



Title	Effect of Wave-Induced Vibrations on Structural Strength of Ships by CFD-FEM Coupling
Author(s)	Pal, Kumar Sumit
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/91963
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (PAL SUMIT KUMAR)	
Title	Effect of Wave-Induced Vibrations on Structural Strength of Ships by CFD-FEM Coupling (CFD-FEM連成による波浪中弹性応答が船体強度に与える影響の評価)
<p>Abstract of Thesis</p> <p>High-frequency wave-induced vibrations can be broadly categorized into whipping and springing. While the hull girder transient vibration after slamming is known as whipping and can influence the hull girder safety, steady-state resonance vibration due to higher-order wave components is known as springing and can also cause accumulation of fatigue damage over the years. Therefore, from these concerns consideration of these wave-induced vibrations in the hull girder design is very important. In this thesis, the effect of whipping and springing on structural strength is studied thoroughly with the help of Computational Fluid Dynamics (CFD)- Finite Element Method (FEM) coupling. In Chapter 1, the background of this problem statement is elaborated with current research objectives.</p> <p>In Chapter 2, an in-house coupling method between CFD and FEM for a floating body is detailed for one-way and two-way coupling schemes. In the two-way coupling, the hydrodynamic pressure distribution derived from CFD, is mapped onto the FE model to calculate structural response and the calculated structural deformation is fed back to CFD. Overset mesh approach is used to stabilize the CFD solver during the morphing process. However, the deformation of the structure is not considered in load calculation in one-way coupling. The accuracy and effectiveness of these two schemes are discussed as well.</p> <p>In Chapter 3, the validity of the aforementioned coupling method is shown in comparison with experimental results. A simple flexible barge has been chosen as a test subject. First, rigid body motions are validated for frequency response functions together with time series comparisons. Since the added mass effect for flexible deformation is automatically considered in the two-way coupling, a numerical hammering test is performed to know the wet natural frequency of the structure. It is found that the one-way coupling can give a good estimate of the wave-induced vibrations when the mass is artificially increased to account for the added mass effect. Later, the time series of the vertical bending moment (VBM) including the whipping and springing effects are compared between the simulation and the experiment.</p> <p>In Chapter 4, the utilization of a Reduced Order Model (ROM) is discussed, which will be used further to study the effect of wave-induced vibrations on shipload. A correction factor is introduced to adjust the difference between ROM prediction and CFD-FEM result. Components related to Froude-Krylov, whipping, and springing are modeled separately and superimposed for calculating total VBM. The developed ROM is used with First Order Reliability Method (FORM) to design a Maximum Probable Wave Episode (MPWE), which is considered as an input wave field.</p> <p>In Chapter 5, the proposed ROM is validated against the experimental results for an extreme value distribution of VBM in a flexible ship. The probability of exceedance at various target VBM including the high frequency components is compared between ROM and experiment. The effectiveness of the current ROM in capturing complicated behaviors like a consecutive bow and stern slamming is discussed. The effect of the inclusion of springing ROM in extreme value distribution is also discussed herein.</p> <p>In Chapter 6, coupling schemes between CFD and FEM has been further chosen to analyze and understand the effect of direct coupling in the ultimate strength assessment of a hull girder under extreme wave condition. The obtained collapse behaviors from one-way and two-way couplings are compared and discussed on global and local scales.</p> <p>In Chapter 7, the conclusion of the current study is discussed with suggestions for future work.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 (PAL SUMIT KUMAR)		
	(職)	氏名
論文審査担当者	主査 教授	飯島 一博
	副査 教授	大沢 直樹
	副査 准教授	箕浦 宗彦

論文審査の結果の要旨

船体の波浪中弹性振動は、船首・船尾でのスラミング衝撃荷重に引き続く過渡的な弹性振動であるホイッピングと、波浪荷重の周波数成分が船体構造の固有周波数と一致して生じる同調的な弹性振動であるスプリングングに分類される。これら波浪中弹性振動は、通常の波浪荷重成分と重畠し、船体縦曲げモーメントなどの船体荷重の増幅や繰り返し数の増加に繋がる。本論文は、これら波浪中弹性振動が船体構造強度に与える影響について、Computational Fluid Dynamics (CFD) と Finite Element Method (FEM) の連成解析を核として、総合的に明らかにするものである。

これら研究背景と研究目的を示す第1章を含め、本論文は全7章で構成されている。

第2章では CFD と FEM の双方向連成と片方向連成について検討を行っている。双方向連成は、CFD で計算された波浪圧と慣性力を FEM モデルに受け渡し、FEM 構造解析により得られた構造変形を CFD 側にフィードバックし、ひとつの時間ステップ内で収束するまで反復計算する方法である。片方向連成は、CFD で計算された波浪圧と慣性力を FEM モデルに受け渡し変形計算を行うが、フィードバックがない方法である。精度と計算効率の点で得失が議論されている。

第3章では、バージの縮尺弹性模型の剛体運動と弹性振動に関する実験との比較を行い、第2章で示される手法の検証を行っている。水面に浮かべた模型のハンマリング試験から得られる、付加質量の効果を含む、いわゆるウェットモードの固有値について比較を行い、CFD-FEM の双方向連成解析により正しい推定ができる事を示している。一方で、片方向連成でも付加質量を適切に推定し、質量モデルに加えることで、ハンマリング試験を再現できること、さらには高次流体力によるスプリングングを精度よく再現できることを示している。

第4章と第5章では、CFD-FEM 連成シミュレーションで得られる、波浪中弹性振動成分を含む縦曲げモーメントに対する Reduced Order Model (ROM) の検討が行われている。通常の波浪荷重成分については、応答関数を基に非線形効果を表す修正係数を適用した ROM を用い、波浪中弹性振動成分については、ホイッピングとスプリングングそれぞれに対して 1 自由度モデルによる簡便な ROM を用いている。以上の ROM から縦曲げモーメントの時系列を発生させ、この結果を統計解析することで超過確率を求めている。スプリングングとホイッピングの弹性振動成分の ROM を加えることで、縦曲げモーメントの超過確率に関して実験とよく一致する結果が得られることを示し、得られた ROM の有効性を確認している。さらに、弹性振動成分の超過確率への寄与を分離することに成功している。

第6章では開発された CFD-FEM 連成シミュレーションを船体崩壊挙動解析に適用している。構造解析は動的非線形解析法に拠っている。船体中央部近傍のみをシェル要素と梁要素により詳細にモデル化し、残りの中央部以外を梁でモデル化した大型コンテナ船の三次元全船モデルについて、片方向連成と双方向連成の比較を行っている。最終強度近傍まではいずれの連成手法でもおおむね一致する結果が得られる一方で、最終強度を超えた後の崩壊挙動に関しては、連成法により若干の差が認められることを示している。

第7章では以上の内容を総括するとともに、本研究の将来課題を摘出し、本論文の結論としている。

以上のように、本論文は CFD と FEM の連成手法を核に、波浪中弹性振動が船体構造強度に及ぼす影響について総合的に検討を行ったものである。従来手法では困難であった高次流体力によるスプリングングの再現、力学ベースの ROM の開発とそれによる統計的性質の検討、さらには船体の波浪中崩壊現象の解明に及んでおり、波浪中弹性振動が船体構造強度に与える影響について新たな知見を得ている。今後の工学の発展に対して裨益するところ大であるといえる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。