



Title	A Numerical Study on Second-Order Hydrodynamic Force and Response of an Elastic Body by Using Higher-Order Boundary Element Method
Author(s)	Heo, Kyeonguk
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76200
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 (Kyeon g u k H e o)

Title

A Numerical Study on Second-Order Hydrodynamic Force and Response of an Elastic Body by Using Higher-Order Boundary Element Method
(高次境界要素法を用いた弾性体の2次の流体力と応答に関する数値解析的研究)

Abstract of Thesis

As one of the classical academic topics, hydroelasticity has been researched by many scholars in the field of naval architecture and ocean engineering. From the 2000s, the industrial importance of hydroelasticity has been increased due to enlargement in size of commercial ships. Accordingly, much investigation has been implemented by various organizations. Springing and whipping are well recognized as hydroelastic responses. In particular, the springing is known as a resonance phenomenon induced by harmonic incoming waves, which could occur by not only linear but also nonlinear waves. The higher-order springing has been confirmed in various types of ships at several model experiments. On the other hand, most of the numerical studies have been conducted based on linear formulation with nonlinear correction incorporated from integration on the instantaneous wetted surface of ship-hull surface until now.

In this thesis, a computer code is developed for numerical computation of the nonlinear springing of an elastic body with forward speed. Due to mathematical and numerical difficulties, the study is focused on the second-order springing problem by using higher-order boundary element method (HOBEM) in the perturbation scheme under the assumption of small wave slope.

Chapter 1 describes the background, review of the related past work, objective and outline of the present study, and then in Chapter 2, general mathematical formulations are described for the first-order and second-order boundary-value problems of a rigid/elastic body. To obtain the force and response of an elastic body with forward speed, the generalized eigen-function expansion method is adopted, and several equations such as variation of the normal vector, mode-shape functions, and so on are derived by using the continuum mechanics and the directional derivative formulation. These variables up to second order are applied to obtain the first- and second-order body boundary conditions with body's elastic deformation and several kinds of generalized forces on an elastic body.

In Chapter 3, to solve the boundary-value problems obtained, the time-domain Rankine panel method is introduced and the discretization method for the boundary integral equation using HOBEM is presented. Various numerical schemes to calculate the derivatives of the velocity potential are given, and some schemes for implementing the time-domain Rankine panel method are explained, such as time-marching scheme, grid generation on the free surface, numerical damping beach, and numerical filter for removing numerical instability.

In Chapter 4, the developed computer code has been validated step by step for each of different conditions. In monochromatic waves, the direct time-domain simulation based on the Rankine panel method has been implemented for both rigid and elastic bodies with and without forward speed. Validity of obtained results for the second-order forces and responses are discussed mainly through comparison with corresponding results obtained by other researchers. Furthermore, in Chapter 5, the frequency-domain analysis in bichromatic waves without forward speed is conducted by using the free-surface Green-function HOBEM. Indirect method to calculate the second-order velocity potential on an elastic body is introduced. Using semi-analytic solutions in published papers, the obtained results are validated by showing good agreement.

In Chapter 6, obtained results in the present thesis are summarized together with future work.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Kyeonguk Heo)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	柏 木 正
	副 査	教 授	飯 島 一 博
	副 査	准教授	箕 浦 宗 彦

論文審査の結果の要旨

船舶の流力弾性の研究は、船舶海洋工学分野では学術的な研究テーマとして半世紀以上前から研究されてきた。21世紀に入った2000年代からは商船のサイズが益々大きくなってきたことから、産業界における船舶の流力弾性に関する研究の重要性はさらに増しており、実際、多くの研究機関ならびに研究者によって数多くの研究が行われている。その中でも、周期的なスプリングと過渡的なホイッピングは船体の流力弾性応答としてよく認識されている。特にスプリングは、規則波によって誘起される弾性体の同調現象として知られており、この現象は線形波だけでなく波幅度が大きい非線形波によっても誘起されることが水槽実験によって示されている。ところがこれまでに行われてきた流力弾性に関する数値解析的研究の殆どは線形理論による定式化を基礎にしたものであり、非線形影響は、船体表面における時々刻々の濡れ面の変化とその濡れ面上での入射波による圧力の積分によって考慮されてきた。したがって船舶の流力弾性応答における非線形影響に関する研究は、理論的により厳密な定式化に基づいて行われるべきであり、それによって得られる境界値問題を解くために精密な数値計算法の開発を行い、理論解析や数値計算結果を基に現象の流体力学的な理解を深めることが求められている。

以上のような研究背景から、本論文では前進速度を有する弾性体の非線形スプリングを数値計算するために、波幅度を微小パラメータとする摂動展開法に基づいた2次の境界値問題をポテンシャル理論の枠内で厳密に考え、それに基づく計算プログラムの開発が行われている。また計算精度を高めるために高次境界要素法を適用し、船舶流力弾性問題における前進速度影響や物体の弾性変形の影響について考察している。

第1章では研究背景と関連したこれまでの研究のレビュー、ならびに研究目的と本論文の構成について記述している。次に第2章では、ポテンシャル理論による剛体に対する定式化の拡張として、弾性体に対する境界値問題を取り扱い、微小パラメータに関する1次の線形問題、2次の非線形問題が提示されている。その定式化においては、前進速度を有する弾性体に働く流体力や波浪に対する応答を求めるために、一般化された固有関数展開法を適用し、弾性体表面上での一般化された法線ベクトルや弾性変形のモード関数などを、これまでに知られていた手法とは異なり、連続体力学の考え方をを用いて導いているところに独自性が見られる。それらの一般化された法線ベクトルやモード関数の微小パラメータに関する展開式における2次の項までを用いて、前進速度を有する弾性体に対する物体表面境界条件式や一般化された流体力の計算式を2次の項まで厳密に示していることは、今後、同様の研究を行う人にとっては有益な情報となり得る。

次に第3章では、得られた1次・2次の境界値問題を解くために時間領域でのランキンパネル法を用いている。微小時間ステップごとに境界面上の速度ポテンシャルを未知数とする積分方程式を解かなければならないが、その数値解法として高次境界要素法を適用している。すなわち、物体表面ならびに自由表面を非常に多くのパネルで離散化し、各パネル形状とそのパネル上での速度ポテンシャルは、パネルを構成する9節点上での値を用いた2次の多項式で近

似し、節点上の速度ポテンシャルに関する連立方程式に変換して解いている。さらに速度ポテンシャルの高次微分値を精度良く計算するためのスキームや、時間領域ランキンパネル法による計算を安定して行うための幾つかのスキームについて述べている。具体的には、自由表面上でのパネル生成法、計算領域の外方境界からの波の反射を防ぐための数値減衰ビーチの導入、数値的不安定を取り除くための数値フィルターの導入などについて詳述している。

第4章では、開発した計算プログラムの妥当性・精度を検証するために、比較的簡単なものから順に、本論文での計算法を幾つかの流体力学問題に適用している。まず単一周波数の規則波中では、物体表面形状を数式で表すことができる比較的簡単な剛体ならびに弾性体に対し、前進速度が無い場合・有る場合の両方について、時間領域ランキンパネル法を直接適用している。2次の流体力学や波浪による運動応答の妥当性は、他の先行研究と同じ問題について数値計算し、既に論文として公表されている結果と比較することによって検証されている。

さらに第5章では、2つの異なる周波数の波が存在する場合について、前進速度無しの場合の物体に対する周波数領域の数値解析が自由表面グリーン関数を用いた高次境界要素法によって行われている。その中で、弾性物体上の2次の非定常速度ポテンシャルを求めるために、グリーンの公式に基づいた間接法を導入し、その妥当性は、先行研究での別の解法によって得られている半解析的な結果と良く一致していることを示すことによって検証されている。第6章では、本研究によって得られた結果のまとめ、ならびに今後さらに行うべき研究課題が示されている。

以上のように、本論文は、前進速度を有する弾性浮体の波浪中での動揺問題を波高の微小パラメータに関する2次の項までポテンシャル理論の枠内で厳密に取り扱い、得られた2次の境界値問題を時間領域ランキンパネル法で数値的に解く手法ならびにその結果を示したものである。前進速度を有する船体の流体力学問題における2次の速度ポテンシャルや2次の非線形項の重要性と役割を理解する上で重要な情報を提供しており、波浪中を航行する弾性浮体の流体力学的发展に寄与する重要な成果であると評価される。

よって本論文は、博士論文として価値あるものと認める。