

トンネル内 360 度画像の視認性 についての検討

鍋島 康之¹

¹正会員 明石工業高等専門学校教授 都市システム工学科（〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡 679-3）
E-mail: nabesima@akashi.ac.jp

わが国には鉄道盛土を横断する小断面のレンガトンネルが多数存在する。これらのレンガトンネルは小河川や用水路などの水路用として建設されたものが覆盖されたものが多く、人や自転車、自動車の通路として解放されたトンネルが現在も供用されている。しかしながら、これらのレンガトンネルは断面が小さいだけでなく、目地切れ、表面劣化や漏水などの劣化が進んでいる。このように劣化が進んだレンガトンネルは維持管理が必要になるが、断面が小さいために点検作業が難しいのが現状である。著者らは直接目視に代わる点検法として 360 度パノラマ画像を用いた点検法を提案している。本研究では、この 360 度パノラマ画像の視認性について検討した。その結果、360 度パノラマ画像は概ね明瞭な視認性が確認できた。

Key Words: 360-degree panoramic image, visibility, maintenance, small brick tunnel

1. はじめに

近畿地方をはじめわが国には図-1に示すような鉄道盛土を横断する小断面のレンガトンネルが多数存在する。これらのレンガトンネルは小河川や用水路などの水路用として建設されたものが覆盖されたものが多く、人や自転車、自動車の横断交通を確保するために解放されたトンネルが現在も供用されている。しかしながら、これらのトンネルには 100 年を超えるものも存在し、老朽化が懸念されているが、実際に点検等を行う技術者や技能水準が、維持管理を必要とする構造物の急増に追いついていない。断面が小さいだけでなく、目地切れ、表面劣化や漏水などの劣化が進んでいる。現在、維持管理に関する諸問題に対して、仮想現実（VR）を用いた簡便な維持管理方法が研究¹⁾されている。本研究では、目視点検の代替として 360 度パノラマ画像が代替となるかどうかを検討するため、画像の視認性について検討する。



図-1 小断面レンガトンネル

2. 鉄道盛土横断トンネルの劣化状況

(1) 西宮市周辺

JR 神戸線（甲子園口駅～芦屋駅）には、甲子園口、平松町、御免町の 3 か所にマンボトンネルと呼ばれる小断面レンガトンネルが存在する。図-1に示した小断面レンガ積みトンネルは甲子園口駅近傍にあり、幅 1.35m、高さ 1.33m、全長約 24m で、かつては用水路として使用していたものを覆盖し、歩行者や自転車が通行できるようにしたものと考えられる。近隣のレンガ積みトンネルも用水路を覆盖したものが横断通路として利用されているものであり、いずれも断面が小さく、幅・高さとも 2m 以下であった。またトンネル内部は図-2に示すように劣化が進んでおり、これまでも補修工事はされているがき裂がかなり進行し、遊離石灰などの可溶性物質が白く出てきて劣化が進んでいる状況が確認された。他のレンガ積みトンネルについても内部の状況は同様に劣化



図-2 レンガトンネル（西宮市）内部の劣化状況



図-3 レンガトンネル（高槻市）内部の劣化状況

が進んでいる状態であった。

(2) 高槻市周辺

JR 京都線（高槻駅～島本町駅）には、島本町桜井、高槻市山手町、萩之庄、梶原（6ヶ所）、上牧山町の10か所に西宮市周辺と同様のレンガトンネルが存在する。西宮市のレンガトンネルと比較すると盛土高さが高いためか、断面が大きく、通常の車両や軽自動車・自転車などが通行できるトンネルが多いのが特徴である。図-3に示すようにき裂や遊離石灰だけでなく、車両が通行するため車両との接触による損傷なども多く見られる。また、鉄道の複々線化により盛土断面が途中で変化しているトンネルが見られる。部分的に補修工事が行われているが、雨天時にはき裂からの漏水が見られるなど劣化が進行していることが確認できた。

3. 360度パノラマ画像の撮影方法

図-1の様な小断面トンネルの内部を目視点検するためには、狭小な空間内での点検作業を行う必要があり、かなりの困難な作業になる。本研究では、360度パノラマ画像を用いた点検方法^{2), 3), 4)}を提案しており、ここでは市販の一眼レフカメラを使用した場合と360度カメラを使用した場合の2つの方法について紹介する。

(1) 一眼レフカメラを用いた撮影方法

一眼レフカメラを用いる場合は、図-4に示すようなカメラの角度を自由に設定できる雲台（JTS Ratator）に一眼レフカメラを取り付け、角度0°（水平）で30°回転させて12枚撮影する。また上・下角45°で水平方向に30°回転させて各12枚撮影する。また天頂方向と下方の写真を撮影し、360度パノラマ画像を合成するために必要な約40枚の画像を撮影する。そして、これらの画像を画像処理ソフトウェア（Panoweaver）でスティッチング処理することで360度パノラマ画像を作成した。

(2) 360度カメラを用いた撮影方法

次に図-2, 3に示すように三脚に360度カメラを取り



図-4 一眼レフカメラを用いた撮影方法



図-5 研究で用いた360度カメラ（左から、Vuze XR Dual VR, RICOH THETA m15, RICOH THETA V）

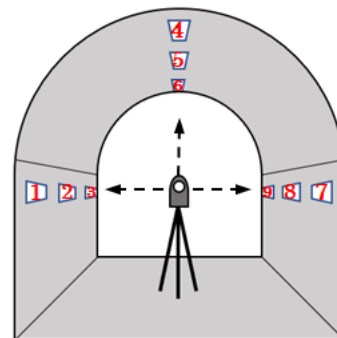


図-6 カメラおよび標点の位置

付け、スマートフォンによるリモートコントロールで写真を撮影した。市販の360度カメラには様々な種類があり、今回は図-5に示した最も簡便な360度カメラ3種類（Vuze XR Dual VR, RICOH THETA m15, RICOH THETA V）を使用した。魚眼レンズを前後2つ装備したカメラである。今回使用した360度カメラはスティッチング処理をカメラ内で自動で行うことができるため特別な技術が不要となり360度パノラマ写真が容易に扱えるのが特徴である。その後、パソコン等で画像を確認し、直接目視の場合と比較した。さらに市販のVRゴーグルを用いると実際にトンネル内にいる場合と同じ状況を再現できる。

また、トンネル内部の壁面に図-6に示すように9箇所標点を貼り付け、360度パノラマカメラで撮影を行い、それぞれのパノラマ画像をもとに、クラックゲージおよび標点の視認性、鮮明度について比較を行う。また、

20 人の被験者に対して、ヘッドマウントディスプレイの VR ゴーグル (Oculus Go) を装着した状態で 3 種類の 360 度パノラマ画像を仮想現実空間として見せ、9 箇所の標点の視認性についてアンケートを実施し、視認性 (鮮明度、画質、撮影範囲) を比較検討した。

4. 360 度パノラマ画像の画質比較

(1) 一眼レフカメラを用いたパノラマ画像

図-7 は一眼レフカメラを用いて撮影したパノラマ画像の内、トンネル入口周辺の画像を示している。一眼レフカメラ (全自動モード) で撮影した画像は部分的に拡大しても高い画質が保たれており、細かいクラック等の劣化の状況を判読することが可能である。また、色彩的にも実際のトンネル内部を再現できているため、色彩をもとにした劣化の状況も判読しやすい。これらの点から、一眼レフカメラを用いた 360 度パノラマ画像が点検手法として優れていると考えられる。ただし、一眼レフカメラの使用方法にある程度の知識や技術が必要であるため、注意が必要である。

(2) 360 度カメラを用いたパノラマ画像

3 種類のカメラで撮影した 360 度パノラマ画像のうち、RICOH THETA V で撮影したものを図-8 に示す。今回使用した 3 種類の 360 度カメラは短時間で撮影ができ、特別な技術は必要なくパノラマ画像を撮影できた。スマートフォンによるリモート操作では全体的な明るさ以外は調整ができなかったため、撮影部分によっては鮮明ではないが、トンネル内部のき裂や遊離石灰等の細部まで確認できる。ただし、機種によってはトンネル内部の状況は把握できるが、き裂の細部については確認できないものがあつた。

(3) 360 度パノラマ画像の視認性について

一眼レフカメラを用いたパノラマ画像は高画質で鮮明ではあるが、撮影・画像処理にある程度の知識が必要のため、今回は市販の 360 度カメラを用いたパノラマ画像について視認性の検討を行った。

3 種類の 360 度カメラで撮影したパノラマ画像を基に鮮明度、画質等を比較した結果を表-1 ならびに図-9 に示す。鮮明度および画質は 3 種類のカメラにそれぞれ順位をつけ、優れているものから◎、○、△の 3 段階で評価を行い、撮影された空間内で 9 箇所すべての標点 が鮮明に確認できた場合を◎、鮮明ではないが確認できた場合を○、1 つでも標点 が確認できなかった場合を△とした。結果として、図-9 に示した RICOH THETA V で撮影

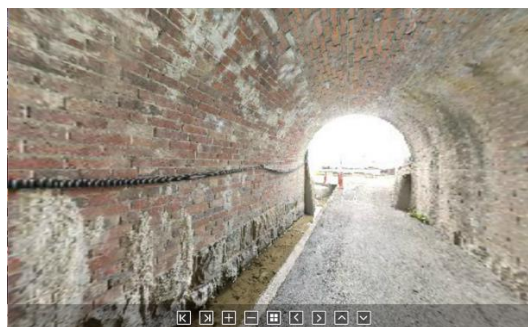


図-7 一眼レフカメラによる 360 度パノラマ画像

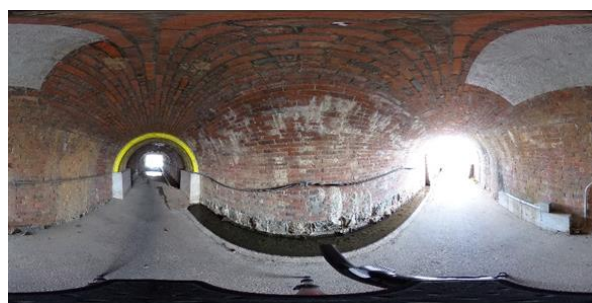


図-8 360 度カメラによるパノラマ画像

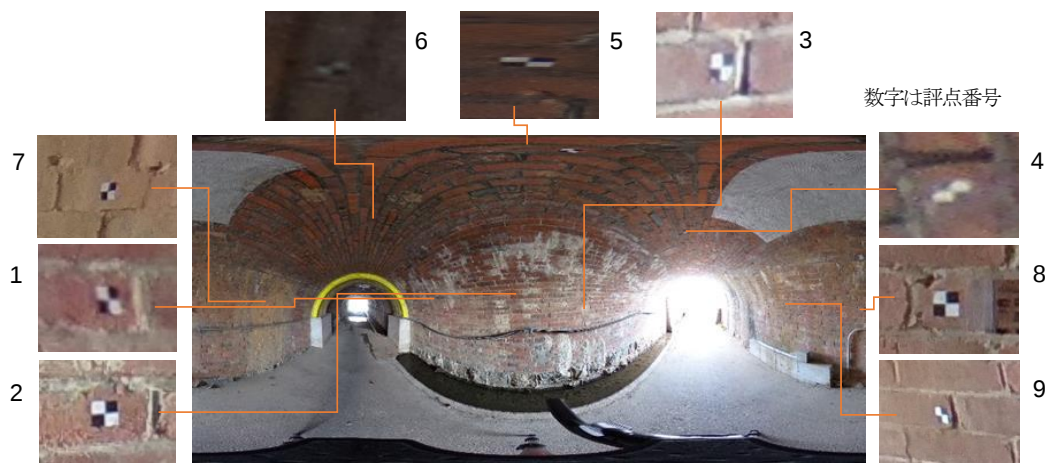


図-9 360 度カメラ (RICOH THETA V) によるパノラマ画像の視認性

表-1 鮮明度、画質および撮影範囲の比較

機種	Vuze XR Dual VR	RICOH THETA m15	RICOH THETA V
鮮明度	△	○	◎
画質	○	△	◎
撮影範囲	△	◎	◎

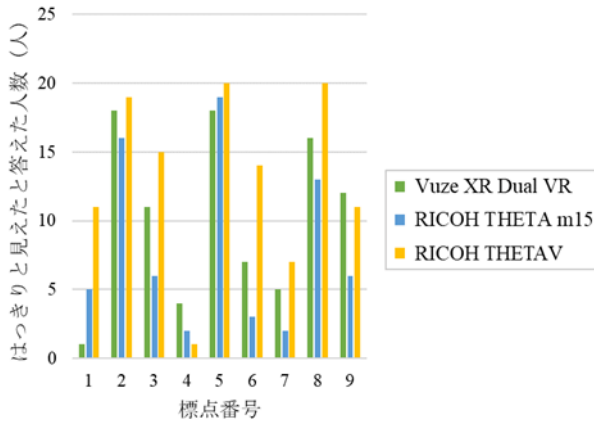


図-10 被験者アンケート結果

した写真が、鮮明度、画質、撮影範囲のすべての項目において他のカメラより優れている結果となった。

また、VRゴーグルを装着した状態で3種類の360度パノラマ画像を仮想現実空間として見せ、トンネル内部に張り付けた9箇所の標点について20人の被験者による視認性についてアンケートを行った結果を図-10に示す。カメラの性能に関わらず、標点により視認性に差が生じており、標点番号2、5、8についてはほとんどの人がはっきりと見えたと回答していることがわかる。それ以外の標点については撮影機材の性能による影響があり、視認性に差が現れている。今回は外部からの自然光で撮影を行ったため、視認性を向上させるためには、人工光源を使用するか、焦点や露出を調整する必要があることがわかった。

5. まとめ

鉄道盛土を横断する小断面のレンガ積みトンネルの維持管理手法として360度パノラマ画像を利用する手法について検討した結果、一眼レフカメラを用いた360度パノラマ画像は高解像度で視認性が高いが、360度パノラマ画像を作成するためには機材や画像処理に関する知識が必要であることがわかった。一方、市販の360度カメラを用いた方法は撮影が容易で、ある程度の視認性がある360度パノラマ画像が取得でき、VRゴーグルなどを使った維持管理も可能である。しかし、使用する機種によっては解像度が維持管理には十分ではないものがあり、注意を要することがわかった。

謝辞：本研究は、明石工業高等専門学校都市システム工学科卒業生である多嶋花帆（現 大阪大学大学院）、山場雅（現 キヤノンメディカルシステムズ(株)）の研究を整理したものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 重岡，斉藤，藤原，土井，中川，作中：小型の画像撮影装置による狭隘なトンネルの点検効率化，トンネル工学報告集，第28巻，II-11，pp.1～7，2018.
- 2) 鍋島，多嶋：360度パノラマ画像を用いた小断面レンガ積みトンネルの点検手法について，第74回土木学会年次学術講演会，III-291，2019.
- 3) 鍋島：360度画像を用いた小断面レンガトンネルの維持管理手法の提案，第23回鉄道工学シンポジウム論文集，pp.95～98，2019.
- 4) 鍋島，山場：仮想現実を用いたトンネル管理手法の検討—360度画像の視認性—，令和2年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集，第VI部門，VI-2，2020.

(2020. 8. 7 受付)

VISIBILITY OF 360-DEGREE PANORAMIC IMAGES IN THE TUNNEL

Yasuyuki NABESHIMA

Old brick tunnels under the rail road embankments were necessary to maintain the safety, but the usual visual inspection was difficult because of the small cross section. The deterioration, such as cracks and water leakage, have progressed in the most old brick tunnels. The author proposed a virtual inspection by using the commercial 360-degree panoramic camera. In this study, the visibility of 360-degree panoramic images was examined as for the alternative method for the usual visual inspection of the small tunnels. Although the visibility of some parts of the 360-degree panoramic images was blurred, other parts were very clear and easily distinguished.