

Title	Hydro-elastoplastic response of ship's hull girder in waves
Author(s)	許, 維軍
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59962
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

【28】

氏名	許 維 軍 (Xu, Weijun)
博士の専攻分野の名称	博 士 (工学)
学位記番号	第 2 5 6 4 2 号
学位授与年月日	平成 24 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科地球総合工学専攻
学位論文名	Hydro-elastoplastic response of ship's hull girder in waves (波浪中における船体桁の流力弾塑性応答に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教 授 藤久保 昌彦 (副査) 教 授 大沢 直樹 教 授 村川 英一 准教授 飯島 一博

論 文 内 容 の 要 旨

Ultimate longitudinal bending strength of a ship's hull girder is an essential input to the ship structural design to ensure the safety of ships in extreme conditions. From the viewpoint of the risk-based design of ships, however, not only the ultimate strength of a hull girder but also the consequence of the hull girder collapse, i.e. how and to what degree the hull girder collapses in waves, needs to be evaluated, since the severity of the collapse is associated with the loss of the ship, its cargo, human lives, etc.

Progressive collapse analysis to evaluate the ultimate bending strength of the hull girder considering the buckling and yielding of structural elements is usually performed in a quasi-static manner by monotonously increasing the curvature of a cross section. However, the actual path of the progressive collapse behavior is followed neither by imposing forced displacement nor by imposing force. Instead, it can be followed only when the

interaction between elastoplastic structural deformation and fluid forces is taken into account. The post-ultimate strength capacity of the hull girder is also an important factor to evaluate such a consequence of the collapse.

The primary objective of the present study is to rationally assess the consequence of the ship's hull girder collapse in extreme wave loads. The dynamic collapse behavior of the hull girder in a large single wave is pursued numerically and experimentally based on the box-shape ship. Some important parameters to predict the severity of the collapse are specified based on the analytical solution. The severity of collapse of a bulk carrier in extreme waves is predicted based on a generic ship. Most significant interests are focused on two points. One is the interpretation of the numerical/experimental results by the analytical solution. The other is to clarify to what extent the hull girder may collapse in an extreme wave at an exceedance probability of 1/1000 in short-term sea states. Four sub-tasks are performed for achieving the objectives.

- ・ A hydro-elastoplasticity approach based on the strip theory to predicting the dynamic collapse behavior of the ship's hull girder in waves is proposed and validated by scaled model tank tests.
- ・ Parameters on which the severity of the collapse depends are clarified based on a box-shape ship.
- ・ Experimental investigations into the collapse behavior of a box-shape hull girder subjected to extreme wave-induced loads are performed.
- ・ The quantitative evaluation on the severity of collapse of the bulk carrier in extreme waves is addressed by utilizing the hydro-elastoplasticity approach.

The main conclusions obtained by numerical/experimental studies on the box-shape ship model can be summarized as follows:

- 1) The numerical simulation method can predict the collapse behavior both qualitatively and quantitatively. The method is validated against the tank tests using the box-shape scaled model.
- 2) It is clarified that the hull girder rapidly collapses to extreme loads after the ultimate strength is reached. The collapse is terminated when unloading starts at the collapsed section and the bending rigidity recovers.
- 3) The extent of collapse of the ship's hull girder depends both on its load carrying capacity model and load model. In particular, the reduction of the load carrying capacity after the ultimate strength and the slope after the ultimate strength largely affect the collapse behavior. Given the same magnitude of the external loads, the load with shorter time duration results in the smaller extent of collapse.
- 4) The above parametric dependences of the extent of collapse are clearly explained by the closed-form formula derived from the analytical solution.
- 5) They are also partly confirmed by the tank tests and small tank experiments under whipping loads. i.e. different collapse behaviors can be attained by changing the moment-displacement relationships of the scaled model. The smaller extent of collapse is observed for whipping loads induced by dropping a mass object.
- 6) Cumulative collapse tests are performed in a series of focused waves with fixed amplitude. As for the cumulative collapse, the increase rate of collapse is small at the beginning of the cycles. Then, it increases once the collapse starts to enter the path having reduction of load carrying capacity. This tendency can be explained by the closed-form formula, too.

The collapse behavior of a Capesize bulk carrier under an extreme wave in a severe short-term sea state is investigated by using the numerical simulation. The bending moment-rotational angle relationships obtained by using the program code, HULLST, which is based on the Smith's method are employed. It has been shown that:

- 7) Given the same amplitude of the extreme wave, the extent of collapse is smaller for the hogging than for sagging primarily due to the higher ultimate strength in hogging and the larger reduction of the capacity after the ultimate strength in sagging, and secondarily due to the slower reduction rate of the capacity after the ultimate strength in hogging.
- 8) These behaviors can be explained by employing the closed-form formula. On the other hand, the accuracy of the analysis results in the large deformation range obtained by using the HULLST code is yet to be confirmed

since the Smith's method employs a few assumptions including the Navier hypothesis of the cross-section, the one-frame length of the model and the collapse pattern of the stiffened plates over the one frame. FE analysis over a one hold length model should be employed for comparison, and then, the collapse pattern should be checked in terms of the deflection and strain distributions in the large deformation range. This should be further pursued in the future.

論文審査の結果の要旨

近年、船体構造のリスクベース設計法の導入が進められつつある。リスクが、破損確率と被害度の積で定義されることから、リスクベース設計法では破損確率だけではなく、被害度、すなわち「破損する場合にどの程度まで損傷が進むか」を評価することが求められる。このためには、弾塑性範囲における構造と流体の連成（流体力弾塑性応答）や動的影響を考慮して、船体構造の崩壊現象を忠実に再現することが必要である。本論文では、船体桁の縦曲げ崩壊を対象として、構造の最終強度後の耐力低下を考慮した流体力弾塑性解析モデルを考案し、崩壊変形量に関する支配パラメータを明らかにするとともに、水槽試験による計算結果の検証を行っている。さらに実船の崩壊変形量について考察している。その概要は、以下の通りである。

第1章では、本研究の背景について述べ、本論文の目的と構成を説明している。

第2章では、船体を2つの剛体梁と非線形回転バネにモデル化し、流体力については非線形ストリップ法を適用して、波浪中船体桁の流体力弾塑性応答の数値解析モデルを定式化している。箱形浮体モデルの数値解析結果より、縦曲げ崩壊による船体桁の変形量（回転バネの塑性回転角）は、座屈崩壊による最終強度後の断面耐力の低下、変形による静的復原力分布の変化、慣性力の作用、等の影響を含む船体桁全体の力学平衡条件から決まり、特に最終強度後の断面耐力の低下率が、崩壊変形量の支配的パラメータの一つであることを見いだしている。

第3章では、同じ剛体・回転バネモデルについて、断面の曲げモーメント・回転角関係を区分線形化することにより、船体桁の流体力弾塑性応答の解析解を導出している。これを基に、荷重速度が緩やかで準静的な崩壊挙動の場合の崩壊変形量を、荷重と断面強度および浮体の静的復原力係数に関する陽な数式で与えている。一方、荷重の作用時間が短く、衝撃的な応答の場合は、同じ荷重振幅でも崩壊変形量は小さいことを明らかにしている。これは、慣性力が変形を抑制する効果を持つことと、塑性変形が成長するためには、弾性的除荷を生じることなく荷重が一定時間、同一方向に作用することが必要であることによる。本研究成果は、大型船舶で問題となるスラミング後の過渡振動（ポッピング）の影響度評価に直接的に関係する成果である。そのほか、最終強度後の剛性低下率など各種パラメータに対する崩壊変形量の依存性を明らかにしている。

第4章では、実船と強度的に相似な水槽試験模型を設計し、過渡水波中での崩壊試験ならびにポッピングを模擬した繰り返し衝撃負荷試験を行っている。曲げモーメント・回転角関係や荷重速度を変えて得られた試験結果は、数値解析結果および解析解とよく一致し、計算法の妥当性が示されている。

第5章では、ばら積貨物船の流体力弾塑性応答を解析している。ばら積貨物船は二重底を有するため、サギング状態よりもホギング状態の方が、一般に最終強度が高く、また荷重再分配によって最終強度後の耐力低下が緩やかである。これらのことが、崩壊変形量に有意に影響することを明らかにしている。

第6章では、本論文で得られた研究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、本論文は縦曲げ崩壊による船体桁の変形量とこれに対する影響因子を、流体力弾塑性応答解析により初めて定量的に明らかにしたものである。これらの成果は、船体構造のリスクベース安全性評価の確立に資するものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。