



SIP「高速走行型非接触レーダーによるトンネル覆工の内部欠陥点検技術と統合型診断システム」

平成30年3月1日

パシフィックコンサルタンツ株式会社

Pacific Consultants

Producing The Future™

PRODUCING
THE FUTURE

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

1. 概要 走行型高速3D計測システムによるトンネル点検

画像、レーザ、レーダをフル活用し点検・診断を支援

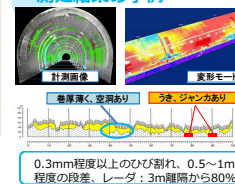
装置の外觀



- 技術分野: 点検(調査)技術
- 施設分野: トンネル
- 適用段階: 定期点検
- 共同開発者:
パシフィックコンサルタンツ
計測検査, ウォールナット



測定結果の事例



- 時速50~70km/hで走行しながら計測レーダは3m離隔、非接触型
- 画像から変状展開図、レーザ点群から変形モードを算出、非接触レーダ探査から巻厚不足、背面空洞の有無および内部欠陥を検出
- 従来点検時に併せて、画像、レーザ、レーダ計測を実施し、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を実施
- 走行計測は、これまでに1,000km以上実施

2



走行型高速3D計測システムによるインフラ点検・診断技術 — 画像、レーザ、レーダをフル活用し点検・診断を支援 —

走行型計測車両 MIMM-R

高密度レーザ(100万点/秒)

覆工の3次元形状計測
非接触空洞探査レーザ

標準MMS:レーザ
道路周辺の3次元地形測量
全周20台ビデオカメラ

非接触内部欠陥探査レーザ

TYPE1: 巻厚と背面空洞

TYPE2: 内部欠陥、ジャンカ

ひび割れ、変状を連続撮影

時速50~70km/hで走行しながら計測



画像(カメラ)



レーザ



レーダ

カメラ、レーザ、レーダおよび、近接目視、打音検査を総合的に融合させ、適切な判定を実施し、トンネル点検・診断全般の効率化、省力化などの支援を目指す。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

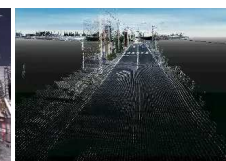
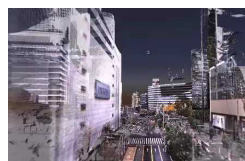
3



走行型高速3D計測システムによるインフラ点検・診断技術 — 画像、レーザ、レーダによる計測 技術的特長 —

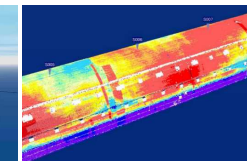
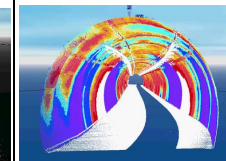
地形測量対応MMS (3Dマッピング)

- 高精度地形測量、地物認識
⇒道路管理の電子化、CIM導入への対応



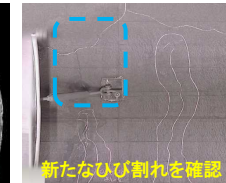
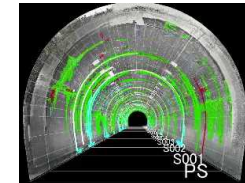
MMS:3次元形状計測: 高精度レーザ(100万点/秒)

- トンネル形状、変形モード解析、段差検出
⇒ひび割れ変状原因、進行性が推定可能



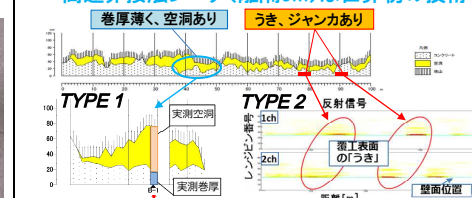
MIS:3次元画像計測、損傷度評価

- 0.2mm幅のひび割れ検出精度(70km/h)
⇒近接目視点検の支援、効率化、正確な位置



MRS:非接触型レーダ: 2タイプ (50~70km/h)

- 巻厚・空洞探査 & 内部欠陥(うき、ジャンカ)
⇒高速非接触レーダ(離隔3m)は世界初の技術



Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

4

2. 既往点検と点検要領に対する位置づけ

基本的なフローに対する走行型計測による支援内容

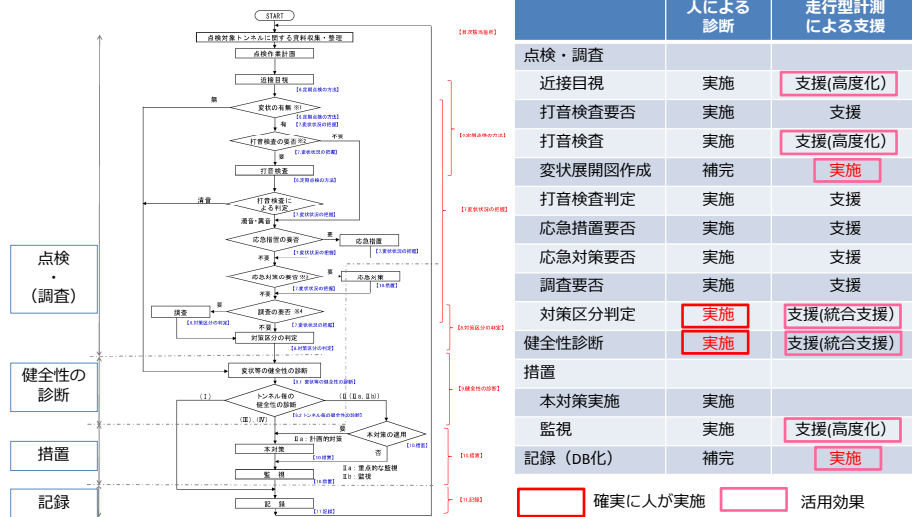
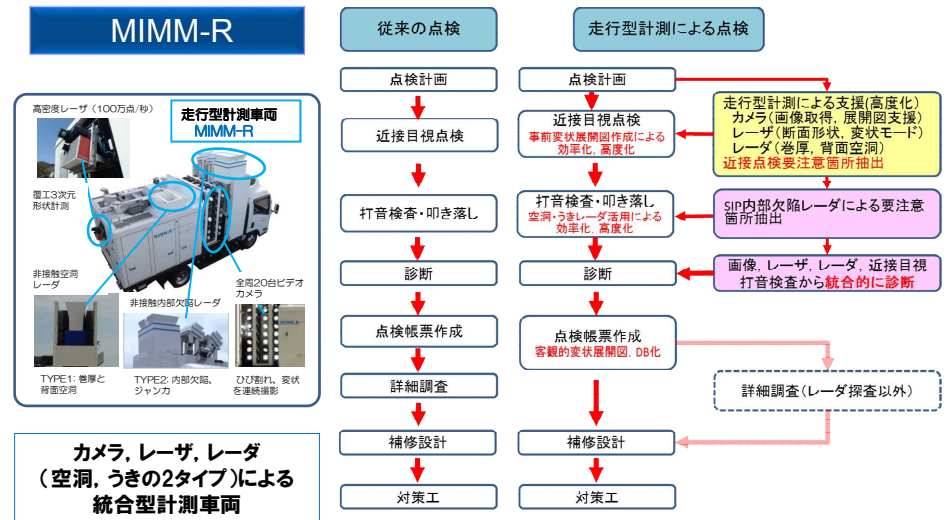


図-解 3.1 定期点検を対象としたメンテナンスサイクルの基本的なフロー

3. 走行型計測車両による点検技術



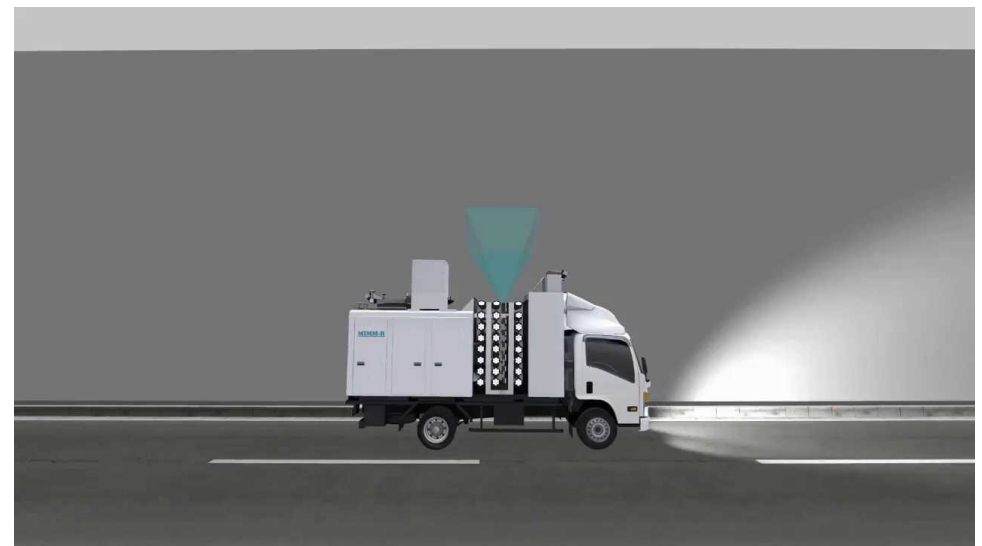
3. - ① MIS:3次元画像計測、損傷度評価

画像計測



MIS:3次元画像計測、損傷度評価

画像計測



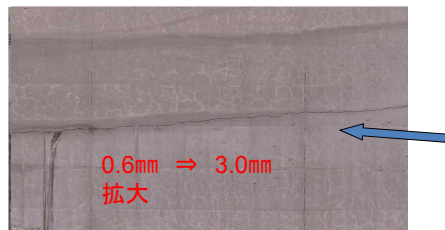
MIS:3次元画像計測、損傷度評価

画像計測

進行性の確認

変状（ひび割れ、漏水）、補修跡等の位置情報の客観性に優れる
(MIMM: カラー, スケッチ: 黒)

進行性の評価が容易



Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 9

3. - ② MMS:3次元形状計測: 高精度レーザ
・ トンネル断面計測、変形モード解析、段差検出

レーザ計測

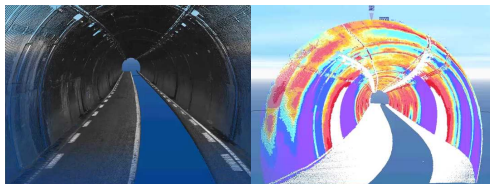


Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 10

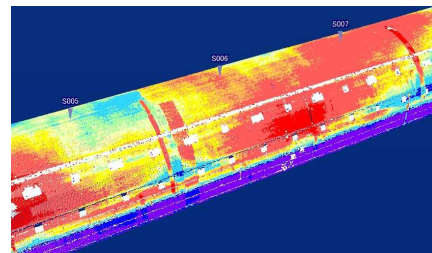
MMS:3次元形状計測: 高精度レーザ(100万点/秒)
・ トンネル形状、変形モード解析、段差検出

レーザ計測

変形モード解析の結果



高精度レーザ 100万点/秒
周方向 5,000点/周 (4mm間隔)
走行方向 5cm間隔/40km/h

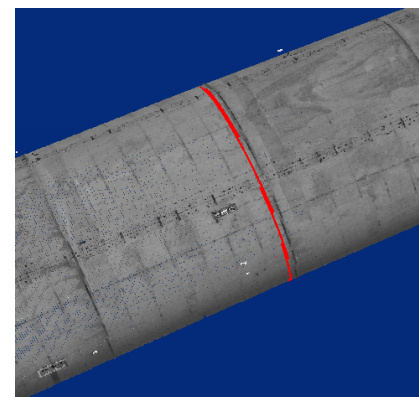


変形モード解析
コンター表示 (赤: 内面側、青: 背面側)

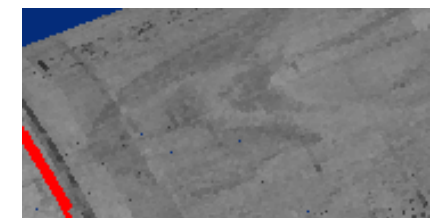
Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 11

レーザ計測による照明、ラックの検出例
(架線、漏水の検出も可能)

レーザ計測



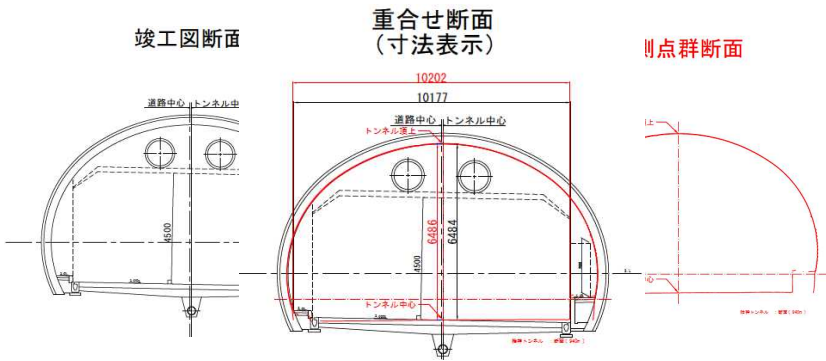
目地、照明ラック



覆工コンクリート打設時の油模様
→ 漏水も検出可能

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 12

i-Constructionへの対応



国土交通省中部地方整備局
紀勢国道事務所より

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 13

■ i-Constructionへの応用

➢ トンネル工事や維持管理にICT技術の活用を拡大

調査・設計・施工・維持管理の各プロセスで3次元モデルを導入

- ◆ 出来型計測, 点検記録, 損傷図
- ◆ 断面初期値, 進行性診断
- ◆ 既往断面復元, 覆工厚・空洞再現

➢ 3Dデータの利活用促進

- ◆ レーザ点群, 画像, 損傷図など3D化: VR



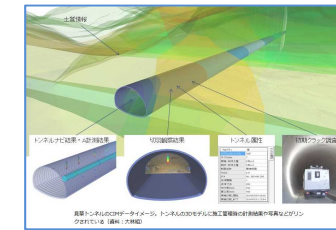
国土省 i-Construction HPより

■ CIMへの応用

➢ トンネル計測 (レーザ, 画像) による3Dモデリング

- ◆ 施設管理図, 点検, 損傷, 対策履歴管理
- ◆ 調査・設計・施工記録DB
- ◆ CIM情報化施工 (切羽, 地山, 支保, 変状)
- 地上・地下構造物, 地下埋, 杭などを含む3Dモデリング

- ◆ MMSによる地上・地下を統合した3Dマッピング



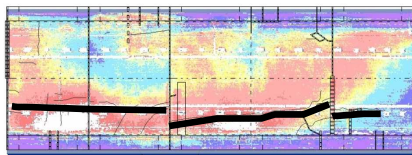
MIMS-Rによる竣工時計測

維持管理に！大林組がトンネル工事のCIMモデルを電子納品
(日経2015/08/05)

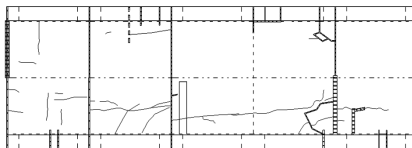
Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 14

MMS:3次元形状計測: 高精度レーザ(100万点/秒)
・ トンネル形状、変形モード解析、段差検出

変状原因の推定



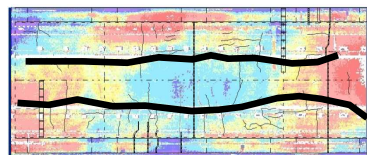
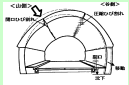
レーザ計測による変形モード



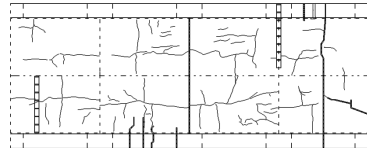
画像計測からのひび割れ展開図

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



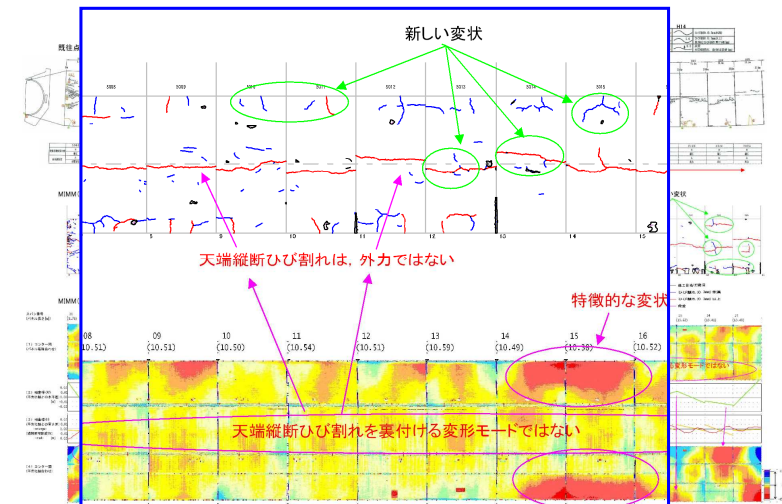
画像計測からのひび割れ展開図

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)

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 15

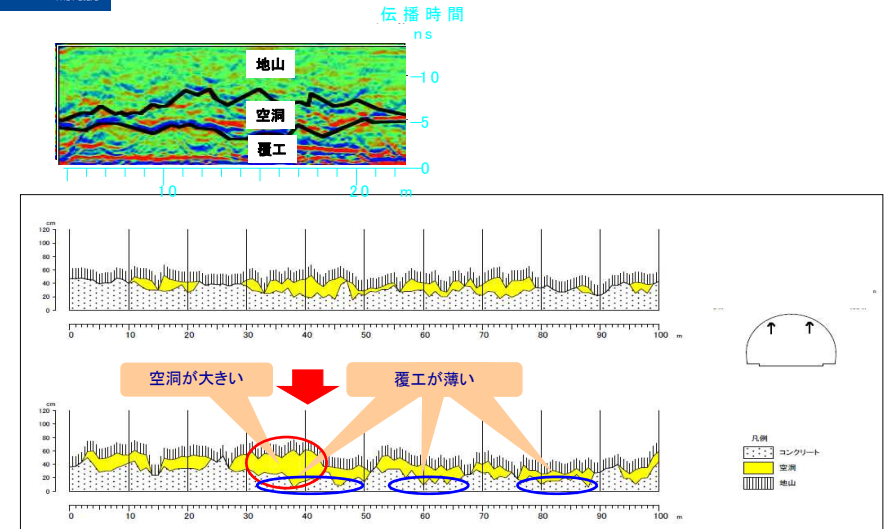
MMS:3次元形状計測:
・ 変状原因の推定



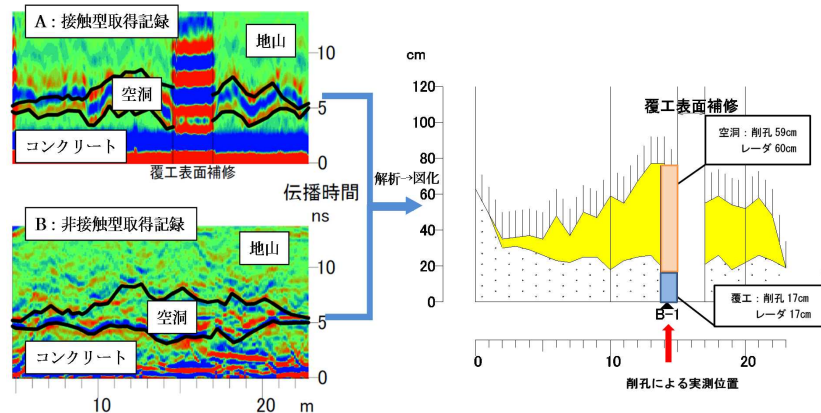
Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 16

トンネルのレーダ計測

- (1) 取得情報
レーダー伝播時間
- (2) 活用技術
覆工コンクリート厚
背面空洞の厚さ
支保工・鉄筋の位置



トンネル背面状況が一目で確認できます。



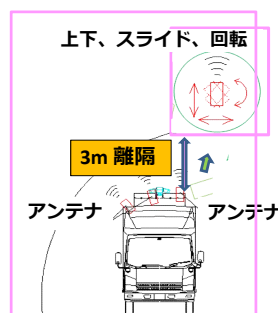
探査精度 80~90%

4. 内部欠陥レーダの開発 (SIP)

研究開発の目的

- ① 打音検査の代替技術、補完技術という位置付けで、覆工コンクリートの内部欠陥を、高速走行型非接触レーダーにより検出する点検技術を研究開発する
- ② 内部欠陥を含む多くの変状情報をレーザー計測の3次元位置情報と同期し、高精度な変状図を3次元可視化技術によってデータベース化するとともに、健全性を総合的に評価できる統合型診断システムの開発を行う

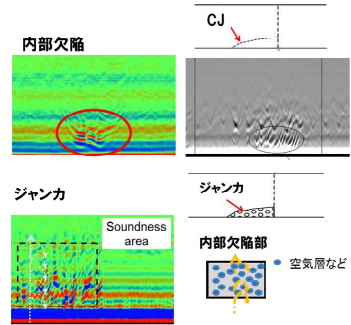
内部欠陥探査用レーダ



- 非接触型アンテナ
- ・時速50km/h程度で走行しながら計測
 - ・交通規制不要
 - ・問題箇所スクリーニング



内部欠陥探査イメージ



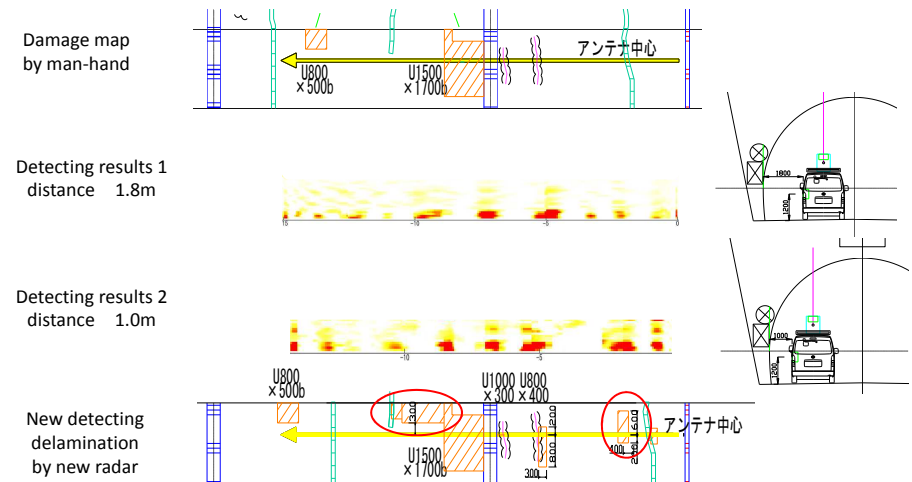
走行計測状況

SIPLレーダ+空洞レーダ計測同時計測状況 走行時の映像



実証試験 うきの検出試験

Test results for detecting of inner defects



実証試験 うきの検出試験

Application test



New detecting delamination by radar

Not chalking by before man-hand inspection

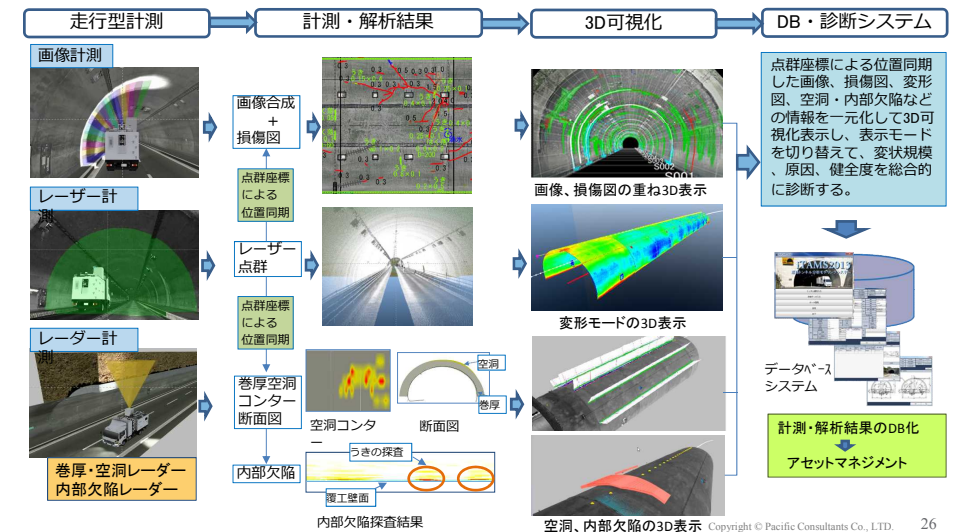
5. 統合型診断システム（3次元可視化）



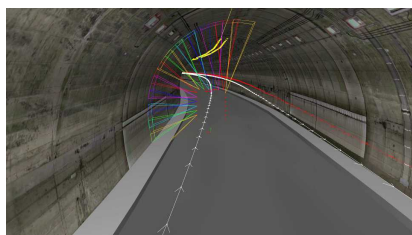
3次元可視化技術(統合型評価診断システム)の開発【全体構成】

SIPにおける研究開発内容

- ・点群解析機能:トンネル点群から自動的に目地位置検出を行い、スパンごとに断面形状やスパン軸を高精度に抽出する機能
- ・レーダー計測結果可視化機能:内部欠陥、巻厚・空洞厚の計測・解析結果を位置同期し、3D表示、コンター、縦・横断面図表示する機能
- ・下図の構成で、3D可視化、DB構築を行う。 **画像・レーザ・レーダーを組合せた健全度診断は日本で初めての試み。**



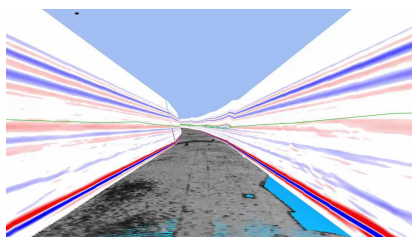
画像解析・3次元可視化



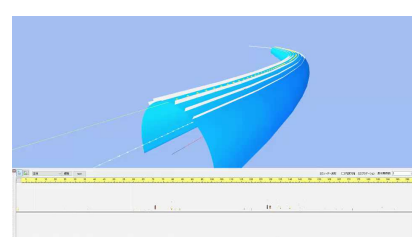
画像表示



点群表示

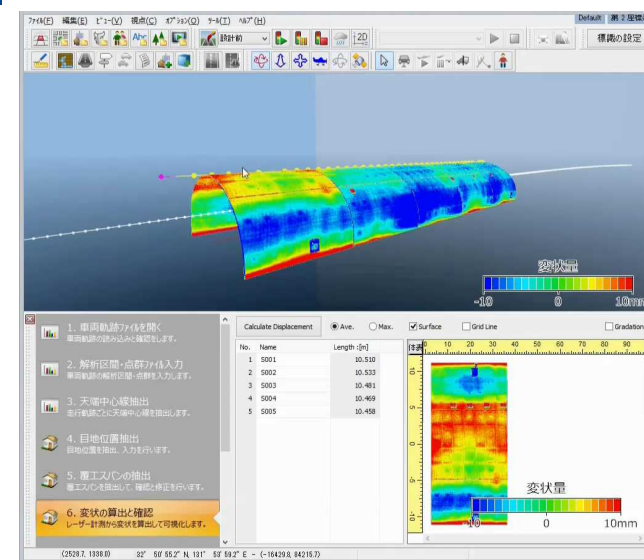


巻厚、空洞探査

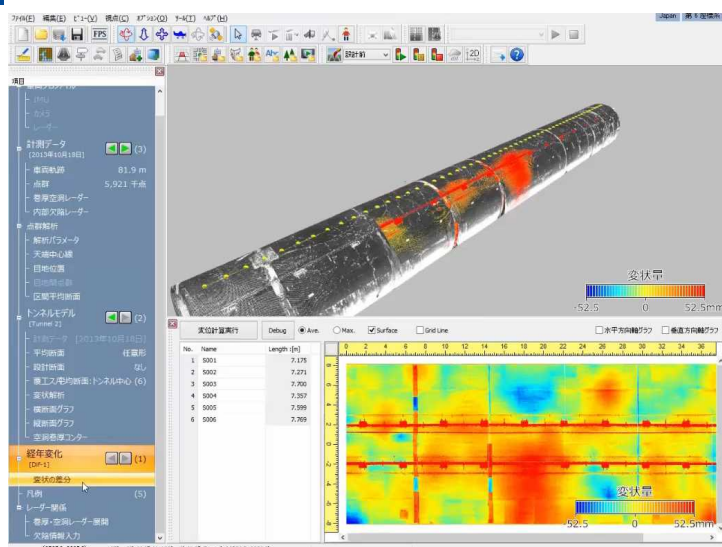


内部欠陥（うき、ジャンカ）探査

【変状コンター表示】

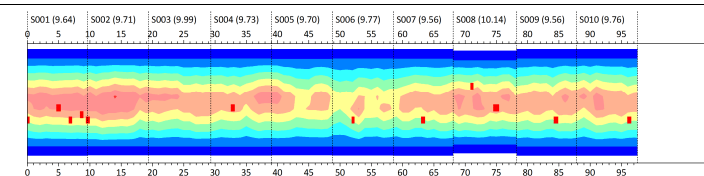


【変状進行性表示】

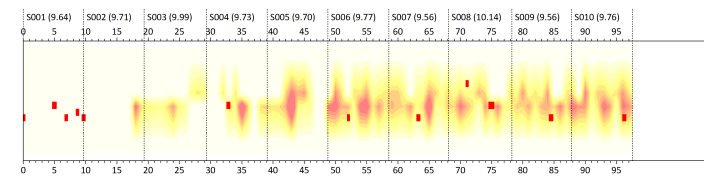


レーダー解析結果の2次元可視化

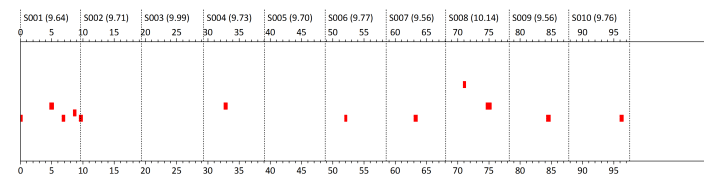
覆工巻厚
コンター



背面空洞
コンター



うき、ジャンカ
コンター



6. データベース

iTAMS2014

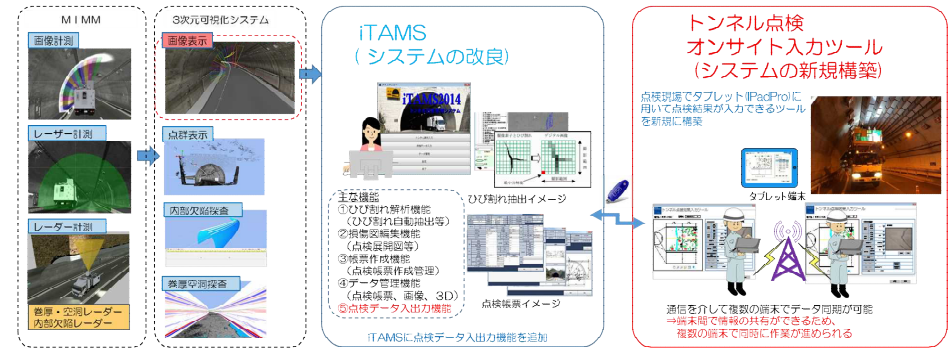
走行型計測車両による計測結果を用いて、下記機能を有したデータベースシステムを開発しました。

- ①解析システム
(ひび割れ自動抽出等)
- ②Drawingシステム
(点検展開図等)
- ③データベースシステム
(点検帳票作成管理)
- ④Viewerシステム
(点検帳票、画像、3D)
- ⑤iPad連携



Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 31

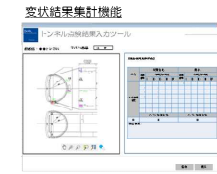
トンネル点検入力ツール オンサイトシステム



点検入力ツールの主な機能(上記以外)



ひび割れなどの変状、異常のスケッチを1つ1つ選択して、写真を紐付ける。写真はタブレット上からも直接撮影可能とする。
⇒現場で損傷情報と写真が紐付けられるため、業務の効率化が図れる



ひび割れなどの変状、異常のスケッチをトンネル全体もしくはスパン毎に集計することができる。
⇒損傷写真の撮影漏れ、損傷状況の記入漏れなどのチェックが図れる、点検データの精度向上が図れる。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 32

7. 岐阜大学SIP社会実装プログラムでの試行

1. 実施日時
実施日：平成29年1月16日(月)

2. 試験場所、検証項目



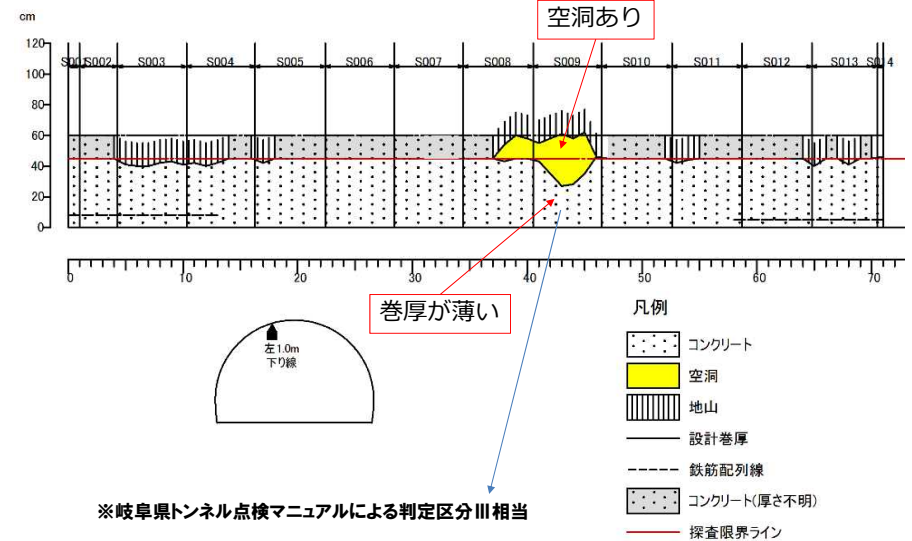
Aトンネル(画像、レーザ、レーダ3種)



Bトンネル(空洞レーダ)

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 33

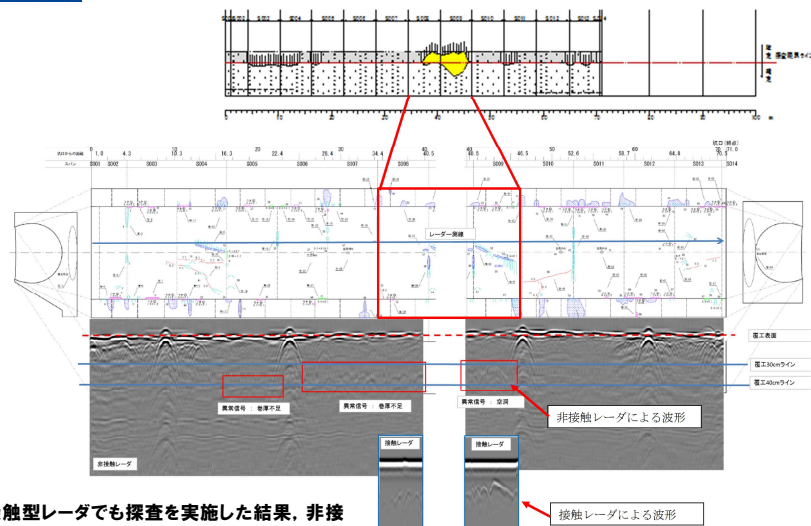
Aトンネルでの計測結果【レーダ計測：空洞】



※岐阜県トンネル点検マニュアルによる判定区分Ⅲ相当

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 34

Aトンネルでの計測結果【レーダ計測：空洞】 接触レーダとの比較

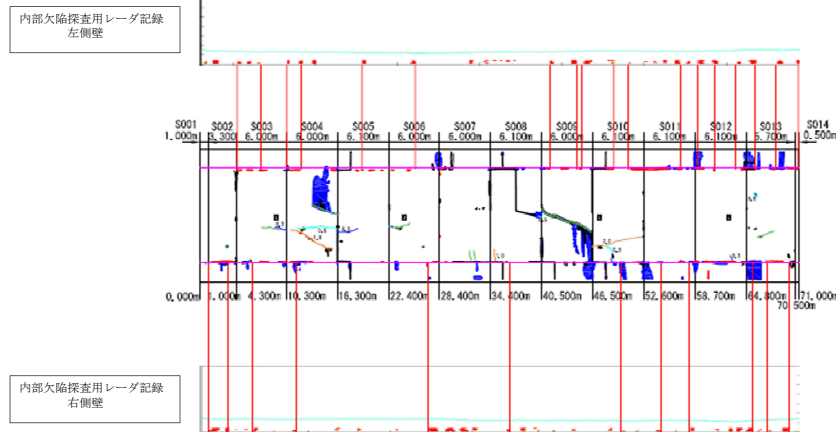


接触型レーダでも探査を実施した結果、非接触型レーダと同様のデータが得られたため、非接触空洞レーダにより適切に検出できたと判断される。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 35

Aトンネルでの計測結果【レーダ計測：うき】

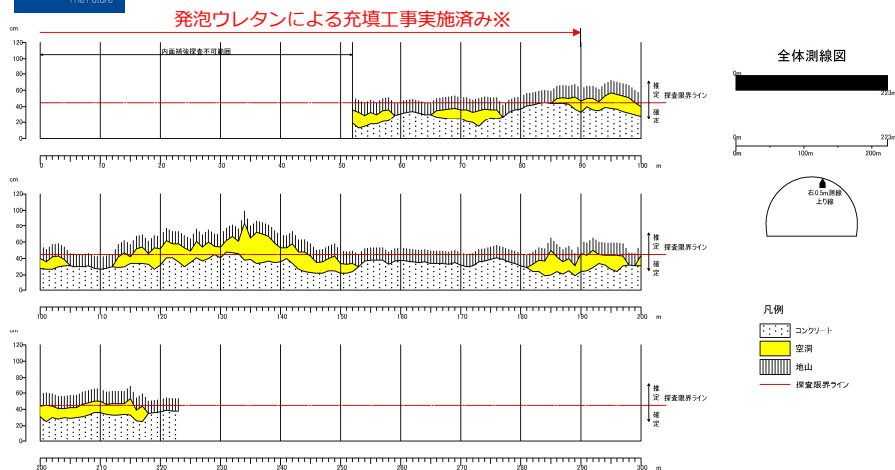
側壁部に内部欠陥箇所が集中しているため、検証は側壁部で行った



内部欠陥探査用レーダ記録は反射波処理により、うきを自動的に映像化し、赤色の信号表示で示される。現地で打音検査による検証を行ったところ、解析位置で正確なうき情報が取得されていることを確認した。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 36

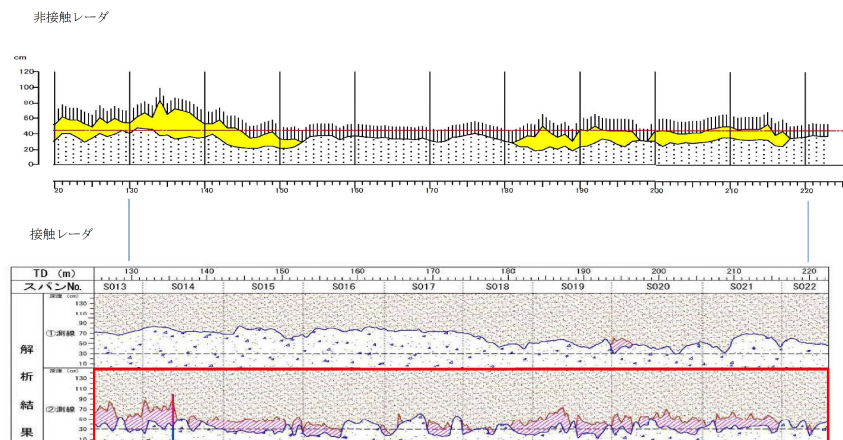
Bトンネルでの計測結果【レーダ計測：空洞】



※レーダ計測では、比誘電率が同じことから空洞と発泡ウレタンを判別できないため、充填工事済みの区間も空洞として表示している。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 37

Bトンネルでの計測結果【レーダ計測：空洞】



両手法で計測した巻厚、空洞探査結果を上下に並べて示す。非常に良く近似した結果が得られている。
※岐阜県トンネル点検マニュアルによる判定区分Ⅲ相当

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 38

走行型計測の支援内容と有効性（１）

「道路トンネル定期点検要領」に示される判定の目安						走行型計測の適用性		
①圧さ・ひび割れ（外力）								
表-解 8.5 点検時（ひび割れの進行の有無が確認できない場合）の判定の目安例								
対象区分	部位区分	ひび割れ					判定区分	
		幅	長さ					
履歴	断面内	5mm以上	3～5mm	3mm未満	10mm以上	5～10mm	5mm未満	I～IIa IIa III III IIb～III III IV
		○	○	○	○	○		
		○	○	○	○	○		
		○	○	○	○	○		
		○	○	○	○	○		
		○	○	○	○	○		
		○	○	○	○	○		
		○	○	○	○	○		
		○	○	○	○	○		
		○	○	○	○	○		

変状の判定項目			対応技術	適用の判定
ひび割れ幅、長さ		画像計測	○	

画像解析により、ひび割れ幅(0.3mm)以上、長さを判定可能

②うき、はく離（材質劣化）

表-解 8.9 うき・はく離等に対する判定の目安例								
対象箇所	部位区分	ひび割れ等の状況		打音異常				
		有	無	有	無			
履歴	断面内	ひび割れ等はあるものの、進行しても閉合の恐れがない		IIb				
		ひび割れ等は閉合してはいないものの、ひび割れの進行により閉合が懸念される		III	IIb			
		ひび割れ等が閉合しシロツタ化している		IV	IIb～III			
		漏水防止モルタルや補修材が材質劣化している		III～IV	IIb～III			
		履歴コンクリートや骨材が剥離化している、あるいは豆板等があり材質劣化している		IV	IIb～III			

変状の判定項目		対応技術	適用の判定
ひび割れの形状		画像計測	△～○ ^{※1}
表面の状態		画像計測	△～○ ^{※1}
表面の凹凸		レーザ計測	△ ^{※2}
うき検知		レーザ計測	△～○ ^{※3}
打音(打音)		—	×

※1：ひび割れの形状や変色状況から、うきはく離が疑われる箇所として検出できる。

※2：上記の箇所について、段差を伴う場合はさらにうき・はく離である可能性が高い。

※3：内部欠陥レーダにより、うきが懸念される箇所をスクリーニングできる（幾分多めに抽出する設定）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 39

走行型計測の支援内容と有効性（２）

③変形、移動、沈下

表-解 8.12 変形速度に対する判定の目安例

対象箇所	部位区分	変形速度				判定区分
		10mm/年 以上	3～10 mm/年	1～3 mm/年	1mm/年 未満	
		〔著しい〕	〔進行が みられる〕	〔進行が みられる ～緩慢〕	〔緩慢〕	
覆工 路面 路肩	断面内				○	II b～II a
						II a
			○	○	○	III
		○				IV

④鋼材腐食

表-解 8.14 鋼材腐食に対する判定区分

I	II b	鋼材腐食が生じてない、またはあっても軽微なため、措置を必要としない状態	判定区分	腐食面積	画像計測	○
		表面の腐食は軽微なため、監視を必要とする状態		断面欠損	—	△
		孔食あるいは鋼材周囲のうき錆がみられるため、重点的な対策を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態				
		腐食により、鋼材の断面欠損がみられ、構造用鋼材として機能が損なわれているため、早期に対策を講じる必要がある状態				
		腐食により、鋼材の断面欠損がみられ、構造用鋼材として機能が著しく損なわれているため、緊急に対策を講じる必要がある状態				
		腐食により、鋼材の断面欠損がみられ、構造用鋼材として機能が著しく損なわれているため、緊急に対策を講じる必要がある状態				
II	II a	表面の腐食は軽微なため、監視を必要とする状態	判定区分	腐食面積	画像計測	○
		孔食あるいは鋼材周囲のうき錆がみられるため、重点的な対策を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態		断面欠損	—	△
		腐食により、鋼材の断面欠損がみられ、構造用鋼材として機能が損なわれているため、早期に対策を講じる必要がある状態				
		腐食により、鋼材の断面欠損がみられ、構造用鋼材として機能が著しく損なわれているため、緊急に対策を講じる必要がある状態				
		腐食により、鋼材の断面欠損がみられ、構造用鋼材として機能が著しく損なわれているため、緊急に対策を講じる必要がある状態				
		腐食により、鋼材の断面欠損がみられ、構造用鋼材として機能が著しく損なわれているため、緊急に対策を講じる必要がある状態				

変形

1 回の計測で変形速度自体は検出できないが、推定は可能。変形の有無や変形モードは判定可能。

変状の判定項目	対応技術	適用の判定
変形速度	レーザ計測	○

鋼材腐食

鉄筋かぶりがあり薄い箇所や錆汁の有無を画像により検出可能。

変状の判定項目	対応技術	適用の判定
腐食面積	画像計測	○
断面欠損	—	△

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 40

走行型計測の支援内容と有効性（３）

点検要領に示される変状の判定の目安

走行型計測の適用性

⑤有効巻厚の不足・減少

表-解 8.17 有効巻厚の不足または減少に対する判定の目安例^{※1}
(矢板工法の場合)

箇所	主な原因	有効巻厚/設計巻厚			判定区分
		1/2 未満	1/2 ～2/3	2/3 以上	
アーチ・側壁	経年劣化・凍害 アルカリ骨材反応 施工の不適切等			○	IIb
			○		IIa～III
		○			III～IV

※1：点検要領では矢板工法の場合について、判定の目安例を示しているが、NATMも同様と考える。

※2：有効巻厚は、コンクリートの設計基準強度以上の部分とし、設計基準強度が不明な場合は15N/mm²以上の部分とする。

【参考】突発性の崩壊の可能性に対する判定の目安例

(点検要領 P-45 の文章、矢板工法の場合)

背面空洞深さ	大 (30cm以上程度)		小 (30cm未満程度)	
	覆工巻厚		覆工巻厚	
小 (30cm未満程度)	III, IV		—	
大 (30cm以上程度)	IIa, III			

「道路トンネル維持管理便覧【本体編】H27.6」より

有効巻厚

変状の判定項目	対応技術	適用の判定
覆工巻厚	非接触 レーダ計測	○ ^{※1}
圧縮強度	—	×

突発性の崩壊

変状の判定項目	対応技術	適用の判定
背面空洞深さ	非接触 レーダ計測	○ ^{※1}

※1：探査深度 50cm程度までは巻厚不足や空洞あるいは空隙が疑われる箇所を抽出することができる。50cm 以上の探査が必要な場合は、別途探査レーダを実施する必要があるが、有効厚としては十分であり問題となることは少なく、適用判定としては○相当である。

有効巻厚の不足・減少については定期点検（近接目視、打音検査）だけでは把握できず、次の調査が必要となる。

地中レーダ探査、削孔調査、圧縮強度試験

非接触レーダ計測で巻厚不足や空洞等が疑われる箇所については、左記の調査を実施し確認する。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 41

走行型計測の支援内容と有効性（４）

⑥漏水による変状									
表-解 8.20 漏水等による変状に対する判定の目安例									
箇所	主な現象	漏水の度合				利用者への影響		判定区分	
		噴出	流下	滴水	浸出 (イ・ジミ)	有	無		
アーチ	漏水				○		○	IIb	
				○		○		IIa	
			○			○		III	
		○				○		IV	
	つちら						○	IIb	
					○		III～IV		
側壁	漏水			○		○		IIb	
			○			○		IIa	
		○				○		IIa	
	側水					○		III	
						○		IIb	
					○		III～IV		
路面	土砂流出					○		IIb	
						○		III～IV	
	滞水					○		IIb	
	凍結					○		III～IV	

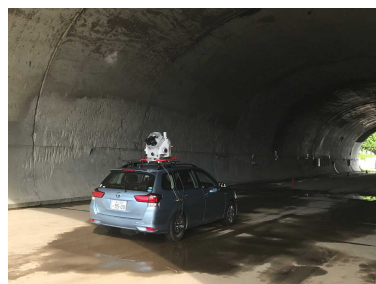
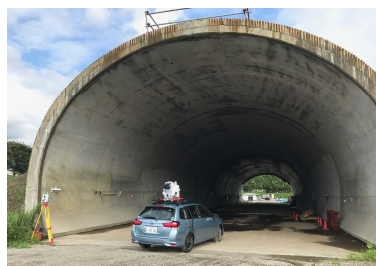
※1: 路面の画像撮影はできないため、漏水の
度合いからの推定となる。

8. 次世代社会インフラ用ロボット試行結果 H29

Pegasus II によるレーザ計測



Leica Pegasus : Two

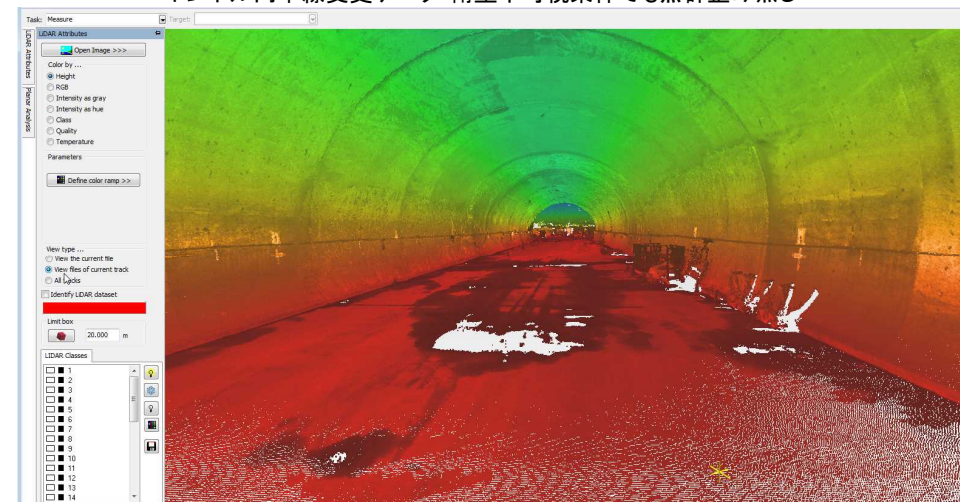


施工総研模範トンネル

次世代社会インフラ用ロボット試行結果 H29

Pegasus II によるレーザ計測

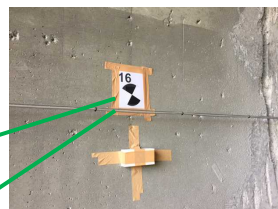
車速40km/h
トンネル内車線変更データ・衛星不可視条件でも点群歪み無し



次世代社会インフラ用ロボット試行結果 H29

Pegasus II によるレーザ計測

■トンネル内10m毎・左右それぞれ8カ所・計16カ所にターゲット設置



次世代社会インフラ用ロボット試行結果 H29

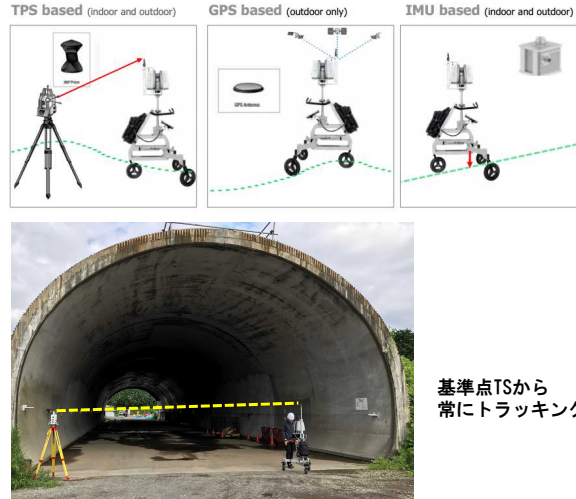
Pegasus II によるレーザ計測

車速40km/hでの基準点較差
基準点補正無し・3回計測

	1回目 40km/h			2回目 40km/h			3回目 40km/h		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
A1	-0.012	-0.036	0.004	0.009	-0.006	0.000	-0.006	0.010	0.007
A2	-0.008	-0.031	0.018	0.008	0.001	0.000	0.002	0.003	0.003
A3	-0.007	-0.022	0.007	0.020	0.014	0.002	0.007	0.017	0.008
A4	0.001	-0.031	0.012	0.031	0.003	0.001	0.008	0.015	0.007
A5	0.000	-0.026	0.004	0.042	0.008	-0.008	0.018	0.020	0.005
A6	0.005	-0.036	0.013	0.049	-0.003	-0.003	0.030	0.022	0.007
A7	0.015	-0.026	0.011	0.056	-0.009	0.001	0.048	0.029	0.021
A8	0.020	-0.023	-0.003	0.064	-0.013	0.003	0.060	0.013	0.024
A9	0.021	-0.021	0.014	0.066	-0.021	-0.004	0.067	0.012	0.018
A11	0.010	-0.032	0.025	0.064	-0.019	0.016	0.042	0.019	0.022
A12	0.005	-0.041	0.024	0.057	-0.011	0.006	0.034	0.013	0.022
A13	-0.005	-0.036	0.010	0.045	-0.005	0.005	0.019	0.014	0.018
A14	-0.002	-0.034	0.012	0.036	-0.011	0.002	0.009	0.011	0.014
A15	-0.007	-0.038	0.008	0.027	-0.013	-0.015	0.004	0.005	0.017
A16	-0.006	-0.043	0.009	0.016	-0.023	-0.003	0.005	-0.003	0.015
MIN	-0.012	-0.043	-0.003	0.008	-0.023	-0.015	-0.006	-0.003	0.003
MAX	0.021	-0.021	0.025	0.066	0.014	0.016	0.067	0.029	0.024
AVE	0.002	-0.032	0.011	0.039	-0.007	0.000	0.023	0.013	0.014
STD	0.010	0.007	0.007	0.020	0.010	0.007	0.023	0.008	0.007

基準点との誤差
1~2cm程度
複数走行再現性高い

9. 次世代社会インフラ用ロボット試行結果 H29 ProScan によるレーザ計測



次世代社会インフラ用ロボット試行結果 H29 ProScan によるレーザ計測

計測結果（100Hz）でのデータにて計測結果

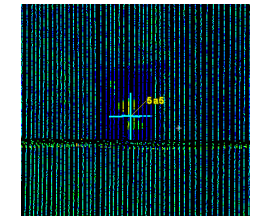
■ターゲットとProScanで測定結果（往復 2回）

・①から②の方向で計測

- 残差の標準偏差 X : 0.006m Y : 0.004m Z : 0.003m
- 最大誤差 X : 0.019m Y : 0.010m Z : 0.007m

・②から①の方向で計測

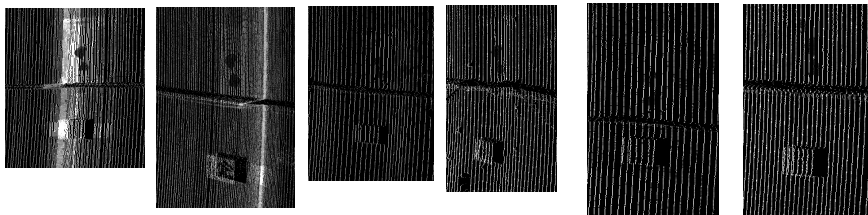
- 残差の標準偏差 X : 0.006m Y : 0.006m Z : 0.002m
- 最大誤差 X : 0.021m Y : 0.019m Z : 0.005m



次世代社会インフラ用ロボット試行結果 H29 ProScan によるレーザ計測

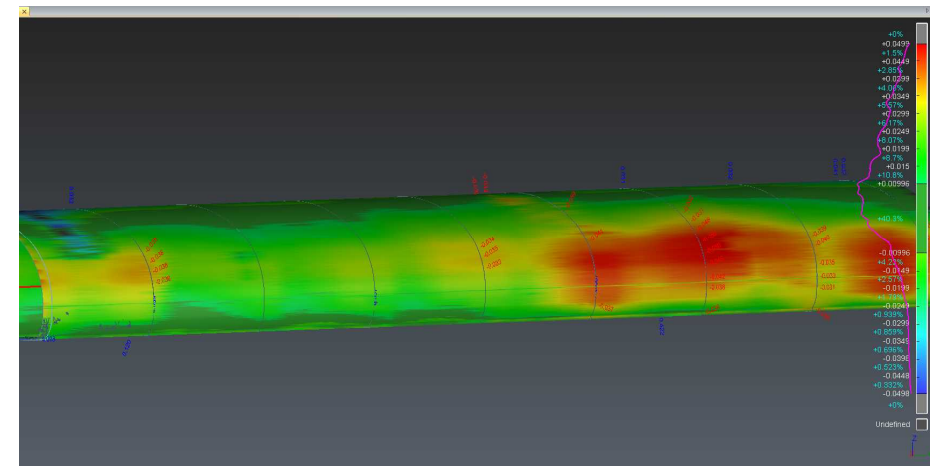
ブロック厚み測定(厚さ：50mmのブロック)

入口右 入口左 中央右 中央左 出口右 出口左



位置	往路厚み(m)	復路厚み(m)	差(m)	位置	往路厚み(m)	復路厚み(m)	差(m)
入口右	0.054	0.055	0.001	入口左	0.059	0.058	0.001
中央右	0.052	0.052	0.002	中央左	0.051	0.053	0.002
出口右	0.054	0.052	0.002	出口左	0.050	0.051	0.001

次世代社会インフラ用ロボット試行結果 H29 ProScan によるレーザ計測

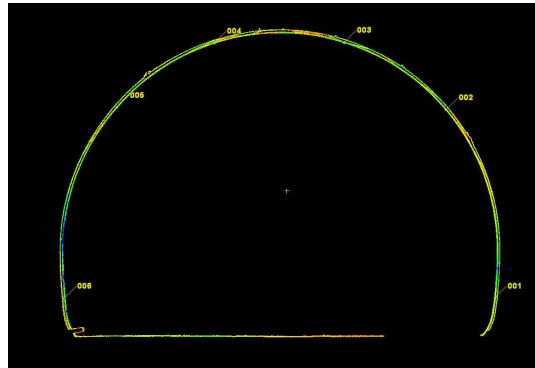


未舗装トンネルでのTSとの誤差検証

断面検証 ProScan TS比較 断面1

点名 誤差mm

- 001 0.005
- 002 0.002
- 003 0.001
- 004 0.001
- 005 0.001
- 006 0.003



Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 52

Leica Pegasus:Backpack



Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 53

Pegasus:Backpack 機器の概要



Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 54

Pegasus:Backpack 計測パターン

計測パターン(各2回)

パターン1: 周囲が完全に開けている場所でインシャライズ

パターン2: 周囲がある程度開けているが、1より遮蔽物がある場所でインシャライズ

パターン3: 周囲が木などに囲まれた場所でインシャライズ



パターン1



パターン2



パターン3

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD. 55

Pegasus:Backpack 1-1)法面(切土)の計測

検証点について

- ・ 検証点配置図 144点



- ・ 現場写真



Pegasus:Backpack 1-2)法面(盛土)の計測

検証点について

- ・ 検証点配置図 178点



- ・ 現場写真



Pegasus:Backpack 具体的な計測手順等



静止状態で5分
イニシャライゼーション



歩行しながら5~8分
イニシャライゼーション



歩行しながら計測

Pegasus:Backpack 検証点較差一法面(切土)

全ての計測で平均および標準偏差が5.0cm以内となり、要求精度を満たす。

計測パターンの違いによる有意な差はみられない。

⇒イニシャライズ時に多少樹木が近くにあっても、開けた場所であれば問題ない

計測パターン	1	1	2	2	3	3
	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
最少	-0.065	-0.175	-0.172	-0.107	-0.103	-0.172
最大	0.057	0.046	0.067	0.047	0.044	0.058
平均	0.005	-0.034	-0.002	-0.002	0.007	-0.016
標準偏差	0.025	0.041	0.039	0.025	0.025	0.038

Pegasus:Backpack 検証点較差一法面(盛土)

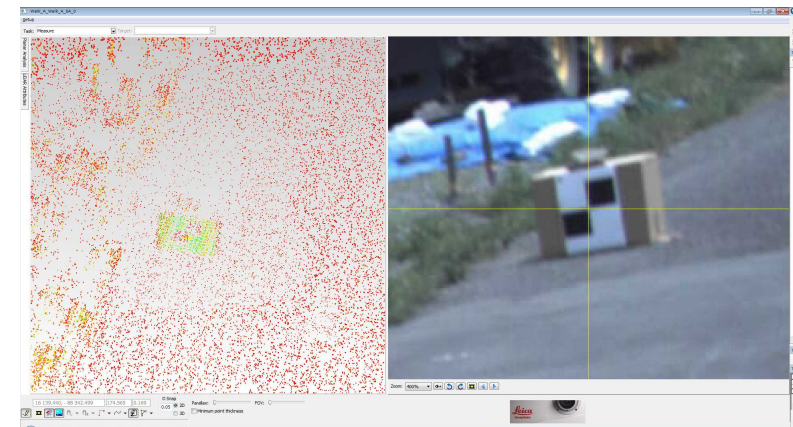
全ての計測で平均および標準偏差が5.0cm以内となり、要求精度を満たす。

なお、計測パターンの違いによる有意な差はみられない。

⇒イニシャライズ時に多少樹木が近くにあっても、開けた場所であれば問題ない。

計測パターン	1	1	2	2	3	3
	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
最少	-0.113	-0.100	-0.038	-0.038	-0.148	-0.062
最大	0.105	0.108	0.087	0.071	0.097	0.142
平均	0.013	0.016	0.021	0.020	0.018	0.018
標準偏差	0.023	0.025	0.022	0.020	0.030	0.031

Pegasus:Backpack 標識による2点間距離の計測



Pegasus:Backpack 標識による2点間距離の計測

TSによる2点間距離計測との較差

- ・機材の測距性能は左右2方向計測をしている為、上記の半分の値
- ・レーザー機器スペックシートの使用通りの精度が達成できていることを確認
- ・測距距離による性能劣化は見受けられない
- ・運用上、BPIによる1側線の左右間隔は30-40mでも問題は無い

ペア	最大値	最小値	平均	標準偏差
10m(20m)	0.0631	0.0064	0.0389	0.0459
20m(40m)	0.0696	0.0020	0.0211	0.0315
30m(60m)	0.0862	0.0214	0.0539	0.0608
40m(80m)	0.0956	0.0017	0.0472	0.0592

Thank you so much for
allowing us to make a presentation.