

## 津波被害を軽減させる海底構造物の形状

石川県立金沢泉丘高等学校理数科

木南 幸帆 森 遥香 油片 愛翔 榎本 倫太郎 小林 憲輔

### 要旨

海底に構造物を置くことで津波のエネルギーが減衰するという先行研究をもとに、この津波の性質を最大限に活用でき、かつ海中の生態系への影響が最も少ない構造物を理想として、最適な構造物の形状を研究した。その結果、ダブルシリンダー型の構造物が生態系への影響が少なく、減衰効率も良いと結論付けた。さらに、構造物の大きさを変えて実験を行ったところ、ダブルシリンダー型の構造物では、構造物を小さくした場合においても、同等以上の減衰効率を持つことを発見した。

### 1. 研究背景・目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、死者が19,630名、行方不明者が2,569名という甚大な被害が発生した。これは、地震に関連した死者数の約九割を占めている。今後30年以内に発生する確率が70~80%とされている南海トラフ巨大地震においても、津波により多大な被害が出ると予測されている。これらの津波被害を減衰させる方法として堤防の建設などが存在するが、我々は海底に構造物を置くという方法に注目した。これは先行研究においても多く研究されている方法であり、海底構造物の設置はある程度の効果が見込めるとわかっている。しかし、それらの先行研究ではすべて、構造物を設置することで平常時も海流をせき止めてしまい、海底生態系への影響を及ぼすことが懸念される。そこで我々は、平常時の海流をせき止めないこと、また津波を効率よく減衰させることの二つを満たす構造物を理想とした新たな海底構造物を提案することを目的として研究を行った。

### 2. 研究手法

#### 2-1. 使用した実験装置

昨年度の AI 課題研究<sup>[1]</sup>において使用した擬似津波発生装置(図1)を引き続き使用した。津波を発生させるときに用いる力は撃力でなければならない。ここで我々が用いることができる方法のうち、撃力を与えることができるのは手を用いてプレートを持ち上げる方法のみであるため、プレートを引き上げて津波を発生させる方法をとった。このモデルの津波発生機構は実際の津波と酷似しているため、発生した擬似津波は実際の津波と同様の内部構造をもっているとして、以下の実験を行った。

(図1) 擬似津波発生装置



## 2-2. 実験方法

次の手順に沿って実験を行った。

- i. 実験装置の底面に構造物を設置し、実験装置のプレートを引き上げることで津波を発生させる
- ii. 構造物通過前後の波を動画で撮影する
- iii. 動画から波高を求める。ここでの波高の基準面は静水時の水面とし、波高を測定するとき、津波の最高部と基準面との差をとる。
- iv. 構造物通過前後の波高の変化が有意であるかを検証するため T 検定を用いて解析する (有意水準 5%)
- v. ivにおいて帰無仮説が棄却された場合、波高の変化から後述の式に基づいて津波の減衰率を計算し、最大値・最小値を除いた平均値をとる。これはこの実験の誤差の大きさを考慮した為である。

また、この研究中のすべての実験において、帰無仮説は棄却されている。

## 2-3. 使用した構造物

3D プリンターで出力した ABS 樹脂製の構造物を用いて実験を行った。ABS 樹脂は水に浮くためガムテープや細い針金を用いて実験装置底面に固定した。また、これらの構造物は波に当たる表面積をそろえて制作した。

## 2-4. 津波の減衰率の定義

手動でプレートを持ち上げる方法を用いると、同じ条件下の実験を続けることが非常に困難である。そこで、構造物により津波がある一定の割合減衰したと仮定し、その割合を減衰率として、(式1)のように定義した。

津波の減衰率を求める式

$$R = \frac{b-a}{b} \times 100 \dots (式1)$$

$R$  = (減衰率)

$b$  = (構造物通過前の津波の波高)

$a$  = (構造物通過後の津波の波高)

$a$  と  $b$  は下の図に示す長さである。



## 3. 仮説

(仮説1) 海底に設置する構造物の構造により津波の減衰率が変化する。

(仮説2) 海底に渦を多く発生させる構造物ほど減衰率が大きい。

## 4. 先行研究から分かっていること

先行研究<sup>[1]</sup>より、以下のことが分かっている。

- 津波が通過した瞬間、津波の進行方向とは逆向きに海底流が発生していること
- 構造物を海底に設置することで津波のエネルギーを小さくすることが可能であること
- 構造物通過前後では津波の速さは変わっていないこと
- 津波が構造物を通過した瞬間に構造物の周りに渦が発生していること

## 5. 実験 I. 構造物の構造と減衰率について

### 5-1. 目的

構造物による津波減衰の程度を調べ、適当な形状を見つける

### 5-2. 使用した構造物

図2に示す構造物を使用した。

選出理由の番号は次の通り。

- ① できる限り簡単な形であること
- ② 津波通過時、構造物周辺にできる限り多くの渦を発生させること
- ③ 平常時の海流をせき止めない形状であること

(図2) 使用した構造物



立方体型の構造物



四角錐型の構造物



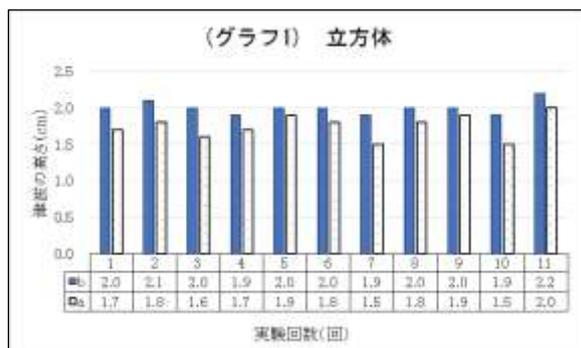
ダブルシリンダー型の構造物  
(内部が中空となっている)

構造物の形状と選出理由

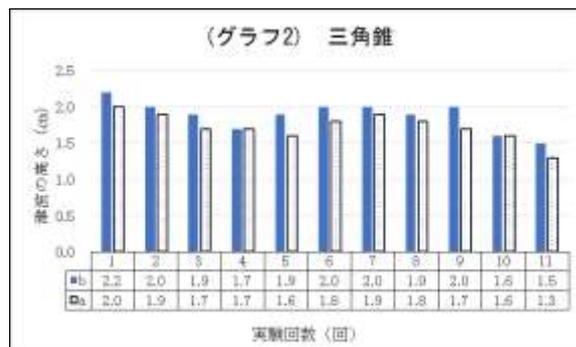
	①	②	③
立方体	○		
三角錐	○		
ダブルシリンダー	○	○	○

### 5-3. 結果

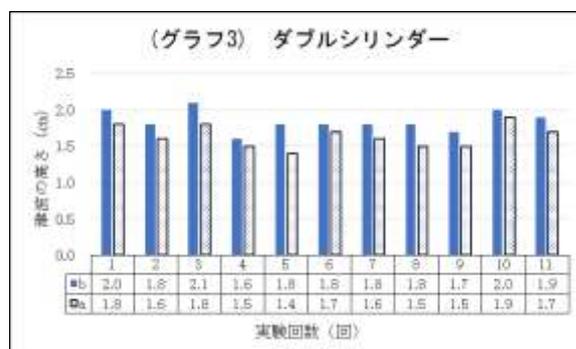
結果は以下の通りである。



立方体型の構造物では、すべての実験回において津波の減衰がみられ、平均減衰率は $\bar{R} = 12.8\%$ となった。



三角錐型の構造物では、4回目と10回目を除いてすべての実験回において津波の減衰がみられ平均減衰率は $\bar{R} = 8.1\%$ となった。



ダブルシリンダー型の構造物では、すべての実験回において津波の減衰がみられ、平均減衰率は $\bar{R} = 10.8\%$ となった。

結果をまとめると以下ようになる。

各構造物での平均減衰率と標準偏差

	立方体	四角錐	ダブルシリンダー
平均減衰率 (%)	12.8	8.1	10.8
標準偏差	5.7	5.2	4.8

### 5-4. 考察

実験より、立方体型の構造物が最も効率よく津波を減衰したと考えられる。しかし、我々はダブルシリンダー型の構造物に注目した。ダブルシリンダー型の構造物は、内部に穴が開いており、波が通り抜ける構造になっている。津波の減衰率は、立方体型の構造物のほうが2%程度優位であるが、それは、10mの津波に対して20cmという差であり、堤防の高さで防ぐことができる考えた。また、ダブルシリンダー型

の構造物の標準偏差は三つの構造物の中で最も小さく、実験に伴う誤差が最も小さい。つまり、立方体型の構造物や三角錐型の構造物と比べて、ダブルシリンダー型の構造物は確実に津波を減衰させることができる形状であると考えた。ここで、なぜダブルシリンダーは立方体と同じ程度津波を減衰させることができたかについて検討が必要である。そこで、我々は次の3つの原因を考えた。1つ目はダブルシリンダーの内部にできた流れが津波の減衰に影響を与えたこと、2つ目はダブルシリンダーの外部に渦が多くできたこと、3つ目は円柱を二つ接続しているというダブルシリンダーの構造が津波の減衰に影響を与えたことである。これらの原因を検証するため、後の実験Ⅱ、Ⅲを行った。

## 6. 実験Ⅱ. 構造物の内部の流れを調べる

### 6-1. 目的

ダブルシリンダー型構造物の内部の流れを調べること。

### 6-2. 実験方法

構造物内にポリエチレン製のカラーテープを細かく切って入れ、津波を発生させることで、間接的に構造物を津波が通過した瞬間の水流を観察する。

### 6-3. 結果

構造物からカラーテープは出てこなかった。ただし、構造物内に津波の内部構造である乱流とは異なる、層流を作ったところ、構造物からカラーテープが出てきた。

### 6-4. 考察

乱流を発生させたときには、構造物内に流れが確認されなかったといえる。ただし、層流では流れが確認されたことから、ダブルシリンダー型の構造物は、乱流をせき止め、層流をせき

止めない構造物であると考えられる。実験を通して、ダブルシリンダー型の構造物は海底への生態系への影響という観点や、津波を効率よく減衰させるという観点において好ましい構造物であるといえる。ただし、問題もある。水深に対して構造物が大きすぎることである。この問題に対する解決策の一つとして、ダブルシリンダーについて大きさを小さくしてもう一度実験を行った。

## 7. 実験Ⅲ 構造物の接続によって及ぼされる影響を調べる

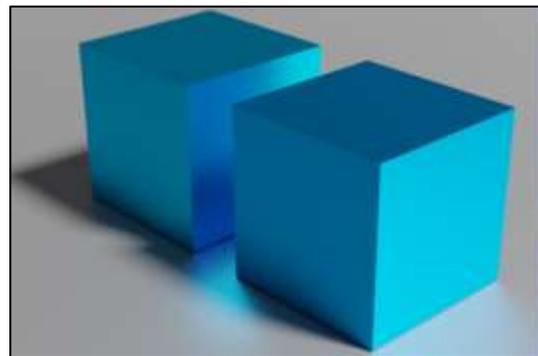
### 7-1. 目的

構造物を二つ並列接続したときの、津波の減衰に与える影響を調べる

### 7-2. 使用した構造物と条件

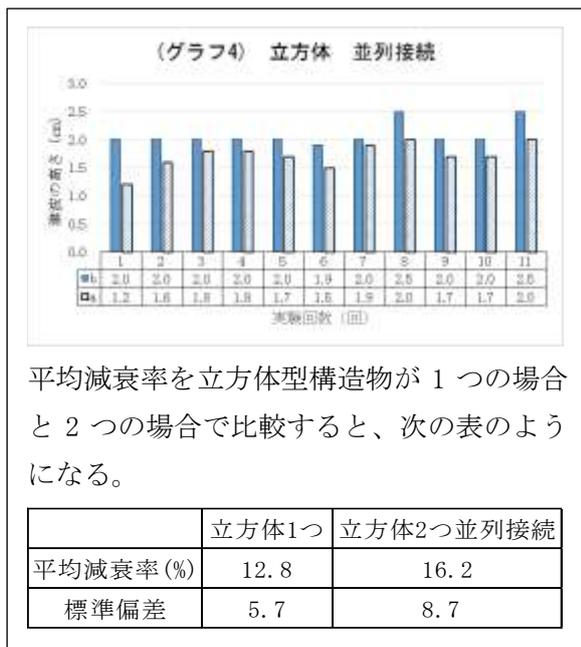
同じ大きさの立方体二つを並列に接続するように配置した。また、二つの立方体同士の間隔は1.0cmとした。(図3)

(図3) 並列接続



### 7-3. 結果

結果は以下の通りである。



#### 7-4. 考察

実験より、構造物を二つ並列につなげた場合、構造物を一つ用いた場合に比べて、減衰率は大きくなることが示された。

### 8. 実験Ⅳ ダブルシリンダーの大きさを小さくする

#### 8-1. 目的

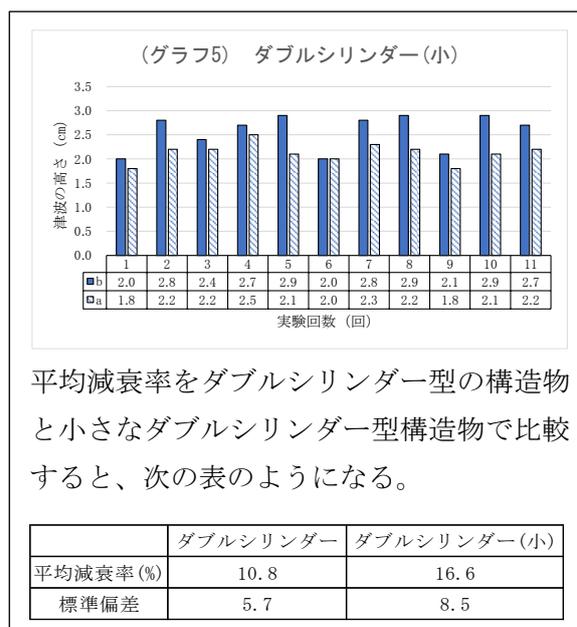
構造物の大きさを小さくした時の減衰率を調べる。

#### 8-2. 使用した構造物

小さいダブルシリンダーを用いた。ダブルシリンダーと比べて、相似比が1:2である。

#### 8-3. 結果

結果は以下の通りである。



#### 8-4. 考察

実験より、ダブルシリンダーは小さいもののほうが効率よく津波を減衰しているといえる。ここで、なぜ小さいダブルシリンダーのほうが減衰率の値が大きくなったのか議論する。我々は、次の理由を考えた。1つは小さい構造物を用いることによって、海底流に影響する表面積・体積が増加したため、2つ目は小さい構造物では渦同士の距離が近くなり渦の影響が大きくなったためである。

### 9. 結論と今後の課題

以上の実験から、津波を減衰させること、海底の生態系への影響を抑えること、という二つの観点から見ると、構造物外の水流をまだ調べられていないとはいっても、海底に設置する構造物の形状はダブルシリンダー型の構造物が最適であるといえる。その理由として、ダブルシリンダー型の構造物が乱流をせき止める構造をしていることなどが考えられる。また、実験Ⅲ、Ⅳより、構造物を小さくしたときにおいても、構造物は津波の減衰効果を持つことが示された。そこで、海底にダブルシリンダー型の構造物を設置することで、効率よく津波を減衰させることができると考えられる。しかし、課

題もある。現在のところ、構造物の大きさは水深の半分ほどもあり、実際に設置することを想定すると、構造物の大きさは50mほどの大きさになってしまい、大きすぎる。また、最も効率よく津波を減衰するダブルシリンダーの二つの円筒の大きさの比を求めることも必要である。さらに、実験Ⅲについては、構造物間の距離についてもさらに調べるべきである。そこで、実用化を考えると、今後、構造物を二つ以上並べて設置した場合にどのような相互作用が起きるのか調べなければならない。最適な距離をおき構造物を設置することで、津波が堤防で防ぎきれず、多数の死者が出る、という状況がある程度防ぐことができるといえる。

## 10. 謝辞

研究を進めるにあたり、本校の井川健太教諭、道下一哉教諭、北陸先端科学技術大学の小田和司助教をはじめ、多くの方々にアドバイスをいただきました。感謝申し上げます。

## 11. 参考文献

- [1] 小田 沙也加 近藤 泰生 竹内 壮志 津田 丞太郎 日比野 雅俊(2019).「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  
AI プロジェクト論文集
- [2] 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 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.html>
- [3] (株)フォーラムエイト.「12回 津波を知る」  
[https://www.srmbcp.com/lecture01/images/20120704135730\\_1.pdf](https://www.srmbcp.com/lecture01/images/20120704135730_1.pdf)