

技術番号 TN010042

技術名 自律飛行型ドローンを用いたトンネル構造物の点検技術 開発者名 KDDIスマートドローン株式会社

試験日 令和8年 1 月 16 日 天候 晴れ 気温 7 °C 風速 0 m/s

試験場所 国総研実大トンネル実験施設(茨城県つくば市)

カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ①計測精度 ②長さ計測・位置精度 ③色識別性能 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度[1] 通常のひび
割れ

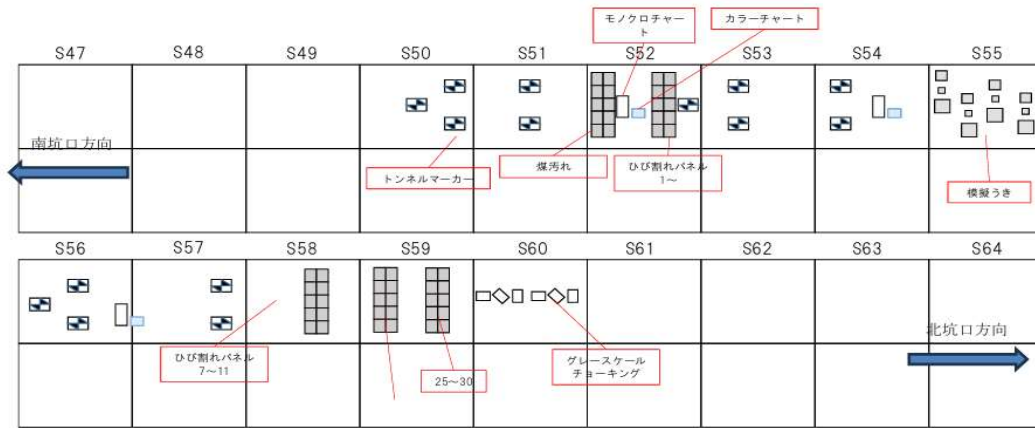
対象構造物の概要



実大トンネル実験施設(坑口)



実大トンネル実験施設(坑内)



試験体配置図



ひび割れパネル

- ① 機器の搬入(ドローン)
- ② ドローンを飛行させ、事前に設置された、ひび割れパネルの撮影(照度:108.7Lux)
- ③ トンネル内の照明を落とした状態で、ドローンを飛行させ、事前に設置された、ひび割れパネルの撮影(照度:0.0Lux)
- ④ 取得した画像から、最小ひび割れ幅の計測精度を算出する。
これは、ひび割れ模擬供試体の画像に対して、目視で判別可能な最小のひび割れを選出して得られたものである。
- ⑤ 最小ひび割れ幅の計測精度を算出する。これは、現場にて撮影画像と同離隔で撮影したクラックスケールとの画像対比にて計測値を算出し、真値と二乗平均平方根誤差を算出する。

開発者による計測機器の設置状況

■ドローン飛行状況



■坑内照度計測状況

坑内照明あり
(108.7Lux)

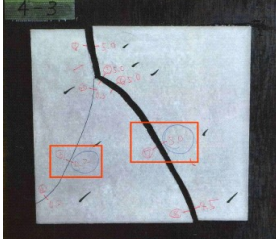
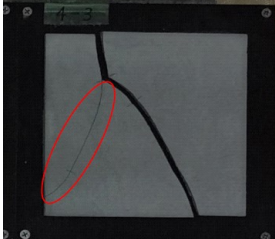
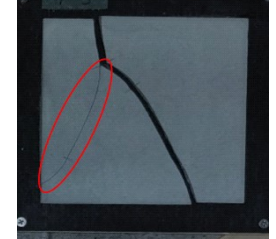
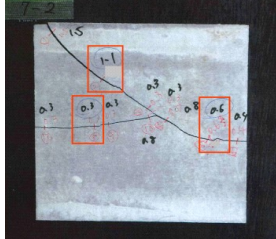
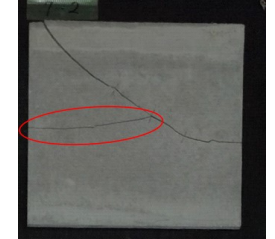
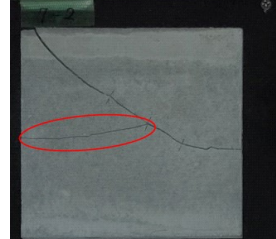
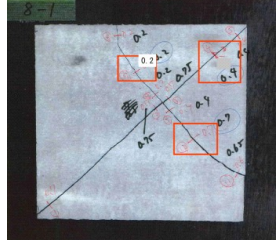
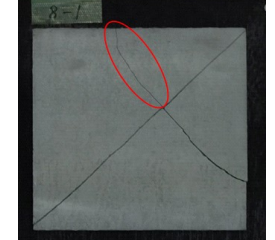
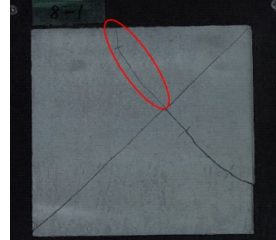
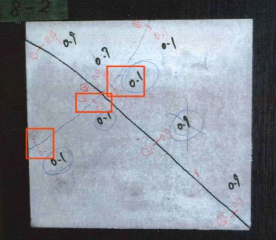
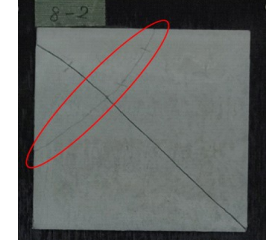
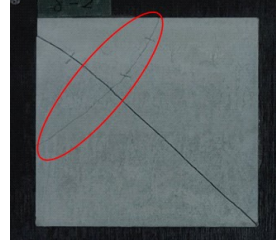
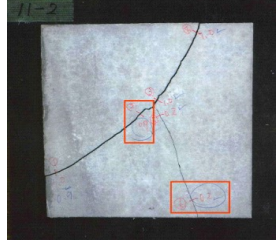
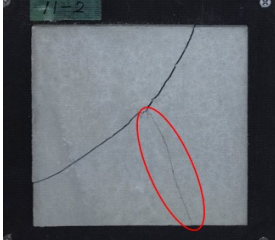
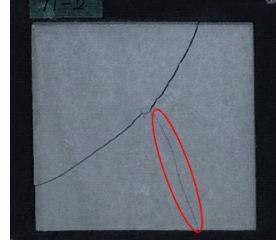
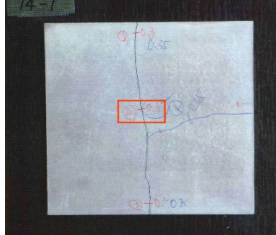
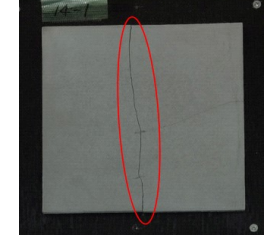
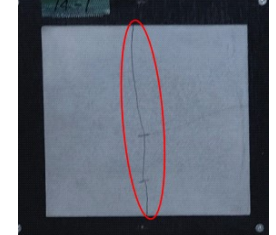
坑内照明なし

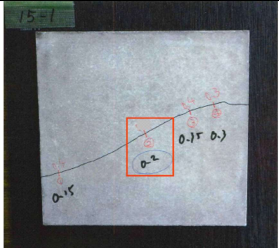

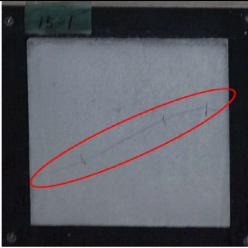
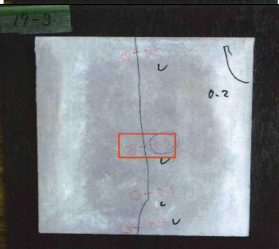
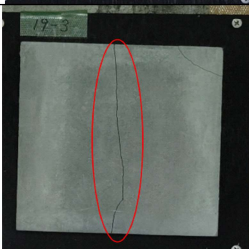
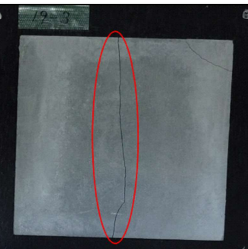
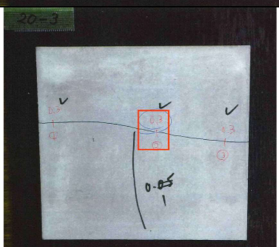
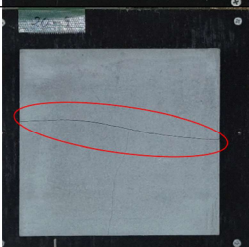
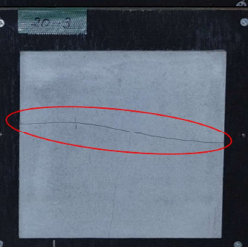
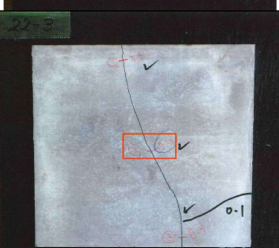
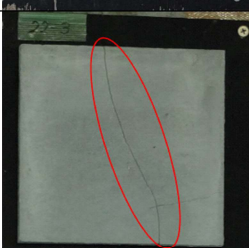
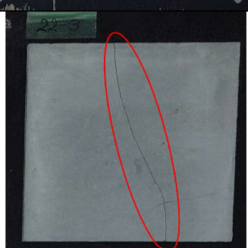
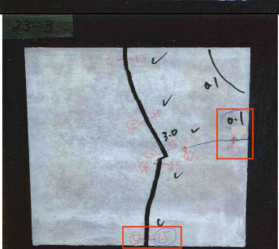
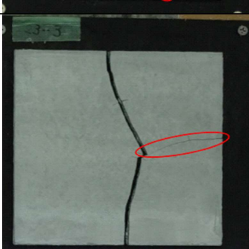

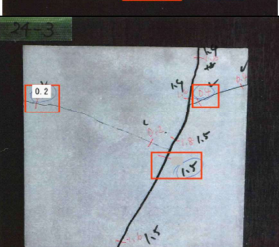
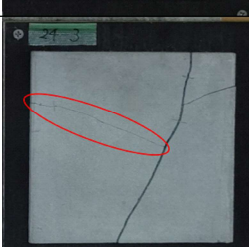
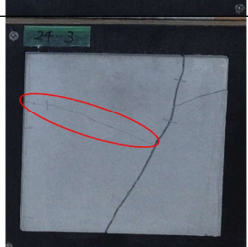
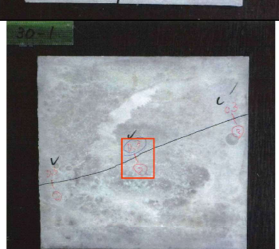

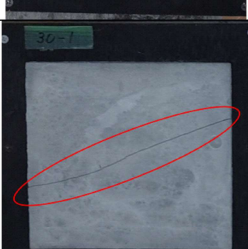
■クラックスケール撮影状況

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

1. コンクリート上のマーキングの検出可否結果(試験方法③)

1. 1. ひび割れパネル比較画像

No. [ひび割れ幅]	正解画像 (デジカメ)	計測画像(照明あり)	計測画像 (照明なし)
4-3 [0.2mm]			
7-2 [0.3mm]			
8-1 [0.2mm]			
8-2 [0.1mm]			
11-2 [0.2mm]			
14-1 [0.3mm]			

<p>15-1 [0.2mm]</p>			
<p>19-3 [0.3mm]</p>			
<p>20-3 [0.3mm]</p>			
<p>22-3 [0.3mm]</p>			
<p>23-3 [0.1mm]</p>			
<p>24-3 [0.2mm]</p>			
<p>30-1 [0.3mm]</p>			

1. 2. 目視確認結果

目視では、最小ひび割れ0.1mmの模擬供試体まで、すべて判別可能であった。

2. 最小ひび割れの計測精度

1. 2. より識別可能な最小ひび割れ幅は0.1mmであるが、供試体のサンプル数が少ないため、0.1mmおよび0.2mmの供試体を対象に計測精度を算出。

No.	真値 [mm]	検出可否（画像目視）					
		離隔1m					
		TN照明あり			TN照明なし		
		検出可否	測定値	測定誤差	検出可否	測定値	測定誤差
4-3_③	0.2	○	0.2	0.00	○	0.2	0.00
8-1_⑦	0.2	○	0.2	0.00	○	0.2	0.00
8-2_⑤	0.1	○	0.2	0.01	○	0.1	0.00
8-2_⑥	0.1	○	0.1	0.00	○	0.2	0.01
8-2_⑦	0.1	○	0.1	0.00	○	0.1	0.00
11-2_⑥	0.2	○	0.2	0.00	○	0.3	0.01
15-1	0.2	○	0.4	0.04	○	0.5	0.09
23-3_⑦	0.1	○	0.1	0.00	○	0.2	0.01
24-3_①	0.2	○	0.1	0.01	○	0.2	0.00

二乗平均平方根誤差 (RMSE)

トンネル照明あり	0.082	mm
トンネル照明なし	0.115	mm

■動作条件および環境条件

【飛行速度】撮影時は静止状態で対象物に対して撮影

【被写体との距離】1.0m

【照度】

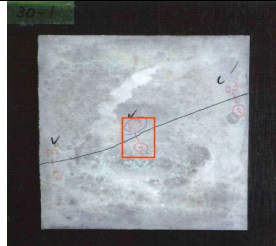
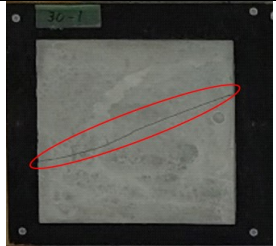

トンネル照明あり: 107.8Lux (試験時計測)

トンネル照明なし: 0.0Lux (試験時計測)

【参考】離隔距離を2.0mとした場合の、コンクリート上のマーキングの検出可否結果

No.25～30のパネルを対象に、離隔距離を2.0mまで離れ、コンクリート上の検出可否の確認を行った。

上記パネル内での最小ひび割れ幅である0.3mmでのひび割れパネル比較画像を以下に示す。

No. [ひび割れ幅]	正解画像 (デジカメ)	計測画像(照明あり)	計測画像 (照明なし)
30-1 [0.3mm]			

技術番号 TN010042

技術名 自律飛行型ドローンを用いたトンネル構造物の点検技術 開発者名 KDDIスマートドローン株式会社

試験日 令和8年 1 月 16 日 天候 晴れ 気温 7 °C 風速 0 m/s

試験場所 国総研実大トンネル実験施設(茨城県つくば市)

カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ①計測精度 ②長さ計測・位置精度 ③色識別性能 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度[2]
覆工表面が煤で汚れた状態での
ひび割れ

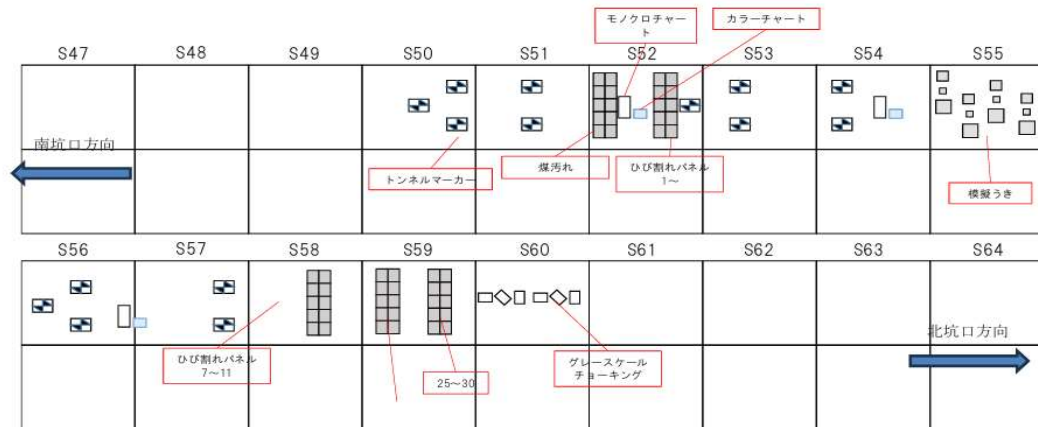
対象構造物の概要



実大トンネル実験施設(坑口)



実大トンネル実験施設(坑内)



試験体配置図



供試体(煤汚れ)

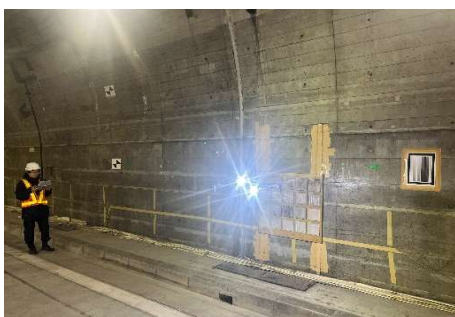


グレースケール

- ① 機器の搬入(ドローン)
- ② ドローンを飛行させ、供試体およびグレースケールの撮影(照度:108.7Lux)
- ③ トンネル内の照明を落とした状態で、ドローンを飛行させ、供試体およびグレースケールの撮影(照度:0.0Lux)
- ④ 撮影画像のうち、煤を模倣した供試体を切り抜き、ひび割れ幅の異なる8個の供試体において、各幅でひび割れが目視で判別可能であるかを評価する。
- ⑤ 撮影画像のうち、グレースケールシートを切り取り、0.3mm、0.5mm、1.0mmの各直線がグレースケールのどの輝度(濃度)まで目視で判別可能であるかを評価する。

開発者による計測機器の設置状況

■ドローン飛行状況



■坑内照度計測状況


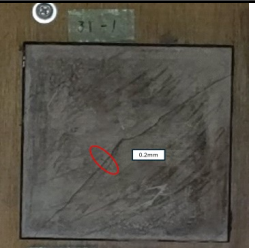




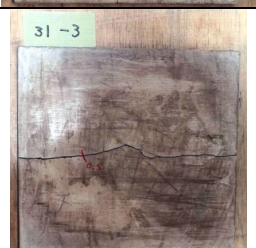
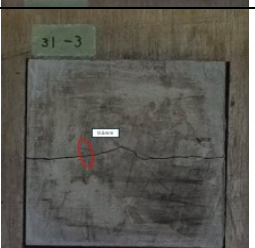

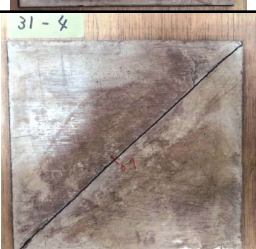

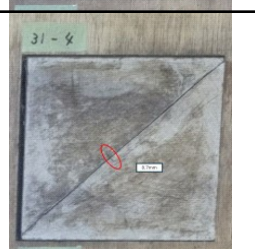


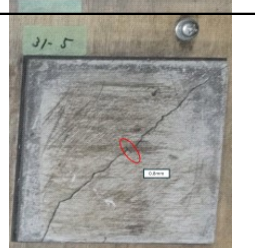
坑内照明あり
(108.7Lux)

坑内照明なし

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

1. 覆工表面が煤で汚れた状態のひび割れの検出可否結果(試験方法③)

1. 1. 正解画像(デジカメ)と計測画像の比較

No.	正解画像 (デジカメ)	計測画像(照明あり)	計測画像 (照明なし)
31-1			
31-2			
31-3			
31-4			
31-5			

1. 2. 覆工表面が煤で汚れた状態のひび割れ検出結果

1. 1. より、トンネル内照明の有無によらず、幅0.2mm、0.3mm、0.4mm、0.5mm、0.7mm、0.8mm 全て識別可能

2. 覆工表面が煤で埋まった状態のひび割れの検出可否結果(試験方法②)

2. 1. 正解画像(デジカメ)と計測画像の比較

No.	正解画像 (デジカメ)	計測画像(照明あり)	計測画像 (照明なし)
32-1			
32-2			
32-3			

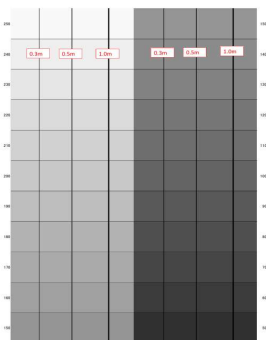
2. 2. 覆工表面が煤で埋まった状態のひび割れ検出結果

2. 1. より、トンネル内照明の有無によらず、幅0.1mm、0.4mm、0.7mm全て識別可能

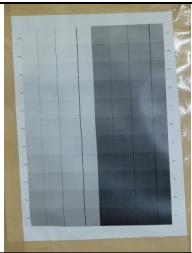

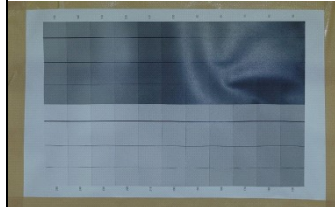
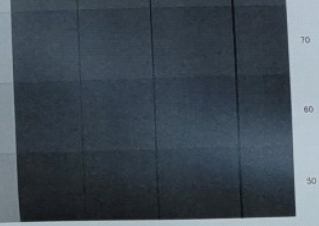
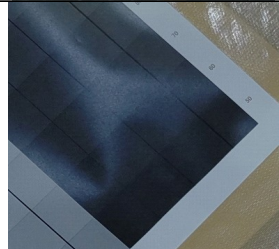

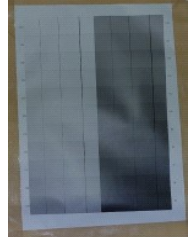

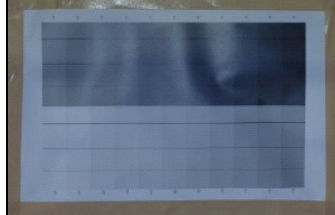
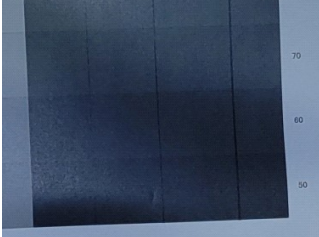

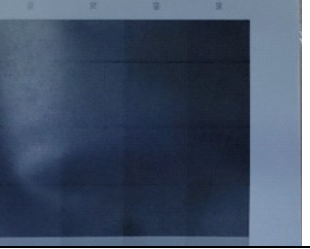
3. グレースケールシート上の黒色の直線が検出可能な輝度の結果(試験方法④)

3. 1. 直線有りグレースケールシートの仕様

グレースケールシートは、輝度50~250の間で10ずつ変化したグレースケールとなっており、さらに、0.3mm,0.5mm,1.0mmの直線が引かれている。



3. 2. 計測画像

方向	縦	斜め	横
トンネル照明あり			
トンネル照明あり (拡大)			
トンネル照明なし			
トンネル照明なし (拡大)			

3. 3. グレースケールシート上の黒色の直線が検出可能な輝度結果

3. 2. より、トンネル内照明の有無によらず、直線の幅0.3mm、0.5mm、1.0mm 全て輝度50以上で識別可能

■動作条件および環境条件

【飛行速度】撮影時は静止状態で対象物に対して撮影

【被写体との距離】1.0m

【照度】

トンネル照明あり: 107.8Lux (試験時計測)

トンネル照明なし: 0.0Lux (試験時計測)

技術番号 TN010042

技術名 自律飛行型ドローンを用いたトンネル構造物の点検技術 開発者名 KDDIスマートドローン株式会社

試験日 令和8年 1 月 16 日 天候 晴れ 気温 7 °C 風速 0 m/s

試験場所 国総研実大トンネル実験施設(茨城県つくば市)

カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ①計測精度
②長さ計測・位置精度
③色識別性能 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度[4]
ひび割れ等のマーキング

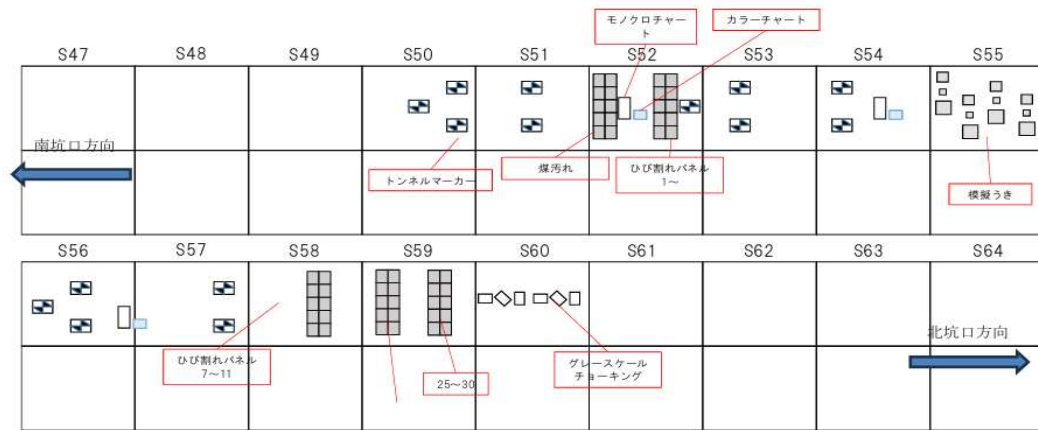
対象構造物の概要



実大トンネル実験施設(坑口)



実大トンネル実験施設(坑内)



試験体配置図



コンクリート上のマーキング



グレースケールシート上のマーキング

① 機器の搬入(ドローン)

② ドロンを飛行させ、コンクリート上のマーキングおよびグレースケールシート上のマーキングの撮影(照度: 108.7Lux)

③ トンネル内の照明を落とした状態で、ドロンを飛行させ、コンクリート上のマーキングおよびグレースケールシート上のマーキングの撮影(照度: 0.0Lux)

④ 撮影画像のうち、マーキング有りコンクリートを切り抜き、各マーキングの向き・幅・色で目視で判別可能であるかを評価する。

⑤ 撮影画像のうち、グレースケールシートを切り取り、各マーキングの幅・色でグレースケールのどの輝度(濃度)まで目視で判別可能であるかを評価する。

開発者による計測機器の設置状況

■ドローン飛行状況



■坑内照度計測状況

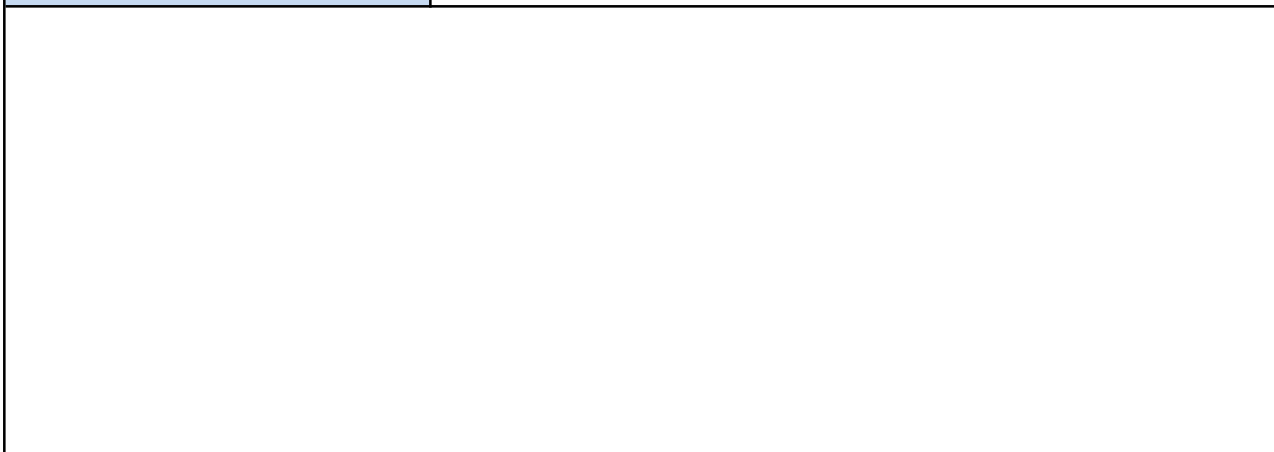


坑内照明あり
(108.7Lux)



坑内照明なし

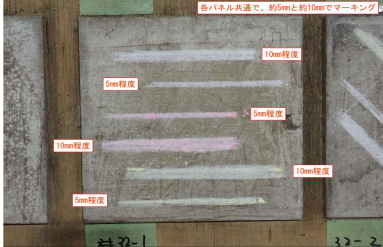
比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況



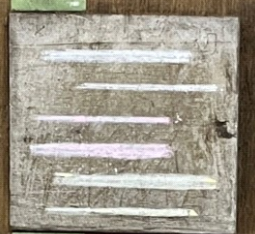





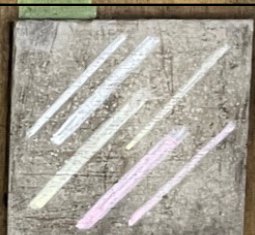

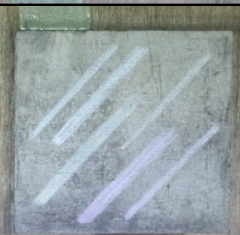
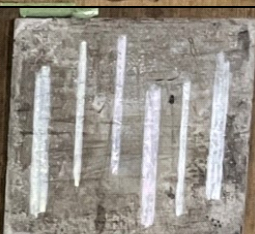
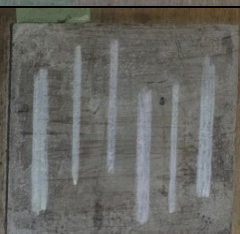
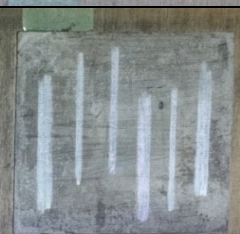
1. コンクリート上のマーキングの識別可否結果(試験方法③)

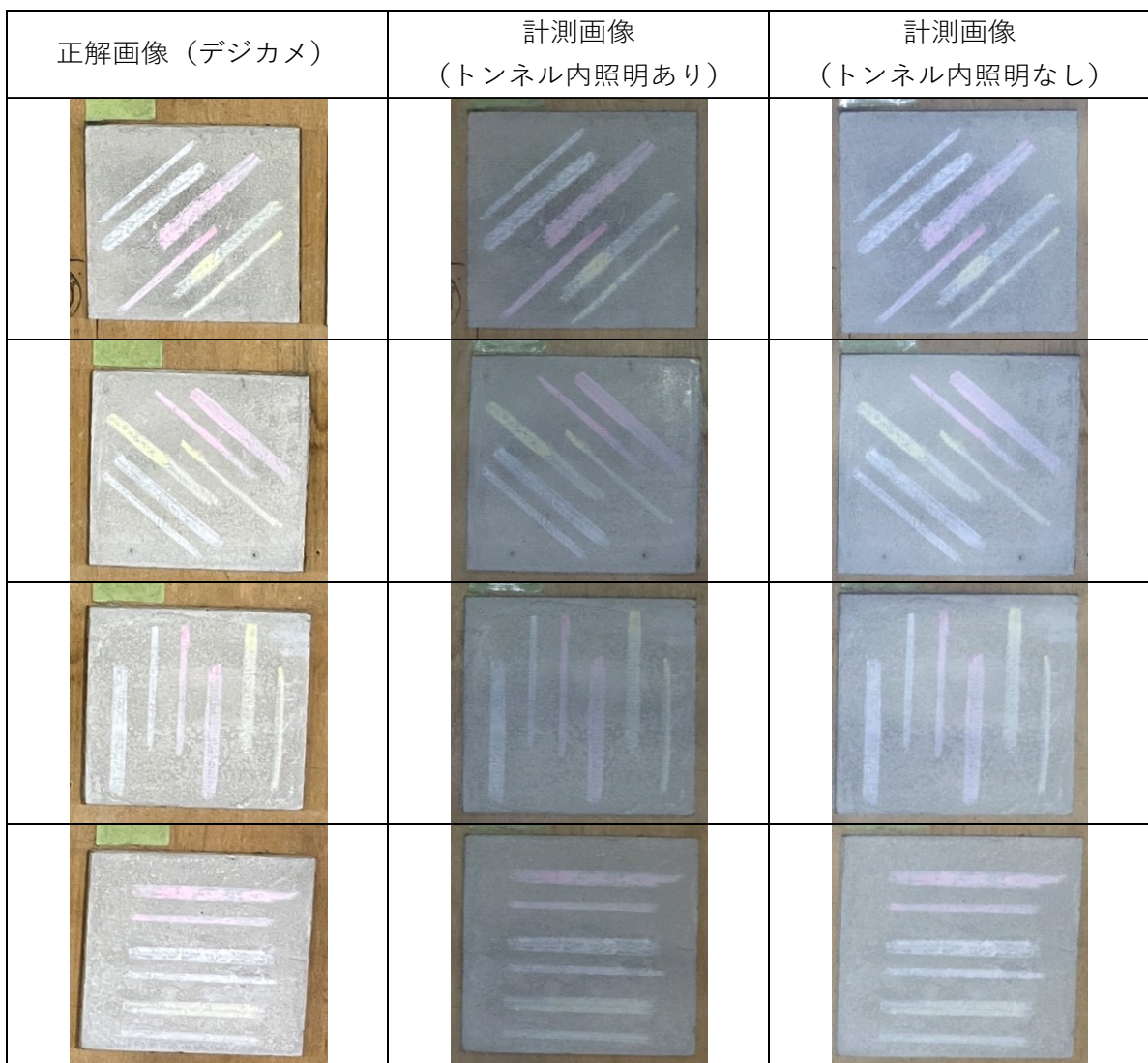
1. 1. コンクリート上のマーキングの仕様

各パネル共通で、白、ピンク、黄色の3色かつ約5mmと約10mmでマーキング



1. 2. 正解画像(デジカメ)と計測画像の比較

正解画像 (デジカメ)	計測画像 (トンネル内照明あり)	計測画像 (トンネル内照明なし)
		
		
		
		



1. 3. コンクリート上のマーキングの識別可否結果

色	幅[mm]	向き					
		水平		垂直		斜め	
		照明あり	照明なし	照明あり	照明なし	照明あり	照明なし
白	5	○	○	○	○	○	○
	10	○	○	○	○	○	○
黄色	5	○	○	○	○	○	○
	10	○	○	○	○	○	○
ピンク	5	○	○	○	○	○	○
	10	○	○	○	○	○	○

識別可:○

識別不可:×

2. グレースケールシート上のマーキングが識別可能な輝度の結果(試験方法④)

2. 1. マーキング有りグレースケールシートの仕様

グレースケールシートは、輝度50~250の間で10ずつ変化したグレースケールとなっており、

さらに、5mm,10mmの白、黄色、ピンクのマーキングが引かれている。



2. 2. 正解画像(デジカメ)と計測画像の比較

正解画像 (デジカメ)	計測画像 (トンネル内照明あり)	計測画像 (トンネル内照明なし)

2. 3. グレースケールシート上のマーキングが識別可能な輝度結果

色	幅[mm]	向き					
		水平		垂直		斜め	
		照明あり	照明なし	照明あり	照明なし	照明あり	照明なし
白	5	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	240以下	全輝度 (250以下)	230以下
	10	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	240以下	全輝度 (250以下)	230以下
黄色	5	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)
	10	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)
ピンク	5	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)
	10	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)	全輝度 (250以下)

■動作条件および環境条件

【飛行速度】撮影時は静止状態で対象物に対して撮影

【被写体との距離】1.0m

【照度】

トンネル照明あり:107.8Lux(試験時計測)

トンネル照明なし:0.0Lux(試験時計測)

技術番号 TN010042

技術名 自律飛行型ドローンを用いたトンネル構造物の点検技術 開発者名 KDDIスマートドローン株式会社

試験日 令和8年 1 月 16 日 天候 晴れ 気温 7 °C 風速 0 m/s

試験場所 国総研実大トンネル実験施設(茨城県つくば市)

カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ①計測精度
②長さ計測・位置精度
③色識別性能 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 長さ計測精度・位置精度

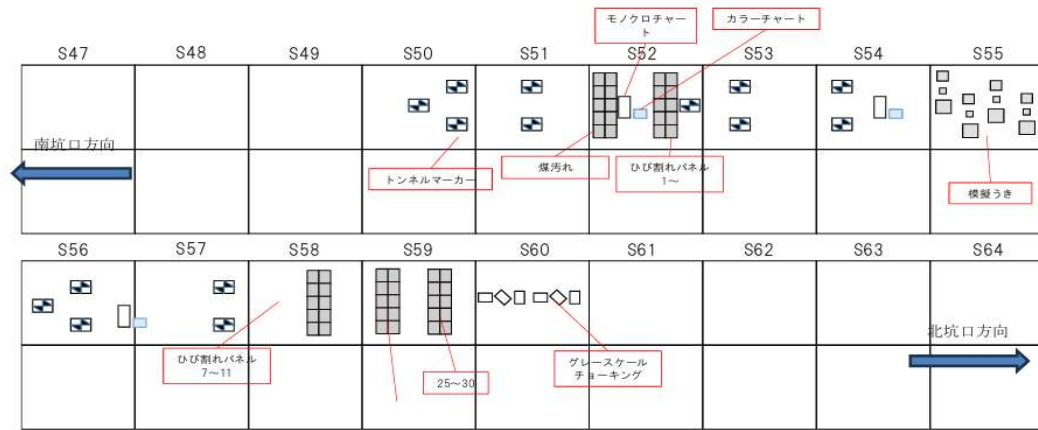
対象構造物の概要



実大トンネル実験施設(坑口)



実大トンネル実験施設(坑内)



試験体配置図



マーカー設置状況

- ① 機器の搬入(ドローン)
- ② ドローンを飛行させ、2m/sごとにシャッターを切り、連続写真を撮影する。
- ③ トンネル内の照明を落とした状態で、ドローンを飛行させ、2m/sごとにシャッターを切り、連続写真を撮影する。
- ④ 撮影した連続写真からオルソ画像を作成する
- ⑤ 作成したオルソ画像から、4か所のマーカー間の縦断・横断方向の距離を求める。

開発者による計測機器の設置状況

■ドローン飛行状況



■坑内照度計測状況

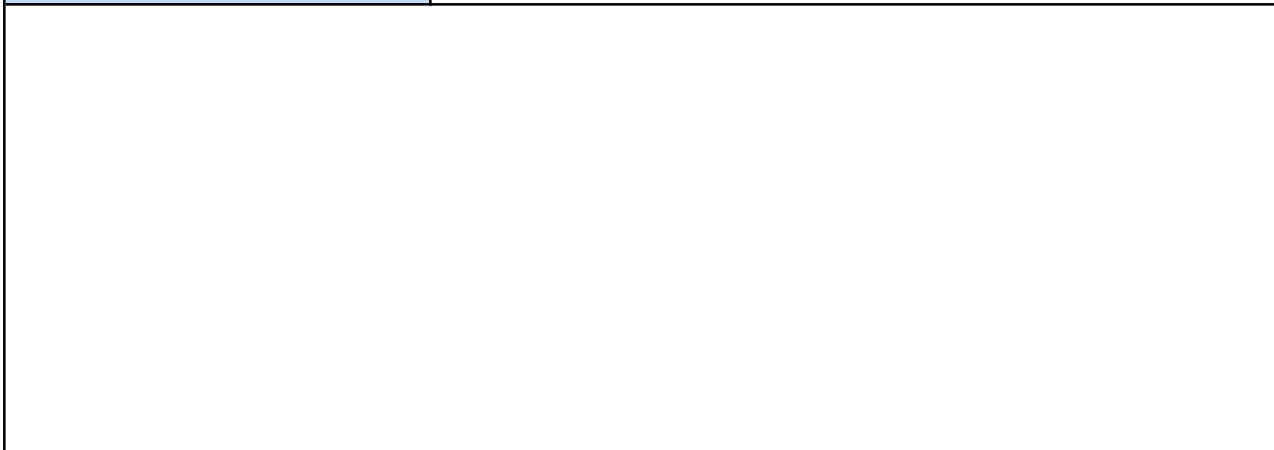


坑内照明あり
(108.7Lux)



坑内照明なし

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況



1. 長さ計測精度

No	測定箇所	実測値(A) [m]	トンネル照明あり			トンネル照明なし		
			計測値(B) [m]	差 (C) [(A)-(B)]	誤差 [(C)/(A)]	計測値 [m]	差	誤差
No.1 [S50-51]	L(A-B)	1.508	1.506	0.002	0.13%	1.506	0.002	0.13%
	L(C-D)	1.503	1.528	0.025	1.66%	1.509	0.006	0.40%
	L(A-C)	6.482	6.544	0.062	0.96%	6.519	0.037	0.57%
	L(B-D)	6.480	6.537	0.057	0.88%	6.507	0.027	0.42%
No.2 [S52-54]	L(A-B)	1.514	1.514	0.000	0.00%	1.516	0.002	0.13%
	L(C-D)	1.508	1.543	0.035	2.32%	1.518	0.010	0.66%
	L(A-C)	6.170	6.250	0.080	1.30%	6.196	0.026	0.42%
	L(B-D)	6.161	6.239	0.078	1.27%	6.183	0.022	0.36%
No.3 [S56-57]	L(A-B)	1.511	1.482	0.029	1.92%	1.502	0.009	0.60%
	L(C-D)	1.507	1.563	0.056	3.72%	1.513	0.006	0.40%
	L(A-C)	10.329	10.507	0.178	1.72%	10.350	0.021	0.20%
	L(B-D)	10.322	10.501	0.179	1.73%	10.367	0.045	0.44%

平均誤差率

トンネル照明あり	1.47%
トンネル照明なし	0.39%

2. 位置精度計測

No	測定箇所		実測値(A) [m]	トンネル照明あり		トンネル照明なし	
				計測値(B) [m]	誤差 (A) - (B)	計測値(B) [m]	誤差 (A) - (B)
No.1 [S50-51]	OA	距離	6.647	6.610	0.037	6.631	0.016
		水平距離 W(A)	6.631	6.593	0.038	6.615	0.016
		鉛直距離 H(A)	0.467	0.480	0.013	0.467	0.000
	OB	距離	6.718	6.678	0.040	6.705	0.013
		水平距離 W(B)	6.637	6.598	0.039	6.624	0.013
		鉛直距離 H(B)	1.037	1.027	0.010	1.039	0.002
	OC	距離	13.121	13.142	0.021	13.142	0.021
		水平距離 W(C)	13.113	13.133	0.020	13.133	0.020
		鉛直距離 H(C)	0.459	0.493	0.034	0.478	0.019
	OD	距離	13.159	13.175	0.016	13.172	0.013
		水平距離 W(D)	13.117	13.135	0.018	13.131	0.014
		鉛直距離 H(D)	1.040	1.036	0.004	1.031	0.009
No.2 [S52-54]	OA	距離	6.096	6.060	0.036	6.081	0.015
		水平距離 W(A)	6.079	6.042	0.037	6.066	0.013
		鉛直距離 H(A)	0.451	0.477	0.026	0.443	0.008
	OB	距離	6.181	6.139	0.042	6.172	0.009
		水平距離 W(B)	6.090	6.052	0.038	6.078	0.012
		鉛直距離 H(B)	1.059	1.037	0.022	1.072	0.013
	OC	距離	12.257	12.301	0.044	12.270	0.013
		水平距離 W(C)	12.249	12.291	0.042	12.261	0.012
		鉛直距離 H(C)	0.441	0.493	0.052	0.448	0.007
	OD	距離	12.297	12.336	0.039	12.308	0.011
		水平距離 W(D)	12.251	12.291	0.040	12.261	0.010
		鉛直距離 H(D)	1.063	1.051	0.012	1.069	0.006
No.3 [S56-57]	OA	距離	4.793	4.657	0.136	4.774	0.019
		水平距離 W(A)	4.772	4.633	0.139	4.754	0.018
		鉛直距離 H(A)	0.449	0.465	0.016	0.435	0.014
	OB	距離	4.891	4.745	0.146	4.869	0.022
		水平距離 W(B)	4.775	4.635	0.140	4.751	0.024
		鉛直距離 H(B)	1.058	1.016	0.042	1.066	0.008
	OC	距離	15.108	15.148	0.040	15.111	0.003
		水平距離 W(C)	15.101	15.140	0.039	15.105	0.004
		鉛直距離 H(C)	0.442	0.509	0.067	0.448	0.006
	OD	距離	15.134	15.174	0.040	15.155	0.021
		水平距離 W(D)	15.097	15.138	0.041	15.118	0.021
		鉛直距離 H(D)	1.061	1.055	0.006	1.064	0.003

	トンネル照明あり	トンネル照明なし
位置精度(mm) (進行方向:X)	52.6	14.7
位置精度(mm) (周方向:Y)	25.3	7.9

■動作条件および環境条件

【飛行速度】0.5m/s以下

【被写体との距離】2.0m

【照度】

トンネル照明あり:107.8Lux(試験時計測)

トンネル照明なし:0.0Lux(試験時計測)

技術番号 TN010042

技術名 自律飛行型ドローンを用いたトンネル構造物の点検技術 開発者名 KDDIスマートドローン株式会社

試験日 令和8年 1 月 16 日 天候 晴れ 気温 7 °C 風速 0 m/s

試験場所 国総研実大トンネル実験施設(茨城県つくば市)

カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ①計測精度
②長さ計測・位置精度
③色識別性能 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 色識別性能

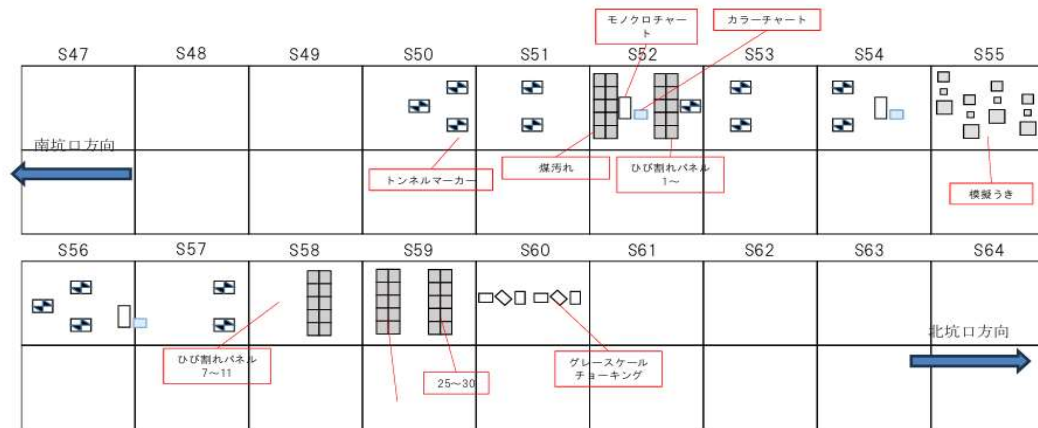
対象構造物の概要



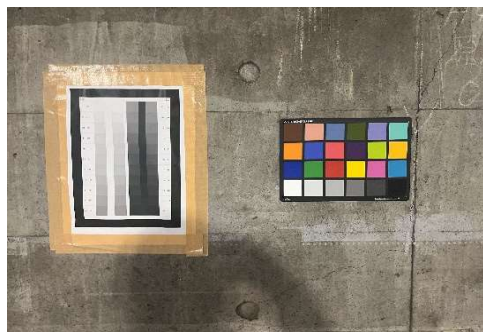
実大トンネル実験施設(坑口)



実大トンネル実験施設(坑内)



試験体配置図

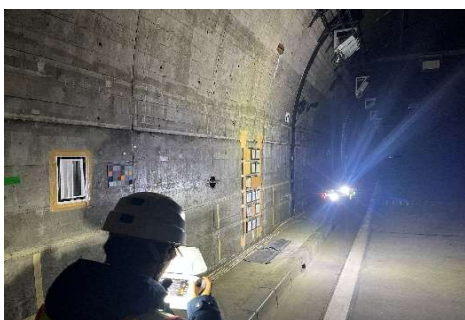


カラーチャート

- ① 機器の搬入(ドローン)
- ② ドローンを飛行させ、カラーチャートの撮影(照度:108.7Lux)
- ③ トンネル内の照明を落とした状態で、ドローンを飛行させ、カラーチャートの撮影(照度:0.0Lux)
- ④ 画像対比により、色の識別可否を確認。

開発者による計測機器の設置状況

■ドローン飛行状況



■坑内照度計測状況

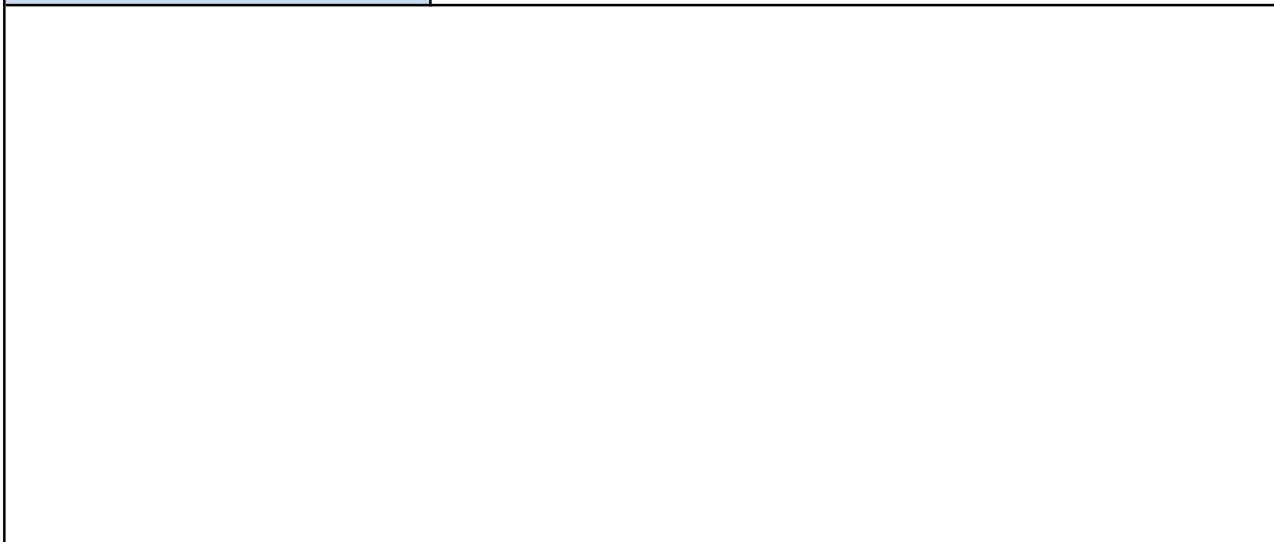


坑内照明あり
(108.7Lux)









坑内照明なし

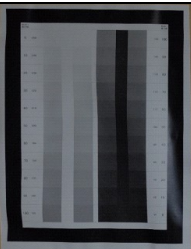
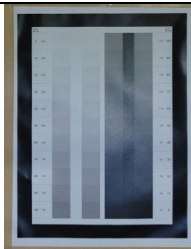

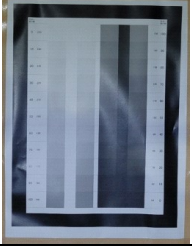
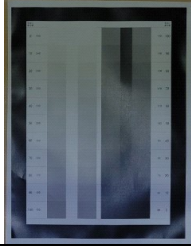
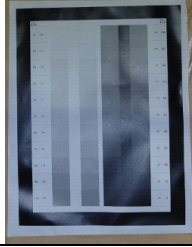
比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況



1. カラー画像

	No.1(S52)	No.2(S54)	No.3(S57)
トンネル照明あり			
トンネル照明なし			

2. モノクロ画像

	No.1(S52)	No.2(S54)	No.3(S57)
トンネル照明あり			
トンネル照明なし			

3. 識別結果

フルカラー: 1. よりトンネル内照明の有無によらず、識別可能

モノクロ : 2. よりトンネル内照明の有無によらず、すべての明るさで識別可能であり、
輝度差ごとでの区別可能

■動作条件および環境条件

【飛行速度】撮影時は静止状態で対象物に対して撮影

【被写体との距離】1.0m

【照度】

トンネル照明あり: 107.8Lux(試験時計測)

トンネル照明なし: 0.0Lux(試験時計測)