

デジタル庁 デジタル臨時行政調査会様 ご説明資料

トンネル走行型計測技術の開発



 国際航業

インフラマネジメント事業部

インフラマネジメント部

平山 貴司

2022/2/22

目次

- 1 はじめに
- 2 計測車両の開発について
- 3 画像解析手法の開発について
- 4 新技術活用検討

1. はじめに トンネル点検の背景

平成24年
笹子トンネル天井板
崩落事故発生



平成26年
道路トンネル定期
点検要領策定(H31改訂)



【課題】

近接目視を5年に1回必ず実施⇒法律化

★全国のトンネル約1.1万箇所において、5年に1回点検を実施

★工期短縮，コスト縮減，安全性・労働環境改善，精度向上，技術者の確保





1. はじめに トンネル点検の背景



写真1. 片側規制での作業

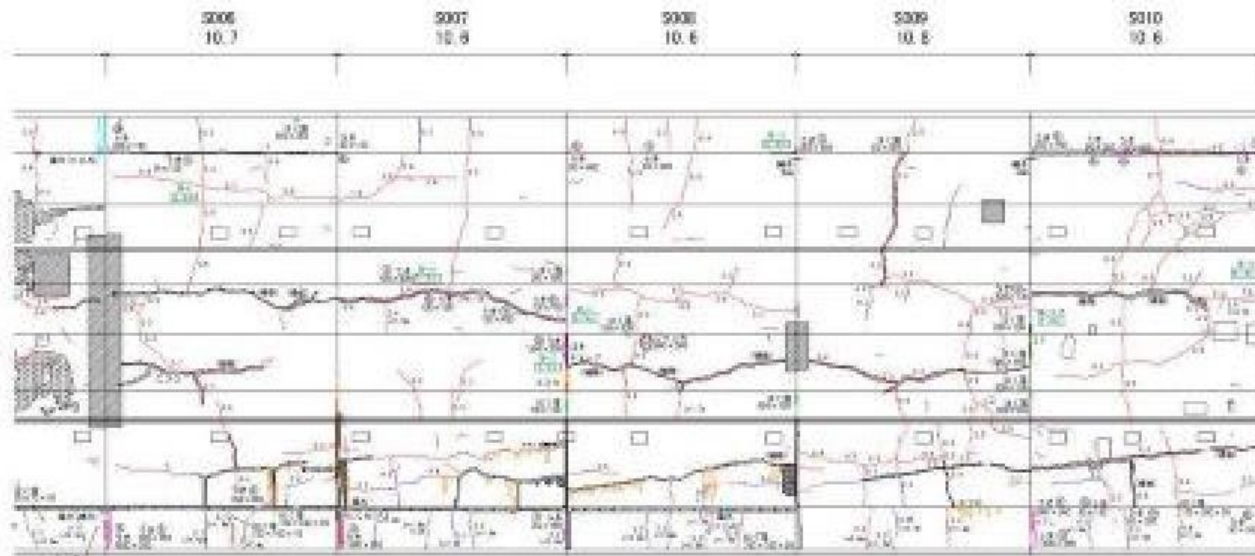


図1. 変状展開図

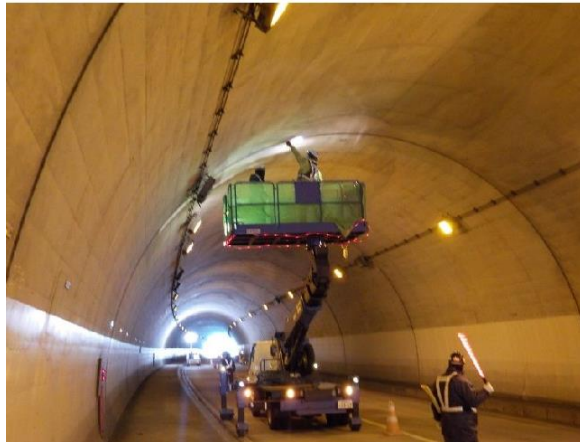


写真2. 近接目視点検作業

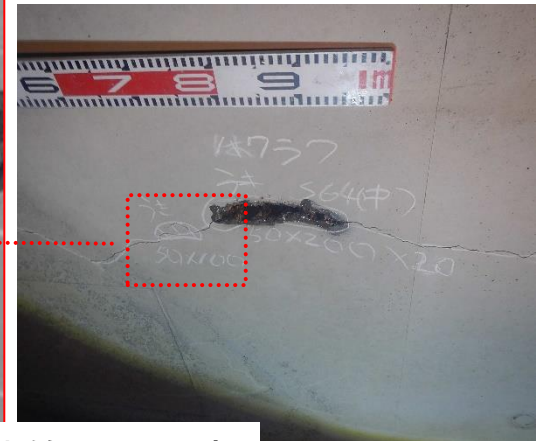
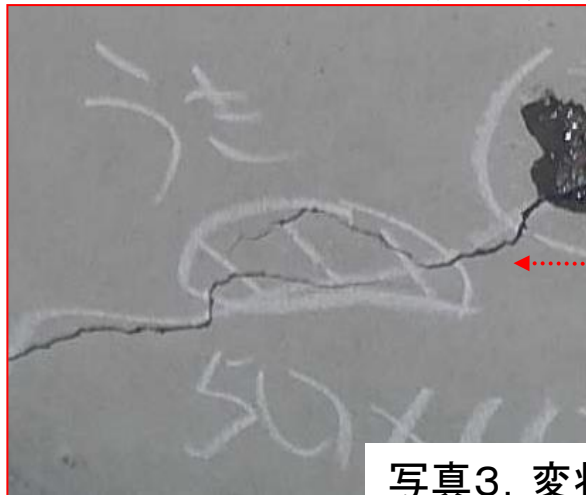


写真3. 変状箇所別写真



1. はじめに トンネル点検の背景

点検作業の支援技術として簡易にかつ品質を向上する手法

⇒ 走行型計測技術の開発（点検ロボット）



最近では

国土交通省道路局では、定期点検への新技術の積極的な活用を図るため、点検に活用可能な技術について、その性能値等を取りまとめた「点検支援技術性能カタログ」を策定している。

トンネル画像計測技術は16技術が掲載されている。

当社技術 TN010014-V0021 走行型近赤外線撮影によるSfM三次元画像解析システム



1. はじめに 走行型撮影の従来手法

H10年代

ハイビジョンビデオカメラ



走行撮影中

H20年代

CCDカメラ(可視光)



- 煤けたトンネルでの亀裂抽出困難
- 完全なシームレスではない



1. はじめに 新規開発方針 (H27以降)



写真1. 新設のトンネルであれば



S109 10.5 S108 10.5 S109 10.5 PE 6.0

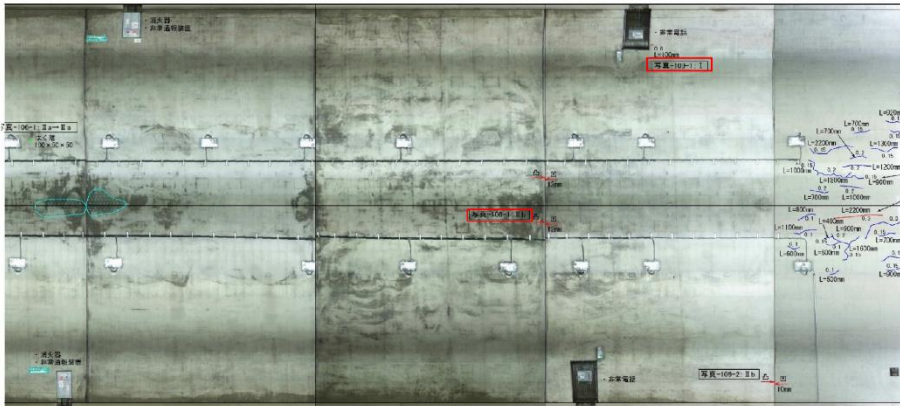


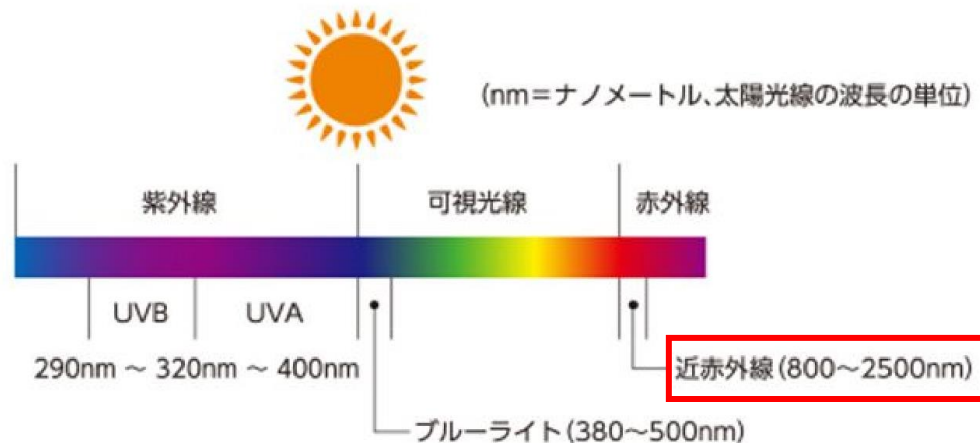
写真2. 変状展開図も鮮明

上記写真のような、暗く、煤けたトンネルでの画像撮影に着目
→汚れを透過できないか！
→3次元モデルを自動作成できないか！
⇒近赤外線エリアセンサ採用 + SfM解析による3次元モデル



1. はじめに 近赤外線とは

太陽光線の波長の長さ



参考引用図 https://outerskin.jp/ir/kawashima_1.html

- ・近赤外線は人間がみることのできない光で、可視光より長い波長。
- ・近赤外線を含む光を被写体に当てると、被写体の物質の違いにより、光の反射や吸収する特徴の違いが画像として映る。

リンゴ (瑕疵のある)



写真1. リンゴ

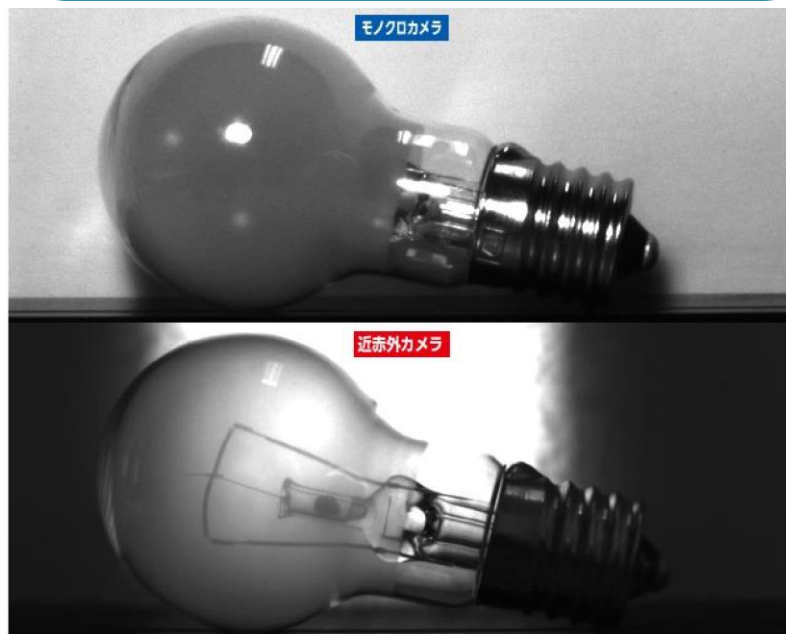


写真2. 電球

参考引用写真 <https://www.marubun.co.jp/product/component/a7jjkd000000uyq1.html>



1.はじめに 室内性能検証

焼けたコンクリート試験体での透過性能試験

模擬的に焼けたコンクリート試験体を用意し、近赤外カメラと波長帯の異なる照明で撮影し、適した照明波長の検証を実施した。

CAMERA : BASLER レンズ : ミュートロン非 IR

・照明

メーカー : アイテックシステム 4

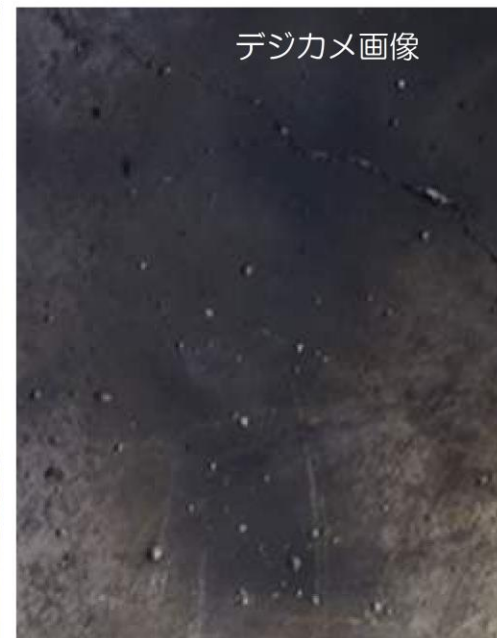
波長 : ①白色 LED 600nm 前後

②近赤外 LED 850nm

③近赤外 LED 940nm

照明サイズ : 150×180mm

※ 3種類のフラット照明のデモ機を借用し実施。

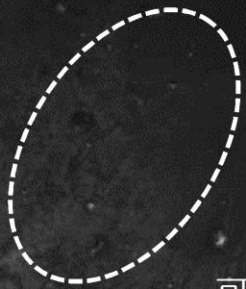


試験状況 デジタルカメラではひび割れを確認できない状態



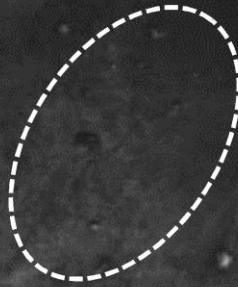
1.はじめに 室内性能検証

照明波長 600nm



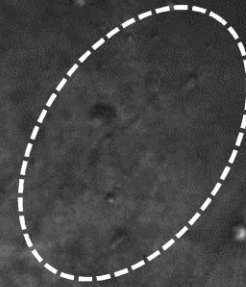
可視光波長ではひび割れが認識できない

照明波長 850nm



近赤外波長ではひび割れが認識可能

照明波長 940nm



ピンボケ感がある

結果：波長帯が遠赤外領域に近づくほど透過特性は大きくなるが、カメラの感度特性から 940nm 波長帯となると感度が弱くなりフォーカスが低減する。今回使用したレンズは IR 対応レンズでないことから、今後 IR 対応レンズにて 940nm 照明でのフォーカス改善程度を確認。



2. 計測車両の開発について 実装完成

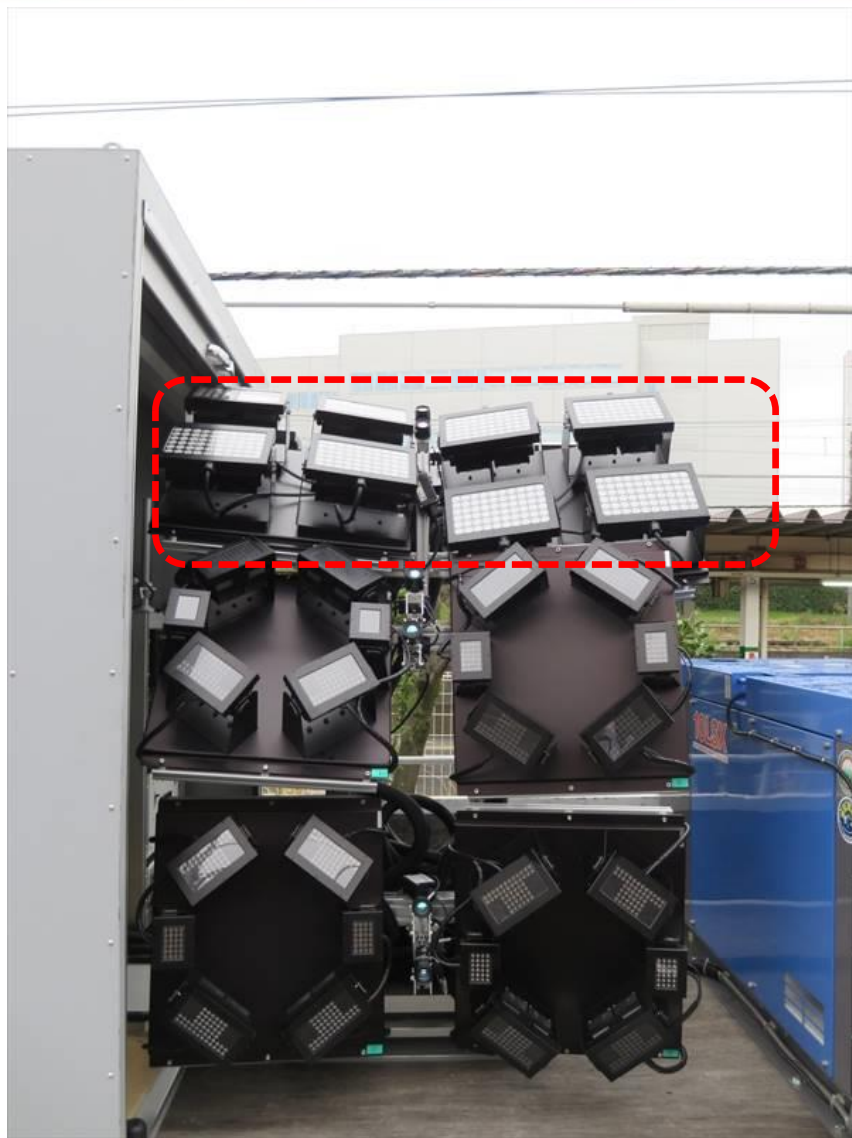
4tトラックに実装



ストロボ撮影とシャッター速度を
同期させるシステム
⇒特許:特願2017-032864



2. 計測車両の開発について 実装完成



上向きカメラ部は、トンネル壁面までの距離があるため、大容量のLEDで対応

項目 (近赤外カメラシステム)	試作機の概要
カメラ	・Basler製NIRカメラ 8台 acA2040-90umNIR - Basler ace 29.3 mm x 29 mm x 29 mm
カメラ波長	・赤外線領域採用により煤を透過 ・グレースケール
有効画素数	・2,048 × 2,048dot
センサ	・CMOSグローバルシャッター 11.3 mm x 11.3 mm
通信インターフェース	・UAB3.0 (5Gbps)
Fレート	・30fps (最大90fps) 距離トリガ採用
レンズ	・スペース製 JHF16M-5MPSWIR Camera1: 12mm(0.92mm/pixel@2m)、絞り4.0 Camera2-8: 16mm(0.69mm/pixel@2m)、絞り2.8



2. 計測車両の開発について 計測状況





2. 計測車両の開発について 実証トンネル

1 6トンネルの実績確保 (2021/12現在)



豊岡河川国道 蒲生トンネル



湯沢河川国道、能代河川国道、
山形河川国道
雄勝トンネル+他5トンネル



岩手河川国道
二郷山トンネル



磐城国道
新玉野トンネル+他2トンネル



愛媛県 大久トンネル



沼津河川国道
城山トンネル+他2トンネル



高崎河川国道
三国トンネル

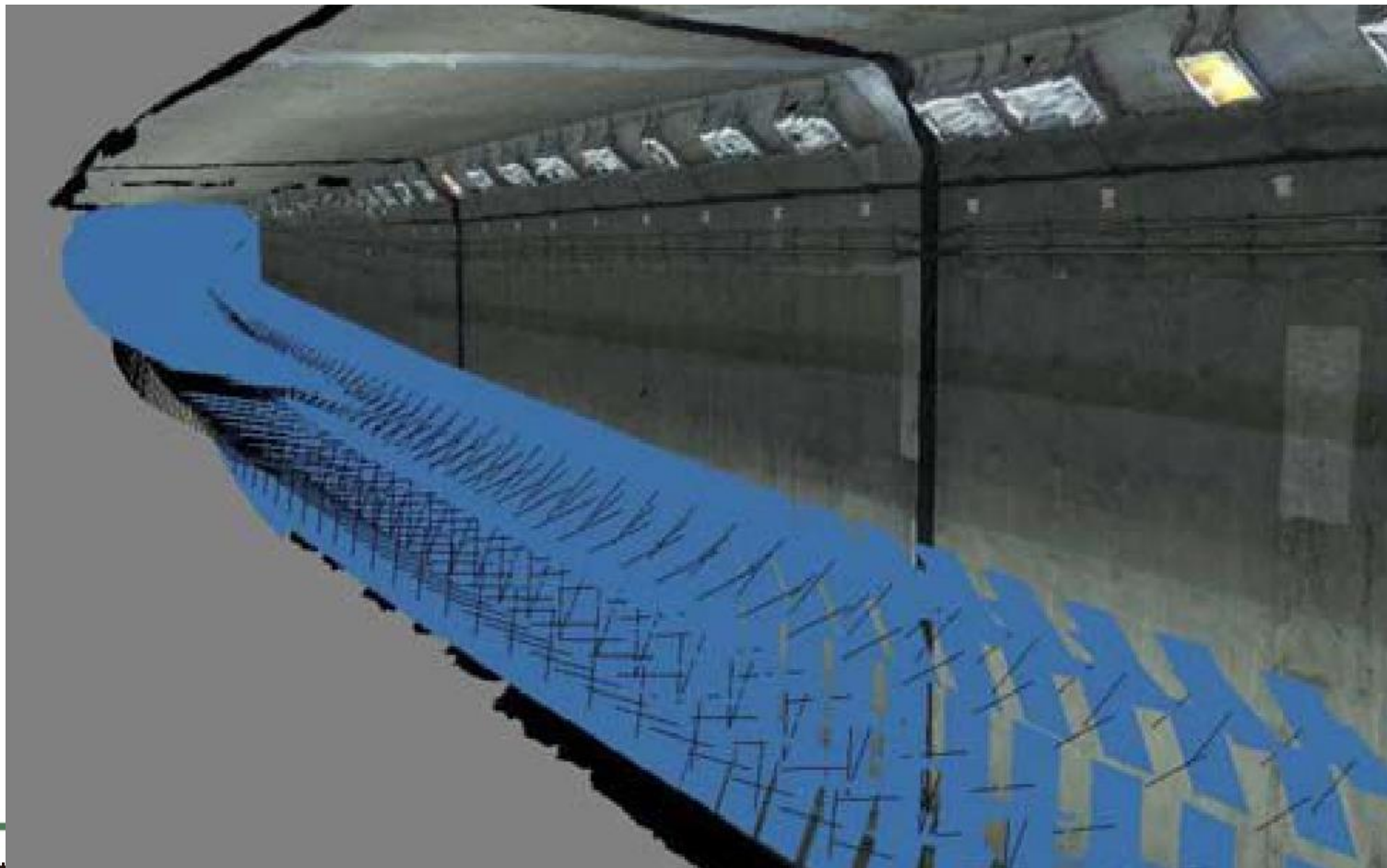




3. 画像解析手法の開発について 3次元モデル作成

※SfM解析とは

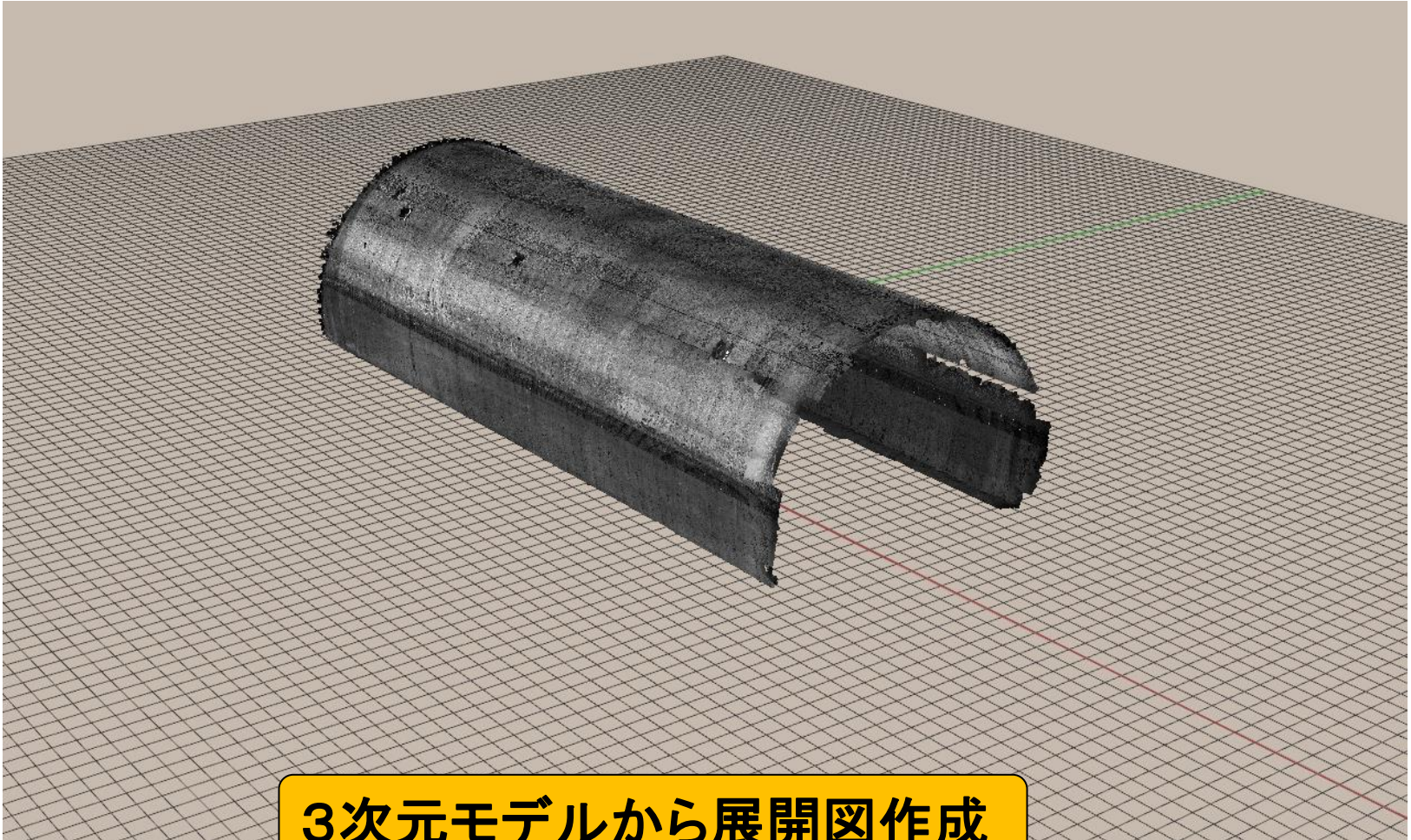
- ・異なる位置から撮られた複数枚画像のオーバーラップ部を解析し、3次元モデルを復元
- ・従来の写真測量では困難であったような多量の画像を一括でオートマチックに解析可能、解析に熟練の技術を要せずに3次元データが得られる。





3. 画像解析手法の開発について 3次元モデル作成

① PhotoScanから作成された点群データ+TINモデル

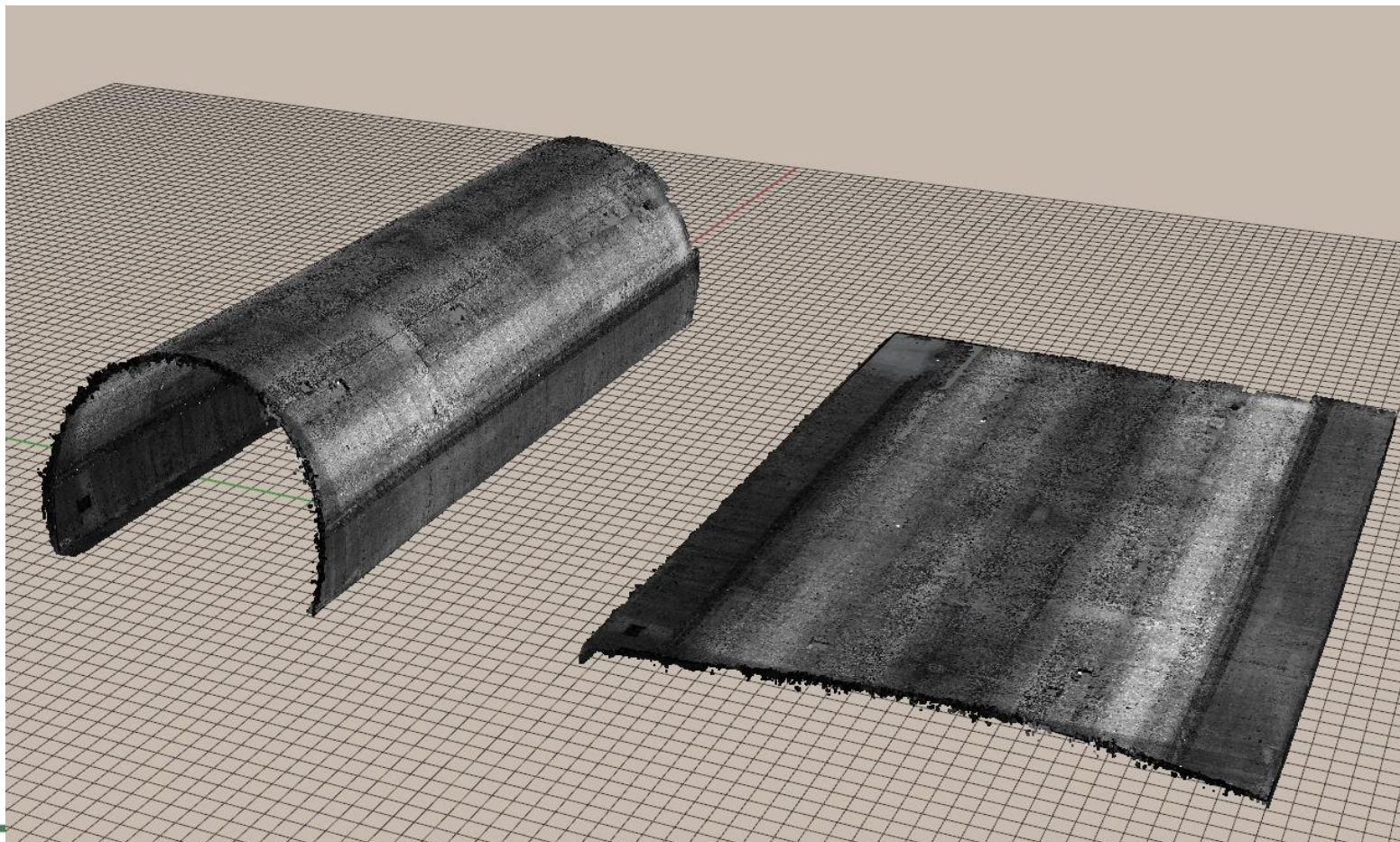


3次元モデルから展開図作成

3. 画像解析手法の開発について 3次元から二次元へ展開

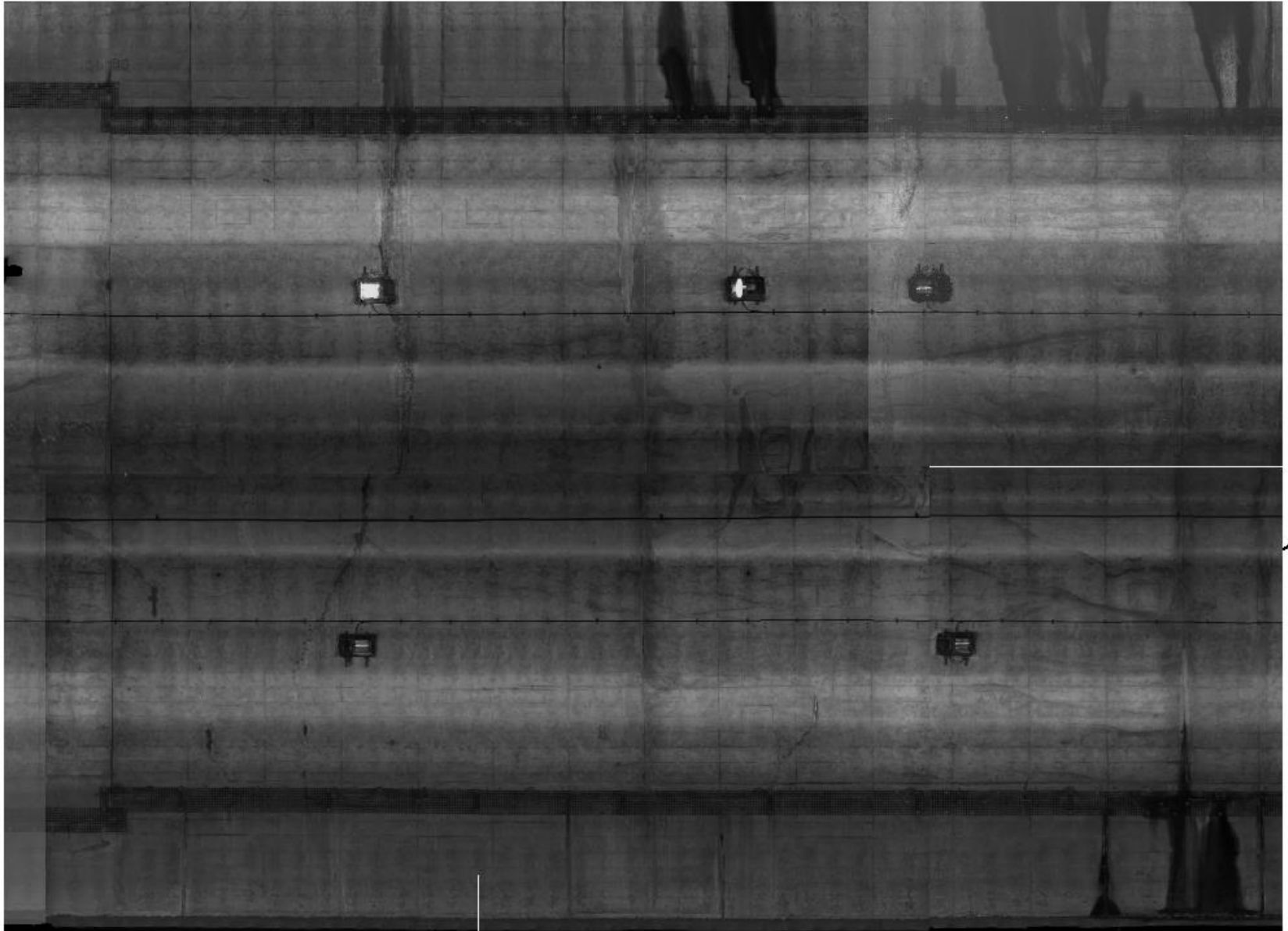


②標準形状に合わせてTINモデル・点群データを展開 (スマッシュ)





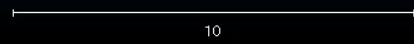
3. 画像解析手法の開発について 2次元画像展開図





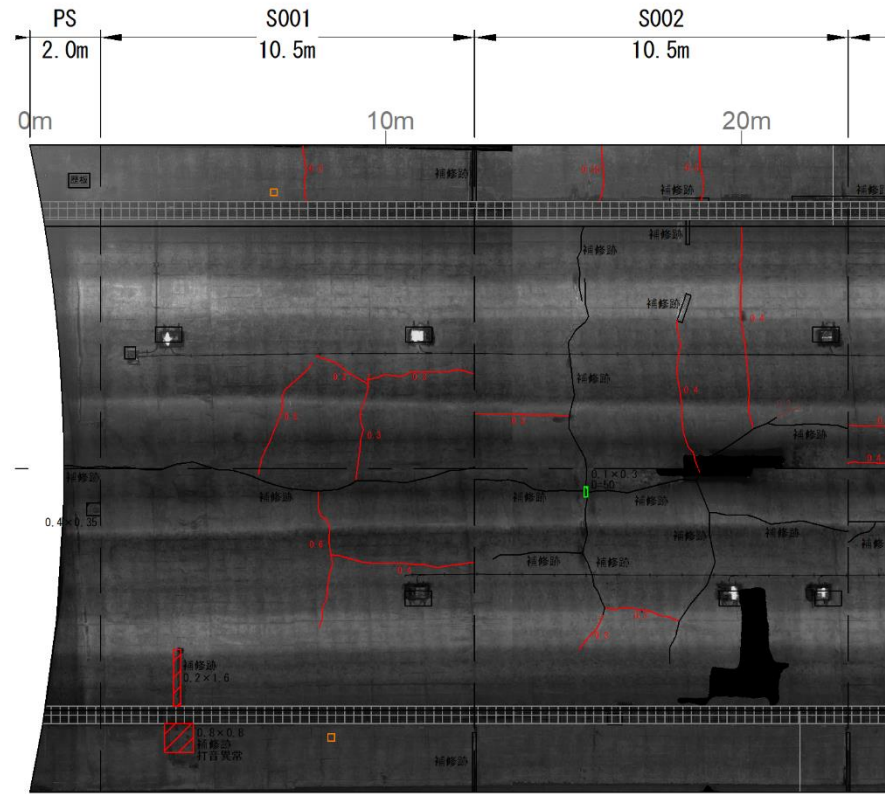
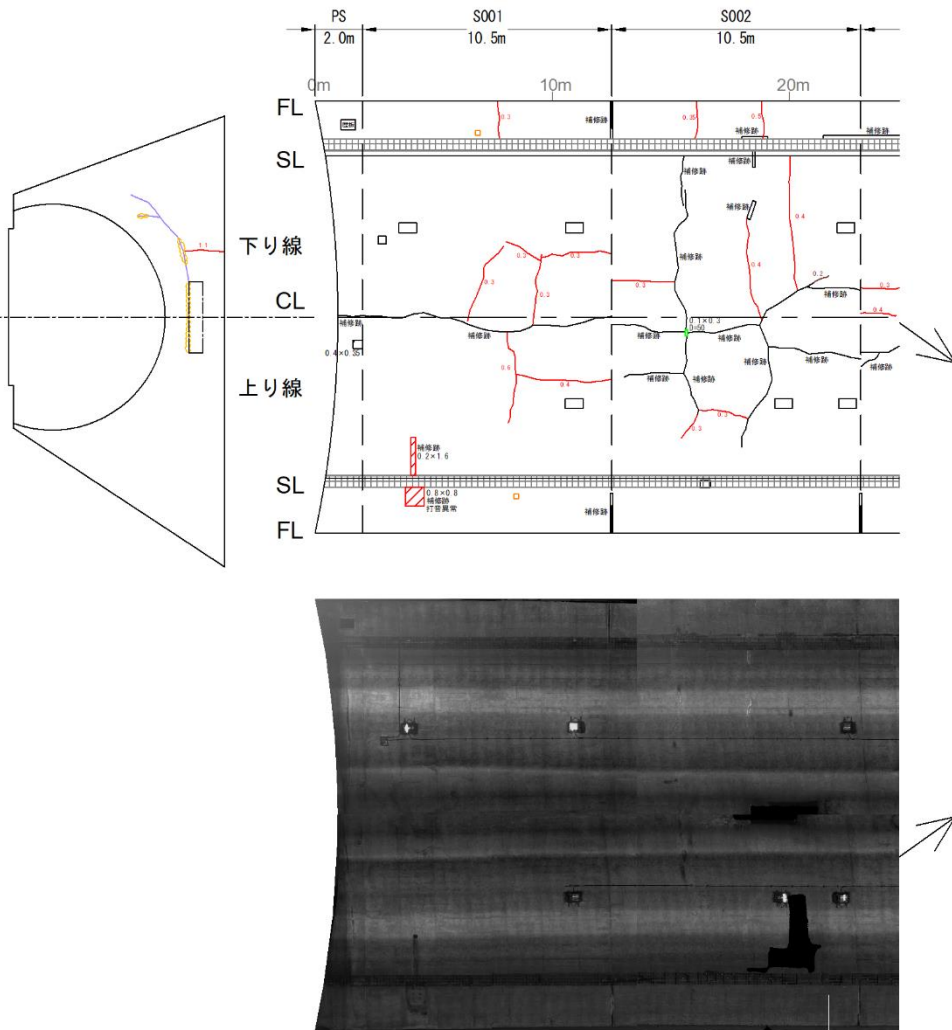
3. 画像解析手法の開発について 3Dモデル拡大写真

Segmentation [PAUSED]
Unpause to segment again



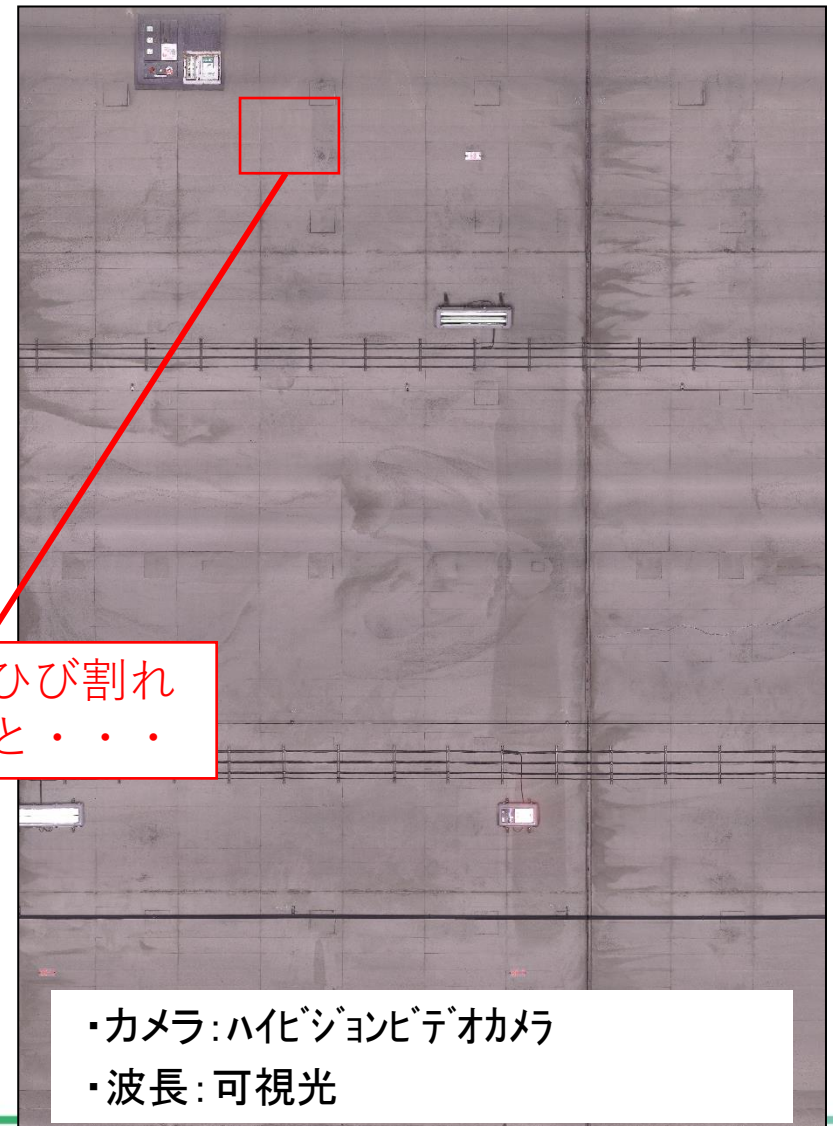
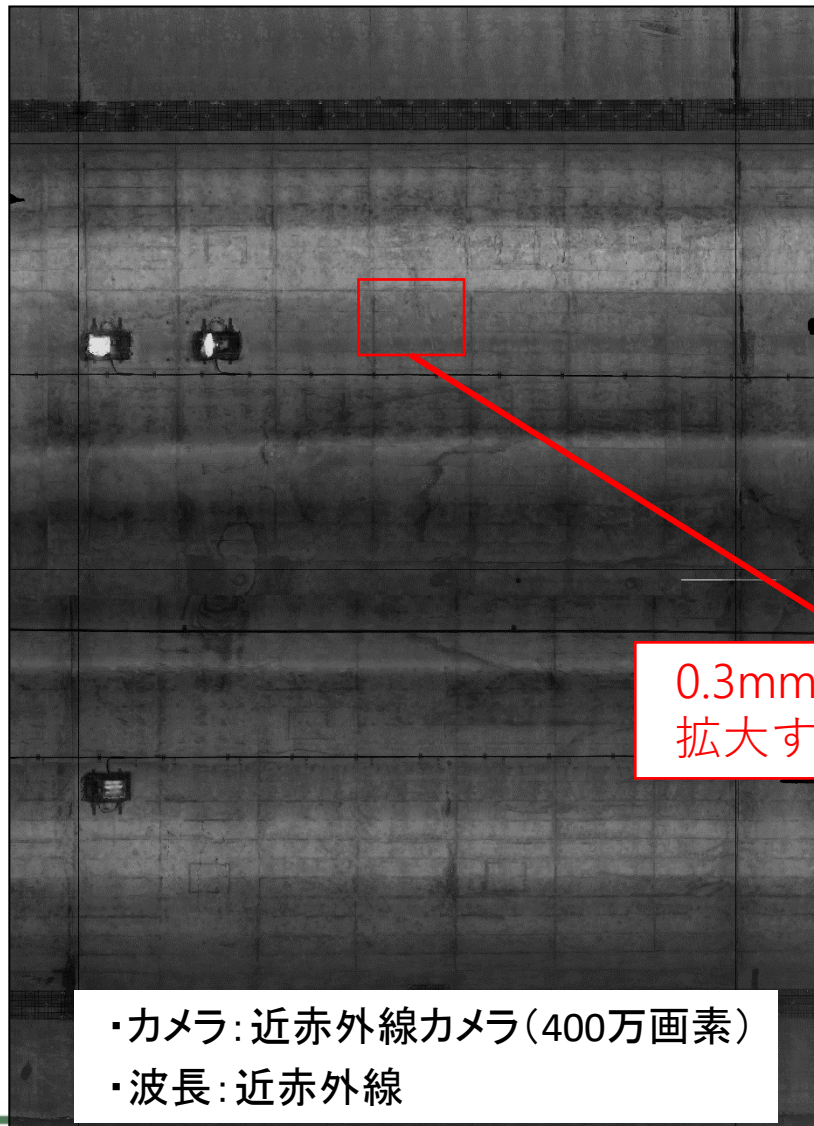


3. 画像解析手法の開発について 覆工展開写真とスケッチ





3. 画像解析手法 覆工展開写真

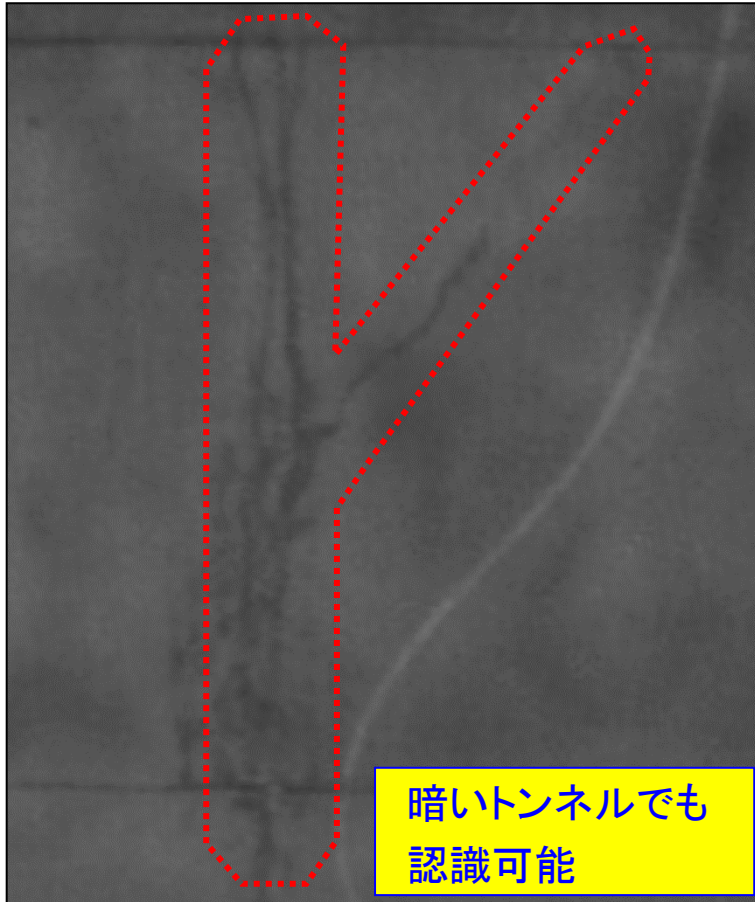


0.3mmのひび割れ
拡大すると・・・

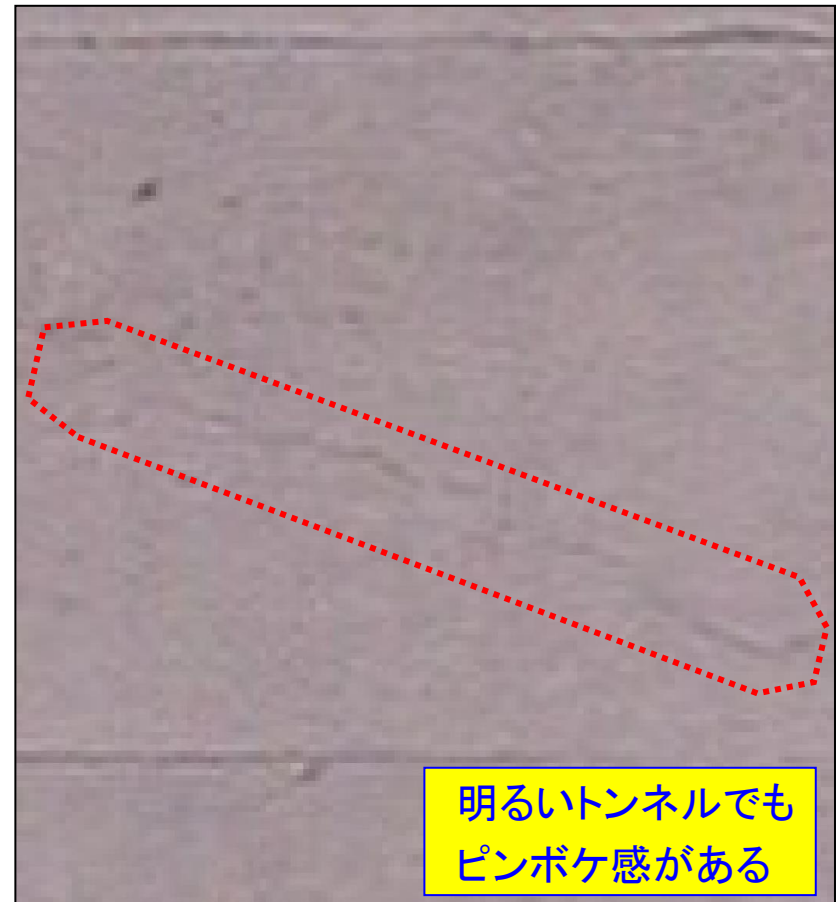


3. 画像展開手法 覆工展開写真

近赤外線カメラ画像



ハイビジョンビデオカメラ画像



近赤外線カメラのほうが、ひび割れをより良く確認できる

4.新技術活用検討 概要

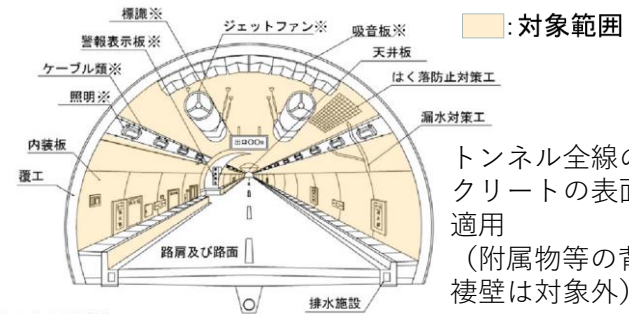


検討概要

従来点検と新技術活用した点検の比較検討を行う。
比較項目は、「コスト」、
「点検日数」とする。



トンネル例



※トンネル内附属物

トンネル全線の覆工コンクリートの表面に対して適用
(附属物等の背面、面壁、
稜壁は対象外)

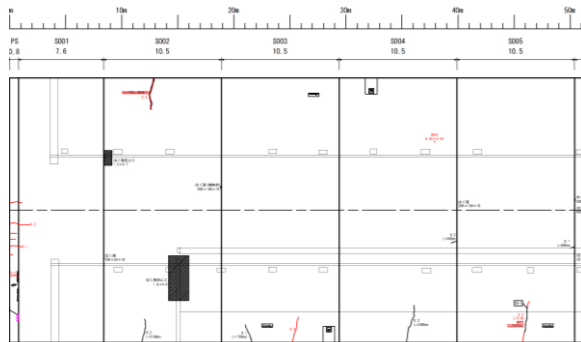
従来点検

近接目視+打音検査結果をスケッチにて記録



点検状況 (近接目視+打音検査)

近接目視+打音検査を実施し、その結果を現場にてスケッチして変状展開図を作成する。



変状展開図 (スケッチ後に清書)

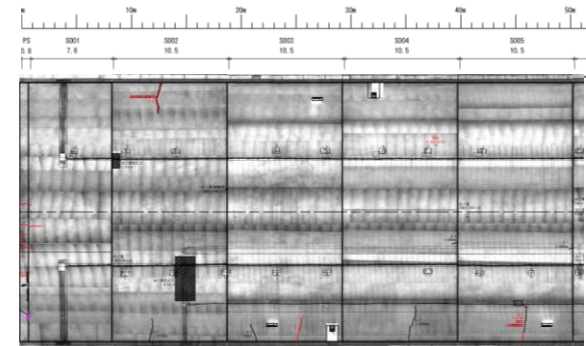
新技術活用点検

走行型画像計測による写真撮影によるスケッチの代替



点検支援技術

スケッチ作業が不要となり、点検時間の短縮が可能。人為的ミス (写真の撮り忘れやスケッチの記載漏れ) の削減が可能。



変状展開図 (画像+変状トレース)



4.新技術活用検討 従来技術との点検コスト比較

【コスト試算条件】

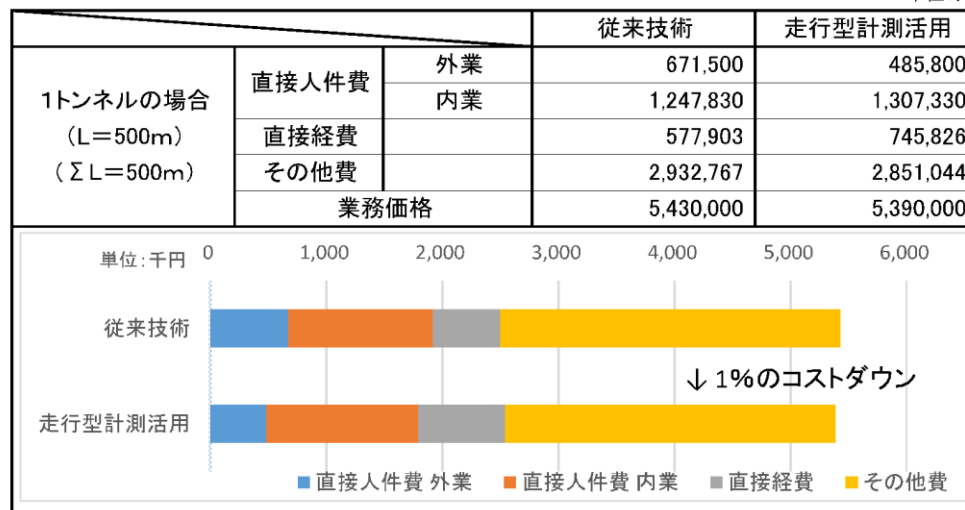
- ①トンネル延長500m
- ②1トンネルと10トンネルの場合をそれぞれ比較

【比較結果】

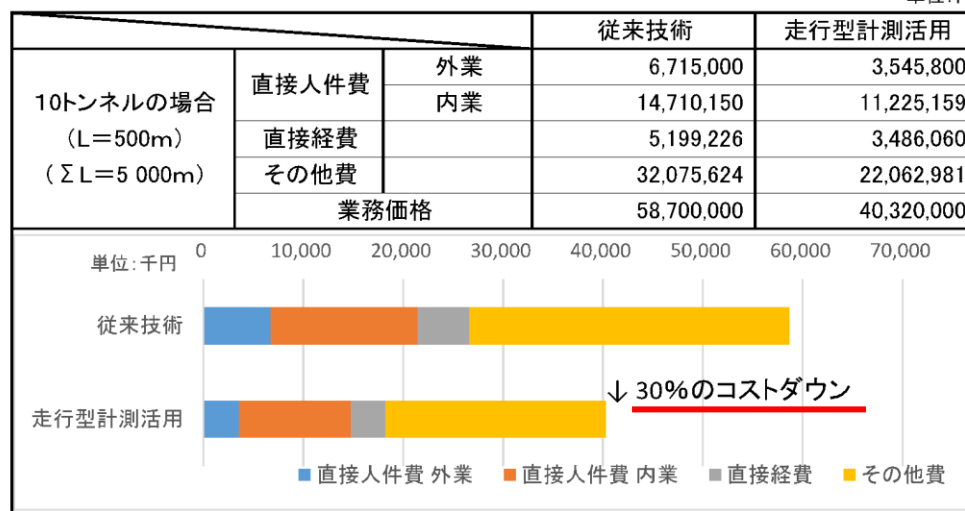
- ①10トンネル案において、スケールメリットがある
- ②現地点検作業を50%効率化
- ③点検時の交通規制時間の短縮が可能

参考文献
 トンネル点検支援技術の高度化に関する研究報告書
 R3年9月発行
 トンネル点検支援技術の高度化に関する研究プロジェクト

単位:円



単位:円





4.新技術活用検討 従来技術との点検日数比較

- ・低減率は、平均的に50%程度
- ・延長によって効率は異なり、1km未満の場合は20%程度、1km以上の場合は60%程度

トンネル名	点検内容	トンネル延長(m)	点検面積(m ²)	ひび割れ密度(m/m ²) ^{*1}	従来点検			本業務(新技術活用)			効率化低減率
					点検日数(日)	作業班 ^{*2}	高所作業車の台数	点検日数(日)	作業班 ^{*2}	高所作業車の台数	
Aトンネル	監視点検	740	1,195	0.08	1	2	2	1	2	2	0
Bトンネル	定期点検	330	6,022	0.14	1	2	2	1	2	2	0
Cトンネル	定期点検	38	841	0.55	1	1	1	1	1	1	0
Dトンネル	定期点検	1,420	29,652	0.14	4	3	12	1	3	3	75%
Eトンネル	定期点検	2,810	59,249	0.14	7	3	21	3	3	9	57%
Fトンネル	定期点検	389	8,376	0.19	2	2	4	1	2	2	50%
	合計	5,727	105,335	1km未満	5		9	4		7	20%
				1km以上	11		33	4		12	64%
				合計	16		42	8		19	50%

	従来点検日数	今回点検日数	日数比率	低減率
1km未満	5	4	80%	20%
1km以上	11	4	36%	64%
合計	16	8	50%	50%

参考文献

トンネル点検支援技術の高度化に関する研究報告書；R3年9月発行，トンネル点検支援技術の高度化に関する研究プロジェクト



情報をつなげる力で、
人・社会・地球の未来をデザインする

