技術番号	TN010003 - V0423								
技術名	走行型高精細画像計測	システム(トンネルトレーサー	-)	開発者名	る 中ダ	トテクノス	株式会	生
試験日	令和3年 3 月 8 日	天候	雨	気温	7	°C	風速	_	m/s
試験場所神奈川県相模原市									
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目の	び割れ		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(最小ひび割れ幅) (ラインセンサカメラ 40km/h)

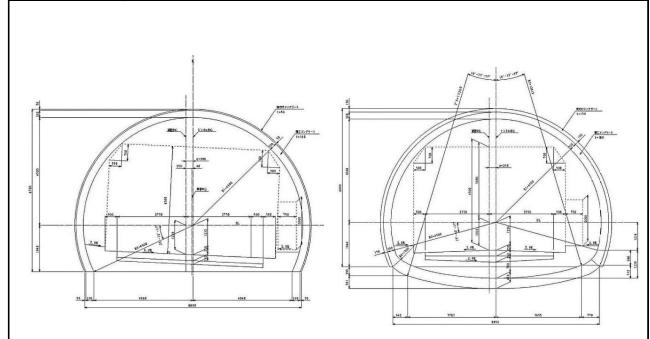


図1. トンネル断面図

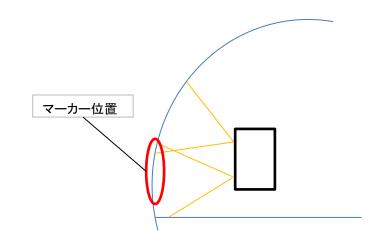


図2. トンネル全体写真

- ① トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は40km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ 模擬ひび割れ供試体を設置時に計測しておいたひび割れ幅を、取得画像からの検出結果と比較し、最小ひび割れ幅及び計測精度を求める。

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





S19

計測結果の比較

実	測值	計測值	誤差
0.1	8-2-2	0.1	0.0
0.1	12-1-2	0.1	0.0
	1-1	0.2	0.0
	3-2-2	0.3	0.1
	8-1-4	0.2	0.0
0.2	11-2-2	0.3	0.1
	13-2	0.2	0.0
	23-3-3	0.2	0.0
	24-3-3	0.1	-0.1
	2-1	0.4	0.1
	4-3-2	0.3	0.0
	9-3	0.2	-0.3
	12-1-1	0.3	0.0
0.3	14-1	0.4	0.1
	14-2-2	0.3	0.0
	20-3	0.2	-0.3
	23-1-2	0.4	0.1
	30-1	0.3	0.0
	4-2	0.3	-0.1
	6-2-2	0.3	-0.
	7-2-3	0.2	-0.1
	8-1-3	0.5	0.1
	The state of the s	1000000	
	10-1	0.3	-0.1
0.4	13-3-2	0,4	0.0
	15-1	0.3	-0.1
	19-3	0.2	-0.2
	21-1	0.6	0.2
	22-3	0.2	-0.2
	24-1	0,3	-0.1
	24-3-2	0.4	0.0
0.5	5-3	0.5	0.0
OREST.	11-3	0.5	0.0
	3-2-1	0.7	0.1
	6-2-1	0.7	0.1
0.6	7-3-3	0.5	-0.
	17-1	0.7	0.1
	26-2	0.5	-0.
	7-2-2	0.6	-0.3
	8-1-1	0,7	0.0
0.7	8-1-2	0,7	0.0
	16-1	0.7	0.0
	28-2	0.6	-0.2
	17-3	8.0	0.0
0.8	18-3	0.6	-0.2
0.0	21-2	8.0	0.0
	23-1-1	0.9	0.1
	1-2-2	0.9	0.0
	4-1	0.7	-0.2
0.9	8-2-1	0.9	0.0
	11-2-1	1.0	0.1
	15-3	0,7	-0.2
1.0	6-1	1.0	0.0

	1-2-1	1.1	0.0
1.1	22-2	0.9	-0.
1.2	13-3-1	0.9	-0.
1.3	7-1	1.2	-0.
1.4	7-2-1	1.1	-0.
	19-1	1.4	-0.
1.5	20-1	2.0	0.5
1.7	24-3-1	2.0	0.3
200 M	2-3	1.5	-0.
	5-2	2.0	0.0
	9-1	2.0	0.0
2.0	12-3	2.0	0.0
	14-3	2.0	0.0
	29-2	2.5	0.5
	3-1	2.5	0.0
	11-1	2.0	-0.
2.5	26-1	2.0	-0.
	30-3	3.0	0.5
	1-3	3.0	0.0
	5-1	3.0	0.0
	6-3	3.0	0.0
	7-3-2	3.0	0.0
3.0	8-3	3.0	0.0
0.0	13-1	3.0	0.0
	15-2	3.0	0.0
	27-3	2.5	-0.
	29-1	3.0	0.0
	7-3-1	3.5	0.0
	20-2	3.0	-0.
3.5	23-3-1	3.5	0.0
0.0	23-3-1	3.0	-0.
	30-2	3.0	-0.
	2-2	4.0	0.0
	10-2	4.0	0.0
	16-2	4.0	0.0
4.0	18-2	3.5	-
			-0.
	21-3	4.0	0.0
	24-2	4.0	0.0
	3-3	5.0	0.0
	4-3-1	5.0	0.0
E 0	9-2	5.0	0.0
5.0	14-2-1	5.0	0.0
	19-2	5.0	0.0
	22-1 28-1	5.0	0.0

ひび割れ福計測精度E	0.192
1.0mm未満	0.115
1.0mm以上	0.346

計測精度(最小ひび割れ幅)

(ラインセンサカメラ 40km/h)

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件 道路に渋滞が無いこと。

壁面との離隔が一定であること。

②本試験時の条件

撮影速度約40km/h(定速)

壁面との離隔に変化なし。

ひび割れ幅計測精度
$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a_1)^2 + \dots + (x_n - a_n)^2}{n}}$$

技術番号	TN010003-V0423							
技術名	走行型高精細画像計測	システム()	トンネルトレーサー	-)	開発者名	3 中夕	トテクノス	株式会社
試験日	令和4年 2 月 25 日	天候	晴	気温		°C	風速	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 ひで	び割れ		試験	区分標	準試験

試験で確認する 計測精度(最小ひび割れ幅) カタログ項目 (ラインセンサカメラ 80km/h)

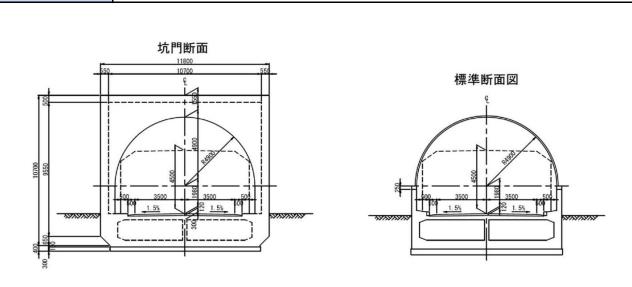


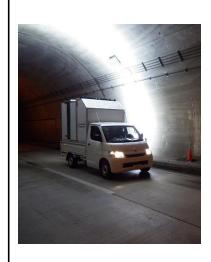
図1. トンネル断面図

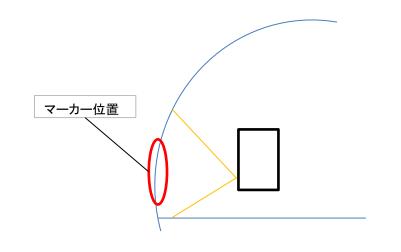


図2. トンネル全体写真

- ① トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は80km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ 模擬ひび割れ供試体を設置時に計測しておいたひび割れ幅を、取得画像からの検出結果と比較し、最小ひび割れ幅及び計測精度を求める。

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



計測結果の比較

実測値	計測値	誤差
0.2	0.3	0.1
0.2	0.2	0
0.3	0.4	0.1
	0.7	0.3
0.4	0.5	0.1
	0.8	0.4
0.5	0.5	0
0.7	0.6	-0.1
0.7	1	0.3
0.9	0.9	0
1	1	0
1.5	2	0.5
2	1.5	-0.5
2.5	2.5	0
2.5	3	0.5
3	2.5	-0.5
3	4	1
3.5	3	-0.5
4	4	0
4	3	-1

ひび割れ幅計測精度	0.426
1.0mm未満	0.186
1.0mm以上	0.601

計測精度(最小ひび割れ幅)

(ラインセンサカメラ 80km/h)

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件 道路に渋滞が無いこと。

壁面との離隔が一定であること。

②本試験時の条件

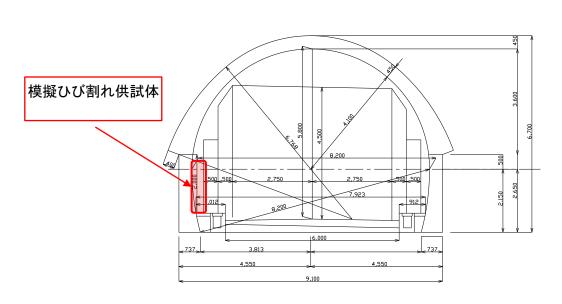
撮影速度約80km/h(定速)

壁面との離隔に変化なし。

ひび割れ幅計測精度
$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a_1)^2 + \dots + (x_n - a_n)^2}{n}}$$

技術番号	TN010003 - V0423								
技術名	技術名 走行型高精細画像計測システム(トンネルトレーサー) 開発者名 中外テクノス株式会社								
試験日	平成27年 10 月 27 日	天候	雨	気温	7	°C	風速	-	m/s
試験場所 神奈川県相模原市									
カタログ分類	直 画像計測技術	カタログ	検出項目 ひで	び割れ		試験[区分 梅	票準試験	

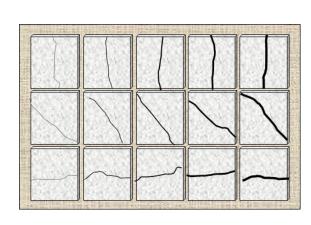
試験で確認する カタログ項目 計測精度(最小ひび割れ幅) (4Kビデオカメラ)



対象トンネル標準断面図



模擬ひび割れ供試体 設置状況



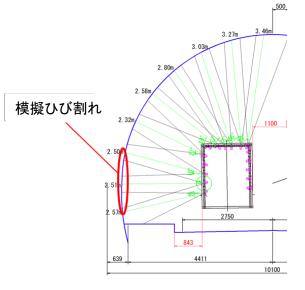
模擬ひび割れ供試体のイメージ

- 1 トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。一般道のトンネルを利用しての試験であったため、走行速度は40km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ 模擬ひび割れ供試体を設置時に計測しておいたひび割れ幅を、取得画像からの検出結果と比較し、最小ひび割れ幅及び計測精度を求める。

開発者による計測機器の設置状況

■ 韮尾根トンネルでの実証検証の状況





比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

■ 芭蕉が丘トンネルにひび割れ幅を模した供試体を現地に設置した状況



計測結果の比較

■ 計測データと立会者による計測データの比較表

ひび割れ幅		トレー	
①		計測結果	誤差
		0.2	0.1
	2	未検出	
	3	0.3	0.2
	4	0.3	0.2
	(5)	0.3	0.2
	6-1	0.8	0.7
0.1	6-2	0.2	0.1
0.1	7-1	0.3	0.2
	⑦-2	0.3	0.2
	8	0.2	0.1
	9-1	0.3	0.2
	9-2	0.3	0.2
	9-3	0.3	0.2
	9-4	0.3	0.2
	1-1	0.8	0.6
	1)-2	0.8	0.6
	2	0.5	0.3
	③-1	0.4	0.2
	3-2	0.4	0.6
	3-3	0.5	0.8
0.2	(4)	0.5	0.3
0.2	5	0.2	0.0
	6-1		
	6-1 6-2	0.8	0.6
		0.8	
	6 -3	0.3	0.1
	7	0.8	0.6
	8	0.8	0.6
	1)	0.8	0.5
	2	0.3	0.0
	3	0.5	0.2
	4	0.8	0.5
	5-1	0.5	0.2
	⑤-2	1	0.7
0.3	6-1	0.5	0.2
	6-2	0.5	0.2
	7-1	0.5	0.2
	7-2	1	0.7
	7-3	0.5	0.2
	7-4	1	0.7
	8	0.5	0.2
	1	0.8	0.5
0.2	2	1.2	0.9
0.3	3	0.5	0.2
(段差あ	4)	0.8	0.5
9)	(5)	1	0.7
	6	0.5	0.2
0.5	1	1.5	1.0
0.5	2	1	0.5
	1	1.5	0.5
	2	1.5	0.5
	3	1.5	0.5
	4	1.5	0.5
1.0	⑤-1	0.5	-0.5
	⑤-2	0.7	-0.3
	⑤-3	0.7	-0.3
	6	1.5	0.5
	7	0.3	-0.7
	1	0.8	-1.2
	2	0.8	-1.2
	3	0.8	-1.2
			-1.2
2.0	4 -1 4 -2	2	
		2	C
	4 -3	2	0.5
	(5)	1.5	-0.5
	6	0.8	-1.2
3.0	1-1	2.5	-0.5
	1-2	2.5	-0.5

0.36 0.36 0.09 0.04 0.36 0.01 0.36 0.01 0.36 0.36

誤差2乗

計測精度(最小ひび割れ幅)

(4Kビデオカメラ)

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

道路に渋滞が無いこと。

壁面との離隔が一定であること。

②本試験時の条件

撮影速度約40km/h(定速)

壁面との離隔に変化なし。

ひび割れ幅計測精度
$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a_1)^2 + \dots + (x_n - a_n)^2}{n}}$$

0.2

最小幅 E

技術番号	TN010003-V0423								
技術名	走行型高精細画像計測	システム(ト	-ンネルトレーサー	-)	開発者名	ム 中ケ	トテクノス	株式会	社
試験日	令和3年 3 月 8 日	天候	雨	気温	7	°C	風速	_	m/s
試験場所 神奈川県相模原市									
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひで	び割れ		試験	区分 標	準試験	

試験で確認する 長さ計測精度、位置精度 カタログ項目 (ラインセンサカメラ)

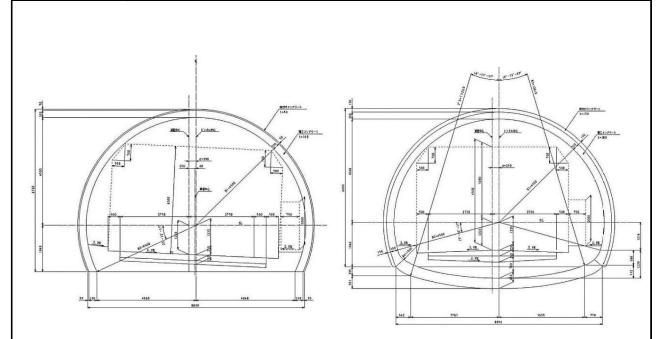


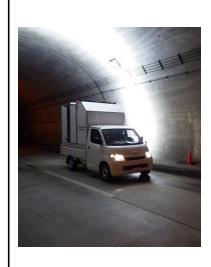
図1. トンネル断面図

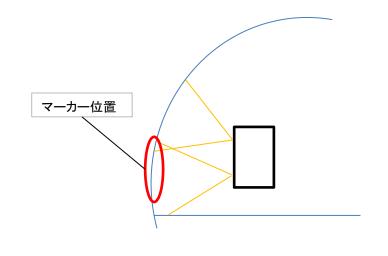


図2. トンネル全体写真

- 1 トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は40km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ マーカーを設置時に計測しておいた長さ・位置等の値を、取得画像からの検出結果と比較し、長さ計測精度 及び位置精度を求める。

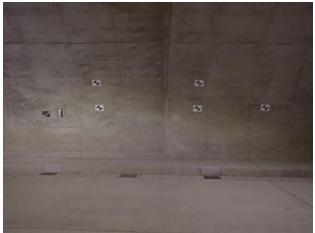
開発者による計測機器の設置状況





比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況





S5-S6 S12-S13





S21-S22

計測結果の比較

3	NO.	測定部位	実測値	計測値	誤差	誤差率
	1	L(A-B)	0.829	0.834	0.005	0.60%
S5-S6	2	L(C-D)	0.837	0.842	0.005	0.60%
33-30	3	L(A-C)	6.078	6.070	0.008	0.13%
30	4	L(B-D)	6.049	6.047	0.002	0.03%
	1	L(A-B)	0.906	0.915	0.009	0.99%
S12-S13	2	L(C-D)	0.905	0.913	0.008	0.88%
312-313	3	L(A-C)	3.586	3.584	0.002	0.06%
	4	L(B-D)	3.540	3.527	0.013	0.37%
	1	L(A-B)	0.920	0.943	0.023	2.50%
S21-S22	2	L(C-D)	1.079	1.080	0.001	0.09%
321-322	3	L(A-C)	4.656	4.655	0.001	0.02%
	4	L(B-D)	4.713	4.723	0.010	0.21%

平均誤差率	0.57%
位置精度(縦:Y)	8.5
位置精度(横:X)	6.0

長さ計測精度、位置精度

(ラインセンサカメラ)

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

道路に渋滞が無いこと。

壁面との離隔が一定であること。

②本試験時の条件

撮影速度約40km/h(定速)

壁面との離隔に変化なし。

技術番号	TN010003-V0423								
技術名	走行型高精細画像計測	システム(トンネルトレーサー	-)	開発者名	3 中	外テクノス	株式会	社
試験日	平成31年 1 月 28 日	天候	晴	気温	13	°C	風速	5	m/s
試験場所	試験場所神奈川県相模原市								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひで	び割れ		試験	区分標	準試験	

試験で確認する 長さ計測精度、位置精度 カタログ項目 (4Kビデオカメラ)

対象構造物の概要

※対象構造物の一般図、全体写真、計測対象となる部位・部材の写真を記載すること

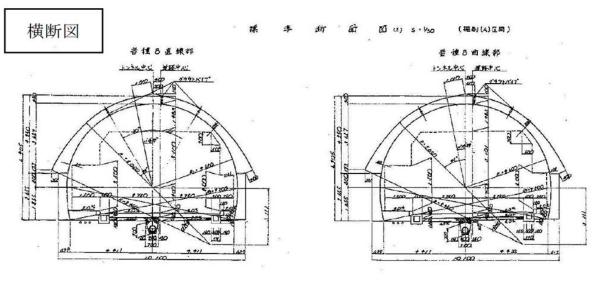


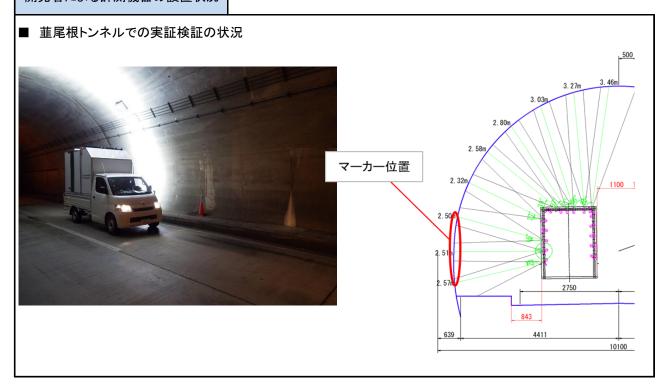
図1. 標準断面図(区間の一部)



図2. 全体写真

- ① トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。一般道のトンネルを利用しての試験であったため、走行速度は40km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ マーカーを設置時に計測しておいた長さ・位置等の値を、取得画像からの検出結果と比較し、長さ計測精度及び位置精度を求める。

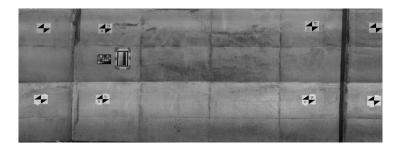
開発者による計測機器の設置状況



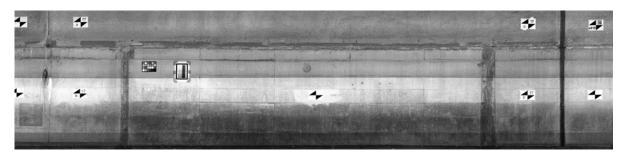
比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと

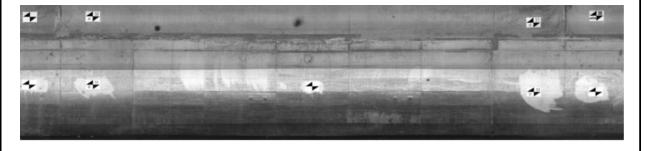
スパン7



スパン17



スパン33



計測結果の比較

S007

測定部位	実測値 (A)	画像による 計測値 (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)
L A-B	1.547	1.591	-0.044	2.84%
L C-D	1.557	1.629	-0.072	4.62%
L A-C	4.430	4.443	-0.013	0.29%
L B-D	4.442	4.440	0.002	0.05%

S017

測定部位	実測値 (A)	画像による 計測値 (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	
L A-B	1.473	1.467	0.006	0.41%	
L C-D	1.469	1.465	0.004	0.27%	
L A-C	8.987	8.985	0.002	0.02%	
L B-D	8.987	9.002	-0.015	0.17%	

S033

測定部位	実測値 (A)	計測値		誤差率 (D)=(C)/(A)	
L A-B	1.459	1.422	0.037	2.54%	
L C-D	1.500	1.448	0.052	3.47%	
L A-C	9.150	9.171	-0.021	0.23%	
L B-D	9.158	9.174	-0.016	0.17%	

長さ計測精度、位置精度

(4Kビデオカメラ)

平均誤差率	位置精度	位置精度
(全体)	(横:X)	(縦:Y)
1.26%	11.5	35.8

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

道路に渋滞が無いこと。

壁面との離隔が一定であること。

②本試験時の条件

撮影速度約40km/h(定速)

壁面との離隔に変化なし。

技術番号	TN010003-V0423								
技術名	走行型高精細画像計測	システム(ト	〜 ンネルトレーサー	-)	開発者名	中ダ	トテクノス	株式会	社
試験日	令和3年 3 月 8 日	天候	雨	気温	7	°C	風速	_	m/s
試験場所	試験場所神奈川県相模原市								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目ので	び割れ		試験	区分 標	準試験	

試験で確認する 色識別性能 カタログ項目 (ラインセンサカメラ)

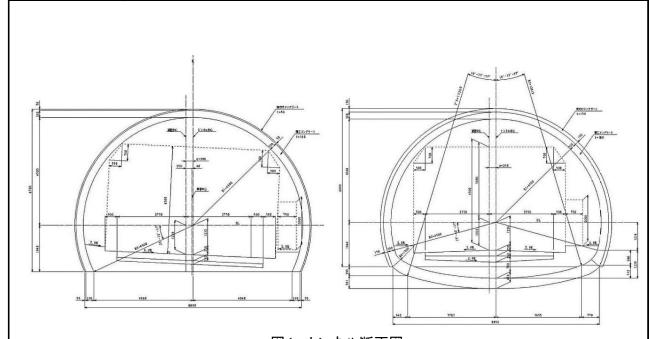


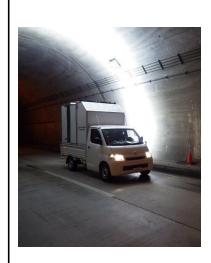
図1. トンネル断面図

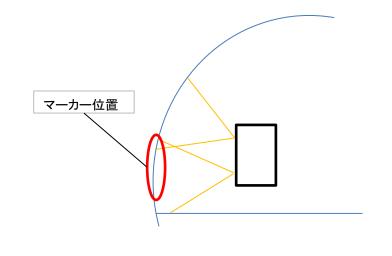


図2. トンネル全体写真

- ① トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は40km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ 取得画像からの色識別結果と比較し、色識別性能を確認する。

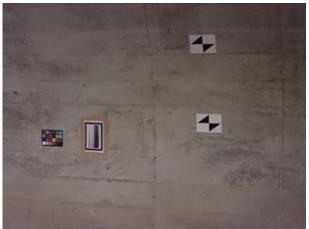
開発者による計測機器の設置状況



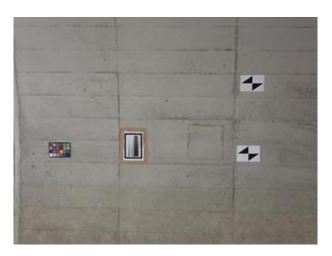


比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況





S2 S13



S22



技術番号	TN010003-V0423								
技術名	走行型高精細画像計測	システム(トンネルトレーサー	-)	開発者名	名 中级	外テクノス	株式会	社
試験日	平成31年 1 月 28 日	天候	晴れ	気温	13	°C	風速	5	m/s
試験場所	試験場所神奈川県相模原市								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひで	び割れ		試験	区分標	準試験	

試験で確認する 色識別性能 カタログ項目 (4Kビデオカメラ)

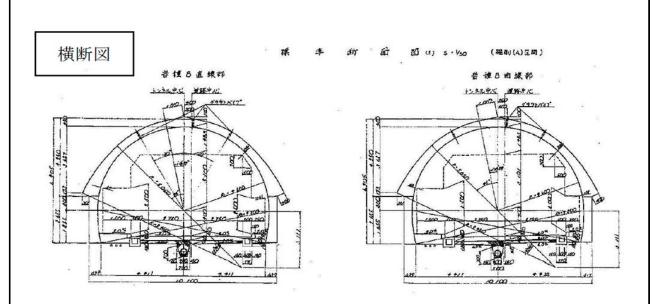


図1. 標準断面図(区間の一部)



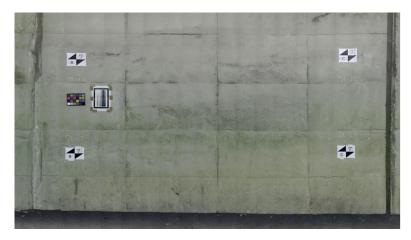
図2. 全体写真

- ① トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。一般道のトンネルを利用しての試験であったため、走行速度は 40km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ 取得画像からの色識別結果と比較し、色識別性能を確認する。

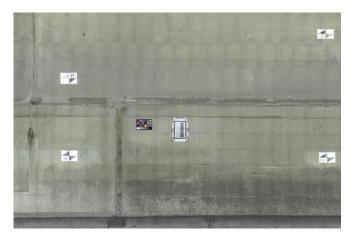
開発者による計測機器の設置状況

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

スパン7



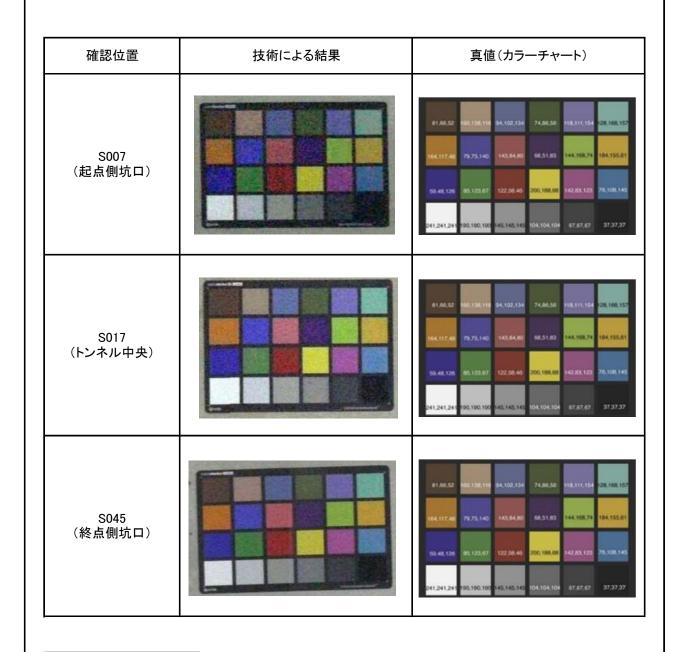
スパン17



スパン45



計測結果の比較



色識別性能

フルカラー識別可能

色識別性能(4Kビデオカメラ)

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

直射日光が当たらないこと

②本試験時の条件

撮影速度約40km/h(定速)

トンネル内で直射日光なし

技術番号	TN010003-V0423							
技術名	走行型高精細画像計測	システム(トンネルトレーサー	-)	開発者名	3 中ダ	トテクノス	株式会社
試験日	令和4年 2 月 25 日	天候	晴	気温		°C	風速	m/s
試験場所	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 ひで	び割れ		試験	区分標	準試験

試験で確認する 煤で汚れたひび割れの検出精度 カタログ項目 (ラインセンサカメラ)

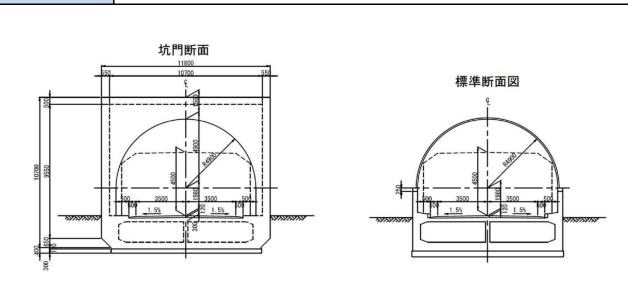


図1. トンネル断面図

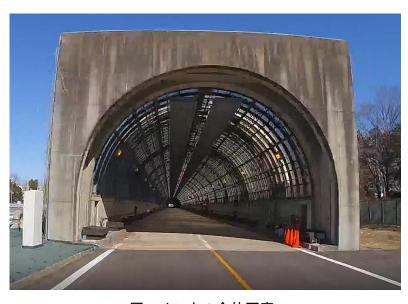
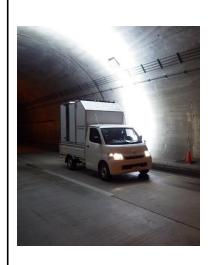
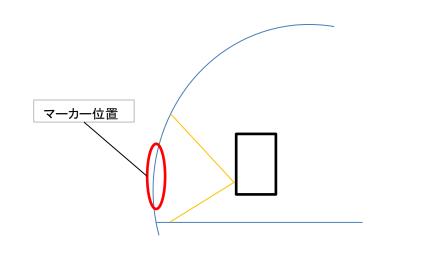


図2. トンネル全体写真

- ① トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は40km/hと80km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ 取得画像から、煤で汚れたひび割れの検出精度を確認する。

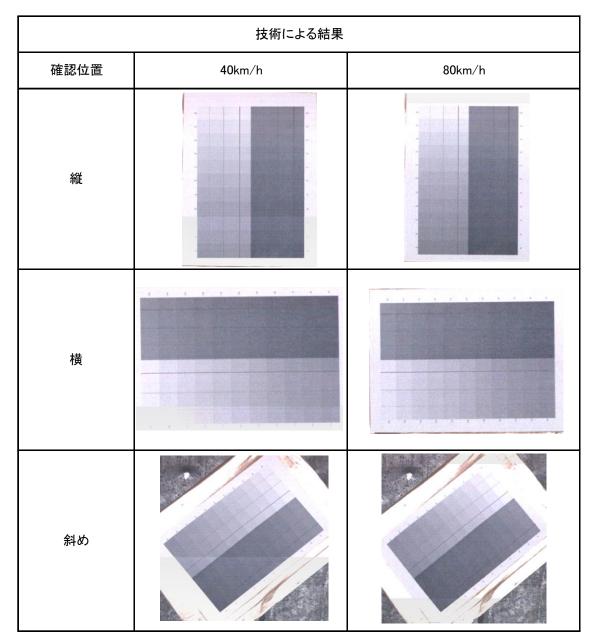
開発者による計測機器の設置状況





比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況





煤で汚れたひび割れの検出精度

(ラインセンサカメラ)

煤で汚れたひび割れの検出精度								
走行速度	40km/h	80km/h						
0.3mm	110以上	120以上						
0.5mm	70以上	100以上						
1.0mm	70以上	80以上						

- ①性能(精度・信頼性)を確保するための条件 直射日光が当たらないこと
- ②本試験時の条件 撮影速度約40km/h・80km/h(定速) 壁面との離隔に変化なし。

技術番号	TN010003-V0423							
技術名	走行型高精細画像計測	システム()	トンネルトレーサー	-)	開発者名	3 中夕	トテクノス	株式会社
試験日	令和4年 2 月 25 日	天候	晴	気温		°C	風速	m/s
試験場所	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 ひで	び割れ		試験	区分標	準試験

試験で確認する 煤で汚れたひび割れの検出精度 カタログ項目 (4Kビデオカメラ)

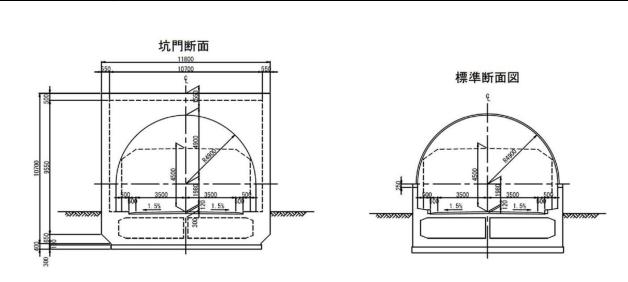


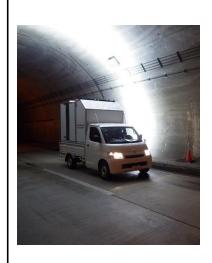
図1. トンネル断面図

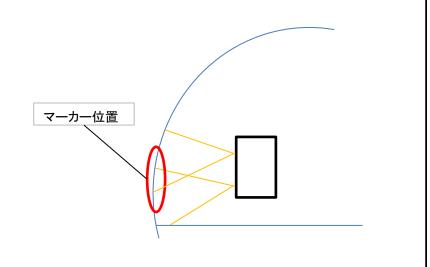


図2. トンネル全体写真

- ① トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は40km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ 取得画像から、煤で汚れたひび割れの検出精度を確認する。

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



確認位置	技術による結果
縦	
横	
斜め	

煤で汚れたひび割れの検出精度

(4Kビデオカメラ)

煤で汚れたひび割れの検出精度						
0.3mm	180以上					
0.5mm	150以上					
1.0mm	100以上					

- ①性能(精度・信頼性)を確保するための条件 直射日光が当たらないこと
- ②本試験時の条件 撮影速度約40km/h(定速)

壁面との離隔に変化なし。

技術番号 TN010003-V0423 技術名 走行型高精細画像計測システム(トンネルトレーサー) 開発者名 中外テクノス株式会社 試験日 気温 °C 風速 $\, m/s \,$ 令和4年 2 月 25 日 天候 試験場所 国総研実大トンネル実験施設 茨城県つくば市 試験区分 標準試験 カタログ分類画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ

試験で確認する 煤で埋まったひび割れの検出性能 カタログ項目 (ラインセンサカメラ)

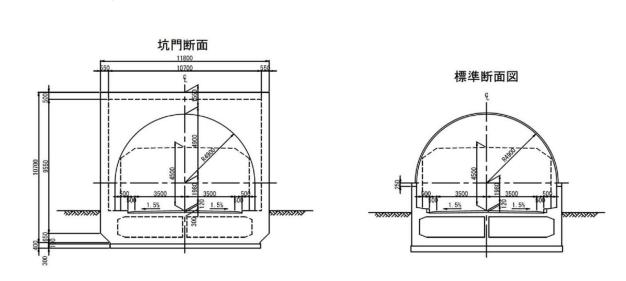


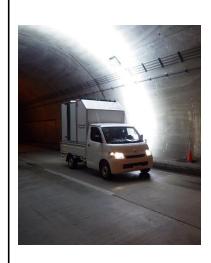
図1. トンネル断面図

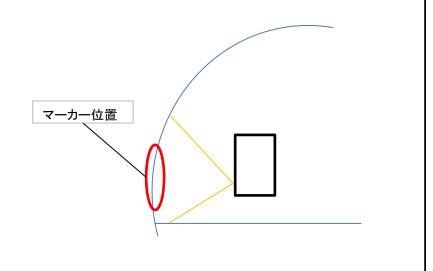


図2. トンネル全体写真

- ① トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は40km/hと80km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ 取得画像から、煤で埋まったひび割れの検出精度を確認する。

開発者による計測機器の設置状況





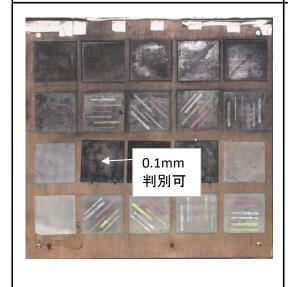
比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況



技術による結果

40 km/h

80 km/h





煤で埋まったひび割れの検出性能

(ラインセンサカメラ)

走行速度	煤で埋まったひび割れの 最小検出幅				
40km/h	0.1mm				
80km/h	0.1mm				

- ①性能(精度・信頼性)を確保するための条件 直射日光が当たらないこと
- ②本試験時の条件

撮影速度約40km/h•80km/h(定速)

壁面との離隔に変化なし。

技術番号	TN010003-V0423								
技術名 走行型高精細画像計測システム(トンネルトレーサー)					開発者名中外テクノス株式会社				
試験日	令和4年 2 月 25 日	天候	晴	気温		°C	風速	m/s	
試験場所 国総研実大トンネル実験施設 茨城県つくば市旭 1番地									
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひる	び割れ		試験	区分標	準試験	

試験で確認する 煤で埋まったひび割れの検出性能 カタログ項目 (4Kビデオカメラ)

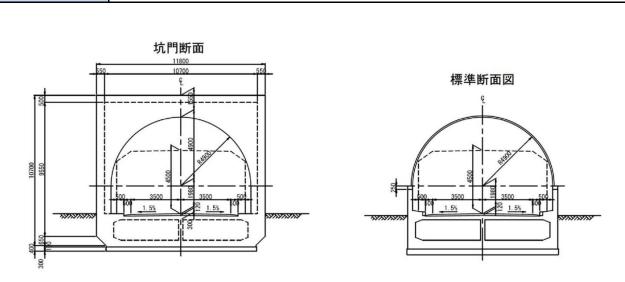


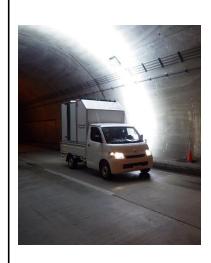
図1. 国総研実大トンネル断面図

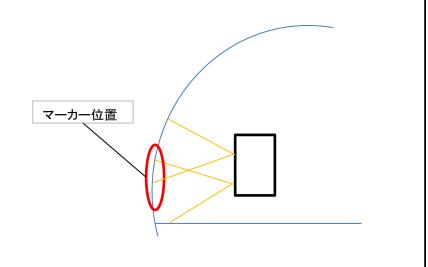


図2. 国総研実大トンネル全体写真

- ① トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は40km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ 取得画像から、煤で埋まったひび割れの検出精度を確認する。

開発者による計測機器の設置状況

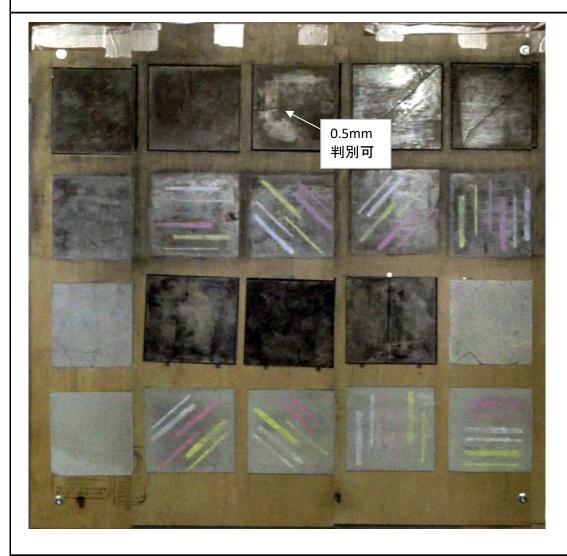




比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況



技術による結果



煤で埋まったひび割れの検出性能

(4Kビデオカメラ)

煤で埋まったひび割れの最小検出幅

0.5mm

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件 直射日光が当たらないこと

②本試験時の条件

撮影速度約40km/h(定速)

壁面との離隔に変化なし。

技術番号 TN010003-V0423 技術名 走行型高精細画像計測システム(トンネルトレーサー) 開発者名 中外テクノス株式会社 試験日 令和4年 2 月 25 日 天候 気温 °C 風速 $\,\mathrm{m/s}$ 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 ひび割れ 試験区分 標準試験

試験で確認する マーキング識別性能 カタログ項目 (ラインセンサカメラ)

対象構造物の概要

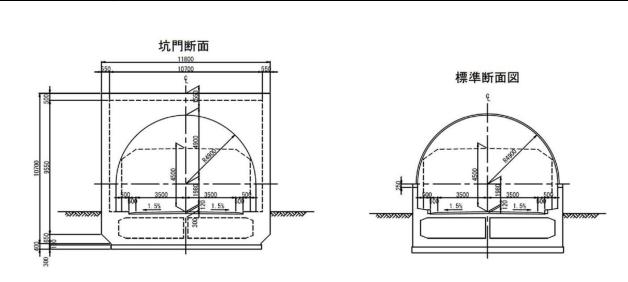


図1. トンネル断面図

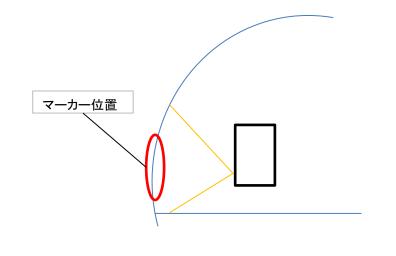


図2. トンネル全体写真

- ① トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は40km/hと80km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ 取得画像から、マーキング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

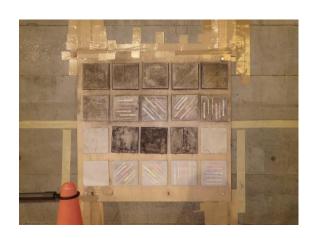




比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況







	技術による結果	
確認位置	40km/h	80km/h
統		
横		
斜め		

マ-	ーキング色・幅	マー=	キングの	り向き
色	幅(mm)	水平	垂直	45°
白	5	可	可	可
П	10	可	可	可
黄	5	帀	可	可
夬	10	可	可	可
ピンク	5	帀	可	可
ク	10	可	可	可

マ-	-キング色・幅	検出可能な輝度
色	幅(mm)	投口 円 配分 年 支
白	5	50以上
	10	50以上
黄	5	50以上
共	10	50以上
ピンク	5	50以上
ク	10	50以上

走行速度:40km/h

マ-	ーキング色・幅	マー	キングの	り向き
色	幅(mm)	水平	垂直	45°
白	5	帀	可	可
	10	帀	帀	帀
黄	5	帀	帀	帀
央	10	口	口	帀
ピンク	5	帀	可	可
ク	10	百	可	可

マ-	-キング色・幅	検出可能な輝度
色	幅(mm)	1次山 刊 配 分 洋 反
白	5	50以上
П	10	50以上
黄	5	50以上
央	10	50以上
ピンク	5	50以上
ク	10	50以上

走行速度:80km/h

マーキング識別性能

(ラインセンサカメラ)

- ①性能(精度・信頼性)を確保するための条件 直射日光が当たらないこと
- ②本試験時の条件

撮影速度約40km/h·80km/h(定速)

壁面との離隔に変化なし。

技術番号	TN010003 - V0423									
技術名	技術名 走行型高精細画像計測システム(トンネルトレーサー) 開発者名 中外テクノス株式会社									
試験日	令和4年 2 月 25 日	天候	晴	気温		°C	風速	m/s		
試験場所	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 ひで	び割れ		試験	区分 標準	試験		

試験で確認する マーキング識別性能 カタログ項目 (4Kビデオカメラ)

対象構造物の概要

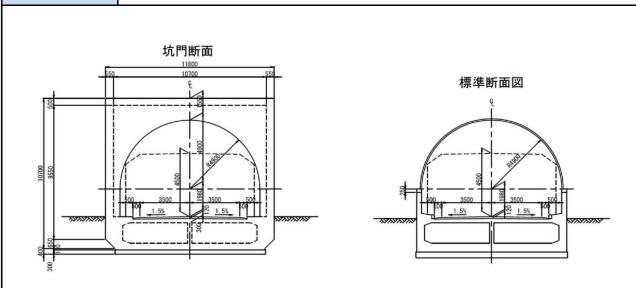


図1. トンネル断面図

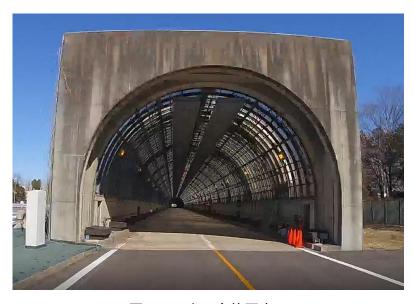
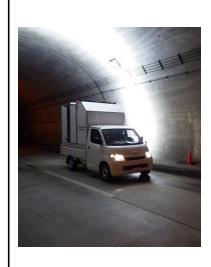
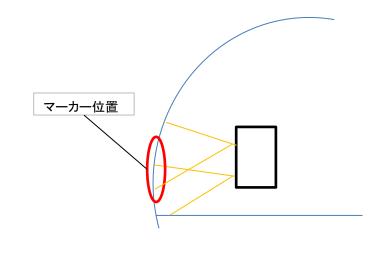


図2. トンネル全体写真

- ① トンネル外にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行う。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は40km/hで実施した。
- ③ 計測ごとに、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認する。
- ④ 取得画像から、マーキング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

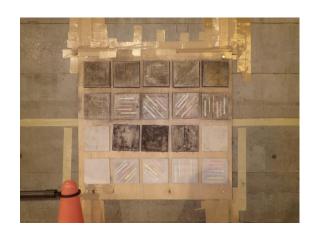




比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況







※走行速度: 40km/hで計測

確認位置	技術による結果
縦	
横	
斜め	

マ-	ーキング色・幅	マー=	キングの	り向き
色	幅(mm)	水平	垂直	45°
白	5	百	可	可
	10	可	可	可
黄	5	可	可	可
央	10	百	可	可
ピンク	5	可	可	可
ク	10	可	可	可

マ-	ーキング色・幅	検出可能な輝度
色	幅(mm)	快山り配み輝度
白	5	50以上
	10	50以上
黄	5	50以上
共	10	50以上
ピンク	5	50以上
ク	10	50以上

マーキング識別性能

(4Kビデオカメラ)

- ①性能(精度・信頼性)を確保するための条件 直射日光が当たらないこと
- ②本試験時の条件

撮影速度約40km/h(定速)

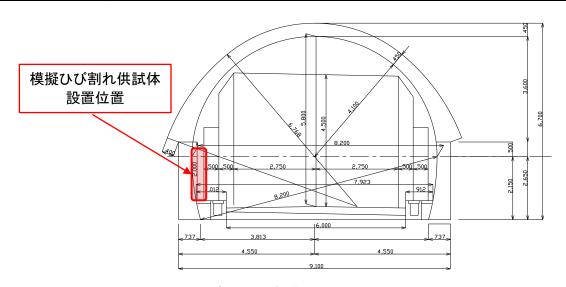
壁面との離隔に変化なし。

技術番号	TN010004-V0423										
技術名	道路性状測定車両イーグル(L&Lシステム) 開発者名 西日本高速道路 エンジニアリング四国体										
試験日	平成27年 10 月 27 日	成27年 10 月 27 日 天候 晴れ 気							2.4	m/s	
試験場所	神奈川県相模原市緑区	神奈川県相模原市緑区青山									
									+冊 :# =-	4 FA	

カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 外観変状(ひび割れ等) 試験区分 標準試験 現場試験

試験で確認する 計測精度(最小ひび割れ カタログ項目 幅)

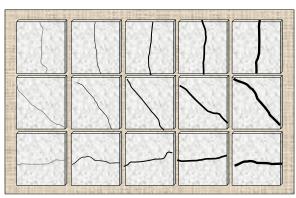
対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図(Nトンネル)



模擬ひび割れ供試体 設置状況



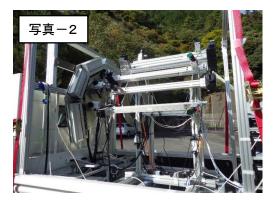
模擬ひび割れ供試体のイメージ

- ① トンネル外にて、計測用機器・PC等の設定、機器の動作確認を行う。
- ② 事前に断面図から算出した「計測機器から覆工表面までの距離」をシステムに入力する。
- ③ 対象物(模擬ひび割れ供試体)の走行撮影を行った。一般道のトンネルを利用しての試験であったため、走行速度は40km/h(法定速度内)で実施した。
- ④ 計測ごとに、計測車両内のPCにてデータが正常に取得できている事を確認する。
- ⑤ 模擬ひび割れ供試体を設置時に計測しておいたひび割れ幅を、取得画像からの検出結果と比較し、最小ひび割れ幅及び計測精度を求める。

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



〇計測精度(ひび割れ幅)

※走行速度: 40(km/h)で計測

・ひび割れ計測結果(模擬ひび割れの設定本数は、ひび割れ幅によって異なる。)

0.1mm		ひび割れ幅=0.1mm												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
技術による検出結果(mm)	1.0	未検出	未検出	未検出	0.5	0.5	0.5	未検出	未検出	0.5	未検出	未検出	未検出	未検出
真値との誤差(mm)	0.9	-	-	-	0.4	0.4	0.4	-	-	0.4	-	-	-	-

0.2mm		ひび割れ幅=0.2mm											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
技術による検出結果(mm)	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	未検出						
真値との誤差(mm)	0.8	0.8	0.3	0.3	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-

0.3mm		ひび割れ幅=0.3mm											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
技術による検出結果(mm)	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
真値との誤差(mm)	0.7	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

0.3mm(段差あり)		ひび割れ幅=0.3mm(段差あり)									
0.3四四(段左のり)	1	2	3	4	5	6					
技術による検出結果(mm)	0.5	1.0	1.0	未検出	1.0	0.5					
真値との誤差(mm)	0.2	0.7	0.7	-	0.7	0.2					

0.5mm	ひび割れ幅=0.5mm				
0.5mm	1				
技術による検出結果(mm)	1.7				
真値との誤差(mm)	1.2				

10	ひび割れ幅=1.0mm											
1.0mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
技術による検出結果(mm)	2.5	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0			
真値との誤差(mm)	1.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0			

2.0	ひび割れ幅=2.0mm										
2.0mm	1	2	3	4	5	6	7	8			
技術による検出結果(mm)	3.0	3.0	2.0	3.0	3.0	3.0	1.0	2.0			
真値との誤差(mm)	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	-1.0	0.0			

3.0mm	ひび割れ幅=3.0mm				
3.000	1	2			
技術による検出結果(mm)	3.0	3.0			
真値との誤差(mm)	0.0	0.0			

・最小ひび割れ幅

技術名	最小ひび割れ幅 (最小画素分解能)(mm)
道路性状測定車両 イーグル(L&Lシステム)	0.3

•計測精度

0.3mm		ひび割れ幅=0.3mm [a]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
【x】技術による検出結果(mm)	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
真値との誤差(mm)	0.7	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
平均二乗誤差(mm)	0.49	0.49	0.04	0.04	0.04	0.04	0.49	0.49	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

・ひび割れ幅計測精度 E

$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a_1)^2 + \dots + (x_n - a_n)^2}{n}}$$

技術名	検出精度E(mm)
道路性状測定車両 イーグル(L&Lシステム)	0.422

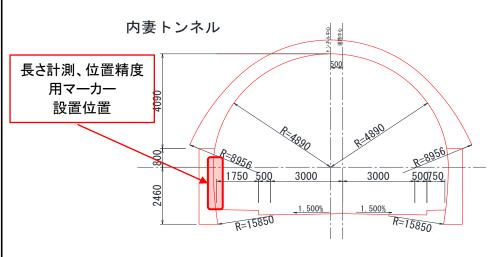
技術番号	TN010004-V0423									
技術名 道路性状測定車両イーグル(L&Lシステム) 開発者名 西日本高速道路 エンジニアリング四国㈱										
試験日	平成31年 1 月 21 日	天候	晴れ	気温	L	6.8	°C	風速	2.4	m/s
試験場所 徳島県海部郡牟岐町大字内妻										
									煙淮計	計

カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 外観変状(ひび割れ等) 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

長さ計測精度、位置精度

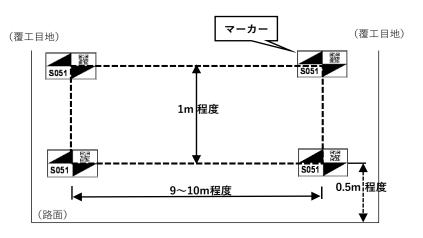
対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図(Uトンネル)



マーカー貼付け状況



マーカー配置イメージ

- ① トンネル外にて、計測用機器・PC等の設定、機器の動作確認を行う。
- ② 事前に断面図から算出した「計測機器から覆工表面までの距離」をシステムに入力する。
- ③ 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。一般道のトンネルを利用しての試験であったため、走行速度は 45km/h(法定速度内)で実施した。
- ④ 計測ごとに、計測車両内のPCにてデータが正常に取得できている事を確認する。
- ⑤ マーカーを設置時に計測しておいた長さ・位置等の値を、取得画像からの検出結果と比較し、長さ計測精度及び位置精度を求める。

開発者による計測機器の設置状況







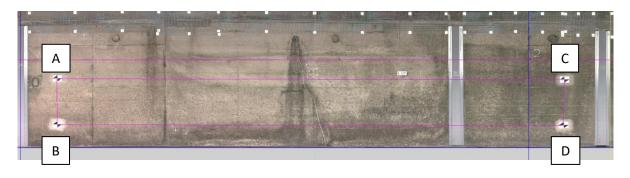
比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況



〇長さ計測精度(長さの相対誤差)、位置精度

※走行速度:45(km/h)で計測 ※トンネル内の計3箇所にマーカーを設置し、計測

- 長さ、位置計測結果



測定スパン	測定部位	真値 (m)	技術による 計測値(m)	誤差 (m)	誤差率 (%)
	A-B	0.996	0.975	0.021	2.11
S1~S2間	C-D	1.001	0.965	0.036	3.60
3179 32[前]	A-C	10.491	10.577	-0.086	0.82
	B-D	10.476	10.559	-0.083	0.79
	A-B	0.998	0.973	0.025	2.51
S8~S9間	C-D	0.998	0.971	0.027	2.71
20, 29[8]	A-C	10.020	10.122	-0.102	1.02
	B-D	10.007	10.098	-0.091	0.91
	A-B	1.000	0.971	0.029	2.90
S14~S15間	C-D	1.002	0.968	0.034	3.39
314~315[B]	A-C	9.861	9.871	-0.010	0.10
	B-D	9.870	9.88	-0.010	0.10

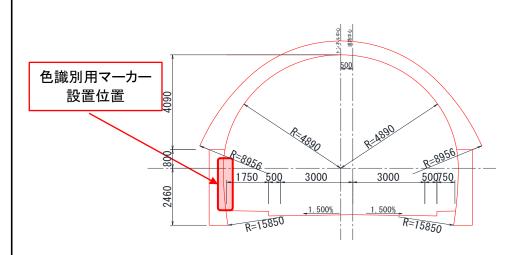
技術名	平均誤差率	位置精度	位置精度
	(全体)	(横:X)	(縦:Y)
道路性状測定車両 イーグル(L&Lシステム)	1.75%	63.7mm	28.7mm

技術番号	TN010004-V0423								
技術名 道路性状測定車両イーグル(L&Lシステム) 開発者名 西日本高速道路 エンジニアリング四国(株)									
試験日	平成31年 1 月 21 日	平成31年 1 月 21 日 天候 晴れ 気温 6.8 °C 風速 2.4 m/s							
試験場所	試験場所 徳島県海部郡牟岐町大字内妻								
カタログ分割	類 画像計測技術	カタログ	検出項目 外籍	見変状(ひ	び割れ等)	試験	区分	標準試現場試	

試験で確認する カタログ項目

色識別性能

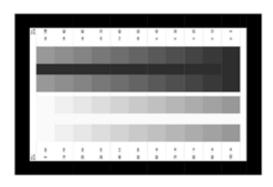
対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図(Uトンネル)



色識別用マーカー(カラー)



色識別用マーカー(白黒)

- ① トンネル外にて、計測用機器・PC等の設定、機器の動作確認を行う。
- ② 事前に断面図から算出した「計測機器から覆工表面までの距離」をシステムに入力する。
- ③ 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。一般道のトンネルを利用しての試験であったため、走行速度は 45km/h(法廷速度内)で実施した。
- ④ 計測ごとに、計測車両内のPCにてデータが正常に取得できている事を確認する。
- ⑤ 取得画像からの色識別結果と比較し、色識別性能を確認する。

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

〇長さ計測精度(長さの相対誤差)、位置精度

※走行速度:45(km/h)で計測 ※トンネル内の計3箇所にマーカーを設置し、計測

•色識別性能確認結果

確認位置	技術による結果	真値(カラーチャート)
S000 (起点側坑口)		81.60.52 180.138,114 04.102.134 74.86.50 118,111.164 228,100.152 164.117.48 79.75.140 142.64.80 66.51.80 144.305.74 184.105.61 59.46.126 85.120.67 122.56.40 200.188.66 142.85.122 76.108.145
S012 (トンネル中央)		81.60.52 180.136.118 94.102.134 74.66.50 118.111.154 228.108.155 144.112.48 79.75.140 142.64.80 66.51.63 144.106.74 184.155.61 59.48.126 86.123.67 122.56.40 200.166.66 142.83.123 76.106.145
S002 (終点側坑口)		81.60.52 180.136.116 94.102.134 74.66.50 110.111.154 220.100.155 144.112.48 75.75.140 142.64.80 66.51.63 144.102.74 184.155.61 59.48.126 85.123.67 122.56.40 200.180.66 142.61.122 78.108.145

技術名	色識別性能
道路性状測定車両 イーグル(L&Lシステム)	フルカラー識別可能

技術番号	TN010005-V0323								
技術名 社会インフラモニタリングシステム (MMSD® II) 開発者名 三菱電機株式会社									
試験日	平成30年 11 月 1 日 天候 曇 気温 16 °C 風速 6 m/s								
試験場所	試験場所新潟県柏崎市								
カタログ分類	カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 試験区分 標準試験 現場試験								

試験で確認する 計測精度 カタログ項目 (最小ひび割れ幅)

対象構造物の概要

■ Bトンネル L=455m

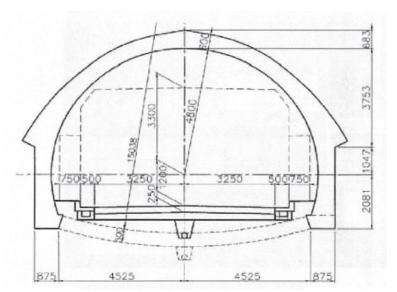


図1. Bトンネル 一般図(断面図)



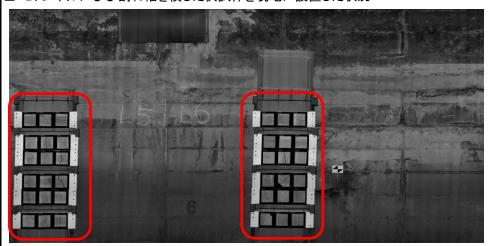
図2. Bトンネル 全体写真

- ① 立会者にて、幅0.1mm~3.0mmの間で異なるひび割れ幅を模した供試体を現地に設置。
- ② 社会インフラモニタリングシステムMMSDIにより、50km/hで走行撮影。
- ③ 撮影画像から三菱電機が開発したソフトウェアによりひび割れを自動検出。
- 4 ソフトウェアで自動検出した結果をとりまとめ、検出結果として提出。
- ⑤ 立会者にて、検出結果を評価 (最小ひびわれ幅の検証において撮影した画像から各模擬ひびわれ幅の計測結果と真値の誤差(mm)の二乗平均平方根を誤差として算出)。

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

■ Bトンネルにひび割れ幅を模した供試体を現地に設置した状況



ひびわれ 幅を模した 供試体

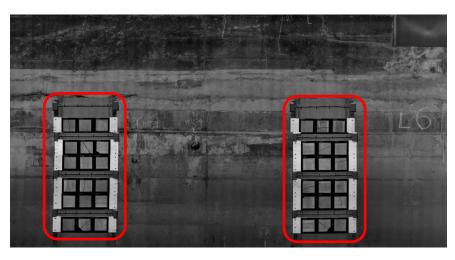


図3. Bトンネル ひび割れ幅を模した供試体

■ 計測	デー	タと立	:会	者に	よる	計測データの)比較表	ŧ									
		ひび	割れ	品		MMSD		1		6	-	1		0.4	-0.6		
			1		-	計測結果	誤差	1	1.0	12	-	2		0.3	-0.7		
0.1	0.1	8	-	2	2	0.4		1		27	-	2	1	0.2	-0.8		
0.1		12	-	1	2	0.1	0.0	1.1	1.1	1	-	2		0.5	-0.6		
0.2		1 3	-	2	2	0.2	0.0	1.1	1.2	22 13	-	2	1	0.3	-0.8 -0.6		
0.2		11	-	2	2			1.3	1.3	7	-	1	(I)	0.6	-0.8		
0.2	0.2	13	-	2		0.1	-0.1	1.4	1.4	7	-	2	1)	0.4	-1.0		
0.2		23	-	3	(3)	0.1	0.1	1.5		19	-	1	0	0.7	-0.8		
0.2		24	-	3	2			1.5	1.5	20	-	1		1.0	-0.5		
0.3		2	-	1		0.7	0.4	1.7	1.7	24	-	3	1	0.4	-1.3		
0.3		4	-	3	2	画像判読は可		2		2	-	3		0.8	-1.2		
0.3		9	-	3		0.2	-0.1	2		5	-	2		1.2	-0.8		
0.3		12	-	1	1	画像判読は可		2	2.0	9	-	1		0.9	-1.1		
0.3	0.3	14	-	1		0.3	0.0	2		12	-	3		0.8	-1.2		
0.3	0.5	14	-	2	2	画像判読は可		2		14	-	3		1.0	-1.0		
0.3		20	-	3		0.1	-0.2	2.5		29	-	2		0.2	-1.8 -1.3		
0.3		23	-	1	2	画像判読は可		2.5		11	-	1		0.9	-1.3 -1.6		-
0.3		25	-	1	2	画像判読は可		2.5	2.5	26	-	1		1.4	-1.0		
0.3		30	-	1		0.1	-0.2	2.5		30	-	3		0.4	-2.1		1
0.4		4	-	2		0.2	-0.2	3		1	-	3		1.8	-1.2		
0.4		6	-	2	2	画像判読は可		3		5	-	1		1.4	-1.6		
0.4		7	-	2	2	画像判読は可	0.0	3		6	-	3		2.0	-1.0		
0.4		10	-	1	<u> </u>	0.4	0.0	3		7	-	3	1	画像判読は可			
0.4		13	-	3	2	画像判読は可 0.2	-0.2	3	3.0	8	-	3		1.4	-1.6		
0.4	0.4	19	-	3		0.2	-0.2	3		13	-	1		1.6	-1.4		
0.4		21	-	1		0.3	-0.1	3		15	-	2		1.7	-1.3		
0.4		22	-	3	1	0.3	-0.1	3		27	-	3		0.9	-2.1		
0.4		24	-	1	•	0.2	-0.2	3		29	-	1		0.4	-2.6		
0.4		24	-	3	(3)	画像判読は可	0.2	3.5		7	-	3	2	1.9	-1.6		
0.4		25	-	1	1	0.3	-0.1	3.5	3.5	20	-	3	1	1.8	-1.7 -2.3		
0.5		5	-	3	Ť	0.7	0.2	3.5	5.5	23	-	3	2	1.2	-2.3		
0.5	0.5	11	-	3		0.3	-0.2	3.5		30	-	2	•	1.0	-2.5		
0.6		3	-	2	1	0.4	-0.2	4		2	-	2		2.4	-1.6		
0.6		6	-	2	1	0.4	-0.2	4		10	-	2		2.0	-2.0		
0.6	0.6	7	-	3	3	画像判読は可		4	4.0	16	-	2		2.3	-1.7		
0.6		17	-	1		0.3	-0.3	4	4.0	18	-	2		2.7	-1.3		
0.6		26	-	2		0.2	-0.4	4		21	-	3		1.7	-2.3		
0.7		8	-	1	1	画像判読は可		4		24	-	2		1.9	-2.1		
0.7	0.7	8	-	1	2	0.4	-0.3	5		3	-	3		4.0	-1.0		
0.7	5.,	16	-	1		0.3		5		4	-	3	1	4.0			
0.7		28	-	2		0.3	-0.4	5		9	-	2		2.7	-2.3		
0.8		17	-	3		0.4	-0.4	5	5.0	14	-	2	1	4.2 3.6	-0.8 -1.4		-
0.8	0.8	18	-	3		0.3		5		19 22	-	2		2.6		-	-
0.8		21	-	2		0.4	-0.4	5		28	-	1		2.6	-2.4		
0.8		23	-	1	1	0.5	-0.3			20		1		2.4	2.0		
0.9		4	-	1	(1)	0.3	-0.6 -0.5										
0.9	0.9	8	_	2	1	0.4	-0.5 -0.4									最小幅	(
0.9	0.5	15	-	3	1	0.5	-0.4									E	0.2236
			_														
0.9		25	-	2		0.3	-0.6										

$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}}$$

但し、x1~xn:ひび割れ測定結果

(最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

a:ひび割れ幅(真値)

n:データ数

(最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

■ 性能(精度・信頼性)を確保するための条件、本試験時の条件

精度・信頼性に悪影響を与える条件として、以下がある a.天候(雨天・積雪)、b.路面(凹凸・凍結・積雪・大雨)、c.GNSS測位不良、d.日照(坑口付近への日光) 本試験時は曇天。 d. 坑口付近の画像に外光の影響あり。

技術番号	TN010005-V0323								
技術名 社会インフラモニタリングシステム(MMSD®II) 開発者名 三菱電機株式会社									
試験日	平成31年 1 月 28 日 天候 晴 気温 13 °C 風速 5 m/s							m/s	
試験場所	試験場所 神奈川県相模原市緑区青山								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひで	び割れ		試験		票準試験 見場試験	

試験で確認する カタログ項目

長さ計測精度、位置精度



図2. Aトンネル 全体写真

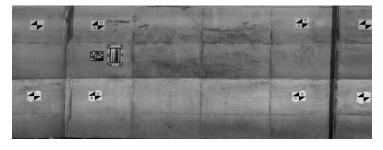
- 1 トンネル壁面の4か所に目印となるマーカーを設置。全線直線のトンネルでは、任意の1か所に設置。 曲線を有するトンネルでは、曲線区間の任意の1スパンに設置。
- ② 社会インフラモニタリングシステムMMSD II により、50km/hで走行撮影。
- ③ トンネル展開画像から、4箇所のマーカー間隔と1枚のマーカー寸法との比率により、4箇所のマーカー間の縦断・横断方向の距離を算出。
- 4 マーカーの間の距離と設置場所の実測値との誤差を算出。

開発者による計測機器の設置状況

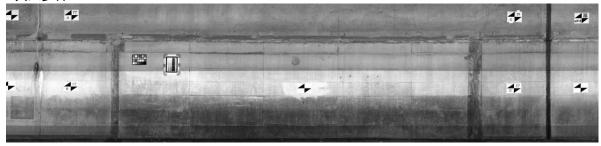
比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

■ Aトンネルにおけるマーカー設置状況

スパン7



スパン17



スパン33

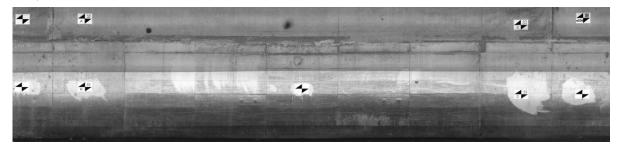


図3. Aトンネルにおけるマーカー設置状況

■ 計測データと立会者による計測データの比較

(1) [S007]]			
測定部位	実測値 (A)	画像による 計測値 (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)
L A-B	1.547	1.558	-0.011	0.71%
L C-D	1.557	1.617	-0.060	3.85%
L A-C	4.430	4.443	-0.013	0.29%
L B-D	4.442	4.432	0.010	0.23%

(2) [S017]]			
測定部位	実測値 (A)	画像による 計測値 (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)
L A-B	1.473	1.474	-0.001	0.07%
L C-D	1.469	1.474	-0.005	0.34%
L A-C	8.987	8.970	0.017	0.19%
L B-D	8.987	8.973	0.014	0.16%

(3) [S033]]		単位(m)			
測定部位	実測値 (A)	画像による 計測値 (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)		
L A-B	1.459	1.455	0.004	0.27%		
L C-D	1.500	1.476	0.024	1.60%		
L A-C	9.150	9.138	0.012	0.13%		
L B-D	9.158	9.144	0.014	0.15%		

平均誤差率	位置精度	位置精度
(全体)	(横:X)	(縦:Y)
0.67%	13.3	17.5

■ 性能(精度・信頼性)を確保するための条件、本試験時の条件

精度・信頼性に悪影響を与える条件として、以下がある a.天候(雨天・積雪)、b.路面(凹凸・凍結・積雪・大雨)、c.GNSS測位不良、d.日照(坑口付近への日光) 本試験時は晴天。 d.坑口付近の画像に外光の影響あり。

技術番号	TN010005-V0323								
技術名 社会インフラモニタリングシステム(MMSD®II) 開発者名 三菱電機株式会社									
試験日	平成31年 1 月 28 日 天候 晴 気温 13 °C 風速 5 m/s							m/s	
試験場所	試験場所 神奈川県相模原市緑区青山								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひで	び割れ		試験		票準試験 見場試験	

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

■ Aトンネル L=406m

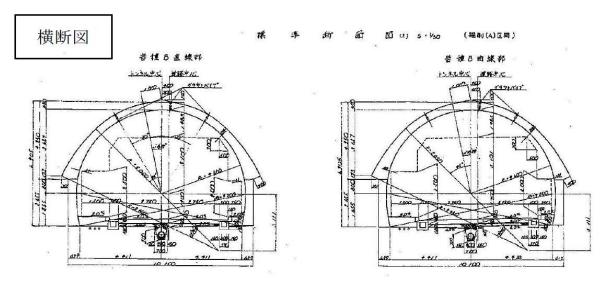


図1. Aトンネル 標準断面図(区間の一部)



図2. Aトンネル 全体写真

- ① 色調を変化させた画像を含むシートを作成。設置場所は、環境条件記載の照度差が再現できる2箇所以上。
- ② 社会インフラモニタリングシステムMMSD II により、50km/hで走行撮影。
- ③ 撮影された画像からどの程度の色調差が識別できるかどうかについて、撮影画像を3人の技術者が目視確認。

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

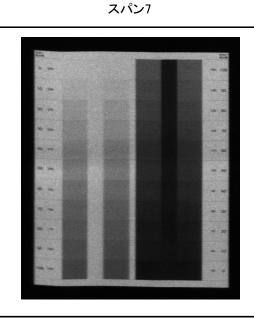
■ Aトンネルにおける画像識別シート設置状況



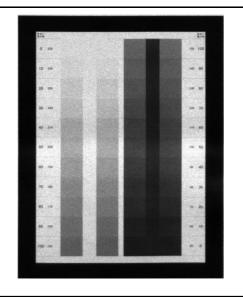
図3. Aトンネルにおける画像識別シート設置状況

■計測データの評価結果

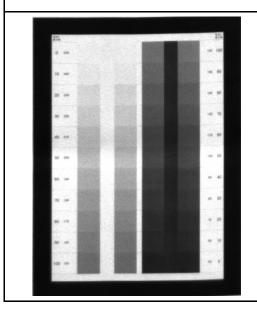
輝度240未満で識別可能であり、輝度差約20を区別可能



スパン17



スパン45



■ 性能(精度・信頼性)を確保するための条件、本試験時の条件

精度・信頼性に悪影響を与える条件として、以下がある a.天候(雨天・積雪)、b.路面(凹凸・凍結・積雪・大雨)、c.GNSS測位不良、d.日照(坑口付近への日光) 本試験時は晴天。 d.坑口付近の画像に外光の影響あり。

技術名	色識別性能
社会インフラモニタリング システム(MMSD®II)	グレースケール識別可能

技術番号 TN010006-V0423

技術名	を表示している。 走行型高速3Dトンネル点検システムMIMM-R(ミーム・アール)/MIMM(ミーム)				開発者名 パシフィックコンサルタンツ 株式会社				タンツ
試験日	平成30年 11 月 5 日	天候	晴れ	気温		°C	風速	4.2	m/s
試験場所	新潟県 国道8号線								
		ī	E						
カタログ分類	画像検出技術	カタログ	検出項目 ひ	び割れ		試験口	X 🗥	集試験 也試験	

試験で確認する カタログ項目

計測精度(最小ひび割れ幅)、長さ計測精度、位置 精度、色識別性能

対象構造物の概要

● トンネル概要(No1)

トンネル延長 : L=350 m トンネル内装・天井板 : 覆工(内装なし) 前回トンネル点検年度 : 平成29年度

● トンネル概要(No2)

トンネル延長 : L=455 m トンネル内装・天井板 : 覆工(内装なし) 前回トンネル点検年度 : 平成29年度





- ・トンネル延長 No1トンネル:L=455m、No2トンネル:L=350m
- ・前回トンネル点検 H29年度実施
- ・煤等による汚れが多い(写真1参照)
- ・ひび割れの上に直接チョーキングがなされているものが多く見られる(写真2参照)



写真1 煤等の汚れ

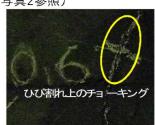


写真2 チョーキング状況

- ① トンネル内走行計測
- ② トンネル展開画像の作成
- ③ 変状写真台帳の自動整理
- ④ 変状の自動検出

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

最小ひび割れ幅、計測精度

ひび割れ幅		MIMM-R			
		計測結果	誤差		最小2乗誤差
0.2	1-1	0.3	0.1		0.01
	1-2	0.3	0.1		0.01
	2	1	0.8		0.64
	3-1	0.7	0.5		0.25
	3-2	0.3	0.1		0.01
	6-1	0.7	0.5		0.25
	6-2	0.7	0.5		0.25
	6-3	0.7	0.5		0.25
	7	0.3	0.1		0.01
				Е	0.432

最小ひび割れ幅	
(最小画素分解能)	0.2
(mm)	
検出精度E(mm)	0.432

$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}}$$

但し、x1~xn:ひび割れ測定結果

(最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

a:ひび割れ幅(真値)

n:データ数

(最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

長さ計測精度(長さの相対誤差)、位置精度

■覆工マーカーによる測定結果について

- ①【No.2トンネル S006~S007間】

 - (1) 【山側】・・・・2点のみ設置 ([長辺L]L=9.50m)

単位(m)

测点软件	実測値	画像による計測値	差	誤差率
別化即位	(A)	(B)	(C)=(A)-(B)	(D)=(C)/(A)
長辺L	9.50	9.603	-0.103	1.08%

(2) 【海側】・・・・4点設置 ([長辺L]L=5.30m、 [短辺L]L=1.00m) 単位(m)

知 中 777		実測値	画像による計測値	差	誤差率	
	測定部位	(A)	(B)	(C)=(A)-(B)	(D)=(C)/(A) -0.011 0.21%	
Ī	長辺L(上側)	5.30	5.311	-0.011	0.21%	
Ī	長辺L(下側)	5.30	5.307	-0.007	0.13%	
ſ	短辺L(S006側)	1.00	1.037	-0.037	3.70%	
ſ	短辺L(S007側)	1.00	1.041	-0.041	4.10%	
ľ						

- ②【No.1トンネル S051~S052間】
 - (1) 【山側】・・・・設置せず。(理由:歩道が無いため、撤去時にその側壁部へ行くことが危険だったため。)
 - (2) 【海側】・・・・4点設置 ([長辺L]L=10.00m、 [短辺L]L=1.00m 単位(m)

測定部位	実測値	画像による計測値	差	誤差率	
別た即位	(A)	(B) (C)=(A)-(B) ((D)=(C)/(A)	
長辺L(上側)	10.00	9.913	0.087	0.87%	
長辺L(下側)	10.00	9.913	0.087	0.87%	
短辺L (S051側)	1.00	1.000	0.000	0.00%	
短辺L (S052側)	1.00	1.001	-0.001	0.10%	

③【「平均誤差率」、「位置精度」】

※位置精度(横)=各長さ(長辺)の合計値÷各長さ(長辺)の個数 【単位:mm】

	平均誤差率	位置精度(横:X)	位置精度(縦:Y)	
	1.23%	59.0	19.7	

色識別性能



・フルカラー識別可能

技術番号	TN010007-V0323									
技術名	一般車両搭載型トンネル	√点検シス -	テム		開	発者名	株式	式会社リコ	ı—	
試験日	平成31年 1 月 29 日	天候	晴	気温	1	不明	°C	風速	不明	m/s
試験場所	神奈川県相模原市緑区	青山		•						
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目	長さ計測料 位置精度 色識別性			試験		準試験 場試験	

※試験で複数のカタログ項目の確認を行う場合、これ以降の各事項をカタログ項目ごとに記載すること

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

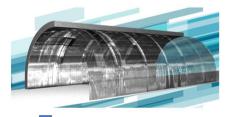
※対象構造物の一般図、全体写真、計測対象となる部位・部材の写真を記載すること

本確認シートはモノクロカメラ装置での評価結果となります。

実験を行った青山トンネルを写真1.1に示す。 また、計測対象はトンネル覆工部全面であり、1枚の展開画像を作成する(写真1.2)



写真1.1 青山トンネルでの計測試験の様子



トンネル覆工部を撮影し、 枚の展開画像を作成

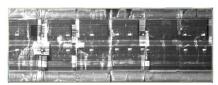


写真1.2 計測対象説明図

試験方法(手順)

- ① トンネルの壁面4か所に目印となるマーカーを設置し、正解値を得るためにマーカー間の距離を計測する。
- ② 計測車両により、走行撮影を行う。
- ③ 撮影画像を所定の縦横スケールに修正したトンネル展開画像を作成する。
- 展開画像から4か所のマーカー間の縦断・横断方向の距離を求める。(画素数で算出し、所定のスケール (mm/pix)を掛け合わせることで実寸を算出)

以下2つを算出する

5 ・④で求めたマーカー間の距離と①で求めた実測値との誤差率を平均したもの(長さ計測精度) ・④で求めたマーカー間の距離と①で求めた実測値との差の絶対値を平均したもの(位置精度)

開発者による計測機器の設置状況

※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと



写真2.1 計測装置の写真

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと

付録2-2-74

計測結果の比較

- ※開発者による計測データと立会者による計測データの比較を記載すること
- ※計測原理に照らし、①性能(精度・信頼性)を確保するための条件、②本試験時の条件を漏れなく記載すること
- ①覆エマーカーによる計測結果

(1) **[**S007**]**

単位 (m)

	実測値	画像による	差	誤差率
測定部位	美別恒 (A)	計測値	(C)=(A)-	(D)=(C)/(A
	(A)	(B)	(B))
L A-B	1.547	1.562	-0.015	0.97%
L C-D	1.557	1.582	-0.025	1.61%
L A-C	4.430	4.409	0.021	0.47%
L B-D	4.442	4.395	0.047	1.06%

(2) **[**S 0 1 7]

単位(m)

	中训徒	画像による	差	誤差率
測定部位		実測値計測値		(D)=(C)/(A
	(A)	(B)	(B))
L A-B	1.473	1.486	-0.013	0.88%
L C-D	1.469	1.480	-0.011	0.75%
L A-C	8.987	9.109	-0.122	1.36%
L B-D	8.987	9.119	-0.132	1.47%

(3) [S033]

単位(m)

測定部位	実測値 (A)	画像による 計測値 (B)	差 (C)=(A)- (B)	誤差率 (D)=(C)/(A)
L A-B	1.459	1.470	-0.011	0.75%
L C-D	1.500	1.519	-0.019	1.27%
L A-C	9.150	9.152	-0.002	0.02%
L B-D	9.158	9.158	0.000	0.00%

- ②長さ計測精度(平均誤差率)
 - (1)-(3)の誤差率を平均し、長さ計測精度を求める。

平均誤差率 **0.88%**

③位置誤差

以下の算出式により、進行方向・周方向の位置誤差を算出する

位置精度(進行方向) = 各長さ(長辺)の差の絶対値の合計: 各長さ(長辺)の個数 【単位: mm】

位置精度(周方向)=各長さ(短辺)の差の絶対値の合計:各長さ(短辺)の個数 【単位:mm】

位置精度(進行方向) 位置精度(周方向) 54.0 mm 15.7 mm

性能を確保する条件を以下に列挙する。

- · 時速40km/h 以下
- ・被写体との距離:1.0m-7.5m

※試験で複数のカタログ項目の確認を行う場合、これ以降の各事項をカタログ項目ごとに記載すること

対象構造物の概要

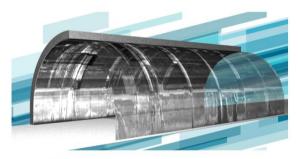
※対象構造物の一般図、全体写真、計測対象となる部位・部材の写真を記載すること

実験を行った青山トンネルを写真1.1に示す。

また、計測対象はトンネル覆工部全面であり、1枚の展開画像を作成する(写真1.2)



写真1.1 青山トンネルでの計測試験の様子



1

トンネル覆工部を撮影し、 一枚の展開画像を作成

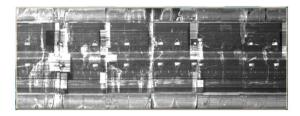


写真1.2 計測対象説明図

試験方法(手順)

- ① トンネルの覆工部にモノクロの色調を変化させたチャート(「色合い差分解チャート」と呼ぶ)を貼り付ける。 (トンネル坑口付近と中央部の2か所)
- ② 計測車両により走行撮影を行う。
- ③ 撮影された画像からどの程度の色調差が識別できるかどうかについて、3人の技術者(CMI)が目視確認することによって検証する。
- **4**
- **⑤**

開発者による計測機器の設置状況

※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと



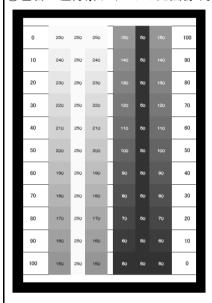
写真2.1 計測装置の写真

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

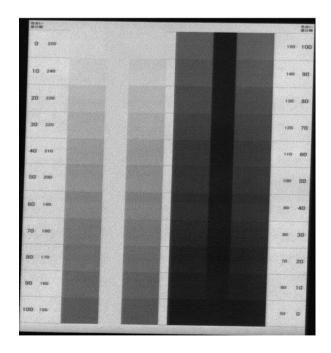
※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと

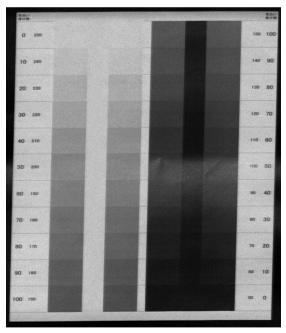
計測結果の比較

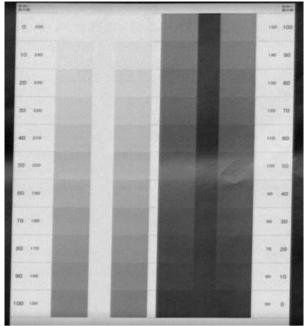
- ※開発者による計測データと立会者による計測データの比較を記載すること
- ※計測原理に照らし、①性能(精度·信頼性)を確保するための条件、②本試験時の条件を漏れなく記載すること
- ①色合い差分解チャートの元画像(オリジナル)



②撮影した色合い差分解チャート画像(左上:坑口部S7、右:中央部S17、左下(次頁):坑口部S45)







※幾何的な補正を行っていない画像です。(縦横のスケールが一致しない・傾き補正未実施)

③ 技術者(CMI)による目視判断

全パターンを識別可能

すなわち、一番明るい輝度(250)未満であれば識別可能であり、輝度差約10で区別可能であることが言える。

性能を確保する条件を以下に列挙する。

- ・時速40km/h 以下
- ・被写体との距離:1.0m-7.5m

技術番号	TN010007-V0323								
技術名	一般車両搭載型トンネル	√点検シス ↑	テム		開発者名	4	式会社リコ	ı—	
試験日	平成30年 11 月 5 日	天候	晴	気温	不明	l °C	風速	不明	m/s
試験場所	場所 新潟県柏崎市の2トンネル								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ		影速度 則精度[1]	試験		準試験 場試験	

※試験で複数のカタログ項目の確認を行う場合、これ以降の各事項をカタログ項目ごとに記載すること

試験で確認する カタログ項目

撮影速度

対象構造物の概要

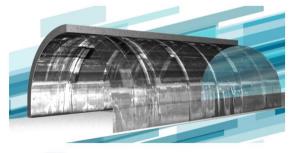
※対象構造物の一般図、全体写真、計測対象となる部位・部材の写真を記載すること

本確認シートはモノクロカメラ装置での評価結果となります。

実験を行った新潟のトンネルを写真1.1に示す。 また、計測対象はトンネル覆工部全面であり、1枚の展開画像を作成する(写真1.2)



写真1.1 新潟県での計測試験の様子



トンネル覆工部を撮影し、 ·枚の展開画像を作成

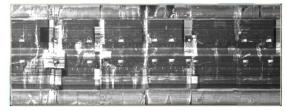


写真1.2 計測対象説明図

試験方法(手順)

- ① トンネルの入り口・出口に計測員を配置する。
- ② 計測車両が走行計測を行う際に、計測員がトランシーバーでやり取りして、車両の入坑から出抗までの時間を計測し、トンネル延長をその時間で割って、撮影速度を算出する。
- ③ ②と同時に、普通車で計測車両を追走し、同様に入坑から出杭までの時間を計測して速度を求める。
- ④ ②の結果と③の結果の平均値を撮影速度とする

(5)

開発者による計測機器の設置状況

※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと

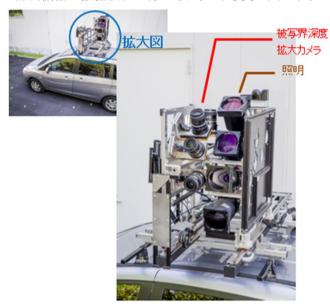


写真2.1 計測装置の写真

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと

計測結果の比較

- ※開発者による計測データと立会者による計測データの比較を記載すること
- ※計測原理に照らし、①性能(精度・信頼性)を確保するための条件、②本試験時の条件を漏れなく記載すること 試験方法の手順通りに試験を行ったところ「時速38km/h」の結果となった。
- ※試験で複数のカタログ項目の確認を行う場合、これ以降の各事項をカタログ項目ごとに記載すること

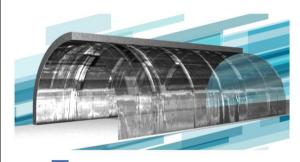
対象構造物の概要

※対象構造物の一般図、全体写真、計測対象となる部位・部材の写真を記載すること

実験を行った新潟のトンネルを写真1.1に示す。 また、計測対象はトンネル覆工部全面であり、1枚の展開画像を作成する(写真1.2)



写真1.1 新潟県での計測試験の様子



トンネル覆工部を撮影し、 -枚の展開画像を作成

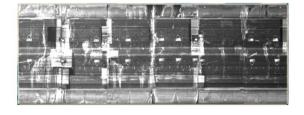


写真1.2 計測対象説明図

試験方法(手順)

- ① ひび割れ模擬供試体(CMI作成)をトンネル覆工部に立てかける
- ② 撮影装置で時速40km/h程度でトンネルを走り抜け、ひび割れ模擬供試体を撮影する。その撮影画像を基に、通常の展開画像作成と同様に所定スケールのオルソ画像に変換する。
- 最小ひび割れ幅を算出する。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。 (複数ある同じひび割れ幅の模擬供試体全てで判別可能である。)
- 最小ひび割れ幅の計測精度を算出する。これは②で求めた最小ひび割れ幅の複数の模擬供試体に対して、 画像処理により算出した画像の幅と真値(最小ひび割れ幅)とで二乗平均平方根誤差(RMSE)を算出したもの である。
- 補足:④を算出するにあたり、幅の計測エリアを指定する必要があるが、「ひび割れ自動検出結果をそのもの を計測エリアとして指定する場合」と、「手動で計測エリアを設定する場合」との2パターンの計測を行った。 (ユースケースとしてどちらもあり得るため。)

開発者による計測機器の設置状況

※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと

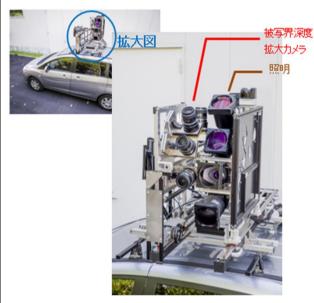


写真2.1 計測装置の写真

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと

付録2-2-83

計測結果の比較

- ※開発者による計測データと立会者による計測データの比較を記載すること
- ※計測原理に照らし、①性能(精度·信頼性)を確保するための条件、②本試験時の条件を漏れなく記載すること
- (1)ひび割れ模擬供試体画像(縮小しているため、実質の画質よりも劣化していることに注意)

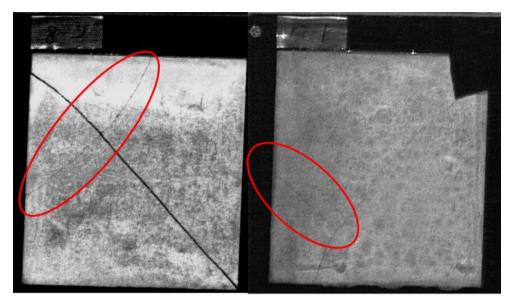


写真3.1 0.1mmのひび割れ画像

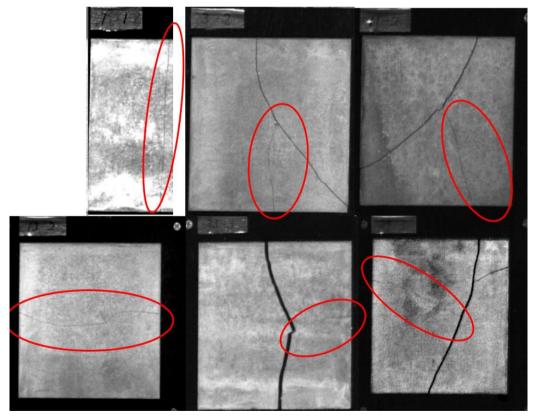


写真3.2 0.2mmのひび割れ画像

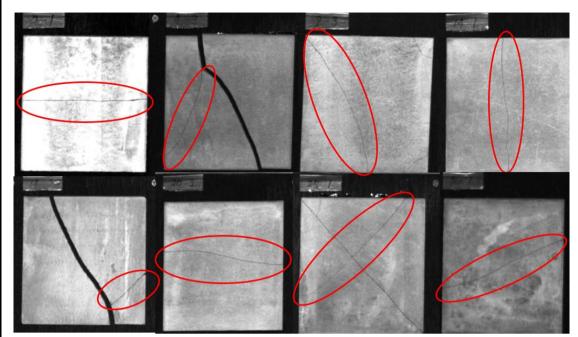


写真3.3 0.3mmのひび割れ画像1

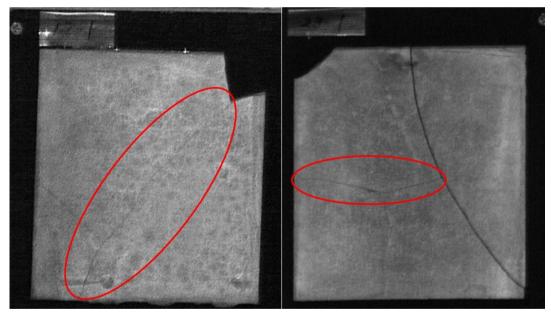


写真3.4 0.3mmのひび割れ画像2

(2)目視確認結果とひび割れ計測結果

0.3mmのひび割れは、一部自動検出はうまくいかないものがあったが、目視では全てひび割れを判別可能であった。

そのため、0.3mmのひび割れに関して、「ひび割れ自動検出結果をそのものを計測エリアとして指定する場合」と、「手動で計測エリアを設定する場合」との2パターンのひび割れの自動計測結果を下の表に示す。

					自動検出結果が計測			手動で計測エリアを		
ひび割れ幅	ひび割	ħ	模擬供試	体ID	エリア	の場合	設定した場合			
					計測結果	誤差	計測結果	誤差		
	2	-	1		0.5	0.2	0.3	0.0		
	4	-	3	2	0.9	0.6	0.2	-0.1		
	9	-	3		0.3	0.0	0.3	0.0		
	12	-	1	1	画像判読は可					
0.3	14	-	1		0.3	0.0	0.2	-0.1		
0.5	14	-	2	2	0.8	0.5	0.4	0.1		
	20	-	3		0.3	0.0	0.2	-0.1		
	23	-	1	2		画像判	読は可			
	25	-	1	2	0.5	0.2	0.5	0.2		
	30	-	1		0.7	0.4	0.3	0.0		

(3) (最小ひび割れ幅)計測精度

(2)の結果を基に二乗平均平方根誤差(RMSE)を求める。

項目	数值	単位
最小ひび割れ幅	0.3	mm
(最小画素分解能)	0.3	mm
自動検出結果を計測エリア	0.326	mm
にした場合の検出精度	0.320	111111
手動で計測エリアを指定し	0.100	mm
た場合の検出精度	0.100	mm

性能を確保する条件を以下に列挙する。

·時速40km/h 以下

・被写体との距離: 1.0m-7.5m (最小ひび割れ幅の判別)

•被写体との距離:1.0m-5.0m(検出精度)

・煤やコケが著しく付着している箇所は対象外

技術番号	TN010007-V0323								
技術名 一般車両搭載型トンネル点検システム 開発者名 株式会社リコー									
試験日	令和4年 2 月 17 日	天候	晴	気温	不明	l °c	風速	不明	m/s
試験場所	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 計	測精度[2]]~[4]	試験		準試験 場試験	

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

本確認シートはモノクロカメラ装置での評価結果となります。



図1.1 実大トンネルでの画像計測の様子



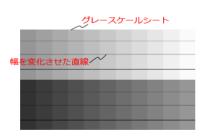


図1.2 実大トンネルに貼り付けられた直線有りグレースケールシート(左)とイメージ図(右)



図1.3 実大トンネル設置された 煤を模倣した供試体(表面のみ炭付着)

=++ 压仑	方法	<i>/</i> 工	메모 /
=71 5年	ι π ;т.	(-	III I)

技術番号

TN010007-V0323

- ① 図1.2・図1.3にある直線有りグレースケールシート(縦・横・斜め)及び煤を模倣した供試体をトンネルに設置する。
- ② 計測車両で走行しながら計測し、撮影画像を合成して展開画像を作成する。
- ③ 展開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5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。
- ④ 展開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



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

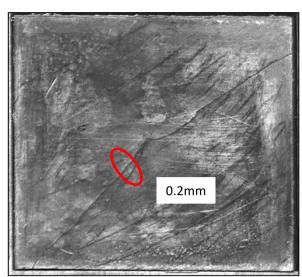
_

技術番号

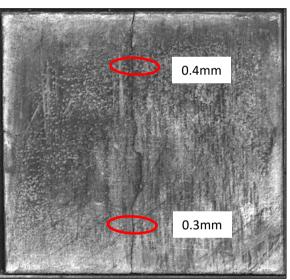
TN010007-V0323

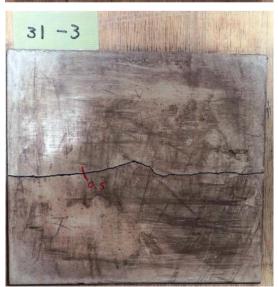
- 1.覆工表面が煤で汚れた状態のひび割れの検出可否結果(試験方法③)
- 1.1 正解画像(デジカメ)(左側) と計測画像(右側)の比較

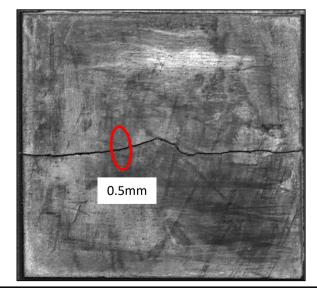


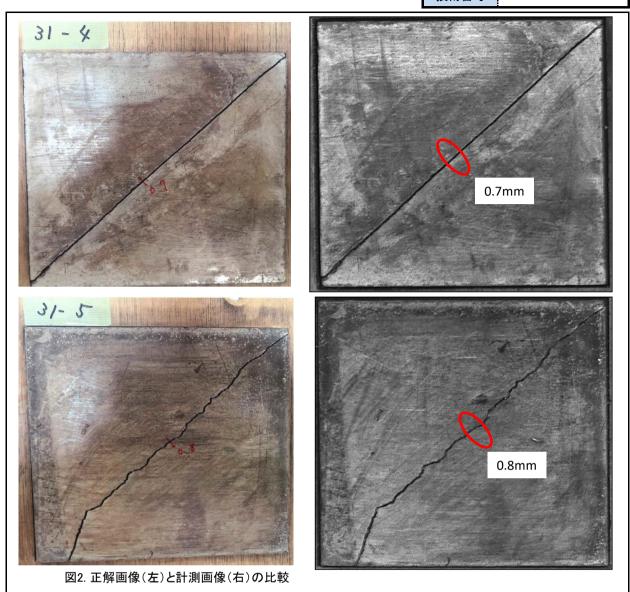












1.2 覆工表面が煤で汚れた状態のひび割れ検出結果

1.1より、幅0.2mm、0.3mm、0.5mm(2箇所)、0.7mm、0.8mm 全て識別可能

2.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)

2.1 直線有りグレースケールシートの仕様

本試験でのチャートの仕様を図3に記載する。

図3に示す通り、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。

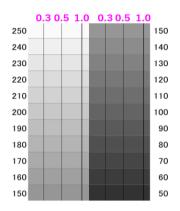


図3. グレースケールシートの仕様説明

2.2 計測画像

図4.1-4.3に「計測画像」及び「輝度50-70の箇所を判別しやすいように輝度補正と拡大処理したもの」を示す。

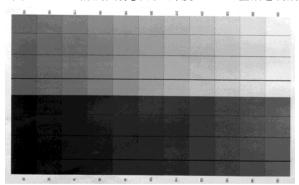


図4.1.1 グレースケール(横)の計測画像

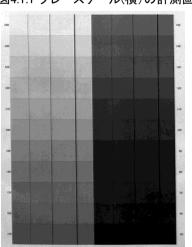


図4.2 グレースケール(縦)の計測画像

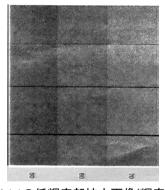


図4.1.2 図4.1.1の低輝度部拡大画像(輝度補正有)

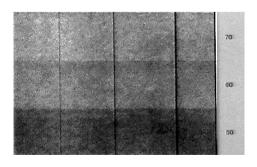
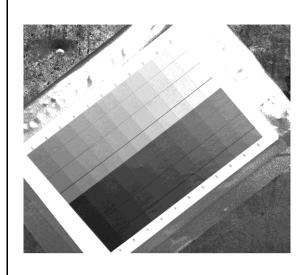


図4.2.2 図4.2.1の低輝度部拡大画像(輝度補正有)



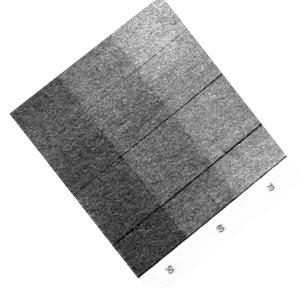


図4.3.1 グレースケール(斜め)の計測画像

図4.3.2 図4.3.1の低輝度部拡大画像(輝度補正有)

2.3 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

2.2より、直線の幅0.3mm、0.5mm、1.0mm 全て輝度50以上で識別可能 ただし、低輝度部ではモニタの明るさなどの閲覧環境に依存するため、輝度補正を実施を推奨。

3. 性能を確保する条件を以下に列挙する。

走行速度:40km/h以下(試験時40km/h)

試験で確認する カタログ項目

計測精度[3]煤で埋まったひ び割れ

技術番号

TN010007-V0323

対象構造物の概要



図1.2 実大トンネルに設置された煤により埋まったひび割れ供試体

試験方法(手順) 技術番号 TN010007-V0323

① 図1.2の煤により埋まったひび割れ供試体をトンネルに設置する。

- ② 計測車両で走行しながら計測し、撮影画像を合成して展開画像を作成する。
- ③ 展開画像のうちひび割れ供試体を切り抜き、ひび割れ幅の異なる3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。

(4)

開発者による計測機器の設置状況

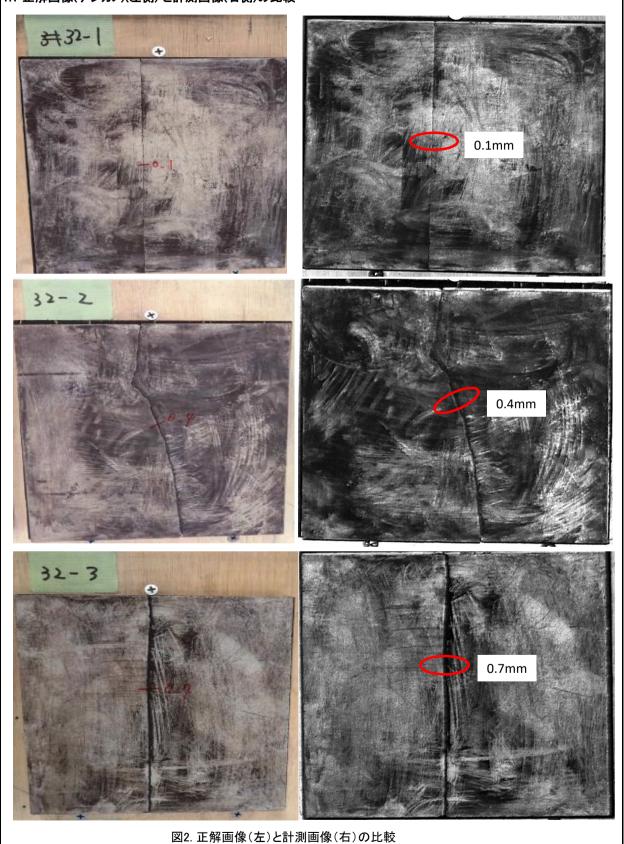


比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

_

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)(左側) と計測画像(右側)の比較



1.2 煤で埋まったひび割れの検出可否結果
1.1より、幅0.1mm、0.4mm、0.7mm 全て識別可能
2. 性能を確保する条件を以下に列挙する。
走行速度: 40km/h以下(試験時40km/h)

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

技術番号

TN010007-V0323

対象構造物の概要





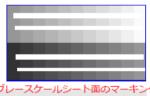


図1.2 実大トンネルに貼り付けられたマーキング有りグレースケールシート(左)とイメージ図(右)





図1.3 実大トンネルに設置されたマーキング有りコンクリート

試験方法(手順)

技術番号

TN010007-V0323

- ① 図1.2・図1.3にあるマーキング有りグレースケールシート(縦・横・斜め)及びマーキング有りコンクリートをトンネルに設置する。
- ② 計測車両で走行しながら計測し、撮影画像を合成して展開画像を作成する。
- ③ 展開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。
- ④ 展開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



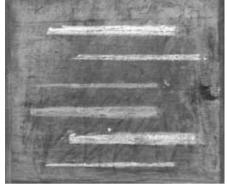
比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

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)

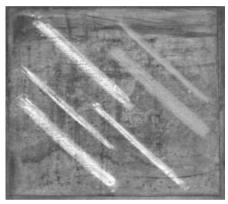
1.1 正解画像(デジカメ)(左側) と計測画像(右側)の比較

マーキングの幅は、5mmと10mmである。

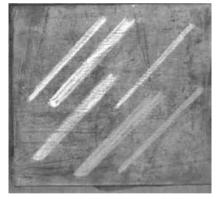




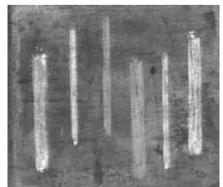


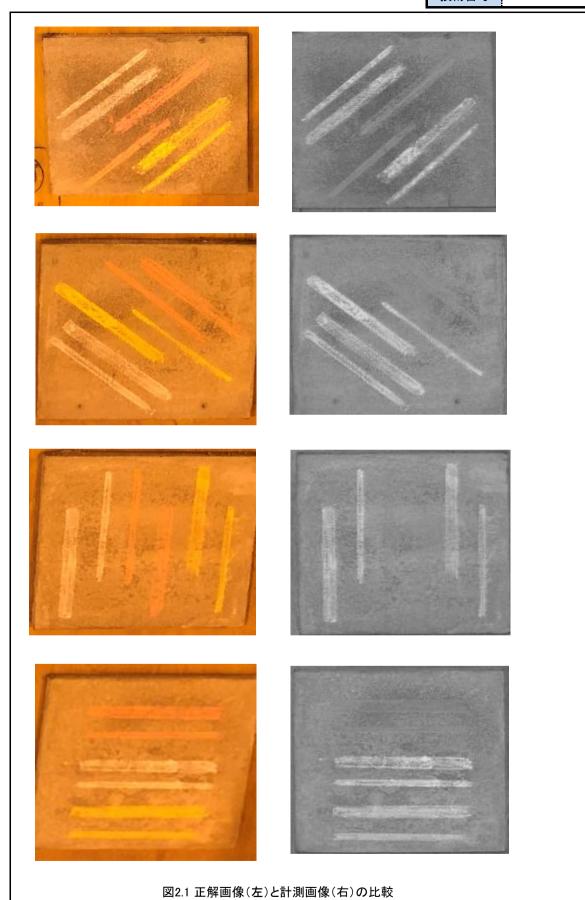












付録2-2-100

1.2 コンクリート上のマーキングの検出可否結果

検出結果を表1に示す。

表1. コンクリート上のマーキングの検出可否結果

マーキング色	マーキングの向き				
色	幅[mm]	水平	垂直	45°	
Á	5	0	0	0	
П	10	0	0	0	
黄	5	0	0	0	
央	10	0	0	0	
ピンク	5	×	×	×	
	10	×	×	×	

2.グレースケールシート上のマーキングが検出可能な輝度の結果(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

本試験でのチャートの仕様を図3に示す。

図3に示す通り、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。

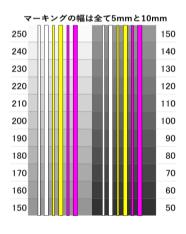
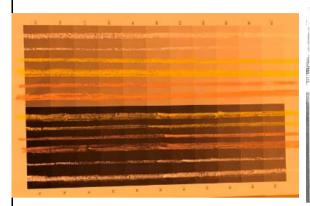


図3. グレースケールシートの仕様説明

2.2計測画像

図4.1-4.3に正解画像(デジカメ)とマーキング有りのグレースケールシートを示す。



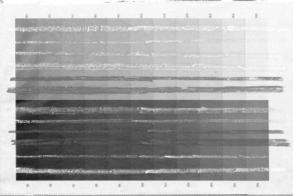


図4.1 マーキング有りグレースケールシート(横)の正解画像(左)、計測画像(右)



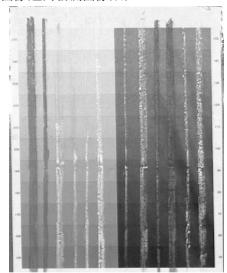


図4.2 マーキング有りグレースケールシート(縦)の正解画像(左)、計測画像(右)



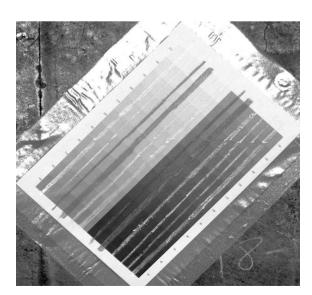


図4.3 マーキング有りグレースケールシート(斜め)の正解画像(左)、計測画像(右)

2.3 グレースケールシート上のマーキングが検出可能な輝度結果

2.2より、検出結果を表2に示す。

ピンクのマーキングはコンクリート上で識別できないケースがあり保証できないため、表2でも対象外とする。

表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

マーキング色・幅			マーキングの向き	
色	幅[mm]	水平	水平 垂直	
白	5	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)
黄	5	全輝度(250以下)	200以下	240以下
典	10	全輝度(250以下)	210以下	全輝度(250以下)
ピンク	5	-	-	-
	10	-	-	-

3. 性能を確保する条件を以下に列挙する。

走行速度:40km/h以下(試験時40km/h)

技術番号	TN010007-V0323									
技術名	一般車両搭載型トンネル点検システム				開発す	首名 株	株式会社リコー			
試験日	令和6年 1 月 30 日	天候	晴	気温	<u>ዘ</u>	·明 °C	風速	不明	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	計測精度 長さ計測 出項目 精度・色調 (カラーカ スト)		試駁	試験区分 標準 現場			

...........

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

本確認シートはカラーカメラ装置の評価結果となります。



図1.1 実大トンネルでの画像計測の様子

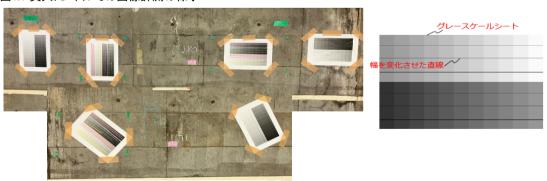


図1.2 実大トンネルに貼り付けられた直線有りグレースケールシート(左)とイメージ図(右)



図1.3 実大トンネル設置された 煤を模倣した供試体(表面のみ炭付着)

試験方法(手順)

技術番号

TN010007-V0323

- ① 図1.2・図1.3にある直線有りグレースケールシート(縦・横・斜め)及び煤を模倣した供試体をトンネルに設置する。
- ② 計測車両で走行しながら計測し、撮影画像を合成して展開画像を作成する。
- ③ 展開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5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。
- ④ 展開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



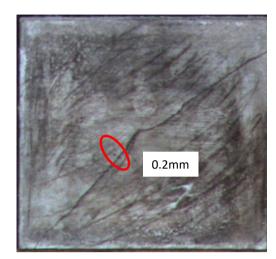
比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

_

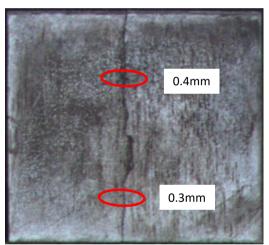
1.覆工表面が煤で汚れた状態のひび割れの検出可否結果(試験方法③)

1.1 正解画像(デジカメ)(左側) と計測画像(右側)の比較

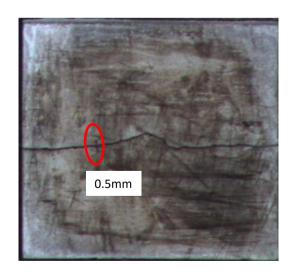


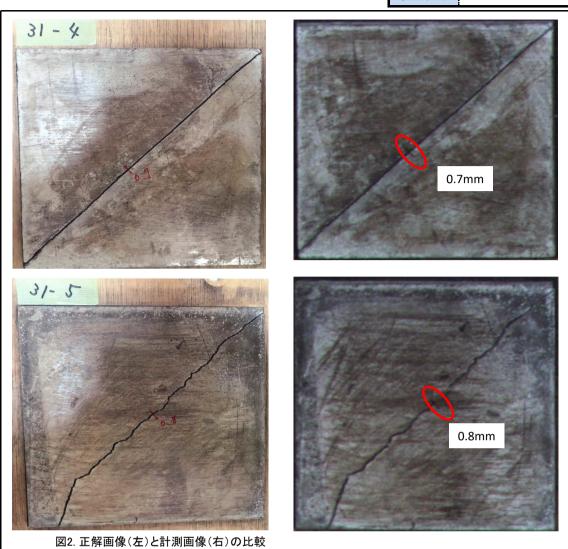












1.2 覆工表面が煤で汚れた状態のひび割れ検出結果

1.1より、幅0.2mm、0.3mm、0.5mm(2箇所)、0.7mm、0.8mm 全て識別可能

2.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)

2.1 直線有りグレースケールシートの仕様

本試験でのチャートの仕様を図3に記載する。

図3に示す通り、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。

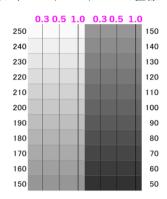


図3. グレースケールシートの仕様説明

2.2 計測画像

図4.1-4.3に「計測画像」及び「輝度50-70の箇所を判別しやすいように輝度補正と拡大処理したもの」を示す。

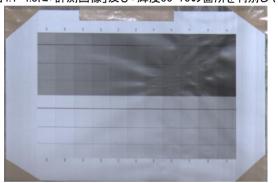
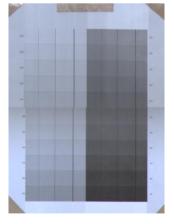
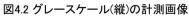


図4.1.1 グレースケール(横)の計測画像

†測画像 図4.1.2 図4.1.1の低輝度部拡大画像(輝度補正有)





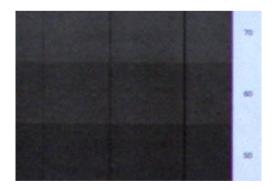
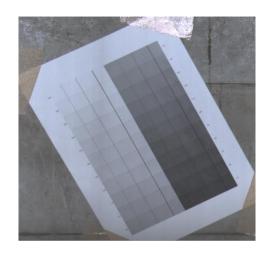


図4.2.2 図4.2.1の低輝度部拡大画像(輝度補正有)



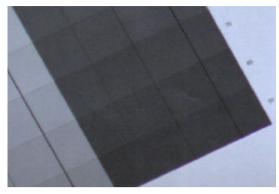


図4.3.1 グレースケール(斜め)の計測画像

図4.3.2 図4.3.1の低輝度部拡大画像(輝度補正有)

2.3 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

2.2より、直線の幅0.3mm、0.5mm、1.0mm 全て輝度50以上で識別可能 ただし、低輝度部ではモニタの明るさなどの閲覧環境に依存するため、輝度補正を実施を推奨。

3. 性能を確保する条件を以下に列挙する。

上限速度:40km/h-60km/h程度(試験時40km/h)

標準的な断面サイズ

計測精度[3]煤で埋まったひ び割れ

技術番号

TN010007-V0323

対象構造物の概要

本確認シートはカラー機能の評価結果となります。



図1.1 実大トンネルでの画像計測の様子



図1.2 実大トンネルに設置された煤により埋まったひび割れ供試体

試験方法(手順) 技術番号

① 図1.2の煤により埋まったひび割れ供試体をトンネルに設置する。

② 計測車両で走行しながら計測し、撮影画像を合成して展開画像を作成する。

③ 展開画像のうちひび割れ供試体を切り抜き、ひび割れ幅の異なる3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。

TN010007-V0323

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

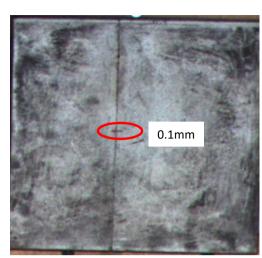
_

技術番号

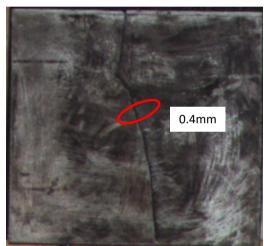
TN010007-V0323

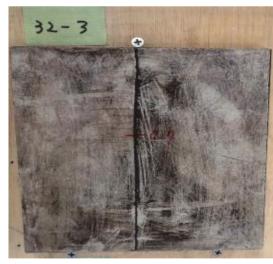
1.覆工表面が煤で汚れた状態のひび割れの検出可否結果(試験方法③)











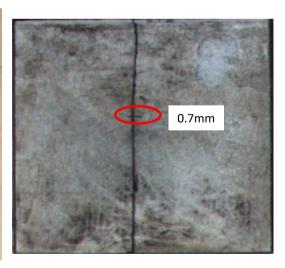


図2. 正解画像(左)と計測画像(右)の比較

1.2 煤で埋まったひび割れの検出可否結果	
1.1より、幅0.1mm、0.4mm、0.7mm 全て識別可能	
2. 性能を確保する条件を以下に列挙する。	
上限速度:40km/h-60km/h程度(試験時40km/h)	
標準的な断面サイズ	

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

技術番号

TN010007-V0323

対象構造物の概要

本確認シートはカラー機能の評価結果となります。



図1.1 実大トンネルでの画像計測の様子

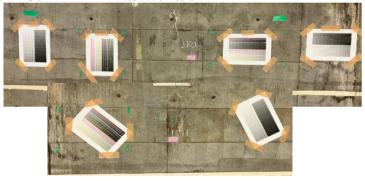




図1.2 実大トンネルに貼り付けられたマーキング有りグレースケールシート(左)とイメージ図(右)





図1.3 実大トンネルに設置されたマーキング有りコンクリート

試験方法(手順)

技術番号

TN010007-V0323

- ② 1.2・図1.3にあるマーキング有りグレースケールシート(縦・横・斜め)及びマーキング有りコンクリートをトンネルに設置する。
- ② 計測車両で走行しながら計測し、撮影画像を合成して展開画像を作成する。
- ③ 展開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。
- ④ 展開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



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

_

技術番号

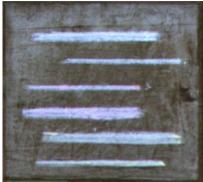
TN010007-V0323

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)

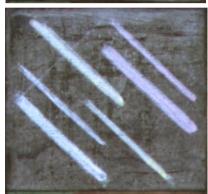
1.1 正解画像(デジカメ)(左側) と計測画像(右側)の比較

マーキングの幅は、5mmと10mmである。

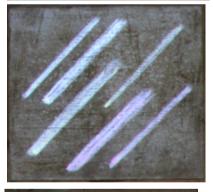




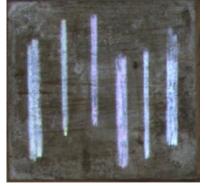


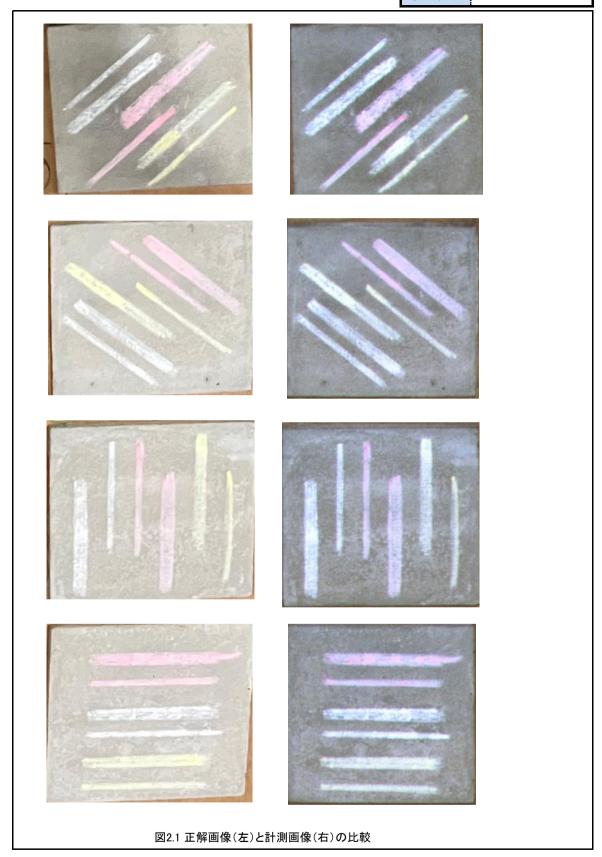












1.2 コンクリート上のマーキングの検出可否結果

検出結果を表1に示す。全てのパターンで検出可能である。

表1. コンクリート上のマーキングの検出可否結果

マーキン	ング色・幅	マーキングの向き					
色	幅[mm]	水平	垂直	45°			
白	5	0	0	0			
	10	0	0	0			
黄	5	0	0	0			
典	10	0	0	0			
ピンク	5	0	0	0			
	10	0	0	0			

2.グレースケールシート上のマーキングが検出可能な輝度の結果(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

本試験でのチャートの仕様を図3に示す。

図3に示す通り、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。

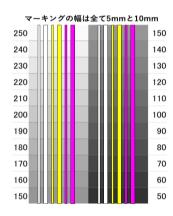
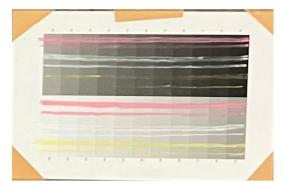


図3. グレースケールシートの仕様説明

2.2計測画像

図4.1-4.3に正解画像(デジカメ)とマーキング有りのグレースケールシートを示す。



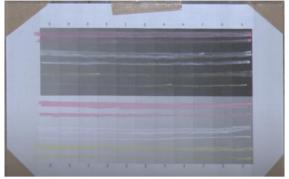


図4.1 マーキング有りグレースケールシート(横)の正解画像(左)、計測画像(右)



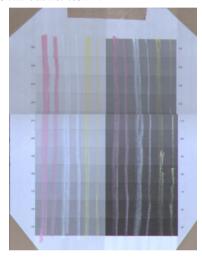


図4.2 マーキング有りグレースケールシート(縦)の正解画像(左)、計測画像(右)



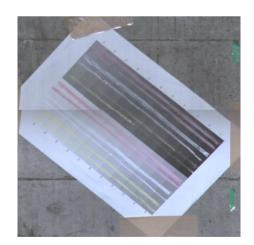


図4.3 マーキング有りグレースケールシート(斜め)の正解画像(左)、計測画像(右)

2.3 グレースケールシート上のマーキングが検出可能な輝度結果

2.2より、検出結果を表2に示す。全てのパターンで全輝度検出可能である。

表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

マーキン	/グ色・幅	₹-	マーキングの向き				
色	幅[mm]	水平	垂直	45°			
	5	全輝度	全輝度	全輝度			
白	J	(250以下)	(250以下)	(250以下)			
	10	全輝度	全輝度	全輝度			
	10	(250以下)	(250以下)	(250以下)			
	5	全輝度	全輝度	全輝度			
黄	5	(250以下)	(250以下)	(250以下)			
典	10	全輝度	全輝度	全輝度			
	10	(250以下)	(250以下)	(250以下)			
	5	全輝度	全輝度	全輝度			
ピンク	5	(250以下)	(250以下)	(250以下)			
	10	全輝度	全輝度	全輝度			
	10	(250以下)	(250以下)	(250以下)			

3. 性能を確保する条件を以下に列挙する。

上限速度:60km/h (試験時40km/h)

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

技術番号

TN010007-V0323

対象構造物の概要

本確認シートはカラー機能の評価結果となります。



図1.1 実大トンネルでの画像計測の様子

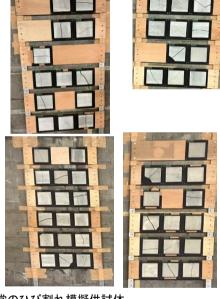


図1.2 通常のひび割れ模擬供試体

試験方法(手順)		技術番号	TN010007-V0323
----------	--	------	----------------

- ① 図1.2の通常のひび割れ供試体をトンネルに設置する。
- ② 計測車両で走行しながら計測し、撮影画像を合成して展開画像を作成する。
- ③ 展開画像のうちひび割れ供試体を切り抜き、目視で判別可能な最小のひび割れを算出する。
- ④ ③で算出した全ひび割れ模擬供試体に対して、ひび割れ幅を計測し二乗平均平方根誤差(RMSE)を求める。

開発者による計測機器の設置状況



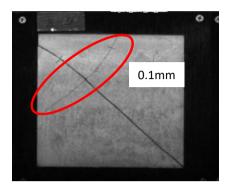
比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

_

1.最小ひび割れ幅

図1.3~図1.5にひび割れ模擬供試体の計測画像を示す。

(ただし、縮小してPDFの圧縮もかかるため実際の画質よりも裂開していることに注意)



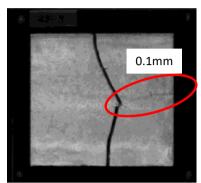
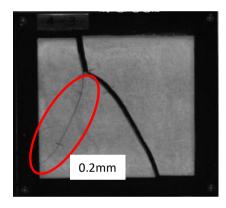
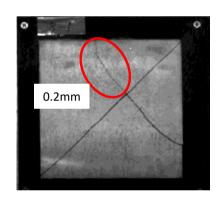
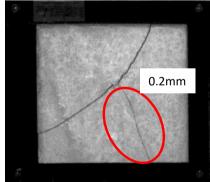
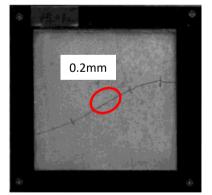


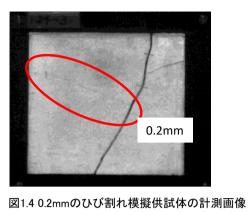
図1.3 0.1mmのひび割れ模擬供試体の計測画像

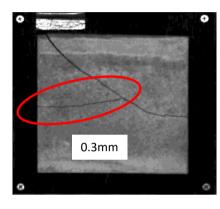


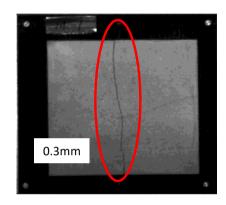


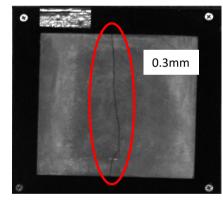


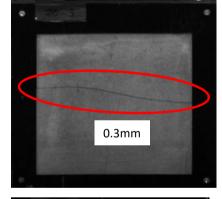


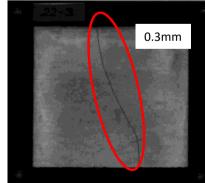


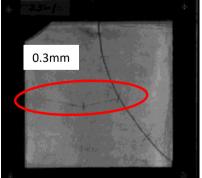












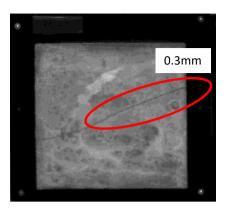


図1.5 0.3mmのひび割れ模擬供試体の計測画像

図1.3~1.5より、最小ひび割れ幅は0.1mmまで識別可能である。

2.最小ひび割れ幅の計測精度

0.1mm~0.3mmまで二乗平均平方根誤差(RMSE)を表1に示す。

アトアド生川-わ 市戸	ひび割れ模擬	び割れ模擬 幅計測結果		担羊の2乗	RMSE	
ひび割れ幅	供試体ID	計測結果	誤差	誤差の2乗	RIVISE	
0.1	8-2	0.2	0.1	0.01	0.07071	
0.1	23-3	0.1	0	0	0.07071	
	4-3	0.4	0.2	0.04		
	8-1	0.4	0.2	0.04		
0.2	11-2	0.1	-0.1	0.01	0.16125	
	15-1	0.4	0.2	0.04		
	24-3	0.2	0	0		
	7-2	0.4	0.1	0.01		
	14-1	0.4	0.1	0.01		
	19-3	0.6	0.3	0.09		
0.3	20-3	0.4	0.1	0.01	0.18127	
	22-3	0.4	0.1	0.01		
	23-1	0.6	0.3	0.09		
	30-1	0.4	0.1	0.01		

3. 性能を確保する条件

0.3mm幅のひび割れを識別する際の性能を確保する条件は以下となる。

- ・上限速度: 時速40~60km/h程度(試験時は40km/h)
- ・標準的な断面サイズ
- ・煤やコケが著しく付着している箇所は対象外

試験で確認する カタログ項目

長さ精度・位置精度

技術番号

TN010007-V0323

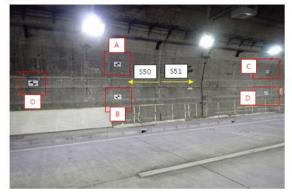
対象構造物の概要

本確認シートはカラー機能の評価結果となります。

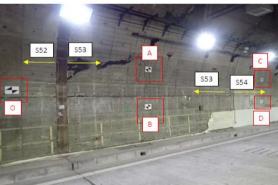


図1.1 実大トンネルでの画像計測の様子

S50-S51



S52-S54



S56-S57

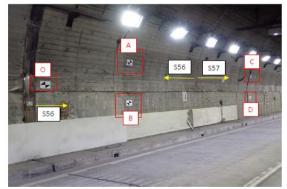


図1.2 長さ精度・位置精度計測用マーカー

			_		
=_+	F-C	_	·+	(手	ᄪᆂᄼ
=+1	世由	-	`	-	111111111
ᇝ	一一	//	14		川兄 /

技術番号

TN010007-V0323

- (1) トンネルの壁面4か所に目印となるマーカーを設置し、正解値を得るためにマーカー間の距離を計測する。
- ② 計測車両により、走行撮影を行う。
- ③ 撮影画像を所定の縦横スケールに修正したトンネル展開画像を作成する。
- (mm/pix)を掛け合わせることで実寸を算出) 展開画像から4か所のマーカー間の縦断・横断方向の距離を求める。(画素数で算出し、所定のスケール (mm/pix)を掛け合わせることで実寸を算出)
- ⑤ 4で求めたマーカー間の距離と①で求めた実測値との誤差率を平均したもの(長さ計測精度)を算出する。
- ⑥ ④で求めたマーカー間の距離と①で求めた実測値との差の絶対値を平均したもの(位置精度)を算出する。

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

_

技術番号

TN010007-V0323

1.覆エマーカーによる計測結果

計測結果を表1.1~1.2に示す。

表1.1 マーカー間の距離の比較と誤差率

スパン	測定部位	実測値[m] (A)	画像による 計測値[m] (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率[%] abs(C)/(A)x100
	AB	1.5400	1.5460	-0.0060	0.39
S050-S051	CD	1.5360	1.5324	0.0036	0.23
3030-3031	AC	9.8560	9.8597	-0.0037	0.04
	BD	9.8550	9.8589	-0.0039	0.04
	AB	1.5420	1.5420	0.0000	0.00
S052-S054	CD	1.5080	1.5224	-0.0144	0.96
3052-3054	AC	8.6020	8.5972	0.0048	0.06
	BD	8.6010	8.6020	-0.0010	0.01
	AB	1.5320	1.5408	-0.0088	0.58
S056-S057	CD	1.5170	1.5280	-0.0110	0.73
3030-3037	AC	11.7850	11.8260	-0.0410	0.35
	BD	11.7820	11.8132	-0.0312	0.26

表1.2 マーカー間の水平距離/垂直距離の差分

スパン	測定部位	実測値[m] (A)		画像に 計測値[差分[m](絶対値) (A)-(B)		
		水平距離	鉛直距離	水平距離	鉛直距離	水平距離	鉛直距離	
	OA	3.1230	0.8990	3.1336	0.9072	0.0106	0.0082	
S050-S051	OB	3.1240	0.6370	3.1440	0.6388	0.0200	0.0018	
3030-3031	oc	12.9780	0.8990	12.9932	0.8620	0.0152	0.0370	
OD		12.9790	0.6330	13.0028	0.6704	0.0238	0.0374	
	OA	4.2840	0.9100	4.2780	0.9208	0.0060	0.0108	
S052-S054	OB	4.2790	0.6280	4.2800	0.6212	0.0010	0.0068	
3052-3054	oc	12.8850	0.8940	12.8752	0.9232	0.0098	0.0292	
	OD	12.8800	0.6100	12.8820	0.5992	0.0020	0.0108	
	OA	3.2060	0.9030	3.1888	0.9060	0.0172	0.0030	
S056-S057	OB	3.2080	0.6250	3.2008	0.6348	0.0072	0.0098	
3030-3037	OC	14.9900	0.8950	15.0148	0.9012	0.0248	0.0062	
	OD	14.9900	0.6180	15.0140	0.6268	0.0240	0.0088	

2. 長さ計測精度(平均誤差率)

表1.1の誤差率を平均し、長さ計測精度を求める。

長さ計測誤差 [%]	0.30
(平均誤差率)	0.50

3. 位置計測精度

以下の算出式により、進行方向・周方向の位置誤差を算出する

位置精度(進行方向)=各長さ(水平距離)の差の絶対値の合計÷各長さの個数 【単位:mm】

位置精度(周方向)=各長さ(鉛直距離)の差の絶対値の合計÷各長さの個数 【単位:mm】

位置精度	進行方向[mm]	周方向[mm]
四直稍及	13.5	14.2

4. 性能を確保する条件

・上限速度:時速40~60km/h程度(試験時は40km/h程度)

•被写体との距離:1.0m-7.5m

試験で確認する カタログ項目

色識別性能(カラー)

技術番号

TN010007-V0323

対象構造物の概要

本確認シートはカラー機能の評価結果となります。



図1.1 実大トンネルでの画像計測の様子



図1.2 実大トンネルに設置されていたカラーチャート

試験方法(手順) 技術番号 TN010007-V0323

① トンネルの覆工部に図1.2のカラーチャートを貼り付ける。(2か所)

② 計測車両により走行撮影を行う。

③ 撮影された画像からカラーチャートを切り出し、各見本色と撮影画像を3人の技術者が目視確認し、識別の可否を検証する。

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

_

試験結果の比較

技術番号

TN010007-V0323

1.覆エマーカーによる計測結果

計測結果を図1.1、1.2に示す。



図1.1 S052に設置されているカラーチャートの計測画像



図1.2 S054に設置されているカラーチャートの計測画像

図1.1・図1.2ともに全ての色調が識別可能であると判断できた。

- 2. 性能を確保する条件
 - ・上限速度:時速40~60km/h程度(試験時は40km/h程度)
 - ・被写体との距離:1.0m-7.5m

技術番号 TN010008-V0423 三井E&Sマシナリー 技術名 トンネル覆工表面撮影システム 開発者名 トノックス 2018年 6 月 29 日 試験日 天候 気温 °С 風速 $\,\mathrm{m/s}$ 試験場所 神奈川県内 社内試験 カタログ カタログ分類画像計測技術 検出項目 ひび割れ 試験区分 現場試験

試験で確認する 撮影速度 撮影速度

対象構造物の概要

・神奈川県内 上下1車線の道路トンネル

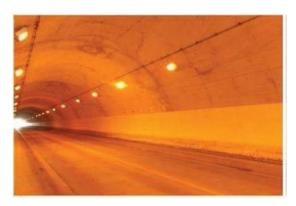


写真1 検証トンネル

試験方法(手順)

- ① 撮影装置を40度(トンネル側壁部撮影状態)にセット。
- ② 走行方向の計測ピッチを80km/h以上の走行を模擬するため、通常の1/2.5に設定。
- ③ 対象トンネルの法定速度(40km/h)内で撮影走行。(計測ピッチが1/2.5のため実質100km/h相当)
- 4 トンネル壁面が再現できる画像が取得できることを確認する。

開発者による計測機器の設置状況

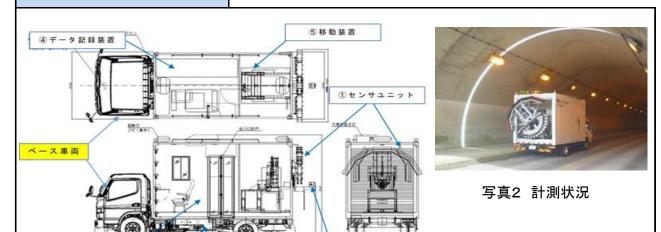


図2 計測機器(検査車)構成

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

計測ユニット

計測結果の比較

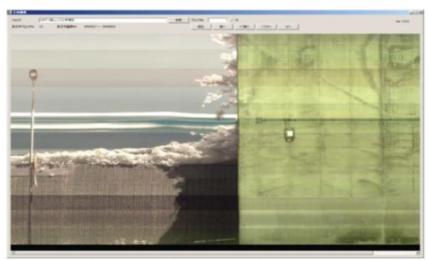
- ①性能(精度・信頼性)を確保するための条件
- ・被写体(トンネル覆工面)までの距離が、車体中心から2.5m以上-7.5m以下であること
- ・舗装路面であること(悪路不可)
- ・湿度が異常に高くトンネル内が曇っている場合は、撮影不可
- ・トンネル坑口に10,000LUX以上の太陽光が直射している場合は撮影不可(白飛びの可能性有)
- ・覆工面に結露、汚れ(ひび割れが目視できない)がない事。

②本試験時の条件

・計測(撮影)速度 : 30~40km/h (規制無し) ・被写体との距離 : 車体中心から約3.5m

【検証結果】

- ・検証に使用したトンネルの法定速度が40km/hのため、計測ピッチを変更して検証した。
- ・実業務での進行方向ピッチ0.5mm →検証用0.2mmに変更(1/2.5に設定)
- ・今回の計測速度30~40km/h →ピッチを1/2.5としているため、実質、75~100km/h相当で計測したことになる。
- ・検証の結果、撮影画像への影響はなく、80km/h以上での0.2mmひび割れ撮影性能があることを確認した。



トンネル撮影画像(風景→坑口部)



トンネル撮影画像(クラック)



トンネル撮影画像(クラックサンプル)

計測結果1 実トンネル検証結果

技術番号 TN010008-V0423 三井E&Sマシナリー 技術名 トンネル覆工表面撮影システム 開発者名 トノックス 試験日 2018年 11 月 5 日 天候 気温 °C 風速 $\,\mathrm{m/s}$ 試験場所 新潟県柏崎市 標準試験 カタログ分類画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 試験区分 現場試験

試験で確認する カタログ項目

撮影速度

対象構造物の概要

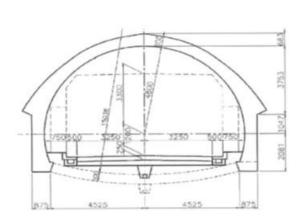


図1 Bトンネル 標準断面図



写真1 Bトンネル 外観

試験方法(手順)

- ① 対象トンネルの法定速度内で撮影走行を行い、追従車にて速度を確認する。
- ② トンネル壁面が再現できる画像が取得できることを検証する。

開発者による計測機器の設置状況

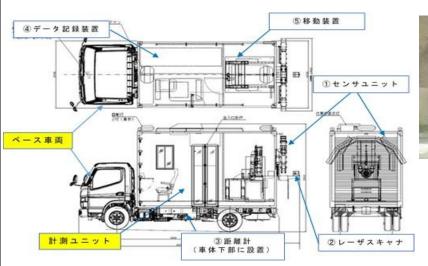




写真2 計測状況

図2 計測機器(検査車)構成

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

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

- ・被写体(トンネル覆工面)までの距離が、車体中心から2.5m以上-7.5m以下であること
- ・舗装路面であること(悪路不可) ・湿度が異常に高くトンネル内が曇っている場合は、撮影不可
- ・トンネル坑口に10,000LUX以上の太陽光が直射している場合は撮影不可(白飛びの可能性有)
- ・覆工面に結露、汚れ(ひび割れが目視できない)がない事。

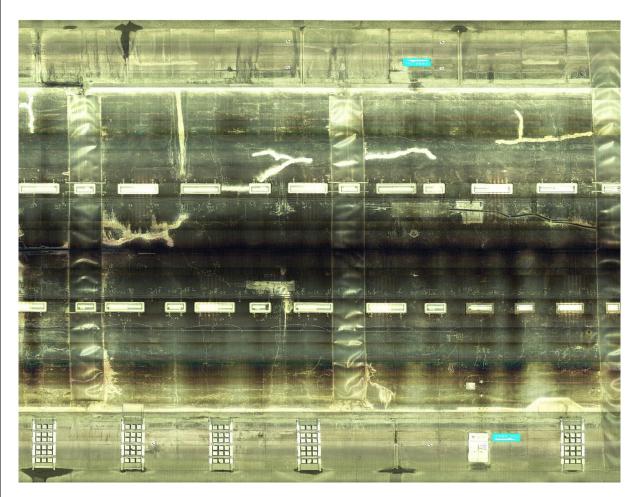
②本試験時の条件

・計測(撮影)速度 : 30~40km/h (規制無し) ・被写体との距離 : 車体中心から約3.5m

・被写体 : トンネル壁面

【検証結果】

・法定速度内(30~40km/h)にて走行計測し、画像取得できることを確認した。



計測結果1 Bトンネルスパン6~7 撮影画像

技術番号	TN010008-V0423								
技術名	トンネル覆工表面撮影シ	ノステム			開発者名		‡E&Sマシックス	ナリー	
試験日	2018年 11月5日	天候	_	気温	—	°C	風速	<u> </u>	m/s
試験場所 新潟県柏崎市									
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひで	び割れ		試験		 準試験 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

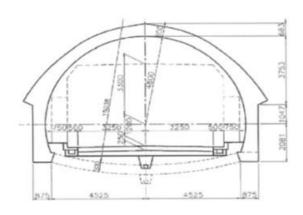


図1 Bトンネル 標準断面図



写真1 Bトンネル 外観

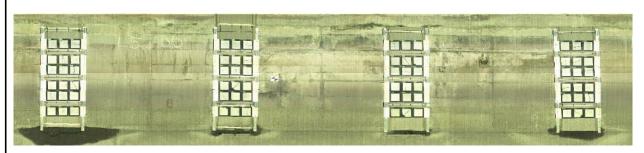


写真2 供試体(Span5~6設置)



写真3 供試体(Span7設置)

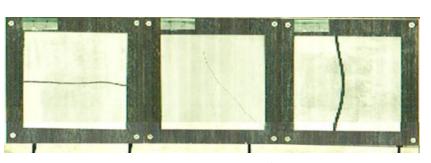


写真4 供試体(拡大画像)

試験方法(手順)

- ① トンネル側面に幅0.1~3mmのひび割れを模した供試体を設置する。(写真2~4参照)
- ② トンネル覆工表面撮影車により、走行撮影を行い、展開画像を作成する。
- ③ 撮影画像より、検出可能なひび割れ幅を判定する。(最小ひび割れ幅)
- ④ 各供試体のひび割れ幅と計測(撮影)結果の誤差を判定する。(計測精度)

開発者による計測機器の設置状況

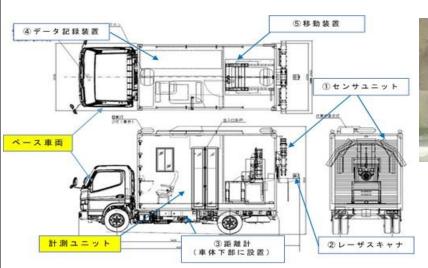




写真5 計測状況

図2 計測機器(検査車)構成

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

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

- ・被写体(トンネル覆工面)までの距離が、車体中心から2.5m以上-7.5m以下であること
- ・舗装路面であること(悪路不可)
- ・湿度が異常に高くトンネル内が曇っている場合は、撮影不可
- ・トンネル坑口に10,000LUX以上の太陽光が直射している場合は撮影不可(白飛びの可能性有)
- ・覆工面に結露、汚れ(ひび割れが目視できない)がない事。

②本試験時の条件

計測(撮影)速度 : 30~40km/h (規制無し)被写体との距離 : 車体中心から約3.5m被写体 : クラック供試体 5体 (写真2~4参照)

【検証結果】

表1 ひび割れ供試体撮影画像 読み取り結果(抜粋)

ひび割れ幅		計測結果	(mm)	/ # **			
幅(mm)	畐(mm) パネルNo.		読取り結果	誤差	備考		
0.1	8	-	2	2	0.2	0.1	ひび割れサンプルとの比較読み取り
0.1	12	-	1	2	0.2	0.1	ひび割れサンプルとの比較読み取り
	1	-	1		0	-0.2	読み取り不可
	3	-	2	2	0.3	0.1	ひび割れサンプルとの比較読み取り
0.2	11	-	2	2	0.2	0.0	ひび割れサンプルとの比較読み取り
0.2	13	-	2		0.2	0.0	ひび割れサンプルとの比較読み取り
	23	-	3	3	0.2	0.0	ひび割れサンプルとの比較読み取り
	24	-	3	2	0.3	0.1	ひび割れサンプルとの比較読み取り
	2	-	1		0.2	-0.1	ひび割れサンプルとの比較読み取り
	4	-	3	2	0.2	-0.1	ひび割れサンプルとの比較読み取り
	9	-	3		0.3	0.0	ひび割れサンプルとの比較読み取り
	12	-	1	1	0.2	-0.1	ひび割れサンプルとの比較読み取り
0.3	14	-	1		0.3	0.0	ひび割れサンプルとの比較読み取り
0.3	14	-	2	2	0.3	0.0	ひび割れサンプルとの比較読み取り
	20	-	3		0.3	0.0	ひび割れサンプルとの比較読み取り
	23	-	1	2	0.2	-0.1	ひび割れサンプルとの比較読み取り
	25	-	1	2	0.3	0.0	ひび割れサンプルとの比較読み取り
	30	-	1		0.3	0.0	ひび割れサンプルとの比較読み取り

最小ひび割れ幅	
(読取分解能)	0.2
(mm)	
検出精度E(mm)	0.1

※検出精度E:2乗平均誤差

$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}}$$

但し、x1~x1:ひび割れ測定結果

(最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

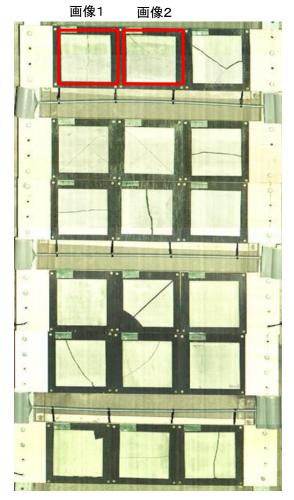
a:ひび割れ幅(真値)

n:データ数

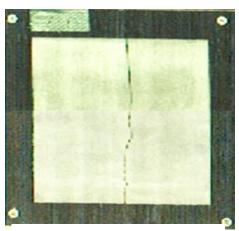
(最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

計測結果の比較

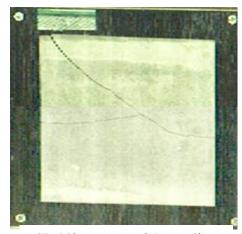
【検証結果】



供試体(Span6)全体画像



供試体(Span6)パネル画像1



供試体(Span6)パネル画像2

図3 撮影結果(参考) 供試体(Span6)画像

技術番号	TN010008 - V0423								
技術名	トンネル覆工表面撮影ジ	ノステム			開発者名	ュ 三きトノ	‡E&Sマシ ックス	/ナリー	
試験日	2018年 6 月 29 日	天候	_	気温	-	°C	風速	_	m/s
試験場所 神奈川県内									
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目の	び割れ		試験フ	ェーズ 社 現	内試験 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



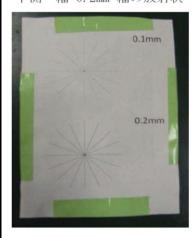


写真1 検証トンネル写真

写真2 サンプル設置状況

サンプル1

上側 幅 0.1mm 幅の放射状 下側 幅 0.2mm 幅の放射状



サンプル2

上側 幅 0.3mm 幅の放射状 下側 幅 0.5mm 幅の放射状

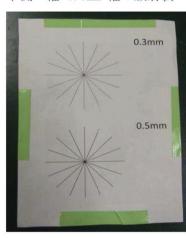
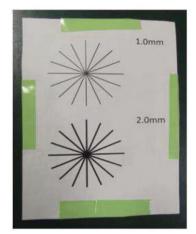


写真3 ひび割れサンプル

サンプル3

上側 幅 1.0mm 幅の放射状 下側 幅 2.0mm 幅の放射状



試験方法(手順)

- ① トンネル側面に幅0.1~2mmのひび割れを模した放射状線分を印刷した用紙を貼り付け。
- ② トンネル覆工表面撮影車により、走行撮影を行い、展開画像を作成する。
- ③ 撮影画像より、検出可能なひび割れ幅を判定する。(最小ひび割れ幅)

開発者による計測機器の設置状況

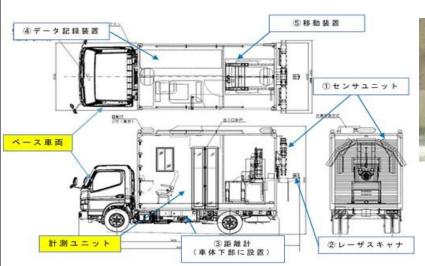




写真4 計測状況

図1 計測機器(検査車)構成

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

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

- ・被写体(トンネル覆工面)までの距離が、車体中心から2.5m以上-7.5m以下であること
- ・舗装路面であること(悪路不可)
- ・湿度が異常に高くトンネル内が曇っている場合は、撮影不可
- ・トンネル坑口に10,000LUX以上の太陽光が直射している場合は撮影不可(白飛びの可能性有)
- ・覆工面に結露、汚れ(ひび割れが目視できない)がない事。

②本試験時の条件

・計測(撮影)速度 : 30~40km/h (規制無し) ・被写体との距離 : 車体中心から約3.5m

・被写体 : サンプル (写真3参照)

【検証結果】

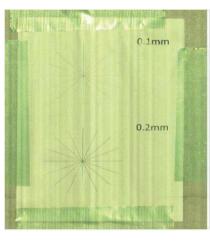
表1 ひび割れサンプル撮影画像 読み取り結果(上り線)

	ひび割れ幅		計測結果(mm)		備考	
幅(mm)	パネルNo.		読取り結果	誤差	1用	
0.1	_	1	0.1	1	撮影画像確認	
0.2	_	ı	0.2	1	撮影画像確認	
0.3	_	ı	0.3	1	撮影画像確認	
0.5	_	ı	0.6	1	撮影画像確認	
1.0	_	ı	1	1	撮影画像確認	
2.0	_	_	2	_	撮影画像確認	

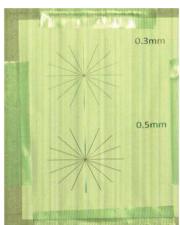
最小ひび割れ幅	
(読取分解能)	0.1
(mm)	
検出精度E(mm)	_

※読取り結果:撮影画像による検知確認のみ

0.1mm • 0.2mm



0.3mm • 0.5mm



1.0mm • 2.0mm

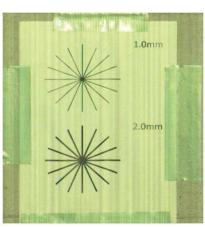


図2 撮影計測結果(参考) ひび割れサンプル

TN010008 - V0423 技術番号 立会者 施工技術総合研究所 三井E&Sマシナリー 技術名 開発者名 トンネル覆工表面撮影システム トノックス 試験日 2022年 4 月 19 日 気温 °C 風速 天候 晴れ m/s 試験場所 施工技術総合研究所 / 模擬トンネル 構造物名 トンネル カタログ分類 画像計測技術 試験フェーズ標準試験 カタログ 検出項目 ひび割れ

※試験で複数のカタログ項目の確認を行う場合、これ以降の各事項をカタログ項目ごとに記載すること

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

※対象構造物の一般図、全体写真、計測対象となる部位・部材の写真を記載すること



試験対象構造物 (煤等により埋まった状態)

写真1 供試体(ひび割れモデル)

















写真2 供試体(拡大)

試験方法(手順)

- ① 幅0.1~0.8mmのひび割れを模した供試体を設置する。(写真1~2参照)
- ② トンネル覆工表面撮影車により、走行撮影を行い撮影画像を出力する。
- ③ 撮影画像より、各ひび割れ幅が検出可能かを確認する。

開発者による計測機器の設置状況

※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと

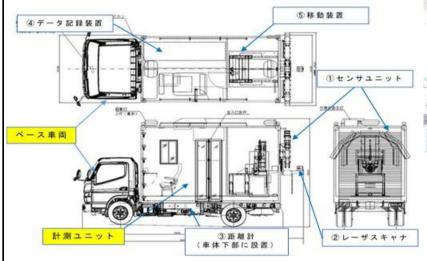




写真3 計測状況

図1 計測機器(検査車)構成

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと

※開発者による計測データと立会者による計測データの比較を記載すること

※計測原理に照らし、①性能(精度・信頼性)を確保するための条件、②本試験時の条件を漏れなく記載すること

- ①性能(精度・信頼性)を確保するための条件
- ・被写体(トンネル覆工面)までの距離が、車体中心から2.5m以上-7.5m以下であること
- ・舗装路面であること(悪路不可)
- ・湿度が異常に高くトンネル内が曇っている場合は、撮影不可
- ・トンネル坑口に10,000LUX以上の太陽光が直射している場合は撮影不可(白飛びの可能性有)
- ・覆工面に結露がない事。

②本試験時の条件

•計測(撮影)速度

: 5~10km/h : 車体中心から約3.5m ・被写体との距離

•被写体 : 供試体

【検証結果】

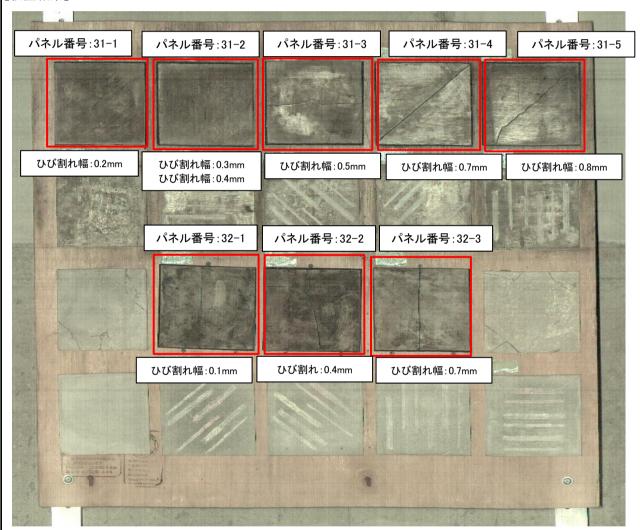
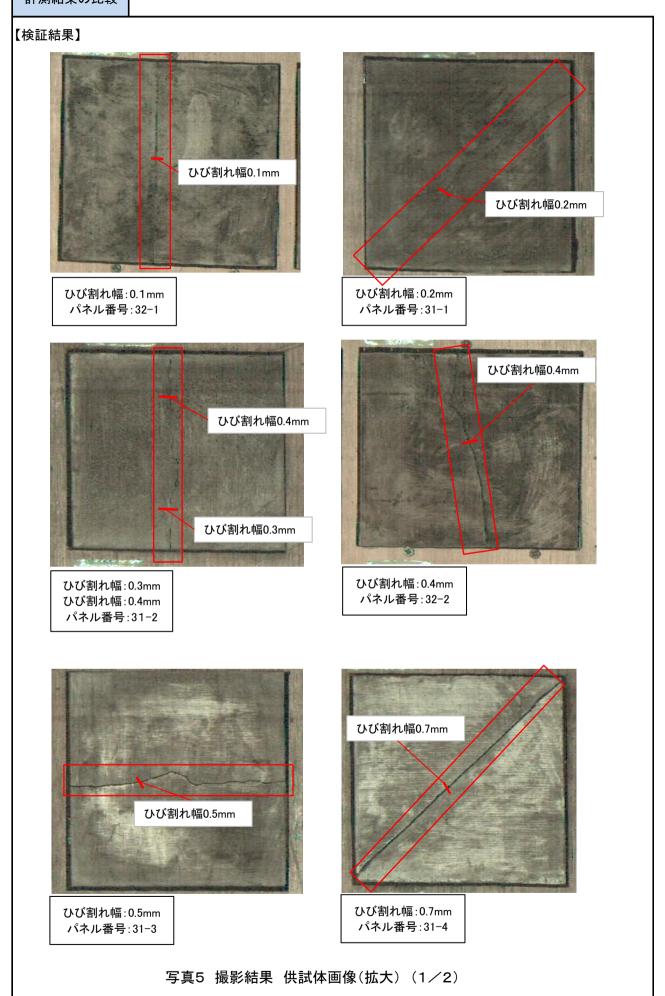
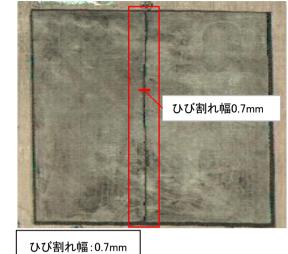


写真4 撮影結果 供試体全体画像



【検証結果】



ひび割れ幅0.8mm ひび割れ幅:0.8mm

パネル番号:32-3

パネル番号:31-5

写真5 撮影結果 供試体画像(拡大) (2/2)

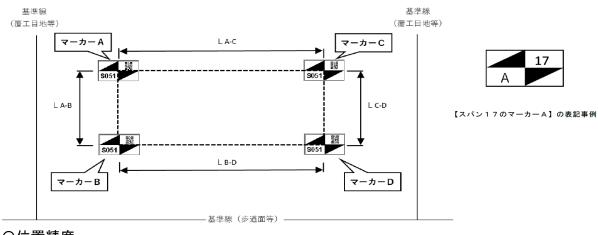
技術番号 TN010008-V0423 三井E&Sマシナリー 技術名 トンネル覆工表面撮影システム 開発者名 トノックス 気温 °C 風速 $\,\mathrm{m/s}$ 試験日 2018年 11 月 5 日 天候 新潟県柏崎市 試験場所 神奈川県相模原市緑区青山 標準試験 カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 試験区分 現場試験

試験で確認する 長さ計測精度(相対誤差) カタログ項目 位置精度

対象構造物の概要

複数の撮影画像を合成して作成した覆工画像について、長さの精度を評価する。 図1に示すマーカーの2点間距離について、撮影結果からの読み取り値と実測値を比較検証する。

○長さ計測精度



○位置精度

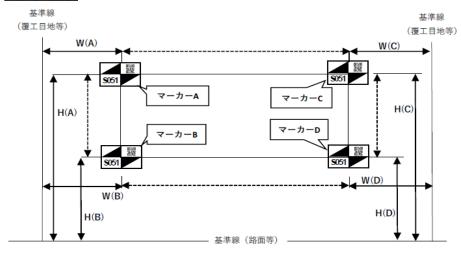
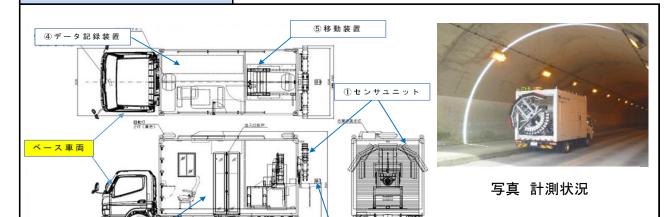


図1 マーカー設置パターンと計測箇所

試験方法(手順)

- ① トンネル壁面の4箇所に、目印となるマーカーを設置する。(図1参照)
- ② トンネル覆工表面撮影車により、走行撮影を行い、展開画像を作成する。
- ③ トンネル展開画像から、4箇所のマーカー間距離を求める。
- ④ ③で求められたマーカー間の距離と設置場所の実測値との誤差を算出し検証する。

開発者による計測機器の設置状況



②レーザスキャナ

図2 計測機器(検査車)構成

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

計測ユニット

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

- ・被写体(トンネル覆工面)までの距離が、車体中心から2.5m以上-7.5m以下であること
- ・舗装路面であること(悪路不可)
- ・湿度が異常に高くトンネル内が曇っている場合は、撮影不可
- ・トンネル坑口に10,000LUX以上の太陽光が直射している場合は撮影不可(白飛びの可能性有)
- ・覆工面に結露、汚れ(ひび割れが目視できない)がない事。

②本試験時の条件

・計測(撮影)速度 : 30~40km/h (規制無し) ・被写体との距離 : 車体中心から約3.5m

被写体 : トンネルマーカー (図1)

【検証結果1】Bンネル、Yトンネル

① Bトンネル S006~S007間

(1)【山側】····2点のみ設置 ([長辺L]L=9.50m)

単位(m)

测学软件	実測値	画像による計測値	差	誤差率	
測定部位	(A)	(B)	(C)=(A)-(B)	(D)=(C)/(A)	
長辺 L	9.50	9.484	0.016	0.17%	

(2)【海側】····4点設置 ([長辺L]L=5.30m、 [短辺L]L=1.00m)

単位(m)

測定部位	実測値	画像による計測値	差	誤差率	
別た可以	(A)	(B)	(C)=(A)-(B)	(D)=(C)/(A)	
長辺L(上側)	5.30	5.281	0.019	0.36%	
長辺L(下側)	5.30	5.282	0.018	0.34%	
短辺L(S006側)	1.00	1.028	-0.028	2.80%	
短辺L(S007側)	1.00	1.026	-0.026	2.60%	

② Yトンネル S51~S52間

(1)【山側】・・・・設置せず。(理由:歩道が無く、撤去時にその側壁部へ行くことが危険だったため。)

(2)【海側】····4点設置 ([長辺L]L=10.00m、 [短辺L]L=1.00m)

単位(m)

測定部位	実測値	画像による計測値	差	誤差率	
测定部位	(A)	(B)	(C)=(A)-(B)	(D)=(C)/(A)	
長辺L (上側)	10.00	9.974	0.026	0.26%	
長辺L (下側)	10.00	9.979	0.021	0.21%	
短辺L (S051側)	1.00	1.005	-0.005	0.50%	
短辺L (S052側)	1.00	0.984	0.016	1.60%	

③ 平均誤差率、位置精度

位置精度 ※(横:X)=各長さ(長辺)の合計値÷各長さ(長辺)の個数

	位置精度(縦:Y)	位置精度(横: X)	平均誤差率
位置#	18.8	20.0	0.98%

位置精度単位(mm)

誤差率

平均誤差率	位置精度(横: X)	位置精度(縦:Y)
0.98%	0.27%	1.88%

【検証結果2】Aトンネル

① Aトンネル S007、S017、S033

(1)【S007】 単位(m)

測定部位	実測値 (A)	画像による 計測値 (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	
L A-B	1.547	1.550	-0.003	0.19%	
L C-D	1.557	1.575	-0.018	1.16%	
L A-C	4.430	4.456	-0.026	0.59%	
L B-D	4.442	4.445	-0.003	0.07%	

(2)【S017】 単位(m)

測定部位	実測値 (A)	画像による 計測値 (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	
L A-B	1.473	1.475	-0.002	0.14%	
L C-D	1.469	1.483	-0.014	0.95%	
L A-C	8.987	9.060	-0.073	0.81%	
L B-D	8.987	9.070	-0.083	0.92%	

(3)【S033】 単位(m)

測定部位	実測値 (A)	画像による 計測値 (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	
L A-B	1.459	1.474	-0.015	1.03%	
L C-D	1.500	1.496	0.004	0.27%	
L A-C	9.150	9.128	0.022	0.24%	
L B-D	9.158	9.136	0.022	0.24%	

③ 平均誤差率、位置精度

位置精度

平均誤差率(全体)	位置精度(横: X)	位置精度(縦:Y)
0.55%	38.2	9.3

位置精度単位(mm)

平均誤差率

平均誤差率(全体)	位置精度(横: X)	位置精度(縦: Y)
0.55%	0.48%	0.62%

%「縦:Y」:トンネル"横断"方向の計測値のみ(L A-B、L C-D)で位置精度(mm)を算出した値%「横:X」:トンネル"縦断"方向の計測値のみ(L A-C、L B-D)で位置精度(mm)を算出した値

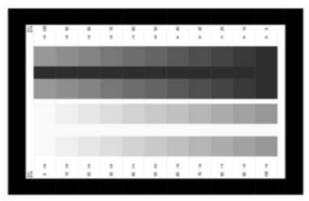
技術番号	TN010008-V0423								
技術名	トンネル覆工表面撮影シ	ノステム			開発者名		‡E&Sマ ックス	シナリー	
試験日	2019年 1 月 29 日	天候	_	気温	_	°C	風速	—	m/s
試験場所	試験場所神奈川県相模原市緑区青山								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目の	び割れ		試験		標準試験 現場試験	

試験で確認する 色識別性能 カタログ項目

対象構造物の概要

トンネル構内における色調変化の把握可否を表す指標として、色調もしくは色の識別が可能なことを確認する。 図1に示すモノクロ色調シート、カラーチャートをトンネル内に設置し、色識別性能の確認を行う。

モノクロ色調シート



カラーチャート



図1 色識別性能検証 供試体

試験方法(手順)

- ① トンネル壁面に、モノクロおよびカラーの供試体(図1参照)を設置する。
- ② 設置場所は照度差が再現できる3か所(坑口付近2か所、中央1箇所)とする。
- ③ トンネル覆工表面撮影車により、走行撮影を行い、供試体を含む展開画像を作成する。
- ④ トンネル展開画像から、色調差が識別できるか技術者が目視確認することにより検証する。

開発者による計測機器の設置状況

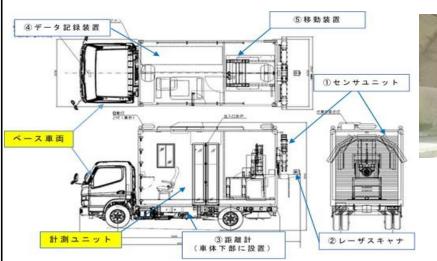




写真1 計測状況

図2 計測機器(検査車)構成

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性能(精度・信頼性)を確保するための条件

- ・被写体(トンネル覆工面)までの距離が、車体中心から2.5m以上-7.5m以下であること
- ・舗装路面であること(悪路不可) ・湿度が異常に高くトンネル内が曇っている場合は、撮影不可
- ・トンネル坑口に10,000LUX以上の太陽光が直射している場合は撮影不可(白飛びの可能性有)
- ・覆工面に結露、汚れ(ひび割れが目視できない)がない事。

②本試験時の条件

・計測(撮影)速度 : 30~40km/h (規制無し) ・被写体との距離 : 車体中心から約3.5m •被写体 : 色識別性能供試体 (図1)

【検証結果】

Aトンネル 色識別性能結果(フルカラー識別可能)

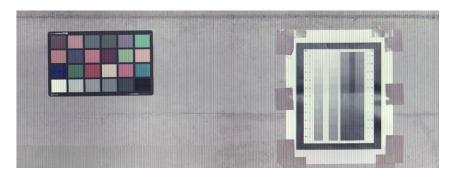
<u>スパン7</u>

(坑口付近)



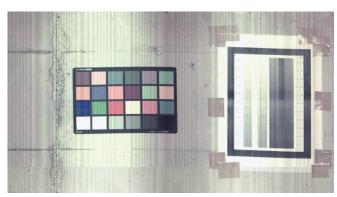
<u>スパン17</u>

(歩道側)



<u>スパン45</u>

(坑口付近)

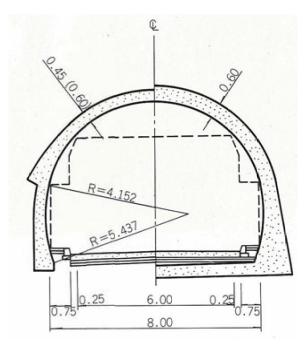


技術番号	TN0100212-V0223								
技術名	トンネル点検システム「ロ作成)	コードビュー	−ワ」(覆エ撮影〜	調書	開発	者名り	式会社 構 [、] ノグ	研エンシ	ジニア
試験日	令和元年 10 月 24 日	天候	晴れ	気温		14 °C	風速	0.5	m/s
試験場所	北海道石狩市								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひび	び割れ		試験フ	/T — /	準試験 場試験	

シレージロペック

試験で確認する 最小ひび割れ幅・計測精 カタログ項目 度

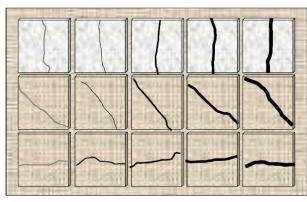
対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図(Aトンネル)



模擬ひび割れ供試体 設置状況



模擬ひび割れ供試体のイメージ

試験方法(手順)		技術番号	TN0100212-V0223
----------	--	------	-----------------

- ① カメラ、LED照明の調整を行い、機器の動作確認を行う。
- ② 40km/hで走行し対象物の撮影を行う。
- ③ 撮影した動画からオルソモザイク画像を作成し、最小ひび割れ幅の計測精度を求める。

4

開発者による計測機器の設置状況

■ Aトンネルでの実証検証の状況



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

■ Aトンネルにひび割れ幅を模した供試体を現地に設置した状況



■ 最小ひび割れ幅・計測精度の試験結果

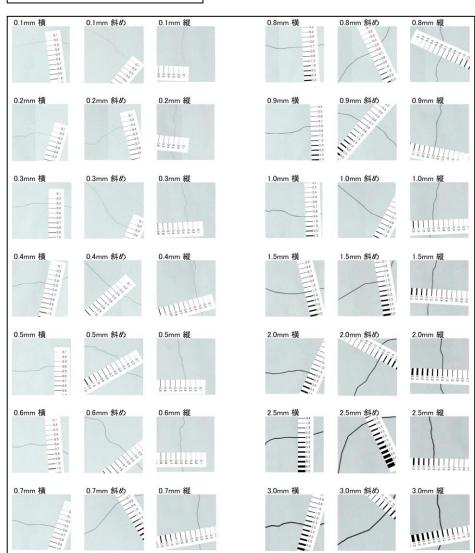
		• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •			
データ数(n)	寸法(a)	向き	判定(x)	差	差の二乗
1	0.1	横	0.2	0.1	0.01
2	0.1	斜め	0.1	0	0
3	0.1	縦	0.1	0	0
4	0.2	横	0.3	0.1	0.01
5	0.2	斜め	0.3	0.1	0.01
6	0.2	縦	0.3	0.1	0.01
7	0.3	横	0.3	0	0
8	0.3	斜め	0.3	0	0
9	0.3	縦	0.3	0	0
10	0.4	横	0.5	0.1	0.01
11	0.4	斜め	0.4	0	0
12	0.4	縦	0.3	-0.1	0.01
13	0.5	横	0.4	-0.1	0.01
14	0.5	斜め	0.4	-0.1	0.01
15	0.5	縦	0.4	-0.1	0.01
16	0.6	横	0.6	0	0
17	0.6	斜め	0.5	-0.1	0.01
18	0.6	縦	0.5	-0.1	0.01
19	0.7	横	0.6	-0.1	0.01
20	0.7	斜め	0.7	0	0
21	0.7	縦	0.5	-0.2	0.04
22	0.8	横	0.7	-0.1	0.01
23	8.0	斜め	0.6	-0.2	0.04
24 25	0.8	縦	0.7	-0.1	0.01
25	0.9	横	0.8	-0.1 -0.1	0.01 0.01
20	0.9	斜め 縦	0.8 0.7	-0.1	0.01
28	0.9	横	0.7	-0.2	0.04
29	1.0 1.0	斜め	0.9	-0.1	0.01
30	1.0	維	0.8	-0.2	0.04
31	1.5	横	1.5	0.2	0.04
32	1.5	斜め	1.5	0	0
33	1.5	縦	1.5	0	0
34	2.0	構	2.0	0	0
35	2.0	斜め	2.0	Õ	ő
36	2.0	縦	2.0	Ö	Ö
37	2.5	横	2.5	Õ	Ö
38	2.5	斜め	2.5	Ö	ő
39	2.5	縦	2.0	-0.5	0.25
40	3.0	横	3.0	0	0
41	3.0	斜め	3.0	0	0
42	3.0	縦	3.0	0	0
1			差の)二乗平均	0.014762
1		二乗	平均平方	根誤差(E)	0.121499

撮影速度 11.1m/s (40km/h) 被写体との距離 2.0m

最小ひび割れ幅 0.1 mm 計測精度 0.121 mm

≪ひび割れ幅計測精度 E(mm)≫

$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}}$$

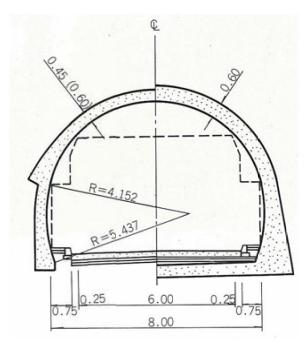


技術番号	TN0100212-V0223									
技術名	トンネル点検システム「ロ 作成)	コードビュー	-ワ」(覆工撮影〜	調書	開	発者名	株ェリン	t会社 構 グ	研エン	ブニア
試験日	令和4年 10 月 26 日	天候	晴れ	気温	l	12	°C	風速	0.7	m/s
試験場所	北海道石狩市				<u> </u>				<u> </u>	
								1==	:# =+ F◆	

カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 試験フェーズ 標準試験 現場試験

試験で確認する 覆工表面が煤で汚れた状 カタログ項目 態のひび割れ・計測精度

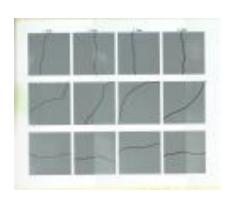
対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図(Aトンネル)



模擬ひび割れ供試体 設置状況



模擬ひび割れ供試体のイメージ

① カメラ、LED照明の調整を行い、機器の動作確認を行う。

② 40km/hで走行し対象物の撮影を行う。

③ 撮影した動画からオルソモザイク画像を作成し、覆工表面が煤で汚れた状態のひび割れの計測精度を求める。

4

開発者による計測機器の設置状況

■ Aトンネルでの実証検証の状況



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

■ Aトンネルにひび割れ幅を模した供試体を現地に設置した状況



計測試験時の条件 【走行速度】40km/h 【照度】13,000 lx 【被写体との距離】2.0m

技術番号

TN0100212-V0223

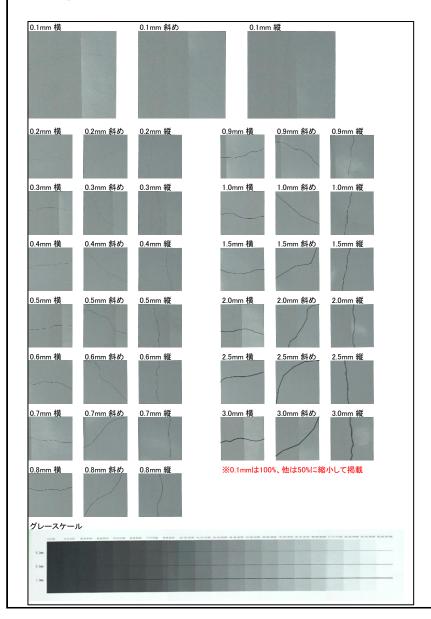
■ 覆工表面が煤で汚れた状態のひび割れ・計測精度の試験結果

幅	横	斜め	縦
0.1mm	口	可	可
0.2mm	可	可	可
0.3mm	口	可	可
0.4mm	口	可	可
0.5mm	可	可	可
0.6mm	可	可	可
0.7mm	可	可	可
0.8mm	可	可	可
0.9mm	可	可	可
1.0mm	可	可	可
1.5mm	可	可	可
2.0mm	口	可	可
2.5mm	回	可	可
3.0mm	可	可	可

直線の幅	輝度
0.3mm	38以上
0.5mm	38以上
1.0mm	26以上

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

覆工表面が煤で汚れた状態のひび割れの検出可否



技術番号 TN0100212-V0223	
技術名 トンネル点検システム「ロードビューワ」(覆工撮影〜調書作成)	開発者名

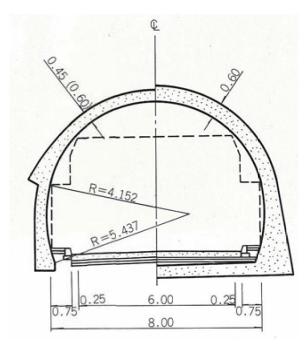
試験日	令和4年 10 月 26 日	天候	晴れ	気温	12	°C	風速	0.7	m/s
試験場所	北海道石狩市								

カタログ分類 画像計測技術	カタログ	検出項目	ひび割れ	試験フェーズ 標準試験 現場試験
---------------	------	------	------	---------------------

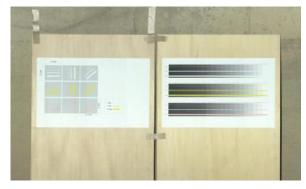
.....

試験で確認する ひび割れ等のマーキング・ カタログ項目 計測精度

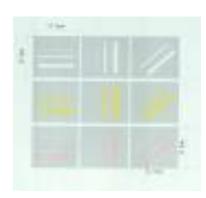
対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図(Aトンネル)



模擬ひび割れ供試体 設置状況



株式会社 構研エンジニア

模擬ひび割れ供試体のイメージ

【試験方法(手順) ┃	技術番号	TN0100212-V0223
-------------	------	-----------------

- ① カメラ、LED照明の調整を行い、機器の動作確認を行う。
- ② 40km/hで走行し対象物の撮影を行う。
- ③ 撮影した動画からオルソモザイク画像を作成し、マーキングされたひび割れ等の計測精度を求める。

4

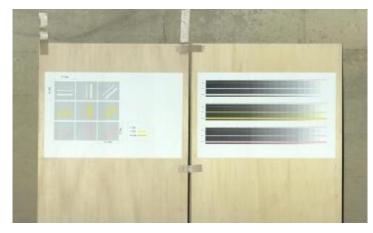
開発者による計測機器の設置状況

■ Aトンネルでの実証検証の状況



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

■ Aトンネルにひび割れ幅を模した供試体を現地に設置した状況



計測試験時の条件 【走行速度】40km/h 【照度】13,000 lx 【被写体との距離】2.0m

技術番号

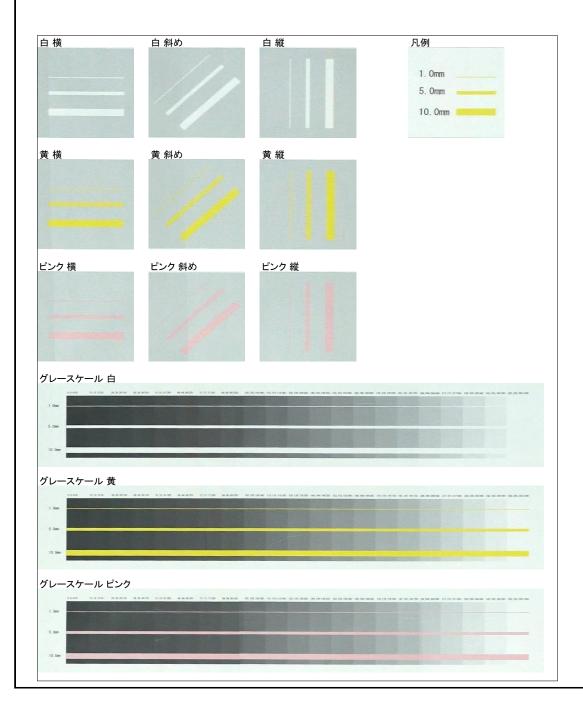
TN0100212-V0223

■ ひび割れ等のマーキング・計測精度の試験結果

マーキン	マーキング色・幅		マーキングの向き			
色	幅	水平	垂直	45°		
	1.0mm	0	0	0		
白	5.0mm	0	0	0		
	10.0mm	0	0	0		
	1.0mm	0	0	0		
黄	5.0mm	0	0	0		
	10.0mm	0	0	0		
	1.0mm	0	0	0		
ピンク	5.0mm	0	0	0		
	10.0mm	0	0	0		

マーキン	グ色・幅	検出可能な輝度
色	幅	快山り能な碑及
	1.0mm	242以下
白	5.0mm	242以下
	10.0mm	242以下
	1.0mm	255以下
黄	5.0mm	255以下
	10.0mm	255以下
	1.0mm	255以下
ピンク	5.0mm	255以下
	10.0mm	255以下

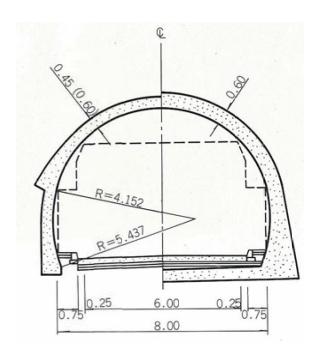
グレースケールシート面のマーキングの検出可否



技術番号	TN0100212-V0223								
技術名	技術名 トンネル点検システム「ロードビューワ」(覆工撮影~調書 開発者名 株式会社 構研エンジニア								ジニア
試験日	令和元年 10 月 24 日	天候	晴れ	気温	14	°C	風速	0.5	m/s
試験場所北海道石狩市									
カタログ分類	カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 試験フェーズ 標準試験 現場試験								

試験で確認する 長さの計測精度(長さの相 カタログ項目 対誤差)

対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図(Aトンネル)

試験方法(手順)		技術番号	TN0100212-V0223
----------	--	------	-----------------

- ① カメラ、LED照明の調整を行い、機器の動作確認を行う。
- ② 40km/hで走行し対象物の撮影を行う。
- ③ 撮影した動画からオルソモザイク画像を作成し、長さの計測精度を求める。

4

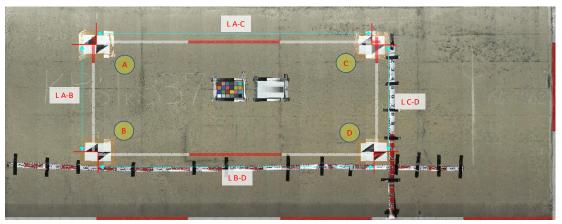
開発者による計測機器の設置状況

■ Aトンネルでの実証検証の状況



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

■ Aトンネル内に目印となるマーカーを現地に設置した状況



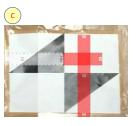
試験結果の比較

技術番号

TN0100212-V0223

■ 検出精度(長さの相対誤差)の試験結果





実寸(mm)	画像(mm)	誤差(mm)	誤差(%)
1195	1211	16	1.339%
1195	1202	7	0.586%
3000	3003	3	0.100%
3000	3009	9	0.300%
8390	8425	35	0.417%
			0.581%
	1195 1195 3000 3000	1195 1211 1195 1202 3000 3003 3000 3009	1195 1202 7 3000 3003 3 3000 3009 9





撮影速度 11.1m/s (40km/h) 被写体との距離 2.0m

≪誤差≫

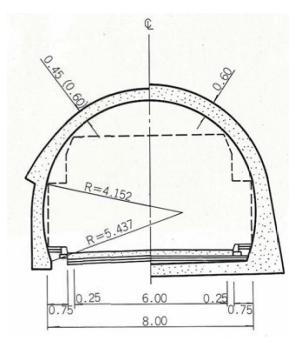
断面方向(縦) 0.963% 進行方向(横) 0.200%

技術番号	TN0100212-V0223								
技術名 トンネル点検システム「ロードビューワ」(覆工撮影~調書 開発者名 州式会社 構研エンジニア作成)									
試験日	令和元年 10 月 24 日	天候	晴れ	気温	14	°C	風速	0.5	m/s
試験場所 北海道石狩市									
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひる	び割れ		試験フ	T — A	準試験 場試験	

試験で確認する カタログ項目

位置精度

対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図(Aトンネル)

試験方法(手順)		技術番号	TN0100212-V0223
----------	--	------	-----------------

① カメラ、LED照明の調整を行い、機器の動作確認を行う。

② 40km/hで走行し対象物の撮影を行う。

③ 撮影した動画からオルソモザイク画像を作成し、位置精度を求める。

4

開発者による計測機器の設置状況

■ Aトンネルでの実証検証の状況



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

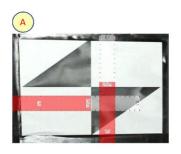
■ Aトンネル内に目印となるマーカーを現地に設置した状況

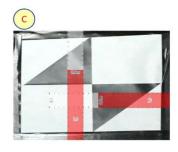


技術番号

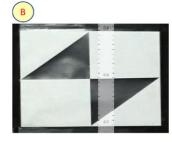
TN0100212-V0223

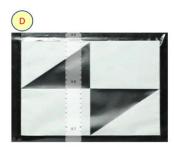
■ 位置精度の試験結果





	実寸(mm)	画像(mm)	誤差(mm)	誤差(%)
WA	2000	2002	2	0.100%
WC	2000	2013	13	0.650%
HA	1970	1989	19	0.964%
HB	775	787	12	1.548%
HC	1970	1970	0	0.000%
HD	775	782	7	0.903%
合計(縦)	5490	5528	38	0.692%
合計(横)	4000	4015	15	0.375%
合計(全)	9490	9543	53	0.558%





撮影速度 11.1m/s (40km/h) 被写体との距離 2.0m

誤差(縦) 38 mm 誤差(横) 15 mm

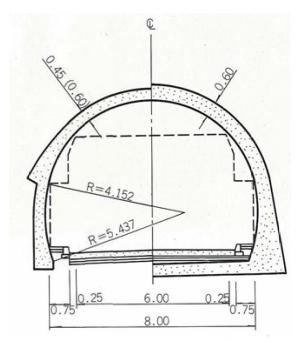
技術番号	TN0100212-V0223

技術番号	TN0100212-V0223								
技術名	トンネル点検システム「ロ作成)	コードビュー	−ワ」(覆工撮影〜	·調書	開発者	名りい	式会社 構	研エンシ	ジニア
試験日	令和元年 10 月 24 日	天候	晴れ	気温	14	°C	風速	0.5	m/s
試験場所 北海道石狩市									
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひで	<u> </u>		試験フ	'ェーズ ^標 現	準試験 場試験	

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



対象トンネル標準断面図(Aトンネル)

試験方法(手順)		技術番号	TN0100212-V0223
----------	--	------	-----------------

- ① カメラ、LED照明の調整を行い、機器の動作確認を行う。
- ② 40km/hで走行し対象物の撮影を行う。
- ③ 撮影した動画からオルソモザイク画像を作成し、色識別性能を求める。

4

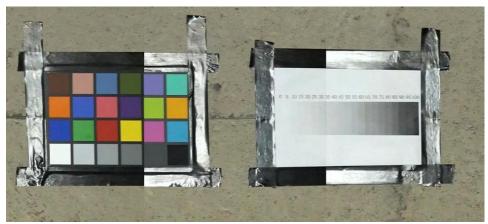
開発者による計測機器の設置状況

■ Aトンネルでの実証検証の状況



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

■ Aトンネル内に目印となるマーカーを現地に設置した状況



■ 色識別性能の試験結果

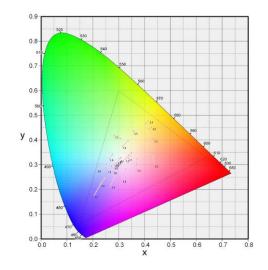
※走行速度:40km/hで計測 ※トンネル内にマーカーを設置し計測(離隔2m)

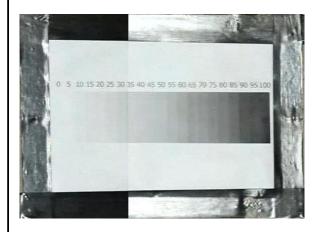


・フルカラー識別可能

(4.1)~(4.6)のグレースケール部のベクトルが交差しているが、グレースケールを目視で識別できるため誤認はしないと考えられる

	89.	66, 53		80, 115, 15	69, 85, 43			
	216, 1		63. 94. 186		72, 55, 105	148, 188, 55		
	44.	75, 173			212, 198, 28			
	237. 2	47, 241	188, 201, 199	146, 157, 15	106, 115, 114	70. 76. 77	31, 34, 34	
行	列		R	G	В	×	У	z
17	1	1	89	66		0.34974		0.30013
	i	2	181	140		0.33994		0.31903
	i	3	80	115		0.27256		0.43226
	i	4	69	85		0.33726		0.26497
	i	5	118	118		0.28622		0.42860
	i	6	84	190		0.27564		0.38004
	2	1	216	115		0.42777		0.16302
	2	2	63	94		0.24750		0.50265
	2	3	189	9		0.37043		0.30414
	2	4	72	55		0.28669		0.45218
	2	5	148	188		0.35835		0.20108
	2	6	212	158		0.41544	0.44642	0.13814
	3	1	44	75	173	0.23379	0.23162	0.53459
		2	76	155		0.30787	0.40493	0.28721
	3	3	162	55	5 41	0.42814	0.34997	0.2218
	3	4	212	198	3 28	0.40189	0.46444	0.13366
	3	5	181	98	155	0.32783	0.28519	0.38697
	3	6	60	155	190	0.25323	0.30381	0.44296
	4	1	237	247	241	0.31145	0.33163	0.35692
	4	2	188	20	199	0.30880	0.33007	0.36113
	4	3	146	15	156	0.30819	0.32968	0.36214
	4	4	106	115	114	0.30775	0.32993	0.36232
	4	5	70	76	77	0.30632	0.32757	0.36612
	4	6	31	34	34	0.30648	0.32898	0.36454





グレースケール識別可能

0%~50%では、10%の階調差を識別可能 50%~100%では、5%の階調差を識別可能

技術番号	TN010013-V0323								
技術名 レーザースキャナー計測によるトンネル変状の進行性判別システム						3 応力	用地質株式	式会社	
試験日	令和4年 2 月 3	日 天候	晴れ	気温	5	°C	風速	m/s	
試験場所 応用地質株式会社社屋(さいたま市)									
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひて	が割れ等σ)マーキング	試験	区分		

試験で確認する カタログ項目

最小ひび割れ、計測精度

対象構造物の概要

応用地質株式会社社屋(さいたま市)



マーカー設置状況



マーカー設置状況

試験方法(手順)

- ③ 3Dレーザースキャナーを組み立て、動作確認を行う。
- ② 対象範囲をスキャンする。2時期計測のため、チョークによるマーキングを追加し、再度計測する。
- ③ スキャンして得た点群データを覆工展開画像に変換し、画像上でマーキングを検出する。
- ④ 2時期のマーキングの抽出結果の差分を表示する。

開発者による計測機器の設置状況



実証実験の状況



設置されたマーカーの配置 マーカーは提供されたテンプレートを使用

①コンクリートに幅および色の異なるマーキングを施した供試体を設 置する。マーキングはチョークにより行うものとし、以下の仕様(全18 ケース)とする。

マーキングの色:白色、黄色、ピンク色

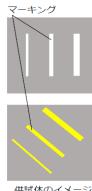
マーキングの幅:5mm、10mm

マーキングの向き(路面に対しての角度):水平、垂直、45°

マーキングの長さ:全て100mm

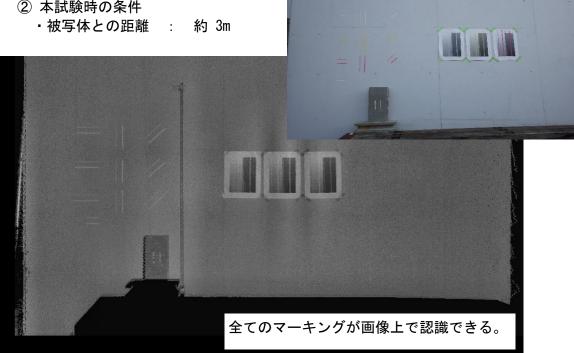
- ②点検支援技術によるマーキングの検出を行う。
- ③点検支援技術により検出可能なマーキングを性能カタログへ記載

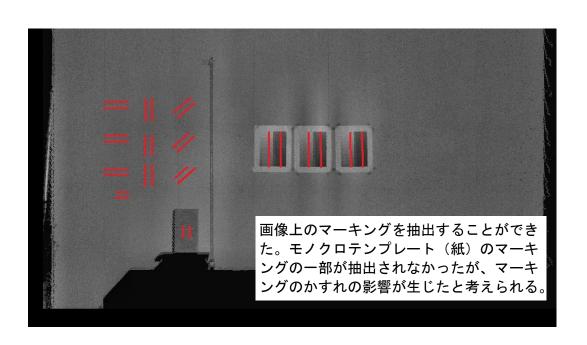
マーカーの仕様

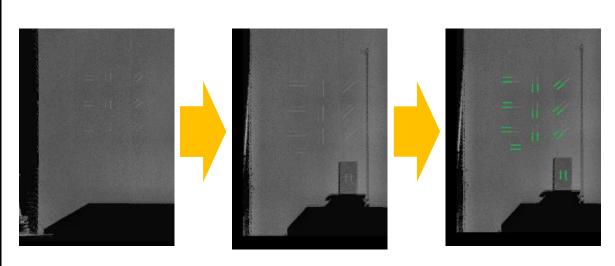


供試体のイメージ

- ① 性能(制度・信頼性)を確保するための条件
 - 著しい粉塵がないこと
 - ・雨滴の侵入がないこと
- ② 本試験時の条件







1時期目の計測結果

2時期目の計測結果

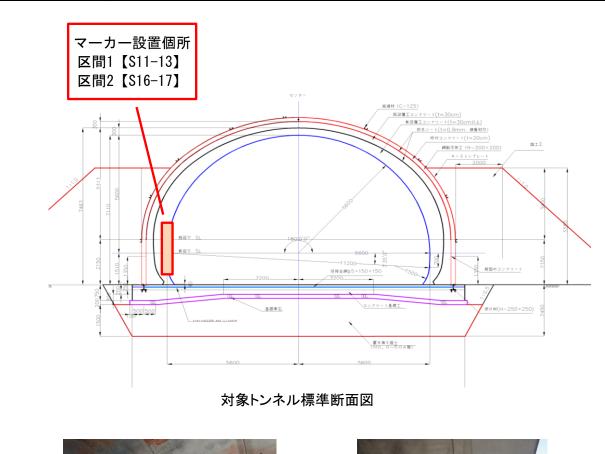
2時期目変化出力 =変状の進行性

異なる2時期の画像上のマーキングを抽出し、その変化を出力した。 マーキングの変化を、変状の進行結果と捉えることで、変状の進行性を判別することができる。

技術番号	TN010013-V0323							
技術名	トンネルレーザー計測				開発者名	3 (株))応用地質	
試験日	令和3年 3 月 24 日	天候	晴れ	気温	7	°C	風速	m/s
試験場所	施工技術総合研究所							
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 外	現変状(ひ	び割れ等)	試験	区分 現場	易試験

試験で確認する 長さ計測精度 カタログ項目 位置精度

対象構造物の概要





マーカー設置状況



マーカー設置状況

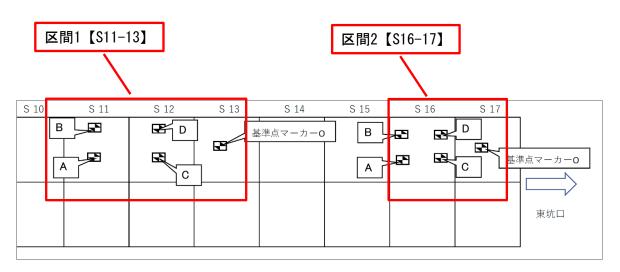
- ① トンネル外にて、3Dレーザースキャナーを組み立てし、動作確認を行う。
- ② トンネル坑内を起点から終点までスパン毎にスキャンする。
- ③ スキャンして得た点群データーを覆工展開画像に変換する
- ④ 覆工展開画像から得たマーカー間距離を、実測定値(施工総研提供)と比較して位置精度を求める

開発者による計測機器の設置状況

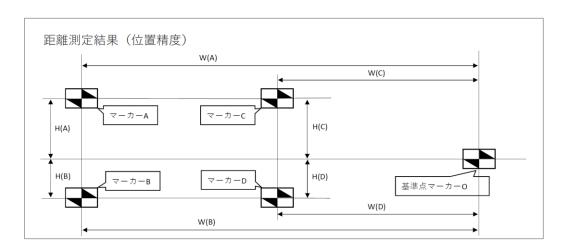


模擬トンネル(L)での実証実験の状況

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況



模擬トンネル(L)に設置されたマーカーの配置 区間1 【S11-13】、区間2 【S15-17】



マーカーの計測部位

① 性能(制度・信頼性)を確保するための条件

著しい粉塵がないこと

・ 坑口における雨滴の侵入がないこと

② 本試験時の条件

・被写体との距離 : 約5m

・被写体 : マーカー 及び 覆工面

·L():マーカーA~Dの中心点間距離

(1) 区間1【S11-12】

No.	測定部位	測定値[m] (A)	画像による計 測値[m] (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	備考
1	L(A-B)	1.004	0.769	0.235	23.43%	周方向
2	L(A-C)	4.690	4.713	-0.023	-0.50%	延長方向
3	L(B-D)	4.687	4.710	-0.023	-0.50%	延長方向
4	L(C-D)	1.071	0.816	0.255	23.78%	周方向

・W():マーカーA~Dと基準点マーカーOとの中心点間水平距離

・H():マーカーA~Dと基準点マーカーOとの中心点間鉛直距離

・L():成分分解しないマーカー間距離

(1) 区間1【S11-13】

No.	測定部位	測定値[m] (A)	画像による計 測値[m] (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	備考
1	W(A)	9.220	9.270	-0.050	-0.54%	延長方向
2	W(B)	9.218	9.265	-0.047	-0.51%	延長方向
3	W(C)	4.532	4.557	-0.025	-0.55%	延長方向
4	W(D)	4.531	4.555	-0.024	-0.52%	延長方向
5	H(A)	0.749	0.557	0.192	25.58%	周方向
6	H(B)	0.245	0.211	0.034	13.74%	周方向
7	H(C)	0.784	0.602	0.182	23.17%	周方向
8	H(D)	0.276	0.214	0.062	22.47%	周方向
9	L(A-O)	9.251	9.287	-0.036	-0.39%	延長方向
10	L(B-O)	9.221	9.267	-0.046	-0.50%	延長方向
11	L(C-O)	4.599	4.597	0.002	0.05%	延長方向
12	L(D-0)	4.539	4.560	-0.021	-0.45%	延長方向

・L():マーカーA~Dの中心点間距離

(2) 区間2【S16】

No.	測定部位	測定値[m] (A)	画像による計 測値[m] (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	備考
1	L(A-B)	0.961	0.721 (m)	0.240	24.92%	周方向
2	L(A-C)	2.811	2.812 (m)	-0.001	-0.04%	延長方向
3	L(B-D)	2.801	2.807 (m)	-0.006	-0.21%	延長方向
4	L(C-D)	0.931	0.698 (m)	0.233	25.05%	周方向

・W():マーカー $A\sim D$ と基準点マーカーOとの中心点間水平距離

・H():マーカー $A\sim D$ と基準点マーカーOとの中心点間鉛直距離

・L():成分分解しないマーカー間距離

(2)区間2【S16-17】

No.	測定部位	測定値[m] (A)	画像による計 測値[m] (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	備考
1	W(A)	5.849	5.856 (m)	-0.007	-0.12%	延長方向
2	W(B)	5.844	5.848 (m)	-0.004	-0.07%	延長方向
3	W(C)	3.039	3.044 (m)	-0.005	-0.16%	延長方向
4	W(D)	3.043	3.041 (m)	0.002	0.06%	延長方向
5	H(A)	0.589	0.421 (m)	0.168	28.47%	周方向
6	H(B)	0.363	0.300 (m)	0.063	17.31%	周方向
7	H(C)	0.546	0.405 (m)	0.141	25.73%	周方向
8	H(D)	0.377	0.292 (m)	0.085	22.48%	周方向
9	L(A-O)	5.879	5.871 (m)	0.008	0.14%	延長方向
10	L(B-O)	5.856	5.856 (m)	0.000	0.01%	延長方向
11	L(C-O)	3.088	3.071 (m)	0.017	0.56%	延長方向
12	L(D-0)	3.067	3.055 (m)	0.012	0.39%	延長方向

※ 周方向(側壁高さ方向)は、トンネルモデルに投射変換することによって 生じる可能性がある。適当な位置で標尺を写り混ませることで改善を期待できる 技術番号 TN010014-V0122

技術名 走行型近赤外線撮影によるSfM三次元画像解析システム 開発者名 国際航業株式会社

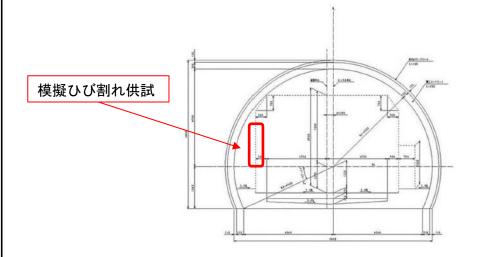
試験日 令和2年 2 月 24 日 天候 くもり 気温 不明 °C 風速 不明 m/s

試験場所 神奈川県相模原市

カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 試験区分 標準試験 現場試験

試験で確認する 計測精度 カタログ項目 (最小ひび割れ幅)

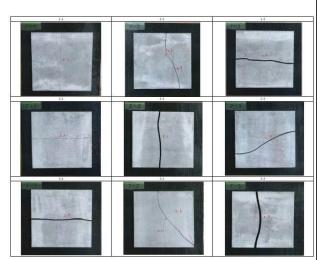
対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図



模擬ひび割れ供試体 設置状況



模擬ひび割れ供試体のイメージ

- ① トンネル内にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行った。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は30km/h~60km/hで実施した。
- ③ 計測毎に、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認し、さらに、抽出断面の3次元接合検証を行った。
- ④ 模擬ひび割れ供試体を設置時に計測しておいたひび割れ幅を、取得画像からの検出結果と比較し、最小ひび割れ幅及び計測精度を求めた。

開発者による計測機器の設置状況

■ トンネルでの実証検証の状況





比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

■ トンネルにひび割れを模した供試体を現地に設置した状況



■ 計測データと真値の比較表

① 本試験の条件

撮影速度約30km/h~60km/h

※ひび割れ幅計測精度E

精度確認データは40km/hを使用

$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a_1)^2 + \dots + (x_n - a_n)^2}{n}}$$

壁面との離隔に変化なし

② 算出方法

画像から判別できる最小ひび割れ幅が0.3mmのため、真値の0.3mmのひび割れを抽出抽出したひび割れで、計測値との誤差を算出する

誤差を2乗→平均値を算出→平方根で計算

なが割ね幅(直体)	(mm)	TN	-07	備考
ひび割れ幅(真値)	(mm)	①計測値(Xn)	②誤差(Xn-a)	1佣 右
	2-1	0.3	0.0	
	4-3	0.3	0.0	
	9-3	0.6	-0.3	
	12-1	0.3	0.0	
0.3	14-1	0.5	-0.2	
0.3	14-2	0.5	-0.2	
	20-3	0.3	0.0	
	23-1	0.3	0.0	
	25-1			撮影画像にパネル無し
	30-1	0.3	0.0	

③誤差2乗(X n-a) ²
0.00
0.00
0.09
0.00
0.04
0.04
0.00
0.00
0.00

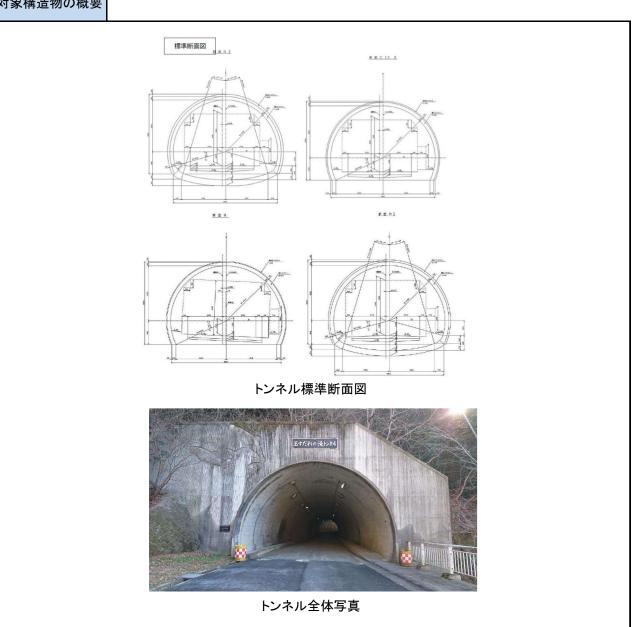
最小幅	(a)	0.3
E		0.137

技術番号	TN010014-V0122								
技術名	走行型近赤外線撮影に	よるSfM三	次元画像解析シス	ステム	開発者	名 国际	祭航業株:	式会社	
試験日	令和2年 2 月 24 日	天候	くもり	気温	不明	月 °C	風速	不明	m/s
試験場所	神奈川県相模原市								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひで	び割れ		試験		準試験 場試験	

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



- ① トンネル内にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行った。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は30km/h~60km/hで実施した。
- ③ 計測毎に、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認し、さらに、抽出断面の3次元接合検証を行った。
- ④ 模擬ひび割れ供試体を設置時に計測しておいたひび割れ幅を、取得画像からの検出結果と比較し、最小ひび割れ幅及び計測精度を求めた。

開発者による計測機器の設置状況

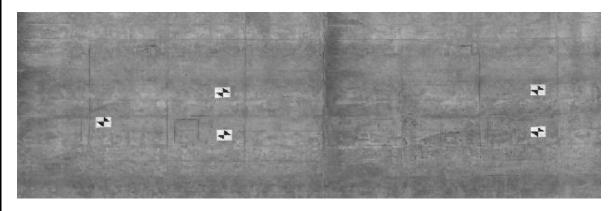
■ トンネルでの実証検証の状況



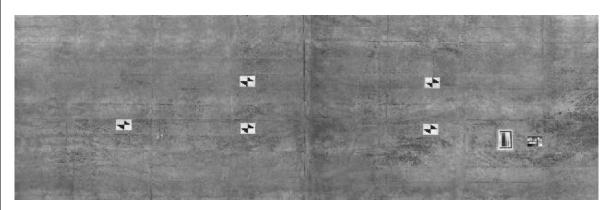


比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

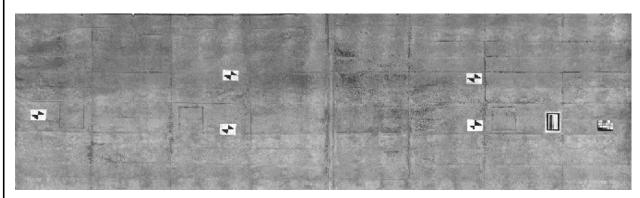
スパン5~6



スパン12~13



スパン21~22



■ 長さ計測精度

[S5-S6]					
NO.	3HI 7E 4KV/		誤差(m) (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	
1	L(A-B)	0.829	0.829	0.000	0.00%
2	L(A-C)	6.078	6.097	-0.019	0.31%
3	L(B-D)	6.049	6.075	-0.026	0.43%
4	L(C-D)	0.837	0.842	-0.005	0.60%

[S12-S13]					
NO.	NO. 測定部位 <u>真値(m)</u> (A)		計測値(m) (B)	誤差(m) (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)
1	L(A-B)	0.906	0.922	-0.016	1.77%
2	L(A-C)	3.586	3.595	-0.009	0.25%
3	L(B-D)	3.540	3.554	-0.014	0.40%
4	L(C-D)	0.905	0.919	-0.014	1.55%

[S21-S22]					
NO.	測定部位	真値(m) (A)	計測値(m) (B)	誤差(m) (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)
1	L(A-B)	0.920	0.931	-0.011	1.20%
2	L(A-C)	4.656	4.726	-0.070	1.50%
3	L(B-D)	4.713	4.800	-0.087	1.85%
4	L(C-D)	1.079	1.067	0.012	1.11%

平均 誤差率 (全体)	0.91%
平均 誤差率 (進行方向:X)	0.79%
平均 誤差率 (周方向:Y)	1.04%

① 本試験の条件

撮影速度約30km/h~60km/h

精度確認データは40km/hを使用

壁面との離隔に変化なし

■ 位置精度

	[S5-S6	5]		
NO.	測定部位	真値(m) (A)	計測値(m) (B)	誤差(m) (C)=(A)-(B)
1	W(A)	8.387	8.400	0.013
2	W(B)	8.358	8.408	0.050
3	W(C)	2.315	2.303	0.012
4	W(D)	2.311	2.332	0.021
5	H(A)	0.297	0.634	0.337
6	H(B)	0.508	0.195	0.313
7	H(C)	0.487	0.584	0.097
8	H(D)	0.329	0.257	0.072

	[S12-S1	3]		
NO.	測定部位	真値(m) (A)	計測値(m) (B)	誤差(m) (C)=(A)-(B)
1	W(A)	5.977	5.990	0.013
2	W(B)	5.933	5.954	0.021
3	W(C)	2.401	2.395	0.006
4	W(D)	2.392	2.400	0.008
5	H(A)	0.789	0.834	0.045
6	H(B)	0.086	0.088	0.002
7	H(C)	0.810	0.854	0.044
8	H(D)	0.063	0.065	0.002

	[S21-S2	22]		
NO.	測定部位	真値(m) (A)	計測値(m) (B)	誤差(m) (C)=(A)-(B)
1	W(A)	8.291	8.457	0.166
2	W(B)	8.299	8.477	0.178
3	W(C)	3.645	3.731	0.086
4	W(D)	3.587	3.677	0.090
5	H(A)	0.705	0.730	0.025
6	H(B)	0.195	0.201	0.006
7	H(C)	0.797	0.783	0.014
8	H(D)	0.258	0.284	0.026

① 本試験の条件 撮影速度約30km/h~60km/h 精度確認データは40km/hを使用 壁面との離隔に変化なし

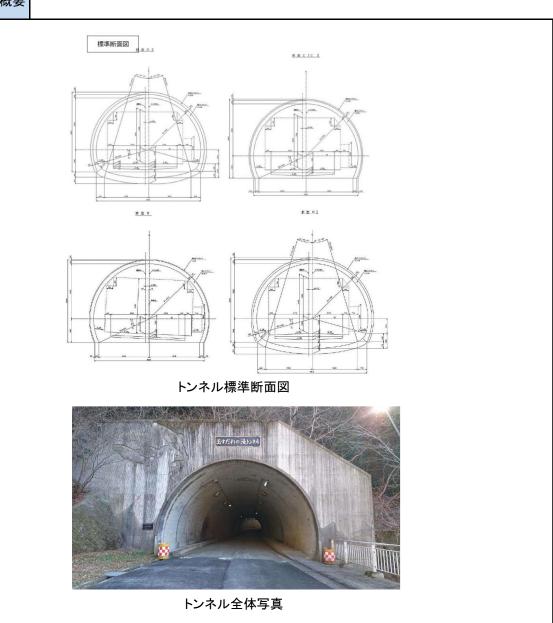
位置精度(mm) (進行方向:X)	55.3
位置精度(mm)	81.9
(周方向:Y)	61.9

技術番号	TN010014-V0122								
技術名	走行型近赤外線撮影に	よるSfM三	次元画像解析シス	ステム	開発者名	3 国际	祭航業株式	式会社	
試験日	令和2年 2 月 24 日	天候	くもり	気温	不明	°C	風速	不明	m/s
試験場所	神奈川県相模原市								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひで	び割れ		試験		準試験 場試験	

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



- ① トンネル内にて、カメラを調整し、機器の動作確認を行った。
- ② 対象物(マーカー)の走行撮影を行った。走行速度は30km/h~60km/hで実施した。
- ③ 計測毎に、カメラ内にデータが正常に取得できている事を確認し、さらに、抽出断面の3次元接合検証を行った。
- ④ 模擬ひび割れ供試体を設置時に計測しておいたひび割れ幅を、取得画像からの検出結果と比較し、最小ひび割れ幅及び計測精度を求めた。

開発者による計測機器の設置状況

■ トンネルでの実証検証の状況



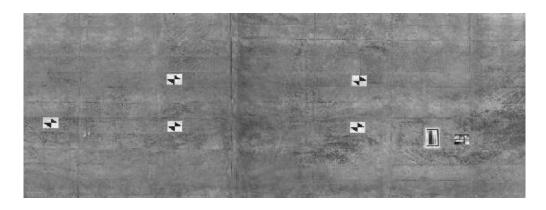


比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

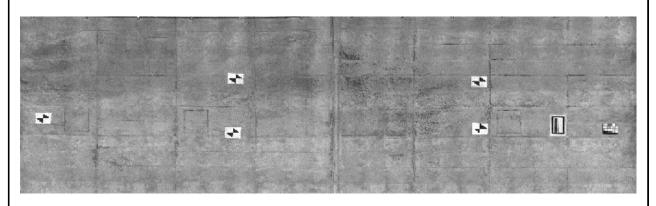
スパン2



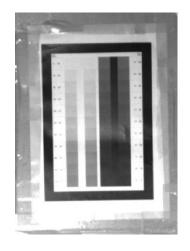
スパン13



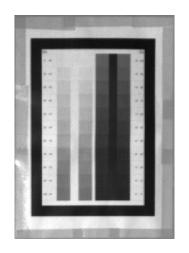
スパン22



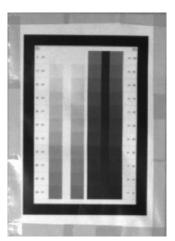
スパン2



スパン22



スパン13



色識別性能

モノクロチャート識別可能

- ① 性能(精度・信頼性)を確保するための条件 白飛びするような白い物体が無いこと
- ② 本試験時の条件 トンネル内で白い物体無し

技術番号	TN010015-V0122								
技術名 モービルインスペクションシステムGT-8K 開発者名 朝日航洋株式会社									
試験日	令和3年 3 月 16 日	天候	晴	気温		°C	風速		m/s
試験場所	神奈川県相模原市								
カタログ分類	画像計測技術(トンネル)	カタログ	検出項目の	び割れ		試験[準試験 場試験	

試験で確認する 最小ひび割れ幅・計測精 カタログ項目 度

対象構造物の概要

【トンネル延長】155m



図1.トンネル坑口写真

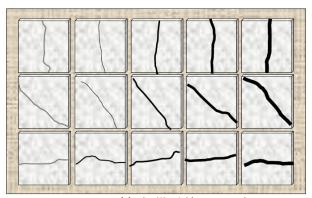


図2.ひび割れ供試体イメージ





図3.現場写真(ひび割れ供試体)

- ① トンネル内においてカメラ・照明調整を行い、その後、トンネル外でGNSS測位のキャリブレーションを行う
- ② 各計測毎に走行速度・シャッタースピードを変更し計測を行い、計測完了毎にトンネル外でGNSS測位キャリブレーションを行う。
- ③ 同時に取得した3次元点群データ投影した、任意の画素分解能を有する投影画像を作成する。
- ④ 設置時に計測しておいたひび割れ供試体の各ひび割れ幅と、③で作成した画素×画素分解能を比較し、最小ひび割れ幅及び計測精度を求める。

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

_

計測データと立会者による計測データの比較表

71.75	割や幅	GT-	-8K
0 O i	割れ幅	計測結果	誤差
0. 1	8-2	0. 1	0
0. 1	12-1	0.3	-0. 2
	1-1	0.4	-0. 2
	3-2	0. 4	-0. 2
	8-1	0. 3	-0. 1
0. 2	11-2	0.3	-0. 1
	13-2	0. 3	-0. 1
	23-3	0. 3	-0. 1
	24-3	0. 3	-0. 1
	2-1	0. 3	0
	4-3	0. 5	-0. 2
	9-3	0. 5	-0. 2
	12-1	0. 4	-0. 1
0. 3	14-1	0. 5	-0. 2
0. 0	14-2	0.6	-0.3
	20-3	0. 4	-0. 1
	23-1	0. 4	-0.1
	25-1	0. 5	-0. 2
	30-1	0.4	-0. 1
	4-2	0. 3	0. 1
	6-2	0. 5	-0. 1
	7-2	0. 3	0. 1
	8-1	0. 4	0
	10-1	0. 5	-0. 1
0. 4	13-3	0. 3	0. 1
0.4	15-1	0. 5	-0. 1
	21-1	0. 6	-0. 2
	22-3	0. 2	0. 2
	24-1	0. 5	-0. 1
	24-3	0. 5	-0. 1
	25-1	0. 5	-0. 1
0. 5	5-3	0. 4	0. 1
0. 0	11-3	0. 7	-0. 2
	3-2	0.6	0
0.6	6-2	0. 9	-0.3
0.0	7–3	0. 7	-0.1
	26-2	0. 7	-0. 1
	7-2	0. 9	-0. 2
	8-1①	0. 6	0. 1
0. 7	8-12	0.8	-0.1
J. ,	16-1	1	-0.3
	17-1	0. 9	-0. 2
	28-2	0. 7	0
	17-3	0.8	0
0.8	18-3	0. 5	0. 3
0.0	21-2	1	-0. 2
	23-1	0. 7	0. 1

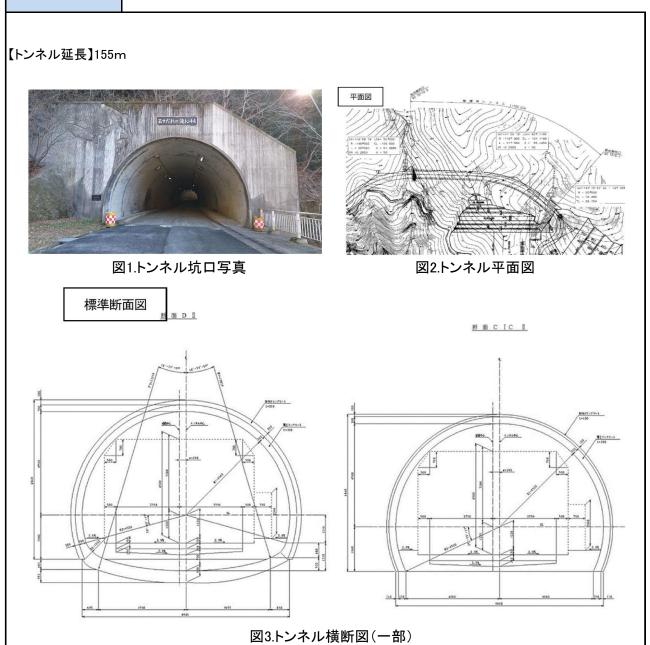
1-2		bit L. 4=	GT-	-8K
0.9 1-2	ひひき	割れ幅		
0.9 4-1 0.9 0 8-2 0.8 0.1 11-2 0.7 0.2 15-3 1.1 -0.2 25-2 0.9 0 1 12-2 1.2 -0.2 27-2 0.9 0.1 1.1 1-2 0.8 0.3 22-2 1.1 0 1.3 7-1 1.5 -0.2 1.4 7-2 1.1 0.3 1.5 20-1 1.3 0.2 1.7 24-3 1.4 0.3 2-3 1.7 0.3 0.2 3-1 2.4 0.1 1.6 0.4 429-2 1.9 0.1 0.1 429-2 1.9 0.1 0.1 3-1 2.4 0.1 0.1 429-2 1.9 0.1 0.1 3-1 2.4 0.1 0.1 429-1 3.3 0.2 0.2 7-3 3.2 0.2 0.2 7-3		1-2		
0.9		4-1	0. 9	
Time	0.0	8-2		0. 1
25-2	0. 9	11-2	0. 7	0. 2
25-2		15-3		
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		25-2	0.9	
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		6-1	1.1	-0. 1
1. 1	1		1. 2	-0. 2
1. 1			0. 9	0. 1
1. 2	1 1	1-2	0.8	0.3
1.3		22-2	1.1	
1.3	1. 2	13-3	1	0. 2
1. 5 20-1 1. 3 0. 2 1. 7 24-3 1. 4 0. 3 5-2 2. 2 -0. 2 9-1 1. 6 0. 4 12-3 1. 9 0. 1 14-3 1. 6 0. 4 29-2 1. 9 0. 1 3-1 2. 4 0. 1 11-1 2. 3 0. 2 26-1 2. 1 0. 4 30-3 2. 3 0. 2 26-1 2. 1 0. 4 30-3 2. 3 0. 2 1-3 3 0 5-1 2. 9 0. 1 6-3 3. 2 -0. 2 7-3 2. 6 0. 4 13-1 3 0 15-2 1 2 27-3 2. 6 0. 4 13-1 3 0 15-2 1 2 27-3 2. 6 0. 4 13-1 3 0 15-2 1 2 27-3 2. 6 0. 4 30-2 3. 5 0. 5 23-3(2) 3. 1 0. 4 30-2 3. 7 -0. 2 20-2 3. 8 0. 2 21-3 4 0 24-2 3. 2 0. 8 3-3 4. 9 0. 1 4-3 5. 3 -0. 5 14-2 5. 5 0. 5 22-1 5 0			1.5	-0. 2
1. 5 20-1 1. 3 0. 2 1. 7 24-3 1. 4 0. 3 5-2 2. 2 -0. 2 9-1 1. 6 0. 4 12-3 1. 9 0. 1 14-3 1. 6 0. 4 29-2 1. 9 0. 1 3-1 2. 4 0. 1 11-1 2. 3 0. 2 26-1 2. 1 0. 4 30-3 2. 3 0. 2 26-1 2. 1 0. 4 30-3 2. 3 0. 2 1-3 3 0 5-1 2. 9 0. 1 6-3 3. 2 -0. 2 7-3 2. 6 0. 4 13-1 3 0 15-2 1 2 27-3 2. 6 0. 4 13-1 3 0 15-2 1 2 27-3 2. 6 0. 4 13-1 3 0 15-2 1 2 27-3 2. 6 0. 4 30-2 3. 5 0. 5 23-3(2) 3. 1 0. 4 30-2 3. 7 -0. 2 20-2 3. 8 0. 2 21-3 4 0 24-2 3. 2 0. 8 3-3 4. 9 0. 1 4-3 5. 3 -0. 5 14-2 5. 5 0. 5 22-1 5 0	1.4	7-2	1. 1	0.3
1. 7	1.5		1.3	0. 2
2				0.3
2 5-2 2.2 -0.2 9-1		2-3	1.7	0.3
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$			2. 2	-0. 2
2 12-3 1.9 0.1 14-3 1.6 0.4 29-2 1.9 0.1 3-1 2.4 0.1 11-1 2.3 0.2 26-1 2.1 0.4 30-3 2.3 0.2 1-3 3 0.5 1-3 3 0.0 5-1 2.9 0.1 6-3 3.2 -0.2 7-3 2.6 0.4 13-1 3 0.1 15-2 1 2.9 27-3 2.6 0.4 13-1 3 0.0 15-2 1 2.0 27-3 2.6 0.4 29-1 3 0.0 21-3 3.7 -0.2 21-3 3.7 -0.2 21-3 3.5 0.5 10-2 3.5 0.5 10-2 3.5 0.5 16-2 4.1 -0.1 18-2 3.8 0.2 21-3 4 0 24-2 3.2 0.8 3-3 4.9 0.1 4-3 5.3 -0.3 9-2 4.7 0.3 9-2 4.7 0.3 1-4-2 5.5 5 -0.5 10-2 5.5 0.5 14-2 5.5 5 0.5	0		1.6	
14-3 1.6 0.4 29-2 1.9 0.1 3-1 2.4 0.1 11-1 2.3 0.2 26-1 2.1 0.4 30-3 2.3 0.2 1-3 3 0 5-1 2.9 0.1 6-3 3.2 -0.2 7-3 2.6 0.4 13-1 3 0 27-3 2.6 0.4 29-1 3 0 27-3 2.6 0.4 29-1 3 0 23-3① 3.7 -0.2 20-2 3.5 0 23-3② 3.1 0.4 30-2 3.7 -0.2 2-2 3.8 0.2 10-2 3.5 0.5 16-2 4.1 -0.1 18-2 3.8 0.2 21-3 4 0 24-2 3.2 0.8 3-3 4.9 0.1 4-3 5.3 -0.3 3-2 4.7 0.3 14-2 5.5 -0.5 22-1 5.5 -0.5	2	12-3		
3-1				
3-1		29-2	1.9	0. 1
2.5				
2. 0 26-1 2. 1 0. 4 30-3 2. 3 0. 2 1-3 3 0. 2 1-3 3 0. 2 1-5 1 2. 9 0. 1 1-6-3 3. 2 0. 2 1-6-3 3. 2 0. 2 1-7-3 2. 6 0. 4 13-1 3 0 15-2 1 2 27-3 2. 6 0. 4 29-1 3 0 15-2 1 2 27-3 2. 6 0. 4 29-1 3 0 0 15-2 1 2 20-2 3. 5 0 23-3 0 2 23-3 0 3. 2 0. 3 1 0. 4 30-2 3. 7 0. 2 2 2 2 3. 8 0. 2 10-2 3. 5 0. 5 16-2 4. 1 0. 1 18-2 3. 8 0. 2 21-3 4 0 24-2 3. 2 0. 8 3-3 4. 9 0. 1 4-3 5. 3 0. 3 9-2 4. 7 0. 3 14-2 5. 5 5 0. 5 5 22-1 5 0 0	٥			
30-3 2.3 0.2 1-3 3 0 5-1 2.9 0.1 6-3 3.2 -0.2 7-3 2.6 0.4 13-1 3 0 15-2 1 2 27-3 2.6 0.4 29-1 3 0 20-2 3.5 0 23-3① 3.7 -0.2 20-2 3.5 0 23-3② 3.1 0.4 30-2 3.7 -0.2 2-2 3.8 0.2 10-2 3.5 0.5 16-2 4.1 -0.1 18-2 3.8 0.2 21-3 4 0 24-2 3.2 0.8 3-3 4.9 0.1 4-3 5.3 -0.3 9-2 4.7 0.3 14-2 5.5 5 0.5 22-1 5 0	2. 5			
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$				
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$				
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$				0. 1
3				
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		7-3		
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	3			0.4
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$				
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$				2
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$				
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$				
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$				
3.5 23-3() 3.2 0.3 23-3(2) 3.1 0.4 30-2 3.7 -0.2 2-2 3.8 0.2 10-2 3.5 0.5 16-2 4.1 -0.1 18-2 3.8 0.2 21-3 4 0 24-2 3.2 0.8 3-3 4.9 0.1 4-3 5.3 -0.3 9-2 4.7 0.3 9-2 4.7 0.3 14-2 5.5 0.5 22-1 5 0		20-2		0
4 23-3(2) 3. 1 0. 4 30-2 3. 7 -0. 2 2-2 3. 8 0. 2 10-2 3. 5 0. 5 16-2 4. 1 -0. 1 18-2 3. 8 0. 2 21-3 4 0 24-2 3. 2 0. 8 3-3 4. 9 0. 1 4-3 5. 3 -0. 3 9-2 4. 7 0. 3 14-2 5. 5 0. 5	3.5			
4 10-2 3.7 -0.2 10-2 3.8 0.2 10-2 3.5 0.5 16-2 4.1 -0.1 18-2 3.8 0.2 21-3 4 0 24-2 3.2 0.8 3-3 4.9 0.1 4-3 5.3 -0.3 9-2 4.7 0.3 14-2 5.5 -0.5 22-1 5 0				
4				
4				
4				
18-2 3.8 0.2 21-3 4 0 24-2 3.2 0.8 3-3 4.9 0.1 4-3 5.3 -0.3 9-2 4.7 0.3 14-2 5.5 -0.5 22-1 5 0				
21-3 4 0 24-2 3. 2 0. 8 3-3 4. 9 0. 1 4-3 5. 3 -0. 3 9-2 4. 7 0. 3 14-2 5. 5 -0. 5 22-1 5 0	4			
24-2 3.2 0.8 3-3 4.9 0.1 4-3 5.3 -0.3 9-2 4.7 0.3 14-2 5.5 -0.5 22-1 5 0				
5 4.9 0.1 4-3 5.3 -0.3 9-2 4.7 0.3 14-2 5.5 -0.5 22-1 5 0				
5 4-3 5.3 -0.3 9-2 4.7 0.3 14-2 5.5 -0.5 22-1 5 0				
5 9-2 4. 7 0. 3 14-2 5. 5 -0. 5 22-1 5 0				
14-2 5.5 -0.5 22-1 5 0	_			
22-1 5 0	5			
28_1				
170-1 1 4 /1 11 31		28-1	4. 7	0.3

ひび割れ幅計測精度:
$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}} = 0.297$$

技術番号	TN010015-V0122							
技術名	技術名 モービルインスペクションシステムGT-8K 開発者名 朝日航洋株式会社							
試験日	令和3年 3 月 16 日	天候	晴	気温	ı	°C	風速	m/s
試験場所	試験場所神奈川県相模原市							
カタログ分類	画像計測技術(トンネル	カタログ	検出項目 ひび	び割れ		試験		隼試験 場試験

試験で確認する 長さ計測精度 カタログ項目 (長さの相対誤差)

対象構造物の概要



- ① トンネル覆工面に測定ポイントとなるマーカー(覆エマーカー)を設置し、各々の相対距離を測定する。
- ② 本システムによる走行計測をする。
- ③ 撮影カメラ画像を同時に測定した3次元点群データへ投影し、トンネル展開画像を作成する。
- ④ トンネル展開画像の画素数と解像度より、覆エマーカー間の距離を測定し①との比較する。

開発者による計測機器の設置状況

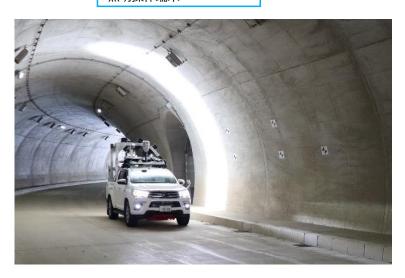






■車内

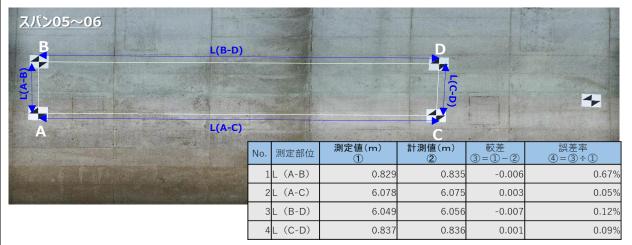
- ・レーザスキャナ計測部操作PC
- ・8Kカメラ収録・操作PC
- ・8Kカメラ操作端末
- ·照明操作端末

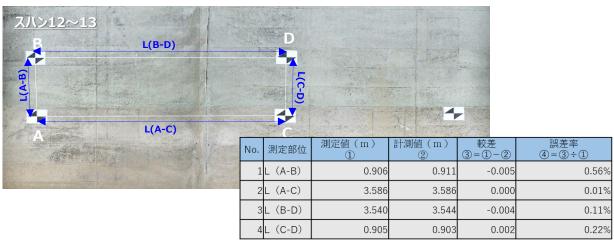


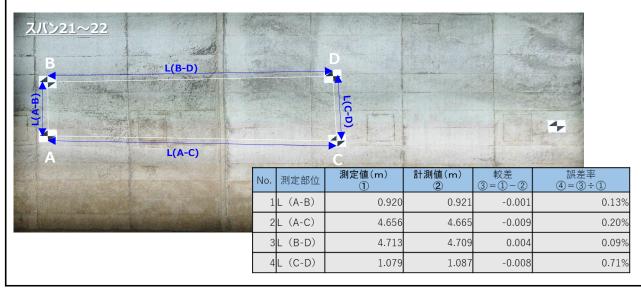
比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

_

(1)覆エマーカーとの比較結果



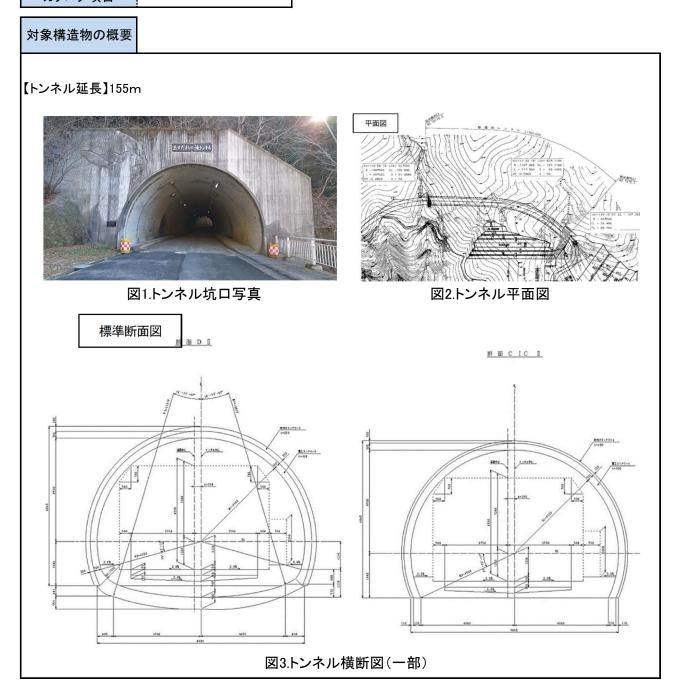




技術番号	TN010015-V0122							
技術名	技術名 モービルインスペクションシステムGT-8K 開発者名 朝日航洋株式会社							
試験日	令和3年 3 月 16 日	天候	晴	気温		°C	風速	m/s
試験場所	試験場所神奈川県相模原市							
カタログ分類	画像計測技術(トンネル	カタログ	検出項目 ひで	び割れ		試験		準試験 場試験

試験で確認する カタログ項目

位置精度



- ① トンネル覆工面に測定ポイントとなるマーカー(覆エマーカー)を設置し、各々の相対距離を測定する。
- ② 本システムによる走行計測をする。
- ③ 撮影カメラ画像を同時に測定した3次元点群データへ投影し、トンネル展開画像を作成する。
- ④ トンネル展開画像の画素数と解像度より、覆エマーカー間の距離を測定し①との比較する。

開発者による計測機器の設置状況

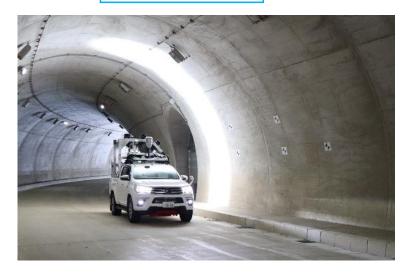






■車内

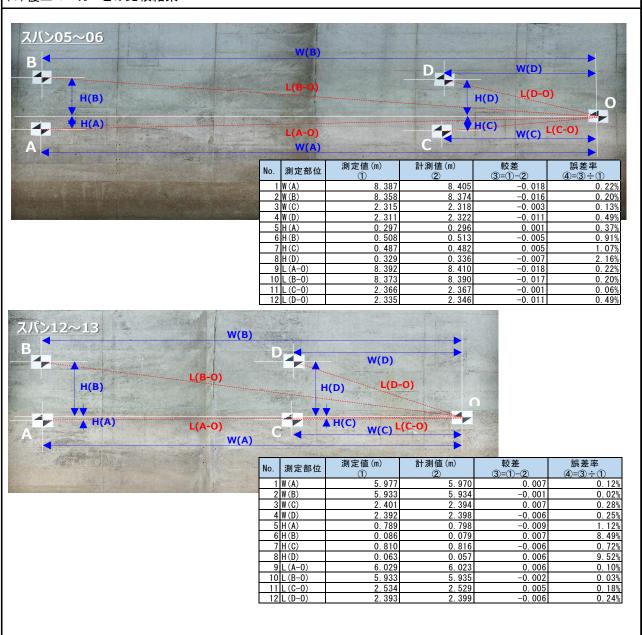
- ・レーザスキャナ計測部操作PC
- ・8Kカメラ収録・操作PC
- ・8Kカメラ操作端末
- ·照明操作端末

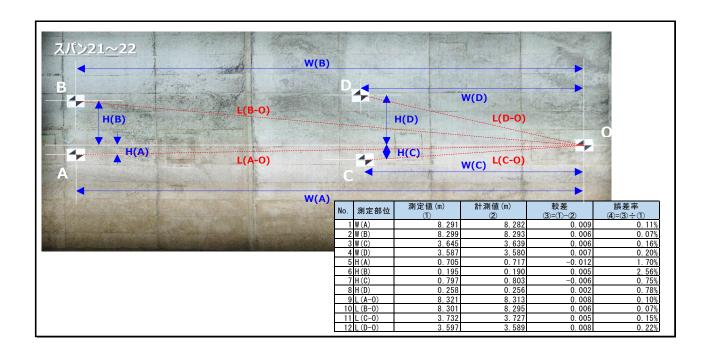


比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

_

(1)覆エマーカーとの比較結果

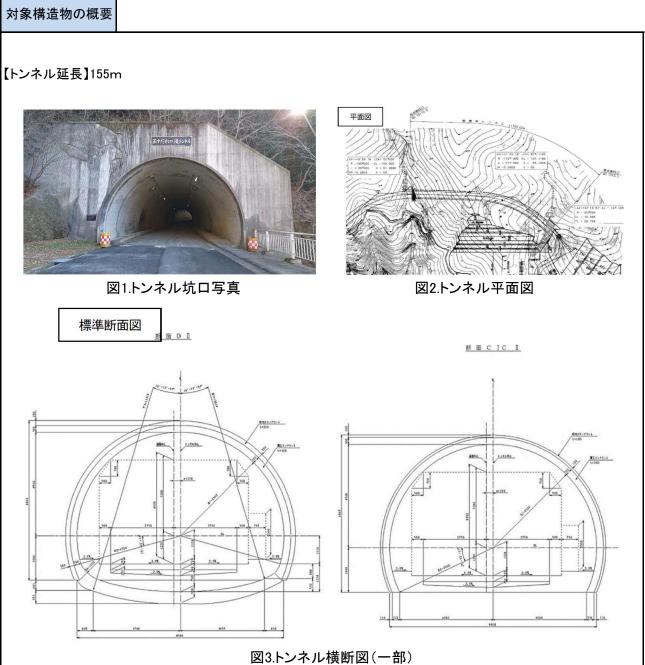




技術番号	TN010015-V0122							
技術名 モービルインスペクションシステムGT-8K				開発者名	名 朝日	日航洋株式	式会社	
試験日	令和3年 3 月 16 日	天候	晴	気温		°C	風速	m/s
試験場所	試験場所で神奈川県相模原市							
カタログ分類	画像計測技術(トンネル)	カタログ	検出項目の	び割れ		試験		準試験 場試験

試験で確認する カタログ項目

色識別性能



- ① トンネル壁面に供試体(Color Checker Classic)を設置する。
- ② 本システムにより、8Kカメラのシャッタースピードを変えて計測を行う。
- ③ 撮影した供試体画像を抽出し色調補正を行う。
- ④ ③の画像に対して、色識別可能か検証を行う。

開発者による計測機器の設置状況

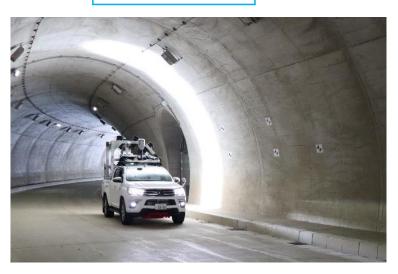






■車内・

- ・レーザスキャナ計測部操作PC
- ・8Kカメラ収録・操作PC
- ・8Kカメラ操作端末
- ·照明操作端末



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

_

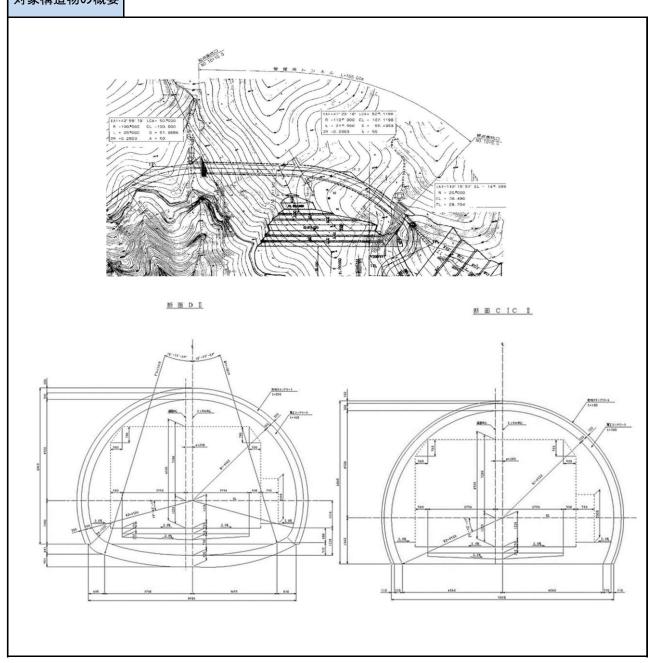
走行速度:40km/h、シャッタースピード可変※にてトンネル内の計3箇所マーカーを設置し、計測※シャッタースピード①:1/5000、シャッタースピード②:1/8000、シャッタースピード③:1/10000



技術番号	TN010016-V0122							
技術名	光波測量機「KUMONOS ンネル調査技術	〕及びレー	ザースキャナをタ	用いたト	開発者名	クモ 式会		ポレーション株
試験日	令和3年 2 月 25 日	天候	晴れ	気温		°C	風速	m/s
試験場所神奈川県相模原市								
カタログ分類	頁 画像計測技術	カタログ	検出項目の	び割れ		試験	X / \	[準試験 提試験

試験で確認する 計測精度 カタログ項目 (最小ひび割れ幅)

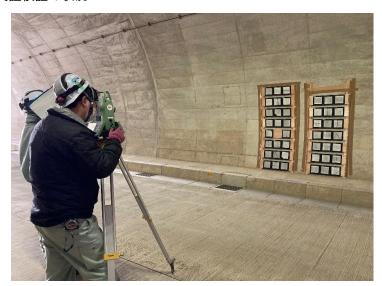
対象構造物の概要



- ① トンネル内にKUMONOSを設置し、対象物の計測を実施する
- ② 専用解析ソフトにてCAD描画を行い、計測データの確認を行う
- ③ 模擬ひび割れ供試体の正解値と計測値を比較する。
- 4

開発者による計測機器の設置状況

実証検証の状況

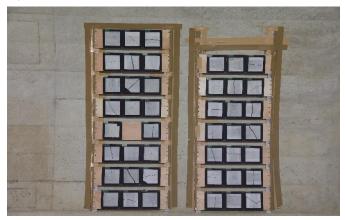


比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

スパン2



スパン19



・計測データと立会者による計測データの比較表

ひび割れ		KI	JMONOS	
番号	計測值	誤差値	照差2乗	備考
1-1 1-2-①	0.45 1.20	+0.25	0.06	
1-2-(1)	1.00	+0.10	0.01	
1-3	2.70	-0.30	0.09	
2-1 2-2	0.35 3.70	+0.05	0.00	
2-3	2.00	-0.30 ± 0.00	0.00	
3-1	2.40	-0.10	0.01	
3-2-① 3-2-②	0.75	+0.15	0.02	
3-3	5.50	+0.50	0.25	
4-1 4-2	0.95	+0.05 ±0.00	0.00	
4-2 4-3-(1)	5.40	± 0.00 +0.40	0.00	
4-3-2	0.35	+0.05	0.00	
5-1 5-2	2.90 1.80	-0.10 -0.20	0.01	
5-3	0.45	-0.20	0.04	
6-1	0.80	-0.20	0.04	
6-2-① 6-2-②	0.60	± 0.00 ± 0.00	0.00	
6-3	3.20	+0.20	0.04	
7-1	1.20	-0.10	0.01	
7-2-① 7-2-②	1.30	-0.10	0.01	7-2-①に計上
7-2-3	0.40	± 0.00	0.00	. L GRAIT
7-3-①	2.70	-0.30	0.09	
7-3-② 7-3-③	3.60 0.55	+0.10	0.01	
8-1-①	0.75	+0.05	0.00	
8-1-2	- 0.75	- 0.05	0.00	8-1-①に計上
8-1-③ 8-1-④	0.75	+0.05	0.00	
8-2-①	0.85	-0.05	0.00	
8-2-② 8-3	0.15 2.90	+0.05	0.00	
8-3 9-1	1.50	-0.10	0.01	
9-2	4.80	-0.20	0.04	
9-3	0.25	-0.05 ±0.00	0.00	
10-2	4.20	+0.20	0.00	
11-1	2.90	+0.40	0.16	
11-2-① 11-2-②	0.30	+0.30	0.09	
11-3	0.45	-0.05	0.00	
12-1-①	0.35	+0.05	0.00	※方向回転
12-1-② 12-2	0.20	+0.10	0.01	※方向回転 ※パネル無
12-3	2.20	+0.20	0.04	///
13-1	3.00	± 0.00	0.00	
13-2 13-3-①	0.20 1.40	± 0.00 +0.20	0.00	
13-3-②	0.65	+0.25	0.06	
14-1 14-2-①	0.65 6.40	+0.35	0.12 1.96	
14-2-②	0.40	-0.05	0.00	
14-3	2.00	± 0.00	0.00	
15-1 15-2	0.45 3.10	+0.05	0.00	
15-3	0.85	-0.05	0.00	
16-1 16-2	0.75 4.10	+0.05	0.00	
17-1	0.60	+0.10 ± 0.00	0.01	
17-3	0.80	± 0.00	0.00	
18-2-① 18-3-①	4.00 0.60	± 0.00	0.00	
19-1	1.40	-0.20	0.04	
19-2	4.90	-0.10	0.01	
19-3-①	0.45	+0.05 ±0.00	0.00	
20-1-① 20-2-①	1.50 4.10	+0.60	0.00	
20-3-①	0.30	± 0.00	0.00	
21-1-① 21-2	0.40	±0.00 +0.10	0.00	
21-3-①	4.20	+0.20	0.04	
22-1 22-2	4.70 0.80	-0.30 -0.30	0.09	
22-3-①	0.80	-0.30	0.09	
23-1-①	0.75	-0.05	0.00	
23-1-② 23-3-①	0.30 3.00	± 0.00	0.00	
23-3-①	5.00	-0.50	0.25	23-3-①に計上
23-3-3	0.25	+0.05	0.00	
24-1-① 24-2	0.35 4.40	-0.05 +0.40	0.00	
24-3-1	1.50	-0.20	0.04	
24-3-2	0.30	-0.10	0.01	
24-3-③ 25-1-①	0.10	-0.10	0.01	※パネル無
25-1-2	1			※パネル無
25-2	2.50	+0.00	0.00	※パネル無
26-1 26-2	2.50 0.60	± 0.00	0.00	
27-2	-	-		※パネル無
27-3-① 28-1	2.90 4.70	-0.10 -0.30	0.01	
28-1	0.55	-0.30	0.09	
29-1	3.30	+0.30	0.09	
29-2 30-1	1.80 0.30	-0.20 ±0.00	0.04	
30-2-①	3.60	+0.10	0.00	
30-3	2.60	+0.10	0.01	

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

照明により100ルクス以上を確保(検証時:100ルクス)

計測覆工面の状況:すす等でひび割れがおおわれていると、検出精度が低下する

②本試験時の条件

補助照明なし

汚れ無し

・最小ひび割れ幅

技術名	最小ひび割れ幅(mm)		
光波測量機「KUMONOS」及びレー ザースキャナを用いたトンネル調査技術	0.2		

・ひび割れ幅計測精度E

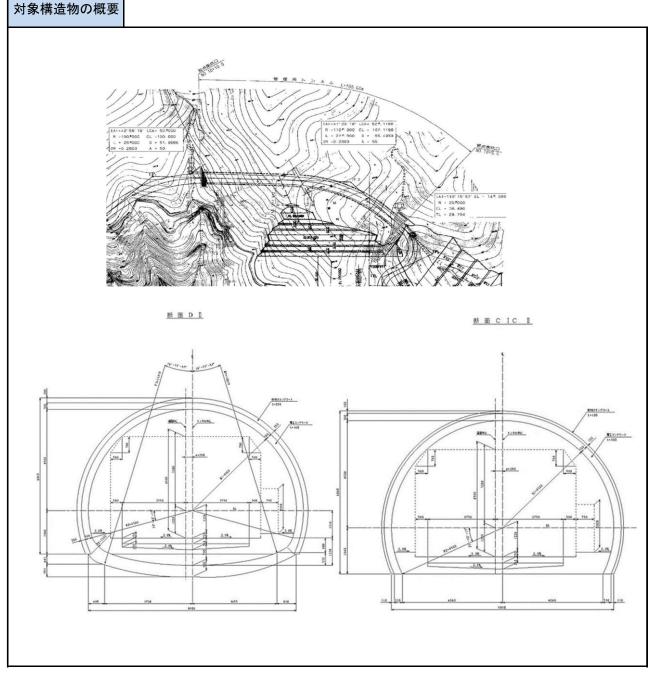
技術名	検出精度E(mm)		
光波測量機「KUMONOS」及びレー ザースキャナを用いたトンネル調査技術	0.093		

・ひび割れ幅計測精度
$$E=\sqrt{rac{(x_1-a_1)^2+\cdots+(x_n-a_n)^2}{n}}$$

技術番号 TN010016-V0122 クモノスコーポレーション株 式会社 光波測量機「KUMONOS」及びレーザースキャナを用いたト 技術名 開発者名 ンネル調査技術 試験日 令和3年 2 月 25 日 天候 晴れ 気温 °С 風速 $\,\mathrm{m/s}$ 試験場所 神奈川県相模原市 標準試験 カタログ分類画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 試験区分 現場試験

試験で確認する カタログ項目

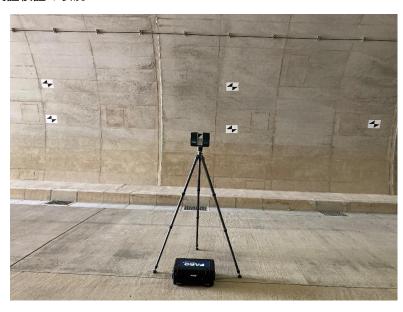
長さ計測精度、位置精度



- ① トンネル内にTLSを設置し、対象物の計測を実施する
- ② TLSの本体液晶画面にて、計測データの確認を行う
- ③ マーカー設置時の計測長さ・位置等の値を、取得データからの検出結果と比較し、長さ計測精度及び位置精度を求める。
- 4

開発者による計測機器の設置状況

実証検証の状況



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

スパン5・6



スパン12・13



スパン21・22



計測結果の比較

・計測データと立会者による計測データの比較表(長さ計測精度)

S5-S6

測定部位	実測値	計測値	誤差値	誤差率
L(A-B)	0.829	0.828	-0.001	-0.12%
L(A-C)	6.078	6.079	+0.001	0.02%
L(B-D)	6.049	6.049	± 0.000	0.00%
L(C-D)	0.837	0.837	± 0.000	0.00%

S12-S13

測定部位	実測値	計測値	誤差値	誤差率
L(A-B)	0.906	0.905	-0.001	-0.11%
L(A-C)	3.586	3.587	+0.001	0.03%
L(B-D)	3.540	3.541	+0.001	0.03%
L(C-D)	0.905	0.904	-0.001	-0.11%

S21-S22

測定部位	実測値	計測値	誤差値	誤差率
L(A-B)	0.920	0.918	-0.002	-0.22%
L(A-C)	4.656	4.655	-0.001	-0.02%
L(B-D)	4.713	4.716	+0.003	0.06%
L(C-D)	1.079	1.082	+0.003	0.28%

技術名	平均誤差率	長さ精度	長さ精度	
1文四石	(全体)	(周方向)	(進行方向)	
光波測量機「KUMONOS」及びレー	0.05%	0.14%	0.03%	
ザースキャナを用いたトンネル調査技術	0.05/6	0.1470	0.03/0	

計測結果の比較

・計測データと立会者による計測データの比較表(位置精度)

S5-S6

測定部位	正解值	計測値	誤差値	誤差率
W(A)	8.387	8.384	-0.003	-0.04%
W(B)	8.358	8.356	-0.002	-0.02%
W(C)	2.315	2.308	-0.007	-0.30%
W(D)	2.311	2.310	-0.001	-0.04%
H(A)	0.297	0.297	±0.000	0.00%
H(B)	0.508	0.507	-0.001	-0.20%
H(C)	0.487	0.486	-0.001	-0.21%
H(D)	0.329	0.329	±0.000	0.00%

S12-S13

測定部位	正解值	計測值	誤差値	誤差率
W(A)	5.977	5.978	+0.001	0.02%
W(B)	5.933	5.933	± 0.000	0.00%
W(C)	2.401	2.386	-0.015	-0.62%
W(D)	2.392	2.392	± 0.000	0.00%
H(A)	0.789	0.789	± 0.000	0.00%
H(B)	0.086	0.085	-0.001	-1.16%
H(C)	0.810	0.810	± 0.000	0.00%
H(D)	0.063	0.062	-0.001	-1.59%

S21-S22

測定部位	正解值	計測値	誤差値	誤差率
W(A)	8.291	8.285	-0.006	-0.07%
W(B)	8.299	8.296	-0.003	-0.04%
W(C)	3.645	3.631	-0.014	-0.38%
W(D)	3.587	3.580	-0.007	-0.20%
H(A)	0.705	0.703	-0.002	-0.28%
H(B)	0.195	0.195	± 0.000	0.00%
H(C)	0.797	0.796	-0.001	-0.13%
H(D)	0.258	0.261	+0.003	1.16%

技術名	平均誤差率	位置精度	位置精度	
[[[] [] [] [] [] [] [] [] []	(全体)	(周方向)	(進行方向)	
光波測量機「KUMONOS」及びレー	0.07%	0.8m m	4.9m m	
ザースキャナを用いたトンネル調査技術	0.07 /0	0.0111111	4.911111	

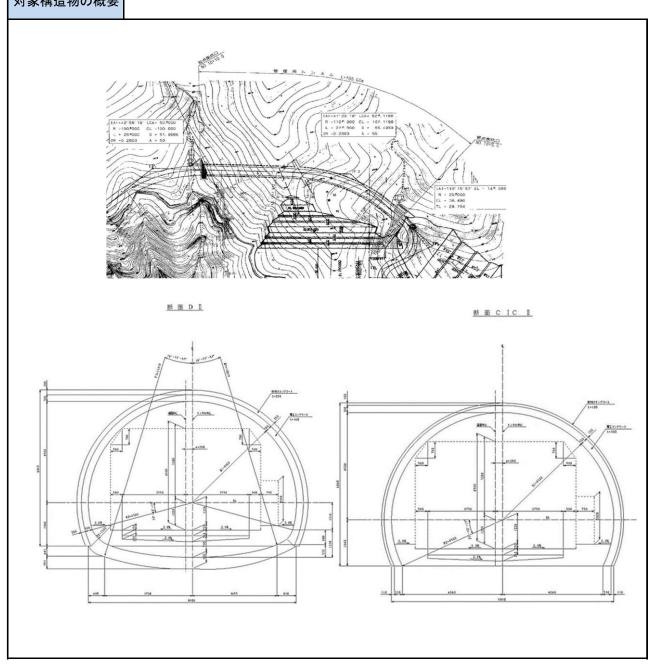
技術番号 TN010016-V0122 クモノスコーポレーション株 式会社 光波測量機「KUMONOS」及びレーザースキャナを用いたト 技術名 開発者名 ンネル調査技術 試験日 令和3年 2 月 25 日 天候 晴れ 気温 °С 風速 $\,\mathrm{m/s}$ 試験場所 神奈川県相模原市

カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 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

色識別性能

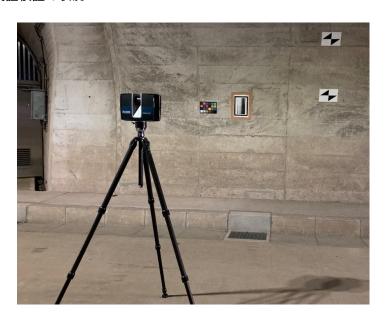
対象構造物の概要



- ① トンネル内にTLSを設置し、対象物の計測を実施する
- ② 計測データの確認を行う
- ③ 取得点群から色識別結果と比較し、色識別性能を確認する
- 4

開発者による計測機器の設置状況

実証検証の状況

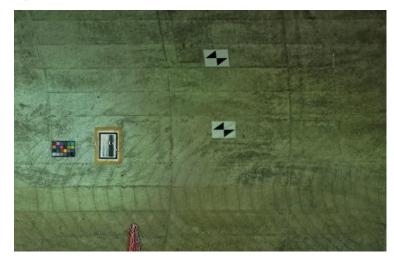


比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

スパン2



スパン13



スパン22



計測結果の比較

•色識別性能確認結果



色識別性能

フルカラー識別可能

技術番号	TN010017-V0123								
技術名 軽車両搭載型トンネル点検支援システム(MIMM-S) 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	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 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 試験区分 標準試験 現場試験									

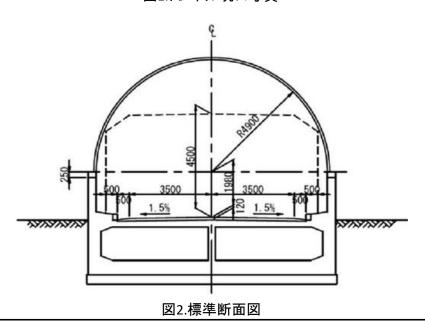
試験で確認する 最小ひび割れ幅・計測精 カタログ項目 度

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



技術番号

TN010017-V0123

- ① 対象トンネル内にて画像撮影部及びレーザー計測部のキャリブレーションを行う。
- ② 対象トンネル内を走行し、計測を行う(各計測毎に走行速度及びカメラパラメータを変更する)
- ③ 撮影と同時に取得した点群データを元に供試体箇所の画像成形を行う。
- ④ ひび割れ供試体の各ひび割れ幅と、③で作成した成形画像を比較し、最小ひび割れ幅及び計測精度を求める。

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

■実大トンネル内に設置したひび割れ供試体状況



■計測データと立会者による計測データの比較表

ひび	割れ	番号	計測結果(mm)	真値(mm)	誤差(mm)	最小二乗誤差(mm)
1	-	1	0.3		0.2	0.1	0.0
1	-	2	1	2	1.1	-0.1	0.0
	~	2	0.5	4	0.5	0	
	-	2	0.5	7	0.7	-0.2	0.0
1	-	3	3.5		3	0.5	0.2
2	-	1	0.3		0.3	0	
2	-	2	3.5		3.5	0	
2	-	3	1		1.6	-0.6	0.3
3	-	1	3		2.5	0.5	0.2
3	-	2	0.5	2	0.6	-0.1	0.0
	÷	2	0.3	4	0.2	0.1	0.0
3	-	3	5		5	0	
4	-	1	1		0.9	0.1	0.0
4	-	2	0.3		0.4	-0.1	0.0
4	-	3	0.3	3	0.2	0.1	0.0
	-	3	5	7	5	0	
5	-	1	3		3	0	
5	-	2	2		2	0	
5	-	3	0.3		0.4	-0.1	0.0
6	÷	1	1		1	0.1	0.0
6	-	2	0.5	1	0.6	-0.1	0.0
0		2	0.5	4	0.5		0.0
	-	_	1100001			0	0.4
_	7	2	0.3	6	0.4	-0.1	0.0
6	-	3	3		3	0	
7	-	1	1		1.3	-0.3	0.0
7	-	2	1	2	1.1	-0.1	0.0
	2	2	0.5	(5)	0.6	-0.1	0.0
	÷	2	0.3	8	0.3	0	
7	-	3	4	2	3	1	
	2	3	4	7	3.5	0.5	0.2
8	~	1	0.5	4	0.4	0.1	0.0
	-	1	0.3	7	0.2	0.1	0.0
	~	1	0.5	10	0.7	-0.2	0.0
8	2	2	0.3	(5)	0.1	0.2	0.0
	-	2	0.3	6	0.1	0.2	0.0
	-	2	0.3	7	0.1	0.2	0.0
8	-	3	4		3	1	
9	-	1	2		2	0	
9	-	2	5		5	0	
9	-	3	0.3		0.3	0	
10	-	1	0.5	1	0.5	0	
2000	-	1	0.5	2	0.4	0.1	0.0
10	-	2	4		4	0	-
11	-	1	3		2.5	0.5	0.:
11	-	2	1	2	0.9	0.1	0.
11	_	2	0.3	6	0.2	0.1	0.0
11	-	3	0.3	9	0.2	-0.1	0.
12	-	1	0.3	1	0.4	0.1	0.
12	-						0.
10		1	0.3	2	0.3	0	
12	-	2	1		1	0	
12	•	3	2		2	0	
13	-	1	3		3	0	
13	-	2	0.3		0.2	0.1	0.
13	-	3	1	1	0.9	0.1	0.
	-	3	0.3	4	0.5	-0.2	0.0

14	-	1	0.3		0.3	0	0
14	-	2	5	(2)	5	0	0
14	-	1	0.3	6	0.3	0	0
14	-	3	2		2	0	0
15	-	1	0.3		0.2	0.1	0.01
15	-	2	3		3	0	0
15	-	3	0.5		0.7	-0.2	0.04
16	-	1	0.5		0.7	-0.2	0.04
16	-	2	5		3.5	1.5	2.25
17	-	1	0.5		0.7	-0.2	0.04
17		3	0.5		0.8	-0.3	0.09
18	-	2	4		4	0	0
18	-	3	0.5		0.7	-0.2	0.04
19	-	1	1		1.5	-0.5	0.25
19	-	2	5		5	0	0
19	-	3	0.3		0.3	0	0
20	- 7	1	1		1.5	-0.5	0.25
20	-	2	4		3.5	0.5	0.25
20	-	3	0.3		0.3	0	0
21	-	1	0.3		0.4	-0.1	0.01
21	-	2	0.5		0.8	-0.3	0.09
21	100	3	4		4	0	0
22	-	1	5		4.5	0.5	0.25
22	300	2	1		1	0	0
22	-	3	0.3		0.3	0	0
23	(-7)	1	0.3	1	0.3	0	0
	-	1	0.5	3	0.8	-0.3	0.09
23	-	3	4	(5)	3.5	0.5	0.25
	=	3		(7)	0:1		
24	-	1	0.5		0.4	0.1	0.01
77.07.07	-	1	0.5		0.5	0	0
24	-	2	4		4	0	0
24	-	3	0.3		0.4	-0.1	0.01
	-	3	1		1.5	-0.5	0.25
05	-	3	0.3		0.2	0.1	0.01
25	-	1	0.3		0.2	0.1	0.01
25	-	2	0.3		0.4 1.1	-0.1 -0.1	0.01
26	-	1	3		2.5	-0.1	0.01
26	-	2	0.5		0.7	-0.2	0.25
27		2	1		0.7	0.1	0.04
27	-	3	3		3	0.1	0.01
28	-	1	5		4	1	1
28	-	2	0.5		0.7	-0.2	0.04
29	-	1	3		3	0.2	0.04
29	-	2	1		2	-1	1
30	-	1	0.5		0.3	0.2	0.04
30	-	2	4		3.5	0.5	0.25
		-	3		0.0	0.5	0.25

最小*ひび*割れ幅(mm) 0.2 検出精度E(mm) 0.327

$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}}$$

但し、x1~xn:ひび割れ測定結果

(最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

a:ひび割れ幅(真値)

n:データ数

(最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

技術番号	TN010017-V0123									
技術名 軽車両搭載型トンネル点検支援システム(MIMM-S) 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	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 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 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・位置計測精度

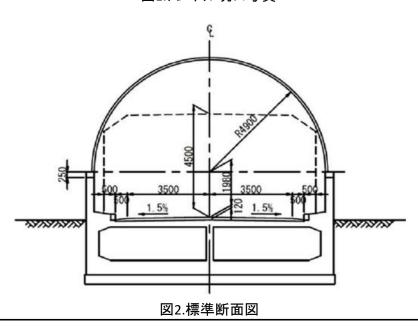
対象構造物の概要

■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



① 対象トンネル内にて画像撮影部及びレーザー計測部のキャリブレーションを行う。

- ② 対象トンネル内を走行し、計測を行う。
- ③ 撮影と同時に取得した点群データを元にトンネル展開画像を作成する。
- ④ トンネル展開画像からトンネルマーカー間の距離及び位置算出、実測値と比較を行う。

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トンネルマーカー状況



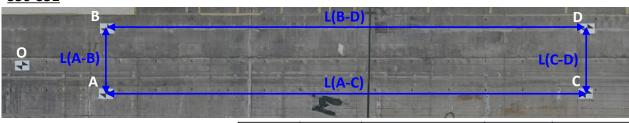
図3.トンネルマーカー状況写真

技術番号

TN010017-V0123

■トンネルマーカー測定結果(長さ計測精度)

S50-S51



· 測定部位	実測値 (A)m	画像による計測値 (B)m	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)		
L(A-B)	1.39	1.37	0.02	1.44%		
L(C-D)	1.41	1.36	0.05	3.55%		
L(A-C)	9.84	9.84	0	0.00%		
L(B-D)	9.84	9.85	-0.01	-0.10%		

S53-S54



測定部位	実測値 (A)m	画像による計測値 (B)m	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)
L(A-B)	1.42	1.37	0.05	3.52%
L(C-D)	1.41	1.36	0.05	3.55%
L(A-C)	10.36	10.32	0.04	0.39%
L(B-D)	10.38	10.34	0.04	0.39%

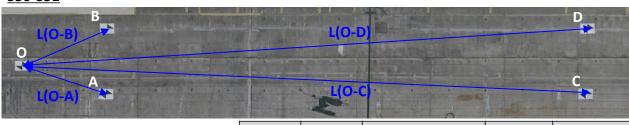
S56-S57



測定部位	実測値	画像による計測値	差	誤差率	
测定部位 (A)m		(B)m	(C)=(A)-(B)	(D)=(C)/(A)	
L(A-B)	1.43	1.37	0.06	4.20%	
L(C-D)	1.45	1.37	0.08	5.52%	
L(A-C)	8.95	8.91	0.04	0.45%	
L(B-D)	8.98	8.93	0.05	0.56%	

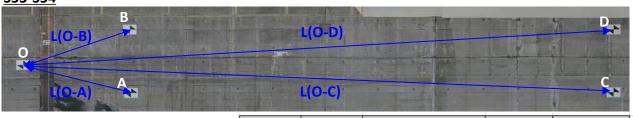
■トンネルマーカー測定結果(位置計測精度)

S50-S51



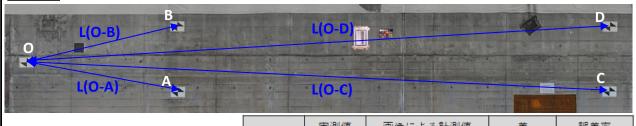
測定部位	実測値 (A)m	画像による計測値 (B)m	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)		
L(O-A)	1.83	1.82	0.01	0.55%		
L(O-B)	1.92	1.91	0.01	0.52%		
L(O-C)	11.58	11.58	0	0.00%		
L(O-D)	11.62	11.62	0	0.00%		

S53-S54



測定部位	実測値 (A)m	画像による計測値 (B)m	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)
L(O-A)	2.42	2.38	0.04	1.65%
L(O-B)	2.42	2.38	0.04	1.65%
L(O-C)	12.7	12.6	0.1	0.79%
L(O-D)	12.7	12.6	0.1	0.79%

S56-S57



測定部位	実測値 (A)m	画像による計測値 (B)m	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)
L(O-A)	3.21	3.18	0.03	0.93%
L(O-B)	3.21	3.18	0.03	0.93%
L(O-C)	12.11	12.04	0.07	0.58%
L(O-D)	12.11	12.04	0.07	0.58%

技術番号	TN010017-V0123								
技術名	軽車両搭載型トンネル点		開発者名	3 計》	則検査株式	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	ノネル実験施設						
カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 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

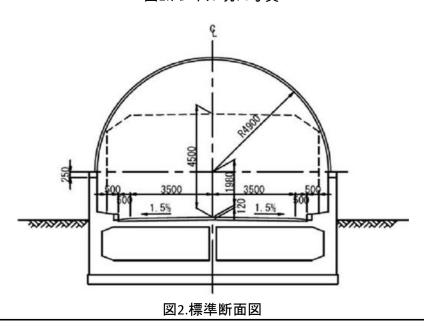
覆工表面が煤で汚れた状態での ひび割れの検出性能

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

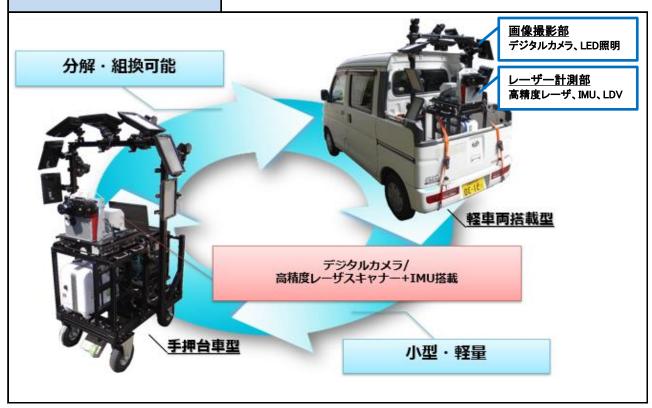


技術番号

TN010017-V0123

- ① 対象トンネル内にて画像撮影部及びレーザー計測部のキャリブレーションを行う。
- ② 対象トンネル内を走行し、計測を行う。
- ③ 撮影された画像から各ひび割れが検出可能な輝度値範囲を目視にて確認を行う。

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グレースケール供試体状況

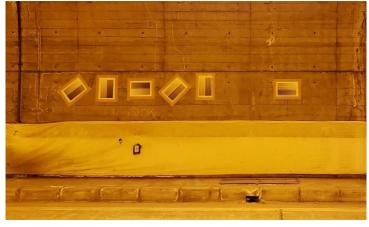
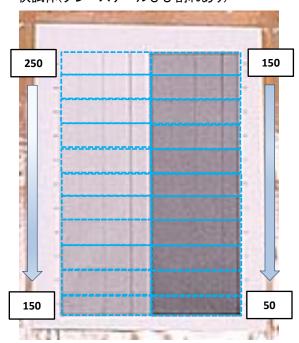


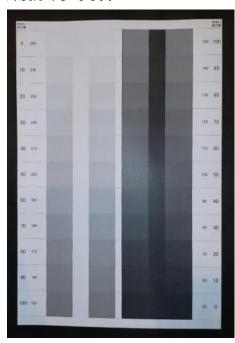
図3.グレースケール供試体状況写真

■計測データと立会者による計測データの比較表

供試体(グレースケールひび割れあり)



輝度分布参考写真



	ひび割れ幅(mm)		輝度値別識別可否																			
	O'O'SJANA(MIM)	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
Ī	0.3	×	ж	ж	ж	ж	ж	ж	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ī	0.5	ж	ж	ж	ж	ж	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	1	ж	ж	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

技術番号	TN010017-V0123								
技術名 軽車両搭載型トンネル点検支援システム(MIMM-S) 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	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	ノネル実験施設		·				
カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 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

マーキング検出可否

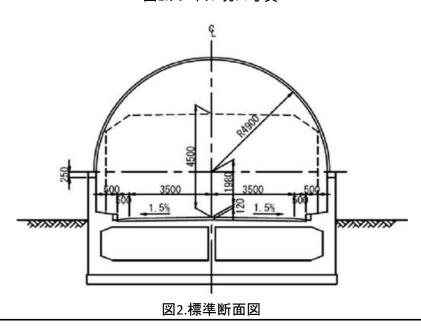
対象構造物の概要

■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

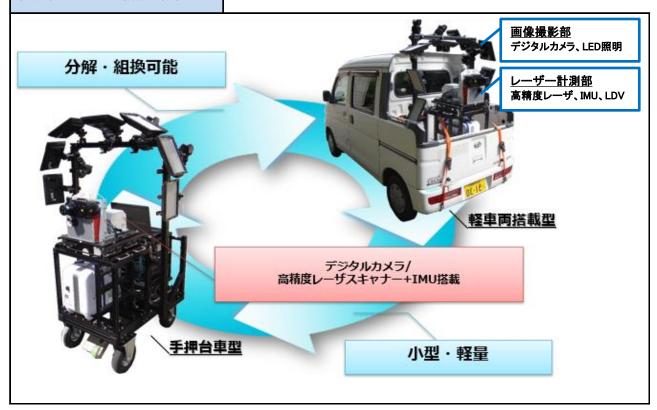


技術番号

TN010017-V0123

- ① 対象トンネル内にて画像撮影部及びレーザー計測部のキャリブレーションを行う。
- ② 対象トンネル内を走行し、計測を行う。
- ③ 撮影された画像から各マーキングが検出可能か目視にて確認を行う。

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供試体状況



図3-1.マーキング供試体(コンクリート)状況写

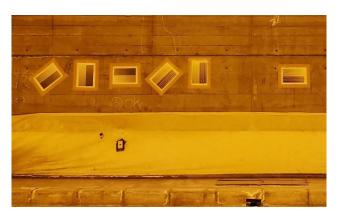


図3-2.マーキング供試体(グレースケール)状

技術番号

TN010017-V0123

■計測データと立会者による計測データの比較表

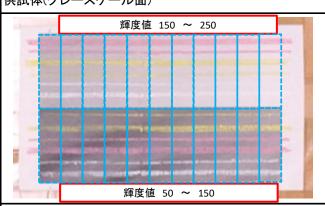
供試体(コンクリート面)



識別確認表

マーキン	グ色・幅	マーキングの向き						
色	幅(mm)	水平	垂直	45°				
Á	5	0	0	0				
	10	0	0	0				
黄	5	0	0	0				
<u> </u>	10	0	0	0				
ピンク	5	0	0	0				
	10	0	0	0				

供試体(グレースケール面)



識別確認表

マーキン	グ色・幅	検出可能な輝度
色	幅(mm)	火山 寸 配 〜 岸皮
Á	5	240以下で全て確認可
Н	10	全て確認可
黄	5	全て確認可
異	10	全て確認可
ピンク	5	全て確認可
	10	全て確認可

技術番号	TN010017-V0123								
技術名	軽車両搭載型トンネル点		開発者名	3 計》	則検査株式	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	ノネル実験施設						
カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 試験区分 標準試験 現場試験									

試験で確認する 煤で埋まったひび割れの検出可 カタログ項目 否

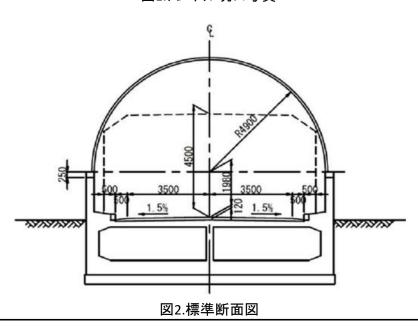
対象構造物の概要

■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

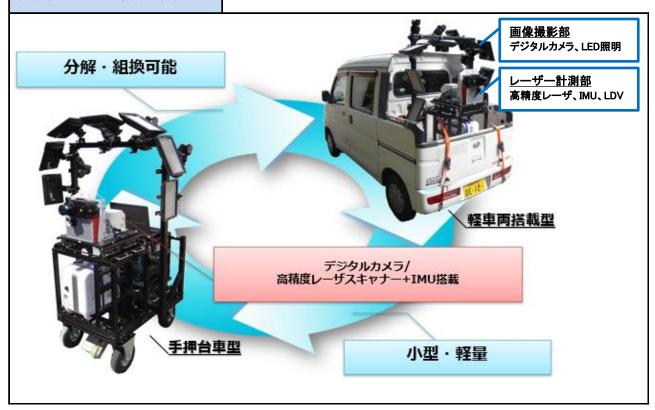


技術番号

TN010017-V0123

- ① 対象トンネル内にて画像撮影部及びレーザー計測部のキャリブレーションを行う。
- ② 対象トンネル内を走行し、計測を行う。
- ③ 撮影された画像から各ひび割れが検出可能か目視にて確認を行う。

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煤を要したひび割れ供試体状況

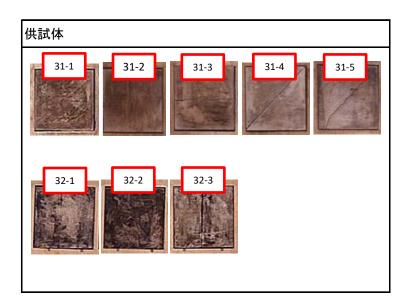


図3.煤によるひび割れ供試体状況写真

技術番号

TN010017-V0123

■計測データと立会者による計測データの比較表



判別可否確認表

ひび	割れ	番号	判別可否	真値(mm)
31	-	1	不可	0.2
31	-	2	可	0.3
	-	2	可	0.4
31	-	3	可	0.5
31	-	4	可	0.7
31	-	5	可	0.8
32	-	1	不可	0.1
32	-	2	可	0.4
32	-	3	可	0.7

技術番号	TN010017-V0123								
技術名	軽車両搭載型トンネル点	(検支援シ	ステム(MIMM-S)		開発者名	3 計》	則検査株式	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	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひび	び割れ		試験		準試験 場試験	

試験で確認する カタログ項目

色識別性能

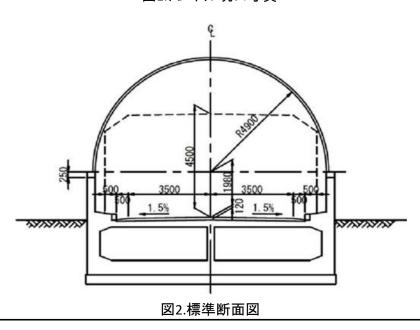
対象構造物の概要

■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

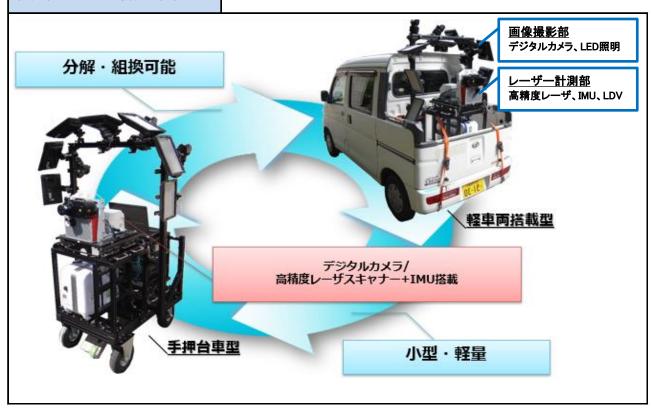


技術番号

TN010017-V0123

- ① 対象トンネル内にて画像撮影部及びレーザー計測部のキャリブレーションを行う。
- ② 対象トンネル内を走行し、計測を行う。
- ③ 撮影された画像からどの程度の色調差が識別可能か3人の技術者が目視確認にて検証を行う。

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カラーチャート状況



図3.カラーチャート状況写真

■計測データの評価結果



色識別性能

フルカラー識別可能

技術番号	TN010018-V0123									
技術名 360度カメラ撮影による定期点検支援技術					開	発者名	京都大	団法人 先端インフ・ 学大学院 エ学研究 端技術産学共同講原	2科 社会基盤	
試験日	令和3年 2 月 10 日	天候	<u> হিছ</u>	気温	1	4	°C	風速	2.6	m/s
試験場所	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 画像計測技術 カタログ 検出項目 Erざ、ひび割れ、段差他 ※ただし、画像で確認できる 試験区分 標準試験

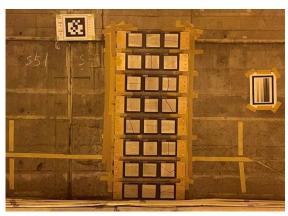
試験で確認する カタログ項目

計測精度

対象構造物の概要



実大トンネル実験施設



ひび割れパネル

技術番号

TN010018-V0123

- ① 360度カメラを保持しながら徒歩にてトンネル内を1周した。 歩行速度は1.0m/s、トンネル壁面までの距離は1.5mとした。
- 撮影した動画をクラウドサーバーにアップロードし、クラウドサーバー上にて自動でオルソ画像と3D点群データを作成した。
- ③ 作成されたオルソ画像より手動でひび割れを抽出し、オルソ画像とリンクされた点群データ上でひび割れ幅を計測した。

4

開発者による計測機器の設置状況



設置なし(計測者が手に保持する)

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

No.	真値 (mm)	計測値 (mm)	計測精度 ^{※2} (mm)
1-1	0. 2	0.8	0.6
1-2-1	1. 1	1.8	0. 7
1-2-2	0. 5	1. 0	0. 5
1-2-3	0. 7	2. 1	1.4
1-3	3.0	5. 2	2. 2
2-1	0.3	_	_
2-2	3. 5	3. 1	0.4
2-3	1.6	3. 1	1.5
3-1	2. 5	3. 3	0.8
3-2-1	0.6	1.5	0. 9
3-2-2	0. 2	-	ı
3-3	5. 0	3. 6	1.4
4-1	0. 9	1. 5	0.6
4-2	0.4	-	1
4-3-1	5.0	3. 3	1. 7
4-3-2	0. 2	_	-
5-1	3.0	2. 3	0. 7
5-2	2. 0	2. 6	0.6
5-3	0.4	1. 2	0.8
6-1	1.0	_	_
6-2-1	0. 6	1.6	1.0
6-2-2	0.4	-	_
6-2-3	0. 5	0.8	0.3
6-3	3. 0	2. 5	0.5
7-1	1.3	1. 7	0.4
7-2-1	1.1	_	_
7-2-2	0. 3	_	_
7-2-3	0. 6	_	-
7-3-1	3. 0	3. 0	0.0
7-3-2	3. 5	4. 9	1.4
8-1-1	0. 2	_	_
8-1-2	0.4	_	_
8-1-3	0. 7	_	_
8-2	0. 1	_	_

No.	真値	計測値	計測精度※2
NO.	(mm)	(mm)	(mm)
8-3	3. 0	_	-
9-1	2. 0	1. 6	0. 4
9-2	5. 0	4. 8	0. 2
9-3	0. 3	_	_
10-1-1	0. 5	1. 0	0. 5
10-1-2	0. 4	1. 1	0. 7
10-2	4. 0	2. 5	1. 5
11-1	2. 5	2. 2	0. 3
11-2-1	0. 9	1. 5	0. 6
11-2-2	0. 2	-	-
11-3	0. 4	0. 4	0.0
12-1-1	0. 3	-	-
12-1-2	0. 2	-	-
12-2	1. 0	1. 9	0. 9
12-3	2. 0	1. 5	0. 5
13-1	3. 0	2. 5	0. 5
13-2	0. 2	-	-
13-3-1	0. 9	1. 7	0.8
13-3-2	0. 5	_	I
14-1	0. 3	_	I
14-2-1	5. 0	3. 5	1. 5
14-2-2	0. 3	_	ı
14-3	2. 0	1. 4	0. 6
15-1	0. 2	_	I
15-2	3. 0	3. 6	0. 6
15-3	0. 7	2. 2	1. 5
16-1	0. 7	-	I
16-2	3. 5	2. 5	1.0
17-1	0. 7	1. 2	0. 5
17-3	0.8	1. 2	0. 4
18-2	4. 0	2. 5	1. 5
18-3	0. 7	1. 2	0. 5
19-1	1.5	1. 3	0. 2
19-2	5. 0	3. 6	1. 4

^{※1} ーは計測不可を示す

^{※2} 最小ひび割れ幅(a)の複数(n個)の模擬ひび割れの計測結果xi(1≦i≦n)の二乗平均平方根誤差(mm)により評価

No.	真値	計測値	計測精度※2
110.	(mm)	(mm)	(mm)
19-3	0.3	_	-
20-1	1.5	0.9	0.6
20-2	3.5	2. 4	1. 1
20-3	0.3	_	1
21-1	0.4	_	l
21-2	0.8	2. 1	1. 3
21-3	4. 0	3. 3	0. 7
22-1	4. 5	1. 9	2. 6
22-2	1.0	-	-
22-3	0.3	_	-
23-1-1	0.8	1. 1	0. 3
23-1-2	0.3	-	_
23-3-1	3.5	2. 6	0.9
23-3-2	0.1	_	-
24-1-1	0.5	0.9	0.4
24-1-2	0.4	0.8	0.4
24-2	4.0	2. 7	1. 3
24-3-1	1.5	2. 2	0. 7
24-3-2	0.4	0.7	0.3
24-3-3	0. 2	_	-
25-1-1	0.4	1.3	0.9
25-1-2	0. 2	0.8	0.6
25-2	1.1	2. 6	1. 5
26-1	2. 5	2. 7	0. 2
26-2	0. 7	1. 3	0. 6
27-2	0. 9	1. 2	0. 3
27-3	3.0	2. 1	0.9
28-1	4. 0	3. 2	0.8
28-2	0. 7	_	_
29-1	3. 0	2. 4	0.6
29-2	2. 0	2. 7	0. 7
30-1	0. 3		-
30-2	3. 5	5. 6	2. 1
30-3	2. 5	4. 2	1. 7

- 0. 6 0. 6 0. 5 0. 5 0. 6 0. 7
0. 6 0. 5 0. 5 0. 6 0. 7
0. 6 0. 5 0. 5 0. 6 0. 7
0. 6 0. 5 0. 5 0. 6 0. 7
0. 5 0. 5 0. 6 0. 7
0. 5 0. 6 0. 7
0. 6 0. 7
0.7
וד ח
v. /
0.6
0.7
0.7
0.7
0.7
0.7
0.7
0.7
0.7
0.7
0.8
0.8
0.8

^{※1} 一は計測不可を示す

^{※2} 最小ひび割れ幅(a)の複数(n個)の模擬ひび割れの計測結果xi(1≤i≤n)の二乗平均平方根誤差(mm)により評価

^{※3} 当該ひび割れ幅以下のひび割れのみを対象とした計測精度

技術番号	TN010018-V0123								
技術名 360度カメラ撮影による定期点検支援技術						京都大	は団法人 先端インフ・ 大学大学院 エ学研究 端技術産学共同講成	2科 社会基盤	
試験日	令和3年 2 月 10 日	天候	雨	気温	4	°C	風速	2.6	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	画像計測技術	カタログ	検出項目 ※た	、ひび割れ だし、画像 ⁻ に限る。	、段差他 で確認できる	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

対象構造物の概要



実大トンネル実験施設



トンネルマーカー

技術番号

TN010018-V0123

- ① 360度カメラを保持しながら徒歩にてトンネル内を1周した。 歩行速度は1.0m/s、トンネル壁面までの距離は1.5mとした。
- ② 撮影した動画をクラウドサーバーにアップロードし、クラウドサーバー上にて自動でオルソ画像と3D点群データを作成した。
- ③ 作成されたオルソ画像より手動でトンネルマーカーを抽出し、オルソ画像とリンクされた点群データ上でマーカー間の距離を計測した。

4

開発者による計測機器の設置状況



設置なし(計測者が手に保持する)

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

技術番号

0

・長さ計測結果



		真値	計測値	誤差	誤差率
スパン	測定部位	(m)	(m)	(m)	(%)
	A-B	1. 366	1. 391	0. 025	1.83
S50-S51	C-D	1.360	1. 384	0. 024	1. 76
330-331	A-C	9. 837	10. 029	0. 192	1. 95
	B-D	9.843	10. 037	0. 194	1. 97
	A-B	1.366	1. 391	0. 025	1. 83
S53-S54	C-D	1.360	1. 384	0. 024	1. 76
333-334	A-C	9. 837	10. 029	0. 192	1. 95
	B-D	9.843	10. 037	0. 194	1. 97
	A-B	1.369	1. 379	0. 01	0. 73
S56-S57	C-D	1. 353	1. 369	0. 016	1. 18
330-337	A-C	10. 361	10. 494	0. 133	1. 28
	B-D	10. 383	10. 516	0. 133	1. 28

技術番号	TN010018-V0123									
技術名 360度カメラ撮影による定期点検支援技術						発者名	京都大	団法人 先端インフ 学大学院 エ学研究 端技術産学共同講成	科 社会基盤	
試験日	令和3年 2 月 10 日	天候	雨	気温	i	4	°C	風速	2.6	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										
			π×	7 1 7 1 全川 シ	1 Eひき	É.Иh				

カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ※ただし、画像で確認できる 試験区分 標準試験 ものに限る。

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



カラーチャート

=_Ŀ	ᄄᄉ.	_	٠+	(手	ᄪᆂᄾ
=+1	шф	_	`	(=	11111

技術番号

TN010018-V0123

- ① 360度カメラを保持しながら徒歩にてトンネル内を1周した。 歩行速度は1.0m/s、トンネル壁面までの距離は1.5mとした。
- ② 撮影した動画をクラウドサーバーにアップロードし、クラウドサーバー上にて自動でオルソ画像と3D点群データを作成した。
- ③ 作成されたオルソ画像より手動でカラーチャートを抽出し、色が識別できているかを確認した。

4

開発者による計測機器の設置状況



設置なし(計測者が手に保持する)

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況 試験結果の比較

技術番号

0

•色識別計測結果





No.1 No.2



No.3

計測画像

識別性能

フルカラー識別可能

技術番号	TN010019-V0022								
技術名	損傷自動検出技術 C2fi	nder(ひび	割れ・遊離石灰)		開発者	名った	フノハイウ:	ェイ株式	大会社
試験日	令和6年 1 月 25 日	天候	晴れ時々曇り	気温	_	°C	風速	-	m/s
試験場所	場所 茨城県つくば市国土技術政策総合研究所実大トンネル								
カタログ分類	重 動 画 像 計 測 技 術	カタログ	株出項目 7.N7	バ割れ.		a 記	区分 標	進試験	i

試験で確認する カタログ項目

ひひ割れ日期快田、ひひ割れ幅自動計測、位置精

対象構造物の概要

国土技術政策総合研究所実大トンネル実験施設にて現場検証用に設置された試験体。 ひび割れ自動検出およびひび割れ幅自動検出用として試験体(1-2~30-3)、煤汚れを模擬した試験体を使用した。また、位置精度計測用として3地点の壁面にそれぞれ5枚貼られたマーカーを使用した。

試験体(1-2~6- 試験体(7-1~11- 試験体(13-1~18- 試験体(19-1~24- 試験体(26-1~30-







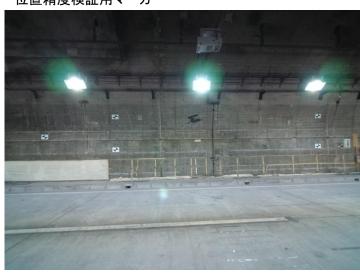




煤汚れ模擬試験



位置精度検証用マーカー



試験方法(手順)

技術番号

0

- ① 試験体をデジタルカメラ(4種)で所定の距離(0.5m~4m)から撮影
- ② ひび割れについて、撮影画像をひび割れ自動検出技術C2finderにより、ひび割れ及び幅・長さを検出
- ③ 位置精度について、画像合成後にマーカー位置を特定し、座標およびマーカー間の距離を算出
- ④ 各試験体指定位置のひび割れ幅を検出結果データから採取し、真値と比較検証

開発者による計測機器の設置状況

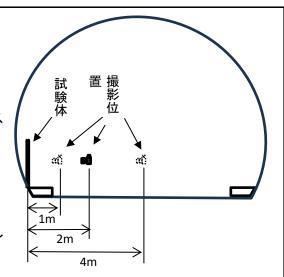
試験体パネルに正対し、所定の距離をとった位置から各カメラで撮影した。

撮影条件は、撮影カメラ、撮影距離、照明の有り無し、 交換レンズの4つである。

撮影カメラは、①高解像度カメラ、②一般的なミラーレスカメラ、③工事監理用コンパクトデジタルカメラ、④アクションカメラからそれぞれ1機種選定した。

試験では、①②を三脚固定撮影、③④を手持ち撮影とした。

また、①②③は施設照明で十分な光量が確保できたため照明を不使用とし、④において照明有り条件を設定した。



各条件にお カメラ機種	ける部	が配は	下表(の も あ	andi	Onyn	npus	Go	Pro
ガメブ機性		ILX-LR1		OM-D EM-5		TG-4		HERO12	
距離(m)		4		4	4	0.5	2	0	.5
焦点距離(mm)	24	50	70	100	220	2	25		.5
照明	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	有り

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況 撮影画像からひび割れ自動検出技術によってひび割れ及び幅・長さを自動で検出した。 試験体ごとに指示された位置でのひび割れ幅の検出結果を下表に示す。

自動検出によるひび割れ幅ごとの結果

	11-0-00			中木			カメラ機種				
				CONIV						0-5)
				SONY ILX-LR1		Olym OM-D		Onyn TG		GoF HER	
				ILX LIVI		OW D	LIVI-3	10	4	TILIK	512
ひび割れ幅	試験体	計測位置			ı		影距離(m		_ 1		_
		計測位置 無し ⑤ 0.10 ⑥ 0.17 ⑦ 0.15 ⑦ 0.11 ③ 0.23 ⑦ 0.21 ② 0.27 左 0.18 ⑧ 0.33 ② 0.23 ② 0.28 ② 0.36 ② 0.29 ① 0.30 ② 0.33 ③ 0.34 ⑥ 0.38 ④ 0.42 ② 0.35 ② 0.35 ② 0.39 右 0.55 右上 0.41 ④ 0.78 ④ 0.47 ⑥ 0.64 ① 0.47 ⑥ 0.66 ⑦ 0.62 ② 0.57 ② 0.50 中央右 ② ② 0.75 ② 0.75 ② 0.75 <td>4</td> <td></td> <td>4</td> <td></td> <td>0.5</td> <td>2</td> <td>0.9</td> <td>5</td>	4		4		0.5	2	0.9	5	
			0.4	F0	70	1	、距離(mr	n) 2	- I	15	-
			24	50	70	100	220 照明	۷	5	1:	,
			無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	有り
	[8-2]	(5)		0.08	0.10	0.15	0.13	0.18	0.09	0.16	0.30
0.1	[8-2]	6	0.17	0.18	0.14	0.16	0.18	0.18	0.16	0.16	0.21
0.1	[8-2]	7	0.15	0.15	0.14	0.15	0.07	0.14	0.13	0.14	0.07
	[23-3]	7	0.11	0.09	0.19	0.31	0.12	0.11	0.12	0.19	0.14
	[4-3]	3	0.23	0.18	0.25	0.36	0.28	0.22	0.14		0.11
	[8-1]	7	0.20	0.35	0.29	0.35	0.33	0.20	0.30	0.29	0.29
0.2	[11-2]		0.21	0.24	0.23	0.25	0.32	0.48	0.43	0.22	0.23
	[15-1]	_	0.27	0.21	0.28	0.23	0.24	0.21	0.18	0.16	0.18
	[24-3]	左		0.22	0.21	0.21	0.22	0.22		0.30	0.18
	[7-2]	8	0.33	0.52	0.27	0.51	0.45	0.28	0.27	0.30	0.31
	[14-1]	2	0.23	0.25	0.30	0.27	0.26	0.27	0.32	0.25	0.40
	[19-3]	_		0.29	0.32	0.31	0.27	0.31	0.34	0.28	0.31
0.3	[20-3]			0.24	0.30	0.28	0.31	0.29	0.30	0.35	0.29
	[22-3]	_		0.30	0.29	0.28	0.36	0.30	0.29	0.27	0.27
	[23-1]		0.30	0.29	0.29	0.32	0.31	0.32	0.28	0.20	0.30
	[30-1]	_		0.24	0.26	0.30	0.41	0.37	0.34	0.28	0.28
	[4-2]			0.40	0.32	0.38	0.38	0.48	0.38	0.40	0.41
	[5-3]			0.37	0.40	0.40	0.45	0.51	0.33	0.43	0.37
	[6-2]			0.41	0.45	0.39	0.65	0.51	0.49	0.37	0.36
0.4	[8-1]	_		0.40	0.47	0.39	0.63	0.44	0.42	0.34	0.37
	[11-3]			0.47	0.48	0.48	0.58 0.37	0.43	0.57	0.44	0.40
	[24-1]			0.40	0.40	0.40	0.37	0.41	0.38	0.38	0.44
	[24-1]			0.42	0.37	0.40	0.43	0.40	0.40	0.44	0.50
	[1-2]			0.42	0.76	0.72	0.50	0.59	0.66	0.66	0.42
	[6-2]			0.46	0.45	0.59	0.83	0.33	0.56	0.58	0.70
0.5	[13-3]	_		0.55	0.45	0.48	0.53	0.50	0.50	0.60	0.47
	[24-1]			0.52	0.53	0.56	0.54		0.46	0.44	0.50
	[6-2]			0.54	0.53	0.59	0.68		0.64	0.61	0.65
0.6	[7-2]		0.66	0.58	0.62	0.63	0.37	0.58	0.54	0.57	0.84
	[1-2]	7	0.86	0.94	0.86	0.94	0.74	0.80	0.83	0.90	0.85
	[8-1]	(10)	0.77	0.74	0.71	0.71	0.64	0.73	0.85	0.53	0.76
	[15-3]	3	0.62	0.71	0.61	0.67	0.88	0.75	0.88	0.88	0.88
0.7	[16-1]	2	0.57	0.52	0.46	0.66	0.84	0.66	0.69	0.63	0.67
0.7	[17-1]	2	0.57	0.72	0.66	0.70	0.87	0.68	0.69	0.70	0.62
	[18-3]	2	0.50	0.66	0.85	0.61	0.75	0.97	0.67	0.87	0.79
	[26-2]	中央右		0.68	0.64	0.62	0.76	0.65	0.73	0.75	0.72
	[28-2]	2		0.68	0.66	0.76	0.84	0.85	0.73	0.62	0.69
	[17-3]		0.75	0.75	0.81	0.79	0.77	0.84	0.84	0.65	0.80
0.8	[21-2]	2	0.79	1.00	0.84	0.90	1.00	0.76	0.90	0.70	0.80
	[23-1]		0.70	0.75	0.72	0.83	0.82	0.94	0.82	0.71	0.73
	[4-1]			0.99	0.80	0.94	1.24	1.13	1.25	1.28	1.43
0.9	[11-2]			0.87	0.94	1.06	1.09	0.92	0.93	0.96	0.98
	[13-3]	1	1.01	1.02	1.23	1.19	0.94	0.83	0.73	0.66	1.03

結果のつづき

結果のつ	つき										
						7	カメラ機種				
				SONY		Olym	inile	Onyn	nnue	Gol	D _{rn}
				ILX-LR1		OM-D		TG	•	HER	
				ILX LIXI		OW D	LIVI 3	10	· ¬	TILIX	012
ひび割れ幅	試験体	計測位置					影距離(m)	ı	•	
0 0 1311111	F 0.5(1)	11///12/22		4		4		0.5	2	0.	5
				ı	ı	i	距離(mr			ı	
			24	50	70	100	220	2	5	1	5
			I			<i></i> .	照明			I	
	[C 1]	a	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	有り
1.0	[6-1]	1	0.60	0.71	0.68	1.16	1.04	1.00	0.95	1.30	1.38
	[22-2]	2	0.74	0.90	0.82	0.86	1.15	1.03	1.05	0.96	1.09
1.1	[1-2]	② ②	1.14	0.94	0.87	0.94	0.70	1.19	1.32	0.99	0.80
1.2	[7-2]		1.18	1.14	1.10	1.13	1.06	1.30	1.12	0.59	1.07
1.3	[7-1]	2	1.16	1.22	1.27	1.26	1.83	1.29	0.98	1.19	1.78
1 5	[19-1] [20-1]	② ②	1.35	1.50 2.18	1.52	1.53	1.40	1.52 1.46	1.45	1.43	1.61 2.50
1.5	[24-3]	中央右	1.85 1.46	1.83	1.77	2.04 1.82	1.27 1.67	1.40	1.58 1.80	1.73	1.67
1.6	[2-3]	3	1.83	2.26	2.15	1.80	2.70	1.52	1.63	1.75	1.46
2.0	[29-2]	2	1.03	1.89	1.87	1.50	2.70	2.24	1.03	2.24	2.30
2.0	[3-1]	2	3.03	2.02	3.05	2.42	2.42	2.54	2.52	2.58	2.81
	[11-1]	1)	2.32	2.75	3.12	2.42	3.10	2.33	2.80	2.66	2.37
2.5	[26-1]	中央右	2.52	2.49	2.56	2.88	2.50	3.24	2.76	2.57	2.72
	[30-3]	下		2.97	2.56	3.20	2.53	2.65	2.60	2.79	2.59
	[1-3]	2	3.22	3.59	3.81	2.84	2.67	3.27	3.63	2.96	3.56
-	[5-1]	2	3.49	2.66	3.63	3.40	2.92	2.90	3.42	2.90	2.65
-	[6-3]	2	3.70	2.51	3.72	3.80	3.31	2.88	2.93	2.96	2.79
-	[7-3]	2	3.23	2.75	2.47	2.86	2.81	2.92	2.97	2.47	2.66
3.0	[8-3]	2	3.24	2.44	3.20	2.92	2.87	3.04	3.40	2.81	3.92
•	[13-1]	3	3.49	3.17	3.09	2.99	3.03	2.74	2.62	2.32	3.60
	[15-2]	1	3.27	3.00	2.79	3.00	3.11	2.86	3.07	2.58	3.02
•	[27-3]	2		3.24	3.40	3.22	3.00	3.04	2.78	3.05	2.88
	[29-1]	3		3.02	3.36	3.30	3.12	3.10	3.12	2.86	2.62
	[2-2]	2	4.56	3.25	3.90	3.35	3.02	3.59	4.11	3.00	4.08
	[7-3]	7	4.06	3.44	3.57	3.60	3.58	3.89	3.49	3.87	3.36
3.5	[16-2]	2	2.68	3.20	3.41	2.93		3.88	3.72	4.11	3.87
3.3	[20-2]	2	2.53	2.81	3.47	3.06	3.25	3.55	3.75	3.52	3.50
	[23-3]	(5)	4.46	2.69	3.86	3.70	3.20	3.60	3.38	3.60	3.60
	[30-2]	1		3.95	3.36	4.40	3.30	3.60	3.16	3.53	3.55
	[10-2]	2	4.30	4.23	4.02	3.80	3.12	3.80	3.70	3.87	4.19
	[18-2]	2	4.60	4.20	4.08	3.85	3.00	3.52	4.55	4.24	3.42
4.0	[21-3]	3	4.61	3.27	3.98	3.88	4.72	3.71	3.91	4.11	3.72
	[24-2]	中央左	4.16	4.48	3.65	4.62	3.70	4.05	4.20	3.60	4.16
	[28-1]	4		4.25	4.13	3.81		3.07	3.91	4.01	4.09
4.5	[22-1]	2	4.68	4.61	4.53	4.34		4.40	4.41		4.54
5.0	[4-3]	7	7.00	4.74	5.65			4.87	4.60	4.00	4.13

ひび割れ幅の自動検出結果の計測精度Eは、ひび割れ幅ごとに標準誤差(下記式)によることした。

$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}}$$

技術番号

TN010019-V0022

ひび割れ幅ごとの計測精度Eを下表に示す。

					カメラ機種					
		SONY ILX-LR1		Olympus OM-D EM-5		Onympus TG-4		Go HER		
ひび割れ幅				撮	影距離(m)				全体
いい割れ岬		4		4	1	0.5	2	0.	.5	主体
			-	焦点	瓦距離 (mr			Ī		
	24	50	70	100	220	2	5	1	5	
				,	照明				,	
	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	有り	
0.1	0.04	0.05	0.05	0.11	0.05	0.06	0.04	0.07	0.12	0.07
0.2	0.04	0.07	0.06	0.10	0.09	0.13	0.13	0.07	0.06	0.09
0.3	0.04	0.09	0.02	0.08	0.08	0.03	0.03	0.05	0.04	0.06
0.4	0.07	0.05	0.05	0.04	0.14	0.15	0.07	0.08	0.04	0.09
0.5	0.16	0.18	0.14	0.12	0.17	0.11	0.09	0.11	0.11	0.14
0.6	0.10	0.04	0.05	0.02	0.17	0.02	0.05	0.02	0.17	0.10
0.7	0.14	0.11	0.12	0.10	0.12	0.12	0.10	0.13	0.10	0.11
0.8	0.06	0.12	0.05	0.06	0.12	0.09	0.06	0.12	0.04	0.09
0.9	0.10	0.09	0.20	0.19	0.23	0.14	0.23	0.26	0.32	0.21
1.0	0.34	0.22	0.26	0.15	0.11	0.03	0.05	0.21	0.28	0.21
1.1	0.06	0.12	0.16	0.12	0.28	0.16	0.16	0.37	0.21	0.20
1.3	0.14	0.08	0.03	0.04	0.53	0.01	0.32	0.11	0.48	0.27
1.5	0.22	0.44	0.21	0.36	0.17	0.08	0.18	0.17	0.59	0.31
1.6	0.23	0.66	0.55	0.20	1.10	0.08	0.03	0.15	0.14	0.48
2.0		0.11	0.13	0.50	0.04	0.24	0.03	0.24	0.30	0.25
2.5	0.40	0.36	0.42	0.42	0.30	0.39	0.20	0.17	0.21	0.33
3.0	0.41	0.36	0.50	0.33	0.18	0.15	0.33	0.33	0.47	0.36
3.5	0.89	0.50	0.23	0.48	0.29	0.23	0.32	0.36	0.29	0.43
4.0	0.46	0.43	0.17	0.32	0.77	0.49	0.30	0.22	0.31	0.41
4.5	0.18	0.11	0.03	0.16		0.10	0.09		0.04	0.11
5.0	2.00	0.26	0.65			0.13	0.40	1.00	0.87	0.96

ひび割れ検出の結果例を示す。色分けは、下表のひび割れ幅との対応で行っている。

טט	びわれ幅 (mm)	0.10未満	0.10以上	0.15以上	0.20以上	0.25以上	0.30以上	0.40以上	0.50以上	1.00以上
	カラー									

国交省「機器等によるひびわれ図の生成に関する参考資料」に準

撮影距離4mでのカメラ①SONY ILX-LR1 焦点距離50mmでの検出例



煤汚れ模擬試験体のひび割れ自動検出による計測は、他と別に 行った。

撮影条件とひび割れ幅の結果を下表に示す。 測定サンプルがひび割れ幅ごとに1件のため、指定ひび割れ幅 と計測値の差を誤差とした。



									カメラ	ラ機種							
			SO	NY		Olyn	npus			Onyn	npus			Go	Pro		
			ILX-	LR1	OM-D EM-5			TG-4			HERO12						
									撮影距离	推 (m)							
7) 7 (chil le 45	=-1:EA /-L	=1.01/4-000	(5		4	1		0	.5	0.	.5	0.3	35	0.	.5	
ひび割れ幅	試験体	計測位置						:	焦点距離	(mm)			•				
			5	0	10	00	22	20		2	!5			1	15		
				照明													
	無し					L	無	L	無	L	有	ij	有	ij	有	ij	
			計測値	誤差	計測値	誤差	計測値	誤差	計測値	誤差	計測値	誤差	計測値	誤差	計測値	誤差	
0.1	[32-1]	1	0.13	0.03	0.10	0.00	0.20	0.10	0.14	0.04	0.12	0.02	0.14	0.04	0.22	0.12	
0.2	[31-1]	1	0.24	0.04	0.23	0.03	0.20	0.00	0.22	0.02	0.26	0.06	0.23	0.03	0.21	0.01	
0.3	[31-2]	2	0.30	0.00	0.31	0.01	0.32	0.02	0.33	0.03	0.51	0.21	0.35	0.05	0.40	0.1	
0.4	[31-2]	1	0.50	0.10	0.42	0.02	0.35	0.05	0.47	0.07	0.54	0.14	0.47	0.07	0.45	0.05	
0.4	[32-2]	1	0.40	0.00	0.34	0.06	0.38	0.02	0.37	0.03	0.38	0.02	0.37	0.03	0.44	0.04	
0.5	[31-3]	1	0.56	0.06	0.42	0.08	0.49	0.01	0.48	0.02	0.56	0.06	0.50	0.00	0.49	0.01	
0.7	[31-4]	1	0.70	0.00	0.66	0.04	0.72	0.02	0.74	0.04	0.70	0.00	0.65	0.05	0.59	0.11	
0.7	[32-3]	1	0.64	0.06	0.74	0.04	0.68	0.02	0.76	0.06	0.59	0.11	0.55	0.15	0.65	0.05	
0.8	[31-5]	1	0.75	0.05	0.71	0.09	0.80	0.00	0.85	0.05	0.80	0.00	0.76	0.04	0.81	0.01	

位置精度は、トンネル内壁に添付されたOおよびA~D5枚のマーカーの位置を算出する試験を3地点で行って確認した。各地点で撮影した断片画像を合成し、マーカーOを原点としてA~Dの座標を算出し、各マーカー間の距離を真値と比較した。

S50-S51



	OA	ОВ	OC	OD
水平距離(m)	3.314	3.340	12.836	12.832
鉛直距離(m)	0.965	-0.619	1.012	-0.443

	AB	CD		AC	BD
距離(m)	1.	584	1.454	9.522	9.494
真値	1.	540	1.536	9.856	9.855
誤差	0.	044	0.082	0.334	0.361

S52-S54



	OA	ОВ	OC	OD
水平距離(m)	4.283	4.251	12.806	12.845
鉛直距離(m)	0.900	-0.659	0.857	-0.670

	AB	CD	AC	BD
距離(m)	1.55	9 1.527	8.523	8.594
真値	1.54	2 1.508	8.602	8.601
誤差	0.01	7 0.019	0.079	0.007

S56-S57



	OA	ОВ	OC	OD
水平距離(m)	3.171	3.186	15.015	15.024
鉛直距離(m)	0.907	-0.602	0.917	-0.544

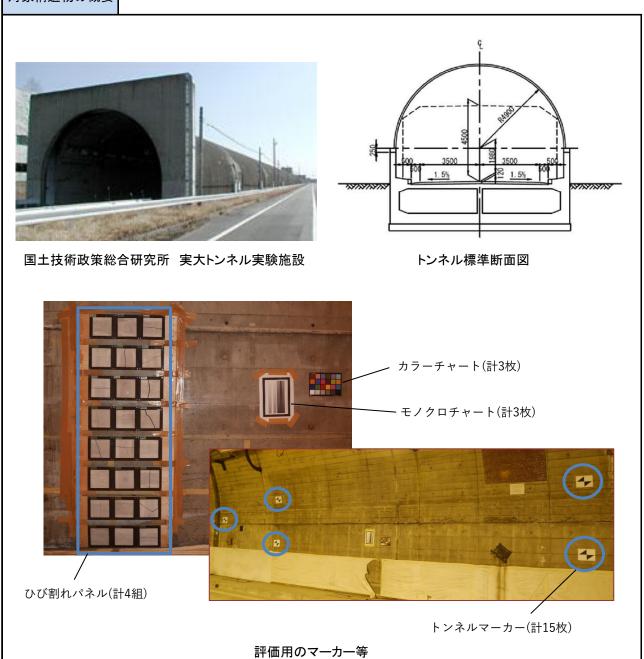
	AB	CD	AC	BD
距離(m)	1.509	1.461	11.844	11.839
真値	1.532	1.517	11.785	11.782
誤差	0.023	0.056	0.059	0.057

技術番号	TN010021-V0022									
技術名	トンネル撮像システム • ‡ trace J	員傷抽出支	援ソフトウェア「k-	-	開発	者名		会社計測ント クリエ		
試験日	令和4年 2 月 25 日	天候	晴れ	気温		12	°C	風速	-	m/s
試験場所	茨城県つくば市 国総研	手実大トンネ	ペル実験施設							
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ひで	 び割れ			試験ロ	区分 楞	準試験	

計測精度(最小ひび割れ幅)、 長さ計測精度、位置精度、 色識別性能 試験で確認する

カタログ項目

対象構造物の概要



試験方法(手順)

技術番号

TN010021-V0022

- ① トンネル撮像システムにより、走行速度30km/h・シャッタースピード1/4000sで撮影。
- ② トンネル撮像システムにより、2Dレーザスキャナによる断面形状とカメラ配置から幾何補正条件を設定し、歪み補正処理した撮影画像から展開画像を作成。
- ③ 壁面に設置した模擬ひび割れシートより[CI]とひび割れ幅の関係式を作成。
- ④ 損傷抽出支援ソフトウェア「k-trace」によりひび割れを抽出し、計測結果を整理。

開発者による計測機器の設置状況



計測機器設置



計測状況



撮影システムのPC画面 (16台カメラをリアルタイムに確認)

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

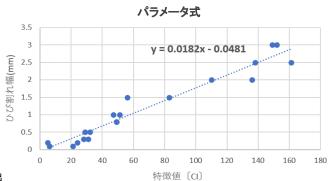
技術番号

TN010021-V0022

■最小ひび割れ幅、計測精度

模擬ひび割れシートより、ひび割れ幅と[CI]の関係からパラメータ式を算出





模擬ひび割れシート

パラメータ式算出グラフ

ソフトウェアによるひび割れ幅計測値と真値との比較表

ひて	び割れパネ	ル S52対	台
パネルNo.	真値	計測値	誤差
ハイルNO.	(mm)	(mm)	(mm)
1-12	0.2	0.4	0.2
1-2②	1.1	1.7	0.6
1-24	0.5	0.6	0.1
1-2⑦	0.7	0.9	0.2
1-3②	3	4	1
2-1②	0.3	0.3	0
2-2②	3.5	3.3	0.2
2-3③	1.6	1.9	0.3
3-12	2.5	2.8	0.3
3-2②	0.6	0.8	0.2
3-24	0.2	0.4	0.2
3-3②	5	3.9	1.1
4-14	0.9	1.2	0.3
4-2②	0.4	0.6	0.2
4-3③	0.2	0.2	0
4-3⑦	5	4	1
5-1②	3	2.8	0.2
5-2②	2	2.6	0.6
5-3③	0.4	0.6	0.2
6-1①	1	1.2	0.2
6-2①	0.6	0.8	0.2
6-24	0.5	0.6	0.1
6-26	0.4	0.6	0.2
6-3②	3	3.3	0.3
7-1②	1.3	1.6	0.3
7-2②	1.1	0.7	0.4
7-2⑤	0.6	0.7	0.1
7-28	0.3	0.5	0.2
7-3②	3	3.2	0.2
7-3⑦	3.5	3.5	0
8-14	0.4	0.5	0.1
8-1⑦	0.2	0.3	0.1
8-110	0.7	0.8	0.1
8-2⑤	0.1	0.3	0.2
8-26	0.1	0.3	0.2
8-2⑦	0.1	0.3	0.2
8-32	3	2	1

ひて	が割れパネ	ル S52%	冬
パネルNo.	真値	計測値	誤差
9-12	(mm)	(mm)	(mm)
9-12	2	2.1	0.1
9-2②	5	4.4	0.6
9-3②	0.3	0.5	0.2
10-11	0.5	0.7	0.2
10-12	0.4	0.6	0.2
10-2②	4	3.8	0.2
10-3		0	0
11-12	2.5	2.8	0.3
11-2②	0.9	1.2	0.3
11-26	0.2	0.2	0
11-3②	0.4	0.6	0.2
12-1①	0.2	0.3	0.1
12-1③	0.3	0.5	0.2
12-2②	1	1.2	0.2
12-3②	2	2	0
13-13	3	2.9	0.1
13-2②	0.2	0.4	0.2
13-3①	0.9	1	0.1
13-34	0.5	0.6	0.1
14-12	0.3	0.5	0.2
14-2②	5	4	1
14-2⑥	0.3	0.4	0.1
14-3②	2	2.1	0.1
15-12	0.2	0.3	0.1
15-2①	3	2.7	0.3
15-3③	0.7	0.8	0.1
16-12	0.7	0.8	0.1
16-2②	3.5	3.6	0.1
16-3		0	0

ひび割れパネル S59								
パネルNo.	真値 (mm)	計測値 (mm)	誤差 (mm)					
24-1	0.4	0.6	0.2					
24-1	0.5	0.6	0.1					
24-2	4	4	0.1					
24-3	0.2	0.4	0.2					
24-3	0.4	0.6	0.2					
24-3	1.5	1.7	0.2					
25-14	0.4	0.6	0.2					
25-1⑦	0.2	0.3	0.1					
25-2②	1.1	1.2	0.1					
25-3		0	0					
26-1	2.5	2.5	0					
26-2	0.7	0.9	0.2					
26-3		0	0					
27-1		0	0					
27-2②	0.9	1	0.1					
27-3②	3	2.6	0.4					
28-14	4	4	0					
28-2②	0.7	0.8	0.1					
28-3		0	0					
29-1③	3	2.5	0.5					
29-2②	2	2.1	0.1					
29-3		0	0					
30-1②	0.3	0.5	0.2					
30-2①	3.5	2.7	0.8					
30-3	2.5	2.4	0.1					

算出方法

$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}}$$

但し、x1~xn:ひび割れ測定結果

(最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

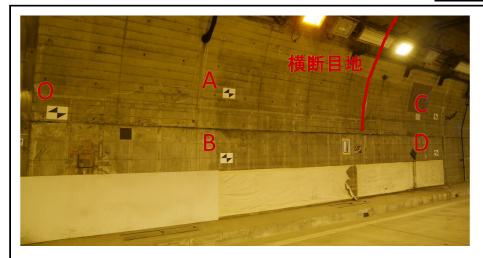
a:ひび割れ幅(真値)

n:データ数

(最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

最小ひび割れ幅	0.2mm
計測精度	0.14mm

- ※上記パラメータ式y=0.0182x-0.0481から計測値を算出。
- ※表の青掛け欄(ひび割れ幅0.2mm)のみで計測精度を算出。
- ※標準試験では最小ひび割れ幅0.2mmを対象として実施した。抽出するひび割れ幅に応じた画素分解能で撮影を行う。



長さ計測精度、位置精度比較用マーカー設置状況

■長さ計測精度

計測スパン	計測箇所	真値(m)	計測値(m)	差分(m)	相対誤差(%)
	L(A-B)	1.390	1.346	-0.044	-3.17
S50-S51	L(C-D)	1.410	1.342	-0.068	-4.82
350-351	L(A-C)	9.840	9.793	-0.047	-0.48
	L(B-D)	9.840	9.810	-0.03	-0.3
	L(A-B)	1.420	1.359	-0.061	-4.3
S53-S54	L(C-D)	1.410	1.366	-0.044	-3.12
303-304	L(A-C)	10.360	10.312	-0.048	-0.46
	L(B-D)	10.380	10.355	-0.025	-0.24
	L(A-B)	1.430	1.385	-0.045	-3.15
S56-S57	L(C-D)	1.450	1.372	-0.078	-5.38
330-337	L(A-C)	8.950	8.946	-0.004	-0.04
	L(B-D)	8.980	8.974	-0.006	-0.07

平均相対誤差(%)				
横断方向	-3.99			
進行方向	-0.27			

■位置精度

計測スパン	計測箇所	真値(m)	計測値(m)	差分(m)
	O-A	1.830	1.861	0.031
S50-S51	0-В	1.920	1.921	0.001
350-351	O-C	11.580	11.569	-0.011
	0-D	11.620	11.605	-0.015
	O-A	2.420	2.409	-0.011
S53-S54	0-В	2.420	2.407	-0.013
303-304	O-C	12.700	12.661	-0.039
	0-D	12.700	12.662	-0.038
	O-A	3.210	3.186	-0.024
S56-S57	0-В	3.210	3.201	-0.009
300-357	O-C	12.110	12.089	-0.021
	0-D	12.130	12.104	-0.026

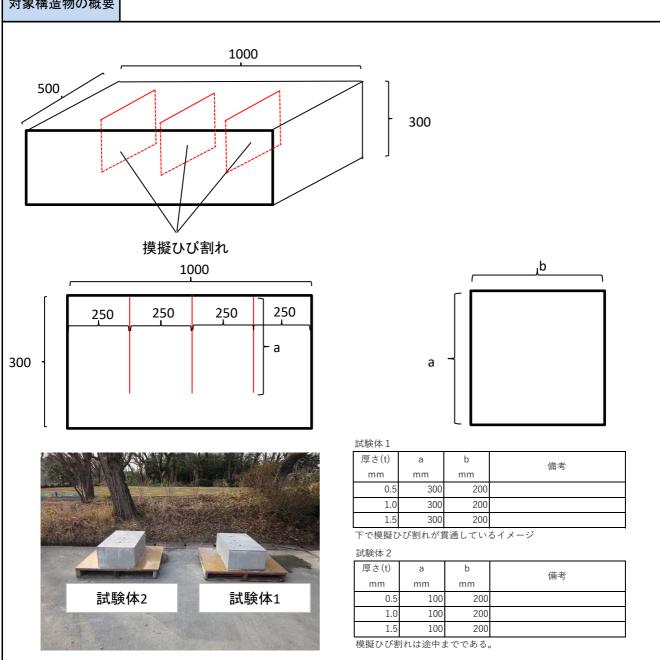
平均絶対誤差(mm) 14.6



技術番号	TN010022-V0022								
技術名	コンクリート内部調査技	術(棒形ス-	キャナ)		開発者名		計測リサ· /国立大学		
試験日	令和4年 3 月 16 日	天候	晴	気温	-	°C	風速	——————————————————————————————————————	m/s
試験場所	静岡県富士市(一般社団	団法人日本	建設機械施工	協会 施工	_技術総合 [。]	研究所)		
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目	ひび割れ		試験		準試験 場試験	

試験で確認する 計測精度(ひび割れ長さ、 カタログ項目

対象構造物の概要



試験方法(手順)

技術番号

TN010022-V0022

- ① 調査位置の位置出しを行い、アンカーボルトによりコアマシンを設置する。(写真-1)
- ② コアマシンにより所定の深度まで削孔し(写真-2)、削孔後は孔内を清掃し、ドライヤーで乾燥させる。
- ③ PCと棒形スキャナを接続し、ソフトウェアを起動する。
- ④ 棒形スキャナを孔内に挿入し、ソフトウェア上でstartボタンを押した後に棒形スキャナを孔内で回転させて孔内 壁面画像を取得する。(棒形スキャナを2周させると収録が終了する)(写真-3)
- 取得した画像から市販の画像処理ソフト(本試験ではGIMPを使用)を用いて、ひび割れを模した板の長さと幅を計測し、真値と比較を行う。

開発者による計測機器の設置状況







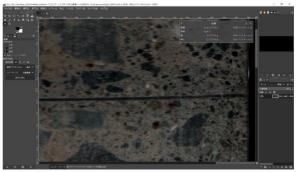
比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

ひび割れを模したプレートの寸法が既知のため、特になし

ひび割れを模したプレートの長さと幅を取得画像から計測した。長さについては1箇所、幅については 4箇所計測を実施した。



ひび割れ長さ計測状況



ひび割れ幅計測状況

●ひび割れ長さ検証結果

試験体1

長さ(a)	計測結果(mm)	差分(mm)
mm	長さ	長さ
300	292.99	-7.01
300	299.59	-0.41
300	299.85	-0.15

試験体2

長さ(a)	計測結果(mm)	差分(mm)
mm	長さ	長さ
100	100.41	0.41
100	99.91	-0.09
100	101.18	1.18

●ひび割れ幅検証結果

試験体1

幅(t)	計測結果(mm)				差分(mm)			
mm	幅①	幅②	幅③	幅④	幅①	幅②	幅③	幅④
0.5	0.55	0.55	0.47	0.59	0.05	0.05	-0.03	0.09
1.0	0.93	0.89	1.02	1.02	-0.07	-0.11	0.02	0.02
2.0	2.07	2.03	1.95	1.91	0.07	0.03	-0.05	-0.09

試験体2

幅(t)		計測結果	果(mm)		差分(mm)			
mm	幅①	幅②	幅③	幅④	幅①	幅②	幅③	幅④
0.5	0.47	0.47	0.51	0.51	-0.03	-0.03	0.01	0.01
1.0	1.02	0.93	1.02	1.06	0.02	-0.07	0.02	0.06
2.0	1.99	1.95	1.95	1.95	-0.01	-0.05	-0.05	-0.05

技	術番号	TN010023-V0023									
扫	支術名	PDD(Photo Deformation	Drawing):	システム		開	発者名		エンジニアリ: 【会社オリエ:		
言	式験日	令和 4年 12 月 19 日	天候	晴	気温	l	10	°C	風速	3	m/s
試	験場所	静岡県富士市大淵3154	一般社団	法人 日本建設	幾械施.	工協会	€ 施工	技術	総合研究	?所	
九石	ロゲム粘	面角针测性统	カタログ	松山 荷日 71.7	パ宇川わ			1411	マムー標	準試験	È

現場試験

検出項目 ひび割れ

試験で確認する カタログ項目

カタログ分類画像計測技術

長さ計測精度、位置精度 計測精度(視認可能最小ひび割れ幅) 色識別性能

カタログ

対象構造物の概要

模擬トンネル

延長 : L=80m

高さ 7.1m

最大幅 : 11.2m



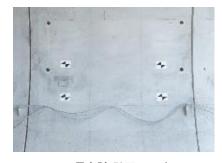


模擬トンネル全体図

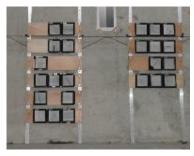
試験区分

模擬トンネル断面図

トンネル内に設置されている、長さ計測用マーカー、ひび割れパネル、カラーパネルを用いて各データを計測



長さ計測用マーカー



ひび割れパネル



カラーパネル

試験	方法(手順)		技術番号	TN010023-V0023
1	トンネル内撮	影		
2	加工に必要な	トンネル内覆工面の実寸値の計測		

③ 撮影画像を専用ソフトで加工

④ 加工された画像を用いて、各データを検証

開発者による計測機器の設置状況



トンネル内撮影

実寸値の計測

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

- ① 性能(精度・信頼性)を確保するための条件
- 撮影用カメラが動作する状況(異常低温等でない)であること
- 撮影用カメラでトンネル覆工面を撮影するために作業者が歩行可能な空間(歩道・監視員通路等)があること
- 覆工面の撮影に必要となる光源の準備ができること。(通常はカメラ用フラッシュで対応)
- 撮影された画像データの変形加工処理に適用するトンネル覆工面の縦横断寸法の計測値が与えられていること
- ② 本試験時の条件
- 魚眼カメラ焦点距離12mm、24mmで撮影 (カメラ-α7RIV、レンズ-FE12-24mmF2.8GM、フラッシュ-HVL-F60RM2)
- 覆工面の横断寸法は現場計測と模擬トンネル図面から算出
- 上記データから画像を加工し、完成した画像データを用いて試験を行う

加工画像一部サンプル



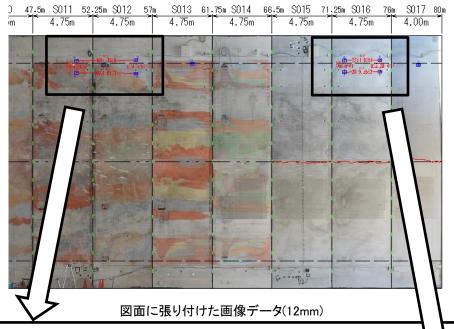
12mmレンズ撮影画像 S011 加工画像 S012 加工画像



24mmレンズ撮影画像S009 加工画像S010 加工画像

長さ計測精度

CAD図面に完成画像を張り付け、図面上の画像覆エマーカー位置から長さ精度を計測



S011、S012、S013の覆エマーカー間数値

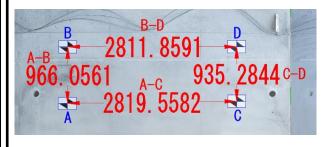




12mm画像の図面

24mm画像の図面

S016、S017の覆エマーカー間数値





12mm画像の図面

24mm画像の図面

長さ計測精度

区間11-13

测点如片	中米(古[] / ^)	計測値[mm](B)		差[mm](C	差[mm] (C)=√(A-B)²		誤差率 (D)=(C)/(A)	
測定部位	実数値[mm](A)	12mm	24mm	12mm	24mm	12mm	24mm	
A-B	1004	1004.3535	1002.8812	0.3535	1.1188	0.035%	0.111%	
A-C	4690	4694.7689	4688.591	4.7689	1.409	0.102%	0.030%	
B-D	4687	4691.9197	4687.5117	4.9197	0.5117	0.105%	0.011%	
C-D	1071	1074.8002	1076.1607	3.8002	5.1607	0.355%	0.482%	

区間16-17

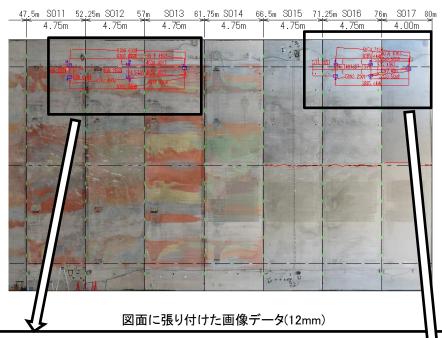
油中 如 4	中粉体[] (4)	計測值[mm] (B)	差[mm](C	c)=(A)-(B)	誤差率(D)=(C)/(A)
測定部位	実数値[mm] (A)	12mm	24mm	12mm	24mm	12mm	24mm
A-B	961	966.0561	970.2515	5.0561	9.2515	0.526%	0.963%
A-C	2811	2819.5582	2812.3577	8.5582	1.3577	0.304%	0.048%
B-D	2801	2811.8591	2806.8348	10.8591	5.8348	0.388%	0.208%
C-D	931	935.2844	939.4824	4.2844	8.4824	0.460%	0.911%

平均誤差率	12mm	24mm
横 : X	0.225%	0.074%
縦 : Y	0.344%	0.617%
全体	0.284%	0.346%

※「縦:Y」:トンネル"横断"方向の計測値のみ([区間11-13]A-B,C-D[区間16-17]A-B,C-D)で長さ精度を算出した値 ※「横:X」:トンネル"縦断"方向の計測値のみ([区間11-13]A-C,B-D[区間16-17]A-C,B-D)で長さ精度を算出した値 ※「全体」:[横:X][縦:Y]を利用した全ての計測値

位置精度

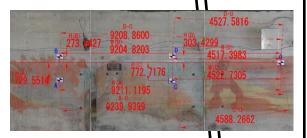
CAD図面に完成画像を張り付け、図面上の画像覆エマーカー位置から位置精度を計測



S011、S012、S013の覆エマーカー間数値

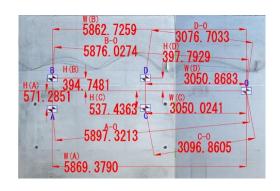


12mm画像の図面

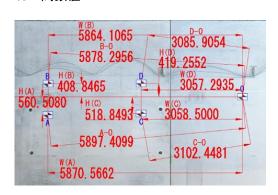


24mm画像の図面

S016、S017の覆エマーカー間数値



12mm画像の図面



24mm画像の図面

位置精度

区間11-13

测学如片	宇粉値[] (∧)	計測值[mm] (B)	差[mm](C)=√(A-B)²	誤差率(D)=(C)/(A)
測定部位	実数値[mm] (A)	12mm	24mm	12mm	24mm	12mm	24mm
W (A)	9220	9202.1779	9211.1195	17.8221	8.8805	0.193%	0.096%
W (B)	9218	9203.1197	9204.8203	14.8803	13.1797	0.161%	0.143%
W (C)	4532	4508.4811	4522.7305	23.5189	9.2695	0.519%	0.205%
W (D)	4531	4510.2733	4517.3983	20.7267	13.6017	0.457%	0.300%
H (A)	749	738.828	729.5514	10.172	19.4486	1.358%	2.597%
H (B)	245	265.5252	273.6427	20.5252	28.6427	8.378%	11.691%
H (C)	784	774.4269	772.7176	9.5731	11.2824	1.221%	1.439%
H (D)	276	300.3725	303.4299	24.3725	27.4299	8.831%	9.938%
A-O	9251	9231.8053	9239.9399	19.1947	11.0601	0.207%	0.120%
B-O	9221	9206.9425	9208.86	14.0575	12.14	0.152%	0.132%
C-O	4599	4576.2957	4588.2662	22.7043	10.7338	0.494%	0.233%
D-O	4539	4518.4682	4527.5816	20.5318	11.4184	0.452%	0.252%

区間16-17

	D** (± [] (A)	計測值[mm] (B)	差[mm](C	C)=(A)-(B)	誤差率(D))=(C)/(A)
測定部位	実数値[mm](A)	12mm	24mm	12mm	24mm	12mm	24mm
W (A)	5849	5869.379	5870.5662	20.379	21.5662	0.348%	0.369%
W (B)	5844	5862.7259	5864.1065	18.7259	20.1065	0.320%	0.344%
W (C)	3039	3050.0241	3058.5	11.0241	19.5	0.363%	0.642%
W (D)	3043	3050.8683	3057.2935	7.8683	14.2935	0.259%	0.470%
H (A)	589	571.2851	560.508	17.7149	28.492	3.008%	4.837%
H (B)	363	394.7481	408.8465	31.7481	45.8465	8.746%	12.630%
H (C)	546	537.4363	518.8493	8.5637	27.1507	1.568%	4.973%
H (D)	377	397.7929	419.2552	20.7929	42.2552	5.515%	11.208%
A-O	5879	5869.379	5897.4099	9.621	18.4099	0.164%	0.313%
B-O	5856	5862.7259	5864.1065	6.7259	8.1065	0.115%	0.138%
C-O	3088	3096.8605	3102.4481	8.8605	14.4481	0.287%	0.468%
D-O	3067	3076.7033	3085.9054	9.7033	18.9054	0.316%	0.616%

平均誤差率	12mm	24mm
横 : X	0.328%	0.321%
縦 : Y	4.828%	7.414%
マーカー間距離:0	0.273%	0.284%
全体	1.810%	2.673%

絶対誤差平均	12mm	24mm
横 : X	17.933	28.819
縦 : Y	16.868	15.050
マーカー間距離 : O	13.925	13.153
全体	16.242	19.007

※「横:X」:トンネル"縦断"方向の計測値のみ([区間11-13][区間16-17]のW要素)で位置精度を算出した値

※「縦:Y」:トンネル"横断"方向の計測値のみ([区間11-13][区間16-17]のH要素)で位置精度を算出した値

※「マーカー間距離: O」:部位Oを利用した計測値のみ([区間11-13][区間16-17]のO要素)で位置精度を算出した値

※「全体」:部位Oも利用した全ての計測値

計測精度(視認可能最小ひび割れ幅)

完成した12mm、24mm画像からひび割れパネル部分を目測で判定 変換後画像の視認確認における誤差が生じにくい0.2mm以上を対象とする ひび割れが複数あるパネルの場合、差の大きい方を採用とする 検出精度の計算は以下とする

 $E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}}$

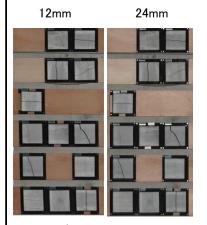
E:ひび割れ幅計測制度

X1~Xn:ひび割れ判定結果

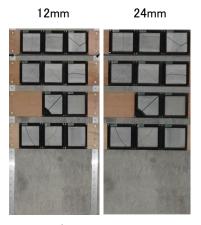
a:ひび割れ幅(真値)

n:データ数(61パネル)

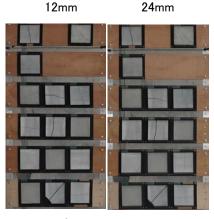
加工画像からひび割れパネル部分のピックアップ画像



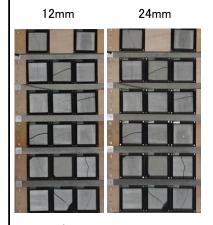
パネルNo1~6行



パネルNo7~11行



パネルNo12~18行



パネルNo19~24行



パネルNo25~30行

※縦の行がパネルNo左部とする

※横の列がパネルNo右部とする

※パネルNo7~11行の画像は左 上からNo7-1、8-1、10-1、11-1と する

パネルNo	サンブル写真 12mm	(レンズ倍率) 24mm	目視(12mm	高予測 24mm	ひび割れ実寸値	予注 12mm	測差 24mm								
1-2			0.5	0.6	0.5-1.1	0.6	0.5	15-3	19		0.5	0.5	0.7	0.2	0.2
1-3	3 6		2	2.5	3	1	0.5	16-1	1	14	0.4	0.4	0.7	0.3	0.3
2-2			2.5	3	3.5	1	0.5	16-2			2	3	3.5	1.5	0.5
2-3			8.0	0.8	1.6	0.8	0.8	16-3			-	-	ひび割れ無し		
3–1			1.5	2	2.5	1	0.5	17-1			0.3	0.4	0.7	0.4	0.3
4-1			0.5	0.6	0.9	0.4	0.3	17-2			-	-	ひび割れ無し		
4-2		- 10 00	0.3	0.3	0.4	0.1	0.1	17-3			0.4	0.5	0.8	0.4	0.3
4-3	1	1	4.5	4	5	0.5	1	18-1			-	-	ひび割れ無し		
5-1			2	2.5	3	1	0.5	18-2			3	3.5	4	1	0.5
5-3			0.3	0.4	0.4	0.1	0	18-3			0.5	0.4	0.7	0.2	0.3
6–1			0.4	0.5	1	0.6	0.5	19-1		1	8.0	1.2	1.5	0.7	0.3
6-2		1	0.3	0.4-0.6	0.4-0.6	0.3	0	19-3		100	0.3	0.4	0.3	0	-0.
6-3			2	2.5	3	1	0.5	20-1			0.6	1.5	1.5	0.9	0
7-1			0.6	0.8	1.3	0.7	0.5	20-2			2	3	3.5	1.5	0.5
7–2	The same of the sa		8.0	0.3-0.9	0.3-1.1	0.3	0.2	20-3			0.4	0.3	0.3	-0.1	0
7–3	>	\/	0.5-2.5	0.6-3	0.75–3.5	1	0.5	21-1	71	121	0.3	0.4	0.4	0.1	0
8-1	X	1	0.5	0.4-0.6	0.2-0.4	0.3	0.2	21-2			0.5	0.6	0.8	0.3	0.2
8-2			0.4	0.8	0.1-0.9	0.5	0.1	21-3		900	2	3	4	2	1
8-3			2	2.5	3	1	0.5	22-1			3	3.5	4.5	1.5	1
10-2			3	3.5	4	1	0.5	22-2	100	100	0.6	0.5	1	0.4	0.5
10-3			-	-	ひび割れ無し			22-3			0.3	0.4	0.3	0	-0.
11-1			1.5	2	2.5	1	0.5	23-1	16	1	0.5	0.7	0.3-0.8	0.3	0.1
11-2	1		0.6	0.5-0.9	0.2-0.9	0.4	0.3	23-2				-	ひび割れ無し		
11-3	1		0.5	0.4	0.4	-0.1	0	23-3			1.8	2.5	3	1.2	0.5
13-1			1.5	2.5	3	1.5	0.5	24-1	Control (A)	Control of	0.5	0.3	0.5	0	0.2
13-3			8.0	0.4-0.7	0.5-0.9	0.1	0.2	24-2			3	3.5	4	1	0.5
14-1			0.3	0.3	0.3	0	0	24-3	1	1	0.7	0.9	0.2-1.5	0.8	0.6
15-1			0.3	0.4	0.2	-0.1	-0.2	25-3			-	-	ひび割れ無し		
15-2			2	2.5	3	1	0.5	26-1		1	1.5	2	2.5	1	0.5

技術番号

TN010023-V0023

計測精度(視認可能最小ひび割れ幅)

26-2	-	0.3	0.4	0.7	0.4	0.3
26-3		-	-	ひび割れ無し		
27-1		-	_	ひび割れ無し		
27-3		2	2.5	3	1	0.5
28-1		3	3.5	4	1	0.5
28-2		0.3	0.5	0.7	0.4	0.2
28-3		-	_	ひび割れ無し		
29-1		2	2.5	3	1	0.5
29-2		1	1.5	2	1	0.5
29-3		-	_	ひび割れ無し		
30-1	S. S.	0.3	0.3	0.3	0	0
30-2		2.5	3	3.5	1	0.5
30-3		1.5	2	2.5	1	0.5

ひび割	れ計測精度	
	12mm	24mm
対象ひび割れ幅	0.2以上	0.2以上
最小ひび割れ幅	0.2	0.2
E	0.805107	0.440566

色識別性能

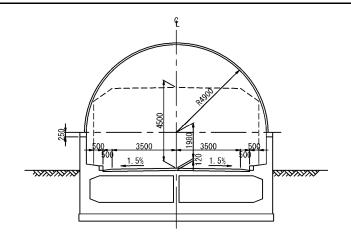


	12mm 24mm			
色識別性能	フルカラー識別可能	フルカラー識別可能		

技術番号	TN010024-V0023									
技術名	技術名 トンネル覆工点検システム(eQドクターT) 開発者名 西日本高速道路 エンジニアリング九州(株)									
試験日	令和5年 1 月 12 日	気温	12.7	°C	風速	1.3	m/s			
試験場所	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	カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 試験区分 標準試験 現場試験									

試験で確認する 計測精度(最小ひび割れ カタログ項目 幅)

対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図



模擬ひび割れ供試体 設置状況(全景)



模擬ひび割れ供試体 設置状況(近景)

試験	方法(手順)		技術番号	TN010024-V0023				
1	トンネル覆エ	表面撮影者により、80km/hで走行撮影						
2	② 撮影画像を合成し、スパンごとの覆工画像を作成							
3	ソフトウェアでひび割れ幅を計測し、検出結果としてとりまとめ							
(4)	検出結果を評	・ ・価(計測結果と直値の誤差(mm)の二乗平均平方根を	計測誤差として	· 笪 出)				

開発者による計測機器の設置状況



機器による撮影状況(撮影時トンネル照明消灯)

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況



模擬ひび割れ供試体 設置状況(全景)

■最小ひび割れ幅、計測精度

パネルNO.	①真値 (mm)	②計測値 (mm)	③誤差 (mm)		
1 -2 ①	1.1	1.0	-0.1		
1 -2 ②	0.5	0.5	0.0		
1 -2 ③	0.7	1.0	0.3		
1 -3	3.0	3.0	0.0		
2 -2	3.5	3.5	0.0		
2 -3	1.6	1.5	-0.1		
3 -1	2.5				
4 -1	0.9	1.0	0.1		
4 -2	0.4	0.5	0.1		
4 -3 ①	0.2	0.5	0.3		
4 -3 ②	5.0	4.0	-1.0		
5 -1	3.0	3.0	0.0		
5 -3	0.4	0.5	0.1		
5 -1	1.0				
6 -2 ①	0.6	0.5	-0.1		
6 -2 ②	0.4	0.5	0.1		
6 -2 ③	0.5	0.5	0.0		
6 -3	3.0	3.0	0.0		
7 -1	1.3	1.5	0.2		
7 -2 ①	1.1	1.0	-0.1		
7 -2 ②	0.3	0.5	0.2		
7 -2 ③	0.6	0.5	-0.1		
7 -3 ①	3.0	2.5	-0.5		
7 -3 ②	3.5	3.0	-0.5		
8 -1 ①	0.2	0.1	-0.1		
8 -1 ②	0.4	0.5	0.1		
8 -1 3	0.7	1.0	0.3		
8 -2 ①	0.1	0.1	0.0		
8 -2 2	0.1	0.1	0.0		
8 -2 ③	0.1	0.1	0.0		
8 -3	3.0	3.0	0.0		
10 -2	4.0	4.0	0.0		
11 -1	2.5	2.0	-0.5		
11 -2 ①	0.9	1.0	0.1		
11 -2 ②	0.3	0.5	0.3		
11 -3	0.4	1.0	0.6		
13 -1	3.0	3.0	0.0		
13 -3	0.9	1.0	0.1		
13 -3	0.5	0.5	0.0		
14 -1	0.3	0.5	0.2		
15 -1	0.3	0.5	0.3		
15 -2	3.0	3.0	0.0		
15 -3	0.7	1.0	0.3		
16 -1	0.7	0.5	-0.2		
16 -1	3.5	3.5	0.0		
17 -1	0.7	1.0	0.3		
17 -3	0.8	1.5	0.7		
18 -2	4.0	4.0	0.0		

パネルNO.	①真値 (mm)	②計測値 (mm)	③誤差 (mm)
19 -1	1.5	1.5	0.0
19 -3	0.3	0.5	0.2
20 -1	1.5	2.0	0.5
20 -2	3.5	3.5	0.0
20 -3	0.3	0.5	0.2
21 -1	0.4	0.5	0.1
21 -2	0.8	1.0	0.2
21 -3	4.0	4.0	0.0
22 -1	4.5	4.5	0.0
22 -2	1.0	1.0	0.0
22 -3	0.3	0.5	0.2
23 -1 ①	0.3	0.1	-0.2
23 -1 ②	0.8	1.0	0.2
23 -3 ①	0.1	0.1	0.0
23 -3 ②	3.5	3.0	-0.5
24 -1 ①	0.5	0.5	0.0
24 -1 ②	0.4	0.5	0.1
24 -2	4.0	4.0	0.0
24 -3 ①	0.2	0.1	-0.1
24 -3 ②	0.4	0.5	0.1
24 -3 ③	1.5	1.5	0.0
26 -1	2.5	2.5	0.0
26 -2	0.7	1.0	0.3
27 -3	3.0	3.0	0.0
28 -1	4.0	4.0	0.0
28 -2	0.7	1.5	0.8
29 -1	3.0	3.0	0.0
29 -2	2.0	1.5	-0.5
30 -1	0.3	0.1	-0.2
30 -2	3.5	3.5	0.0
30 -3	2.5	3.0	0.5

最小ひび割れ幅(mm)	0.1
計測精度E(mm)	0.269
真值0.1mm限定計測精度E(mm)	0.000

【算出方法】

$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}}$$

但し、 $x_1 \sim x_n$: ひび割れ測定結果 (最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

a:ひび割れ幅(真値)

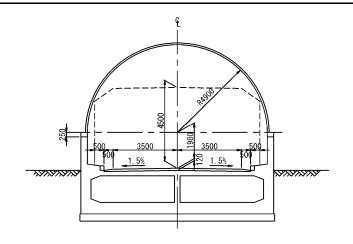
n: データ数 (最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

技術番号	TN010024-V0023								
技術名	トンネル覆工点検システム(eQドクターT) 開発者名 西日本高速道路 エンジニアリング九州(株)								
試験日	令和5年 1 月 12 日	天候	晴れ	気温	12.7	°C	風速	1.3	m/s
試験場所	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	カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 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(長さ・位置)

対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図



模擬ひび割れ供試体 設置状況(全景)

試験方法(手順) 技術番号 TN010024-V0023

- ① トンネル覆工表面撮影者により、80km/hで走行撮影
- ② 撮影画像を合成し、スパンごとの覆工画像を作成
- ③ 覆工画像から、4カ所のマーカー間隔と1枚のマーカー寸法との比率比率により4カ所のマーカー間の縦断・横断方向の距離を算出。
- ④ マーカー間の距離と設置場所の実測値との誤差を算出。

開発者による計測機器の設置状況



機器による撮影状況(撮影時トンネル照明消灯)

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況



長さ計測精度、位置精度比較用マーカー設置状況

試験結果の比較

技術番号 TN010024-V0023

■長さ計測精度

単位(m)

		<u> </u>						
	計測部位	実測値(A)	画像による計測値 (B)	差 (C)=(A)-(B)	相対誤差 (D)=(C)/(A)			
	A-B	1.588	1.496	0.092	5.79%			
長さ計測精度①	C-D	1.56	1.48	0.08	5.13%			
(S50-S51)	A-C	6.283	6.309	-0.026	0.41%			
	B-D	6.296	6.305	-0.009	0.14%			
	A-B	1.588	1.503	0.085	5.35%			
長さ計測精度②	C-D	1.588	1.494	0.094	5.92%			
(S52-S54)	A-C	8.704	8.707	-0.003	0.03%			
	B-D	8.706	8.705	0.001	0.01%			
	A-B	1.587	1.498	0.089	5.61%			
長さ計測精度③	C-D	1.588	1.497	0.091	5.73%			
(S56-S57)	A-C	11.803	11.712	0.091	0.77%			
	B-D	11.787	11.707	0.08	0.68%			
	平均相対誤差							

■位置精度

単位(m)

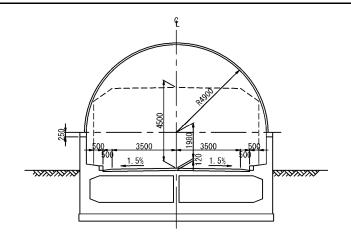
	計測部位		実測値(A)		画信	象による計 (B)	削値	差 (C)=(A)-(B)			
		距離(m)	水平距離	鉛直距離	距離(m)	水平距離	鉛直距離	距離(m)	水平距離	鉛直距離	
	O-A	2.197	2.028	0.845	2.145	1.994	0.789	0.052	0.034	0.056	
位置精度①	О-В	2.139	2.006	0.743	2.110	1.990	0.703	0.029	0.016	0.040	
(S50-S51)	0-C	8.351	8.311	0.818	8.339	8.302	0.789	0.012	0.009	0.029	
	O-D	8.335	8.302	0.743	8.324	8.295	0.687	0.011	0.007	0.056	
	O-A	9.306	9.267	0.852	9.233	9.197	0.815	0.073	0.070	0.037	
位置精度②	О-В	9.284	9.255	0.736	9.221	9.195	0.684	0.063	0.060	0.052	
(S52-S54)	0-C	17.989	17.970	0.815	17.921	17.903	0.799	0.068	0.067	0.016	
	O-D	17.976	17.961	0.744	17.913	17.900	0.692	0.063	0.061	0.052	
	O-A	2.335	2.182	0.830	2.298	2.158	0.790	0.037	0.024	0.040	
位置精度③	О-В	2.316	2.189	0.757	2.282	2.170	0.705	0.034	0.019	0.052	
(S56-S57)	0-C	14.011	13.986	0.834	13.891	13.869	0.792	0.120	0.117	0.042	
	O-D	13.997	13.976	0.754	13.894	13.877	0.702	0.103	0.099	0.052	
			平均差						0.049	0.044	

技術番号	TN010024-V0023								
技術名 トンネル覆工点検システム(eQドクターT)					開発者名 西日本高速道路 エンジニアリング九州(株)				
試験日	令和5年 1 月 12 日	天候	晴れ	気温	12.7	°C	風速	1.3	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 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 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(覆工表面が煤で汚れた)

対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図



模擬ひび割れ供試体 設置状況(全景)



模擬ひび割れ供試体 設置状況(近景)

試験	方法(手順)		技術番号	TN010024-V0023	
1	ントンネル覆工表面撮影者により、80km/hで走行撮影				
2	撮影画像を合成し、スパンごとの覆工画像を作成				
3	ソフトウェアでひび割れ幅を計測し、検出結果としてとりまとめ				
4	検出結果を評	価(ひび割れ検出可否を確認)			

開発者による計測機器の設置状況



機器による撮影状況(撮影時トンネル照明消灯)

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況



模擬ひび割れ供試体 設置状況(全景)

試験結果の比較

技術番号

TN010024-V0023

■覆工表面が煤で汚れた状態のひび割れ

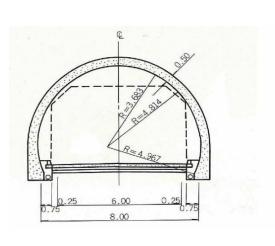
パネルNO.	①真値 (mm)	②計測値 (mm)	③誤差 (mm)	検出の可否	
31 -1	0.2	0.1	-0.1	0	
31 -2 ①	0.4	0.5	0.1	0	
31 -2 ②	0.3	0.5	0.2	0	
31 -3	0.5	0.5	0.0	0	
31 -4	0.7	0.5	-0.2	0	
31 -5	0.8	1.0	0.2	0	

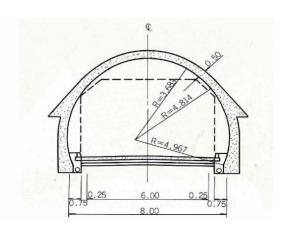
技術番号	TN010025-V0023								
技術名	腐食判定アプリ「カラー・	ジャッジ」			開発者名	3 (株)構研エン	ジニア	リング
試験日	令和4年 12 月 20 日	天候	曇り	気温	-2	°C	風速	9	m/s
試験場所	北海道Aトンネル、Bトン	ネル			·			-	
カタログ分類	計測・モニタリング	カタログ	検出項目 検	出精度		試験		地試験 能試験	

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





標準断面図(A・Bトンネル)



Aトンネル 外観イメージ



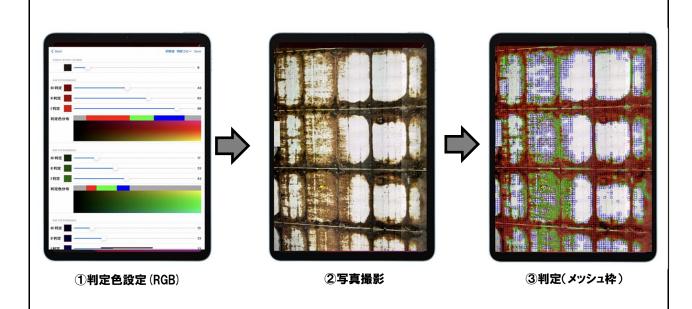
Bトンネル 外観イメージ

試験方法(手順)		技術番号	
----------	--	------	--

TN010025-V0023

- ① アプリを起動し、設定画面(右上)から判定色を設定する(RGB値毎)
- ② 写真を撮影する(または画像を取り込む)
- ③ 撮影画像の腐食判定を行う(判定結果は、塗り潰し、透過、メッシュ枠で表示可能)
- ④ 判定寸法(個別判定の細かさ)は、画面左下のスライドバーで調整可能

開発者による計測機器の設置状況



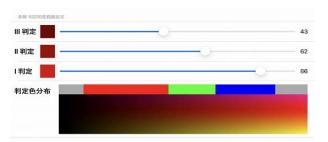
比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

なし



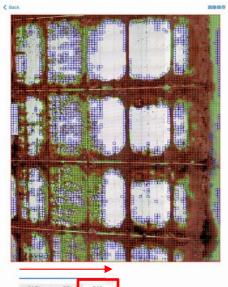
Aトンネル 漏水防止板の腐食判定

- ·坑口から 約10m
- ·坑内の照度 642 lx



撮影写真

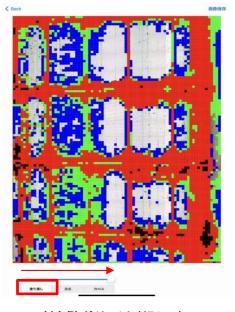
設定条件(R値)

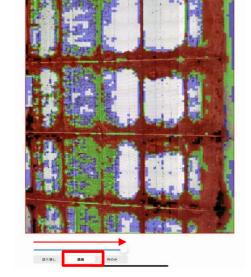


noa noa

判定例:メッシュ(細かい)

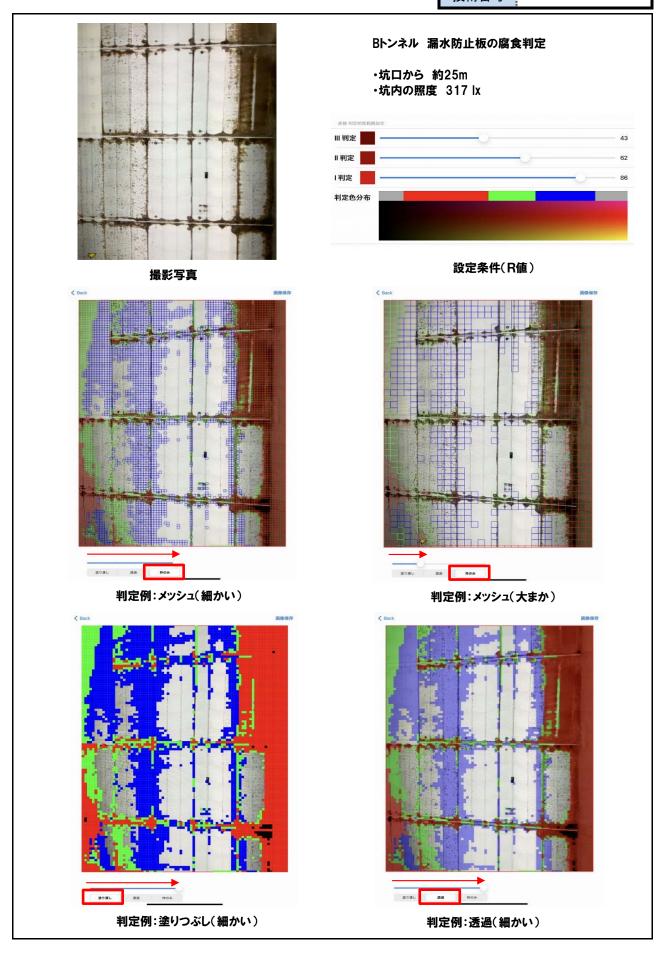
判定例:メッシュ(大まか)





判定例:塗りつぶし(細かい)

判定例:透過(細かい)



技術番号	TN010026-V0023								
技術名	トンネルにおける三次元	点検技術			開発者名	4 株 3	式会社補修	修技術 詞	没計
試験日	令和4年 12 月 2 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 棹	莫擬トンネノ	L						
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ^{チョ} ភ្គា	「割れ/うき・li ーキングで示る く・遊離石灰/ いる損傷		試験		準試験 場試験	

試験で確認する カタログ項目

最小ひび割れ幅・計測精度

対象構造物の概要

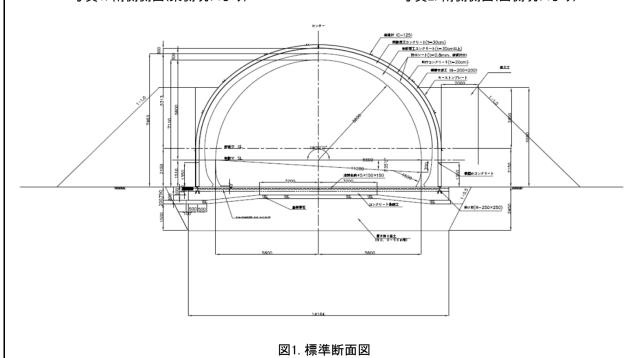
- ■対象構造物名 施工技術総合研究所 模擬トンネル
- ■延長 80m





写真1. 南側側面(東側坑口より)

写真2. 南側側面(西側坑口より)



- ① 対象トンネル内にてキャリブレーション用の標点を設置し、標点間の距離計測を行う。
- Case-1 UAVを用いた場合:UAVを飛行し、4K動画撮影にてひび割れ供試体のデータ記録を行う。 Case-2 一眼レフを用いた場合:一眼レフカメラにて連写撮影し、ひび割れ供試体のデータ記録を行う。
- ③ 事務所にてSfM処理ソフトを用いて3Dモデルおよびオルソ画像を作成する。
- ④ Crack Imager(自社開発ソフト)を用いてオルソ画像上でひび割れ幅を計測し、最小ひび割れ幅および計測精度を求める。

開発者による計測機器の設置状況

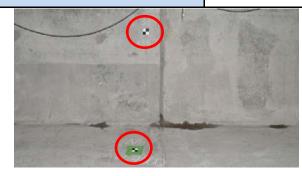


写真3. 標点設置状況



写真4. 標点間計測状況



写真5. UAV飛行撮影状況



写真6. 一眼レフ連写撮影状況

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

■模擬トンネル内に立会者が設置したひび割れ供試体

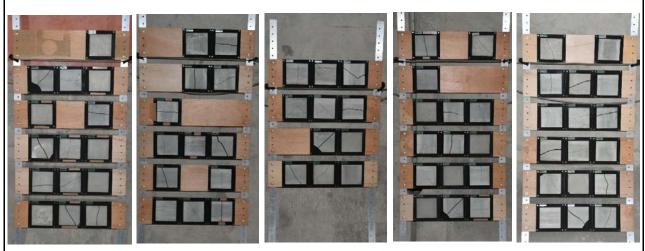


写真7. ひび割れ供試体

■本技術の計測結果と立会者による実測値の比較表

Case-1 UAVを用いた場合

ひび割れ	実測値	計測結果	誤差	最小二乗誤差	ひび割れ	実測値	計測結果	誤差	最小二乗誤差
番号	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	番号	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1 - 2	② 1.1	1.1	0.0	0.00	15 - 1	0.2	0.2	0.0	0.00
- 2	4 0.5	0.5	0.0	0.00	15 - 2	3.0	3.0	0.0	0.00
- 2	⑦ 0.7	0.7	0.0	0.00	15 - 3	0.7	0.7	0.0	0.00
1 - 3	3.0	3.0	0.0	0.00	16 - 1	0.7	0.7	0.0	0.00
2 - 2	3.5	3.0	-0.5	0.25	16 - 2	3.5	3.0	-0.5	0.25
2 - 3	1.6	1.5	-0.1	0.01	17 - 1	0.7	0.7	0.0	0.00
3 - 1	2.5	2.5	0.0	0.00	17 - 3	0.8	0.7	-0.1	0.01
4 - 1	0.9	0.8	-0.1	0.01	18 - 2	4.0	4.0	0.0	0.00
4 - 2	0.4	0.4	0.0	0.00	18 - 3	0.7	0.7	0.0	0.00
4 - 3	③ 0.2	0.1	-0.1	0.01	19 - 1	1.5	1.5	0.0	0.00
- 3	⑦ 5.0	4.5	-0.5	0.25	19 - 3	0.3	0.1	-0.2	0.04
5 - 1	3.0	2.5	-0.5	0.25	20 - 1	1.5	1.5	0.0	0.00
5 - 3	0.4	0.1	-0.3	0.09	20 - 2	3.5	3.0	-0.5	0.25
6 - 1	1.0	1.0	0.0	0.00	20 - 3	0.3	0.2	-0.1	0.01
6 - 2	① 0.6	0.6	0.0	0.00	21 - 1	0.4	0.2	-0.2	0.04
- 2	4 0.5	0.2	-0.3	0.09	21 - 2	0.8	0.9	0.1	0.01
- 2	6 0.4	0.2	-0.2	0.04	21 - 3	4.0	4.5	0.5	0.25
6 - 3	3.0	3.0	0.0	0.00	22 - 1	4.5	4.5	0.0	0.00
7 - 1	1.3	1.2	-0.1	0.01	22 - 2	1.0	1.0	0.0	0.00
7 - 2	2 1.1	1.0	-0.1	0.01	22 - 3	0.3	0.2	-0.1	0.01
- 2	⑤ 0.6	0.5	-0.1	0.01	23 - 1	① 0.3	0.2	-0.1	0.01
- 2	8 0.3	0.2	-0.1	0.01	- 1	⑤ 0.8	0.8	0.0	0.00
7 - 3	② 3.0	2.5	-0.5	0.25	23 - 3	⑤ 3.5	3.0	-0.5	0.25
- 3	7 3.5	3.5	0.0	0.00	- 3	⑦ 0.1	0.0	-0.1	0.01
8 - 1	④ 0.4	0.3	-0.1	0.01	24 - 1	② 0.5	0.2	-0.3	0.09
- 1	⑦ 0.2	0.1	-0.1	0.01	- 1	③ 0.4	0.1	-0.3	0.09
- 1	10 0.7	0.6	-0.1	0.01	24 - 2	4.0	4.0	0.0	0.00
8 - 2	⑤ 0.1	0.0	-0.1	0.01	24 - 3	① 0.2	0.0	-0.2	0.04
- 2	6 0.1	0.0	-0.1	0.01	- 3	6 1.5	1.5	0.0	0.00
- 2	⑦ 0.1	0.0	-0.1	0.01	- 3	8 0.4	0.1	-0.3	0.09
8 - 3	3.0	3.0	0.0	0.00	26 - 1	2.5	2.5	0.0	0.00
10 - 2	4.0		0.0		26 - 2	0.7	0.7	0.0	0.00
11 - 1	2.5	2.5	0.0	0.00	27 - 3	3.0	3.0	0.0	0.00
11 - 2	② 0.9		-0.1	0.01	28 - 1	4.0	4.0	0.0	0.00
- 2	6 0.2	0.0	-0.2	0.04	28 - 2	0.7	0.7	0.0	0.00
11 - 3	0.4	0.4	0.0		29 - 1	3.0	3.0	0.0	0.00
13 - 1	3.0	2.5	-0.5	0.25	29 - 2	2.0	2.0	0.0	0.00
13 - 3	① 0.9	0.9	0.0	0.00	30 - 1	0.3	0.2	-0.1	0.01
- 3	4 0.5	0.5	0.0		30 - 2	3.5	3.0	-0.5	0.25
14 - 1	0.3	0.1	-0.2	0.04	30 - 3	2.5	2.5	0.0	0.00

最小ひび割れ幅(mm) 0.2 検出精度E(mm) 0.206 $E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}}$

但し、 $x_1 \sim x_n$: ひび割れ測定結果 (最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

a:ひび割れ幅(真値) n:データ数 (最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

Case-2 一眼レフを用いた場合

ひび割れ	実測値	計測結果	誤差	最小二乗誤差
番号	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1 - 2	② 1.1	1.1	0.0	0.00
- 2	④ 0.5	0.4	-0.1	0.01
- 2	⑦ 0.7	0.6	-0.1	0.01
1 - 3	3.0	2.5	-0.5	0.25
2 - 2	3.5	3.5	0.0	0.00
2 - 3	1.6	1.6	0.0	0.00
3 - 1	2.5	2.5	0.0	0.00
4 - 1	0.9	0.9	0.0	0.00
4 - 2	0.4	0.4	0.0	0.00
4 - 3	③ 0.2	0.2	0.0	0.00
- 3	⑦ 5.0	5.0	0.0	0.00
5 - 1	3.0	2.0	-1.0	1.00
5 - 3	0.4	0.4	0.0	0.00
6 - 1	1.0	1.0	0.0	0.00
6 - 2	① 0.6	0.5	-0.1	0.01
- 2	4 0.5	0.4	-0.1	0.01
- 2	6 0.4	0.4	0.0	0.00
6 - 3	3.0	2.5	-0.5	0.25
7 - 1	1.3	1.2	-0.1	0.01
7 - 2	2 1.1	1.0	-0.1	0.01
- 2	⑤ 0.6	0.5	-0.1	0.01
- 2	8 0.3	0.3	0.0	0.00
7 - 3	② 3.0	2.5	-0.5	0.25
- 3	⑦ 3.5	3.0	-0.5	0.25
8 - 1	④ 0.4	0.4	0.0	0.00
- 1	⑦ 0.2	0.2	0.0	0.00
- 1	10 0.7	0.7	0.0	0.00
8 - 2	⑤ 0.1	0.0	-0.1	0.01
- 2	6 0.1	0.0	-0.1	0.01
- 2	⑦ 0.1	0.0	-0.1	0.01
8 - 3	3.0	3.0	0.0	0.00
10 - 2	4.0	4.0	0.0	0.00
11 - 1	2.5	2.5	0.0	0.00
11 - 2	② 0.9	0.8	-0.1	0.01
- 2	6 0.2	0.2	0.0	0.00
11 - 3	0.4	0.4	0.0	0.00
13 - 1	3.0	3.0	0.0	0.00
13 - 3	① 0.9	0.9	0.0	0.00
- 3	④ 0.5	0.4	-0.1	0.01
14 - 1	0.3	0.3	0.0	0.00

最小ひび割れ幅(mm)	0.2
検出精度E(mm)	0.208

ひび割れ	実測値	計測結果	誤差	最小二乗誤差
番号	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
15 - 1	0.2	0.2	0.0	0.00
15 - 2	3.0	3.5	0.5	0.25
15 - 3	0.7	0.7	0.0	0.00
16 - 1	0.7	0.7	0.0	0.00
16 - 2	3.5	3.5	0.0	0.00
17 - 1	0.7	0.7	0.0	0.00
17 - 3	0.8	0.6	-0.2	0.04
18 - 2	4.0	4.0	0.0	0.00
18 - 3	0.7	0.6	-0.1	0.01
19 - 1	1.5	1.5	0.0	0.00
19 - 3	0.3	0.2	-0.1	0.01
20 - 1	1.5	1.6	0.1	0.01
20 - 2	3.5	3.5	0.0	0.00
20 - 3	0.3	0.1	-0.2	0.04
21 - 1	0.4	0.2	-0.2	0.04
21 - 2	0.8	0.8	0.0	0.00
21 - 3	4.0	4.5	0.5	0.25
22 - 1	4.5	4.5	0.0	0.00
22 - 2	1.0	1.0	0.0	0.00
22 - 3	0.3	0.2	-0.1	0.01
23 - 1	① 0.3	0.1	-0.2	0.04
- 1	⑤ 0.8	0.8	0.0	0.00
23 - 3	⑤ 3.5	3.5	0.0	0.00
- 3	⑦ 0.1	0.2	0.1	0.01
24 - 1	② 0.5	0.4	-0.1	0.01
- 1	③ 0.4	0.4	0.0	0.00
24 - 2	4.0	4.5	0.5	0.25
24 - 3	① 0.2	0.1	-0.1	0.01
- 3	6 1.5	1.5	0.0	0.00
- 3	8 0.4	0.1	-0.3	0.09
26 - 1	2.5	2.0	-0.5	0.25
26 - 2	0.7	0.6	-0.1	0.01
27 - 3	3.0	3.0	0.0	0.00
28 - 1	4.0 0.7	4.0 0.6	0.0 -0.1	0.00
28 - 2	3.0	3.0		
29 - 1		2.0	0.0	0.00
29 - 2	2.0	0.2		0.00
30 - 1	3.5	3.5	-0.1	0.00
30 - 2			0.0	
30 - 3	2.5	2.5	0.0	0.00

 $E - \sqrt{\frac{(x_1-a)^2+\cdots+(x_n-a)^2}{n}}$

但し、x₁~x_n: ひび割れ測定結果 (最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ) a: ひび割れ幅(真値) n: データ数 (最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

技術番号	TN010026-V0023								
技術名	トンネルにおける三次元	点検技術			開発者名	3 株3	式会社補作	修技術 語	設計
試験日	令和4年 12 月 2 日	天候	 晴れ	気温	12	°C	風速	0	m/s
試験場所	試験場所 施工技術総合研究所 模擬トンネル								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 漏	制れ/っき・!! ーキングで示。 く・遊離石灰/ いる損傷		試験		準試験 場試験	

試験で確認する カタログ項目

長さ・位置計測精度

対象構造物の概要

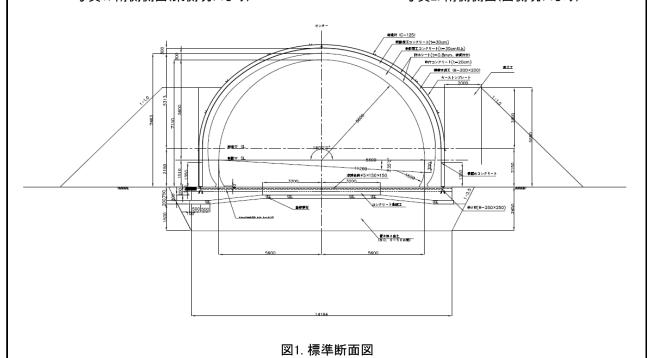
- ■対象構造物名 施工技術総合研究所 模擬トンネル
- ■延長 80m





写真1. 南側側面(東側坑口より)

写真2. 南側側面(西側坑口より)



① 対象トンネル内にてキャリブレーション用の標点を設置し、標点間の距離計測を行う。

- ② Case-1 UAVを用いた場合: UAVを飛行し、4K動画撮影にてトンネルマーカーのデータ記録を行う。 Case-2 一眼レフを用いた場合: 一眼レフカメラにて連写撮影し、トンネルマーカーのデータ記録を行う。
- ③ 事務所にてSfM処理ソフトを用いて3Dモデルを作成し、3Dモデルを点群データに変換する。
- ④ 点群処理ソフトを用いてトンネルマーカー間の距離および位置を計測し、実測値と比較を行う。

開発者による計測機器の設置状況

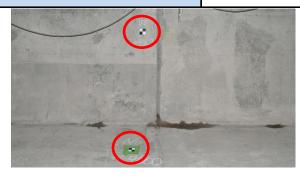


写真3. 標点設置状況



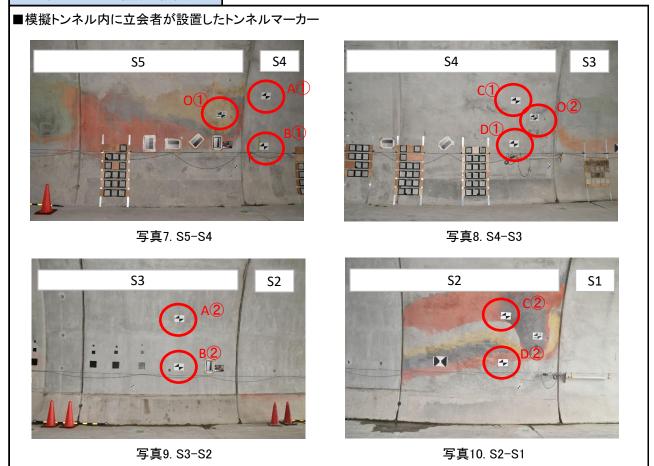


写真5. UAV飛行撮影状況



写真6. 一眼レフ連写撮影状況

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

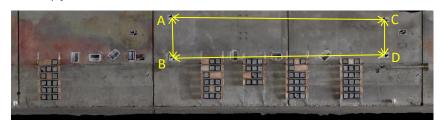


技術番号 TN010026-V0023

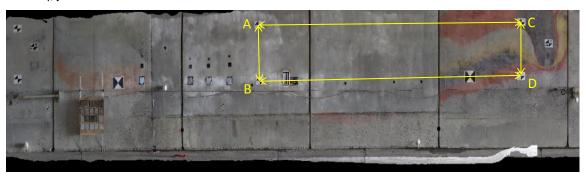
■本技術の計測結果と立会者による実測値の比較表(長さ計測精度)

Case-1 UAVを用いた場合

S5-S4間



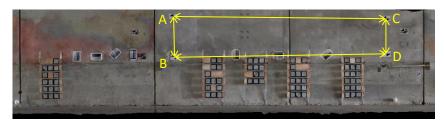
測定部位	実測値 (m)	計測結果 (m)	寸法差 (m)	誤差率 (%)
A - B	1.525	1.527	-0.002	0.13
C - D	1.327	1.329	-0.002	0.15
A - C	7.500	7.510	-0.010	0.13
B - D	7.461	7.467	-0.006	0.08



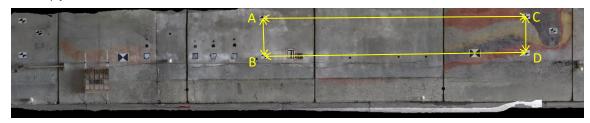
測定部位	実測値 (m)	計測結果 (m)	寸法差 (m)	誤差率 (%)
A - B	1.467	1.469	-0.002	0.14
C - D	1.409	1.412	-0.003	0.21
A - C	9.702	9.712	-0.010	0.10
B - D	9.639	9.644	-0.005	0.05

Case-2 一眼レフを用いた場合

S5-S4間



測定部位	実測値 (m)	計測結果 (m)	寸法差 (m)	誤差率 (%)
A - B	1.525	1.525	0.000	0.00
C - D	1.327	1.326	0.001	0.08
A - C	7.500	7.498	0.002	0.03
B - D	7.461	7.460	0.001	0.01

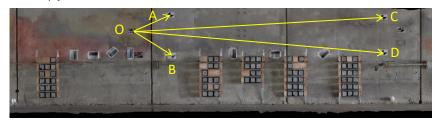


測定部位	実測値 (m)	計測結果 (m)	寸法差 (m)	誤差率 (%)
A - B	1.467	1.473	-0.006	0.41
C - D	1.409	1.405	0.004	0.28
A - C	9.702	9.692	0.010	0.10
B - D	9.639	9.635	0.004	0.04

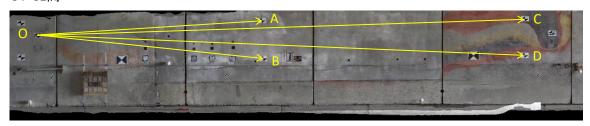
■本技術の計測結果と立会者による実測値の比較表(位置計測精度)

Case-1 UAVを用いた場合

S5-S4間



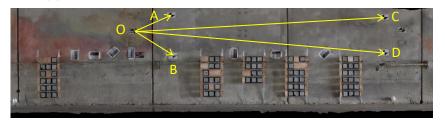
測定部位	距離成分	実測値 (m)	計測結果 (m)	寸法差 (m)	誤差率 (%)
	距離	1.467	1.466	0.001	0.07
O - A	水平距離	1.342	1.331	0.011	0.82
	鉛直距離	0.594	0.596	-0.002	0.34
	距離	1.657	1.657	0.000	0.00
O - B	水平距離	1.386	1.382	0.004	0.29
	鉛直距離	0.907	0.906	0.001	0.11
	距離	8.848	8.856	-0.008	0.09
O - C	水平距離	8.833	8.840	-0.007	0.08
	鉛直距離	0.511	0.512	-0.001	0.20
	距離	8.878	8.884	-0.006	0.07
O - D	水平距離	8.842	8.848	-0.006	0.07
	鉛直距離	0.796	0.796	0.000	0.00



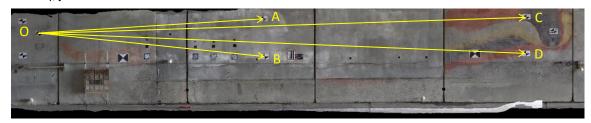
測定部位	距離成分	実測値 (m)	計測結果 (m)	寸法差 (m)	誤差率 (%)
	距離	8.301	8.295	0.006	0.07
O - A	水平距離	8.283	8.275	0.008	0.10
	鉛直距離	0.543	0.563	-0.020	3.68
	距離	8.381	8.375	0.006	0.07
O - B	水平距離	8.333	8.327	0.006	0.07
	鉛直距離	0.900	0.883	0.017	1.89
	距離	17.995	17.999	-0.004	0.02
O - C	水平距離	17.984	17.987	-0.003	0.02
	鉛直距離	0.615	0.630	-0.015	2.44
	距離	17.987	17.986	0.001	0.01
0 - D	水平距離	17.970	17.970	0.000	0.00
	鉛直距離	0.772	0.758	0.014	1.81

Case-2 一眼レフを用いた場合

S5-S4間



測定部位	距離成分	実測値 (m)	計測結果 (m)	寸法 <u>差</u> (m)	誤差率 (%)
	距離	1.467	1.468	0.001	0.07
O - A	水平距離	1.342	1.335	0.007	0.52
	鉛直距離	0.594	0.592	0.002	0.34
	距離	1.657	1.658	0.001	0.06
O - B	水平距離	1.386	1.382	0.004	0.29
	鉛直距離	0.907	0.909	0.002	0.22
	距離	8.848	8.847	0.001	0.01
O - C	水平距離	8.833	8.832	0.001	0.01
	鉛直距離	0.511	0.504	0.007	1.37
	距離	8.878	8.877	0.001	0.01
O - D	水平距離	8.842	8.840	0.002	0.02
	鉛直距離	0.796	0.802	0.006	0.75



測定部位	距離成分	実測値 (m)	計測結果 (m)	寸法 <u>差</u> (m)	誤差率 (%)
	距離	8.301	8.344	0.043	0.52
O - A	水平距離	8.283	8.327	0.044	0.53
	鉛直距離	0.543	0.507	0.036	6.63
	距離	8.381	8.427	0.046	0.55
O - B	水平距離	8.333	8.373	0.040	0.48
	鉛直距離	0.900	0.943	0.043	4.78
	距離	17.995	18.029	0.034	0.19
O - C	水平距離	17.984	18.019	0.035	0.19
	鉛直距離	0.615	0.564	0.051	8.29
	距離	17.987	18.026	0.039	0.22
O - D	水平距離	17.970	18.007	0.037	0.21
	鉛直距離	0.772	0.819	0.047	6.09

技術番号	TN010026-V0023								
技術名	技術名トンネルにおける三次元点検技術開発者名株式会社補修技術設計								
試験日	令和4年 12 月 2 日	天候	 晴れ	気温	12	°C	風速	0	m/s
試験場所	試験場所 施工技術総合研究所 模擬トンネル								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ^チ 漏	ひ割れ/っさ・に ョーキングで示る 水・遊離石灰/ かる損傷	されたもの)/	試験		準試験 場試験	

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

■対象構造物名 施工技術総合研究所 模擬トンネル

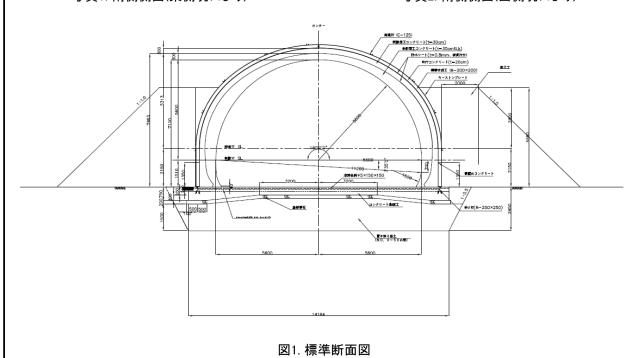
■延長 80m





写真1. 南側側面(東側坑口より)

写真2. 南側側面(西側坑口より)



試験方法(手順)

技術番号

TN010026-V0023

- ① 対象トンネル内にてキャリブレーション用の標点を設置し、標点間の距離計測を行う。
- ② Case-1 UAVを用いた場合:UAVを飛行し、4K動画撮影にてカラーチャートのデータ記録を行う。 Case-2 一眼レフを用いた場合:一眼レフカメラにて連写撮影し、カラーチャートのデータ記録を行う。
- ③ 事務所にてSfM処理ソフトを用いて3Dモデルおよびオルソ画像を作成する。
- ④ オルソ画像上でどの程度の色調差が識別可能か、3人の技術者が目視確認にて検証を行う。

開発者による計測機器の設置状況

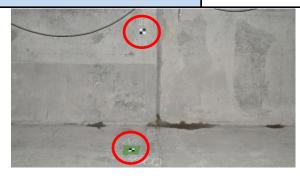


写真3. 標点設置状況



写真4. 標点間計測状況



写真5. UAV飛行撮影状況



写真6. 一眼レフ連写撮影状況

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

■模擬トンネル内に立会者が設置したカラーチャート



S5





写真7. カラーチャート

S3

■本技術の評価結果



技術番号	TN010026-V0023								
技術名トンネルにおける三次元点検技術 開発者名 株式会社補修技術設計									
試験日	令和4年 12 月 2 日	天候	 晴れ	気温	12	°C	風速	0	m/s
試験場所	試験場所 施工技術総合研究所 模擬トンネル								
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 ^{チョ-}	割れ/っき・13 -キングで示る ・遊離石灰/ る損傷		試験	区分現	場試験	(独自)

試験で確認する 高精細3Dモデル作成および カタログ項目 3Dモデル上での損傷確認

対象構造物の概要

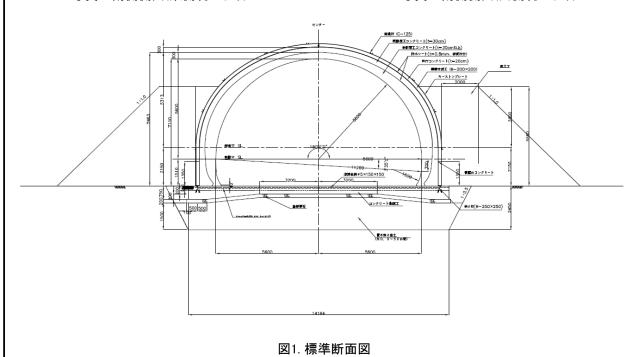
- ■対象構造物名 施工技術総合研究所 模擬トンネル
- ■延長 80m





写真1. 南側側面(東側坑口より)

写真2. 南側側面(西側坑口より)



試験方法(手順)

技術番号

TN010026-V0023

- 対象トンネル内にてキャリブレーション用の標点を設置し、標点間の距離計測を行う。
- ② UAVを飛行し、4K動画撮影にて覆工面のデータ記録を行う。
- ③ 事務所にてSfM処理ソフトを用いて3Dモデルを作成する。
- ④ 3Dモデル上でどの程度の損傷が識別可能か、技術者が目視確認にて検証を行う。

開発者による計測機器の設置状況

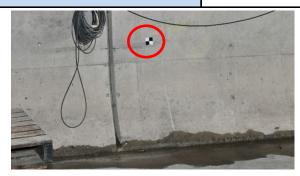


写真3. 標点設置状況

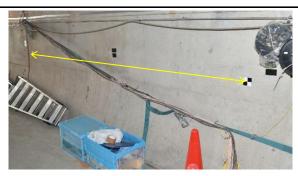


写真4. 標点間計測



写真5. UAV飛行撮影状況(覆工側面)



写真6. UAV飛行撮影状況(アーチクラウン)

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

■本技術の評価結果



3Dモデル

写真7. 覆工面3Dモデル(S6:外側より)



写真8. 覆工面3Dモデル(S6:内側より)

評価

UAVの動画撮影により、3Dモデル作成が可能

試験結果 技術番号 TN010026-V0023

■本技術の評価結果

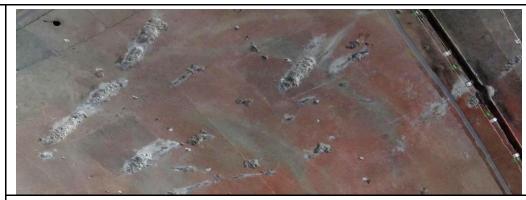


写真9. アーチクラウン部のはく離



写真10. ア-

損傷代表

Distance = 0.8933m

目地の段差

Vertical = 0.0143m

Distance = 0.4321m

チクラウン部のひび割れ、はく離

写真11. 写真10の損傷サイズ計測

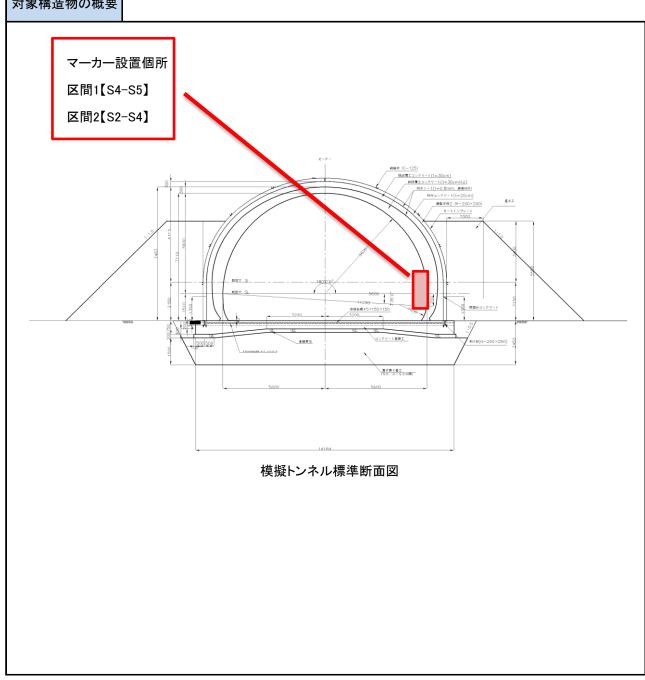
評価

高精細な3Dモデル上で損傷状況の目視確認が可能

技術番号	TN010028-V0023								
技術名	技術名トンネル覆工展開図自動作成システム開発者名(株)伸浩技建								
試験日	令和4年 12 月 26 日	天候	 晴れ	気温	_	°C	風速	-	m/s
試験場所	試験場所施工技術総合研究所								
カタログ分類	カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 外観変状(ひび割れ等) 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 長さ計測制度 位置精度

対象構造物の概要



試験方法(手順)		技術番号	TN010028-V0023
----------	--	------	----------------

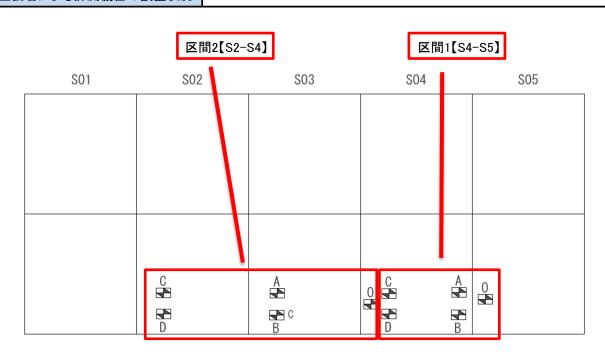
- ① トンネル内にて、3Dレーザースキャナを組み立て動作確認を行う。
- ② トンネル坑内を起点から終点までスパン毎にスキャンする。
- ③ スキャンして得た点群データを基に覆工展開画像を作成する。
- ④ 覆工展開画像から得たマーカー間距離を、実測定置(施工総研提供)と比較して位置精度を求める。

開発者による計測機器の設置状況

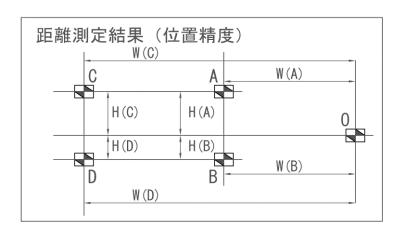


模擬トンネル(L)での実証実験の状況

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況



模擬トンネル(L)に設置されたマーカーの配置 区間2【S2-S4】、区間1【S4-S5】



マーカーの計測部位

技術番号

TN010028-V0023

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

著しい粉塵がないこと

・坑口における雨滴の侵入がないこと

②本試験の条件

•被写体との距離:約5m

・被写体:マーカー及び覆工面

·L():マーカーA~Dの中心点間距離

(1)区間1【S4】

No.	測定部位	測定値[m] (A)	画像による計 測値[m] (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	備考
1	L(A-B)	1.526	1.525	0.001	0.07%	周方向
2	L(A-C)	7.506	7.500	0.006	0.08%	延長方向
3	L(B-D)	7.465	7.461	0.004	0.05%	延長方向
4	L(C-D)	1.329	1.327	0.002	0.15%	周方向

・W():マーカーA~Dのと基準点マーカーOとの中心点間水平距離

・H():マーカーA~Dのと基準点マーカーOとの中心点間鉛直距離

・L():成分分解しないマーカー間距離

(1)区間1【S4~S5】

No.	測定部位	測定値[m] (A)	画像による計 測値[m] (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	備考
1	W(A)	1.341	1.342	-0.001	-0.07%	延長方向
2	W(B)	1.387	1.386	0.001	0.07%	延長方向
3	W(C)	8.837	8.833	0.004	0.05%	延長方向
4	W(D)	8.849	8.842	0.007	0.08%	延長方向
5	H(A)	0.593	0.594	-0.001	-0.17%	周方向
6	H(B)	0.907	0.907	0	0.00%	周方向
7	H(C)	0.511	0.511	0	0.00%	周方向
8	H(D)	0.801	0.796	0.005	0.62%	周方向
9	L(A-O)	1.467	1.467	0	0.00%	延長方向
10	L(B-O)	1.657	1.657	0	0.00%	延長方向
11	L(C-O)	8.851	8.848	0.003	0.03%	延長方向
12	L(D-O)	8.885	8.878	0.007	0.08%	延長方向

·L():マーカーA~Dの中心点間距離

(2)区間2【S2~S3】

No.	測定部位	測定値[m] (A)	画像による計 測値[m] (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	備考
1	L(A-B)	1.466	1.467	-0.001	-0.07%	周方向
2	L(A-C)	9.693	9.702	-0.009	-0.09%	延長方向
3	L(B-D)	9.626	9.639	-0.013	-0.14%	延長方向
4	L(C-D)	1.405	1.409	-0.004	-0.28%	周方向

・W():マーカーA~Dのと基準点マーカーOとの中心点間水平距離

・H():マーカーA~Dのと基準点マーカーOとの中心点間鉛直距離

・L():成分分解しないマーカー間距離

(2)区間2【S2~S4】

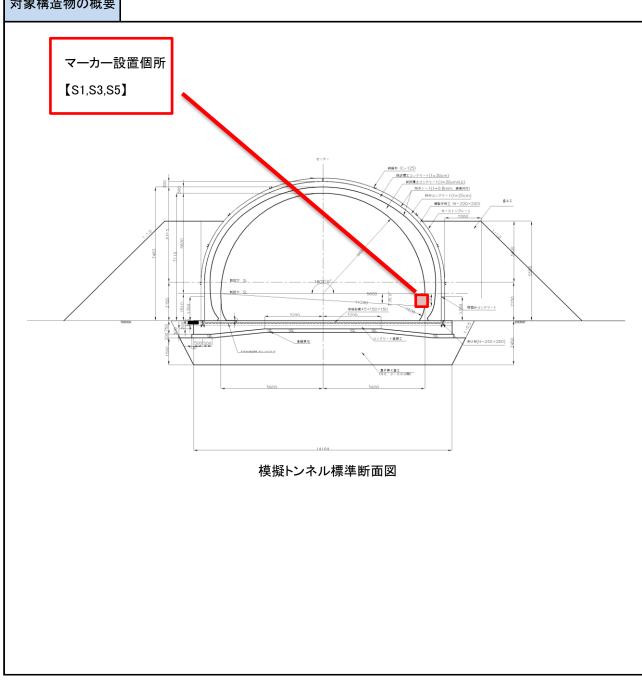
No.	測定部位	測定値[m] (A)	画像による計 測値[m] (B)	差 (C)=(A)-(B)	誤差率 (D)=(C)/(A)	備考
1	W(A)	8.287	8.283	0.004	0.05%	延長方向
2	W(B)	8.336	8.333	0.003	0.04%	延長方向
3	W(C)	17.981	17.984	-0.003	-0.02%	延長方向
4	W(D)	17.970	17.970	0	0.00%	延長方向
5	H(A)	0.541	0.543	-0.002	-0.37%	周方向
6	H(B)	0.904	0.900	0.004	0.44%	周方向
7	H(C)	0.611	0.615	-0.004	-0.65%	周方向
8	H(D)	0.776	0.772	0.004	0.52%	周方向
9	L(A-O)	8.304	8.301	0.003	0.04%	延長方向
10	L(B-O)	8.385	8.381	0.004	0.05%	延長方向
11	L(C-O)	17.991	17.995	-0.004	-0.02%	延長方向
12	L(D-O)	17.987	17.987	0	0.00%	延長方向

技術番号	TN010028-V0023									
技術名トンネル覆工展開図自動作成システム					開発者名	3 (株)伸浩技建			
試験日	令和4年 12 月 26 日	天候	晴れ	気温	_	°C	風速	-	m/s	
試験場所	試験場所施工技術総合研究所									
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 外籍	見変状(ひ	び割れ等)	試験		準試験 場試験		

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



試験方法(手順)		技術番号	TN010028-V0023
----------	--	------	----------------

- ① トンネル内にて、3Dレーザースキャナを組み立て動作確認を行う。
- ② トンネル坑内を起点から終点までスパン毎にスキャンする。
- ③ スキャンして得た点群データを基に覆工展開画像を作成する。
- ④ 覆工展開画像から、色調差が識別できるか技術者が目視確認することにより検証する。

開発者による計測機器の設置状況



模擬トンネル(L)での実証実験の状況



マーカー設置状況

対象スパン	被写体との距離	3Dスキャナ撮影データ	技術による結果
S01	6.5m		
S03	8.5m		
S05	5.5m		
S05	3m		

色識別性能

フルカラー識別可能

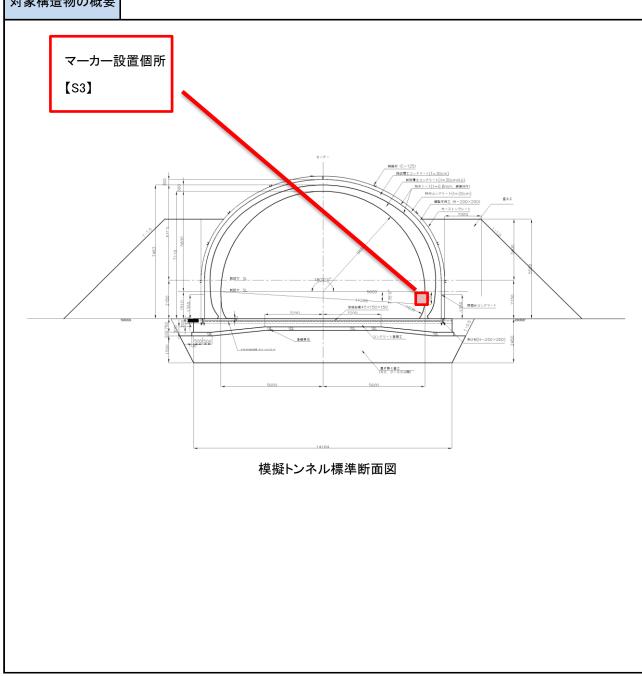
- ①性能(精度・信頼性)を確保するための条件
- ・被写体(トンネル覆工面)までの距離が3Dスキャナから8.5m以下であること
- ②本試験時の条件
- ・トンネル坑内照明なし

技術番号	TN010028-V0023									
技術名 トンネル覆工展開図自動作成システム 開発者名 (株)伸浩技建										
試験日	令和4年 12 月 26 日	天候	晴れ	気温	_	°C	風速	-	m/s	
試験場所	試験場所施工技術総合研究所									
カタログ分類	画像計測技術	カタログ	検出項目 外	観変状(ひ	び割れ等)	試験		準試験 場試験		

試験で確認する カタログ項目

マーキング検出可否

対象構造物の概要



試験方法(手順)	技術番号 TN010028-V0023
----------	---------------------

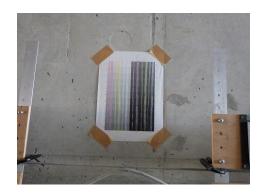
- ① トンネル内にて、3Dレーザースキャナを組み立て動作確認を行う。
- ② チョークによるマーキングをした供試体をスキャンする。
- ③ スキャンして得た点群データを基に覆工展開画像を作成する。
- ④ 覆工展開画像から、マーキングを検出する。

開発者による計測機器の設置状況

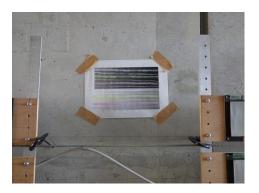


模擬トンネル(L)での実証実験の状況

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

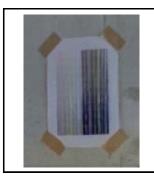


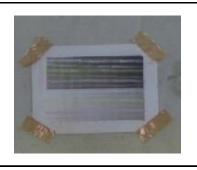


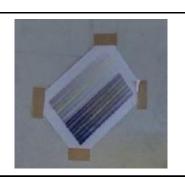




マーキング供試体設置状況





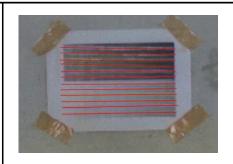


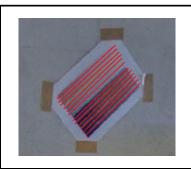
供試体(グレースケール面)

識別確認表

マーキング色・幅		検出可能な輝度
色	幅(mm)	快山り能な焊接
白	5	全て確認可
	10	全て確認可
黄色	5	全て確認可
典也	10	全て確認可
ピンク	5	全て確認可
	10	全て確認可







供試体のマーキング検出(グレースケール面)

マーキング検出可否 検出可能



供試体(コンクリート面)

識別確認表

マーキン	マーキング色・幅		検出可能な輝度					
色	幅(mm)	牧	快口可能な輝度					
白	5	0	0	0				
	10	0	0	0				
黄色	5	0	0	0				
典也	10	0	0	0				
ピンク	5	0	0	0				
	10	0	0	0				



供試体のマーキング検出(コンクリート面)

- ①性能(精度・信頼性)を確保するための条件
- 著しい粉塵がないこと
- ・雨滴の侵入がないこと
- ②本試験時の条件
- ・トンネル坑内照明なし
- ・被写体との距離 : 約3m

マーキング検出可否

検出可能

技術番号	TN010029-V0023									
技術名	走行型トンネル撮影シス	テム			開発	ê者名		さまだ。 カング 有限 会		
試験日	令和 5年 1 月 17 日	天候	晴れ	気温		9.0	°C	風速	0.7	m/s
試験場所	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	カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 試験区分 標準試験									

試験で確認する 計測精度(最小ひび割れ カタログ項目 幅)

対象構造物の概要

■国土技術政策総合研究所 実大トンネル実験施設

■延長:700m

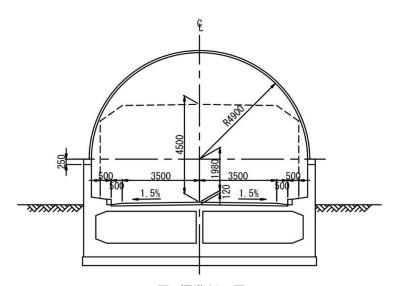


図1.標準断面図



図2.実大トンネル実験施設

技術番号 TN010029-V0023 試験方法(手順)

1 キャリブレーション用にトンネル内付属物の実測をする。

走行型トンネル撮影システムにて、時速50kmで撮影する。

3 取得した画像をCrackDraw21に取り込み、変状を抽出する。

4 ひび割れ供試体のひび割れ幅の真値と抽出結果を、二乗平均平方根誤差(mm)により評価する。

開発者による計測機器の設置状況



図3.走行型トンネル撮影システム

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5.煤で汚れた状態の供試を

■ひび割れの検出精度

ひびわれ幅	ひび割れ検出精度
0.2mm以上	88.7%
0.5mm以上	100.0%

■ひび割れ幅の推定精度

	真値(mm)	供試体番号	計測ひび割れ幅	誤差 (mm)	最小二乗誤差 (mm)
1	0.2	4-3-2	0.3	-0.1	0.01
2	0.2	11-2-2	0.4	-0.2	0.04
3	0.2	15-1	0.4	-0.2	0.04
4	0.3	14-1	0.4	-0.1	0.01
5	0.3	19-3	0.3	0.0	0
6	0.3	20-3	0.3	0.0	0
7	0.3	22-3	0.4	-0.1	0.01
8	0.4	5-3	0.4	0.0	0
9	0.4	8-1-2	0.7	-0.3	0.09
10	0.4	21-1	0.6	-0.2	0.04
11	0.5	13-3-2	0.3	0.2	0.04
12	0.5	24-1	0.5	0.0	0
13	0.6	6-2-1	0.6	0.0	0
14	0.7	7-3-2	0.6	0.1	0.01
15	0.7	8-1-1	0.8	-0.1	0.01
16	0.7	15-3	0.7	0.0	0
17	0.7	16-1	0.5	0.2	0.04
18	0.7	17-1	0.6	0.1	0.01
19	0.7	18-3	0.5	0.2	0.04
20	0.7	26-2	0.7	0.0	0
21	0.7	28-2	1.0	-0.3	0.09
22	0.8	17-3	0.7	0.1	0.01
23	0.8	21-2	0.8	0.0	0
24	0.8	23-1-1	1.0	-0.2	0.04
25	0.9	4-1	0.9	0.0	0
26	0.9	8-2-1	0.9	0.0	0
27	0.9	11-2-1	1.0	-0.1	0.01
28	0.9	13-3-1	1.0	-0.1	0.01
29	1.0	6-1	0.8	0.2	0.04
30	1.0	22-2	1.0	0.0	0
31	1.1	1-2	1.0	0.1	0.01
32	1.1	7-2-1	1.0	0.1	0.01
33	1.3	7-1	1.5	-0.2	0.04
34	1.5	19-1	1.5	0.0	0
35	1.5	20-1	1.5	0.0	0

36	1.5	24-3-1	1.5	0.0	0
37	1.6	2-3	1.5	0.1	0.01
38	2.0	29-2	2.0	0.0	0
39	2.5	3-1	2.5	0.0	0
40	2.5	11-1	2.5	0.0	0
41	2.5	26-1	2.5	0.0	0
42	2.5	30-3	2.5	0.0	0
43	3.0	1-3	3.0	0.0	0
44	3.0	5-1	3.0	0.0	0
45	3.0	6-3	3.0	0.0	0
46	3.0	8-3	3.0	0.0	0
47	3.0	13-1	2.5	0.5	0.25
48	3.0	15-2	3.0	0.0	0
49	3.0	27-3	3.0	0.0	0
50	3.0	29-1	3.0	0.0	0
51	3.5	2-2	3.5	0.0	0
52	3.5	7-3-1	3.5	0.0	0
53	3.5	16-2	3.5	0.0	0
54	3.5	20-2	4.0	-0.5	0.25
55	3.5	23-3-1	3.5	0.0	0
56	3.5	30-2	3.5	0.0	0
57	4.0	10-2	4.0	0.0	0
58	4.0	18-2	4.0	0.0	0
59	4.0	21-3	4.0	0.0	0
60	4.0	24-2	4.0	0.0	0
61	4.0	28-1	4.0	0.0	0
62	4.5	22-1	4.5	0.0	0
63	5.0	4-3-1	5.0	0.0	0
		•			1.16

0.2 0.135693399

 $(x_1-a)^2 + \dots + (x_n-a)^2$

但し、x1~xn : ひび割れ測定結果 (最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ) a:ひび割れ幅(真値) n:データ数(最小ひび割れ幅の計測結果のうち、真値との誤差を計算可能なデータ)

技術番号	TN010029-V0023								
技術名	走行型トンネル撮影シス	テム			開発す		式会社東談 小/有限3		
試験日	令和 5年 1 月 17 日	天候	晴れ	気温	9	.0 °C	風速	0.7	m/s
試験場所	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	カタログ分類 画像計測技術 カタログ 検出項目 ひび割れ 試験区分 環想試験								

試験で確認する カタログ項目

計測精度(長さ、位置)

対象構造物の概要

■国土技術政策総合研究所 実大トンネル実験施設

■延長:700m

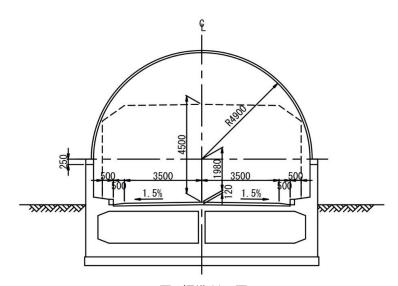


図1.標準断面図



図2.実大トンネル実験施設

試験方法(手順) 技術番号 TN010029-V0023

- 1 キャリブレーション用にトンネル内付属物の実測をする。
- ② 走行型トンネル撮影システムにて、時速50kmで撮影する。
- ③ 取得した画像をCrackDraw21に取り込み、マーカー間距離を抽出する。
- ④ マーカー間距離の真値と抽出結果を、相対誤差(誤差÷真値)(%)により評価する。

開発者による計測機器の設置状況



図3.走行型トンネル撮影システム

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4.マーカー

技術番号 TN010029-V0023

■【長さ計測精度】真値と画像による計測値の比較

[1]S50-52]



測定部位	真値(m) (A)	画像による計測値(m) (B)	誤差(m) (C)= (A)- (B)	誤差率 (D)= (C)/ (A)		
L (A-B)	1.496	1.530	0.034	2.27%		
L (C-D)	1.480	1.510	0.030	2.03%		
L (A-C)	6.309	6.320	0.011	0.17%		
L (B-D)	6.305	6.310	0.005	0.08%		

[2S52-55]



測定部位	真値 (m) (A)	画像による計測値 (m) (B)	誤差(m) (C)= (A)- (B)	誤差率 (D)= (C)/ (A)		
L (A-B)	1.503	1.510	0.007	0.47%		
L (C-D)	1.494	1.500	0.006	0.40%		
L (A-C)	8.707	8.710	0.003	0.03%		
L (B-D)	8.705	8.710	0.005	0.06%		

[3|S56-58]



測定部位	真値 (m) (A)	画像による計測値(m) (B)	誤差(m) (C)= (A)- (B)	誤差率 (D)= (C)/ (A)		
L (A-B)	1.498	1.500	0.002	0.13%		
L (C-D)	1.497	1.500	0.003	0.20%		
L (A-C)	11.712	11.710	-0.002	-0.02%		
L (B-D)	11.707	11.720	0.013	0.11%		

■【位置計測精度】真値と画像による計測値の比較

[1]S50-52]



測定部位	真値(m)	画像による計測値(m)	誤差(m)	誤差率		
	(A)	(B)	(C) = (A)-(B)	(D)= (C)/ (A)		
L (O-A)	2.145	2.140	-0.005	-0.23%		
L (O-B)	2.110	2.120	0.010	0.47%		
L (0-C)	8.339	8.350	0.011	0.13%		
L (0-D)	8.324	8.330	0.006	0.07%		

[2S52-55]



測定部位	真値(m) (A)	画像による計測値(m) (B)	誤差(m) (C)= (A)- (B)	誤差率 (D)= (C)/ (A)		
L (O-A)	9.233	9.220	-0.013	-0.14%		
L (0-B)	9.221	9.230	0.009	0.10%		
L (O-C)	17.921	17.910	-0.011	-0.06%		
L (0-D)	17.913	17.920	0.007	0.04%		

[3|556-58]



測定部位	真値 (m) (A)	画像による計測値(m) (B)	誤差(m) (C)= (A)- (B)	誤差率 (D)= (C)/ (A)	
L (O-A)	2.298	2.290	-0.008	-0.35%	
L (0-B)	2.282	2.290	0.008	0.35%	
L (O-C)	13.891	13.890	-0.001	-0.01%	
L (0-D)	13.894	13.910	0.016	0.12%	

技術番号	TN010029-V0023									
技術名	走行型トンネル撮影シス	テム			開多	 者名		会社東設 ト/有限会		
試験日	令和 5年 1 月 17 日	天候	晴れ	気温		9.0	°C	風速	0.7	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・画像計測技術・カタログ・検出項目・ババ製力・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

■国土技術政策総合研究所 実大トンネル実験施設

■延長:700m

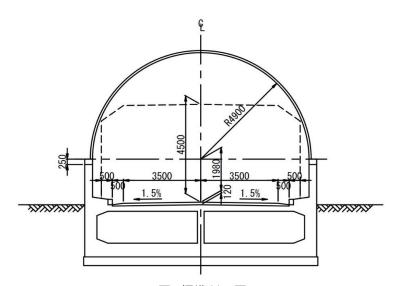


図1.標準断面図



図2.実大トンネル実験施設

試験方法(手順) 技術番号 TN010029-V0023

- (1) キャリブレーション用にトンネル内付属物の実測をする。
- ② 走行型トンネル撮影システムにて、時速50kmで撮影する。
- ③ 取得した画像をCrackDraw21に取り込む。
- 4 カラーチャートの識別が可能かを判断する。

開発者による計測機器の設置状況



図3.走行型トンネル撮影システム

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4.モノクロチャートとカラーチャート

■フルカラー識別可能





S52-53 S54-55



S56-57