

津波の性質を利用した津波被害軽減の方法の模索

石川県立金沢泉丘高等学校理数科

井上 祥佑 長村 侑紀 萬上 雄太 日比野 孝俊 吹上 陽向大

要旨

津波が持つ、水深によって波の速さが変化するという性質から、水深に差を作れば、波の速さを部分的に変化させることができると予想した。我々はモデル装置を製作し、海底に構造物を設置して、構造物がない場合よりも装置から溢れ出る水の量が減少することを明らかにした。しかし、波の速さの変化が、我々が予想していたものと違っていた。そこで、1 つ目の実験では実際の津波と比べて、実験で起こした波は波の波長に対して水深が深すぎたと考え、装置を改良し水深を浅くして 2 つ目の実験を行ったが結果は変わらなかった。我々は、装置で発生した波が津波とは異なる性質の波であったと考えている。

1. 研究背景・目的

日本列島は環太平洋造山帯上に位置しており、数多くの地震が日々発生している。その中には津波を引き起こして大きな被害をもたらすものも存在し、巨大な津波を伴う南海トラフ巨大地震が発生することが予測されている。しかし、これまでの津波の対策に用いられてきた海岸の堤防や松林だけでは対策が十分でないことは東日本大震災の被害を見れば明らかである。また、テトラポッドのような構造物は歩行者が隙間に落下するような危険があり、海底に、海岸に平行に設置された構造物は港において船の出入港の障害となる。そこで、これらの対策以外の津波軽減の方法を模索することにした。本研究では水深を変化させ、津波の性質を利用し、新たな津波被害軽減の方法を提案することを目的としている。

2. 仮説

津波は水深が深いほど波の速さが速くなり、

その速さを v 、重力加速度を g 、波高を h とすると、次の式が成り立つことが知られている。

$$v = \sqrt{gh}$$

以下、この式から導出される値を理論値とする。これから、海底の一部に構造物を設置し水深を浅くすれば部分的に波の速が遅くなり、波が一度に集中して上陸するのを防ぐことができる考えた。

そこで我々は図 1 のような実験装置を用いて実験を行った。この実験装置は東京大学で用いられた装置(参考文献[1])から着想を得て、作成した。この装置を用いた実験を実験 1 とする。

(図 1: 最初の実験装置)



3. 実験装置の説明

材料

アクリル板、木材、蝶つがい、ねじ、シーリング材、紐、針金、ペットボトル、クリアファイル（溢れる水がこぼれるのを防ぐ）

サイズ

AB : 300 mm AC : 1650 mm CD : 400 mm

DE : 200 mm EF : 200 mm

図 2 中の矢印部にある波を起こす板 :

150 mm × 290 mm

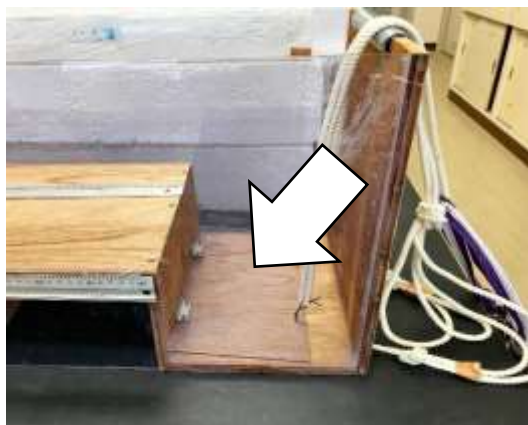
坂の傾斜 : 30°

坂の板 : 300 mm × 300 mm

工夫

- ・水の重さでアクリル板が横にたわむことがないように、図 1 で白い棒で示したようにアクリル板の上部を木の棒で補強した。
- ・木と木、木と側面のアクリル板の接続部に、水が漏れないようにコーキング処理を施した。
- ・波を起こす板は蝶つがいで EF を含む木の板に取り付けた。アクリル板の CD 側に 2 つ穴をあけて針金を通し、紐を取り付けることで、紐を引いて板を引き上げることができるようにした。
- ・津波の被害を定量化するため、装置外の AB 側に箱を置き、溢れ出た水の重さを図 3 のはかり（(株)FUJI 製）で計測した。

(図 2 : CDEF 付近の拡大写真)



(図 3 : 用いたはかり)



4. 実験 1

まず、構造物を置いた場合と置かなかった場合で波の勢いの差を調べる実験を行った。次に構造物の数を 1 個から 3 個で変化させ、構造物の数による変化も調べた。

4-1. 実験方法

以下のように実験を行った。ただし、構造物は高さ 50 mm、幅 150 mm、奥行 100 mm の石を使用した（図 4）。

- 1 実験装置に水を満たし、紐を引いて人力で波を発生させる。
- 2 実験装置から溢れた水の質量によって波の勢いを比較する。
- 3 1 と 2 を構造物の個数が 0 個から 3 個の場合でそれぞれ行う。構造物を設置する場合は図 1 のように実験装置の平坦な部分の中央に、片側の側面に寄せて置き、短辺が波の進む向きと平行になるようにする。
- 4 水深を一定にするため、構造物を置いた場合は構造物の体積の分の水を減らした。

(図 4 : 実験 1 の構造物)



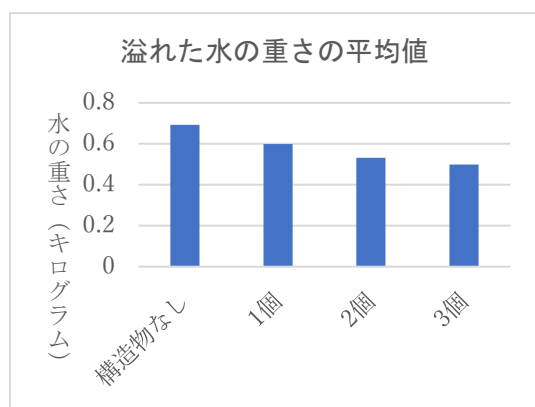
4-2. 結果

構造物を置くと溢れる水の量は減少し、構造物の数と溢れた水の量には相関がみられた。

(表 1) また、構造物上部の波は、構造物が存在しない部分に比べて速くなっていることを目視で確認した。

石の構造物を用いる前に、予備実験として木の構造物でも実験を行ったが、そのときは波の動きに伴って構造物が動いた。

(表 1 : 実験 1 の結果)



(図 5 : 作り直した装置)



4-3. 考察

- ・波は浅い場所に向かって流れるため、構造物上部の速くなった波が横にも広がり、横方向きの力を得たことで水の一部が元の進行方向とは異なる向きに流れて前に進む力が弱まり、溢れた水の量が減少したと考えた。
- ・構造物上部の波の速さが、構造物が存在しない部分よりも速くなっていたように観察されたため、浅い部分では津波とは異なる波になっていたと考えられる。
- ・軽い木の構造物が動いたことから、構造物がエネルギーを得て、津波がエネルギーを失うことにより溢れる水の量が減ったと考えられる。

5. 実験 2

実験 1 で用いた装置は傾斜部分の傾きが 30° であり、実際の海岸と比べて急である。また参考文献[2]より、津波は波長に対して水深が小さい。よって、傾斜部分の傾きを 10° にして水深を浅くした装置を作り直した。作り直した装置 (図 5) を用いた実験を実験 2 とする。

実験 1 と同様に、構造物を置いた場合と置かなかった場合でのデータの差を調べた。実

験 2 では溢れ出た水の重さに加えて、波の速さも計測した。

5-1. 実験方法

構造物は高さ 10 mm、幅 150 mm、奥行 300 mm と高さ 10 mm、幅 150 mm、奥行 100 mm の木材を 1 つずつ使用した。(図 6)ただし、木材は水に浮いてしまうため釘で上から押さえ込み、実験 1 と同様に、平坦な部分の中央の片側側面に隙間がないように並べて置いた。このとき釘は十分細いため波への影響も小さく無視できると考えた。また、水深が変わらないように構造物の体積分の水を減らした。波は紐に重りを取り付け、それを同じ高さから落下させることで発生させた。ここでは、塩化ビニル製パイプを、図 7 のようにアクリル板の上部に取り付けて紐を引き下げられるようにすることで、板が上がりきったときの角度が一定になるようにした。ここで用いた重りは水で満たした 2L ペットボトル 4 本である。(図 8) 落としやすいようにペットボトルはガムテープで固定し、袋に入れた。速さは、実験装置の側面に定規を設置し、スマートフォンで撮影して装置の平坦部分の中央 300 mm 間の平均の速さを測定した。

(図 6 : 実験 2 で用いた構造物)



5-2. 結果

実験 1 と同様に、構造物が存在しない場合に比べて、構造物が存在する場合の溢れ出た

(図 7 : CDEF 付近の拡大写真)



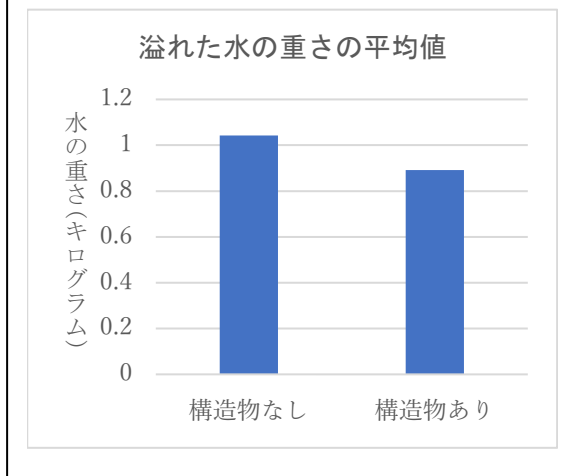
(図 8 : おもりで用いたペットボトル)



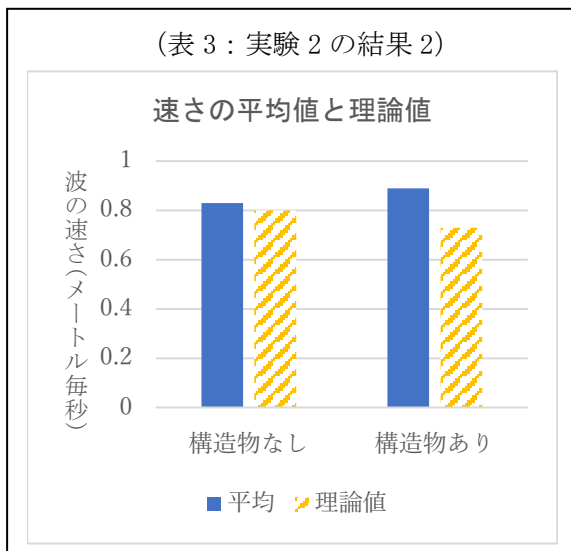
水の量は減少した。(表 2)しかし、仮説に反し、波の速さは構造物上部の波のほうが速くなっていた。(表 3)

理論値は構造物なしでは $g=9.8\text{ms}^{-2}$ 、 $h=6.6\times 10^{-2}\text{m}$ 、構造物ありでは $g=9.8\text{ms}^{-2}$ 、 $h=5.4\times 10^{-2}\text{m}$ を代入して計算した。(参考文献[3])

(表 2 : 実験 2 の結果 1)



(表 3 : 実験 2 の結果 2)



5-3. 考察

水の重さについて

- ・実験 1 と同様に、構造物上部の速くなった波が横にも広がり、横向きの力を得たことで水の一部が元の進行方向とは異なる向きに流れて前に進む力が弱まり、溢れた水の量が減少したと考えられる。
- ・実験 1 の結果を用いると、構造物が存在しない部分の波が、存在する部分の波に比べて速さが遅くなっていると考えられる。また、構造物が存在しない場合の波

と構造物上部の波の速さが変わらなかったことから、構造物を入れた場合に構造物が存在しない部分の波が遅くなり、溢れ出る水の量が減ったと考えた。

- ・構造物を置いたその体積分、実験装置上の水が少なくなったため溢れ出る水の量が減ったと考えた。

波の速さについて

- ・構造物の有無に関わらず、変化が見られなかったことから、津波と同じ性質の波が発生していないと考えられる。

6. 結論

海底に構造物を設置し段差を作ることにより、仮説の通り装置から溢れ出る水の量を減らすことができた。このことから水深の差は波のエネルギーを減衰させ、津波の被害を減らすことができるといえる。しかし、実験 2 では、波の速さは構造物の有無に関わらずほとんど変わらなかった。このことから、波の速さは波のエネルギーと関わりが小さいと考えられる。しかし、実験 1 では見かけでは構造物が存在するほうが波の速さが速くなっていったため、もとの水深が大きいと波の速さも変化が大きくなり、エネルギーは変わらずとも広大な海では構造物が津波に対して大きな影響をもたらすのではないかと考えた。

7. 今後の課題

今回の実験の結果は仮説で提示した式に従わず、特に実験 1 においては水深の浅い部分のほうが、波が速くなった。これは、実験で起こした波が津波のような長波にならなかったためだと考えられる。今後は実験で起こす波を実際の津波の振る舞いに近づけるために、異なる実験系での相似性を示すレイノルズ数などを考慮する必要がある。また、速さの測

定の際にスマートフォンで撮影したためコマ数が少なく、正確なデータが得られなかった可能性がある。実験のバリエーションが少なかったことも課題である。構造物を置く際は水の量を減らさない場合についても実験していくべきだろう。今回はミニチュアでの実験のため、現実で実際にこの大きさの構造物が作れるかどうか考察できなかった。

8. 謝辞

研究を進めるにあたり、本校の久保出将司先生、北陸先端科学技術大学院大学小田和司先生にアドバイスをいただきました。感謝申し上げます。

9. 参考文献

- [1] 三反畑 修, 塩原 肇, 楠本 聡, HyeJeong Kim, 大峽 充己, Qi Liu, 上田 拓, 小川 諄, 高野 和俊, 壽 一哲, Yuchen Wang. 津波実験水槽におけるミニチュア津波観測装置の設置. 技術研究報告 . (2018), no. 24, p. 29-34. http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/GIHOU/archive/24_029-034.pdf (参照 2020-11-16)
- [2] 中村 一弘. “伊豆大島 気象と交通-大島の気象の話”. 3、海の波. (参照 2020-11-16) <http://www13.plala.or.jp/oosimakisyuu/3nami.html>
- [3] 高精度計算サイト (参照 2021-2-3) Keisan-CASIO <https://keisan.casio.jp/exec/system/134620503>