

# 局所探索法を利用したトンネル壁面展開図作成における画像結合精度向上に関する基礎研究

山口大学大学院 学生会員 ○吉崎晶俊 山口大学大学院 学生会員 古賀通博  
山口大学大学院 正会員 河村 圭 三井住友建設(株) 正会員 塩崎正人

## 1. はじめに

トンネルの目視点検は、人的誤差および長時間の交通規制という問題を有する。このため、撮影車両を用いた点検作業の効率化が強く期待されている。このような背景から、著者らは、デジタルビデオカメラを用いた車載型撮影装置を使用し、撮影画像からトンネル壁面の撮影画像展開図作成を行うトンネル壁面展開図作成アルゴリズムが研究・開発されている<sup>1)</sup>。しかし、既存研究<sup>1)</sup>では、トンネル撮影画像の結合精度が問題となっていた。そこで、本研究では、画像間結合精度の向上を目的とした局所探索手法を用いた画像間結合手法を提案した。さらに、本提案手法と既存探索手法とを比較することにより、本提案手法の有効性を検証した。

## 2. トンネル壁面展開図作成アルゴリズム

### 2.1 トンネル壁面撮影

図1には、本研究で用いた撮影装置を示す。本撮影では、車両に搭載されたカメラ6台(v01からv06)でトンネル壁面の撮影を行う。本撮影装置は、カメラの角度を変えながらトンネル内を複数回往復して撮影することにより、トンネル壁面全体を撮影する。

### 2.2 連続画像間の延長方向結合位置探索

延長方向結合位置探索では、カメラ毎にトンネル延長方向を撮影したキャプチャ画像に対して、連続する前後画像間における結合位置探索を行う。図2には、延長方向結合位置探索処理のイメージ図を示す。図中のx軸およびy軸は、トンネル延長方向またトンネル円周方向に対応する。また、図中の(0,0)から(m,n)までを画像移動量と定義する。なお、画像の類似度の計算対象範囲は、前後画像の重なり領域である。式(1)には、SSD(Sum of Squared Difference)法を利用した類似度の算出式を示す。

$$S(m, n) = \frac{\sum_{i=m}^M \sum_{j=n}^N (I_1(i, j) - I_2(i, j))^2}{(N-n+1)(M-m+1)} \quad (1)$$

ここで、 $I_1(i, j)$ および $I_2(i, j)$ は、それぞれ前画像 $I_1$ また後画像 $I_2$ の各画素 $(i, j)$ におけるRGBの値である。さらに、式(2)には、結合位置 $(m, n)$ を探索する問題の定式化を示す。

$$\text{目的関数 } S(m, n) \rightarrow \min \quad (2)$$

$$\text{制約条件 } 0 \leq m \leq 800, n = 0$$

なお、 $S(m, n)$ が最小値となる場合が最適解であり、 $(m, n)$ を結合位置とする。

キーワード トンネル点検, 画像処理, コンクリート

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学大学院 創成科学研究科 TEL 0836-85-9534

E-mail:s079ff@yamaguchi-u.ac.jp



図1 トンネル壁面撮影装置

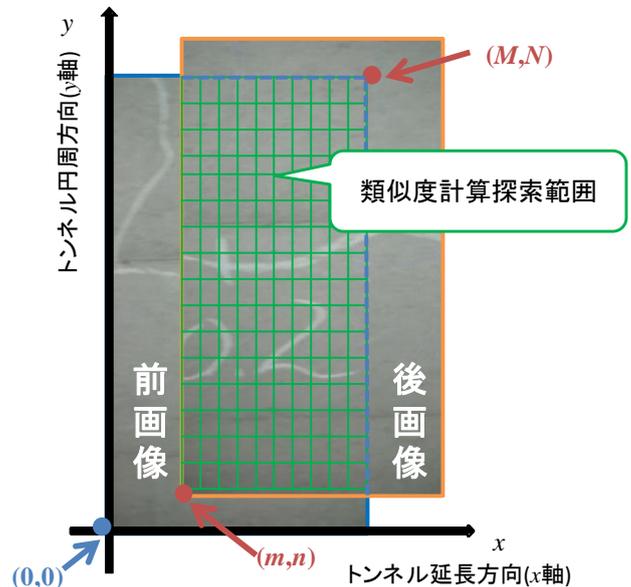


図2 延長方向結合位置探索処理のイメージ図

### 2.3 しらみつぶし探索法を利用した探索手法

既存探索手法では、結合位置探索をしらみつぶし探索法により行う。本研究では、延長方向結合位置探索の高速化を目的として、 $m$ の解範囲 $0 \leq m \leq 800$ において、 $m = 0$ から12pixel刻みに、結合位置の全探索を行った。

## 3. 局所探索法を利用した探索手法

既存探索手法の問題点として、本撮影装置で撮影した画像では、撮影時の照明のムラなどの影響から、式(2)を満足するが、実際の結合箇所としては不適切な結合位置(0,0)となる箇所が多数存在していた。

本提案探索手法は、車両速度などから結合位置の推定が可能であることを利用し、初期点として推測できる結

合位置を求め、この位置の近傍から結合位置探索を行う局所探索法を利用する。

**STEP1 探索基準点( $m_i, 0$ )の初期点( $m_0, 0$ )の決定**

ここでは、撮影時に得られた情報から結合位置を推定し、局所探索法の初期点とする。式(3)には、初期点の算出式を示す。

$$(m_0, 0) = \left(\frac{a}{b \times c}, 0\right) \quad (3)$$

ここで、( $m_0, 0$ )は探索基準点の初期点、 $a$ 、 $b$ 、また $c$ は、それぞれ撮影車両の推定速度(mm/s)、撮影画像のフレームレート(fps)、および撮影画像の分解能(mm/pixel)である。なお、本実験で使用した撮影画像の初期点は、実験条件より(600,0)となった。

**STEP2 類似度計算および探索基準点の移動**

ここでは、STEP1または本ステップで求めた探索基準点を利用し、類似度計算を行う探索点を決定する。具体的には、式(4)より探索基準点およびその近傍探索点において類似度計算を行い、探索基準点の移動を決定する。

$$(m_i, 0) = \begin{cases} (m_{i-1} + \alpha, 0) & \text{if 条件 A} \\ (m_{i-1}, 0) & \text{if 条件 B} \\ (m_{i-1} - \alpha, 0) & \text{if 条件 C} \end{cases} \quad (4)$$

A :  $S(m_{i-1} + \alpha, 0) < \min(S(m_{i-1}, 0), S(m_{i-1} - \alpha, 0))$

B :  $S(m_{i-1}, 0) \leq \min(S(m_{i-1} + \alpha, 0), S(m_{i-1} - \alpha, 0))$

C :  $S(m_{i-1} - \alpha, 0) < \min(S(m_{i-1}, 0), S(m_{i-1} + \alpha, 0))$

ここで、 $i$ は探索回数、 $S(m_i, 0)$ は探索基準点( $m_i, 0$ )での類似度の評価値、 $\alpha$ は近傍幅、 $S(m_i \pm \alpha, 0)$ は近傍探索点の類似度の評価値を示す。本実験では、 $\alpha$ は12pixelとした。なお、( $m_i, 0$ ) = ( $m_{i-1}, 0$ )の場合、STEP3へ進む。

一方で、( $m_i, 0$ ) = ( $m_{i-1} + \alpha, 0$ )または( $m_i, 0$ ) = ( $m_{i-1} - \alpha, 0$ )の場合、( $m_i, 0$ )を新しい探索基準点とし、STEP2の処理を再び行う。

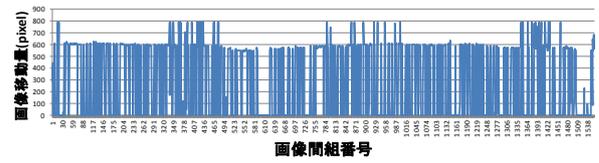
**STEP3 結合位置の決定**

ここでは、STEP2において決定した探索基準点( $m_i, 0$ )を結合位置とし、結合位置探索を終了する。

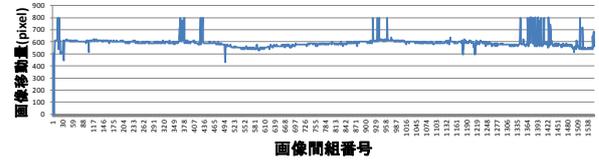
**4. 実験**

本実験では、既存探索手法および提案探索手法による結合精度を比較し、提案探索手法の有効性を評価する。

図3(a)および(b)には、それぞれ既存探索手法および提案探索手法の画像移動量グラフを示す。縦軸は画像移動量、横軸は画像間組番号を示す。画像間組番号とは、結合処理を行う前後画像を1組とした組番号である。なお、画像移動量の適切な推移は、撮影時の条件から600pixel付近である。また、表1には、既存探索手法と提案探索手法の結合エラー率を示す。ここで、結合エラー率は、結合エラー数をトンネル壁面撮影画像数1558枚で割った百分率である。なお、結合エラーは、撮影車両の速度の変動可能範囲から、結合位置において画像移動量



(a) 既存探索手法の結果 (カメラ v01)



(b) 提案探索手法の結果 (カメラ v01)

図3 画像移動量グラフ

表1 結合エラー率

カメラ	既存探索手法	提案探索手法	減少率
v01	57.3%	3.5%	53.8%
v02	45.5%	7.1%	38.4%
v03	48.7%	9.2%	39.5%
v04	32.9%	2.8%	30.1%
v05	58.5%	12.1%	46.4%
v06	87.0%	63.4%	23.6%

500pixel以下または700pixel以上とした。

図3の結果より、(b)の提案探索手法では、画像移動量0pixelなどの結合エラーが減少し、画像移動量600pixel付近の適切な推移が確認できるようになった。また、表1の結果より、カメラv01からカメラv05では、提案探索手法を使用することにより結合エラー率が大幅に減少している。しかし、カメラv06は、既存探索手法よりも結合エラー率が減少したものの、他のカメラに比べ結合エラーの減少に大きな効果は得られなかった。

**5. おわりに**

本研究では、結合精度の向上を目的とし、局所探索法を利用した手法を提案した。本実験結果により、提案探索手法が既存探索手法よりも結合精度が向上したことから、提案探索手法の有効性が確認できた。今後の課題として、提案探索手法を様々なトンネル壁面の画像に対して適用し、汎用性を検証する必要がある。また、カメラv06で結合エラー率が高い結果となったことから、提案探索手法を改良し、さらなる結合精度向上を図る必要がある。

**参考文献**

1) 河村圭, 古賀通博, 松本潤児, 塩崎正人, 澤村修司: 画像処理技術を用いたトンネル壁面画像展開図作成における結合精度向上手法, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.40, pp.175-179, 2015