

平成22年6月1日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560804

研究課題名（和文） 設計不規則波を用いた船体構造設計法に関する研究

研究課題名（英文） Ship Structural Design by means of Design Irregular Wave

研究代表者

深沢 塔一（FUKASAWA TOICHI）

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：80143171

研究成果の概要（和文）：本研究では、船体構造設計において船体局部応力の最大値を精度良く簡便に推定する手法の検討/提案を行った。まず設計短期海象と設計不規則波を定義し、次に設計不規則波中においてスラミング等の非線形性を考慮した船体運動・縦強度計算を行い、この結果を用いて非線形境界要素法によりスラミング時の圧力分布を推定し、これに直接荷重解析法を組み合わせるにより、船体に作用する局部応力分布を推定した。この手法により得られた応力分布は、船体構造設計の立場から妥当なものであった。

研究成果の概要（英文）：A methodology to estimate the maximum local stress of a ship in slamming condition was proposed in this research. The calculation procedure consists of four levels; the definition of the design short-term sea state and the design irregular wave, the estimation of nonlinear ship motion and distortion as a flexible beam in slamming condition, the estimation of nonlinear pressure distribution, and the stress analysis of the entire ship structure. The validity of the method was clarified from the viewpoint of ship structural design.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：船舶工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：船体構造設計，設計不規則波，直接荷重解析法，大型コンテナ船，非線形計算

1. 研究開始当初の背景

船舶が航行する海面は不規則波浪の集まりで、船体構造に作用する外力も不規則であるため、船体構造設計においては、しばしば、確率・統計理論に基づいた解析が行われる。

しかしながら、この方法を船体構造に発生する応力の推定に適用する場合、2つの大きな問題が生ずる。1つは荷重・応答の非線形性であり、もう1つは膨大な数となる応力解析である。これらの問題点を克服する方法の1

つとして設計波を用いる設計波法があるが、「設計規則波」では、実際の波浪は規則波ではないため、精度的に限界がある。このため、研究代表者の深沢は、「設計規則波」ではなく、より実際の波浪に近い「設計不規則波」を提案した。設計不規則波とは、その中での船体応答が最大となるように、各素成波の位相を線形計算により得られる応答の位相より定めた不規則波であり、最大縦曲げモーメントの推定において有効であることがすでに報告されている。しかしながら、応力の最大値を推定する場合は、応力応答関数の作成に膨大な構造解析を行わなければならない、設計不規則波を用いて解析工数を減らす意味がなくなってしまうという問題点があった。

2. 研究の目的

したがって、本研究では、局部応力の応答関数そのものではなく、計算が比較的簡単である荷重の応答関数の情報を援用し、設計不規則波を船体構造設計における最大応力推定法として用いる手法を検討する。さらに、最大応力には荷重や応答の非線形性が重要となってくるため、設計不規則波中の船体構造応答計算に非線形荷重を用いた解析法を検討する。また、最大応力推定のための設計短期海象について検討を行い、船体構造設計に用いるべき設計海象を提案する。

3. 研究の方法

まず、最大応力と短期海象の関連を調べ、船体構造設計においてどのような短期海象を設計海象として用いればよいかの検討を行う。次に、コンテナ船の最大局部応力に対するさまざまな荷重の相関関係を調べ、どのような荷重の応答関数を用いて設計不規則波を構築すれば最大応力が推定できるかを検討する。さらに、設計不規則波中の応答計算に非線形性を取り入れるために、スラミングなどの非線形荷重を考慮した船体運動・縦強度計算プログラムを整備する。これに非線形境界要素法を組み合わせることで船体表面に作用する圧力分布を推定する方法を確立する。この圧力分布を直接荷重解析法に適用し、船体構造に発生する最大応力を推定する荷重構造一貫解析法を検討する。これらの結果にしたがって、実際の船体構造設計における最大応力推定法のドラフトを作成する。以下に本研究で提案する手法の概要を示す。

(1) 設計海象の設定

本研究では、大波高中の船体応答を対象としているので、船が一生のうちで一度だけ経験するような最大応答を決定論的に求めることになる。このため、まず、実際には不規則でランダムな海象の中から、船体応答に有意となる、いわゆる設計海象を選び出す必要

が生ずる。これには、最悪短期海象の考え方を適用する。すなわち、ある応答の長期予測の裾野部分（発生確率の小さい部分）には、すべての短期海象が影響を及ぼすのではなく、ある特定の短期海象のみが影響を及ぼし、

$$Q_L(x) = Q_S(x | R_{max}) p(H_{max}, T_{max}) \quad (1)$$

と表すことができる。この長期予測の裾野部分を支配する短期海象を最悪短期海象と呼ぶが、 $p(H_{max}, T_{max})$ は最悪短期海象の発生確率であり、 $Q_S(x | R_{max})$ は最悪短期海象における応答の超過確率である。なお、これまでの研究によって、

$$p(H_{max}, T_{max}) = 10^{-5} \quad (2)$$

$$Q_S(x | R_{max}) = 10^{-3} \quad (3)$$

を用いれば、長期の発生確率 $Q_L(x | R_{max}) = 10^{-8}$ に対応する最大応答を求めることができることがわかっている。すなわち、波浪頻度表において、 10^{-5} の発生確率を持つ短期海象を最悪短期海象と定め、その中での $1/1000$ 最大値に相当する応答を求めれば、長期予測における 10^{-8} の発生確率の応答値を推定することができることになる。

なお、 10^{-5} の発生確率を持つ短期海象を最悪短期海象と呼ぶが、これは1つではなく、異なる有義波高 H と平均波周期 T の組み合わせによって、いくつか存在する。このいくつかの最悪短期海象から設計海象を決定するには、長期確率に対する寄与度を用いる方法を用いればよい。すなわち、応答の超過確率の密度関数

$$q(H, T) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp\left\{-\frac{x^2}{2(R \cdot H)^2}\right\} p(H, T) d\chi \quad (4)$$

がピークとなる海象を用いる方法である。

(2) 設計不規則波

船体に加わる荷重やそれによる船体応答を考えた場合、スラミングのようなある閾値を越えると現れるような非線形性を除けば、大抵の非線形性は波高の上昇とともに徐々に顕著になってくる。したがって、ある強度にとって重要となる海象や波浪に注目すると、線形理論による推定値は、実際の値を過大・過小評価することになっても、その強度に対してクリティカルな海象や波浪を特定するという目的には使用できると考えられる。設計不規則波は、ある強度について最大応力が発生する海象や波浪を線形理論によって特定し、その中での応答については非線形理論等のより精度の高い手法を用いて推定を行う、という考え方をベースとする。

ある短期海象は、有義波高と平均波周期で特定でき、一般に波スペクトルの形で表現される。これまでの議論に従って、設計海象の平均波周期と有義波高、および船の針路（波との出合い角）を適宜定めれば、この海象に

おける応答スペクトルは唯一に定まる。一般に、船体応答はすべての周波数領域で顕著になるわけではなく、ある限られた周波数領域において顕著になる。よって、設計不規則波の生成にあたっては、応答スペクトルが有意となる周波数領域を選定し、波スペクトルにおいてこの周波数範囲に含まれる素成波のみを取り出して不規則波を構成することとする。これにより、設計不規則波を構成する素成波の周波数帯を絞ることができる。

波スペクトルにおいて、前出で定めた周波数領域を N 分割し、 N 個の素成波を発生させるには(5)式を用いる。

$$\zeta_w(t) = \sum_{i=1}^N \sqrt{2S(\omega_i)\Delta\omega} \cos(\kappa_i X + \omega_i t + \varepsilon_i) \quad (5)$$

ここで、 κ_i 、 ω_i 、 ε_i は i 番目の素成波の波数、円周波数、位相差である。ここで、素成波の位相差は、一般的な不規則波を発生させる場合はランダムに定められるが、設計不規則波では、以下に述べるように、応答の位相差を用いて定める。また、 $\Delta\omega$ は波スペクトルを分割したときの刻み幅になるが、これも一般的な不規則波を発生させる場合は経験的に定めているが、設計不規則波では、後述のように、制限条件を課することによって一意に定まる。

さて、(5)式の素成波の位相差 ε_i は、設計不規則波の中で、ある応答が最大になるように、定める。すなわち、 ε_{xi} を応答の位相差とすると、

$$\varepsilon_i = -\varepsilon_{xi} \quad (6)$$

とおけば、 i 番目の素成波によって発生する応答の最大値を時刻 $t=0$ において発生させることができる。同様に、すべての素成波の成分についてこのように位相差を定めると、設計不規則波中では、応答が線形の場合、縦曲げモーメントの最大値が時刻 $t=0$ で発生することになる。

ここで注意しなければならないのは、波スペクトルの分割数 N は任意に定めることができるが、(5)式より、 N を大きくとればとるほど素成波を重畳した不規則波の最大振幅値は N の平方根に比例して大きくなってしまいうため、なんらかの方法で素成波の数を定めなければならない。ところで、実際の海面で観測される波の限界岨度は $\delta=1/10$ 程度であることが知られており、ストークス波の理論的限界岨度は $\delta=1/7$ である。波スペクトルは完全発達した波のエネルギー分布を表しているため、すでに砕波が完了しているはずであるから、波スペクトルから生成した波は、どのような重ね合わせがなされても砕波はしないと考えられる。シミュレーションに用いる不規則波は、人工的な正弦波の重ね合わせであるため、理論的にどのような岨度の波でも生成できてしまうため、より実際の波を表

現するために、何らかの制限を課す必要が生ずる。本研究では、以下の制限を科すことにより、 N の値を決定することにする。

①□設計不規則波の波高は有義波高の β 倍よりも小さい。

②□設計不規則波の最大岨度は δ より小さい。

①は波高の最大値の制限であり、 $\beta=2$ とすれば、最大波高を $1/1000$ 最大値程度に抑えることに相当する。②は砕波の条件で、通常 $\delta=1/10$ を用いる。これらの制限により、素成波の数 N を $5\sim 20$ 程度の値に一意に定めることができる。

(3) 非線形船体運動計算

現在、船体運動計算の主流はランキンソース法などの3次元特異点分布法であり、ポテンシャル流体力を3次元線形問題を解いて求めている。また、非線形影響を考慮する必要があるときには、時間的に変動する波面の位置を考慮して、フルードクリロフ力にのみ非線形計算を行う、という方法が一般的である。しかしながら、この方法では線形・非線形の接続が連続的ではなく、また、3次元計算においては波面の位置を時々刻々追跡してスラミングなどの強非線形現象を取り入れる、ということも容易ではない。

これまでの非線形船体運動計算には、ストリップ法を非線形バージョンに拡張した方法がしばしば用いられてきた。この方法は、2次元近似を用いているものの、これまで多くの実験結果との比較などによりキャリブレートされ、実際に合うようにチューニングが施されている。また、線形から非線形への移行もスムーズであり、スラミングなどの強非線形現象を取り入れやすい。将来的には、コンピュータのパワーアップにより、より合理的・直接的なCFDなどによる船体運動計算に移行していくものと思われるが、現状の設計段階では現実的ではない。したがって、現在、理論的な正確さよりも実際の現象を的確に表わすことができる計算方法ということであればストリップ法が適当であると思われる。

本研究では、スラミングを考慮して船体応答を計算するプログラムコードとして TSLAM を採用する。このプログラムは、ストリップ法に基づき、船体と波面との相対運動に基づく非線形性を考慮して船体応答を計算するプログラムで、スラミング時の船体応答や荷重が解析できるものである。すべての波方向の規則波中／不規則波中での縦運動と、それに伴う弾性変形を計算することができるが、横運動や前後運動との連成による影響は考慮していない。なお、TSLAM のような流体力を運動量理論により求める計算法では、力を単位断面ごとに考えているため、圧力を計算

することはできない。したがって、圧力を推定しようとする場合、断面に働く力より、ある仮定を置いて、圧力に変換する必要が生ずる。ここでは、プログラム内で圧力を計算することはせず、圧力推定は以下のように行う。

(4) 非線形圧力計算

本研究では、非線形ストリップ法をベースとして、船体構造設計に用いることができる非線形圧力分布の計算を行うことができる手法を開発することとする。ここでの基本的な考え方は、船体運動は3次元計算法や非線形ストリップ法などによって既に計算されており、船体各断面の波に対する動きは既知であるとし、波の中で船体断面が運動したときの変動圧力の計算を行うものとする。

船体の静止水面上 midship を原点として、船首方向に x 軸、右舷側に y 軸、下向きに z 軸を持つような、船とともに船速 U で移動する等速移動座標系を定める。この座標系で、 $x=x$ における断面を計算対象とした2次元計算領域を考える。流体を非圧縮、非回転、非粘性と仮定すると、速度ポテンシャルの存在を仮定することができるが、速度ポテンシャル Φ は不規則波浪の速度ポテンシャル Φ_0 と攪乱ポテンシャル Φ_d の和で表わされると仮定する。ここで、不規則波の速度ポテンシャルは、

$$\Phi_0 = -\sum_i \frac{\omega_i}{\kappa_i} \zeta_i e^{-\kappa_i z} \sin(\kappa_i x \cos \chi_i - \kappa_i y \sin \chi_i - \omega_i t + \varepsilon_i) \quad (7)$$

と表され、 ζ_i 、 ω_i 、 κ_i は i 番目の規則波成分の振幅、周波数、波数であり χ_i は船と波との出会い角である。また、出合周波数 ω_e は、

$$\omega_e = \omega_i - \kappa_i U \cos \chi_i \quad (8)$$

と表わされる。

境界上の点 $P(y, z)$ での速度ポテンシャル $\Phi(y, z; t)$ は、グリーンの公式により、以下のように表すことができる。

$$\Phi(y, z; t) = \frac{1}{\pi} \int_{\Gamma} \left\{ \ln \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial n} - \Phi \frac{\partial}{\partial n} \left(\ln \frac{1}{r} \right) \right\} ds \quad (9)$$

ここで、境界 Γ は、自由表面境界 Γ_F 、物体表面境界 Γ_H 、水底境界 Γ_B 、放射境界 Γ_R よりなるとする。各境界で攪乱ポテンシャル Φ_d の満たすべき境界条件は以下ようになる。

自由表面境界条件

$$\frac{\partial^2 \Phi_d}{\partial t^2} + \mu \frac{\partial \Phi_d}{\partial t} - g \frac{\partial \Phi_d}{\partial z} = 0 \quad \text{at } z = \zeta_w(y; t) \quad (10)$$

物体表面境界条件

$$\frac{\partial \Phi_d}{\partial \bar{n}} = -\frac{\partial \Phi_0}{\partial \bar{n}} + \bar{v} \cdot \bar{n} \quad \text{on } S(y, z; t) = 0 \quad (11)$$

水底境界条件

$$\frac{\partial \Phi_d}{\partial \bar{n}} \rightarrow 0 \quad \text{as } z \rightarrow +\infty \quad (12)$$

放射境界条件

$$\frac{\partial \Phi_d}{\partial \bar{n}} \rightarrow 0 \quad \text{as } y \rightarrow \pm\infty \quad (13)$$

なお、自由表面条件は元来非線形であるが、ここでは自由表面条件式は線形とし、境界のみを時々刻々移動させ、波面の形状の非線形性を表わすこととした。また、放射境界で波が反射せずに攪乱が外側に伝播されなければならないことを考慮して、Rayleigh の仮想摩擦係数 μ を導入し、自由表面での攪乱を減衰させることとした。

さて、時間領域における2階の微分方程式(10)式は、数値計算においては Newmark- β 法を用いて差分化して時間積分を行う。これより、自由表面での境界条件は、

$$\frac{\partial \Phi_d^{k+1}}{\partial z} = \frac{2+\mu\tau}{2g\beta\tau^2} \Phi_d^{k+1} - \frac{2+\mu\tau}{2g\beta\tau^2} F^k + \frac{\mu}{g} G^k \quad \text{at } z = \zeta_w(y; t) \quad (14)$$

と表わされる。ただし、

$$F^k = \Phi_d^k + \tau \dot{\Phi}_d^k + \left(\frac{1}{2} - \beta \right) \tau^2 \ddot{\Phi}_d^k \quad (15)$$

$$G^k = \dot{\Phi}_d^k + \frac{\tau}{2} \ddot{\Phi}_d^k$$

である。ここで、上付き添字 k 、 $k+1$ は各時間ステップを表し τ は時間刻みである。また、攪乱ポテンシャルによる自由表面の変形は、

$$\zeta_d = \frac{1}{g} (\dot{\Phi}_d + \mu \Phi_d) \quad (16)$$

により求められる。境界条件式から速度ポテンシャルの微分を求めて(9)式に代入し、一定要素の境界要素法を適用して境界での積分を実行すると以下の支配方程式が得られる。

$$\begin{aligned} & \pi \Phi_{k+1}^j + \sum_i \Phi_{k+1}^i \left[\left\{ -\frac{2+\mu\tau}{2g\beta\tau^2} n_z \right\} G_{ij}^F \right. \\ & \quad \left. + H_{ij}^F + H_{ij}^H + H_{ij}^R + H_{ij}^B \right] \\ & = \sum_i \left\{ -\frac{2+\mu\tau}{2g\beta\tau^2} n_z F^k + \frac{\mu}{g} n_z G^k \right\} G_{ij}^F \\ & \quad + \sum_i \left\{ -\frac{\partial \Phi_0}{\partial n} + v_{ni} \right\} G_{ij}^H \end{aligned} \quad (17)$$

ただし、

$$G_{ij} = \int \ln \frac{1}{r} ds \quad (18)$$

$$H_{ij} = \int \frac{\partial}{\partial n} \left(\ln \frac{1}{r} \right) ds$$

であり、上付き添字 F 、 H 、 R 、 B はそれぞれ自由表面境界、物体表面境界、放射境界、水

底境界を表す。なお、この計算において、自由表面での波傾斜は大きくないものとして、y方向の速度成分は無視している。(17)式は連立一次方程式となるので、これを解くことによって、各境界上の速度ポテンシャルを求めることができる。自由表面では、この速度ポテンシャルから速度ポテンシャルの時間による1階、2階微分を求め、次の時間ステップでの自由表面形状を計算して境界要素を作成し直す。また、物体表面境界要素も船体運動にしたがって作成し直し、次の時間ステップの計算に進むものとする。

(5) 有限要素法による全船応力解析

船体の局部応力を求めるためには、有限要素法(FEM)による構造解析が必須となる。ここでは、船体が波の中で動揺している場合の応力を求める必要があるため、船体構造モデルとしては全船モデルを用いるが、この構造解析には、直接荷重解析法(Direct Loading Analysis Method (DILAM))を適用する。この方法は、データ量削減のために応力応答関数の算出については指定された要素に対してのみ応力結果を保存する。一方、任意時刻の荷重に対し、必要であれば直ぐに再計算を実行してその瞬間の全体応力分布、変形図を出力する、という取り扱いにより、より多くの設計情報を得る事ができる。また、DILAMでは膨大な数の荷重ケースに対するFEM解析を処理する必要があり、計算ツールの入出力を自動化するシステムの開発が必須である。このシステムにおいて特に重要な部分について以下説明する。

① 荷重自動生成モジュール

船体運動計算のアウトプットファイルを処理し、MSC.NASTRANの荷重データ(PLOADと呼ばれる荷重カード)を自動生成するプログラムである。

② 全体荷重チェックモジュール

FEM解析において不自然な支持反力が生じていないか、全体の荷重バランスをチェックするプログラムである。先に生成されたPLOADカードを読み込み、局部荷重を積算し、荷重とモーメントの合計値をチェックする。FEM解析を実行せずに荷重のチェックを行うことができる。

③ ポスト処理モジュール

応力応答関数を求めるために、自動的に規則波中の最大値、最小値を求める。また、チェックのために膨大な荷重ケースのなかからクリティカルな状態を選び、出力する。

DILAMでは直接荷重を使用する為に、Nloadcaseに対応するスペクトル解析に加えて、設計波法による降伏・座屈強度解析を同一システム上で実施することが出来る。特に、設計波法による全船解析は近年荷重推定の

高精度化に伴い実用化が進んでいる分野であり、DILAMの有効な適用法である。なお、DILAMは、時系列データをステップバイステップで入力する準静的解析であるが、船体自身の剛体および弾性体としての慣性力は外力として考慮されているため、局部構造の振動による慣性力のみが無視されることになる。しかしながら、これらの慣性力の影響は全体応答に比較して小さいため、船体構造設計においては、準静的解析で十分である。

4. 研究成果

ここで提案した手法の有効性を検証するため、6400 TEU Post-Panamax コンテナ船(L x B x D - d = 285.0m x 42.8m x 20.0m - 14.22m, Vs=15.4knot)について試計算を行った。

まず、設計短期海象を発現確率 10^{-5} の海象から選択した。また、設計不規則波を構成する際の位相情報はピッチング運動の応答関数のものを用い、これより、設計短期海象の有義波高は15.5m、ゼロクロス波周期は12.5sとなり、この海象中で設計不規則波を求めた。設計不規則波の波形を図1に示す。図より、最大ピッチングとそれに伴うスラミングを生じさせる鋭い波のピークが生じているのが分かる。

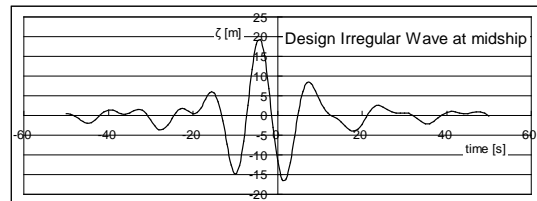


図1 設計不規則波の時系列波形

この設計不規則波中で、非線形船体応答計算を行った。波との出合角はスラミングが最も生じやすい正面波とした。計算された曲げモーメントの時間変化を図2に示す。図中赤線で示す時間 $t=-2s$ 付近で船底スラミングが生じ、その後にバウフレアスラミングが生じている。これらのスラミングによりホイッピング振動が発生し、最大サギングモーメントは $t=7s$ 付近で発生している。

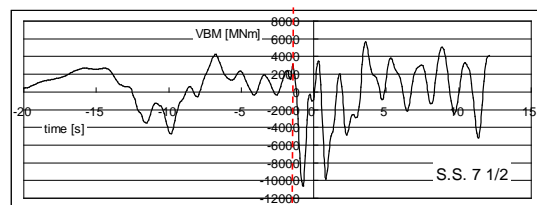


図2 曲げモーメントの時間変化

次に、このときの圧力分布を非線形境界要素法により計算した。船体断面(S.S.7)について、断面と波面の相対位置を図3に示す。また、 $t=-0.7s$ のときの圧力分布の船長方向

変化を図4に示す。図より、船体断面が波の中に突入していき、圧力が船長方向に大きく変化しているのが分かる。

図5に船首部の応力が最大になった時の応力分布を示す。サギング状態で船首部に大きな応力が発生しており、これは船体中央部の応力よりも大きくなっている。この応力分布は、これまでのスラミングによる船体の損傷事故をよく説明しており、現実にある状態であると思われる。

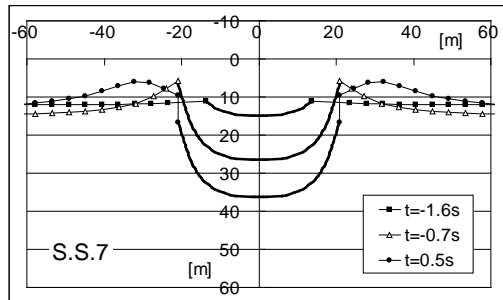


図3 船体と波面の相対位置

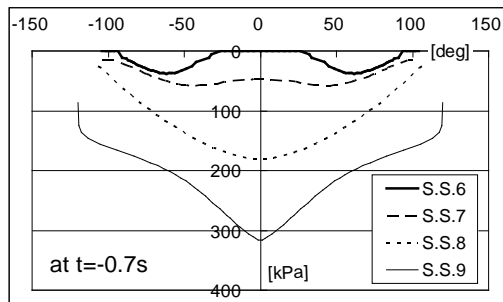


図4 圧力分布の船長方向変化

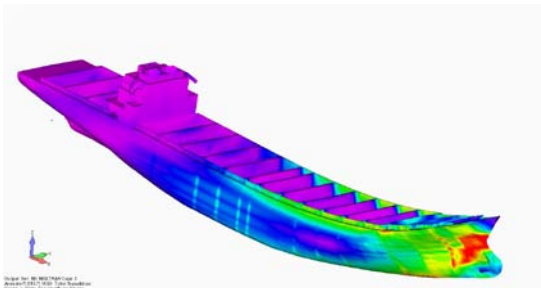


図5 応力分布

以上の研究成果をまとめると、以下のようになる。

- スラミング発生時の船体最大局部応力を精度よく簡便に推定する手法を提案した。
- 本手法は、設計短期海象と設計不規則波の設定、船体のたわみを考慮した非線形船体運動・縦強度計算、船体断面に作用する非線形圧力分布の計算、直接荷重解析法による船体全船モデルを用いた有限要素法解析の4つの段階からなる。
- Post-Panamax コンテナ船に対する試算より、最大曲げモーメントはホイップ

ングの最初のサギングピークで発生するが、2度目のピークで大きな局部応力が船首部に発生することが分かった。

- 本手法による18ステップ分の計算時間は、PentiumIVクラスのパーソナルコンピュータで、15分未満であった。
- 試算で得られた応力分布は、船体構造設計/船体損傷解析の立場から見て妥当なものであり、本手法が船体構造設計に有効であることが実証された。

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0件)

[学会発表] (計3件)

- ① T.Fukasawa and S.Miyazaki, "Estimation of Pressure and Stress Distributions of a Container Ship in Slamming Condition", 5th Int. Conf. on Hydorelasticity in Marine Technology, Southampton, UK, 4-7 September 2009, 139-202.
- ② T.Fukasawa, "Estimation of the Maximum Local Stress of a Container Ship on the North-Pacific Shipping Route", 22nd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, Istanbul, Turkey, 6-9 October 2008, 324-330.
- ③ T.Fukasawa and S.Miyazaki, "Estimation of maximum stress of a container ship by means of Design Irregular Wave and Direct Loading Analysis Method", 10th Int. Symp. on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Houston, USA, 30 September - 5 October 2007, 716-723.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

深澤 塔一 (FUKASAWA TOICHI)
金沢工業大学・工学部・教授
研究者番号：80143171

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

宮崎 智 (MIYAZAKI SATOSHI)
三菱重工業 (株)・長崎造船所造船設計部
船殻設計課・技師
研究者番号：