

令和元年6月12日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04598

研究課題名(和文) 複雑な荷重下における船体強度評価に関する基礎研究

研究課題名(英文) A study on the strength of ship structures under the effect of complicated loading such as bi-axial load or whipping load

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,500,000円

研究成果の概要(和文)：近年のコンテナ船の大型化に伴い、従来想定していなかった荷重の船体強度への影響が問題となっている。本研究では第一に、水圧等により二重底に生じる横荷重の強度への影響を検討した。具体的には、2軸圧縮荷重下での防撓板の最終強度解析を行い、横荷重を考慮した防撓板の最終強度算式と、それに基づいた縦曲げ最終強度算出法を提案した。本研究では第2に、ホイッピングを想定した動的荷重に対する崩壊挙動と最終強度への影響を検討した。船体中央断面を模擬したFEM解析を用いて、荷重の作用時間が崩壊挙動に与える影響を観察するとともに、ダメージを受けた場合の残留強度や、材料モデルの違いによる崩壊挙動の違いについて考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の防撓板の2軸圧縮強度に関する研究では、FEM解析結果を用いて強度算式を単純に求めた研究が多く、本研究のような様々な要因に基づいた崩壊モードを整理し、そのメカニズムを論じた研究は多くは見られない。また、動的な荷重の強度に対する影響については、船体はりの単純モデルを用いた研究は存在するが、局所的な詳細構造や材料モデルを考慮した動的荷重の影響に関してはほとんど検討されていない。よって、本研究の成果は、近年大型化の著しいコンテナ船や今後の革新的な船体構造開発の際の強度評価に対して、有用な知見を与えることができたと考えている。

研究成果の概要(英文)：Because of recent enlargement of container ships, the effect of complicated load, such as bi-axial compression of double bottom structure or whipping load in the hull girder bending moment, have becomes important problems. Firstly in this study, stiffened plates under biaxial compression are analyzed by FEM, and a new formula to estimate ultimate strength of stiffened plates considering biaxial compression is developed. Moreover, the method to estimate ultimate strength of hull girder considering the biaxial compression of ship bottom is proposed based on the new formula. Secondly, analysis of hull girder ultimate strength of a mid-ship structure of a container ship is performed by using FEM when the dynamic load like whipping are applied. The effect of duration of applied dynamic load to the collapse behavior is investigated. The effect of material model to the ultimate strength, and residual strength after the damage by the dynamic loading is also investigated in this study.

研究分野：船舶海洋工学、構造力学、CAE

キーワード：最終強度 コンテナ船 2軸圧縮荷重 動的最終強度 ホイッピング ひずみ速度影響 FEM解析

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19, CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年船舶の大型化に伴い、従来想定していなかった荷重の船体強度への影響が問題となっている。2013年のコンテナ船の折損沈没事故における事故原因の検証においては、従来は考慮する必要の無かったコンテナ荷重や水圧などによって生じる横荷重による影響により、船体の最終強度が低下したこと等が示唆された。またコンテナ船においては、船首部スラミングに伴うホイッピングにより、波浪縦曲げ荷重に弾性振動による荷重が重畳する現象が指摘され、その強度への影響が大きな研究課題となっている。以上のような状況を考えると、従来、準静的かつ単純なモデルを用いて評価されてきた船体の最終強度に関して、複雑な方向の荷重（2軸荷重等）や、荷重履歴（動的に荷重の方向や大きさが変化する場合や損傷の蓄積）に対応した評価や現象解明が、今後の新世代の船体構造の評価の際には重要になってくると考えられる。

2. 研究の目的

以上のような背景から、本研究では、大型のコンテナ船における、(1)横荷重の船体縦曲げ最終強度への影響と、(2)ホイッピング重畳荷重等の変動する荷重が作用する場合の崩壊挙動と強度への影響、に着目し、そのメカニズムと評価手法について検討を行う。

3. 研究の方法

本研究では、まず第一に、2軸荷重下における防撓板及び船体縦曲げ最終強度に関する研究を行った。本研究では、汎用解析コード LS-DYNA を用いて、構造寸法・初期変形等の影響を考慮した防撓板の FEM 解析を行う。さらに、横荷重を考慮した防撓板の最終強度算式の開発と、それに基づいた縦曲げ最終強度算出法を提案した。また防撓板の強度解析の妥当性を検討するために小型のアルミ試験片を用いた圧縮実験を試みた。本研究では第2に、動的荷重に対する崩壊挙動と最終強度に低下に関する研究を行った。具体的には、船体中央断面を模擬した弾塑性 FEM 解析により、ホイッピング荷重を想定した動的荷重による崩壊挙動を観察した。また、ホイッピング荷重の作用により崩壊しないがダメージを受けた場合の残留強度や、材料モデルの違いによる崩壊挙動の違いについて考察している。以上の2つの研究課題により、複雑な荷重（作用形態と作用履歴）が船体強度や崩壊挙動にどのような影響を与えるかを検討した。

4. 研究成果

上記の2つの研究課題に対する成果の概要を以下の(1),(2)にて報告する。また、それらの結論を(3)節で延べる。

(1) 2軸圧縮を考慮した防撓板の強度、及び船体縦曲げ最終強度算定手法に関する研究

ここでは、汎用 FEM ソフトウェア (LS-DYNA) を用いて、2軸圧縮下における防撓パネルの FEM 解析を行い、防撓パネルの最終強度・崩壊挙動の観察、そのメカニズムについて検証を行った結果について報告する。具体的には、FEM 解析において防撓材間の船底パネルの座屈による有効幅の減少を観察するとともに、CSR における有効幅減少の算式との比較を行った。そして、FEM から得られた考察から CSR の防撓パネルの最終強度算式及び有効幅の算式に2軸圧縮影響を組み込み、防撓パネルの最終強度を評価する手法を開発した。また、提案した防撓パネルの最終強度算式を CSR におけるハルガーダ強度の計算手法に組み込むことにより、2軸圧縮を考慮したハルガーダ強度推定手法を開発したので、その概要についても述べる。

(1) - 1 防撓パネルの FEM 解析

(i) 解析モデル

本研究では、まず Fig.1 のような 1+1+1 の3スパン及び3ロングの範囲の防撓板をシェル要素でモデル化し、陰解法での解析を行い最終強度を求めた。防撓材は T 型を想定し、3種のパネル板厚  $t_p=10,15,20mm$  で弾塑性 FEM 解析を行った (Fig.1)。2軸の作用荷重の荷重比については、Fig.1 のようにモデル端部の片側から一定の作用応力比の分布荷重 ( $\sigma_x, \sigma_y$ ) を増分的に与えた。また、加える各方向の荷重 (応力) の比は、長手方向作用応力  $\sigma_x$ : 幅方向作用応力  $\sigma_y$  が、1:0, 1:0.2, 1:0.5, 1:1 となるようにした (以降、Y0, Y0.2, Y0.5, Y1.0 と表示する)。

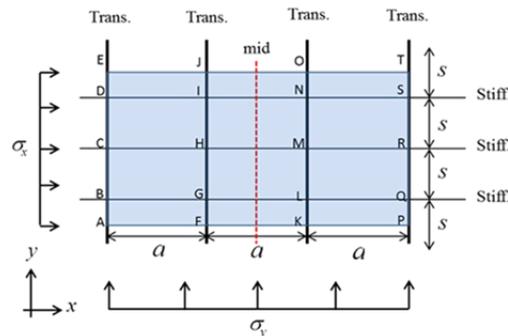


Fig.1 防撓板解析モデル

(ii) 解析結果 (最終強度)

FEM によって求められた、各板厚・各応力比における防撓パネルの最終強度を Table 1 に示す。最終強度は、加わっている荷重を断面積で除した平均応力 [MPa] で示している。また、CSR におけるハルガーダ強度を計算する手法で求められる防撓材の最終強度の値も記載しておく。

Table 2 FEM より得られた最終強度

| $t_p \setminus \text{rate}$ | FEM   |       |       |       | CSR   |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                             | Y0    | Y0.2  | Y0.5  | Y1.0  |       |
| 10mm                        | 225.6 | 206.4 | 219.5 | 173.7 | 183.6 |
| 15mm                        | 259.5 | 269.4 | 244.3 | 174.6 | 225.9 |
| 20mm                        | 321.1 | 308.8 | 264.3 | 183.1 | 261.1 |

FEM における全体の傾向としては、応力比が高くなるにつれて最終強度が下がっていった。

表中の CSR は、CSR における防撓パネル最終強度算式による最終強度であるが、FEM 解析 (Y0) と比べると安全側推定となっていることが分かる。しかしながら、Y1.0 の仮定では、全ての板厚において  $Y1.0 < CSR$  となった。すなわち、幅方向荷重が作用する場合には、現状の CSR 算式では危険側推定になる場合があることが分かる。

(iii) 有効幅の低下について

防撓パネルが増分的に圧縮荷重を受ける際、パネル部分が先立って座屈すると、パネルがそれ以降の荷重の増加分を受け持てず、防撓材がその後の増加分を受け持つようになる。このようなパネル

座屈による面内剛性の低下を表現するため、有効幅を考慮することができる。Fig.2 に、FEM で得られた応力分布から求められた有効幅の荷重増加に伴う変化を示す。応力比が増えるにつれて、早いタイミングで低下が始まっており、低下の度合も増大している。これは、幅方向に 1 半波モードでの座屈が生じることにより、トランス付近において、x 軸に沿って撓みが急激に変化することによってパネルが荷重を受け持てず、有効幅が減少しているものと推測される。

(1) - 2 CSR における有効幅算式の修正式の提案

上記の考察から、本研究では CSR の防撓パネルの強度算式において 2 軸圧縮の影響が考慮できる手法の提案を行った。具体的には、捩れ座屈モードの算式に関して、3 つのパラメータ (1) 幅方向荷重による有効幅低下の増大を表すパラメータ  $\gamma$ 、(2) 幅方向座屈に伴うロンジの負担増加及び横倒れの増長を表すパラメータ  $\mu$ 、(3) 幅方向の座屈による有効幅低下開始のタイミングを表すパラメータ  $\beta_E$  を導入した。ここでは、パラメータ  $\beta_E$  の導入に関して紹介する。従来、有効幅の算定には次式の Frankland の算式が用いられていた。

$$b_E = \left( \frac{2.25}{\beta_E} - \frac{1.25}{\beta_E^2} \right) s \quad \text{ただし、} \beta_E = \frac{s}{t_p} \sqrt{\frac{\sigma_y \bar{\epsilon}}{E}} \quad (1)$$

本研究では、これに有効幅低下の増大を表現する次式を提案する。

$$b_E = \left( \frac{2.25\gamma}{\beta_E} - \frac{1.25^2\gamma + 1.25\gamma - 1.25^2}{\beta_E^2} \right) s \quad (2)$$

上式において 2 軸応力比やパネル板厚に応じて  $\beta_E$  を適切に設定することにより、有効幅の低下の現象を適切に表現できる。

(1) - 3 船体縦曲げ最終強度算式への適用

(i) 2 軸圧縮を考慮した縦曲げ最終強度算定手順

本研究では、上記で示した 2 軸圧縮を考慮した防撓板の強度算式を用いた縦曲げ最終強度の評価手順を提案した。

- 個々の防撓板毎 (寸法毎、応力比毎) にあらかじめ非線形 FEM 解析等により  $b_E$  を求めておく。
- 計算対象とする船舶において、3 ホールドモデル FEM 解析等を行い、設計荷重レベルの荷重を与えた時の 2 軸作用応力比を求める。
- 提案する船体縦曲げ最終強度算式では、上記 (b) で求めた 2 軸応力比で荷重を与えることを想定する。また、対象構造の寸法と作用荷重の応力比に応じて、(a) であらかじめ得られている  $b_E$  を使用する。ここでは詳細は説明しないが、 $\mu$  については、CSR 増分反復法適用中に随時計算する。

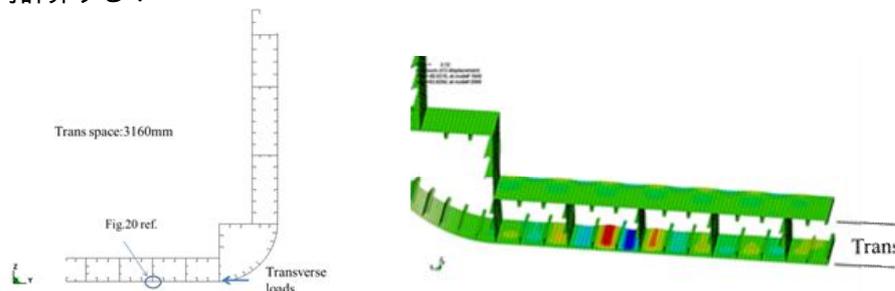


Fig.3 コンテナ船の中央断面(左図)と Y0.5 の場合の変形図(右図)

(ii) 中央断面モデルを用いた提案手法の検証

本研究では、1 トランススペース分のコンテナ船中央断面 (Fig.3 左) の FEM モデルを LS-DYNA 陽解法モードによる FEM 解析を行い、船底外板が 2 軸圧縮を受けている場合でのハルガーダ強度を求め、提案算式を用いて得たハルガーダ強度との比較を行った。Fig.3 右に、Y0.5 の場合の FEM 解析における船底部の z 方向変位を示す。図より、防撓材付近で半波の座屈が生じ、有効幅が減少している様子が推察できる。また、船底とガーダーの交差部においても、有効幅減少の影響があることがわかる。これらの観察結果より、本研究で提案する 2 軸圧縮を考慮した最終強度算式では、上記 (1) の防撓板での 2 軸圧縮の考慮に加えて、船底とガーダーの交差部を「2 軸圧縮を受けるハードコーナー要素」として取り扱う方法を導入した。本研究で提

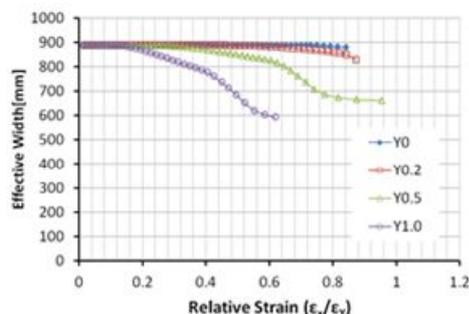


Fig.2 有効幅の減少の様子

案した2軸圧縮を考慮したハルガーダ強度推定法で得られた強度(CSR proposed- imp)を, 中央断面モデルのFEM解析の結果とともにTable 2に示す. 提案手法(Y0.5)における従来のCSRからの低下の割合は5.0%でありFEMと近いレベルの推定になっていると考えられる. 以上より, 「船底における防撓材要素」と「ハードコーナー要素」に2軸圧縮の影響を組み込むことで, 精度良く2軸圧縮状態でのハルガーダ強度の推定を行うことができた.

Table 2 FEMより得られた最終強度 (MPa)

|              | Y0[GNm]           | Y0.5[GNm]                  | (Y0-Y0.5)/Y0 |
|--------------|-------------------|----------------------------|--------------|
| FEM          | 3.73              | 3.53                       | 5.4%         |
| Smith method | 3.78<br>(CSR org) | 3.59<br>(CSR proposed-imp) | 5.0%         |

(2) 動的荷重下におけるコンテナ船構造の縦曲げ最終強度・崩壊挙動のシミュレーション  
本研究では, ホイッピング荷重の船体縦曲げ最終強度への影響及び崩壊挙動に関する研究を行った. 具体的には, ホイッピング荷重に相当する動的荷重として正弦半波の荷重をコンテナ船の中央断面構造・およびはりモデルに負荷する弾塑性動的FEM解析を行った. これにより, 動的荷重による構造損傷や, 動的荷重負荷後の残存強度の評価を行っている.

(2) - 1 動的荷重下における中央断面構造の最終強度評価

(i)解析モデル

本研究では, 3100 TEU コンテナ船の中央断面図を用いて, 長手方向に1トランススペース分引き延ばした片舷シェルFEMモデルを用いた解析を行った(Fig.4左). 材料特性としては, 二直線近似弾塑性材料を用い, ヤング率・降伏応力は高張力鋼に相当する値とするとともに, 降伏点以降の傾きはヤング率の1/65の値を用いた. この中央断面構造のシェルモデルに直接動的荷重を負荷する動的弾塑性解析を実施した. 動的荷重として作用させる正弦半波の縦曲げモーメント(Fig.4右)の荷重振幅が最終強度以上となる状況について, 「荷重振幅および負荷時間」と「構造損傷」の関係を検討した. 本解析では, 荷重振幅は最終強度との比で  $M_0/M_U = 1.00, 1.01, \dots, 1.09$  の10パターン, 負荷時間は  $T/2 = 0.5, 0.75, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0, 8.0$  secの8パターンとし, これらを組み合わせる解析を行った. この負荷時間は, ホイッピングに相当する荷重周期 ( $T = 1 \sim 2$  sec) から準静的な波浪周期 ( $T = 16$  sec) までの範囲について解析を実施したことに相当する. また, 本研究では, Cowper-Symonds 則(以下CS則)によるひずみ速度依存性を考慮した場合と, 考慮しない場合についての解析を行いその結果を比較した. ところで, 本解析を実施するにあたって, CS則を用いた場合には縦曲げ最終強度を危険側に推定する可能性があることが指摘された. その理由は以下のものである. (1)CS則では, 動的降伏応力が準静的とみなせるようなひずみ速度が小さい場合においても, 静的降伏応力よりも高くなる. (2)加工硬化係数が, ひずみ速度が大きくなるに従って, 実際よりも高く推定されてしまう可能性がある. このような理由から, 本研究では上記の問題点(1)を改良した材料モデル(Model\_1), 問題点(2)を改良した材料モデル(Model\_2), 及び問題(1)(2)を改良した材料モデル(Model\_3)を用いた解析を合わせて実施している.

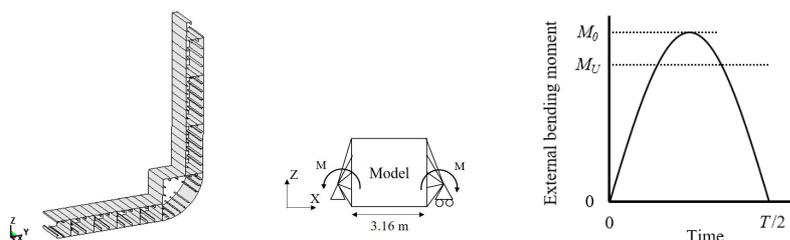


Fig.4 中央断面構造のFEMモデル(左)及び, 動的な作用荷重(右)

(ii)解析結果と考察

Fig.5に, 各作用荷重時間  $T/2$  についてモデルが崩壊するまでに必要な最小荷重振幅を示す. 図に示すように, ひずみ速度影響を考慮しない解析(MAT3\_without\_CS)では, 最終強度と同等の荷重振幅下で崩壊に至る結果となった. 一方, ひずみ速度影響をCS則を用いて考慮したModel\_0では本来準静的解析に相当する  $T/2=8.0$ s 付近のケースにおいても, 崩壊には最終強度よりも5%大きい荷重振幅を要した. さらに, CS則の問題点を考慮したModel\_1,3においては,  $T/2=8.0$ s 付近で従来のCSモデル(MAT3\_CS)に対して若干ではあるが準静的最終強度に近づいたが, 依然として準静的最終強度よりも4%大きい荷重振幅となっている. これは, 実際の崩壊現象において準静的と考えられていたような周期が大きいときも, 最終強度に達して崩壊するときのひずみ速度は動的な影響がある程度大きくなる為であると思われる. ま

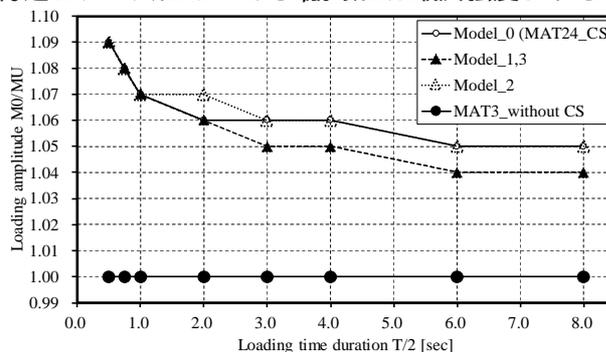


Fig.5 崩壊に必要な荷重

た、ホイッピングの周期に近い動的荷重( $T/2=0.5 \sim 1.0s$ )の場合は、静的な場合と比較して約 7~9%最終強度が上昇している。

ところで、近年、コンテナ船の大型化により船体の固有周期(2節ホイッピング振動の周期)は大きくなっており、小型のコンテナ船で1.0s程度から大型のコンテナ船で2.0s程度である。Fig.5では荷重時間が $T/2=0.5 \sim 1.0s$ で変化すると、崩壊荷重は2.0%程度減少している。従って、近年の大型コンテナ船のホイッピング荷重下での動的縦曲げ最終強度は、従来のコンテナ船よりも数パーセント減少している可能性があることが推測できる。

### (2) - 2 動的荷重下における中央断面構造の最終強度評価

前節では中央断面構造のFEMモデルに直接動的縦曲げ荷重を与えて解析を行った。しかし、ホイッピング荷重の問題は、船体梁の弾性応答が最終強度を超過する可能性があるものであり、前節の解析のように中央断面に作用している縦曲げモーメント値が最終強度を超えているかどうかは不明である。そこで本研究では、中央断面構造のシェルモデルに弾性梁要素を付加したモデルを作成し、ホイッピング荷重下での中央断面構造の崩壊挙動を解析した。

#### (i) 解析モデル

Fig.6左に解析モデルを示す。弾性梁要素は中央断面のシェル構造と剛体拘束で結合されている。解析を実施するにあたり、まずホイッピングの発生を想定した荷重場を作成する。洋上において船体梁が晒される荷重場を模して、静水縦曲げモーメントおよび波浪縦曲げモーメントに相当するホギングモーメントが支持点から作用し、さらにスラミング荷重に相当する衝撃荷重 $F$ が梁端部から作用するような荷重を設定した。Fig.6右はある弾性解析ケース(004E)における外力および中央断面の作用する縦曲げモーメントの時刻歴である。波浪縦曲げモーメントとホイッピング荷重が重畳し、中央断面に作用する縦曲げモーメントは時刻 $t = 26.34 \text{ sec}$ でピークに到達している。スラミング荷重 $F$ を調節することで、このピーク値 $M_{max}$ が最終強度 $M_U$ と同等以上(ケース004Eでは $M_{max}/M_U = 1.004$ )となるようにした。以下では同等荷重条件下で弾塑性解析を行い、損傷および崩壊への過大なホイッピング荷重の影響度を調べる。

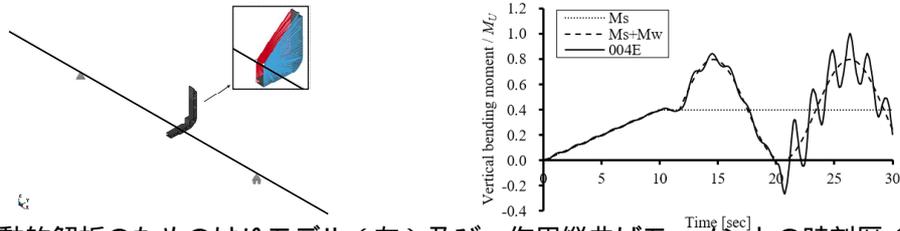


Fig.6 動的解析のためのはりモデル(左)及び、作用縦曲げモーメントの時刻歴(右)

#### (ii) 解析結果と考察

Table 3 に荷重の大きさ( $M_{max}$ )を変化させた場合の解析結果を示す。Table 3 中の Elastic case における荷重と同様な条件下で CS 則によるひずみ速度依存性を考慮しない場合と、考慮する場合でそれぞれ弾塑性解析を行い、解析終了時における構造損傷状態(Health status)を判別した。「Alive」は過大なホイッピング荷重が発生する一波を構造が持ち堪えたことに相当する。ひずみ速度依存性を考慮しない場合、崩壊に至る最小のホイッピング荷重のケースにおいて、最終強度 $M_U$ に対するピーク値 $M_{max}$ の超過量はわずか0.5%である(Table3の005EP)。一般に、ホイッピングのような負荷時間が短い荷重が作用する場合は、荷重ピーク値が最終強度を超過しても構造が崩壊に至らない可能性があると考えられている。しかし、ひずみ依存性を考慮しない場合には、ホイッピングによる曲げモーメントの周期が短くても、最終強度をわずかに超過するだけでも構造が崩壊してしまうことがわかった。一方、Table 3 に示すように、CS 則によりひずみ速度依存性を考慮する場合、ピーク値 $M_{max}$ が最終強度 $M_U$ を10%超過するケース(100EPc)でも崩壊には至らなかった。とくに000EPc, 010EPc, 050EPcの3ケースについては、船底構造の塑性変形は微小であり、塑性変形量としてはコーミングトップの引張変形が主であった。よって、ホイッピングのような動的荷重下において準静的な最終強度以上の荷重を構造が担うことができる根拠は、主として材料の動的性質によって説明できると考えられる。

### (3) 本研究の結論

(i) 2軸圧縮を考慮した防撓板の強度、及び船体縦曲げ最終強度算定手法に関する研究の結論は以下ようになる。まず2軸圧縮荷重が作用する場合の崩壊挙動であるが、応力比が増すにつれて最終強度が低下する現象が観察できた。次に本研究では、CSRの防撓パネルの捩れ座屈モードの最終強度算式において、2軸圧縮を考慮する3つのパラメータの提案を行った。さらに、その提案算式を使用した2軸圧縮状態でのハルガーダ最終強度を求める手法の提案を行うことができた。

(ii) 動的荷重下におけるコンテナ船構造の縦曲げ最終強度・崩壊挙動のシミュレーションに関する研究においての結論は以下ようになる。まず、縦曲げ崩壊においては、従来準静的と考えられてきた波浪荷重に相当する動的荷重でも、ひずみ速度の影響により崩壊荷重は4~5%程度大きくなる可能性があることがわかった。また、ホイッピングのような動的荷重がかかると、崩壊荷重は準静的時に比べて7~9%程度大きくなる。また、本報告では詳細は述べていないが、従来のCS則と改良したCS則(材料モデル)を用いた場合では、最終強度に大きな違いはなかったが、残存変形に関しては、改良したCS則の方が大きい結果となることが分かった。材料

モデルの違いにより、動的縦曲げ最終強度には大きな違いはないが、残存強度に違いが出てくる可能性がある。

Table3 各解析ケースにおける最終状態

| Elastic cases |               |        | Elastoplastic cases |               | Elastoplastic cases considering Cowper-Symonds formula |               |
|---------------|---------------|--------|---------------------|---------------|--|---------------|
| Case No.      | $M_{max}/M_U$ | F [MN] | Case No.            | Health status | Case No.   | Health status |
| 000E          | 1.000         | 35.69  | 000EP               | Alive         | 000EPc   | Alive         |
| 001E          | 1.001         | 35.87  | 001EP               | Alive         |  |               |
| 002E          | 1.002         | 36.04  | 002EP               | Alive         |  |               |
| 003E          | 1.003         | 36.21  | 003EP               | Alive         |  |               |
| 004E          | 1.004         | 36.38  | 004EP               | Alive         |  |               |
| 005E          | 1.005         | 36.55  | 005EP               | Collapse      |  |               |
| 010E          | 1.010         | 37.41  | 010EP               | Collapse      | 010EPc   | Alive         |
| 050E          | 1.050         | 44.28  |                     |               | 050EPc   | Alive         |
| 060E          | 1.060         | 46.00  |                     |               | 060EPc   | Alive         |
| 070E          | 1.070         | 47.72  |                     |               | 070EPc   | Alive         |
| 080E          | 1.080         | 49.43  |                     |               | 080EPc   | Alive         |
| 090E          | 1.090         | 51.15  |                     |               | 090EPc   | Alive         |
| 100E          | 1.100         | 52.87  |                     |               | 100EPc   | Alive         |
| 110E          | 1.110         | 54.58  |                     |               | 110EPc   | Collapse      |

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

(1) 田中英美子, 川村恭己, 古田島将, 岡田哲男, 動的荷重下におけるコンテナ船構造の縦曲げ最終強度及び崩壊挙動の数値シミュレーション(第3報), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第27号, pp281-286, 2018.

(2) Yoshiaki Naruse, Yasumi Kawamura(発表者), Tetsuo Okada, A Study on the Method to Estimate Ship Hull Girder Ultimate Strength Considering Biaxial Compression in Bottom Stiffened Plates, Proceedings of the 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE 2017), June 25-30, 2017, Trondheim, Norway, OMAE2017-61430 (9 pages), 2017. (査読有) doi:10.1115/OMAE2017-61430

(3) 古田島将, 川村 恭己, 岡田 哲男, 動的荷重下におけるコンテナ船構造の縦曲げ最終強度および崩壊挙動のシミュレーション(第2報), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第25号, pp365-370, 2017.

(4) 古田島将, 川村恭己, 王德禹, 岡田哲男, 動的荷重下におけるコンテナ船構造の縦曲げ最終強度及び崩壊の数値シミュレーション, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第22号, pp547-551, 2016.

(5) 成瀬慶晃, 川村恭己, 岡田哲男, 2軸圧縮を考慮した船体縦曲げ最終強度算定手法に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, 第23号, pp.239-249, 2016. (査読有) <https://doi.org/10.2534/jjasnaoe.23.239>

〔学会発表〕(計7件)

(1) 田中英美子, 動的荷重下におけるコンテナ船構造の縦曲げ最終強度及び崩壊挙動の数値シミュレーション(第3報), 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2018年(雑誌論文(5)の内容と同様)

(2) Fumiko Tanaka, Sho Kotajima, Yasumi Kawamura, Tetsuo Okada, A study on hull girder ultimate strength of a container ship under dynamic loading considering the effect of strain-rate dependency on material properties, Proceedings of the 31th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM 2018), Oct.15 - 18, 2018, Wuhan, China, pp.67-73, 2018.

(3) 川村恭己, 動的荷重下におけるコンテナ船構造の縦曲げ最終強度および崩壊挙動のシミュレーション(第2報), 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2017. (雑誌論文(3)の内容と同様)

(4) Yasumi Kawamura, A Study on the Method to Estimate Ship Hull Girder Ultimate Strength Considering Biaxial Compression in Bottom Stiffened Plates, The 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2017), June 25-30, 2017, Trondheim, Norway, 2017. (雑誌論文(4)の内容と同様)

(5) Yasumi Kawamura, A Study on the Method to Estimate Ship Hull Girder Ultimate Strength Considering Biaxial Compression in Bottom Plates, Int. Sympo. on Safety of Marine Structures & Environmental Protection, Dec 4-7, Shanghai Jiao Tong University, 2017.

(6) Sho Kotajima(発表者), Yasumi Kawamura, Deyu Wang, Tetsuo Okada, A Study on Ultimate Strength of container-ship hull girder under dynamic loading, Proceedings of the 30th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM 2016), Mokpo, Republic of Korea, 10-13 October 2016, pp338-345.

(7) 古田島将, 動的荷重下におけるコンテナ船構造の縦曲げ最終強度及び崩壊の数値シミュレーション, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2016. (雑誌論文(2)の内容と同様)

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 岡田 哲男

ローマ字氏名: (OKADA, tetsuo)

所属研究機関名: 横浜国立大学

部局名: 大学院工学研究院

職名: 教授

研究者番号(8桁): 10753048