

## EVFセミナー 自動式巨大津波減災装置の開発 (環境に優しく、経済的)

- A. 津波災害低減設備開発の背景
- B. 防波システム研究所の自動式津波防止技術
- C. 防波扉の実験結果
- D. 安全と環境の位置づけ (人間生命維持活動において)

防波システム研究所

## 講師と環境との関わり

- 昭和45年頃、種々の公害が表面化し、**環境社会問題**になっていたことから、公害を防ぐのは化学であると考え、大学で化学を専攻。
- 工学部反応化学科、吉田研究室に進み、**湿式脱硫脱硝反応**や、**大気中でのNox基礎反応**を研究。
- 日揮に入社後は、化学反応ある装置を中心としてプロセス設計を担当。**乾式脱硝装置**、水素製造装置、硫黄回収装置などがメインで、LNGや製油設備、コーカー製造設備、スチレン製造装置も担当。
- 2000年頃に、HSEシステム部に異動、Health/Safety/**Environment**に関する検討業務とマネジメントを担当。

防波システム研究所

## 東日本大震災の大津波

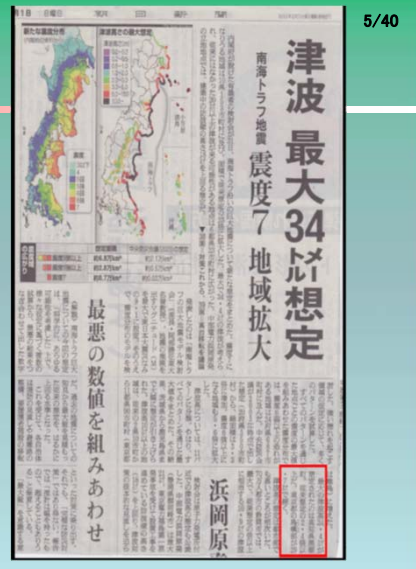


## 東日本大震災の大津波



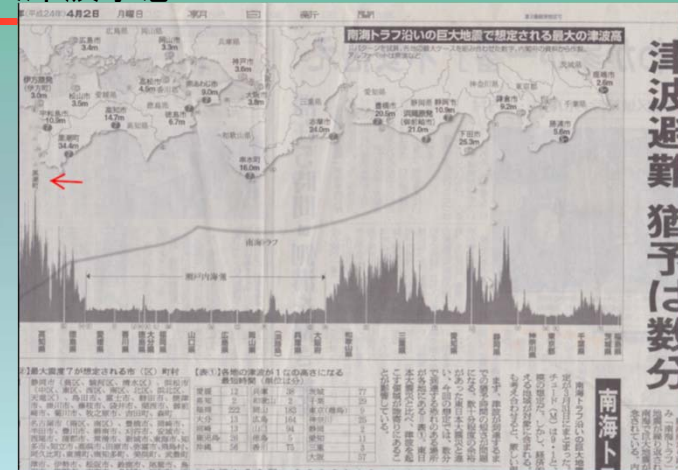
## 最大津波予想

2012年4月1日  
新聞記事



## 最大津波予想

2012年4月2日新聞記事



## 宮古市田老の被災5周年の状況



被災5周年(2016年3月11日)に残っている防浪堤(高さ10m)の上から撮影。遠くに遺構となる田老観光ホテルが見える。防浪堤の海側には別の防浪堤(高さ10m)があったが、5年前の大津波で破壊された。防浪堤の海側及び山側はまだ整備中であり、今後、高さ14mの防浪堤が海側に追加設置される予定。

防波システム研究所

7/40

## A. 津波減災設備開発の背景

2011年3月11日の東日本大震災に伴う大津波で、1万人を超える人たちが亡くなった。この時の津波が、1000年に一度と言われる規模であったことはどうにもならないが、津波経験の多い東北地方の人々が、津波対応の防潮堤等を設置したり警報機等の対策を講じてきていたにも拘らず大きな災害になったことはとても残念である。岩手県宮古市田老町では、電気式津波警報設備が、予備の自家発電設備を持っていたにも拘らず、故障して十分な情報を伝えられず逃げ遅れて亡くなった人々が多数いたし、他所でも高い防潮堤に設置されている通用門や水門を閉める作業に向かった消防団員が被害にあったりしている。これらのことから、津波対策の在り方を根本から変えるべき時期にきていると思われる。

防波システム研究所

8/40

## 黒潮町熊野浦の現防潮堤(高さ約6m)



日本最大の津波(34m)が押し寄せる予測の場所に近く、20m以上の津波が押し寄せると予測されている場所。

## 津波低減設備に要求される3要素

- (1) 想定される津波に対して高い津波抑止/低減効果を持つこと（レベル2の津波に対してもできるだけ高く）  
国内では想定津波高さが大幅に見直され、南海トラフ大地震による大津波で、日本最大の34mの津波が高知県黒潮町に押し寄せる想定が発表された。又、南海トラフ大地震が次に起こる時期が近づいていることから、時間的な余裕はない。
- (2) 津波の浸水(強度、速度)に対して、設備の位置や形状を保持し、津波の抑止を継続できること
- (3) 対応する津波想定高さが大きいので、経済的な設備であること

## 津波低減設備に考慮した3コンセプト

- (1) 機械や人力で、動作させたり開口部を閉止したりさせると、動作ミスや作業員の生命への危険性があるので、それら为了避免のために自動式に動作する装置にすること
- (2) 高さ10m以上の防潮堤などの巨大な装置になって、視界を大きく遮ったり生活環境を寸断したりすることのないように、通常時はコンパクトに収納でき、津波浸水時に移動や拡張をして対応できる装置にすること
- (3) 津波想定高さが大きくなっていく中で装置も大掛かりになっていくので経済的な材料で製作できる装置であること

## 開発における着眼点と経緯

- (1) 自動動作のメカニズムを検討する中で、津波の浸水において使えるメカニズムとして、木材の水中での浮力に注目
- (2) しかしながら、水中に入った後で浮力で自動動作させると、水密にするのが不可能。そこで、水密にすることをあきらめ、動作した後で、垂直の防潮堤面を形成させ、その面積分、押し寄せる後続の津波を抑えるコンセプトに転換
- (3) 津波に対しての木材の強度が気がかりであったので、実験による強度確認を行った。設備が水中に入って、津波の進行エネルギーだけを抑えるのであれば、強化木材ユニットで対応可能なことが分かった(モデルレベルでは)
- (4) 弱点: 水密でなく、津波低減効率が固定式の80%程度

## 国連世界防災会議での防波扉展示デモ



防波システム研究所

## B. 防波システム研究所の自動式津波防止技術

1. 防波扉 (特許第5207091号、訂正審判審決済み)
2. 多段式防波立扉(特許第5683056号)
3. 防波筏(特許再出願中)
4. 防波門 (特許第5559950号)
5. 防波支柱(特許第5668107号)
6. 自動式津波警報装置(特許第5736494号)
7. 津波防災機能付きライフジャケット(特許第5943403号)
8. 吸水防止式水中マスク(特許出願中)

防波システム研究所

## 特許登録の履歴1: 可動式津波緩衝堰(防波扉)

2011年10月に出願、2012年8月に審査請求、10月に拒絶理由通知書を受領、11月に意見書と手続補正書を提出、2013年3月に特許登録。

2013年11月に、高知の建設業者に売り込みに行った際に、H社のネット記事から、特許内容が模倣できることが判明した。そこで、12月に訂正審判請求、2014年3月拒絶理由通知書を受領し、結果として不調に終わる。

2014年9月に再度訂正審判請求し、11月に訂正確定。訂正内容は、ユニット形式である点と構造体内に水を取り込んで、津波減災に役立つ点。

防波システム研究所

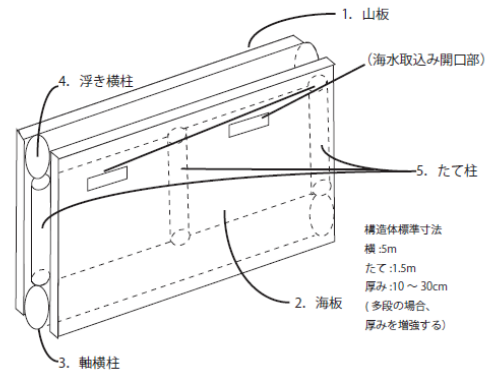
## 1. 防波扉

- (1) 木材で作成された扉形状の構造体を採用し、津波浸水時に浮力で立ち上がり防波堤として機能。
- (2) 軽質材(木材)で作るので、経済的
- (3) 内部に空間を持ち、津波を取り込んで、自身の強度を補強し、津波の威力の低減にも役立つ
- (4) ユニット形式で作成し、複数設置することで、大規模の津波への対応が可能。
- (5) 津波の水中に立ち上がるのが特徴で、津波を完全に抑えることができないが、後続の津波の大部分を抑えることができ、相応の津波防止効果を生む。

防波システム研究所

## 防波立扉構造図

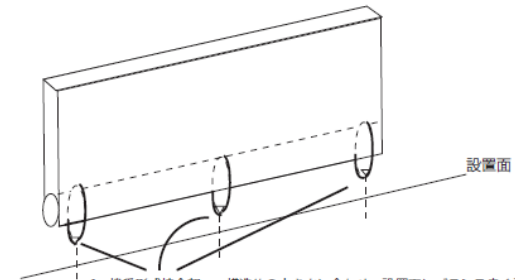
【図1】 構造体構造図 (ポーセキ又は防波扉)



防波システム研究所

## 防波立扉設置図

【図2】 設置図



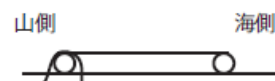
構造体の大きさに合わせ、設置面にバランス良く設置する。  
止め穴を持つ鉄杭を打ち込み、軸横柱に巻きつけた太針金をつなぎこむなどして、蝶番のように動く機能をもたせる。

防波システム研究所

## 防波立扉の動作図

【図3】 津波緩衝図

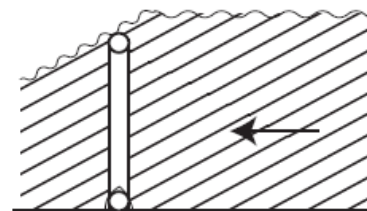
(1) 通常時



(2) 低水位浸水時



(3) 高水位浸水時



防波システム研究所

## 2. 多段式防波立扉

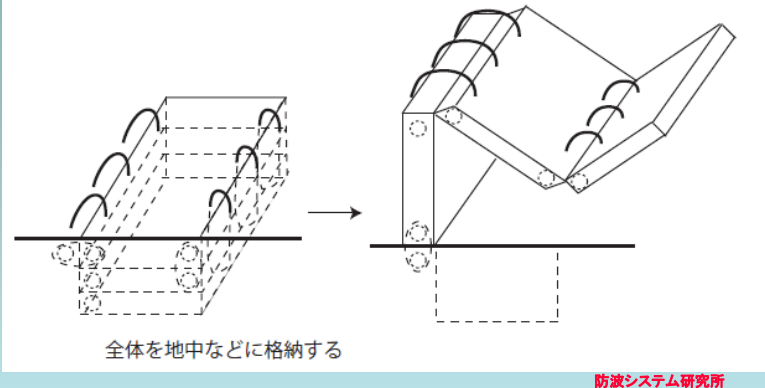
(1) 基本的な特徴は、防波扉と同じ

(2) 1個の防波扉は、材質の制限などから、対応高さが限定されていて、対応がかぎられていたが、多段式では、防波扉の持つ特徴「ユニット形式である」と、「重ねて設置できる」利点から、多段式の防波扉とすることで、対応高さを段数倍にすることで、この問題点を解決した。

防波システム研究所

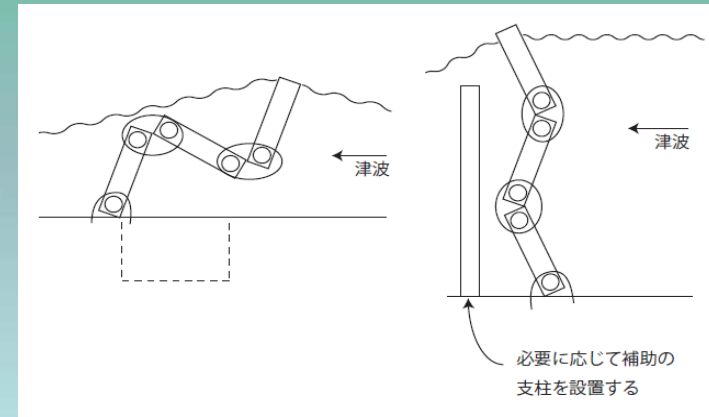
## 多段式防波立扉の動作図－1

【図5】 屏風形式多段構造体の動作図



防波システム研究所

## 多段式防波立扉の動作図－2



防波システム研究所

## 開発状況：可動式津波緩衝堰（防波扉）

- 2012年4月に、最初のモデル(1m幅x1m高さx15cm厚み)を作成し、茅ヶ崎海岸、相模川河原で実験開始。動作確認とサポートの設置に関するデータ等を入手。
- 2013年4月から、東京海洋大学増田先生とコンタクトが取れ、海洋大学生が日大の実験設備を使って、小規模モデルでの実験を実施。船舶工学会などで論文発表。
- 2014年8月から、友人情報から京大防災研究所にコンタクトし、平石教授の指導下2015年4、5月と2016年2月に実験実施。  
2016年9月に日本自然災害学会誌の論文掲載、同じく9月の学術講演会(静岡)で講演発表。
- 2015年3月、国連防災世界会議に展示出展。

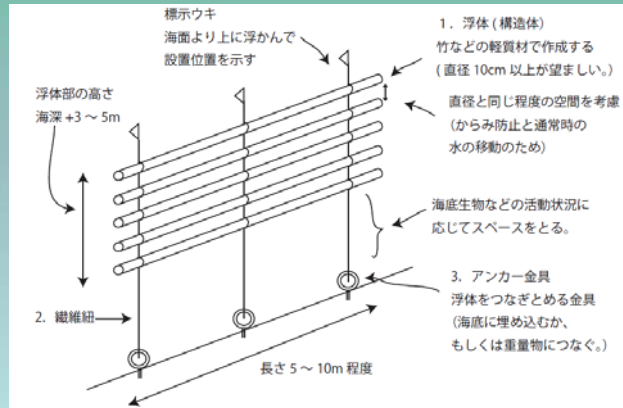
防波システム研究所

## 3. 防波筏

- (1) 丸竹等を筏状に編んだ構造体を採用し海中に設置
- (2) 海岸線近くの海中に設置し、津波浸水時に上昇した水中に、浮力で更に立ち上がり、津波の浸水を制限
- (3) 主として丸竹と繊維紐で作るので、経済的
- (4) 丸竹の内部の空間に常時海水を取り込んでおり、自身の強度を補強し、津波の威力の低減にも役立てる
- (5) ユニット形式で、複数設置で規模の拡大への対応可能。
- (6) 津波の水中に簾の子状態で立ち上がるのが特徴で、津波を完全に抑えることができないが、津波浸水の多く抑えることができ、相応の津波防止効果を生む。

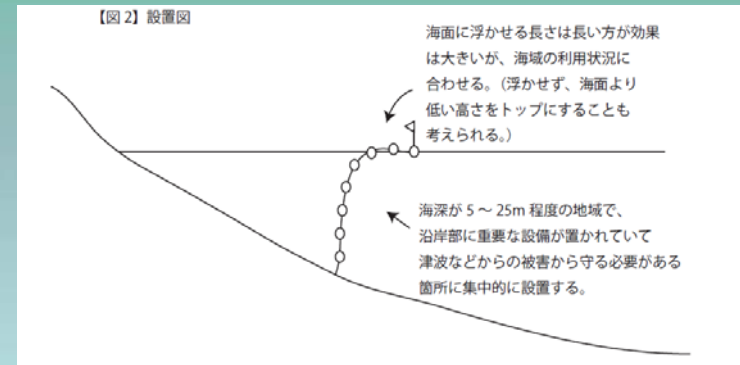
防波システム研究所

## 防波筏の構造図



防波システム研究所

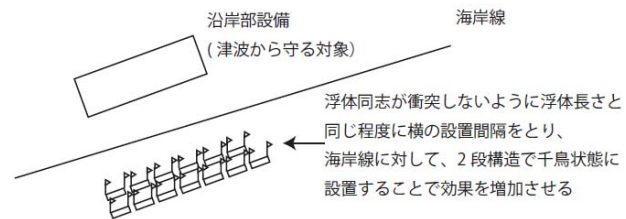
## 防波筏の設置図



防波システム研究所

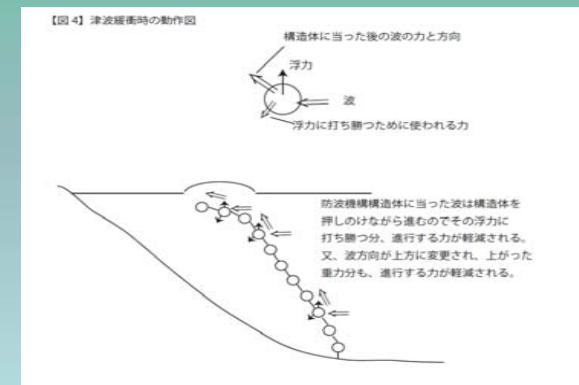
## 防波筏の適用例

【図3】沿岸部施設に対応した構造体設置想定図



防波システム研究所

## 防波筏の動作図



防波システム研究所

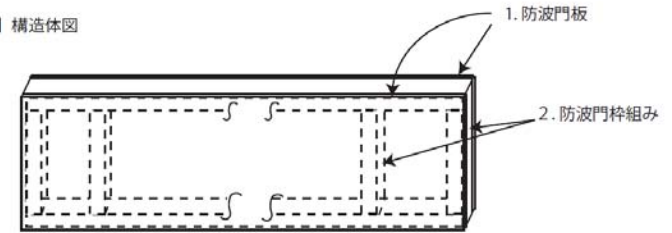
#### 4. 防波門

- (1) 木材などで門形状の構造体を作成し、河口等で水の流れのある箇所に設置し、津波の浸水を受けて門のように移動し防波堤として機能。
- (2) 主として木材で作るので、経済的
- (3) 内部に空間を持ち、津波を取り込んで、自身の強度を補強し、津波の威力の低減にも役立つ
- (4) 大規模な設備にするために、ユニット形式で作成し、金属製の枠組み内にまとめることも可能
- (5) 津波を受けて移動し防波堤と機能するのが特徴で、津波を完全に抑えることができないが、後続の津波の大部分を抑えることができ、相応の津波防止効果を生む。

防波システム研究所

#### 防波門の構造図

【図1】構造体図

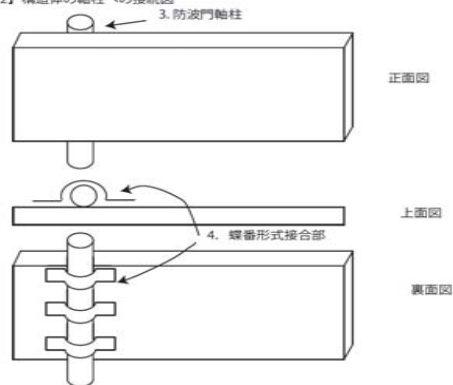


構造体（防波門）概略寸法  
 横幅：5～10m  
 高さ：2～6m  
 厚み：10～50cm

防波システム研究所

#### 防波門の接続図

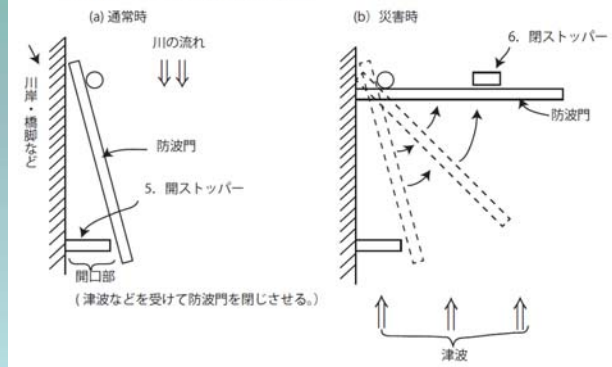
【図2】構造体の軸柱への接続図



防波システム研究所

#### 防波門の動作図

【図3】設置図と津波を緩衝する時の動作図

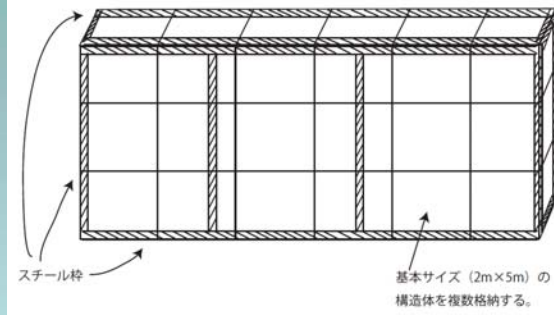


防波システム研究所



## 防波門の大規模設備への適用例

【図4】 大型防波堤が必要な場合の構造体の対応案



防波システム研究所

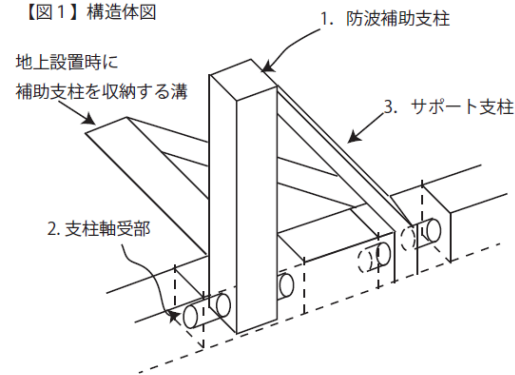
## 5. 防波支柱

- (1) 木材などでサポート形状もしくは扉形状の構造体を作成し、津波の浸水の中で立ち上がり、可動式津波防止装置を後部から支え、防止装置の効果を高める。
- (2) 主として木材で作るので、経済的
- (3) 内部に空間を持ち、津波を取り込んで、自身の強度を補強し、津波の威力の低減にも役立つ
- (4) ユニット形式で作成し、複数設置で規模の拡大が可能。
- (5) 津波の水中に、浸水流れと平行に立ち上がるのが特徴で、可動式津波防止装置が最大効果を生むようにサポートする効果を生む。

防波システム研究所

## 防波支柱の構造体図

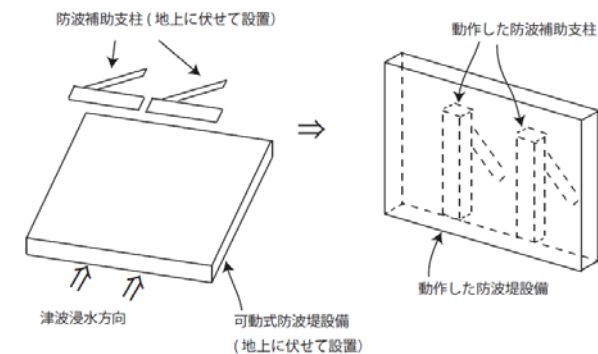
【図1】 構造体図



防波システム研究所

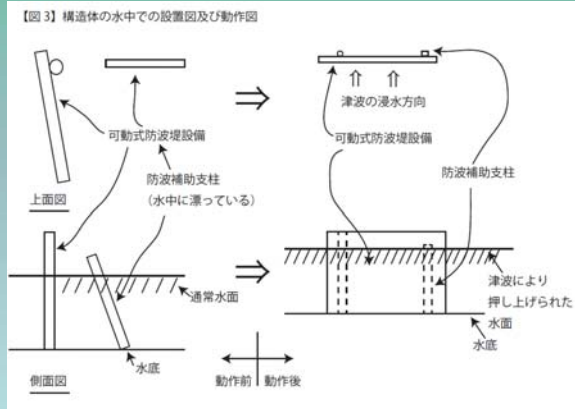
## 防波支柱の設置図及び動作図

【図2】 構造体の陸上での設置図及び動作図



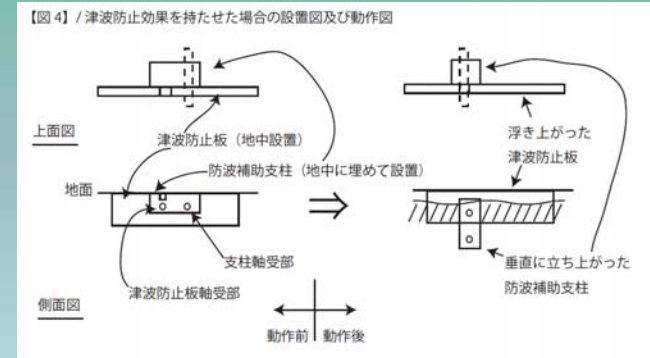
防波システム研究所

## 防波支柱の水中での設置図及び動作図



防波システム研究所

## 津波防止効果を持つ防波支柱の設置図及び動作図



防波システム研究所

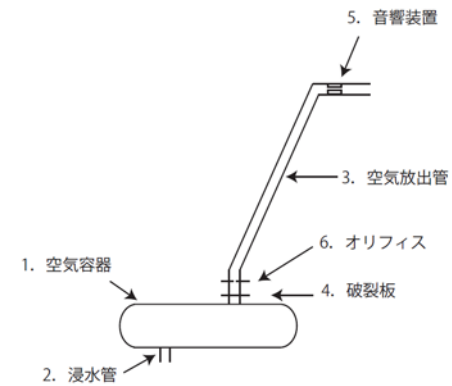
## 6. 自動式津波警報装置

(1) 津波による浸水の状況とその水圧で検出し、信号や電気に変更することなく、直接、かつ自動的に警報を発信する。

防波システム研究所

## 自動式津波警報装置の構造図

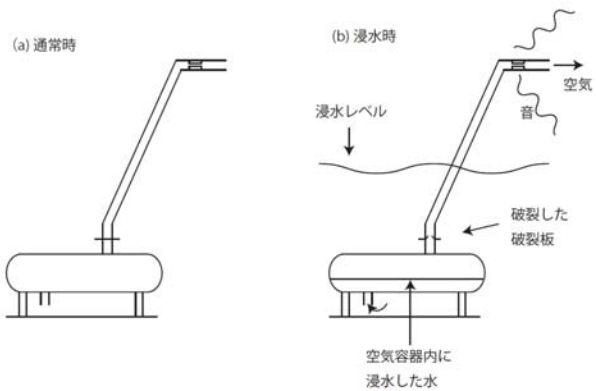
【図1】自動式津波警報装置の構造図



防波システム研究所

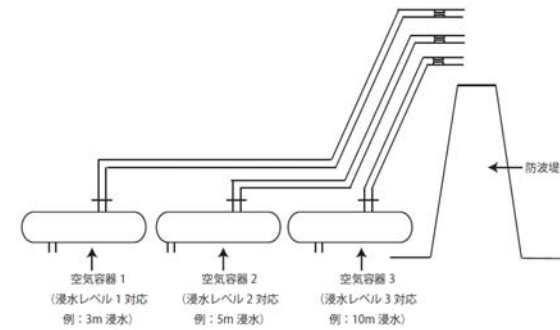
## 自動式津波警報装置の動作図

【図2】自動式津波警報装置の動作図



防波システム研究所

## 自動式津波警報装置の設置図

【図3】自動式津波警報装置の設置図  
(3段階警報の場合)

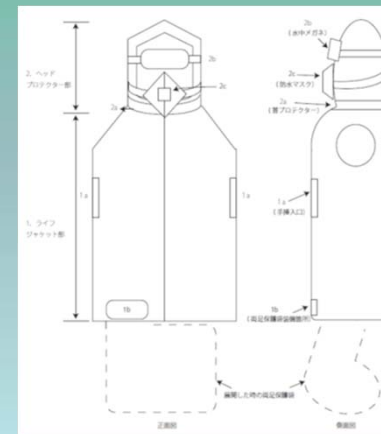
防波システム研究所

## 7. 津波防災機能付きライフジャケット

- 津波浸水時に想定される溺水の被害と、障害物との衝突からの傷害を防止する機能を持たせたライフジャケットで、溺水に対しては、頭から腰までの体全体を包み込むライフジャケットをベースとして、防水マスクと水中メガネにより溺水の原因となりやすい口と鼻を守りながら浸水した水中での視界を確保することにより安心感を与え、手と足を収納できるようにすることで、手足を衝撃から守る工夫を行った防災道具。

防波システム研究所

## 津波防災機能付ライフジャケット装着図



防波システム研究所

## 特許取得に成功した要点と特許取得で学んだこと

### AAA. 特許取得に成功した要点

1. 良いアイデアと取得に対する強い意志。
2. 拒絶理由通知書は、説明要求書と考えること
3. 審査官を味方につけること、発明協会を利用すること

### BBB. 学んだこと

1. 市販本で学んで、特許は取れる。
2. 既存特許は、特許取得成功のヒントの山
3. 審査官は神様ではないが、神様になりうる。
4. 審査費用を低減する方法がある。

## C. 防波扉の実験結果（2015年4-5月）

モデル実験で、防波扉は以下の3つの特徴を持つことを確認した。（京都大学防災研究所平石哲也教授と共同研究）

1.木製構造物の浮力を利用して越流した波に対して**自動的に動作**し、防潮堤として機能する。

2.津波低減効率は、**固定式防潮堤の80%以上相当**。

通常時に設置されている位置から防潮堤として機能する位置まで移動するのにかかる時間は約1秒以下と短い、動作時の低減効率が動作後よりも良く、全体を通して80%以上を保持できる。

3.これらの**木造構造物**は、今回のモデル実験スケールでの動作環境で**強度的な問題はなく**、津波低減に役立つ。

## D. 安全と環境の位置づけ（人間生命維持活動において）

頻度	生活一般/身体	人間生活	周辺社会/自然	HSE
頻	/呼吸	個人		
	衣食住/睡眠	家庭		生活安全・環境
中	エネルギー (電気、ガス、水道)	おやじ	交通安全	
	<b>材料(自然再生)</b>	友人		社会安全・環境、衛生 (火災、爆発、化学反応)
		仕事		
	病気、薬	社会	火事	
稀			自然災害 (地震、雷、台風、 <b>津波</b> 、土砂災害)	

## 課題解決の展望

### 1. サポートの必要強度の確認。

コンクリート製防潮堤に比べると、水密でない分、水位差を考慮する必要がないので、**相応の強度の構造が必要ではあるとしても、対応可能と判断される。**

### 2. 多段式のシステムが安定して動作するメカニズムの確立。

**多段式を確実に動作させる方式は開発済。**

**技術内容は特許審査請求中。**

### 3. 構造体の必要強度の確認。

**実用レベルでの実験を経て、動作時及び水中で木材強度を確認し、必要な補強は行っていけることから対応可能。**

## 防波扉の設計例1

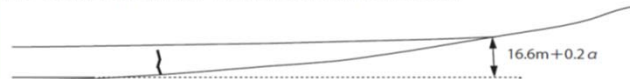
図1：津波浸水状況想定図1（防潮堤1段のみが機能したと仮定）



図2：津波浸水状況想定図2（防潮堤がなかった時）



図3：津波浸水状況想定図3（10m高さの防波扉を設置した場合）



防波システム研究所

## 防波扉の設計例2

図4：津波浸水状況想定図4（14m高さの防潮堤を追加した場合）

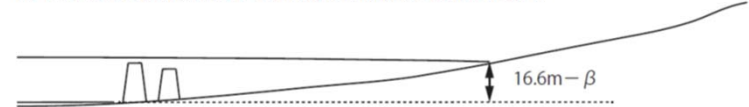
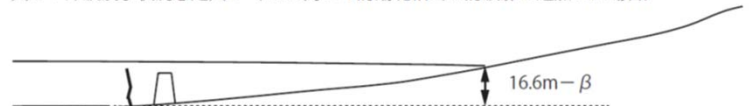


図5：津波浸水状況想定図5（14m高さの防潮堤相当の防波扉を追加した場合）



防波システム研究所

## 災害は発明のヒント(木は水に強い)



「Being.com/images 流木 洪水の画像」より

防波システム研究所

## 添付1

第35回日本自然災害学会(平成28年9月21日)  
 学術講演会 II-6-1  
 自動式木製津波低減装置の実験

はじめに

1. 実験概要
2. 実験結果
3. 結言

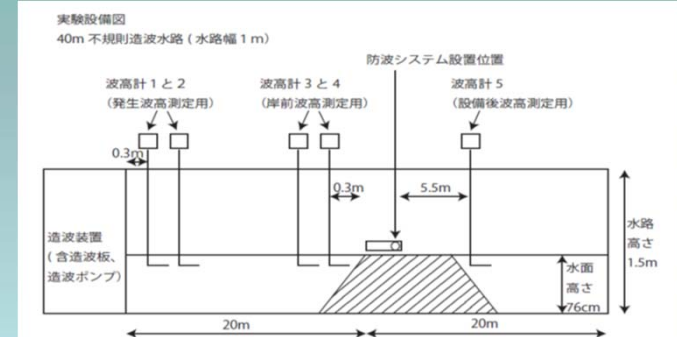


## はじめに

- 扉形状の強化した木造構造物を採用。木材の浮力で浸水に自動的に動作し、主として長時間にわたる後続の津波の侵入を抑止するという新しいコンセプトの津波減災設備
- 防波扉の実用サイズ：概略高さ3m、幅5m、厚み20cm  
ユニット式木造構造物で、並べて長い海岸線へ対応可能  
屏風構造で複数段を重ねて設置可能。5段にすれば、計算上3m×5=15mの津波高さにも対応可能。通常時の設置高さは、20cm×5=100cm程度で、視界問題少ない。
- 主材料は木材で、再生可能であり、環境に優しく経済的。  
津波低減効果が確認できれば、レベル2津波に対応可能。  
防波扉は設置が簡便で、既設の防潮堤に追加設置し、津波対応高さを向上させることも可能と想定。 防波システム研究所

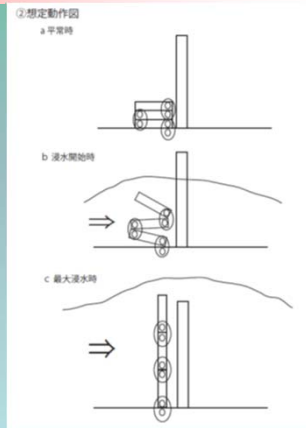
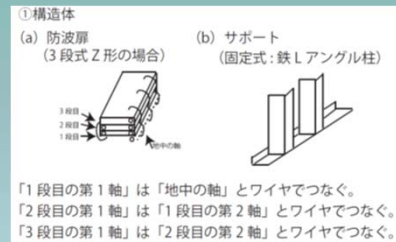
## 1. 実験概要 (1)

- 場所：京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー
- 使用設備：40m不規則波造波水路（水路幅1m、深さ1.5m、長さ50m）



## 1. 実験概要(2)

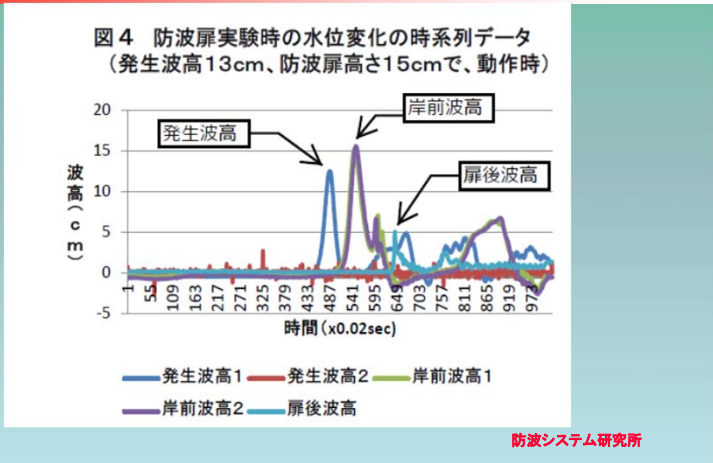
## 防波扉実験モデル図



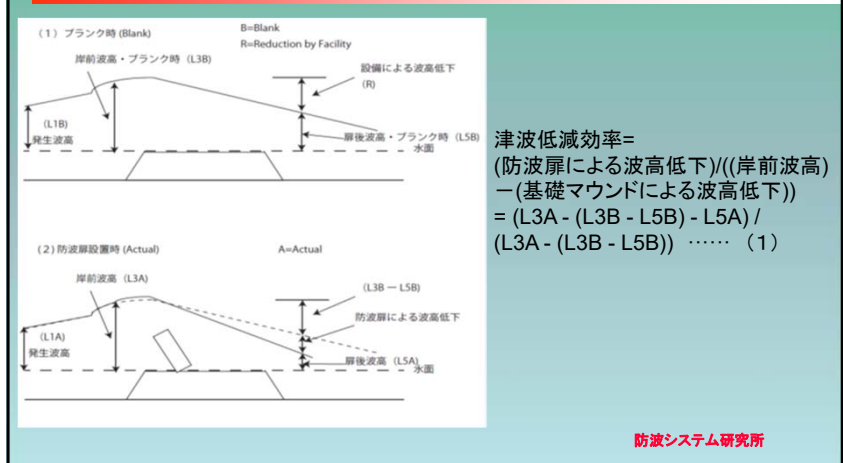
## 1. 実験概要 (3)： 防波扉実験動画



### 1. 実験概要 (4) : 防波扉実験波高計の時系列データ

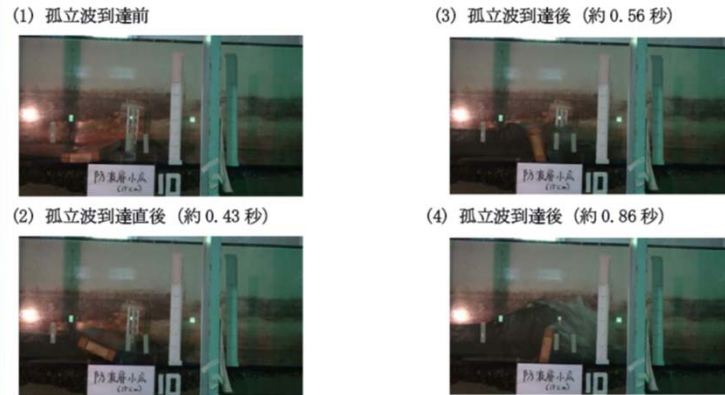


### 1. 実験概要 (5) : 津波低減効率の計算図



### 2. 実験結果

写真1: 防波扉動作連続写真 発生波高10cm; 防波扉高さ15cm時



### 2. 実験結果

表1: 防波扉実験データ

No.	設定内容	発生波高	岸前波高	扉後波高	低減効率
2-1	防波扉小動作時	12.41cm	15.31cm	4.78cm	34.5%
2-2	防波扉小動作時	12.51cm	15.26cm	5.04cm	30.4%
2-3	防波扉小動作時	12.48cm	15.25cm	5.27cm	27.2%
2-4	防波扉小動作後	12.48cm	14.89cm	4.83cm	29.7%
2-5	防波扉小動作後	12.18cm	14.45cm	4.60cm	28.5%
2-6	防波扉小動作後	12.53cm	15.29cm	5.10cm	29.9%
1-3	ブランク	12.78cm	15.29cm	7.28cm	

## 2. 実験結果

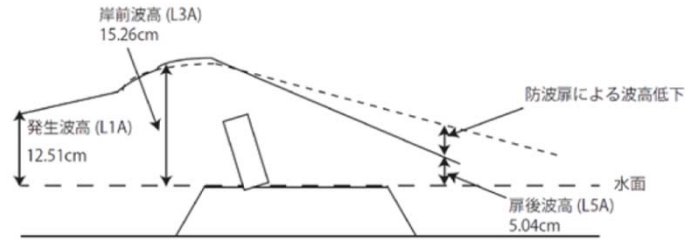
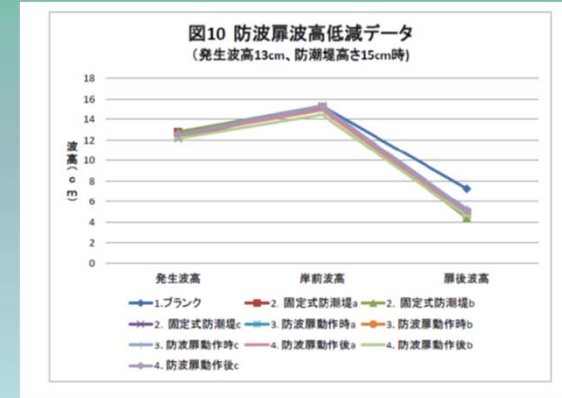


図8：入射波高 13cm、防波扉動作時の最大波高関係図

## 2. 実験結果



## 2. 実験結果

表6：防波扉の平均津波低減効率

No.	設定内容	平均波高低減効率
3-1 ~ 3-3	固定式防潮堤構造	34.9%
2-1 ~ 2-3	防波扉小動作時	30.7% (固定式防潮堤構造の約 88%)
2-4 ~ 2-6	防波扉小動作後	29.4% (固定式防潮堤構造の約 84%)

## 3. 結言

防波扉は以下の3つの特徴を持つことをモデル実験で確認。

- 越流した波に対して自動的に動作し防潮堤として機能する。
- 津波低減効率は、全体を通して80%以上。(今回のモデル実験の条件で)
- 強化した木造構造物は、強度的な問題はなかった。(今回のモデル実験スケールでの動作環境で)



## 今後の課題

1. サポートの必要強度を確認すること。
2. 多段式のシステムが安定して動作するメカニズムを確立すること。
3. 実用レベルの実験を行い、構造体の必要強度を確認すること。

## 防波扉実験動画 No.2 (2段式防波扉)



## 防波扉実験動画 No.3 (3段式防波扉)

