

# 防波堤の形状における波高減少効果

永尾拓都 向井伸吾 吉田裕哉 吉田陸矢 竹田晴香

## 【概要】

東日本大震災により発生した津波で、世界最大級であった釜石津波防波堤が破壊された。そこで、津波に破壊されずに波高を減少させる防波堤を研究することとし、そのためには波を通りさせながら波高を減少させればよいと考えた。この研究では防波堤の角度・形状を変化させたときの防波堤前後での波高を計測した。結果、角度を変化させた実験①では、 $\theta = 45^\circ$ （最初に波が当たる角の角度）のとき最高の約4割の波高を、防波堤の形状を変化させた実験では「ひし形」のとき最高の約5割の波高を減少させることができた。これらの実験結果から私たちは既存の防波堤とは異なる新しい仕組みの防波堤の開発に成功し、その防波堤は「ひし形」で $\theta = 45^\circ$ のとき最も効率よく波を通り抜けさせながら波高を減少させることが分かった。

The tsunami of Great East Japan earthquake destroyed the Kamaishi Tsunami breakwater which was proud of the deepest depth of water. So we decided to research breakwater which can effectively reduce the tsunami height without being destroyed. To do so, we decided to make a breakwater which can do it while making waves go through between breakwaters. As a result, in the experiment① changed its angle (used diamond shape one), when using  $\theta = 45^\circ$  one (the angle which waves hit at first), we could reduce two fifth as less as original height. In experiment② changed its shape, we could reduce half as less as original height when using diamond shape one.

From these result, we found the breakwater that we could reduce wave height the most efficiently while making waves go through between their

## 2 研究の動機・目的

東日本大震災で当時世界最深であった釜石津波防波堤が破壊されたので、津波に破壊されずに波高を減少させる防波堤を作ることにはできないのかと思ったのがこの研究の動機である。

この研究では、「①角度変化による双胴型防波堤の波高減少効果を確認する」ことと「②最も波高減少効果が大きい防波堤の形状を調べる」、「③オリジナルの防波堤の提案」をすることを目的とした。①では自作し

た防波堤が双胴型防波堤と同じものになっているのかを調べるために、②では防波堤の角度や形状を変えて最も波高を減少させる防波堤を調べるために、③では双胴型防波堤とは全く異なる作用で波高を減少させるオリジナルの防波堤を作製することを目的とした。またこのオリジナルの防波堤とは、誰もが理解できるように高校物理の範囲で理解できるような簡単な仕組みの防波堤を目標とした。また、先行研究を調べると、波を通り抜けさせながら波高を減少さ

せるというこの研究で理想のイメージに近い「双胴型防波堤」という防波堤の存在を知った。しかし、双胴型防波堤は専門的な計算式や緻密な角度調節の上で成り立っており、対応できる津波に限りのある防波堤であったので、私たちは、どのような波にも対応することができ、波高を減少させる防波堤の製作を目標とした。

### 3. 実験に使用した装置



〈波発生装置〉

水の塊を防波堤にぶつけるというイメージの波を発生させる装置を製作した。

この波発生装置の仕組みは、まず水槽に仕切り板を入れ、片方に水を溜め、仕切り板を仕切り板引き抜き装置で引き抜くことで波を発生させる仕組みになっている。

この仕切り板引き抜き装置は仕切り板と滑車を通じて重りを糸で繋ぎ、重りを落下させ、その力で仕切り板を引き上げるため、一定の力で引き抜くことが可能である。

### 4. 実験方法

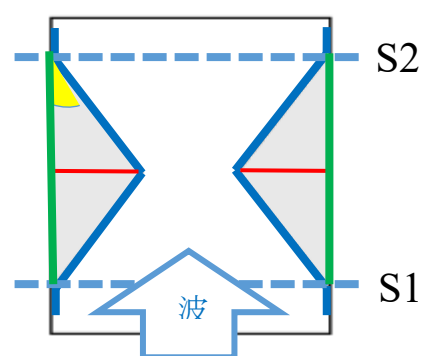
#### [実験の手順]

まず波発生装置で波を発生させ、その波を防波堤の間に通過させ、そのとき防波堤の前後で波高がどのように変化したのかをハイスピードカメラで撮影し、撮影した動画をコマ送りにして波高を計測した。また、1パターンにつきこの手順を5回ずつ行い、その平均値をグラフと表に使用した。

#### [計測方法]

下図は波発生装置を上から見たときの簡

略図である。S1を防波堤の前側での計測地点、S2を防波堤の後ろ側での観測地点とし、S2/S1を波高の減少率とした。また、防波堤どうしの距離(赤線部の長さ)はどちらの実験内でも統一し、防波堤の縦の長さ(緑線部の長さ)は実験2では統一し、実験1では水槽の大きさの関係で統一しなかった。黄色で示している角度は「実験1」で変化させる $\theta$ である。



### 5. 研究の仮説

「角度変化による双胴型防波堤の波高減少効果の変化を調べる実験」を「実験1」、「最も波高減少効果が大きい防波堤の形状を調べる実験」を「実験2」とした。

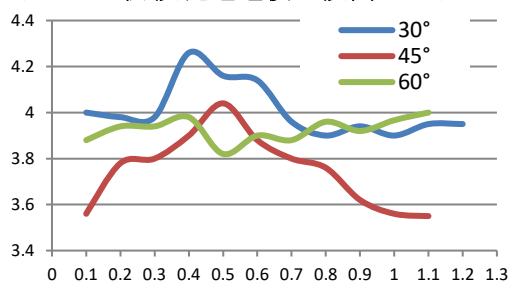
実験1では、防波堤の角度を $\theta = 30^\circ$ 、 $\theta = 45^\circ$ 、 $\theta = 60^\circ$ と変化させた。双胴型防波堤の理想角度が $\theta = 5^\circ$ であるので、 $\theta = 5^\circ$ にもっとも近い $\theta = 30^\circ$ の波高減少効果が最大になると仮説を立てた。実験2では、防波堤の形状をひし型、へこみ型、ふくらみ型と変化させた。実験1でも双胴型防波堤がひし形で製作されていたことから、ひし形の波高減少効果が大きいと仮説を立てた。

### 6. 結果と考察

**実験1：角度変化による双胴型防波堤の波高減少効果の変化を調べる**

〈結果〉

グラフ 1 防波堤通過後の波高のグラフ



縦軸：観測地点における波高の変化(cm)

横軸：時間経過(s)

$\theta = 45^\circ$  の防波堤を使用したときの波高減少効果が最大であることが分かった。

〈考察〉

仮説通りの  $\theta = 30^\circ$  の防波堤が波高減少効果が最大とはならなかったことから自分たちが製作した防波堤は双胴型防波堤とは全く異なる作用で波高を減少させているものだと考えた。

双胴型防波堤ではないことにも関わらず波高を減少させていたので、新しい仕組みの防波堤の作製に成功したと言える。そして新しい仕組みの防波堤が波高を減少させた作用について考察することにした。

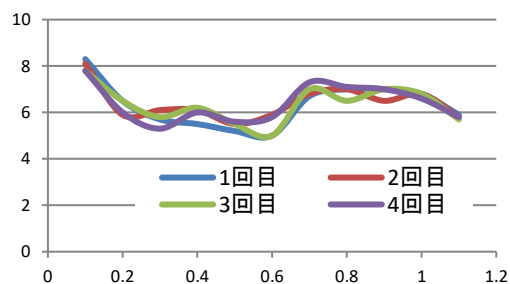
$\theta = 45^\circ$  の防波堤を使用したときのみ、反射した波どうしが正面から衝突しお互いの運動量を減少させることが分かった。

また、実際の津波は防波堤の高さの何倍もの高さがあるため、その場合も考え防波堤を完全に覆う程度の波高の波を発生させ実験を行ったが同様の結果が得られたので、この防波堤は津波の波高にそれほど影響されず波高減少効果を発揮すると考えられる。

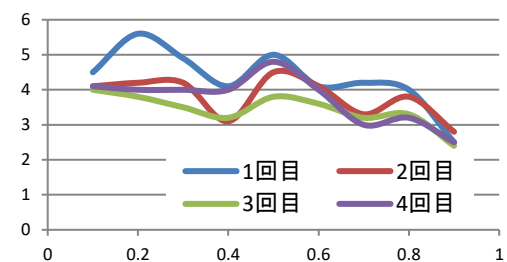
また、グラフ 1 を見て、角度を変化させただけでも関わらず波形が大きく異なっていることから 5 回のデータの平均値のグラフをとったが、5 回のそれぞれの計測で得

られた波形も異なっているのではないかと考え、5 回それぞれの波形をグラフ化した。また、4 回目までしかないグラフは残りの一回の計測値が他の 1 回とは大きくはずれているため除外した。

グラフ 2  $30^\circ$  防波堤前での波形

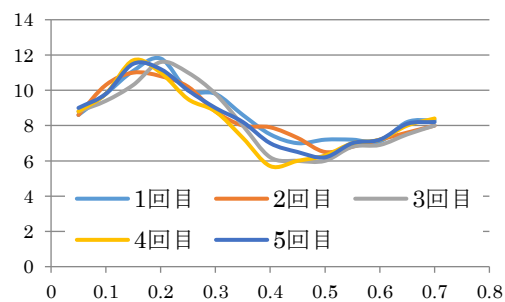


グラフ 3  $30^\circ$  防波堤後ろでの波形

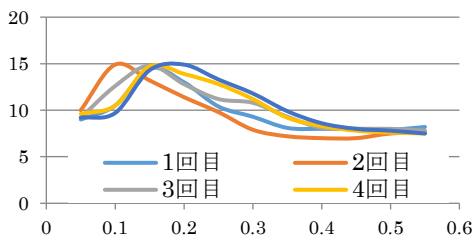


予想通り波形が大きく異なっていることが分かった。よって、正確に測定するために水槽に仕切り板を入れその仕切り板を押すようにして、波を発生させる実験も行った。また、仕切り板引き抜き装置を使用して発生させた波を「荒れ波」、仕切り板を押して発生させた波を「押し波」と呼ぶことにする。そして、押し波で 5 回のそれぞれの計測で得られたのが次のグラフである。

グラフ 4  $\theta = 30^\circ$  防波堤での S1 の波形



グラフ 5  $\theta=30^\circ$ 防波堤での S2 の波形



グラフ 2・グラフ 4 とグラフ 3・グラフ 5 を比較すると、後者のほうが波形が整っていることが分かる。

表 1 荒れ波の各角度での波高減少率

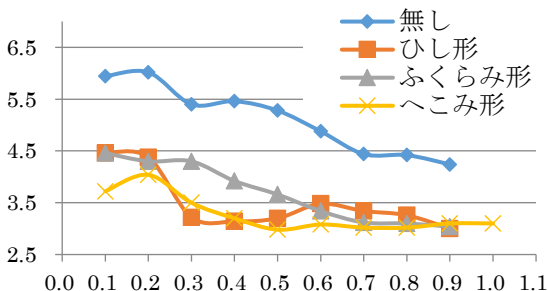
	- 1s	ピーク時	+1s
$\theta=30^\circ$	0.27	0.31	0.30
$\theta=45^\circ$	0.41	0.43	0.37
$\theta=60^\circ$	0.36	0.28	0.31

表 2 押し波の各角度での波高減少率

	ピーク時	+1s	+2s
$\theta=30^\circ$	0.37	0.22	0.15
$\theta=45^\circ$	0.51	0.44	0.38
$\theta=60^\circ$	0.48	0.29	0.27

表 1, 表 2 より「荒れ波」と「押し波」の両方で  $\theta=45^\circ$  の防波堤が最も波高減少率が大きくなったことが分かる。

実験 2 : 形状変化による双胴型防波堤の波高減少効果の変化を調べる



グラフ 6 各形状での S2 の波高

縦軸 : 観測地点における波高の変化(cm)

横軸 : 時間経過(s)

グラフ 6 は荒れ波での防波堤前後の波高を示したグラフである。グラフ 6 により「ふ

くらみ形」に比べて「ひし形」「へこみ形」の波高減少効果が大きいことが分かる。しかし、「へこみ形」と「ひし形」を比較したとき、どちらの形状の方がより波高減少効果が大きいかが明確ではない。そこで、S1 地点で波高がピークとなった時点(0.3s, 0.4s)の波高減少率を比較してみることにした。それが次の表である。

表 3 ひし形とへこみ形の波高減少率

	0.3 秒後	0.4 秒後
ひし形	0.55	0.53
へこみ形	0.44	0.50

表 3 から「ひし形」のほうが「へこみ形」の方が波高減少率が高いことが分かった。よって「ひし形」の波高減少効果をもっとも大きいことが分かった。

波高減少効果についてはよく似た傾向を示しているが、表 3 によって「ひし形」の方が波高減少効果が大きく波高減少に適していることがわかった。

6. 結論

これらの実験から、波の衝突によって波高を減少させる防波堤の製作に成功した。またその防波堤は  $\theta=45^\circ$  が最も効果的であった。さらに、この防波堤はきれいな波の押し波でも実験したときも水の塊のようなイメージの荒れ波でもほぼ同様の効果が得られた。

7. 参考文献

奥村 弘 (2011) 『津波の破壊力を消散させる未来型防波堤「双胴型防波堤」の提案』 <http://www.nagare.or.jp/download/noauth.html?d=30-6tokushu7.pdf&dir=99>.  
物理基礎 文部省検定済み教科書 数研出版