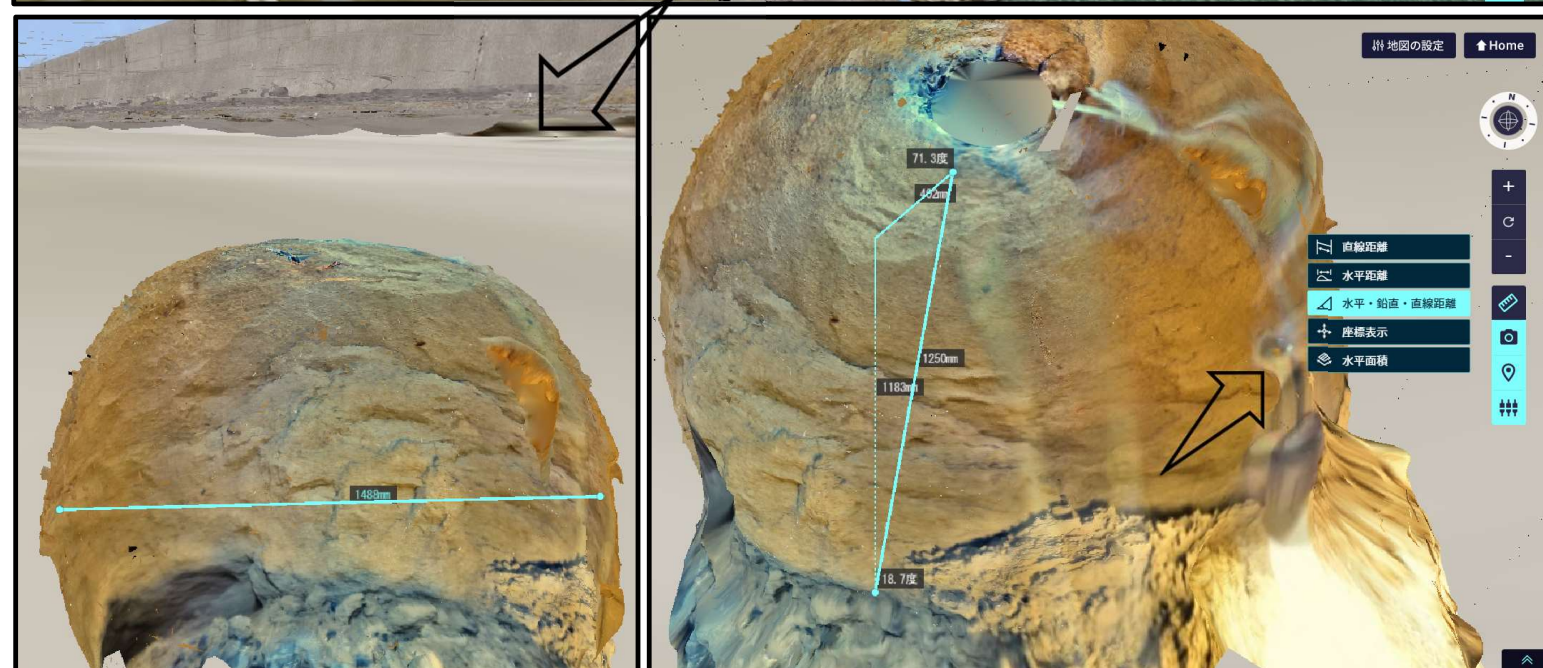


# 路面下空洞や狭小場所の 3次元形状・状態確認システムの開発

2023/6/28

海洋開発シンポジウム



## Authors

- 中嶋 道雄<sup>1</sup>
- 田中 美帆<sup>1</sup>
- 高見澤 拓哉<sup>2</sup>
- 松本 裕樹<sup>2</sup>
- 清水 利浩<sup>3</sup>
- 清水 美代<sup>3</sup>
- 宮崎 賢治<sup>3</sup>
- 東宮 真琴<sup>3</sup>

- 1: パシフィックコンサルタンツ
- 2: CaITa株式会社
- 3: 国土交通省 北陸地方整備局  
新潟港湾・空港整備事務所

# 1.開発の目的

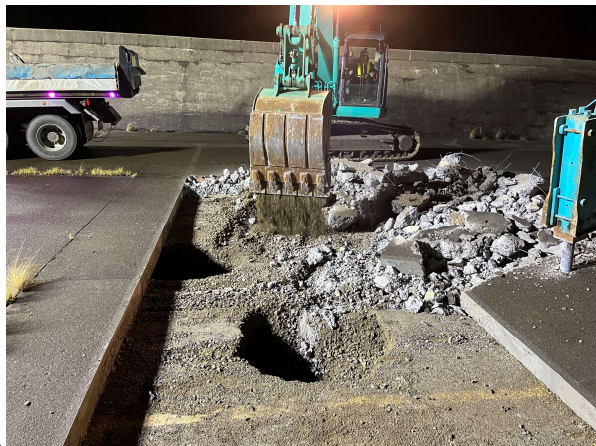
港湾 埋立護岸舗装下空洞  
空洞発生要因は様々



要因分析が必要  
補修しても再空洞化

## 現状の代表的調査方法

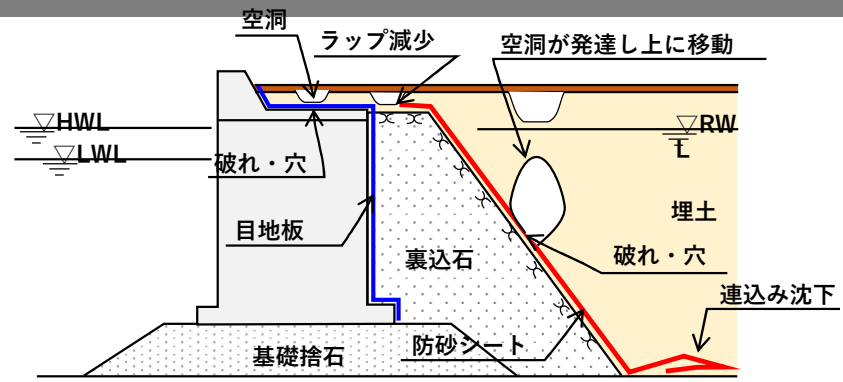
掘削目視：直接見る



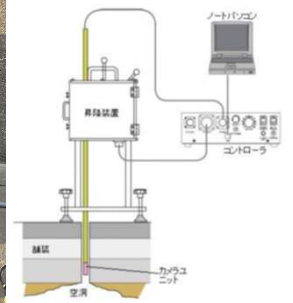
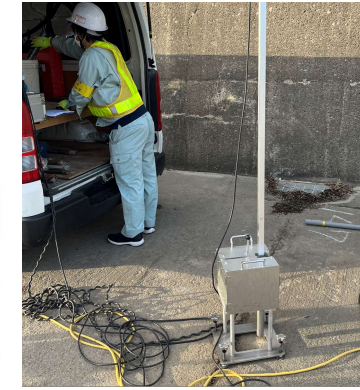
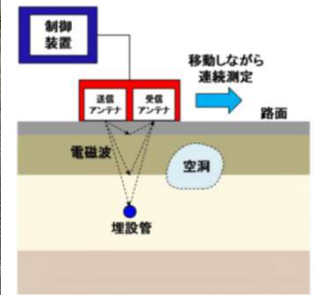
令和4年度新潟空港護岸構造物調査報告書



「固化工法による吸い出し防止及び液状化対策の兼用工法」の設計・施工事例（案）  
平成23年3月 p1-8



地中レーダー+スコープ調査：機器で確認する



# 2. 主な調査方法の課題

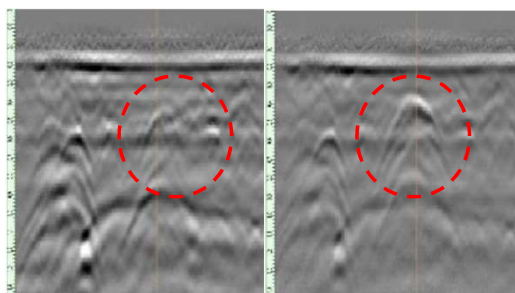
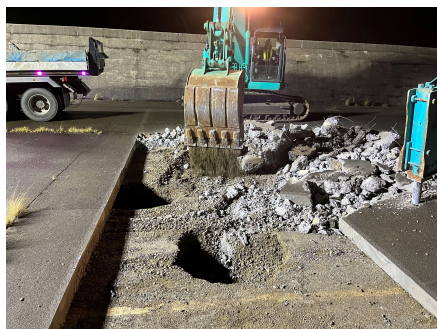
| 手法               | 利点  | 課題  |
|------------------|---|---|
| 掘削目視             | <ul style="list-style-type: none"> <li>直接目視が可能</li> <li>空洞形状や埋土状態が直接確認可能</li> </ul>                             | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 空洞カ所を特定しないと出来ない</li> <li>2. レーダースコープ調査よりコスト高</li> <li>3. 路面規制が必要</li> </ol>       |
| レーダー<br>+ スコープ調査 | <ul style="list-style-type: none"> <li>比較的短時間で調査可能</li> <li>微破壊(5cm孔のみ) なので路面開放が早い</li> <li>掘削目視より安価</li> </ul> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 専門家技術が必要</li> <li>2. 空洞内の正確な形状がわかりにくい</li> <li>3. スコープカメラは広がりの距離がわからない</li> </ol> |

路面規制が必要

空洞判断は専門性が高い

正確な形状がわかりにくい

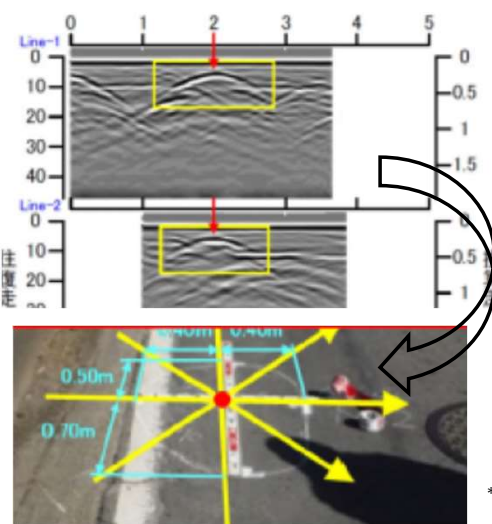
スコープカメラは距離不明



空洞なし

空洞あり

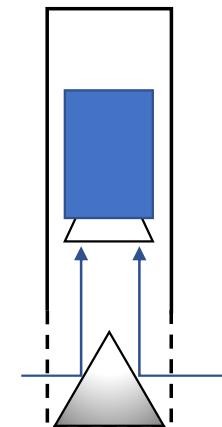
\*2



\*1

| スコープ調査結果 |          |              |
|----------|----------|--------------|
| スコープ画像   | 構造/深度(m) |              |
|          | アスファルト   |              |
|          | 路盤       | 0.17         |
|          | 空洞       | 0.22<br>0.41 |

\*1

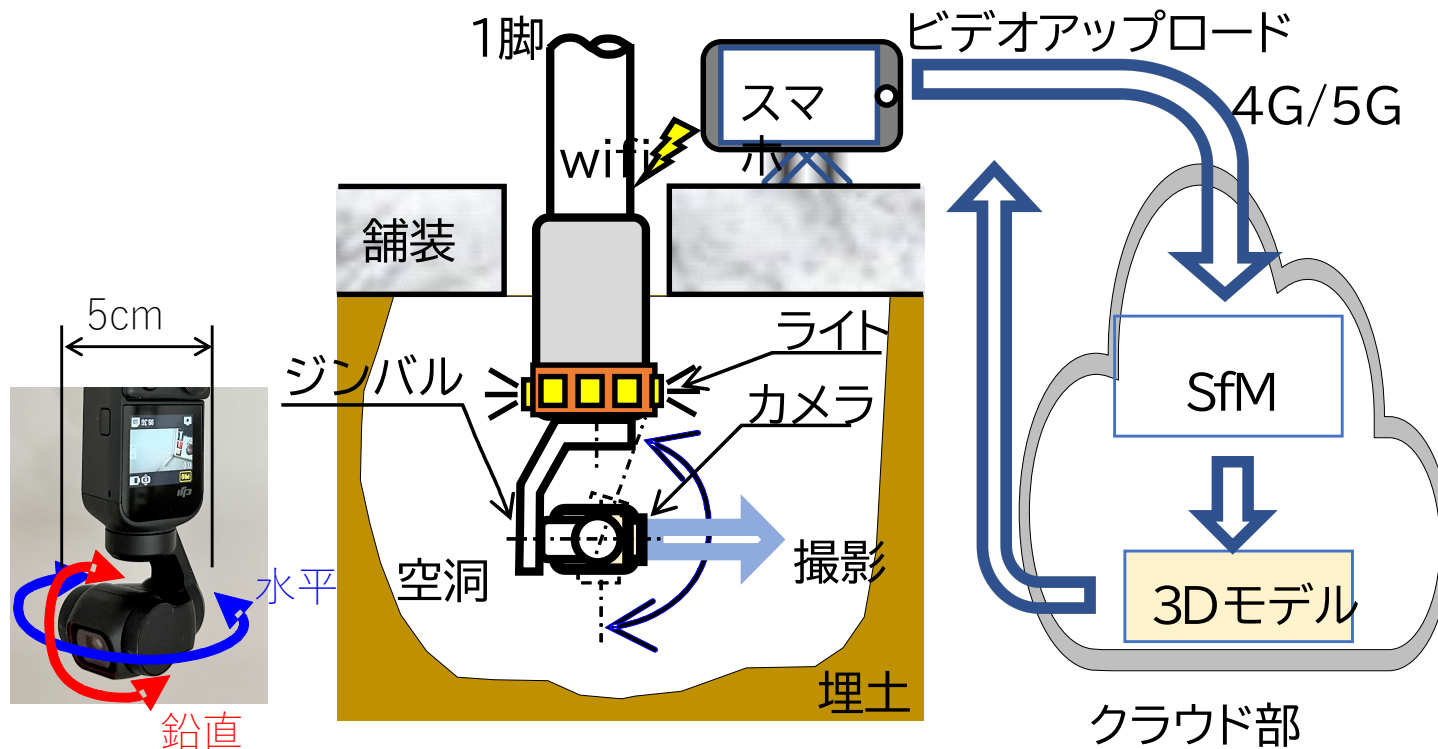


\*1: 路面下空洞探査技術マニュアル (案) 平成29年9月 路面下空洞探査車の探査技術・解析の品質確保コンソーシアム協力：一般社団法人全国地質調査業協会連合会

\*2: 道路構造及び空洞特性に適応した陥没危険度評価と合理的路面下空洞対策についての研究開発道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート No. 30-5

# 3.本システムの概要

掘削目視の精度をレーダー調査の手軽さで



現地計測部

ジンバルの動き  
(2軸コントロール)



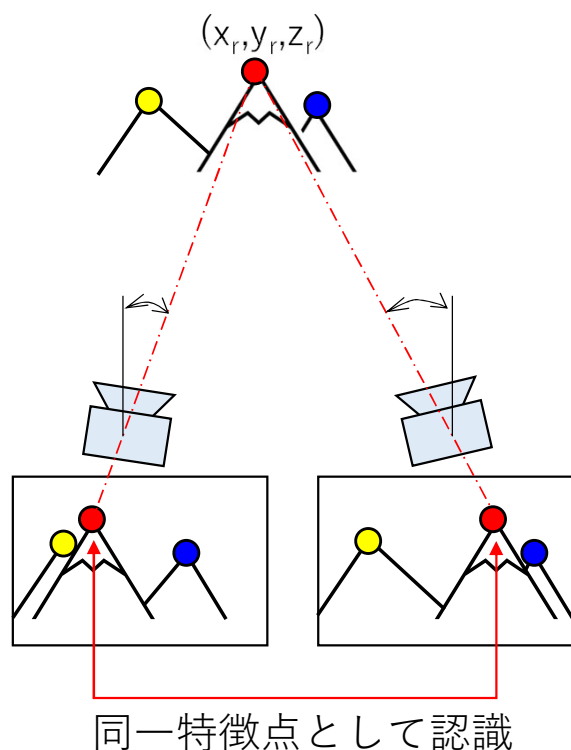
機器構成

ジンバルカメラ:  
DJI Pocket2  
1脚:  
φ5cm以下  
長さ調整  
スマートフォン:  
カメラ制御・確認用  
ライト:  
φ5cm以下  
コンベックス:  
深さ計測用  
モバイルバッテリー:  
計測時間に応じて  
以上合計1.1kg

- 小型ジンバル付き4Kカメラの出現
- 3次元クラウドプラットフォームの発達

## 4.SfMとは

SfM (Structure from Motion)とは  
ステレオ写真測量の原理を用いて、3次元点群を構築する技術



カメラパラ  
メータ算出

焦点距離、解像度、画素幅⇒画像間  
の回転行列、併進ベクトルの算出⇒  
カメラパラメータの最適化

ステレオ  
平行化

カメラ回転を元に戻す

3次元計測

カメラパラメータを用いて対象点  
の3次元座標の算出

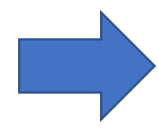
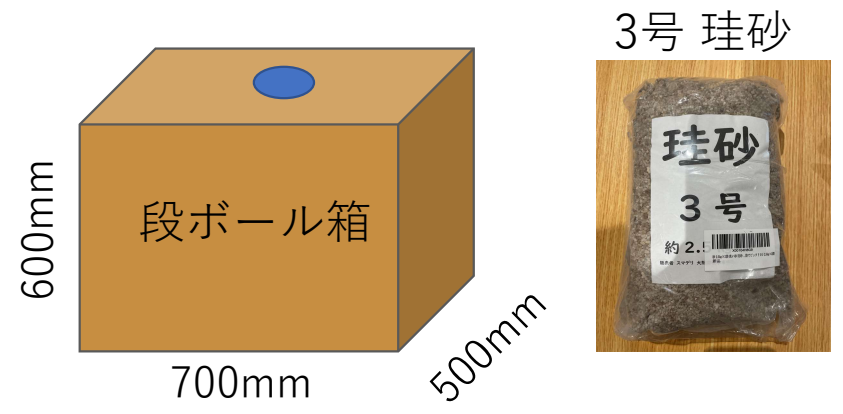
- 動画⇒3Dモデル
- オープンソースライブラリ  
の利用

OpenMVG、VisualSFM等のオープンソースライブラリが多く出ている

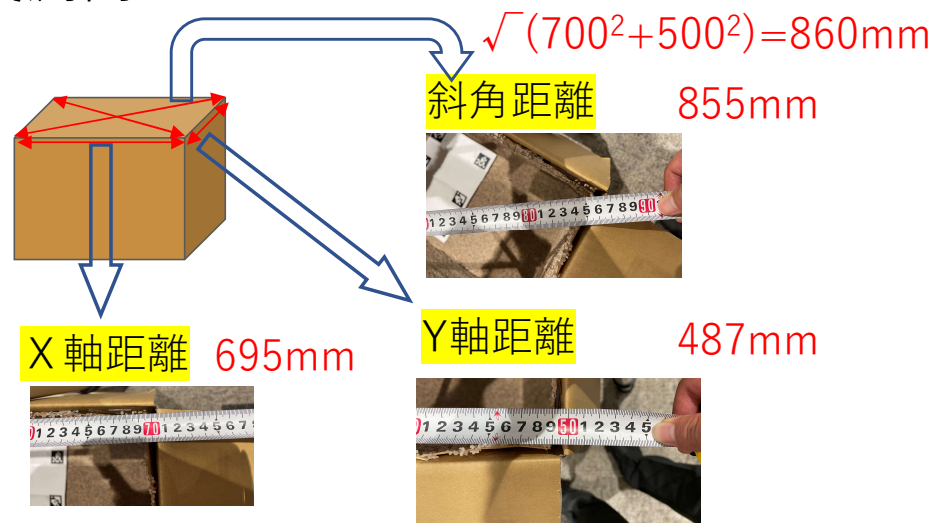
上記の多くのライブラリでは、高速化や要素欠落補完など多くの機能が実装されている

# 5.室内試験 5-1実験準備

## (1)模擬空洞の作成



## (2)実測内空

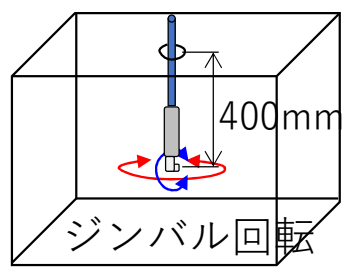


- 現地と同材料（砂・礫）の空洞
- 反射率を同じようにしたい

# 5.室内試験 5-2カメラ位置実験

## (1)Case1：カメラ位置固定

ジンバルカメラを高さ固定位置でカメラを回転して撮影

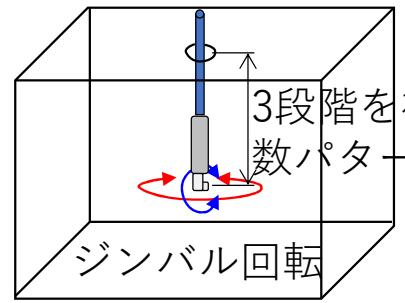


球状になる⇒NG

カメラ位置：高さ固定  
ジンバル回転：水平+鉛直の組合せ

## (3)Case3：カメラ位置上下移動

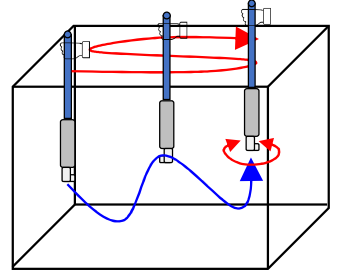
ジンバルカメラを高さを複数切替え、ジンバルでカメラを回転して撮影



カメラ位置：高さを3段階に  
ジンバル回転：水平+鉛直の組合せ

## (2)Case2：手で自由に移動(上蓋=舗装孔なし)

ジンバルカメラを手動で位置移動して撮影



再現OK

カメラ位置：手動で自由に撮影  
上下・左右・回転自由  
ジンバル回転：なし

|         | 計測値(m) |       |       |       | 誤差(%) |       |       |       |
|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | X      | Y     | Da    | Db    | X     | Y     | Da    | Db    |
| ①スケール計測 | 0.695  | 0.487 | 0.855 | 0.855 | -     | -     | -     | -     |
| Case3-1 | 0.689  | 0.504 | 0.876 | 0.826 | 0.9%  | -3.5% | -2.5% | 3.4%  |
| Case3-2 | 0.733  | 0.521 | 0.888 | 0.891 | -5.5% | -7.0% | -3.9% | -4.2% |

r=700mm程度の空洞に対して  
200mmピッチで上下移動すれば、ほぼ  
再現可能

## 5.室内試験 5-3距離との関係

実験目的：どれくらいの広さまで対応可能か

実験条件：

計測面の照度=65 lx一定

カメラと測定面距離：0.75 mから2.25 m

計測回数：それぞれ10回

カメラの動き：Case3と同様

評価項目：計測面の縦、横、斜の測定長さ

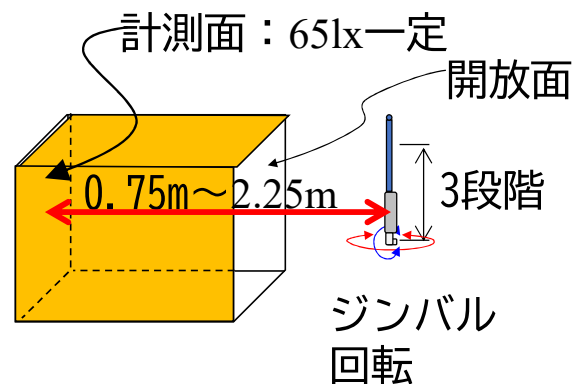
10回計測の平均値とスケール計測の差

= 計測誤差率

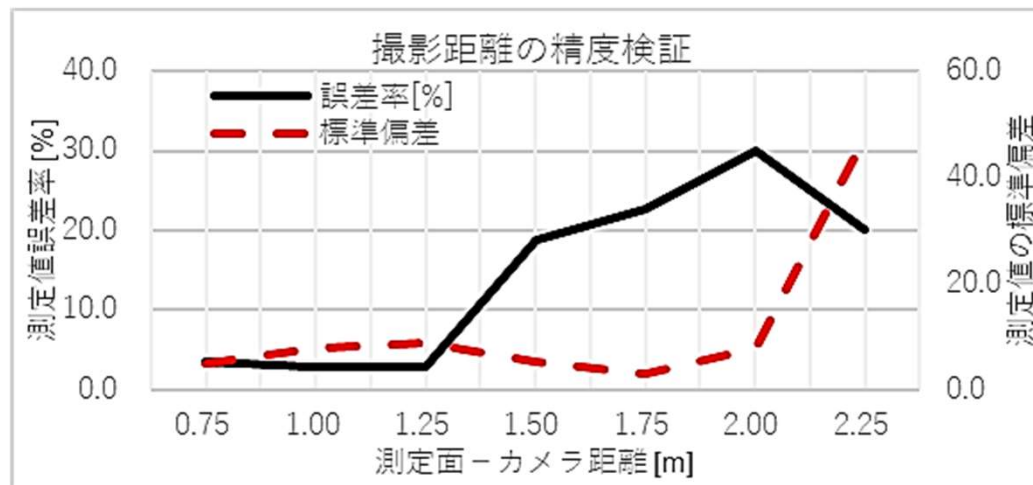
10回計測のばらつき

= 標準偏差

- 2.0 m以上の場合、形が再現できずそれに伴い標準偏差が大きくなっている
- 誤差率は1.25 mまでは5 %程度であるが、この距離を超えると20 %程度まで増加しその後直線的に増加
- 半径1.25 mの円筒形状までは誤差5 %程度での利用が可能と考えられる



1.25m で計測された3Dモデル





## 5.室内試験 5-4照度との関係

実験目的：どれくらいの暗さまで対応可能か

実験条件：

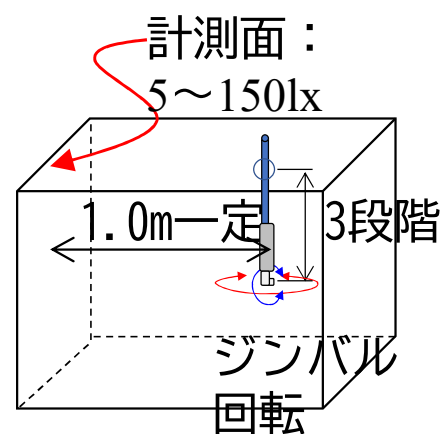
計測面の照度=5 lxから150lx

カメラと測定面距離：1.0m一定

計測回数：それぞれ10回

カメラの動き：Case3と同様

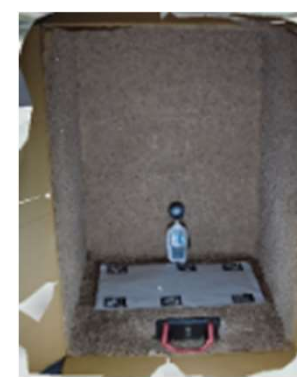
評価項目：距離の関係と同じ



生成された3D形状



80 lx



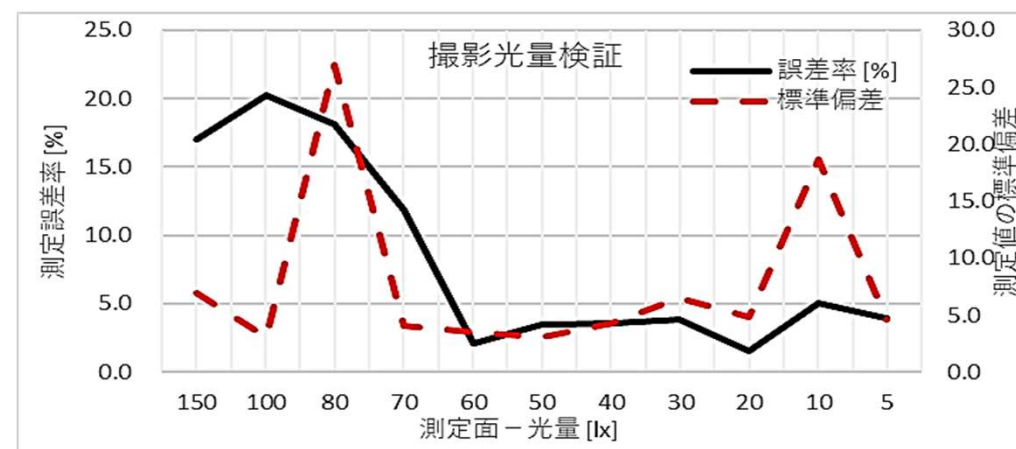
50 lx

壁面の空き



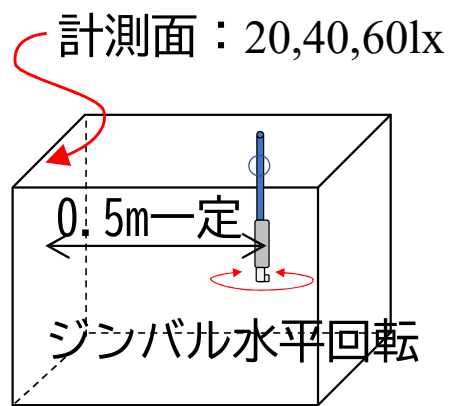
10 lx

- 照度が60 lxを超えると白飛びが原因と考えられる誤差率が大きくなる
- 照度が低い10 lxの3D生成結果を見ると、左壁面が空いており上手く生成ができていない
- 低照度領域で誤差率が低い傾向は、計測しているカド部分のみが明暗差がついて生成されているからと考えられる
- 以上から空洞で利用可能な照度は20~60 lx程度と考えられる。



# 5.室内試験 5-5ジンバル回転スピードとの関係

実験目的：照度毎にピントが合うか  
 実験条件：  
 計測面の照度=20,40,60 lx  
 カメラと測定面距離：0.5m一定  
 計測回数：1回  
 カメラの動き：水平回転のみ  
 評価項目：画像を見てピンボケかどうか判断



40 lx 7.5度/s ×



40 lx 6.0度/s ○

- 照度20 lxでは、4.3 度/sの角速度で合うが、40 lx以上では6.0 度/sが良い
- 計測効率を考慮すると40 lxから60 lx程度の光源を用いて、1回転50 s以上で計測を行えば良い



上記の回転制御は難しい=プログラム化必要

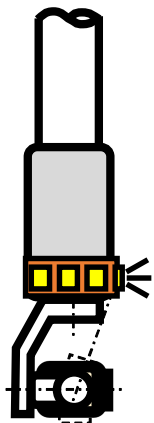
| 測定面照度 (lx) | ジンバル回転スピード(度/s) |      |      |     |     |     |     |     |     |
|------------|-----------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|            | 30.0            | 15.0 | 10.0 | 7.5 | 6.0 | 5.0 | 4.3 | 3.8 | 3.3 |
| 20         | ×               |      | ×    | ×   | ×   | ×   | ○   | ○   | ○   |
| 40         |                 | ×    | ×    | ×   | ○   | ○   |     |     |     |
| 60         |                 | ×    | ×    | ×   | ○   | ○   |     |     |     |

○:ピントが合う      ×:ピントが合わない

# 6.プログラム開発

撮影・カメラ  
制御プログラム

DJI Mimo



Frepのプログラム化

MacroDroid



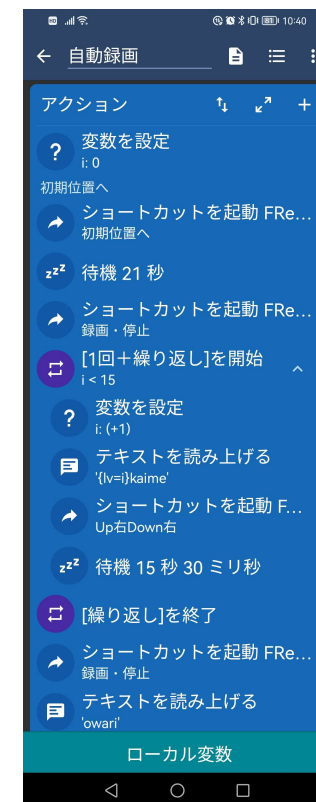
画面操作プログラム

FRep

プログラム項目

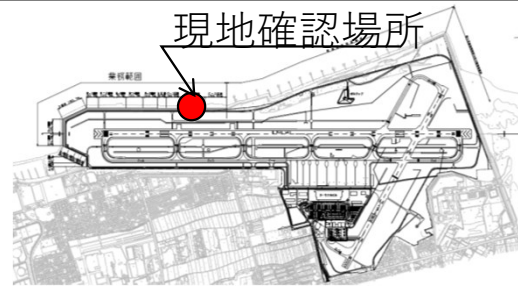
- ジンバル位置初期化
- 撮影開始・終了
- ジンバル回転
- カメラからのデータ取得・アップロード

誰が計測しても同じ品質となる

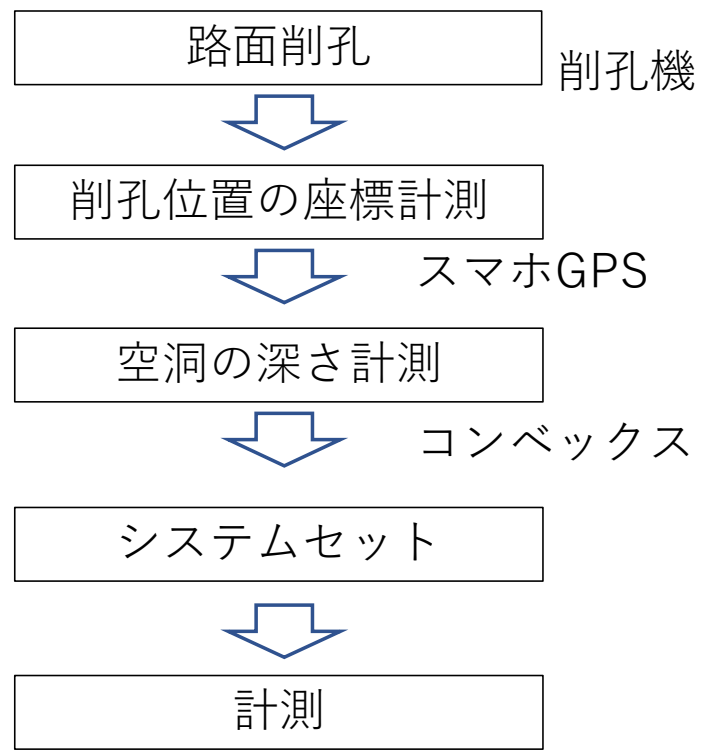


# 7.現地確認

調査件名：令和4年度 新潟空港護岸構造物調査  
 発注者：国土交通省 新潟港湾・空港整備事務所  
 受注者：パシフィックコンサルタンツ株式会社  
 実施日：令和4年10月



## 7.1 実施フロー(1/2)



# 7. 現地確認

## 7.2 実施フロー(2/2)

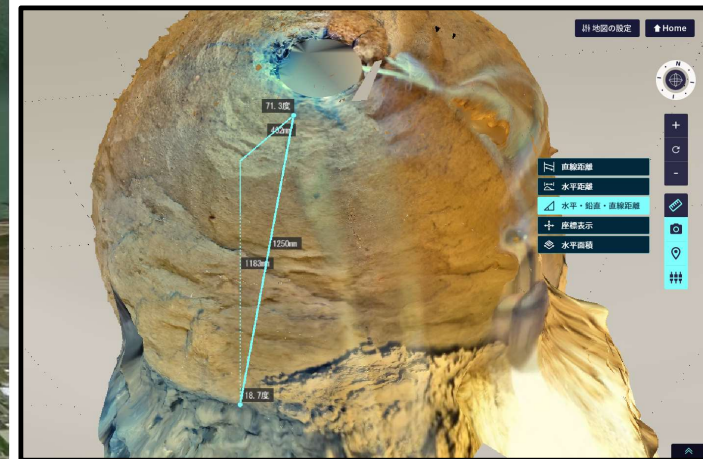
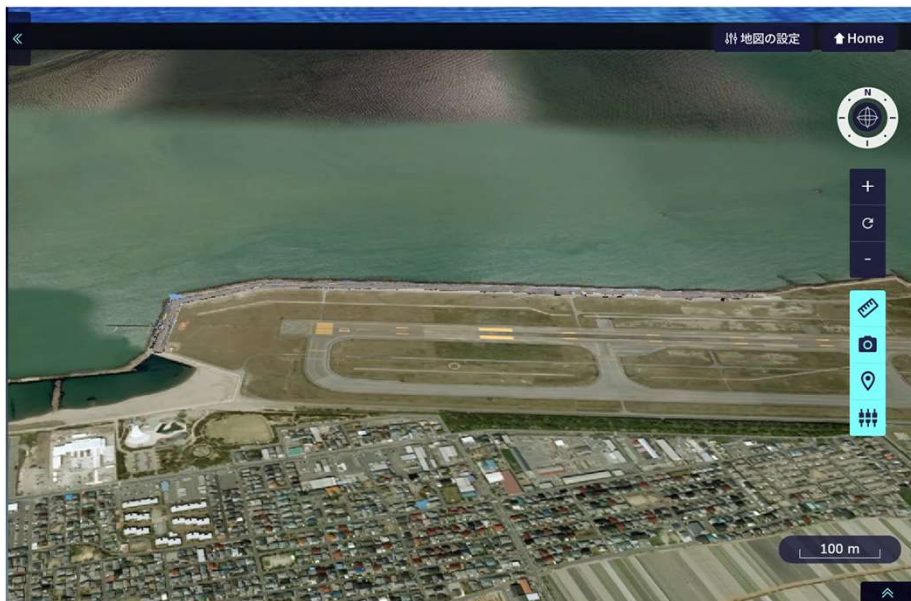
データアップロード



座標・空洞深入力

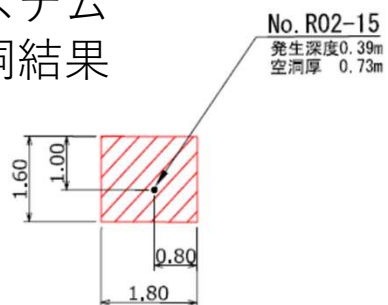


空洞確認

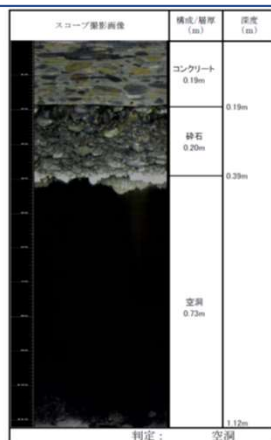


本システムで生成した  
3Dモデルでの空洞結果

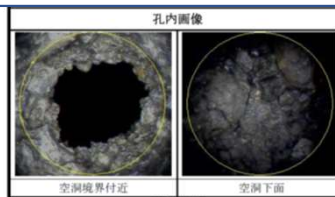
従来システム  
での空洞結果



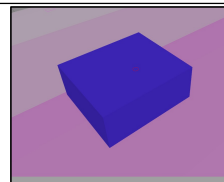
平面図：  
地中レーダーによる範囲



削孔断面図



削孔内画像



従来結果⇒3次元形状

- 情報量の違い
- エビデンスが残せる
- 遠隔地でも確認可能
- BIM/CIM連携で維持管理DBに

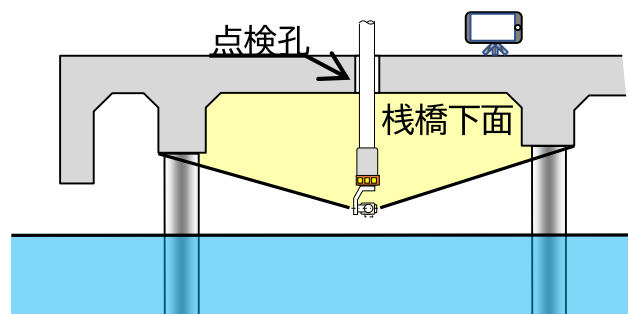
## 8.今後の展望とまとめ

### 8.1今後の展望

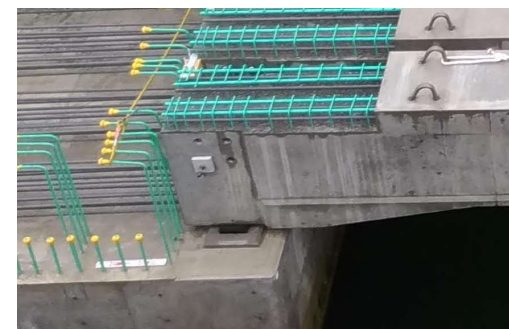
#### 1.天井裏や壁の中の状況確認



#### 2.栈橋下面の状況確認



#### 3.箱桁の中や沓座の裏側などの人が入れない部分の点検



### 8.2 まとめ

1. レーダー計測に比べて空洞の広がりや計測精度が高い
2. 空洞形状や砂・礫等の内部材質の確認が3次元で可能であり、更にエビデンスが残せる
3. クラウド共有可能のため遠隔地でも確認可能
4. 専門経験者ではなく一般の作業員で計測可能であり機材運搬が人力(1kg程度)で可能なため、従来システムより安価に計測可能
5. 今回は護岸背面の路面下面の空洞をターゲットとして検証を行ったが、栈橋上部工に予め点検孔を設置しておくことで、栈橋下面の点検が可能になる等の応用範囲が広いものとする

謝辞

今回の現地実験は新潟港湾空港整備事務所様の現地実験許可や情報提供をいただき実施できました。ここに感謝の意を表します。

ご視聴いただき、ありがとうございました

この技術の連絡先  
パシフィックコンサルタンツ株式会社  
国土基盤事業本部 港湾部  
中嶋 道雄  
e-mail:michio.nakajima@tk.pacific.co.jp  
tel:080-7090-3799