

技術番号	TN030001-V0323				
技術名	OSVを活用したトンネル附属物の監視技術			開発者名	パンフィックコンサルタンツ株式会社 神戸大学OSV研究会
試験日	令和2年 1 月 27 日	天候	曇り	気温	8 °C 風速 m/s
試験場所	施工技術総合研究所				
カタログ分類	計測・モニタリング技術	カタログ	検出項目	可視光	試験区分 標準試験 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 計測器本体を、トンネル壁面に接着剤にて取り付け、センサーフィルムを本体のスリット部に差し込んだ状態で、模擬試験体の奥側鋼板に接着剤で固定する。(写真-3、写真-4)
- ② 鋼板間距離を測定しながら、板を固定した鋼板に1mmずつ変位を与える。本体はスリット部を挟んで光ファイバーが両側に伸びており、片方から光を入力すると、もう一方の光ファイバーから、スリットに差し込まれた板センサーフィルムに塗られた色の光が出力される。鋼板とともにセンサーフィルムが移動することにより、出力される色の変化を確認する。
- ③ 鋼板の移動量と出力される色の対応が、想定したものと同一か確認する。

開発者による計測機器の設置状況

写真-3

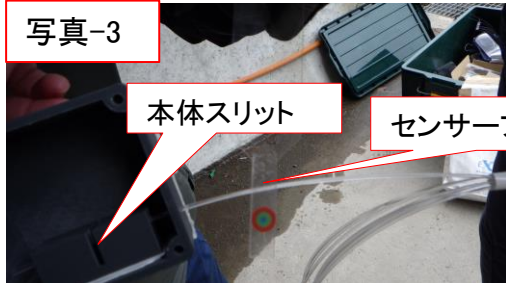


写真-4



写真-5



写真-6



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

写真-7



計測結果の比較

変位 (mm)	OSVセンサーの状況	備考
0		青色
1		青緑色
2		緑色
3		オレンジ色
4		赤色
5		白色 (LED懐中電灯色)

【性能(精度・信頼性)を確保するための条件】

性能を確保するためには、入力する光源が白色であること。また、高輝度のLED懐中電灯等であること。

【本試験時の条件】

模擬トンネルの坑口付近であるため、写真のような視認となった。また、5mmの変位を与えた際にはセンサーフィルム部の着色部を超えたため、白色(LED懐中電灯の光)となってしまった。

技術番号 TN030001-V0323

技術名 OSVを活用したトンネル附属物の監視技術

開発者名 パンフィックコンサルタンツ株式会社
神戸大学OSV研究会

試験日 令和2年 1 月 28 日

天候 雨

気温 6 °C

風速 m/s

試験場所 福島テストフィールド 模擬トンネル

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ

検出項目 可視光

試験区分 性能試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

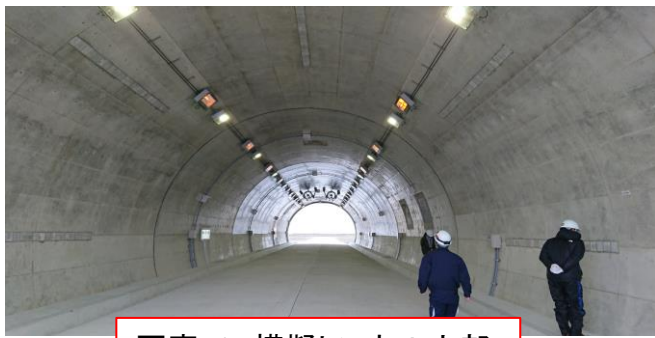
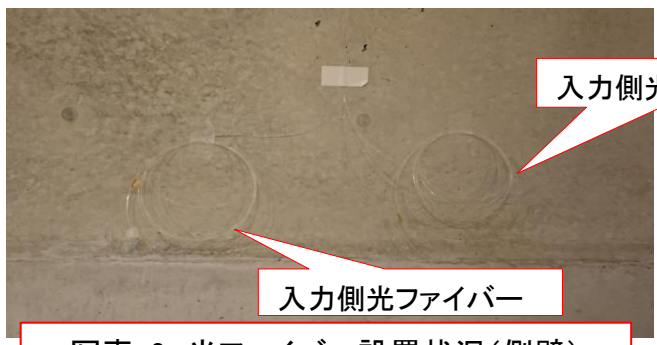


写真-1 模擬トンネル内部



OSVセンサー本体

写真-2 試験対象(照明灯具本体)



入力側光ファイバー

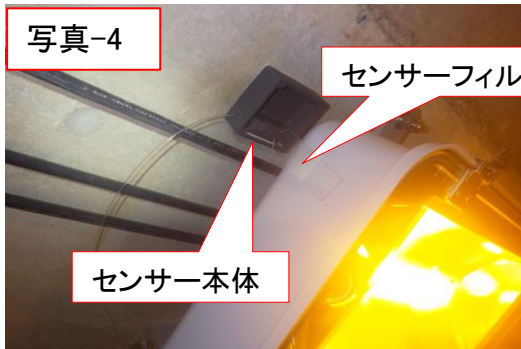
入力側光ファイバー

写真-3 光ファイバー設置状況(側壁)

試験方法(手順)

- ① 計測器本体を、トンネル壁面に接着剤にて取り付け、センサーフィルム(色が塗られた透明な板)を本体のスリット部に差し込んだ状態で、照明灯具本体の側部に接着剤で固定する。(写真-4)
- ② 光ファイバー2本をトンネル壁面に接着剤で固定し、側壁部まで配線する。
- ③ 照明灯具本体の上部の1方の取付ナットを外し、照明灯具本体の各取付部材の移動量をノギスにより測定し、出力される色の対応が、想定したものと同じか確認する。(写真-5、写真-6、写真-7)
- ④ 照明灯具本体の上部の2箇所取付ナットを外し、照明灯具本体に設置したセンサーフィルムの移動量と出力される色の対応が、想定したものと同じか確認する。

開発者による計測機器の設置状況



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

—

表-1 試験ケース

	内容	灯具変位	OSVセンサー発光色
Case1	①ナット撤去	①1.55mm	青緑色 (1.5mm程度)
Case2	①、②ナット撤去	①6.9mm、②5.0mm	白色 (4mm以上)
Case3	③ナット撤去	③0.02mm	青色 (変化なし)
Case4	②、④ナット撤去	②0.07mm、④0.04mm	青色 (変化なし)

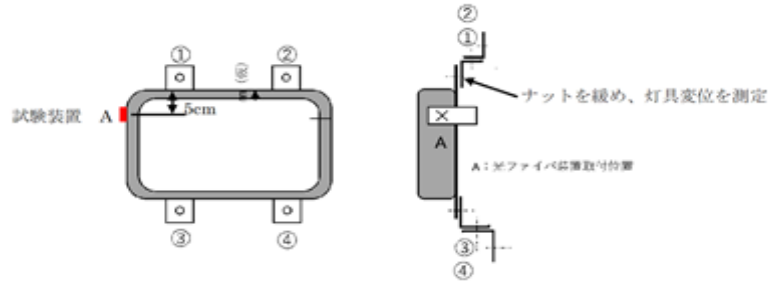

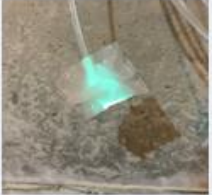



表-2 試験結果(出力状況)

Case	設置後	Case1	Case2
灯具変位	変位0mm	①1.55mm、②0mm ③0mm、④0mm	①6.9mm、②5.0mm ③0mm、④0mm
OSVセンサー 発光状況			
備考	青色	水色	白色

【試験結果】

取付部材の上部1箇所が脱落した場合に1.55mmの変位が発生し、OSVセンサーの発色が青から水色に変化することを確認した。また、概ね1mm程度の間隔で変位を検知できることを確認した。

上部2箇所が脱落すると最大6.9mmの変位が発生しOSVセンサーは白色となることを確認した。

【性能(精度・信頼性)を確保するための条件】

・入力する光源が白色であること。また、高輝度のLED懐中電灯等であること。

【本試験時の条件】

- ・模擬トンネルに設置された実際の照明灯具(ナトリウム灯)を用いた。
- ・取付部材の異常は、照明灯具の取付部材であるナットを取り外すことで再現した。
- ・上部のナットを外すと照明灯具に変位が発生し、OSVセンサーで異常を検知することができた。
- ・下部のナットを外した場合は、照明灯具に変位が発生しないため、目視による確認が必要と判断される。

技術番号 TN030001-V0323

技術名 OSVを活用したトンネル附属物の監視技術

開発者名 パンフィックコンサルタンツ株式会社
神戸大学OSV研究会

試験日 令和2年 2月 7日 天候 晴れ 気温 5 °C 風速 m/s

試験場所 建設技術研究所 研究センターつくば

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 可視光 試験区分 性能試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

図-1 試験装置側面図

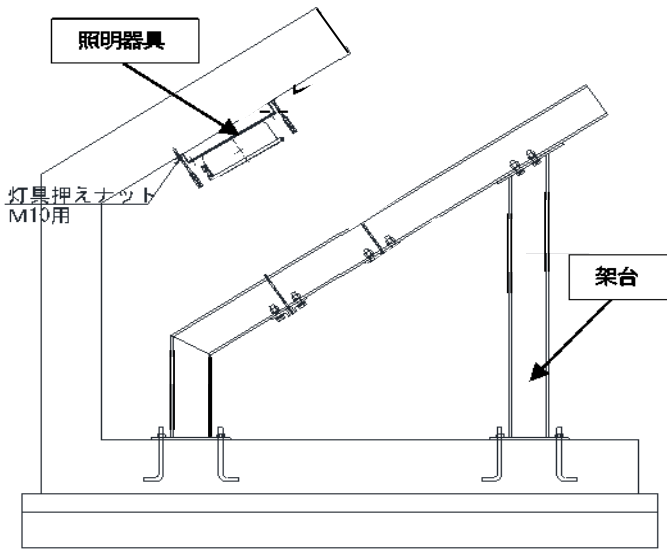


写真-1 試験装置写真



試験方法(手順)

- ① 計測器本体を、トンネル壁面に接着剤にて取り付け、着色したセンサーフィルムを本体のスリット部に差し込んだ状態で、照明灯具本体の側部に接着剤で固定する。(写真-2)
- ② 照明灯具本体の取付ナットを試験ケースに応じて外し、照明灯具本体の各取付部材の移動量をノギスにより測定し、出力される色の対応が、想定したものと同一か確認する。(写真-3)

開発者による計測機器の設置状況



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

表-1 試験ケースと結果

試験ケース	脱落位置	変位計測値 (ノギス計測)						OSVセンサー発光色	定期点検による判定区分
		①	②	③	④	a	b		
1	- 1 ①	3.87	0	0	0	3.15	1.29	赤色	×
	- 2 ①、②	15.99	13.17	0	0	10.77	12.39	白色	×
	- 3 ①、③	11.43	0	7.78	0	13.47	4.93	白色	×
	- 4 ①、④	3.93	0	0	0.9	2.66	1.44	オレンジ色	×
2	- 1 ②	0	0.54	0	0	-0.35	0.04	青色	○
	- 2 ②、③	0	0.24	0.2	0	0.07	0.07	水色	○
	- 3 ②、④	0	9.67	0	12.92	-4.69	4.33	緑色	×
3	- 1 ③	0	0	0.22	0	-0.41	0	水色	○
	- 2 ③、④	0	0	5.28	8.68	-0.6	-0.35	水色	×
4	- 1 ④	0	0	0	3.97	-1.18	-0.17	水色	×

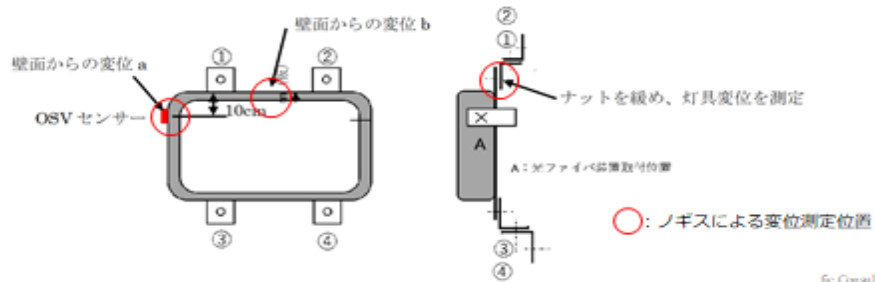


表-2 OSVセンサー発光状況例

Case	設置後	Case1-1	Case1-2
センサー部変位 a	0mm	3.15mm	10.77mm
OSVセンサー発色状況			
拡大写真			
備考	青色	赤色	白色

【試験結果】

福島テストフィールドにおける照明灯具より角度がついた状態の試験装置のため、下部のナットを緩めた場合でも変位を生じた。また、概ね1mm程度の間隔で変位を検知できることを確認した。

定期点検時の触診における×判定の場合には、発光色が変化していることを確認した。

【性能(精度・信頼性)を確保するための条件】

・入力する光源が白色であること。また、高輝度のLED懐中電灯等であること。

【本試験時の条件】

- ・試験装置に設置された実際の照明灯具(LED照明)を用いた。
- ・取付部材の異常は、照明灯具の取付部材であるナットを取り外すことで再現した。
- ・ナットを外すと照明灯具に変位が発生し、OSVセンサーで異常を検知することができた。

技術番号 TN030002-V0323

技術名 3軸加速度センサを用いた傾斜計による、トンネル内付属物(照明器具・標識等)の傾斜角度変位モニタリングシステム 開発者名 株式会社ザイマックス

試験日 令和2年 2月 7日 天候 晴 気温 5 °C 風速 m/s

試験場所 建設技術研究所 東京本社水理センター

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 傾斜角度 試験区分 性能試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 開発者の計測機器および立会者が準備した計測機器を両面テープで照明器具に取付け、両方の機器をゼロセットする。(写真-1)
- ② 照明設備と壁面を接合している金具のネジを外し、それぞれの計測機器によって傾斜角を測定する。(写真-2)
- ③ ②と同様の手順で4箇所あるネジを複合的に緩締し、それぞれの計測機器によって傾斜角を測定する。
- ④ 開発者の計測機器によって計測された傾斜角度と、立会者が準備した計測機器によって計測された傾斜角度を比較する。(表-1)

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



表-1

時間	2:14 PM	2:18 PM	2:27 PM	2:32 PM	2:39 PM	2:47 PM	15:26 PM	15:32 PM
立会者の計測機器	0	0.05	0	1.65	0.05	0	-0.85	0
開発者の計測機器	0	0.03	0	1.65	0.05	0	-0.87	0

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

写真-3



写真-4



計測結果の比較

※立会者が準備した傾斜機器は「0.05」刻みで計測され表示される

時間	2:14 PM	2:18 PM	2:27 PM	2:32 PM	2:39 PM	2:47 PM	15:26 PM	15:32 PM
立会者の計測機器	0	0.05	0	1.65	0.05	0	-0.85	0
開発者の計測機器	0	0.03	0	1.65	0.05	0	-0.87	0

LogDateTime	axis_x	axis_y
2020/2/7 2:14 PM	0	0

LogDateTime	axis_x	axis_y
2020/2/7 2:39 PM	-0.02	0.05

LogDateTime	axis_x	axis_y
2020/2/7 2:18 PM	0.16	0.03

LogDateTime	axis_x	axis_y
2020/2/7 2:47 PM	0	0

LogDateTime	axis_x	axis_y
2020/2/7 2:27 PM	0.02	0

LogDateTime	axis_x	axis_y
2020/2/7 3:26 PM	-0.18	-0.87

LogDateTime	axis_x	axis_y
2020/2/7 2:32 PM	0.16	1.65

LogDateTime	axis_x	axis_y
2020/2/7 3:32 PM	-0.02	0

技術番号 TN030002-V0323

技術名 3軸加速度センサを用いた傾斜計による、トンネル内付属物(照明器具・標識等)の傾斜角度変位モニタリングシステム 開発者名 株式会社ザイマックス

試験日 令和2年 1 月 20 日 天候 晴 気温 2 °C 風速 m/s

試験場所 神奈川県相模原市

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 傾斜角度 試験区分 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 実現場における動作確認
設置方法、通信

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① クランプで計測装置を坑口付近の照明に取付け、取付けの可否を確認する。(写真-2)
- ② 一定時間放置し、データ通信状況及びデータを確認する。(写真-3、図-1)
- ③ クランプで計測装置をトンネル中央部の照明に取付け、通信状況を確認する。
- ④ 計測機器のみを高所作業車に設置し、通信可能位置を確認する。(写真-4)

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2

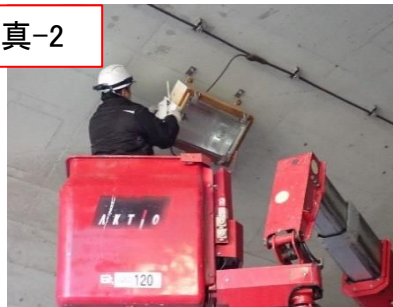


写真-3

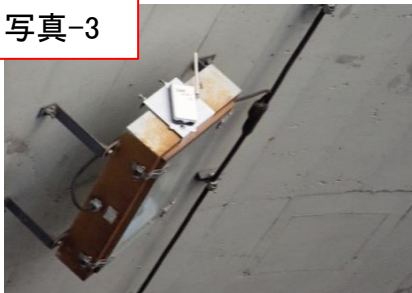
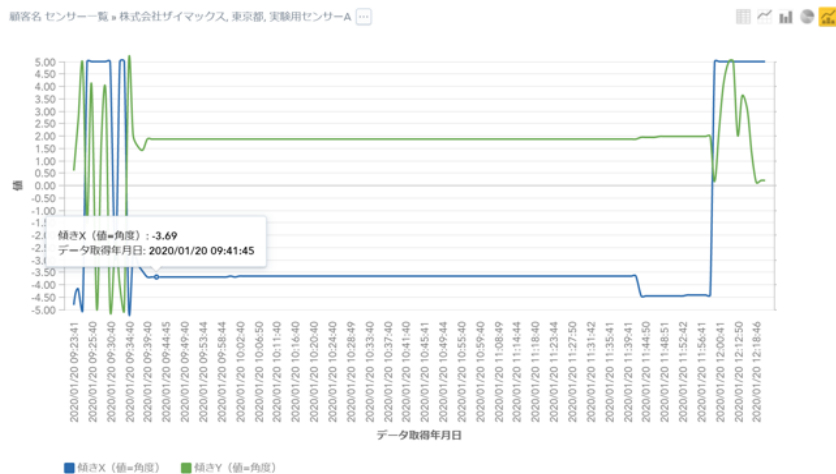


写真-4



図-1

DeviceID	LogDateTime	accel_x	accel_y	accel_z	axis_x	axis_y	temp.data	battery
743437	2020/1/20 9:41 AM	26	13	11	-3.69	1.86	8.3	N
743437	2020/1/20 9:43 AM	2	1	1	-3.69	1.87	7.7	N
743437	2020/1/20 9:44 AM	2	2	2	-3.69	1.87	7.5	N
743437	2020/1/20 9:45 AM	2	2	2	-3.69	1.87	7.3	N
743437	2020/1/20 9:47 AM	2	1	1	-3.69	1.87	6.9	N



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

※現場での動作確認のため、計測機器無

計測結果の比較

技術番号 TN030003-V0323

技術名 MIMM-Rのレーザースキャナを活用したトンネル覆工の形状、変形の状態把握技術

開発者名 パシフィックコンサルタンツ株式会社

試験日 令和2年 1 月 23 日 天候 晴れ 気温 °C 風速 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 3次元座標 試験区分 標準試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

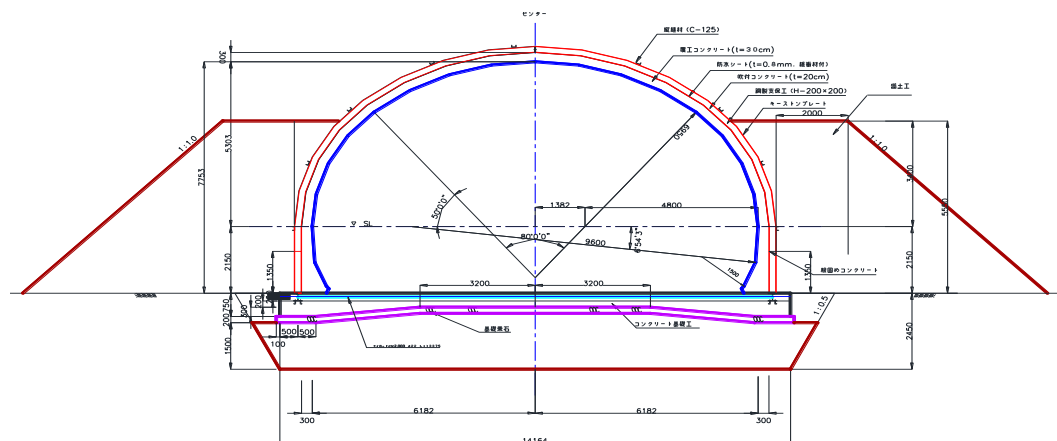
対象構造物の概要



模擬トンネル全景



模擬トンネル全景(正面)



内装版用供試体



照明用供試体

試験方法(手順)

- ① トンネル内等に、トンネル付属物(内装板)を模擬した供試体を設置する。
- ② 供試体を取り付けるナットの緩み(もしくは締め付け)によって供試体の位置を変化(強制変位)可能とする。
- ③ 供試体の形状位置を変化させて計測を行う。(内装版用、照明用にて計測)
- ④ 試験結果から、各強制変位量と計測値の差分を用いて応募技術の計測精度を確認する。

開発者による計測機器の設置状況

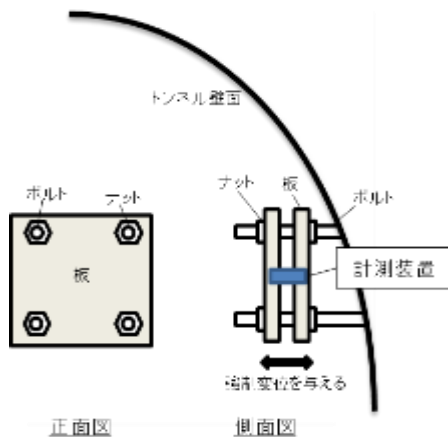


走行計測状況



ノギスによる変化量の計測

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況



模擬付属物:例



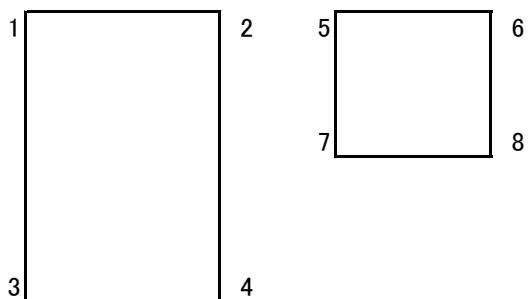
内装版用供試体側面

計測結果の比較

1) 供試体の4隅の初期計測を行う。ノギスにより2枚の板の間距離を計測する。

5mm内空側へ強制変位を与え、板の間距離を計測する。

この差分が強制変位量(正解値)となる。



内装版用

照明用

①-1 内装版 強制変位を与える前の初期値



ポイント1



ポイント2



ポイント3



ポイント4
ノギスで内寸法を測り固定し、上下反転して表示した

①-2 照明用 強制変位を与える前の初期値



ポイント5



ポイント6



ポイント7



ポイント8
ノギスで内寸法を測り固定し、上下反転して表示した

②-1 内装版用 強制変位後の計測値



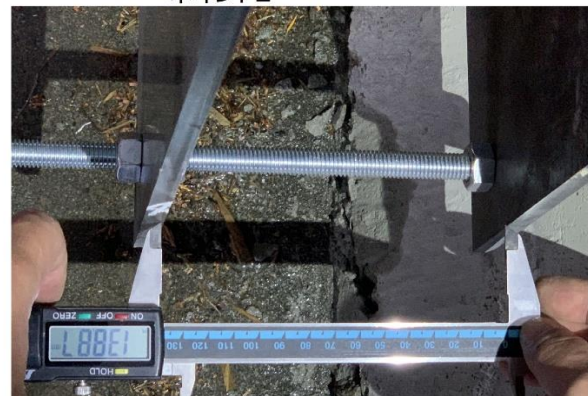
ポイント1



ポイント2



ポイント3



ポイント4

②-2 照明用 強制変位後の計測値



ポイント5



ポイント6



ポイント7



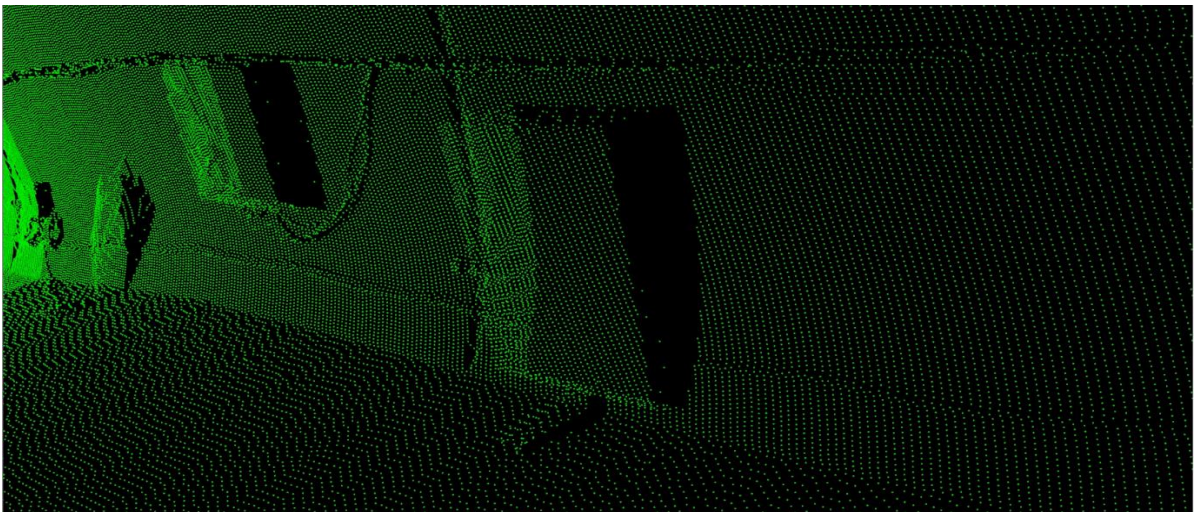
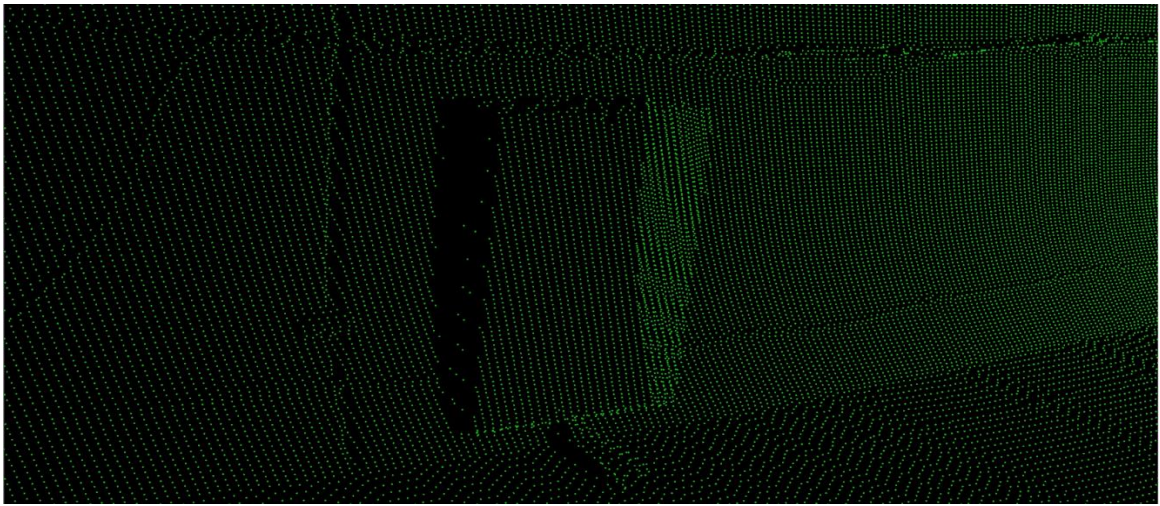
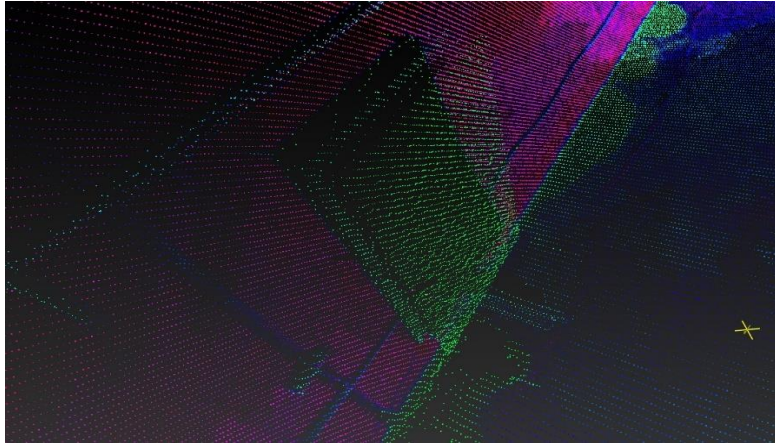
ポイント8

計測結果のまとめ

	mm			
内装版用	1	2	3	4
初期値	130.7	125.4	132.8	133.7
強制変位後	135.7	130.7	137.8	138.8
変位量	5.0	5.3	5.0	5.1

	mm			
照明用	5	6	7	8
初期値	122.1	132.2	133.4	136.5
強制変位後	127	137.2	138.3	141.3
変位量	4.9	5.0	4.9	4.8

③ 計測結果 レーザ点群の例



④ 計測結果 正解値との比較

mm

内装版用	1	2	3	4
MIMMレーザ計測値	5.7	5.0	4.8	3.3
ノギス計測値(正解値)	5.0	5.3	5.0	5.1
差分	0.7	-0.3	-0.2	-1.8
二乗平均平方根	1.0			

mm

照明用	5	6	7	8
MIMMレーザ計測値	5.5	4.1	5.2	3.1
ノギス計測値(正解値)	4.9	5	4.9	4.8
差分	-0.6	0.9	-0.3	1.7
二乗平均平方根	1.0			

試験結果による計測精度の結論

1mm程度

相対差分計測精度

【レーザ計測結果から強制変位量を求める手法】

- ・供試体の4隅の板表面に当たっている点群のうち、4隅の点群の10点程度の平均値から、4隅の座標を求める
- ・供試体の4隅に相当する付近の壁面の座標を求める(レーザが角度がついているため、板の背面に回り込むレーザ点群は除外する)
- ・4隅の板表面座標から壁面座標を引き、板表面の壁面からの距離を求める
- ・強制変位の前後で、板表面までの距離差分をとり、変化量を求める。

技術番号 TN030003-V0323

技術名 MIMM-Rのレーザースキャナを活用したトンネル覆工の形状、変形の状態把握技術

開発者名 パシフィックコンサルタンツ株式会社

試験日 平成28年 12 月 1 日 天気 晴れ 気温 °C 風速 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 3次元座標 試験区分 性能試験 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

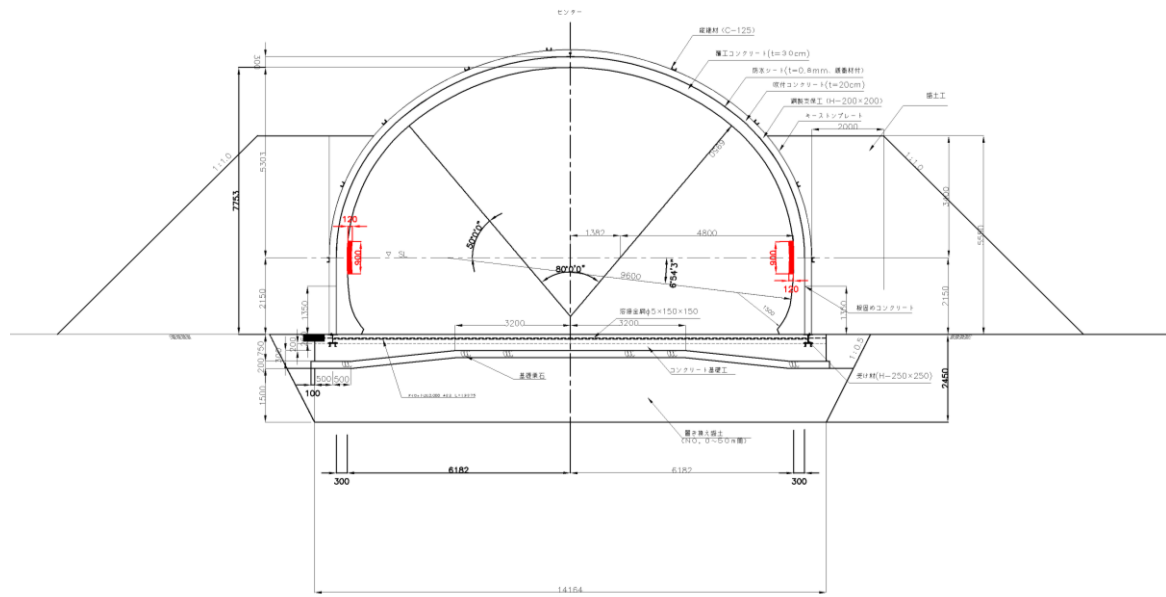
対象構造物の概要



模擬トンネル全景



模擬トンネル全景(正面)



試験方法(手順)

- ① 2点間距離を計測する。コンバージェンスメータ、光波測量、3次元レーザ、MIMM-R(停止、走行)により比較する。
- ② 内装版や壁面変位を模擬した計測を行う(側壁、肩部、天端部、路面隆起)

開発者による計測機器の設置状況



内空変位模擬の合板(天端部の例)



左: 測量

右: MIMM-R計測

比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

—

1. 2点間距離計測精度の検証

1) 使用機器



a) 車両外観



b) 高精度レーザー

図1 走行型計測車両 (MIMM-R)

表1 高精度レーザーの仕様

機種名	PENTAX Scanning System S-2100
レーザー仕様	クラス1
波長	>700nm
測定精度	代表値: ±1.68mm ^{注1}
使用温度範囲	摂氏-10~45度
温度補正	有り (自動)

注1: 距離5m, 2σ, 12000rpm, 反射率80%

2) 検証用ターゲットの配置

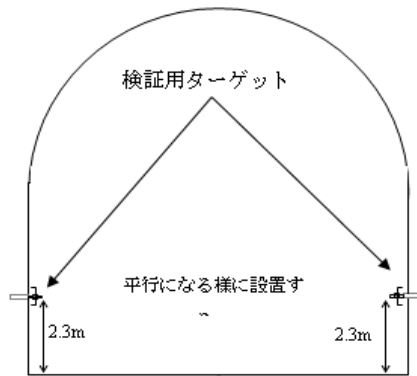


図2 2点間距離計測検証用ターゲット配置位置

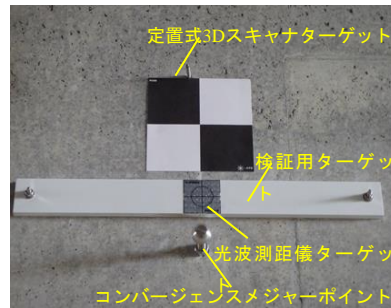
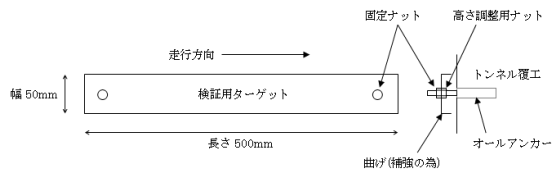
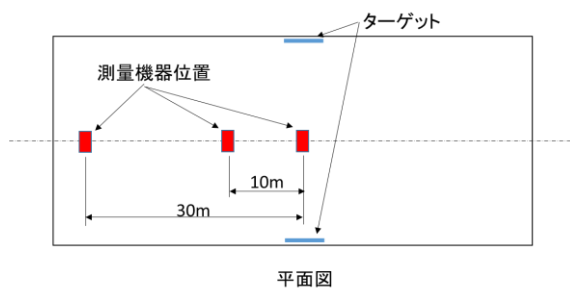


図3 検証用ターゲット

3) 計測結果

表2 光波測距儀、定置式3Dスキャナー、走行型計測レーザの2点間距離測定結果 (mm)

計測方法	測距位置 または 走行条件	回転数	計測値(mm)	光波測距儀(0m)との比較
光波測距儀	0m	—	12,391.5	—
	10m	—	12,390.1	-1.4
	30m	—	12,391.4	-0.1
定置型3Dスキャナ	0m	—	12,392.0	0.5
	10m	—	12,398.0	6.5
	20m	—	12,407.0	15.5
走行型計測	停止	50Hz	12,393.1	1.6
	停止	100Hz	12,392.7	1.2
	停止	200Hz	12,394.0	2.5
	10km/h	200Hz	12,393.9	2.4
	20km/h	200Hz	12,393.1	1.6
	平均値に対する最大誤差		0.6	—
	平均値に対する最小誤差		-0.6	—



走行型計測による2点
間距離計測精度
1.6~2.4mm

図4 着目点 (光波測距儀、定置式3Dスキャナーの測距位置)

2. 疑似変位計測精度の検証

1) 使用機器

2点間距離計測と同様の高精度レーザ

2) ターゲットの配置

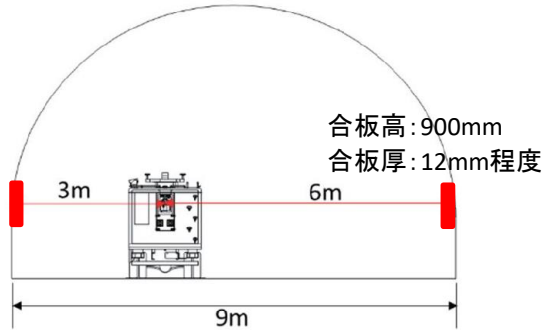


図5 疑似変位設定(合板の設置なし、あり)



写真1 合板設置状況(合板厚12mm程度)

3) 計測結果

表3 走行状態における疑似変位の計測結果と誤差

(mm)

計測位置		速度	変位量	バラツキ	実測値	誤差
左側合板	上部	静止	12.7	0.8	12.5	0.2
		10m/h	13.3			0.8
		20m/h	13.5			1.0
	下部	静止	11.7	0.7	12.1	-0.4
		10m/h	11.7			-0.4
		20m/h	12.4			0.3
右側合板	上部	静止	-	0.1	11.9	-
		10m/h	11.9			0.0
		20m/h	12.0			0.1
	下部	静止	-	0.0	13.9	-
		10m/h	13.3			-0.6
		20m/h	13.3			-0.6
					最大	1.0
					最小	-0.6

- ・ 高精度レーザ回転数 200Hz
- ・ 走行計測変位量は合板段差を計測し、合板中央400mmを横切るスキャンデータの平均値
- ・ 合板実測値はノギスによる

走行型計測による変位計測精度(相対差分)

0.6~1.0mm

出典:トンネル工学報告集 第27巻 I-4 2017.11

技術番号 TN030004-V0021

技術名 FBG方式光ファイバーセンサー

開発者名 株式会社 共和電業

試験日 令和3年 3月 19日 天候 晴れ 気温 20 °C 風速 0 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ

検出項目 変位(覆工状態の把握)

試験フェーズ 性能試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測(簡易)、動作確認

対象構造物の概要

1. 施工技術総合研究所 模擬トンネルの概要

- ・構造 吹付けコンクリート20cm+覆工コンクリート30cm
- ・延長 80m
- ・高さ 7.8m
- ・最大幅 12.4m
- ・勾配 0.3%



写真1 外観

2. 計測位置

- ・計測場所 模擬トンネル内 中央部

(概略位置は、写真・図の★)

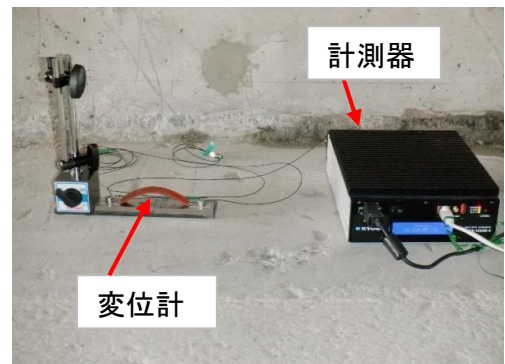


写真2 機材外観

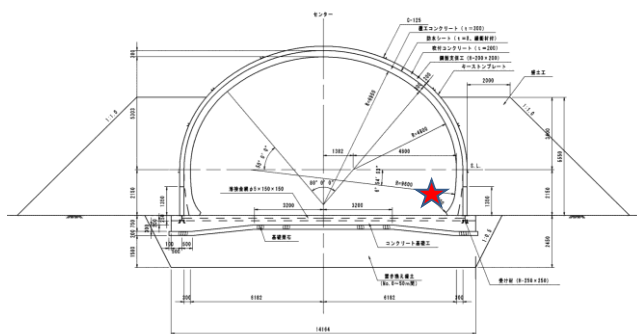


図1 断面

試験方法(手順)

- ① トンネル中央部に設置した変位計と測定器を設置
- ② ブロックゲージ(JIS B 7506)を使用し、1mmステップ(最大±1mm)の変位を与える。
- ③ 各ステップで5～10分程度保持し、安定した値をPCで記録する。
- ④

開発者による計測機器の設置状況

1. 機器の構成と設置

- ① 変位センサー(FGB方式光ファイバー, 0～5mm, 写真3a,b)
- ② 光ファイバー計測器(EFOX-1000B-4, 写真4)
- ③ ノート型PC(写真4)
- ④ ブロックゲージ(t=2.0、3.0、4.0mm 各1枚)

※ ブロックゲージとは、JIS B 7506にて定められた長さの基準として用いられる直方体形のゲージ
今回は、新潟精機製 ブロックゲージ 1等相当品を使用。

2. 測定条件

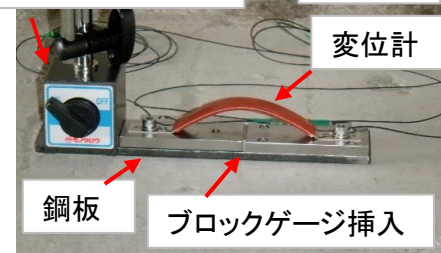
- ・ サンプリング周波数 1000Hz
- ・ 写真3aの変位計右側をネジ固定し、変位計左側を無負荷(可動できる)にしてから、3mmのブロックゲージを挟み込み固定。
ただし、マグネットスタンドを鋼板上で固定し、可動部がマグネットスタンド当たると変位が停止する状態とした。
また、温度補正の為、変位計近傍に温度計を取付けた(写真3b)
- ・ ブロックゲージを3mmタイプから4mmタイプに交換し、計測。
- ・ ブロックゲージを4mmタイプから3mmタイプに交換し、計測。
- ・ ブロックゲージを3mmタイプから2mmタイプに交換し、計測。

※ 計測時の留意点

ブロックゲージを挿入部に挟み込み、5～10分程度保持してから計測を行

マグネットスタンド
(固定用)

写真3a

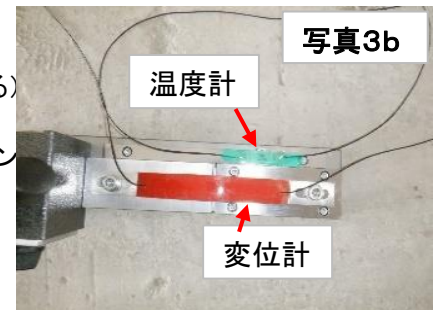


変位計

鋼板

ブロックゲージ挿入

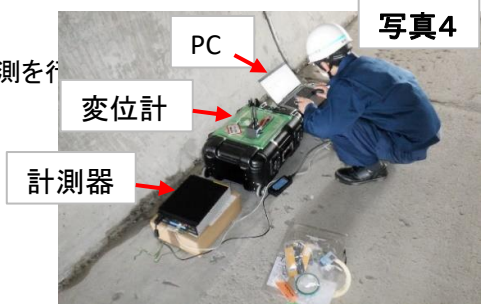
写真3b



温度計

変位計

写真4



PC

変位計

計測器

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

※ 今回は、JIS B 7506 規格のブロックゲージを使用した現地確認試験のため、立会者(施工研ご担当者様)による比較対象計測は実施せず。

1. 計測結果

現地計測試験では、ブロックゲージ厚3mmを基準として、ブロックゲージ厚4mm(1mm増)やブロックゲージ厚2mm(1mm減)に交換することで、±1mmの変位変化を与えた。

ブロックゲージ交換後に保持時間を10分間、5分間として2回計測した。

ブロックゲージにて、変位を加え、1回目、10分、2回目、5分保持し、安定した値を記録し、下記表に示す。

また、集録したデータの相対精度は、2.0%～10.2%と大きな差が得られたが、これは、短時間で繰り返し変位を与え、薄い板ばねを使用したセンサーを用いた今回の試験方法では、もう少し長めに保持時間を取り、安定したデータを取得すべきであったと考える。(センサーカタログ値 精度 0.05%)

理由として、1回目の10分間保持の相対精度に対し、2回目の5分間保持の相対精度の方が向上しており、現地計測時における作業員の習熟具合が影響したと考える。

本計測の対象は 長期間計測において、微小変位を高精度に計測に有効であることから、実際の現場環境においては、設置後、大きな変位を繰り返し与えることが無い為、安定したデータを取得できると推察する。

10分間保持

ブロックゲージ 厚さ (mm)	ブロックゲージ 変化量 A (mm)	FBG測定値 (mm)	FBG変位量 a (mm)	a-A (mm)	相対精度 (%)
3.00		-0.01			
4.00	1.00	1.05	1.06	0.06	6.0%
3.00	-1.00	-0.03	-1.08	-0.08	7.9%
2.00	-1.00	-0.93	-0.90	0.10	-10.2%
3.00	1.00	0.03	0.95	-0.05	-4.6%

表1 1回目(10分保持)

5分間保持

ブロックゲージ 厚さ (mm)	ブロックゲージ 変化量 A (mm)	FBG測定値 (mm)	FBG変位量 a (mm)	a-A (mm)	相対精度 (%)
3.00		0.03			
4.00	1.00	1.07	1.04	0.04	4.0%
3.00	-1.00	0.00	-1.07	-0.07	7.0%
2.00	-1.00	-0.93	-0.93	0.07	-7.0%
3.00	1.00	0.05	0.98	-0.02	-2.0%
4.00	1.00	1.07	1.02	0.02	2.0%
3.00	-1.00	0.00	-1.07	-0.07	7.0%

表2 2回目(5分保持)

技術番号 TN030005-V0021

技術名 LoRa方式長距離無線ユニット 開発者名 株式会社 共和電業

試験日 令和3年 3月 19日 天候 晴れ 気温 20 °C 風速 0 m/s

試験場所 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 模擬トンネル

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 変位(覆工状態の把握) 試験フェーズ 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測、通信距離

対象構造物の概要

1. 対象構造物の概要

- ① 試験場所 施工技術総合研究所 模擬トンネル
- ② 構造 吹付けコンクリート 20cm + 覆工コンクリート 30cm (写真1)
- ③ 延長 80m
- ④ 高さ 7.8m
- ⑤ 最大幅 12.4m
- ⑥ 勾配 0.3%



写真1 外観

2. 計測位置

- ① 計測位置 下図のとおり

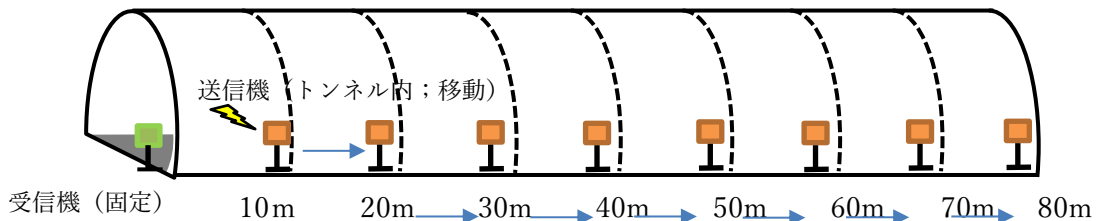


図1 計測位置図

試験方法(手順)

- ① トンネル中央部に変位計を設置(送信機と延長ケーブルで接続)
- ② トンネル端部に受信機とPCを設置し、送信機を10mずつ移動させ、最長80m離れた状態でデータ送受信の確認
- ③ トンネル中央部に送信機を設置し、受信機とPCを携えて施工技術総合研究所 様の敷地内を移動し、データ送受信の確認(最長340m)
- ④

開発者による計測機器の設置状況

1. 機器構成

- ① LoRa方式長距離無線ユニット 送信機(写真2、3a)
- ② LoRa方式長距離無線ユニット 受信機(写真2、3b)
- ③ ノート型PC
- ④ 従来式センサー(ひずみゲージ式変位計;DTH-A-5 ; 0~5mm用)



写真2 機器外

2. 測定条件

- ① 計測間隔 1分(実証試験用に設定変更)
- ② 送受信機は、金具を用い、地上1mの高さに設置した。
- ③ 送信機をトンネル端部に設置し、10mずつ離れてから計測し、受信機で受信確認後、さらに10m移動し、最長80m離れて計測を実施した。
- ④ 送信機を模擬トンネル内中央部に設置し、施工技術総合研究所 殿の敷地内を移動し、最長340mまで計測を実施した。
- ⑤ 見通し距離340m地点では、地上部1mの高さで通信不良となった為、約2mの高さに設置し、通信が確認できた。



写真3a 送信機



写真3b 受信機
(金具含む)



写真4 送信機
(設置状況)



写真5a 通信試験状況



写真5b 通信試験状況
(185m地点)



写真5c 通信試験状況
(340m地点)

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

※ 今回は、送受信機間の無線通信確認するため、立会者(施工技研ご担当者様)による比較対象計測は実施せず。
なお、無線通信にて使用したセンサーは従来型のひずみゲージ式変位計を使用。

1. 測定結果

現地計測試験結果を下記に示す。

- ① トンネル内の通信試験結果は、下記表の通り、受信信号強度が高く問題無く計測できた（-120dBm以上）

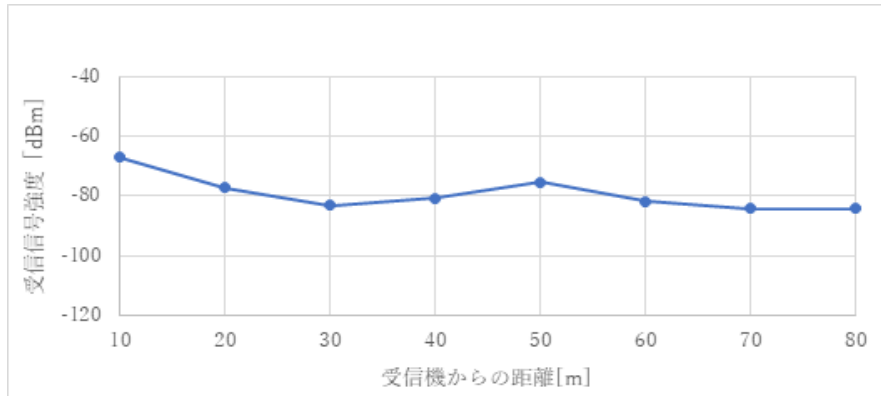


図2 距離と信号強度

- ② 施工技術総合研究所 殿 敷地内との試験結果と位置について、下記図3にて示す。

（判断レベル）通信状態が-120dBm以上が良好な通信状態と判断できる。

- 1) 送信機を模擬トンネル内中央部に設置し、施工技術総合研究所 殿 敷地内の建物および敷地の傾斜が遮蔽物となったが、通常状態は良好であった。（写真5a, b; -109dBm以上）
- 2) 見通し距離の最長位置340m地点では、建物、木々、傾斜などにより、通信状態が悪化（-130dBm）、通信不良となった。（写真5c）
- 3) 高さを2mとすると改善が見られた。

※ 見通し距離を伸ばす場合、遮蔽物を少なくし、送受信機を高い位置に設置することで改善します。社内検査では、〇〇kmの通信が確認しております。
なお、通信不良時は、送信機側の内部メモリにて記録され、欠測がありません。

施設内試験結果を下記に示す。

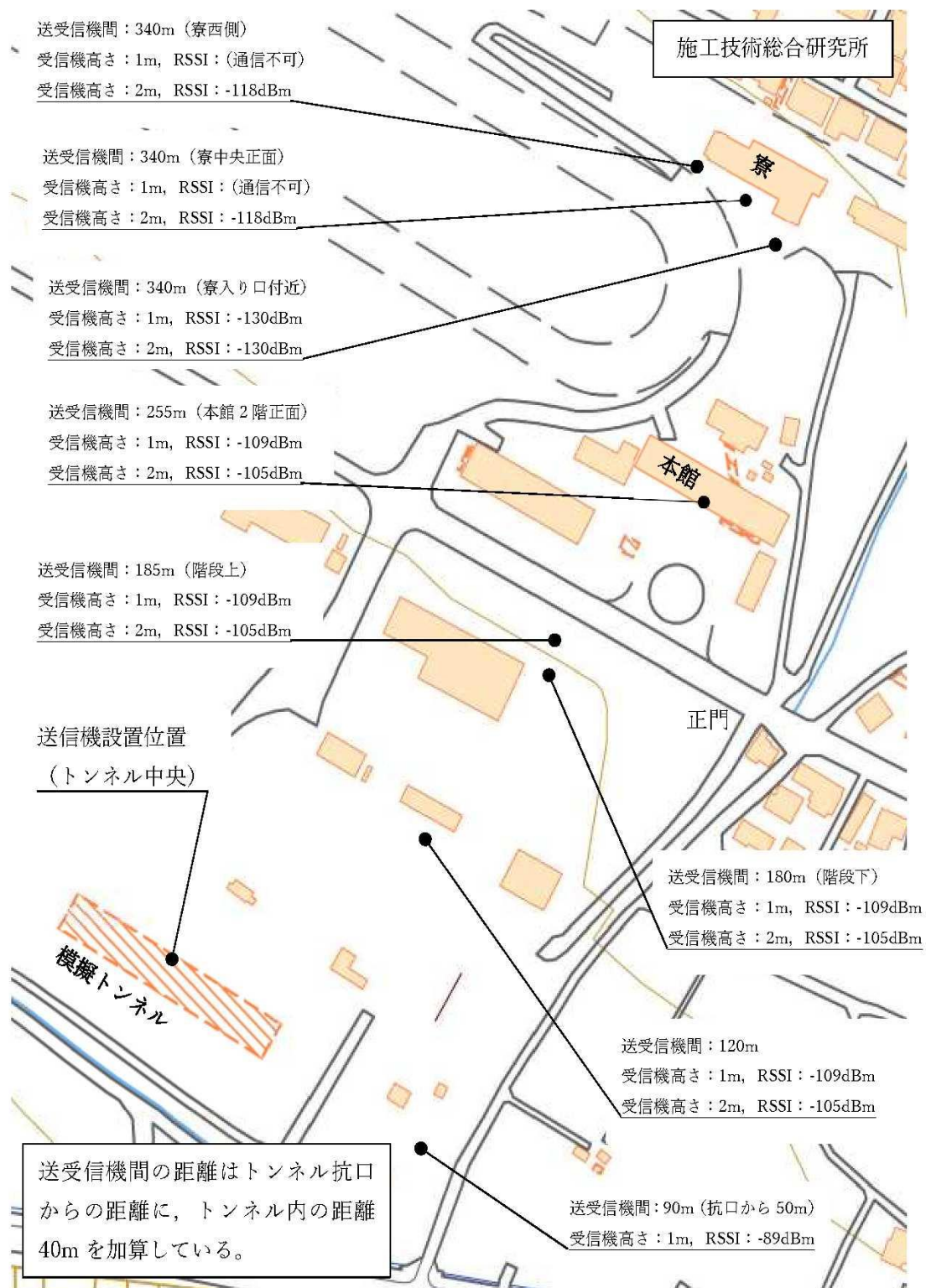


図3 施設内試験結果

技術番号 TN030008-V0123

技術名 現場の安全を光の色で確認する
「光るコンバーター Light Emission Converter」

開発者名 株式会社KANSOテクノス
東亜エルメス株式会社
国立大学法人神戸大学

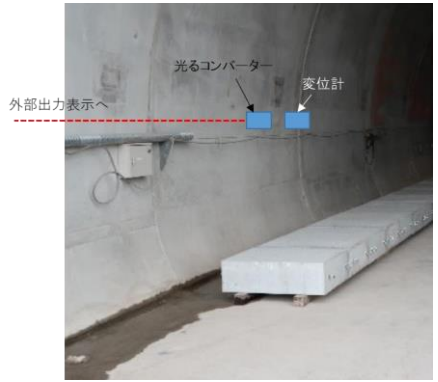
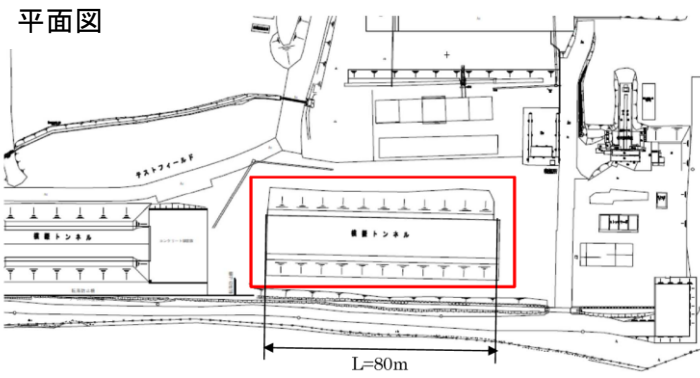
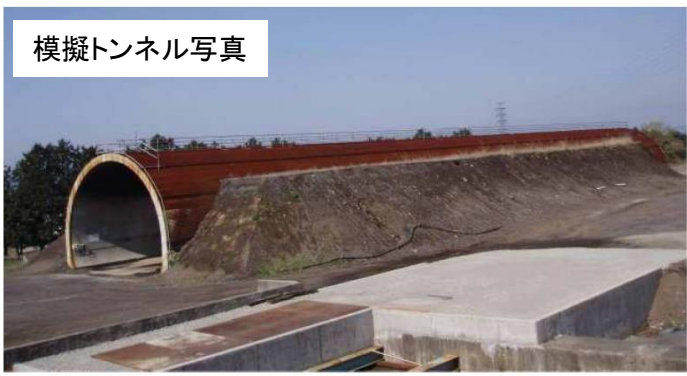
試験日 令和3年 3月 19日 天候 晴れ 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 施工技術総合研究所

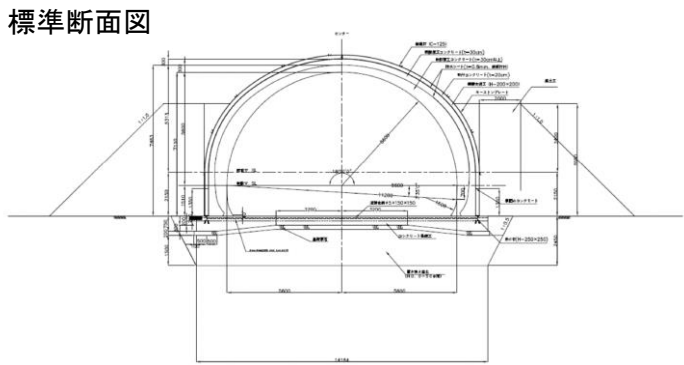
カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 変位量 試験区分 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 変位量に伴う動作確認

対象構造物の概要



計器設置概念図



試験方法(手順)

- ① 光るコンバーターに亀裂変位計を接続し、設定ユーティリティソフトで[閾値]、[発光色]を設定する。(図-1)
- ② 亀裂変位計を模擬変位台に取付けて、強制的に変位させる。(写真-1)
- ③ 光るコンバーターの発光色が設定された[閾値]、[発光色]のとおりに変化することを確認する。(写真-2)
- ④ 光るコンバーターに接続された外部LEDが光るコンバーターに同期して発光することを確認する。(写真-3)

開発者による計測機器の設置状況

写真-1

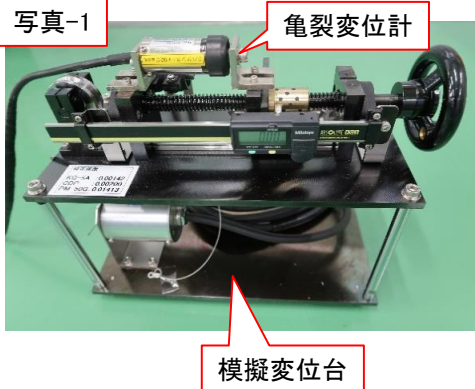


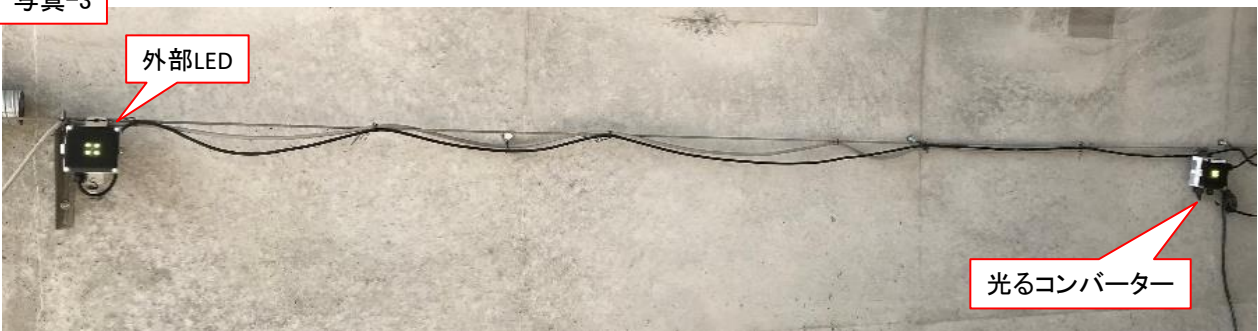
図-1



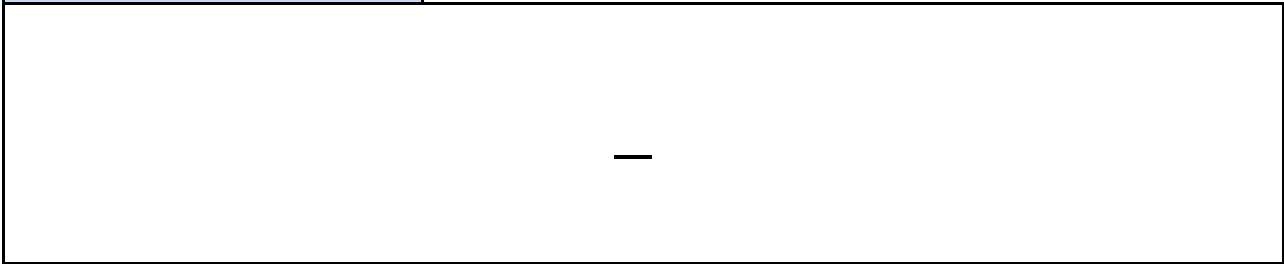
写真-2



写真-3



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況



計測結果の比較

試験の結果、光るコンバーターの発光色が設定された[閾値]、[発光色]のとおりに変化することを確認した。(表-1)
また、外部LEDが光るコンバーターに同期して発光することを確認した。

表-1

[閾値]、[発光色]の設定※	模擬変位台による変位量	結果
[閾値1] 4mm [発光色1] 青色	4mm以上	
[閾値2] 2mm [発光色2] 水色	2mm以上4mm未満	
[閾値3] -2mm [発光色3] 緑色	-2mm以上2mm未満	
[閾値4] -4mm [発光色4] 黄色	-4mm以上-2mm未満	
[発光色5] 赤色	-4mm未満	

※設定:[閾値N]以上[閾値N-1]未満の時に[発光色N]

以上より、光るコンバーターが正常に動作することを確認できた。

技術番号 TN030009-V0123

技術名 附属物検知デバイス「フリークエンター」(電源フリー) 開発者名 (株)構研エンジニアリング (株)鷺宮製作所 (株)建設技術研究所 国立大学法人京都大学 国立大学法人北海道大学

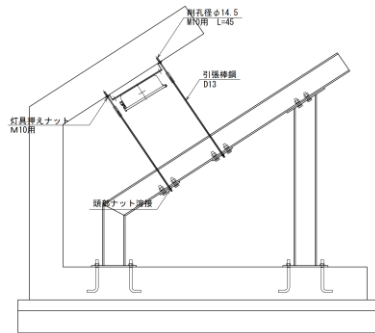
試験日 令和3年 11月 2日 天候 晴れ 気温 19.8 °C 風速 2.2 m/s

試験場所 茨城県つくば市 供試体(R3.11.2) 北海道上川郡上川町Aトンネル(R3.8.25)、北海道函館市Bトンネル(R3.10.6)

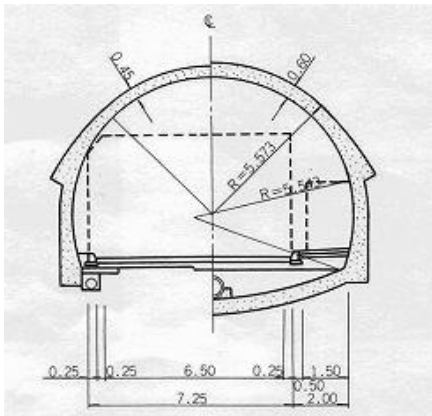
カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 検出精度 試験区分 現地試験

試験で確認する
カタログ項目 検出精度

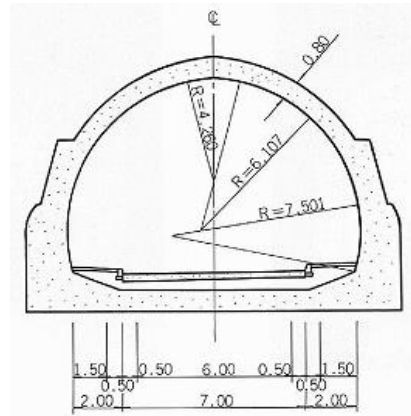
対象構造物の概要



供試体の全景



断面図(Aトンネル)



断面図(Bトンネル)



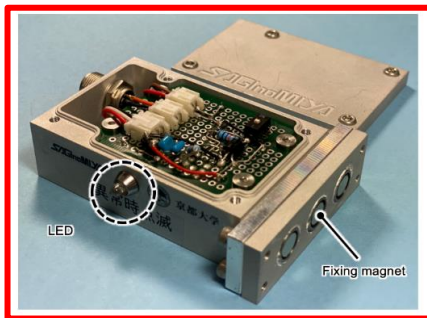
照明灯具(Aトンネル)
状態:健全



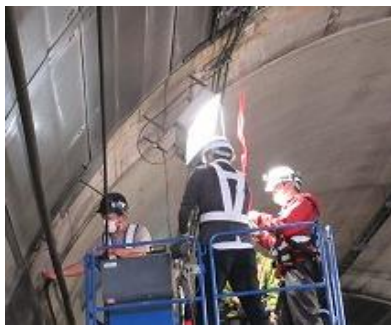
照明灯具(Bトンネル)
状態:表面腐食

- ① 照明供試体(健全・緩ませた等)のピーク周波数を計測し管理基準値を設定
- ② MEMSエネルギーハベスタを、その管理基準値で発電するようにチューニング
- ③ 照明取付金具を緩ませた状態で、励起力(ハンマーや人力による揺すり等)を与えて、デバイスのランプが点灯するかどうか確認
- ④

開発者による計測機器の設置状況



デバイス設置状況(供試体)



計測状況(Aトンネル)



計測状況(Bトンネル)

比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

なし



検知デバイスの構成

検知デバイスの外観



供試体
チェックポイント

ボルト緩み無(消灯)



励起状況(プラスチックハンマー)



ボルト緩み有り(点灯)

(参考)周波数特性(供試体:健全~ゆるみ)

表-4 解析実施ケースおよび解析結果一覧

Case	ボルト緩み	ボルト緩み配置	解析による卓越固有周波数	既往実験による卓越固有振動数
Case0	全固定	●ア ●ウ ●イ ●エ	92.6Hz	87Hz
Case1	1点	●ア ●ウ ●イ ●エ	90.8Hz	74Hz
Case2	2点	●ア ●ウ ●イ ●エ	89.8Hz	72Hz
Case3	3点	●ア ●ウ ●イ ●エ	87.8Hz	66Hz

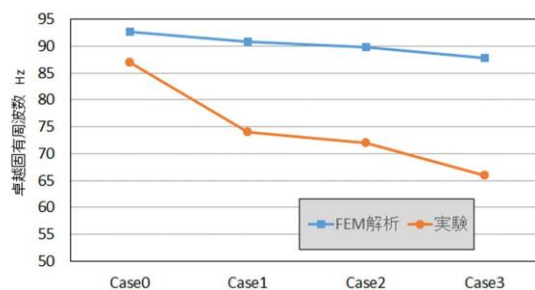


図-8 FEM解析と既往実験の比較

(設定)

- LED
- 消灯 (Green square) チェックポイント 85Hz
- 点灯 (Red square) 75Hz
- 点滅 (Red starburst)

実験計測値からの設定例(管理基準値)

出展)野村貢, 戸本悟史, 西條敦志, 木村定雄, 芥川真一:トンネル内附属物保全モニタリングシステムの実用化
 についての研究, 土木学会論文集F1(トンネル工学), Vol.72, No.3(特集号), 1_47-1_62, 2016.

技術番号 TN030010-V0123

技術名 非GNSS環境対応型レーザー計測システム(MIMM-S)によるトンネル覆工幅と高さの把握 開発者名 計測検査株式会社

試験日 令和4年 2月 9日 天候 晴れ 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 国土技術政策総合研究所 実大トンネル実験施設

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 変位、うき(トンネル) 試験区分 標準試験 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 変位計測精度、位置精度
うき検出精度

対象構造物の概要

■対象構造物名 国土技術政策総合研究所 実大トンネル実験施設

■延長 700m



図1.トンネル坑口写真

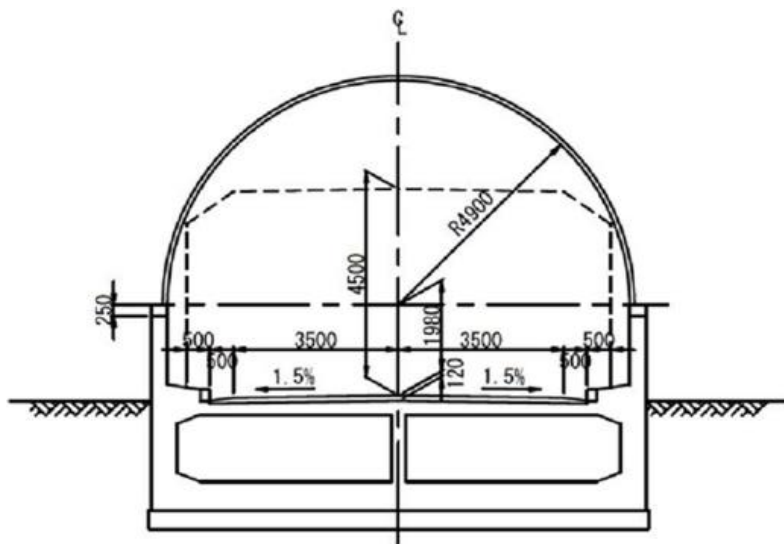


図2.標準断面図

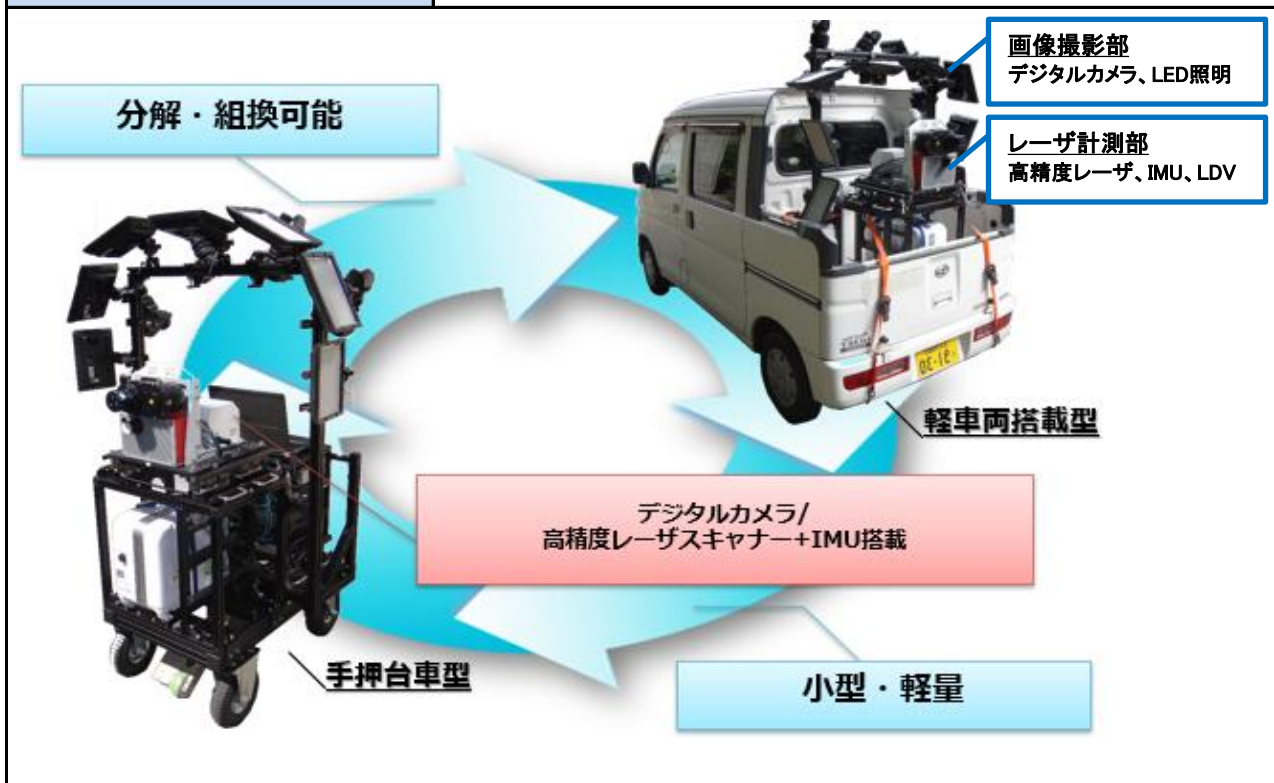
① 対象トンネル内を走行し、レーザー計測を行う。

② 点群の3次元化処理

③ 変位解析

④

開発者による計測機器の設置状況



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

■実大トンネル内に設置した各試験体



図3-1.トンネルマーカー状況写



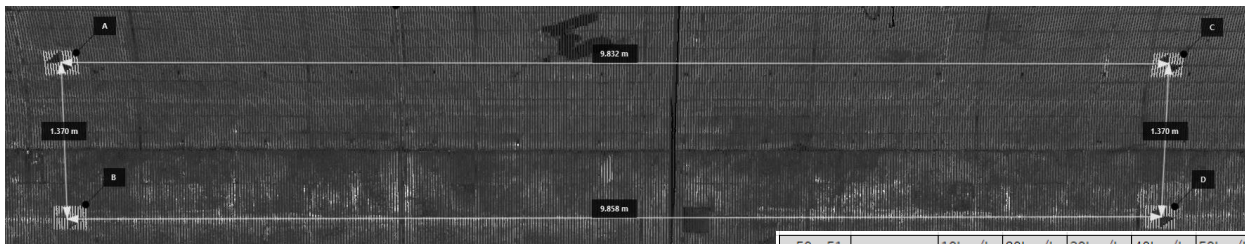
図3-2.模擬うき設置状況写真



図3-3.変位測定試験設体置状況写

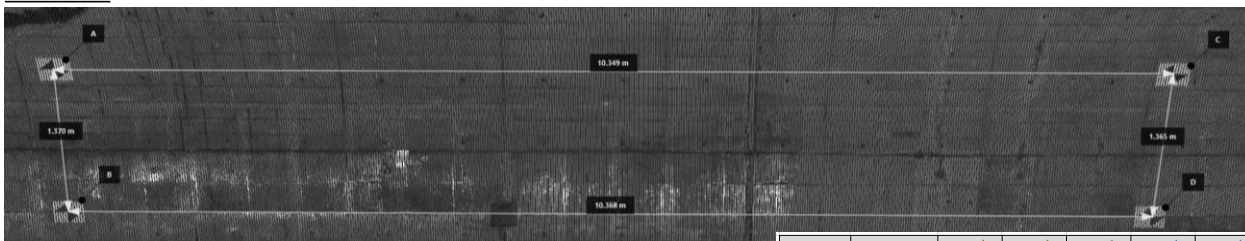
■トンネルマーカー測定結果(長さ計測精度)

S50-S51



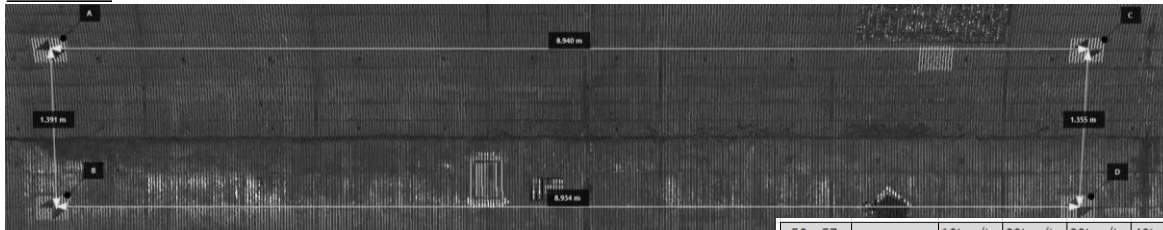
s50-s51		10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
A-B	点群計測値	1362	1370	1365	1399	1363
	実測値	1366	1366	1366	1366	1366
	差分値	-4	4	-1	33	-3
C-D	点群計測値	1367	1370	1356	1377	1366
	実測値	1360	1360	1360	1360	1360
	差分値	7	10	-4	17	6
A-C	点群計測値	9812	9832	9794	9856	9844
	実測値	9837	9837	9837	9837	9837
	差分値	-25	-5	-43	19	7
B-D	点群計測値	9825	9858	9785	9858	9857
	実測値	9843	9843	9843	9843	9843
	差分値	-18	15	-58	15	14

S53-S54



s53-s54		10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
A-B	点群計測値	1366	1370	1378	1338	1367
	実測値	1369	1369	1369	1369	1369
	差分値	-3	1	9	-31	-2
C-D	点群計測値	1352	1365	1358	1353	1344
	実測値	1353	1353	1353	1353	1353
	差分値	-1	12	5	0	-9
A-C	点群計測値	10342	10349	10339	10370	10345
	実測値	10361	10361	10361	10361	10361
	差分値	-19	-12	-22	9	-16
B-D	点群計測値	10365	10368	10370	10361	10330
	実測値	10383	10383	10383	10383	10383
	差分値	-18	-15	-13	-22	-53

S56-S57



s56-s57		10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
A-B	点群計測値	1369	1391	1374	1384	1368
	実測値	1369	1369	1369	1369	1369
	差分値	0	22	5	15	-1
C-D	点群計測値	1356	1355	1355	1374	1361
	実測値	1355	1355	1355	1355	1355
	差分値	1	0	0	19	6
A-C	点群計測値	8919	8940	8942	8998	8993
	実測値	8950	8950	8950	8950	8950
	差分値	-31	-10	-8	48	43
B-D	点群計測値	8946	8934	8958	9007	8983
	実測値	8982	8982	8982	8982	8982
	差分値	-36	-48	-24	25	1

本検証での各誤差はトンネル周方向は理論値より大きく、進行方向は少なかった。よってカタログには下記を記載している。

- ・進行方向誤差 ±70mm(理論値を考慮して設定)
- ・トンネル周方向誤差 ±19.1mm(検証結果を考慮して設定)
- ※周方向は最大誤差発生時(40km/h走行時)6測点(A-B、C-D)の平均値

■変位測定試験体測定結果(変位計測精度精度)

実大トンネル内に変位測定試験体を設置し、レーザー計測を行う。その後、試験体をトンネル覆工方向に10mm移動させ再度計測を行う。移動させた点群と初期状態の点群の差分解析を行い、10mmの差分値を得られるか検証する。取得した点群から基準断面を作成し、基準断面と点群が重なるように位置合わせを行う。基準断面と点群の距離を求めることで、壁面から試験体までの距離を計算し、初期状態との差分を解析する。

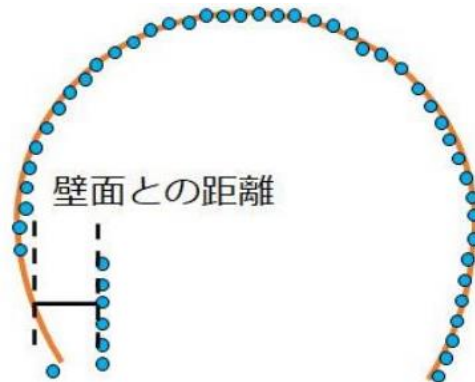


図4-1. 測定概要

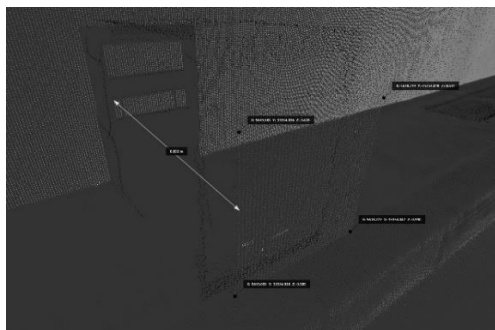


図4-2.差分測定(点群上)

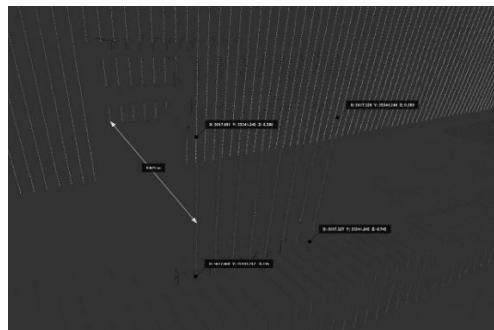


図4-3.差分測定(点群上)

初期状態との差分結果は右図のとおりである。横軸を進行方向、縦軸を周方向とし、展開画像のように表現している。各図の左上に試験体があり、誤差は3.7mmであった。

解析においては正確な差分値を得るために、試験体の差分値を抜粋し、その値全体の平均を差分値として算出している。

差分正解値	10mm
差分計測値(点群直接)	11mm
誤差	1mm
差分コンター計測値	13.7mm
誤差	3.7mm

以上の結果より、本検証における変位解析誤差は
±3.7mm程度である。

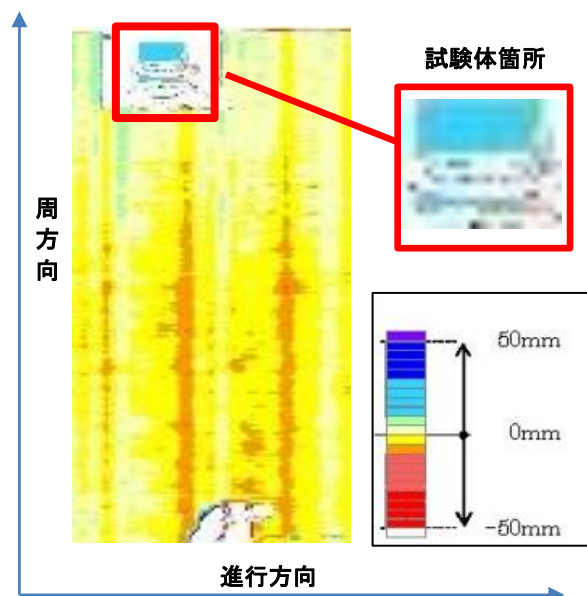


図4-4.差分コンター計測

■ 模擬うき計測結果(うき計測精度)

実大トンネル内で、うきサンプル上を通過する測定ラインを設定する。測定ライン上に存在する点群を抽出し、それぞれの点群に対しトンネル中心からの水平距離を求め、それをグラフ化する。トンネル中心は点群全体からトンネル断面の円を近似し、その中心点を求めることで決定する。

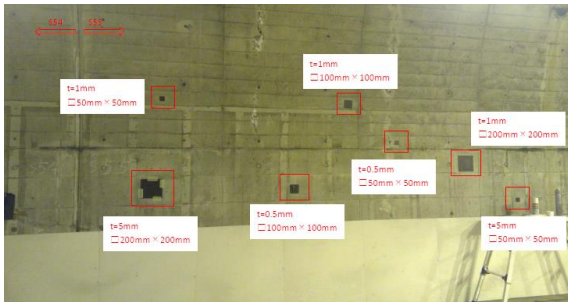


図5-1. 模擬うき設置状況



図5-2. 模擬うき設置状況

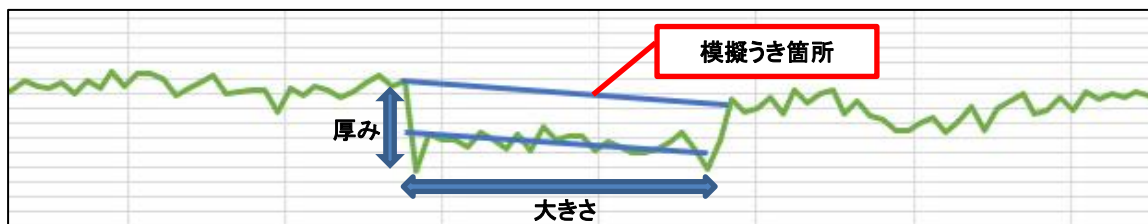
模擬うきは厚み分トンネル中心からの距離が短くなるため、グラフには凹みで表現される。うきを計測するには、うき箇所点群が当たるのが必須であるため進行方向の点群間隔より小さいうきは計測できない。また、走行型レーザー計測では計測値にある程度バラつきが出るため、複数点から平均を求める必要がある。よって厚みを計測したい場合、少なくとも点群間隔の3倍以上の大きさでないと計測精度が悪くなる。進行方向の点群間隔は下表のとおりである。

進行方向の点群間隔

時速	10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
点群間隔	14mm	28mm	42mm	56mm	69mm

本検証ではうきの厚みの誤差は最大で3.0mmであった。計測速度が速いとうき箇所の点数が少なくなるため、低速で計測したほうが誤差は小さい傾向にある。うきの大きさについては、点群間隔分のデータ抜けがあるため、値がマイナスになっている箇所が多く見られる。なお、計測結果の表では3点以上計測できていないうきについては不可と判定している。

解析例



■ 模擬うき計測結果(うき計測精度)

模擬うき 厚み測定結果

		10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
①	浮き厚み点群計測値	5	6	4.5	4	4
	浮き厚み	5	5	5	5	5
	差分値	0	1	-0.5	-1	-1
	浮き大きさ点群計測値	50	80	50	100	120
	浮き大きさ	50	50	50	50	50
	差分値	0	30	0	50	70
②	浮き厚み点群計測値	6	8	5.5	5	8
	浮き厚み	5	5	5	5	5
	差分値	1	3	0.5	0	3
	浮き大きさ点群計測値	100	110	150	150	190
	浮き大きさ	100	100	100	100	100
	差分値	0	10	50	50	90
③	浮き厚み点群計測値	7	6	6	7	6
	浮き厚み	5	5	5	5	5
	差分値	2	1	1	2	1
	浮き大きさ点群計測値	200	210	240	250	250
	浮き大きさ	200	200	200	200	200
	差分値	0	10	40	50	50
④	浮き厚み点群計測値	3	1.5	2.5	不可	2.5
	浮き厚み	3	3	3	3	3
	差分値	0	-1.5	-0.5	不可	-0.5
	浮き大きさ点群計測値	40	50	50	不可	120
	浮き大きさ	50	50	50	50	50
	差分値	-10	0	0	不可	70
⑤	浮き厚み点群計測値	4	3	5.5	4	4
	浮き厚み	3	3	3	3	3
	差分値	1	0	2.5	1	1
	浮き大きさ点群計測値	100	110	120	140	180
	浮き大きさ	100	100	100	100	100
	差分値	0	10	20	40	80
⑥	浮き厚み点群計測値	3.5	3	3.2	2.5	3
	浮き厚み	3	3	3	3	3
	差分値	0.5	0	0.2	-0.5	0
	浮き大きさ点群計測値	200	200	220	300	120
	浮き大きさ	200	200	200	200	200
	差分値	0	0	20	100	-80

■ 模擬うき計測結果(うき計測精度)

模擬うき 厚み測定結果

⑦	浮き厚み点群計測値	不可	1.5	1.5	不可	不可
	浮き厚み	1	1	1	1	1
	差分値	不可	0.5	0.5	不可	不可
	浮き大きさ点群計測値	不可	50	60	不可	不可
	浮き大きさ	50	50	50	50	50
	差分値	不可	0	10	不可	不可
⑧	浮き厚み点群計測値	2.5	1.5	不可	3	1.5
	浮き厚み	1	1	1	1	1
	差分値	1.5	0.5	不可	2	0.5
	浮き大きさ点群計測値	50	100	不可	130	130
	浮き大きさ	100	100	100	100	100
	差分値	-50	0	不可	30	30
⑨	浮き厚み点群計測値	1.5	2	1	不可	2
	浮き厚み	1	1	1	1	1
	差分値	0.5	1	0	不可	1
	浮き大きさ点群計測値	200	220	240	不可	270
	浮き大きさ	200	200	200	200	200
	差分値	0	20	40	不可	70
⑩	浮き厚み点群計測値	不可	不可	不可	不可	不可
	浮き厚み	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	差分値	不可	不可	不可	不可	不可
	浮き大きさ点群計測値	不可	不可	不可	不可	不可
	浮き大きさ	50	50	50	50	50
	差分値	不可	不可	不可	不可	不可
⑪	浮き厚み点群計測値	不可	不可	不可	不可	不可
	浮き厚み	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	差分値	不可	不可	不可	不可	不可
	浮き大きさ点群計測値	不可	不可	不可	不可	不可
	浮き大きさ	100	100	100	100	100
	差分値	不可	不可	不可	不可	不可
⑫	浮き厚み点群計測値	不可	不可	不可	不可	不可
	浮き厚み	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	差分値	不可	不可	不可	不可	不可
	浮き大きさ点群計測値	不可	不可	不可	不可	不可
	浮き大きさ	200	200	200	200	200
	差分値	不可	不可	不可	不可	不可

以上の結果より、本検証におけるうき・はく離の検出結果は下記のとおりである。

- ・厚み 覆工に設置された3mm、5mmの模擬うきを検出
- ・サイズ 5cm×5cm以上であれば検出可能

※検出可能サイズは速度によって変化

200Hzの場合 10km/h:5cm×5cm以上、20km/h:10cm×10cm以上、30km/h:20cm×20cm以上

技術番号 TN030011-V0022

技術名 モアレ縞を用いたひずみ計測技術(ひずみ可視化デバイス) 開発者名 (株)計測リサーチコンサルタント/国立大学法人広島大学

試験日 令和4年 5 月 19 日 天候 晴 気温 24 °C 風速 - m/s

試験場所 株式会社計測リサーチコンサルタント 本社

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 変位 試験区分 性能試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

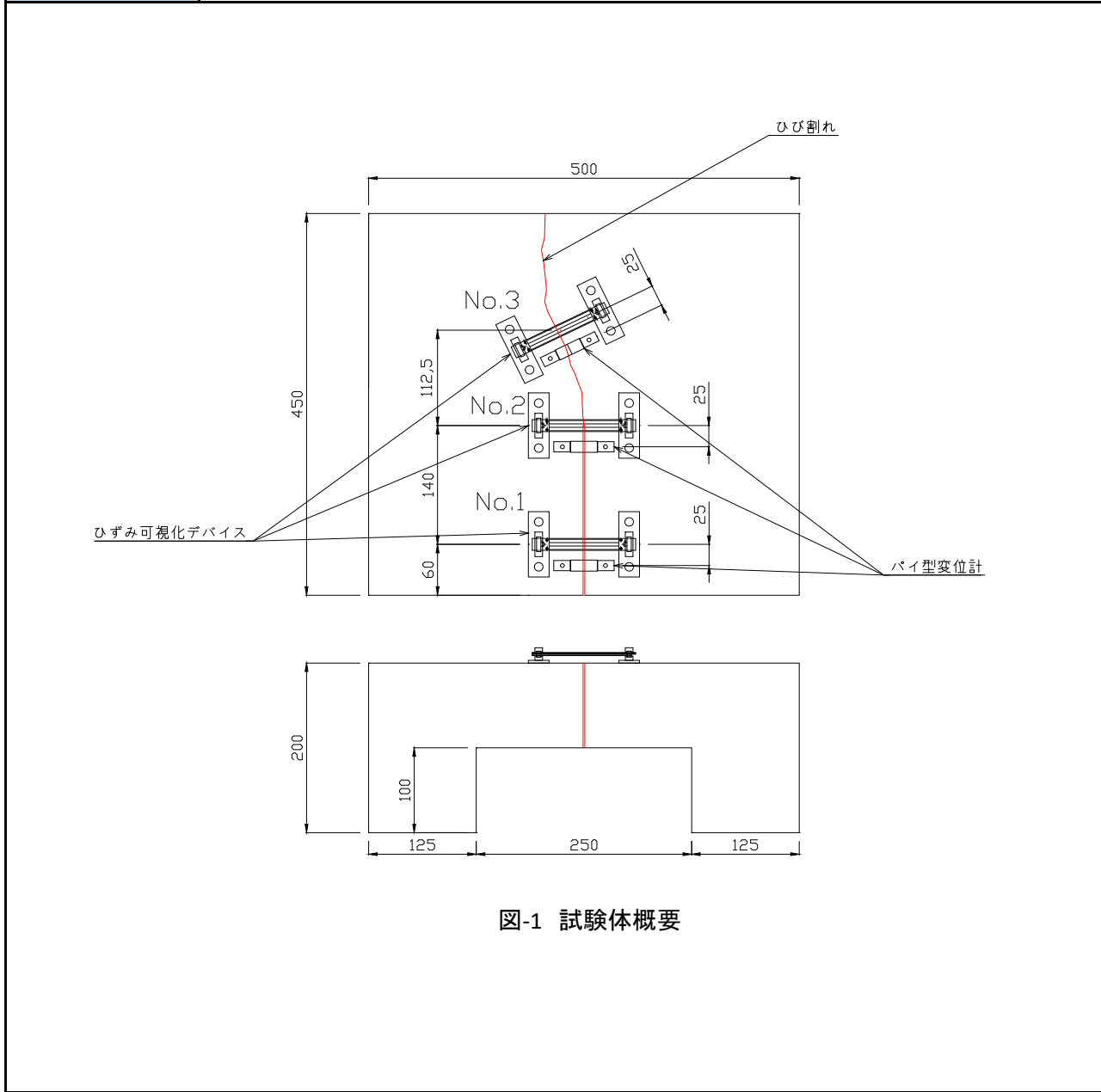
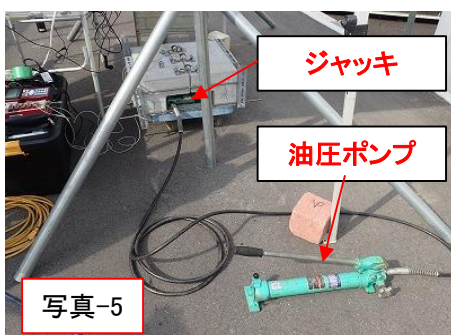
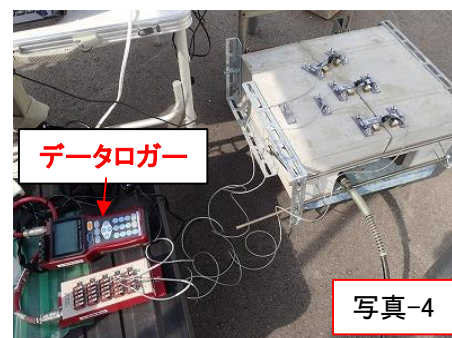
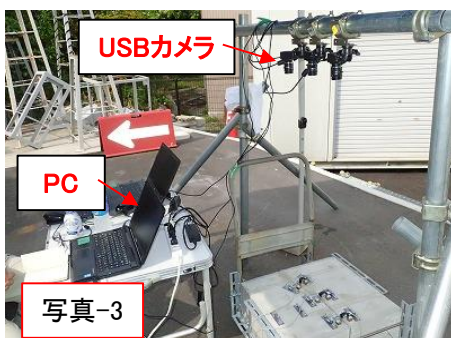
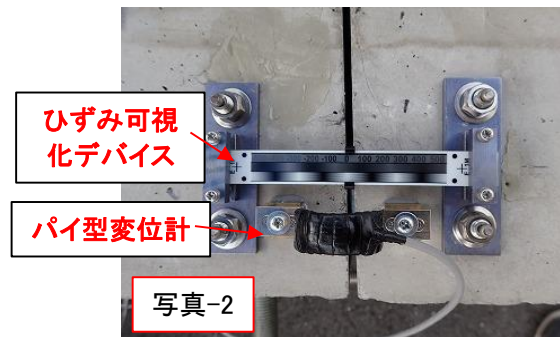
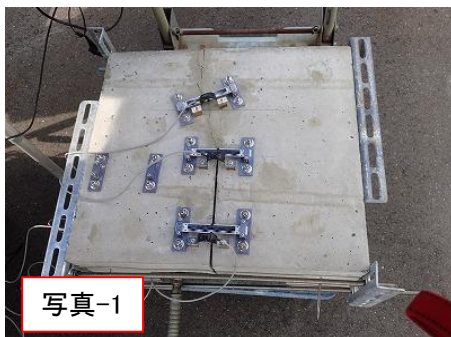


図-1 試験体概要

- ① ひび割れを跨いでひずみ可視化デバイスを3台アンカーボルトで設置する。(写真-1、写真-2)
- ② ひずみ可視化デバイスの近傍にリファレンス用のパイ型変位計を3台接着剤で設置する。(写真-1、写真-2)
- ③ ひずみ可視化デバイスの上部にPCと接続したUSBカメラを設置し、専用ソフトウェアにより計測して初期値を記録する。(写真-3)
- ④ パイ型変位計はデータロガーに接続して初期値を記録する。(写真-4)
- ⑤ 試験体下部の凹部にジャッキをセットし、油圧ポンプによりストロークを伸ばして、試験体のひび割れを広げる。(写真-5)
- ⑥ No.1のパイ型変位計が概ね0.01mm変位することにひずみ可視化デバイスおよびパイ型変位計の値を記録する。
- ⑦ No.1のパイ型変位計が概ね0.05mmに達したら1回の試験を終了し、③～⑥の手順で合計3回試験を実施する。
- ⑧ ひずみ可視化デバイスとパイ型変位計の値を比較する。

開発者による計測機器の設置状況



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

--

図-1に示すあらかじめひび割れを発生させた試験体を用いた。ひび割れを跨いでひずみ可視化デバイスおよびパイ型変位計を設置し、ジャッキを用いてひび割れを進展させ、各段階のひび割れ幅をひずみ可視化デバイスおよびパイ型変位計で変位量を測定し、比較した。

試験結果一覧を表-1～表-3に示す。

表-1 試験結果一覧(1回目)

STEP	ひずみ可視化デバイス			パイ型変位計			差分		
	No.1 (mm)	No.2 (mm)	No.3 (mm)	No.1 (mm)	No.2 (mm)	No.3 (mm)	No.1 (mm)	No.2 (mm)	No.3 (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.01680	0.00945	0.00546	0.01721	0.01206	0.00728	-0.00041	-0.00261	-0.00182
2	0.02457	0.01460	0.00830	0.02581	0.01856	0.01116	-0.00124	-0.00397	-0.00286
3	0.03161	0.01953	0.01103	0.03298	0.02366	0.01455	-0.00138	-0.00413	-0.00353
4	0.04200	0.02825	0.01680	0.04780	0.03434	0.02183	-0.00580	-0.00609	-0.00503
5	0.05250	0.03602	0.02174	0.06023	0.04362	0.02765	-0.00773	-0.00760	-0.00591

表-2 試験結果一覧(2回目)

STEP	ひずみ可視化デバイス			パイ型変位計			差分		
	No.1 (mm)	No.2 (mm)	No.3 (mm)	No.1 (mm)	No.2 (mm)	No.3 (mm)	No.1 (mm)	No.2 (mm)	No.3 (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.01134	0.00851	0.00546	0.01099	0.00835	0.00679	0.00035	0.00015	-0.00133
2	0.02426	0.01785	0.01124	0.02390	0.01902	0.01358	0.00035	-0.00117	-0.00235
3	0.03203	0.02237	0.01512	0.03155	0.02459	0.01892	0.00048	-0.00223	-0.00380
4	0.04274	0.03003	0.02163	0.04493	0.03526	0.02619	-0.00220	-0.00523	-0.00456
5	0.05250	0.03707	0.02751	0.05640	0.04362	0.03298	-0.00390	-0.00655	-0.00547

表-3 試験結果一覧(3回目)

STEP	ひずみ可視化デバイス			パイ型変位計			差分		
	No.1 (mm)	No.2 (mm)	No.3 (mm)	No.1 (mm)	No.2 (mm)	No.3 (mm)	No.1 (mm)	No.2 (mm)	No.3 (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.01292	0.01124	0.00882	0.01386	0.01114	0.00922	-0.00095	0.00010	-0.00040
2	0.02153	0.01859	0.01397	0.02581	0.01995	0.01552	-0.00429	-0.00137	-0.00156
3	0.03497	0.02804	0.02111	0.03633	0.02877	0.02280	-0.00136	-0.00073	-0.00169
4	0.04263	0.03381	0.02541	0.04684	0.03712	0.02910	-0.00421	-0.00331	-0.00369
5	0.05492	0.04347	0.03213	0.05736	0.04547	0.03589	-0.00245	-0.00200	-0.00376

図-1～図-3にひずみ可視化デバイスとパイ型変位計の比較結果を示す。ひずみ可視化デバイスで測定された変位量はパイ型変位計で測定された変位量に比べ、やや小さい傾向となった。

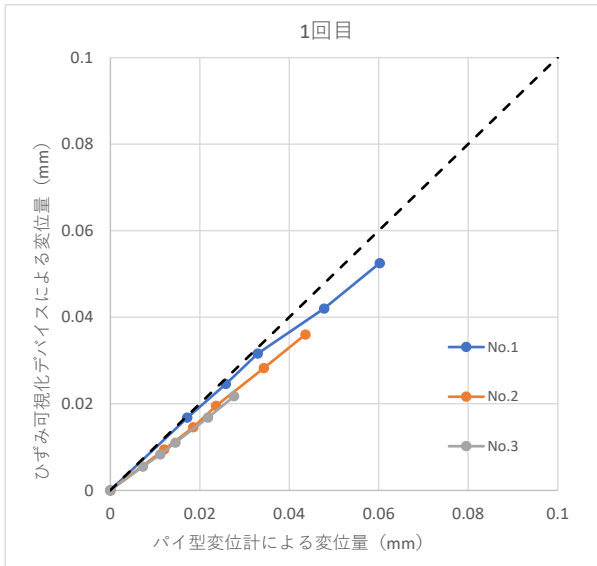


図-1 試験結果(1回目)

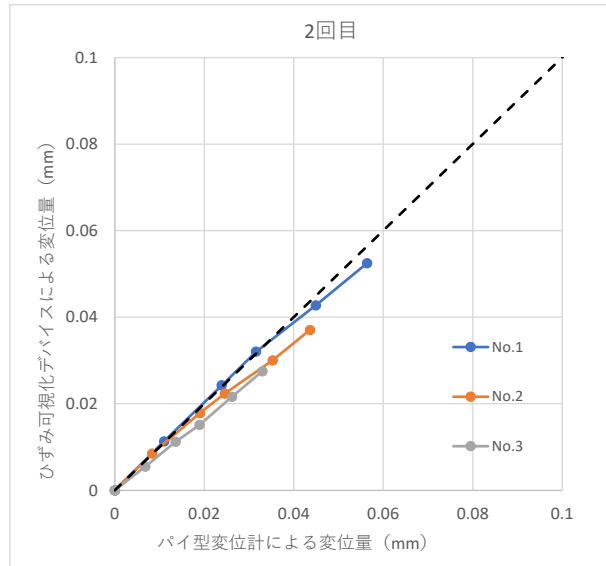


図-2 試験結果(2回目)

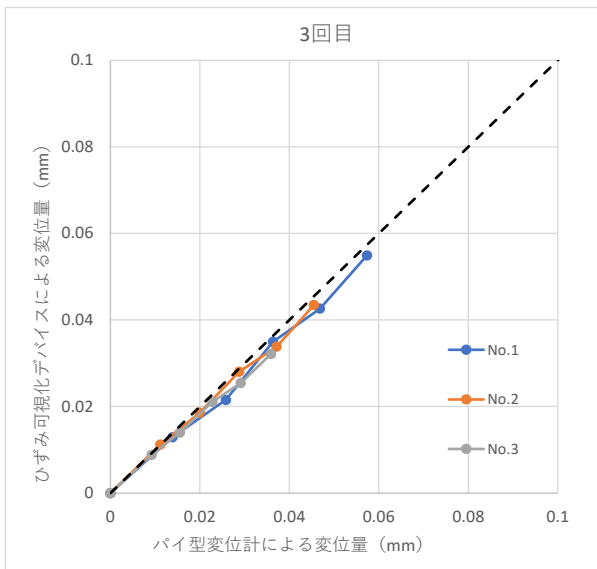


図-3 試験結果(3回目)

表-4 ひずみ可視化デバイスとパイ型変位計の最大差分

	差分 (mm)		
	No.1	No.2	No.3
1回目	-0.00773	-0.00760	-0.00591
2回目	-0.00390	-0.00655	-0.00547
3回目	-0.00429	-0.00331	-0.00376

技術番号 TN030012-V0023

技術名 ワイヤレスモニタリングシステム 開発者名 Senceive
グレートスタージャパン株式会社

試験日 令和4年 12 月 16 日 天候 晴れ 気温 12 °C 風速 0 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 傾斜角、距離値 試験区分 標準試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

施工技術総合研究所内の模擬トンネル内部



- ① トンネル入り口に4Gゲートウェイを設置し、トンネル内部40m地点のセンサーと無線通信可能か確認
- ② トンネル内空対面にターゲットを配置し、傾斜角とターゲットまでの距離値をクラウド上で確認
- ③ ターゲットに1mmのプレートを追加設置し、距離値が1mm短縮することを確認
- ④

開発者による計測機器の設置状況

①の設置状況



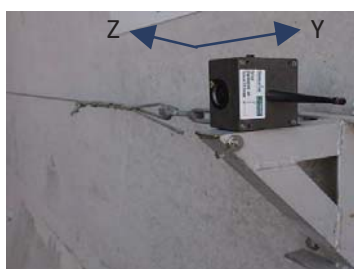
トンネル入り口に設置した4Gゲートウェイ



トンネル内部40mに設置し

比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

②、③の設置状況



トンネル入り口付近に設置したセンサー 61CB



距離計評価用ターゲット



距離計評価用ターゲット (1mmプレート追加)

①の結果

Site: **GSJ - Stock** Fri 10:46 Monitor Reports Alerts Tools Configuration Great Star Japan

Neighbour Reports

Network: Order By: reporting node ID neighbour ID Include Available Neighbours From: To:

[Refresh](#)

Time	Node ID	Node Location	Neighbour ID	Neighbour Location	RSSI	Tx Success Percent	Rx Rate	Link Type
16/12/2022 10:24:42	00:1B:C5:0A:A0:00:61:CB	00:1B:C5:0A:A0:00:61:CB	00:1B:C5:0A:A0:00:63:9E	ODS Trial 04	-92	50	3	Active
16/12/2022 10:24:42	00:1B:C5:0A:A0:00:61:CB	00:1B:C5:0A:A0:00:61:CB	00:1B:C5:0A:A0:01:47:A8	FM4G_GW_147A8	-45	95	1	Active
16/12/2022 10:24:51	00:1B:C5:0A:A0:00:63:9E	ODS Trial 04	00:1B:C5:0A:A0:00:61:CB	00:1B:C5:0A:A0:00:61:CB	-86		53	Active
16/12/2022 10:24:51	00:1B:C5:0A:A0:00:63:9E	ODS Trial 04	00:1B:C5:0A:A0:00:74:31	ODS_1_7431	-32	100	2	Active
16/12/2022 10:24:51	00:1B:C5:0A:A0:00:63:9E	ODS Trial 04	00:1B:C5:0A:A0:01:47:A8	FM4G_GW_147A8	-83	84	2	Active
16/12/2022 10:28:31	00:1B:C5:0A:A0:00:74:31	ODS_1_7431	00:1B:C5:0A:A0:00:61:CB	00:1B:C5:0A:A0:00:61:CB	-90		1	Active
16/12/2022 10:13:30	00:1B:C5:0A:A0:00:74:31	ODS_1_7431	00:1B:C5:0A:A0:00:63:9E	ODS Trial 04	-16		60	Active
16/12/2022 10:28:31	00:1B:C5:0A:A0:00:74:31	ODS_1_7431	00:1B:C5:0A:A0:00:77:CB	ODS_2_77CB	-17	93	3	Active
16/12/2022 10:28:31	00:1B:C5:0A:A0:00:74:31	ODS_1_7431	00:1B:C5:0A:A0:01:47:A8	FM4G_GW_147A8	-85	79	6	Active

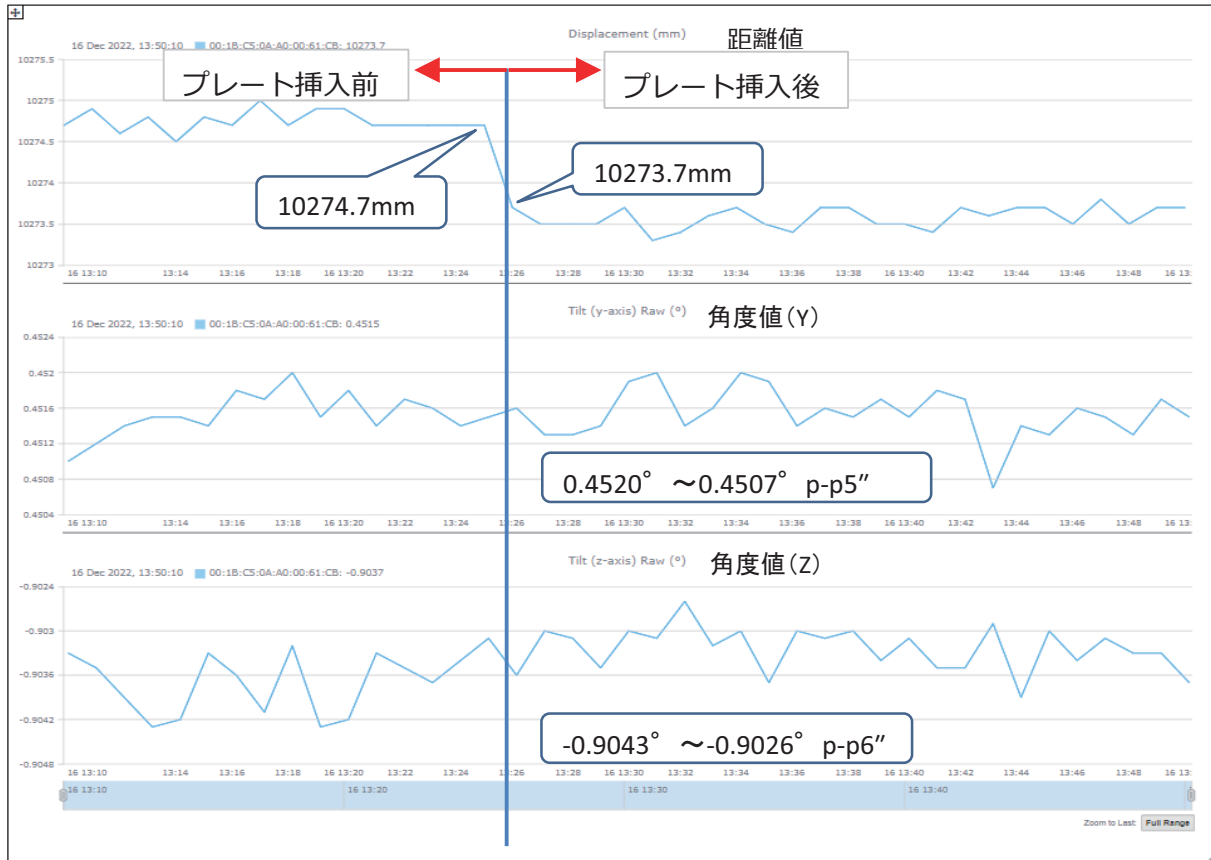
参考推奨値

RSSI(電波強度)	-83	-60以上
Tx(送信結果)	84	80以上
Rx(受信結果)	2	10以下

※RSSI値は推奨値以下であったがクラウド上には問題なくデータが上がっていた

Location Description	Sample Time	Sensor Type	Offset	Value	Units
ODS Trial 04	2022/12/16 10:30	Displacement	0	10463.5	mm
ODS Trial 04	2022/12/16 10:40	Displacement	0	10463.5	mm
ODS Trial 04	2022/12/16 10:30	Tilt (x-axis) Raw	0	2.4373	°
ODS Trial 04	2022/12/16 10:40	Tilt (x-axis) Raw	0	2.4379	°
ODS Trial 04	2022/12/16 10:30	Tilt (y-axis) Raw	0	0.2519	°
ODS Trial 04	2022/12/16 10:40	Tilt (y-axis) Raw	0	0.2507	°

②、③の結果



1mmのプレート挿入前後で距離値も約1mm短縮されている

一方角度値は10"以下のバラツキで安定している

技術番号 TN030013-V0023

技術名 トンネル覆工の3Dモデル構築と点群差分解析による変形の算出技術 開発者名 有限会社吉川土木コンサル
タント

試験日 令和4年 12月 15日 天候 晴れ 気温 °C 風速 m/s

試験場所 施工技術総合研究所(静岡県富士市)

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 3次元座標 試験区分 標準試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

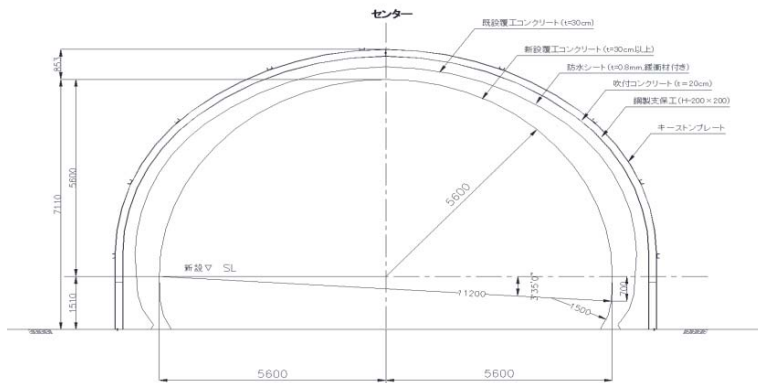
対象構造物の概要



模擬トンネル全景



模擬トンネル全景(正面)



模擬トンネル横断面



台座



変位を模擬する平板(基板上にクランプで取付け)

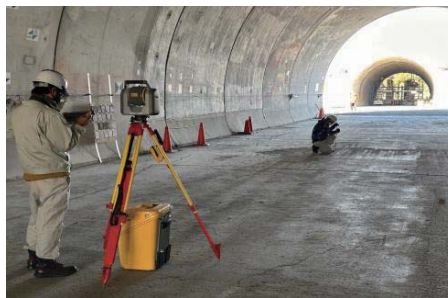
模擬トンネル内に設置された付属物等の変位を模擬する試験体

- ① トンネル内に、付属物等の変位を模擬する試験体の台座(脚立に基板を取付けたもの)を設置する。
- ② 台座のみの状態(変位なし)で3次元レーザー計測を行う。
- ③ 台座に変位を模擬する平板を取付けた状態(変位あり)で3次元レーザー計測を行う。
- ④ ②と③の計測で得られた3次元点群データの差分解析により③の変位量を算出して計測精度を確認する。

開発者による計測機器の設置状況



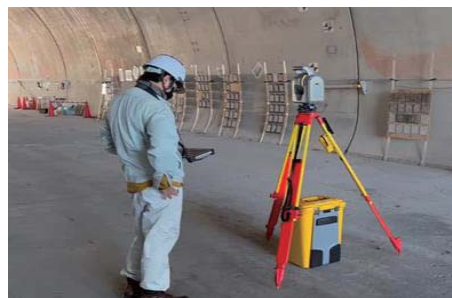
計測機器の設置位置の検討



計測機器の設置位置の測量(位置決め)



計測機器の設置、計測範囲等の設定



3次元点群データの計測、計測状況の監視

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況



台座

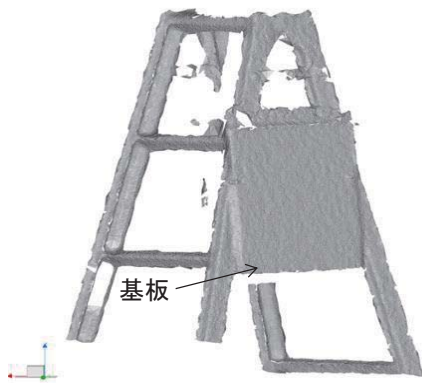


立会者による試験体の取付け

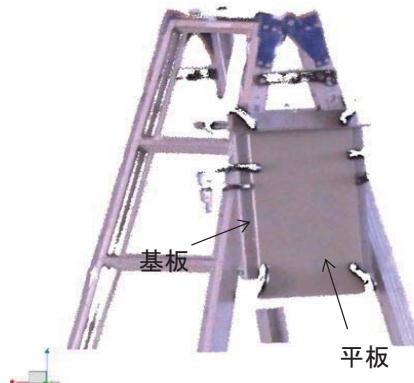


変位を模擬する平板

模擬トンネル内に設置された付属物等の変位を模擬する試験体



台座のみの状態(変位なし)

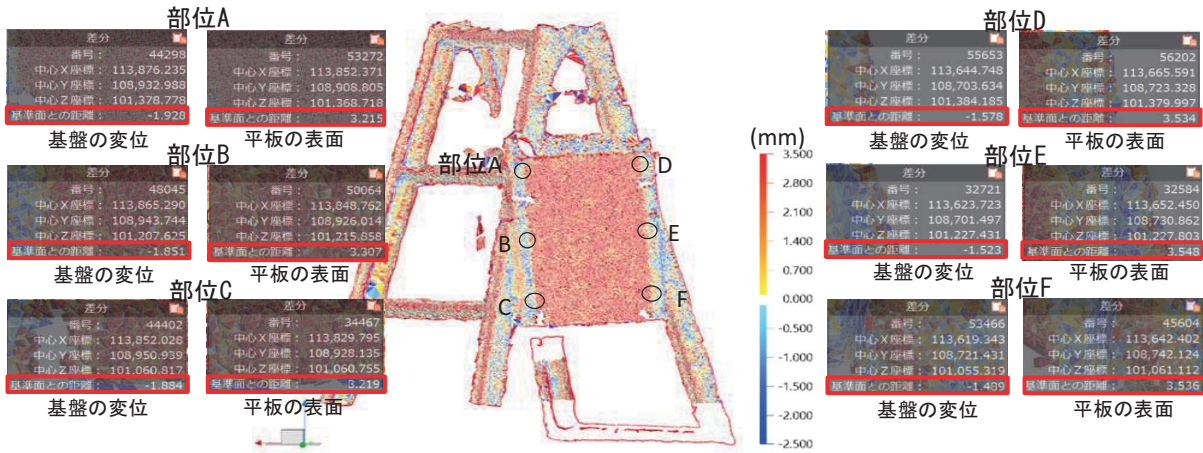


台座に変位を模擬する平板を取付けた状態(変位あり)

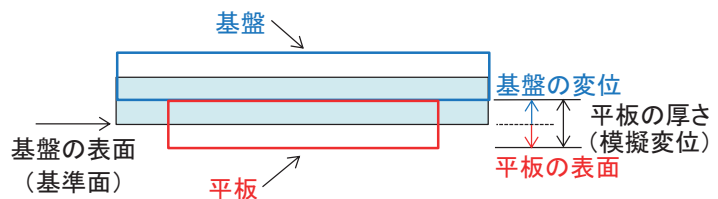
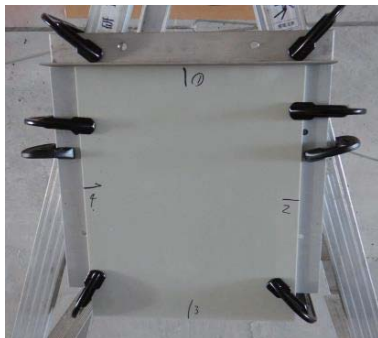
三次元点群データの計測結果

三次元点群処理システムを用いた変位算出の手順

- (1): 台座のみの状態(変位なし)の点群データを読み込み三角網データを作成
- (2): 台座に変位を模擬する平板を取付けた状態(変位あり)の点群データを読み込み
- (3): (1)の各三角網の面法線に対して、面と(2)の点群座標値の差分を算出



変位差分のコンターと値



$$\text{平板の厚さ(模擬変位)} = \text{平板の表面} - \text{基板の変位}$$

(プラス値) (マイナス値)

平板の厚さ(模擬変位)の算出

計測結果と正解値の比較

①	5.0mm
②	5.2mm
③	4.8mm
④	4.8mm
平均	4.95mm

変位を模擬する平板の厚さ
(立会者が計測)

部位	①基板の変位	②平板の表面	変位②-① (mm)
A	-1.93	3.22	5.15
B	-1.85	3.31	5.16
C	-1.88	3.22	5.10
D	-1.58	3.53	5.11
E	-1.52	3.55	5.07
F	-1.49	3.54	5.03
③計測結果の平均値			5.10
④正解値の平均値			4.95
⑤差異(③-④)			0.15
誤差⑤/④×100%			3.10

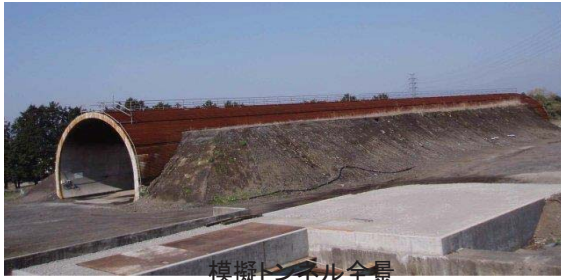
試験で確認する
カタログ項目

長さ計測精度、位置精度

技術番号

TN030013-V0023

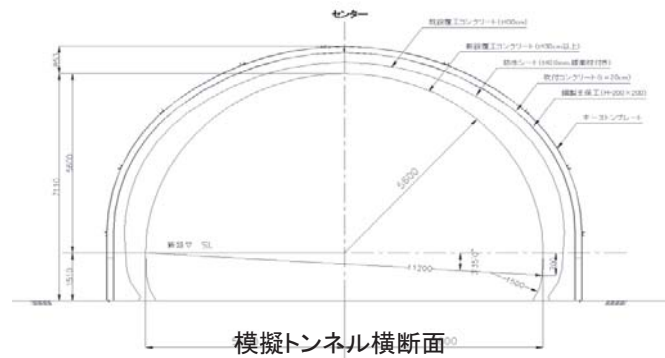
対象構造物の概要



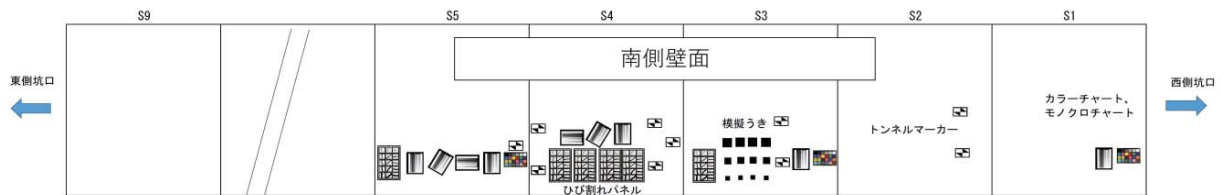
模擬トンネル全景



模擬トンネル全景(正面)



模擬トンネル横断面



模擬トンネルの南側壁面に配置されたトンネルマーカーなど

試験方法(手順)

- ① トンネル内の覆工表面の3次元レーザー計測を行う。
- ② ①の計測で得られた3次元点群データからトンネルマーカーの位置を確認するとともに、マーカー間の長さを計測して計測精度を確認する。

開発者による計測機器の設置状況



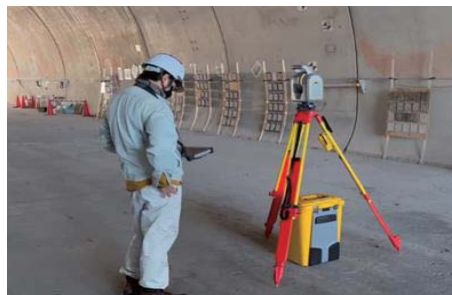
計測機器の設置位置の検討



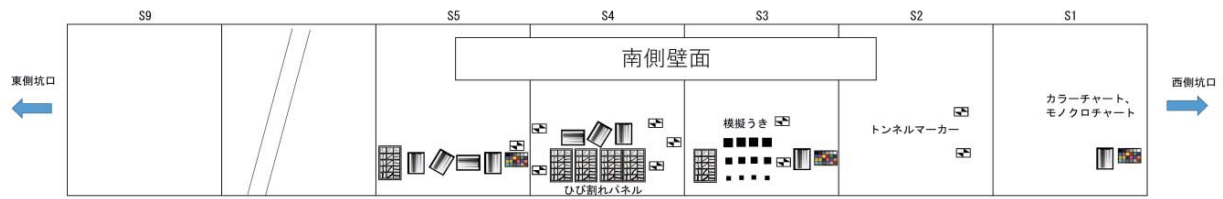
計測機器の設置位置の測量(位置決め)



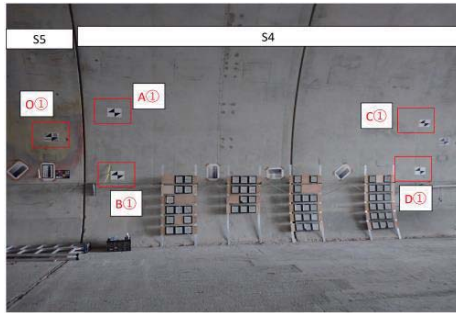
計測機器の設置、計測範囲等の設定



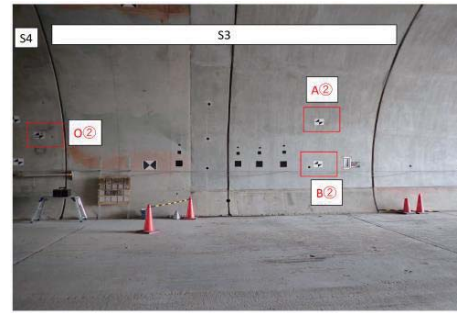
3次元点群データの計測、計測状況の監視



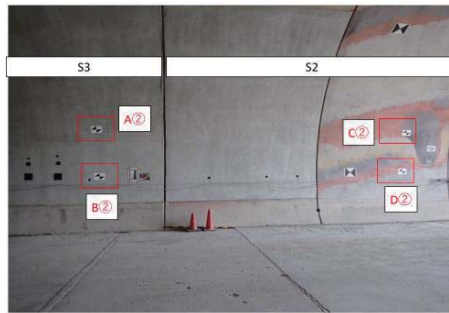
模擬トンネルの南側壁面に配置されたトンネルマーカーなど



S5～S4区間の比較対象(トンネルマーカ)



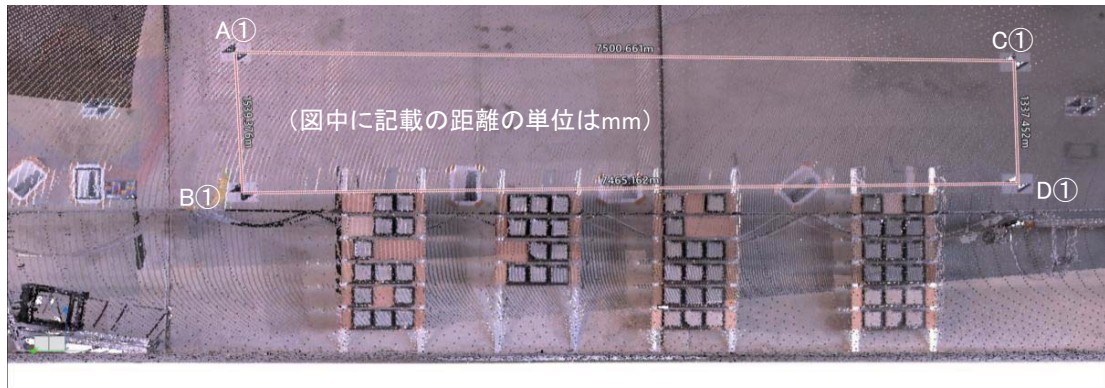
S4～S3区間の比較対象(トンネルマーカ)



S3～S2区間の比較対象(トンネルマーカ)

試験結果の比較

長さ計測精度①(S5～S4区間)

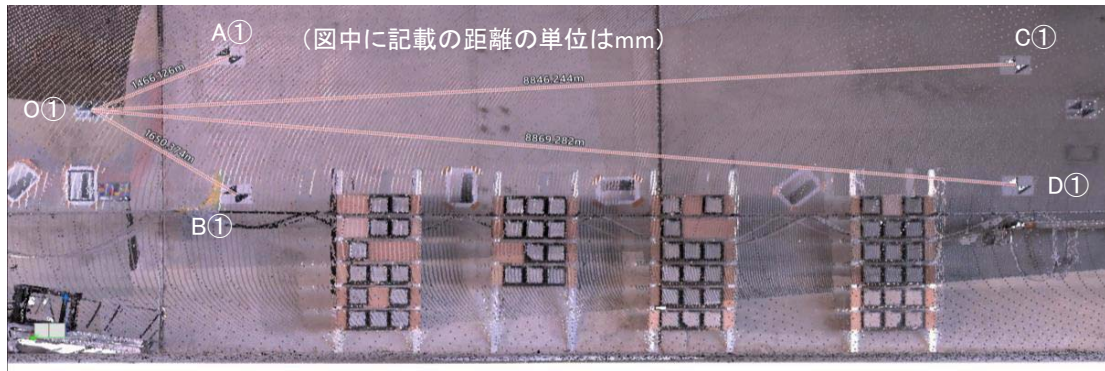


三次元点群データの計測結果と距離の計測

計測結果と正解値の比較

	距離 (m)			
	A①-B①	C①-D①	A①-C①	B①-D①
(a) 計測結果	1.539	1.337	7.501	7.465
(b) 正解値 (立会者提供)	1.525	1.327	7.500	7.461
(c) 差異 ((a)-(b))	0.014	0.010	0.001	0.004
誤差 ((c)/(b) × 100%)	0.92	0.75	0.01	0.05

位置精度①(S5~S4区間)

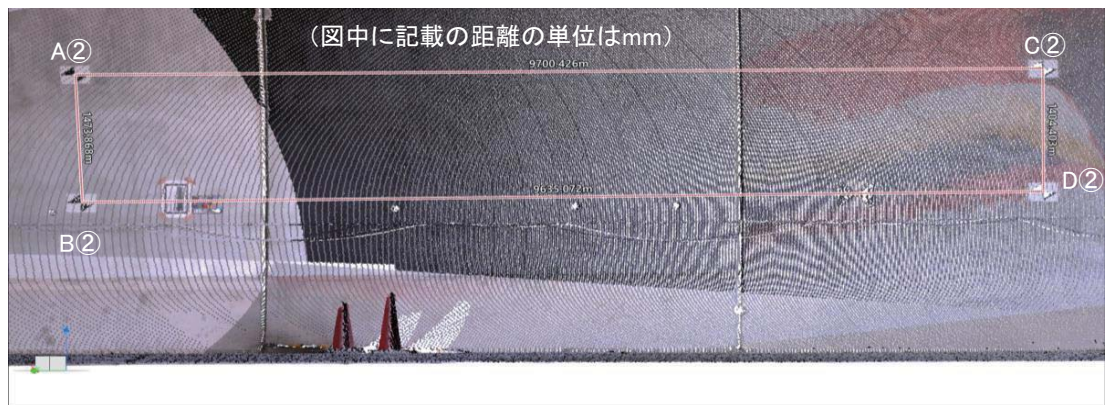


三次元点群データの計測結果と距離の計測

計測結果と正解値の比較

		0①-A①	0①-B①	0①-C①	0①-D①
(a) 計測結果	距離 (m)	1.466	1.650	8.846	8.869
	水平距離 (m)	1.338	1.377	8.831	8.834
	鉛直距離 (m)	0.600	0.910	0.515	0.794
(b) 正解値 (立会者提供)	距離 (m)	1.467	1.657	8.848	8.878
	水平距離 (m)	1.342	1.386	8.833	8.842
	鉛直距離 (m)	0.594	0.907	0.511	0.796
(c) 差異 ((a)-(b))	距離 (m)	-0.001	-0.007	-0.002	-0.009
	水平距離 (m)	-0.004	-0.009	-0.002	-0.008
	鉛直距離 (m)	0.006	0.003	0.004	-0.002
誤差 ((c)/(b) × 100%)	距離	0.07	0.42	0.02	0.10
	水平距離	0.30	0.65	0.02	0.09
	鉛直距離	1.01	0.33	0.78	0.25

長さ計測精度②(S4~S2区間)

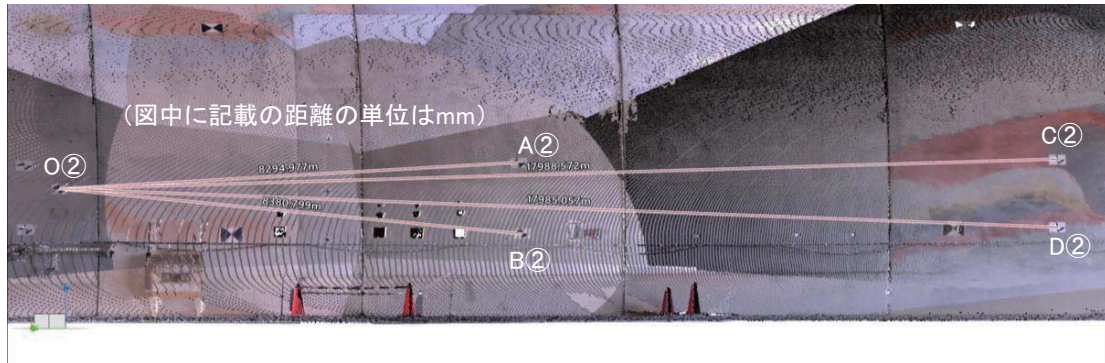


三次元点群データの計測結果と距離の計測

計測結果と正解値の比較

	距離 (m)			
	A②-B②	C②-D②	A②-C②	B②-D②
(a) 計測結果	1.474	1.404	9.700	9.635
(b) 正解値 (立会者提供)	1.467	1.409	9.702	9.639
(c) 差異 ((a)-(b))	0.007	-0.005	-0.002	-0.004
誤差 ((c)/(b) × 100%)	0.48	0.35	0.02	0.04

位置精度② (S4~S2区間)



三次元点群データの計測結果と距離の計測

計測結果と正解値の比較

		0②-A②	0②-B②	0②-C②	0②-D②
(a) 計測結果	距離 (m)	8.295	8.381	17.989	17.985
	水平距離 (m)	8.277	8.331	17.978	17.969
	鉛直距離 (m)	0.551	0.908	0.629	0.762
(b) 正解値 (立会者提供)	距離 (m)	8.301	8.381	17.995	17.987
	水平距離 (m)	8.283	8.333	17.984	17.970
	鉛直距離 (m)	0.543	0.900	0.615	0.772
(c) 差異 ((a)-(b))	距離 (m)	-0.006	0.000	-0.006	-0.002
	水平距離 (m)	-0.006	-0.002	-0.006	-0.001
	鉛直距離 (m)	0.008	0.008	0.014	-0.010
誤差 ((c)/(b) × 100%)	距離	0.07	0.00	0.03	0.01
	水平距離	0.07	0.02	0.03	0.01
	鉛直距離	1.47	0.89	2.28	1.30

技術番号 TN030014-V0023

技術名 InfraDoctor® ADVANCE:3次元点群データと画像データによるトンネル点検支援 開発者名 首都高技術株式会社
株式会社エリジオン
朝日航洋株式会社

試験日 令和4年 1 月 18 日 天候 晴 気温 6.2 °C 風速 1.9 m/s

試験場所 国土技術政策総合研究所 実大トンネル実験施設

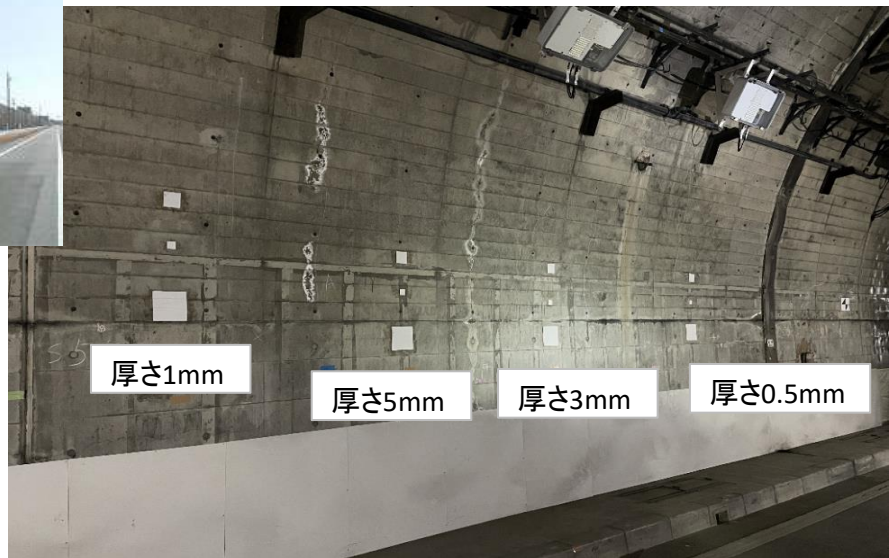
カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 うき・はく離(段差があるもの) 試験区分 標準試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 凹凸形状識別性能(うき・はく離)

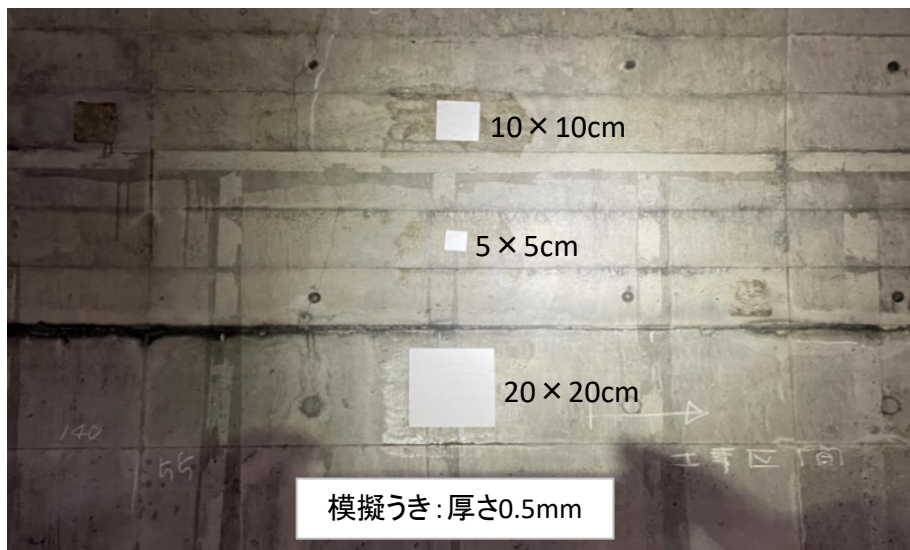
対象構造物の概要



実大トンネル実験施設

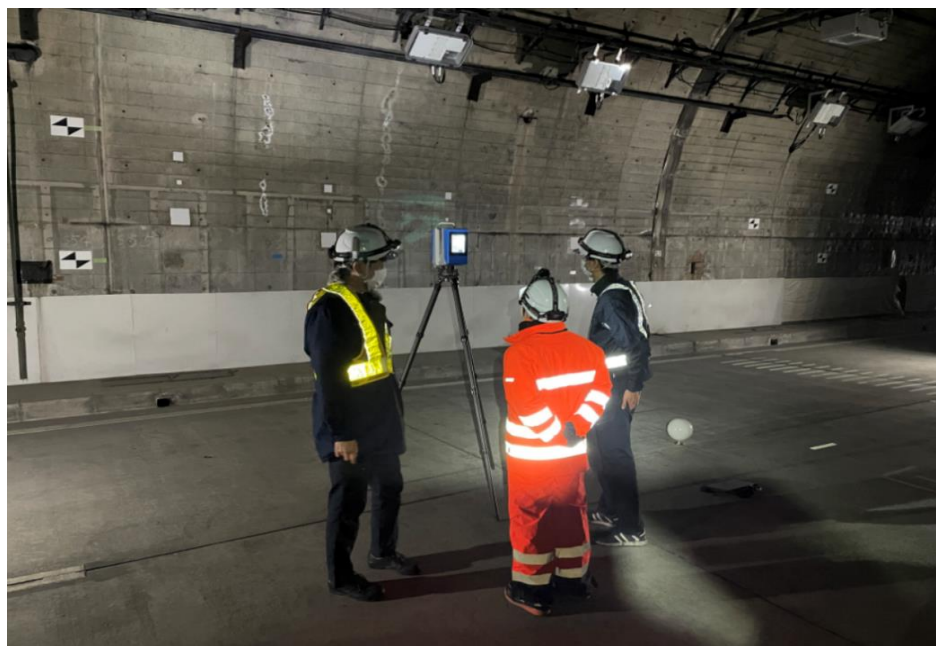


トンネル表面に「模擬うき」を設置



- ① トンネル内にて、地上据置型レーザスキャナで対象範囲(模擬うき)の3次元点群データを取得。
- ② InfraDoctor[®] ADVANCEで、3次元点群データを読み込む。
- ③ 覆工コンクリート表面の点群データを近似し、基準面データを作成する。
- ④ 基準面データと点群データとの差分量を覆工コンクリート表面の凸凹形状としてカラーマップ化する。

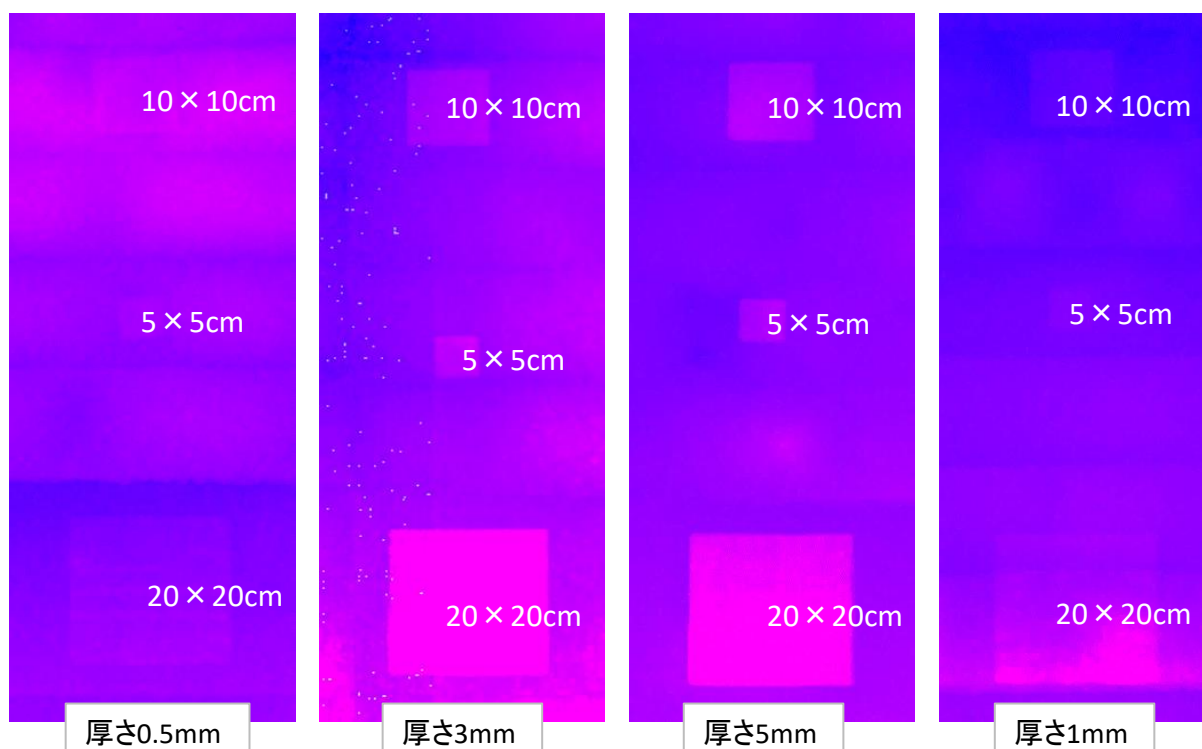
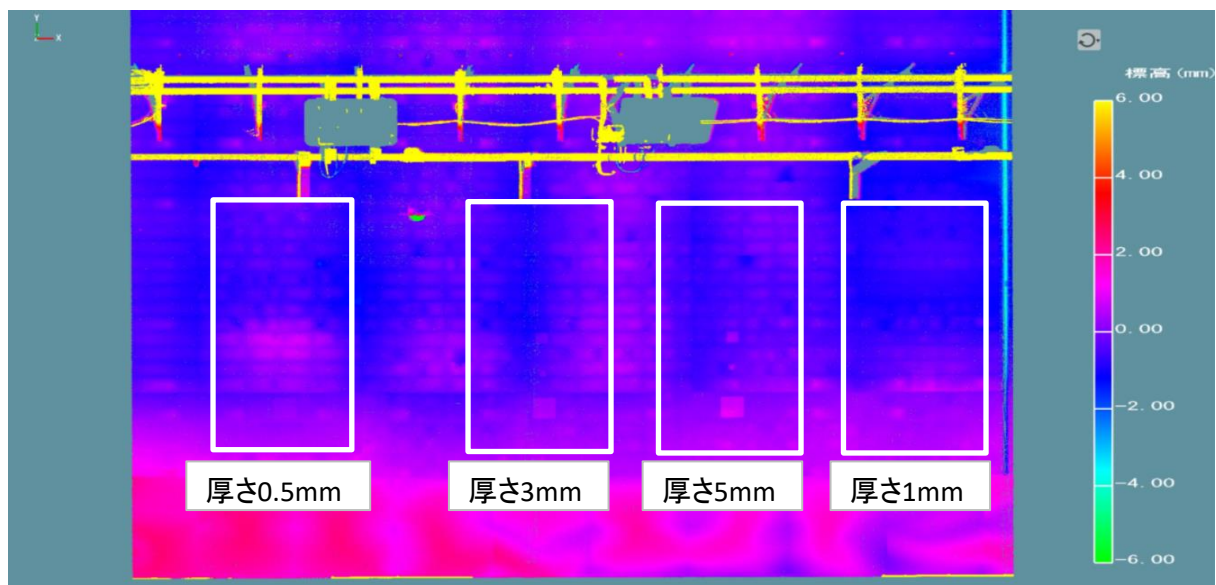
開発者による計測機器の設置状況



地上据置型レーザスキャナによる計測状況

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

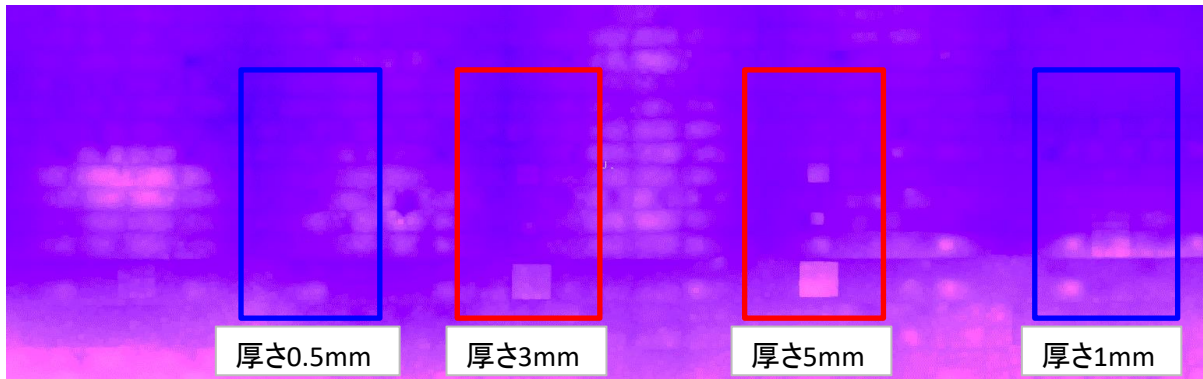
—



【InfraDoctor® ADVANCEによる凹凸形状のカラーマップ表示】

模擬うき（3次元点群データの点間隔：約1mm、点密度：約246,000点/m²）

- ・厚さ0.5mmの場合：可視化可能
- ・厚さ 1mmの場合：可視化可能
- ・厚さ 3mmの場合：可視化可能
- ・厚さ 5mmの場合：可視化可能



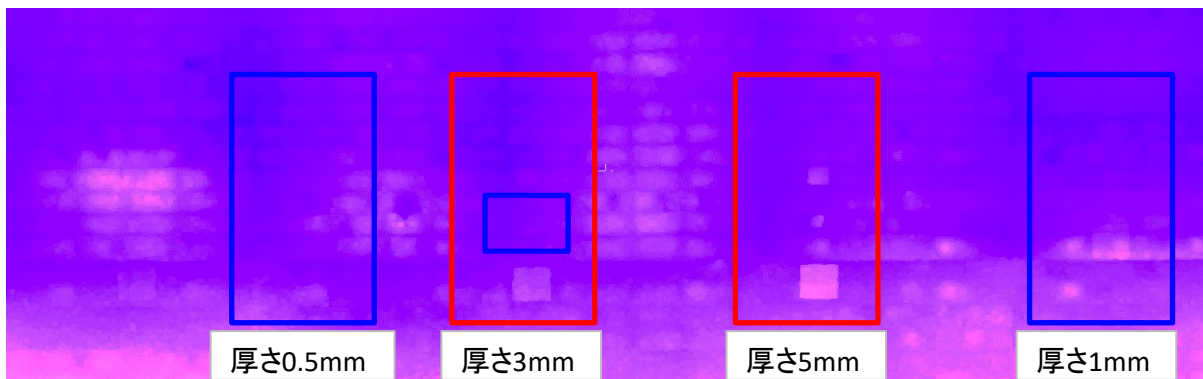
【InfraDoctor® ADVANCEによる凹凸形状のカラーマップ表示】

模擬うき（3次元点群データの点間隔：約5mm、点密度：約23,500点/m²）

- ・厚さ0.5mmの場合：可視化不可
- ・厚さ 1mmの場合：可視化不可
- ・厚さ 3mmの場合：可視化可能
- ・厚さ 5mmの場合：可視化可能

凡例

- ：可視化可能
- ：可視化困難または不可



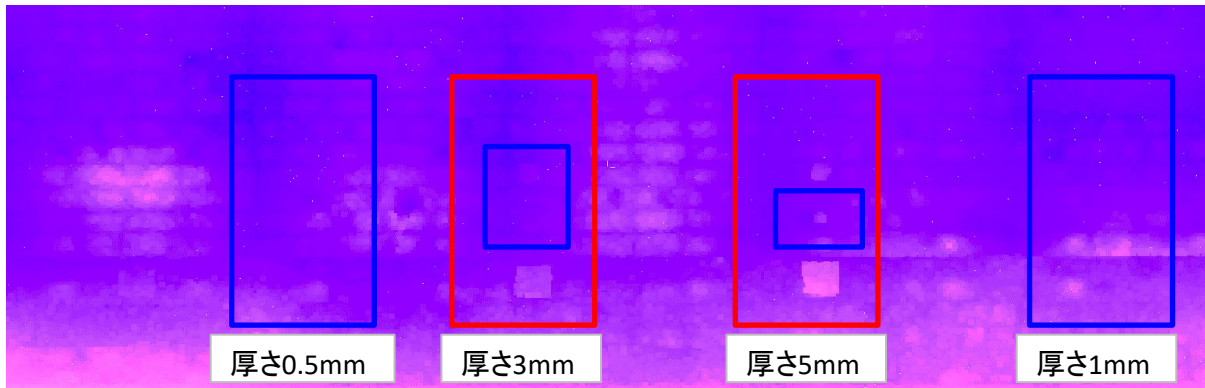
【InfraDoctor® ADVANCEによる凹凸形状のカラーマップ表示】

模擬うき（3次元点群データの点間隔：約10mm、点密度：約6,160点/m²）

- ・厚さ0.5mmの場合：可視化不可
- ・厚さ 1mmの場合：可視化不可
- ・厚さ 3mmの場合：可視化可能※ただし、5×5cmは識別不可
- ・厚さ 5mmの場合：可視化可能

凡例

- ：可視化可能
- ：可視化困難または不可



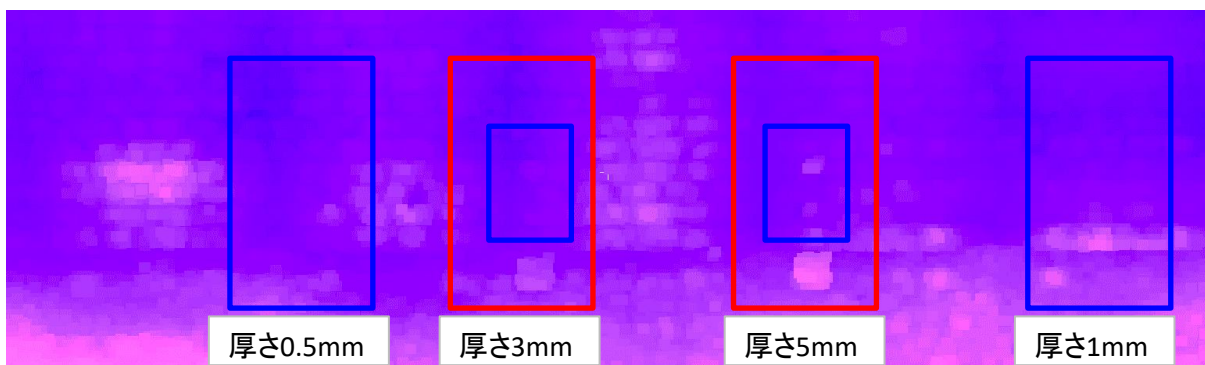
【InfraDoctor® ADVANCEによる凹凸形状のカラーマップ表示】

模擬うき（3次元点群データの点間隔：約20mm、点密度：約1,634点/m²）

- ・厚さ0.5mmの場合：可視化不可
 - ・厚さ 1mmの場合：可視化不可
 - ・厚さ 3mmの場合：可視化可能※ただし、5×5cm、10×10cmは識別不可
 - ・厚さ 5mmの場合：可視化可能※ただし、5×5cmは識別困難
- ※評価対象に目地部含む

凡例

- ：可視化可能
- ：可視化困難または不可



【InfraDoctor® ADVANCEによる凹凸形状のカラーマップ表示】

模擬うき（3次元点群データの点間隔：約30mm、点密度：約789点/m²）

- ・厚さ0.5mmの場合：可視化不可
- ・厚さ 1mmの場合：可視化不可
- ・厚さ 3mmの場合：可視化可能※ただし、5×5cm、10×10cmは識別不可
- ・厚さ 5mmの場合：可視化可能※ただし、5×5cmは不可、10×10cmは識別困難

凡例

- ：可視化可能
- ：可視化困難または不可

技術番号 TN030015-V0024

技術名 道路トンネルの盤ぶくれ計測・モニタリングシステム 開発者名 応用地質株式会社 / 計測検査株式会社

試験日 令和 5年 12 月 12 日 天候 雲り/晴れ 気温 12 °C 風速 1 m/s

試験場所 Aトンネル(2車線対面通行道路トンネル)

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 車道(1車線、幅2m程度)の平均相対路面高さ 試験区分 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

- トンネル名:Aトンネル
- トンネル延長:約430m
- トンネル工法:山岳工法(NATM)



終点側坑口(南側)
(上り線の計測状況)



起点側坑口(北側)
(下り線の計測状況※)

※下り線は計測は実施したが、解析は行っていない

- ① 計測準備: 事前に定めた駐車場所(終点側)にて、MMS計測装置をセットし、GPS測定にて位置情報を取得
- ② (測定開始)→上り車線での走行計測(時速60km/hr)→坑外で駐車場所(起点側)に停車し、GPS測定にて位置情報を取得→Uターンし、上り線手前の駐車場所(終点側)に停車し、GPSにて位置情報を取得
- ③ 上記を計3回繰り返し、上り車線の3D点群データを計3回分取得
- ④ 駐車場所(終点側)に戻り、装置等の片付け、撤収

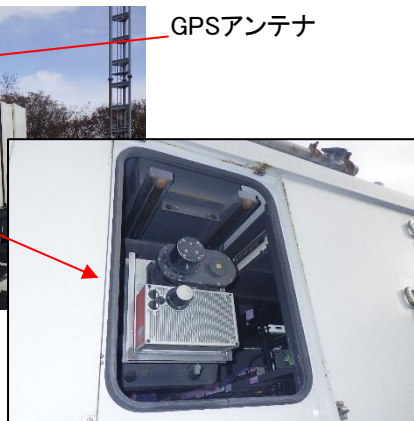
開発者による計測機器の設置状況



全景写真



斜め後方写真



MMS装置



計測状況(坑口手前)(追尾車から撮影)時速60km/hr



計測状況(坑内)(追尾車から撮影)時速60km/hr

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

未実施

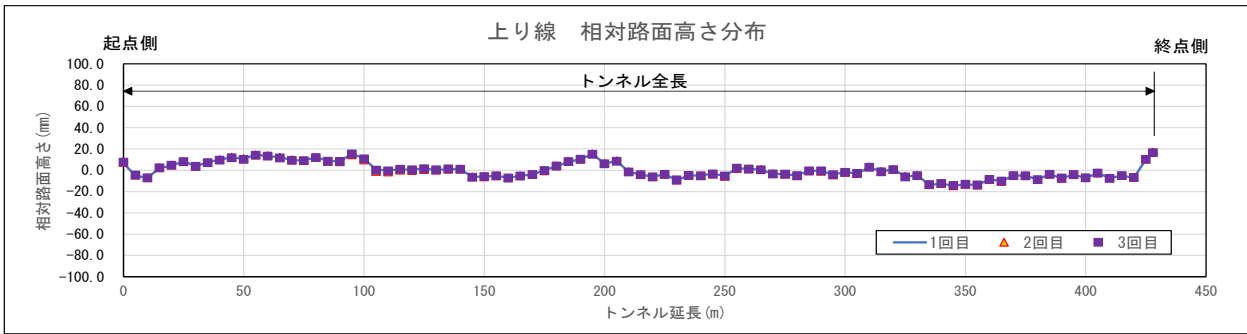


図-1 相対路面高さ(計3回 同日計測)(1車線分)

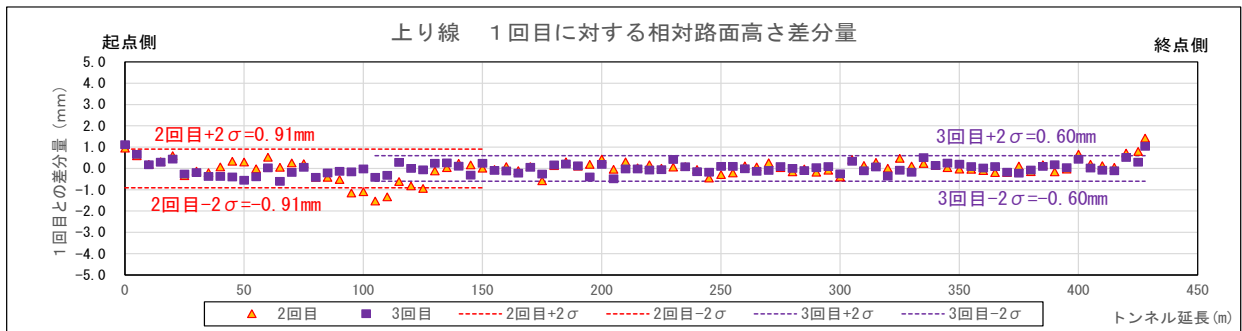


図-2 上り線 相対路面高さ差分量分布(1回目を基準値とした場合)

基本統計量	2回目	3回目
平均	1.73552E-16	6.53373E-16
標準誤差	0.048804991	0.032389039
中央値(メジアン)	0.047850969	-0.017410861
標準偏差σ	0.455222654	0.302104845
分散	0.207227665	0.091267337
尖度	2.714889084	2.454406769
歪度	-0.671474924	0.971351588
範囲	2.954185714	1.727823609
最小	-1.533814532	-0.612986942
最大	1.420371182	1.114836667
合計	1.5099E-14	5.68434E-14
データの個数	87	87
最大値(1)	1.420371182	1.114836667
最小値(1)	-1.533814532	-0.612986942
信頼度(95.0%)(95.0%)	0.097021112	0.064387279
σ(68%)	0.46	0.30
2σ(95%)	0.91	0.60
3σ(98%)	1.37	0.91

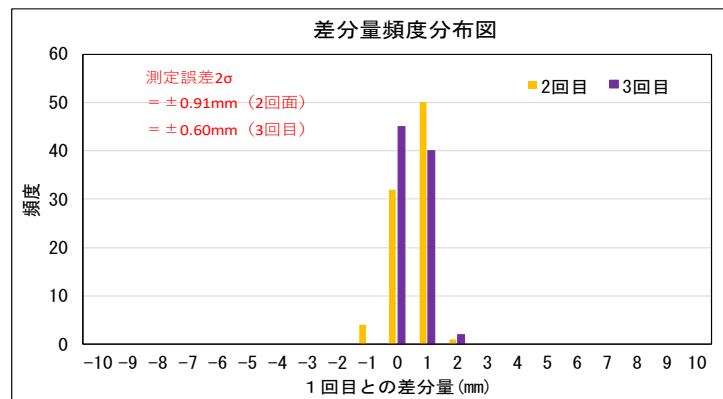


図-3 相対路面高さ(1回目を基準)の差分量の基本統計量と差分量頻度分布

技術番号 TN030016-V0024

技術名 変位 遠隔監視装置 開発者名 株式会社アイペック

試験日 令和 年 1 月 15 日 天候 晴れ 気温 16 °C 風速 5.9 m/s

試験場所 施工技術総合研究所(静岡県富士市)

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 変位 試験区分 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

1.対象構造物の概要

試験場所: 施工技術総合研究所 模擬トンネル

構 造: 吹付コンクリート20cm+覆工コンクリート30cm

延 長: 80m

高 さ: 7.8m

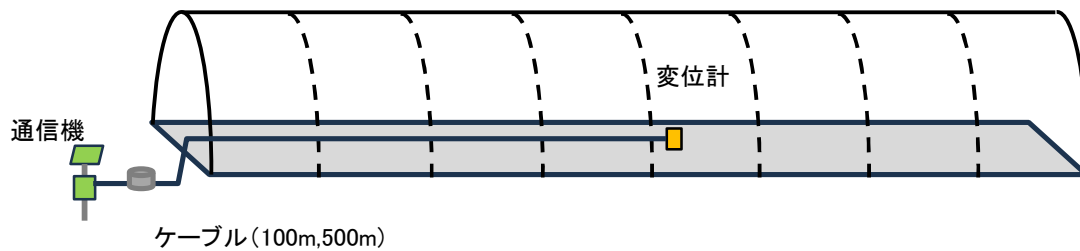
最大幅: 12.4m

勾 配: 0.3%



トンネル外観

2.計測位置



計測位置

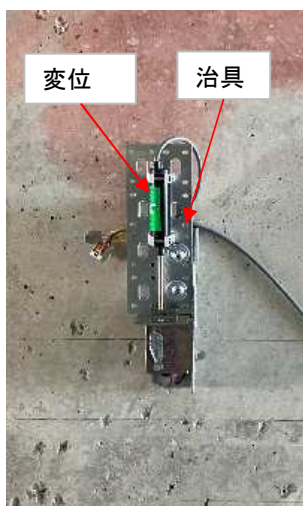
- ① 変位計と治具を覆工内に設置、通信機を抗口に設置変位計と通信機をケーブル(100m,500m)で接続
- ② 変位計と通信機をケーブル(100m,500m)で接続
- ③ 変位計と治具の間にゲージブロックによる模擬変位(10mmと20mm)を付加
- ④ PC画面で変位計の計測値を確認

開発者による計測機器の設置状況

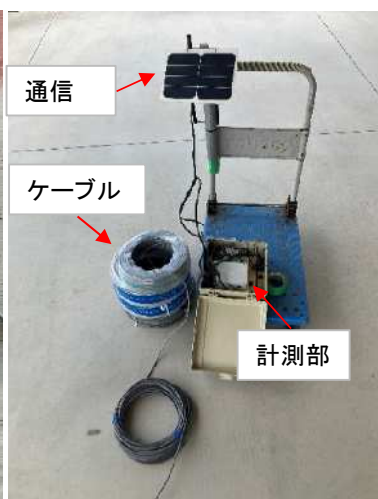
1. 機器構成と設置状況

変位計と通信機を接続するケーブルの長さを100mと500mにした場合の計測値の精度を検証するため以下の機器構成で試験を行った。

- ①無線機 ②変位計 ③ケーブル(100mと500m) ④ノート型PC(サーバーデータを確認できるもの)



変位計と治具



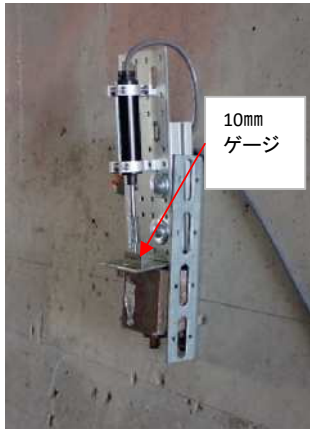
通信機とケーブル



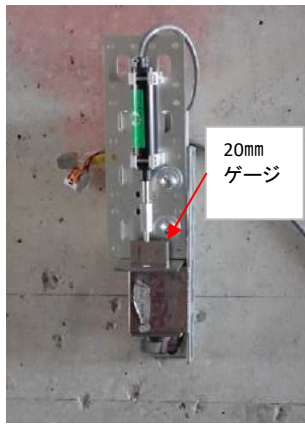
設置作業状況

機材設置状況

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況



10mmゲージブロック



20mmゲージブロック



使用ゲージブロック

ゲージブロックによる変位付加状況

1. 試験結果

計測結果

ケーブル長	ゲージブロック[mm]	計測値[mm]	誤差[%]
100	0(ゲージブロック無)	0	
	10	9.99	-0.1%
	20	20.04	0.2%

* 誤差の計算式(計測値-ブロックゲージの長さ)/ブロックゲージの長さ

PC表示画面抜粋

ゲージブロック[mm]	日時	変位計_電圧[mV]	変位計_変位量
20	2024-01-15 13:18:28	1618	20.04
	2024-01-15 13:17:27	1618	20.04
	2024-01-15 13:16:28	1329	11.74
10	2024-01-15 13:15:28	1268	9.99
	2024-01-15 13:14:28	1268	9.99
0	2024-01-15 13:13:28	920	0
	2024-01-15 13:12:27	920	0

計測結果

ケーブル長	ゲージブロック[mm]	計測値[mm]	誤差[%]
500	0(ゲージブロック無)	0	
	10	9.96	-0.4%
	20	19.92	-0.4%

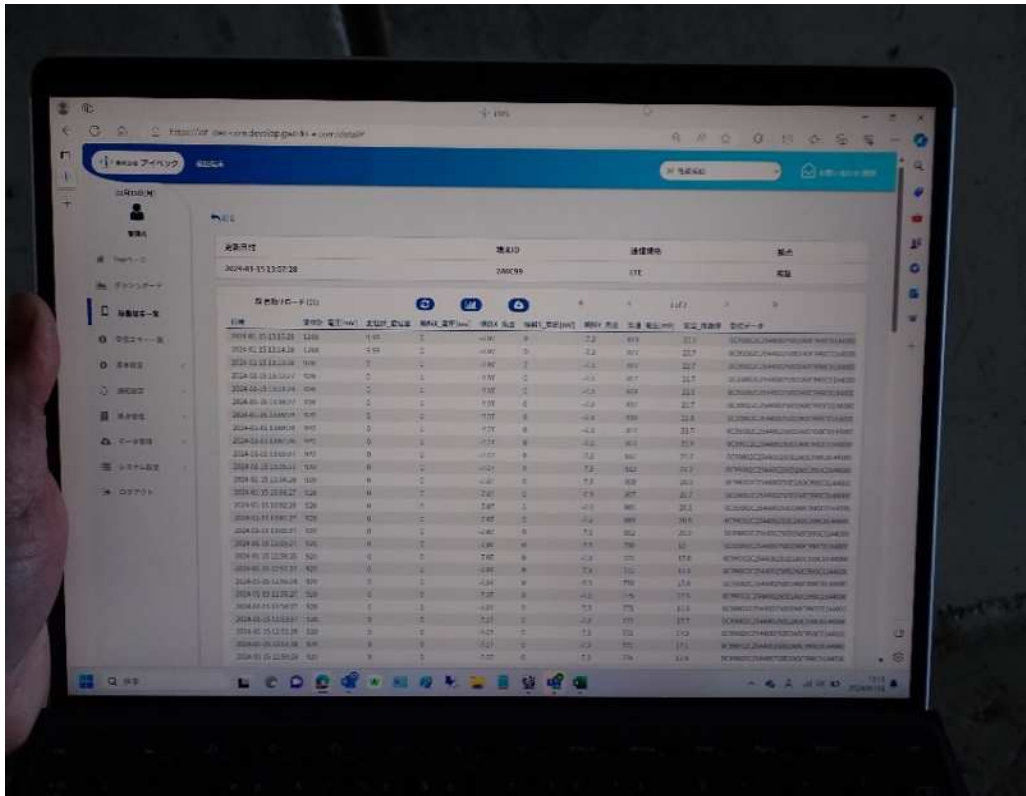
* 誤差の計算式(計測値-ブロックゲージの長さ)/ブロックゲージの長さ

PC表示画面抜粋

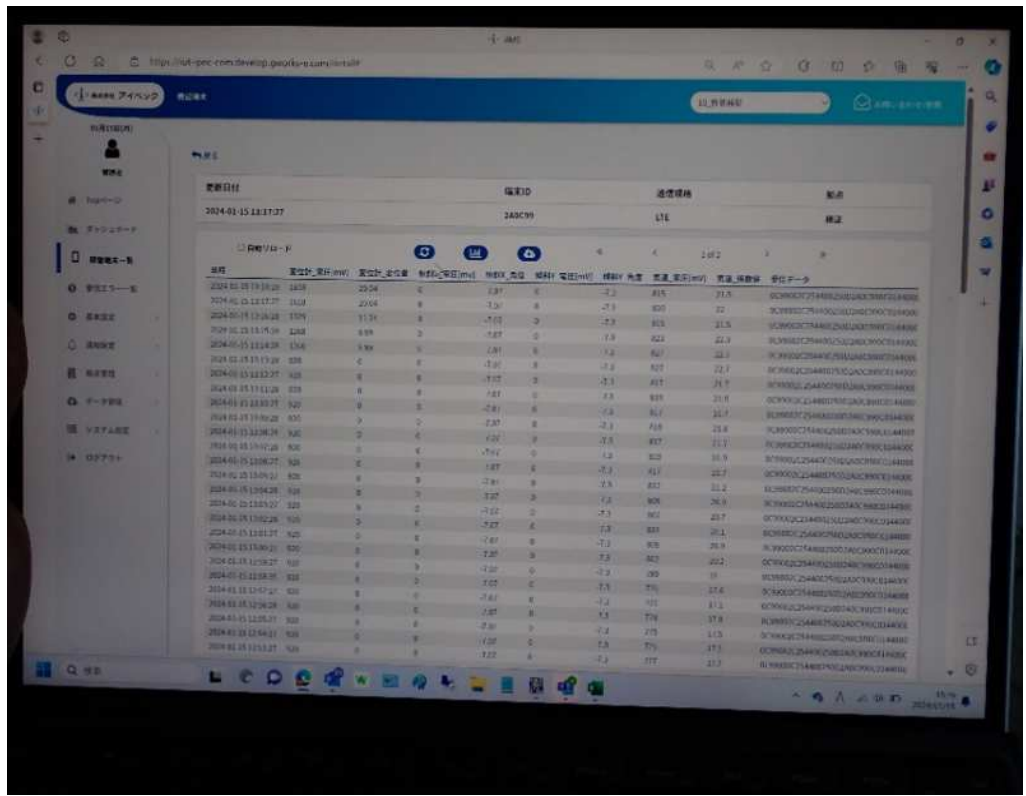
ゲージブロック[mm]	日時	変位計_電圧[mV]	変位計_変位量
20	2024-01-15 13:38:28	1614	19.92
	2024-01-15 13:37:28	1614	19.92
10	2024-01-15 13:36:28	1267	9.96
	2024-01-15 13:35:28	1267	9.96
0	2024-01-15 13:34:28	920	0
	2024-01-15 13:33:28	920	0

2. まとめ

試験の結果実測値と計測値の誤差は、ケーブル長100mで0.2%で500mで0.4%であった。



PC画面1



PC画面2

技術番号 TN030017-V0024

技術名 変状の進行性等の情報を定量的に把握・推定する変位量解析技術 開発者名 三菱電機株式会社

試験日 令和6年 1 月 23 日 天気 曇 気温 11 °C 風速 1.6 m/s

試験場所 国総研実大トンネル

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 変位 試験区分 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 変位計測精度

対象構造物の概要



図1 対象トンネル(国総研実大トンネル)

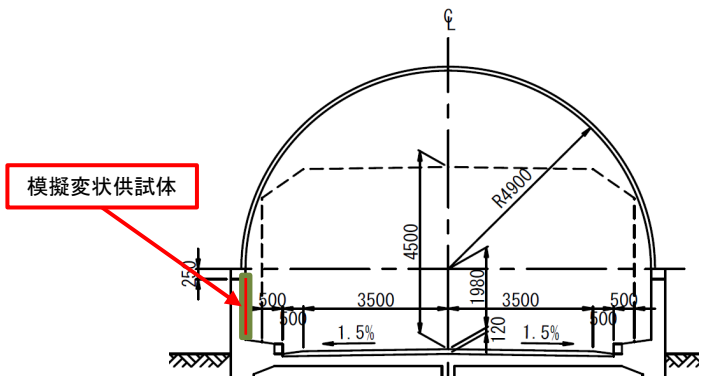


図3 対象トンネル標準断面図(国総研実大トンネル)

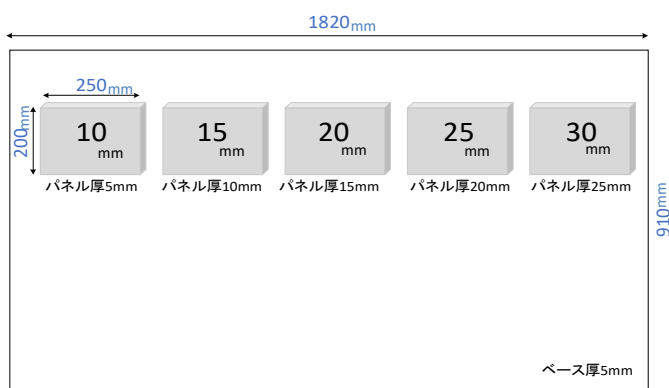


図2 模擬変状供試体(※)



図4 模擬変状供試体 設置状況

※ベース厚は5mm、左からパネル厚5mm,10mm,15mm,20mm,25mmのパネルを設置
パネル表記の数字はベース厚+パネル厚の合計値

- ① 計測車両でトンネル内の3次元点群データを取得する (基準面)
- ② トンネル内に変状を模擬した供試体を設置し、計測車両で3次元点群データを取得する。(対象面)
- ③ ①と②の3次元点群データから、基準面と対象面の差分を算出して、その精度を確認する。
- ④

開発者による計測機器の設置状況



図5 走行計測車両

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

—

・計測車両で取得した3次元点群データに関し、基準面(模擬変状なし)と対象面(模擬変状あり)を比較、この差分が変位量となる。以下、変位量を階調表現により可視化したコンター図(2次元、3次元)

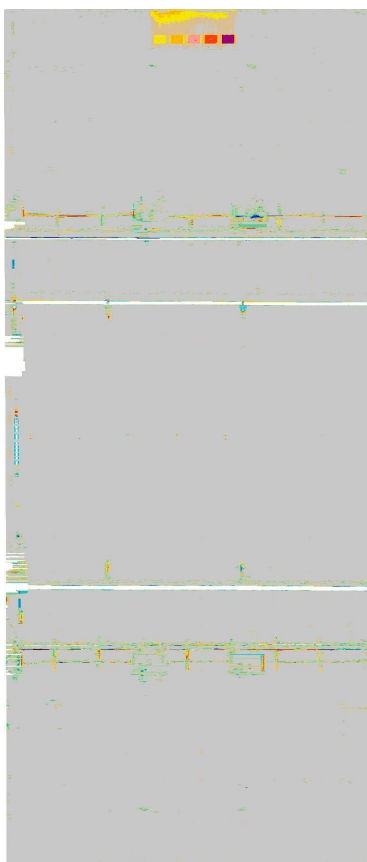


図6 比較結果(2次元コンター図)

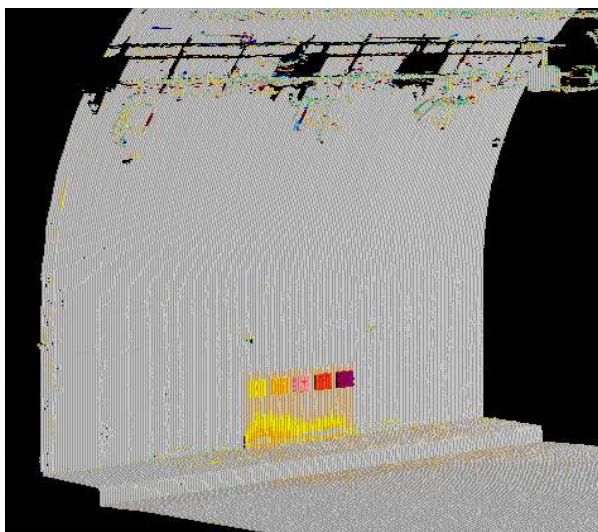
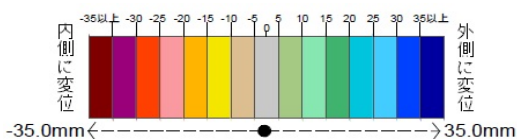


図7 比較結果(3次元コンター図)

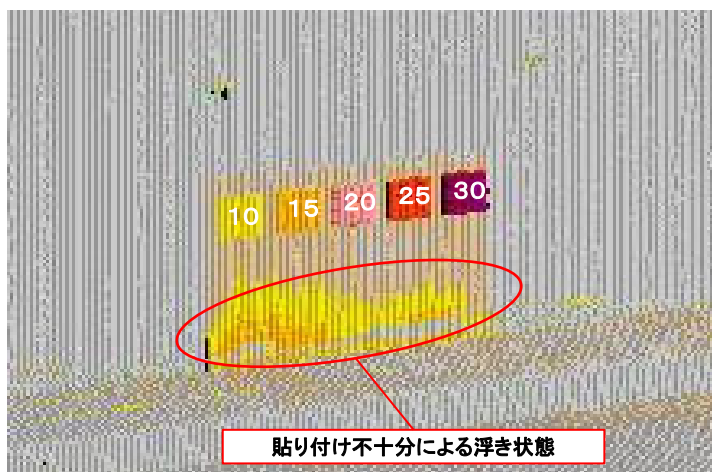


図8 比較結果(図7を拡大)

※トンネル壁を基準とし、膨らみがある(凸状態)場合、内側に変位。

表1 比較結果

変位量	検出範囲	備考
5mm(ベースのみ)	-5~-10(内側に変位)	左下部の変位は貼り付け不十分による浮き状態を示す
10mm(ベース+5mm)	-10~-15(内側に変位)	
15mm(ベース+10mm)	-15~-20(内側に変位)	
20mm(ベース+15mm)	-20~-25(内側に変位)	
25mm(ベース+20mm)	-25~-30(内側に変位)	
30mm(ベース+25mm)	-30~-35(内側に変位)	

基準面(模擬変状なし)と対象面(模擬変状あり)を比較し、それぞれの模擬変状の変位量が正しい検出範囲に収まり、模擬変状の形状を検出することができた。

技術番号 TN030018-V0024

技術名 3次元点群データを用いた解析学的信号処理によるトンネル覆工面のうき・はく離検出システム

開発者名 朝日航洋株式会社
東京大学生産技術研究所
首都高技術株式会社

試験日 令和6年 1 月 29 日 天候 晴 気温 °C 風速 m/s

試験場所 国土技術政策総合研究所 実大トンネル

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 うき・はく離 (段差のあるもの) 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 うき・はく離の検出精度

対象構造物の概要



図1. 模擬うき 設置状況



図2. 模擬うき 設置状況(拡大)

- ① トンネル外でのGNSS即位のキャリブレーションを行う
- ② 車載型レーザ測距装置により計測を実施する。(検証のため、車両速度とレーザ確度を可変)
計測完了後、トンネル外でのGNSS即位キャリブレーションを行う
- ③ 取得データから3次元点群データを作成し、解析学的信号処理によりうき箇所を検出を行う
- ④ 検出結果と真値を比較し、精度検証を行う

開発者による計測機器の設置状況

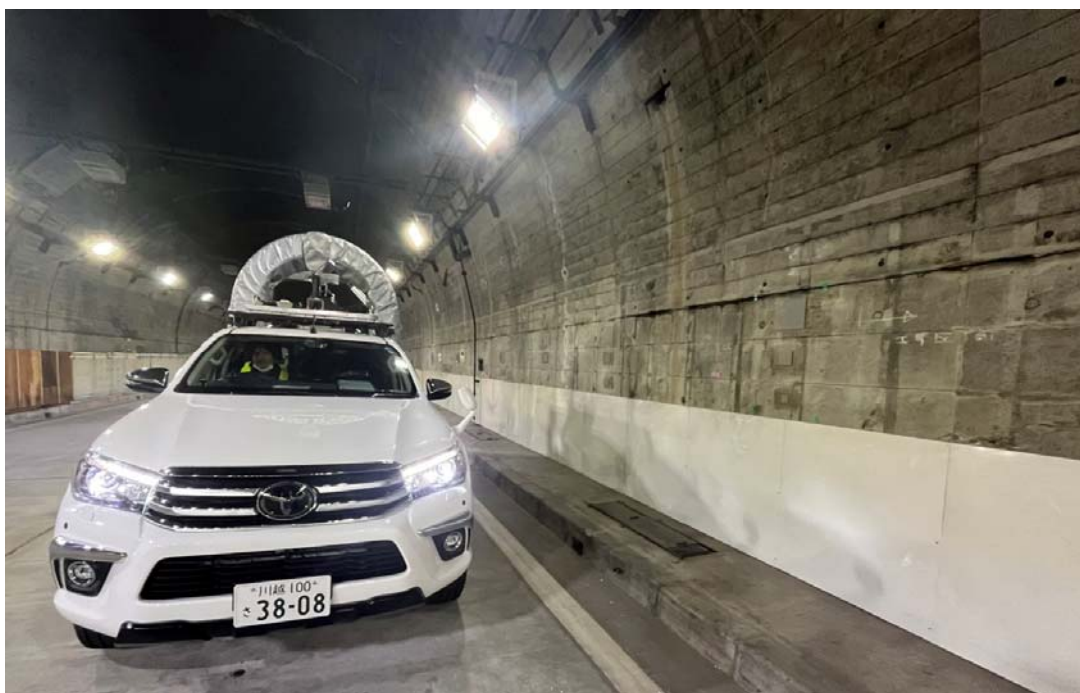


図3. 車載型レーザ測距装置による計測模様

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

解析結果(レーザ角度:45度)

□ : 検出箇所

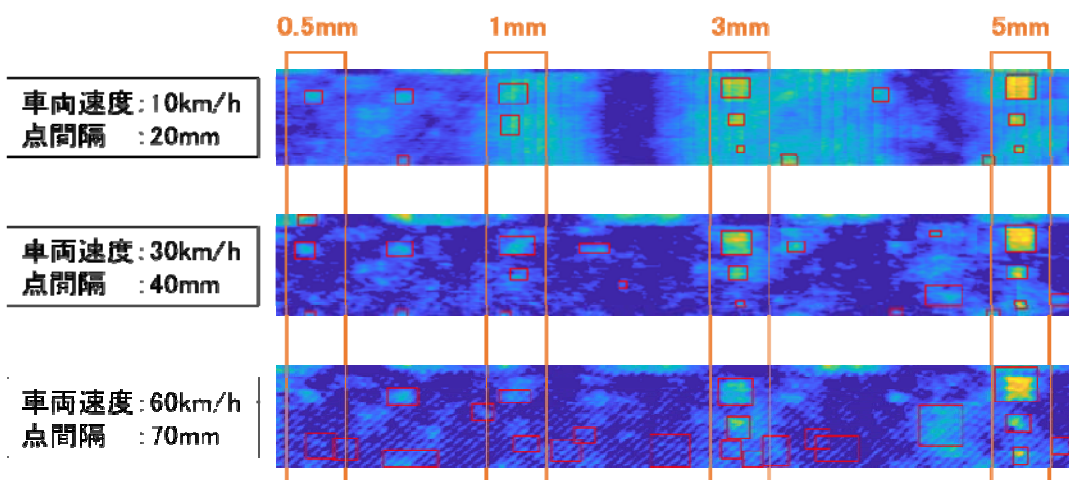


図4. 解析結果(レーザ角度:45度)

解析結果(レーザ角度:90度)

□ : 検出箇所

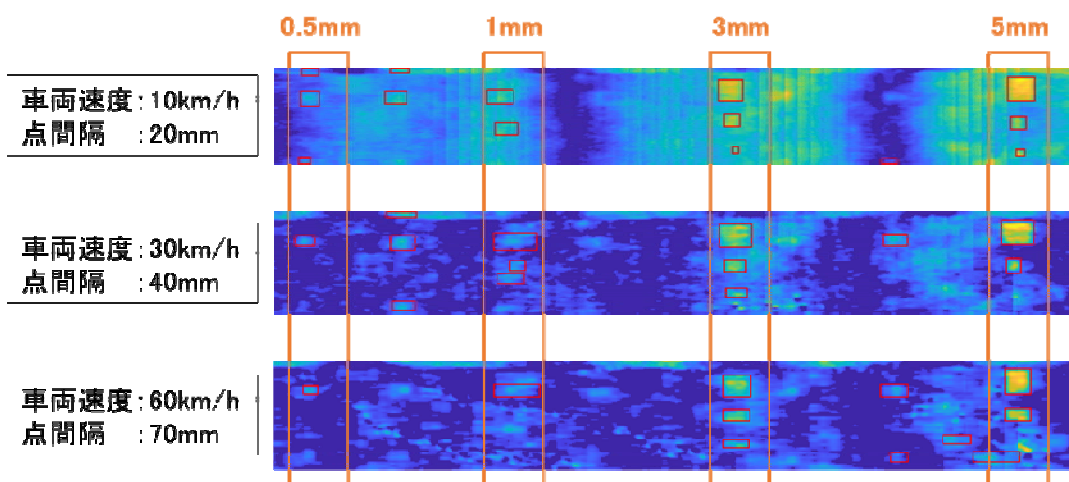


図5. 解析結果(レーザ角度:90度)

検出結果の比較

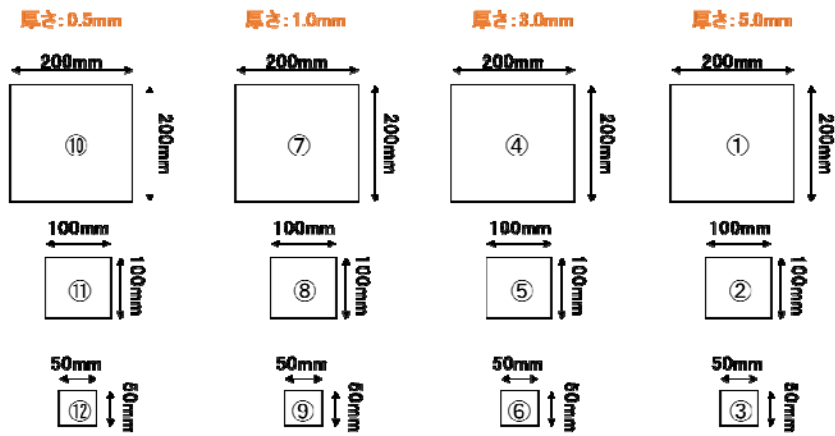


図6. 模擬うき 模式図

表1. 検出可否表

		模擬うき											
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
レーザ角度 45度	車両速度 10km/h	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×	×
	車両速度 30km/h	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×	×
	車両速度 60km/h	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
レーザ角度 90度	車両速度 10km/h	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×	×
	車両速度 30km/h	○	○	×	○	○	○	○	○	×	○	×	×
	車両速度 60km/h	○	○	×	○	○	○	○	×	×	○	×	×

技術番号 TN030019-V0025

技術名 3次元点群データの差分解析による異常箇所の見える化技術 開発者名 アイセイ株式会社

試験日 令和7年 1 月 28 日 天候 晴れ 気温 13 °C 風速 3.4 m/s

試験場所 国土技術政策総合研究所(旭庁舎) 実大トンネル

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 長さ 試験区分 標準試験
現場試験

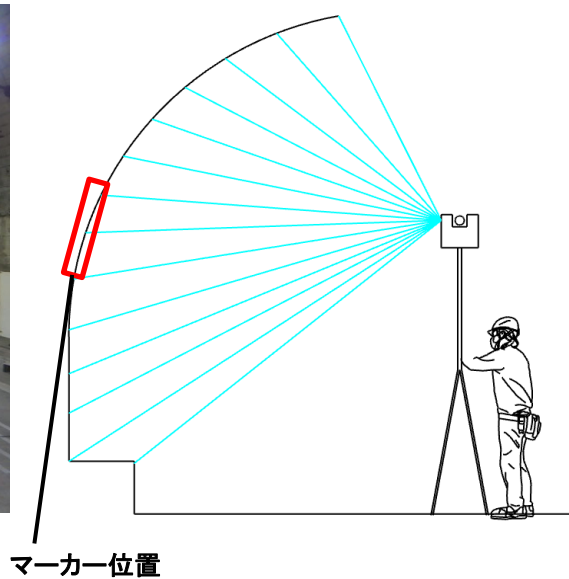
試験で確認する
カタログ項目 長さ計測・位置精度

対象構造物の概要

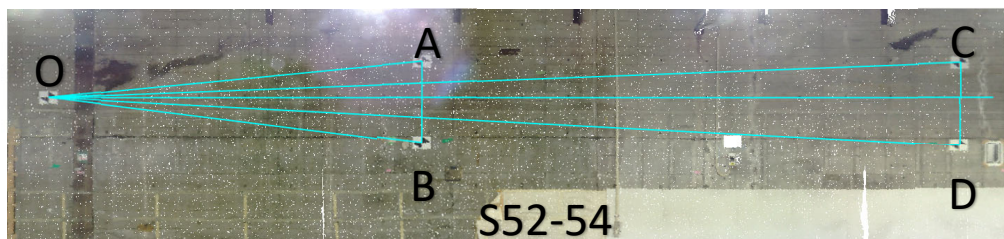


- ① トンネルにて、地上レーザスキャナを三脚に取り付け緩み、電源を入れ動作確認を行う。
- ② 点群密度が均等に取得できるように、極力均等な距離とマーカと正対するように機械高をあわせ据え置き計測を実施する。
- ③ 事務所にて、複数に分けて計測したデータを、ひとつの座標系にするために合成作業を行う。
- ④ 取得した点群データから規定マーカの位置を確認し、長さ精度を求める。

開発者による計測機器の設置状況



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況



S52-S54	AB	CD	AC	BD
実測値 (m)	1.359	1.374	8.77	8.751
計測値 (m)	1.357	1.368	8.774	8.756
差 (m)	0.002	0.006	-0.004	-0.005
誤差率	0.15%	0.44%	-0.05%	-0.06%
S52-S54	OA	OB	OC	OD
実測値 (m)	6.097	6.114	14.85	14.839
計測値 (m)	6.108	6.126	14.864	14.855
差 (m)	-0.011	-0.012	-0.014	-0.016
誤差率	-0.18%	-0.20%	-0.09%	-0.11%
水平距離 (m)	6.068	6.067	14.838	14.818
計測値 (m)	6.079	6.079	14.853	14.834
差 (m)	-0.011	-0.012	-0.015	-0.016
誤差率	-0.18%	-0.20%	-0.10%	-0.11%
鉛直距離 (m)	0.594	0.757	0.587	0.779
計測値 (m)	0.593	0.764	0.575	0.794
差 (m)	0.001	-0.007	0.012	-0.015
誤差率	0.17%	-0.92%	2.04%	-1.93%

S56-S57	AB	CD	AC	BD
実測値 (m)	1.38	1.364	9.53	9.542
計測値 (m)	1.372	1.36	9.526	9.537
差 (m)	0.008	0.004	0.004	0.005
誤差率	0.58%	0.29%	0.04%	0.05%
S56-S57	OA	OB	OC	OD
実測値 (m)	2.532	2.591	12.004	12.038
計測値 (m)	2.532	2.596	12.002	12.038
差 (m)	0.000	-0.005	0.002	0.000
誤差率	0.00%	-0.19%	0.02%	0.00%
水平距離 (m)	2.46	2.472	11.989	12.014
計測値 (m)	2.463	2.476	11.989	12.013
差 (m)	-0.003	-0.004	0.000	0.001
誤差率	-0.12%	-0.16%	0.00%	0.01%
鉛直距離 (m)	0.596	0.776	0.592	0.764
計測値 (m)	0.592	0.78	0.571	0.789
差 (m)	0.004	-0.004	0.021	-0.025
誤差率	0.67%	-0.52%	3.55%	-3.27%

計測精度

地上レーザスキャナ

① 性能(精度・信頼性)を確保する為の条件

- ・ 通行人、通行者がいないこと
- ・ 壁面との離隔が一定であること
- ・ 揺れや振動が起きないこと

② 本試験の条件

- ・ 壁面が湿潤していないこと

③ 長さ計測精度

- 進行方向 0.05% (4測線の平均(誤差率))
- 周方向 0.37% (4測線の平均(誤差率))

④ 位置精度

- 進行方向 0.008m (8測線の平均)
- 周方向 0.011m (8測線の平均)

技術番号 TN030019-V0025

技術名 3次元点群データの差分解析による異常箇所の見える化技術 開発者名 アイセイ株式会社

試験日 令和7年 1 月 28 日 天候 晴れ 気温 13 °C 風速 3.4 m/s

試験場所 国土技術政策総合研究所(旭庁舎) 実大トンネル

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 長さ 試験区分 標準試験 現場試験

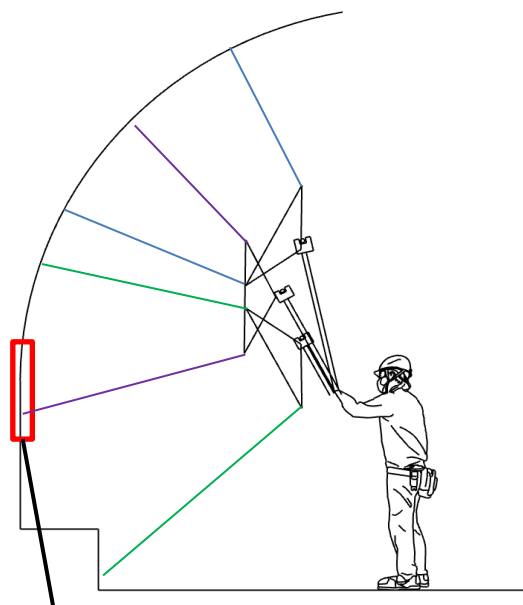
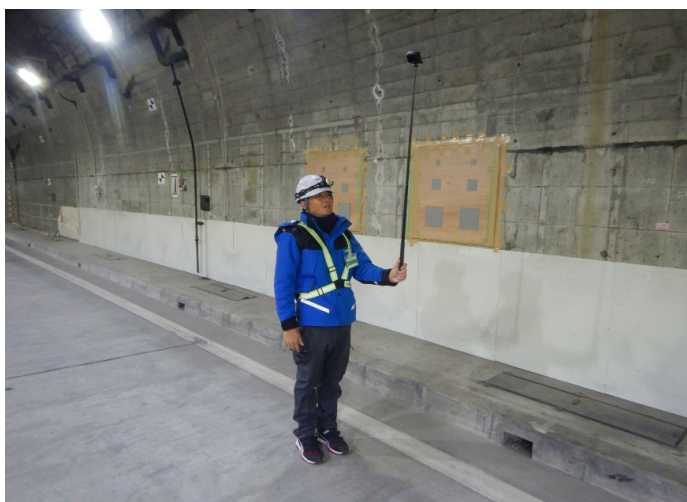
試験で確認する
カタログ項目 長さ計測・位置精度

対象構造物の概要



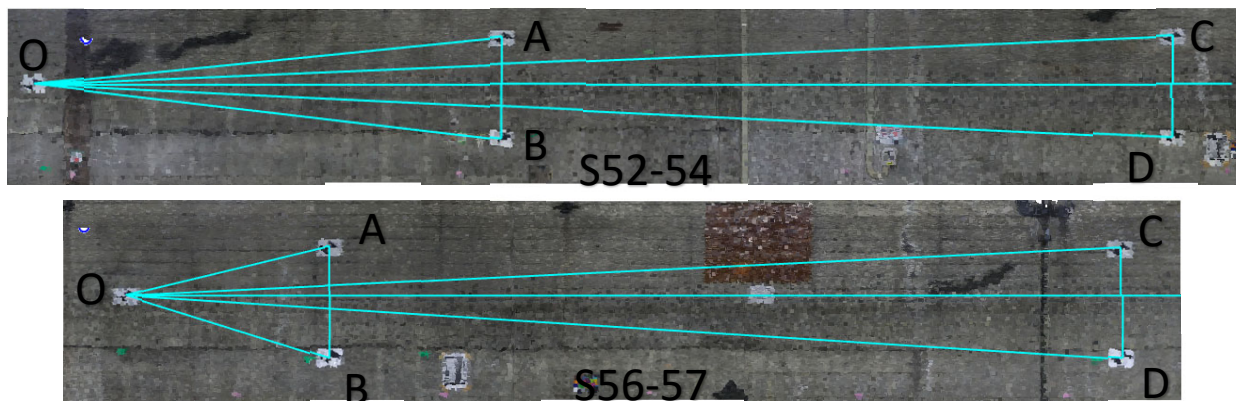
- ① トンネルにて、デジタルカメラを撮影用ポールに取り付ける、電源を入れ動作確認を行う。
- ② 動画撮影を行いながら起点方向から終点方向へ歩きながら壁面の撮影を行う。範囲を網羅する為に斜め上、正対、斜め下向きで3回歩き撮影を行う。
- ③ 事務所にて、撮影した動画を静止画に切り出しSfM-MVS処理ソフトで画像解析を行い点群データを生成する。
- ④ 生成した点群データから規定マーカの位置を確認し、長さ精度を求める。

開発者による計測機器の設置状況



マーカ位置

比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況



S52-S54	AB	CD	AC	BD
実測値 (m)	1.359	1.374	8.77	8.751
計測値 (m)	1.372	1.378	8.767	8.749
差 (m)	-0.013	-0.004	0.003	0.002
誤差率	-0.96%	-0.29%	0.03%	0.02%
S52-S54	OA	OB	OC	OD
実測値 (m)	6.097	6.114	14.85	14.839
計測値 (m)	6.132	6.139	14.88	14.861
差 (m)	-0.035	-0.025	-0.03	-0.022
誤差率	-0.57%	-0.41%	-0.20%	-0.15%
水平距離 (m)	6.068	6.067	14.838	14.818
計測値 (m)	6.099	6.094	14.866	14.843
差 (m)	-0.031	-0.027	-0.028	-0.025
誤差率	-0.51%	-0.45%	-0.19%	-0.17%
鉛直距離 (m)	0.594	0.757	0.587	0.779
計測値 (m)	0.631	0.741	0.648	0.73
差 (m)	-0.037	0.016	-0.061	0.049
誤差率	-6.23%	2.11%	-10.39%	6.29%

S56-S57	AB	CD	AC	BD
実測値 (m)	1.38	1.364	9.53	9.542
計測値 (m)	1.385	1.366	9.52	9.534
差 (m)	-0.005	-0.002	0.01	0.008
誤差率	-0.36%	-0.15%	0.10%	0.08%
S56-S57	OA	OB	OC	OD
実測値 (m)	2.532	2.591	12.004	12.038
計測値 (m)	2.532	2.585	11.994	12.023
差 (m)	0.000	0.006	0.010	0.015
誤差率	0.00%	0.23%	0.08%	0.12%
水平距離 (m)	2.46	2.472	11.989	12.014
計測値 (m)	2.459	2.464	11.979	11.998
差 (m)	0.001	0.008	0.010	0.016
誤差率	0.04%	0.32%	0.08%	0.13%
鉛直距離 (m)	0.596	0.776	0.592	0.764
計測値 (m)	0.603	0.782	0.588	0.778
差 (m)	-0.007	-0.006	0.004	-0.014
誤差率	-1.17%	-0.77%	0.68%	-1.83%

計測精度

SfM-MVS処理

① 性能(精度・信頼性)を確保する為の条件

- ・ 通行人、通行者がいないこと
- ・ 壁面との離隔が一定であること
- ・ 極力、ゆっくり歩く
- ・ 三方向の撮影する時に、それぞれの画角が60%以上ラップすること

② 本試験の条件

- ・ 壁面が湿潤していないこと
- ・ 暗所では無いこと

③ 長さ計測精度

- 進行方向 0.06% (4測線の平均(誤差率))
- 周方向 0.44% (4測線の平均(誤差率))

④ 位置精度

- 進行方向 0.018m (8測線の平均)
- 周方向 0.024m (8測線の平均)

技術番号 TN030019-V0025

技術名 3次元点群データの差分解析による異常箇所の見える化技術 開発者名 アイセイ株式会社

試験日 令和7年 1 月 28 日 天候 晴れ 気温 13 °C 風速 3.4 m/s

試験場所 国土技術政策総合研究所(旭庁舎) 実大トンネル

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 段差量 試験区分 標準試験
現場試験

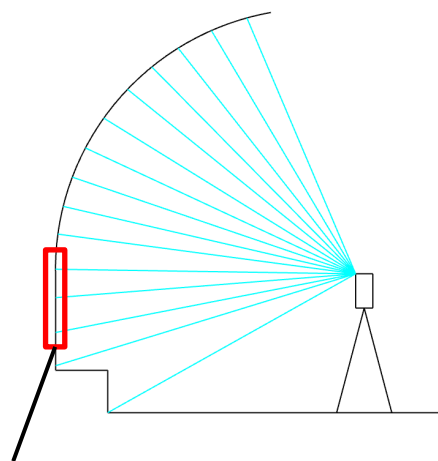
試験で確認する
カタログ項目 うき

対象構造物の概要



- ① トンネルにて、地上レーザスキャナを三脚に取り付け緩み、電源を入れ動作確認を行う。
- ② 点群密度が均等に取得できるように、極力均等な距離とマーカと正対するように機械高をあわせ据え置き計測を実施する。
- ③ 事務所にて、複数に分けて計測したデータを、ひとつの座標系にするために合成作業を行う。
- ④ 取得した点群データNuBasにインポートし差分解析により段差の計測とマーカの寸法計測を実施する。

開発者による計測機器の設置状況



マーカ位置

比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

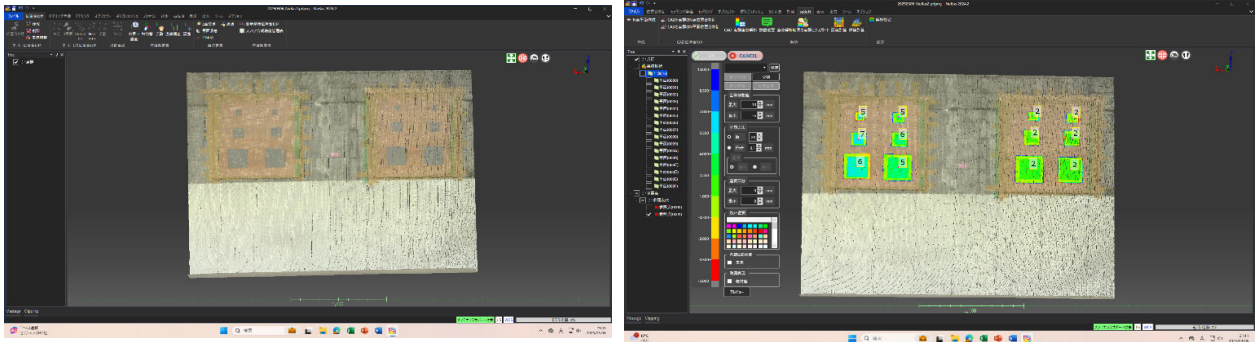


点群処理ソフトNuBas(ヌーバス)

NuBasの差分解析

マーカを取り付けている板に仮想基準面を設置し段差を計測した。

カラーマップ表示と数値確認ができる為、視覚的に確認がとれる。



NuBas画面イメージ

5mm	実測値【縦】(m)	計測値【縦】(m)	差	誤差率	実測値【横】(m)	計測値【横】(m)	差	誤差率	実測値【段差】(m)	計測値【段差】(m)	差
20cm×20cm	0.2	0.197	0.003	1.5%	0.2	0.2	0.000	0.0%	0.005	0.006	-0.001
10cm×10cm	0.1	0.1	0.000	0.0%	0.1	0.1	0.000	0.0%	0.005	0.007	-0.002
5cm×5cm	0.05	0.051	-0.001	-2.0%	0.05	0.052	-0.002	-4.0%	0.005	0.005	0
3mm	実測値【縦】(m)	計測値【縦】(m)	差	誤差率	実測値【横】(m)	計測値【横】(m)	差	誤差率	実測値【段差】(m)	計測値【段差】(m)	差
20cm×20cm	0.2	0.201	-0.001	-0.5%	0.2	0.202	-0.002	-1.0%	0.003	0.005	-0.002
10cm×10cm	0.1	0.104	-0.004	-4.0%	0.1	0.1	0.000	0.0%	0.003	0.006	-0.003
5cm×5cm	0.05	0.051	-0.001	-2.0%	0.05	0.056	-0.006	-12.0%	0.003	0.005	-0.002
1mm	実測値【縦】(m)	計測値【縦】(m)	差	誤差率	実測値【横】(m)	計測値【横】(m)	差	誤差率	実測値【段差】(m)	計測値【段差】(m)	差
20cm×20cm	0.2	0.201	-0.001	-0.5%	0.2	0.201	-0.001	-0.5%	0.001	0.002	-0.001
10cm×10cm	0.1	0.1	0.000	0.0%	0.1	0.099	0.001	1.0%	0.001	0.002	-0.001
5cm×5cm	0.05	0.052	-0.002	-4.0%	0.05	0.049	0.001	2.0%	0.001	0.002	-0.001
0.5mm	実測値【縦】(m)	計測値【縦】(m)	差	誤差率	実測値【横】(m)	計測値【横】(m)	差	誤差率	実測値【段差】(m)	計測値【段差】(m)	差
20cm×20cm	0.2	0.196	0.004	2.0%	0.2	0.202	-0.002	-1.0%	0.0005	0.002	-0.0015
10cm×10cm	0.1	0.099	0.001	1.0%	0.1	0.105	-0.005	-5.0%	0.0005	0.002	-0.0015
5cm×5cm	0.05	0.046	0.004	8.0%	0.05	0.048	0.002	4.0%	0.0005	0.002	-0.0015

計測精度

地上レーザスキャナ

※□: マーカー

① 性能(精度・信頼性)を確保する為の条件

厚さ5mm

・通行人、通行者がいないこと □ 5cm以上検出可能(平均差±0mm程度)

・壁面との離隔が一定であること 厚さ3mm

・揺れや振動が起きないこと □ 5cm以上検出可能(平均差±2mm程度)

② 本試験の条件

厚さ1mm

・壁面が湿潤していないこと □ 5cm以上検出可能(平均差±1mm程度)

厚さ0.5mm

□ 0.5cm以上検出可能(平均差±0mm程度)

技術番号 TN030019-V0025

技術名 3次元点群データの差分解析による異常箇所の見える化技術 開発者名 アイセイ株式会社

試験日 令和7年 1 月 28 日 天候 晴れ 気温 13 °C 風速 3.4 m/s

試験場所 国土技術政策総合研究所(旭庁舎) 実大トンネル

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 段差量 試験区分 標準試験
現場試験

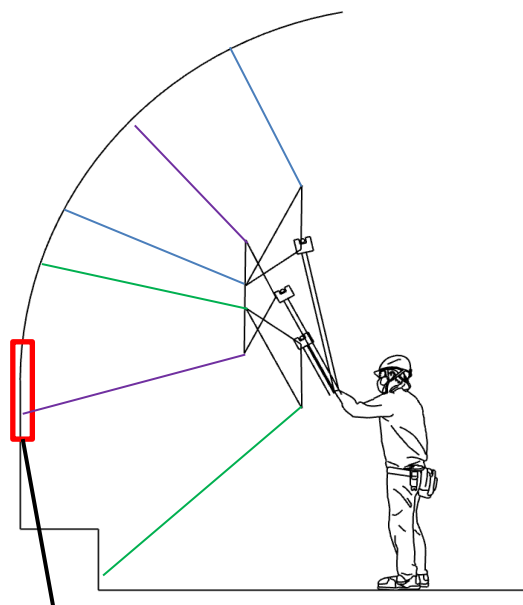
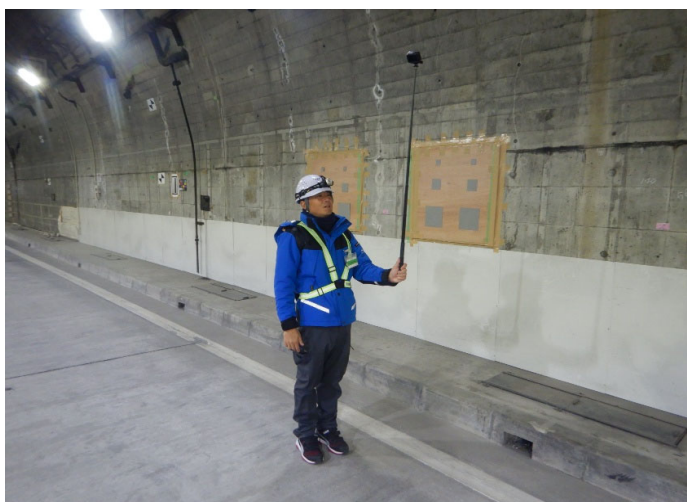
試験で確認する
カタログ項目 うき

対象構造物の概要



- ① トンネルにて、デジタルカメラを撮影用ポールに取り付ける、電源を入れ動作確認を行う。
- ② 動画撮影を行いながら起点方向から終点方向へ歩きながら壁面の撮影を行う。範囲を網羅する為に斜め上、正対、斜め下向きで3回歩き撮影を行う。
- ③ 事務所にて、撮影した動画を静止画に切り出しSfM-MVS処理ソフトで画像解析を行い点群データを生成する。
- ④ 取得した点群データNuBasにインポートし差分解析により段差の計測とマーカの寸法計測を実施する。

開発者による計測機器の設置状況



マーカー位置

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

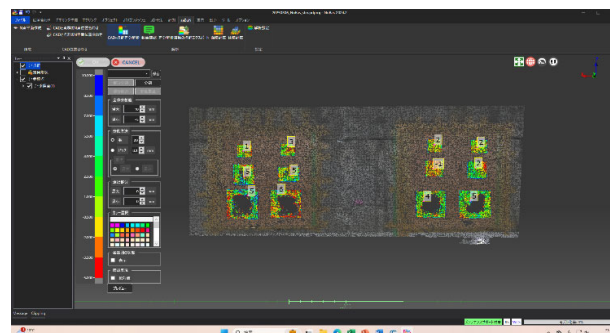
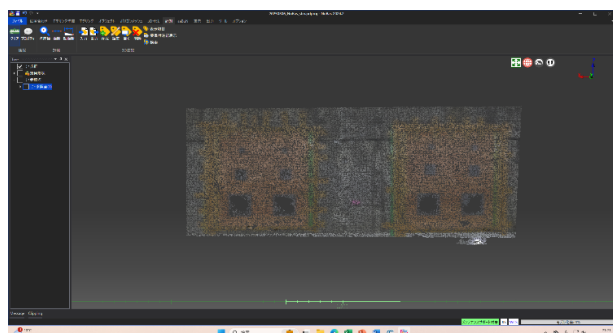


点群処理ソフトNuBas(ヌーバス)

NuBasの差分解析

マーカを取り付けている板に仮想基準面を設置し段差を計測した。

カラーマップ表示と数値確認ができる為、視覚的に確認がとれる。



NuBas画面イメージ

5mm	実測値【縦】(m)	計測値【縦】(m)	差	誤差率	実測値【横】(m)	計測値【横】(m)	差	誤差率	実測値【段差】(m)	計測値【段差】(m)	差
20cm×20cm	0.2	0.203	-0.003	-1.5%	0.2	0.198	0.002	1.0%	0.005	0.001	0.004
10cm×10cm	0.1	0.098	0.002	2.0%	0.1	0.107	-0.007	-7.0%	0.005	0.005	0
5cm×5cm	0.05	0.05	0.000	0.0%	0.05	0.052	-0.002	-4.0%	0.005	0.005	0
3mm	実測値【縦】(m)	計測値【縦】(m)	差	誤差率	実測値【横】(m)	計測値【横】(m)	差	誤差率	実測値【段差】(m)	計測値【段差】(m)	差
20cm×20cm	0.2	0.198	0.002	1.0%	0.2	0.201	-0.001	-0.5%	0.003	0.003	0
10cm×10cm	0.1	0.102	-0.002	-2.0%	0.1	0.104	-0.004	-4.0%	0.003	0.005	-0.002
5cm×5cm	0.05	0.04	0.010	20.0%	0.05	0.057	-0.007	-14.0%	0.003	0.006	-0.003
1mm	実測値【縦】(m)	計測値【縦】(m)	差	誤差率	実測値【横】(m)	計測値【横】(m)	差	誤差率	実測値【段差】(m)	計測値【段差】(m)	差
20cm×20cm	0.2	0.203	-0.003	-1.5%	0.2	0.203	-0.003	-1.5%	0.001	0.002	-0.001
10cm×10cm	0.1	0.101	-0.001	-1.0%	0.1	0.094	0.006	6.0%	0.001	-0.001	0.002
5cm×5cm	0.05	0.052	-0.002	-4.0%	0.05	0.052	-0.002	-4.0%	0.001	0.004	-0.003
0.5mm	実測値【縦】(m)	計測値【縦】(m)	差	誤差率	実測値【横】(m)	計測値【横】(m)	差	誤差率	実測値【段差】(m)	計測値【段差】(m)	差
20cm×20cm	0.2	0.201	-0.001	-0.5%	0.2	0.198	0.002	1.0%	0.0005	0.002	-0.0015
10cm×10cm	0.1	0.098	0.002	2.0%	0.1	0.096	0.004	4.0%	0.0005	0.002	-0.0015
5cm×5cm	0.05	0.052	-0.002	-4.0%	0.05	0.059	-0.009	-18.0%	0.0005	0.005	-0.0045

計測精度

SfM-MVS処理

① 性能(精度・信頼性)を確保する為の条件

- ・通行人、通行者がいないこと
- ・壁面との離隔が一定であること
- ・極力、ゆっくり歩く
- ・三方向の撮影する時に、それぞれの画角が60%以上ラップすること

② 本試験の条件

- ・壁面が湿潤していないこと
- ・暗所では無いこと

※□: マーカー

厚さ5mm

□ 5cm以上検出可能(平均差±0mm程度)

厚さ3mm

□ 5cm以上検出可能(平均差±1mm程度)

厚さ1mm

□ 5cm以上検出可能(平均差±1mm程度)

厚さ0.5mm

□ 0.5cm以上検出可能(平均差±1mm程度)