

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：15401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22396

研究課題名(和文) 実海域に即した海洋開発を可能とする粒子法CFDシミュレーターの開発

研究課題名(英文) Numerical Modelling of a Circular-Water-Basin for Multi-directional freak Waves Using a Particle Based Method

研究代表者

金平 大河 (KANEHIRA, Taiga)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教

研究者番号：50880019

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：沖合は、異なる波向き周波数スペクトルを持つ波群が同時に存在する多方向不規則波浪場となる。しかしながら、現行の設計指針は一方向波浪場を前提として構築されており、設計外力に多峰性は考慮されていない。そのため、多方向波浪場において沈没船などの人命の損失を伴う海難事故が多数発生している。本課題では、現行の単峰性を考慮した設計指針に加え、新たに多峰性を考慮した海洋構造物の設計を可能とすべく、多方向波浪場を再現可能な数値計算技術を開発し、海洋構造物の設計に必要な波の物理諸量を明らかにした。そして、既往の一方向波浪場において構築されてきた破波指標が多方向波浪場においては適用不可能なことを報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

沖合は、異なる波向き周波数スペクトルを持つ波群が同時に存在する多方向不規則波浪場となる。しかしながら、現行の設計指針は一方向波浪場を前提として構築されており、設計外力に多峰性は考慮されていない。そのため、多方向波浪場において沈没船などの人命の損失を伴う海難事故が多数発生している。本課題では、現行の単峰性を考慮した設計指針に加え、新たに多峰性を考慮した海洋構造物の設計を可能とすべく、多方向波浪場を再現可能な数値計算技術を開発し、海洋構造物の設計に必要な波の物理諸量を明らかにした。そして、既往の一方向波浪場において構築されてきた破波指標が多方向波浪場においては適用不可能なことを報告した。

研究成果の概要(英文)：Directionality of ocean waves is important for accurate evaluation of durability and electric performance of offshore structures such as vessels and ocean energy harvesters. However, it is difficult to reproduce multi-directional wave fields with wave breaking using existing numerical tool. In this study we developed a novel multi-directional wave basin numerical model which can reproduce multi-directional seas. We reproduced numerically a famous freak wave, the Draupner wave, and quantitatively compared wave breaking phenomena with experimentally observed one. The numerical results are good agreement with experimental results. The breaking phenomena such as maximum wave height, wave amplitude, water elevations are well reproduced in the model. The numerical model developed in this study can applied to breaking simulations or FSI problems in multi-directional seas to provide further insight into the breaking mechanisms of freak waves, and to evaluate durability of offshore structures.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：粒子法 SPH法 数値シミュレーション FSI 海洋巨大波

### 1. 研究開始当初の背景

近年、国内外問わず、実海域に海洋エネルギー発電装置を設置するプロジェクトが活発化しており、特に近年の動向として、その設置海域がエネルギー賦存量の多い沖合に変化してきている。しかしながら、現行の設計指針は一方向波群(単峰性)を前提として構築されており、波の多峰性は考慮されていない。そのため、波浪条件として一方向規則波のみならず、多方向不規則波も発電性能評価において考慮する必要がある。多方向非線形波浪場が、海洋構造物に与える影響を適切に評価・予測する手法の確立と理論体系的構築が急務の課題と言える。

本研究は、実海域の多方向波浪場と海洋構造物の相互作用下における、流体力と運動性能評価を可能とすることを目的に、(1) 多方向波浪場を造波・吸収可能とする、粒子法を用いた CFD シミュレーション技術の開発・改良と、(2) 多方向波浪場における海洋構造物の 6 自由度運動データ等を取得するための実験を実施する。本研究で得られた成果により、実海域に即した海洋発電装置の設計開発が数値流体力学的観点からも可能となるだけでなく、実海域において出現する海洋巨大波の実態解明(砕波メカニズム等)や、海洋巨大波が船舶に与える影響の解明など、海洋工学、海洋物理学、船舶工学等、様々な分野への適用が期待される。

### 2. 研究の目的

本課題の研究目的は、(1) 実海域の多方向波浪場と海洋構造物の相互作用下における、流体力と運動性能評価を数値流体力学的手法により可能にし、(2) 実海域を想定した海洋開発プロセスにおいて、設計指針にフィードバック可能な流体力学的知見を得ることである。多分割式造波板を用いた多方向不規則波浪場の CFD 計算技法の開発・改良を行い、最大自然外力を与える海洋巨大波の再現と、係留索を有する浮体 6DoF 運動計算を比較検証する。

### 3. 研究の方法

実海域の多方向波浪場における、流体力と運動性能評価を可能とし、設計指針にフィードバック可能な数値流体力学的知見を得ることを目的に、多方向波浪場を再現する数値計算技術の開発・改良、多方向波浪場において出現する海洋巨大波の再現シミュレーション、そして、浮体構造物の応答に支配的な海洋巨大波の流体力学諸量を明らかにする。さらに、一方向及び多方向波浪場中の浮体構造連成作用計算(FSI)を実施し FSI の精度検証を行う。

本課題で使用する数値モデルは円形型をしており、その周囲には多数(168枚)の多分割式造波板が設置されている。この各々の造波板に回転角の時系列データを与えることで、各種多方向波浪場の造波と吸収を可能とする。多方向波浪場は周波数スペクトルと方向関数により定義され、本課題では、周波数スペクトルとして JONSWAP 型スペクトル、方向関数として  $\cos^2\theta$  型スペクトルを用いた。また、多方向不規則波浪場は深海領域での伝播現象であり、波の分散性・非線形性、及び、破波を伴う波と構造物の相互作用計算を取り扱う必要がある。そこで、粒子法(SPH法)を用いて Navier-Stokes 方程式(NSE)を Full-3D 空間で解く手法を採用する。開発した数値モデルを用いて、2 方向波浪場において出現する海洋巨大波の再現シミュレーション、及び、各種波浪場において浮体構造連成作用計算(FSI)を実施する。最大自然外力を与える海洋巨大波の幾何学形状や運動学的情報を明らかにし、FSI 計算の精度検証を行う。

### 4. 研究成果

以下の通り、研究課題に対する成果の概要を示す。

#### 多方向波浪場を再現する数値計算技術の開発・改良

周波数スペクトルと方向関数によって定義される多方向波浪場を数値的に再現する境界条件(多分割式造波板の回転角時系列データ)をプログラム化した。これにより、下図の中央で示される多方向不規則波浪場を再現可能となった。

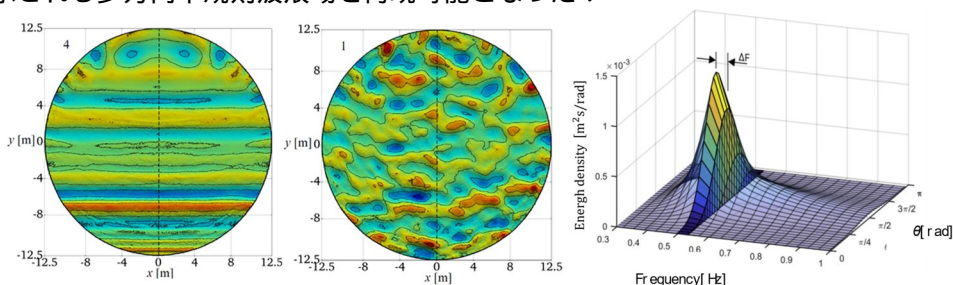


図1 円形型水槽に造波された一方向不規則波浪場(左)と多方向不規則波浪場(中央)。多方向不規則波浪場は、方向スペクトルによって定義される(右)。

## 多方向波浪場において出現する海洋巨大波の再現シミュレーション

次いで、開発した数値モデルを用いて2方向波群において出現する海洋巨大波(Draupner波)の数値シミュレーションを実施した。図2は各々の波浪場において観測された破波現象の比較である。一方向波浪場においては巻波破波が数値モデルにおいても再現されている。一方、多方向波浪場においては、詳細なスプラッシュ形状まで再現するには至らなかった。しかしながら、水位変動や波の物理諸量(波形勾配, 最大波高等)が定量的に一致することを確認し、開発した数値モデルの精度検証を行った。

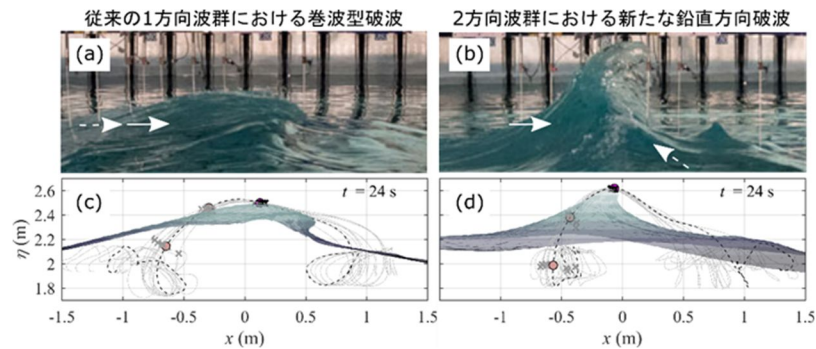


図2 (a,b) 英国 Oxford 大学らの実験的研究による海洋巨大波と破波の様子。(c,d) 1方向/2方向波群における海洋巨大波の数値計算結果。波の発達の様子・空間分布が違ってくる。

## 船体構造物の応答に支配的な海洋巨大波の流体力学諸量の把握

沖合で発生する海洋巨大波により、沈没船などの海難事故は後を絶たない。特に、船舶に働く最大サギングモーメントは、巨大波の前後波高比に依存することが知られており、波の幾何学的情報の把握は重要である。本課題では、②において再現した海洋巨大波の空間波形(図3ab)や波の進行方向や波速を調査し、一方向波浪場において構築されてきた既存の破波指標の適用が困難であることを報告した。

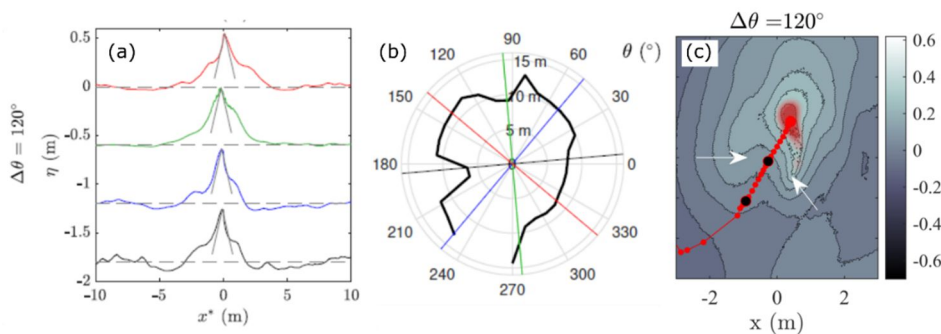
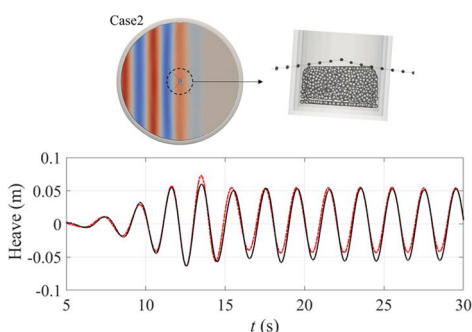


図3 (a,b) 2方向波群における海洋巨大波の空間分布。(b)中の黒太線は波長を表す。波形が空間的に非一様であることが分かる。(c) 2方向波群において発達する波頂の空間移動の様子。

## 規則波中の浮体構造連成作用計算 (FSI)



さらに、本数値モデルを規則波中で動揺する円柱浮体の FSI シミュレーションに適用し、浮体運動に対して精度検証を行った。図4に示すのは、Heave 運動の時系列比較であるが、実験値と良好の一致を示すことを確認した。今後は多方向波浪場においても、運動成分や作用流体力の精度検証を実施する必要がある。

図4 規則波中の FSI シミュレーションの様子(上)と浮体運動の時系列比較(下) 黒線は実験データ、赤線は数値計算結果を示す。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 T. Kanehira, M.L. McAllister, S. Draycott, T. Nakashima, N. Taniguchi, D.M. Ingram, T.S. van den Bremer, H. Mutsuda	4. 巻 164
2. 論文標題 Highly directionally spread, overturning breaking waves modelled with Smoothed Particle Hydrodynamics: A case study involving the Draupner wave	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ocean Modelling	6. 最初と最後の頁 101822
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ocemod.2021.101822	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

1. 著者名 T. Kanehira, M.L. McAllister, S. Draycott, T. Nakashima, D.M. Ingram, T.S. van den Bremer, H. Mutsuda	4. 巻 -
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 -
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

1. 著者名 Taiga Kanehira, Hidemi Mutsuda, Samuel Draycott, Naokazu Taniguchi, Takuji Nakashima, Yasuaki Doi, David Ingram	4. 巻 209
2. 論文標題 Numerical re-creation of multi-directional waves in a circular basin using a particle based method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 107446
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.oceaneng.2020.107446	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3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Taiga Kanehira
2. 発表標題 NUMERICAL RECREATION OF THE DRAUPNER WAVE IN CROSSING WAVE SYSTEMS USING SMOOTHED PARTICLE HYDRODYNAMICS
3. 学会等名 39th International Conference on OMAE（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taiga Kanehira
2. 発表標題 Simulations of directionally spread and crossing breaking waves in intermediate water depth using DualSPHysics
3. 学会等名 5th DualSPHysics Workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taiga Kanehira
2. 発表標題 Constructive and destructive interference locations of waves in a circular wave basin-study of velocity component perpendicular to wave direction-
3. 学会等名 The 31st International Ocean and Polar Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2021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