The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	船底局部荷重を考慮したコンテナ船の縦曲げ最終強度に関する研究
Author(s)	辰巳, 晃
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/61741
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　辰　巳　　晃　）	
論文題名	船底局部荷重を考慮したコンテナ船の縦曲げ最終強度に関する研究

論文内容の要旨

2013年6月，インド洋沖にて8,000TEU（Twenty-foot Equivalent Unit）級の大型コンテナ船“MOL COMFORT号”の折損・沈没事故が発生した．事故の原因調査から，二重底に働く水圧およびコンテナ重量による面外荷重（以下，船底局部荷重）によって，船体が上に凸に変形するホギング状態での縦曲げ最終強度が低下する可能性が指摘された．しかしながら，コンテナ船を対象に船底局部荷重が縦曲げ崩壊挙動に及ぼす影響を論じた研究はこれまでほとんどなく，縦曲げ最終強度が低下するメカニズムは明らかとなっていなかった．そこで，本論文では大きく2つの目的を設けた．1つは，船底局部荷重とホギング曲げモーメントが作用する複合荷重状態でのコンテナ船の縦曲げ崩壊挙動を解明することである．いま1つは，船底局部荷重の影響を考慮でき，かつ実用的な縦曲げ最終強度推定法を開発することである．

本論文は，以上2つの目的を達成するべく実施した研究の成果をまとめたものであり，以下の6章で構成される．

第1章では，本研究を始めるに至った背景，本研究に関連した研究の沿革，並びに，本研究の目的と本論文の構成について述べた．まず，過去の船舶の折損事故例を紹介した．特に，MOL COMFORT号の折損・沈没事故は本研究内容と密接に関係しているため，事故調査の概要，考えられる事故発生のシナリオ，関連する船舶の構造規則の動向を述べた．そして，本研究に関連する先行研究について述べ，本論文の目的と構成を説明した．

第2章では，8,000TEU級のコンテナ船を対象に，有限要素法（FEM）により，船底局部荷重の影響を考慮した縦曲げ崩壊解析を実施した．船体の長さ方向に1/2+1+1/2ホールド範囲を，また船幅方向には対称性を考慮して片舷範囲を取り出し，シェル要素を用いてモデル化した．この解析から，船底局部荷重が縦曲げ最終強度の低下をもたらす主な要因は，船の長さ方向の二重底の局部曲げ変形が船底外板の座屈・塑性崩壊を助長する点，および船底外板の崩壊後の耐力低下に伴って，内底板も縦曲げに対して有効に機能しなくなる点であることを明らかにした．また，現行規則で考慮される二重底の船幅方向の局部曲げ変形の影響は二次的であることを明らかにした．

第3章では，実用的な縦曲げ逐次崩壊解析法であるSmith法の概要を述べた後，Smith法と等価な縦曲げ逐次崩壊解析を，一般的な梁有限要素を用いて行う方法（FE/Smith法）を提案した．Smith法では，船体横断面を板と防撓材からなる要素の集合体にモデル化し，予め要素ごとに座屈や降伏の影響を考慮して軸応力～軸ひずみ関係を求めておくことにより，断面全体の曲げモーメント～曲率関係を計算する．本論文では，要素の軸応力～軸ひずみ関係を，軸応力～塑性軸ひずみ関係に置換し，この関係を擬似ひずみ硬化/ひずみ軟化挙動と見なすことにより，Smith法による縦曲げ逐次崩壊解析を一般的な弾塑性FEM解析プログラムを用いて実施可能とした．簡単な薄肉防撓断面を対象として，Smith法とFE/Smith法により崩壊挙動を解析し，両手法の等価性を示した．また，従来のSmith法は，純曲げを受ける横断面の解析に限定されたが，FE/Smith法では，梁要素により船体全体をモデル化することにより，曲げと捩りの複合荷重下の船体桁の逐次崩壊挙動を解析できることを明らかにした．

第4章では，第3章のFE/Smith法を拡張し，船底局部荷重の影響を考慮できる縦曲げ逐次崩壊解析法（拡張Smith法）を提案した．拡張Smith法では，船底局部荷重が働く二重底の弾性応力解析から縦曲げ逐次崩壊解析までを一貫して行えるよう，部分隔壁を含む水密隔壁間の1ホールドをモデル化範囲とした．船底局部荷重の影響を考慮するため，二重底を平面格子構造でモデル化し，二重底以外の断面部分（船側部とビルジ部）については，平面保持を仮定して1つの梁でモデル化した．これらを，水密隔壁およびビルジ位置で結合してホールドモデルを構成した．部分隔壁は，等価な鉛直剛性を持つばねに置き換えた．また，縦曲げ最終強度の低下に対する二重底の船幅方向の局部曲げ変形の影響は二次的であるとの知見を第2章で得たため，平面格子の縦部材に対してのみ座屈と降伏の影響をSmith法に基づいて考慮し，横部材は弾性であると仮定した．第2章の3次元シェルFEM解析の結果と比較することで，拡張Smith法により，船底局部荷重の作用下におけるコンテナ船の縦曲げ崩壊挙動および最終強度を，高い精度で極めて短時間に解析できることを示した．

第5章では，前章までの3次元シェルFEM解析と拡張Smith法による縦曲げ逐次崩壊解析から得られた知見をもとに，

船底局部荷重とホギング曲げモーメントが作用する複合荷重下でのコンテナ船の最終強度の簡易推定法を提案した．すなわち，船体桁に働くホギング曲げモーメントと，船底局部荷重によって二重底に働く局部曲げモーメントを変数とする最終強度相関関係式を導いた．3次元FEM解析の結果との比較より，簡易推定法が船底局部荷重の作用下におけるコンテナ船の縦曲げ最終強度を精度良く推定することを示した．

第6章では，本研究から得られた結果を総括するとともに，今後の課題を示した．

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　辰巳　晃　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教　授	藤久保　昌彦
	副 査　教　授	大沢　直樹
	副 査　准教授	飯島　一博
	副 査　教　授	吉川　孝男　（九州大学）

論文審査の結果の要旨

2013 年 6 月，インド洋沖にて発生した 8,000TEU（Twenty-foot Equivalent Unit）級の大型コンテナ船“MOL COMFORT 号”の折損・沈没事故では，その事故原因として，二重底に働く水圧およびコンテナ重量による面外荷重（以下，船底局部荷重）が，ホギング状態（船体が全体として上に凸に曲がる状態）における船体の縦曲げ最終強度を低下させた可能性が指摘されている．しかし，コンテナ船を対象に船底局部荷重が縦曲げ崩壊挙動に及ぼす影響を論じた研究はこれまでほとんどなく，縦曲げ最終強度が低下するメカニズムは明らかとなっていない．このような背景のもと，本論文では，船底局部荷重とホギング曲げモーメントが作用する複合荷重下でのコンテナ船の縦曲げ崩壊挙動を解明すること，並びに船底局部荷重の影響を考慮でき，かつ設計計算法として実用的な縦曲げ最終強度推定法を開発することを目的としている．

本論文は，以下の 6 章から構成される．

第 1 章では，本研究を始めるに至った背景，本研究に関連した研究の沿革，並びに本研究の目的と本論文の構成について述べている．特に，“MOL COMFORT 号”の折損・沈没事故は，本研究内容と密接に関係しているため，事故調査の概要，考えられる事故発生のシナリオ，および関連する船舶の構造規則の動向を述べている．

第 2 章では，8,000TEU 級のコンテナ船を対象に，有限要素法（FEM）により，船底局部荷重の影響を考慮した縦曲げ崩壊解析を実施している．船体の長さ方向に 1/2+1+1/2 ホールド範囲を，また船幅方向には対称性を考慮して片舷範囲を取り出し，シェル有限要素を用いてモデル化している．この解析から，船底局部荷重が縦曲げ最終強度の低下をもたらす主な要因は，船の長さ方向の二重底の局部曲げ変形が船底外板の座屈・塑性崩壊を助長する点，および船底外板の崩壊後の耐力低下に伴って，内底板が縦曲げに対して有効に機能しなくなる点であることを明らかにしている．さらに，現行規則で考慮される二重底の船幅方向の局部曲げ変形の影響は，これらの影響に比べて二次的であることを明らかにしている．

第 3 章では，実用的な縦曲げ逐次崩壊解析法である Smith 法の概要を述べた後，Smith 法と等価な縦曲げ逐次崩壊解析を，一般的な梁有限要素を用いて行う方法（FE/Smith 法）を提案している．Smith 法では，船体横断面を板と防撓材からなる要素の集合体にモデル化し，予め要素ごとに座屈および降伏の影響を考慮して軸応力～軸ひずみ関係を求めておくことにより，断面全体の曲げモーメント～曲率関係を計算する．本論文では，要素の軸応力～軸ひずみ関係を，軸応力～塑性軸ひずみ関係に置換し，この関係を擬似ひずみ硬化/ひずみ軟化挙動を見なすことにより，Smith 法を一般的な弾塑性 FEM 解析プログラムを用いて適用可能としている．簡単な薄肉防撓断面を対象として，Smith 法と FE/Smith 法により崩壊挙動を解析し，両手法の等価性を示している．また，従来の Smith 法は，純曲げを受ける横断面の解析に限定されたが，FE/Smith 法では，梁要素を用いて船体全体をモデル化することにより，曲げと捩りの複合荷重下の船体桁の逐次崩壊挙動も解析できることを明らかにしている．

第 4 章では，第 3 章の FE/Smith 法を拡張し，船底局部荷重の影響を考慮できる縦曲げ逐次崩壊解析法（拡張 Smith 法）を提案している．拡張 Smith 法では，船底局部荷重による二重底の弾性応力解析から縦曲げ逐次崩壊解析までを一貫して行えるよう，部分隔壁を含む水密隔壁間の 1 ホールドをモデル化範囲としている．船底局部荷重の影響を考

慮するため，二重底を平面格子構造でモデル化し，二重底以外の断面部分（船側部とビルジ部）については，断面平面保持を仮定して 1 つの梁でモデル化している．これらを，水密隔壁およびビルジ位置で結合してホールドモデルを構成している．部分隔壁は，等価な鉛直剛性を持つばねに置き換えている．第 2 章の 3 次元シェル FEM 解析との比較を通して，拡張 Smith 法により，船底局部荷重の作用下におけるコンテナ船の縦曲げ崩壊挙動および最終強度を，高い精度で短時間に解析できることを示している．

第 5 章では，前章までの 3 次元シェル FEM 解析と拡張 Smith 法による縦曲げ逐次崩壊解析から得られた知見をもとに，船底局部荷重とホギング曲げモーメントが作用する複合荷重下のコンテナ船の縦曲げ最終強度の簡易推定法を提案している．具体的には，船体桁に働くホギング曲げモーメントと，船底局部荷重によって二重底に働く局部曲げモーメントを変数とする最終強度相関関係式を導いている．3 次元 FEM 解析結果との比較より，本推定法により．船底局部荷重の作用下におけるコンテナ船の縦曲げ最終強度を精度良く推定可能であることを示している．

第 6 章では，本研究から得られた結果を総括するとともに，今後の課題を示している．

以上のように，本論文は，船底局部荷重がコンテナ船の縦曲げ崩壊挙動に及ぼす影響を明らかにするとともに，その影響を考慮できる実用的な縦曲げ逐次崩壊解析法並びに縦曲げ最終強度推定式を開発している．これらは，大型コンテナ船の構造設計法の合理化，ひいては安全性の向上に大いに寄与する成果である．

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める．