
(マンチェスター大学 (イギリス)) 研修報告書 (Experimental and numerical study of wave breaking.)

先進理工系科学研究科 輸送・環境システムプログラム 中田翔悟

1. はじめに

2024 年 9 月 16 日から同年 10 月 18 日の間、イギリスのマンチェスター大学にて共同研究を行った。
その報告を以下にする。

2. 研修/共同研究課題の決定

本研究室は、浮体式波浪エネルギー発電施設などの海洋構造物に関する研究を行っており、様々な海況下での実験を行っている。

昨年は、浮体式波浪エネルギー発電施設を対象としてマンチェスター大学で共同研究を行った。

今年は、このような海洋構造物の動的解析において、より様々な海象条件での数値的研究を可能にすべく、共同研究を決定した。

そのため本研究では、砕波に関する実験的および数値的研究を行うこととした。具体的には、平滑化粒子流体力学 (SPH) を用いて砕波をモデル化し、可変解像度を用いて非常に局所的な砕波の発生と消滅を捉えることに焦点を当てる。

3. 研修/共同研究スケジュール

本共同研究は実験、数値解析モデルの作成、実験値と計算値の比較の3つに分けられる。

1 週目は、実験施設の安全講習や実験装置の寸法計測、ミーティングを行った。

2 週目は、数値解析プログラム、数値解析モデルの作成を行った。

3 週目は、マンチェスター大学の2次元水槽を用いて実験を行った。

4 週目～5 週目は、実験データの解析と、再度実験も行った。

4. 研修先/共同研究派遣先の概要

9 月 15 日 出国

9 月 16 日 ～ 10 月 18 日 マンチェスター大学 (解析, 実験, ミーティング, プレゼンテーション)

10 月 19 日 帰国

共同研究大学名: The University of Manchester

共同研究大学所在地: Oxford Rd Manchester, M13 9PL, UK

指導教員: Prof. Peter Stansby, Dr. Samuel Draycott

5. 研修/共同研究の内容

5. 1 概要

本共同研究では、砕波に関する実験的および数値的研究を行った。具体的には、平滑化粒子流体力学 (SPH) を用いて砕波をモデル化し、可変解像度を用いて非常に局所的な砕波の発生と消滅を捉えることに焦点を当てる。これは、マンチェスター大学で私が行った新しい実験を用いて検証され、その後、砕波が極めて局所的で、現在のアプローチが適さない (可変解像度が必要) 定在波砕波問題に拡張される。

5. 2 砕波を研究する社会的意義

- ① 防災など
砕波は津波や高潮、暴風雨時の波浪に関する重要な要素であり、砕波のメカニズムを理解することで、沿岸地域や港湾地域での防災対策に役立つ。
- ② 沿岸環境保全
砕波は、沿岸地域の地形変化や生態系に影響を与えるため。
- ③ エネルギー利用
波のエネルギーは再生可能エネルギーの一種として注目されているため、砕波に含まれるエネルギーを効率的に取り出す技術開発が重要。
- ④ 気候変動と海洋の影響評価
気候変動に伴う海面上昇や異常気象の増加により、砕波の発生状況も変化すると考えられているため。

5. 3 共同研究の内容

先述の通り本共同研究では、砕波に関する実験的および数値的研究を行った。具体的には、波の砕波現象によるエネルギーの散逸を実験と数値解析の両方からアプローチをし、評価をする。

(1) 実験によるアプローチ

マンチェスター大学所有の 2 次元水槽を用いて砕波を再現し、7つの波高計で砕波前後の波高を測定する。測定した波高データからエネルギーを計算し、砕波現象による波エネルギーの散逸を評価する。Fig. 1~2 に 2 次元水槽を示す。



Fig. 1 2次元水槽と波高計



Fig. 2 造波機

2次元水槽の全長は 15.5m、幅 0.3m、水深 0.4m である。また、造波機はパドル式である。造波条件の入力は外部 PC から行い、波周期、波高、造波位置などを入力する。波高計は計 7 つで、サンプリング周波数は 100Hz である。

実験は全 9 パターン行った。波周期 $T_p=0.7, 0.9, 1.1$ s の 3 パターンに対して、各波周期で砕波の規模が中中小となるような波高を設定した。

以下に、実験結果の 1 例を示す。

Fig. 3 は、各波高計の実験結果である。各波高計で計測された波群の最大波高を基準に ± 16 秒を抜きだしてグラフ化したものである。この際に、DC 成分の除去や Fig4 に示すような窓関数を適用した。これにより反射波や自由波を取り除き、エネルギー計算に影響がでないようにしている。

本共同研究では、実験を各3回行った。Fig. 3は9パターンあるうちの1パターンの結果であり、これまでにを行った3回の実験を重ねて表示している。この実験結果から、再現性が高いことが分かる。

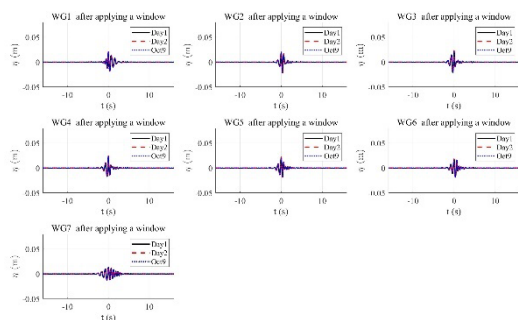


Fig. 3 実験結果

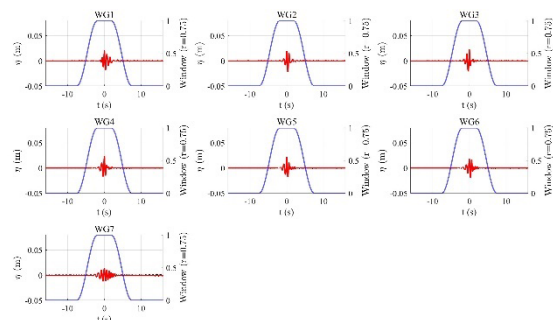


Fig. 4 実験結果の処理

次に、FFTを適用した結果とエネルギー計算の結果を示す。

本共同研究では、エネルギー計算を2つの計算方法でアプローチをした。

以下にその式を示す。

$$E = \rho g \times \text{mean}(\eta^2)$$

$$E = \rho g \times \int S(f) df$$

ρ : 密度 g : 重力加速度 η : 振幅 $S(f)$: 波スペクトル

1
2

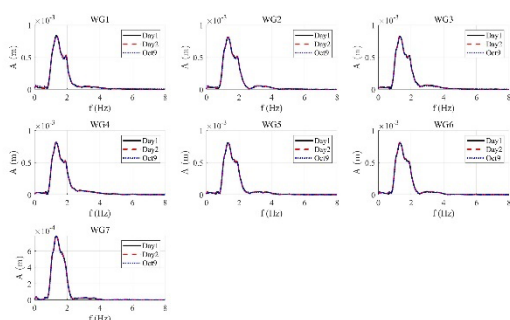


Fig. 5 FFT処理

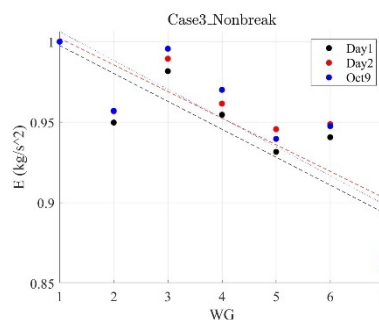


Fig. 6 波エネルギー

Fig. 5からも分かるように、再現性が取れていることが分かる。

本共同研究では、FFTを適用する際に、0~8Hz以外の周波数(高周波数帯)は除去した。

Fig. 6がエネルギー計算の結果である。理論的には、波の進行が進むにつれてエネルギーは減少していくが、この実験パターンではそうでないことが見て取れる。原因の1つとして挙げられるのは、砕波が起きた際の正確な波高を波高計が捉えられていない可能性がある。

また、他の実験パターンでもエネルギー計算で理論と一致しないところが見受けられるため、今後数値計算と比較することでその原因を調べる必要がある。

(2) 数値解析によるアプローチ

マンチェスター大学所有の 2 次元水槽をモデル化し、実験と同一条件下における砕波を再現する。この結果と実験データを比較し、数値解析モデルの精度を評価する。

本研究では、Smoothed particle Hydrodynamics (SPH) を用いて数値計算を行った。また、物体と流体の境界における計算精度を向上させるために modified Dynamic Boundary Conditions (mDBC) を使用した。

以下に作成した 2 次元水槽をモデルと概略図を示す。

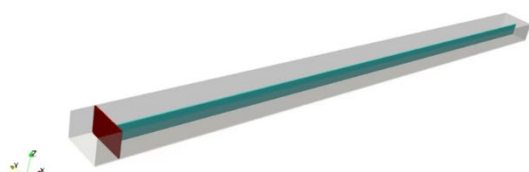


Fig. 7 2次元水槽のモデル化

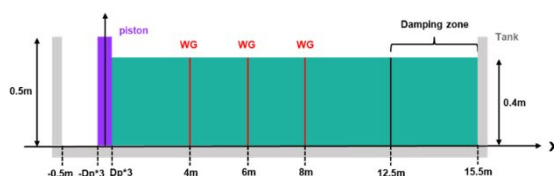


Fig. 8 モデル概略図

Fig. 7 からわかるように、流体が線になっているが今回は 2 次元での解析のためである。

造波方法としては、実験の際に取得した造波機の時系列データを入力データとして使用し行う。これにより、実験と同じ造波条件で数値計算を行うことができる。

Fig. 8 は、モデルの概要図である。Dp は粒子数を意味する。WG は波高計を意味し、数値計算を行う際は実験と同じく 7 つの波高計を実験と同じ位置に設けている。

現在のところ、数値計算は結果取得までは行っていない。今後、実験と同じ条件下で数値計算を行い、実験結果と比較する予定である。

5. 4 今後の方針

- ・実験結果と数値計算結果の比較を行う。
- ・砕波現象をより効率的に捉えるために可変解像度を用いる。
- ・3 次元での砕波現象を評価する。

6. まとめ

約 1 ヶ月という短い期間ではあったが、非常に多くのことを体験することができた。

世界的にも有名な研究大学であり、SPH 法を用いた最先端の研究を行っているマンチェスター大学での研究は、日本では味わえない多くの学びがあった。

また、1 か月英語のみの環境に身を置いたことで現時点での英語力と今後の課題を再認識することができた。指導教員の方とのミーティングでは、専門用語の理解に苦労する場面も多々あったが、分かるまで聞き返すことの大切さや、不完全な英語であっても積極的に伝えることの大切さを学んだ。そして、この経験を研究活動や今後の人生に活かしていきたいと考える。しかし、より円滑で内容の濃い活動を行うために、今後も英語力の向上を目指し学習を続けていこうと思う。

7. 謝辞

本研究において終始多大なるご指導を賜りましたマンチェスター大学の Samuel Draycott 先生をはじめとした受け入れ教員の方々、研究室の学生の皆様にお礼申し上げます。

また、このような貴重な機会を設けてくださった陸田教授に厚く御礼申し上げます。更に、本プログラムに際し支援いただきました諸先生方、学生支援室担当者の皆様に深く御礼申し上げます。