

# 講演概要 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

鍋島 康之<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 明石工業高等専門学校学校教授 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

鉄道盛土は線状構造物であり、鉄道盛土を縦断する用水路や河川等の通水を確保するため、盛土内にマンボトンネルと呼ばれる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かつては用水路・河川用であったが、都市部においては覆蓋し、歩行者や自転車の通路として現在は利用されている。小断面トンネルが多く、建設から長時間が経過していることから、内部の劣化が進んでいる状況である。これらのトンネルは小断面であるため、通常の直接目視などの維持管理が困難なことがあり、本研究では360度パノラマ画像を用いた維持管理手法を提案し、最適な画像の撮影法について検討した。

**Key Words :** 360 degree panoramic image, virtual reality, brick tunnel, maintenance, small section

## 1. はじめに

### (1) 南海トラフ巨大地震に対するリスク

平成7年（1995年）に起こった兵庫県南部地震において、阪神間の鉄道構造物は著しい被害<sup>1)</sup>を受けた。鉄道は線状構造物であるため、1ヶ所でも不通区間が生じると広範囲に影響が及び、大変な混乱が生じる。実際、平成30年6月18日に発生した大阪府北部を震源とする地震では京阪神の鉄道網が麻痺し、約500万人に影響<sup>2)</sup>がでている。本研究では地震に対するリスクの1つとして盛土内にある小断面のレンガトンネルに着目し、維持管理手法を提案する。

### (2) レンガトンネル

JR西日本の管轄内には明治時代に建設された古いレンガトンネルが多数存在する。これらのトンネルは元々、鉄道盛土を縦断する小河川や用水路等の通水を確保するために建設された小規模なトンネルであり、複々線化に伴い、延長された形跡が見られる。また、歩行者や自転車などの交通を確保する目的で覆蓋が施され、利用形態が変化している。これらのトンネルは建設後100年近くが経過したものもあり、維持管理が大きな課題となっている。小規模なトンネルは作業空間が狭隘であるため、本研究では360度パノラマ画像を用いて点検業務を省力化する手法を提案する。

## 2. 阪神間における鉄道盛土

大阪から神戸にかけての阪神地域には図-1に示すように阪急神戸線、JR神戸線、阪神電鉄本線の3つの鉄道がほぼ並行して走行している。大阪湾側から阪神、JR、阪急の線路があり、現地踏査の結果から各路線の鉄道構造物の構成には図-2に示すような特徴がみられる。阪神電鉄本線は一部で盛土・平面区間が見られるが、その大部分は高架化が進んでおり約82%が高架橋区間である。また、阪急神戸線においては平面を走っている区間が比較的多いのが特徴となっている。一方で、JR神戸線については、高架橋部分が無く、全長4.6kmの内、盛土区間が約72%となっている。図-3はJR神戸線の盛土区間の状況を示しており、比較的高い盛土が存在する。また、法面保護工として防草シートを使用している箇所や、コンクリート擁壁を用いている箇所など様々な区間が見られた。

## 3. 小断面レンガトンネルの現状

### (1) 西宮市内のレンガトンネル

西宮市内には鉄道盛土内にレンガトンネルが3カ所存在し、「マンボトンネル」あるいは「マンボウトンネル」と呼ばれている。その内の1つのマンボトンネルは谷崎潤一郎の「細雪」の場面にも紹介されている。いずれ

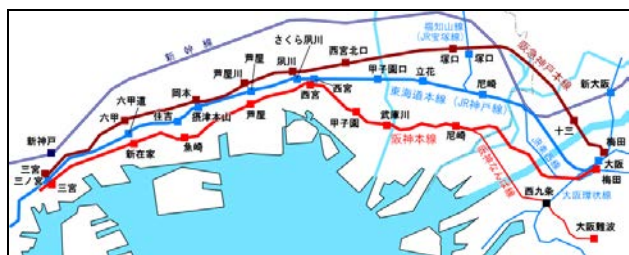


図-1 阪神地域の鉄道路線図

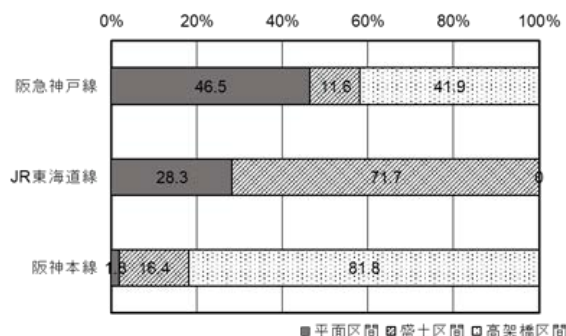


図-2 調査区域における鉄道構造物の構成



図-3 鉄道盛土の状況



図-4 高架橋区間の例（阪神電鉄本線）

のトンネルも図-5に示すように小断面であり、最も小さいレンガトンネルは幅1.33m、高さ1.35mである。また、図-5に示すようにトンネル断面は南側と北側入口で形状が異なっており、鉄道が複線化、複々線化された際にトンネルが延長され、断面が変化した痕跡が見受けられる。

さらに、レンガトンネル内部は非常に老朽化が進んでいる。図-6に示すようにレンガトンネルには亀裂が発生し、亀裂部分から遊離石灰が溶出している状況が確認できる。補修工事が施された形跡があるが、その補修工事も部分的に剥離したり、劣化が進んでいる状況が確認できる。



図-5 西宮市のレンガトンネル（マンボウトンネル）



図-6 レンガトンネル内部の劣化状況

## (2) 高槻市内のレンガトンネル

JR京都線の高槻駅～島本駅間にも全長約2.5kmの鉄道盛土が存在し、その盛土内に図-7に示すようなレンガトンネルが10カ所に存在する。西宮市のトンネルと比較すると断面が若干大きいものも多く、幅・高さとも約2m程度あり、軽自動車の通行が可能なレンガトンネルも存在する。高槻市内のレンガトンネルも西宮市と同様、レンガ目地の亀裂や遊離石灰の溶出など劣化が進んでいる。特に、軽自動車等が通過した際に接触したものと思われる擦過痕が確認できた。

## 4. 360度パノラマ画像の撮影方法

小断面のレンガトンネルでは従来の直接目視による維持管理が困難なことが多く、特殊なカメラ等を用いた維持管理手法<sup>4)</sup>が提案されている。本章では360度パノラマ画像の撮影方法について述べる。

### (1) 360度パノラマカメラを用いた手法

本研究で使用した360度パノラマカメラは、RICOH



図-7 高槻市内のレンガトンネル

THETA Sである。カメラの仕様を表-1に示す。この撮影方法は非常に簡単であり、図-8に示すように三脚にパノラマカメラを設置し、スマートフォンで操作する。撮影した画像はパソコンに取り込み、VRゴーグルを装着することでVR空間として確認することも可能である。

## (2) 一眼レフカメラを用いた手法

本研究で使用した一眼レフカメラは、Panasonic Lumix G2である。一眼レフカメラの詳細を表-2に示す。一眼レフカメラを用いた方法では、図-9に示すような特殊な雲台にカメラを取り付けた後、水平360度全方向の写真を撮影する。また、下向き45度、上向き45度、垂直上向きと下向きに写真を撮影し、合計38枚の画像を撮影する。これらの画像をソフトウェア（Panoweaver）で画像処理することで360度パノラマ画像を作成する。さらに複数のパノラマ画像を接続して、ストリートビューのように表示することが可能である。

## 5. 360度パノラマ画像を用いた点検手法

### (1) 360度パノラマカメラを用いたパノラマ画像

360度パノラマカメラにより撮影した画像を図-10に示す。レンガトンネル内部の劣化状況や補修箇所などを大まかに把握することが可能である。撮影は大変簡単であり、画像処理もアプリが自動で行うため便利である。またカメラ本体が小さいため、小断面トンネルでの撮影も可能である。しかし、既製品のため撮影する際に、露出やシャッター速度等の撮影条件が細かく調整できない。また、図-10は実際のレンガトンネルと比較すると色合いなどが微妙に異なっており、さらに画像を部分的に拡大すると、亀裂等を目視で判断することは困難であった。また、魚眼レンズを使用しているため、部分的に画像を拡大する場合、画像が歪んでいる場合もある。このため、劣化状況を判断する場合には注意が必要である。

### (2) 一眼レフカメラを用いた360度パノラマ画像

一眼レフカメラにより撮影した画像を図-11に示す。

表-1 RICOH THETA Sの仕様

|        |                      |
|--------|----------------------|
| 外形寸法   | 45.2×130.6×22.9 (mm) |
| 質量     | 約102g                |
| 静止画性能  | 5376×2688ピクセル        |
| 内蔵メモリー | 8GB (静止画約1600枚)      |
| 搭載機能   | リモート撮影               |



図-8 360度パノラマカメラによる撮影

表-2 Panasonic Lumix G2の仕様

|       |                  |
|-------|------------------|
| 外形寸法  | 124×83.6×74 (mm) |
| 質量    | 約371g (ボディのみ)    |
| フォーカス | オートフォーカスモード：23点  |
| ISO感度 | インテリジェントMAX 6400 |
| 有効画素数 | 1210万画素          |
| 撮影可能数 | 約360枚            |



図-9 一眼レフカメラによる撮影

トンネルの入口付近で撮影したものと出口付近で撮影したものを360度パノラマ画像化し、それぞれを仮想現実空間のように再現した。その中から切り取った写真が図-11である。一眼レフカメラで撮影した画像は高画素であるため、高い画質を保っており、トンネル内部のレンガ目地の亀裂や遊離石灰の溶出といった劣化状況を視認できる。さらに、入口付近と出口付近の画像をリンクさせることで、視点を出口付近の空間に移動する（図-11上側の緑色の印をクリックする）ことができる。

360度パノラマカメラによる画像では明度が足りず、不鮮明な箇所があったが、一眼レフカメラによる画像ではトンネル内部の色彩は最も実際に近く、鮮明な画像が得られている。図-12は劣化が進んだ部分を拡大したものである。遊離石灰の溶出状況やレンガ目地の劣化状況が詳細に確認できる。また、360度パノラマカメラによる画像では画像に歪みが生じることがあったが、一眼レフカメラによるパノラマ画像ではそのような歪みは見られない。従来の直接目視による点検は、このような小断



図-10 360度パノラマカメラを用いて撮影した画像

面レンガトンネルに対して十分な維持管理を行うことは時間や経費の制約上困難であり、人工知能や機械学習を用いた効率的で新しい手法<sup>4)</sup>が提案されている。本研究で提案した360度パノラマ画像を用いる手法も小断面トンネルに対して検討の余地があると考えている。機械学習による画像診断では、より歪みの少ない鮮明な画像が必要になると考えられ、今後、一眼レフカメラによる360度パノラマ画像の撮影方法について検討し、さらに画像の品質を向上していく必要がある。

## 6. 結論

本研究では、360度パノラマ画像による小断面レンガトンネルの維持管理手法を提案した。本研究において得られた知見を以下に示す。

- 1) 360度カメラによる画像は短時間で簡単に撮影可能である。しかし既製品のカメラであるため細かい画質の調整が出来ない。
- 2) 一眼レフカメラによる360度パノラマ画像はトンネル内部の実際の色彩に近く、鮮明な画像が得られている。また、部分的に拡大しても画質の劣化が無いため、維持管理手法として適用できる可能性がある。

**謝辞：**本研究は、JR西日本あんしん社会財団の2018年度研究助成を受けて実施した研究の一部である。ここに記



図-11 一眼レフカメラによる 360 度パノラマ画像



図-12 劣化部分の拡大表示

して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 運輸省鉄道局監修：よみがえる鉄路，山海堂，1996.
- 2) 日本経済新聞：平成 30 年 6 月 21 日朝刊，2018.
- 3) 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.
- 4) 鶴飼：深層学習を用いたトンネル覆工面のひび割れ検出手法の開発，鉄道総合技術論文誌，Vol.32(5)，pp.5～10，2018.

(2019.4.5 受付)

## PROPOSAL FOR MAINTENANCE OF BRICK TUNNELS BY USING 360 DEGREE PANORAMIC IMAGE

Yasuyuki NABESHIMA

Railroad structures consists of embankments, bridges, elevated bridges and tunnels. Small brick tunnels exists in the embankments to across the embankments for walker and bicycle. They are very old and deteriorated. For the safty operation, it is necessary to maintenance the small brick tunnels. The maintenance of small and old tunnels required time, cost and effort. An effective maintenance method is nessesary for the small brick tunnels. The author proposed an inspection method by using 360 degree panoramic image. Two photographing methods to make 360 degree panoramic image were shown in this paper. A commercial 360 degree camera and a high-speech single lens camera were used. The 360 degree panoramic images made by two photographing methods were useful for the inner inspection of small brick tunnels.