

## トンネル壁面撮影画像展開図作成における類似度計算手法の検討

山口大学大学院 学生会員 ○仁田尾 慎吾 山口大学大学院 学生会員 吉崎 晶俊  
 山口大学大学院 正会員 河村 圭 三井住友建設株式会社 正会員 塩崎 正人

### 1. はじめに

トンネルの定期点検では、トンネル本体工の変状およびトンネル附属物の異常箇所の記録とともに写真撮影を行い、データを保存する必要がある。さらに、道路トンネル定期点検要領にて、基本として5年に1回の頻度で点検を実施することとされ、点検業務の効率化が課題となっている。このような背景から、著者らは、撮影装置により取得されたトンネル壁面の撮影画像より、トンネル壁面撮影画像展開図を作成するソフトウェアの研究また開発を進めている<sup>1)</sup>。既存研究では、トンネル延長方向結合位置探索における類似度計算の際に、領域ベースマッチングに基づくSSD(Sum of Squared Difference)法を使用していた。本研究では、SSD法以外の、領域ベースマッチングに基づく類似度計算法を用いて延長方向結合位置探索を行い、結合精度の比較また検討を行った。

### 2. トンネル壁面撮影画像展開図作成

#### 2.1 トンネル壁面の撮影

図1には、本研究で用いた撮影装置を示す。本撮影装置は、一般的な車両に搭載可能であり、カメラ6台と照明3台から構成される。なお、各カメラ(下部から、v01, v02, v03, v04, v05, v06)は、トンネル壁面に対して正対撮影できるように設置されている。本撮影では、撮影装置に搭載されたスライド装置により、装置全体の角度を3段階で調整し、3往復することによりトンネル壁面全体を撮影する。

#### 2.2 トンネル壁面撮影画像展開図作成の流れ

トンネル壁面撮影画像展開図作成は、まず、本撮影装置により得られた各カメラの撮影動画をキャプチャ画像へ変換し延長方向結合位置探索を行い、連結画像を作成する。ここで、延長方向結合位置探索とは、カメラ1台のキャプチャ画像に対して、トンネル延長方向に結合位置探索を行うことである。次に、連結画像を円周方向へ結合し、トンネル壁面撮影画像展開図を作成する。



図1 撮影装置

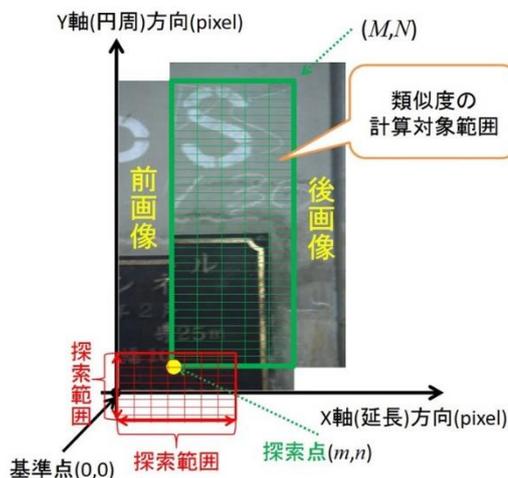


図2 トンネル延長方向結合位置探索のイメージ図

#### 2.3 トンネル延長方向結合位置探索

トンネル延長方向結合位置探索では、キャプチャ画像に対して、連続する前後画像ごとに類似度を計算し、結合位置探索を行い、結合位置の決定を行う。図2には、トンネル延長方向結合位置探索のイメージ図を示す。図中のx軸およびy軸は、それぞれトンネル延長方向とトンネル円周方向に対応する。延長方向結合位置探索では、前画像の左下の位置を座標(0,0)として、後画像を移動させることによって、結合位置を探索する。また、図中の原点(0,0)から後画像の左下位置の座標(m,n)までの移動量を、画像移動量(m,n)と定義する。なお、前後画像間の結合位置探索は、前後画像間の重なりあ

キーワード トンネル壁面, 撮影画像展開図, 類似度計算

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: [t059ff@yamaguchi-u.ac.jp](mailto:t059ff@yamaguchi-u.ac.jp)

った範囲に対して類似度計算を行うことにより、結合位置を決定する。式(1)から式(4)には、それぞれ、本研究で使用した SSD 法, SAD 法 (Sum of Absolute Difference), NCC 法 (Normalized Cross-Correlation) および ZNCC (Zero-means Normalized Cross-Correlation) 法の、4 手法を利用した類似度計算式を示す。ここで、SSD 法および SAD 法は、前後画像間の画素値の差によって類似度を求める計算法であり、NCC 法および ZNCC 法は、前後画像の画素値をベクトルとみなし、内積を計算することで類似度を求める計算法である。また、図 3 には、各類似度計算法のイメージ図を示す。

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

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

$$S_{NCC}(m, n) = \frac{\sum_{i=m}^M \sum_{j=n}^N I_1(i, j) I_2(i, j)}{\sqrt{\sum_{i=m}^M \sum_{j=n}^N I_1(i, j)^2} \times \sqrt{\sum_{i=m}^M \sum_{j=n}^N I_2(i, j)^2}} \quad (3)$$

$$S_{ZNCC}(m, n) = \frac{\sum_{i=m}^M \sum_{j=n}^N (I_1(i, j) - \bar{I}_1)(I_2(i, j) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{i=m}^M \sum_{j=n}^N (I_1(i, j) - \bar{I}_1)^2} \times \sqrt{\sum_{i=m}^M \sum_{j=n}^N (I_2(i, j) - \bar{I}_2)^2}} \quad (4)$$

ここで、 $S(m, n)$  は画像移動量  $(m, n)$  における類似度計算結果、 $I_1(i, j)$  および  $I_2(i, j)$  は、それぞれ前画像  $I_1$  また後画像  $I_2$  の各座標  $(i, j)$  における RGB それぞれの 256 階調の画素値である。前後画像間の結合位置探索では、前画像  $I_1$  また後画像  $I_2$  の各座標  $(i, j)$  の RGB それぞれの画素に対して類似度の計算を行い、その合計値で類似度を評価する。続いて、式(5)また式(6)には、前後画像間の結合位置を探索する問題の目的関数および制約条件を示す。

$$\text{目的関数} \quad S(m, n) \rightarrow \min \text{ or } \max \quad (5)$$

$$\text{制約条件} \quad 0 \leq m \leq 800, \quad -50 \leq n \leq 50 \quad (6)$$

ここで、式(5)について、式(1)および式(2)は最小化問題であり、式(3)および式(4)は最大化問題である。続いて、式(6)の  $m$  は、トンネル延長方向画像移動量の制約条件であり、撮影車両の速度 (0km/h から 40km/h) に相当する範囲である。また、式(6)の  $n$  は、撮影車両の上下振動を考慮した、円周方向画像移動量の制約条件である。

### 3. 実験結果

表 1 には、4 手法の類似度計算によって得られたカメラ 6 台分の結合エラー率を示す。ここで、結合エラー率は、結合エラー総数を前後画像の組数 1558 組で割った百分率である。なお、結合エラーは、本研究における撮影車両の速度 30km/h(600pixel)を考慮し、結合位置探索

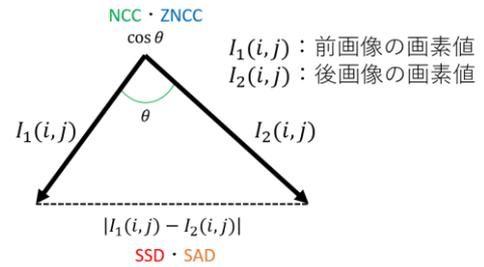


図 3 各類似度計算法のイメージ図

表 1 結合エラー率

	SSD	SAD	NCC	ZNCC
v01	40.8%	63.2%	77.7%	40.8%
v02	32.3%	45.2%	73.9%	30.2%
v03	37.0%	45.6%	74.6%	32.7%
v04	20.6%	32.2%	81.0%	21.9%
v05	23.3%	38.7%	79.1%	21.8%
v06	40.4%	37.4%	76.3%	41.4%

結果において、トンネル延長方向の画像移動量  $m$  が、500pixel (25km/h) 以下または 700pixel (35km/h) 以上と定義した。

表 1 より、SSD 法および ZNCC 法では、他の類似度計算手法と比較して結合エラー率が低く、NCC 法では結合エラー率が高い結果となった。

SSD 法と SAD 法は、それぞれ、前後画像の画素値の差を利用する類似した計算法であるが、結合エラー率が異なる結果となった。その理由として、類似度計算対象範囲の画素値のばらつきによって、類似度計算の大小関係が変わることが原因であると考えられる。また、NCC 法と ZNCC 法で結合エラー率が異なり、ZNCC 法の方が、結合エラー率が低い結果となった。ZNCC 法は、NCC 法の計算式を応用し、明るさの変動に対して強い計算法である。このことから、結合位置探索では、明るさの変動を考慮する必要があると考えられる。

### 4. おわりに

本研究では、SSD 法, SAD 法, NCC 法および ZNCC 法の、4 つの類似度計算手法の結合精度の比較また検討を行った。本実験結果により、SSD 法および ZNCC 法を使用した場合に、今回採用した他の類似度計算法と比較して、精度のよい画像結合を行うことができた。

### 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