

## 圧力センサを用いた漂流物に作用する波力の測定\*

秋田大学工学部 石塚 大智  
 秋田大学大学院理工学研究科 齋藤 憲寿  
 秋田大学大学院理工学研究科 渡辺 一也

### 1. はじめに

2011年の東日本大震災により、従来の想定をはるかに超える規模の津波を受け、建築物や自動車、船舶などが流され、大量の漂流物の発生につながり、壊滅的な被害を受けた<sup>1)</sup>。津波発生時において、浮体式津波避難シェルターなどの漂流物を用いた避難方法が有効である<sup>2) 3)</sup>ことが示されており、既往の研究<sup>4) 5) 6)</sup>では建物上に設置したシェルター模型の挙動や波力について検討が行われている。しかし、これらの検討においては、シェルター模型を固定した状態で波力を測定していたため、実際の津波に対する挙動とは大きく異なっていると考えられる。

そこで本研究は、漂流物模型に圧力センサを取り付け、漂流状態における波力を測定することを目的としており、まず圧力センサの設定値について検討し、その後、漂流物模型を用いて津波の衝突実験を行った。

### 2. 実験概要

#### (1) 実験装置

実験には幅 0.30 m、高さ 0.50 m、全長 11.0 m のうち海側の貯水槽が 5.0 m、陸側に斜面勾配 1/26 の斜面がある鋼製矩形水路を使用した<sup>5)</sup>。波高の測定は超音波式水位計を用い、圧力センサの先端から 8 cm 前方に設置した。本研究では、津波の第一波目を対象とした実験では、浸水深  $h_s$  を 0 cm、陸側の水深を 6.7 cm とし、ゲートを急開することにより模擬段波を再現した。また、津波の第二波目以降を対象とした実験では、浸水深  $h_s$  を予め 7.5 cm と 15.0 cm に設定した後、ゲートを急開することで再現した。実験水路の概略と測定機器の配置を図-1 に示す。

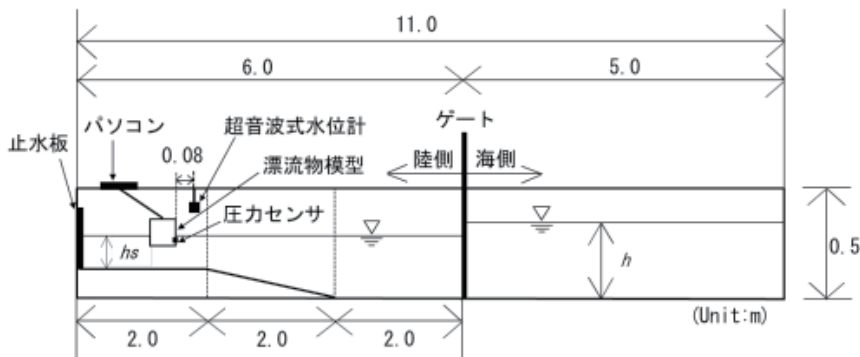


図-1 実験装置概要

\*Measurement of wave force acting on drifting objects using a pressure sensor by Daichi ISHIZUKA, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

## (2) オーバーサンプリング比 (OSR) の検討

圧力センサは Measurement Specialties 製の MS5837-02BA を使用した。なお、オーバーサンプリング比 (以下 OSR と称する) により計測間隔や精度が異なるため、貯水深  $h$  を 20 cm 一定として波力の測定に最適な OSR 値を求めた。この実験では、圧力センサを水路底面から 2 cm の高さに固定し実験を行った。OSR 値と計測間隔の関係及び実験条件を表-1 に示す。

表-1 実験条件 (OSR の検討)

OSR	計測間隔 (cm)	浸水深 $h_s$ (cm)	貯水深 $h$ (cm)
8192	0.07	0	20
2048	0.05	0	20
1024	0.04	0	20

## (3) 漂流物模型を用いた津波の衝突実験

衝突実験は第一波目及び第二波目以降を対象として行った。漂流物模型は津波避難シェルター「safe+」を参考に、一般的な漂流物を表すものとして 3D プリンターで作られた直方体の浮体を採用した。模型は幅 29.0 cm、高さ 15.0 cm、長さ 15.0 cm、質量 1,000 g であり、模型内部には錘を 1,051 g 入れた。また、模型の喫水は模型底面から 5 cm であり、圧力センサは模型底面から 2.5 cm の高さに設置した。漂流物模型を図-2、圧力センサの正面図を図-3 に示す。実験条件を表-2 に示す。なお、津波の様子と模型の挙動を観察するため、水路側面からビデオ撮影を行った。

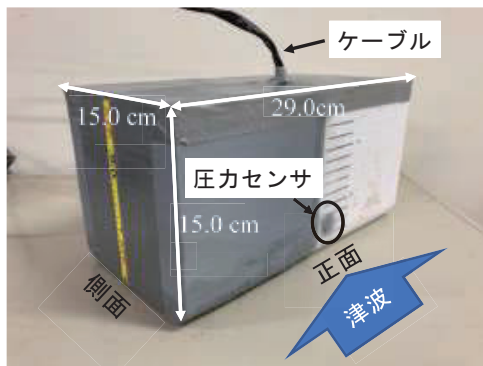


図-2 漂流物模型

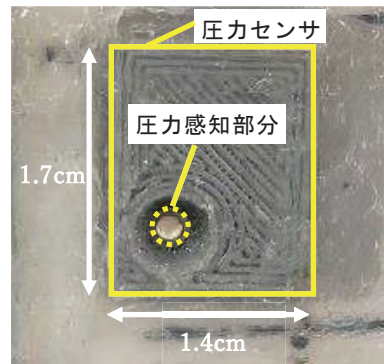


図-3 圧力センサ正面図

表-2 実験条件 (衝突実験)

	浸水深 $h_s$ (cm)	貯水深 $h$ (cm)
第一波目想定	0	20, 25, 30
第二波目以降想定	7.5, 15	30, 35, 40

### 3. 実験結果

#### (1) OSR の検討結果

OSR 毎の波力の経時変化を図-4 に示す。OSR : 8192 の波形を見ると、津波が圧力センサに衝突すると波力は急上昇し、その後緩やかに低下している。さらに OSR : 2048 及び 1024 の波形と比較すると、波形及び最大波力は概ね一致しており、全ての OSR において、波力の測定が可能であると考えられる。そこで計測間隔及び精度を考慮し、本研究では OSR : 2048 を採用することとした。

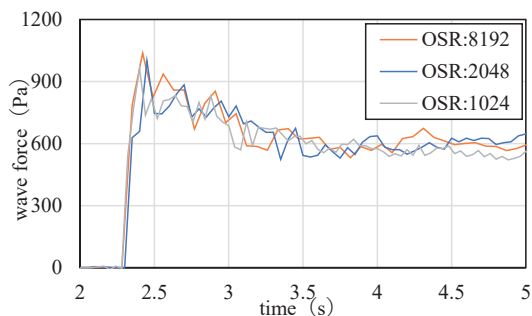


図-4 各 OSR の波力の経時変化

#### (2) 漂流物模型を用いた津波の衝突実験結果

##### a) 浸水深 $h_s=0$ cm の場合

第一波目を対象とした浸水深  $h_s=0$  cm において、貯水深  $h=20$  cm, 25 cm 及び 30 cm とした場合の波高の経時変化を図-5、波力の経時変化を図-6 に示す。また、 $h=30$  cm における漂流物模型の挙動を図-7 に示す。

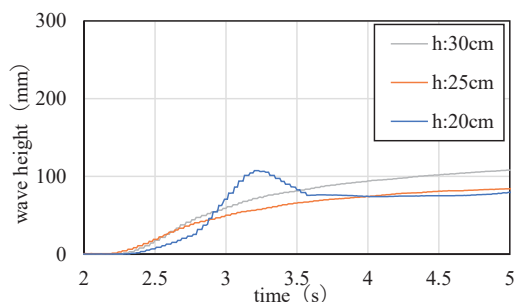


図-5 波高の経時変化（浸水深  $h_s=0$  cm）

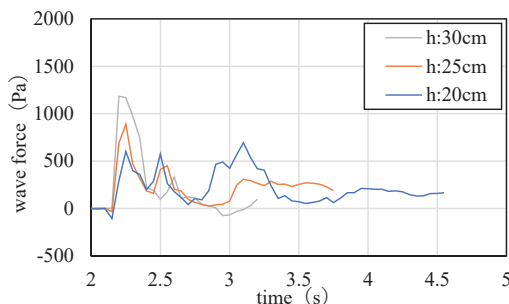


図-6 波力の経時変化（浸水深  $h_s=0$  cm）

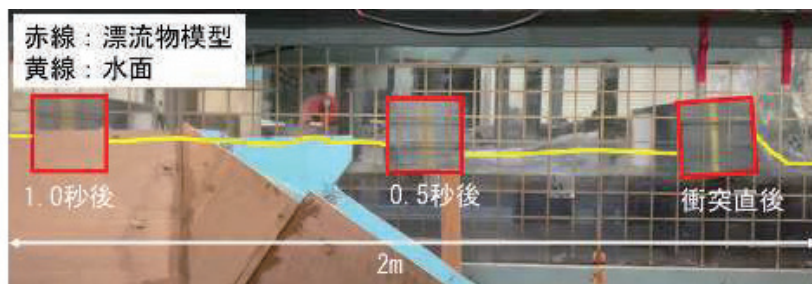


図-7 漂流物模型の挙動変化（浸水深  $h_s=0$  cm）

まず、波高を見ると、 $h=20\text{ cm}$  は津波の跳ね返りの影響により衝突直後から約 0.7 秒後、一時的に高くなっていたが、 $h=25$  及び  $30\text{ cm}$  は緩やかに上昇していた。次に波力を見ると、 $h=20\text{ cm}$  は波力のピークが複数測定されたが、 $h=25$  及び  $30\text{ cm}$  は津波衝突直後を波力のピークとして測定され、貯水深が大きくなるほど波力のピーク値は増加傾向であった。そして挙動を見ると、全ての貯水深において、模型は津波の衝突直後にやや傾いていたが、その後は垂直のまま水路下端へ移動していた。また、模型が津波衝突直後から水路下端へ移動するまでの時間を比較すると、 $h=20\text{ cm}$  は 2.7 秒、 $h=25\text{ cm}$  は 1.7 秒、 $h=30\text{ cm}$  は 1.3 秒であり、貯水深が大きくなるほど模型の速度は上昇する傾向であった。

b) 浸水深  $h_s=7.5\text{ cm}$  の場合

第二波目を対象とした浸水深  $h_s=7.5\text{ cm}$  において、貯水深  $h=30\text{ cm}$ 、 $35\text{ cm}$  及び  $40\text{ cm}$  とした場合の波高の経時変化を図-8、波力の経時変化を図-9 に示す。また、 $h=30\text{ cm}$  における漂流物模型の挙動を図-10 に示す。

まず波高を見ると、全ての貯水深において、津波衝突直後から緩やかに上昇した後、一定となった。次に波力を見ると、全ての貯水深において波力のピークがプラス側とマイナス側で交互に測定された。波力がマイナスである理由として、模型が移動する際に前後へ傾いたことで圧力センサの位置が波高よりも高くなったことが要因と考えられる。そして挙動を見ると、 $h=30$  及び  $35\text{ cm}$  では、津波衝突時に波によって強く押し出された後、前後に傾きながら減

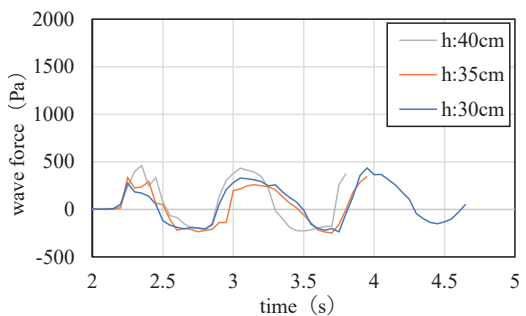
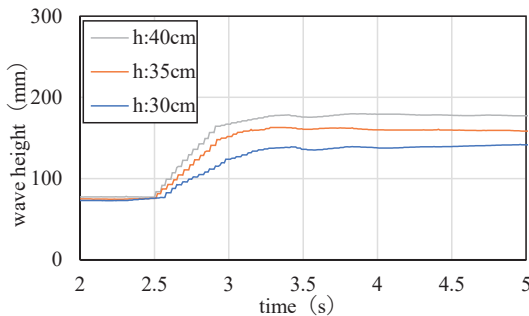


図-8 波高の経時変化（浸水深  $h_s=7.5\text{ cm}$ ）

図-9 波力の経時変化（浸水深  $h_s=7.5\text{ cm}$ ）

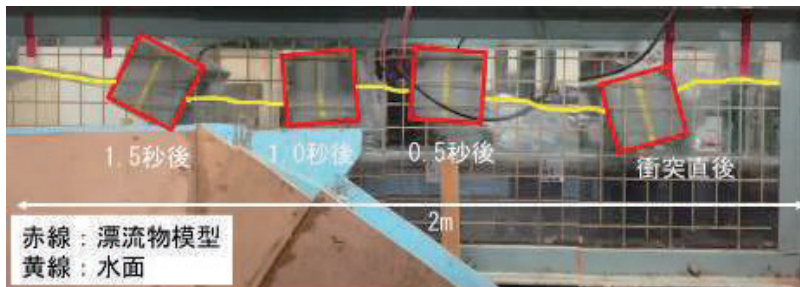


図-10 漂流物模型の挙動変化（浸水深  $h_s=7.5\text{ cm}$ ）

速し、水路下端へ移動した。一方、 $h=40$  cm は減速することなく、前後に大きく傾きながら水路下端へ移動した。模型が津波衝突直後から水路下端へ移動するまでの時間を比較すると、 $h=30$  cm は 2.4 秒、 $h=35$  cm は 1.8 秒、 $h=40$  cm は 1.5 秒であり、浸水深  $h_s=0$  cm 同様、貯水深が大きくなるほど模型の速度は上昇する傾向であった。

### c) 浸水深 $h_s=15$ cm の場合

第二波目を対象とした浸水深  $h_s=15$  cm において、貯水深  $h=30$  cm、35 cm 及び 40 cm とした場合の波高の経時変化を図-11、波力の経時変化を図-12 に示す。また、 $h=30$  cm における漂流物模型の挙動を図-13 に示す。

まず波高を見ると、全ての貯水深において、津波衝突直後から緩やかに上昇した後、波高は上下していた。次に波力を見ると、図-9 および 12 より全ての貯水深において、浸水深  $h_s=7.5$  cm と同様の波形になったが、最大波力を比較すると、 $h_s=7.5$  cm に比べて 2~3 割程度減少していた。これは、浸水深と貯水深の差が原因であると考えられる。そして挙動を見ると、 $h=30$  および 35 cm では、模型は津波衝突直後から 1 m (水路下端まで約半分の距離) まで前後に傾きながら移動して停止した。 $h=40$  cm は、津波衝突時に波によって強く押し出された後、前後に傾きながら減速し、水路下端へ移動した。また、模型が津波衝突直後から 1 m 移動するまでの時間を比較すると、 $h=30$  cm は 3.0 秒、 $h=35$  cm は 2.8 秒、 $h=40$  cm は水路下端へ移動するまでに 2.3 秒であり、浸水深  $h_s=7.5$  cm と同様、貯水深が大きくなるほど模型の速度は上昇する傾向であった。

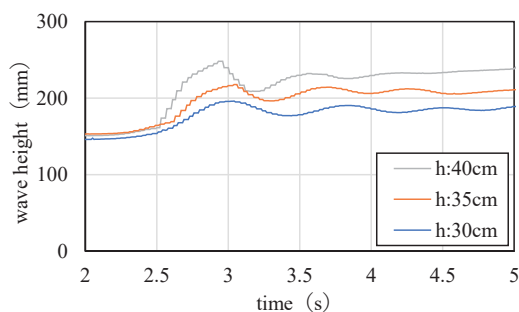


図-11 波高の経時変化 (浸水深  $h_s=15$  cm)

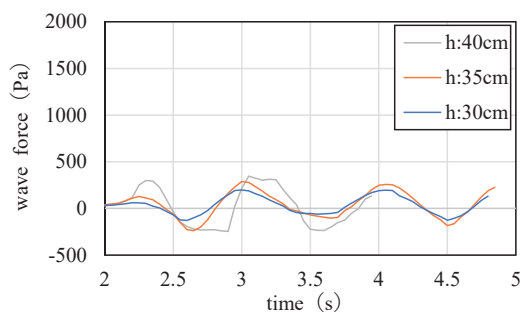


図-12 波力の経時変化 (浸水深  $h_s=15$  cm)



図-13 漂流物模型の挙動変化 (浸水深  $h_s=15$  cm)

浸水深の違いを見ると、図-6、9 および 12 より、貯水深の大きさに関係なく、第一波目を想定した浸水深  $h_s=0$  cm は、第二波目以降を想定した浸水深  $h_s=7.5$  及び 15 cm よりも津波衝突直後の波力が大きくなった。挙動については、浸水深と貯水深の差が大きくなるほど、模型が津波衝突直後から水路下端へ移動するまでの時間は短くなる傾向であった。

### (3) 圧力センサを固定した時との比較

漂流時における漂流物模型の波力と、圧力センサが固定された状態における波力を比較し検討した。浸水深  $h_s=0$  cm、貯水深  $h=30$  cm で波力を測定した時の固定状態と漂流状態の測定結果をそれぞれ図-14 に示す。

固定状態では津波衝突直後に最大波力を測定した後、緩やかに低下するが、漂流状態では津波衝突直後に最大波力を測定し、その後急激に波力が低下した。また、最大波力を比較すると、固定状態は漂流状態の約 1.6 倍であり、 $h_s=7.5$  及び 15 cm においては約 3 倍となった。実験から、固定状態は漂流状態に比べ波力を過大に評価していた。

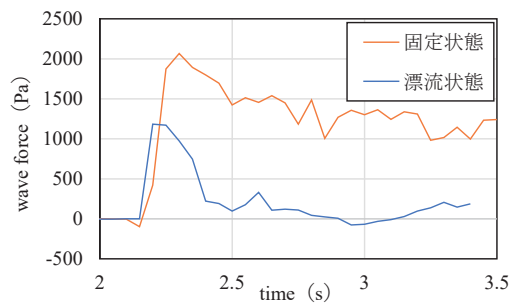


図-14 漂流状態と固定状態の波力比較

## 4. おわりに

本研究により以下のことが明らかとなった。

- ・浸水深と貯水深の差により波力は大きく変化した。
- ・漂流物模型の挙動は浸水深により異なっていた。
- ・固定状態で波力を測定した場合、漂流状態よりも過大に波力を評価していた。

## 参考文献

- 1) 内閣府・東日本大震災による洋上漂流物 Q&A  
 〈[https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/hyouryuu/q\\_and\\_a.html](https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/hyouryuu/q_and_a.html)〉 (2021-1-12 アクセス)
- 2) 重松孝昌, 明知顕三, 小池敏也: 浮体式津波避難シェルターに関する基礎的実験, 海洋開発論文集, 第 24 巻, pp. 105-110, 2008.
- 3) 重松孝昌, 中東大輔: 二重式浮体式津波避難シェルターの運動特性に関する実験的研究, 土木学会論文集, B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. 1\_751-1\_755, 2011.
- 4) 藤井龍也, 渡辺一也: 第二波目以降が最大津波となる場合の津波避難シェルターの挙動に関する検討, 土木学会論文集, B3 (海洋開発), Vol. 73, No. 2, pp. 1\_210-1\_215, 2017.
- 5) 蒔苗純, 齋藤憲寿, 渡辺一也: ロードセルを用いた浮体式津波避難シェルターの波力に関する検討, 東北地域災害科学研究, 第 55 巻, No. 56, pp. 101-106, 2020.
- 6) 渡辺一也, 齋藤憲寿, 蒔苗純, 國井優太: 浸水深を考慮した津波作用時における浮体式シェルターの運動特性と波力に関する検討, 海洋開発論文集, vol. 36, No. 2, p. 1\_1079-1\_1084, 2020.
- 7) タジマの浮揚式津波洪水対策用シェルター-SAFE+ (セーフプラス)  
 〈<https://www.tajima-motor.com/>〉 (2020-12-12 アクセス)