

鹿大防災セミナー  
第43回 災害に備える地域づくり

1

講演 2  
桜島大規模噴火に伴う軽石群による  
港湾埋没過程の実験的検討

長山 昭夫  
鹿児島大学学術研究院 理工学域工学系 海洋土木工学専攻 助教  
E-mail: nagayama@oce.kagoshima-u.ac.jp  
Tel:099-285-8475

2024年10月2日（水）16時00分～17時00分  
Zoomによるオンライン開催

0.目次

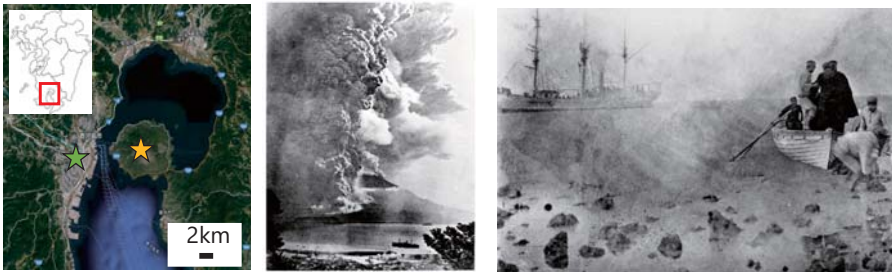
2

- 1.背景
  - 1.1 桜島の大正大噴火に伴う港湾埋没
  - 1.2 沖縄・奄美諸島の沿岸域への軽石群の漂着
  - 1.3 噴火火砕物による災害事例
- 2.目的と手法
- 3.実験方法
  - 3.1 波動棟の紹介
  - 3.2 水槽・測定方法
  - 3.3 軽石の物性値
- 4.解析方法
  - 4.1 機械学習の概要
  - 4.2 精度検証
- 5.結果と考察
  - 5.1 軽石の物性値
  - 5.2 波による軽石の軌道特性
  - 5.3 構造物周辺での軽石群の移動特性
  - 5.4 堆積軽石群の再漂流
- 6.まとめ

スライド枚数：29

1.背景  
1.1 桜島の大正大噴火に伴う港湾埋没

3



桜島大正大噴火デジタルアーカイブ 鹿児島県立博物館提供

【噴火規模】  
1914年1月12（20世紀最大規模の噴火）  
噴出火砕物総量：約2 km<sup>3</sup>

【噴火火砕物の沈降】  
鹿児島市：堆積深さ30 cm～50 cm  
直径1 mを越す軽石により家屋倒壊

【鹿児島湾】  
湾内：見渡す限り軽石で覆われた  
堆積厚さ：10 cm～1 m  
浮遊面積：36 km<sup>2</sup>  
復興支援軍艦の着岸運航：2週間遅延

漂流軽石が復興活動のボトルネック

1.背景  
1.2 沖縄・奄美諸島の沿岸域への軽石群の漂着

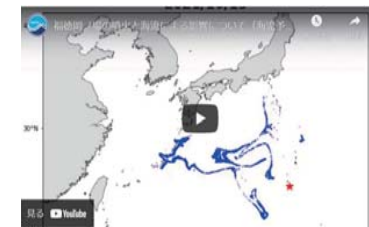
4



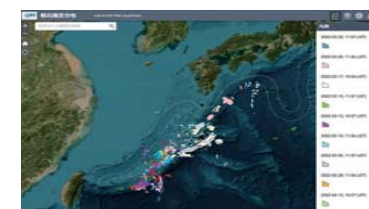
小笠原諸島噴火：2021年8月  
沖縄県辺土名漁港：2021年10月



<https://typhoon.yahoo.co.jp/weather/calendar/404/>



[https://www.jamstec.go.jp/j/jamstec\\_news/20211028/](https://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/20211028/)



<https://sentinelasia.maps.arcgis.com/apps/webappviewer>

国内外の研究機関により漂流軽石に関する知見が蓄積

## 1.背景

### 1.3 噴火火砕物による災害事例

5



<https://www.afpbb.com/articles/photo-slide/2389067?pno=27#/32>



<https://www.afpbb.com/articles/photo-slide/2389067?pno=27#/32>

- 【港湾と船舶】
- ・港湾が住民避難に有効に活用
  - ・小型船：外装の摩耗・エンジン冷却部の詰まり
  - ・大型船：エンジンのオーバーヒート

- 【火山灰からうける海上輸送の3点】
- ・視界の低減
  - ・エンジン可動部の摩耗
  - ・軽石筏(pumice raft)の生成と浮遊

(Wilson et. al.: Volcanic ash impacts on critical infrastructure, Physics and Chemistry of the Earth, 45-46, pp.5-23, 2012.)

### チャイテン火山噴火(チリ,2008年)

## 1.背景

### 1.3 噴火火砕物による災害事例

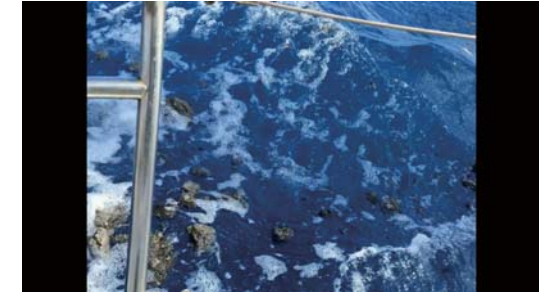
6



A Raft of Rock



<https://earthobservatory.nasa.gov/images/145490/a-raft-of-rock>



[https://www.youtube.com/watch?v=PEsHLSFFQhQ&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?v=PEsHLSFFQhQ&feature=emb_logo)

- 【軽石筏(pumice raft)の事例】
- ・海底火山(山頂水深40m)
  - ・トンガからオーストラリア東部へ漂流(サンゴ礁回復、生態系へ貢献?)
  - ・59.1km<sup>2</sup>(喜界島)の軽石筏が生成

### 海底火山噴火(トンガ王国,2019年)

## 2.目的と手法

7

### 【目的】

- ・大正噴火級の噴火を想定して、漂流軽石が波と風による影響を受けて沿岸域にどのくらいの期間・どのくらいの量が堆積するか？

### 【未解明点】

- ・浅水域(水深10 m以下)での軽石群の移動過程
- ・波場と風場が軽石の漂流に与える影響
- ・港湾を含む沿岸域の形状が軽石の漂流に与える影響

### 【明らかにすること】

- ・漂流物としての軽石の特性
- ・風と波による漂流軽石群の移動特性(漂流からの漂着まで)
- ・沿岸構造物内の堆積軽石群の移動特性(堆積から再漂流まで)

### 【手法】

- ・風洞装置を使用した軽石群の漂流実験

## 3.実験方法

### 3.1 波動棟の紹介

8



- 【風洞水槽】
- 全長30.0 m
  - 幅1.0 m
  - 高さ1.1 m
  - 緩斜面：勾配1/20
  - 静水面：水深0.75 m

- 【送風】
- 水槽岸側端部送風機

- 【造波】
- 水槽沖側端部フラップ式造波装置

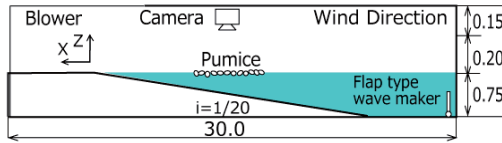
### 大型風洞水槽を用いた模型実験を行った



### 3.実験方法

#### 3.2 水槽・測定方法

9



【波場における軽石群の軌道実験】  
想定場：規則波造波  
軽石個数：1個・50個  
測定：水位・流速・軽石軌道

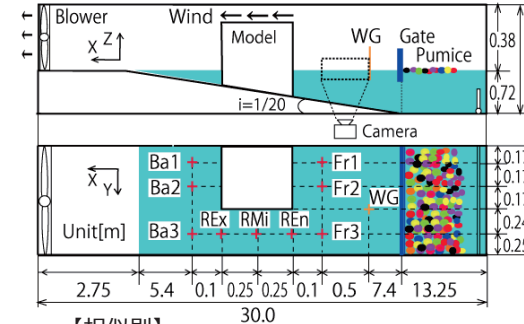


波場における単体軽石と軽石群の軌道実験

### 3.実験方法

#### 3.2 水槽・測定方法

10



【実験条件】  
想定場：規則波造波・送風  
軽石個数：525個  
領域：構造物周辺  
測定：水位・流速・軽石

【再現性】  
同一条件で10回以上実施

【測点】  
模型周辺10測点  
Fr1からFr3：構造物前面  
REn・RMi・REx：狭窄部  
Ba1からBa3：構造物背面

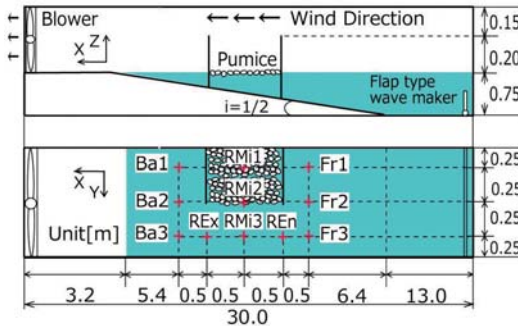
【相似則】  
実験縮尺：1/10  
作用風速：日別最大風速  
と最大瞬間風速（冬季）  
波場：佐多岬の有義波高  
と有義周期（周期は修正）

風場における構造物周辺の軽石移動実験

### 3.実験方法

#### 3.2 水槽・測定方法

11



【構造物模型】  
長さ1.00m・幅0.50m・高さ0.35m  
【送風】  
水槽岸側端部の送風機  
【造波】  
フラップ式造波装置：水槽沖側端部  
【風場と波場の測点】計11点  
前面のFr1・Fr2・Fr3、  
背面のBa1・Ba2・Ba3、  
模型内部のRMi1・RMi2、  
直線上に沖からREn・RMi3・REx

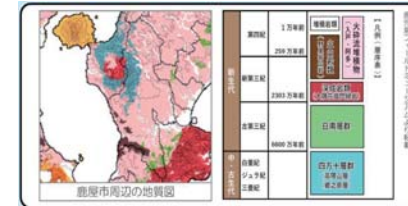
【相似測】  
実験縮尺：1/10  
風速：鹿児島市の冬季の日別最大風速  
と最大瞬間風速  
波場：佐多岬の有義波高と有義波周期

風波による堆積軽石群の再漂流実験

### 3.実験方法

#### 3.3 軽石の物性値

12



【軽石】  
鹿屋市砕石場から採掘・分別  
1万年前の第四紀の入戸阿多火砕流堆積物  
【分級】  
中礫から粗礫（4.75 mmから26.5 mm）  
土の粒度試験を行い単一粒径



入戸・阿多火砕流起源軽石：比較的均一性有り

### 3.実験方法 3.3 軽石の物性値

13



【密度試験】  
水中置換法：体積の計測が困難な試料の密度の測定に有効

【分類】 24時間浸水  
浮遊軽石 (Floating Pumice: FP)  
沈降軽石 (Sinking Pumice: SP)



【沈降速度測定】  

$$v = \sqrt{\frac{3(\rho_s - \rho_w)gd}{\rho_w C_d}}$$
 (ストークス則)  
 $v$  :沈降速度(cm/s)、 $\rho_s$  :落体の密度 (g/cm<sup>3</sup>)、 $\rho_w$  :溶媒の密度(g/cm<sup>3</sup>)、 $g$  :重力加速度(cm/s<sup>2</sup>)、 $d$  :粒径(cm)、球体の抵抗係数 $C_d=0.44$

軽石の水中密度と沈降速度の測定

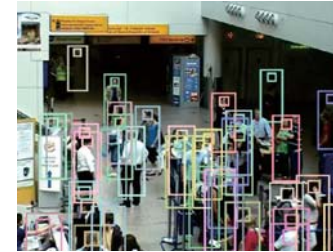


14

### 4.解析方法 4.1 機械学習の概要

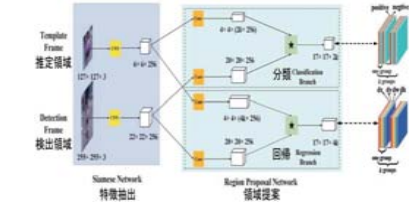


[https://aimiley.co.jp/ai\\_news/what-is-the-difference-between-deep-learning-and-machine-learning/](https://aimiley.co.jp/ai_news/what-is-the-difference-between-deep-learning-and-machine-learning/)  
<https://www.msims.jp/article/what-is-machine-learning.html>



【機械学習】  
/ディープラーニング (深層学習)  
/Object Tracking (物体追跡)  
/ SiamRPN

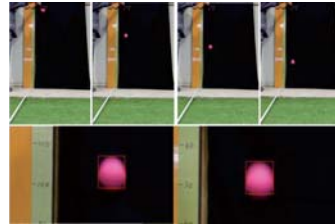
【SiamRPN】  
Siamese Region Proposal Network  
オフライン動画に適用可能  
類似性マップを出力するための学習  
2つのネットワークから構成



Siamese Network系は精度と速度が両立

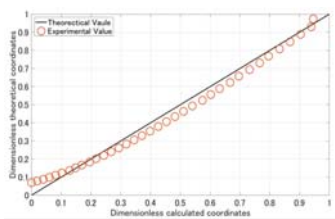
### 4.解析方法 4.2 精度検証

15



【実験条件】  
球体 (D=0.07 m)の高さ1.50 mから自由落下

【撮影】  
デジタルカメラ(SONY,ZV-1) HD (1280×720p) 92万1600画素

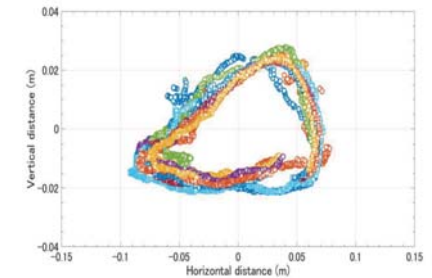


【手法】  
無次元座標の理論値と計算値の比較  
【追跡可能最小ピクセル数】  
6px : 誤認が多い  
18 px : 追跡可能最小ピクセル数

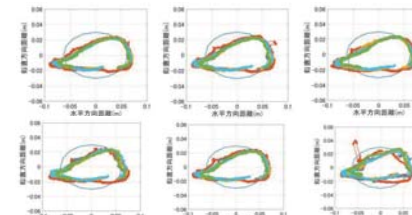
算出座標値は理論値を精度良く再現できる

### 4.解析方法 4.2 精度検証

16



【単体軽石の軌道のバラつき】  
bounding boxの条件を変更し、同一動画を対象に、5パターン軌道データを取得する  
同一時刻における軌道を比較した



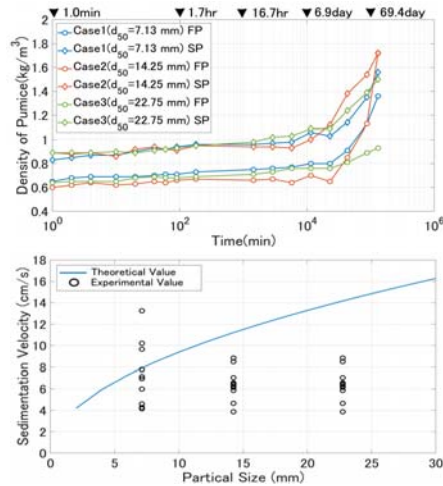
算出軌道は一定の精度を持つ



## 5.結果と考察

### 5.1 軽石の物性値

17



【分類】 24時間浸水  
浮遊軽石 (Floating Pumice: FP)  
沈降軽石 (Sinking Pumice: SP)  
【結果】  
SP: 気中密度が0.8から0.9、24時間から7日において水密度に達する  
FP: 気中密度は0.6、30日から60日で水密度に達する

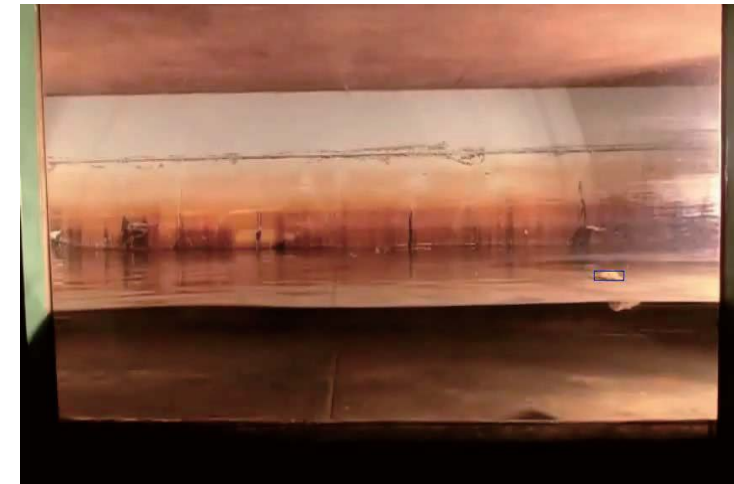
【沈降速度】  
対象: SP  
【条件】  
アクリル製パイプ (内径40 mm, 高さ1150 mm) 水深1.0 m位置の通過時間を測定  
【結果】  
実験値は理論値に従わない

軽石の漂流可能な期間が推算可能

## 5.結果と考察

### 5.2 波による軽石の軌道特性

18



単体軽石の軌道追跡

## 5.結果と考察

### 5.2 波による軽石の軌道特性

19

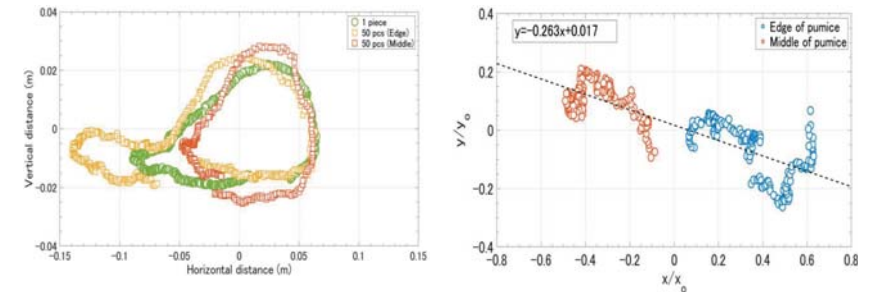


軽石群の軌道追跡

## 5.結果と考察

### 5.2 波による軽石の軌道特性

20



【単体と群体の軌道比較】  
端部: 水平移動量が多い  
中央部: 水平移動量は少ない

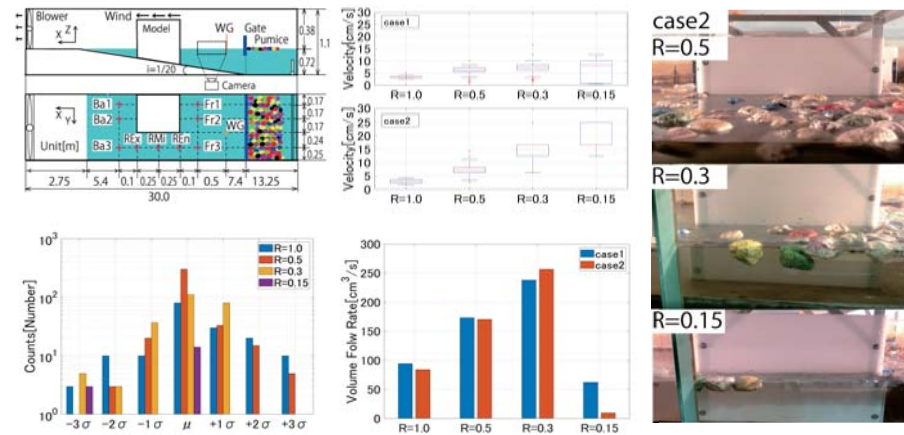
【軌道の無次元偏差】  
水平・鉛直方向では負の相関  
端部: 水平方向の偏差が多い  
中央部: 鉛直方向の偏差が多い

軽石群において各軽石の軌道が助長または制限

5.結果と考察

5.3 構造物周辺での軽石群の移動特性

21



狭窄部幅により軽石堆積過程が異なる

5.結果と考察

5.3 構造物周辺での軽石群の移動特性

22

【風速分布】  
粗面上境界層内部領域：形状抵抗が支配的

$$\frac{U(z)}{U_{*a}} = \frac{1}{k} \ln \frac{z}{z_{0a}}$$

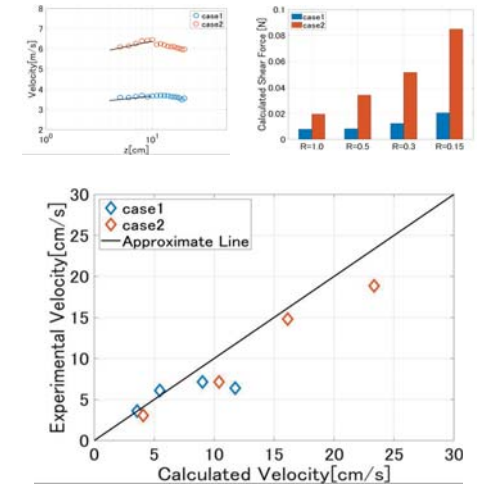
$U(z)$ ：壁から $z$ の距離での平均風速  
 $U_{*a}$ ：摩擦速度、 $k$ ：カルマン係数、 $z_{0a}$ ：水面の粗度高さ

【水面へのせん断応力 $\tau_a$ と $U_{10}$ 】

$$\tau_a = \rho_a C_D U_{10}^2$$

$$C_D = \left(\frac{U_{*a}}{U_{10}}\right)^2$$

$\rho_a$ ：空気密度、 $C_D$ ：抵抗係数



算出移動速度は作用風速に関係なく実験値を再現

5.結果と考察

5.4 堆積軽石群の再漂流

23

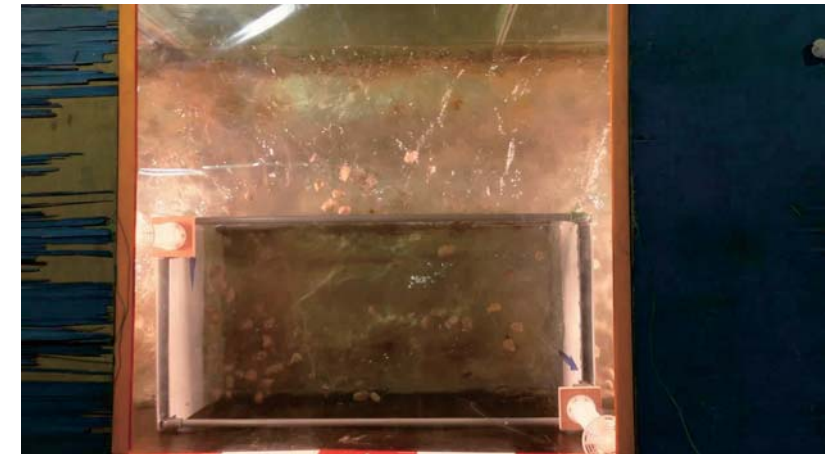


波による堆積軽石群の再漂流

5.結果と考察

5.4 堆積軽石群の再漂流

24



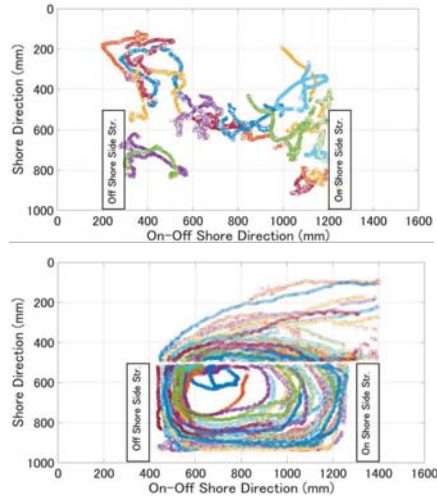
風と波による堆積軽石群の再漂流



## 5.結果と考察

### 5.4 堆積軽石群の再漂流

25



【波における軽石の軌道追跡】

Case3：180秒から360秒  
波の作用により移動  
水粒子速度の1/10の速度

【風と波による軽石の軌道追跡】

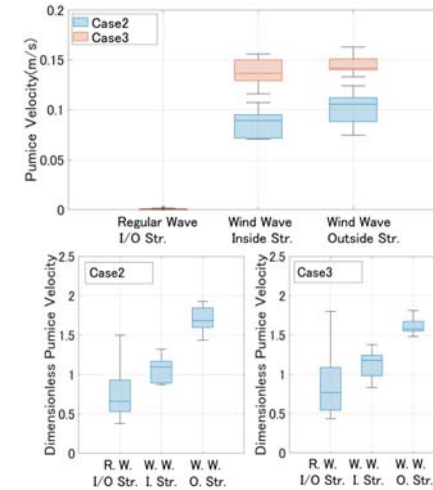
Case3：180秒から360秒  
波と風の作用により時計回りの移動を継続  
沖側の構造物先端まで移動し  
沖から岸に向かって再漂流する  
再漂流を継続する移動する場合  
再び壁面にトラップされ内部へと移動する  
2つのパターンが存在

再漂流を継続するor再トラップされるケースが存在

## 5.結果と考察

### 5.4 堆積軽石群の再漂流

26



【風波】

粒径が大きいほど偏差が小さい

【構造物と軽石移動速度】  
構造物が軽石移動速度に与える影響

【軽石の無次元速度】  
構造物有での移動速度/無しでの速度

【規則波】  
粒径に依存せず0.5倍から2倍の範囲

【風波】

バラつきが小さく一定速度の傾向

【構造物物外】

無次元速度1.5倍

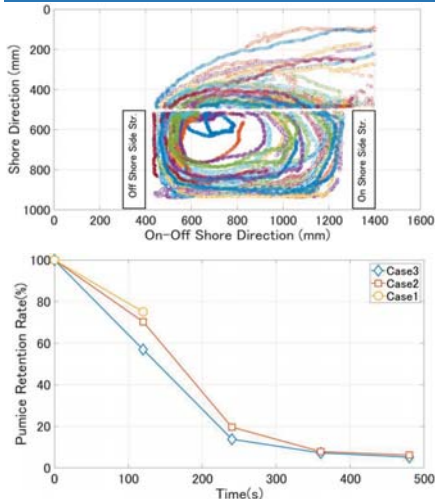
無次元鉛直方向風速と同様な傾向

軽石の再漂流：波場よりも風場の影響が大きい  
風波が軽石筏を形成する要因のひとつの可能性

## 5.結果と考察

### 5.4 堆積軽石群の再漂流

27



【構造物内部の軽石の残存率】

風波作用時：構造物内外に流れが発生  
漂流と堆積を繰り返す現象

【残存率の特徴】

残存率は粒径により減少率が異なる  
粒径が大きいほど残存率の低下は大きい  
残存率が10%以下になるとほぼ変化しない



風・波作用下での構造物内堆積軽石の残存率

## 6.まとめ

28

- (1) 本研究の計測システムは軽石の再漂流を含む移動過程を検討するには有効である。
- (2) 軽石の気中密度を把握すれば、水表面上に漂流可能な期間が推算可能である。また、構造物間の堆積軽石群の再漂流には、波場よりも構造物形状と風場の影響が大きい。
- (3) 風波作用時、同一粒径の軽石は移動速度の偏差が小さくなり軽石筏を形成可能な環境にある。
- (4) 風場と軽石粒径を測定することで、構造物内部の堆積軽石の残存率が推算できる。
- (5) 風場と軽石粒径により、鹿児島湾内沿岸域における短期的な漂流軽石の流動が推算可能である。

ご清聴ありがとうございました。