

平成 24 年度 海岸委員会 講演会

講演会名：「津波の実像と津波研究」

～3.11 東北地震津波の教訓を踏まえて～

日 時：平成 24 年 12 月 10 日（月）13：00～14：30

場 所：合同庁舎第 2 号館 共用会議室 2 A

講 師：間瀬 肇 教授

京都大学 防災研究所 沿岸災害研究分野



津波の実像と津波研究

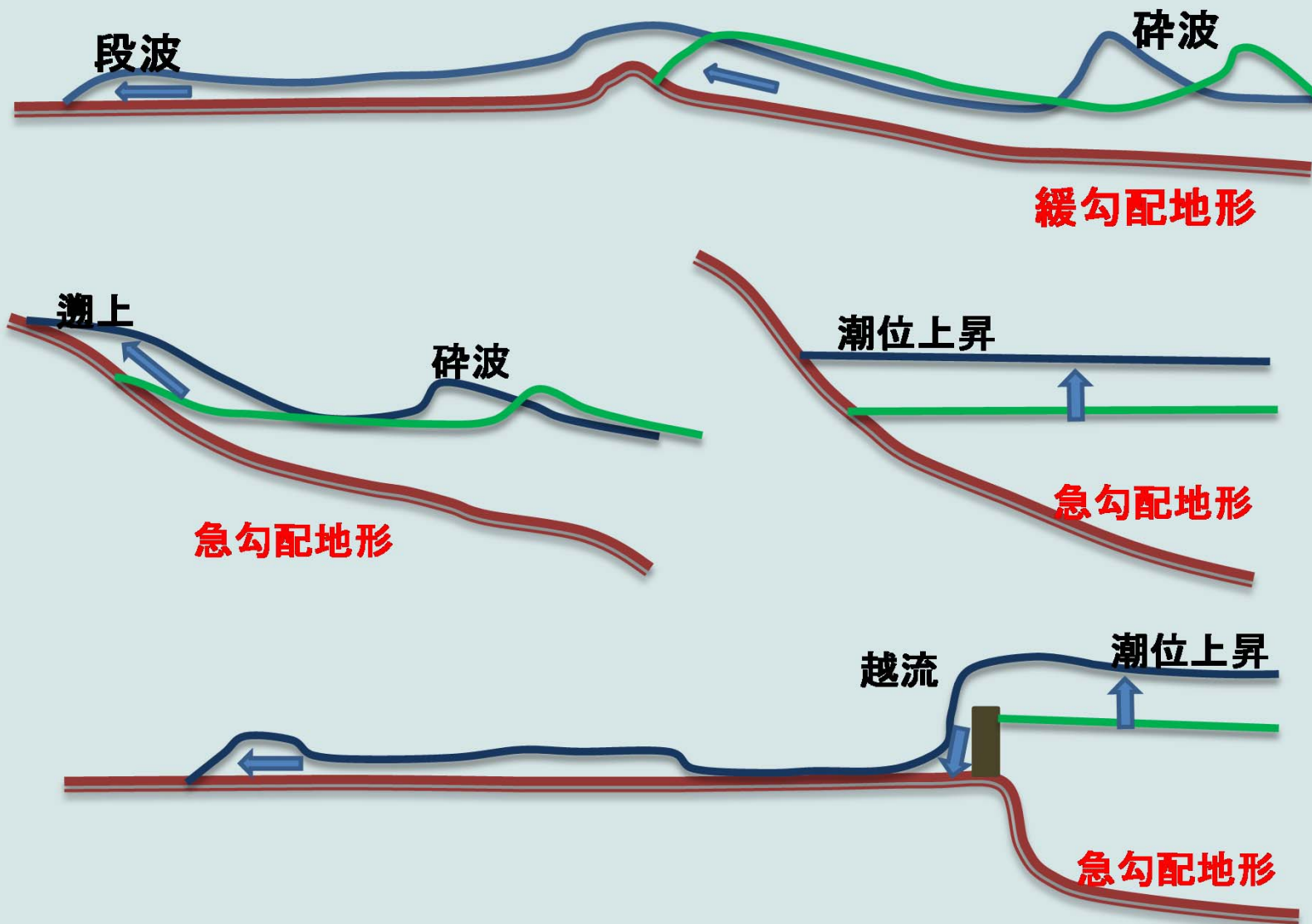
～3.11東北地震津波の教訓を踏まえて～

京都大学防災研究所
沿岸災害研究分野
間瀬 肇

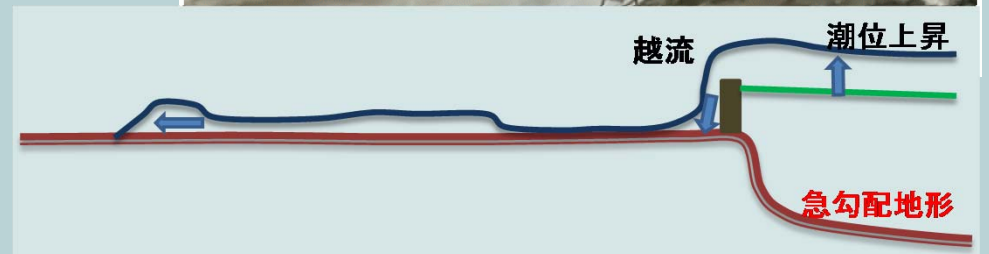
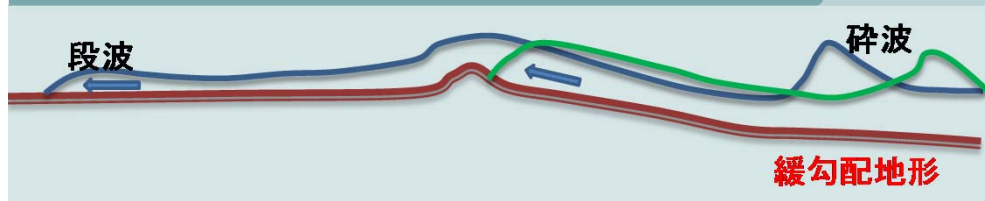
A stylized map of Japan and its surrounding regions, including parts of the Korean Peninsula, the Philippines, and the Indonesian archipelago. The map is rendered in shades of blue and teal. Overlaid on the map is the title text in yellow.

津波のパターン 津波の様子 津波被害後の教訓

津波のパターン



津波の様子



津波災害後の教訓



教訓 #1: 海岸構造物に地盤沈下の影響を考慮する必要？



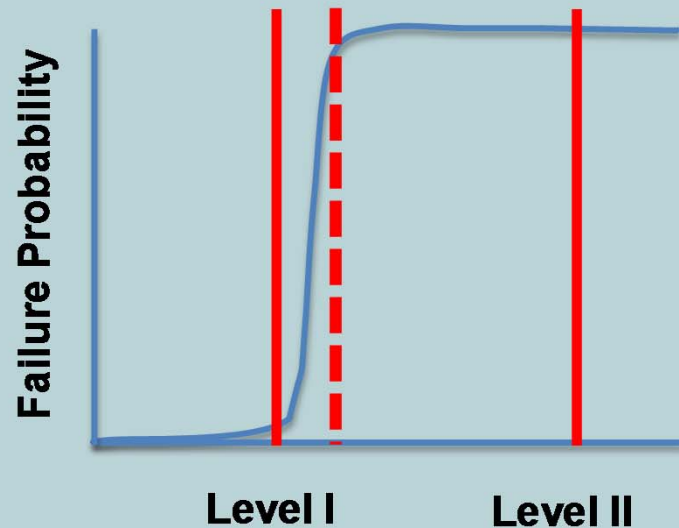
教訓 #2: 津波による砂移動と地形変化の影響を考慮する必要？



教訓 #3: 新しい実験水槽による津波の挙動と作用力？

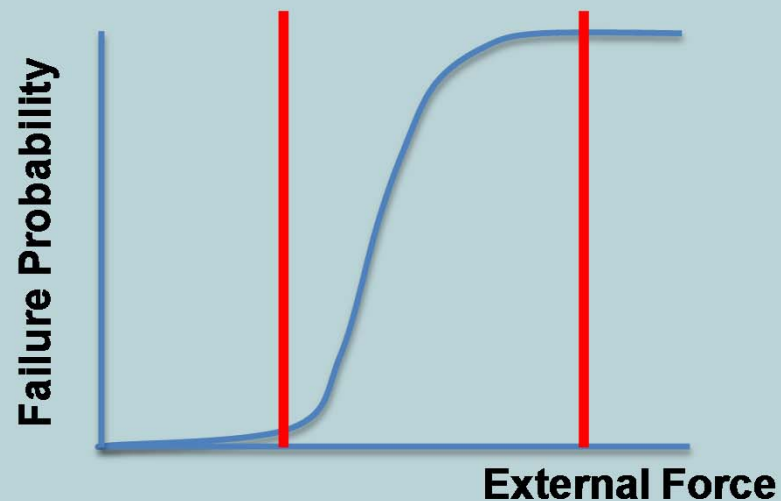
教訓 #4: ショック(段波)および瓦礫を考慮した津波計算モデルの必要性？

津波レベルIとII に対する設計



津波レベル

- Level I = 再現期間が 50-100 年
 - 海岸構造物で対処
- Level II = 再現期間が 500-1000 年
 - 避難や都市計画を含む対処
- E構造物の耐力の見積もり 0 ~ 100% ?

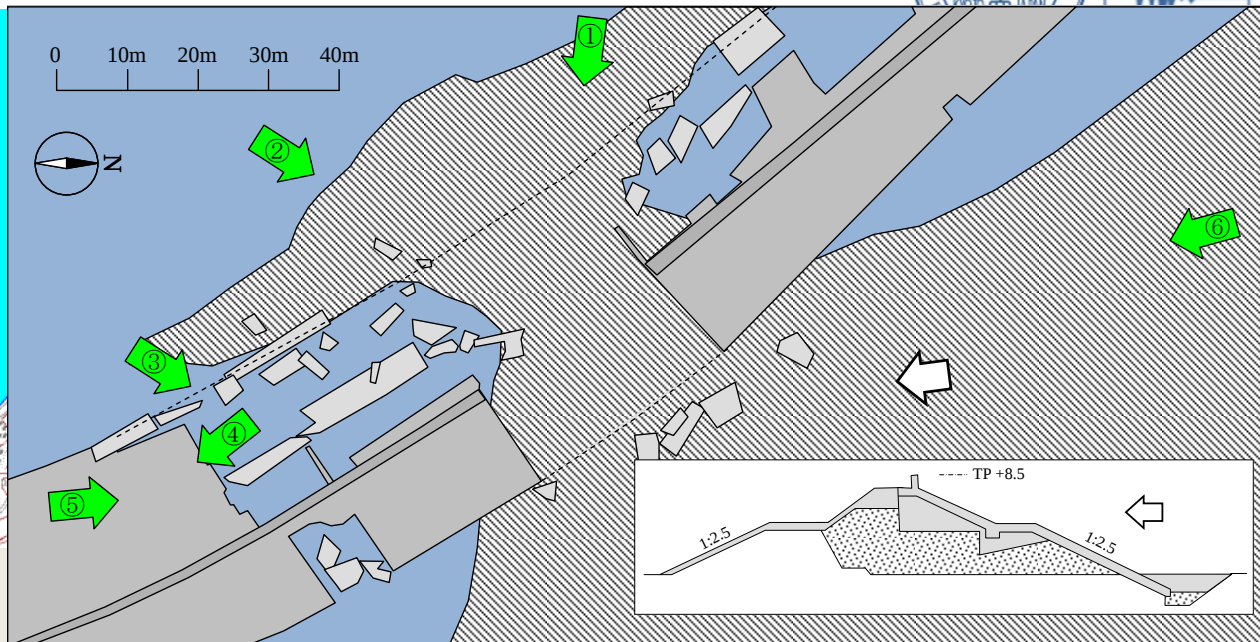


教訓 #5: Level I を超えても粘り強く耐える構造物は？

A light blue map of Japan is shown in the background. The text is overlaid on the map, centered over the main islands.

ねばり強い海岸防護構造物？
実際の被害はどうであったか？

岩手県津軽石地区一金浜地区東面防潮堤の被災事例一



写真⑤



どのくらいでこわれるか？

写真②



構造形式？ 粘り強さ？

岩手県山田地区－山田港背面防潮壁の被災事例－



どのくらいでこわれるか？ 構造形式？ 粘り強さ？

写真②



写真⑥



釜石湾港防波堤



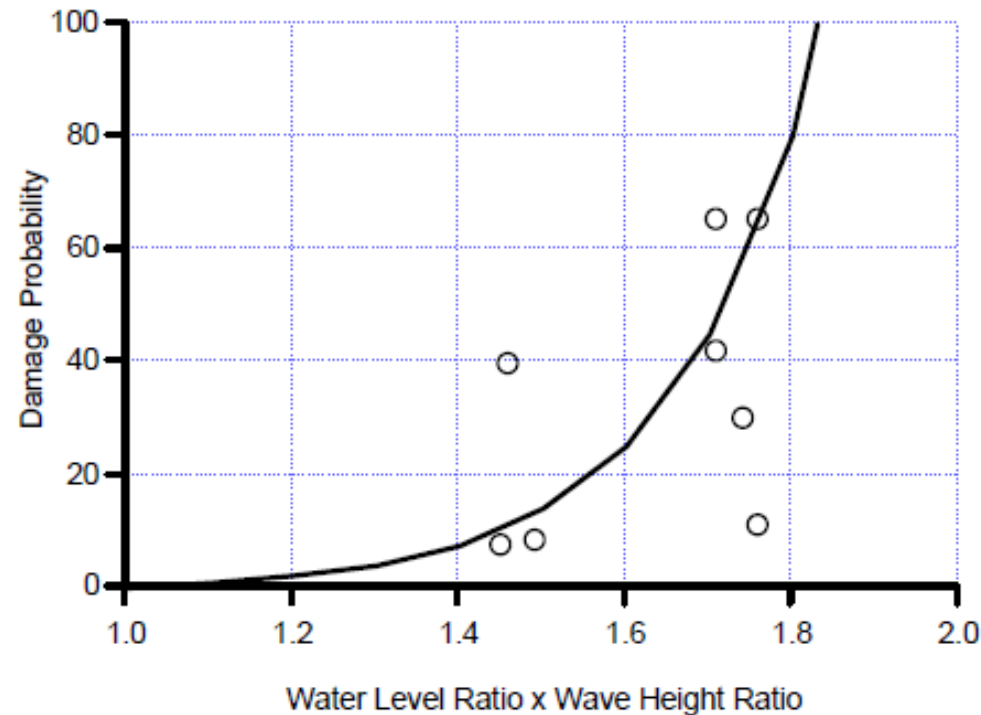
同じ津波規模でも、場所により倒れたケーソンと倒れなかったケーソンがある



防波堤の破壊率の変化(波浪の場合)



滑動したケーソンの数から破壊率を算定



安全率である1.2を超えても破壊率はほとんど0であるが, 1.7を超えると半分ぐらいが破壊する.

一> 設計外力の1.7倍ぐらいまでは何とか持ちこたえる.



津波再現装置を用いた実験的研究
粘り強い構造物？
レジリエンシイを高めるための技術

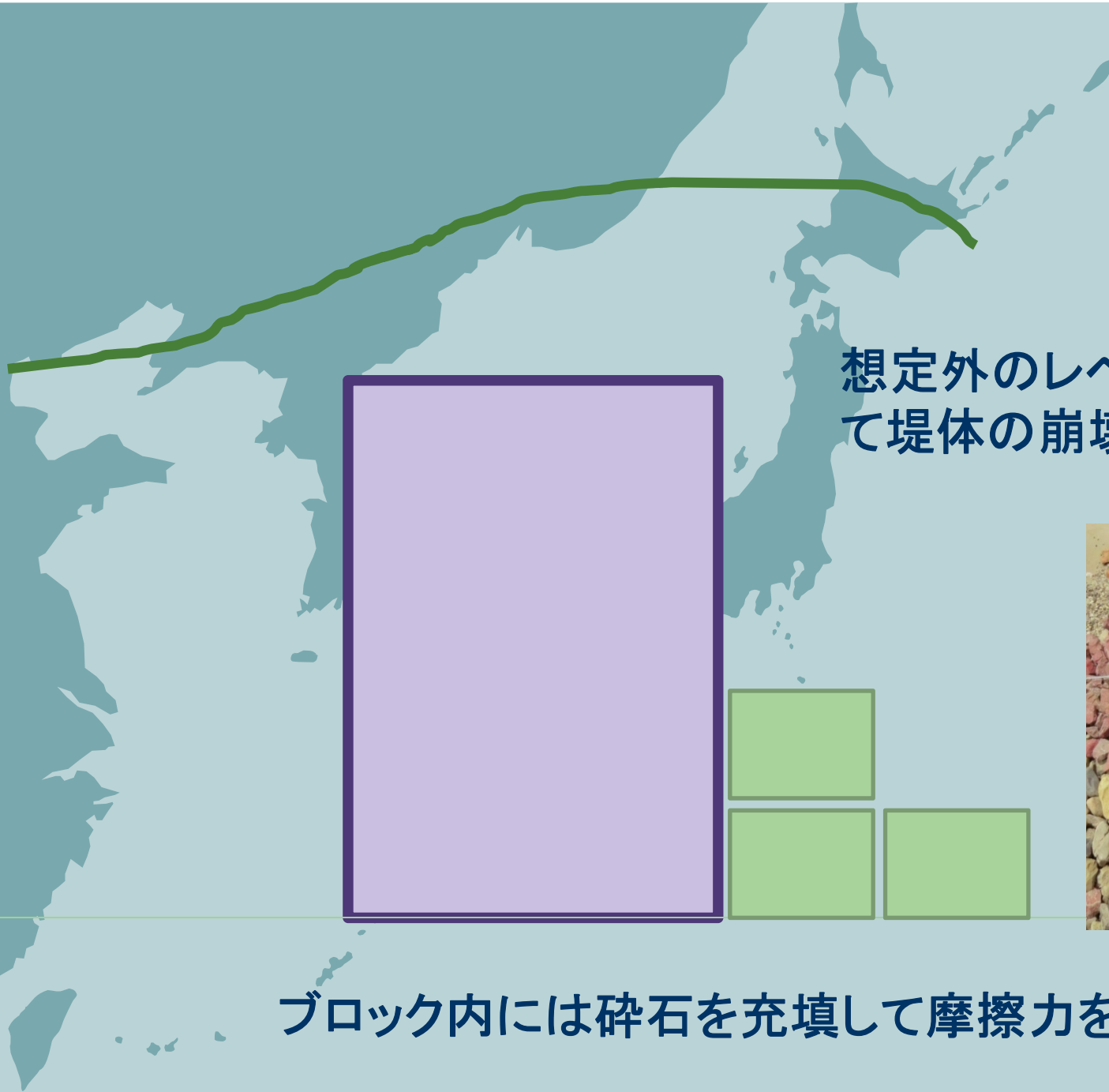
レジリエンスを高めるための技術

- カウンターウェイトブロック
- パワフルユニットによる洗掘防止
- 砕・転圧土を用いた裏込め材の改良

既設の堤防

基礎工, 洗掘防止工,
じゃ籠, 石積ブロック,
フレキシブルカバー

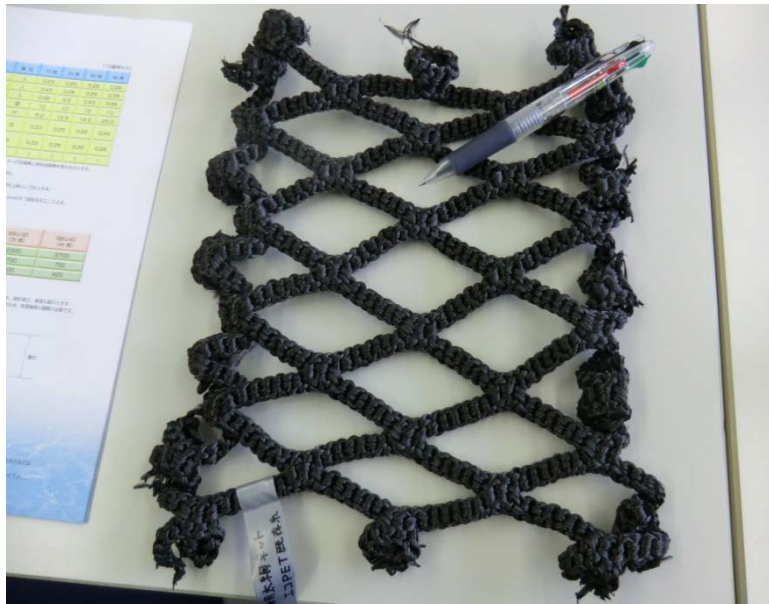
石積ブロック
方塊ブロック
腹付けマウンド
被覆ブロック



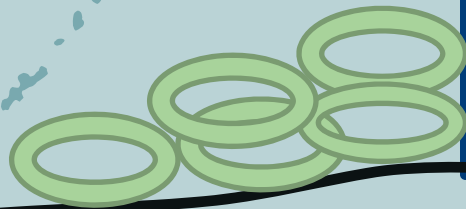
想定外のレベル2津波に対して堤体の崩壊を防ぐ.



ブロック内には碎石を充填して摩擦力を増大させる



柔軟性に富む袋材による
前面の洗堀防止



A light blue map of Japan is shown in the background. The text is overlaid on the map.

従来津波シミュレーションモデルは完ぺきか？
シミュレーション等の力学的研究課題？

力学的な津波研究課題

- 津波発生・伝播機構（深海から沿岸）

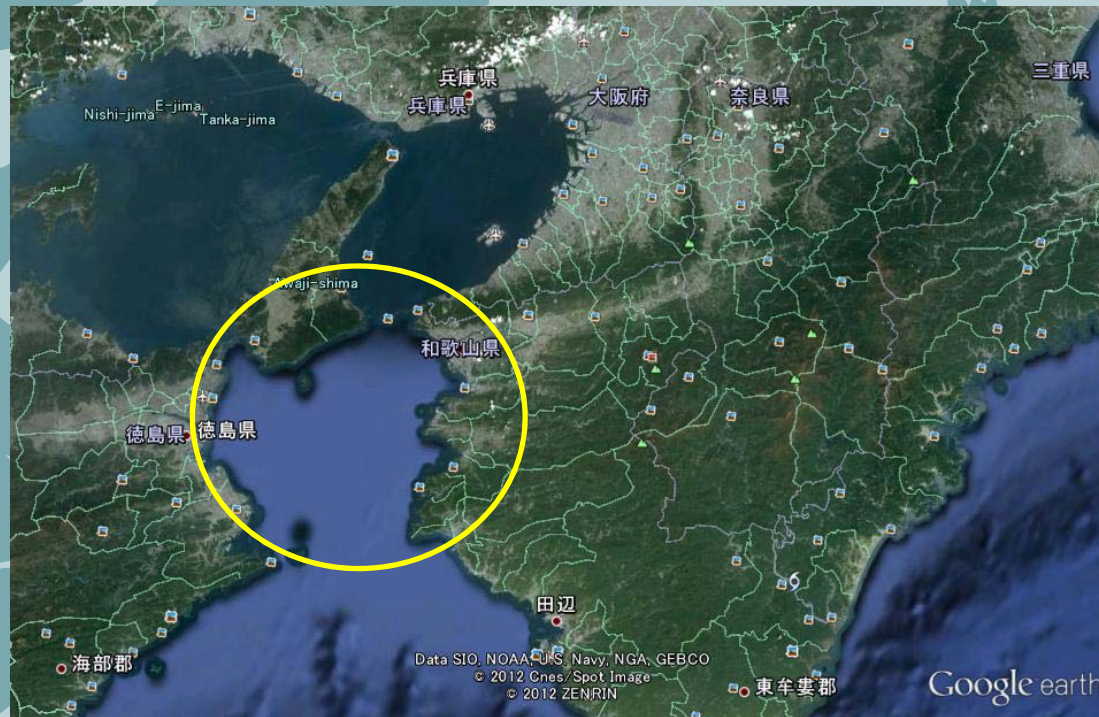
- i) 想定シナリオ地震と最悪シナリオ地震による発生津波規模
- ii) 津波をとらえるモニタリング（設備・装置）
- iii) 新たな計算手法の開発

- 沿岸域・陸域における津波流体運動解析

- i) 防潮堤や防波堤を越え陸地に打ち上がる津波挙動
- ii) 海岸防護施設、津波防護施設の検討
- iii) 瓦礫を含む津波挙動
- iv) 底質移動と海岸構造物の安定性
- v) 陸上構造物に作用する流体力と建物破壊機構
- vi) 河川遡上と橋梁被害

- 調査、実験、シミュレーション

新たな津波の予測計算が必要



伊勢湾への侵入も同じ

- レベルIIの津波になると紀淡海峡を通りにくくなり、大阪湾での津波は大きくなる程度は小さいが、徳島や和歌山では大きくなる、は正しいかも含めて津波の伝播を再検討する。
- 汀線の条件を完全反射(鉛直壁がたっており、津波が通りにくくなる)。
- 1次差分, リープフロッグ法(ショックがとらえられない)により、流入量が鈍る。計算結果がなまる。

力学的にバランスのとれた基礎式

2D SWE:

$$\frac{\partial \mathbf{q}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial y} = \mathbf{s}$$

Traditional SWE

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} h \\ uh \\ vh \end{bmatrix} \quad \mathbf{f} = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + gh^2/2 \\ uvh \end{bmatrix}$$

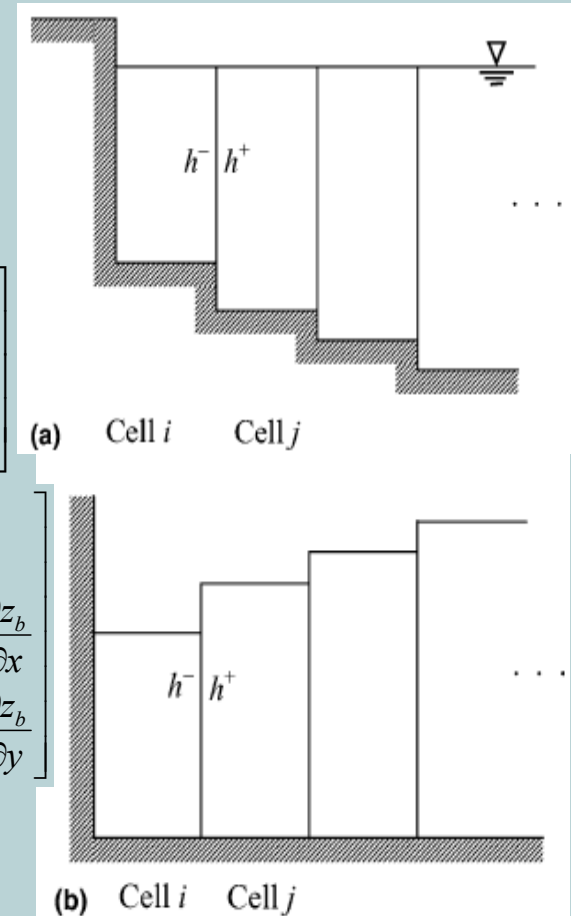
$$\mathbf{g} = \begin{bmatrix} vh \\ uvh \\ v^2h + gh^2/2 \end{bmatrix} \quad \mathbf{s} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{\tau_{bx}}{\rho} - gh \frac{\partial z_b}{\partial x} \\ -\frac{\tau_{by}}{\rho} - gh \frac{\partial z_b}{\partial y} \end{bmatrix}$$

Well-balanced SWE

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} \eta \\ uh \\ vh \end{bmatrix} \quad \mathbf{f} = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + \frac{1}{2}g(\eta^2 - 2\eta z_b) \\ uvh \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{g} = \begin{bmatrix} vh \\ uvh \\ v^2h + \frac{1}{2}g(\eta^2 - 2\eta z_b) \end{bmatrix} \quad \mathbf{s} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{\tau_{bx}}{\rho} - g\eta \frac{\partial z_b}{\partial x} \\ -\frac{\tau_{by}}{\rho} - g\eta \frac{\partial z_b}{\partial y} \end{bmatrix}$$

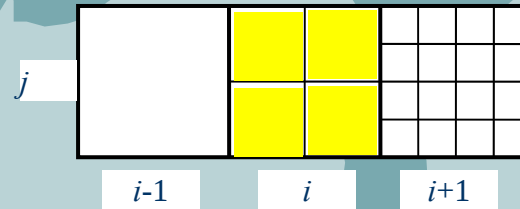
Very simple but it took CFD researchers more than one decade to get it right!



アダプティブメッシュ

(変化の大きいところだけ細かいメッシュ)

Neighbour finding:



- For $(i, j, 1, 1)$ and $(i, j, 1, 2)$, common western neighbour is $(i-1, j, M_{sn}, j_{sn})$:

$$-- j_{sn} = (j_s + 1) / 2 \quad \text{for } (i, j, 1, 1)$$

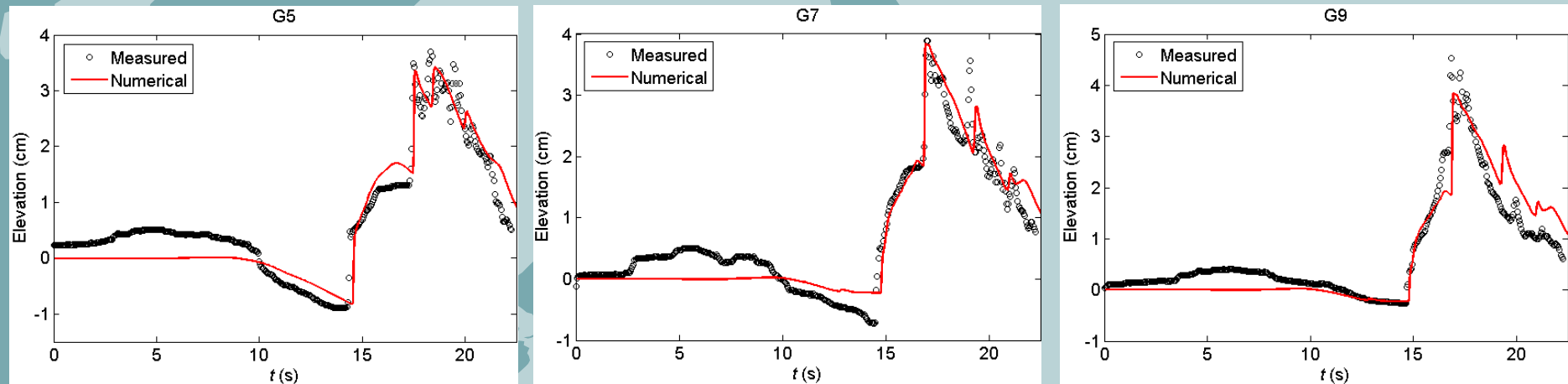
$$-- j_{sn} = j_s / 2 \quad \text{for } (i, j, 1, 2)$$

- For $(i, j, 2, 1)$ or $(i, j, 2, 2)$, eastern neighbours are:

$$-- (i+1, j, 1, j_{sn})$$

$$-- (i+1, j, 1, j_{sn}+1) \quad \text{with } j_{sn} = 2j_s - 1$$

非線形長波方程式で奥尻島の 津波遡上を再現可能



狭領域では3次元計算モデルが重要

まとめ：力学的な津波研究課題

- 津波発生・伝播機構（深海から沿岸）

- i) 想定シナリオ地震と最悪シナリオ地震による発生津波規模
- ii) 津波をとらえるモニタリング（設備・装置）
- iii) 新たな計算手法の開発

- 沿岸域・陸域における津波流体運動解析

- i) 防潮堤や防波堤を越え陸地に打ち上がる津波挙動
- ii) 海岸防護施設、津波防護施設の検討
- iii) 瓦礫を含む津波挙動
- iv) 底質移動と海岸構造物の安定性
- v) 陸上構造物に作用する流体力と建物破壊機構
- vi) 河川遡上と橋梁被害

- 調査、実験、シミュレーション

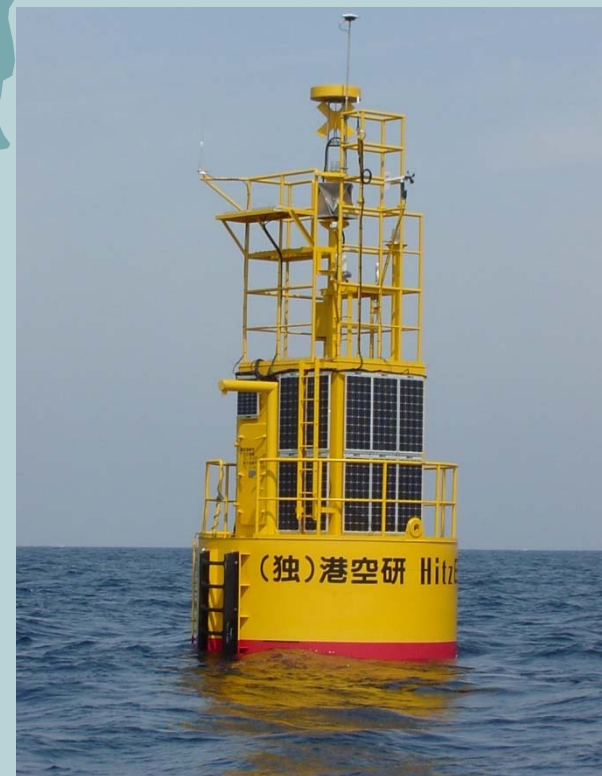
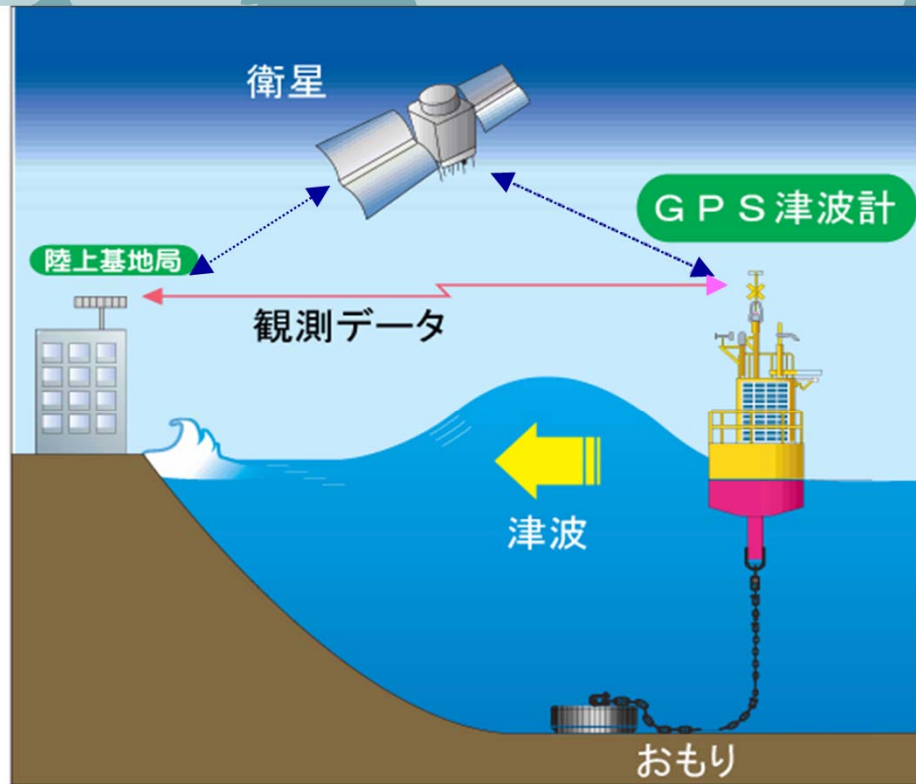
A stylized map of Japan and its surrounding regions, including the Korean Peninsula, the Philippines, and Taiwan. The map is rendered in shades of blue and green, with the landmasses in a darker blue and the surrounding water in a lighter blue. The title is overlaid on the map.

リアルタイム津波予測と防御

GPS津波計測システムを利用

性能：RTK-GPS技術を応用し、大水深沖合で波浪・潮汐・津波をあわせて観測
(1cm 精度での観測可能)

平成16年4月 室戸岬沖13km、水深100mに第1号機設置
文部科学省補助研究：4機関による共同開発
(東大地震研・人防センター・日立造船および港空研)



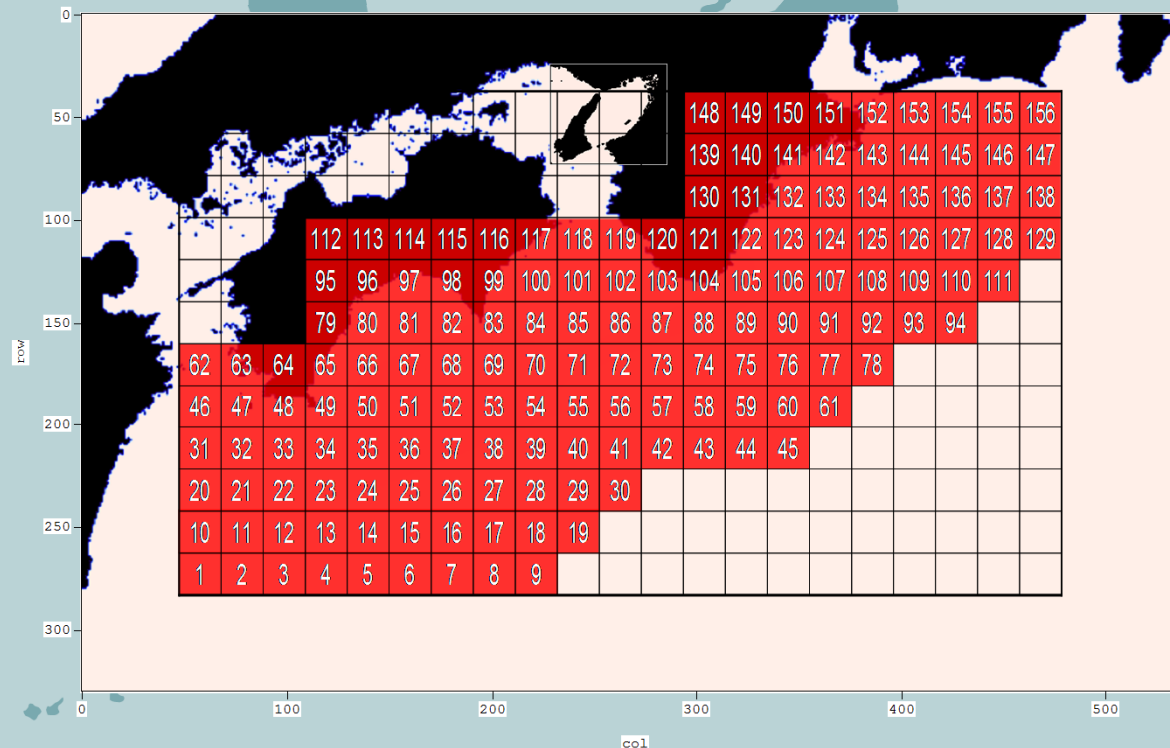
そのほか、海底津波計の利用

小領域モデルの水位変化を逆解析

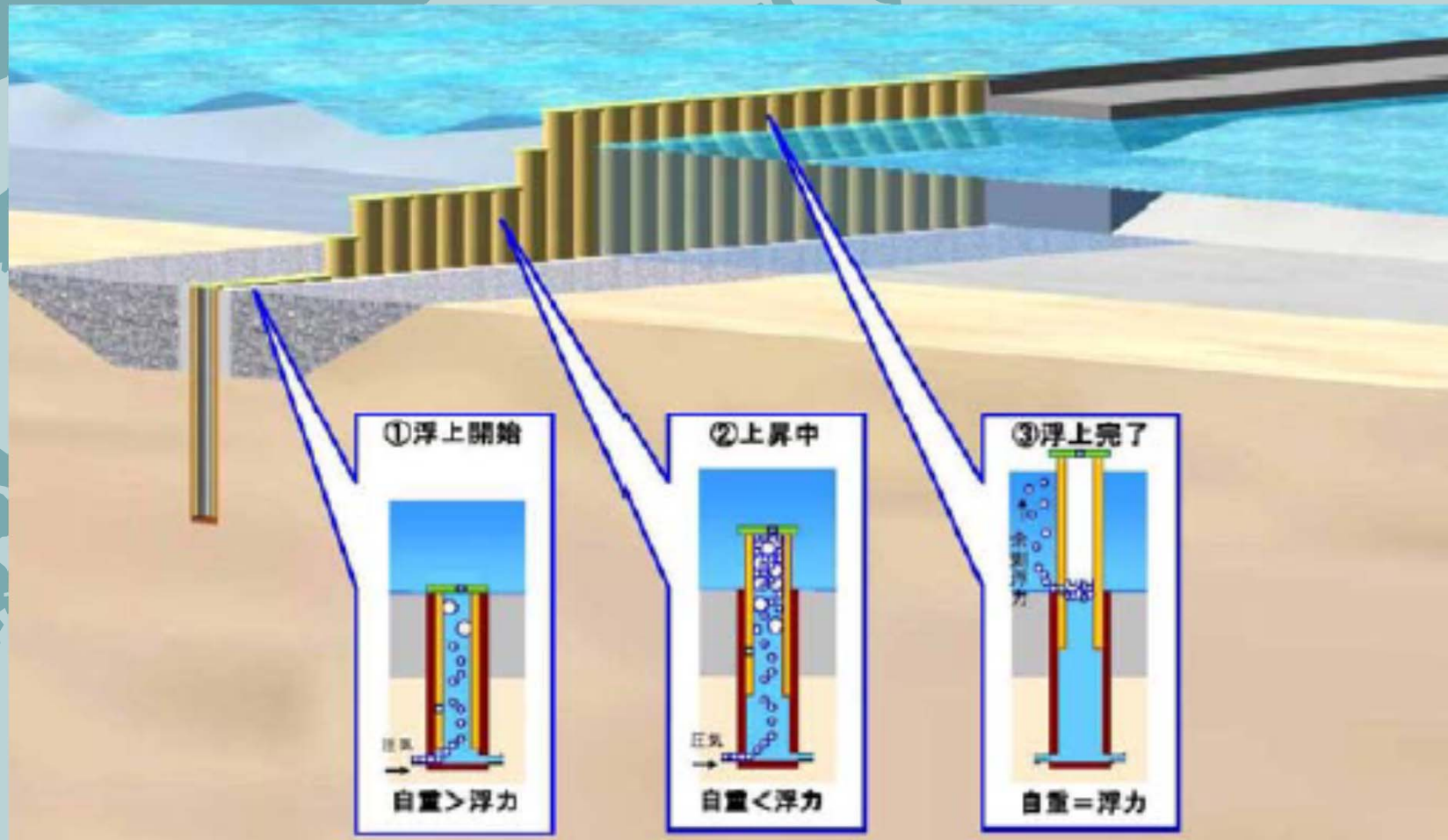
波源域を156個の小領域に分割

GPS波浪計, 海底波圧計の利用

それぞれの小領域(27km×27km)における水位が単位変動(1m)した場合の津波シミュレーションを実施

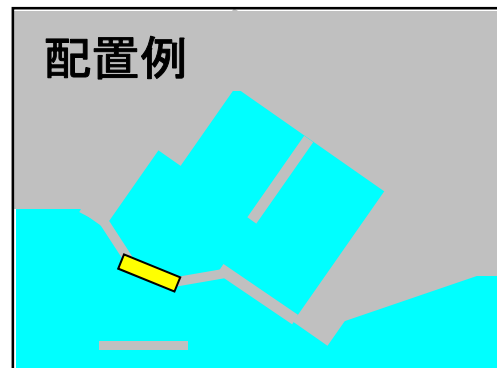
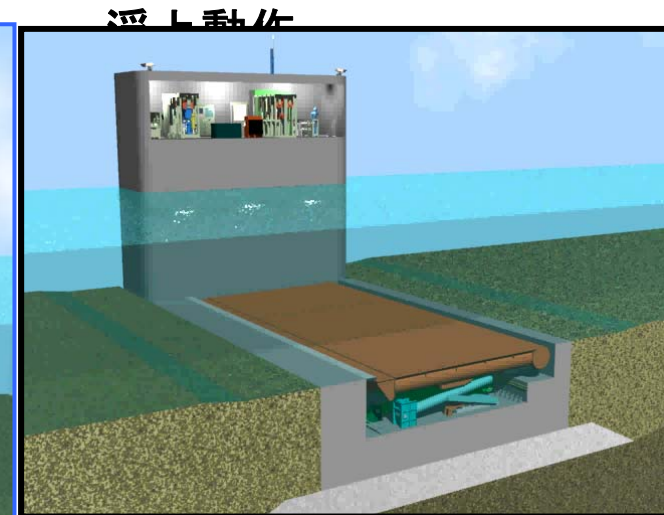
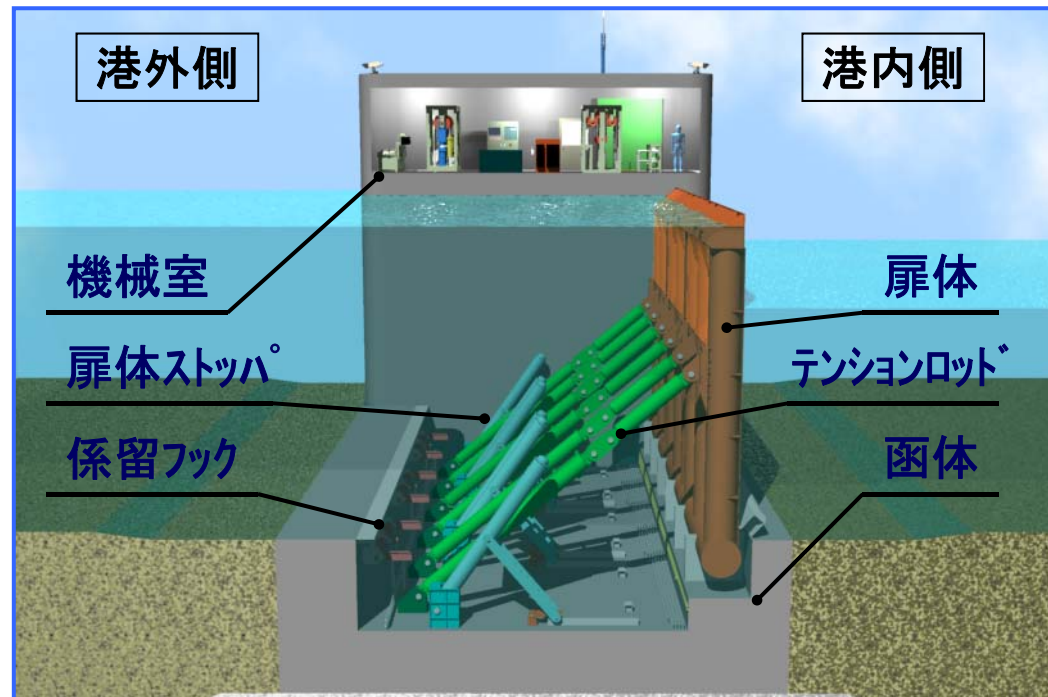


直立浮上式防波堤の実海域実証実験



■ フラップゲート式可動防波堤 (共同研究成果)

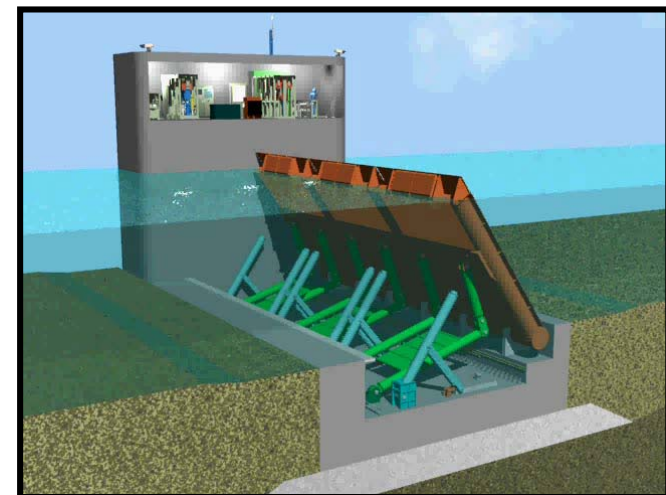
津波・高潮防波堤用



主な特長

海水交換/航路を確保
自然の力を有効利用
設備状態を常時監視

倒伏動作



■ 実海域試験

これまでの検討

水理模型実験
数値流体解析



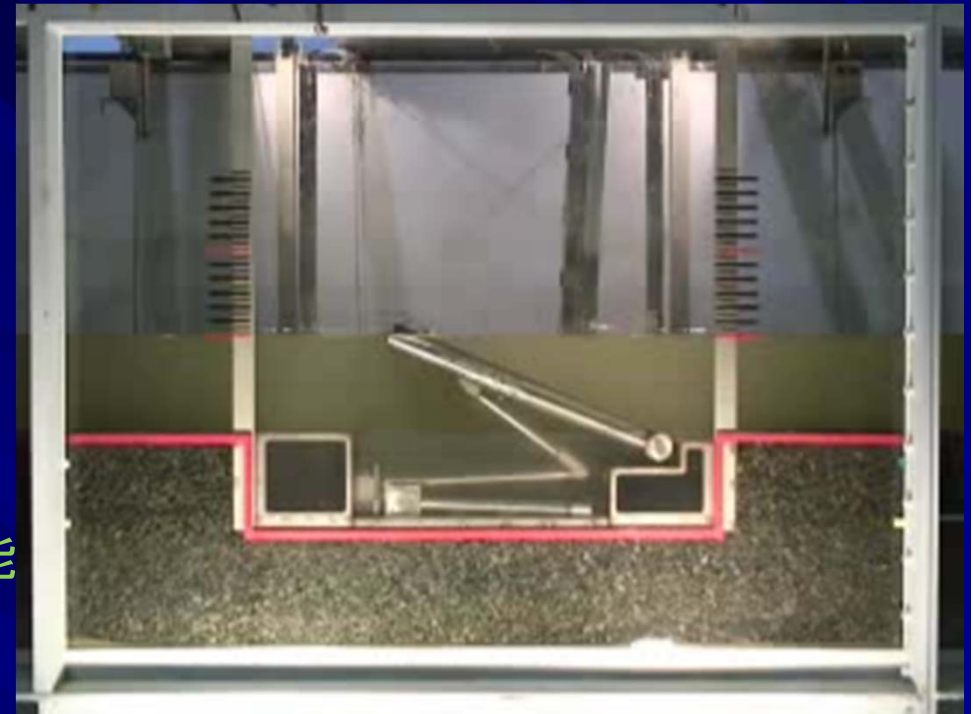
- ・津波作用時における防災性能
- ・津波による波力特性
- ・浮上状態における波浪特性
- ・海底倒伏状態における扉体の係留特性

実用化に当たっては、

実海域試験



- ・浮上状態における波浪特性の検証
- ・海底倒伏状態における扉体の係留特性の検証
- ・実海域における基本動作特性
- ・状態監視システムおよび保守管理手法の有用性の確認

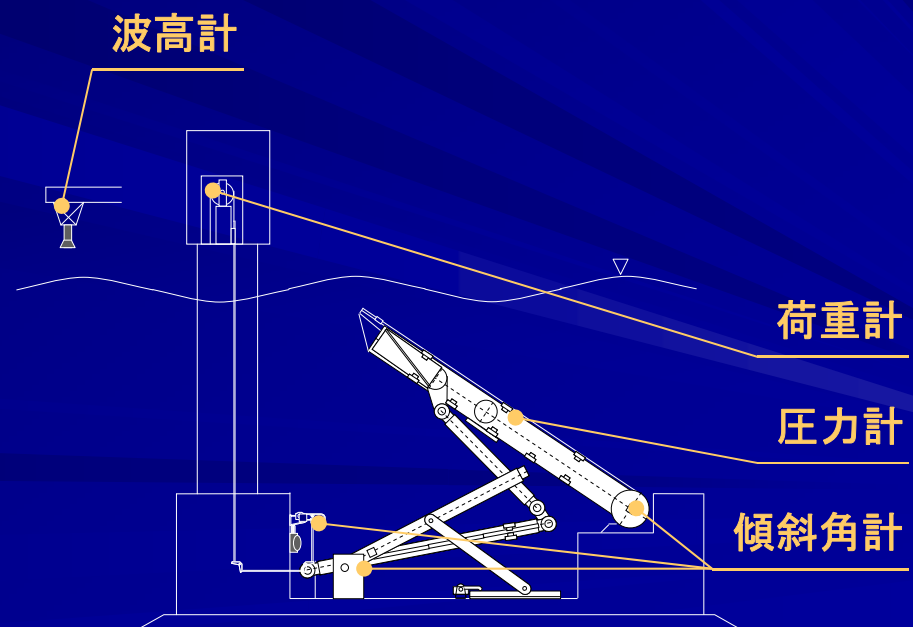


試験場所



■ 試験項目 (紹介だけ)

- 1) 浮上・倒伏試験 (基本動作特性)
- 2) 扉体動揺試験 (浮上状態における波浪特性)
- 3) 扉体係留試験 (倒伏状態における係留特性)
- 4) 保守管理手法の有用性の検証

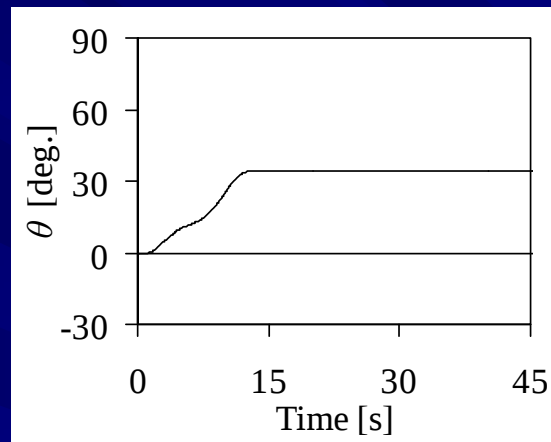


■ 主要な試験結果 (省略)

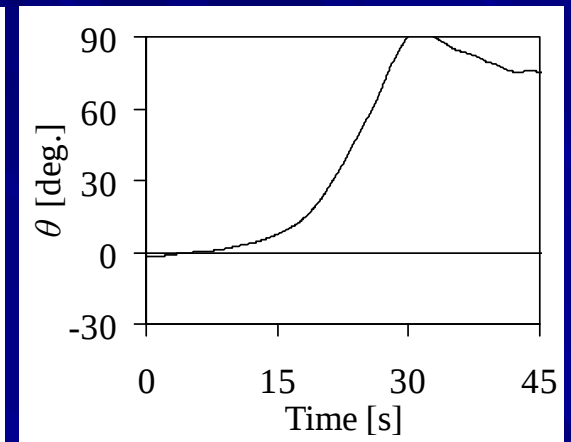
津波・高潮防波堤用フラップゲートの基本動作 浮上動作



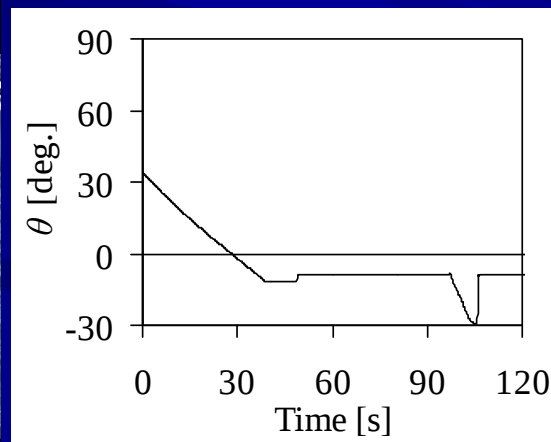
倒伏動作



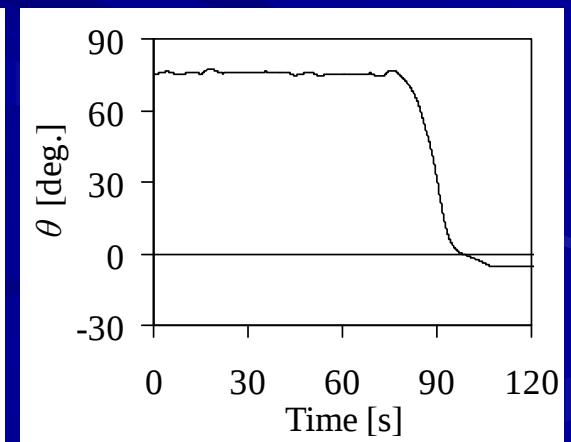
係留フック



扉体



係留フック



扉体

■これまでの成果

- ・津波・高潮防波堤用フラップゲートの扉体は、常に浮上可能な状態を保持できていることが確認され、使用頻度が極めて低い津波対策可動防波堤としての適応性の高さが確かめられた。
- ・波除堤用フラップゲートの扉体の起立方法ならびに起立状態の支持方法に問題は認められなかった。
- ・これまでに実施した室内模型実験の結果と比較して十分な整合性を有しており、実機設計を行う上での指標となることが実証された。

■今後の検討 (省略)

- ・津波・高潮防波堤用フラップゲートの長期倒伏状態の監視
- ・試験期間終了後の腐食量および生物付着量の評価

研究の背景 (共同研究成果)

2011年3月11日 東北地方太平洋沖地震による大津波 発生

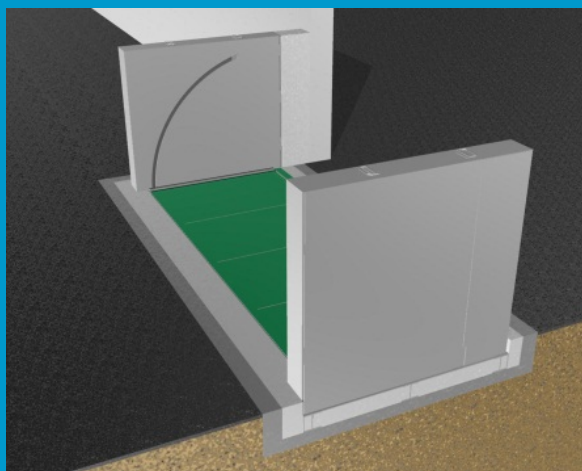


建屋壁面開口部からの浸水により被災

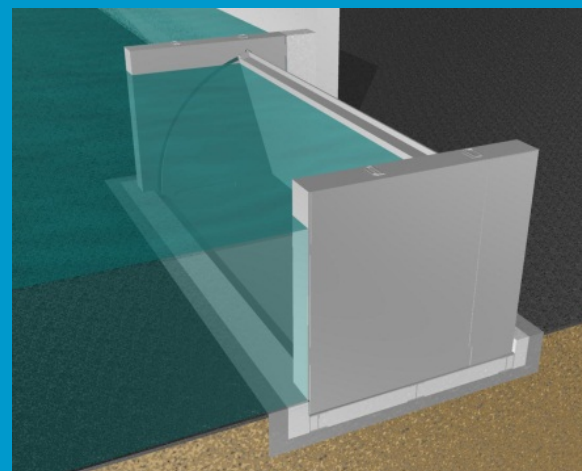
常時閉鎖できない開口に対する浸水防止対策が必要

基本技術：陸上設置型フラップゲート(neo RiSe)

浸水による水圧を利用し、無動力・人為操作無しで開口部を閉鎖



待機時



浸水時

<neo RiSeイメージ図>

研究の背景 (共同研究成果)

2011年3月11日 東北地方太平洋沖地震による大津波 発生



建屋壁面開口部からの浸水により被災

常時閉鎖できない開口に対する浸水防止対策が必要

基本技術: 陸上設置型フラップゲート(neo RiSe)

浸水による水圧を利用し、無動力・人為操作無しで開口部を閉鎖



＜水位上昇に対する動作確認＞



＜濁流に対する動作確認＞

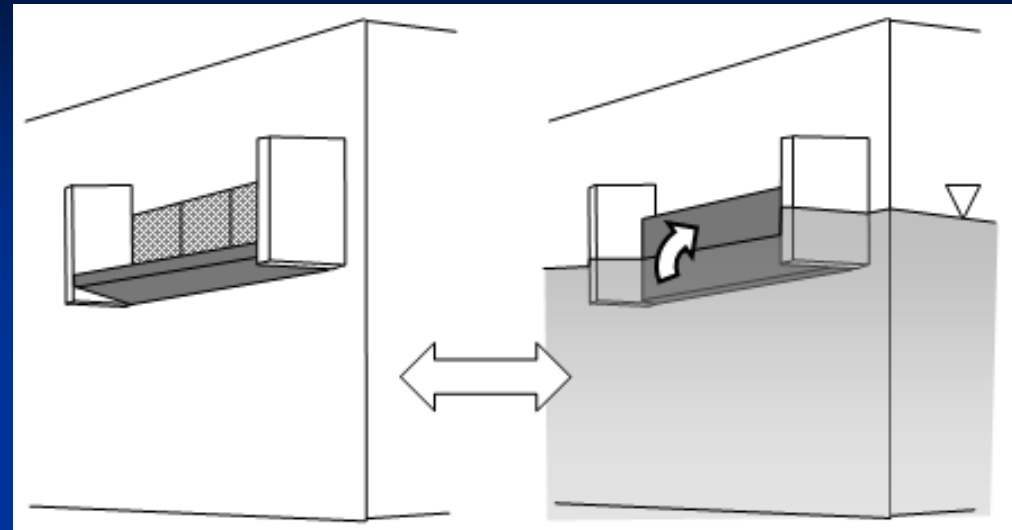
研究の背景

【基本技術】
陸上設置型フラップゲート



適用範囲の拡張

壁面設置型フラップゲート



＜壁面設置型フラップゲートのイメージ＞

壁面設置型フラップゲートの適用性確認が必要



段波作用時における波圧特性・扉体動作性の評価

※特に壁面に衝突して上向きに生じる動波圧に対して

※静的な水压荷重による浮上動作は従来実験結果にて評価可能

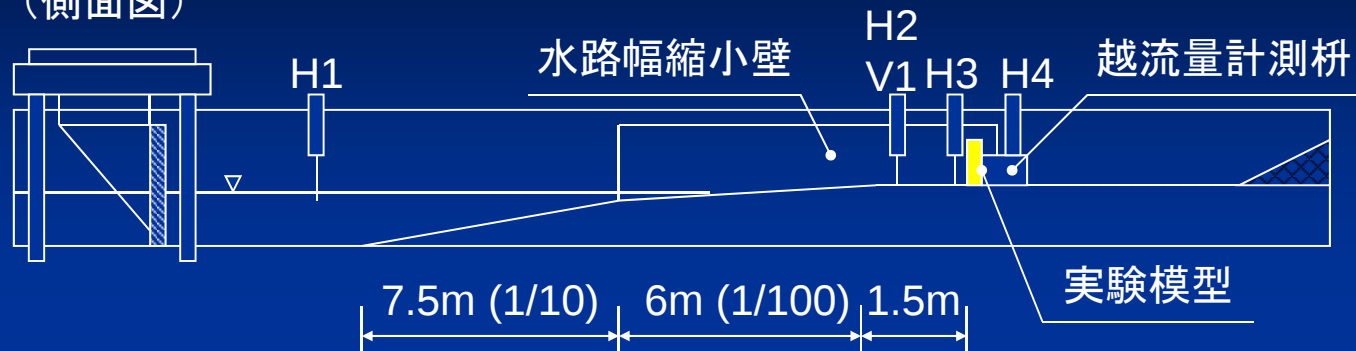


壁面設置型フラップゲートの水理模型実験を実施
(津波入射面に設置される場合を対象)

- フラップを設置することによる壁面への影響
- フラップに作用する波圧特性

実験方法 -2次元造波水路と実験模型(1:50縮尺)-

(側面図)



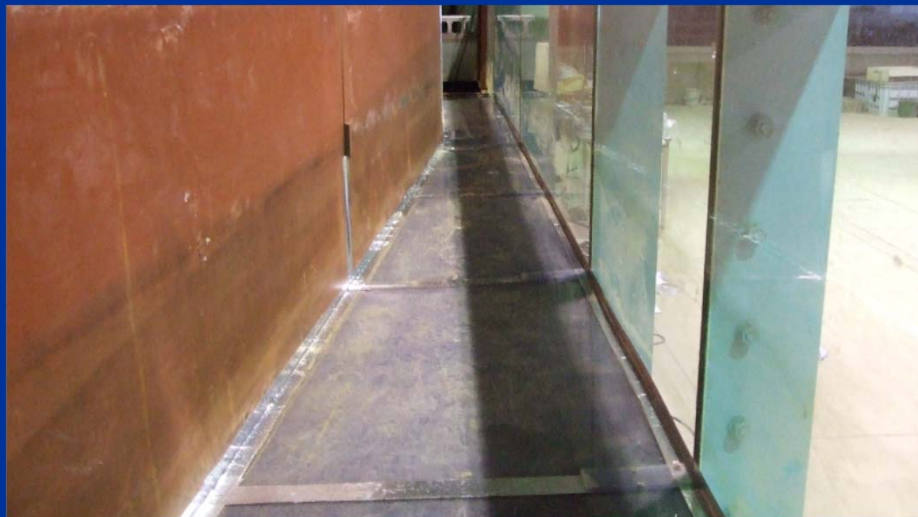
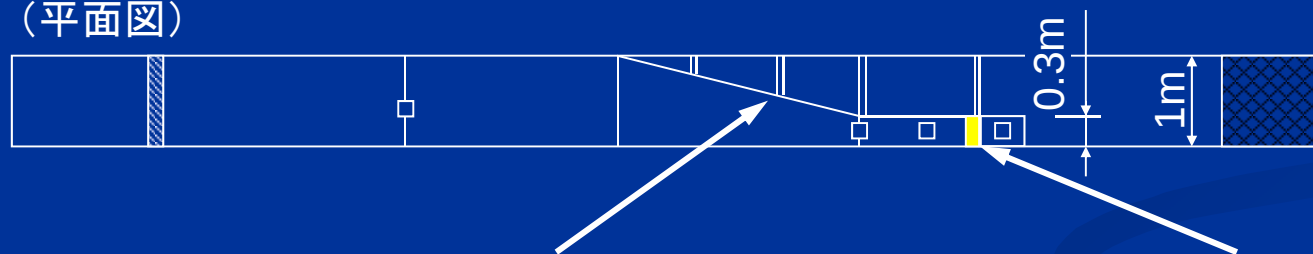
開口部の路面
からの高さ H_G

10, 20 cm

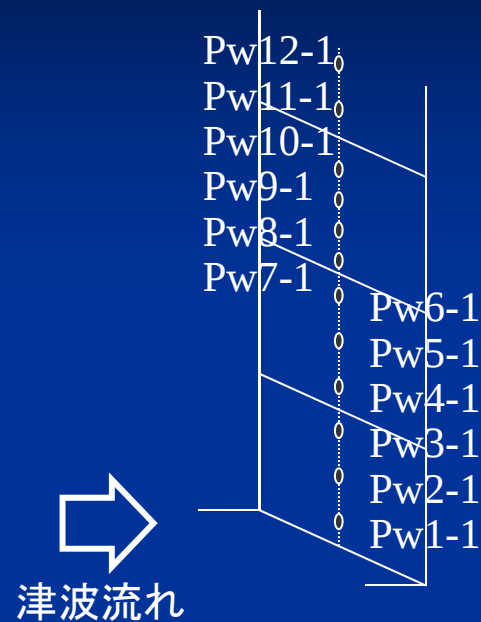
開口部の縦方向
の寸法 L_G

2, 4, 6, 8 cm

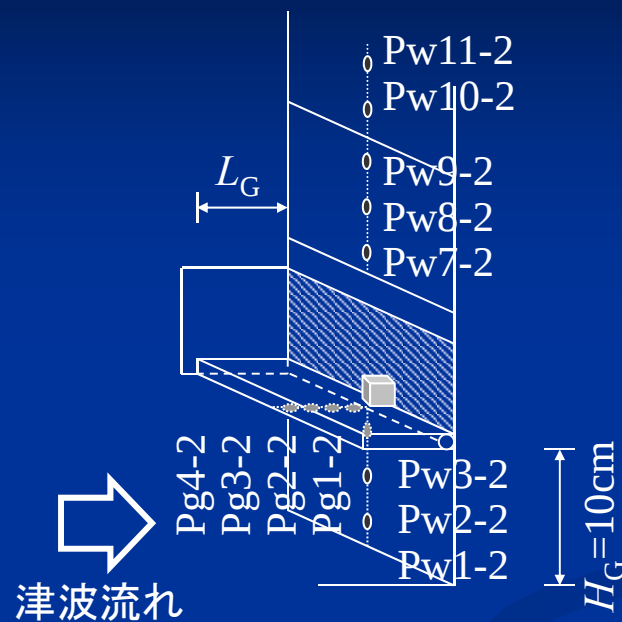
(平面図)



実験方法 -センサの配置-

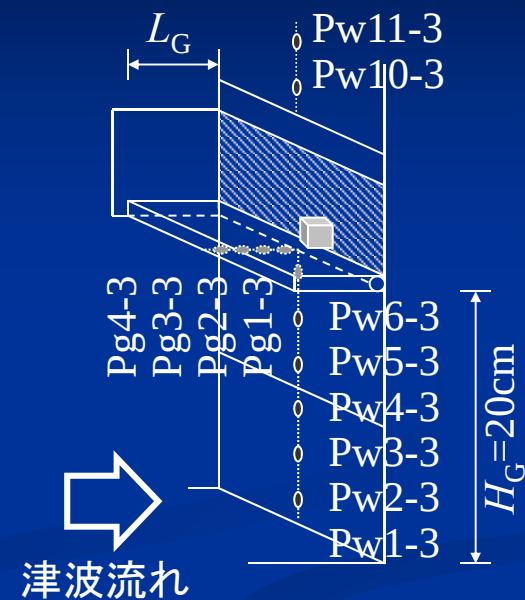


直立壁



フラップゲート式

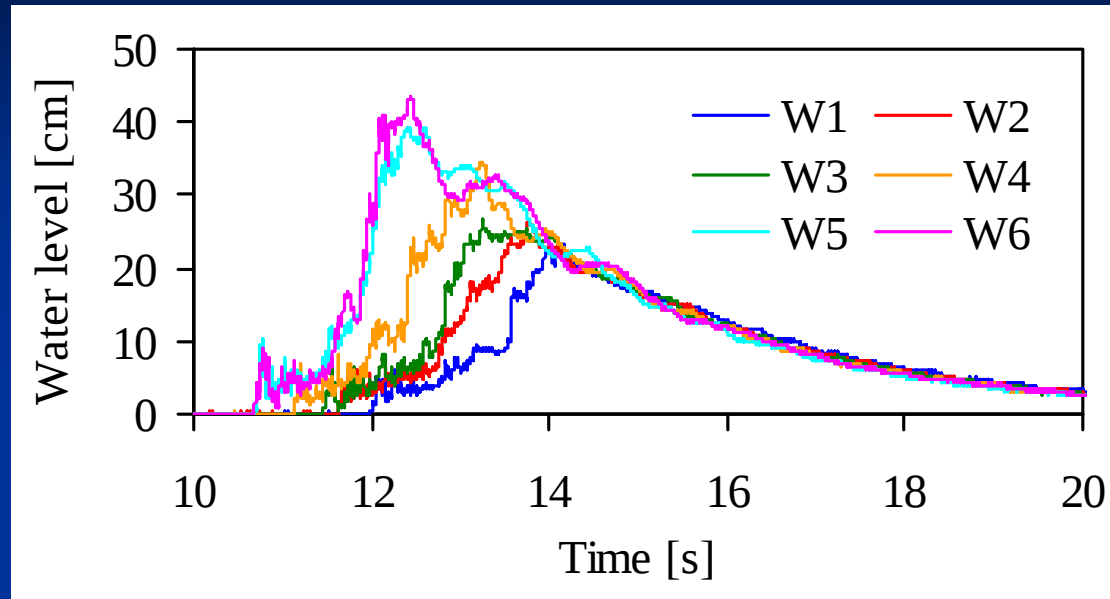
$L_G / H_G = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$



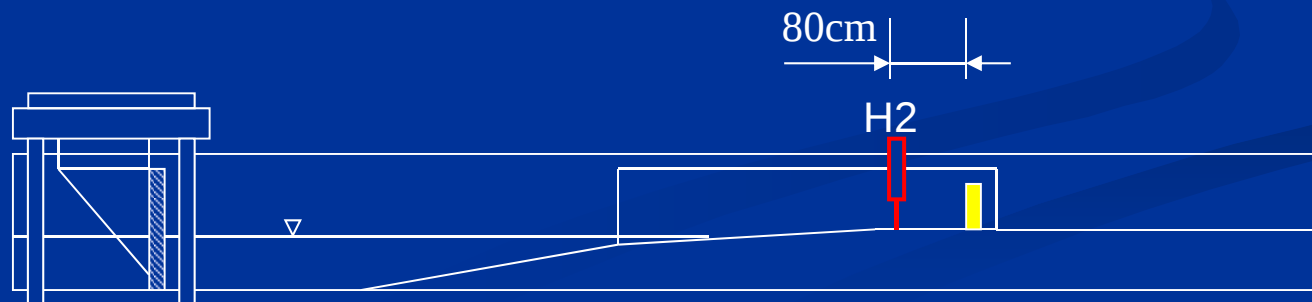
フラップゲート式

$L_G / H_G = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$

実験方法 -津波波形-

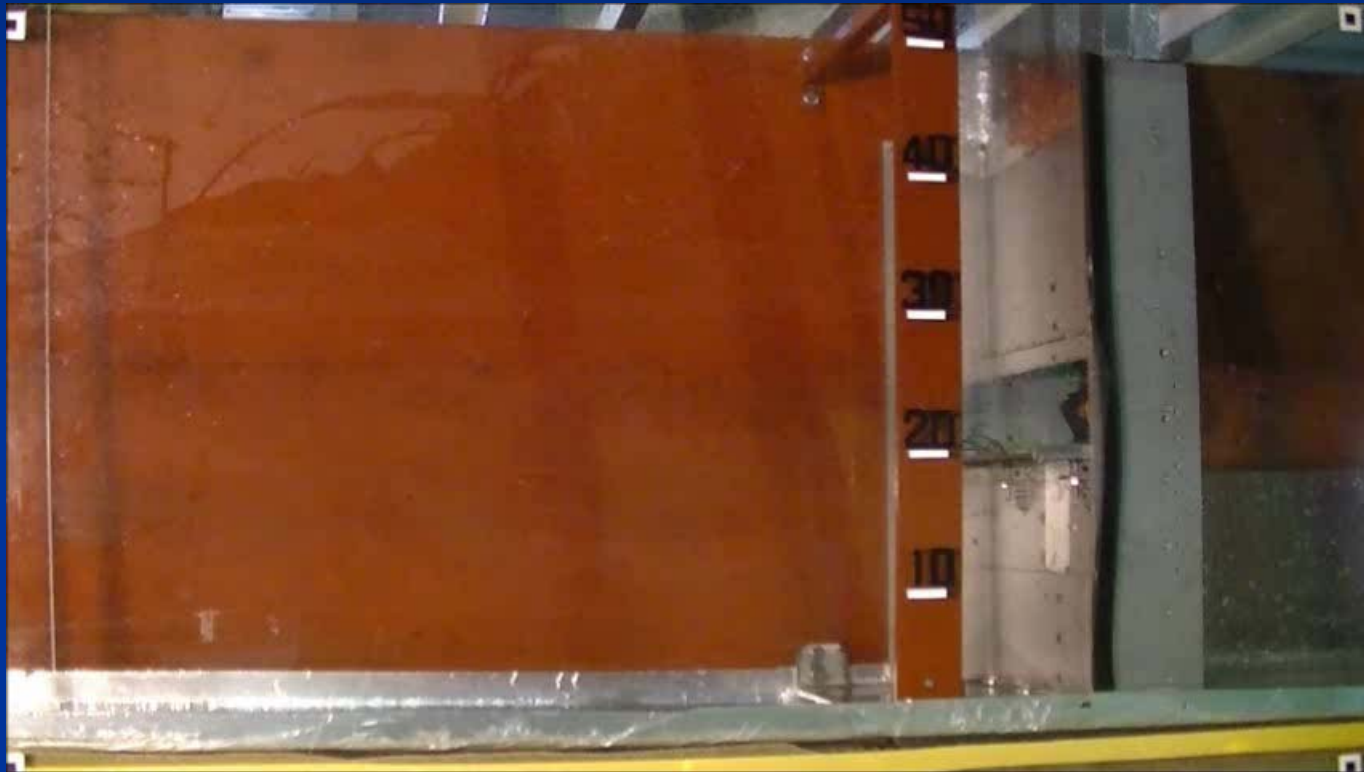


	実機スケール	模型スケール(1:50)
最大浸水深	10, 12, 14, 16, 18, 20 m	20, 24, 28, 32, 36, 40 cm



実験結果

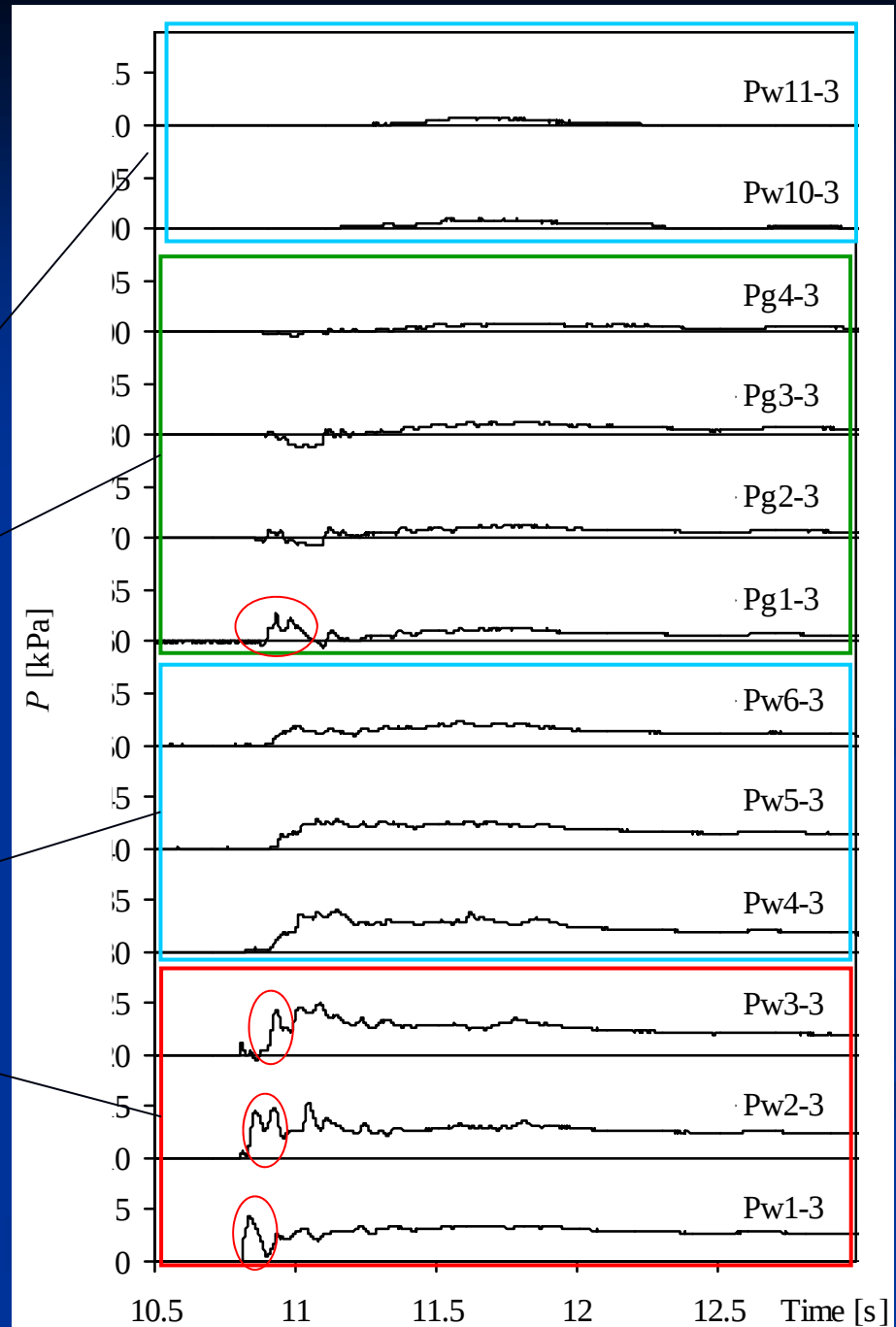
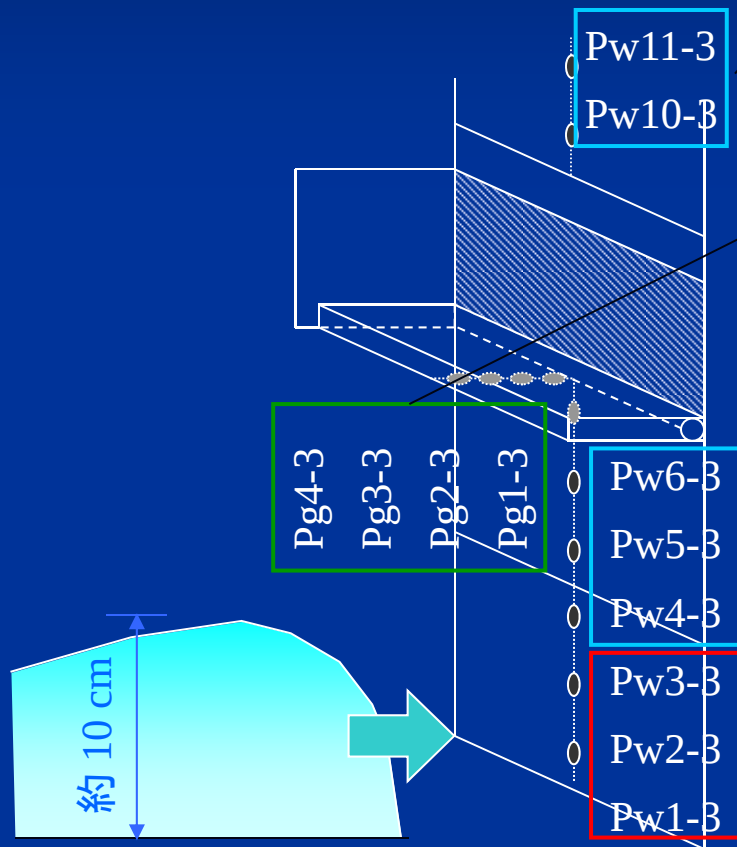
実験映像



< $H_G=20\text{cm}$, $L_G=8\text{cm}$, W5 >

実験結果(省略)

波圧の時間変化



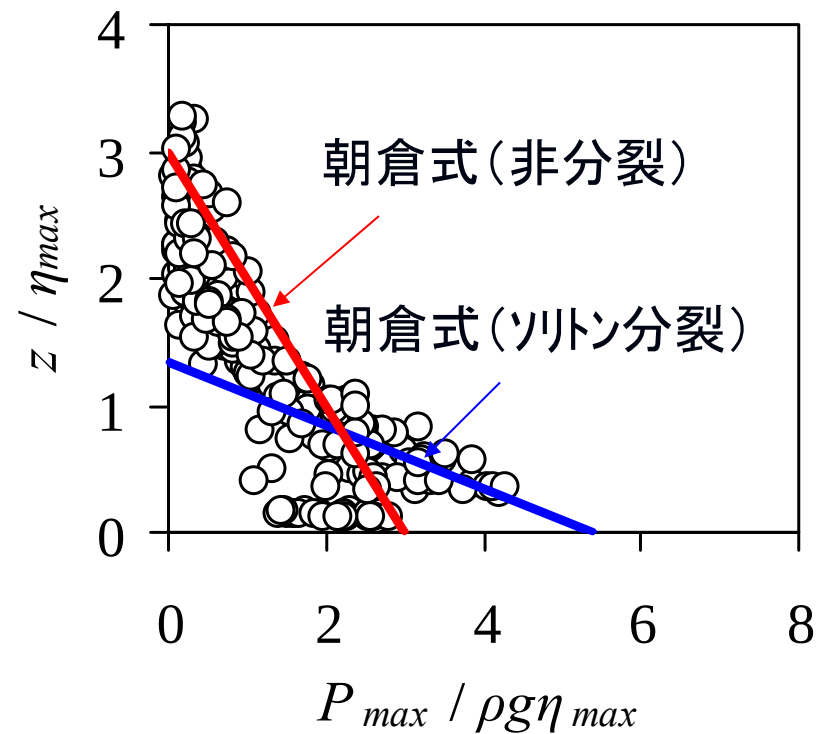
実験結果(省略)

直立壁に作用する最大波圧の鉛直分布

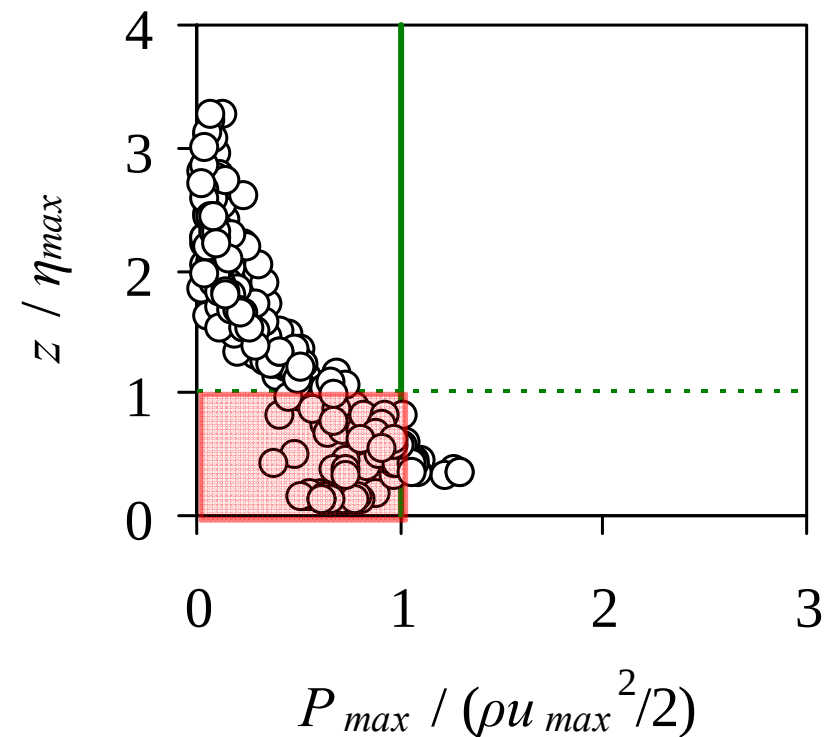
津波流れ



静水圧で無次元化

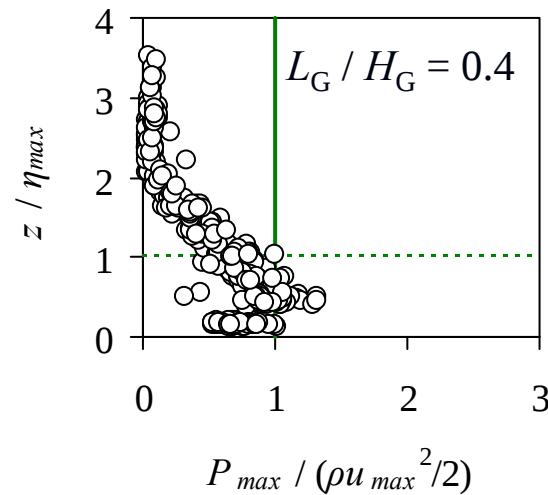
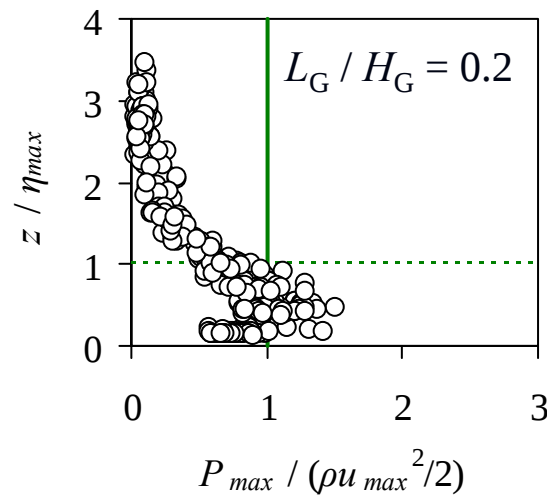


動圧で無次元化

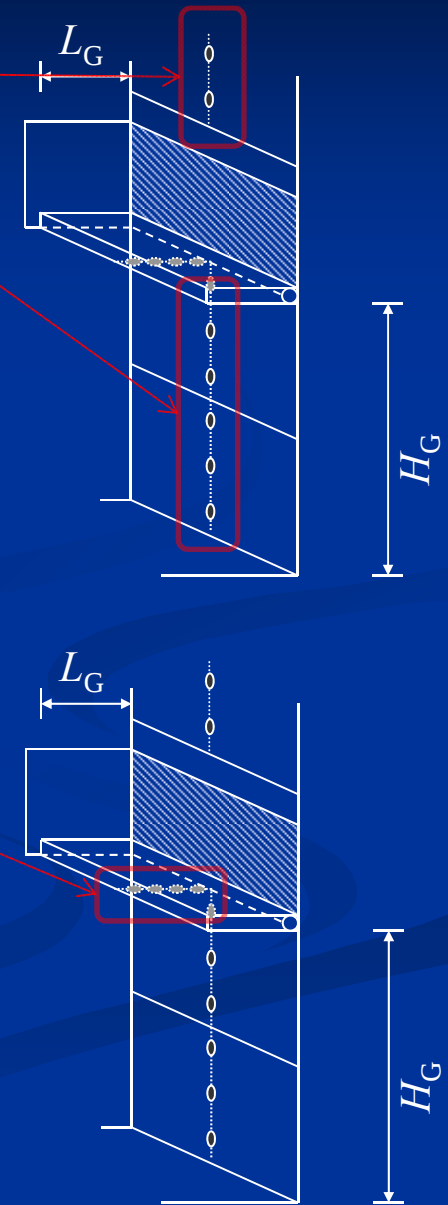
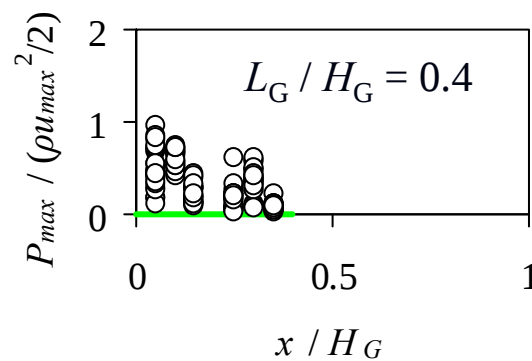
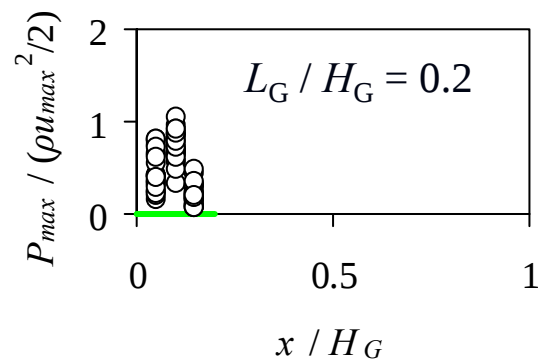


実験結果(省略)

【フラップ°設置壁面に作用する最大波圧】



【フラップ°扉体下面に作用する最大波圧】



壁面設置型フラップゲート

2次元造波水路を用いた水理模型実験の実施
段波津波作用時における動特性ならびに波圧特性について検討



- 急激な水位上昇にも追従して**確実に開口部を閉鎖**できることを確認
- フラップゲート設置による、**鉛直壁面作用波圧の増大は軽微**
- 扉体下面に作用する波圧は、入射段波の**水平流速より推定可能**

結び：津波から身を守る

- 地震の強い揺れが続いたら（南海，東南海あるいは東海地震と考え），津波が来ると思うこと.
- 河川敷や海岸などに近づかないこと.
- 地下街に近づかず，地下鉄も利用しない，地上にでること.
- 近くの3階建て以上の鉄筋コンクリートの建物に避難すること
- 水門は閉めること（地域住民の役割分担）.
- 高齢者や災害弱者は，すぐに安全な避難所に自主避難すること.
- 避難所では安全が確認されるまで滞在すること.
- 空振りを非難しないこと.