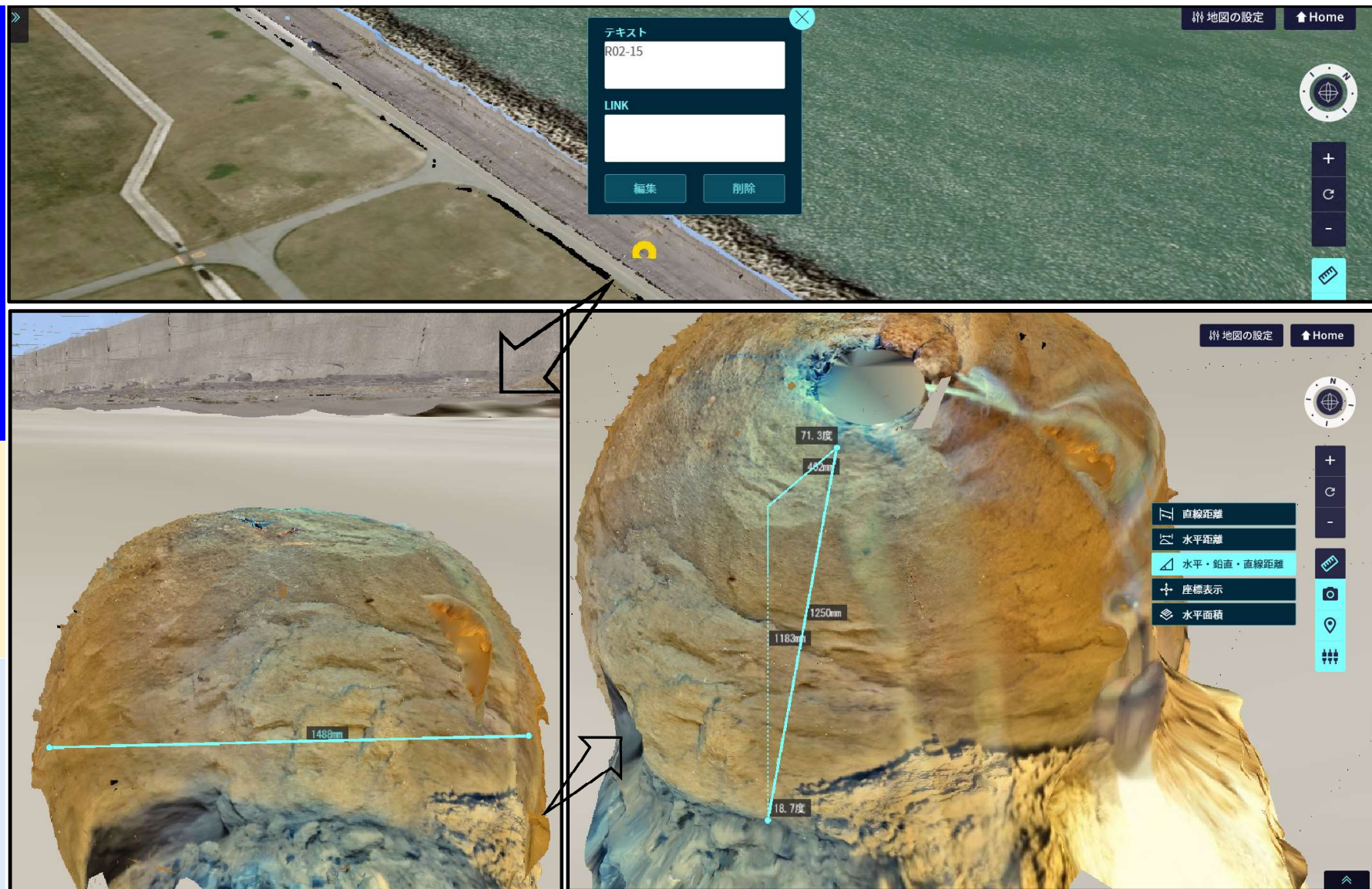


地下空洞 3D モデル化 システムの開発

2023/2/22

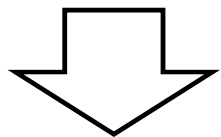
@横浜技調



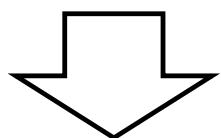
パシフィックコンサルタンツ株式会社

1.開発の目的

港湾 埋立護岸
舗装下空洞



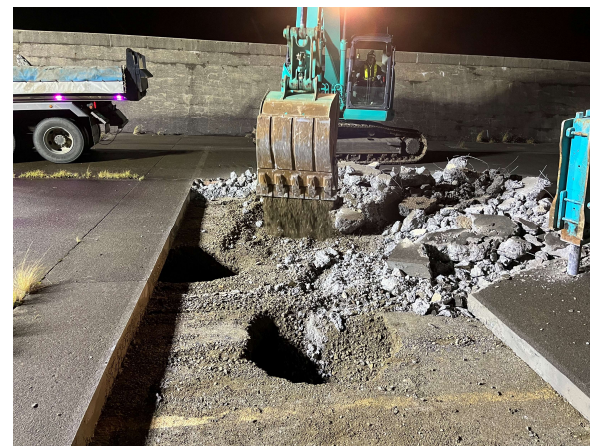
空洞発生要因は様々



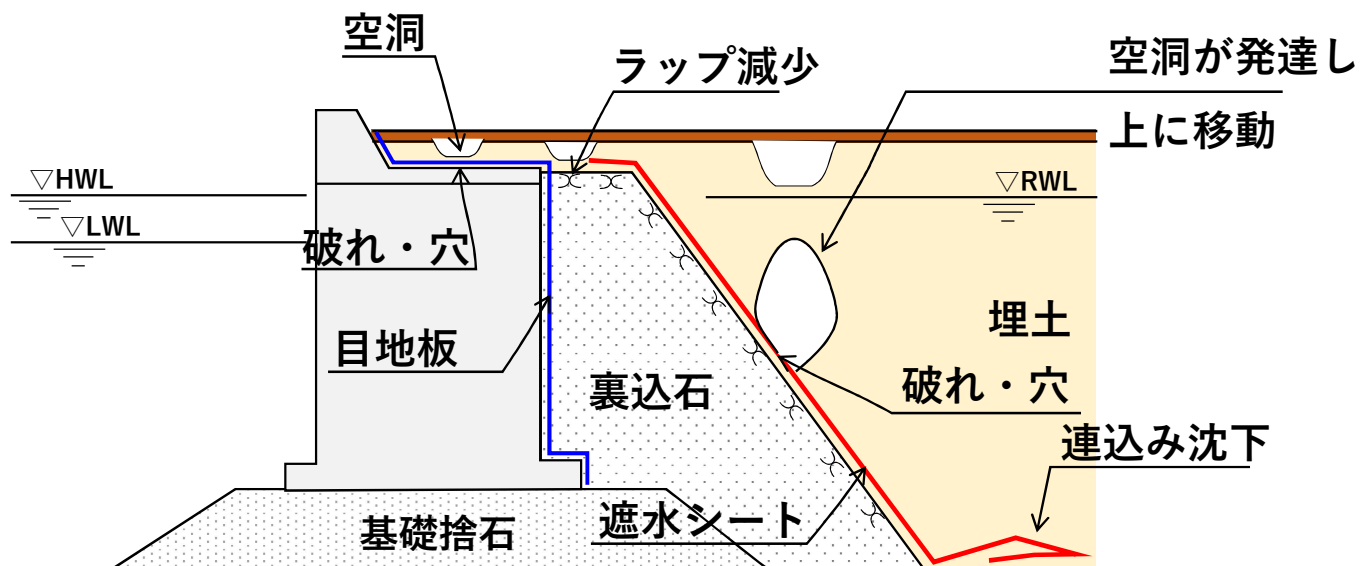
要因分析が必要



「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 p 1-8

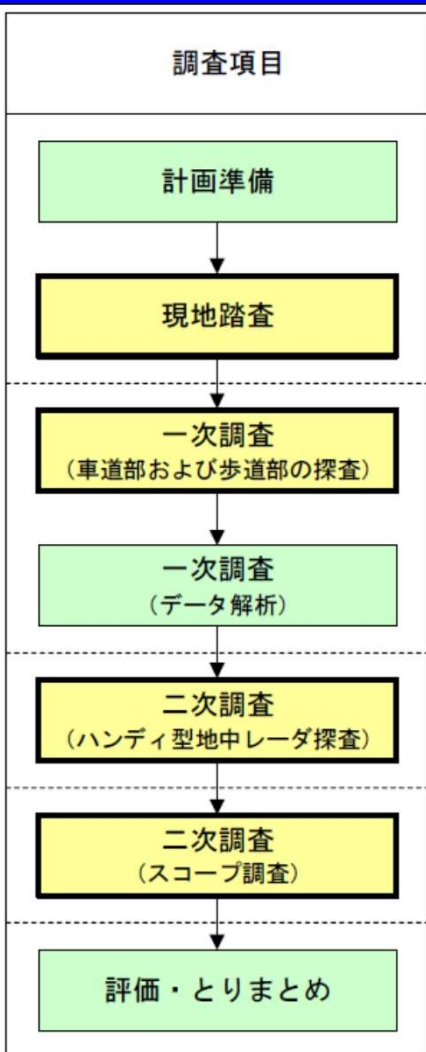


令和4年度新潟空港護岸構造物調査報告書



2.現状の主な調査方法

現状の代表的調査方法



*1

1次調査

広い範囲から
空洞を特定



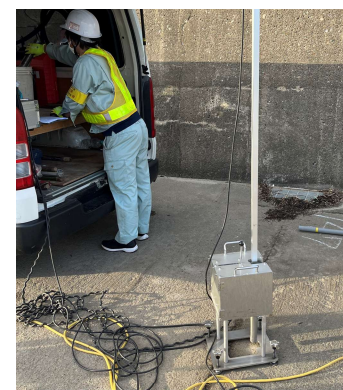
2次調査

空洞の規模と深さ

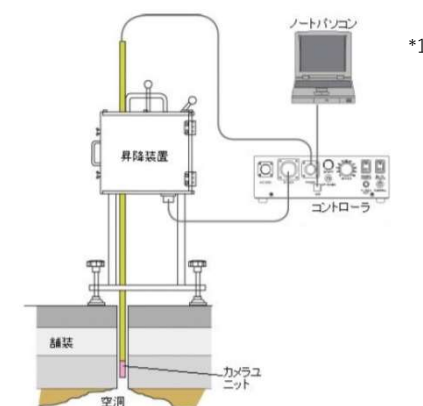
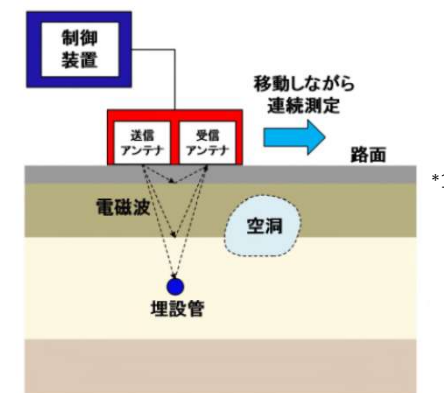
手法	方法
掘削目視	路面撤去後、 空洞を目視
レーダー ＋ スコープ調 査	レーダー： 空洞平面規模 スコープ調査： 空洞の深度 (直接目視)



*1



1. 視認可能な空洞カ所
2. レーダー調査

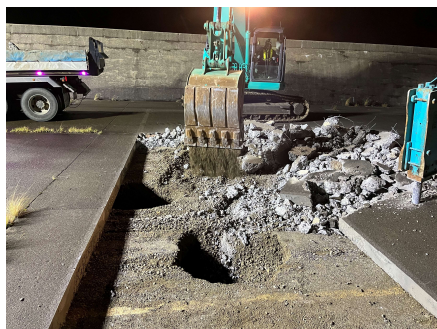


*1:路面下空洞探査技術マニュアル(案) 平成29年9月 路面下空洞探査車の探査技術・解析の品質確保コンソーシアム協力：一般社団法人全国地質調査業協会連合会

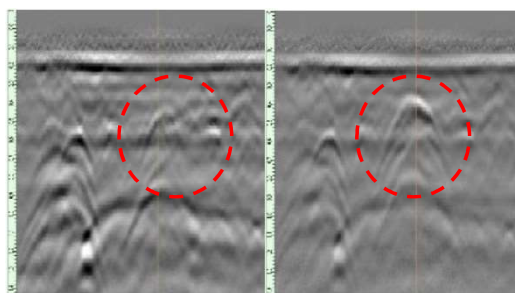
3.主な調査方法の課題

手法	利点	課題
掘削目視	- 直接目視が可能 - 空洞形状や埋土状態が直接確認可能	1. 空洞カ所を特定しないと出来ない 2. レーダースコープ調査よりコスト高 3. 路面規制が必要
レーダー + スコープ調査	- 比較的短時間で調査可能 - 微破壊(5cm孔のみ) なので路面開放が早い - 掘削目視より安価	1. 専門家技術が必要 2. 空洞内の正確な形状がわかりにくい 3. スコープカメラは広がりの距離がわからない

路面規制が必要



空洞判断は専門性が高い

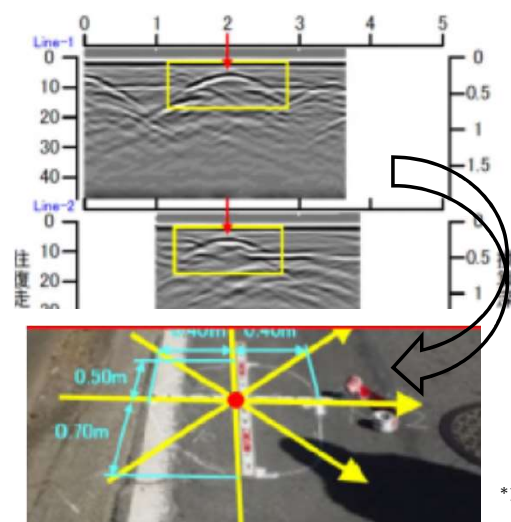


空洞なし

空洞あり

*2

正確な形状がわかりにくい

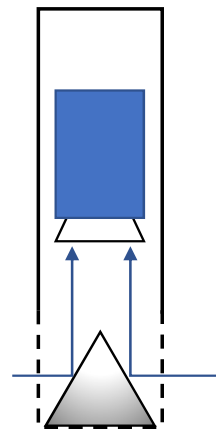


*1

スコープカメラは距離不明

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
	0.41

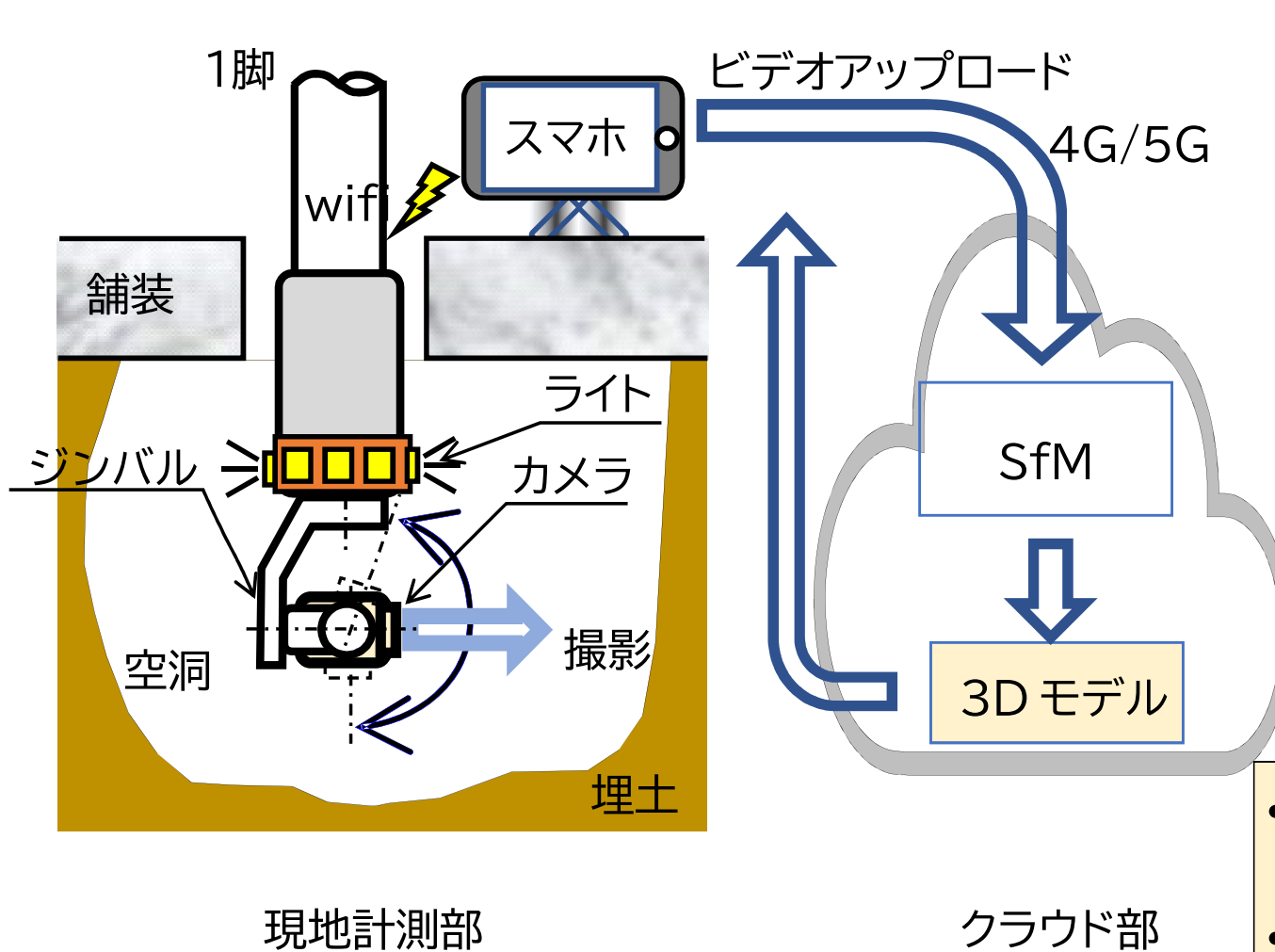
*1



*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

4.本システムの概要 4-1システム概要



- 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.本システムの概要 4-2機器構成

機器構成

ジンバルカメラ:DJI Pocket2

1脚: $\phi 5\text{cm}$ 以下 空洞の大きさに応じて長さ調整

スマートフォン:ジンバルカメラ制御・結果確認用

ライト: $\phi 5\text{cm}$ 以下 空洞の大きさに応じた光量

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

オプションで高精度削孔点座標計測用:ichimill

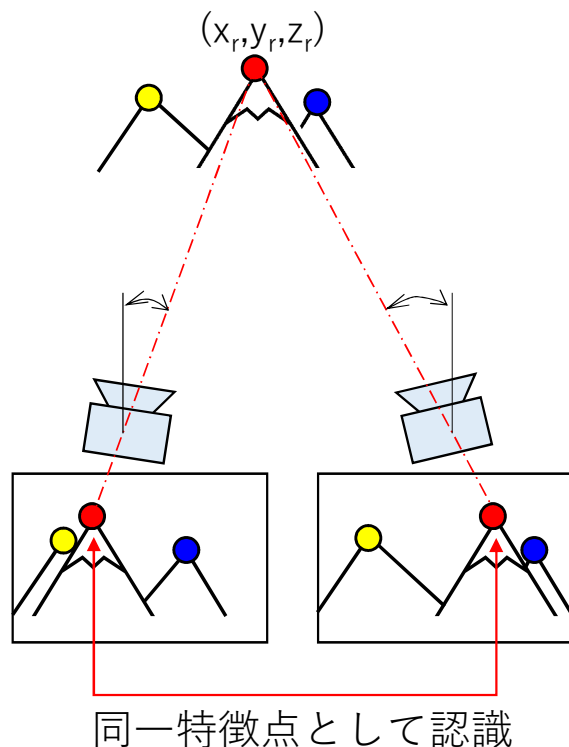


小型で軽量
⇒人がカバンで持参可能



5.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

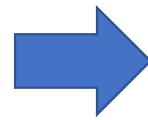
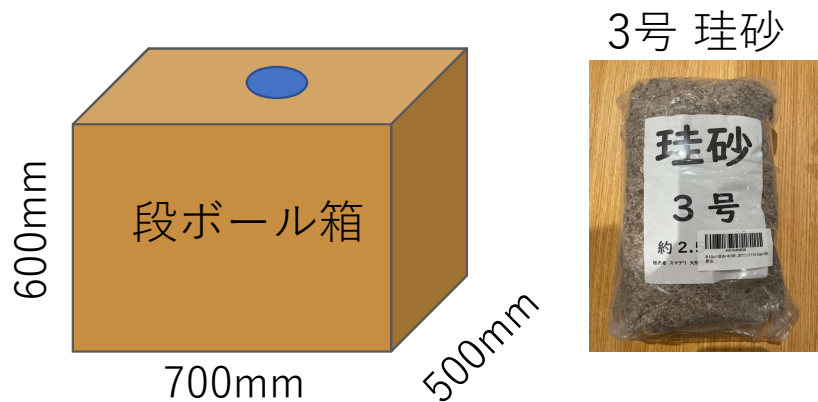
- 動画⇒3Dモデル
- オープンソースライブラリ
の利用

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

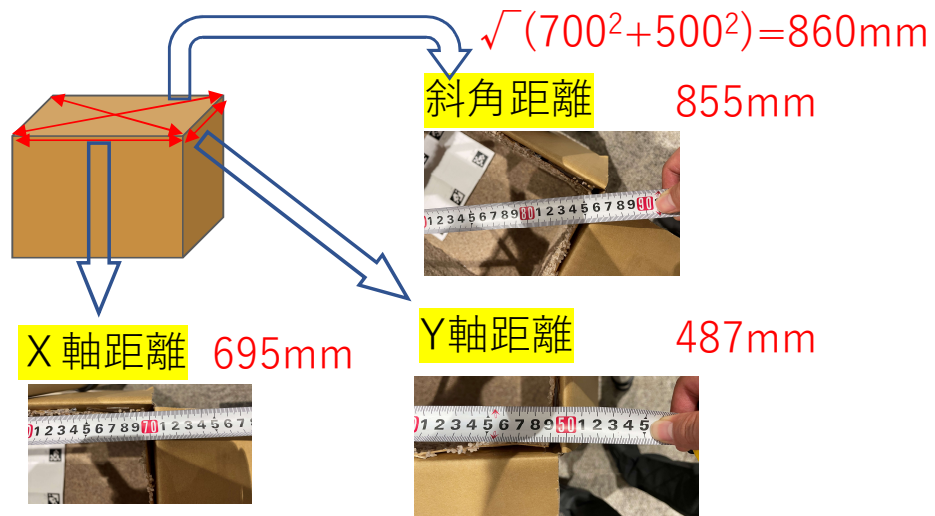
上記の多くのライブラリでは、高速化や要素欠落補完など多くの機能が実装されている

6.室内試験 6-1実験準備

(1)模擬空洞の作成



(2)実測内空



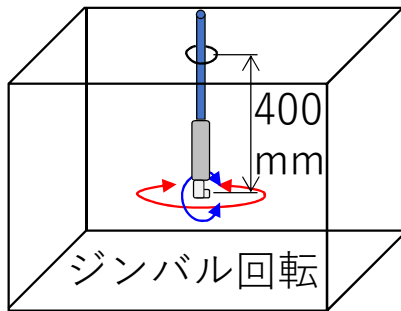
- 現地と同材料（砂・礫）の空洞
- 反射率を同じようにしたい

6.室内試験 6-2室内実験

(1)Case1：カメラ位置固定

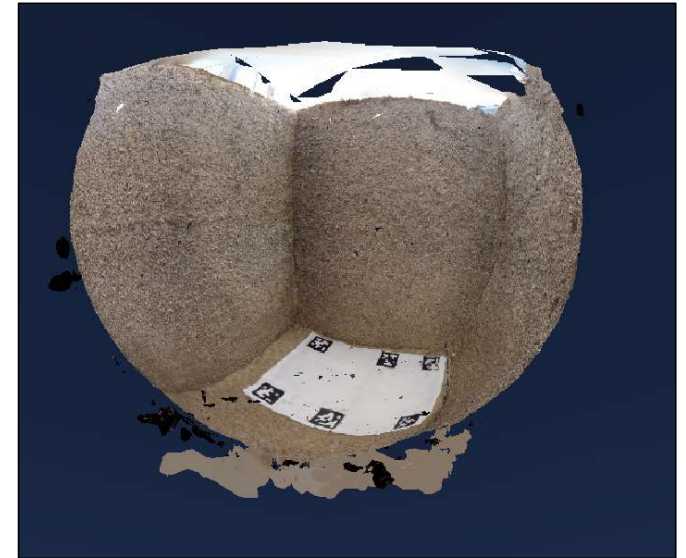
【撮影方法】

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



カメラ位置：高さ固定

ジンバル回転：水平＋鉛直の組合せ



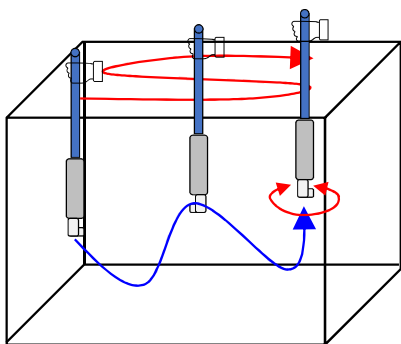
球状になる⇒NG
NG要因を分析

6.室内試験 6-2室内実験

(2)Case2：手で自由に移動(上蓋＝舗装孔なし)

【撮影方法】

ジンバルカメラを手動で位置移動して撮影



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



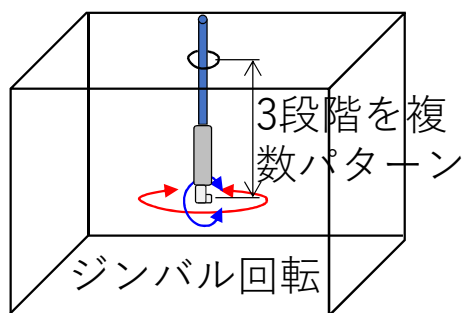
SfM処理も問題なく3D画像及び点群生成可能
⇒SfM処理に、**多視点位置からの映像が必要**
ただし、舗装孔を想定すると不可

6.室内試験 6-2室内実験

(3)Case3：カメラ位置上下移動

【撮影方法】

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

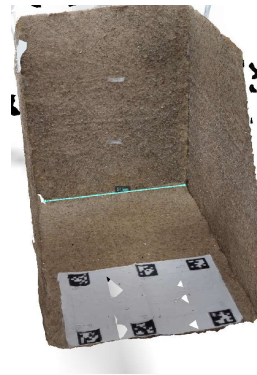


カメラ位置：高さを3段間に
ジンバル回転：水平＋鉛直の組合せ

X軸 [733mm]



Y軸[515mm]



Da対角 [888mm]



Db対角 [891mm]



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

	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%

6.室内試験 6-2室内実験

(4)明るさに関して

ピンぼけは特徴点生成不可



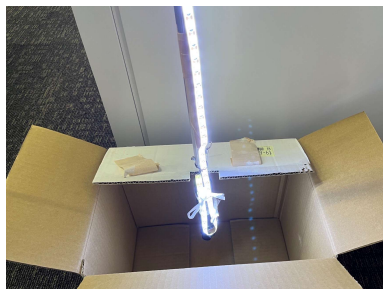
SfMが出来ない

小型カメラは、レーザー測距儀が無く十分な明るさが必要
ただし、今回使用したカメラは位相差検出とコントラスト検出の組合せで高性能

強力なライト

- 白とび
 - 空洞内に入らない
- ダイナミックレンジが低いことも要因

⇒ゆっくり回転＋弱いライト
の組み合わせ



ピンぼけ



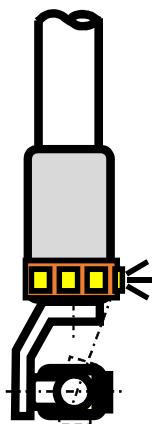
同じ明るさで回転スピードを
落とした場合

ゆっくり回転は、人が操作すると難しく失敗例多発
⇒操作のプログラム化必要

7.プログラム開発

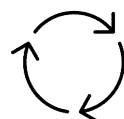
撮影・カメラ
制御プログラム

DJI Mimo



Frepのプログラム化

MacroDroid

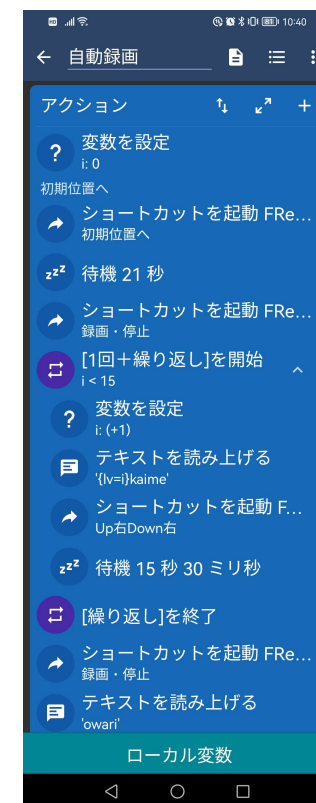


画面操作プログラム

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



8.現地確認

8.1 現地確認実施概要

調査件名：令和4年度 新潟空港護岸構造物調査

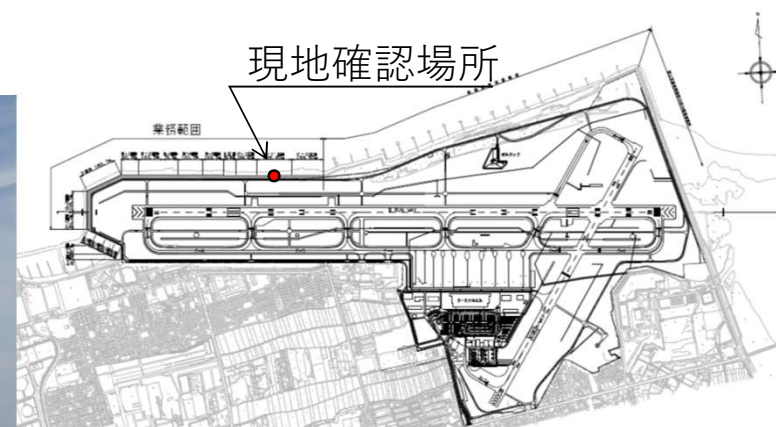
発注者：国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所

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



現地状況



8.現地確認

8.2 実施フロー(1/2)

路面削孔



削孔機

削孔位置の座標計測



スマホGPS
又はichimill

空洞の深さ計測



コンベックス

システムセット



計測



←削孔状況

↓計測状況



8.現地確認

8.2 実施フロー(2/2)

データアップロード

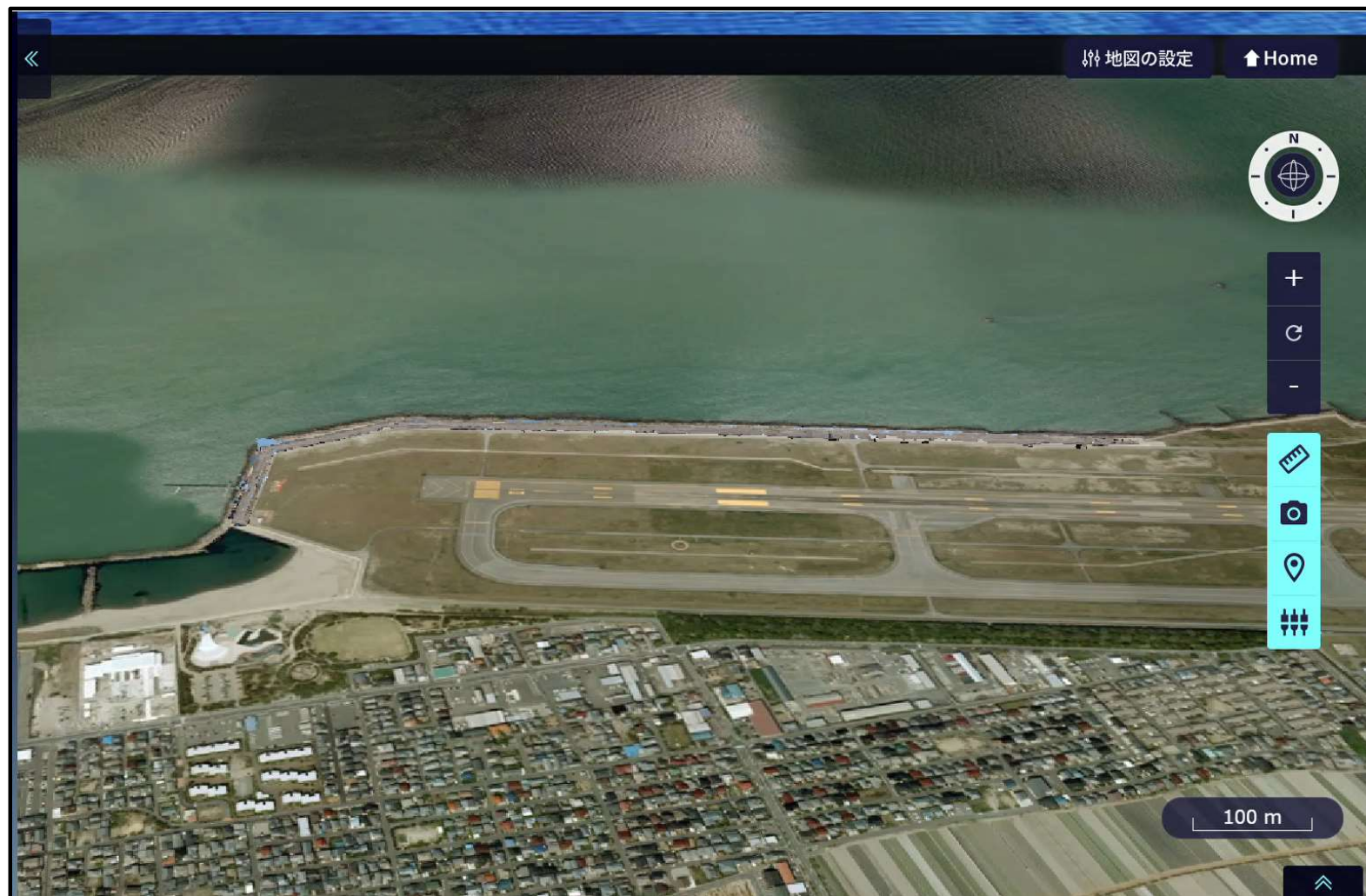


座標・空洞深入力



空洞確認

- 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



空洞確認ビデオ

9.今後の展望

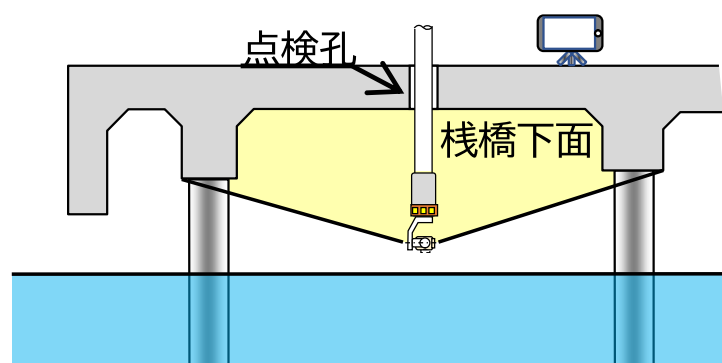
(1)小さな開口部により目視点検が可能な場所を増やす

1.天井裏や壁の中の状況確認



吊天井、配管や配線が多く
人が入れない
人が通る通路の上

2.栈橋下面の状況確認



波浪の影響、稼働している栈
橋、潜水土

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



(2)今後の開発

- スライダーとの組み合わせで完全自動計測
- レーザーセンサーとの組み合わせ
- 高輝度ライトとの組み合わせ
- 点検診断システムとの組み合わせ

- 計測できない箇所はたくさんある
- 設計時点検を考慮した施設
- ドローン＝風の影響、ROV＝波の影響を受けないジンバルカメラ

10.まとめ

1. レーダー計測に比べて空洞の広がり の計測精度が高い
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 と、栈橋下面の点検が可能になる等の応用範囲が広いもの と考える

このシステムは、Calta（株）との共同開発技術です

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

詳細は、今年の海洋開発論文集で掲載予定です