

# 導水路トンネル維持管理のための 損傷自動検出手法についての 技術研究開発

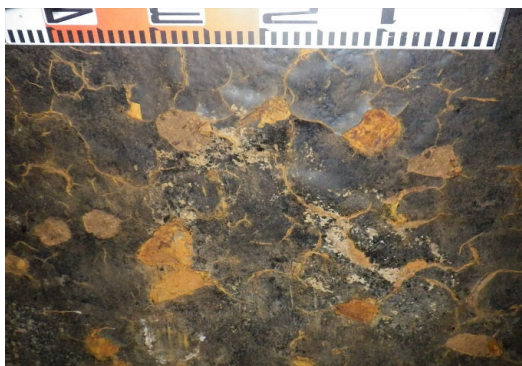
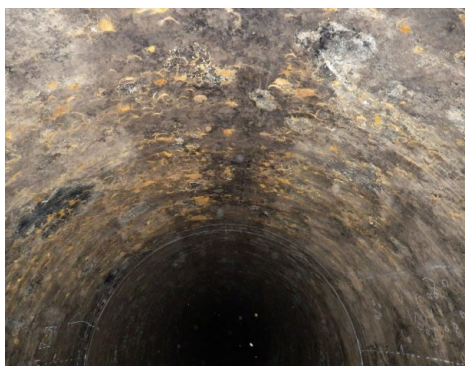
東京大学大学院 特任准教授 全 邦釘

本研究は、令和4年度関東地方整備局「大学等の研究機関とのマッチング」の採択テーマの1つである、「導水路トンネル維持管理のための損傷自動検出手法についての技術研究開発」の一環として行われたものです。



# 背景

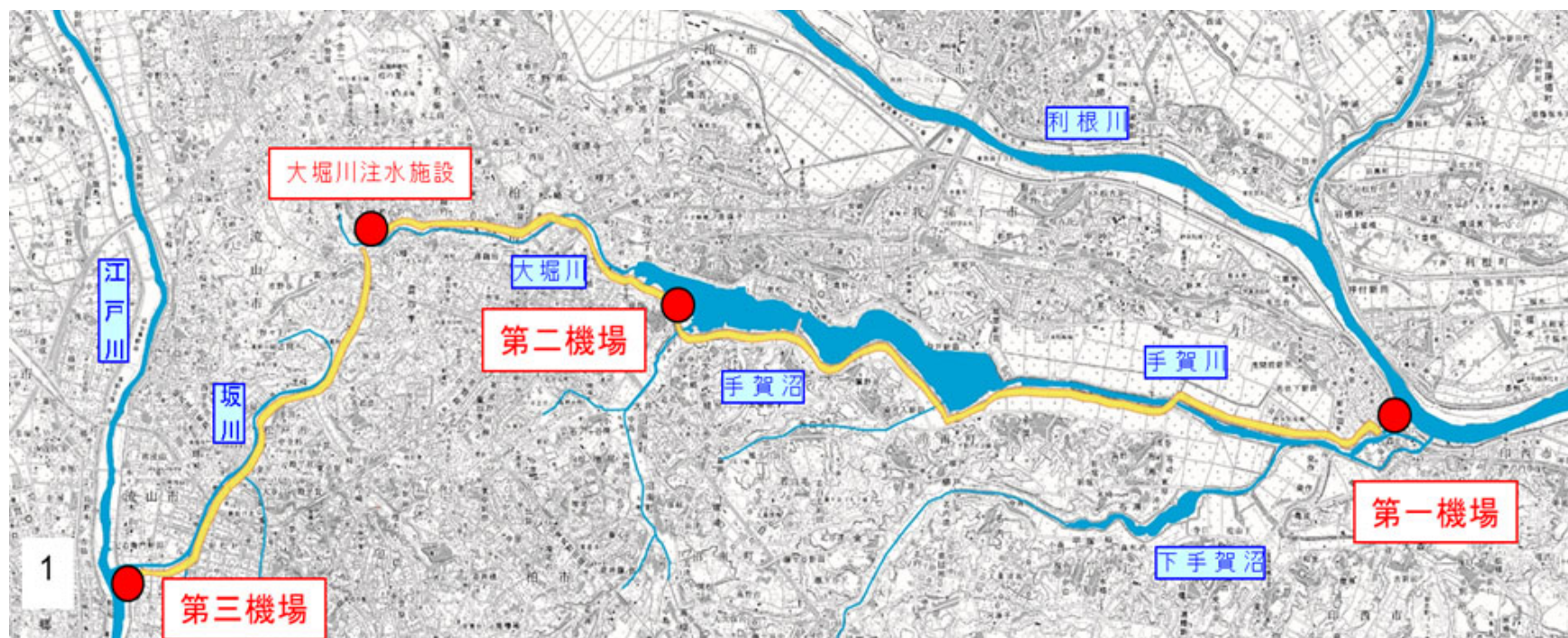
- 導水路トンネルは，都市用水の供給や，内水排除，水質浄化のための注水など，様々な重要な役割を担っており，適切な維持管理は極めて重要.
- 導水路トンネルの老朽化に伴い，腐食が発生している .
- 点検・診断の労力は大きく，効率化が求められる.



画像解析技術および人工知能技術を活用した  
維持管理システムの試験的運用 & 実装を計画

# 北千葉導水路でのフィールド試験

- 利根川の下流部と江戸川を結ぶ約28.5kmの導水路と、水の汲み上げや排水などを行う機場と、注水施設から構成
- 昭和49年に建設され、平成12年より運用開始。運用開始から20年が経過。適切なメンテナンスが必要。



# 北千葉導水事業の背景と目的

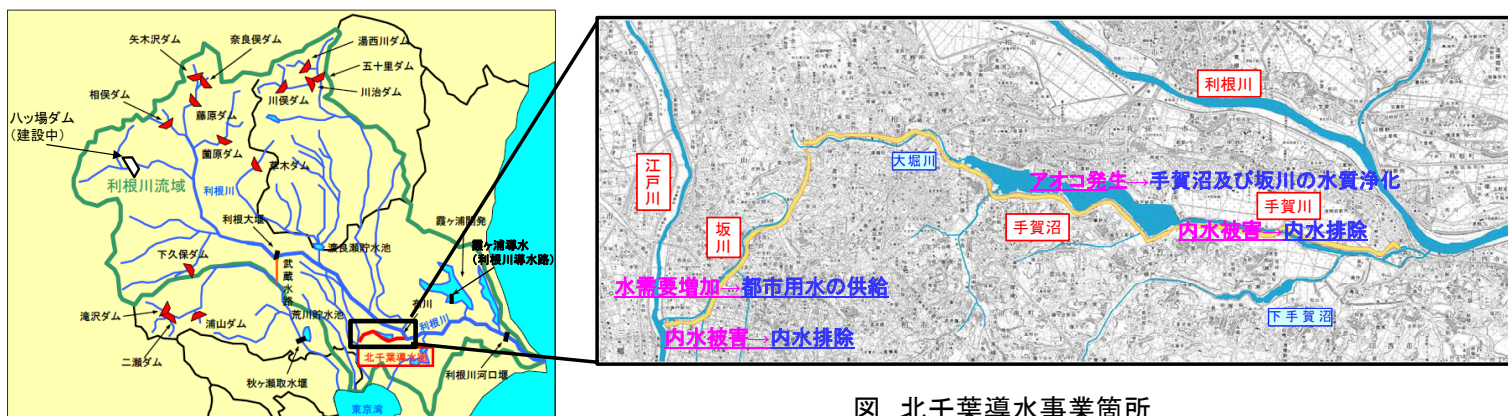
## 事業の概要

北千葉導水路は、利根川と江戸川を結ぶ延長28.5kmの流況調整河川である。

- 都市用水 : 首都圏の人口増加等にもなつて水需要が増加し、水不足が深刻化。関東地域は水資源利用率が高く、水源の確保が困難であり、利根川水系全体のダム等の水資源開発施設との連携による広域的水利用が必要。
- 水質の悪化 : 手賀沼は昭和49年から連続で全国の湖沼ワースト1となり早急な水質改善が必要。(昭和49年から平成12年までの27年連続でワースト1)
- 内水対策 : 手賀川・坂川流域は急速な都市化等により、内水被害が増大。

### ◆北千葉導水路の目的（効果）

- ・ 都市用水の供給（利根川全体での広域的水利用）
- ・ 手賀沼及び坂川の水質浄化
- ・ 手賀川及び坂川流域の内水排除



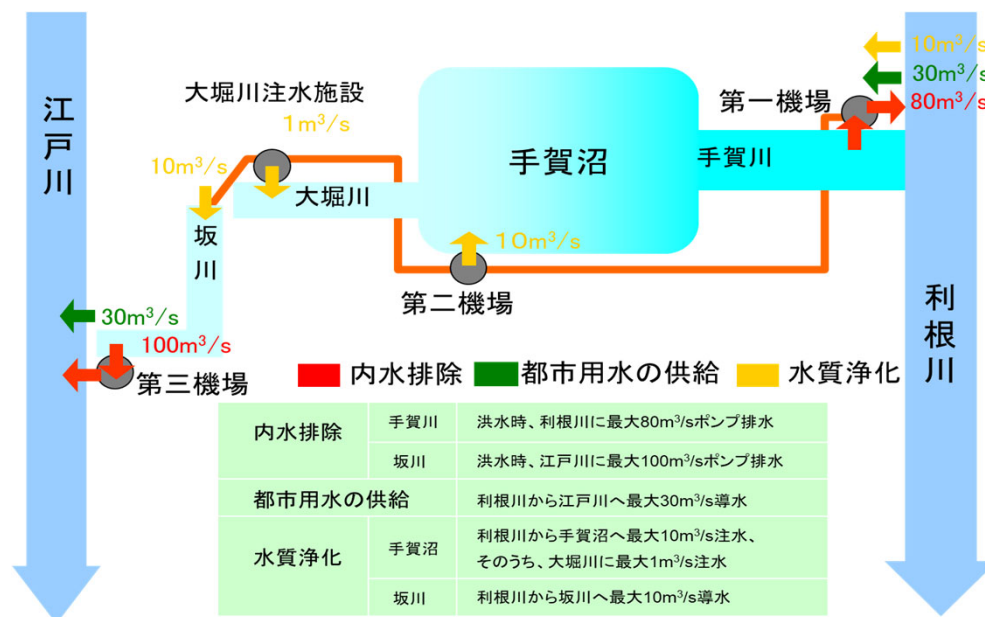
利根川水系の主な水資源開発施設

図 北千葉導水路事業箇所

# 北千葉導水路の運用方法

## ➤ 令和元年度の実績

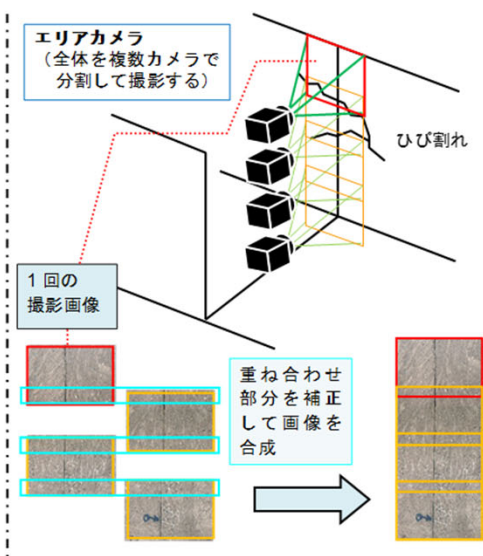
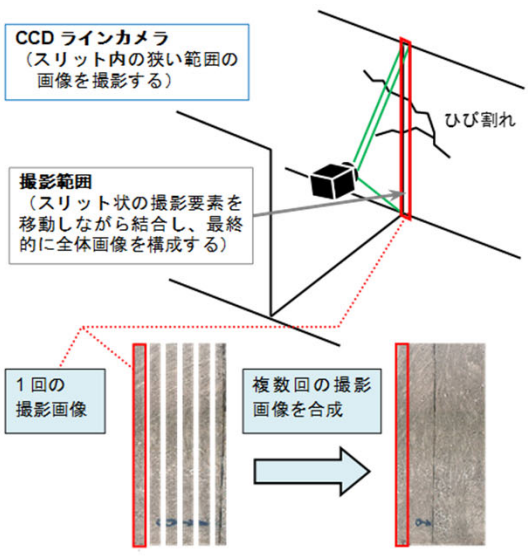
- 第一機場において洪水時に1911万 $m^3$ のポンプ排水
- 江戸川の流量が減少した際に都市用水として6300万 $m^3$ を東京都心などに向けて供給(合計71日間)
- 手賀沼へ手賀沼貯水量(560万 $m^3$ )の約24倍にあたる浄化用水(1億3400万 $m^3$ , 毎秒最大8  $m^3$ )を注水



# CCDラインカメラによる撮影



# CCDラインカメラによる撮影

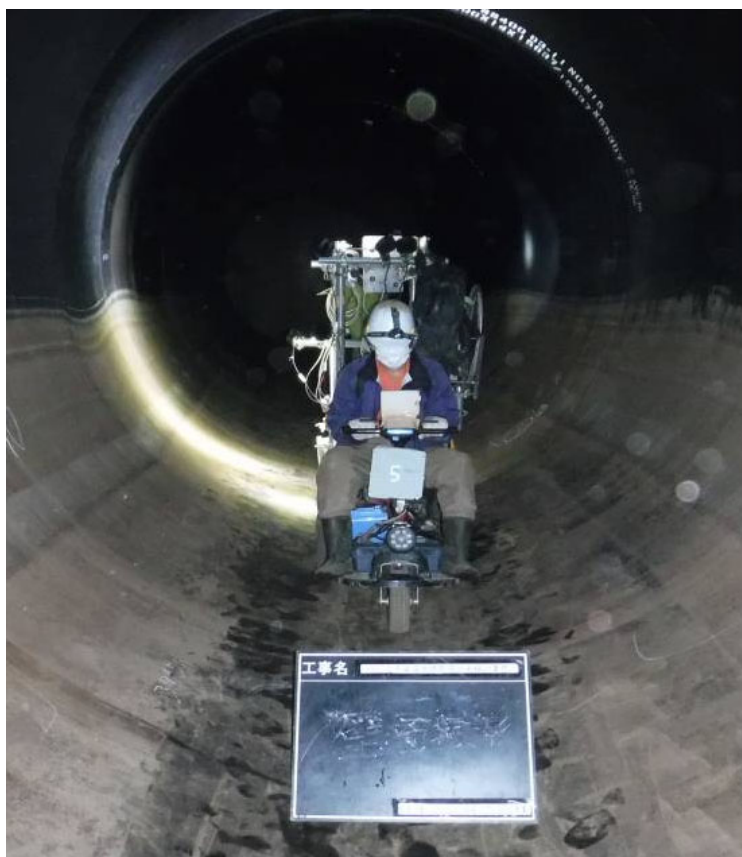


	CCDラインカメラ法	エリアセンサカメラ法
分解能	1.0mm/pixel以下	1.0mm/pixel以下
判別可能ひび割れ幅	0.2mm～	0.2mm～
計測速度(最大)	1.8km/h	40.0km/h
カメラ台数	少ない: 列上に撮影素子が並ぶため、高解像度画像を少ないカメラ台数で撮影可能	多い: 1回で全断面を撮影するため、
1撮影当たりの撮影・照明範囲	狭い(縦断方向) ⇒画像歪みが生じにくい	広い(多台数カメラで広範囲カバー) ⇒斜角から凹凸のある附属物認識可
使用電力	バッテリー(必要電力量小) ⇒閉塞空間でも調査可能	発電機(必要電力量大)
搬入方法	機材少ない かつ、分解して搬入可能 ⇒狭小な搬入口でも適用可能	機材多い (カメラ・照明多数、大容量発電機)

## CCDライン法による顧客価値

- ・ 撮影画像の歪みが生じ難い良質なデータを取得
- ・ 使用電力が小さく、発電機が不要で、狭小な水路トンネル内で安全に作業可能
- ・ 機材も少なくコンパクトであり、搬入出口が小さく、車両アクセスが難しい場合にも対応可

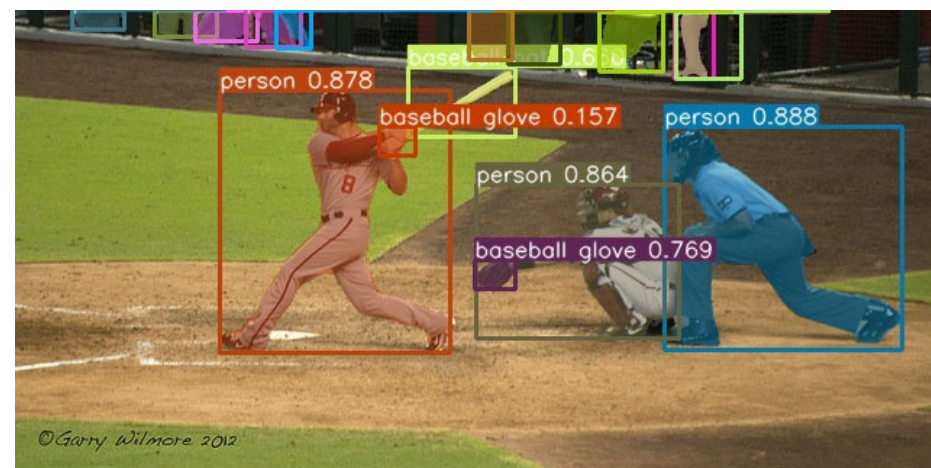
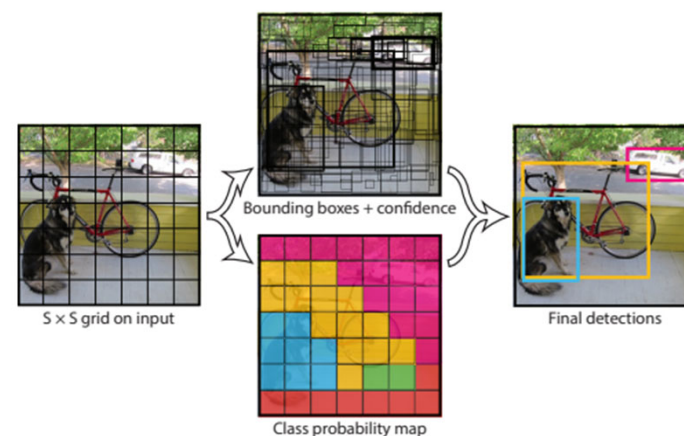
# CCDラインカメラによる撮影





# チヨーク位置検出手法 – YOLOv7

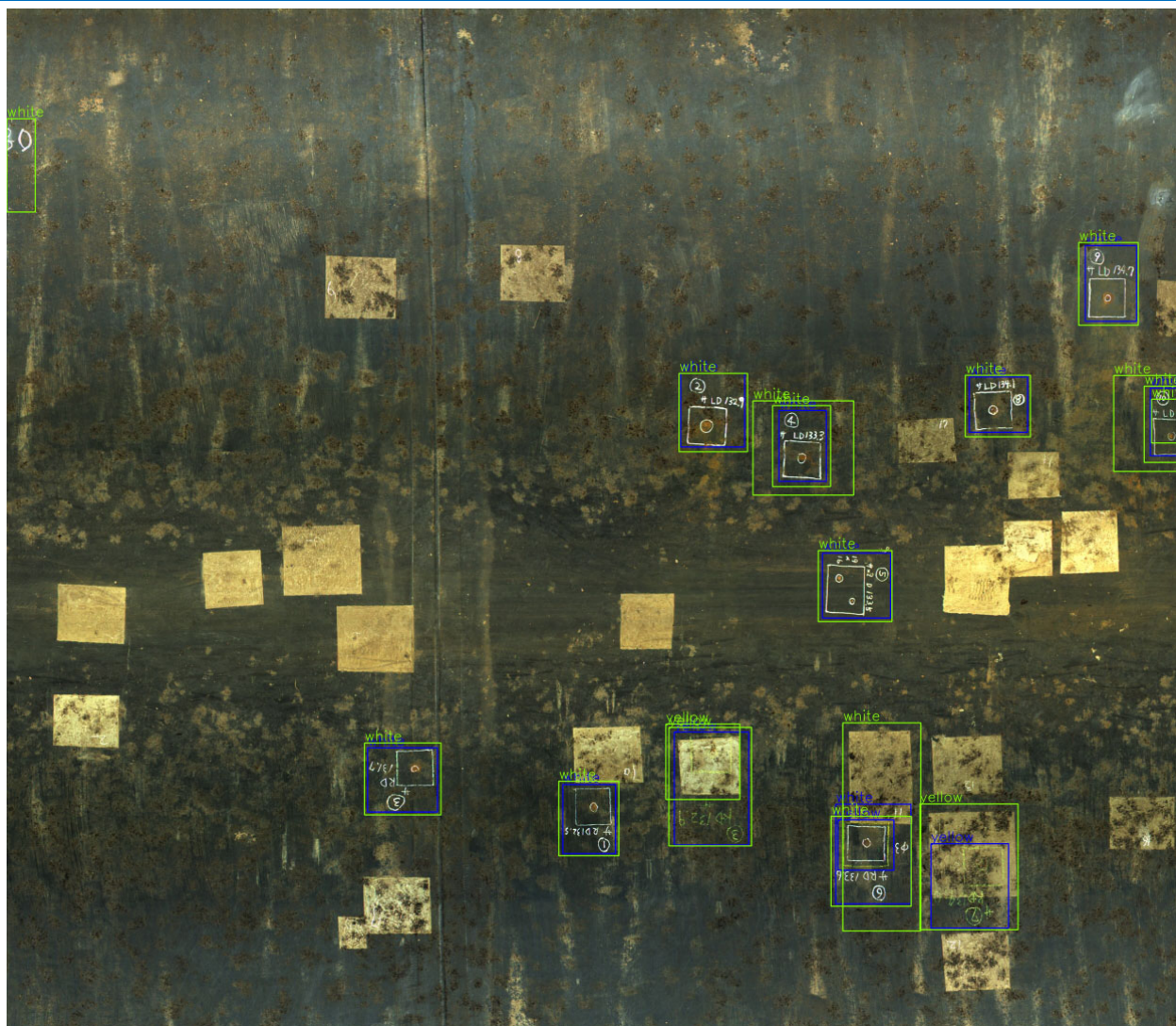
- 深層学習によって画像内の物体を検出・分類する手法
- One-Stage型の物体検出手法オブジェクトの領域推定と、推定された候補領域に対するクラス分類を同時に(単一のネットワーク内で)行う
- 学習済みモデルが提供されており導入が容易. 最も演算負荷の小さいモデルの重みを用いても精度よく検出可能



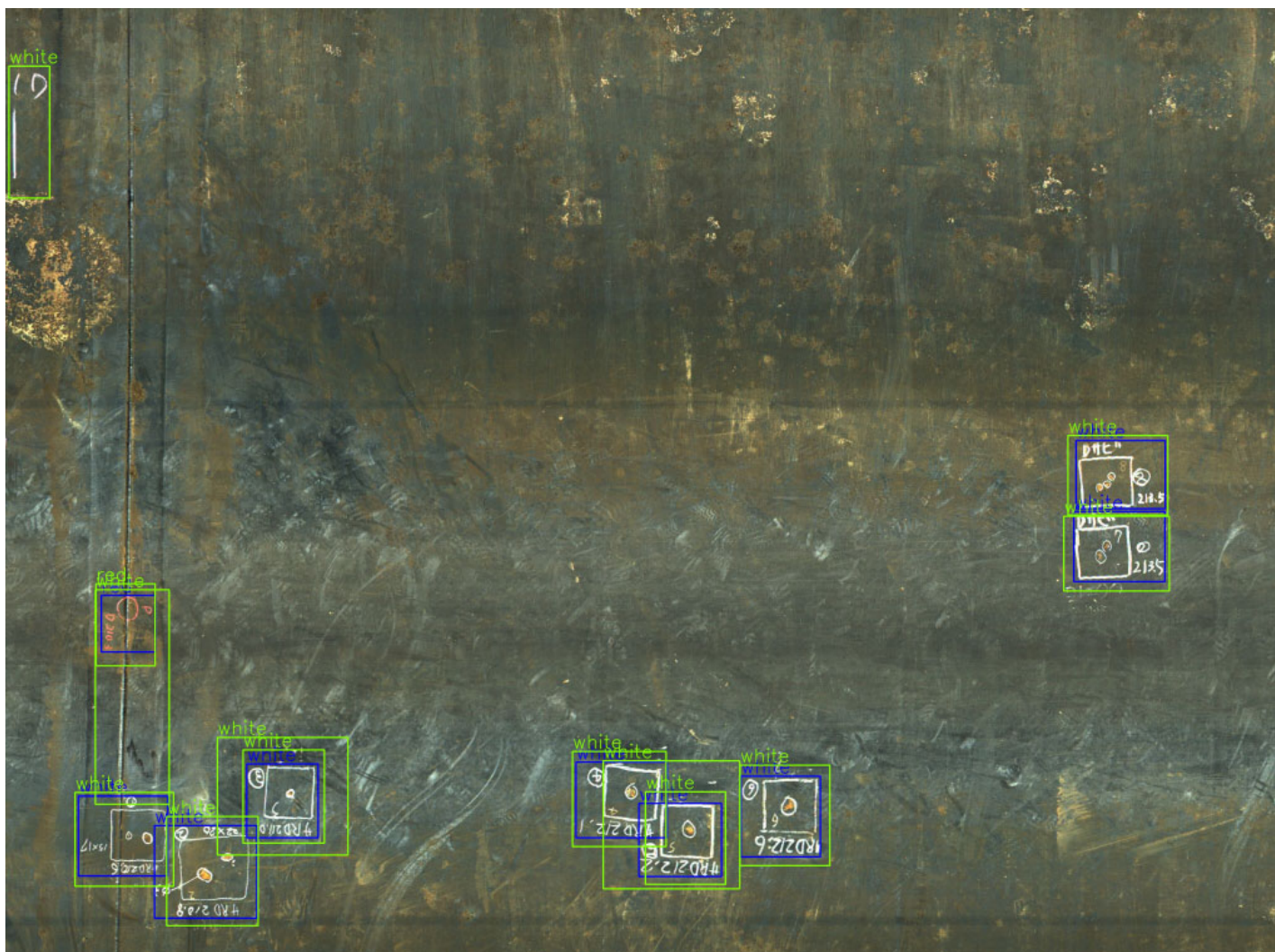
[1] Redmon et al.: You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016

[2] Zhou, F. et al.: Safety Helmet Detection Based on YOLOv5, *2021 IEEE International Conference on Power Electronics*, 2021

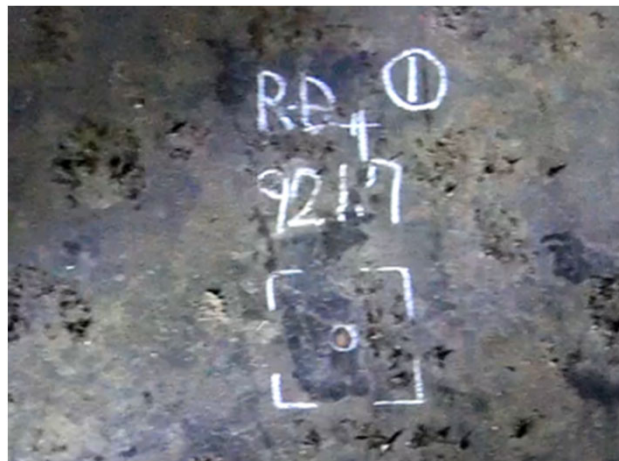
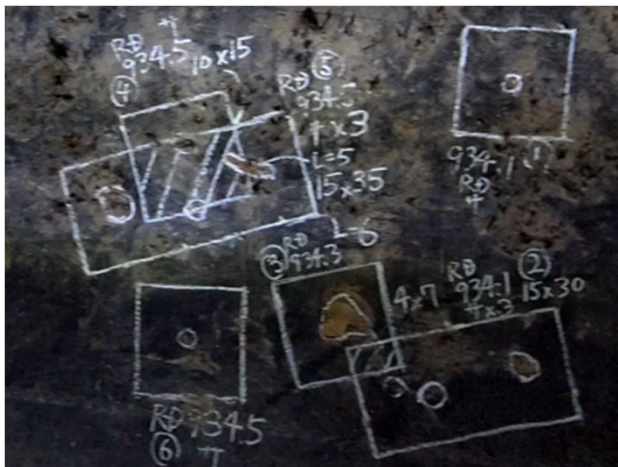
# 検出結果①



# 検出結果②



# さらなる新手法: UAVによる撮影



# UAVによる撮影の検討

## ➤ 米国Skydio社: Skydio2の利用



飛行時間	23分
撮影用カメラ	4K (Sony 1/2.3" 12.3MP CMOS)
レンズ	f/2.8, 20mm
画像サイズ	4056 × 3040
重量	775g
L × W × H	223mm × 273mm × 74mm
最大通信距離	200m
位置推定	GPS + GLONASS
位置補正	GPS + SLAM + Visual Inertial Odometry
障害物検知用カメラ	魚眼レンズ Sony 1/3.06"
動作温度範囲	-5度 ~ -40度

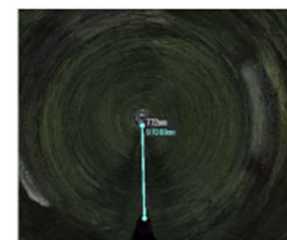
# 撮影方法と写真の例



照度35lux  
(円中心・軸方向設置)  
照明から2m



照度30lux  
(円中心・軸方向設置)  
照明から2m



照度10lux  
(円中心付近)  
照明ドローン後方  
2mを追尾

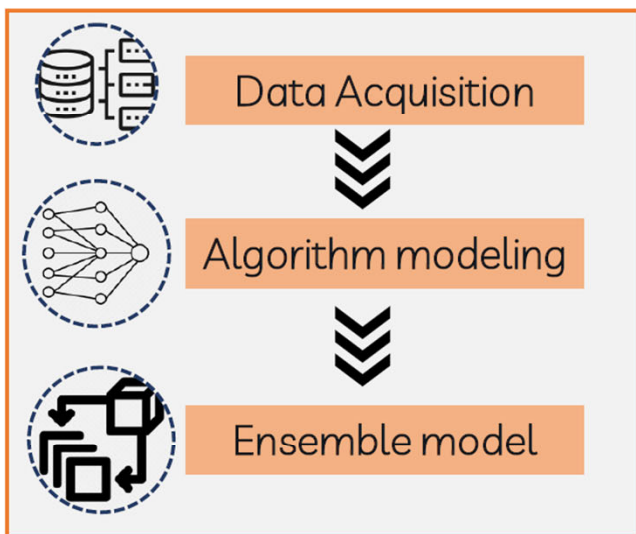
# 撮影の様子



様々なパターンの撮影を実施  
(動画)

# Detection results

## Automated Corrosion Detection



Establish deep-learning neural network to detect corrosion in the headrace tunnel (DL-NN : Yolo algorithm)<sup>3</sup>

Prediction Model - 1



F1-confidence: 0.593 at 0.5  
P-R: 0.634 mAP @0.438

Prediction Model - 2



F1-confidence: 0.65 at 0.5  
P-R: 0.637 mAP @0.227

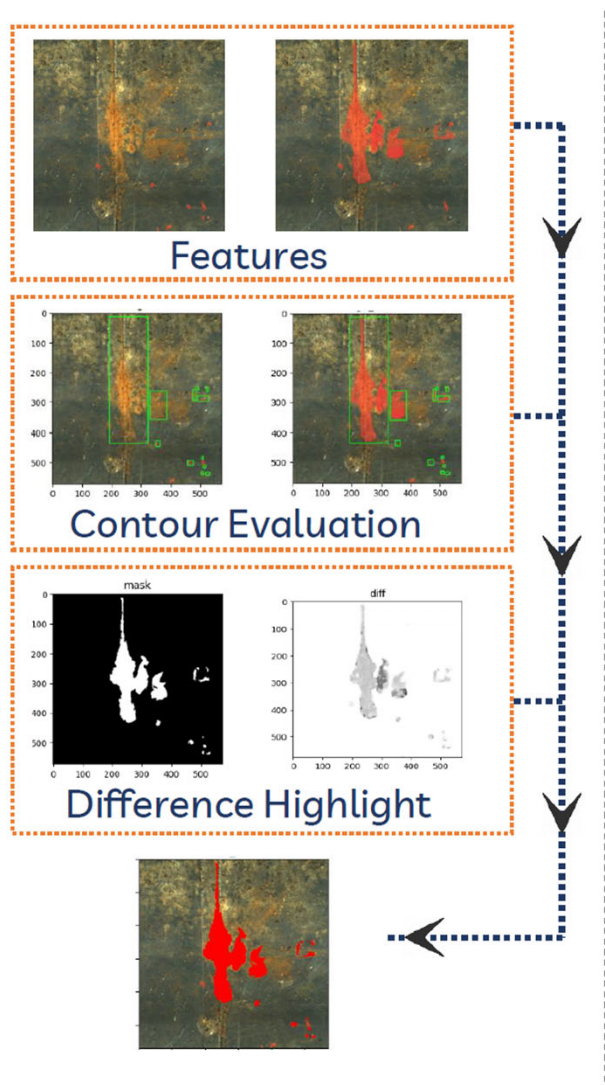
Prediction Model - 3



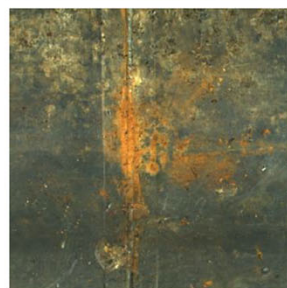
F1-confidence: 0.645 at 0.5  
P-R: 0.66 mAP @0.401



# Detection results



Original Image



Accuracy: 0.9784

Ensembled



F1: 0.827

Ground truth



Recall: 0.811

Predicted



Precision: 0.875

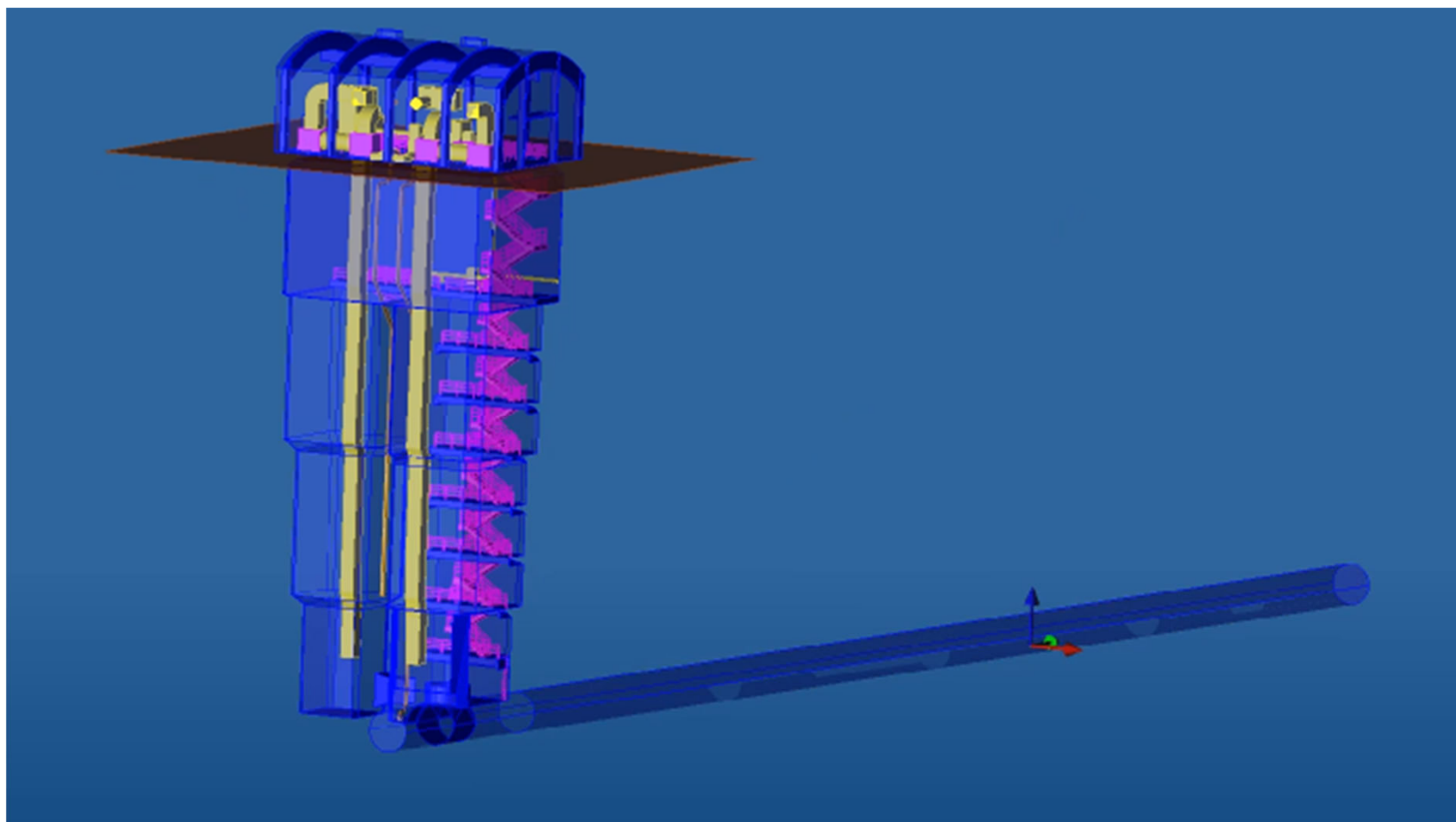
# SfMによる点群生成



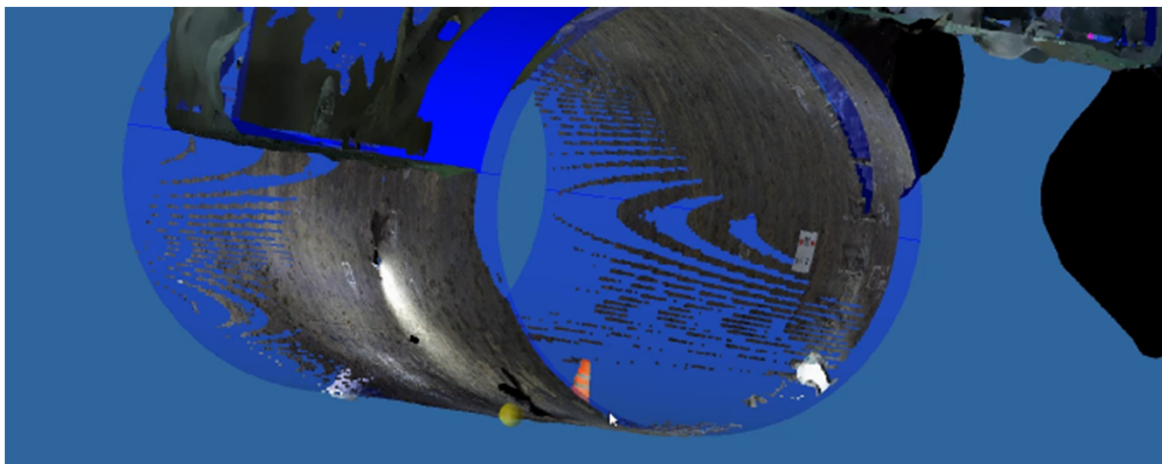
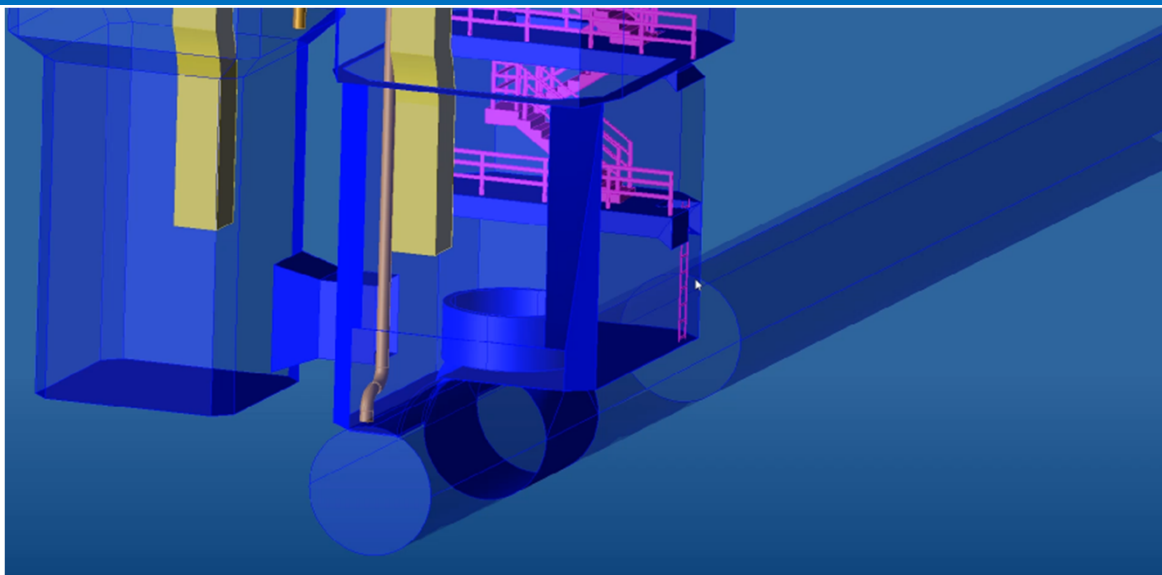
# SfMによる点群生成



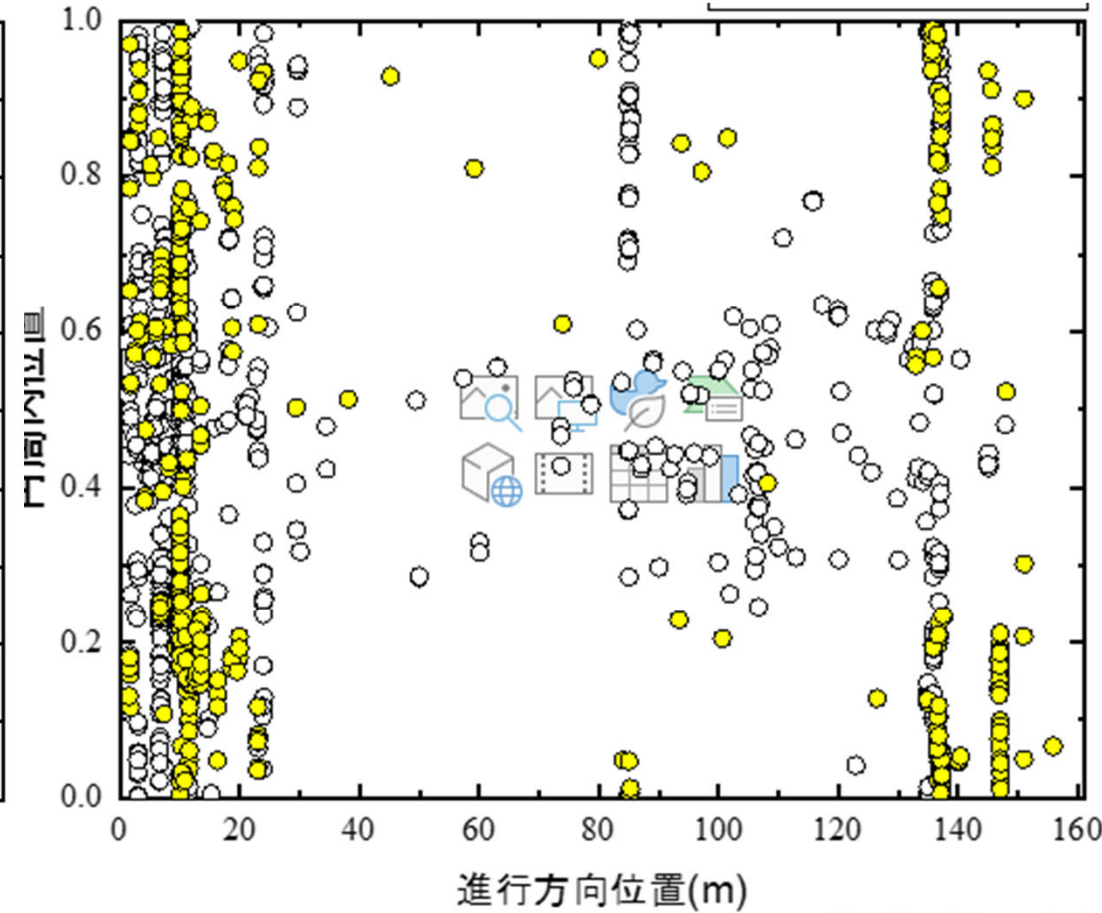
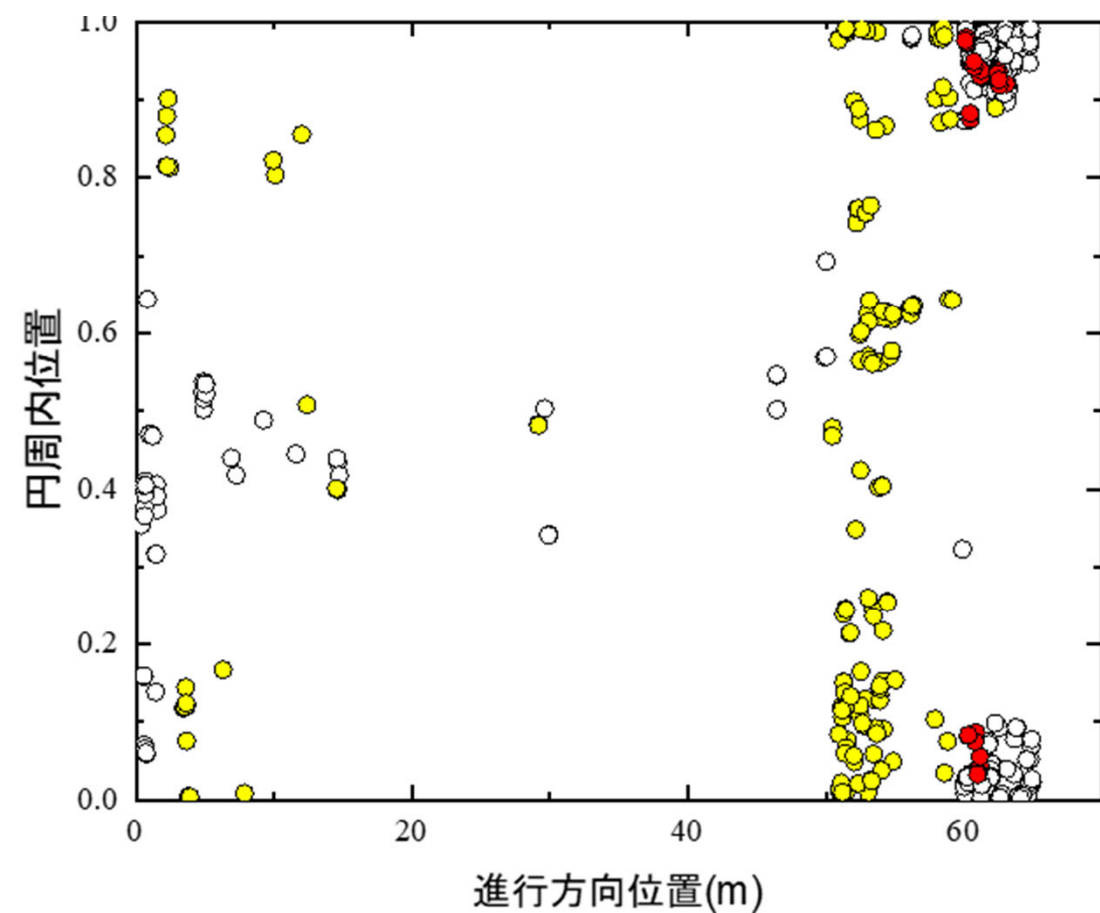
# 3次元モデルの生成



# 3次元モデルの生成



# 損傷位置



## まとめ・今後の課題

- インフラ分野のDXを推進するためには、AIを含むデータドリブンアプローチの採用は今後必須となる。
- 損傷検出手法について、YOLOv7ベースの手法が機能する見込みを得て、また解析を実行。
- UAVによる撮影についても、照度と撮影画像の関係性などの基本的な整理を実現。
- UAVによる撮影画像からSfMで3次元復元することができることを示した。
- 今後、国土交通DPFなどのDPF、デジタルツインシステムと連携することで高い発展性

# ご清聴ありがとうございました。

本研究は、令和4年度関東地方整備局「大学等の研究機関とのマッチング」の採択テーマの1つである、「導水路トンネル維持管理のための損傷自動検出手法についての技術研究開発」の一環として行われたものです。