

# 平成27年度 次世代社会インフラ用ロボット（トンネル維持管理用詳細版）

No.	技術名称	応募者	共同開発者	ページ
(実用検証技術)				
1	画像から抽出したクラック分析による浮き、はく離の検知技術	(株)アルファ・プロダクト	大阪工業大学 情報科学部	1-2
2	走行型高精度画像計測システム(トンネルトレーサー)	中外テクノス(株)		3-6
3	車両走行型トンネル点検システムMMSD™	三菱電機(株)		7
4	MMSIによるトンネル点検支援技術	(株)アスコ		8
5	デジカメ画像と赤外線熱画像を用いた画像診断システム「HIVIDAS(ヒビダス)」	清水建設(株)	(株)保全工学研究所 倉敷紡績(株)	9
6	ボール型打音検査機	日本電気(株)	自律制御システム研究所 産業技術総合研究所 首都高速道路技術センター	10
7	トンネル覆工レーザー・赤外線画像計測システム	日本工営(株)	(株)トノックス (株)ウォールナット	11-13
8	走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM-R(ミーム・アール)	パシフィックコンサルタンツ(株)	計測検査(株) システムリサーチ(株) (株)ウォールナット	14-17
9	高精度トンネル覆工計測装置	西日本高速道路エンジニアリング四国(株)		18-20
10	トンネル覆工コンクリート調査システム	三井造船(株)	(株)トノックス	21-23
11	インフラ点検システム	沖電気工業(株)	大日本コンサルタント(株)	24-25
(要素検証技術)				
12	ハンディひび割れ検出装置	東急建設(株)	(株)小川優機製作所	26
13	打音点検用飛行ロボットシステム	日本電気(株)	自律制御システム研究所 産業技術総合研究所 首都高速道路技術センター	27

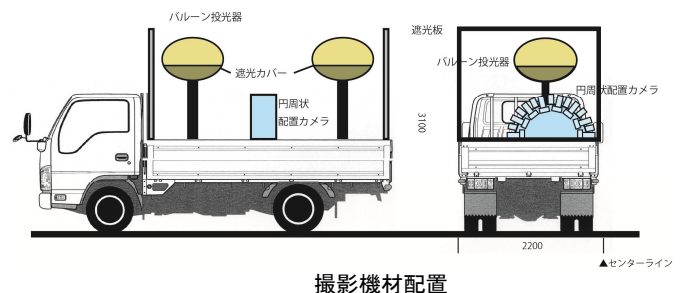
## 画像から抽出したクラック分析による浮き、はく離の検知技術

— 1

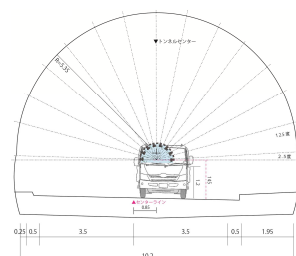
～ 近接目視の支援技術の現場検証 ～

応募者：株式会社アルファ・プロダクト  
共同開発者：小堀研一(大阪工業大学 情報科学部 教授)

### [写真・イメージ]



撮影機材配置



撮影角度



撮影用機材 (FOCUS-T)

### [概要]

道路トンネルは5年に1度の定期点検が義務付けられ、点検技術の効率化・精度向上が急務となっている。そこで、近接目視点検のスケッチ作業を効率化するため、高精度デジタルカメラでトンネル覆工コンクリートの画像データを取得し、画像データから変状展開図を作成する。これにより、現場作業時間の短縮、変状展開図の作成時間短縮・精度向上を目指す。

また、画像データからひび割れを抽出し、近接目視時の確認漏れ等を補助する技術の実現も目指している。

### [特徴]

- トンネル覆工コンクリート全周の、長さ**0.8m**の画像データを**1回の撮影(約30秒)**で取得できる。
- 画像データを専用ソフトウェアで解析し、ひび割れの幅と長さを**0.2mm単位**で自動抽出できる。
- 画像データとして保存し、ひび割れの抽出も自動のため、記入漏れや誤計測等の**人為的ミスが発生しない**。
- ひび割れの**正確な分布が確認できる**ため、コンクリートの**浮き箇所**や**ひび割れ発生原因を推定**できる。
- 漏水・はく離の確認や**経年変化の確認も容易**に行える。

## 画像から抽出したクラック分析による浮き、はく離の検知技術

- 2

### [FOCUS-T 仕様]

#### ■ひび割れ抽出精度とトンネル半径

0.2mm精度 : 半径5.3~5.6m

0.3mm精度 : 半径5.6~10.0m (※大きなトンネル半径で精度を上げる場合は、カメラ台数を増加して対応)

#### ■撮影速度

6~7分/10m (片側車線の交通規制で、トンネル横断面を撮影)

#### ■得られるデータ

トンネル覆工コンクリートの高精細画像

0.2mmまたは0.3mm単位のクラックデータ(幅、長さ)

クラックデータおよび高精細画像からの浮き推定箇所、はく離の確定箇所

#### ■撮影使用機材

デジタルカメラ : Nikon D7100

ズームレンズ : Nikon AF-S DX NIKKOR 55-300mm f/4.5-5.6G ED VR

レーザーポインター(グリーン、レッド)

#### ■重量

約120kg(架台、撮影使用機材および電源装置を含む)

調査対象はトンネルだけではなく、橋脚や擁壁、ダム等も可能であり、その場合の撮影距離は最大70m程度である。

2

## 走行型高精細画像計測システム(トンネルレーザー)

- 1

～ トンネルの近接目視の支援ができる技術の現場検証 ～

応募者: 中外テクノス株式会社

### [概要]

民生用4Kビデオカメラを使用した高解像度の覆工面画像を取得するシステム。民生機を使用することで、装置全体をコンパクトにできる。カメラの配置により撮影範囲及び解像度を自在に変更でき、狭隘な水路トンネル等への対応が可能。

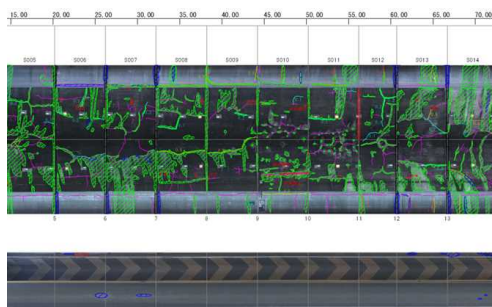
覆工表面を高い解像度で撮影することで、発生している変状を正確に記録する。交通規制なしで撮影ができ、50km/hの速度では0.3mm以上のひび割れを検知する。交通規制内の低速撮影では画像は近接点検時と同等の解像感のある高精細な画像が得られ、覆工面の状態をより正確に記録することができる。

### [写真・イメージ]



### [特徴]

- ▶ トンネル覆工面、路面に発生した変状を交通規制なしで撮影することで、0.3mm以上のひび割れや遊離石灰、漏水などの変状の発生状況を正確に記録できる。
- ▶ 低速走行(歩行速度程度)で撮影を行うことにより0.1mmのひび割れや、近接目視と同程度の感覚で画像から変状を読み取ることができる。
- ▶ 0.8tonトラックに搭載しているため小型で、山間部等の狭隘トンネルでの撮影も可能。
- ▶ 民生ビデオカメラを組合せたシステムであり製作費を安価に抑えられることから、装置損料等を安く設定できる。また、故障による交換や高性能な新製品への更新が容易である。



成果品例



4Kビデオカメラ



## 走行型高精細画像計測システム(トンネルトレーサー)

- 2

## 《説明》

4Kカメラ(解像度3840×2160)を使用することで従来のフルハイビジョンカメラ(解像度1920×1080)の2倍の解像度で撮影できます。

トンネル断面図よりカメラ配置を決定し、道路外でカメラの調整を行うため交通規制なしで撮影が可能です。

撮影画像は静止画に変換し結合処理を行った後、専用ソフトで変状の確認を行い、CADデータを出力します。



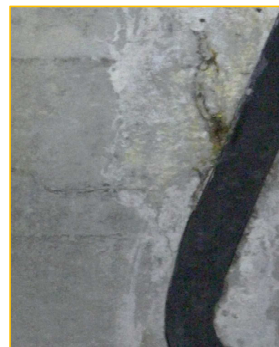
LED照明点灯状況



4Kカメラ11台とLED照明52台使用



装置全景



画像拡大



4K画像での作成例(撮影速度30km/h)

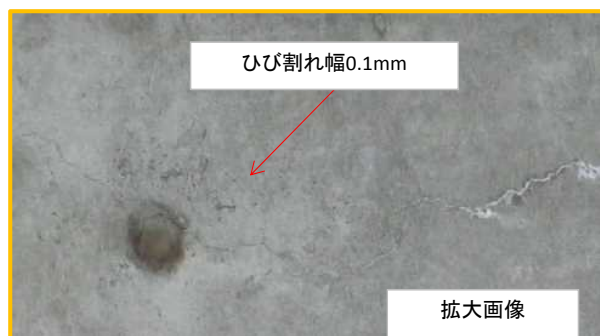
4

## 走行型高精細画像計測システム(トンネルトレーサー)

- 3

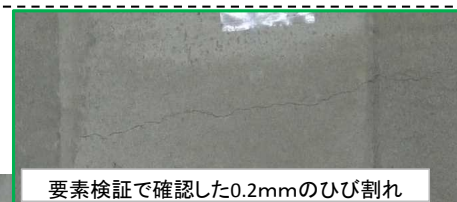
## 《説明》

\* 4Kビデオカメラを低速走行で撮影することにより、4K本来の高精細画質で撮影することができます。ひび割れや遊離石灰、漏水等の変状やアンカーボルト等の状態を、より正確に記録し、観察すること可能です。

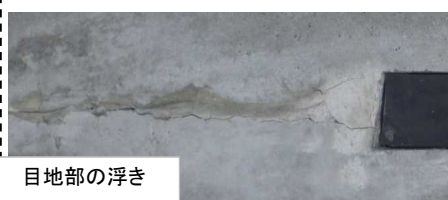


ひび割れ幅0.1mm

拡大画像

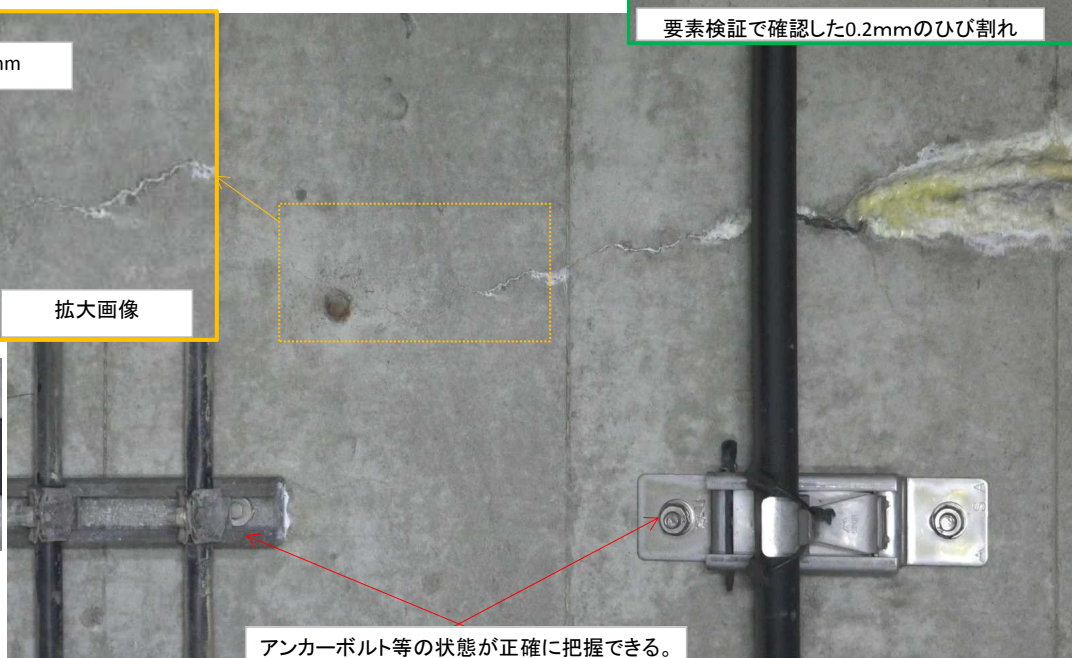


要素検証で確認した0.2mmのひび割れ



目地部の浮き

画像から浮きの可能性がある箇所の判定が容易になる



アンカーボルト等の状態が正確に把握できる。

撮影速度2~3km/hで撮影した4Kカメラの画像

5

## 走行型高精細画像計測システム(トンネルレーザー)

- 4

## 《説明》

\* 小型の台車にカメラを取り付けて歩道トンネル等の撮影も可能。分解するとφ600mmのマンホールからの搬入も可能となり水路トンネル等の撮影も可能となる。(写真は旧型のハイビジョンカメラにHID照明を使用したもの)

\* 照明とカメラだけで撮影できるため様々な断面形状に対応できます。



\* 照明LEDで、バッテリーを電源とするため、低騒音、低振動で高画質の撮影ができる。

## 採用実績

道路トンネル	高速道路	5本	6,226m	
	一般道路	119本	52,000m	
水路トンネル		3本	2,344m	
下水道幹線		2本	8,320m	
工場内施設	給電ピット	1本	992m	
	合計	130本	69,882m	(H27.3.31現在)

6

## 車両走行型トンネル点検システムMMSD™

～ 高精度MMSレーザー計測 + 高精細カメラ画像撮影の現場検証 ～

応募者: 三菱電機株式会社

## [概要]

トンネルにおいて、覆工、坑門等に発生した変状に対して、近接目視の支援を目的として以下の検証を行なう。

- ① 高精度レーザーを用いてトンネル覆工面の形状変化を計測
- ② 高精細カメラを用いてトンネル覆工面の変状を撮影。
- ③ 三次元形状と高精細画像から認識した変状の正確な三次元位置を記録し、変状展開図を作成。
- ④ 変状展開図から詳細点検が必要な箇所を絞り込む。

## [写真・イメージ]



## [特徴]

- **走行しながら**、自動で高精度に**三次元計測**
  - ✓ **通行規制が不要**となり、短時間で三次元計測が可能
  - ✓ 構造物や設備の**微小な経年変化**の正確な計測が可能
  - ✓ これまで人力(目視)に頼っていた点検・計測作業の自動・省力化を実現し、**作業のばらつき防止**と**技術者不足を解決**
- **高精度壁面カメラ**と**高精度解析**技術の開発により、**変状識別を自動化**
- **舗装調査**の同時実施が可能  
(ひび割れ、わだち掘れ、縦断凹凸)
- **道路付帯物計測**の自動化(台帳作成、変状計測、三次元CAD化)等、**トンネル点検業務以外への活用**が可能  
(三次元データの有効活用)

7



## MMSによるトンネル点検支援技術

～ MMSによるスケッチ走行で効率的な変状展開図の作成を支援する技術 ～

応募者：株式会社アスコ

## [概要]

MMSに搭載したレーザーによって覆工に描かれたチョークの記録を正確に捕捉し変状展開図の作成を支援する技術。従来にない高密度なレーザスキャンと世界最高水準の精度を持つGNSS/IMUを使って得た覆工上の点群を、そのまま白黒画像のように展開することで三次元化処理やオルソ画像の作成などを省いて、より素早く高精度に変状展開図が作成できる。これによって現場での変状記録者は不要となると同時に高精度な変状位置の記録が可能となる。

## [特徴]

- あくまで変状展開図の作成を支援するもので、近接目視点検自体は前提としている。
- 現場記録の時間が短縮されるため、全体として**現場作業時間の短縮、点検の日進量の増加**が可能。
- 近接目視点検の最終工程で実施する。**高密度MMS**による走行速度は**時速15km/h**とし、走査ラインを**2cm間隔**で取得。
- 取得した点群データを**展開画像**としCAD上でトレースすることで**効率良く高精度な変状展開図**を作成可能。
- ひび割れ幅については、これを補足するものではないので、近接目視点検時に、覆工上に記載されているものとする。

## [写真・イメージ]

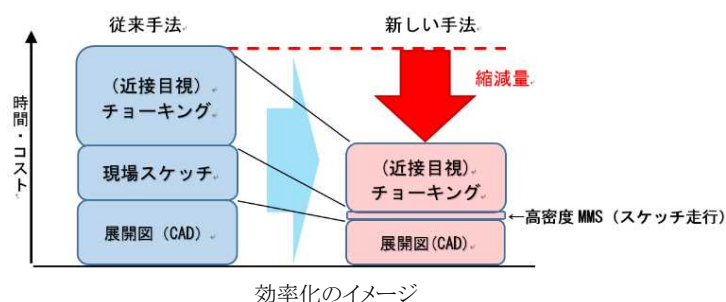


レーザークラス：1  
最大距離：119m  
回転数：200/秒  
照射数：100万点/秒×2台  
スキャン精度：1mm以下



点群取得イメージ

使用する機器 (MMS)



効率化のイメージ

問い合わせ先： 株式会社アスコ インノベーション室 楠本 Tel:06-6282-0310 Mail: h-kusumoto@asco-ce.co.jp

8

## デジカメ画像と赤外線熱画像を用いた画像診断システム「HIVIDAS(ヒビダス)」

～ 近接目視支援ができる技術の現場検証 ～

応募者：清水建設株式会社

共同開発者：株式会社保全工学研究所、倉敷紡績株式会社

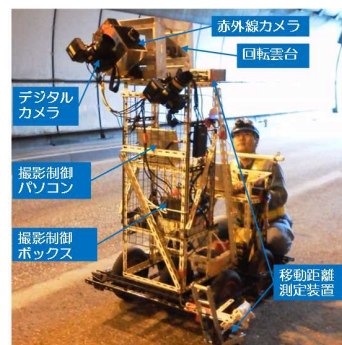
## [概要]

本技術は、デジタルカメラによる可視画像と赤外線カメラによる熱画像を同時に連続して撮影し、画像処理ソフトにより重ね合わせたハイブリッド画像を接合して、ひび割れや浮き等の変状を効率的に抽出・図化するシステムである。装置は、移動式架台に、デジタルカメラと赤外線カメラ等を搭載したものでコンパクトであり、人力で運搬・組立・撮影ができる。

## [特徴]

- 点検箇所全体の**可視画像**および**赤外線熱画像**を効率的に撮影し、**それらの画像から変状を抽出・図化**する方法により**点検の支援**ができる。
- トンネル**覆工表面を地上から撮影する方式**のため近接目視の**規制時間が短縮され交通阻害をより小さく**ことができ、また、**トンネル利用者、点検作業員の安全が確保**される。
- ひび割れは、可視画像から**幅0.2mm以上**が検出でき、**幅と長さを自動的にトレース**できるため、ひび割れの**判定に必要な情報を得る**ことができる。
- トンネル**変状の把握、評価は、画像解析による**ため、点検員の個人差が無く**ばらつきが減少**する。
- 展開画像から**変状部の検出と変状部の画像を出力**できるため、記録や整理に掛かる**費用や手間が削減**できる。

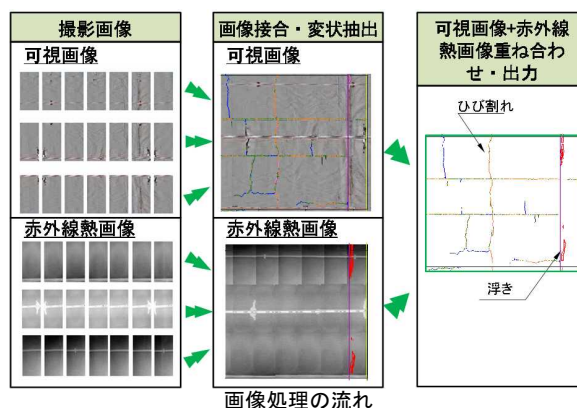
## [写真・イメージ]



撮影装置の全景



撮影装置機材



画像処理の流れ

問い合わせ先： 清水建設株式会社土木技術本部基盤技術部 久保 昌史 Tel:03-3561-3915 Mail:kubo.m@shimz.co.jp

9

## ポール型打音検査機

### ～ポール型打音機を利用した打音点検の実用技術検証～

#### 【概要】

手の届かない高さの打音点検箇所を足場なしでポール型打音検査機を利用して打音点検をするシステムである。

点検員が打音点検すべき箇所を判断し、その箇所にポール型打音検査機のセンサヘッド部を押し当て、打音手点検を実施。打音した際の清音・濁音の判断が可能な音声データを点検員に伝送する。

試験体をポール型打音検査機で打音し打音異常マップを作成した。人手による打音点検と同等の点検ができることを確認した。

#### 【特徴】

- 6mまでの高さの打音点検を足場を利用せずに実施可能。
- センサヘッド部が打音した際の音声データを清音・濁音の判断ができる品質で点検員に伝送し聴音させる。
- センサヘッド部に搭載したカメラで変状箇所を記録可能。



応募者：日本電気(株)

共同開発者：自律制御システム研究所、産業技術総合研究所、首都高速道路技術センター

#### 【写真・イメージ】



問い合わせ先：日本電気株式会社 電波・誘導事業部 誘導・観測システム部 Tel:042(333)1148 Mail: window@geo.fc.nec.co.jp

10

## トンネル覆工レーザー・赤外線画像計測システム

- 1

### ～トンネル覆工表面計測の現場検証～

#### 【概要】

本技術は、2つの画像計測技術を組み合わせ、トンネル覆工点検の効率化・高速化を図る。画像計測は両技術とも時速40～60kmで交通規制なしで実施可能なものを目指す。

①レーザー・スキャニング方式により覆工表面のひび割れ等の目視調査で確認可能な変状について画像記録を行うもので、開発済みである。

②赤外線サーモグラフィ技術により覆工表面の温度画像を撮影し、自然状態で生じる温度差から覆工コンクリートの剥離箇所を抽出しようとするもので開発中の技術である。

#### 【特徴】

##### レーザー計測（開発済み）

- 60km/hで走行しながら覆工表面画像が取得できる。
- 計測に当たっては、通行規制の必要が無い。
- フライングスポット法あるいは同軸法での画像取得が選択可能。
- 画像の読み取り精度は画像取得時の条件によるが、最小0.2mm幅程度のひび割れまで抽出できる。

##### 熱赤外線画像計測（開発中）

- 20km/hで走行しながら熱赤外線画像が取得できる。
- 熱赤外線画像から、浅い深度のはく離や空隙が抽出できる。
- 外部から温度変化を与えることによって、はく離・空隙の抽出精度向上を目指す。

#### 【前回からの改良点】

- レーザ光の反射光検出センサアンプの感度を非線形式に改良し、画像の白飛びを抑制することによりひび割れ抽出精度向上を図った。
- 覆工に水ミストを噴霧することによって温度変化を与え、はく離・空隙の抽出精度向上を図った。

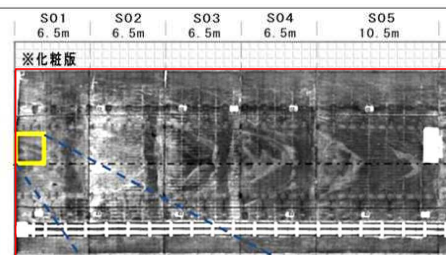
応募者：日本工営株式会社

共同開発者：株式会社トノックス・株式会社ウォールナット

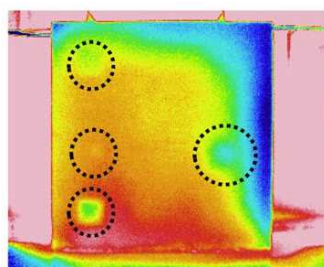
#### 【写真・イメージ】



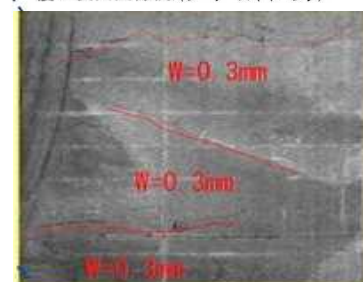
レーザー計測車 (TC2)



覆工表面画像例 (レーザー・スキャニング)



模擬供試体熱赤外線画像 (空洞抽出例)



ひび割れの抽出例

問い合わせ先：日本工営株式会社 アセットマネジメント技術部 (担当:中村) Tel:03-3238-8110 Mail:a2461@n-koei.co.jp

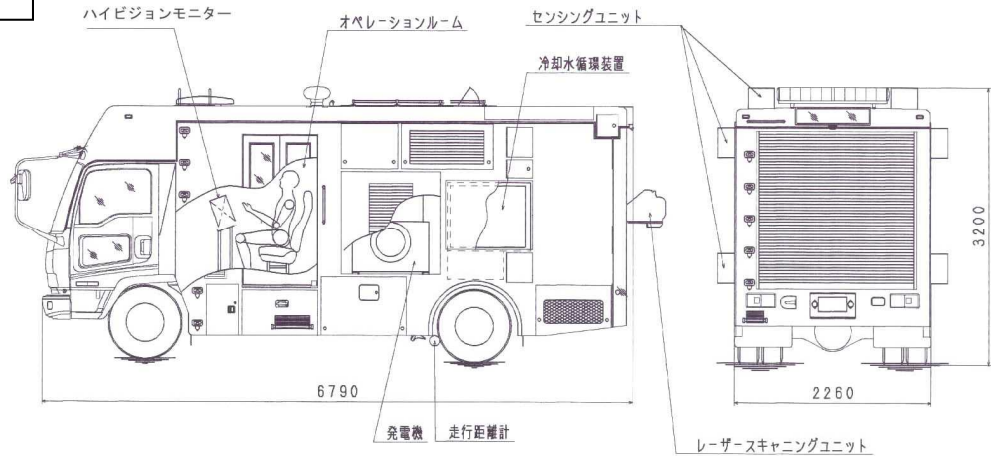
11



トンネル覆エレーザ・赤外線画像計測システム

ー2

レーザー計測車



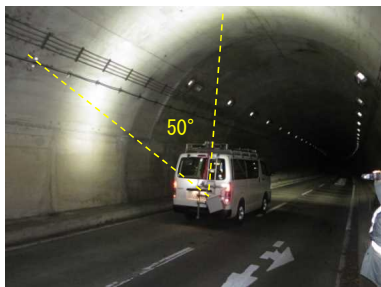
名称		仕様
計測車輛	寸法	全長6.79m×全幅2.26m×全高3.20m
	重量	7.63t
計測速度		60km/h (最高)
使用レーザー		Arイオンガスレーザー
データ記録速度		30MB/sec
乗車定員		5人
登録車名		道路維持作業用自動車 (回転灯付)

トンネル覆エレーザ・赤外線画像計測システム

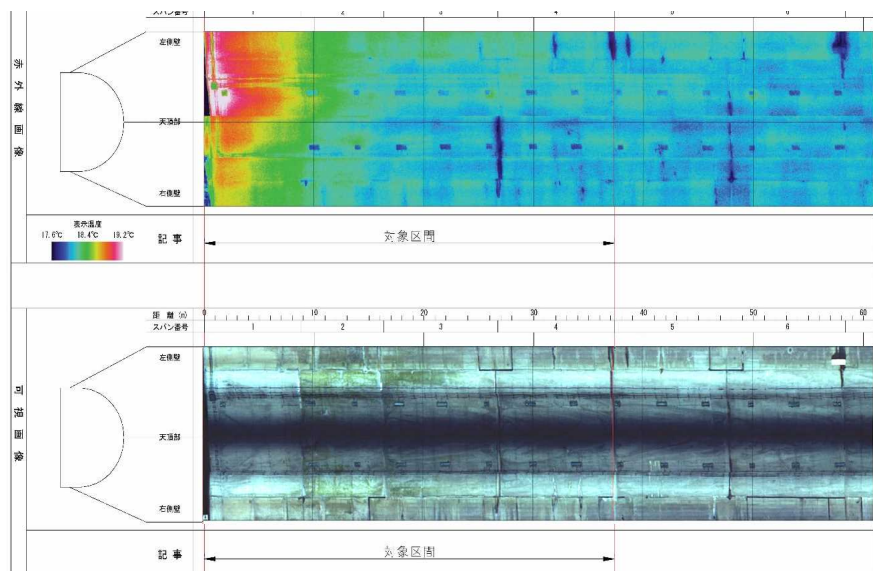
ー3

熱赤外線連続撮影

熱赤外線画像撮影は、ライン連続スキャン方式により実施し、調査の効率化と精度の確保を実現している。



熱赤外線連続撮影状況



熱赤外線画像展開図(上:熱赤外線画像,下:可視画像)

赤外線カメラ仕様

項目	仕様
温度測定範囲	-50℃～2000℃ (レンジ切替による)
最小検知温度差	0.05℃
測定精度	±0.6% (レンジフルスケール)
測定波長	8～13μm
視野角	50° (約4m)
画像データ画素数	256ドット/ライン
使用温度	0℃～40℃
外形寸法	182(幅)×144(高)×228(奥)mm
重量	約0.4kg

可視画像カメラ仕様

項目	仕様
撮影方式	単板3CCDライン方式
視野角	50° (約4m)
画像データ階調	RGB各256階調
画像データ画素数	標準280ドット/ライン
使用温度	0℃～40℃
外形寸法	70(幅)×60(高)×106(奥)mm(レンズ含まず)
重量	約0.4kg

撮影仕様

項目	仕様
計測分解能	最小1cmピッチ
撮影速度	1～60km/h (計測ピッチ5cm時)
記録メディア	コンパクトフラッシュ及びHDC
連続計測距離	10km以上 (記録メディアによる)
同時撮影データ	・赤外線熱画像 ・側面可視画像

# 走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM-R(ミーム・アール)

- 1

トンネルにおいて、覆工、坑門等に発生した変状の全て、または一部に対して、近接目視の支援ができる技術・システムの現場検証

## 【概要】

トンネル覆工壁面の連続画像撮影システム、高精度三次元レーザー計測システム、非接触レーザー探査システムを車両に搭載し、覆工表面ひび割れ、漏水等の変状とトンネル断面形状、巻厚、背面空洞等を計測する。この技術を従来点検に併用支援することにより、トンネル点検を行うもので、交通規制が不要となるため安全性、効率性、省力化、省コスト化が図れる。

## 【特徴-1:基本要件に関する特性】

- ①画像、レーザー、レーザー計測システムを搭載した走行型計測車両により、変状を事前に抽出し、**近接目視や打音検査を支援**することができる。**正確な位置情報を得ることにより、変状展開図作成等の支援**ができる。
- ②走行計測による変状情報に加え、計測不能箇所やうき懸念箇所を**近接目視、打音検査時に確認**することにより、総合情報を得ることができる。
- ③時速50~70km/h程度で計測でき、**走行型計測時の交通規制が不要**。
- ④客観的な変状情報を事前取得することで、点検者によるバラツキを低減できる。変状展開図を作成し近接目視を行うことから、**点検時間を短縮し、点検全工程としての効率化を図**ることができる。要注意箇所の抽出により、近接目視、打音検査にかかる作業員を低減することができ、**トータル点検コストは従来の点検と同等程度**である(延長が長いほどコスト減)。
- ⑤対面交通では半断面計測により対向車への影響がなく、指向性の強いLED照明の使用により自歩道の利用者に対しても影響はない。レーザーは安全規格に合格した機器を使用しており安全性に対する問題はない。

## 【前回からの改良点】

- ①運用マニュアルの改訂  
現場環境、壁面、ひび割れに応じたカメラ設定(分解能、SS、照明配置)  
ひび割れ開口幅温度変化考慮(±0.2mm程度)、ひび割れ抽出法の変更
  - ②画像貼合ソフト、ひび割れ自動検出ソフトの開発
- 問い合わせ先: パシフィックコンサルタンツ株式会社 トンネル部 Tel:03-6777-4736 Mail: tn-mimm@ss.pacific.co.jp

応募者:パシフィックコンサルタンツ株式会社  
共同開発者:計測検査株式会社、システムリサーチ株式会社、株式会社ウォールナット

## 【写真・イメージ】

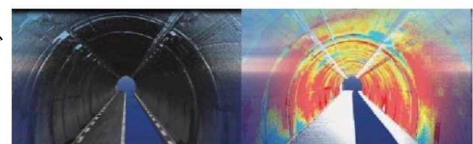


MIMM-R車両概要



高速走行非接触レーザーイメージ

## レーザー計測結果イメージ (点群、変状モード解析)



レーザー計測結果による点群データ(左)と変形モードコンター図(右)。赤色は内空側への変形を示している。

## 画像計測結果イメージ (3D展開画像、損傷図)



連続画像の貼り合わせ状況(左)と損傷マップ(右)覆工表面の変状を客観的に評価でき、進行性の把握に寄与できる。

14

# 走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM-R(ミーム・アール)

- 2

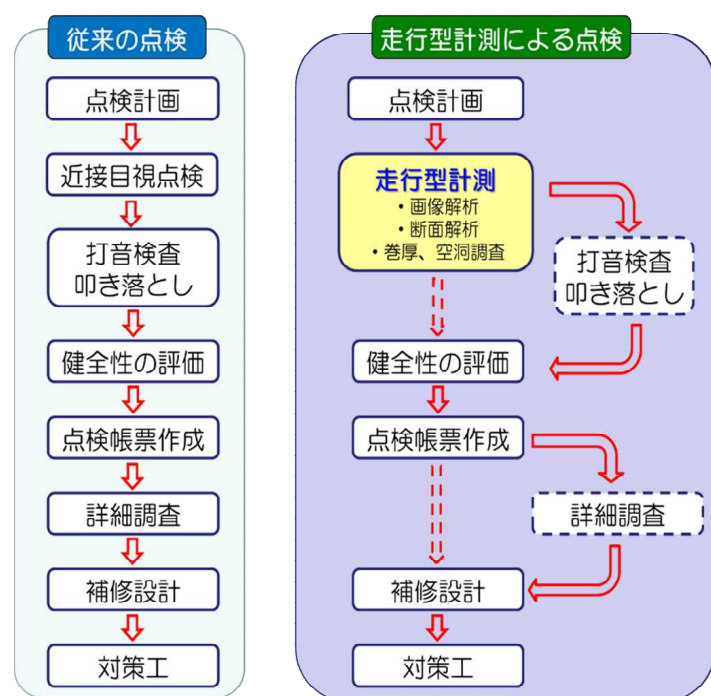
## 【特徴-2:応用技術の特性】

- ①変形モードを検知することで、**変状の原因を非破壊で推定**することができる。
- ②正確な変状展開図と断面計測より得られた変形モード解析より、**外力性か乾燥収縮による要因かなどの変状原因の推定および変状の進行性を把握**でき、**変状原因を考慮した健全性評価が可能**である。
- ③走行型レーザー探査システムにより天端部の巻厚不足箇所、背面空洞箇所の検出が可能である。
- ④変状に位置情報を持たせることで、**データベース化し、長期的な維持管理計画に活用**できる。
- ⑤レーザー計測しておけば、2度目からは差分をとることで**変位の進展の把握が客観的に可能**である。
- ⑥定期点検や緊急点検での活用、新設トンネルでの出来形管理や**初期情報の記録**など、汎用性は高い。

## 【適用上の留意点】

- ①高所作業車を使用せず、トンネル天端などの変状状況を確認できるが、車両高さが3.63mであるため、高さ制限のある現場での計測はできず、**死角となる箇所についても計測できない**。雨天等カメラシステムのレンズに水滴が付着するような現場では適用できない。**霧、湿度、結露、温度によるひび割れ幅変化**などの環境・現場条件を考慮して計測計画を立案する必要がある。
- ②**打音検査の代替とはならない**が、閉合ひび割れ、変色劣化、漏水等の客観的情報取得およびレーダによる巻厚不足、背面空洞箇所の把握により、重大な利用者被害を招く恐れのある箇所を事前抽出し、打音検査で確認することで効率化や省力化の向上が図れ、問題を早期に把握ができる。

## 【点検フロー図(従来点検との対比)】





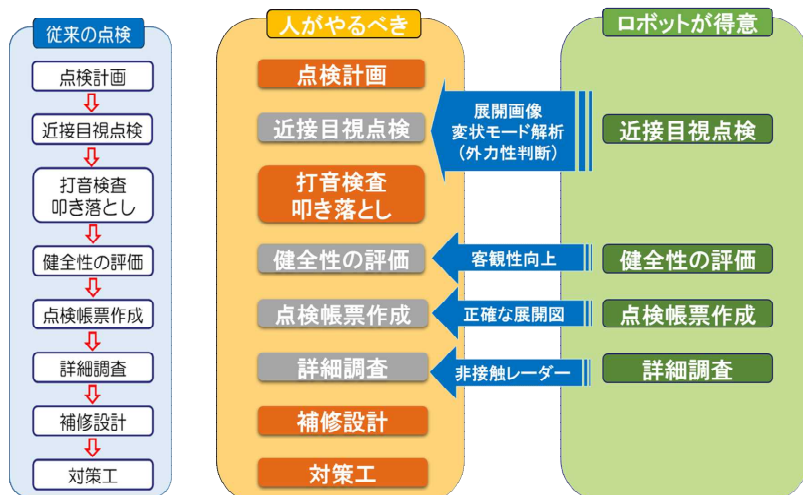
走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM-R(ミーム・アール)

— 3

【MIMM-Rの従来点検に対する支援内容】

- ・走行型計測の画像に基づき**変状展開図**を作成する。
- ・レーザー計測による点群データから**変形モード**を算出する。
- ・非接触レーザー探査から**巻厚不足、背面空洞の有無を解析**する。
- ・ひび割れ状況と変形モードから**外力作用の有無を確認**する。
- ・近接目視、打音検査を実施し、**変状展開図の修正確認**を行う。
- ・上記の結果に基づいて、総合的判断に基づく**トンネルの健全性を診断**する。

【ロボット化支援技術としての位置づけ】



【MIMM-R活用上のメリット】

① 点検の信頼性の向上

補修材のうき、豆板、ひび割れを画像から把握し、正確な変状展開図を作成し、打音検査によって叩き落とす。 ⇒ 管理瑕疵につながる利用者被害の防止

② トンネル覆工構造上の問題点の把握

覆工巻厚/背面空洞有無(MRS)や覆工形状(変形、表面変位)(MMS)を把握し、ひび割れ形状と合わせてトンネル構造上の問題となる箇所を検出し、健全性の診断を行う。 ⇒ 外力性変状の把握、計測計画、補修計画

③ 高品質かつ低コスト

計測結果の判定により近接目視、打音検査の要注意箇所を抽出することができるため、現地点検時の渋滞緩和、見落とし防止、点検作業の効率化が図れる。 ⇒ 点検時間短縮、作業員削減によるコスト削減

16

走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM-R(ミーム・アール)

— 4

【MIMM-Rの機能】

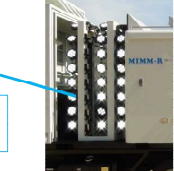
高密度レーザー (100万点/秒)

標準MMS: レーザー (車両前頭部)



覆工の3次元形状計測

道路周辺の3次元地形測量 全周20台ビデオカメラ

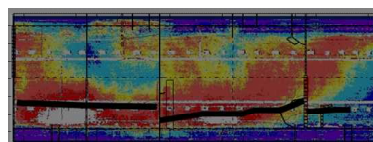


時速50~70km/hで走行しながら計測

巻厚と背面空洞探査

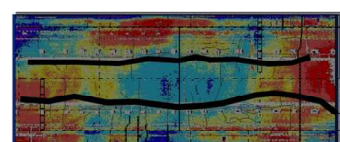
ひび割れ、変状を連続撮影

【レーザー計測による変状原因推定】



レーザ計測による変形モード

肩部の縦断ひび割れと変形モードが一致 ⇒ 外力(偏圧)



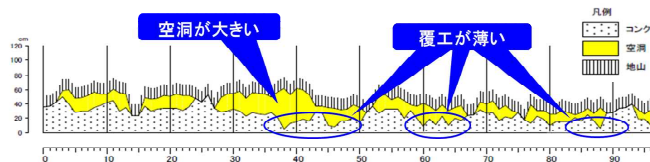
レーザ計測による変形モード

肩部の縦断ひび割れと変形モードが一致しない ⇒ 外力ではない (施工起因、乾燥収縮)

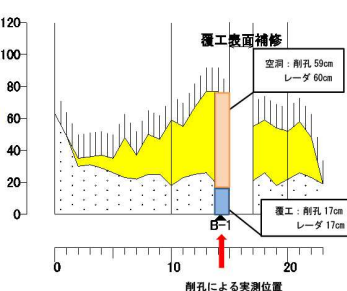
変形モードとひび割れ変状図を重ね、変状原因が推定できる。(例えば天端縦断ひび割れ → 外力か、乾燥収縮かがわかる)

【走行計測時のイメージ】

【高速走行非接触レーザーによる巻厚、背面空洞探査】



計測精度: ボーリング孔での実測値との比較 覆工厚、空洞厚 80~90%、探査深度50cm程度 速度: 50km/h以上、壁面とのレーザ離隔 3m程度



近接目視点検、打音検査時に併せてレーザー、レーザ計測を実施することにより、変状原因、巻厚不足、背面空洞を考慮した総合的な健全度診断ができる。

17

# 高精度トンネル覆工計測装置

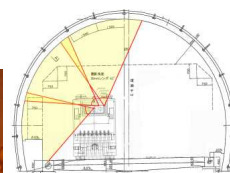
— 1

～ トンネル覆工表面状態および精密形状計測システムの現場検証 ～ 応募者: 西日本高速道路エンジニアリング四国(株)

## [概要]

カラーラインセンサーカメラによる高精細な可視画像撮像システムと、光切断法による3次元形状計測技術を併用して、覆工コンクリートの表面状態と形状を、同時に計測、解析する。これにより、覆工コンクリートのひび割れと、剥離の前兆である段差を検出し、コンクリート片が剥落する恐れのある箇所を非接触かつ定量的に検出する技術である。将来的に、現状のトンネルの損傷評価だけでなく、定期的に計測を行うことにより劣化進行を定量的に把握できる技術を目指している。

カラーラインセンサーカメラ 3台



可視画像撮影状況

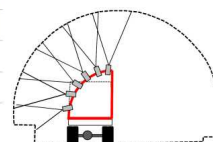


ひび割れ評価、損傷箇所抽出



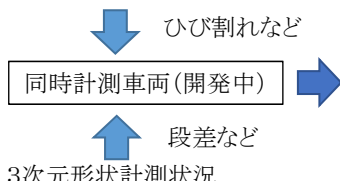
剥落危険箇所

3次元形状計測カメラ 6台



## [特徴]

- ▶ カラーラインセンサーカメラにより**高精細な可視画像**を撮影する。この画像を用いてより**定量的なひび割れ評価**が可能。
- ▶ 光切断法を用いた、**高精度の3次元形状計測**を行い、可視画像では把握できない覆工コンクリートの剥離の前兆であるコンクリート表面の段差を把握し、**剥落危険箇所を自動的に抽出**する。
- ▶ 上記の可視画像によるひび割れの進展と、段差の増加を定期的に取得することにより、**トンネルの劣化の進行を定量的に評価**することが可能となる。



## [前回からの改良点]

- ▶ 可視画像と形状の同時計測が可能となった。
- ▶ 局所的な損傷箇所の可視化技術の開発

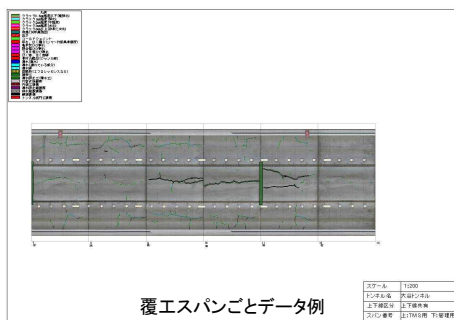
問い合わせ先: 西日本高速道路エンジニアリング四国(株) 土木技術課 林 Tel:087-834-2419 Mail:shogo.hayashi@w-e-shikoku.co.jp 18

# 高精度トンネル覆工計測装置

— 2

## [可視画像評価結果例]

可視画像の撮影結果を覆工スパン毎に取りまとめ、現状のひび割れの状況などを定量的に記録。



## ひび割れ検出精度検証結果

模擬トンネルにて検出可能なひび割れ幅を確認。

**0.2mm以上のひび割れを検出**

模擬トンネル状況



## 覆工展開写真

ひび割れ幅チョーキング箇所

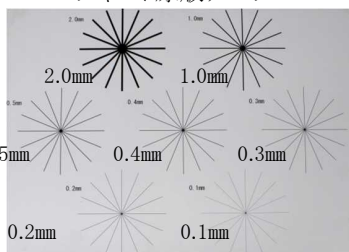
W=3.0mm W=0.25mm



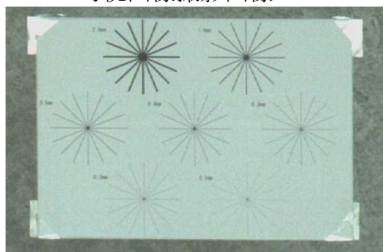
## チャートパネル撮影例

ひび割れ幅の基準となるチャートを撮影して認識できるひび割れ幅0.2mmを確認。

チャート原版データ



可視画像撮影画像



0.2mmのひび割れを十分検出可能

## 覆工コンクリート面ひび割れ撮影例

ひび割れ幅のチョーキングから検出。

ひび割れ幅 W=3.0mm

ひび割れ幅 W=0.25mm

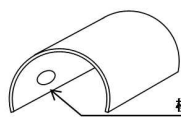




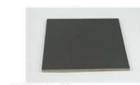
## 高精度トンネル覆工計測装置

### [形状計測精度検証結果]

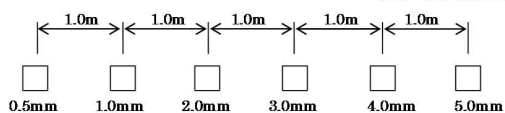
模擬トンネルに擬似段差を設置して、検出可能な段差量と検出精度を確認、**0.5mm以上の段差を自動検出**



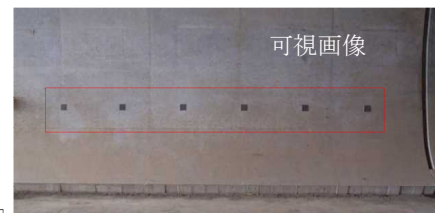
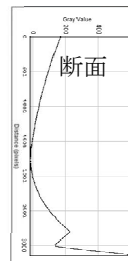
模擬段差設置エリア



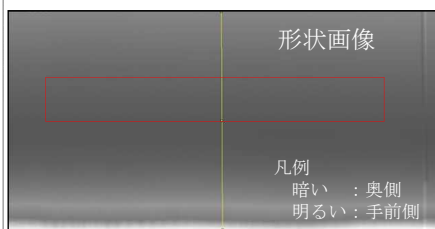
模擬段差  
□100×100mm  
厚さ 0.5~5.0mm



模擬段差設置状況



可視画像

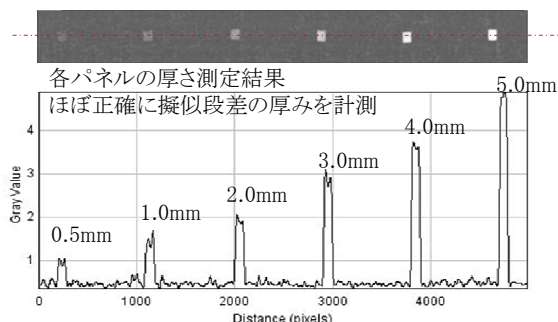


形状画像

凡例  
暗い：奥側  
明るい：手前側

### 形状計測結果

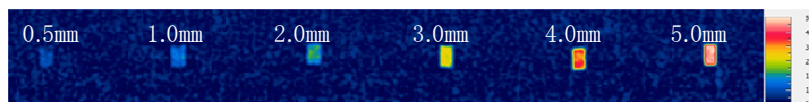
赤枠内の模擬段差(強調表示画像)



形状計測結果(模擬段差箇所の高さデータ)

### 段差の自動抽出結果

模擬段差箇所の段差量のカラースケール表示例



模擬段差箇所の段差の自動抽出例



0.5~1mmの段差=青、1~2mmの段差=黄、2mm~=赤表示

可視画像と形状画像の例

## トンネル覆工コンクリート調査システム

～電磁波レーダ及びレーザーによる覆工コンクリート変状調査の現場検証～

応募者：三井造船株式会社

共同開発者：株式会社トノックス

### [概要]

打音検査での検知が困難であった変状(空洞やジャンカなど)がマルチパスレーダ(MPLAレーダ)により3次元で映像化できるシステム。専用の支持装置を車両に搭載し、走行しながら連続計測が可能である。(最大速度3.5km/h)

また、計測データは表面撮影車(株トノックス製)で得た展開図データと統合が可能で、表面と内部状況を同時に把握することで総合的な判定・管理が可能である。

### [特徴]

- ▶ トンネル覆工内部調査(レーダ調査)
  - ・3次元映像化レーダ(MPLA)搭載、実際の状況に近いイメージで画像化
  - ・走行しながら計測幅1mの連続計測が可能(最大3.5km/h)
- ▶ トンネル覆工表面撮影(レーザー調査)
  - ・交通規制不要(最大60km/h)
  - ・計測速度高速化、計測機器調整自動化により現場での作業時間短縮
  - ・連続画像記録によりカメラ方式に比べ画像処理時間の短縮が可能
- ▶ データの統合
  - ・表面撮影データ(展開図)に覆工内部データの情報が表示可能。
  - ・表面と内部を組み合わせた確認による統合管理が可能となる。

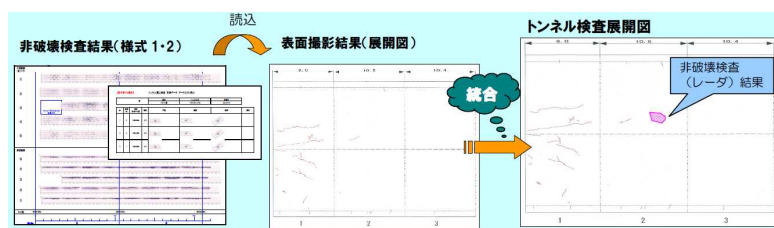
### [写真・イメージ]



トンネル覆工内部調査  
(レーダ計測)



トンネル覆工表面調査  
(レーザー計測)



データの統合管理例

### [前回からの改良点]

現場での統合データ出力(簡易解析) / 飛散物防止ネット設置(レーダ) / レーダ装置高分解能化

# トンネル覆工コンクリート調査システム

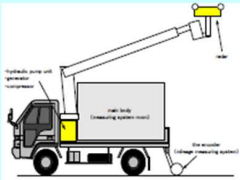
-2

## ○ トンネル覆工内部調査 (レーダ計測)

## ○ トンネル覆工表面調査 (レーザー計測)

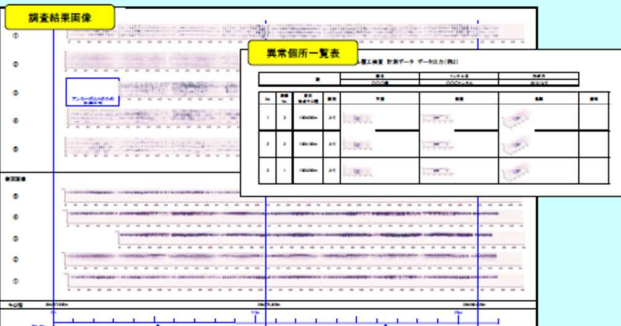
**計測システム**

- ① アンテナ搭載の専用支持アーム  
油圧アームによりトンネル壁面へアンテナを設置する専用アーム
- ② 計測、解析システム搭載  
専用解析システム搭載により現場での計測結果確認(簡易)が可能
- ③ レーザポイント装置  
計測位置(計測線)の固定により、正確な計測結果を得るための装置
- ④ 走行補助装置  
トンネルに沿って壁面から一定間隔で走行するための補助装置

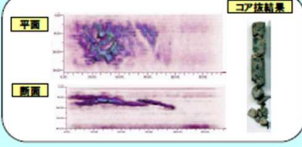


**調査結果例**

●調査結果画像、異常箇所一覧表  
計測データの解析結果(平面・断面図)の全体図と異常・変状箇所をまとめた一覧表



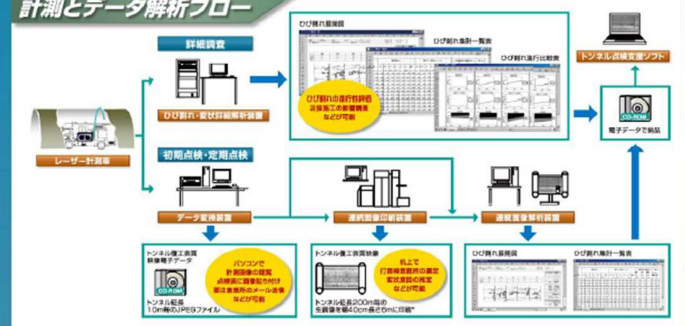
●解析結果 出力例 (異常部)



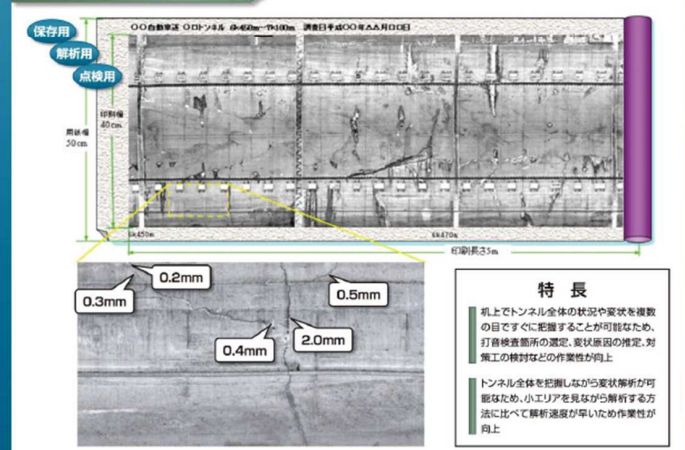
**MPLARレーダ (Multipass Linear Array Radar)の特長**

- データの3次元画像化が可能  
3次元画像化により調査結果の視認性が大幅に向上  
複雑のトンネル内部に近いイメージで表示認識可能
- 面計測が可能  
1回の計測で幅約100cmの面計測が可能
- 各種トンネル曲率に対応  
対象のトンネル曲率に合わせることで精度を向上

**計測とデータ解析フロー**



**トンネル覆工表面画像例**



**特長**

- 机上でトンネル全体の状況や変状を複数の目ですべて把握することが可能。打撃検査箇所の選定、変状箇所の特定、対策工の検討などの作業性が向上。
- トンネル全体を把握しながら変状箇所が可能なため、小エリアを見ながら解析する方法に比べて解析速度が早い。作業性が向上。

22

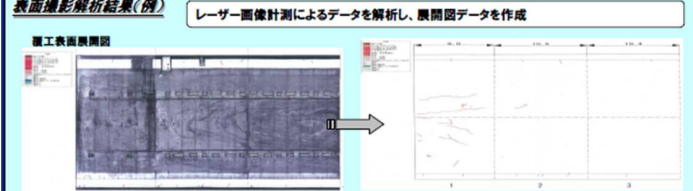
# トンネル覆工コンクリート調査システム

-3

## ○ データの統合


### トンネル覆工表面調査 (レーザー計測)

表面撮影解析結果(例) レーザ画像計測によるデータを解析し、展開図データを作成



### トンネル覆工内部調査 (レーダ計測)

非破壊検査結果(例) 3次元レーダ計測データの解析結果全体図(平面・断面)と異常箇所一覧表を作成

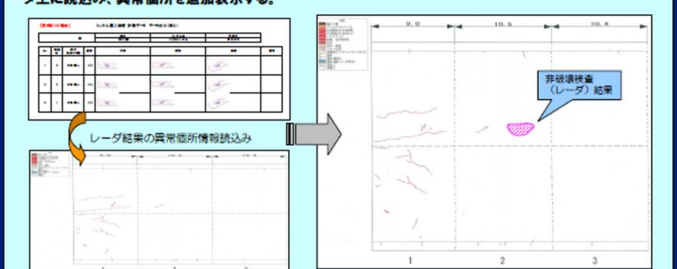


統合

### トンネル覆工検査展開図

**トンネル覆工検査展開図 NEW!**

非破壊(レーダ)調査の結果を、展開図作成専用ソフトで読み込み、トンネルキャッチャーで得た展開図データ上に読み込み、異常箇所を追加表示する。



●一括管理によりトンネル覆工検査データの総合的な確認・判断が可能  
表面撮影と非破壊検査(レーダ)それぞれのデータに加え、これらを統合したデータによる管理が可能。表面状況と内部状況を同一図面上で確認できるため、総合的な判断が容易になる。

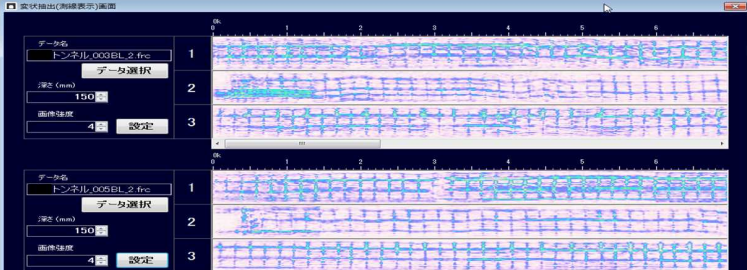
●電子データとして保存  
紙面のほか、パソコンで閲覧できる電子データの提供も可能

表面調査(レーザー計測)による展開図に内部調査(レーダ計測)情報を表示することで、総合的な確認・判断が容易になる。

## ○ その他/レーダ計測簡易解析による現場での活用

レーダ計測では、各計測線の計測終了後の簡易解析により、その場で変状箇所の把握が可能となる。従来点検箇所の選定など、点検作業の効率化が期待できる。

簡易解析データ表示例(計測終了後)



23



## インフラ点検システム

-1

～ 点検現場から事務所までの一連に係る業務を総合的に支援するシステム ～

応募者: 沖電気工業株式会社

共同開発者: 大日本コンサルタント株式会社

### [概要]

インフラ点検システムは、音響解析技術による打音検診から、打音の後工程である変状状況の把握(野帳記録、写真撮影)、報告書作成に至るまで、総合的に支援することが可能です。

現場での端末入力、変状展開図を中心に変状記録、スケッチ、写真が関連付けられ、後工程の煩雑な事務所作業を効率化します。

### [特徴]

- ▶ 打音検診の自動化により、トンネル壁面のうき、空洞の変状異常を判別でき、点検様式の作成または支援が可能です。
- ▶ 変状状況の記録が関連付けられ、健全性を判定するのに必要な情報が即座に検索可能です。
- ▶ 機械的に一定の打撃力で打音を行うことにより、作業者の熟練度によるバラツキ(打音強さや打音角度)を低減でき、かつ、確実な判定が可能となります。

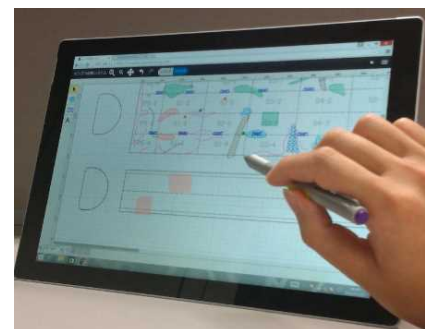
### [前回からの改良点]

- ▶ 音響解析の精度向上
- ▶ 打音機構の見直し、操作性の向上
- ▶ 点検様式や変状展開図の作成など、事務所作業が効率化

### [参考写真]



打音検診システム



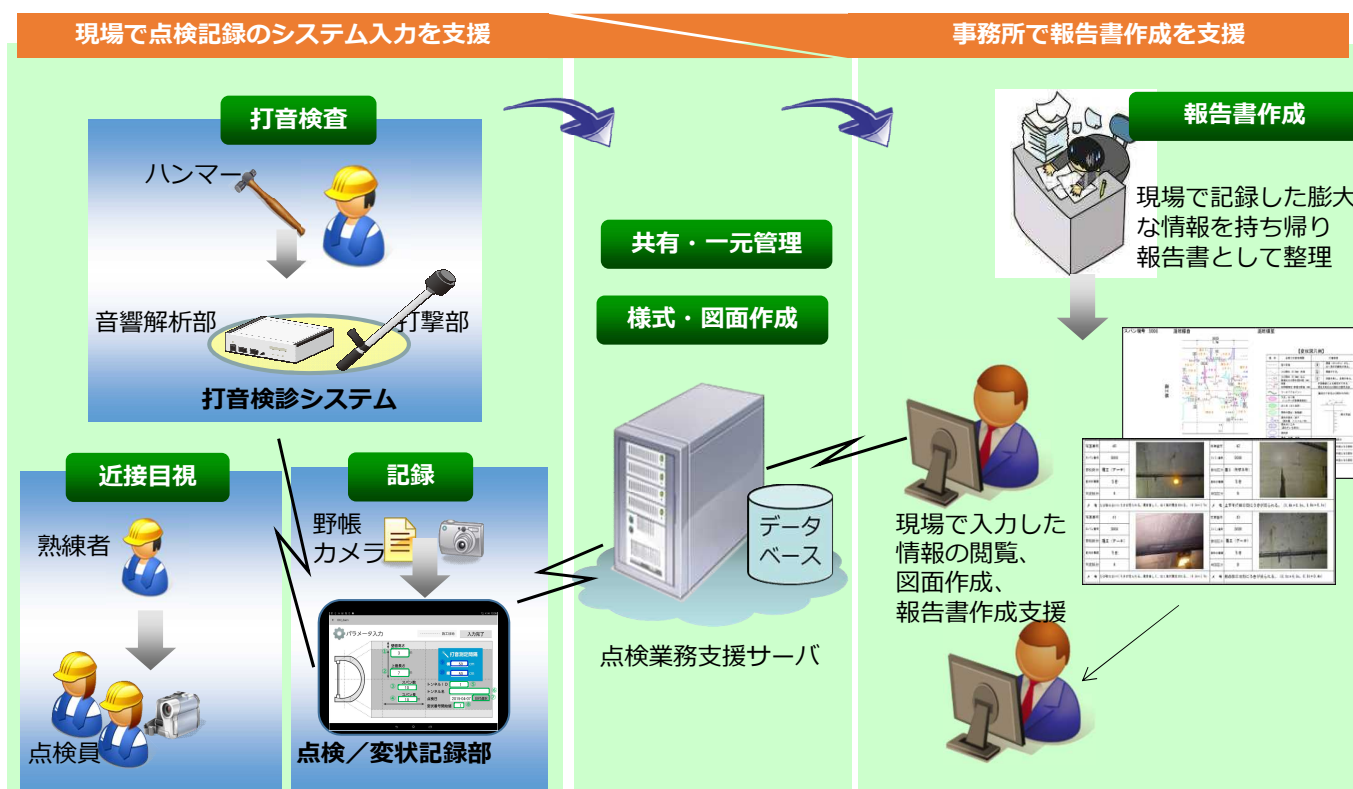
点検記録端末、変状記録端末

問い合わせ先: 沖電気工業株式会社 社会システム事業本部 交通・防災システム事業部 事業開拓チーム  
佐々木 武志 Tel: 03-3454-2111 Mail: sasaki802@oki.com

24

## インフラ点検システム

-2



25

## ハンディひび割れ検出装置

～誤検出が少ないひび割れ検出装置の現場検証～

応募者：東急建設株式会社  
共同開発者：株式会社小川優機製作所

### [概要]

撮影画像からひび割れを検出する従来方法では、汚れ等による誤検出という課題がありました。

本装置をコンクリート表面に手で押し当て移動(スキャン)させるとカラー画像と距離データが得られ、これらを併用したひび割れ検出方法により誤検出を減らします。

また、ひび割れ形状(幅、長さ、位置)が正確に得られるため、データ整理と変状展開図作成を省力化し、点検作業を支援します。

### [写真・イメージ]



使用状況



カラー画像



距離データ

### [特徴]

- カラー画像と距離データを用いてひび割れを検出するため、汚れ等による誤検出が少ない
- 分解能が高く(最高0.1mm)、外光の影響を受けにくい
- ひび割れ形状(幅、長さ、位置)が正確に得られる(ソフトウェア開発中)ため、データ整理と点検表作成の省力化が可能
- 距離データが得られるため段差等の変状が把握できる
- ハンディな装置のため従来の調査にも取り入れ易い

問い合わせ先： 東急建設 技術研究所 メカログループ 上野 隆雄 Tel: 042-763-9533 Mail: ueno.takao@tokyu-cnst.co.jp

26

## 打音点検用飛行ロボットシステム

～飛行ロボットを活用した打音点検の要素技術検証～

応募者：日本電気(株)

共同開発者：自律制御システム研究所、産業技術総合研究所、首都高速道路技術センター

### [概要]

足場を必要とする高所の点検箇所の打音点検支援をするシステムであり、ロボット操作員と点検員、安全確認員の3人により運用する。

### [特徴] ※開発中

- 6m以上の高さの打音点検を、高所作業車といった足場を利用せずに飛行ロボットを利用して打音点検をする。
- 打音点検箇所を探索するため、壁面に沿って一定の距離をあけて自律的な飛行制御をしつつ、画像データを収集する。
- 打音点検箇所に自律的な飛行制御で壁面へ打検機を押し当て、ロボット操作員の操作を容易にする。

### [昨年度からの改善点]

- 打音点検箇所の探索のための壁面に沿わせた飛行を、トータルステーションのロボット位置情報に基づき制御、ロボット操作員のコントローラ操作を容易化。
- 打検機を搭載した飛行ロボットの開発と、打検機を壁面に水平方向に押し当てる飛行制御の実現。

### [今後の開発課題]

- 打音可能箇所の拡大と確実な押し当て。
- ロータなどのノイズの除去により、清音・濁音が判別可能な品質の打音を点検員が聴音可能にする。

### [写真・イメージ]

#### ロボット操作員と点検員

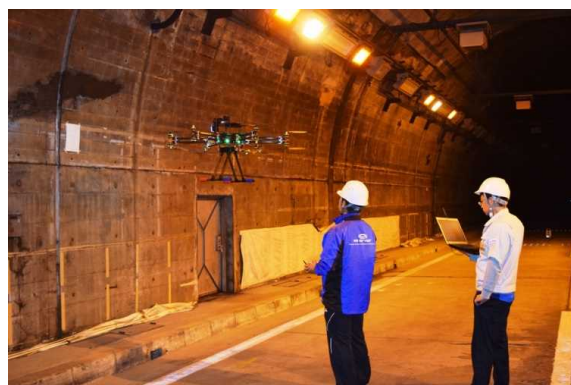


電源データ

#### 打音点検用飛行ロボット



#### 打音点検用飛行ロボットを使ったトンネル点検



問い合わせ先： 日本電気株式会社 電波・誘導事業部 誘導・観測システム部 Tel: 042(333)1148 Mail: window@geo.fc.nec.co.jp

27