

平松・佐藤、海岸工学論文集、第66巻、pp.656-660、2010.

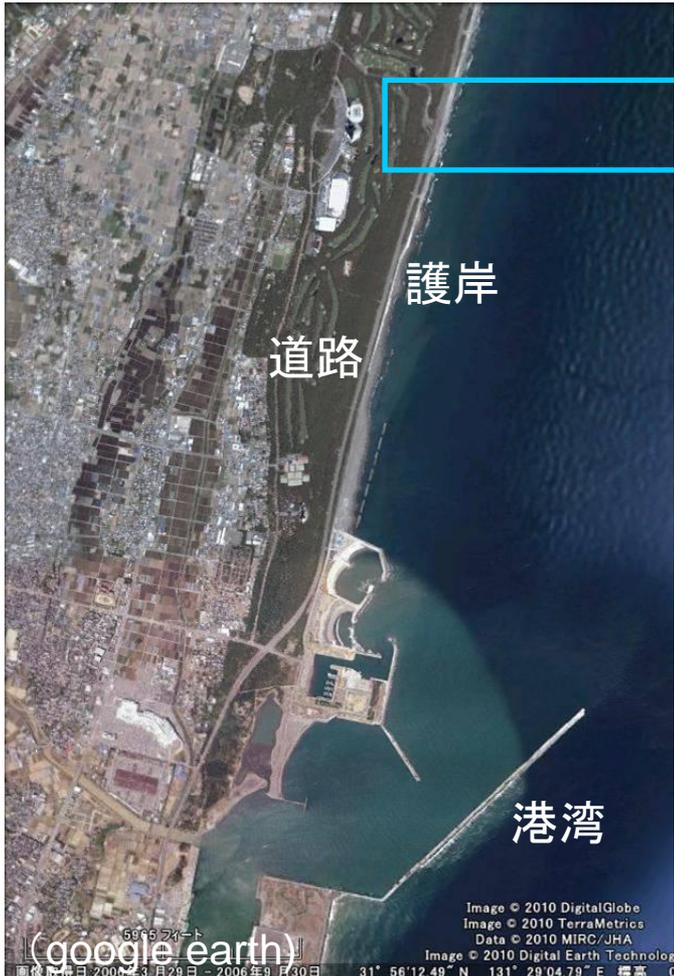
# サンドバック潜堤の安定性と 海岸侵食緩和機能

Stability and Performance Evaluation of  
Submerged Sand-Packed Breakwaters

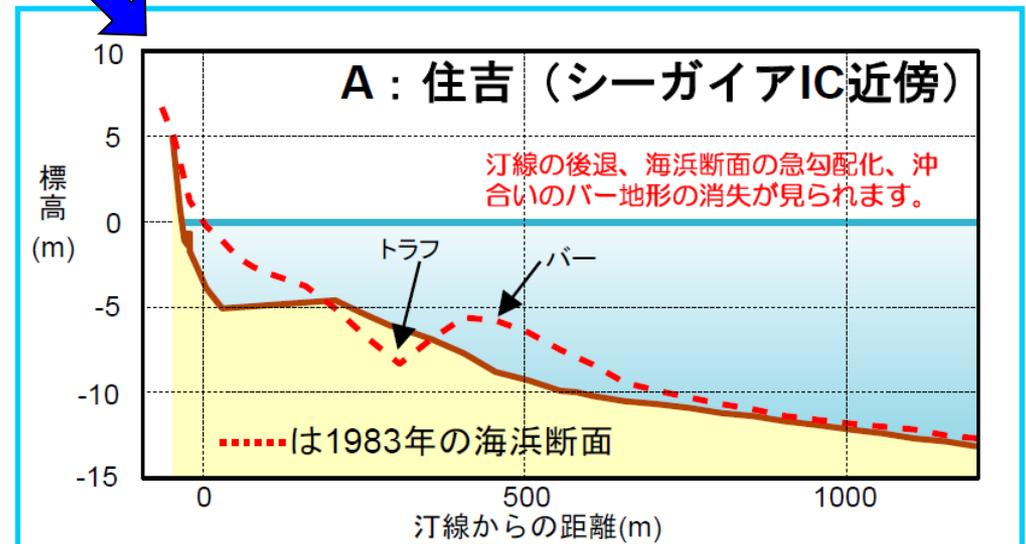
東京大学 社会基盤学専攻  
平松遥奈・佐藤慎司

# 研究背景

高度に開発された侵食海岸でのバーの消失 → 海岸侵食の加速  
→ 侵食防止機能を持つ構造物が必要



岸沖方向の地形



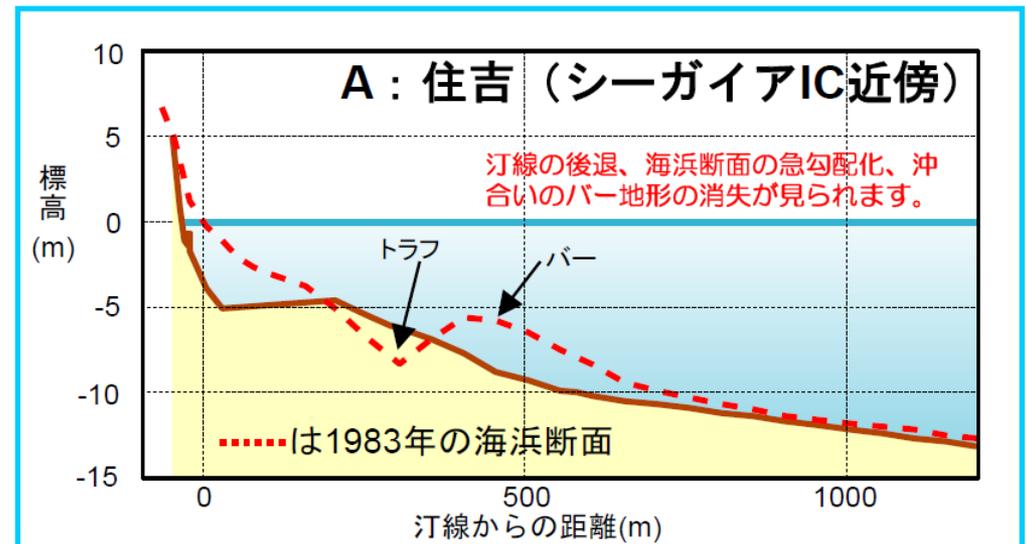
例) 宮崎県住吉海岸  
(侵食対策委員会資料より引用)

# 研究背景

高度に開発された侵食海岸でのバーの消失 → 海岸侵食の加速

→ 侵食防止機能を持つ構造物が必要

コンクリート構造物に反対する人も

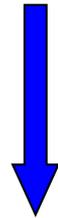


例) 宮崎県住吉海岸  
(侵食対策委員会資料より引用)

# 研究背景

高度に開発された侵食海岸でのバーの消失 → 海岸侵食の加速

→ 侵食防止機能を持つ構造物が必要

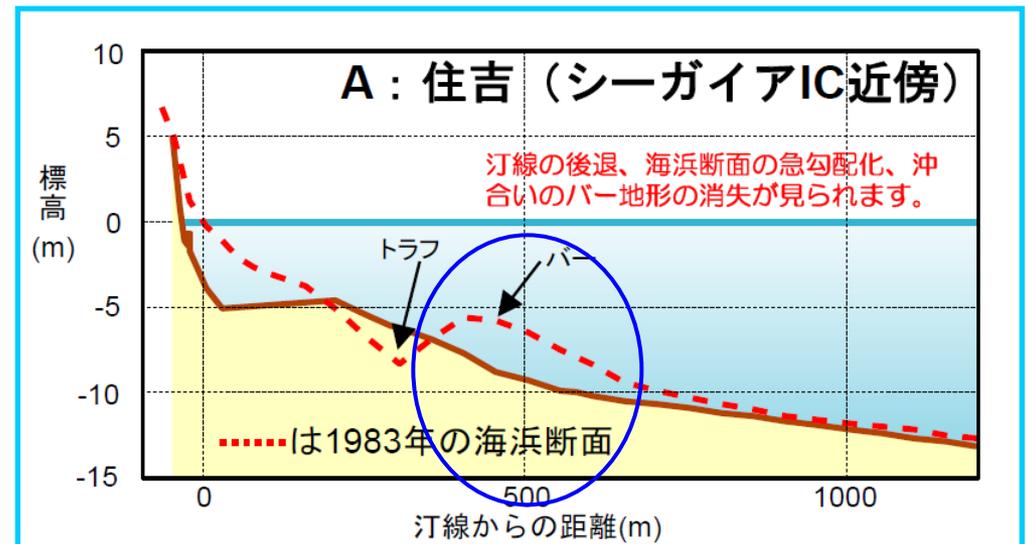


コンクリート構造物に反対する人も

サンドバックを用いた潜堤による侵食対策(バー付近に設置)



サンドバック(Heertenら, 2000)



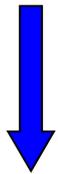
例) 宮崎県住吉海岸  
(侵食対策委員会資料より引用)

# 研究の流れ

## サンドバックを用いた潜堤

沖合に置き、波浪制御機能を期待

- 安定性に問題
- 大水深域での施工事例が少ない
- 明確な設計基準の欠如



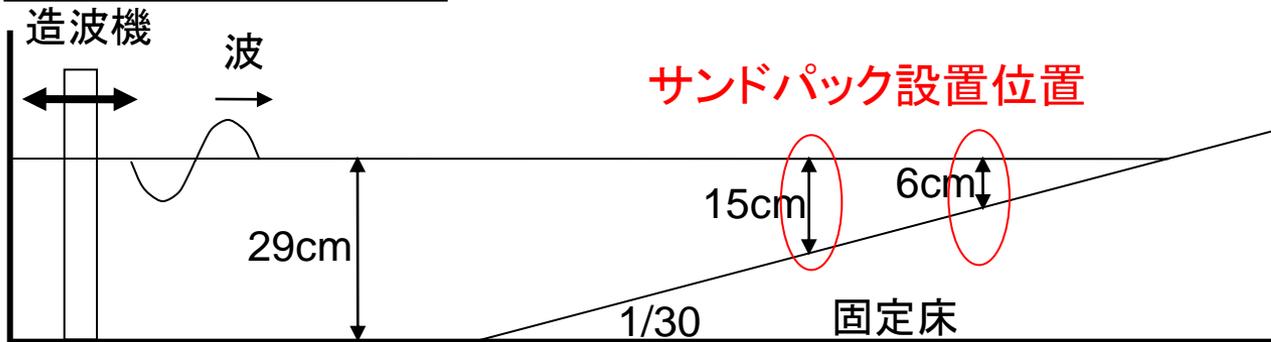
本研究での検討

- ① 海岸構造物としての安定性 (固定床二次元水路実験)
- ② 潜堤としての侵食防止機能 (移動床二次元水路実験)
- ③ 実際の海浜での侵食防止機能と洗掘現象 (移動床平面水槽実験)



オーストラリアのサーフィンリーフ  
(Saathoffら, 2007)

二次元造波水路



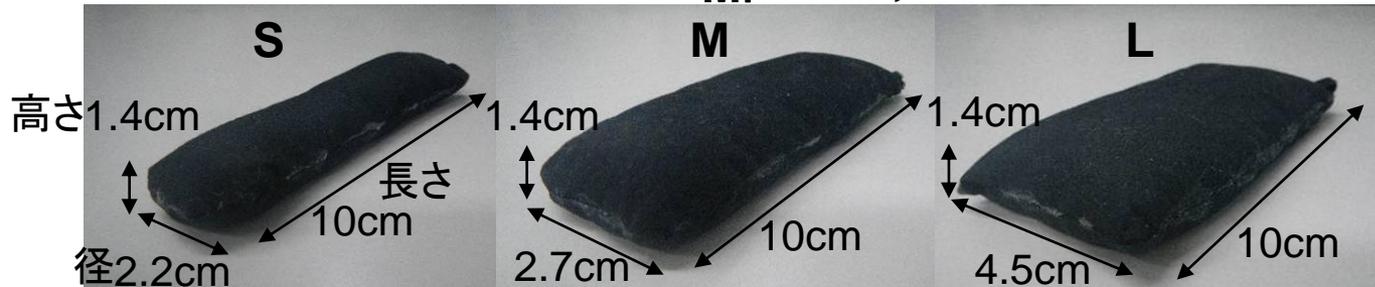
実験スケール: 現地の1/100を想定

波浪条件

| ケース | 一様水深部での波高 (cm) | 周期 (s) |
|-----|----------------|--------|
| A-1 | 1.79           | 0.5    |
| A-2 | 2.78           |        |
| A-3 | 4.22           |        |
| A-4 | 4.44           |        |
| A-5 | 4.62           |        |
| A-6 | 4.96           |        |
| B-1 | 2.9            | 1      |
| B-2 | 4.08           |        |
| B-3 | 5.23           |        |
| B-4 | 5.89           |        |
| B-5 | 8.47           |        |
| B-6 | 9.37           |        |
| C-1 | 2.95           | 1.5    |
| C-2 | 4.18           |        |
| C-3 | 5.4            |        |
| C-4 | 5.48           |        |
| C-5 | 7.22           |        |
| C-6 | 9.09           |        |
| C-7 | 10.16          |        |
| D-1 | 2.84           | 2      |
| D-2 | 3.92           |        |
| D-3 | 5.24           |        |
| D-4 | 5.93           |        |
| D-5 | 7.24           |        |
| D-6 | 8.64           |        |
| D-7 | 9.55           |        |

サンドパックの大きさ

Mm 20cm } 長さ  
 MI 30cm }



空隙率 0.52

0.38~0.45

## サンドパックを動かす力: 波力F

波力の算定: Morison式 (長さdsに作用する波力dF)

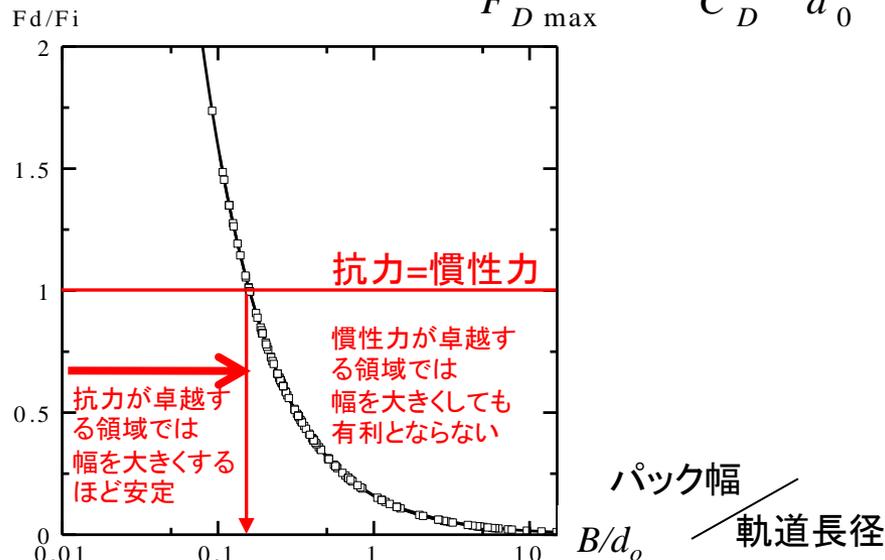
$$dF = \left[ \underbrace{C_D \frac{1}{2} \rho_w D_h u |u|}_{\text{抵抗力 } F_d} + \underbrace{C_M \rho_w A \dot{u}}_{\text{慣性力 } F_i} \right] ds$$

- $\rho_w$ : 水の密度
- $C_D$ : 抵抗力係数
- $C_M$ : 慣性力係数
- $D_h$ : パックの高さ
- $A$ : パックの断面積
- $u$ : 水粒子速度
- $\dot{u}$ : 水粒子加速度

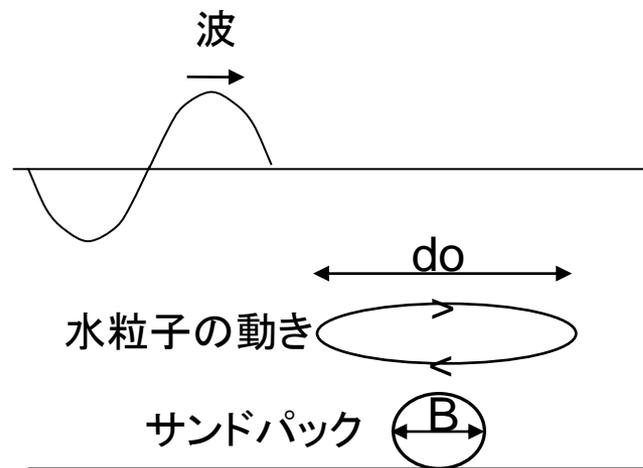
## 抵抗力: 摩擦力 (水中重量Wに比例)

### 抵抗力と慣性力

$$\frac{F_{I \max}}{F_{D \max}} = \frac{\pi C_M}{C_D} \frac{B}{d_0}$$



最適径  $T=10s, h=5m$  とすると  $B_{opt}=1.4m, h=1m$  なら  $B_{opt}=0.63m$  水粒子軌道長径  $d_0 = \frac{\hat{u}T}{\pi}$



# ①海岸構造物としての安定性

## サンドパックを動かす力: 波力 $F$

【単位長さあたりの波力  $dF$ 】

$$dF = \left[ \underbrace{C_D \frac{1}{2} \rho_w D_h u |u|}_{\text{抵抗力 } F_d} + \underbrace{C_M \rho_w A \dot{u}}_{\text{慣性力 } F_i} \right] ds$$

## 抵抗力: 摩擦力 (水中重量 $W$ に比例)

【単位長さあたりの水中重量  $dW$ 】



$F/W$

1.0

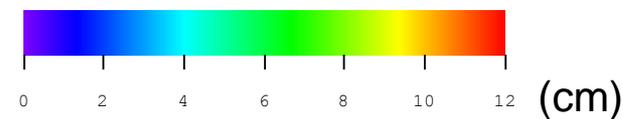
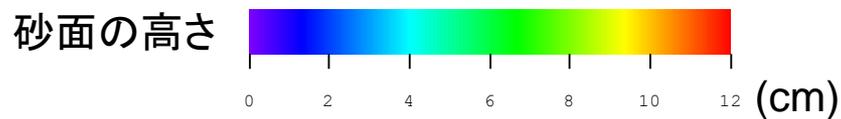
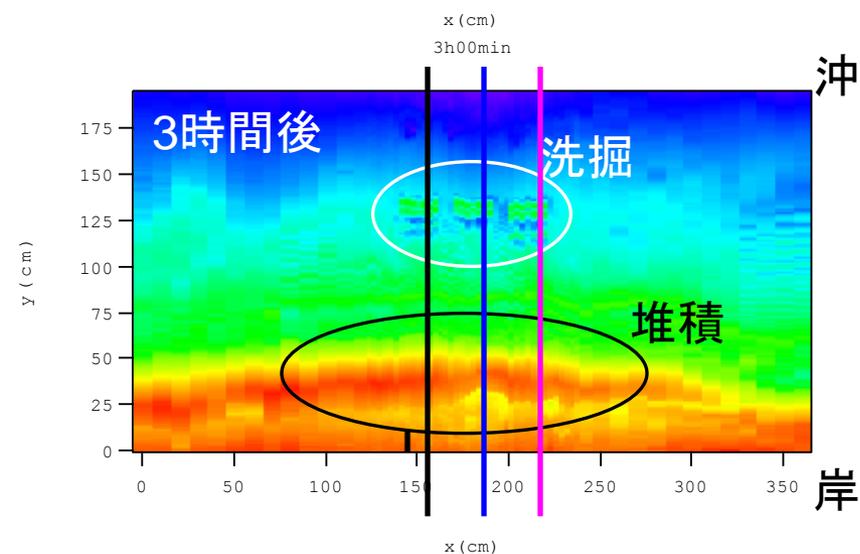
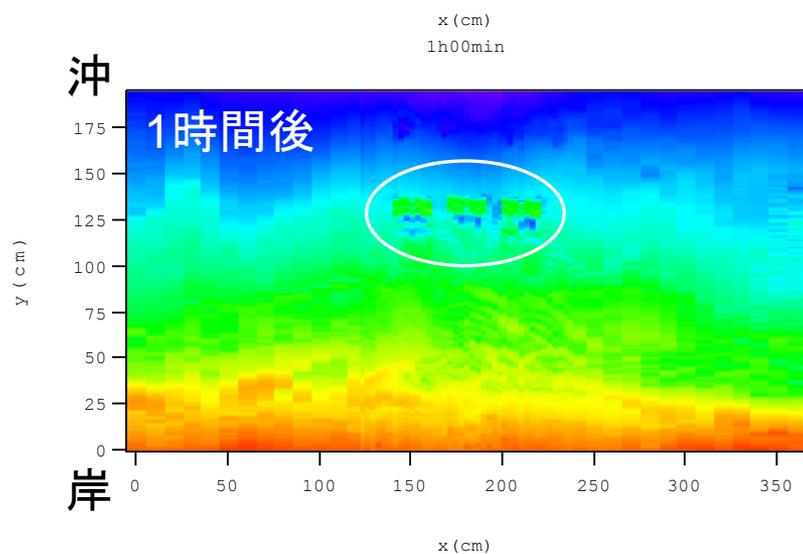
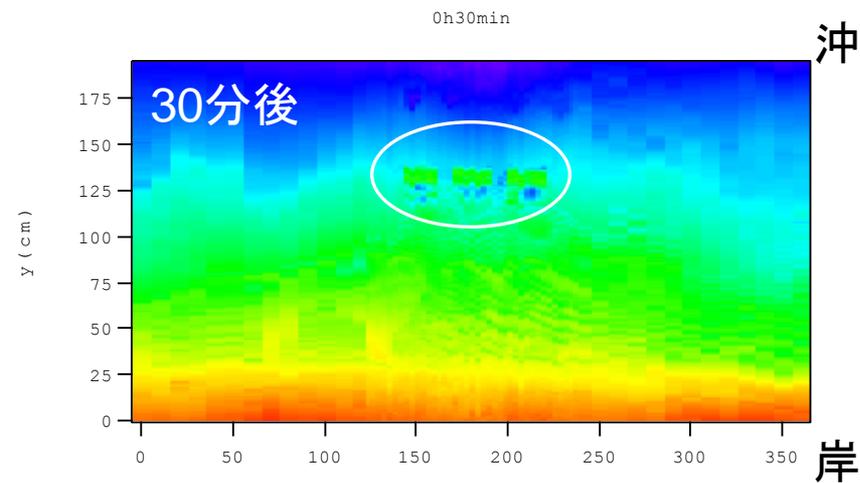
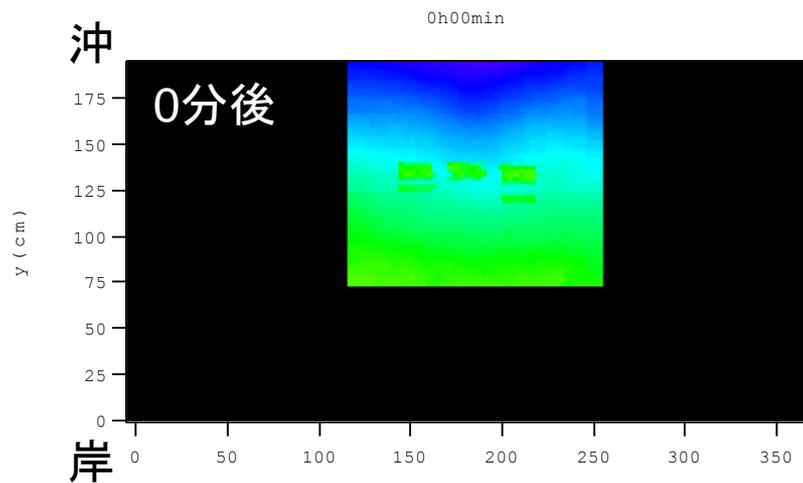
0.5

0.0

| $B =$ | stable | slide | rotate |
|-------|--------|-------|--------|
| 2.2cm | ○      | ▲     | ▼      |
| 3.6cm | ○      | ▲     | ▼      |
| 4.5cm | ○      | ▲     | ▼      |

10<sup>-2</sup> 10<sup>-1</sup> 10<sup>0</sup> 10<sup>1</sup>  $B/d_0$   
 サンドパック幅/水粒子軌道長径

砂の充填率が高い場合の安定領域



## ①安定性(固定床二次元水路実験)

- サンドバック幅/水粒子軌道長径( $B/d_0$ )が重要なパラメータ
- 安定条件を提案

## ②潜堤としての侵食防止機能(移動床二次元水路実験)

- 暴浪時の急激な海岸線後退を緩和
- サンドバック設置位置における冲向き漂砂量を低減

## ③侵食防止機能と洗掘現象(移動床平面水槽実験)

- サンドバック潜堤背後の海岸線付近に堆積
- 潜堤背後に局所的な洗掘
- 洗掘溝にサンドバック設置→潜堤の機能低下を回避

サンドバックを用いた潜堤

安定な構造物として設計可能で、海岸侵食を緩和する性能を有する

今後の課題

実施工に向けて、実験条件を増やす必要がある

# 宮崎海岸の侵食

2010年11月4日



0800919 [台風13号後]



11/52

2008年9月19日



2009年7月9日

# 研究背景

## 宮崎海岸

### 現地観測

- 浜崖の侵食が激しい
- 一部はコンクリートで保全
- 住民はコンクリート以外の対策を要望

## サンドバック

### 室内実験

- 安価・自然に近い景観・万一破れても大丈夫
- 国内での実績が無い・安全性などのデータが無い

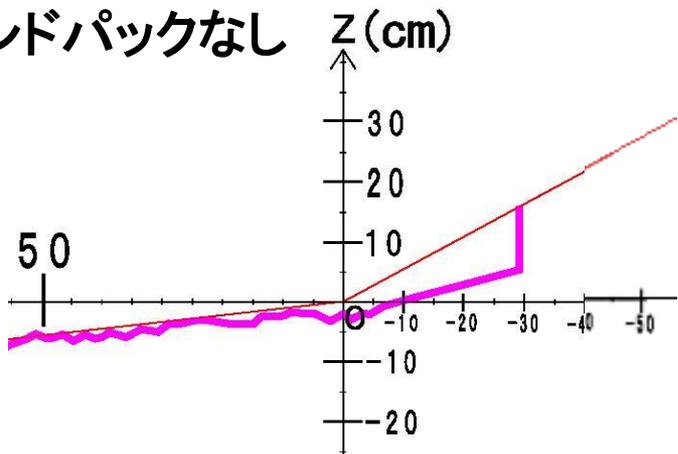
→ 浜崖の対策として、最適な工法を提案



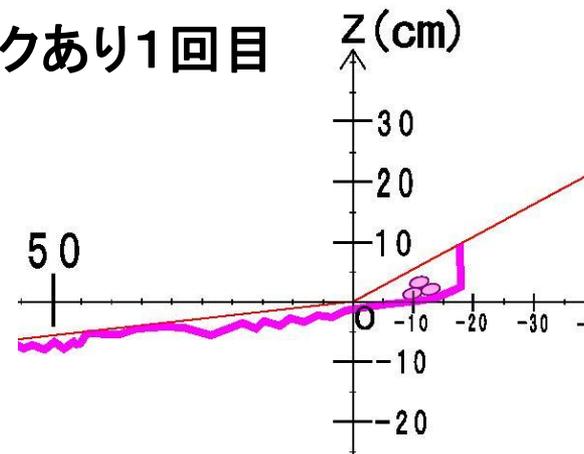
# 実験の再現性

波高8.0cm/周期1.2秒

サンドパックなし



サンドパックあり1回目

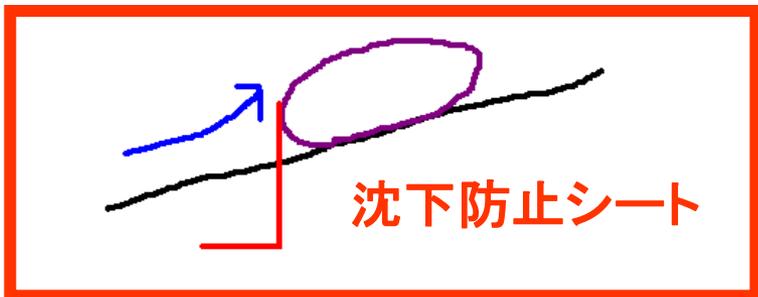
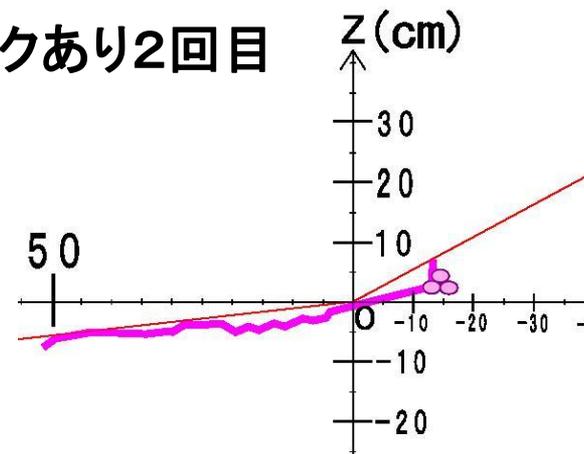


1回目

2回目



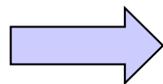
サンドパックあり2回目



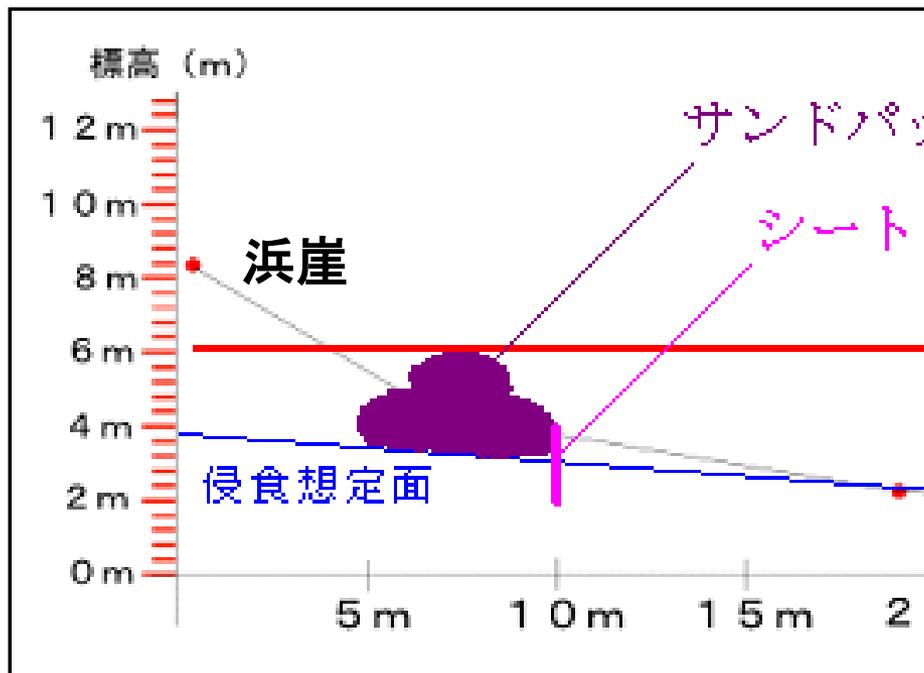
# 宮崎海岸での設置案

2010年10月31日0時の波

| 1/10波 |       |
|-------|-------|
| 波高(m) | 周期(s) |
| 7.49  | 14.8  |



遡上高  
6.1m



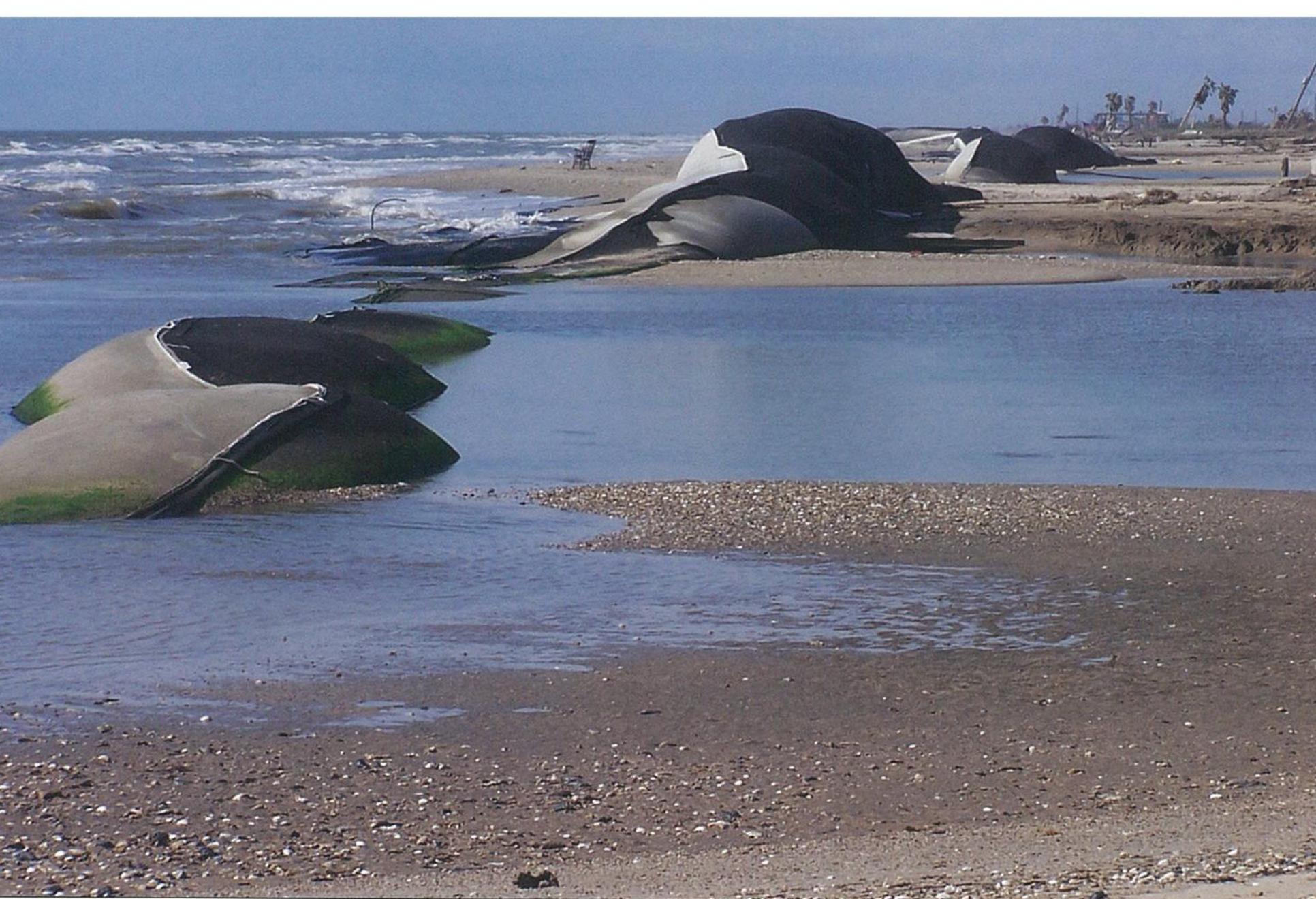


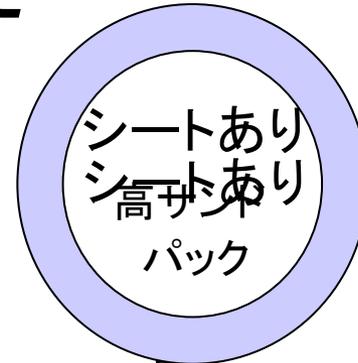
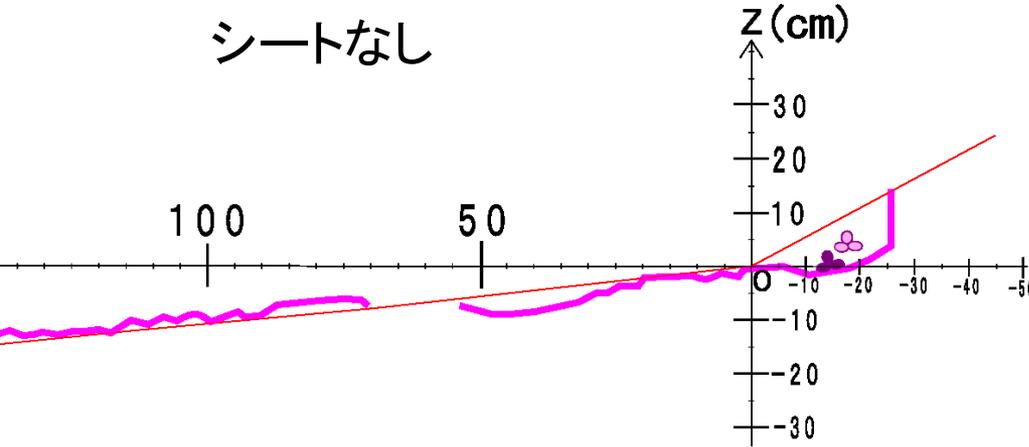
Figure 6 (above). The remnants of geotextile tubes, along the beachfront in the Bolivar Peninsula, 5 November 2008.



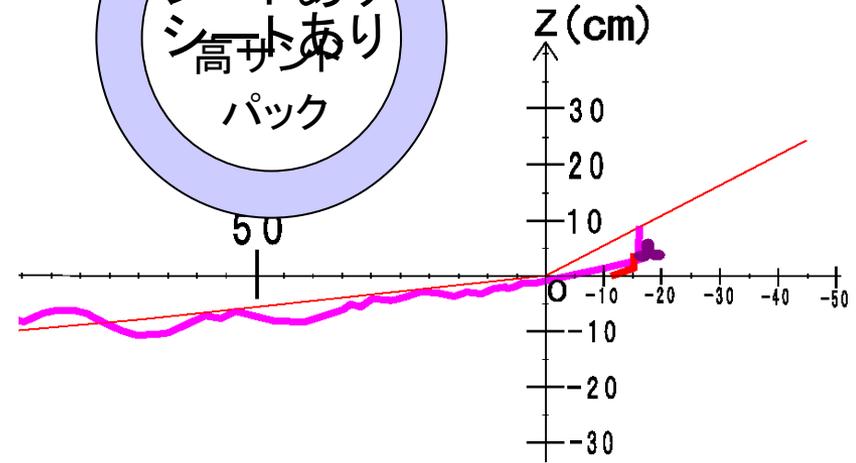
# 沈下防止シートと天端高さ

波高8.0cm/周期1.2秒

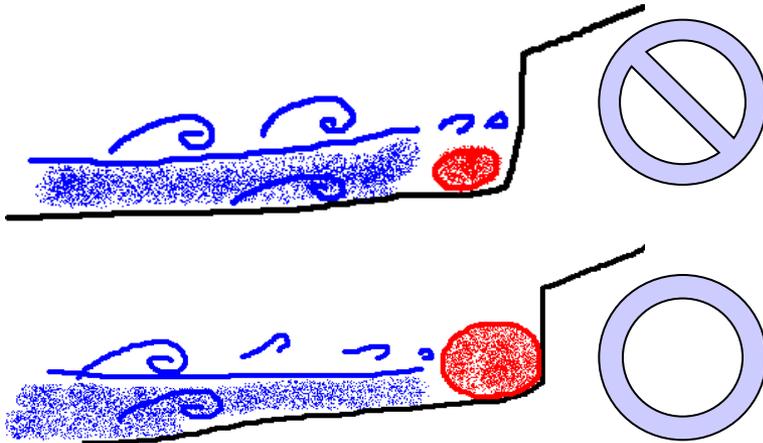
シートなし



Z (cm)

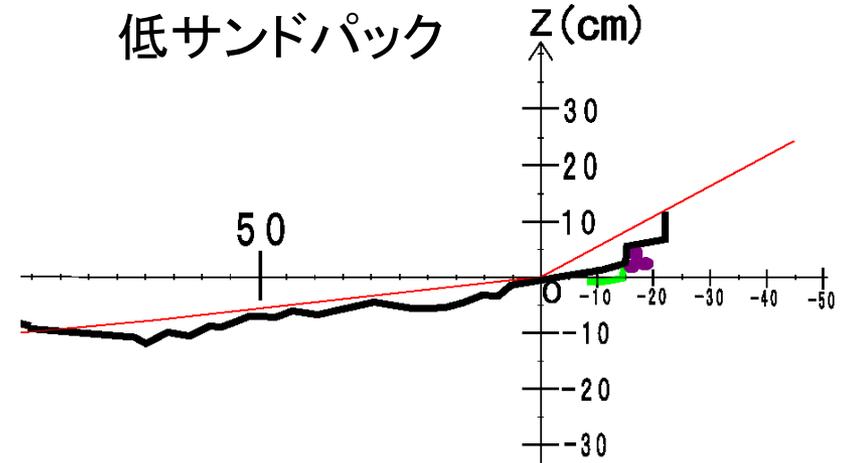


波の遡上高(打上げ高)より高い  
サンドパックが効果がある



低サンドパック

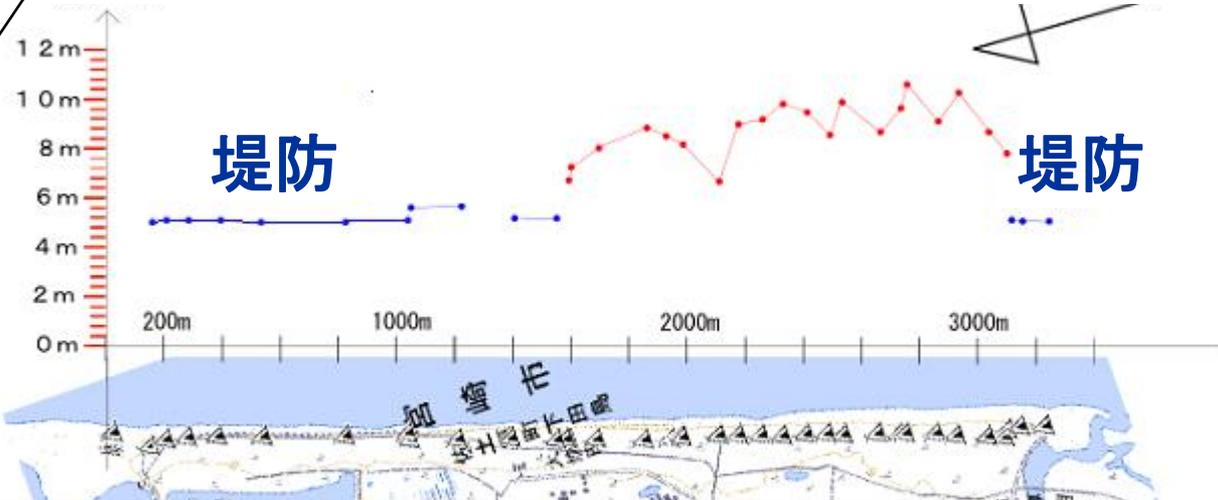
Z (cm)



# 浜崖の観測

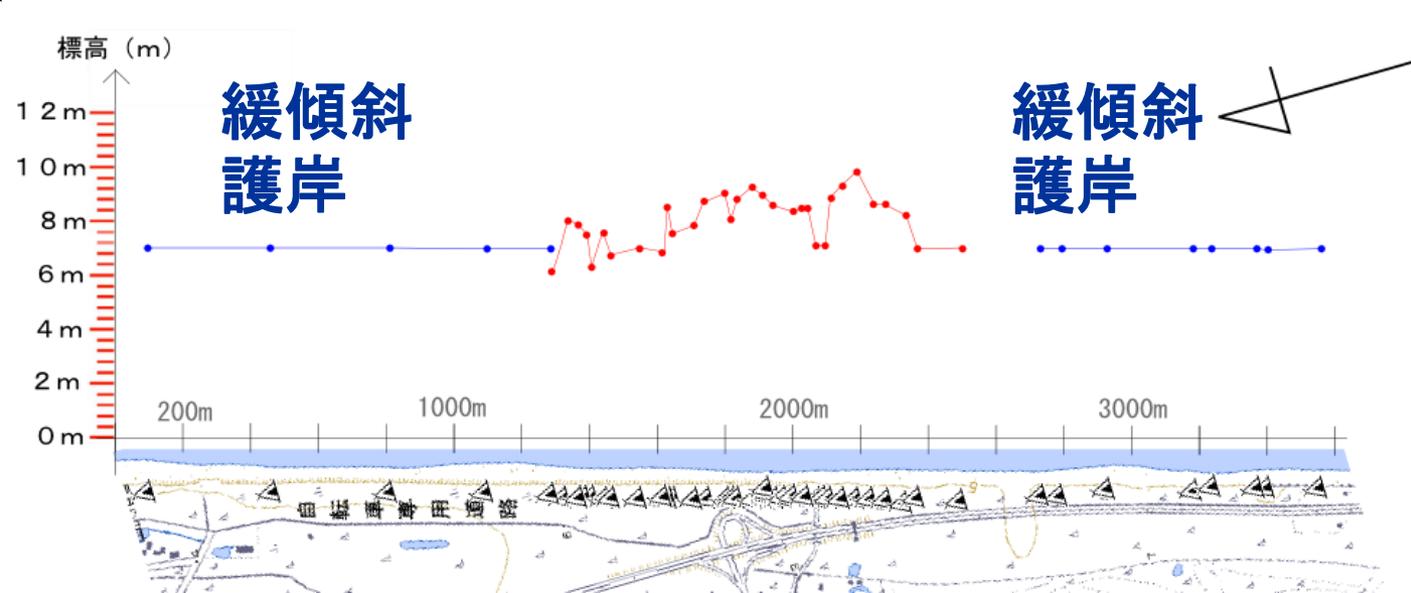
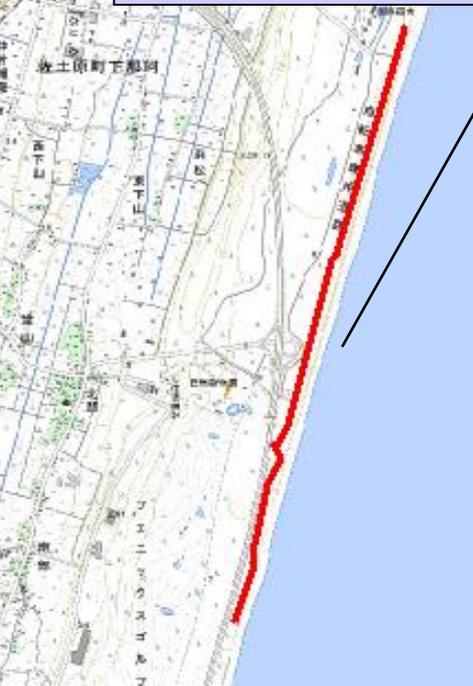


## 標高(北部)

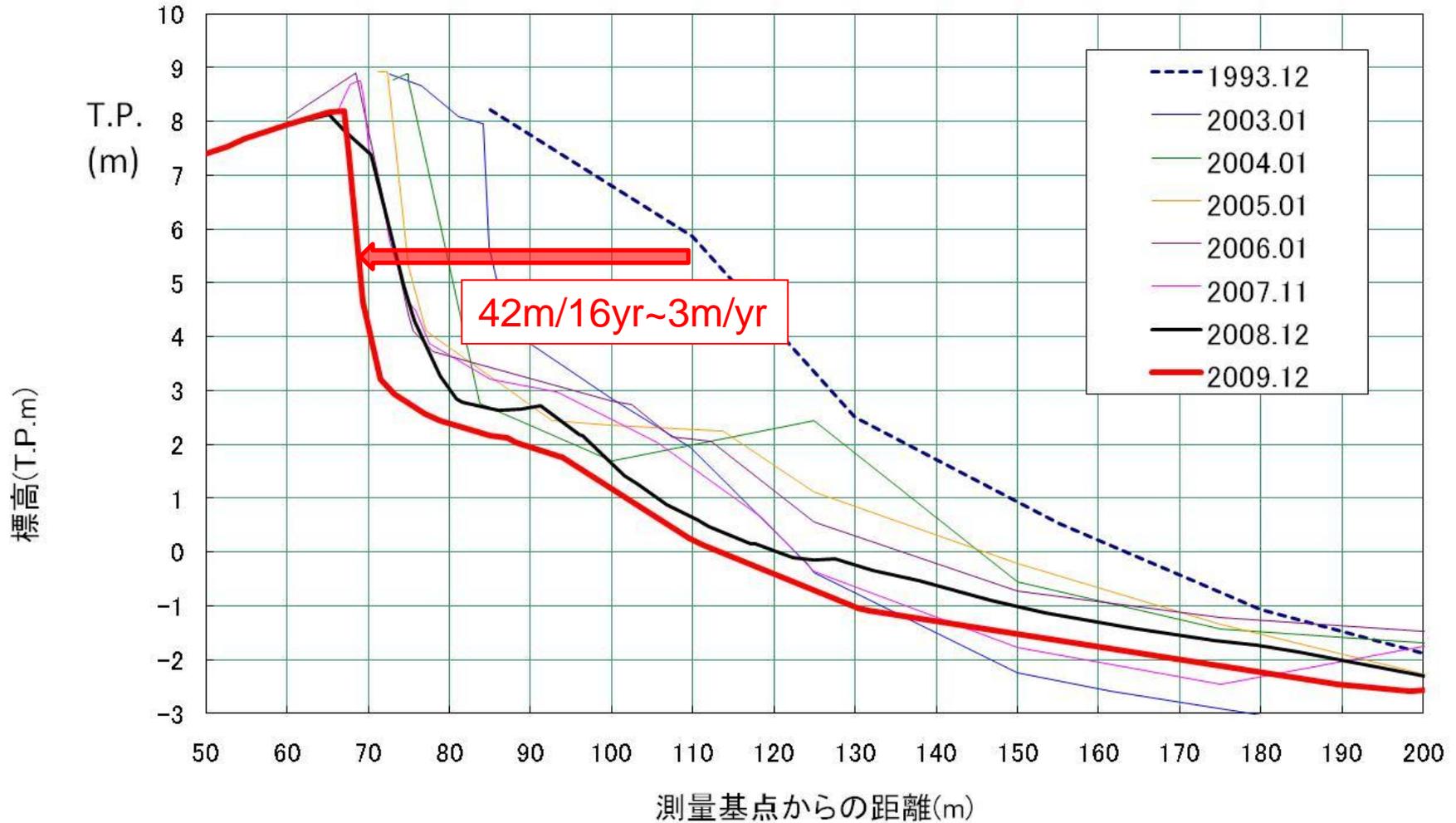


5km以上の領域に標高10m前後の浜崖

## 標高(南部)



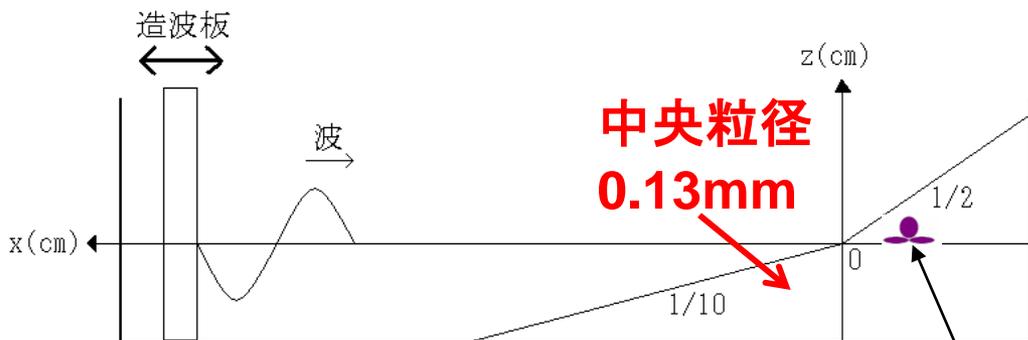
# 深浅測量結果での確認



→浜崖基部にサンドバックを敷設する対策を検討

# 浜崖侵食対策実験

断面水槽にて  
波の周期と波高を変化させた



海浜断面形タイプ

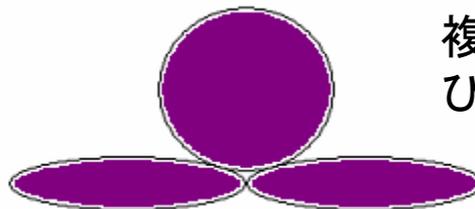
$$C = (\tan \beta)^{0.27} \left( \frac{H_0}{L_0} \right) \left( \frac{d}{L_0} \right)^{-0.67}$$

|               | 室内実験           | 現地実験            |
|---------------|----------------|-----------------|
| タイプⅠ<br>(侵食型) | $C \geq 8$     | $C \geq 18$     |
| タイプⅡ<br>(中間型) | $4 \leq C < 8$ | $9 \leq C < 18$ |
| タイプⅢ<br>(堆積型) | $C < 4$        | $C < 9$         |

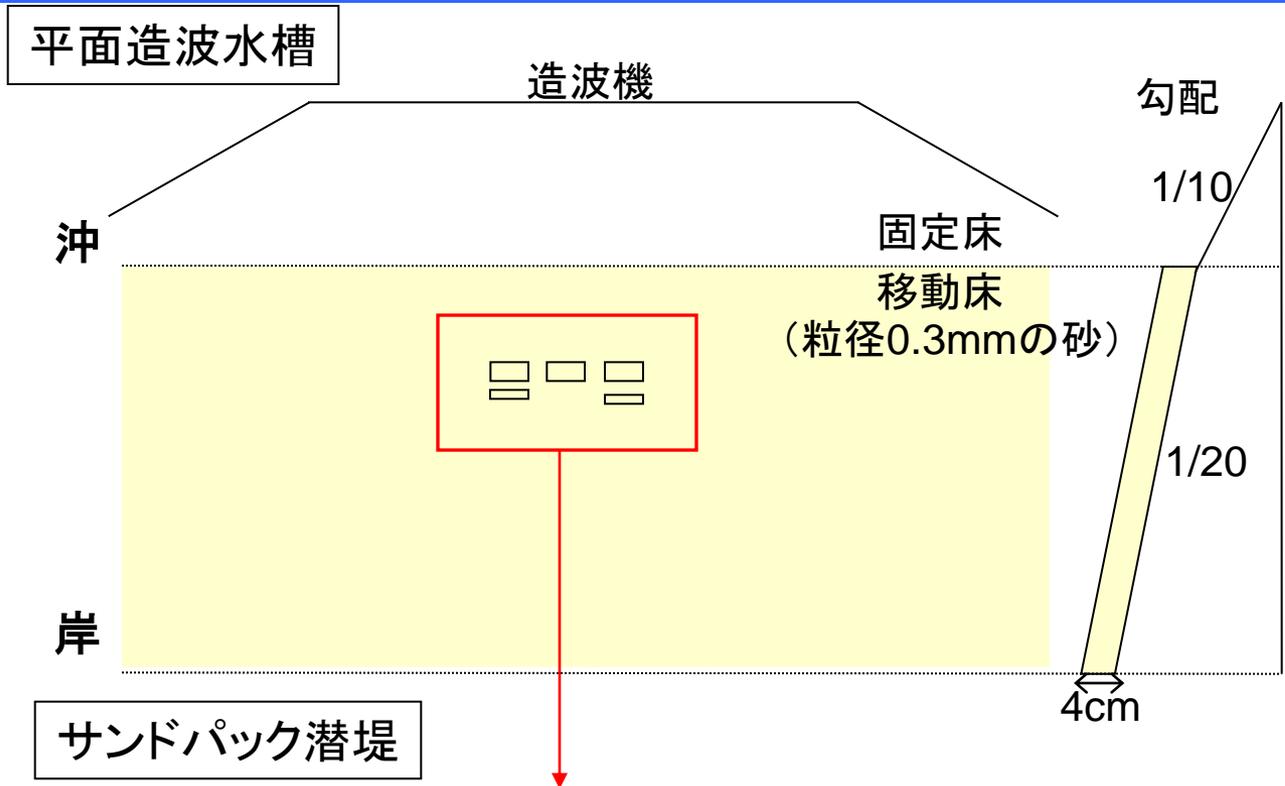


サンドパック模型

サンドパックを予め埋めておく  
60分間造波したようすを記録

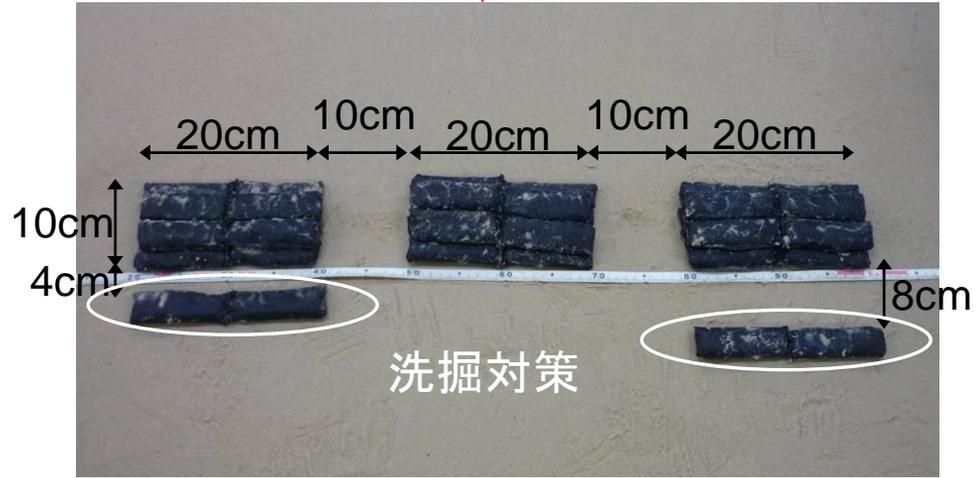


複数のサンドパックを  
ひもで連結

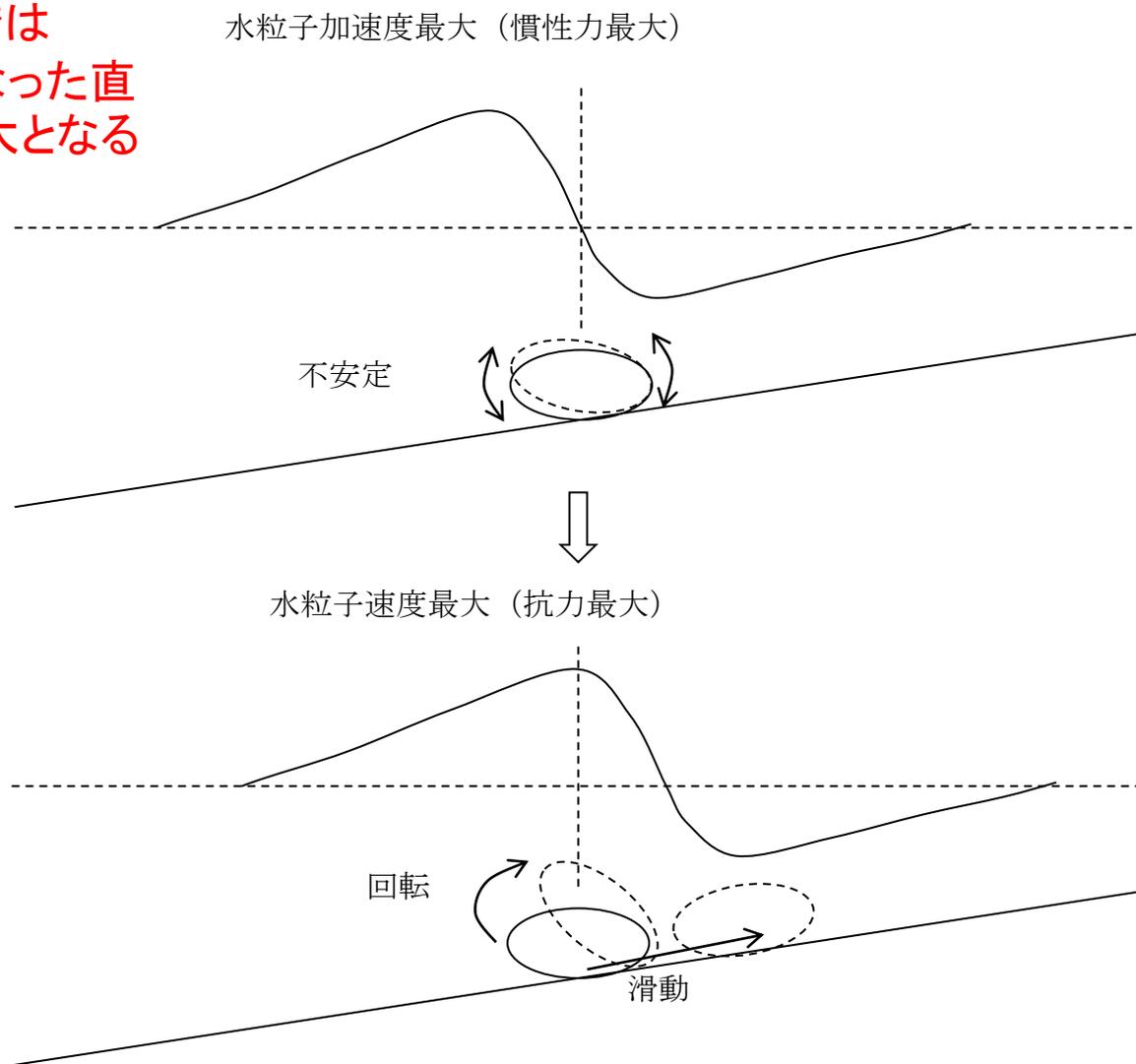


| 波浪条件 |      |
|------|------|
| 波高   | 3cm  |
| 周期   | 1.5秒 |
| C値   | 2.02 |
| 入射角  | 20度  |
| 継続時間 | 3時間  |

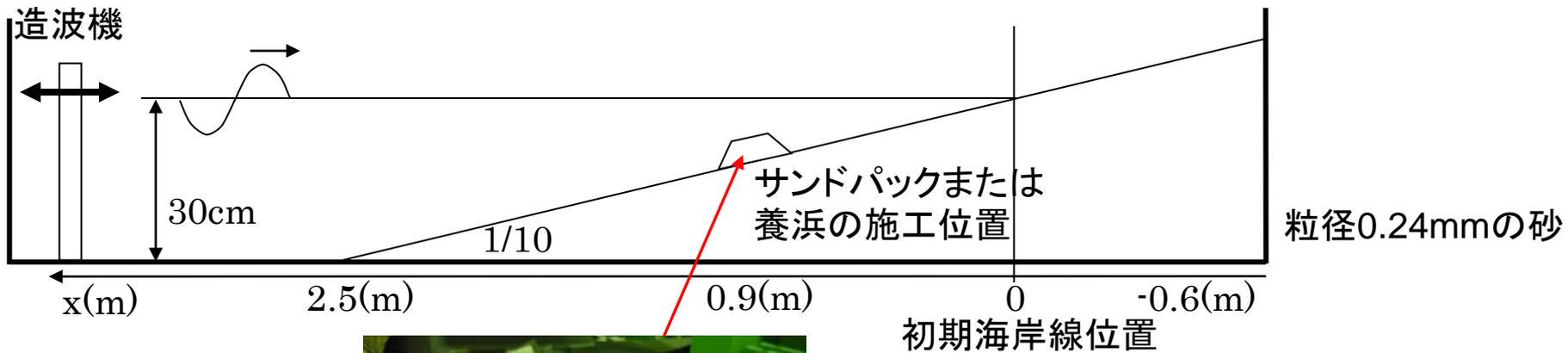
サンドパック潜堤



前傾化した波では  
慣性力最大となった直  
後に抗力が最大となる



## 二次元造波水路



## 波浪条件

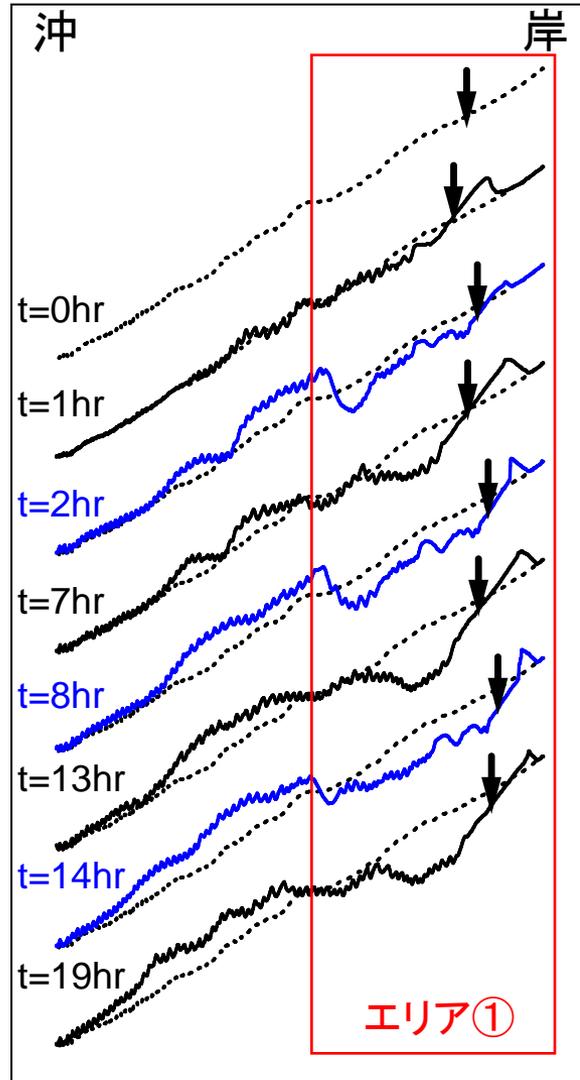
| ケース | 暴浪時の波         |       |    | 静穏時の波         |       |     | 追加するもの |         |
|-----|---------------|-------|----|---------------|-------|-----|--------|---------|
|     | 一様水深部での波高(cm) | 周期(s) | C値 | 一様水深部での波高(cm) | 周期(s) | C値  |        |         |
| A   | 1             | 5.8   | 1  | 7.16          | 3.0   | 1.5 | 2.84   | なし      |
|     | 2             |       |    |               |       |     |        | サンドチューブ |
|     | 3             |       |    |               |       |     |        | 養浜      |
| B   | 1             | 7.0   | 1  | 8.64          | 3.0   | 1.5 | 2.84   | なし      |
|     | 2             |       |    |               |       |     |        | サンドチューブ |
|     | 3             |       |    |               |       |     |        | 養浜      |
| C   | 1             | 8.7   | 1  | 10.74         | 3.0   | 1.5 | 2.84   | なし      |
|     | 2             |       |    |               |       |     |        | サンドチューブ |
|     | 3             |       |    |               |       |     |        | 養浜      |

## 波の作用時間

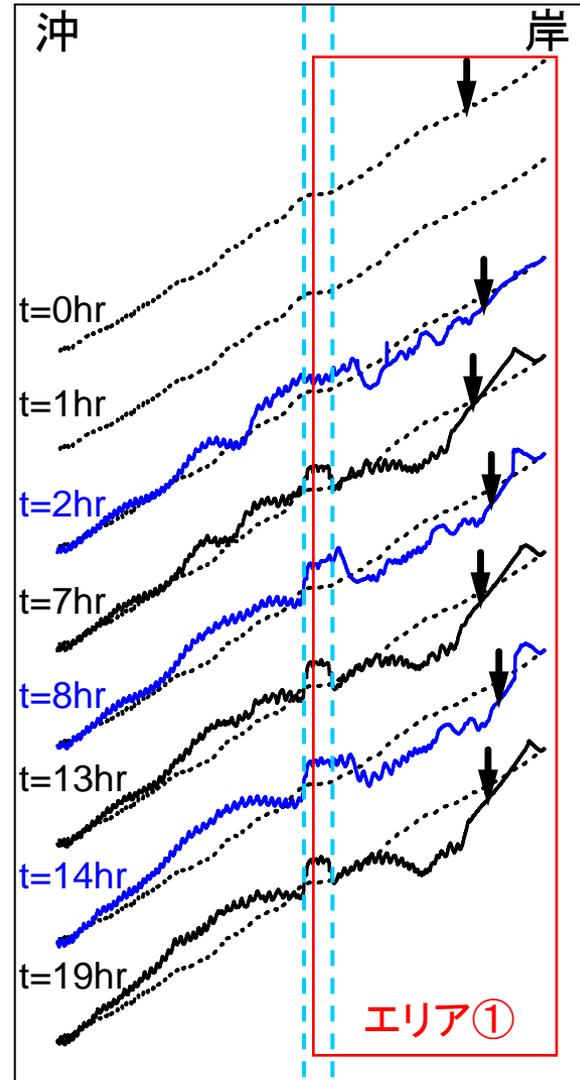
サンドパック・養浜

|           |     |
|-----------|-----|
| 0 ~ 1hr   | 静穏波 |
| 1 ~ 2hr   | 暴浪波 |
| 2 ~ 7hr   | 静穏波 |
| 7 ~ 8hr   | 暴浪波 |
| 8 ~ 13hr  | 静穏波 |
| 13 ~ 14hr | 暴浪波 |
| 14 ~ 19hr | 静穏波 |

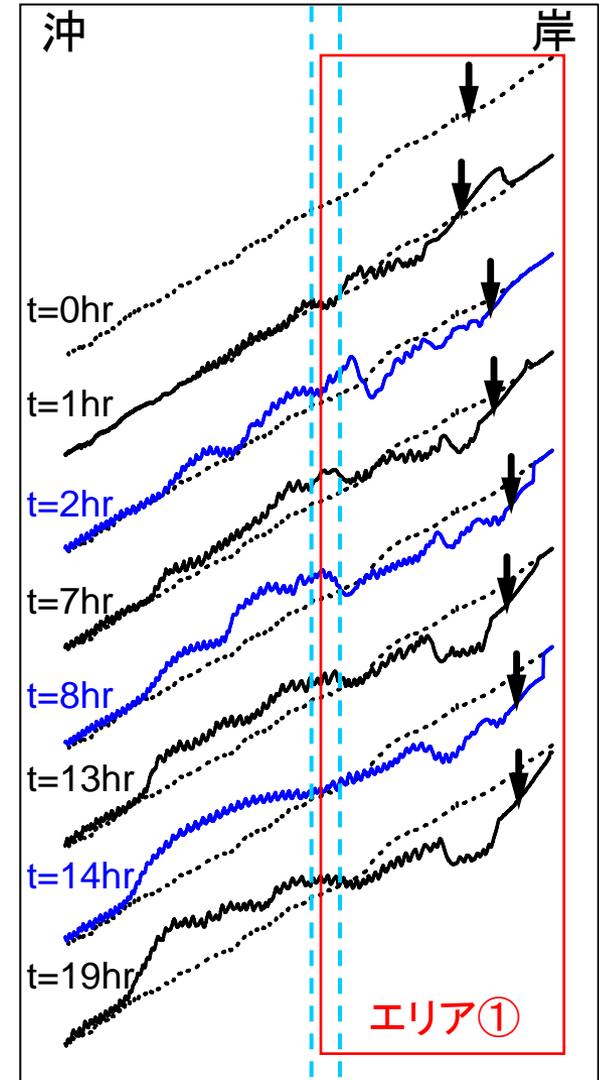
### B-1 自然海浜



### B-2 サンドパック



### B-3 養浜

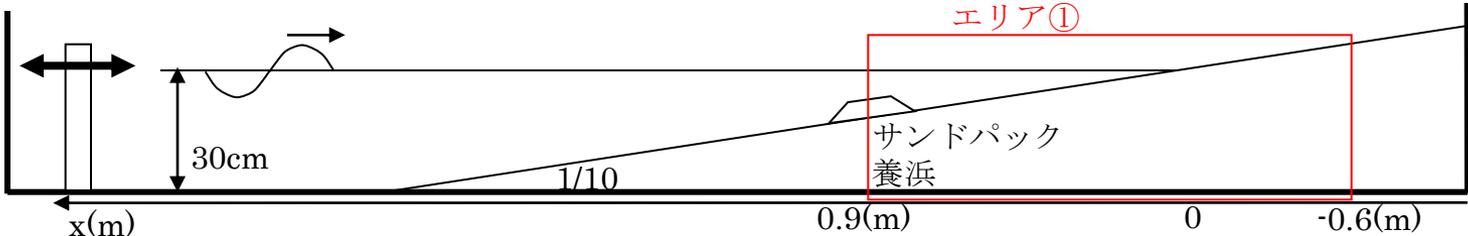
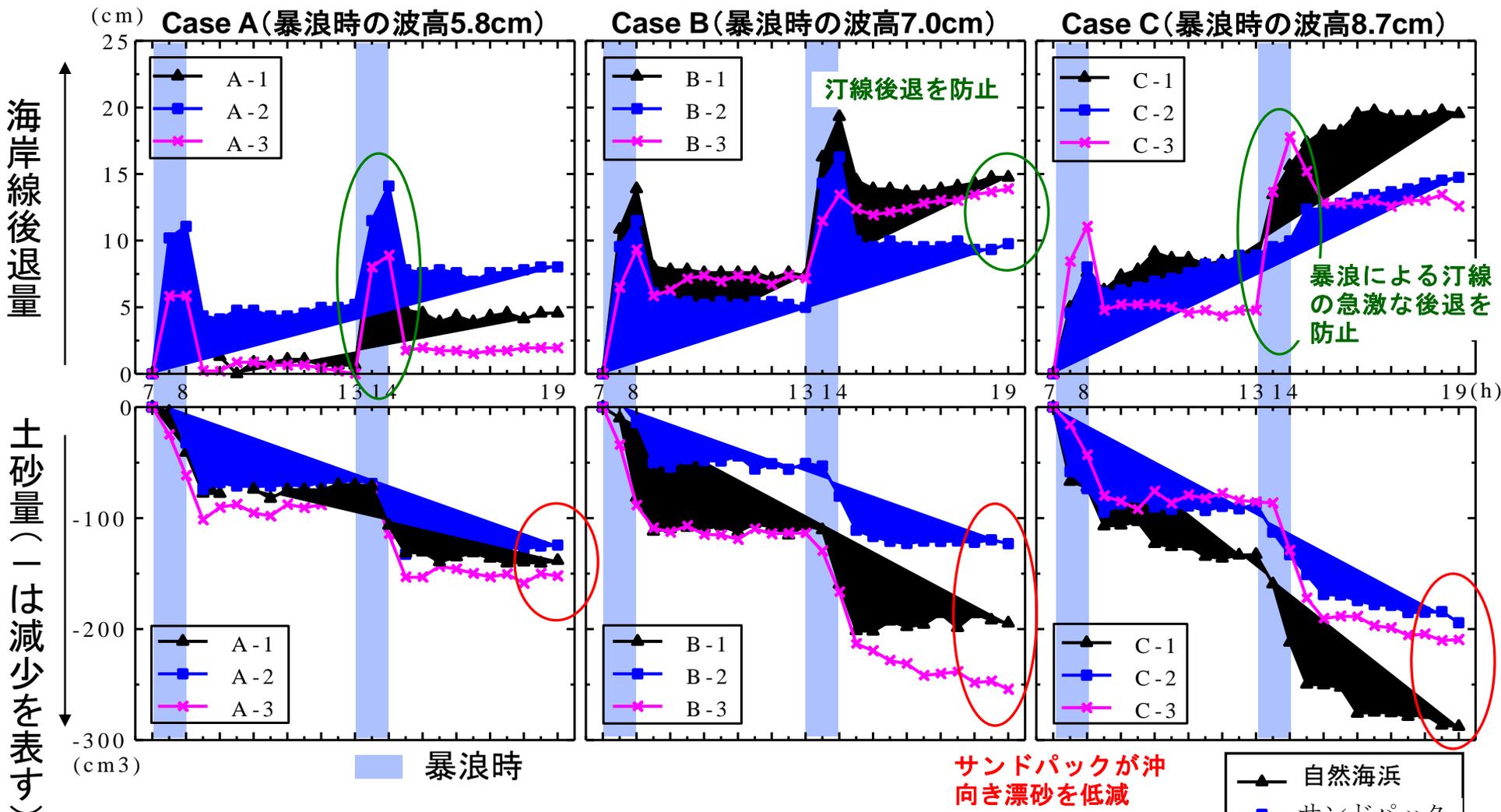


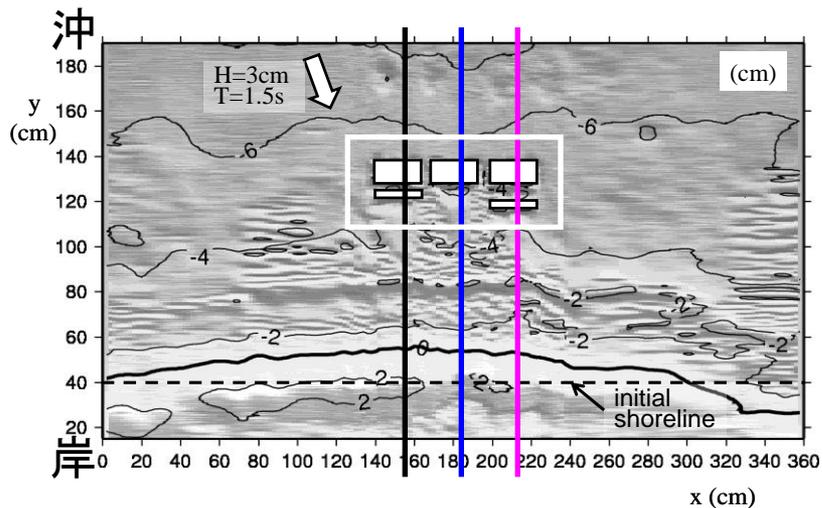
↓ 海岸線位置

□ 土砂量計算エリア

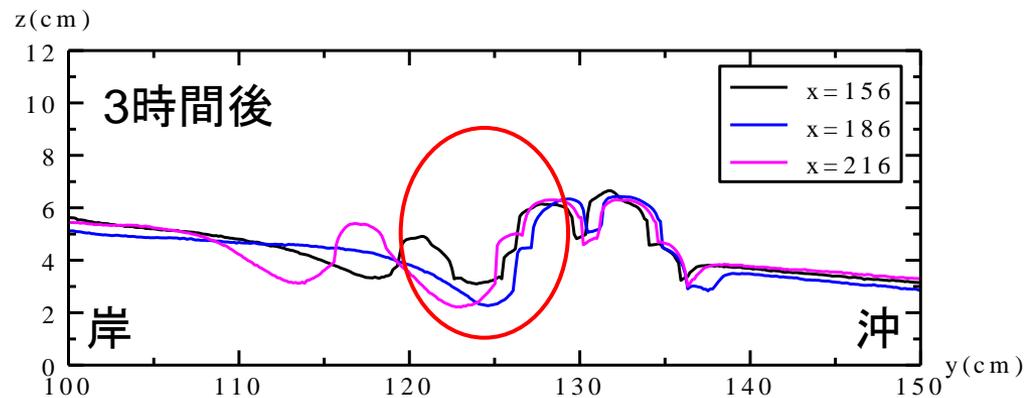
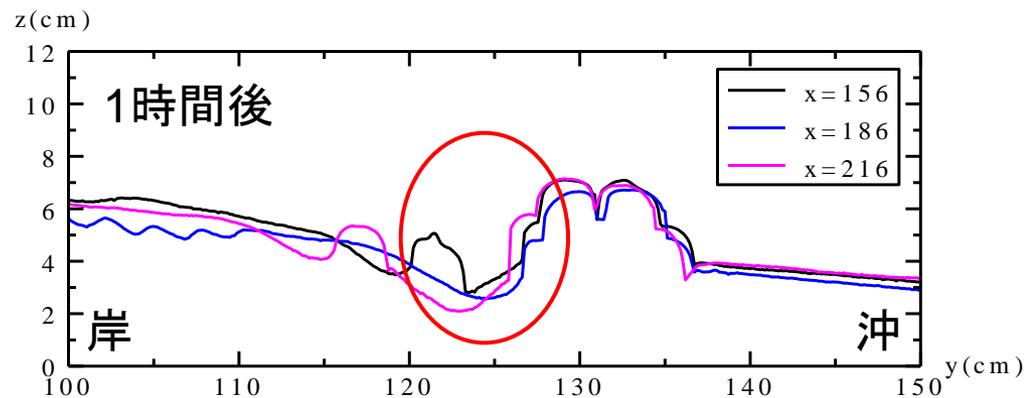
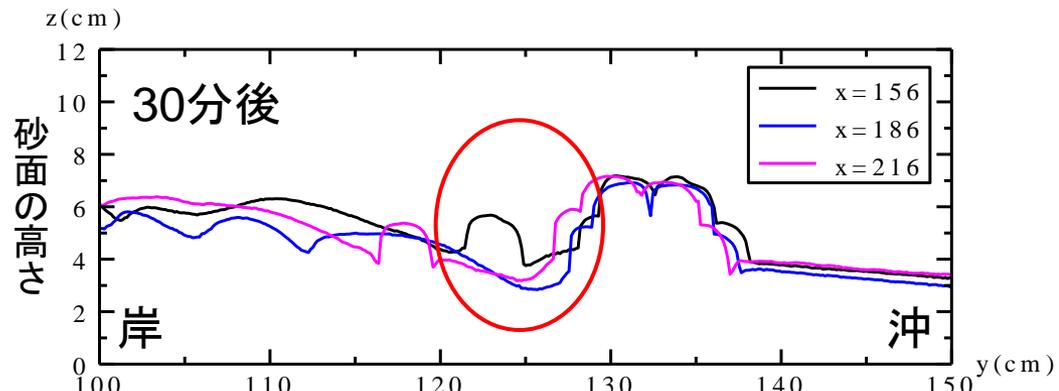
サンドパック位置

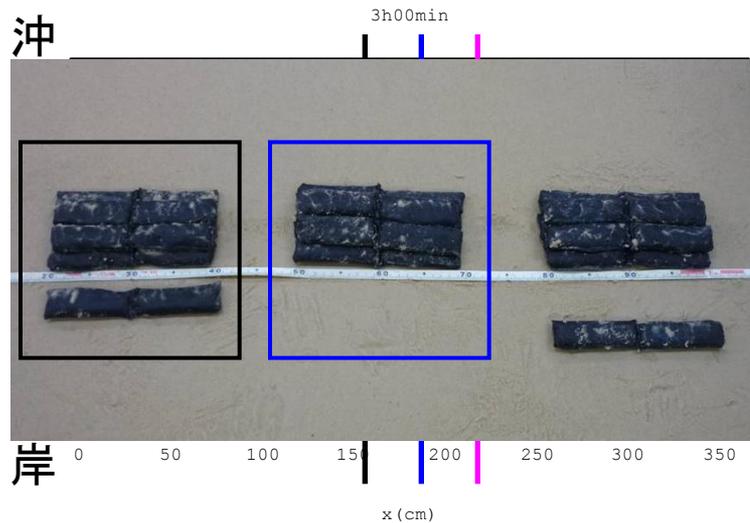
養浜位置





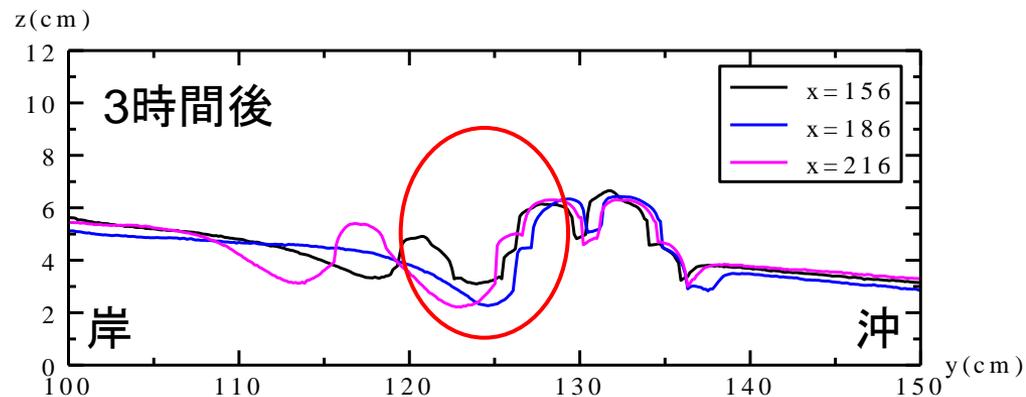
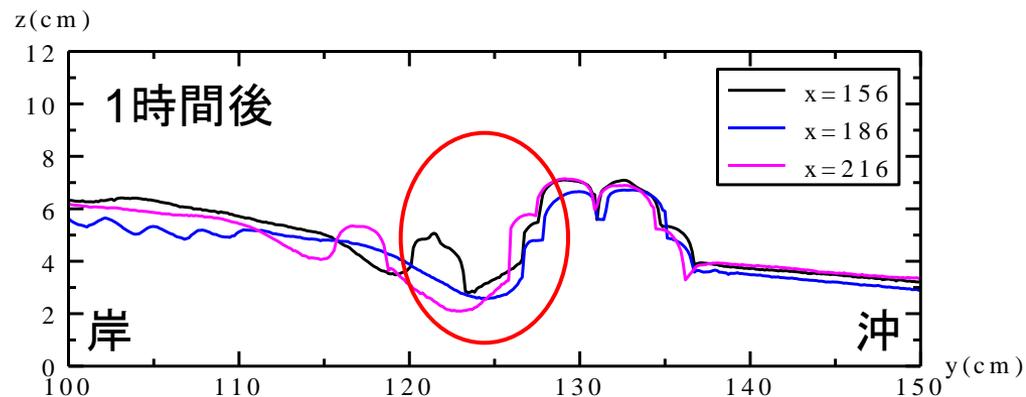
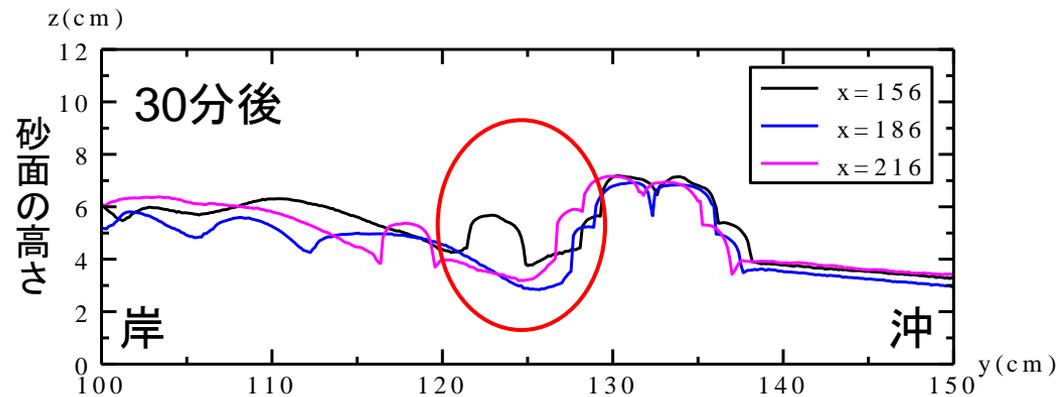
サンドバック潜堤背後で洗掘





サンドバック潜堤背後で洗掘

サンドバックを  
洗掘想定位置に置く対策



$$C = (\tan \beta)^{0.27} \left( \frac{H_0}{L_0} \right) \left( \frac{d}{L_0} \right)^{-0.67}$$

$H_0$ : 沖波波高

$L_0$ : 沖波波長

$\tan \beta$ : 初期海底勾配

$d$ : 底質粒径

|      | 室内実験           | 現地海浜            |
|------|----------------|-----------------|
| タイプⅠ | $C \geq 8$     | $C \geq 18$     |
| タイプⅡ | $4 \leq C < 8$ | $9 \leq C < 18$ |
| タイプⅢ | $C < 4$        | $C < 9$         |

タイプⅠ（侵食型）：汀線が後退し沖に砂が堆積する。

タイプⅡ（中間型）：汀線位置がほとんど変化しないが、

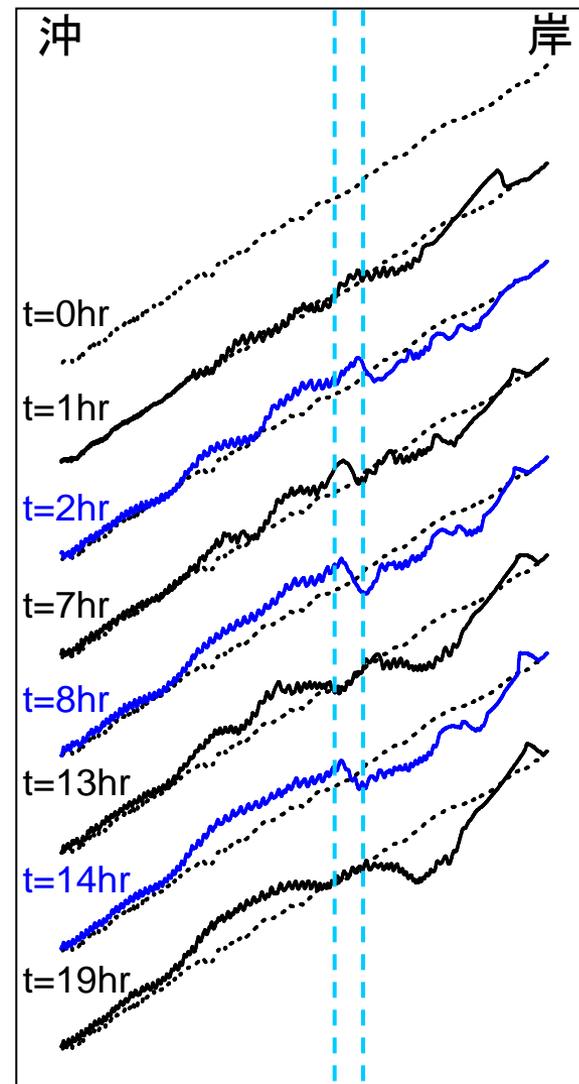
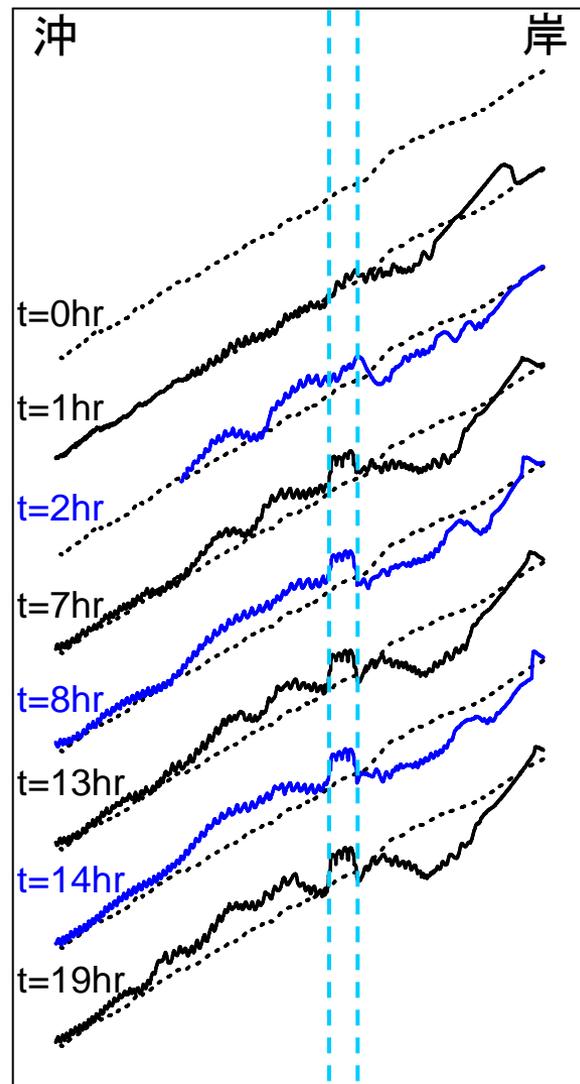
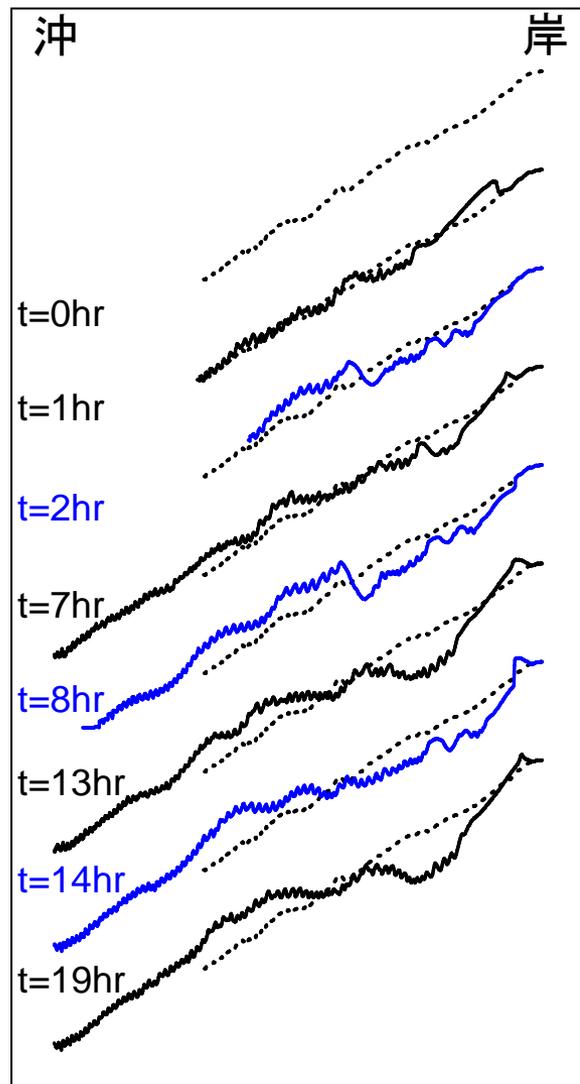
汀線の岸側で堆積、また沖側にも堆積が生ずる。

タイプⅢ（堆積型）：汀線は前進し、沖側での堆積はない。

### A-1 自然海浜

### A-2 サンドチューブ

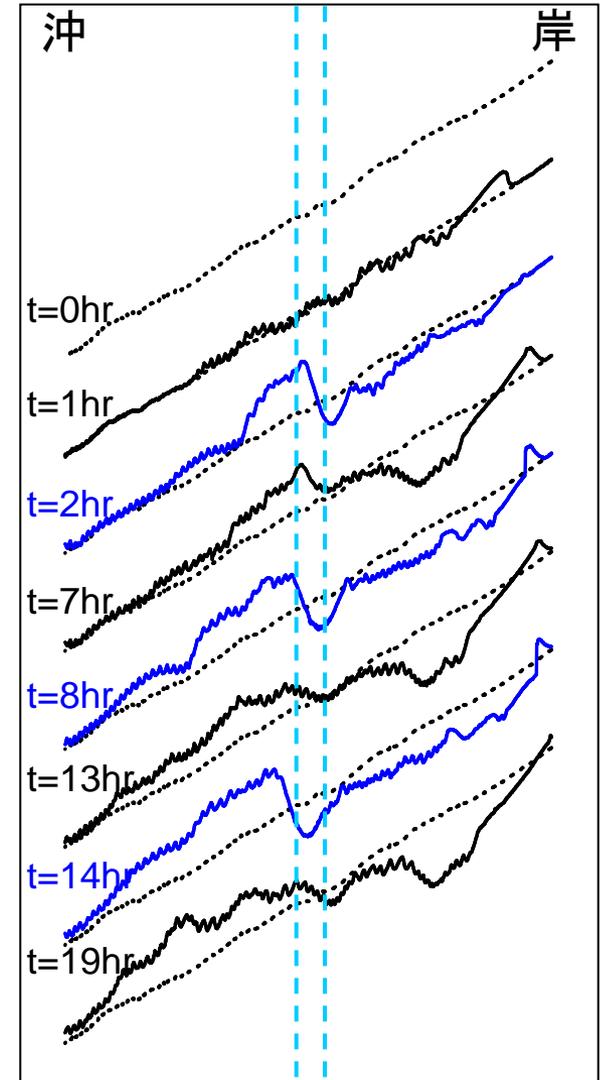
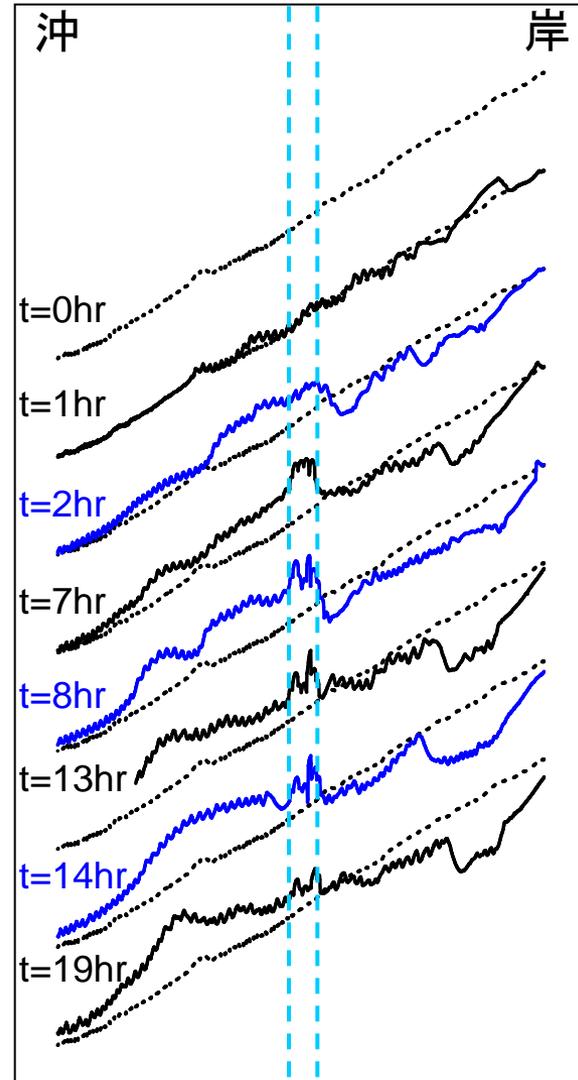
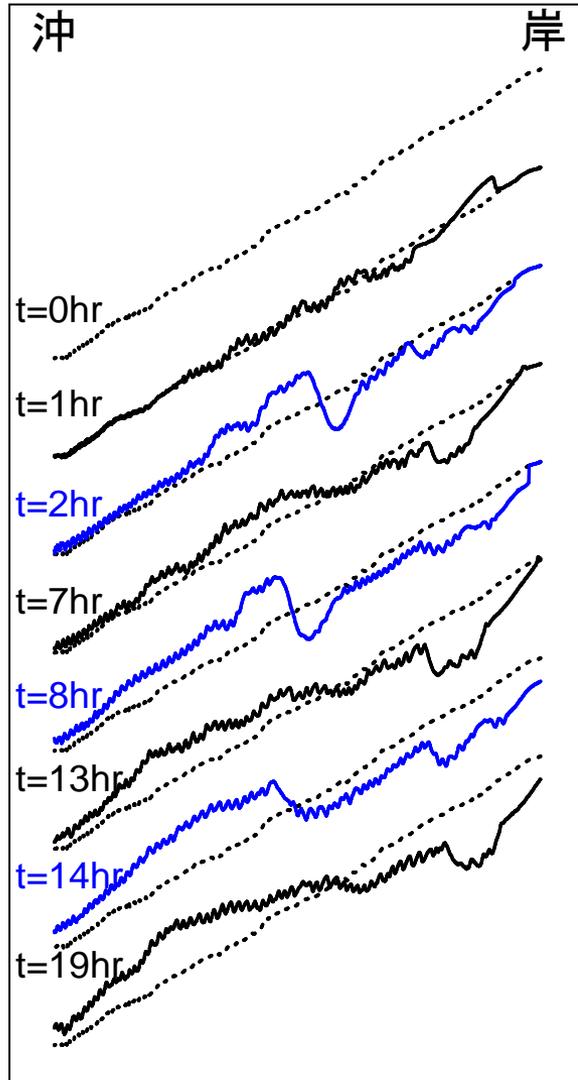
### A-3 養浜

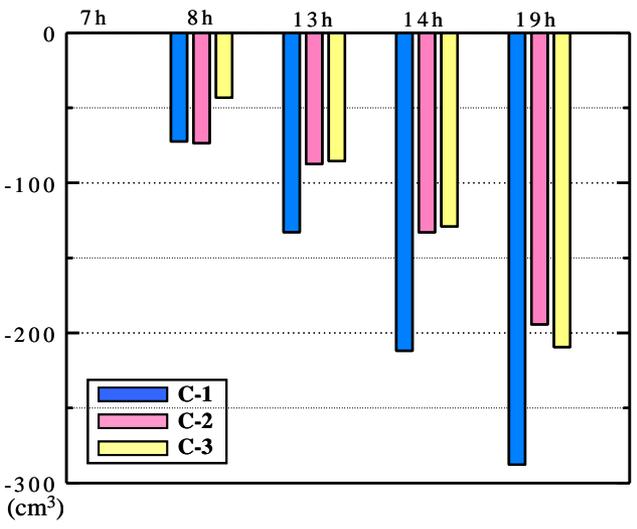
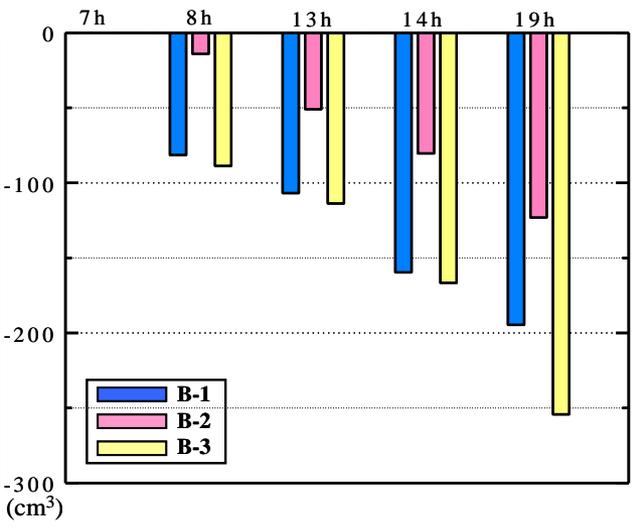
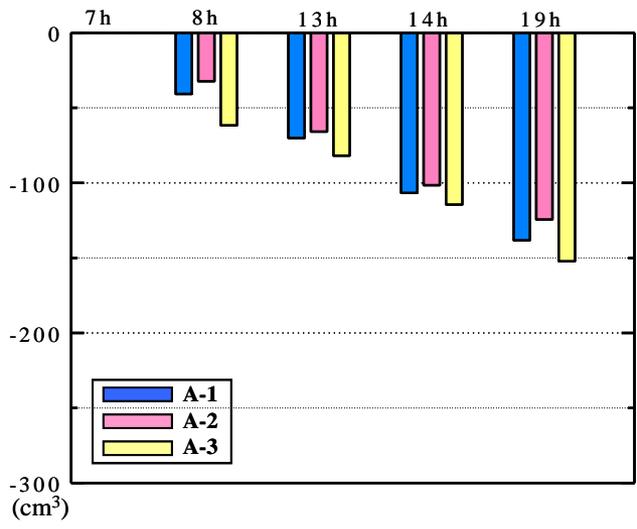


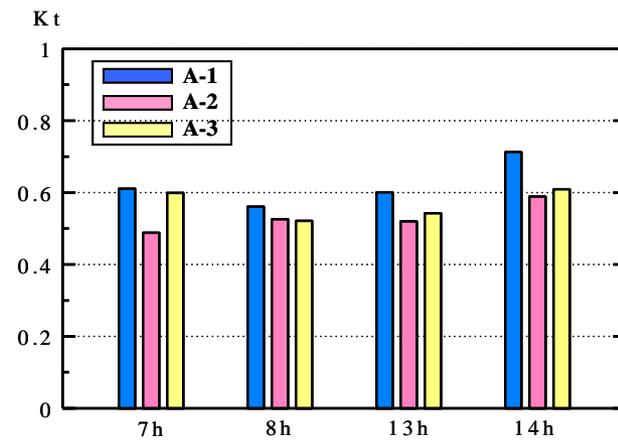
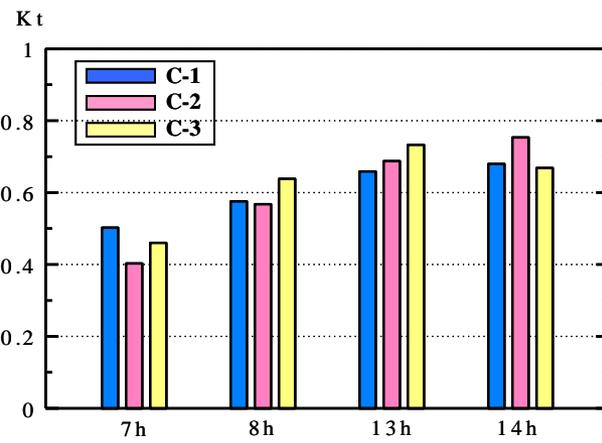
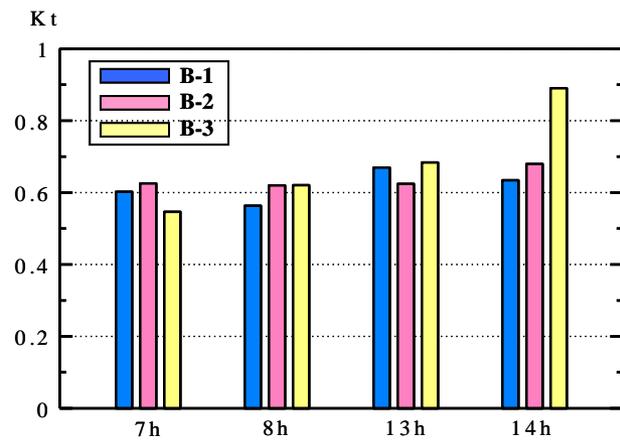
C-1 自然海浜

C-2 サンドチューブ

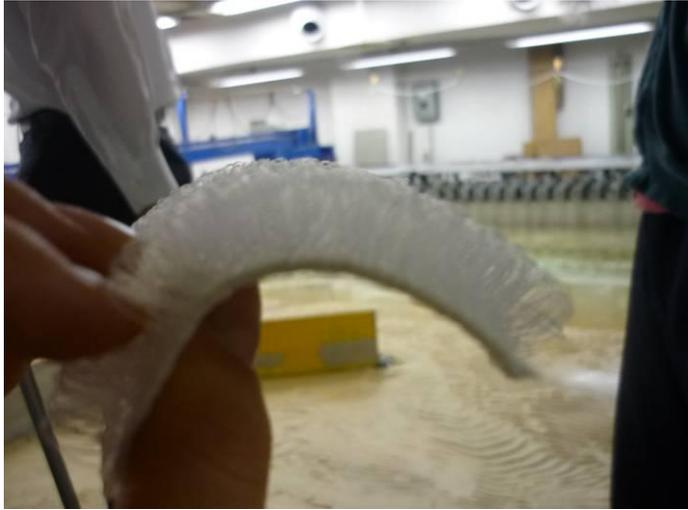
C-3 養浜







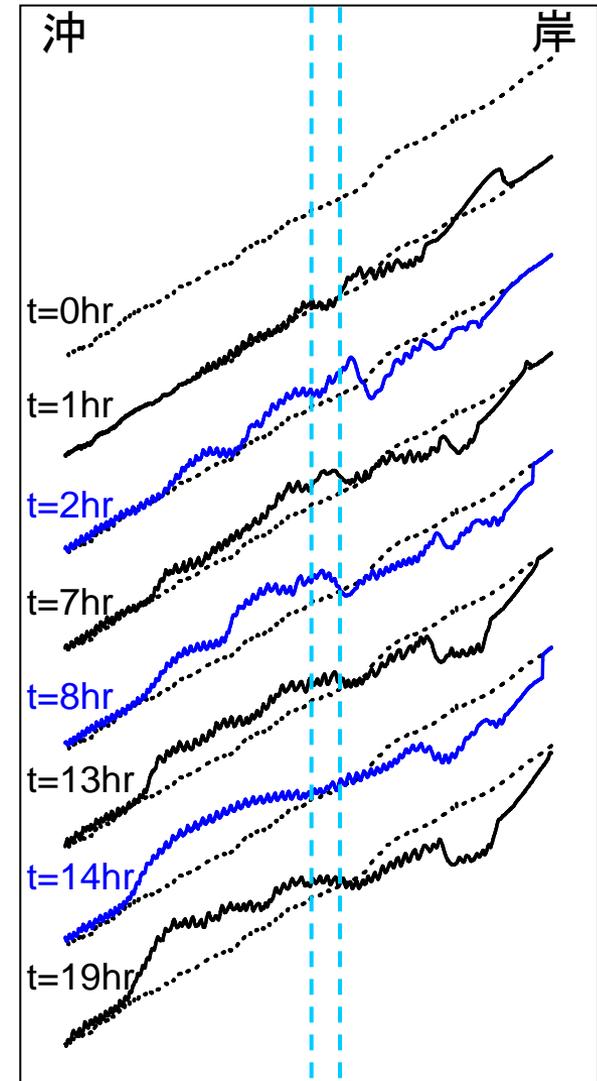
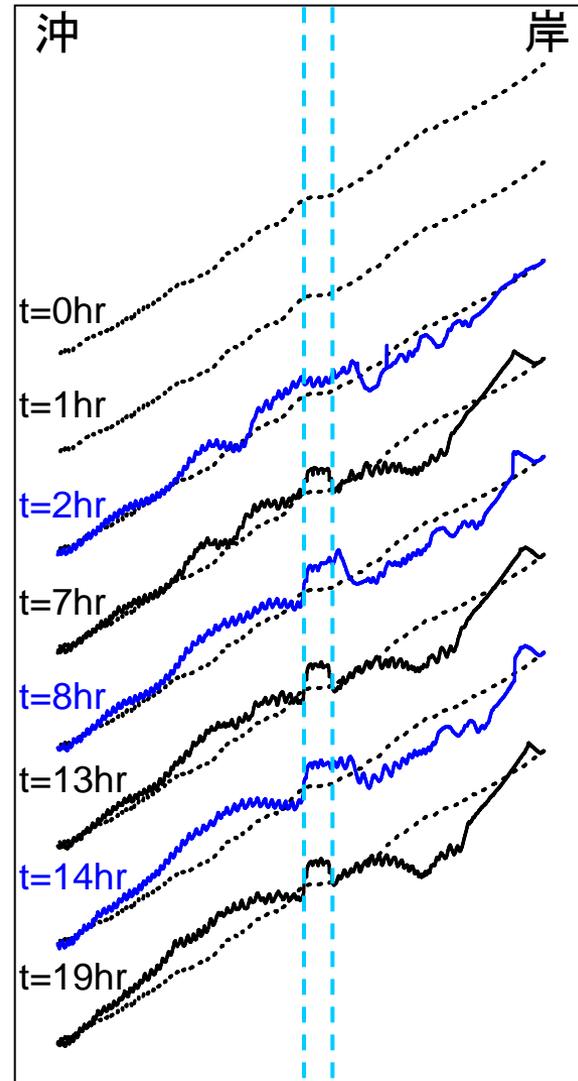
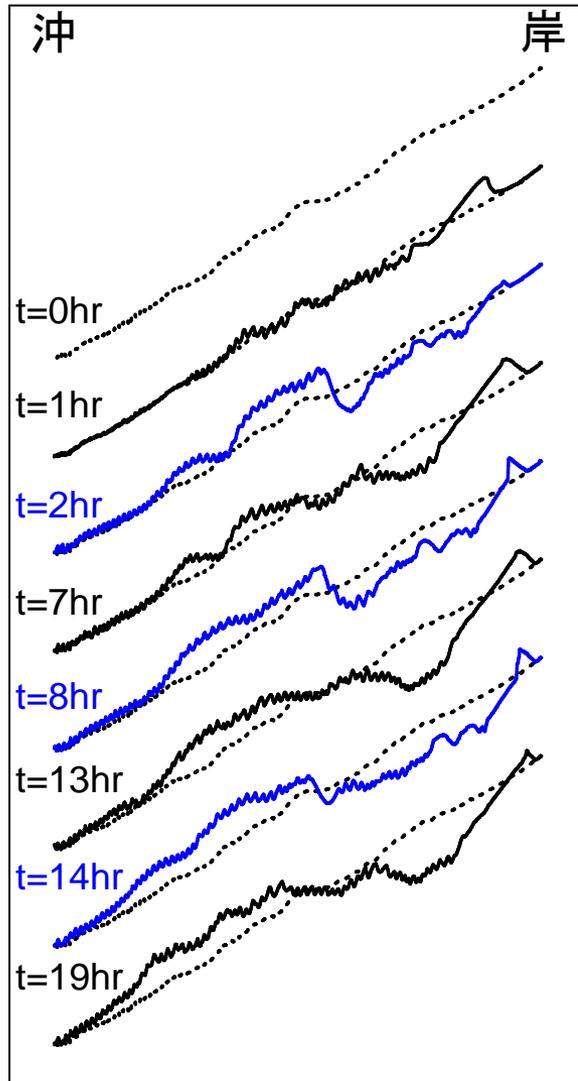
# 摩耗対策

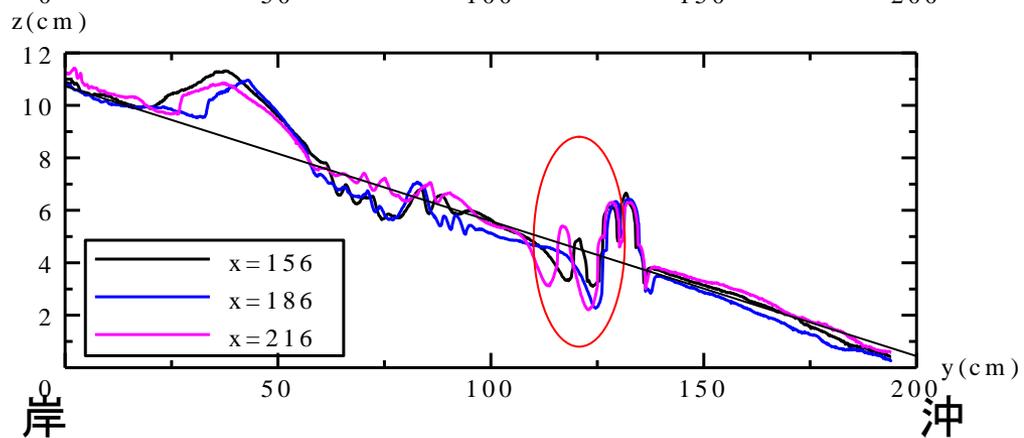
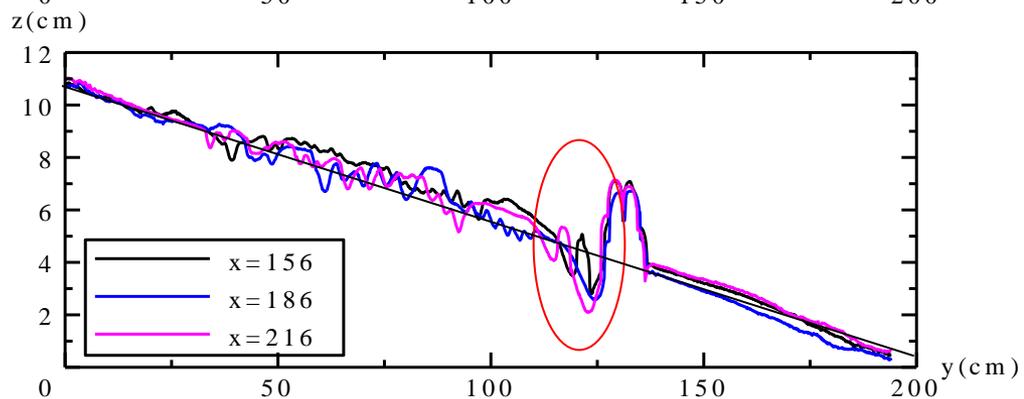
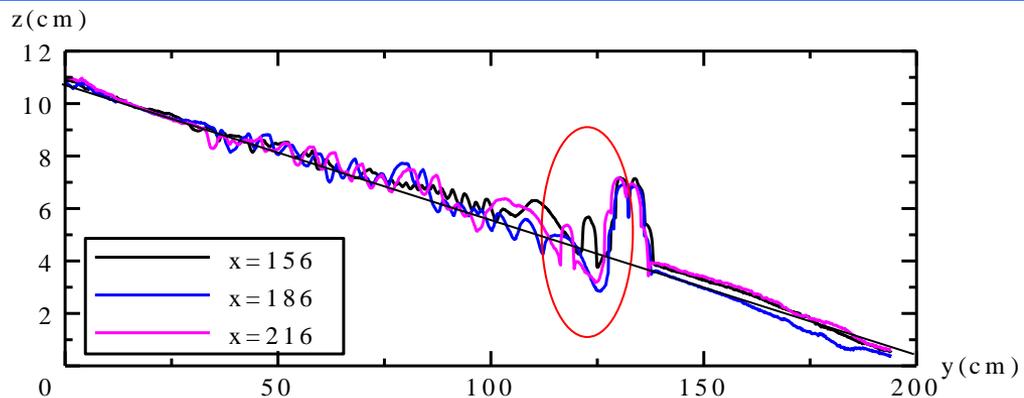
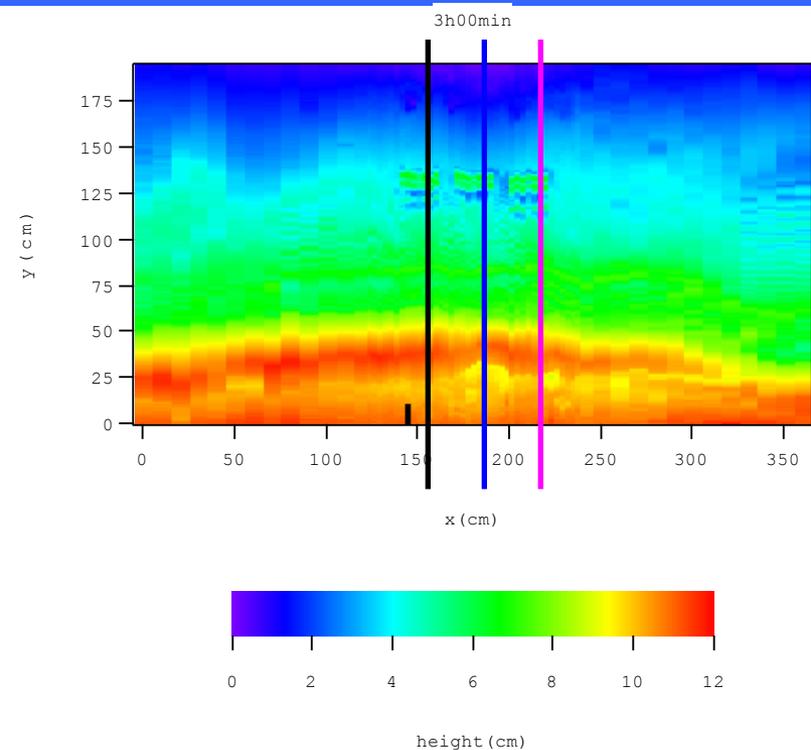


B-1 自然海浜

B-2 サンドチューブ

B-3 養浜





# 施工の様子



Figure 4: Begin of installation

サンドチューブ施工 (Heertenら, 2000)