

津波の性質を利用した被害の軽減

石川県立金沢泉丘高等学校理数科

小田 沙也加 近藤 泰生 竹内 壮志 津田 丞太郎 日比野 雅俊

要旨

津波がその進行方向とは逆向きの流れを海底部に発生させることを確かめ、海底部の流れをせき止められれば、津波被害を軽減できると予想した。我々はモデル装置を製作し、海底部に構造物を設置したところ、構造物の前後で、発生させた津波の体積が小さくなることを明らかにした。さらに、設置した構造物によって津波の速さは変化しないこと、体積・高さが減少し、水頭が減少することをつきとめた。また、構造物は津波通過後に渦を発生させており、この渦は、津波のエネルギー減少と大きな関係があると考えている。

1. 研究背景・目的

我々の本研究の実施目的は、東日本大震災がきっかけである。この震災では、津波での被害が最も大きく、多数の犠牲者が出た。この一因として、堤防が津波を完全にせき止めることができなかったことが挙げられている。現在、被災地では大きな堤防の建設が計画されているが、それでは景観を損ねてしまう。また、堤防によって自然の驚異である津波を完全にせき止めてしまうことは不可能である。そこで、津波をせき止める方法だけでなく、堤防に代わる新たな津波被害の軽減方法を検討することにした。本研究では海底に構造物を設置し、津波の性質を利用して、新たな津波被害の軽減方法を提案することを目的としている。

2. 仮説

先行研究[1]より、東日本大震災後に、海底に設置された海底圧力計が移動したことが分かっている。ここから、津波により海底に、津波そのものとは異なる逆向きの流れが引き起こされると考えた。

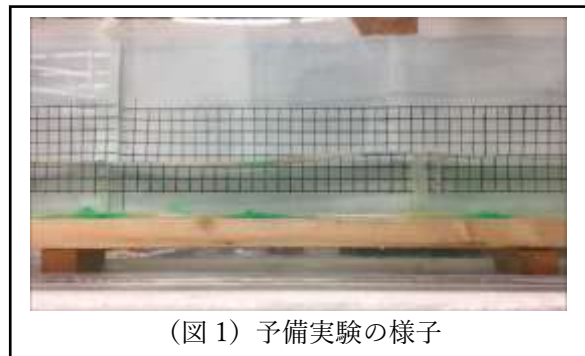
2 - 1 予備実験

装置（図 2）の海底部 3 箇所に絵の具をたら

しておき、津波を発生させた。津波によって絵の具が溶けて流れる様子を観察し、引き起こされる津波そのものとは異なる流れの存在および流れの向きを確かめた。

2 - 2 結果

絵の具は、津波通過後に、津波の進行方向とは逆向きに流れた。よって、津波には、津波そのものとは異なる流れが存在し、その流れは、津波の進行方向とは逆向きである。（図 1）



（図 1）予備実験の様子

2 - 3 考察

津波によって引き起こされる逆向きの流れは、津波によって媒質である水そのものが移動したことで海底の圧力が変化し、引き起こされる。被害を引き起こす上層の流れと海底部の流れには、因果関係があると考えられ、海底に発生する、津波とは逆向きの流れをせき止められ

れば、津波被害を軽減できると予想した。

3. 実験 1

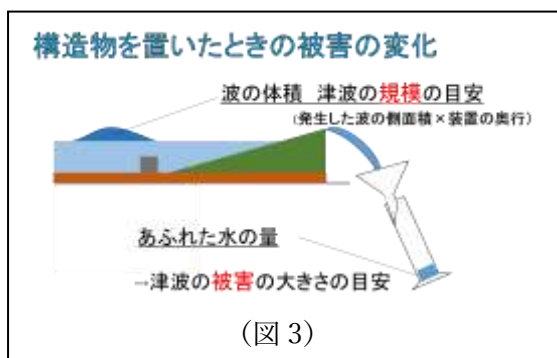


(図2) 制作したモデル装置

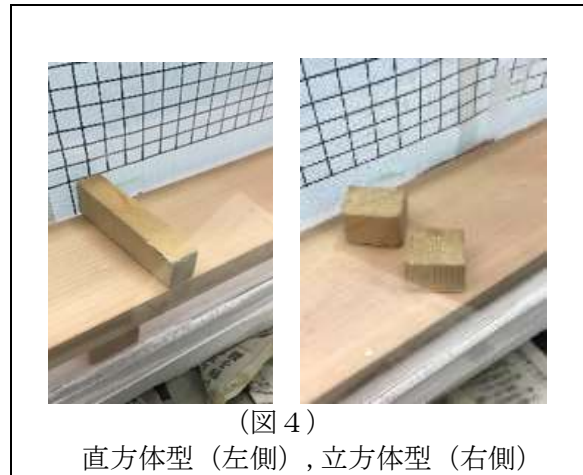
3 - 1 実験方法

我々の製作したモデル装置 (図2) の海底部を模した底部に様々な形の構造物を設置し、津波を発生させる。陸部を越えてモデル装置からあふれた水の体積を津波の被害の大きさの目安として測定し、構造物の形状別に津波の被害の大きさの相関を調べる。縦軸にあふれた水の体積、横軸に津波の体積をとり、グラフを作成する。津波の体積は津波の側面積と装置の奥行きを積と定義する (図3)。使用した構造物は、直方体型と立方体型の二種類である。

なおこの実験では、直方体型、立方体型 (図4)、構造物を置かなかった場合の3種類について、それぞれ10回ずつ結果を測定することとする。



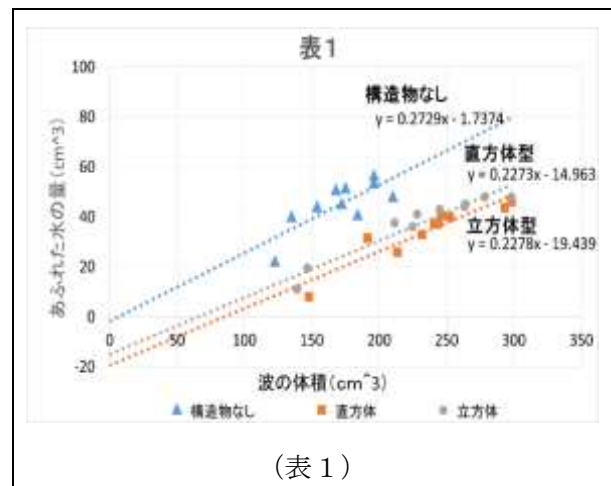
(図3)



(図4) 直方体型 (左側), 立方体型 (右側)

3 - 2 結果・考察

表1よりあふれた水の量 (津波被害の大きさ) と波の体積は線形であると判断できる。海底に構造物を置いたとき、最もあふれた水の体積が大きいのは構造物を置かなかった場合であり、次に立方体型、そして最もあふれた水の体積が小さくなったのは直方体型であった。つまり、最も津波の被害を防いだのは直方体型である。また、構造物を置いたときはいずれも津波の体積に対する津波の被害が小さくなることが確認された。



(表1)

構造物を海底に設置すると、津波の被害の大きさを小さくすることができる。また、被害の減少量は、構造物の形状によって異なり、最も被害を防いだのは直方体型と言える。

4. 実験2

構造物が津波にどのような影響を及ぼしているのか調べることを目的に、津波の「速さ」、津波の「体積・高さ」を測定する。

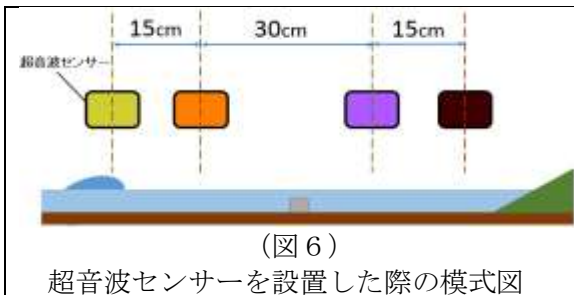
4 - 1 実験方法

速さの測定にはDate Harvest社の超音波センサーを用いて、対象物との距離を測定する。まず、モデル装置の上にセンサーを図5のように設置し、津波の通過による水面の高さの変化を測定する。その結果を用いて津波の速さを求める。また、津波の体積・高さを、津波が構造物を越える前後において測定し、減少率を求める。津波の体積は、実験1と同じように定義し、津波の高さは津波の最高部と静水時の水面の高さとの差とする。

なお、実験2においては直方体型の構造物のみを用いた。



(図5) 超音波センサーを設置した様子



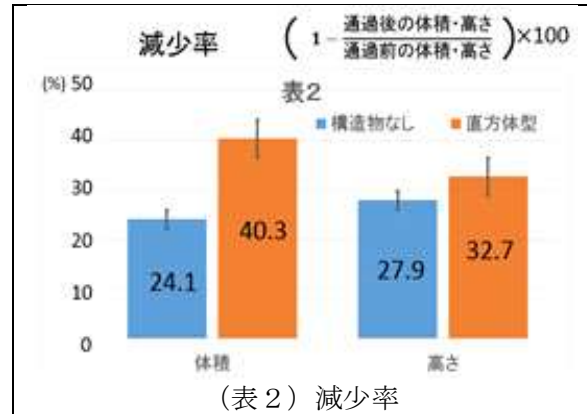
(図6)

超音波センサーを設置した際の模式図

4 - 2 結果・考察

$1.50 \times 10^{-1} m$, $3.00 \times 10^{-1} m$, $1.50 \times 10^{-1} m$ の間隔で設置した各超音センサーの間を、津波は順に $1.88 \times 10^{-1} s$, $3.72 \times 10^{-1} s$, $1.88 \times 10^{-1} s$ で通過した。超音波センサーと時間の

間隔が等しくなっているため、構造物を越える前後で比較すると、津波の速さは変化していない。一方、津波の高さ・体積は減少しており、その減少率は構造物を置かなかったときに比べ、置いたときのほうが体積は16.2%、高さは4.80%大きくなっている。(表2)



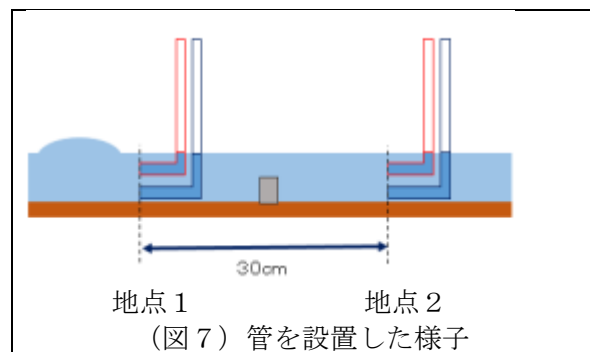
(表2) 減少率

5. 実験3

実験2より津波の体積・高さが減少していることから、津波のエネルギーが減少しているのではないかと考えた。そこで水が持つエネルギーを水柱の高さに置き換えた水頭を検討した。

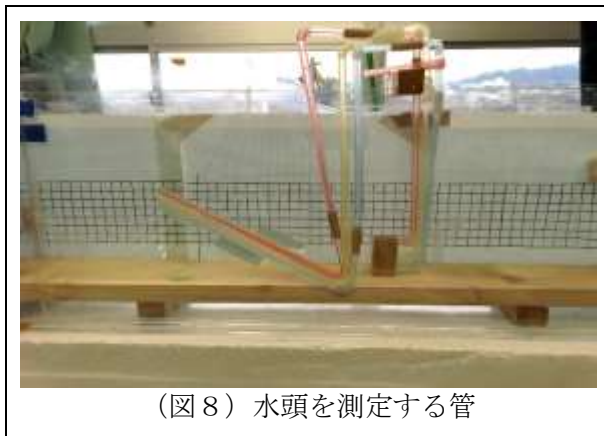
5 - 1 実験方法

ストローを用いてピトー管を作成し、装置内の水頭を測定する実験を行った。上部(赤色ストロー)、中部(黄色ストロー)、下部(青色ストロー)の水頭を同一地点で同時に測定できるように設置し、構造物の手前(地点1)、構造物通過後(地点2)の2か所にピトー管を置いた(図7)。



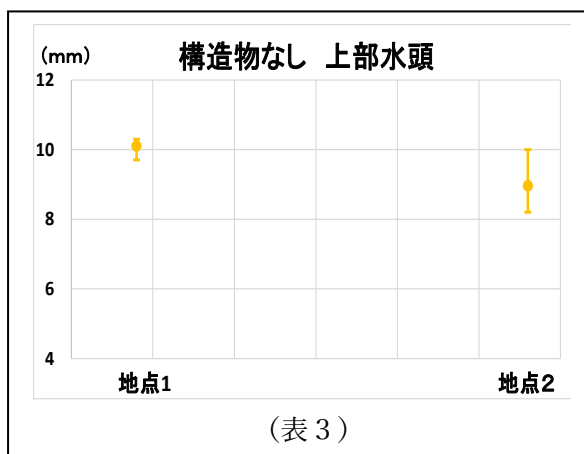
(図7) 管を設置した様子

静水時のピトー管内の水面の高さを基準(0.0mm)とし、津波通過時のピトー管内の水面の高さを水頭としてその最大値を計測した。構造物を設置した場合、設置しなかった場合でそれぞれ2か所の上下の水頭の最大値を測定し、結果を比較した。それぞれ10回ずつ試行し、平均値を求めてグラフを作成した。

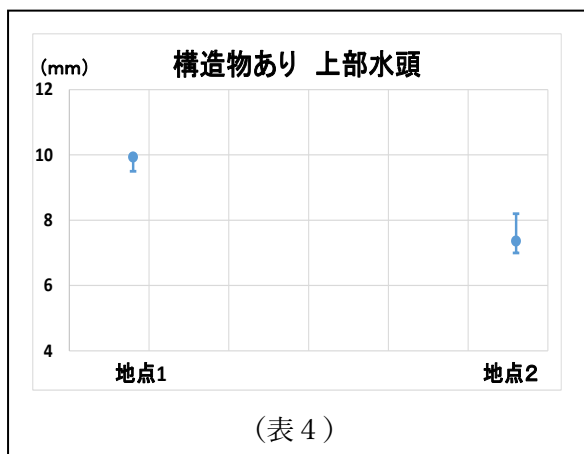


(図8) 水頭を測定する管

5 - 2 結果・考察

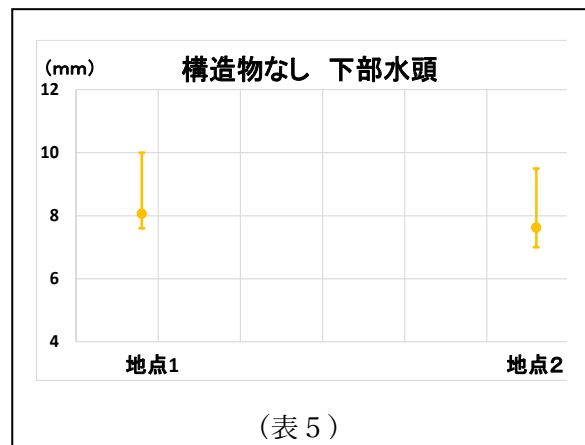


(表3)

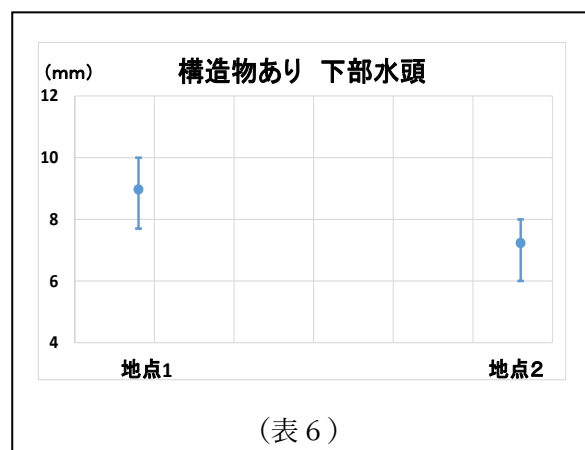


(表4)

上部水頭の減少率は構造物を置かなかった場合は11.3% (表3)、構造物を置いた場合は25.9% (表4) となった。これより構造物を置くことで、上部水頭の最大値は減少していることが確認できる。



(表5)



(表6)

下部水頭の減少率は構造物を置かなかった場合は5.46% (表5)、構造物を置いた場合は19.4% (表6) となった。これより下部水頭の最大値も同様に減少したことを確認した。また、下部水頭の減少率は上部水頭の減少率に比べて小さくなった。

構造物を置いたとき、上部でも下部でも水頭の最大値が減少していることから、構造物が水のエネルギーを減少させたと考えられる。

6. 実験4

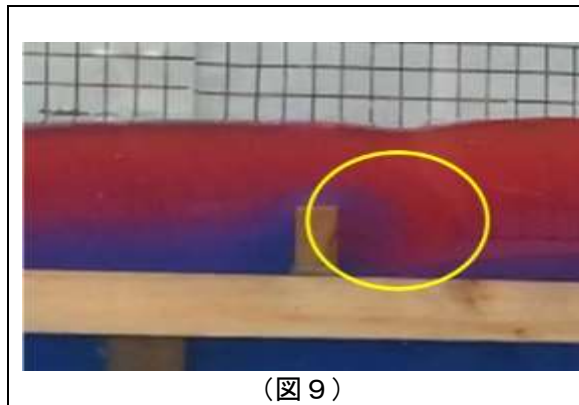
6 - 1 実験方法

津波を可視化して、その流れを考察することを目的に、塩分濃度ごとに色分けした食塩水を

モデル装置内に層状に入れ、津波を発生させた。その様子を撮影・観察し、構造物と津波の体積・高さの減少との因果関係について考察した。

6 - 2 結果・考察

津波が構造物をこえてすぐ、構造物の近くで渦が発生していることを確認した（図9）。



(図9)

この結果により、津波の上層の流れが構造物によって落ち込み、海底の流れと混ざり合っ、渦が発生していることが確認できる。ここから、構造物を設置することによって、津波の上層の流れが下向きの流れに変化し、上層の流れが弱まって、津波の被害が減少したと考えられる。当初の私たちは、構造物によって海底の流れをせき止めれば、津波の被害を軽減することができるという仮説を立てていた。しかし、この結果から、構造物は海底で引き起こされる流れをせき止めているのではなく、津波の上層の流れに影響を及ぼしていることが分かった。

7. 結論

海底に設置した構造物によって津波の被害は減少し、構造物の形によって、津波の被害の減少量は異なる。構造物によって津波の体積や高さが増減し、津波の被害を小さくする。また、構造物を通過する前後で、津波の速さに変化は見られない。しかし、体積と高さの減少率が増加したこと、水頭が減少したことから、構造物を設置することで、津波のエネルギーを減少さ

せられることが分かった。この一因として、構造物によって発生する渦が考えられる。一般的に、渦はエネルギーを消費するとされており、構造物によって上層の流れの一部が落ち込み、その結果進行方向の流れが弱まることで、エネルギーが減少したと考えられる。以上を総括すると、実験1において直方体型の構造物が最も津波被害を軽減したのは、立方体方に比べ直方体型のほうがより効果的に渦を発生させ、津波のエネルギーを減少させたからであると考えられる。本研究の目的は、堤防に変わる新たな津波被害の軽減方法を提案することである。以上の実験結果をまとめると、渦を多く生み出し、津波の流れをより多く相殺する構造物を、津波の発生以前に海底に設置しておくことが、現状で最も津波の被害を軽減できる策だといえる。しかし、この渦が津波のエネルギー減少にどのように影響を及ぼしているかまでは考察が至らなかったため、構造物の形状について指摘することはできない。また、実際に設置した場合についても、水の摩擦や水圧など、海と装置内ではさまざまな条件が異なるため、指摘するのは難しいが、新たな津波被害を軽減する方法として、我々は、津波の発生以前に海底に構造物を設置することを提案する。

8. 今後の課題

結論でも述べたとおり、発生した渦と津波のエネルギー減少の相関についての考察が課題である。本研究では、津波のエネルギーが渦によっていかに減少したか、その原因や相関を突き止めるには至っていない。構造物による津波のエネルギーの減少方法や渦の発生方法を解明することで、海底に設置する構造物の大きさや形状を決定し、よりよい津波被害の軽減方法の提案につながることを期待される。その中で最も津波の流れを相殺し、エネルギーの減少量が大きくなる形状を探るために、津波のエネルギー減少の原理を探ることが課題である。

また、構造物の素材やスケールについても、実験、考察していくべきである。実際に実験通りのスケールで海底に構造物を設置すると、構造物の高さは海の水深の約半分となり、海底環境に影響を及ぼすことは間違いのないほど巨大な大きさとなる。加えて、海の流れに耐えられず、倒壊する危険も考えられる。構造物を実際に海底に設置した際、どのような意匠を施して環境への影響を減らしてゆくか考察していくことも、課題として挙げられる。

実験2では、測定した速さはあくまで表面波の速さであり。津波の速さ（流速）を正確に測定する方法の提案、検証も、課題となってくる。

海底に構造物を設置することで津波の被害を減少させる方法は、いまだかつて提案されてこなかった。また、津波が海底に進行方向とは逆向きの流れを発生させることも、知られてこなかった。本研究の成果を津波の基礎研究として活用させ、より良い津波被害への対策の提案につながることを期待している。

9. 謝辞

今回研究を行うにあたり、多くの先生方や金沢大学の榎田真也准教授、大阪工業大学の東良慶准教授に多くのアドバイスをしていただきました。感謝申し上げます。

10. 参考文献

[1] 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専成瀬元(2013).「津波が引き起こす深海の流れ」
<http://www.eps.sci.kyotou.ac.jp/research/advance/05/index.htm>

[2] (株)フォーラムエイト.「12回 津波を知る」
http://srmbcp.com/lecture01/images/20120704135730_1.pdf

[3] 安部深月他(2017).「津波と海底地形の関係」石川県立金沢泉丘高等学校
AIプロジェクト論文集 31～34