

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560801

研究課題名（和文）繰り返し曲げを受ける防撓構造物の崩壊挙動解析法に関する研究

研究課題名（英文）Collapse behavior of stiffened plate structures under cyclic loading

研究代表者

正岡 孝治 (MASAOKA KOJI)

大阪府立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10244659

研究成果の概要：

船体は縦方向(前後方向)に長い構造体であり、水に浮く梁とみなすことができる。船体梁(Hull girder)には船体自身の自重、積荷による荷重、浮力、波による荷重がはたらく。船体梁にはたらく荷重が許容曲げモーメントを超えると船体は折れ曲がる(折損)。船が折損することは致命的な損傷である。最近、国内・国外の多くの研究者らにより、船体縦曲げ強度の推定法が研究されている。船体は折損後、波浪中で繰り返し曲げを受けさら損傷箇所をひろげていく。このメカニズムを解明するために繰り返し曲げ実験をもとに「繰り返し曲げを受ける防撓構造物の崩壊挙動解析法」について検討を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：繰り返し曲げ, 防撓構造, 崩壊挙動, 有限要素法, 座屈, 溶接初期不整, 固有歪, 破断

1. 研究開始当初の背景

船体は縦方向(前後方向)に長い構造体であり、水に浮く梁とみなすことができる。船体梁(Hull girder)には船体自身の自重、積荷に

よる荷重、浮力、波による荷重がはたらく。船体梁にはたらく荷重が許容曲げモーメントを超えると船体は折れ曲がる(折損)。船が折損することは致命的な損傷である。

この船体断面により船の縦強度が決まる。

最近、国内・国外の多くの研究者らにより、船体縦曲げ強度の推定法が研究されている。この研究にはいくつかのアプローチがある。一つは船体の縦方向(長手方向)に寄与する部材を非線形ばねにモデル化して解析する方法でスミス法とよばれている。そのほかに、有限要素法のような緻密な解析方法もいくつか提案されている。実験によるアプローチは多くの手間をかける必要があるので、多くの実験結果はない。

まず、我々の研究では船体縦曲げ強度を実際に知るために、薄板防撓構造の曲げの実験ができる試験機の製作を構想していた。

この試験機を利用することにより、船体のような薄板構造物が座屈・塑性化によりどのように崩壊するかを観察することができる。さらに、我々の研究グループでは実験を再現できる非線形有限要素法プログラムをすでに開発していた。

2. 研究の目的

船体梁は苛酷な海象や積付けにより、ときに折損事故を起こしている。その際に、苛酷な波浪中においては一回だけの大波では船体構造は完全には崩壊せず、幾度かの繰り返し曲げをうけて完全に崩壊してしまうと考えられる。繰り返し曲げによって薄板構造がどのように強度を低下させていくかを知ることは、苛酷な海象の中にある船舶、および海洋構造物の安全性を理解する上で重要である。しかし、国内外の研究においては船体梁の終局強度に関する研究はあるものの、繰り返し曲げをうける構造体の強度低下に関する研究はない。本研究では繰り返し曲げによる強度低下のメカニズムを解明し、苛酷な海象における船舶・海洋構造物の安全性および環境保全に関して考察を行なうことを目的とする。

3. 研究の方法

「繰り返し曲げを受ける防撓構造物の崩壊挙動解析法に関する研究」を行うにあたり、次の3つの項目に重点をおいた。

(1) 繰り返し曲げの解析法の確立

実験により得られる結果を整理し、繰り返し曲げ、すなわち、荷重の負荷・徐荷によって生じる現象を整理した。繰り返し曲げによって生じる座屈、塑性化、破断等を解析できる非線形有限要素法の整備を行った。

(2) 溶接初期不整を考慮した解析法の確立

溶接は金属を溶かして接合する方法であり、接合により溶接残留応力、溶接初期たわみが発生する。本研究では溶接によって生じる固有歪の考え方を有限要素法に適用し、構造体の崩壊挙動に大きく影響を及ぼす初期不整を合理的に導入する解析方法を確立した。

(3) 繰り返し曲げ時の破断のメカニズムの解明

繰り返し曲げによって生じる破断のメカニズムを明確にする。圧縮部が圧縮・引張りを繰り返し早い段階で破断が生じることは実験で確認済みである。この破断の発生条件について検討を行うと共に、破断をも考慮した有限要素法プログラムの開発を行った。

このうち、2007年度は「1. 繰り返し曲げの解析法の確立」、「2. 溶接初期不整を考慮した解析法の確立」に重点をおいた。また、「3. 繰り返し曲げ時の破断のメカニズムの解明」に関しては、2008年度に研究を行った。

まず、2008年度には従来から研究室にあるプログラムの整理を行った。研究室にある計算機サーバーに加えて、コンピュータとその周辺機器が必要となる。計算プログラムの改良および開発を目的とし、また、コンピュータネットワークのハードウェアの構築を行った。そのために、研究代表者および分担者が現在までに開発してきたプログラムを整理した。また、大規模崩壊解析のためのソフトウェアとハードウェアの構築を行った。

(1) 繰り返し曲げの解析法の確立

薄板構造物の解析を非線形有限要素法により解析する場合には途中解の発散により計算が中断されることがしばしばある。解が発散した場合でも、その直前から解析が再開できる有限要素法プログラムの開発を行った。

(2) 溶接初期不整を考慮した解析法の確立

研究室には固有歪法による溶接残留応力、変形推定プログラムと薄板構造の終局強度を非線形有限要素法プログラムによって解析するプログラムが存在する。この二つのプログラムを整合させることにより、固有歪法によって与えられた初期不整を用いて薄板構造物の終局強度を推定するプログラムを開発した。

(3) 繰り返し曲げ時の破断のメカニズムの解明

圧縮と引張りをうける薄板が破断にいたる過程を解明し、定式化を考える。この定式化を非線形有限要素法に取り込むことにより、破断を考慮した繰り返し曲げ解析を行うことのできる有限要素法プログラムに改良した。

2008年度には従来から研究室にあるプログラムをコンピュータネットワーク上で使用できるように改良した。そのために、研究室にある計算機サーバーに加えて、高性能コンピュータとその周辺機器が必要となる。

2009年度には2008年度の研究結果をもとに繰り返し曲げを受ける防撓構造物の崩壊挙動解析法に関する研究を行なった。

繰り返し曲げを受ける防撓構造物の崩壊挙動に関する研究をおこなうために、次の3つの項目に重点をおいて、研究の分担を行った。

(1) 繰り返し曲げの解析法の確立

解が発散した場合でも、その直前から解析が再開できる有限要素法プログラムを開発した。

(2) 溶接初期不整を考慮した解析法の確立

固有歪法によって与えられた初期不整を用いて薄板構造物の終局強度を推定するプログラムで構造解析を行い、最終強度、崩壊挙動に溶接初期不整が与える影響について明瞭にした。

(3) 繰り返し曲げ時の破断のメカニズムの解明

破断を考慮した繰り返し曲げ解析を行うことのできる有限要素法プログラムに改良し、そのプログラムを用い、破断による大きな耐力低下を表現できる解析を実行した。

4. 研究成果

概要

このメカニズムを解明するために繰り返し曲げ実験をもとに「繰り返し曲げを受ける防撓構造物の崩壊挙動解析法」について検討を行った。

(1) 繰り返し曲げの実験法の確立: 4点曲げ実験試験機を製作した。繰り返し曲げを受ける防撓構造物の崩壊挙動を確認する実験を行った。繰り返し曲げ、すなわち、荷重の負荷・徐荷によって生じる現象を整理した。

(2) 溶接初期不整を考慮した解析法の確立: 溶接は金属を溶かして接合する方法であり、接合により溶接残留応力、溶接初期たわみが発生する。本研究では溶接によって生じる初期不整を有限要素法に適用し、構造体の崩壊挙動に大きく影響を及ぼす初期不整を確認した。さらに、初期不整を有する構造部材の最終強度の推定法を提案した。

(3) 繰り返し曲げ時の破断のメカニズムの解明: 繰り返し曲げによって生じる

破断のメカニズムを実験から明確にした。圧縮部が圧縮・引張を繰り返し早い段階で破断が生じることを確認した。

実験装置と試験体の概要

実験装置は梁の4点曲げを背景に設計されている。梁の4点曲げにおいては、中央部はせん断力が0であり純曲げとなり、2つの荷重点間で曲げモーメントが最大となり左右対称であることから梁の中央部(試験体中央)で崩壊が起こると考えられる。

実験装置の全長は5124mmであり、実験装置両横のアーム部分は2000mmである。アーム部分は試験体の断面係数と比較して試験体よりも強度が高くなるようなI型鋼を用いている。

載荷装置は油圧ポンプと複動シリンダを用いて押し引き両用とし、試験体に繰り返し曲げをかけることができるようになっている。

試験体は防撓箱型断面梁構造を使用した。試験体は長手方向に700mmであり、その内500mmが試験体部分である。実際の防撓構造においてスティフナは内部に設置されているが、実験装置の性質上内部に設置されているとスティフナの崩壊挙動を見ることができないことから本試験体ではスティフナは外部に設置した。

非線形有限要素法による解析

繰り返し曲げ実験を行うに先立って非線形有限要素法を用いて解析を行った。この解析結果を参考として実験を行い、最終強度の値を実験結果と比較した。

防撓箱型断面梁構造の繰り返し実験

実験装置を用いて、予備実験として4点曲げが再現されているかどうかを確認するために、ダミー試験体を用いた弾性範囲内の曲げ試験を行った。試験体においても弾性範囲内で試験的に曲げ実験を行い、4点曲げ状態が再現されていることを確認した後、載荷装置を用いて原点から上向きの荷重をかけた。試験体が最終強度を向かえた後除荷させ、原点まで下がったところから再び上向きの荷重をかける。この操作を繰り返した後、繰り返し曲げでの崩壊挙動を見た。

崩壊挙動のメカニズムを見るために、歪、荷重、荷重点での変位を計測した。歪ゲージの貼付位置は試験体中央部上下面スティフナ間パネル4箇所である。ここは、非線形有限要素法による解析結果において最も変形が大きくなったところで、最も早く座屈が発

生すると考えられる場所である。

最終強度時での試験体には圧縮面である下面に全体座屈が、側面には3半波の局部座屈がみられた。また最終強度は非線形有限要素法による解析値とおおよそ一致していた。2回目曲げ以降は座屈変形がさらに大きくなり、徐々に剛性が低下していった。同時に最終強度も低下していった。

側面にも全体座屈のような変形が起こり、側面と圧縮面の接合部にクラックが発生した。繰り返し曲げ荷重を続けていくとクラックがスティフナを破断させながら成長していき、下面パネルにも同じように亀裂が入った。このような状態になると崩壊挙動はあまり変化しなくなる。これは圧縮面の部分がすべてジャックナイフ形の崩壊を起こし、引張、圧縮により亀裂が入り、それ以上変形が起こりづらくなっているからであると考えられる。

繰り返し曲げを受ける防撓箱型断面梁構造の崩壊挙動を明らかにするために、小型模型を用いて実験を行い、以下の知見を得た。

試験体は圧縮面に全体座屈を、側面に局部座屈を伴い最終強度となった。

ジャックナイフ型の崩壊が起こり、圧縮面、側面パネルに破断が見られるようになり崩壊挙動はあまり変化しなくなった。

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3件)

- ① K. Masaoka, Impact of welding imperfections on the ultimate strength of stiffened plates in ship structures, Proc. of 2008 KWJS Asian symposium for Trend of Welding Mechanics, 巻番号無, p.1-5, 2008, 査読無
- ② K. Masaoka, A. Mansour, Compressive strength of stiffened plates with imperfections: Simple design equations, Journal of ship research, 52-3, p.227-237, 2008, 査読有
- ③ 正岡孝治, 坪郷尚, 岡田博雄, 縦曲げをうけるポンツーン型超大型浮体の主要部材の構造信頼性評価法、構造物の安全性および信頼性論文集, 6巻, p.467-472, 2007, 査読有

6. 研究組織

(1) 研究代表者

正岡 孝治 (MASAOKA KOJI)
大阪府立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 10244659

(2) 研究分担者

北浦 堅一 (KITAURA KENICHI)
大阪府立大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号: 00081399

坪郷 尚 (TSUBOGO TAKASHI)
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 80254431

柴原 正和 (SHIBAHARA MASAKAZU)
大阪府立大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 20350754

(3) 連携研究者

なし