

導水路トンネル維持管理のための AIを活用したデータ連携・結合手法に 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

背景

- 北千葉導水路は、都市用水の供給や、手賀沼の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。
- 北千葉導水路トンネルは運用から20年が経過し、導水路管に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

目的

- データベース構築にかかる作業量も膨大
→ 解決する方法論の提示を目指す.
- チョーキングしたものを検出し, その座標値を取得できる
ようなDeep learningモデルの構築
- また, 将来的に, 管路内CCDラインカメラの画像を基に,
損傷箇所、損傷程度、補修方法の選定及びその座標値を
取得できるようなDeep learningモデルの構築

北千葉導水事業の背景と目的

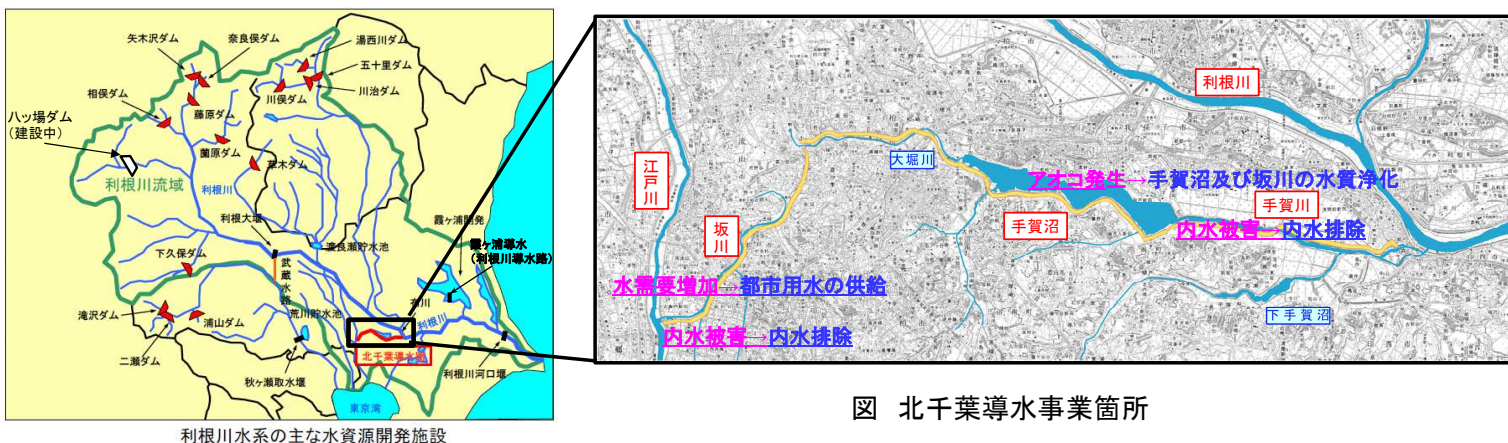
事業の概要

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まって水需要が増加し、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



北千葉導水路の維持管理

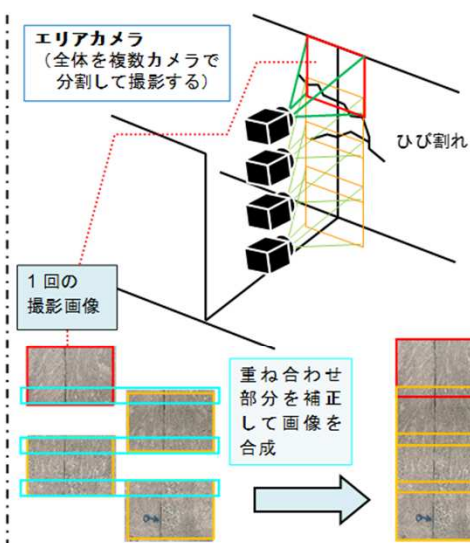
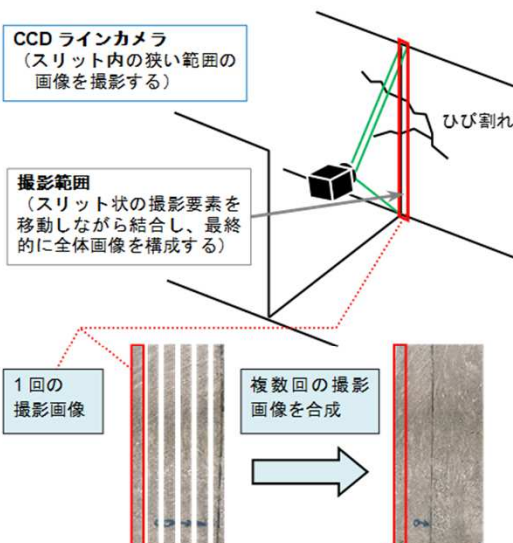
- 北千葉導水路は運用開始から20年が経過し、導水路管に腐食が発生。
- 管路全体を6分割し、平成25年度より毎年点検、補修を実施。現在2巡目の点検・補修を実施。
- 点検・補修が2巡目になり、腐食箇所が大幅に増加。
- より効率的、効果的な点検・補修方法を検討中。



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

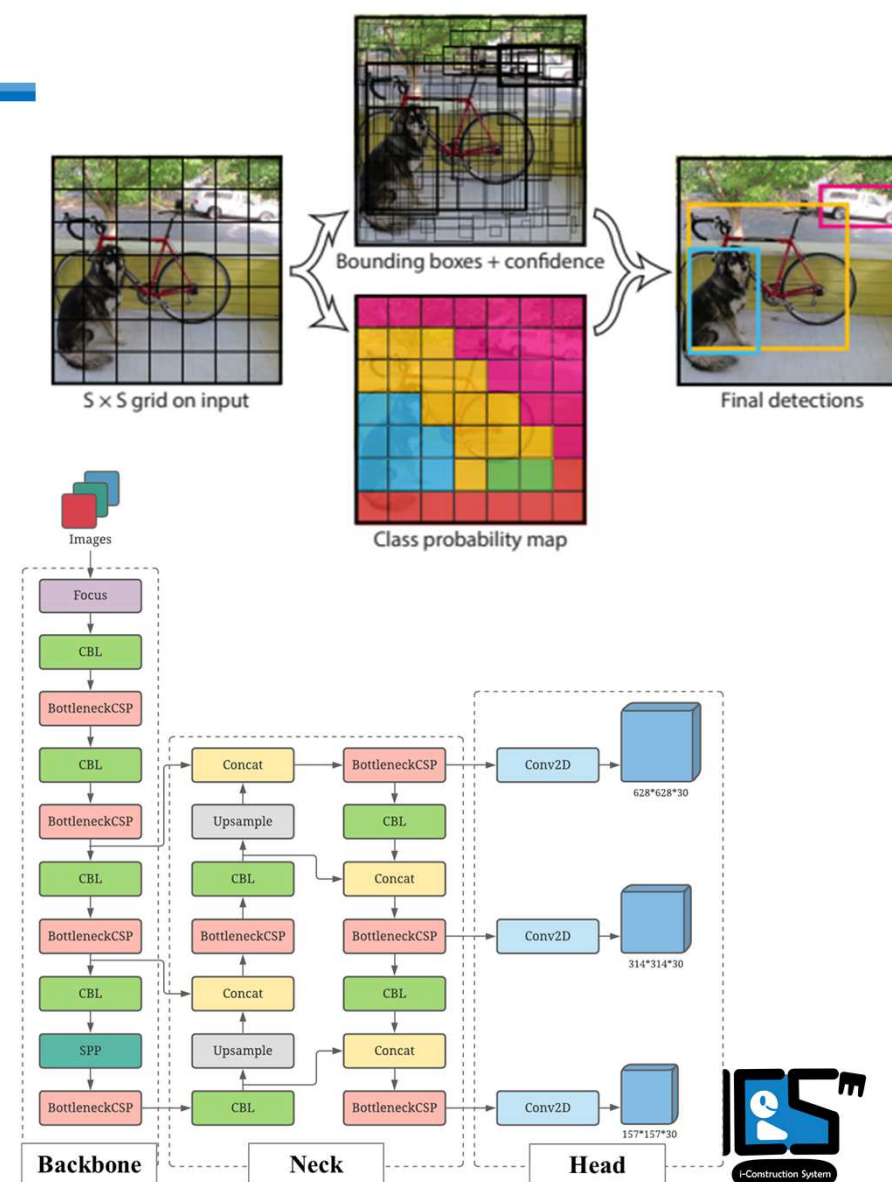
- ・ 撮影画像の歪みが生じ難い良質なデータを取得
- ・ 使用電力が小さく、発電機が不要で、狭小な水路トンネル内で安全に作業可能
- ・ 機材も少なくコンパクトであり、搬入出口が小さく、車両アクセスが難しい場合にも対応可

CCDラインカメラによる撮影



検出手法 - YOLOv5

- 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

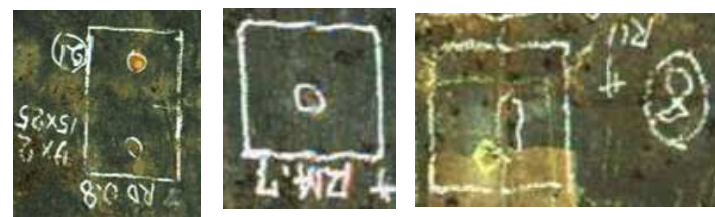
研究概要—使用データ

学習・テストデータ

- 学習データ: 平成28, 29年度に撮影された画像
 平成28年度: 第一導水路の布佐シールド区間No.1経路
 平成29年度: 第二導水路の埋設区間
- テストデータ: 令和2年度に撮影された画像
 令和2年度: 第一導水路の布佐シールド区間No.2経路
- 画像サイズ: 2400px × 5024px

各データのチョーキング箇所総数

	Training Data	Test Data
White	2438	594
Red	37	30
Num of images	524 (H28:204 / H29:320)	38



学習・検証に用いたデータ(White)



学習・検証に用いたデータ(Red)

YOLOv5によるチョーキング箇所検出-モデルの学習

学習時の諸条件

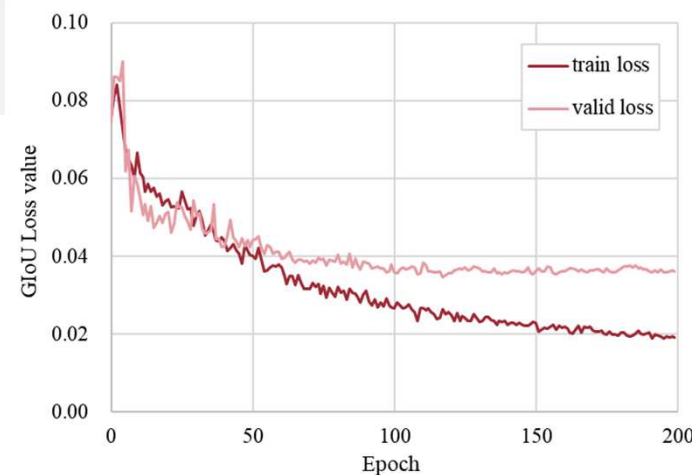
- 学習時の重み(初期値): YOLOv5s
(YOLOv5の学習済みの重みの中で最も演算負荷の小さいモデル)
- 学習率: 0.01
- 最適化手法: SGD(確率的勾配降下法)
- 損失関数: GIoU (Generalized Intersection over Union)を用いた関数

$$\text{GIoU} = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} - \frac{|C \setminus (A \cup B)|}{|A \cup B|}$$

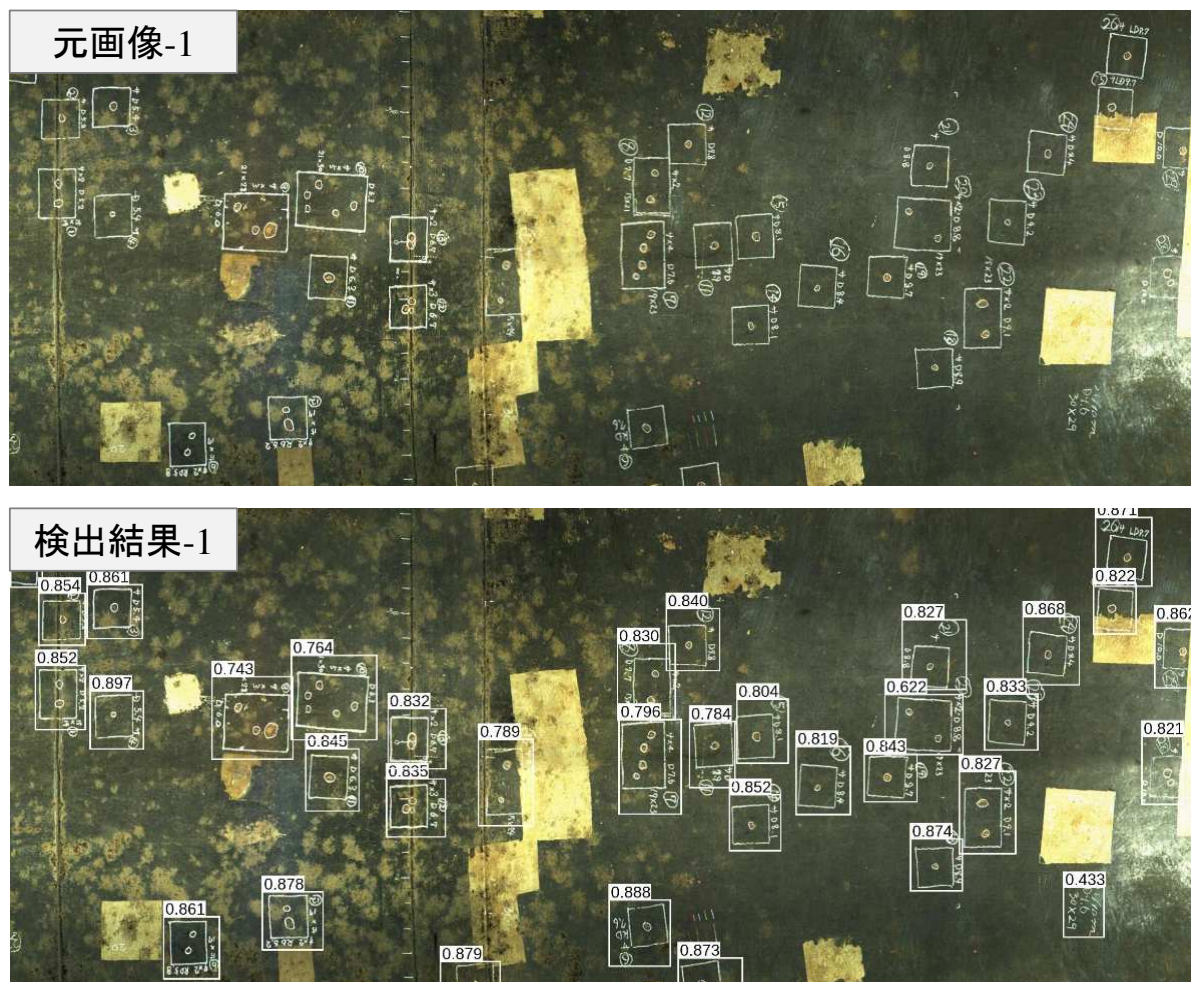
- 2つの領域AとBに加えて, 2つの領域を囲む最小かつ同じ形状の領域Cを用いて定義

学習結果

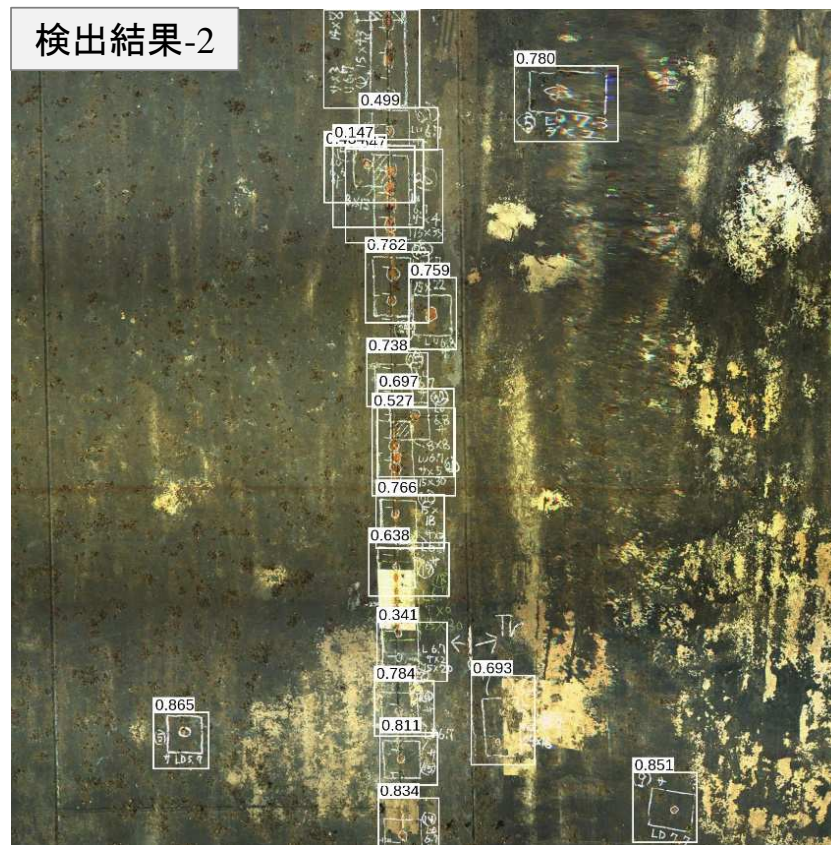
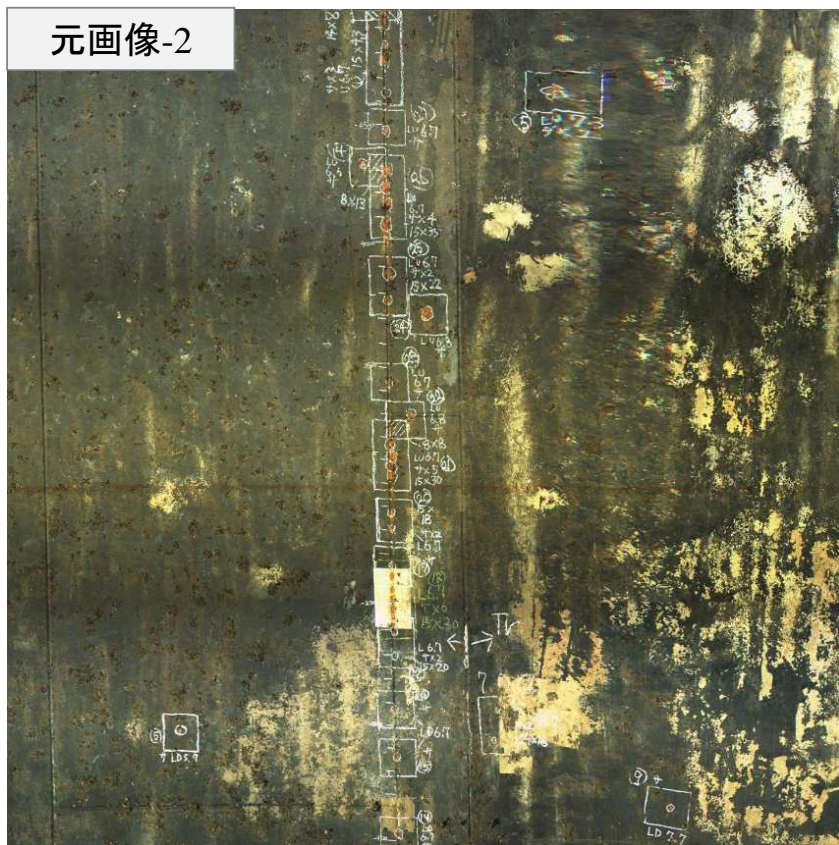
- 学習直後から損失は小さい
- 150~200epochが経過した時点で収束
→200epochまで学習したモデルを用いてテストを行う



YOLOv5によるチョーキング箇所検出結果1



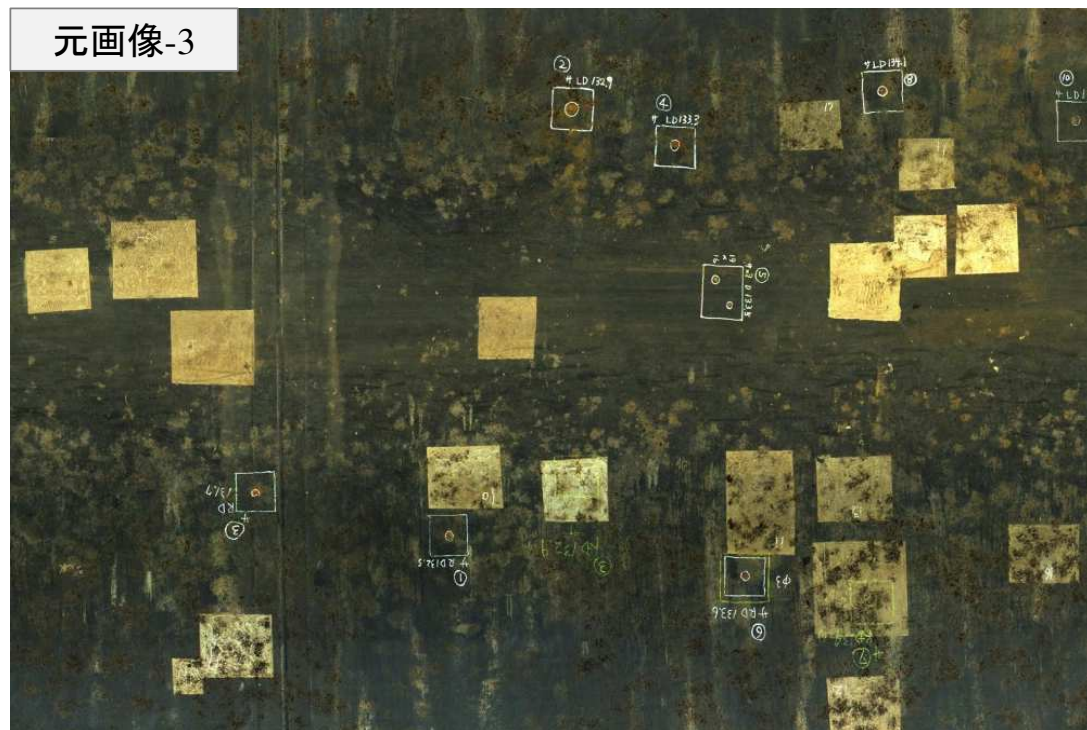
YOLOv5によるチョーキング箇所検出結果2



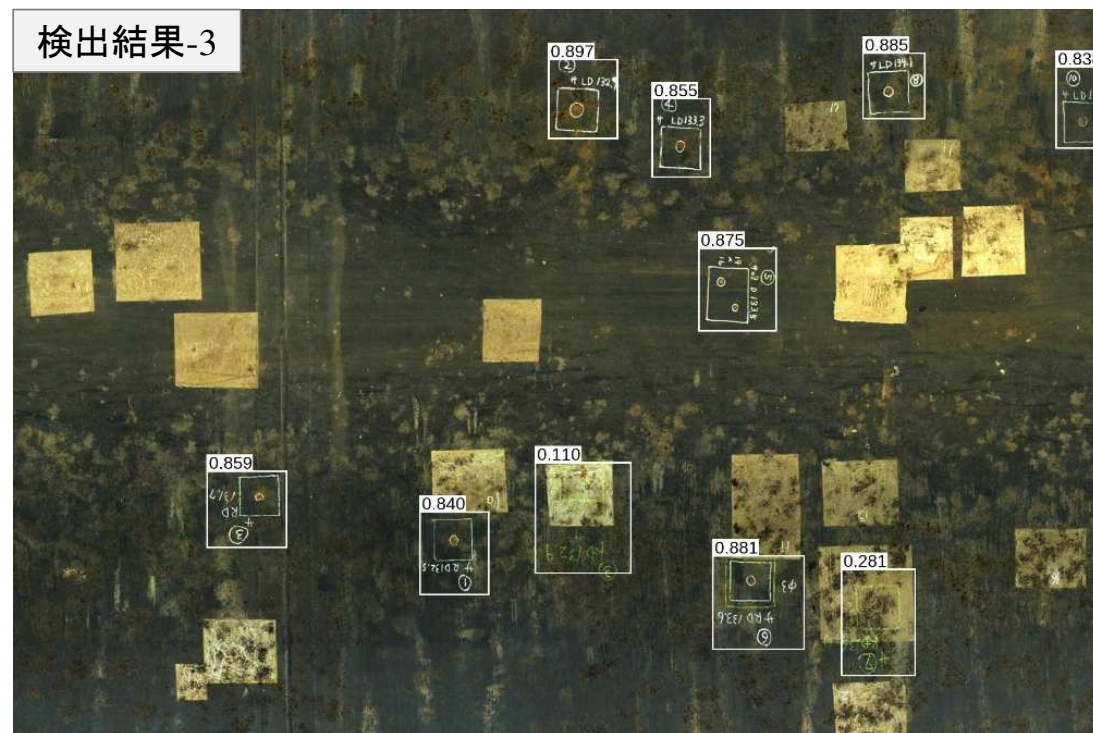
チョーキング箇所が縦に連なっているところでもおおむね正しく検出できている
補修シールが貼られている箇所など、誤検出しやすいところについても
適切に除外している

YOLOv5によるチョーキング箇所検出結果3

元画像-3



検出結果-3



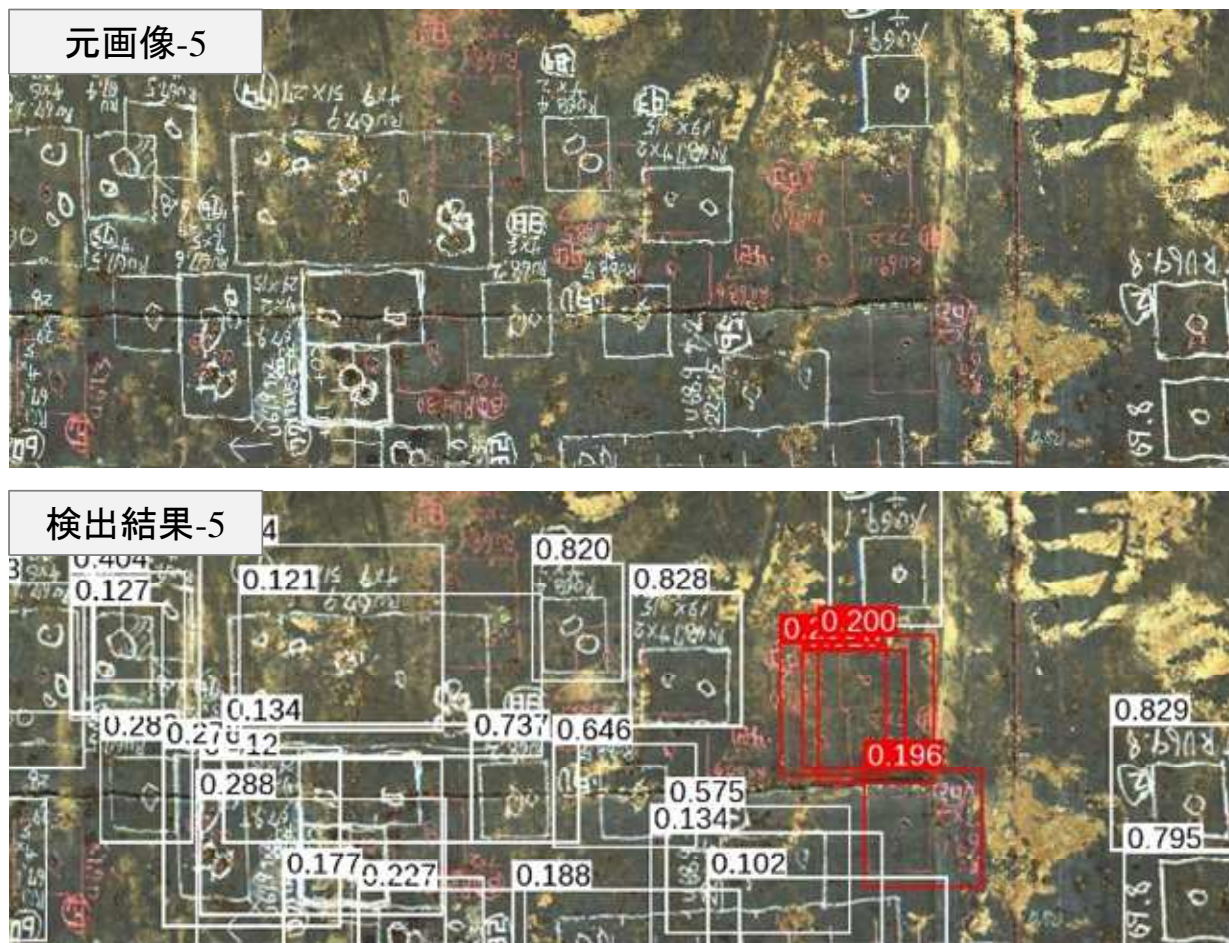
チョーキング箇所が縦に連なっているところでもおおむね正しく検出できている
補修シールが貼られている箇所など、誤検出しやすいところについても
適切に除外している

YOLOv5によるチョーキング箇所検出結果4



Redは精度がやや低い→学習データの不足

YOLOv5によるチョーキング箇所検出結果5



Redは精度がやや低い→学習データの不足

モデルの性能評価

評価指標によるモデルの性能評価

評価指標: mIoU (mean IoU)

$$\text{IoU} = \frac{\text{Area of Intersection}}{\text{Area of Union}} = \frac{\text{TP}}{(\text{TP} \cup \text{FP} \cup \text{FN})}$$

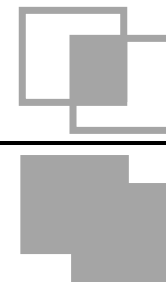
Whiteについて

- mIoUは高く, 高精度で対象領域を検出している

Redについて

- mIoUは非常に低い
- 壁面の色がチョークの色と類似している点, データ数が少ない点により
テストデータの約半数を検出できなかった
→つまり約半数のIoUが0となった

$$\text{IoU} = \frac{\text{Area of Intersection}}{\text{Area of Union}}$$



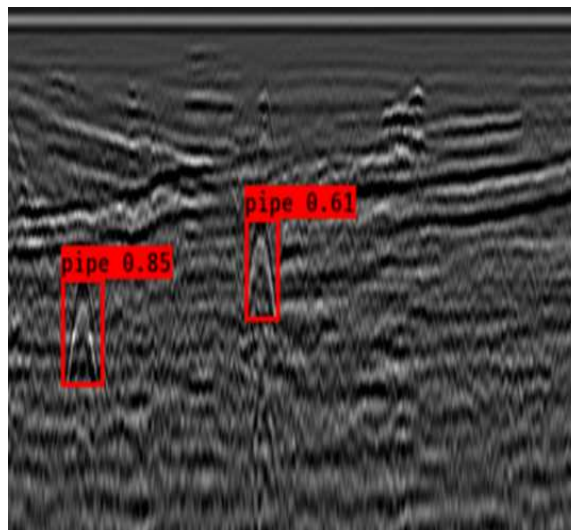
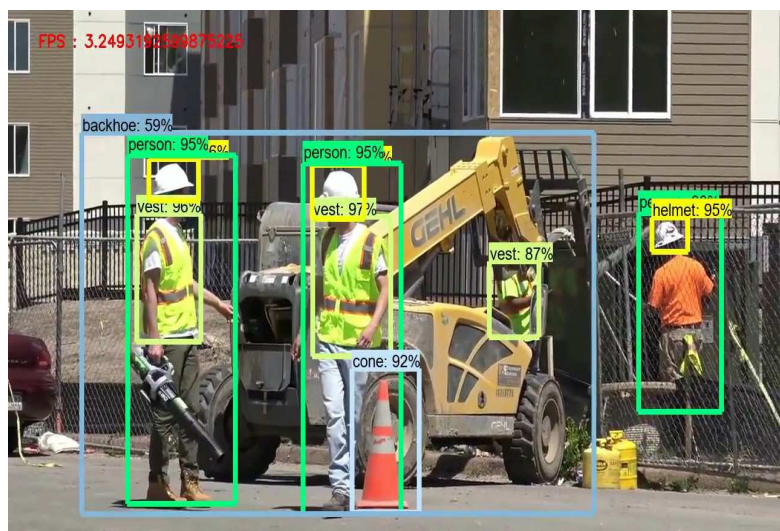
		True class	
		Positive	Negative
Predicted class	Positive	TP (True Positive)	FP (False Positive)
	Negative	FN (False Negative)	TN (True Negative)

各クラスのIoU

	White	Red
mIoU	0.700	0.139

ディープラーニングによる劣化状況判断システム

- 鋼管内部を撮影した画像から、ディープラーニングなどのAI技術を活用して劣化位置や種類、程度を推定し、前のページのシステムに反映することができれば、点検の生産性はさらに向上する。



まとめ

- DXの時代において、AI技術の活用は業務の高度化・省力化・低コスト化のキーとなる。
- 本発表では、CCDラインセンサカメラにより撮影された画像に対する、YOLOv5によるチョーキング箇所検出システムについての紹介を行った。
- 今後、損傷検出システムへの拡張を目指す。
- 本研究は、令和2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AIを活用したデータ連携・結合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。

北千葉導水路の長寿命化計画

- 点検・診断・補修を行う長寿命化計画（腐食貫通孔の出現などを防ぐ）
 - 平成25年度～平成29年度にかけて1巡目の点検・補修。
 - 平成30年度より2巡目の点検が開始されており、令和5年度まで前回点検時からの劣化の進行や、新たな損傷の発生を調査する計画
- 現状で明らかになっている傾向
 - 鋼管の繋ぎ目は現場溶接されているが、その近傍にスパッタ飛散の影響と推定される塗膜ふくれや点サビが発生している。
 - 2巡目点検時には、1巡目に見られなかったような、管全面に広がるような塗膜ふくれ、点サビが新規に発生している。
 - 2巡目点検時には、1巡目に見られなかったような、亀甲状の塗膜割れや塗膜剥離、サビが、鋼管の上側半分を中心に新規に発生している。
 - 鋼管によって塗膜や劣化の状態が異なっている。これは、鋼管の品質に当初より差があった可能性がある。
 - 工法（鋼管を埋設したのか、シールドトンネルの内巻鋼管なのかの違いなど）や周辺地盤の影響については現状では明確な相関を確認できていない。
 - 点検・診断の工数は20～40人日/kmと労力が大きく、効率化や自動化による生産性の向上が望まれる。

ご清聴ありがとうございました。