

# 双胴型防波堤による津波被害軽減

平野 ひなた 元平 蓮  
HIRANO Hinata MOTOHIRA Ren

## 1. 要旨・概要

津波の波高を減少させる「双胴型防波堤」の水槽実験を行い、津波被害軽減に役立てたいというのが研究の動機である。私たちは双胴型防波堤として底面がひし形の四角柱を模型として作成し、防波堤間の隙間に面している角度と、防波堤の間隔に注目して実験を行った。角度は正三角形となる 60 度が最適である、防波堤の間隔は広いより狭いほうが波高を減衰できるという仮説を立て、双胴型防波堤の模型を自作し、その模型の角度や間隔による波高の変化を調べた。手動で波を起こし、模型通過前の波高によって場合分けをし、減衰率を比較した。その結果、予想と反して 45 度付近に最適な角度があると分かった。防波堤の間隔は広いより狭いほうが良いが、双胴型防波堤の原理を効果的に示したのは防波堤の間隔が 3.0cm 付近であることが分かった。また、防波堤通過前の波高の大小によらず、防波堤通過後の波高はほぼ同じくらいの大きさまで減衰し、どのような波高の波でも有効であることが分かった。そこから津波や高波のような大きな波ほど効果が大きくなると考えた。

## 2. 問題提起・研究目的

日本は 4 枚のプレートによってできた島国であり、地震が多くそれに伴い津波被害が心配されている。実際に東北地方太平洋沖地震のように、津波によって大きな被害を出している。そこで、双胴型防波堤が実用化されることで津波被害軽減に貢献したいと思った。

奥村 (2014) の研究“波の干渉により津波を消散させる「双胴型」防波堤の設計開発と数値モデルの構築“では数値シミュレーションにおける実験で波高の減少が確認されている。

そこで、自作した双胴型防波堤の模型の角度や間隔を変えて、実際に水槽実験を行い波高の変化を調べることで最適な角度や間隔を明らかにすることを目的とした。

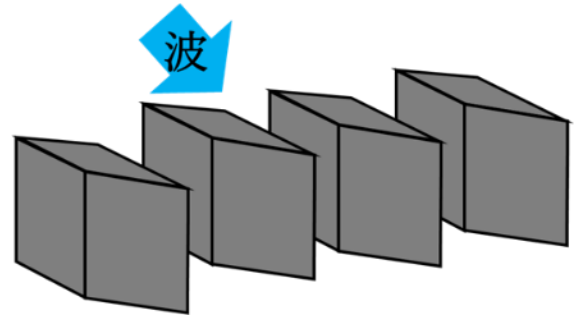


図1 双胴型防波堤の配置

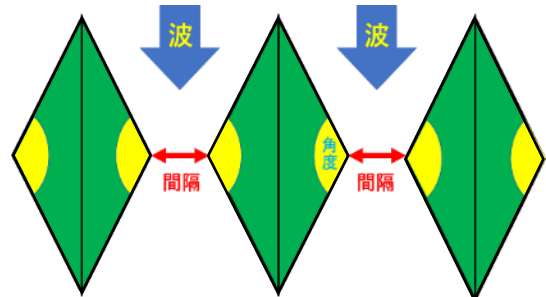


図2 双胴型防波堤を上から見た様子

## 3. 先行研究

### 【双胴型防波堤の原理】

双胴型防波堤はヨットなどに見られる双胴船 (カタマラン) から考案された形状の防波堤であり、現在多く見られる波を止める防波堤ではなく、波高を小さくすることを目的とした防波堤である。

沖合から進んできた波が防波堤前部にあって反射し、防波堤間の狭い空間を進みながら防波堤の中央に集まり干渉によって大きな波高を持った波になる。波高が大きくなった波が防波堤の中央を通過した後、一気に広い空間に波が落ち込むことで逆位相の波が発生する。発生した逆位相の波と進んできた波が干渉し相殺することで、防波堤通過後に波が小さくなる (図3)。

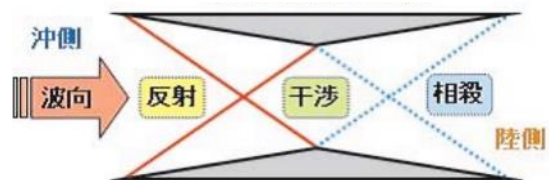


図3 双胴型防波堤を上から見た様子  
奥村 (2011) より抜粋

楠瀬の研究では複葉翼の中心で圧力が大きくなり、通過後小さくなるのが分かっている(図4)。双胴型防波堤も同じ原理を用いて防波堤の中心で波高が大きくなり、通過後小さくなる。

【双胴型防波堤の利点】

- ・防波堤間が空いていることで海水の循環効率が高い
- ・従来の防波堤の肥大化による景観被害の軽減
- ・高波にも対応可能

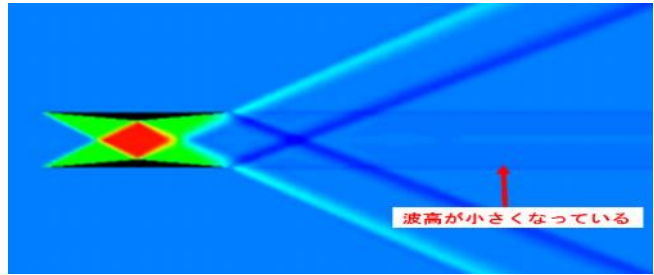


図4 複葉翼内の圧力  
楠瀬“超音速複葉翼論”より抜粋  
圧力が大きい順に赤、黄、緑、青、濃い青

4. 実験方法

【予備実験】

目的 超音波距離センサを用いて波高の変化を計測することができるかを確認する。

- 準備物
- ・超音波距離センサ (MOTION SENSOR PASport)
  - ・パソコン(使用ソフト: PASCO capstone)
  - ・インターフェース (PASCO UNIVERSAL550 INTERFACE)
  - ・水槽 (90 cm×15 cm×15 cm)

\*超音波距離センサ, アプリ, インターフェースは本実験でも同じものを使用する

方法 水槽に5.0 cm水を入れ、波を発生させる。発生した波高の変位をセンサで計測する。

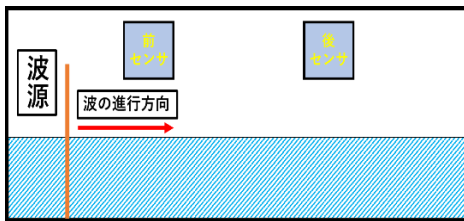


図5 装置の設置 横からの様子

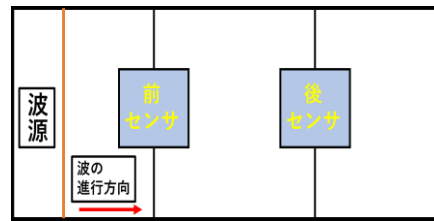


図6 装置の設置 上からの様子

結果 センサはうまく反応しなかった。

考察 水面は常に不規則に変化し続けているため、センサがうまく反応しなかったと考えた。水面が常に平面となる状況を作ることができればセンサが反応すると考えた。

対策 水面に発砲スチロールの小球(直径 6.5 mm)を敷き詰めた。

結果 水面に小球を敷き詰めたことによって水面に平面ができたかのような状況を作り出すことができた。これによって、センサが反応することができるようになった。

よって、本実験では実験時に水面に発砲スチロールの小球(直径 6.5mm)を敷き詰めることとする。

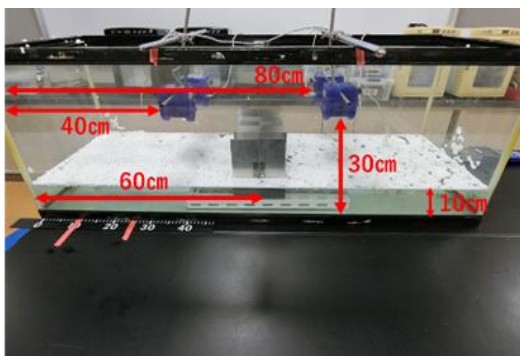


写真1 装置の設置 横からの様子

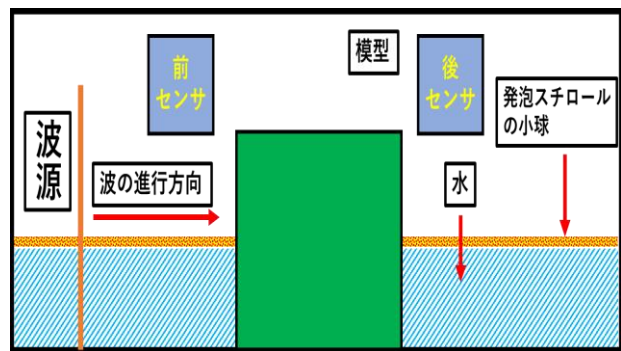


図7 装置の設置 横からの様子

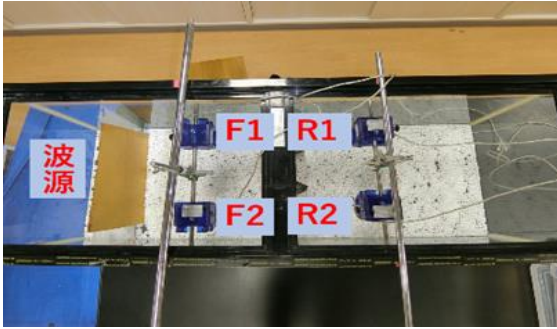


写真2 装置の設置 上からの様子

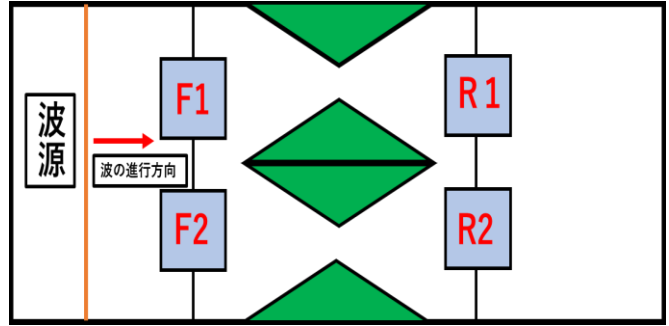


図8 装置の設置 上からの様子

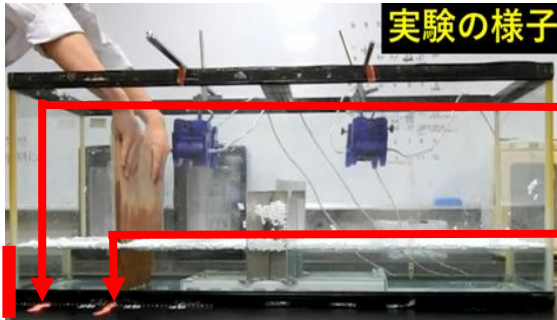


写真3 波の発生方法 平板を引く前

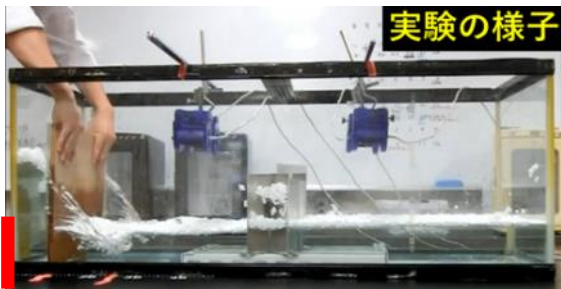


写真4 波の発生方法 平板を引く最中

原点から 10 cm

原点から 25 cm

は原点 (0 cm) の位置を表している

原点から 25cm の位置から 10cm の位置までの 15cm 平板を引いて波を発生させる。

### 【模型について】

模型はアルミ板 (厚さ 1.0mm) を用いて作成した。本実験では水に沈み、加工がしやすいということを条件としていたのでアルミニウムが最適であると考えた。2枚のアルミ板を蝶番を用いてつないだ。これによって自由に角度を変えることができる。

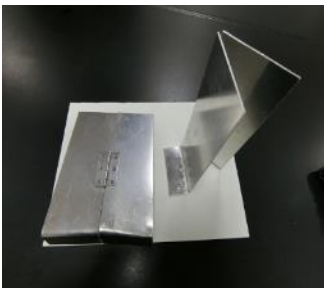


写真5 模型

### 【模型の大きさ】 (写真5)

縦 20 cm, 横 7.0 cm

模型の縦の大きさは実験を行ったときに模型を波が越えることがない高さを確認してから作成した。

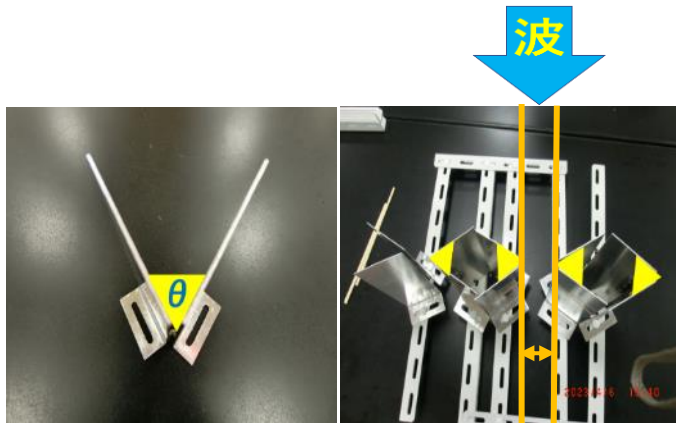


写真6 模型の角度

写真7 設置の様子

2枚のアルミ板を蝶番でつないだ場所を本実験での角度とした(写真6)。

実験を行う場合は写真のように配置する(写真7)。実験では波が写真上部で発生し、実験で変える角度は三角形の部分となる。↔は模型間を示している。下部の穴からねじで土台に固定する。

### 【本実験】

#### 準備物

- ・水槽 (120 cm×44 cm×45 cm)
- ・インターフェース
- ・発泡スチロールの小球 (直径 6.5mm)
- ・パソコン (アプリ)
- ・超音波距離センサ
- ・模型

水槽 (120 cm×44 cm×45 cm) に水深が 10 cm になるように水を入れる。水槽の端から 40 cm に前センサ, 80 cm に後ろセンサをそれぞれ高さ 30 cm の位置に置く。水槽の中央の位置に模型を置く (写真 1, 図 7)。水槽の端から 25 cm の位置に平板を入れ, 15 cm 手前に引き, 波を発生させる (写真 3, 4)。模型前 (F) 後 (R) のセンサ (F1,R1,F2,R2) で波の変位を計測する (写真 2, 図 8)。1 番初めに通過する波を計測する。各実験で 100 回実験を行う。センサ 2 セットを用いるため 1 つの実験で 200 個のデータを得られる。防波堤通過前と後の波高の差, 減衰率を求める。

### 【実験 1】

**目的** 模型を用いての水槽実験において, どの角度のとき最も波高を減少させることができるのかを調べる。

**方法** 間隔 3.0 cm に固定し, 模型の角度は 0 度, 30 度, 45 度, 60 度, 75 度, 120 度の時の波高の減衰率を調べた。0 度は比較のため実験を行った。

### 【実験 2】

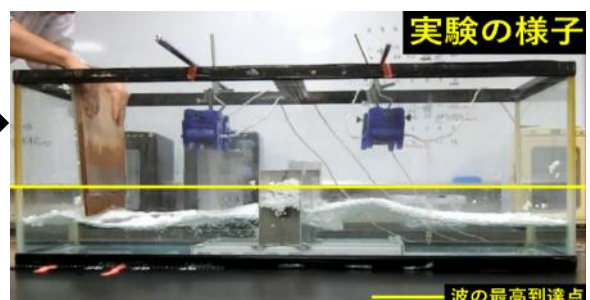
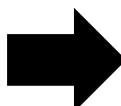
**目的** 模型を用いての水槽実験において, どの模型間の間隔で最も波高を減少させることができるかを調べる。

**方法** 模型の角度を 45 度に固定し, 模型間の間隔を 1.5cm, 3.0 cm, 4.5 cm, 6.0 cm, 7.5 cm, 9.0 cm の時の波高の減衰率を調べる。

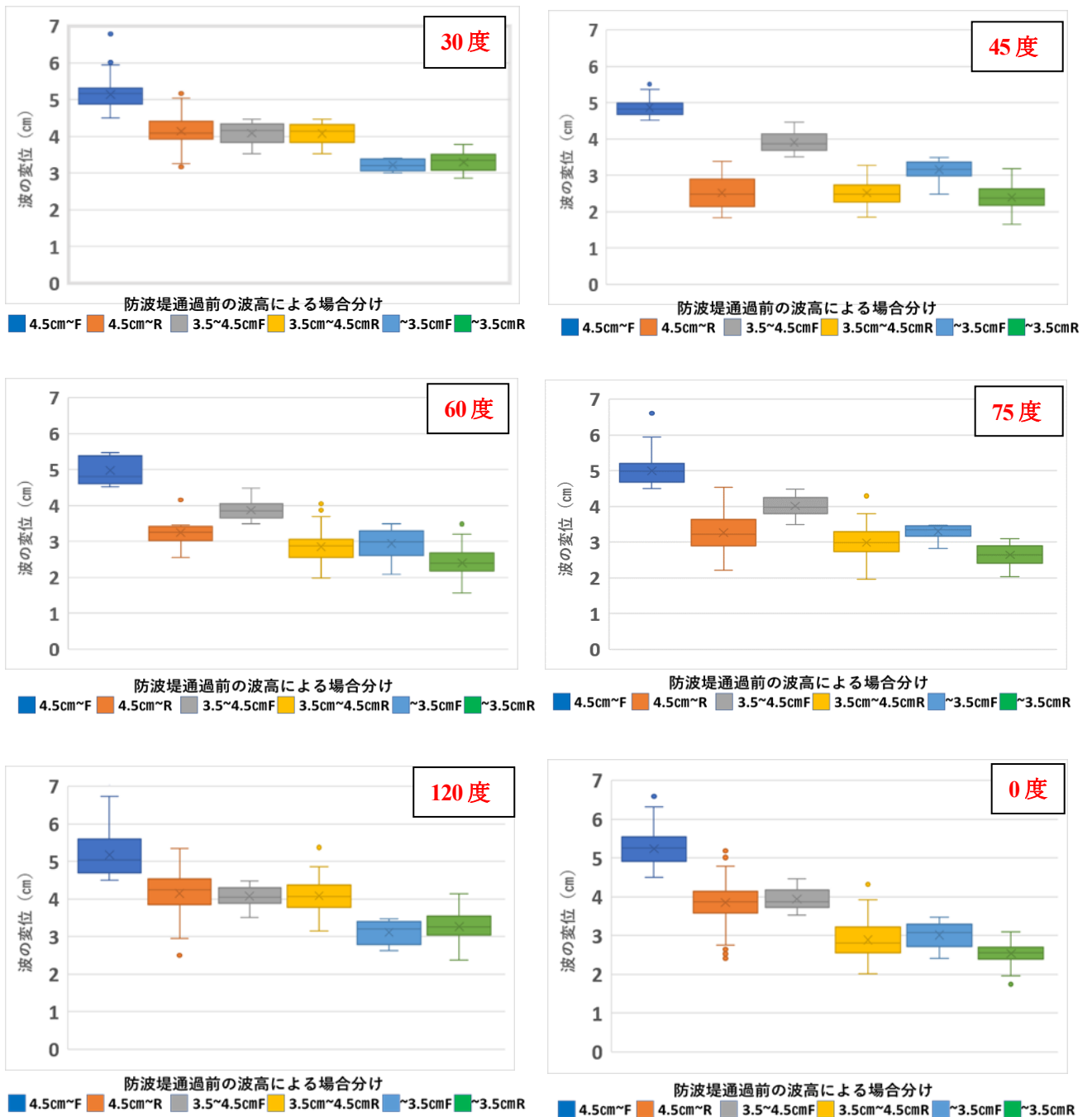
## 5. 結果・考察

### 【実験 1】

#### 結果



防波堤通過前後の波高の変化の箱ひげ図



手動で波を発生させたため、発生した波の波高に差があったので、防波堤通過前の波の波高 4.5cm 以上、3.5cm 以上 4.5cm 未満、3.5cm 未満の 3 つの場合に分けデータ処理をした。ほとんどの場合で防波堤通過後、波高が減少することが確認できた。特に、45 度においては防波堤通過前の波高によらず、防波堤通過後の波高はほぼ一定となった。

すべての条件から求めた平均減衰率を比較した(図 9)。点線は 0 度の減衰率を表しており、点線より減衰率が大きくなっている値が双胴型防波堤として効果があるといえる。どの波高においても 45 度が最も減衰率が大きくなっている。

- 点線は0度の減衰率
- 3.5cm 未満
- 3.5cm 以上4.5cm 未満
- 4.5cm 以上

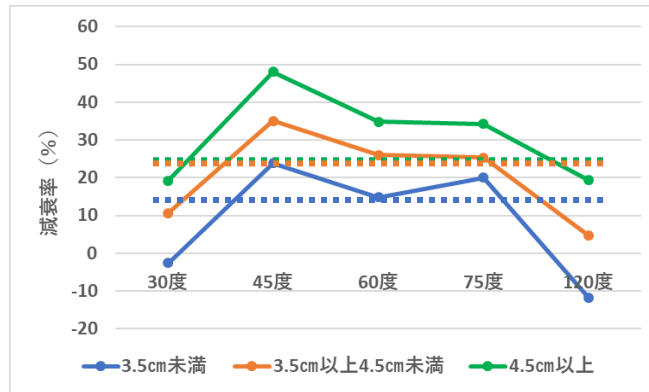


図9 各角度の平均減衰率

### 考察

以上の結果から30度、60度の結果よりも減衰率が大きくなった45度付近に最適な角度があり、双胴型防波堤は波高が大きくなるほど減衰率が大きくなることが分かった。

#### 【30度の減衰率が小さくなる理由】

0度は向ってきた波が反射しするだけなので防波堤の中心で干渉が起こり、波高が大きくなることはないため、逆位相の波が発生しないから波高は減少されることはない。そこから、角度が0度に近づいていくほど干渉が起こりづらくなり、30度ではほとんど干渉が起きず、波高を減少させることができない。

#### 【大きい角度の減衰率が小さくなった理由】

リアス式海岸に水が流れ込むように狭い場所に一気に水が流れ込んだことによって急に波高が大きくなり過ぎ、逆位相の波が発生して干渉が起こっても波高を減少しきることができずに元の波高よりも大きな波高をもった波が防波堤を通過するからだと考えた。

#### 【実験2】

### 結果

模型の間隔ごとの平均減衰率をグラフにした(図10)。1.5cmで最も減衰率が大きくなり、模型の間隔が狭くなるほど減衰率は大きくなるという結果となった。

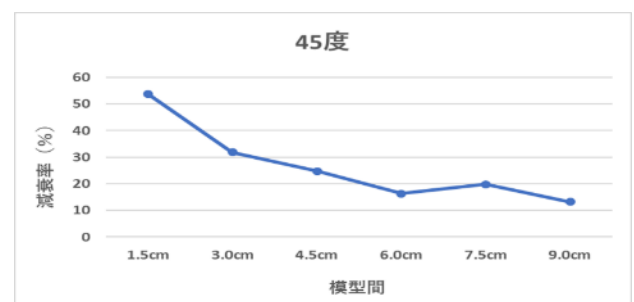


図10 各模型間隔の平均減衰率

### 考察

これでは間隔0cmの普通の防波堤に近づいているように思えたので実験の映像を用いてさらに考察をすすめた。本実験では小球を用いたため、小球が水中に沈みこむ現象から逆位相の波の発生を確認した。映像を比較すると3.0cmでは逆位相の波を観測することができたが、1.5cmや7.5cmなどでは逆位相の波を観測することができなかった。ここから、1.5cmの減衰率が大きくなったのは、干渉よりも模型にせき止められた効果のほうが大きいと分かった。これは双胴型防波堤の趣旨に合わないため、模型間3.0cm付近に最適な間隔が存在すると判断した。また、模型間が大きくなると干渉に必要な逆位相の波が発生しづらくなっていることも分かった。

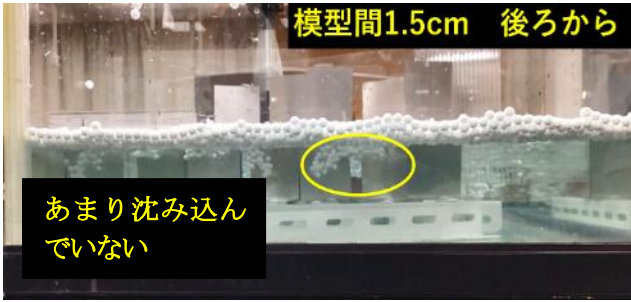


写真8 模型通過後の小球の沈み込みの様子  
逆位相の波があまり発生していない

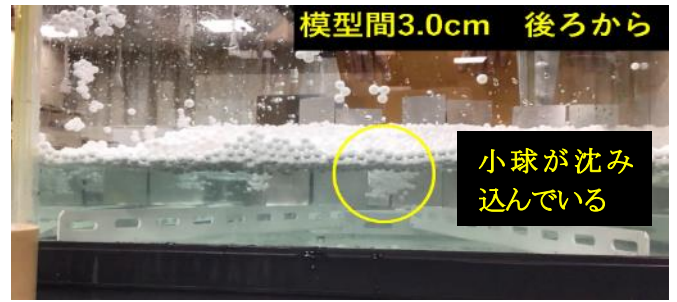


写真9 模型通過後の小球の沈み込みの様子  
逆位相の波が発生している

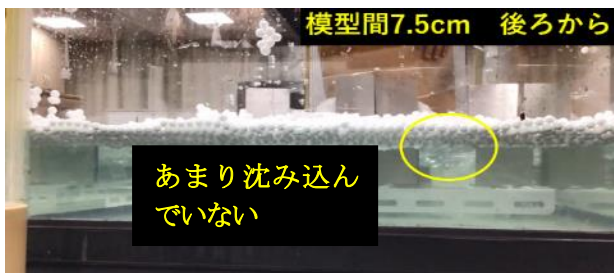


写真10 模型通過後の小球の沈み込みの様子  
逆位相の波があまり発生していない

## 6. 結論

双胴型防波堤には波高を減少させる効果がある。そして、45度付近に最適な角度、模型の間隔3.0cm付近に最適な間隔がある。そこから、実用化に向けた実際の大きさを考えた。

双胴型防波堤は従来の防波堤とは異なり波の威力を弱めることを目的としているため従来の防波堤との併用が可能と考えているので従来の防波堤よりも沖合に設置することを考えている。

水深50mでの使用を想定すると(図11)

(高知県での使用を考えており、水深50mは陸から約5km地点である)

高さ	60m
横	9.0m
防波堤間	4.0m
角度	45度

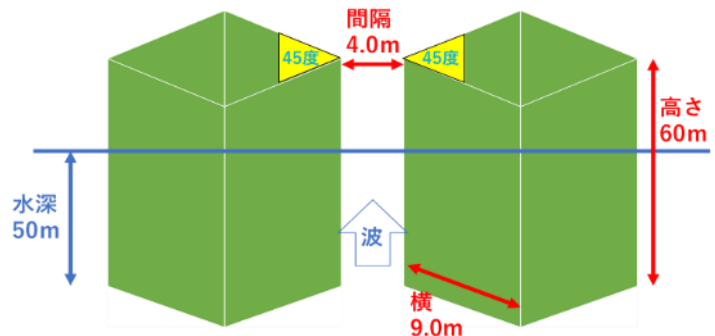


図11 水深50mを想定した実際の大きさ

今回の実験での模型通過前の波高は平均すると4.09cmだったので、4.0cmと考えた。水深50m地点での津波の波高は5.0m、時速80kmとされている。そこで、実際に使用する場合は125倍すればよいと考えた。よって、防波堤間は4.0m、横は9.0mとした。防波堤の高さは波が防波堤を越えなければよいので水面から10m飛び出した60mあれば十分だと考えた。また、高さが60mある防波堤を作ることができるのかを調べた。宮城県にある釜石港湾防波堤が世界最大水深の63mであるとされているので実用化することは可能だと考えた。

## 7. 今後の課題

今回の実験で得られた結果から、模型間 3.0cm 付近が最適であると分かったため、さらに細かく実験を行う。波長を変えて実験を行う。発生させた波が防波堤をこえた場合の実験を行う。模型の角度・間隔は一定にし、波が流れ込む幅を変えて実験を行う(図 12)。

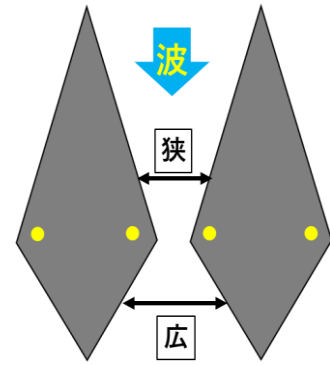


図 12 波が流れ込む幅を変えた模型

## 8. 参考文献

奥村弘.“高精度津波予測と干渉によって 津波を消散させる防波堤”科学研究費助成事業研究成果報告書.2011

[https://shingi.jst.go.jp/pdf/2011/a-step\\_0905.pdf](https://shingi.jst.go.jp/pdf/2011/a-step_0905.pdf),(参照 2022-07)

奥村弘. “反射と透過により津波の破壊力を低減させる次世代防波堤の提案”科学研究費助成事業研究成果報告書.

[https://www.itc.u-toyama.ac.jp/kouhou/2012/ITC2012\\_39-40.pdf](https://www.itc.u-toyama.ac.jp/kouhou/2012/ITC2012_39-40.pdf),(参照 2022-07)

楠瀬一洋.“超音速複葉翼論”

<https://www.ifs.tohoku.ac.jp/edge/superbiplane/SupersonicBiplane.htm>,(参照 2023-07)