

水理模型実験中の礫浜の地形変化を
経時的に捉えるための3次元地形計測手法の
構築と有用性の検討

岐阜工業高等専門学校
岐阜工業高等専門学校

鳥居大和
菊 雅美



□ 水理模型実験における地形計測

計測機器	レーザ距離計	TSL 地上レーザスキャナ
計測対象	線・点	線・面
計測時間	長	長
精度	高	高
費用	高	高

- 造波中の地形撮影のために造波を止める



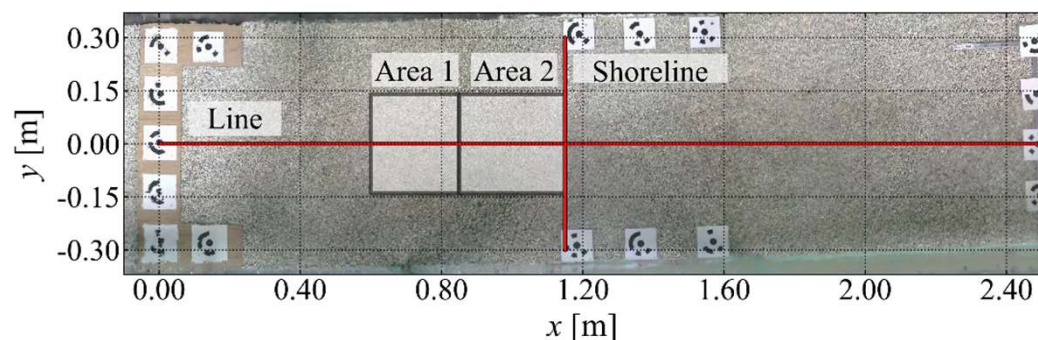
- 酒井ら(2019)：カメラ画像から水路内の地形の断面形状を画像解析により抽出する手法を構築



- 任意断面の形状が不明・沿岸方向の地形変化まではみられない

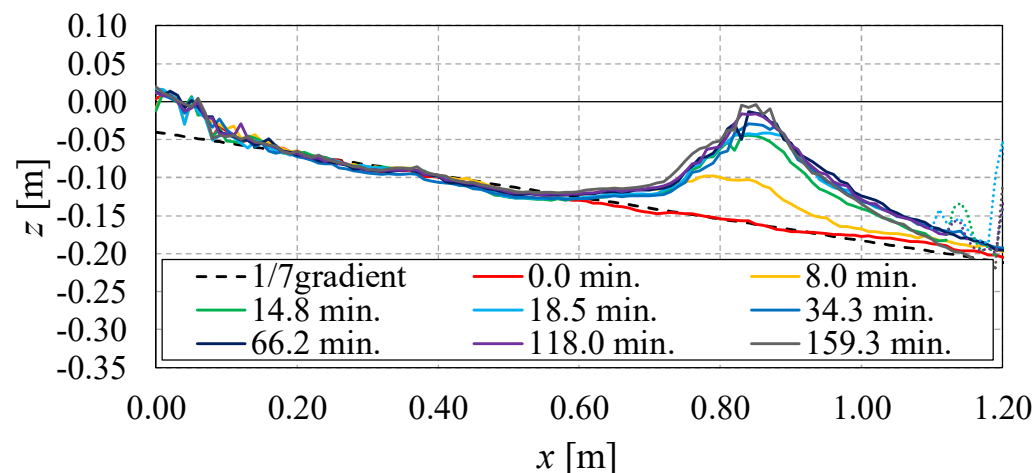
□ 既往の研究：本杉ら(2022)

造波実験中にUSBカメラを用いて撮影した礫浜斜面の画像から地形変化を計測する手法を構築

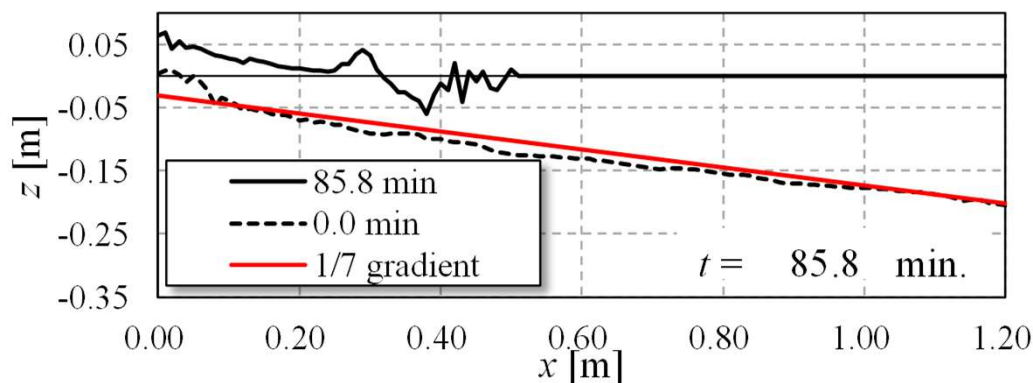


▲ オルソモザイク画像

- 10秒間隔で3時間撮影
- 地形を計測できたモデルは10/1081セット未満



▲ 水路中央における断面地形



▲ 水路中央における $t = 85.8$ min の断面地形

□ 地形変化・波の遡上形態の差異

- カメラ12台で造波中の地形を同時刻撮影 → 撮影画像の転送に遅延
- 画像間で地形変化や波の遡上形態に差異が生じた
- モデル構築に使用可能な画像や地形計測が可能なモデルが限定



7台目



8台目



9台目

□ 目的

- 3次元地形計測手法の改良・モデルの再現性の向上
- 礫浜の地形計測手法の確立

□ 改良前

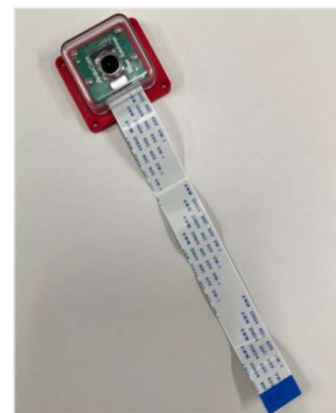
- USBカメラ / USB接続
- カメラ本体で画像処理



▲ USBカメラ

□ 改良後

- Arducamカメラ / CSI接続
- Raspberry Pi 3Bに接続
- 撮影後に画像をメモリへ転送



▲ Arducamカメラ



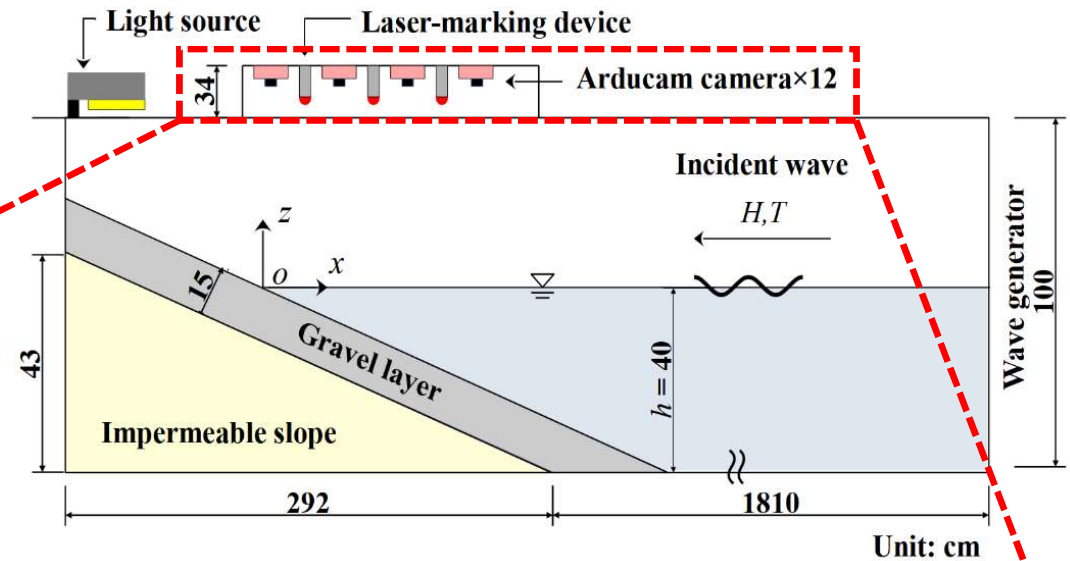
▲ Raspberry Pi 3B

□ 改良前後の比較

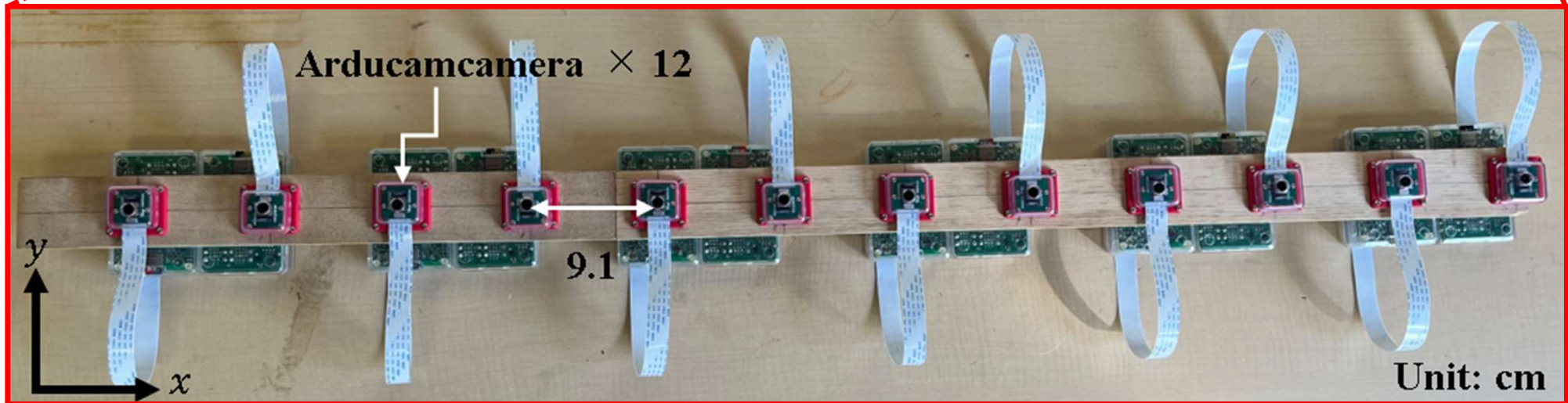
項目	転送速度 [Mbps]	撮影範囲 [m ² /台]	カメラ [台]	重複率 [%]	画素数 [万画素]	撮影間隔 [s]
改良前	300	1.026	24	80	800	10
改良後	1200	1.131	16	90	1600	30

□ 水理模型実験

- 断面2次元造波水路
- 実験縮尺：1/25
- 礫浜斜面：1/7勾配
- 礫の中央粒径：3.4 mm



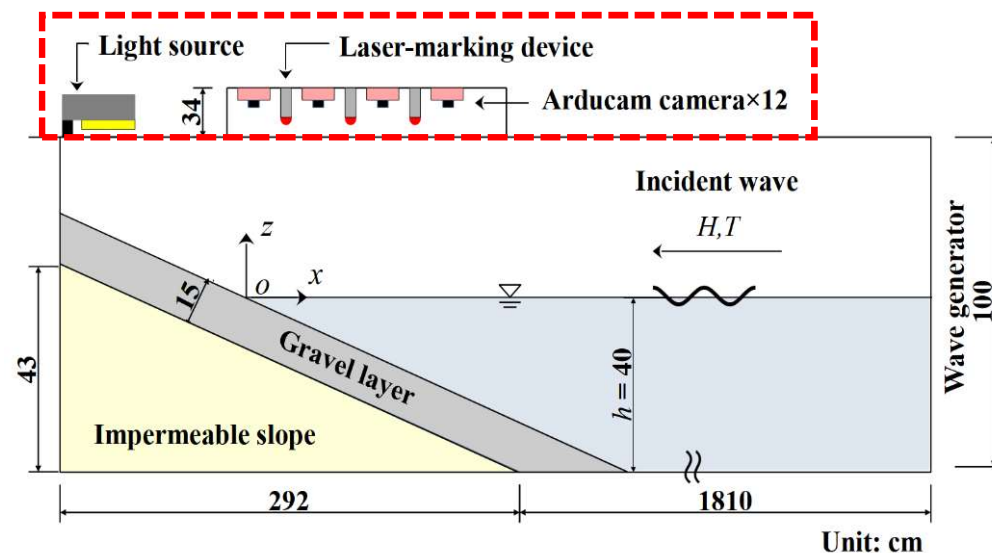
▲ 実験モデル



▲ Arducamカメラの固定

□ 撮影条件

Case	照明	レーザ
1	×	×
2	○	×
3	×	○
4	○	○



▲ 実験モデル

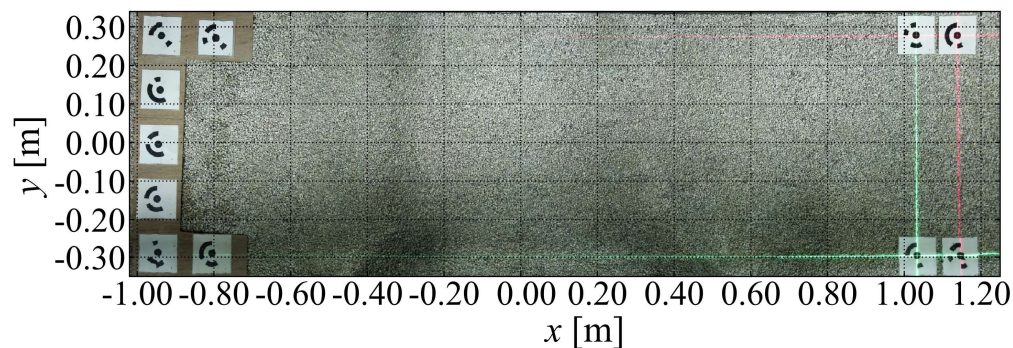
照明

礫浜地表面の陰影や明暗差の解消を試みる



レーザ

モデルの構築に必要な特徴点として認識を試みる



▲ オルソモザイク画像（レーザ照射）

□ 撮影手順

造波前の地形（排水状態）撮影



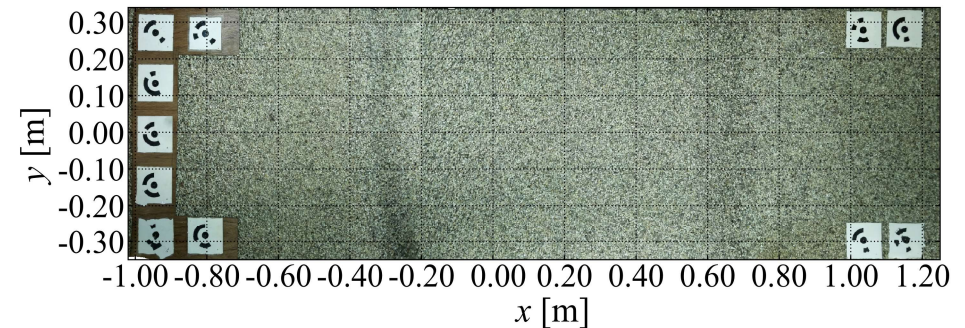
波高 $H=8.0\text{cm}$ ，周期 $T=2.0\text{s}$ の規則波を3時間作用



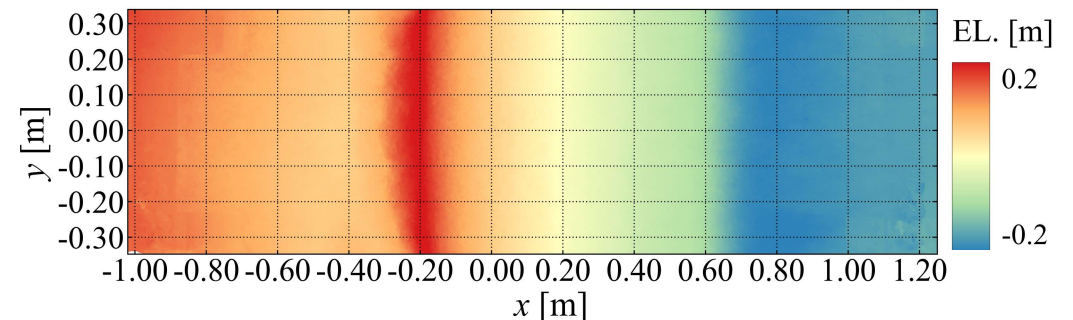
造波後の地形（排水状態）撮影

□ 解析手順

- Agisoft Metashapeにて撮影画像から3次元モデルを構築
- モデルの再現性に影響する「写真のアライメント」の精度を「最高・高・中・低」に変更



▲ オルソモザイク画像



▲ 数値表層モデルDSM

□ 検証方法

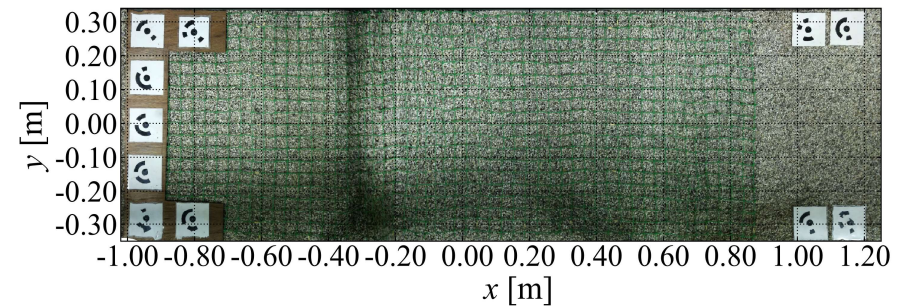
検証点の位置座標を計測

- 実測値：トータルステーション
- 計測値：地理情報システムQGIS

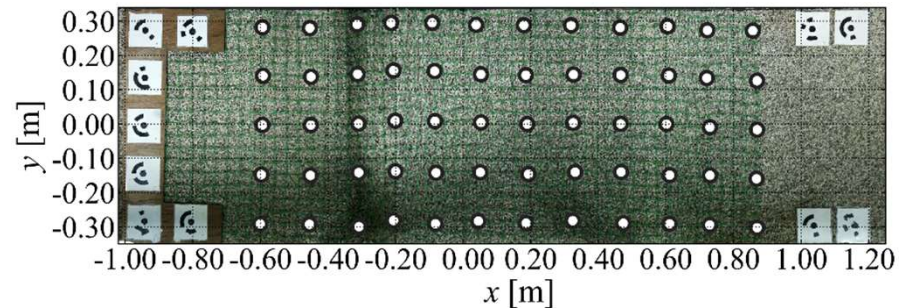
座標値の抽出

- XY座標：オルソモザイク画像
- Z座標：数値表層モデルDSM

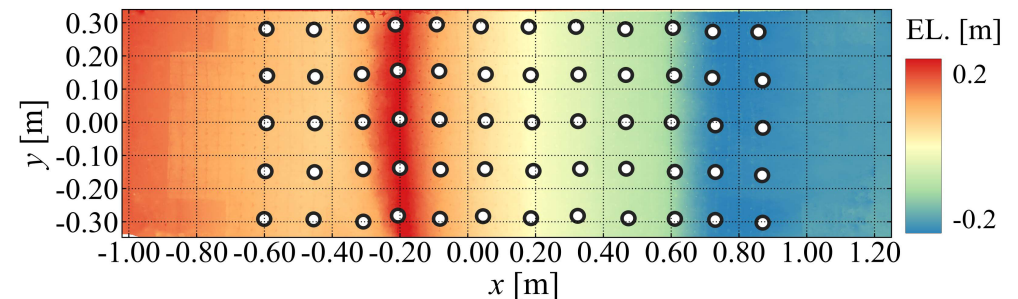
二乗平均平方根誤差RMSEで評価



▲ オルソモザイク画像（ネット敷設）



▲ オルソモザイク画像（検証点）

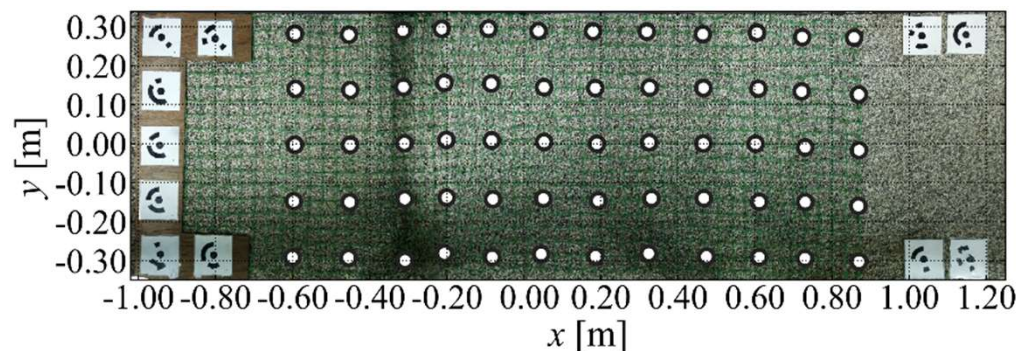


▲ 数値表層モデルDSM

□ XY座標のRMSE

精度	座標	造波前 [cm]	造波後 [cm]
最高	X	0.6	0.4
	Y	0.7	0.7
高	X	0.6	0.3
	Y	0.6	0.6
中	X	0.7	0.6
	Y	0.5	0.5
低	X	0.4	0.5
	Y	0.5	0.5

- 全精度において0.7 cm以下
- アライメントの精度によらず **検証点を抽出するためのネットが特徴点の役割をした可能性**



▲ オルソモザイク画像（ネット敷設）

□ Z 座標のRMSE

精度	撮影条件	造波前 [cm]	造波後 [cm]
最高	1	0.6	0.6
	2	0.7	0.6
	3	0.8	0.6
高	1	0.6	0.5
	2	0.7	0.5
	3	0.8	0.6
中	1	1.9	1.7
	2	1.8	1.6
	3	2.3	2.3
低	1	2.1	1.8
	2	1.7	1.6
	3	1.6	2.1

- 礫浜表面には際立つ特徴点が極めて少ない
- アライメントの精度が**高く**なると特徴点を多く抽出

解析条件

アライメントの精度「**高**」

撮影条件

照明・レーザを使用しない

Case 1

本杉ら(2022)

Z座標のRMSE = 1.0 cm

全座標のRMSE = 0.6 cm

□ 計測手順

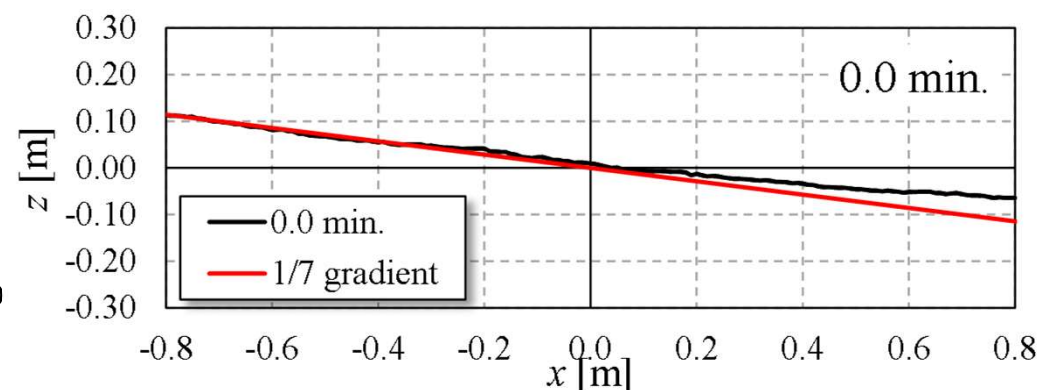
- 波浪条件と計測精度への影響
- ▼
- 規則波を3時間作用
 - 30秒間隔で撮影
- ▼
- 1ケース361個のモデルを構築

□ 初期地形の再現性

- $x > 0$: 水面の影響を受ける
- $x < 0$: 1/7勾配が再現できている

□ 波浪条件

Wave	水深 h [cm]	波高 H [cm]	周期 T [s]
1	40	8.0	2.0
2	40	6.0	1.7
3	40	4.0	1.5

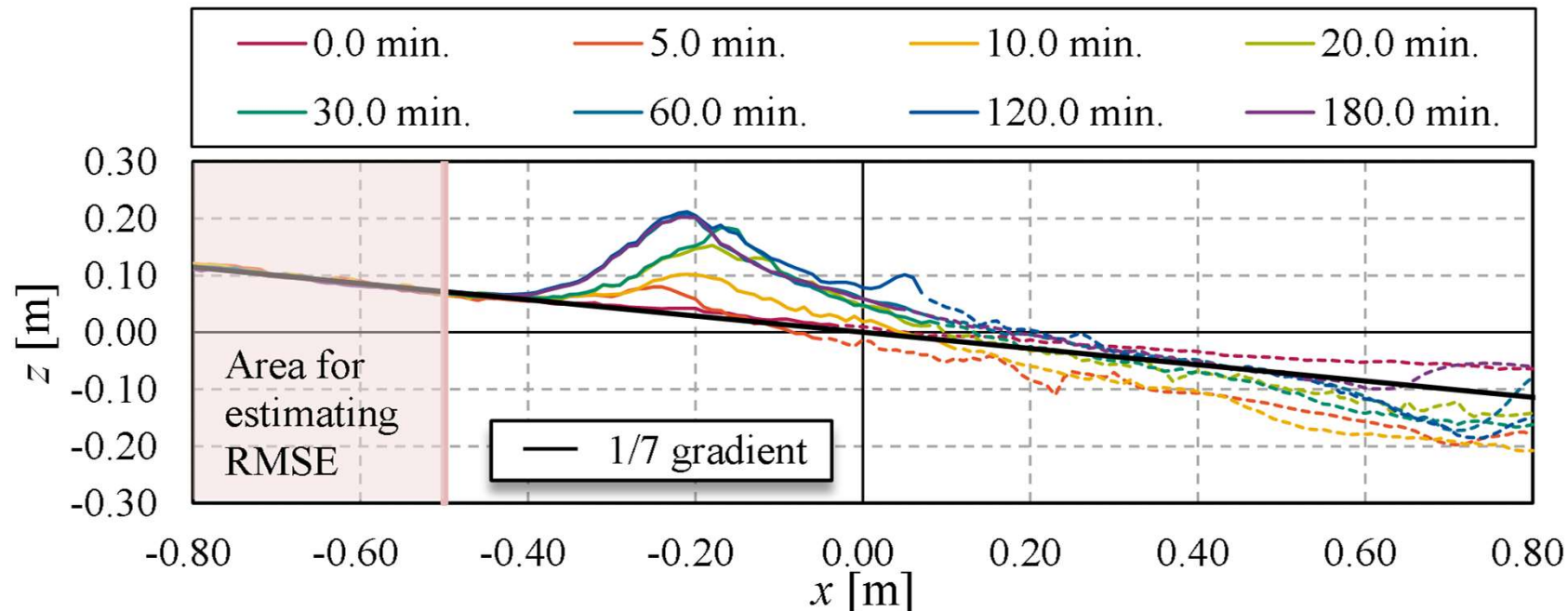


▲ 水路中央における初期地形断面

□ 地形の再現性

- 波の遡上がない範囲
- 初期地形の標高を正とし、各時刻の標高のRMSEを評価
- 遡上波の影響がない範囲の地形の再現性を確認

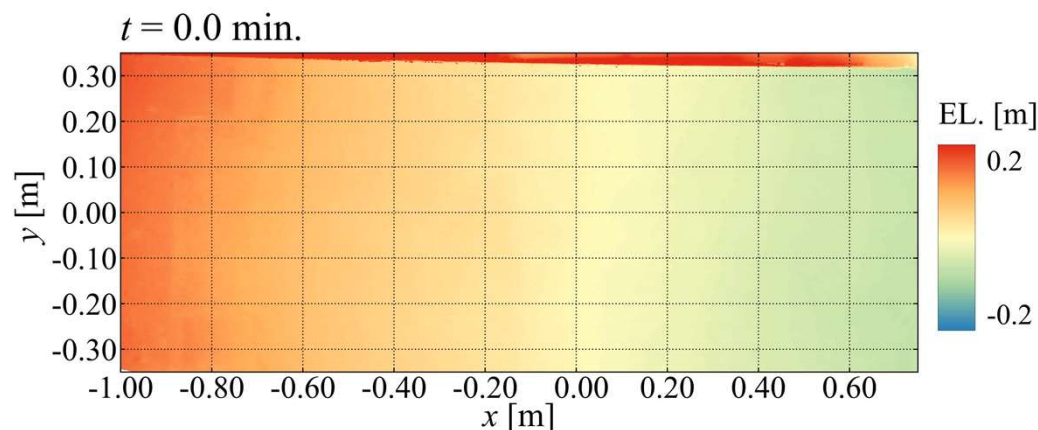
Wave	RMSE 0.6 cm以上のデータ数
1	7/361
2	13/361
3	2/361



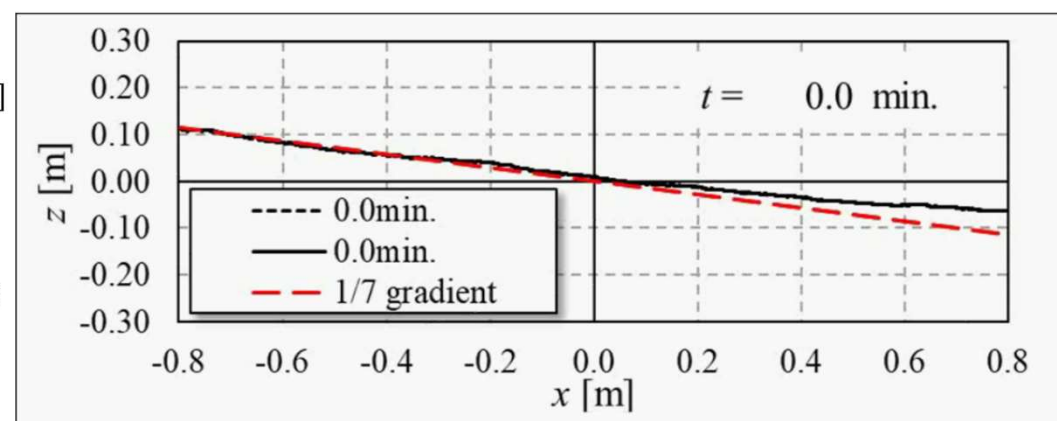
▲ 水路中央における断面地形の時間変化

□ 精度検証範囲外の地形

- 経時的にバームが形成されていく過程が観察できる
- 注水状態でも、水面の影響を受けない範囲の地形の再現性を確認



▲ 水路内の標高の時間変化を示すDSM

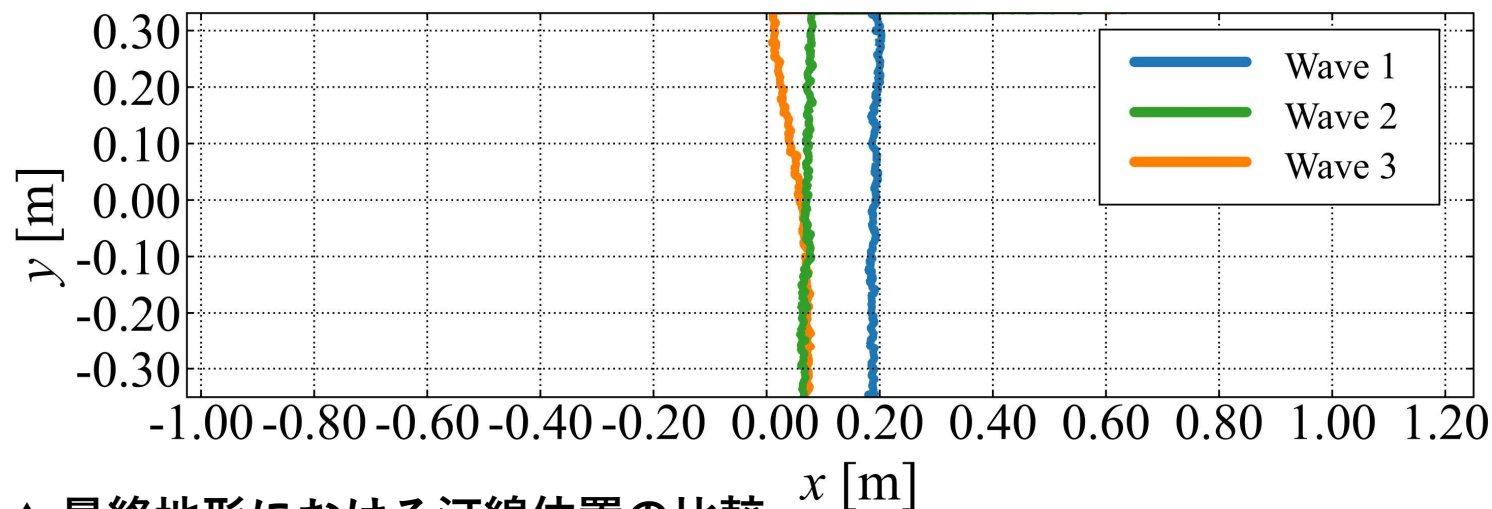


▲ 水路中央の断面地形変化の様子

時々刻々と変化する礫浜地形を任意時刻で可視化・計測可能

□ 最終地形における汀線位置の変化

- 最終地形のDSMより $z=0.00\text{m}$ の地点を抽出



Wave 1

- $x > 0.00\text{ m}$ の範囲にも礫が堆積した影響で汀線が前進

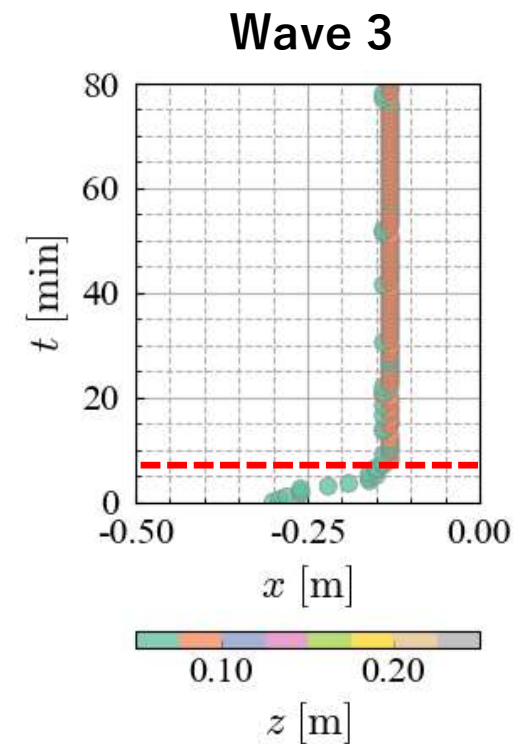
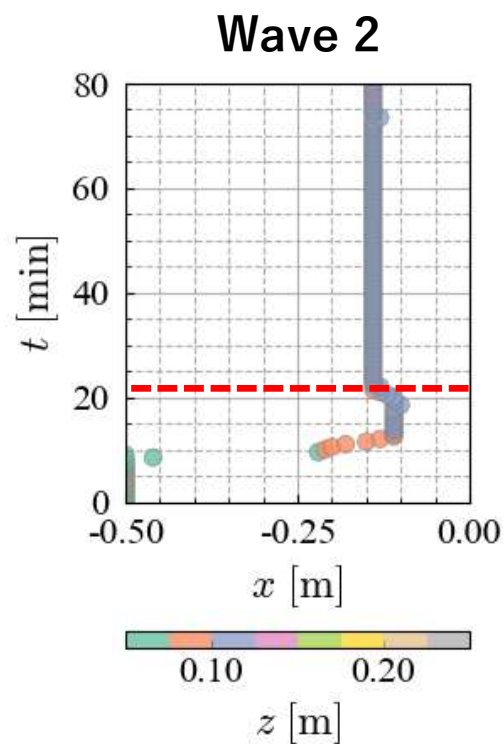
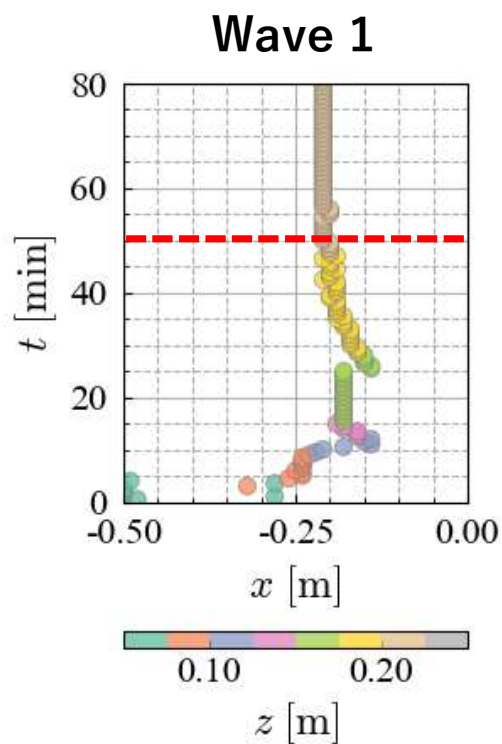
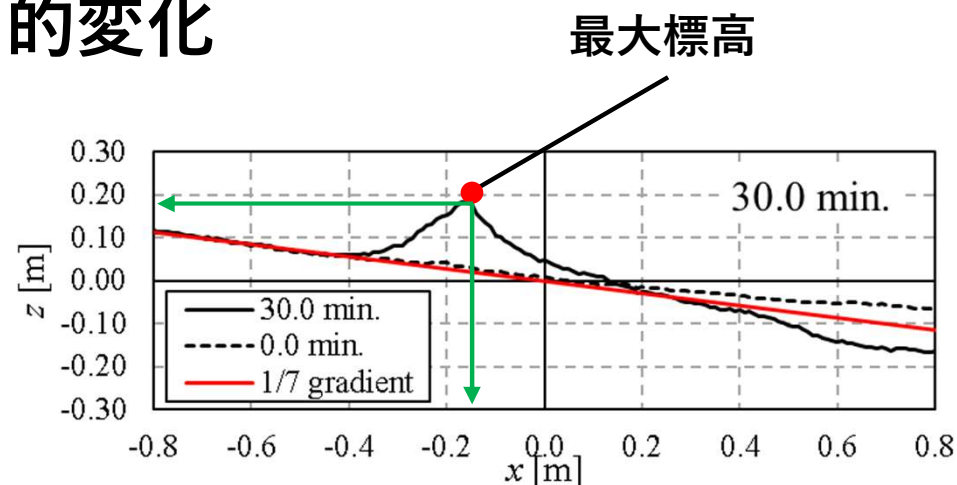
Wave 3

- 沿岸方向に汀線が変化

1測線の計測では把握できない地形変化を捉えることが可能

□ 最大標高の位置・高さの時間的変化

- 陸域 ($-0.50 \text{ m} < t < 0.00 \text{ m}$)
- 最大標高の位置：点
- 標高値：色



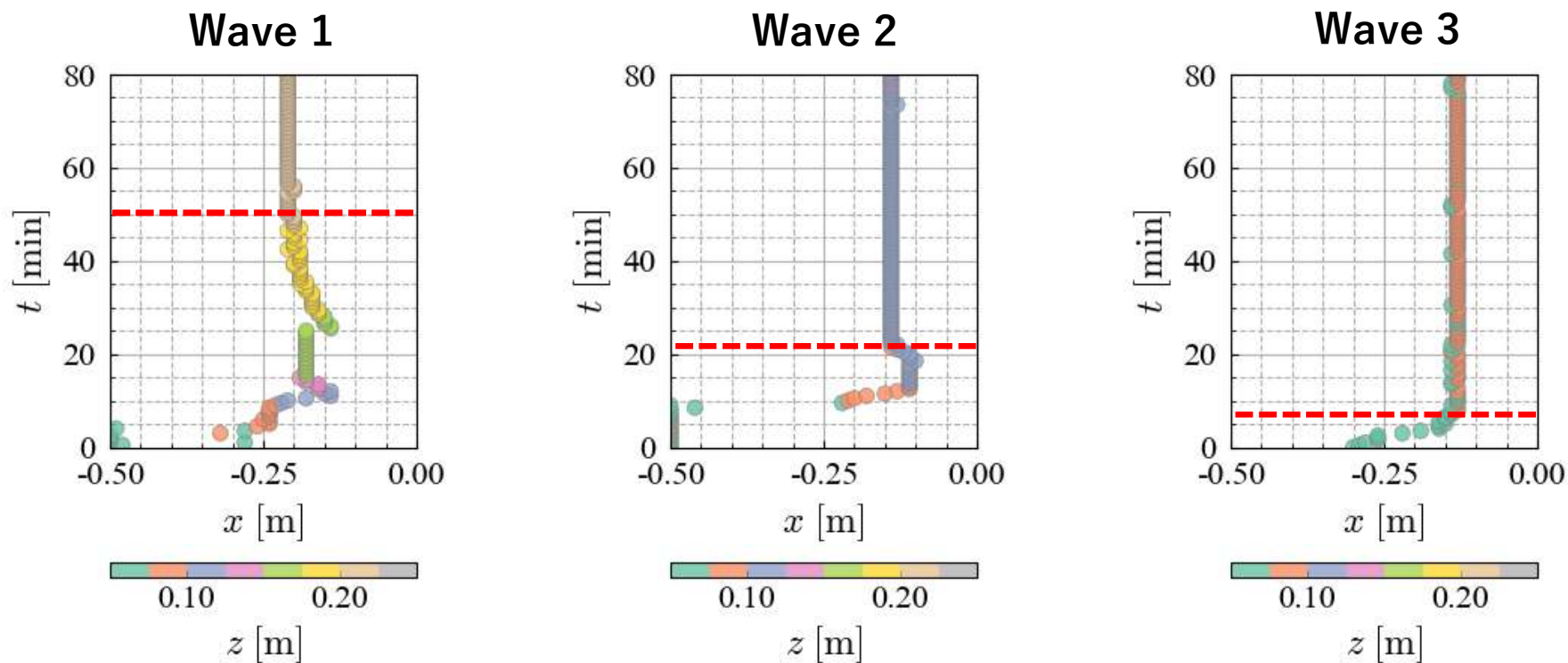
▲ 最大標高の位置と高さの時間的変化

□ 最大標高の位置・高さの時間的変化

➤ 波高・周期が**大**

➔ 時間経過とともに最大標高値が増加し，地形の平衡化に時間を要する

任意範囲で時々刻々と変化する最大標高の位置・高さの計測が可能



▲ 最大標高の位置と高さの時間的変化

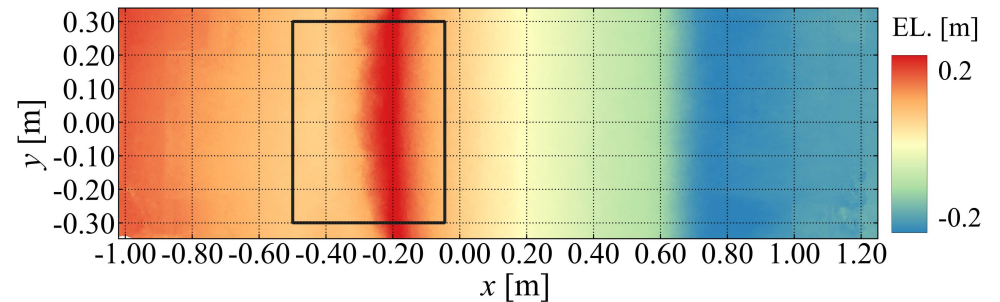
□ 堆積量の時間的変化

- 3次元モデルからDSMを抽出
- 初期地形の堆積量を基準
- 振動：入射波の影響

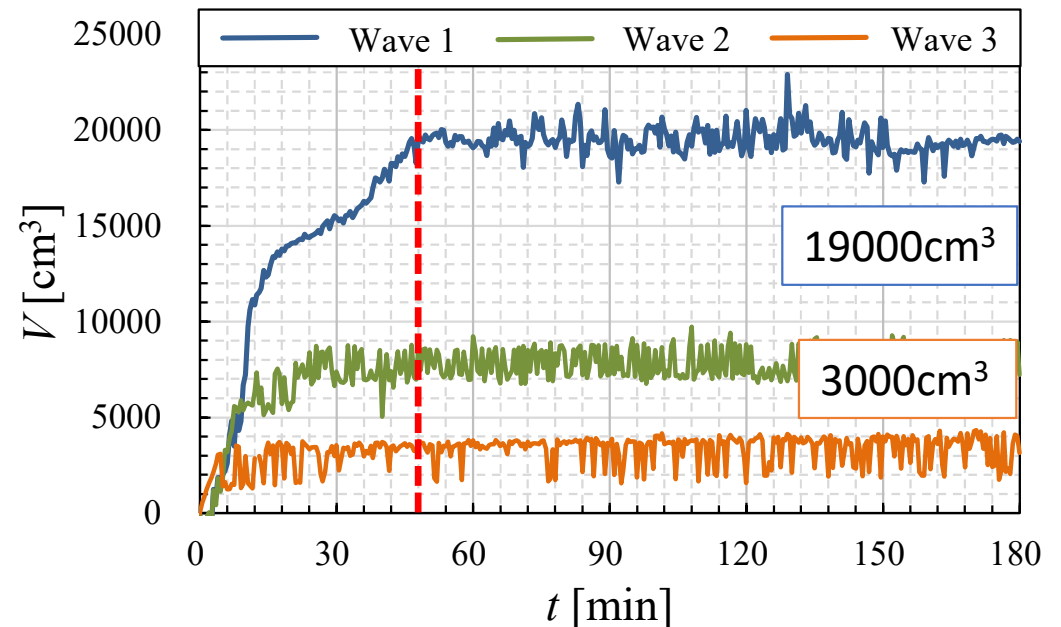
Wave 1

- 堆積量が一定になる時間が最も遅い
- $t = 180\text{min}$ の堆積量はWave 3の約6倍

任意範囲における堆積量の時間変化の算出が可能



▲ DSM



▲ 堆積量の時間的変化

□ 3次元地形計測手法の高精度化

- 画像転送速度の向上により同時刻撮影が可能
- 照明やレーザを使用せず、「写真のアラインメント」の精度を「高」とすることでモデルの精度が向上
- 造波前後の地形に対する本手法のRMSEは0.6 cmと計測精度が向上し、造波中も水面の影響を受けない範囲の妥当性を確認

□ 3次元地形計測手法の有用性

- 任意時刻・範囲における断面地形・汀線位置・経時的な最大標高の位置や高さ・堆積量を定量的に計測可能

□ 礫浜以外での計測

- モデルの構築には撮影画像内の特徴点が重要
- モデルの精度は底質の影響も受けると考えられる

ご清聴ありがとうございました

