

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K14429

研究課題名（和文）多方向波群において破波を伴い発達する海洋巨大波の実態解明と新たな破波指標の確立

研究課題名（英文）Understanding the Mechanism of Freak Waves and Establishing a New Breaking Criterion in Multi-Directional Waves

研究代表者

金平 大河（Kanehira, Taiga）

京都大学・防災研究所・特定研究員

研究者番号：50880019

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：船舶が頻繁に往来する沖合は、海洋エネルギーの賦存量が多く経済活動に不可欠な場所である。経済活動のさらなる発展には、沖合の多方向波浪場における海洋巨大波の砕波指標確立や最大波力推定手法の確立が求められる。本研究では、2方向波群における破波現象の空間波形等を実験的に取得。多方向波浪場における海洋巨大波の数値モデルとの精度検証が可能となった。また、広領域の波浪場を解くポテンシャル計算モデルと、狭領域の非線形砕波現象を解く粒子法とのカップリングモデルを開発し、計算負荷を低減し3次元空間での最大波力推定が可能となった。一方で、多方向波浪場における双方向カップリングは今後の課題となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋エネルギーの賦存量が多く経済活動に不可欠な場所である沖合の経済的利用が難しいのは、多方向波浪場において出現する海洋巨大波の最大波力推定手法が未確立なためだ。本研究では多方向波群における破波現象の高密度情報を実験的に取得。これにより、従来の一方向波浪場のみならず、多方向波浪場における数値計算モデルとの精度検証が可能となった。さらに、計算負荷を低減した数値計算モデルを開発し、3次元空間における海洋巨大波の最大波力推定が可能となった。今後、開発した数値計算技術によって、多方向波浪場における海洋巨大波の物理諸量の詳細が明らかになり、沖合の経済活動域の拡大に繋がると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Offshore areas where ships frequently navigate are rich in ocean energy resources and are essential for economic activities. For the further development of economic activities, it is necessary to establish breaking wave criterion and methods for estimating maximum wave forces in offshore multi-directional wave fields.

In this study, we experimentally obtained spatial waveforms of freak waves in bi-directional wave groups, allowing for the validation of numerical models of freak waves in multi-directional wave fields. Additionally, we developed a coupling model combining a potential calculation model, which solves large-scale wave fields, and a particle method, which resolves non-linear breaking phenomena in smaller regions. This approach reduces computational costs and enables the estimation of maximum wave forces on three-dimensional structures. However, challenges remain in achieving bidirectional coupling in multi-directional wave fields, which will be addressed in future research.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：砕波 多方向波浪場 粒子法 数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

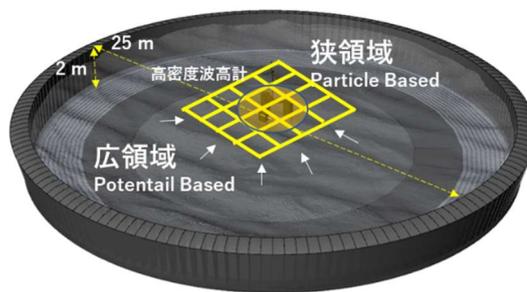
船舶が頻繁に往来する沖合は、沿岸域に比べ再生可能エネルギー賦存量の多い海域で、人類の欠かせない経済活動の場である。これら経済活動のさらなる発展には、最大の自然外力を与える海洋巨大波の実態解明が不可欠であるが、その突発性故、海洋巨大波に対する合理的な設計外力や指針は十分に確立されておらず、人命にかかわる海難事故は後を絶たない。また、しばしば多方向波群となる沖合で発生する巨大波の幾何学的情報・破波現象は、海洋巨大波の形成過程に密接な関係があり、破波指標など従来の沿岸域(1方向波群)において構築されてきた学術体系の適用は困難である。

2. 研究の目的

このような社会的・学術的背景の下、本課題では、粒子法を用いた円形型数値水槽を用い、(1)海洋巨大波の発達と破波現象の関連性解明、(2)鉛直方向破波が生じる各種波浪条件を明確化、(3)液滴飛散現象を含む破波現象に対し鉛直方向破波指標の確立を目的としている。鉛直方向破波時の流体物理量を実験的に取得するとともに、空間波形・破波時の流体加速度など、実験では取得困難な物理量を数値流体力学的に取得可能にする。

3. 研究の方法

本研究の実験では多方向波浪場を規定する各種パラメータを変化させ実海域に即した波浪条件の下、①海洋巨大波の発達と破波現象の因果関係、②鉛直方向破波発生条件を明らかにする。さらに、③鉛直方向破波に適用可能な破波指標構築を目指す。また、広領域と狭領域の波浪伝搬手法をカップリングし、時空間的に高解像度で波浪場の物理諸量を取得可能な数値モデルを開発する(図1参照)。先に実施した実験データとの制度検証、及び、巨大波の幾何学的空間情報(波長、波形勾配等)、時間分解能の高い物理諸量(流体加速度や波の進行速度など)により、海洋巨大波の碎波現象をより詳細に明らかにする。さらには、最大波力の推定を行う。以下に年度計画を記す。



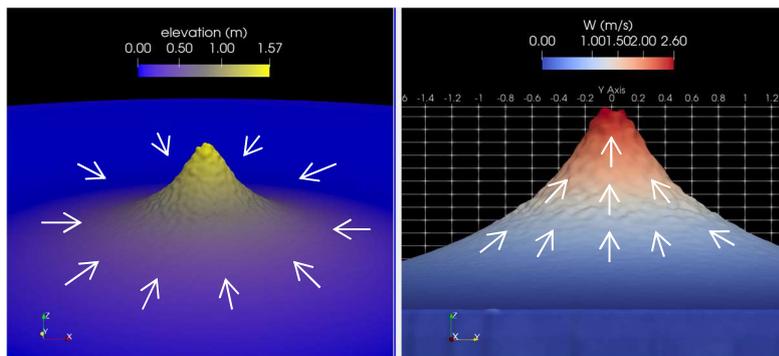
【図1】カップリング手法の概要

先に実施した実験データとの制度検証、及び、巨大波の幾何学的空間情報(波長、波形勾配等)、時間分解能の高い物理諸量(流体加速度や波の進行速度など)により、海洋巨大波の碎波現象をより詳細に明らかにする。さらには、最大波力の推定を行う。以下に年度計画を記す。

初年度	<ol style="list-style-type: none"> <li>鉛直方向破波の典型的な例(予備試験)でモデル検証, パラメータスタディを実施</li> <li>2.の結果に基づき, 自由界面捕獲精度の高精度化, 可変解像度粒子法の取り込み,</li> <li>英国Edinburgh大学所有円形型水槽にて本試験の実施</li> </ol>
次年度	<ol style="list-style-type: none"> <li>①②海洋巨大波の発達と破波現象の関連性・鉛直方向破波の発生条件を調査</li> <li>数値計算結果, 実験結果に基づき③鉛直方向破波の破波指標の構築</li> <li>結果の取りまとめ, SCI論文に発表</li> </ol>

4. 研究成果

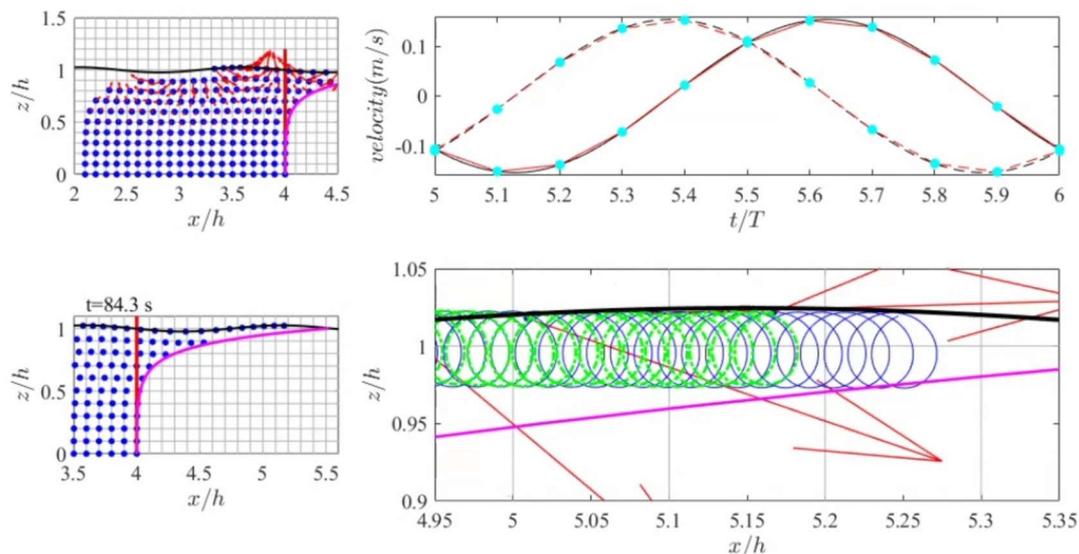
図2に示すのは、多方向波浪場において発生させた海洋巨大波の一種、Spike波(一発集中波)を、実験と同等の境界条件を用いて再現した結果である(左は波高分布、右は鉛直方向流速を示す)。実験では海洋巨大波構成波の数や波高、周波数を変化させ、Spike波の最大到達波高や波形勾配の変化を精査した。また、多方向波浪場の精度検証用データ(波高や流速)を取得した。



【図2】Spike波の自由表面形状(左)と鉛直方向流速分布(右)

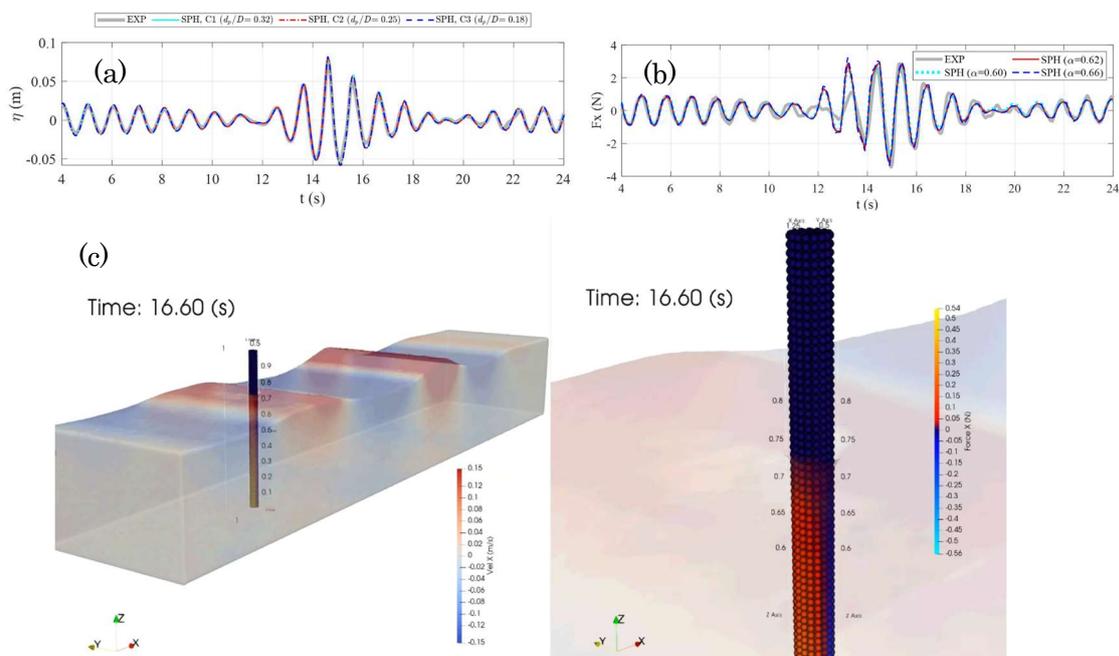
Spike波の実験データとの比較において、非線形性が強くなる条件では鉛直方向に局所的に発達

する自由表面形状の再現性低下が確認された。そこで、広領域の波浪場を解く Ocean Wave 3D と狭領域の波浪場を解く DualSPHysics のカップリングに取り組んだ。従来のカップリング手法 (InOut Open Boundary Condition) は主に沿岸域の浅海波を対象にした手法であったのに対し、境界粒子の鉛直方向の運動も記述可能とするカップリング手法を開発し、深海波にも適用範囲を拡張した。図 3 に非線形性の強い Stokes 波を造波した一例を示す。エネルギー保存性の高い高精度な時間発展手法を取り入れ界面捕獲精度を向上させている。約 80 周期後の境界粒子の分布 (流体) を示しているが、自由表面形状を捉えている、また、非線形性の強い波に生じる Stokes ドリフトの移動量も概ね良好な一致が確認される。



【図 3】境界粒子の空間分布とオービタルモーシヨンの軌跡

開発したカップリング手法を用いて、図 4 に示す 3 次元空間における円柱と海洋巨大波 (振幅の増大と減少を繰り返すブリーザー波列) の相互作用計算に適用した。波高時系列や水平方向波力 (Fx) の最大値において高精度に再現可能なことを確認した。一方で、当初予定していた双方向カップリング手法の確立と、鉛直方向砕波指標の確立は今後の課題となった。また、研究成果は国際論文として今後投稿予定である。



【図 4】Peregrine breather 波と円柱の流体構造連成作用計算の一例

(a)波高時系列, (b)水平方向波力時系列, (c)波浪場と円柱に作用する波力の分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kanehira, Taiga McAllister, Mark L. Draycott, Samuel Nakashima, Takuji Ingram, David M. van den Bremer, Ton S. Mutsuda, Hidemi	4. 巻 9
2. 論文標題 The effects of smoothing length on the onset of wave breaking in smoothed particle hydrodynamics (SPH) simulations of highly directionally spread waves	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computational Particle Mechanics	6. 最初と最後の頁 1031-1047
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s40571-022-00463-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Taiga Kanehira
2. 発表標題 Numerical modelling of extreme wave interactions with a vertical cylinder using a particle-based method
3. 学会等名 ICCE 2024 - 38th International Conference on Coastal Engineering (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Taiga Kanehira
2. 発表標題 Integrating DualSPHysics and OceanWave3D for predicting wave-induced forces on coastal structures
3. 学会等名 Taiwan-Japan-Korea Joint Workshop (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
英国	University of Edinburgh	University of Manchester	University of Oxford	