

浮体と水波の流体力学的相互作用に関する研究



研究室紹介

柏 木 正*

Research on Wave-Body Hydrodynamic Interactions

Key Words : Added resistance, Wave analysis, Wave-energy absorption,
Fluid-structure interactions

1. はじめに

これまでに行ってきた、あるいは現在行っている研究は、一貫して浮体と水波の流体力学的相互作用に関するものであり、浮体の動揺や存在によって発生する波と浮体に働く流体力の関係、波浪中での浮体の応答特性、それらの工学的応用、波浪エネルギーの吸収・利用など多岐に亘っている。それらの研究に関し、理論解析、数値計算、水槽実験などの手法を用いているが、本稿では、(1) 船舶の波浪中抵抗増加の研究、(2) 海洋エネルギー利用に関する研究、(3) 強非線形流体・構造連成解析法の研究について紹介する。

2. 波形解析による船舶の波浪中抵抗増加の研究

船が航行する時、流体から抵抗を受けるが、波浪中ではその抵抗がさらに増加する。その主な原因は、船が入射波を反射したり、動揺によって波を放射したりするために、造波抵抗成分が増加するためであり、それを(波浪中)抵抗増加と言っている。これによって、波浪中では船の速度が低下し、結果的に燃料を多く使うことになるので、抵抗増加の特性をよく理解して正確に予測すること、また抵抗増加を少なくする方法を考えることは、実海域での船舶推進性能・運動性能の向上を考える上で工学的に非常に重要である。

この抵抗増加に関する研究は1960年代から行われており、運動量・エネルギー保存の原理から、船によって造られた非定常波と抵抗増加の関係は理論的に分かっている。実験的に船による非定常波を計測し、それから抵抗増加を間接的に求める研究方法も1980年代に始められたが、正しい解析によって現象の十分な理解が行われてきたとは言い難い状態であった。

我々も理論計算、水槽実験を長年やってきたが、非定常波形の計測・解析を精度良く行い、船によって造られた波のどの成分ならびにどの部分が抵抗増加の推定に重要であるのかを知り、抵抗増加に及ぼす波の非線形影響がどの程度なのか、従来の理論計算法の何が問題なのかを解明するための研究を行っている。

図1は、modified Wigley モデルという模型船が、正面向い波中を動揺しながら航走した時に発生した非定常波を、船の進行方向と平行な(船から少し離れた)直線上で計測・解析した例である。この例では、入射波の波長 λ と模型船の長さ L の比が1.1であるが、このとき船体動揺の振幅は同調現象によって大きくなっている。中段、下段の結果は、入射波の振幅 A が1.0 cm、2.5 cmのときに直接計測したもの、上段の結果は、入射波の反射による成分、船の強制動揺(微小振幅)によって発生する波の成分、ならびに波浪中での船の動揺を別々の実験で計測し、それらを線形重ね合せの原理によって合成したものを示している。横軸の $x/(L/2)=1$ が船首位置であり、その付近で発生した波が最初の大きな振幅の波に対応している。

入射波の振幅が小さい時は、船首での波長の短い波成分が崩れることなく計測され、しかも波長の長い成分の上に短い成分が重畳されていることが顕著に示されている。これらの非定常波形から理論によ



* Tadashi KASHIWAGI

1955年4月生

大阪大学 大学院工学研究科 造船学専攻
攻博士後期課程修了(1983年)現在、大阪大学 大学院工学研究科 地球
総合工学専攻船舶海洋工学コース
教授 工学博士 海洋浮体工学、自由表面
流体力学

TEL : 06-6879-7572

FAX : 06-6879-7572

E-mail : kashi@naoe.eng.osaka-u.ac.jp

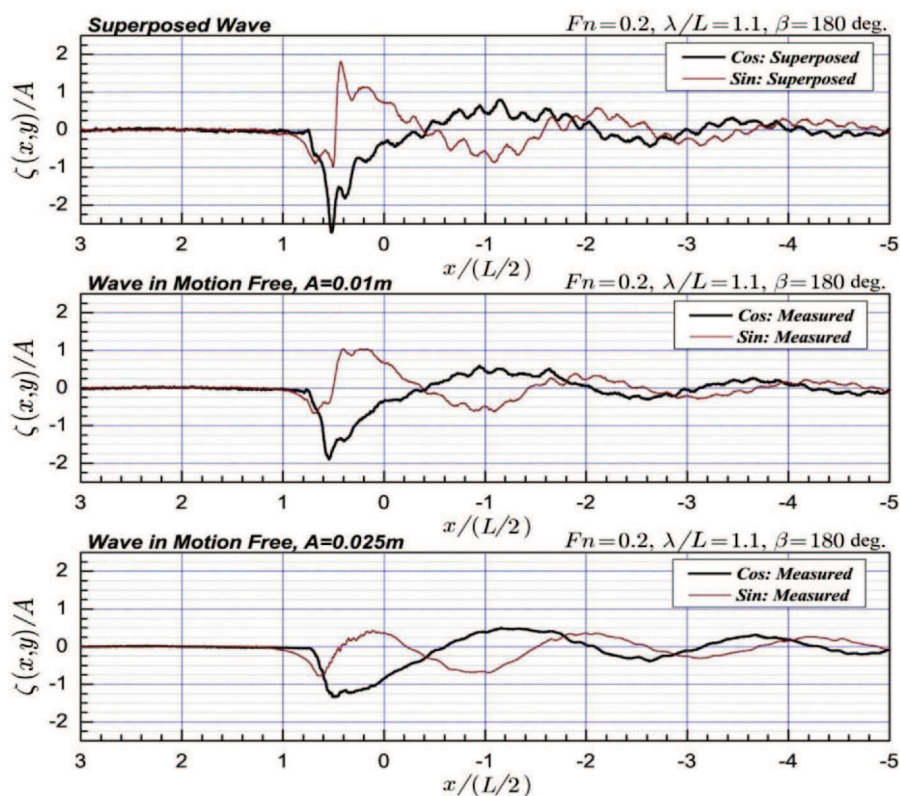


図1 正面向い波 ($\lambda/L=1.1$) を前進しながら動揺する modified Wigley モデルによって造波された非定常波形を、船の進行方向と平行なライン上で計測した例

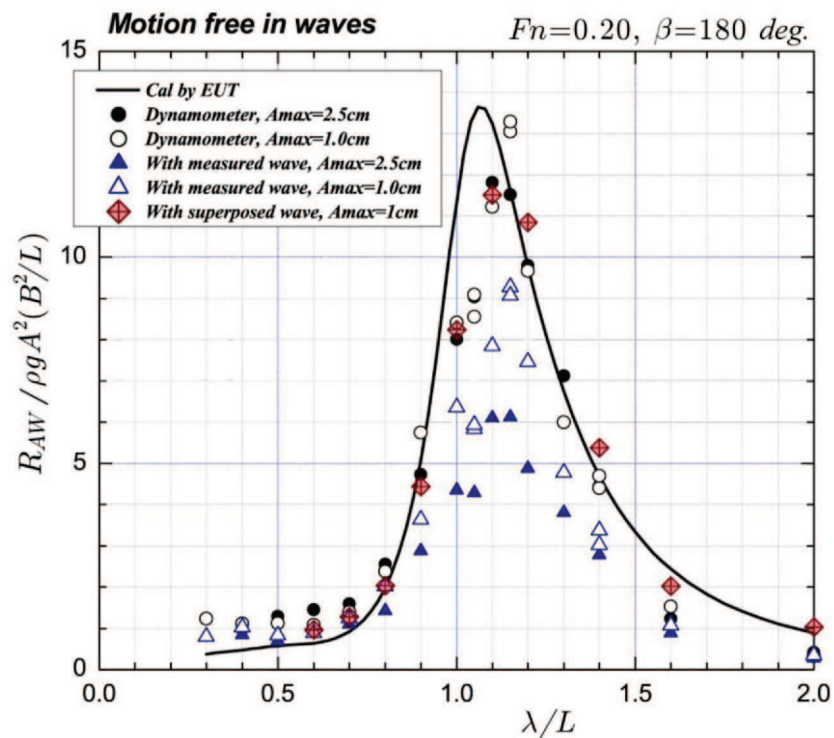


図2 計測された非定常波形 (図1) から抵抗増加理論によって計算した値と、検力計によって直接計測された値ならびに線形ポテンシャル理論による計算値との比較

って計算した抵抗増加の値、ならびに船に取り付けた検力計によって直接計測した抵抗増加の値、線形ポテンシャル理論による計算値などを示したものが図2である。図1の上段の波形から計算した抵抗増加の値は、検力計による直接計測による値や理論計算値とほぼ一致している。一方、船首付近で非線形影響により短波長成分が崩れて見えなくなった図1の下段の波形から計算した抵抗増加の値は随分小さい。このことから、船首付近で発生した波ならびにその振幅の推定が抵抗増加の計算に大変重要であることが伺える。

3. 海洋エネルギー利用に関する研究

当研究室の講座・領域名は、海洋システム工学講座・海洋空間開発工学領域であり、船の研究ばかりやっているわけではない。これまでも海上空港のような超大型浮体の波浪中弾性挙動に関する先駆的な流体力学的研究を行ってきたが、その関連では、現在、洋上風力発電のためのプラットフォームの設計研究や特別な浮体を用いた波浪エネルギーの吸収に関する研究を行っている。

波浪エネルギーの利用に関する研究は、約25年以上前には日本で先駆的に行われていたが、その後の社会・経済事情で研究は殆どストップしていた。欧州では、地球環境問題におけるCO₂削減の機運によって海洋エネルギーの利用研究が進められたが、日本では2年前の東日本大震災時の福島原発事故を

契機として、やっと再生可能エネルギーへの期待が高まってきた。それに関する幾つかのプロジェクトが行われているが、当研究室は、小職の古巣である九州大学応用力学研究所との共同研究で、洋上風力発電用プラットフォームに働く波力・動揺特性の理論計算を担当している。

また一方、図3に示すような、左右非対称浮体の内部に、回転することによって発電できる発電機を小円柱でモデル化した“内部回転振り子”を有する波浪エネルギー吸収装置の特性について独自に研究を行っている。波によって浮体は動揺し、それによって内部の小円柱は浮体内部の円筒面を滑ることなく転がる。それによって、波浪エネルギーが運動エネルギーになり、それが発電機のパワーとして利用される。図4は、内部小円柱の摩擦による減衰力係数(β)の値を変えた時の、規則波の無次元周波数(KR)に対する波浪エネルギー吸収効率を理論計算

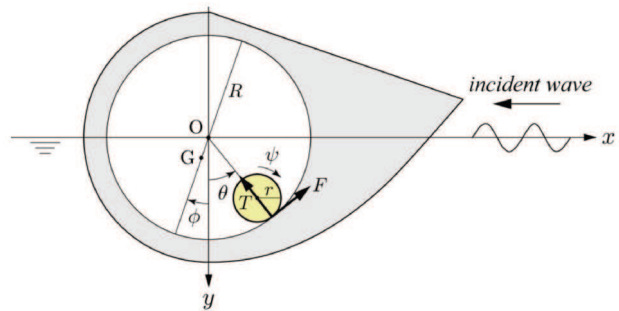


図3 内部回転振り子型波浪発電装置の模式図

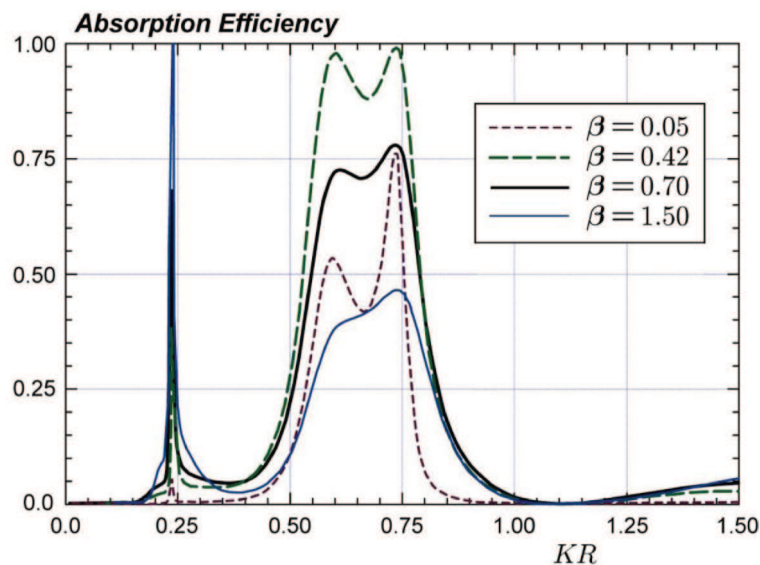


図4 内部回転振り子型波浪発電装置による波浪エネルギー吸収効率

した結果であり、この結果をどのように実用化していくのが今後の研究課題である。

4. 強非線形流体・構造連成解析法の研究

船舶海洋工学分野の研究は、これまで流体力学を主とするもの、構造力学を主とするものに分かれて行われてきたが、巨大津波や荒天下での強非線形波浪による浮体・沿岸構造物の損壊など、自然災害の予測や防災・減災対策を行うためには、大規模で高精度な流体・構造連成解析が必要である。

これまでに九州大学応用力学研究所の胡長洪准教授の助けを借りて、浮体の水面上構造物への大振幅波浪衝撃や船底が水面上に露出して再び水面へ突入する「スラミング」などの強非線形流れを研究するために、数値流体力学の手法を用いた独自の数値計算コード（CIP-based Cartesian Grid 法）の開発を行い、水槽実験によってその精度の検証を行うとともに、流体・構造連成問題への拡張を行ってきた。

この強非線形流体・構造連成解析に関する国際共同研究と若手研究者の育成をテーマとした事業計画が、日本学術振興会による平成24年度から3年間の「頭脳循環を加速する若手研究者戦略的海外派遣プログラム」の一つとして採択された。小職がこのプログラムにおける主担当研究者ではあるが、到底一人で実行できるものではない。関連する大阪大学、神戸大学、大阪府立大学の先生方と協力しながら、次世代の研究・教育を先導すべき若手研究者を、この分野で世界トップレベルの研究機関であるノルウェー NTNU (Norwegian University of Science &

Technology)、フランス ECN (Ecole Centrale de Nantes) へ派遣し、流体・構造連成問題に関する先端的国際共同研究を通じて、学術の発展、人材の育成を図ろうと努力している。この頭脳循環プログラムの紹介も、当研究室ならびに船舶海洋工学コースのホームページにリンクしているので、参照して頂ければ幸いです。

5. おわりに

当研究室では、伝統的に船舶の波浪中推進性能・運動性能、いわゆる耐航性能の研究を主として行ってきた。これまで国内外の研究グループを先導してきた。その一例として、船舶耐航性能に関する幾つかの解析ツールを統合することによって、実海域での「波浪中推進性能解析システム」の開発を行い、主要造船会社が外部からネットワーク経由で利用できるようにして、産学連携に貢献している。さらに、現在の研究領域名である「海洋空間開発工学領域」から想像できるように、海洋エネルギーや海洋空間の利用に関連して、海上空港などの超大型浮体式海洋構造物の性能に関する流体力学・弾性力学的研究も行ってきた。

小職は、九州大学応用力学研究所の教授から2008年4月に当研究室の担当教授として赴任し、基本的には研究室のこれまでの伝統を継承している。それに加えて、数値流体力学の手法を用いた強非線形流体・構造連成問題の研究、海洋における再生可能エネルギーの利用に関する研究などに取り組んでおり、これらをさらに発展させていく予定である。

