

KONOIKE

MR技術を活用したトンネル維持管理システムの開発 — トンネルMR —

鴻池組 技術戦略部 若林 宏彰

KONOIKE

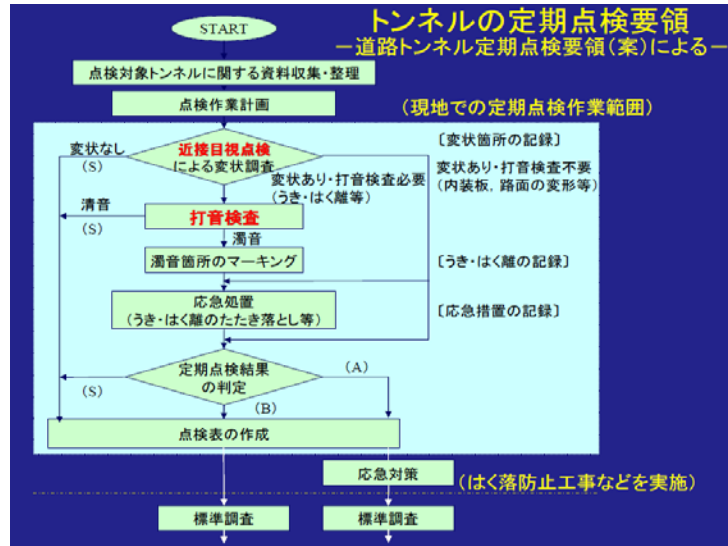
1. 山岳トンネルの維持管理の現状

(1) 建設後50年以上経過するトンネル

建設後50年以上経過するストック

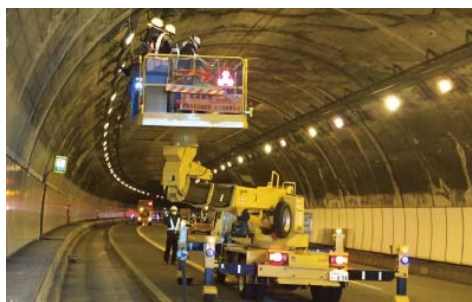
	2020年3月	2030年3月	2040年3月
道路橋 [約73万橋] (橋長2m以上の橋)	約30%	約55%	約75%
トンネル [約1万1千本]	約22%	約36%	約53%
河川管理施設 (水門等) [約4万6千施設]	約10%	約23%	約38%

(2) 道路トンネル定期点検要領



道路トンネル定期点検要領 (5年に1回)

(3) トンネル定期点検の現状



定期点検状況



側壁点検状況

- 1車線を通行規制
- アーチ部と肩部の2パーティーで、1日に150m程度を点検



- ① 打音検査
- ② ひび割れ、濁音箇所のチョーキング
- ③ 変状箇所の写真撮影
- ④ 点検調書への記録

(3) トンネル定期点検の現状

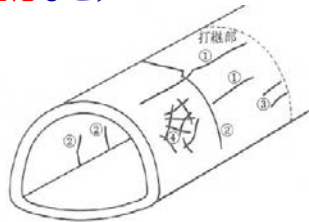


点検作業での問題点

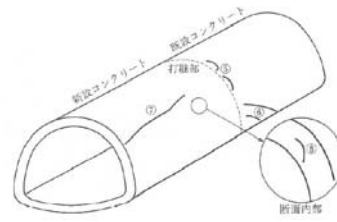
- 排ガスで汚れた箇所では、ひび割れを探すのに時間がかかる。
- 前回のチョーキングが消えている場合、書き直す必要がある。
- スケッチした点検調書を事務所でCADに書き直す必要がある。
- 目視でスケッチするため、ひび割れ調書の精度が低く、対策範囲を適切に設定できない可能性がある。

(4) 覆工コンクリートのひび割れ原因

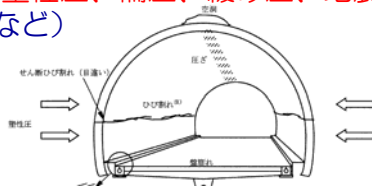
- ①環境に起因するひび割れ
(温度応力、乾燥収縮、塩害、中性化など)



- ②施工に起因するひび割れ
(押上げクラック、コールドジョイント、セントル沈下など)



- ③外力に起因するひび割れ
(塑性圧、偏圧、緩み圧、地震など)

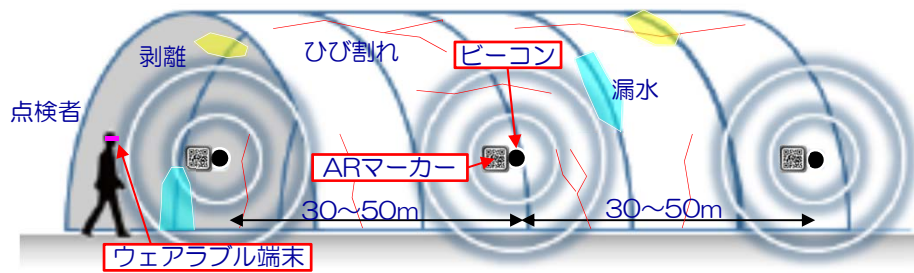


トンネル変状、ひび割れや剥落が発生した場合、不具合の発生原因を適切に推定し、最適な対策工を選定することが重要

2. トンネルMRの概要

KONOIKE

CIMなどで作成した設計、施工や維持管理の2次元や3次元データを事前にMR専用ウェアラブル端末に登録し、現地に設置したARマーカーなどを使って実構造物に投影したり、維持管理データを追加・更新するシステム。



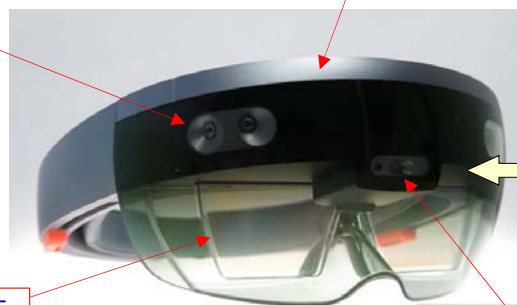
トンネルMR 概要図

2.1 MRデバイス「HoloLens」

KONOIKE

CPU, GPUなどの各種プロセッサー
ユニットを内蔵 (OS: WINDOWS10)

環境認識
センサー



CIMデータ登録
《3次元データ》
・ひび割れ展開図
・地質展開図
・支保工・補助工法等etc.
《2次元データ》
・切羽観察記録
・計測記録
・出来形・品質記録etc.

シースルー
スクリーン

MR専用ウェアラブル端末
Microsoft社製 HoloLens

深度センサー

使用ソフト: GyroEye Holo (インフォマティクス社)
(skp, 3ds, fbx, ifc, dxf等のファイルに対応)

2.2 HoloLensによる自己位置の特定機能

KONOIKE

点検者の視界
HoloLensで取得した点群データ
点検者の現在位置

HoloLensのスキャン状況

深度センサーにより周辺の構造物を3次元データとしてスキャンし、環境認識センサーにより構造物の特徴点を検出してトラッキングしながら、点検者の自己位置を特定する（SLAM）。

2.3 ホログラム表示機能

KONOIKE

①位置情報を持ったCIMデータを、MRデバイスに登録

鉄塔 東側坑門工
西側坑門工 支保パターン
地層モデル
地質展開図

②現地の土木構造物に、位置・方向等を合わせるARマーカ―などを30~50m毎に設置して読み込み

ARマーカ―

KONOIKE

③MRデバイスにより、現地において
ひび割れ展開図、地質展開図などの
維持管理データを、1分の1モデルの
ホログラムとしてレイヤー毎に表示



レイヤー表示項目



地質展開図



ひび割れ展開図



湧水展開図



支保パターン展開図




舗装



設計断面図

KONOIKE

④属性データ登録ポイントに切羽観察記録、計測結果や出来形調書
などを登録し、ハンズフリーで自動表示

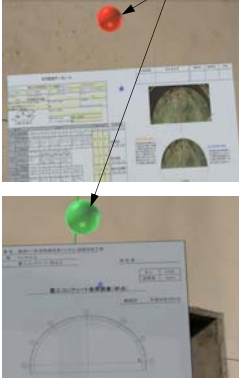


属性データ登録ポイント
ハンズフリーで自動表示

切羽観察記録

出来形調書

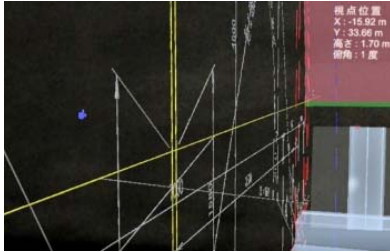
データ登録ポイント



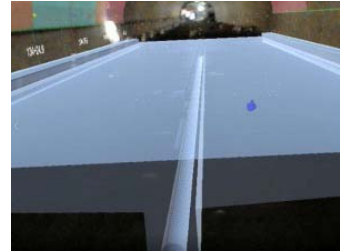
切羽観察記録や計測結果、出来形調書などの施工記録から、
覆工コンクリートのひび割れ原因を現地で特定できる。

KONOIKE

⑤断面図などの2次元モデル、舗装や排水工などの3次元モデルを投影



トンネル断面図



舗装及び排水工

内空断面や設計寸法が確認できるため、補修工事などの対策範囲を現地で設定できる。

舗装や排水工などの地下埋設物をモデル化でき、補修工事実施時の支障物の損傷を防止できる。

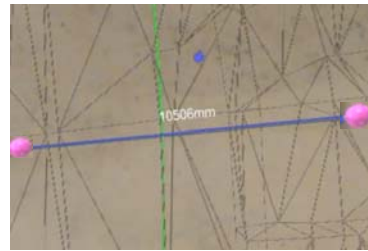
2.4 作図機能

KONOIKE

HoloLensのハンドジェスチャー機能（AirTap、Tap&Hold）を使って現地で維持管理データを追加更新



ひび割れ朱書き機能



計測機能

ハンドジェスチャーで現地のひび割れ箇所を追加更新できるため、正確なひび割れ調書を作成できる。

ハンドジェスチャーで選択ポイント間を計測できるため、現地で対策範囲を設定できる。

KONOIKE



記号貼付け機能

↓

ハンドジェスチャーで現地の湧水や剥落箇所のマーキングできるため、正確な点検調書を作成できる。



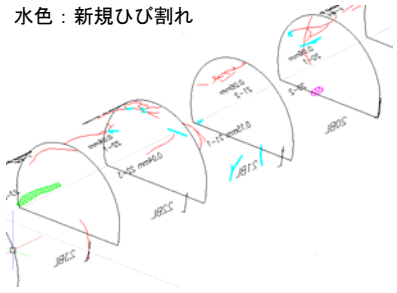
コメント貼付け機能

↓

ハンドジェスチャーで現地の不具合を文字や音声で残すことができるため、点検結果を引き継げる。

KONOIKE

水色：新規ひび割れ



3次元ひび割れ展開図

水色：新規ひび割れ

22-2 0.04mm		
0.04mm 22-1	0.06mm 21-2	0.06mm 20-1
22-3 0.04mm	21-1 0.15mm	20-2
22BL	21BL	20BL

2次元ひび割れ展開図

↓

作図機能で作成した不具合を展開図として残すことができるため、点検調書の作成効率が向上する。

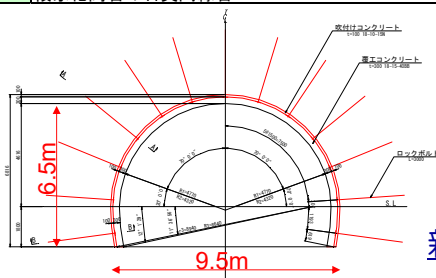
3. 現場実証試験

KONOIKE

3.1 現場実証試験の概要

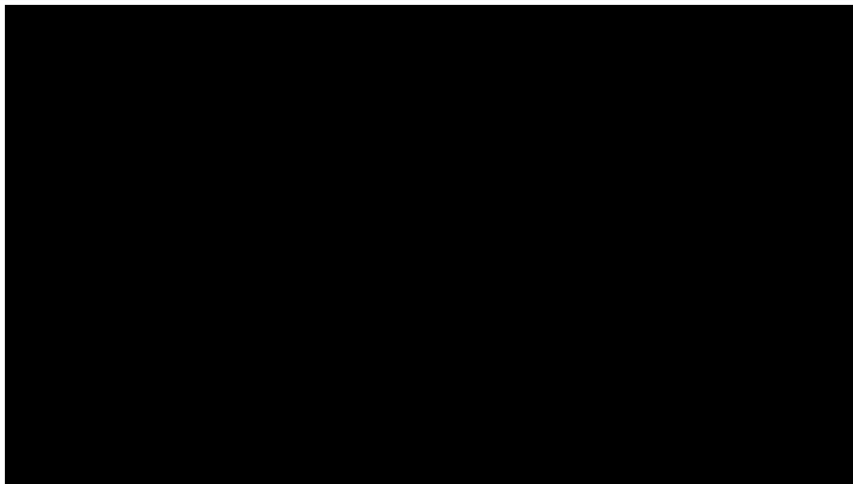
トンネル現場において、トンネルMRで映し出す映像や作図機能の視認性や動作性、システム精度の確認を行い、実用化への課題を抽出

名称	国道371号(仮称 新紀見トンネル)道路改良工事
発注者	和歌山県
施工者	鴻池組・三友工業・藤平組 共同企業体
場所	和歌山県橋本市柱本外地内
工期	2015年12月19日 ~ 2019年10月24日
工事概要	トンネル延長2105m、NATM、内空断面積51~71m ² 機械掘削区間301m、発破掘削区間1804m 地質: 和泉層群の砂岩、礫岩、泥岩、砂岩泥岩互層、 領家花崗岩の石英閃緑岩



新紀見トンネルの概要

KONOIKE

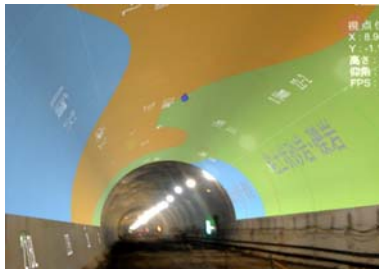


トンネルMR 現場実証試験ビデオ

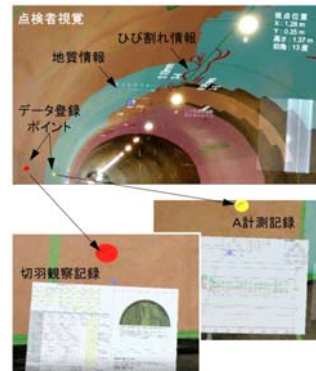
3.2 システムの視認性と動作性の確認

①視認性

- トンネル坑内の20~30ルクス程度の暗い照度条件下においても鮮明に視認できることを確認。
- 特徴点の少ない覆工表面において、自己位置を特定しながら複数のホログラムを重畳でき、点検者の動きや移動に対して映像に大きなずれが生じないことを確認。



地質展開図表示例
(移動時にスムーズに追隨)



点検者がデータ登録ポイントに近づくとハンズフリーで自動的にデータ表示

②動作性

- 深度センサーや環境認識センサーの認識距離となる3~5m離れた位置から作図できることを確認。
- SLAMにより3次元メッシュデータが構築されれば、5m以上離れた位置からも作図できることを確認。



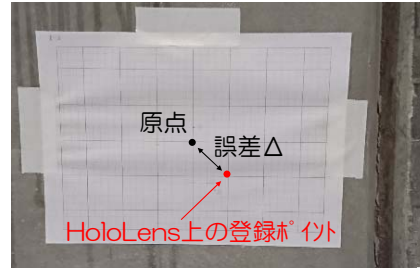
3.3 システム精度の確認

① 検証方法

- 側壁部と底盤部に10mピッチで方眼紙を設置
- トンネルMRの作図機能を使用して、原点に登録ポイントを設置
- 点検者が30m移動した際の登録ポイントのずれた距離を検証



表示精度検証用 方眼紙 設置位置



表示精度検証用 方眼紙

② 検証結果

側壁部の精度 (YZ方向)

測点	L-1			L-2			L-3			L-4			
坑内距離	0m			10m			20m			30m			
誤差 (mm)	方向	Y	Z	Δ	Y	Z	Δ	Y	Z	Δ	Y	Z	Δ
1回目	Y	8	0	8	0	0	0	-15	-5	18	-15	0	15
	Z	-32	-25	41	-40	-20	45	-50	5	50	-50	0	50
Δ最大値(mm)		41			45			50			50		

測点	R-1			R-2			R-3			R-4			
坑内距離	0m			10m			20m			30m			
誤差 (mm)	方向	Y	Z	Δ	Y	Z	Δ	Y	Z	Δ	Y	Z	Δ
1回目	Y	-40	10	41	-20	10	22	0	20	20	10	10	14
	Z	0	-20	20	5	-20	21	15	-10	18	20	0	20
Δ最大値(mm)		41			22			20			20		

底盤部の精度 (XY方向)

測点	LD-1			LD-2			LD-3			LD-4			
坑内距離	0m			10m			20m			30m			
誤差 (mm)	方向	X	Y	Δ	X	Y	Δ	X	Y	Δ	X	Y	Δ
1回目	X	-30	40	50	0	15	15	15	20	25	25	20	32
	Y	10	30	32	5	30	30	15	20	25	38	20	43
Δ最大値(mm)		50			30			25			43		

測点	RD-1			RD-2			RD-3			RD-4			
坑内距離	0m			10m			20m			30m			
誤差 (mm)	方向	X	Y	Δ	X	Y	Δ	X	Y	Δ	X	Y	Δ
1回目	X	5	-5	7	-10	-2	10	10	-10	14	35	-10	36
	Y	7	-5	8	-15	8	17	10	0	10	20	5	21
Δ最大値(mm)		8			17			14			36		

- 30m移動時の表示精度：8~50mm程度 (0.2%程度)
- 表示精度と、位置や高さとの相関性や規則性は認められない。



表示精度を上げるためにはHoloLensの情報処理能力の向上が課題

3.4 トンネルMRに期待される導入効果 KONOIKE

- ① 3次元モデルを実構造物に投射することでひび割れ進展状況やトンネル変状箇所を容易に確認でき、**点検漏れを防止**できる。
- ② 設計寸法や排水工などの3次元モデルを現地に投射できるため、**補強工実施時の支障物への損傷を防止**できる。
- ③ 作図機能により現地で維持管理データを追加・更新することで、**点検調書の作成効率が向上**する。
- ④ 維持管理業務だけでなく、トンネル工事や明かり工事などの施工管理、品質管理や出来形管理に活用することで、**土木工事全般の施工効率が向上**する。

4. 今後の開発について KONOIKE

- トンネルMRの**情報処理能力の向上**や**TSとの連携**により、**画像投影精度を向上**することで、**建設工事における様々な業務で効率化や省力化を図る**。

GyroEye Holo TS+ (オプション) GyroEye Viewer Holo

自動追尾

連携

Microsoft HoloLens

- トンネルMRに、**MMSなどのトンネル点検車両で取得した3次元ひび割れ展開図の活用**や**AIによるひび割れ自動抽出技術の導入**により、**高精度な点検や評価の効率化を図る**。

高精度レーザーキャナ LEDライトカメラ

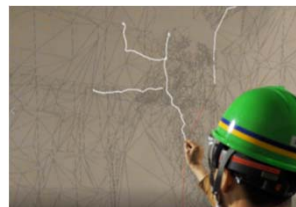
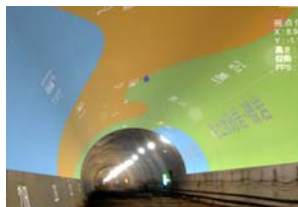
ひび割れ点検支援システム (AI学習分析)

撮影画像 処理結果 自動抽出画像

KONOIKE

MR技術を活用したトンネル維持管理システムの開発

— トンネルMR —



ご静聴ありがとうございました。

鴻池組 技術戦略部 若林 宏彰