

加速度センサを用いた漂流物の挙動に関する実験*

秋田大学理工学部 望月良純
 秋田大学大学院理工学研究科 斎藤憲寿
 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、壊滅的な被害を受けたり。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ことが示されており^{2,3)}、浮体式津波避難シェルターの安全性の検討を行うため、漂流物の模型を用いた実験が行われている。シェルター模型を固定した状態で波力を計測した実験⁴⁾や、漂流物に圧力センサを取り付けて移動可能な状態で波圧の計測をした実験⁵⁾が行われてきたが、固定した状態とは異なり、漂流物の動搖に伴う傾斜によって水面と圧力センサとの距離が変化し、正確に波圧を測定する事は出来なかった。

そこで本研究は、漂流物の傾斜による波圧の変化を補正するため、加速度センサを用いることで漂流物の角度を測定し、実際に波圧の補正を行った。

2. 実験概要

(1) 圧力センサおよび加速度センサ

圧力センサは図-1に示す Measurement Specialties 製の MS5837-02BA モデル、加速度センサは図-2に示す Inven Sense 製の MPU-6050 モデルを使用した。圧力センサは防水機能を有しており、定格容量 1,000～200,000 Pa、寸法 3.3×3.3×2.75 mm である。また、加速度センサは定格容量±2 g、寸法 4.0×4.0×0.9 mm である。

各センサは 8 ビットマイコンボードと Processing/Wiring 言語を実装した統合開発環境から構成されるシステムである Arduino へ接続した。なお、Arduino はオープンソースハードウェアであることから技術ハンドルが低く、コンパクトな測定を可能としている。

(2) 漂流物模型

漂流物模型は津波避難シェルター「safe+」⁶⁾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了。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



図-1 圧力センサ

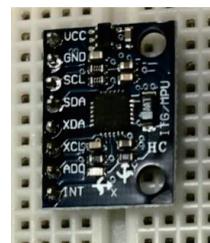


図-2 加速度センサ

*Experimental of the Behavior of Drifting Objects using an Acceleration Sensor by Yoshizumi MOCHIZUKI, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE



図-3 漂流物模型

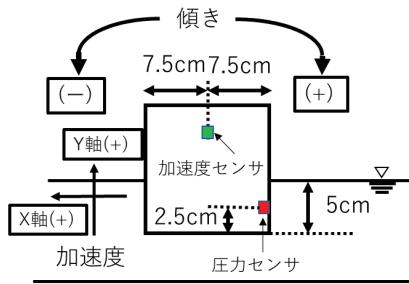


図-4 センサの設置位置の詳細

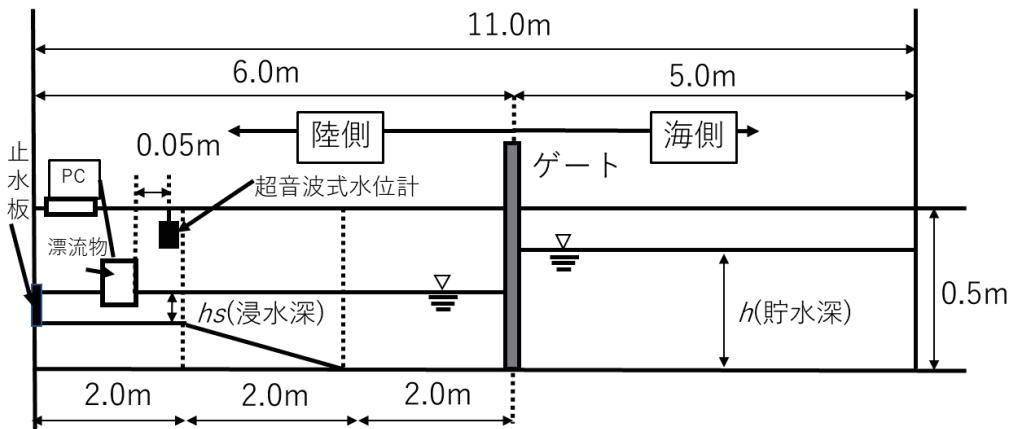


図-5 実験水路

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、加速度センサは漂流物内部に設置した。漂流物模型を図-3、圧力センサおよび加速度センサの配置を図-4 に示す。

(3) 実験水路

水路の概略を図-5 に示す。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。本研究は津波の第二波目以降を対象として、浸水深 $hs=0.15$ m、貯水深 $h=0.3$ m とした。

実験手順は、水路の海側にある貯水槽に水を貯め、実験水路のゲートを急開することにより模擬段波を発生させた。段波は一様水深部、一様勾配斜面部を伝播した後、漂流物模型に衝突する。本研究では模型幅と水路の隙間を 1 cm とすることで模型の回転運動を抑制し、水平移動のみ評価した。また、模型上部のケーブルが水平移動に影響しないようにケーブル長を 1 m とした。模型の 8 cm 前方に超音波式水位計を設置し、津波の水位は 0.01 s 毎に測定し、漂流物模型に取り付けた

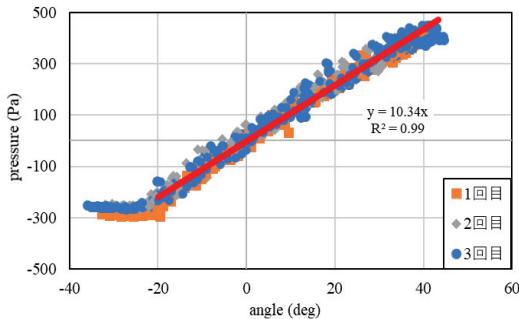


図-6 角度と水圧の関係

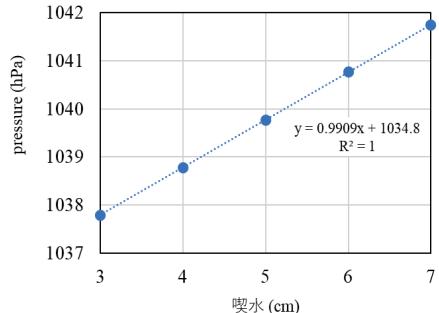


図-7 喫水と水圧の関係

圧力センサを用いて津波の波圧を測定、傾斜を加速度センサで測定した。なお、波圧と傾斜は 0.05 s 毎に測定している。津波と模型の挙動を観察するために水路側面からビデオ撮影を行っている。なお、浸水深は止水板を水路下端に設置することで表現している。

3. 実験結果

(1) 傾斜と水圧の関係

漂流物を水に浮かべ、加速度を加えず左右に傾けた結果として、角度と水圧の関係を図-6 に示す。角度が大きくなるほど水圧が大きくなる傾向であるが、-20°（陸側に 20°）より傾くと圧力センサが水面から露出するため、水圧が一定となった。そこで水上から出ている部分の-20°以下のデータを省き、3 回分の実験のデータを用いて近似式を求めた。

(2) 喫水と水圧の関係

津波によって動搖している漂流物の波圧を正確に測定するためには、傾斜による波圧の補正だけではなく、喫水の変化についても考慮する必要である。そこで漂流物を 1 cm 每に浮き沈みさせ、水圧を測定した。喫水と水圧の関係を示す図-7 を見ると、喫水が 1 cm 程度変化すると水圧が 100 Pa 程度変化しており、これは静水圧を計算で求める場合と一致していた。

(3) 漂流物模型を用いた津波の衝突実験の結果

水位、漂流物の波圧および角度の経時変化を図-8、水路の側面からビデオ撮影した波形の変化を図-9 に示す。水位は津波衝突直後上昇した後、緩やかに上下しながら一定となっている。衝突から約 1.3s 後の水位の上昇は、ゲート急開時に発生した 2 つ目の段波が原因であると考えられる。

波圧の経時変化を見ると、波圧は衝突直後上昇し、マイナスの値が測定された。その後再び波圧は上昇しプラスの値で上下を繰り返した。波圧がマイナスである理由として、漂流物が陸側へ傾く事によって圧力センサと水面の距離が短くなることが要因と考えられる。一方、海側に傾くことによって波圧が大きく測定された。

角度の経時変化を見ると、漂流物は衝突後 0.6 s かけて陸側に 9°程度傾き、その後 0.4 s かけて

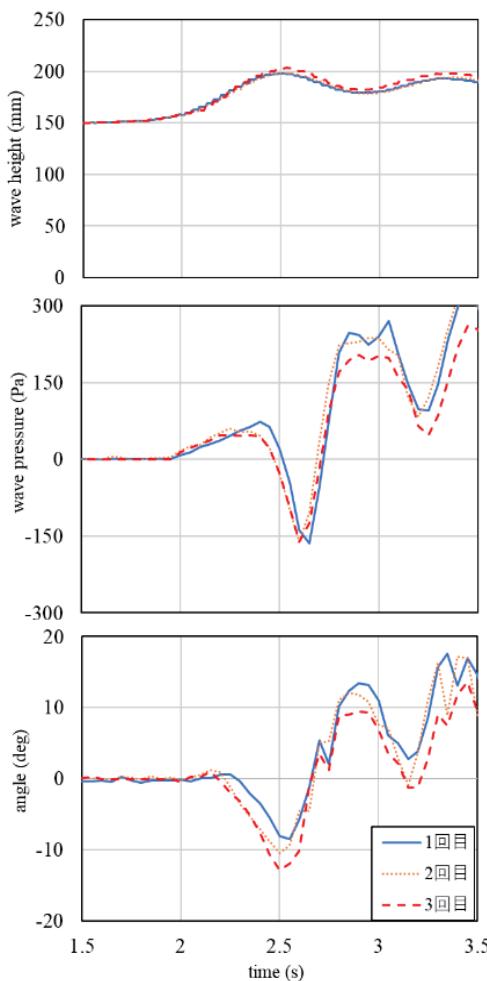


図-8 水位、波圧、角度の経時変化

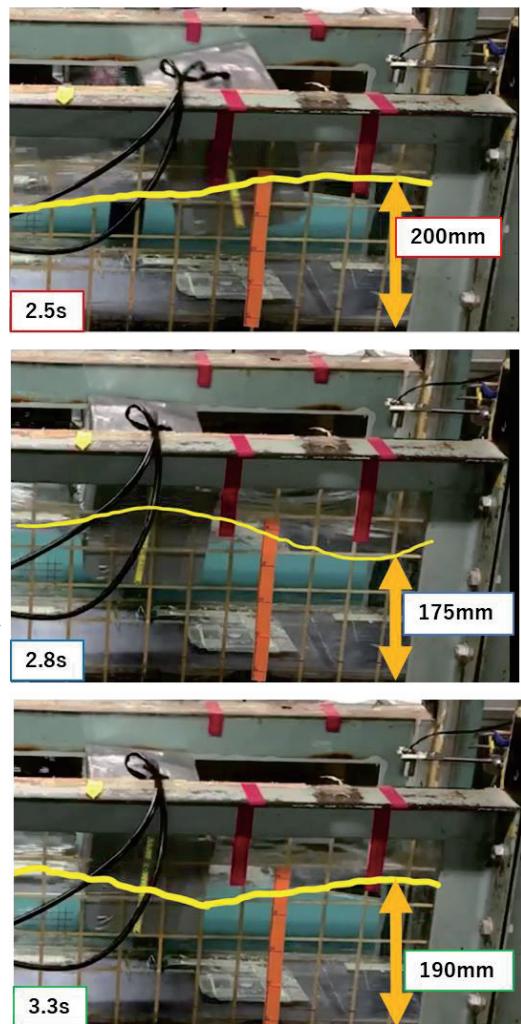


図-9 水位の経時変化の写真

海側に 13° 程度まで傾いていた。さらに、グラフの山と谷の計測時間について波圧と角度の経時変化を比較すると、傾向は概ね一致しており、これは図-10の漂流物の画像からも確認できる。しかし、波圧と角度のピークの測定時間にずれが生じている。これは漂流物の上下運動による喫水の変化が影響しているのではないかと考えられる。

(4) 傾斜による波圧の補正結果

補正についての説明を図-11に示す。津波衝突実験において、波圧と同時に角度も計測を行い、

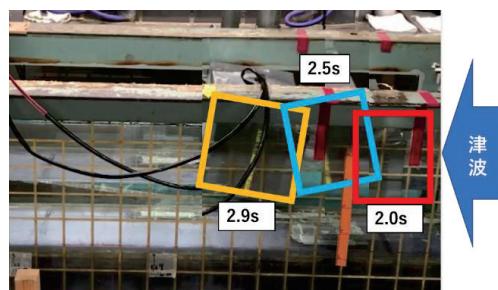


図-10 漂流物模型の挙動

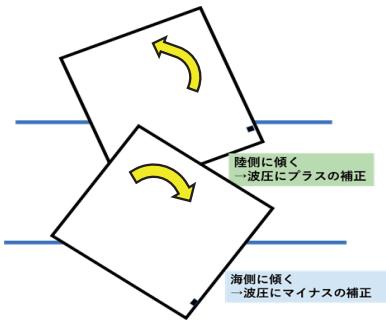


図-11 角度の補正イメージ

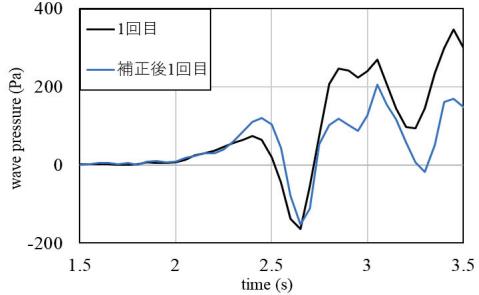


図-12 角度補正後の波圧の経時変化

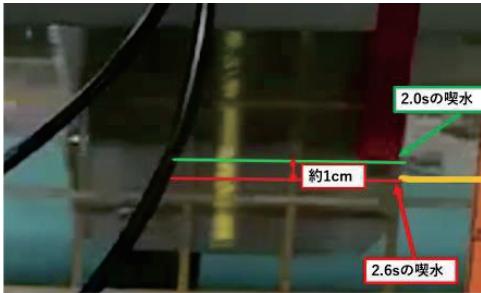


図-13 噴水の変化(2.6s)

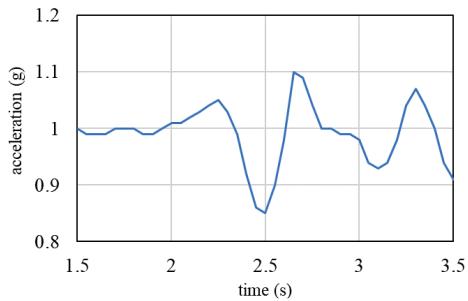


図-14 y 軸加速度の経時変化

この近似式に角度を代入し、測定された波圧から近似式で求めた波圧を引くことで補正を行う。補正を行うと測定値は、漂流物が陸側に傾くと波圧を増加させ、海側に傾くと波圧を減少させる。

傾斜による波圧の補正を図-12に示す。衝突直後の波圧を見ると陸側に傾いているため、傾きが最大となる2.6 sまで波圧は最大90 Pa程度プラス側に補正された。そして漂流している状況を見ると、傾きが 0° となる2.7 sから海側への傾きとなるため、波圧はマイナスの補正となる。海側に傾く場合は最大で-150 Pa程度まで補正される傾向にあった。次に補正の前後を比較すると、陸側の傾きが最大となる2.5 sまで波圧がプラスの値を示していたが、波圧は2.6 s以降も減少し続け2.65 sの時、マイナスのピークを迎えていた。

(5) 噴水による波圧

噴水の変化について図-13に2.6 sの噴水に注目した画像を示す。この時間では、1 cm程度の噴水の変化が見られた。これは漂流物の下方にもぐりこんだ波が漂流物を押し上げたことによる噴水の低下が原因であると考える。図-14のy軸の加速度の経時変化からも、2.6 s前後でy軸正方向に運動していることがわかる。このy軸の加速度の急上昇は、漂流物の回転と上方向への移動が影響している。

漂流物が傾いていない状態であるため、傾斜による影響ではないことが確認でき、図-8の2.6 sの時-100 Paは噴水が影響しているものであると考える。

噴水の補正について説明を図-15に示す。補正を行うと噴水が低下した時波圧が増加し、上昇し

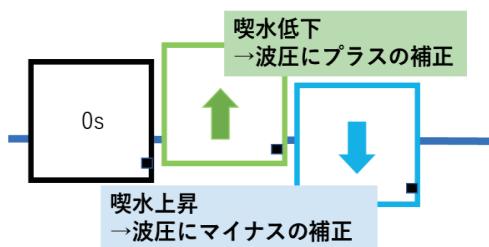


図-15 嘫水の補正イメージ

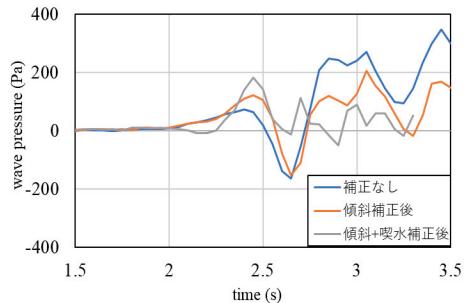


図-16 嘫水補正後の波圧の経時変化

た時波圧は減少する。津波衝突実験において撮影した動画を確認し、喫水の変化を目視でとらえ、測定した値を静水圧の式に代入することで補正を行った。

喫水の変化を考慮した波圧の経時変化を図-16に示す。喫水は、津波衝突後わずかに上昇し、段波がもぐりこむ際に低下する。そのため、補正前の波圧と補正後の波圧を比較すると、衝突直後は減少がみられるが、ピークの測定値は増加し、マイナスの測定が行われていた波圧がプラスの測定値となった。

4. おわりに

本研究により以下のことが明らかとなった。

- ・漂流物模型は津波衝突時に陸側へ約 10°傾斜し、その後は約 15°海側へ傾斜していた。
- ・波によって動搖する漂流物に作用する圧力は、傾斜による変化の他に、喫水の増減でも変化する。
- ・漂流物模型の傾斜および喫水の変化を考慮せず波圧を測定した場合、衝突直後は過小、漂流中は過大に評価していた。

今後の展望について、貯水深と浸水深の条件を変更し、波圧の補正を行うことや、喫水の変化に対する検討を深めるために、上下方向の加速度の検討を行う予定である。

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) (2021-12-9 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 卷, 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. 751-1_755, 2011.
- 4) 蒔苗純, 斎藤憲寿, 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 卷, No. 56, pp. 101_106, 2020.
- 5) 斎藤憲寿, 渡辺一也, 石塚大智 : 圧力センサを用いた漂流物の波力に関する検討, 海洋開発論文集, 第 77 卷, pp. I-103-I-108, 2021.
- 6) 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/>) (2021-5-23 アクセス)