した。曲げおよび曲げ/振りの複合荷重下では、船底外板と内底板の圧縮座屈、および甲板の引張降伏がより顕著に現れた。また逐次崩壊による断面中立軸の移動と振りによる船側・船底各部のそりひずみゼロの位置の移動が観察された。これらの実験は世界初のものであり、コンテナ船横断面が振り/曲げの複合荷重下で示す逐次崩壊挙動を実験的に明らかにした意義は大きい。

③ 模型試験体の逐次崩壊解析：模型試験体に対する ISUM および Smith 法に基づく簡易計算法の結果を、実験および FEM 解析結果と比較した。図3に曲げ荷重の場合の荷重～荷重点変位関係を示す。また図4に ISUM のパネル要素分割を示す。要素数は ISUM が 4,791 パネル要素、FEM が 263,993 シェル要素であ

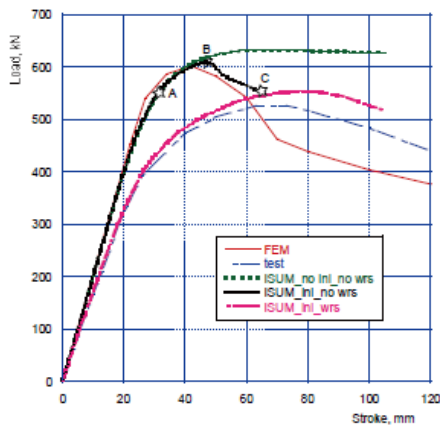


図3 荷重～荷重点変位関係

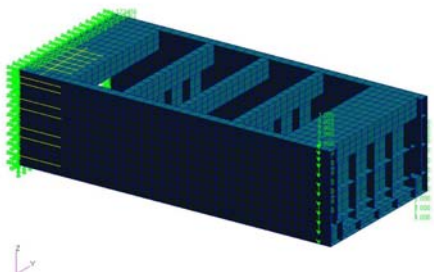


図4 ISUM モデル

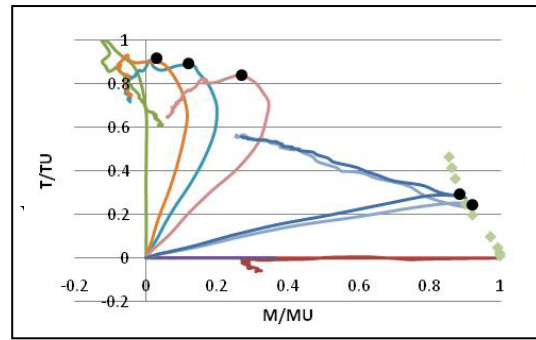


図5 曲げ/振り最終強度相関関係

る。FEM 解析では溶接残留応力は考慮していない。この条件で行った ISUM の結果は FEM 結果とよく一致している。また溶接残留応力を考慮した ISUM 結果は実験結果とよく一致している。振りについても良好な結果が得られている。

次に図5の黒丸は、FEM 解析より求めた曲げ/振りの複合荷重下の模型試験体の最終強度相関関係を示す。横軸および縦軸は、純曲げおよび純振り時の最終強度 (FEM 解析結果) でそれぞれ無次元化している。一方、白丸は Smith 法に基づく簡易縦強度計算法より求めた最終強度である。振りモーメントが支配的な荷重比においては FEM 解析結果とよく一致している。コンテナ船の運動/荷重解析によれば、振りモーメントの極大値は曲げモーメントの極大値の高々30%程度であり、中央断面においては曲げモーメントがさらに支配的であることから、船体桁の縦強度に対する振りの影響は、本簡易解析法により実用上考慮可能と考えられる。しかしさらに適用範囲の検証が必要であり今後の課題とする。

以上のように ISUM, 簡易計算法とも精度の高い適用性が検証された。信頼度の高い複合荷重下の簡易最終強度解析法を開発できたことは船体構造の安全性向上に寄与するところ、極めて大である。

### (3) 船体桁の縦最終強度に関するその他の検討

① 純曲げ解析における断面平面保持の仮定に関する考察：桁の全体および部分模型に対する FEM 解析から、純曲げ逐次崩壊解析を実施する際に適用する横断面平面保持の仮定は、最終強度近傍までは基本的に成立することを確認した。この知見は、縦曲げ崩壊解析における境界条件設定に際して、極めて重要なものである。

② 曲面板および曲面防撓パネルの強度評価法の開発：曲面板と曲面防撓パネルの FEM 解析より、曲面板では特定の幅/曲率の組み合わせにおいて初期座屈後の2次座屈が生じること、および曲率効果により平板に比べて弾性座屈強度が上昇することが判明した。後者



の影響を細長比の低下に置き換えて圧縮最終強度の簡易推定方法を開発した。これは、縦曲げ強度評価の改善に資する成果である。

#### (4) 極限波浪荷重計算法の開発

①大波高中の船体の運動/荷重解析コードの開発：流体力に対する船体横断面形状の幾何学的非線形影響、波浪衝撃とホイッピングの影響、流力弾性影響を考慮した運動/荷重解析コードを開発した。

② 短期極限海象と荷重の極値分布の同定：開発した運動/荷重解析コードを用いて、短期不規則海象中の時系列応答解析を系統的に実施した。まず長期予測結果と同等な極限荷重の確率分布を与える短期極限海象の同定を試みた。その結果、波高に関しては、17種類中4種類程度以上、縦曲げモーメントに関しては波高と平均波周期の組み合わせで3672種類中98種類程度以上の短期海象を組み合わせれば、2%以下の誤差範囲で長期予測結果と等価な応答を与える極限荷重の分布が得られることを、線形解析の範囲で明らかにした。長期予測による極限荷重の期待値は、ごく限られた厳しい短期海象下の極大応答で支配されることが知られているが、本結果は、極限荷重の確率分布を得るためには、より多くの短期海象の考慮が必要であることを示しており、極限荷重の統計予測上極めて重要な知見が得られたといえる。

次に、短期極限海象中の時系列シミュレーション結果から極値分布を精度よく推定する方法について検討を行った。従来用いられているワイブル分布を適合させる方法と、POT法 (Peaks-Over-Threshold法) で判別したピークに対し一般パレート分布を適合させる方法を検討した。非線形影響が比較的小さい場合は、いずれの方法も極値に関して十分な推定精度を与える。しかし、波浪衝撃によるホイッピング応答成分が大きく混在するような非線形影響が強い場合では、POT法＋一般パレート分布による方法が、適当な閾値を選択すれば、応答最大値分布の推定精度が高いことが判明した。しかしこの方法は、不十分なデータ数の場合、統計的な不確実性がむしろ増大する。これらの点を考慮して、極限荷重の確率分布を同定するための合理的な手法を明らかにした。この結果は、ホイッピングなど非線形影響の強い縦強度安全性の評価において大きなインパクトを有しており、今後さらに探求すべき課題である。

#### (5) 信頼性解析を適用した縦強度評価法の確立

①船体の縦曲げ強度信頼性レベルの変遷に関する定量的検討：FORM/SORM法による船体桁の縦曲げ最終強度信頼性解析コードを開発した。これを用いて、設計年代の異なる各

4隻のパナマックス・バルクキャリアおよびアフラマックス・タンカーを対象として、破壊確率レベルの変化を調べた。その結果、ルールの変遷とともに縦曲げ最終強度は高くなる傾向にあること、一方で、荒天回避あるいは船首楼の設置の義務化による航行可能海象の拡がりから、船体作用する極限荷重は増加していること、その結果、新しい船の方が、破損確率が高くなる場合もあることなどが、明らかになった。

②リスク評価に基づく縦曲げ最終強度の目標安全性の検討：船体桁の崩壊は、人命の喪失、貨液流出による環境汚染などの重大事故につながる可能性がある。社会的に認知され、かつ経済的にも合理的な安全性レベルを設定する方法として、IMO/GBSでは、事故の発生確率 (Probability) × 結果 (Consequence) の積で表わされる工学的リスクを尺度として、船体の目標安全レベルを設定する手法が検討されている。この観点からバルクキャリアと油タンカーの縦曲げ崩壊を対象に、目標安全性レベルを検討した。縦曲げ崩壊に伴う経済損失として、船体の損傷時価格、積荷の損害価格、人命損失に係る損失、余寿命便益 (崩壊がなければ得られたであろう収益)、さらにタンカーについては流出油回収のためのコストを考慮した。目標安全レベルを高めればこれらのリスクは減じるが、逆に構造強化のためのコストが増加する。そこでコスト増加からリスク低下 (便益) を引いたネットコストの最小化、いわゆる費用便益解析 (CBA) を行った。その結果、現存船の安全性が概ね最適なレベルにあること、ただしチャーターレート、鋼材価格、また流出油回収コストが目標安全レベルに大きく影響することを明らかにした。これらの成果は、IMO/GBSのセーフティレベルアプローチの開発に直結する成果であり、今後国際的に発信し、船体桁の合理的な安全レベルの設定に供する予定である。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- ① Wang, X., Sun, H., Yao, T., Fujikubo, M. and Basu, R.: Methodologies on Hull Girder Ultimate Strength Assessment of FPSOs, Trans. of the ASME, J. of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (to be published), 査読有.
- ② Iijima, K., Yao, T. and Moan, T.: Structural response of a ship in severe seas considering global hydroelastic vibrations, Marine Structures, Vol. 21, 2008, 420-445, 査読有.
- ③ 藤井康成, 飯島一博, 長瀬裕一, 矢尾哲也: 設計基準の変遷に応じた船体縦曲げ崩壊に対する安全性の変化, 日本船舶海

洋工学会論文集, 査読有, 第7巻, 2007, 233-241.

- ④ 石橋公也, 藤久保昌彦, 矢尾哲也: 桁構造の崩壊挙動を再現する理想化構造要素の開発と二重底構造の崩壊解析への適用, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, 第5巻, 2007, 217-225.
- ⑤ 石橋公也, 藤久保昌彦, 矢尾哲也: 有孔パネルの応答を表す理想化構造要素の開発, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, 第3巻, 2006, 285-293.

[学会発表] (計 10 件)

- ① Takami, T., Fujikubo, M., Pei, ZY., Iijima K. and Yao, T.: Development of ISUM Plate Element Considering Buckling under Combined Thrust, Bending and Shear, Proc. of the 23rd Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM), 2009, December 2, Kaohsiung, Taiwan, 査読有.
- ② Yao, T., Fujikubo, M., Iijima, K. and Pei, ZY.: Total System Including Capacity Calculation Applying ISUM/FEM and Loads Calculation for Progressive Collapse Analysis of Ship's Hull Girder in Longitudinal Bending, Proc. of the 19th Int. Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE), 2009, June 24, Osaka, Japan, 査読有.
- ③ Park, J.S., Fujikubo, M., Iijima, K. and Yao, T.: Prediction of the Secondary Buckling Strength and Ultimate Strength of Cylindrically Curved Plate under Axial Compression, Proc. of the 19th ISOPE, 2009, June 24, Osaka, Japan, 査読有.
- ④ Tanaka, Y., Ando, T., Aanai, Y., Yao, T., Fujikubo, M. and Iijima, K.: Longitudinal Strength of Container Ships under Combined Torsional and Bending Moments, Proc. of the 19th ISOPE, 2009, June 24, Osaka, Japan, 査読有.
- ⑤ Kurata, S., Iijima, K. and Fujikubo, M.: Long-Term Extreme Value Distribution of Vertical Bending Moment of a Ship, Proc. of the 22nd TEAM, 2008, October 8, Istanbul, Turkey, 査読有.
- ⑥ Sasaki, Y., Iijima K. and Fujikubo, M.: Target Reliability for Hull Girder Ultimate Strength of Bulk Carriers and Tankers by a Risk Model, Proc. of the 22nd TEAM, Istanbul, Turkey, 2008,

October 8, 査読有.

- ⑦ Park, J.S., Iijima, K., Yao, T. and Fujikubo, M.: Analytical Method for Simulation of Buckling and Post-buckling Behaviour of Cylindrically Curved Plates under Axial Compression, Proc. of the 22nd TEAM, 2008, October 8, Istanbul, Turkey, 査読有.
- ⑧ Park, J.S., Iijima, K. and Yao, T.: Estimation of Buckling and Collapse Behaviour of Stiffened Curved Plates under Compressive Loads, Proc. of the 18th ISOPE, 2008, July 8, Vancouver, Canada, 査読有.
- ⑨ Yamamoto, M., Fujii, Y., Iijima, K. and Yao, T.: Characteristics of Hull Girder Collapse Behaviour under Longitudinal Bending, Proc. of the 21st TEAM, 2007, September 11, Yokohama, Japan, 査読有.
- ⑩ Ishibashi, K., Fujikubo, M. and Yao, T.: Collapse Analysis of Ship's Double Bottom Structures with ISUM, Int. Conf. on Computational Methods in Marine Engineering (MARINE 2007), 2007, June 6, Barcelona, Spain, 査読有.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

矢尾 哲也 (YAO TETSUYA)  
大阪大学・名誉教授  
研究者番号: 20029284

### (2) 研究分担者

藤久保 昌彦 (FUJIKUBO MASAHIKO)  
大阪大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 30156848  
大沢 直樹 (OSAWA NAOKI)  
大阪大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 90252585  
飯島 一博 (IIJIMA KAZUHIRO)  
大阪大学・工学研究科・講師  
研究者番号: 50302758  
澤村 淳司 (SAWAMURA JUNJI)  
大阪大学・工学研究科・助教  
研究者番号: 90359670  
田中 義照 (TANAKA YOSHITERU)  
海上安全技術研究所・生産システ系・系長  
研究者番号: 40373419  
河邊 寛 (KAWABE HIROSHI) (2006-2007)  
サムソン重工業(株)・海洋研究所・研究員  
研究者番号: 00384876