

津波シェルターに作用する波力と運動特性に関する検討*

秋田大学理工学部 國井 優太
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おける津波被害を受けて、津波避難に関する課題の検討がより重要性を増している。津波避難の方法としては、高所避難が有効である。しかし、地震発生から津波が到達するまでに避難する事が困難な場合が考えられる。例えば、高所が近くに無い地域においては、避難の時間が十分に確保できない可能性がある。また、高齢者や歩行に障害を持つ人々は、高所避難が困難であると考えられる。こうした課題の解決のため、従来とは異なる避難方法として、シェルターを活用した津波避難が検討されている¹⁾。シェルターを活用した津波避難としては、高所避難後の津波対策という観点からも検討が行われている^{2) 3)}。この背景として、中央防災会議で東日本大震災後に設定された想定津波の考え方が挙げられる。津波対策の構築にあたっての想定津波として、中央防災会議が設定した津波は、次の二つのレベルである。①「発生頻度は極めて低いものの、甚大な被害をもたらす最大クラスの津波」、②「最大クラスの津波に比べ発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波」である⁴⁾。①の津波は、東日本大震災における津波に相当する従来想定を超える津波で、高所避難だけでは人命を守りきれない可能性がある。つまり、避難場所を越えるような津波への対策を留意する必要がある。こうした背景の元、高所避難後の対策として、建物上に設置された津波シェルターを活用する避難について検討が行われている。

そこで、本研究では、既往研究を元に、津波時におけるシェルターの運動特性を波力、フルード数を用いて評価を行った。

2. 実験方法

実験では縮尺 1/20 で作成したシェルター模型(図-1)と建物模型(図-2)を使用した。シェルターは球形で6人乗りを想定しており、模型の大きさは直径 8.6cm、質量 78.9g である。質量はフルードの相似側により算出した。材質は塩化ビニルで作成し、重心の調整、質量調整のため下部に油粘土を詰めている。建物模型は奥行 30cm、高さ 15cm、幅 14cm である。材質はアクリル板で作成し、中にはおもりとしてコンクリート片が入っている。

実験はゲート急開による模擬段波をシェルターに作用させることで行った。また、今回は第二波以降の津波を想定した実験を行うが、その再現として、第二波以前の津波を建物付近に貯水することで再現している。

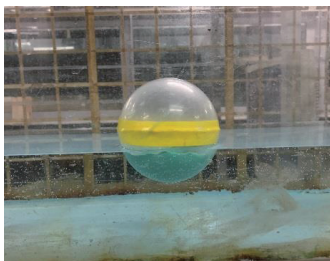


図-1 シェルター模型



図-2 建物模型

* Investigation of Tsunami Forces acting on Floating Type Tsunami Shelter and Motion Characteristics by Yuuta Kunii and Kazuya Watanabe

実験水路は高さが 0.50m、幅が 0.30m、全長 11.0m、貯水長 5.0m、斜面勾配 1/26 の両面ガラス張り鋼製矩形水路を使用した。実験水路の概略を図-3 に示す。

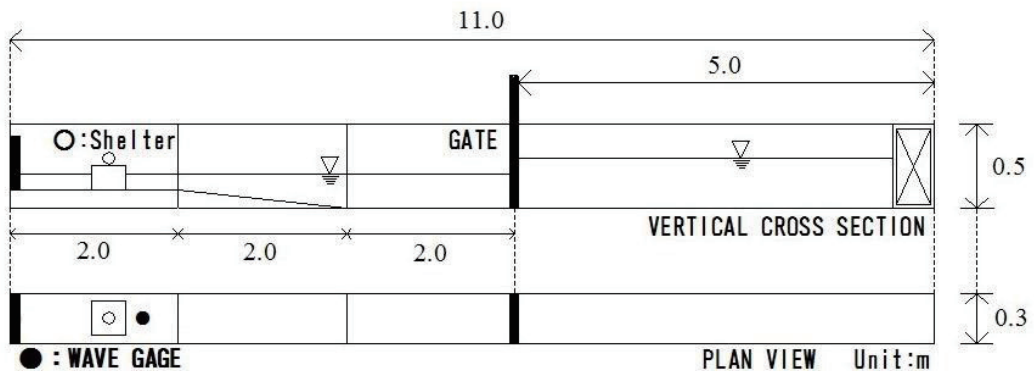


図-3 水路概要

運動特性の分類は、既往の研究⁵⁾を参考とした。分類を表-1 に示す。この分類を評価するにあたって、シェルターに作用する波力と建物前面 9cm における波高を各条件 3 回ずつ測定した。測定には、四分力計と超音波式波高計を用いた。また、フルード数を算出するにあたり、ビデオ解析によって先端移動速度を求めた。

今回行った実験の条件を表-2 に示す(単位:cm)。なお、貯水深はゲート上端に貯めている水の高さ、静水深は建物付近に貯めている水の高さを示している。また、建物上に設置するシェルターの位置は水路上端から下端に向けて前、中、後の 3 通りで、それぞれ建物前面から 3cm、15cm、27cm の位置である。

表-1 運動特性の分類

運動特性	シェルターの挙動
A	建物模型から落下後、建物模型の後ろで回転する
B	水に浮き、安定な状態で流される
C	水に浮き、不安定な状態で流される
D	波と共に回転しながら流される
E	建物模型から落下後流され、回転しながら建物模型へ戻る
F	建物上に残る

表-2 実験条件

条件	パターン A	パターン B	パターン C	パターン D	パターン E	パターン F
貯水深	35	30	35	40	35	30
静水深	7.5	15	15	7.5	7.5	7.5
設置位置	中	中	中	中	後	中

3. 実験結果

今回行った実験の例として、各条件における波力の経時変化を図-4~8に示す。

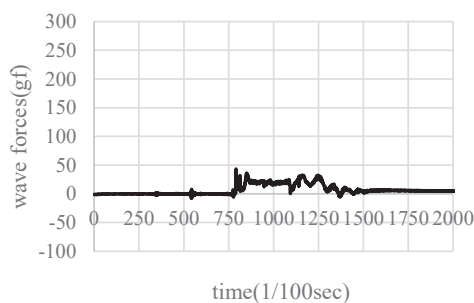


図-4 波力(パターン A)

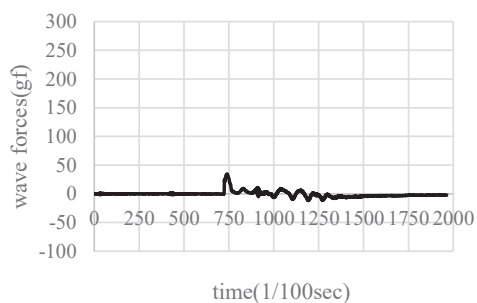


図-5 波力(パターン B)

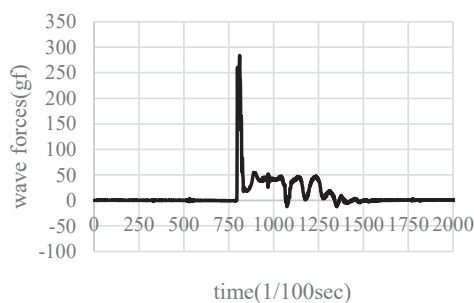


図-6 波力(パターン C)

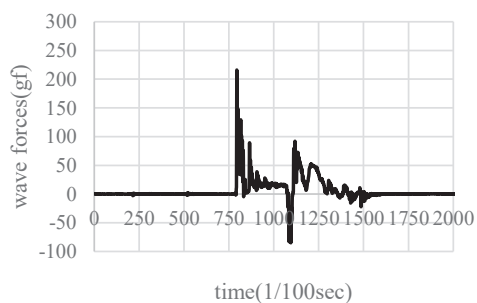


図-7 波力(パターン E)

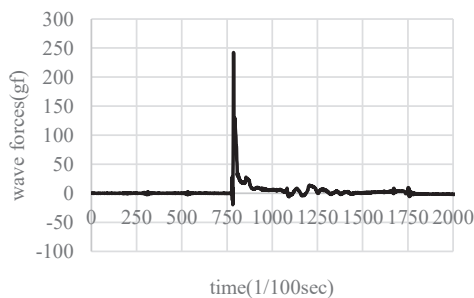


図-8 波力(パターン F)

測定した波力について以下にまとめる。

- ①パターン A における波力は、継続して波力が作用しているが小さい傾向にある。(図-4)
- ②パターン B とパターン C では、実験条件が貯水深 5cm のみ異なるが、波力には大きな差があった。(図-5, 6)
- ③パターン A とパターン E では、実験条件が設置位置のみ異なるが、建物後方に設置した場合の方が大きい傾向が見られた。(図-4, 7)
- ④パターン F は、衝撃波力は大きいですが、継続した波力は見られなかった。(図-8)

次に、各条件における建物前面 9cm 位置での波高の経時変化を図-9～13 に示す。

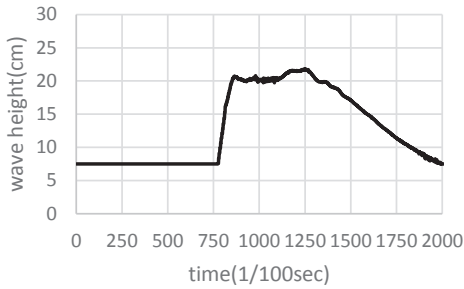


図-9 波高 (パターン A,E)

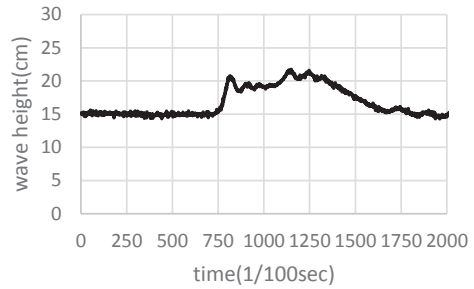


図-10 波高 (パターン B)

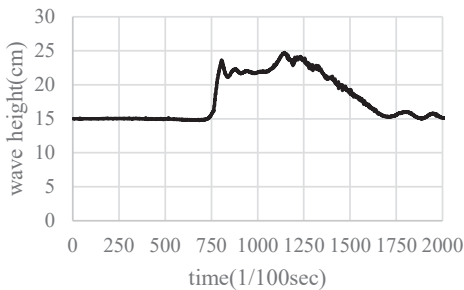


図-11 波高 (パターン C)

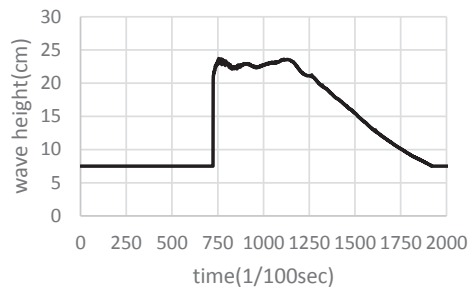


図-12 波高 (パターン D)

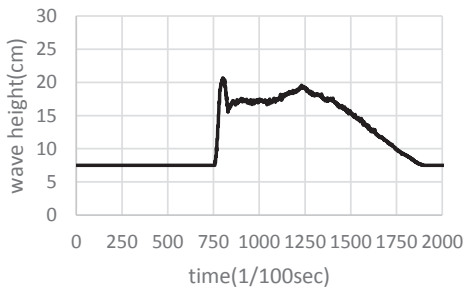


図-13 波高 (パターン F)

測定した波高の経時変化について以下にまとめる。

静水深が 15cm であるパターン B, C は静水深が 7.5cm であるパターン A, D, E, F と比べ元の波高に戻る時間が早かった。また、パターン B, C では波高の変化が小さい傾向が見られる。

次に、測定した波力をフルード数で分類したものを図-14に示す。縦軸の波力は、条件毎に三回測定した波力について最大値を平均したものである。また、建物前面9cm位置での波高とフルード数の関係を図-15に示す。縦軸の波高は、準定常時の波高を建物高さで無次元化したものである。

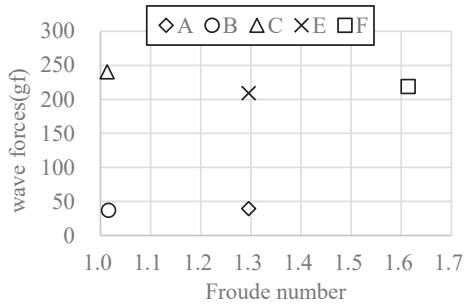


図-14 波力とフルード数

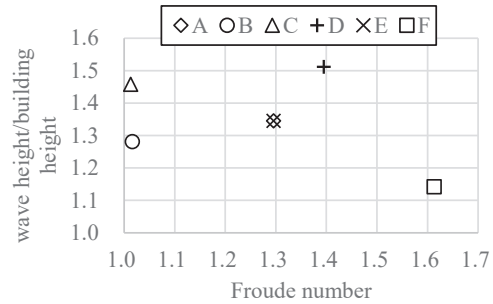


図-15 波高/建物高さでフルード数

図-14、図-15をまとめると以下のようなになる。

- (1)パターン B と C では、前面での波高が高い程、波力が大きい傾向が見られる。
- (2)一方で、パターン F は、波高が小さいものの、波力は大きい傾向が見られた。また、この条件は先端移動速度が他の条件と比べて大きかった。

次に、ビデオ解析により得られたシェルターの軌跡を図-16, 17に示す。ただし、縦軸は鉛直方向の高さを示し、横軸は水平方向の距離を示している。横軸は流下方向を正として軸を取っている。また、図中の網掛け部分は建物模型を示している。

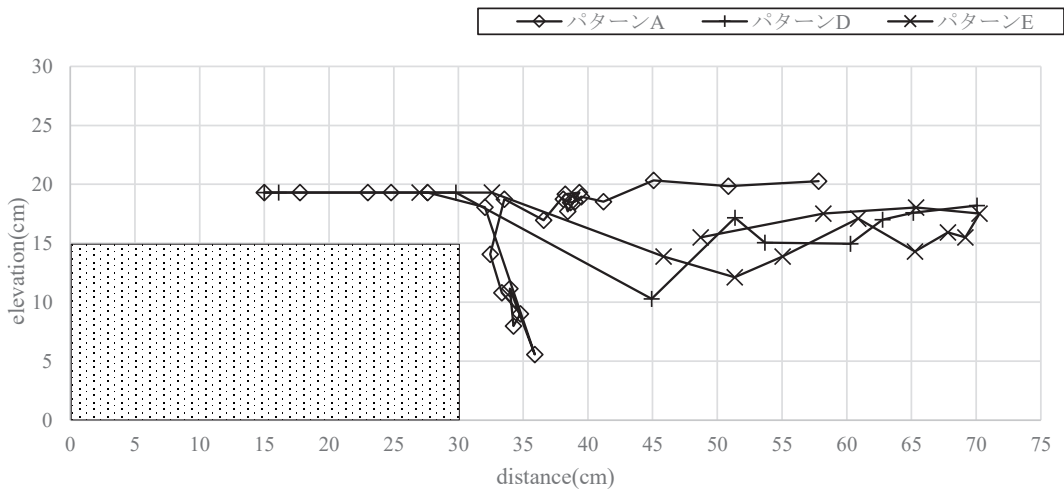


図-16 パターン A,D,Eにおける運動の軌跡

パターン A は、一度建物背面付近において、水中で停滞する傾向が見られる。また、パターン D とパターン E は同じ様な軌跡を描いている事が見られる。

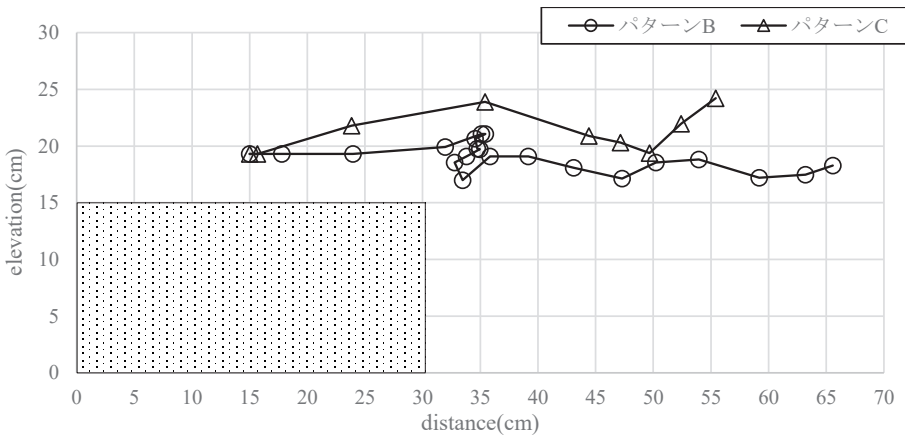


図-16 パターン B,C における運動の軌跡

パターン B とパターン C は共に、水に浮いて流される運動特性だが、パターン B は、建物背面付近で浮き、停滞する傾向が見られる。また、パターン C は建物から落下する前に、建物上において水に浮く傾向が見られる。

4. おわりに

本研究では、運動特性毎の波力の測定を行い、フルード数による分類をした。得られた波力や運動の軌跡から以下の事が考えられる。

- ①パターン A とパターン B は共に建物背面で停滞する傾向がある。
- ②パターン B とパターン C の分類は波力の面から見ても妥当な分類だと考えられる。
- ③パターン D と E は建物背面に戻ることを除き、近い運動をしている。
- ④パターン F は波力が大きい傾向が見られるものの、波高が小さいために建物上に残ると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたって、秋田大学水工学研究室のメンバーの協力を得た。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 重松孝昌：浮体式津波避難シェルターの開発に関する基礎的実験，海洋開発論文集，第 24 巻，pp.105-110，2008.
- 2) 渡辺一也・金子祐一：津波避難ビル上に設置した浮体式津波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. 71(2)，I_701-I_706，2015. (CD-ROM)
- 3) 渡辺一也・遠野雄樹：建物上に設置した浮体式シェルターの挙動分析と流速・波力に関する検討，土木学会東北支部技術研究発表会講演概要，2016 (CD-ROM)
- 4) 中央防災会議：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告 (案) <<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/12/pdf/3.pdf>> (2017-11-28 アクセス)
- 5) 藤井龍也・渡辺一也：浮体式津波避難シェルターの挙動に関する検討～第二波目以降が最大津波となるケースを想定した検討～，東北地域災害科学研究，第 53 巻