

ディープラーニングによるトンネル覆工点検のチョーク跡自動検出に関する研究

山口大学大学院 学生会員 ○張 堯
株式会社リコー 菊地 太郎

山口大学大学院 正会員 河村 圭
株式会社リコー 押切 幸治

1. はじめに

現在の日本では、高度経済成長期に建設されたトンネルの高齢化に伴う老朽化が問題となってきた。国土交通省は、トンネルの高齢化に伴う老朽化の対策として、平成 26 年 7 月に、トンネルに対して 5 年に 1 度の定期点検¹⁾を行うことを基本とした。

現行のトンネルの点検方法は、現場作業と事務所作業から構成される。まず、現場作業では、作業員はトンネル内を近接目視により点検し、ひび割れや漏水などの変状の有無を確認するとともに、確認された変状をチョークによりおおまかにトンネル内のコンクリート壁面上に記録する。さらに、チョーク跡を参考に、野帳に変状をスケッチする。続いて、事務所作業では、現場から事務所に持ち帰った野帳をもとに CAD などを用いて、ひび割れの位置や、幅などを記録した変状展開図を作成する。このように、現場画像からの変状展開図の作成作業は、長時間の手作業を基本としていることから、作業への負担が大きいという問題がある。

この変状展開図作成作業の効率化を目的として、撮影車両でトンネル壁面全体を撮影し、生成した壁面全体のパノラマ写真からひび割れなどの変状を検出する研究²⁾が進められている。しかし、現時点では、撮影画像からひび割れなどの変状を完全に自動抽出することは難しい状況にある。

このため、著者らは、トンネル壁面に記録されたチョーク跡を、トンネル壁面全体のパノラマ画像から自動検出し、これを判読することで、変状図を作成する手法を提案する。この自動認識の実現のためには、図-1 に示されるように、まず、画像中のチョークの位置を画像中から検出し、さらに、チョークの形状を抽出した後に、記号や形状として意味を認識する必要がある。本研究は、図-1 の「Step1」に該当する、画像中のチョーク跡の有無を判別する手法の研究を行った。



図-1 チョーク跡自動認識の流れ

2. 本研究の流れ

本研究は、次の4つの手順により行った。

手順1. トンネル壁面の画像の収集

トンネル定期点検時に撮影された、チョーク跡を含むトンネル壁面の画像を 225 枚準備した。

手順2. データセットの作成

分割したトンネル壁面の画像を2種類のクラス(チョークあり、チョークなし)に定義した。さらに、データを拡張し、データセットを作成した後に、これらを学習、検証、テストデータセットに振り分けた。

手順3. 識別器の作成

畳み込みニューラルネットワークを、学習データセットを用いて学習させ、識別器を作成した。なお、検証データセットは、学習状況を確認するために用いた。

手順4. 識別性能の評価

テストデータセットを用いて、学習済み識別器の識別性能を評価した。

3. 本研究で利用する画像

本研究では、著者らが開発した撮影車両でトンネル壁面を撮影した画像 225 枚のグレースケール画像を利用した。図-2 には、本研究で対象とする画像の例を示す。図-2に示す1枚の画像の大きさは1600×1200 (pixel)であり、撮影領域の大きさは4800×3600(mm)である。また、対象画像は、画像中にチョーク跡が含まれる画像である。

キーワード ディープラーニング、チョーク跡検出、ニューラルネットワーク、画像認識

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 090-1767-6668

Email: i503vg@yamaguchi-u.ac.jp

本研究では、利用するディープラーニングのモデルおよび計算機の性能から、図-2 に示される撮影画像を48 分割した。なお、分割画像のサイズは 224×224(pixel)である。また、分割画像の枚数は 10800 枚となった。

4. チョーク跡識別器

4.1 深層学習ネットワーク

本研究では、チョーク跡検出に用いる深層学習ネットワークとして、VGG16³⁾を用いた。図-3 には、VGG16 の構造を示す（ここで、図中の FC は(Full Connected)全結合である）。VGG16 は、2014 年、画像認識のコンペティション(ILSVRC) ⁴⁾のクラス分類の部門で特に高評価を得たネットワークである。本研究では、トンネル壁面の分割画像を2 クラス(「チョークあり」または「チョークなし」)に分類するために VGG16 を用いた。

4.2 学習法

本研究では、トンネル壁面画像のデータセットを利用し、VGG16 を学習させてチョーク跡識別器を作成した。学習回数は、50 エポック (epoch) である。ここで、1 エポックとは、全データセットの1 回の学習を終えることである。また、モデルの汎用性を向上させるために、ホールドアウト検証を行った。ホールドアウト検証とは、データセットから学習データセットと検証データセットのペアを2 つ作成し、2 つの識別器を作る。推測では、2 つの識別器の推測結果の平均を用いて、1 つの推測結果とする方法である。

4.3 評価方法

表-1 には、チョーク跡自動検出の結果の分類を示す。本研究では、式(1)に示す正解率(Accuracy)により、作成した識別器の学習結果と検証結果を評価する。本式は、「チョークなし」や「チョークあり」と予測したデータのうち、正しく予測されたものの割合である。

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (1)$$

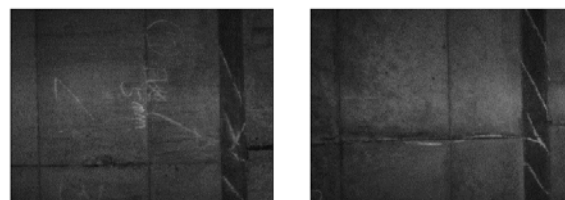
5. 実験 1: 機械学習の検証

ここでは、本研究で用いた VGG16 の機械学習能力について検証を行った結果を記述する。

5.1 検証方法

(1) クラスの定義

図-4 に示されるように、10800 枚の分割画像を2 種



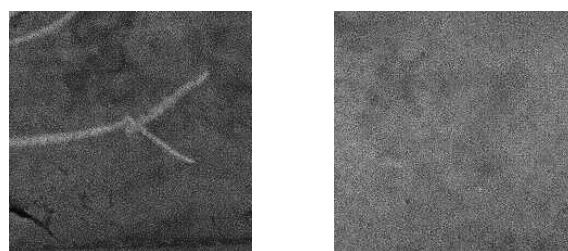
例 1

例 2

図-2 対象画像の例

	層	特徴マップ	サイズ	フィルタの大きさ	ストライド	活性化関数
Input	Image	1	224 x 224 x 1	-	-	-
1	2 X Convolution	64	224 x 224 x 64	3x3	1	relu
	Max Pooling	64	112 x 112 x 64	3x3	2	relu
3	2 X Convolution	128	112 x 112 x 128	3x3	1	relu
	Max Pooling	128	56 x 56 x 128	3x3	2	relu
5	2 X Convolution	256	56 x 56 x 256	3x3	1	relu
	Max Pooling	256	28 x 28 x 256	3x3	2	relu
7	3 X Convolution	512	28 x 28 x 512	3x3	1	relu
	Max Pooling	512	14 x 14 x 512	3x3	2	relu
10	3 X Convolution	512	14 x 14 x 512	3x3	1	relu
	Max Pooling	512	7 x 7 x 512	3x3	2	relu
13	FC	-	25088	-	-	relu
14	FC	-	4096	-	-	relu
15	FC	-	4096	-	-	relu
Output	FC	-	2	-	-	Softmax

図-3 VGG16 のネットワーク構造



「チョークあり」

「チョークなし」

図-4 クラスの定義

表-1 チョーク自動識別結果の分類

		正解	
		チョークあり	チョークなし
検出結果	チョークあり	TP(TruePositive) 真陽性	FP(FalsePositive) 偽陽性
	チョークなし	FN(FalseNegative) 偽陰性	TN(TrueNegative) 真陰性

類のクラス「チョークあり」と「チョークなし」に分類した。

(2) データ拡張

本研究では、分割画像に対し、左右反転と右回転 180

度操作を行うことで、データ量を3倍(32400枚)にした。

(3) 識別器の作成

本研究では、ホールドアウト検証を行ったため、2つのモデル(モデル1、モデル2)を作成した。モデル1は、学習データセットと検証データセットを合わせた10000枚データから、50%をランダムに選んで学習データセットとし、残りの50%を検証データセットとしたデータセットのペアである。モデル2は、学習データセットを再度選び直した、別の学習データセットと検証データセットのペアである。これらのモデル1、モデル2を用いて、2つの識別器を作成する。

5.2 評価方法

学習結果は、学習精度と検証精度を利用して評価を行った。ここで、学習精度(Training accuracy)とは、学習データセットに対する推測値の正解率を、各エポックで式(1)により算出したものである。検証精度(Validation accuracy)とは、学習結果を検証するために、検証データセットに対する推測値の正解率を、各エポックで式(1)により算出したものである。

5.3 学習結果

5.1節の(3)の手法で用意したデータセットに対し、VGG16を学習させ、チョーク跡識別器を作成した。二つのモデルの学習結果を図-5と図-6に示す。これらの結果を見ると、VGG16では、二つのモデルの検証精度は約97%に到達した。したがって、今回作成した識別器の学習は十分なものであったといえる。

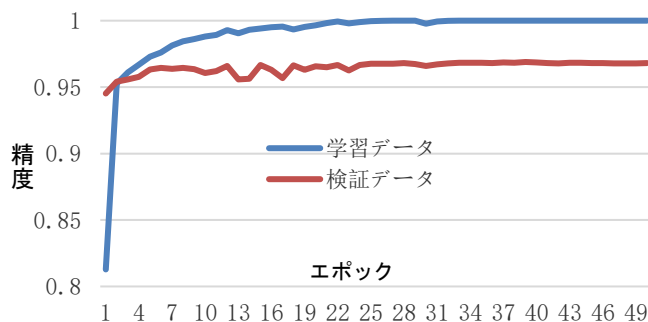


図-5 VGG16の学習結果(モデル1)

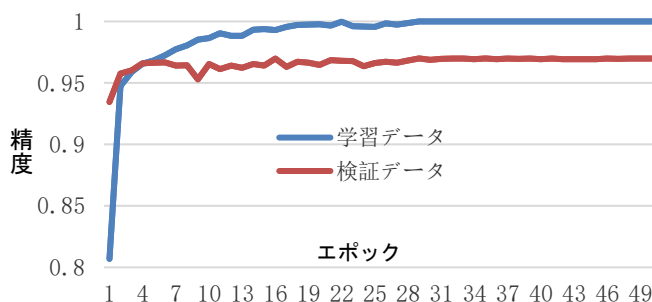


図-6 VGG16の学習結果(モデル2)

表-2 VGG16の検出結果

		正解	
		チョークあり	チョークなし
検出結果	チョークあり	TP (395 枚)	FP (12 枚)
	チョークなし	FN (18 枚)	TN (473 枚)

6. 実験2: 識別性能の検証

テストデータセットに対し、VGG16の学習済み識別器でチョーク跡を検出した。テストデータセットに対し、5.1節より作成した二つの識別器を用いて、用意したテスト画像を識別させ、二つの推測結果を平均し、一つの推測結果として検証した。検出結果を表-2に示す。正解率は、式(1)により、96.7%となった。

7. 検出結果の分析

図-7には、検出結果を1枚の結合した画像として示す。画像上に「0」が付いている画像は正解「チョークなし」の部分であり、「1」が付いている画像は正解「チョークあり」の部分である。緑色の線で囲んでいる部分はVGG16で誤検出されたデータである。

さらに、VGG16で誤検出されたデータのうち、「チョ

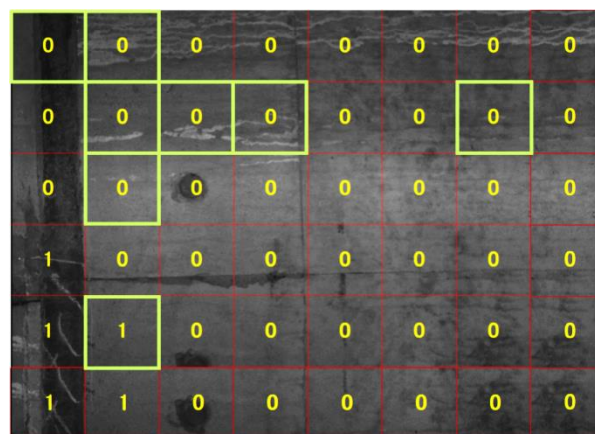


図-7 VGG16の誤認識

ークなし」が正解であるが「チョークあり」と誤検出された画像の例を4枚、「チョークあり」が正解であるが「チョークなし」と誤検出された画像の例3枚を、

それぞれ図-8 と図-9 に示す。

図-8 の画像を見ると、チョークと類似した変状が存在しており、人間の目にもチョークであるのか判別が難しい画像が存在した。具体的には、画像 A はトンネル壁面上の遊離石灰であり、画像 B は漏水跡（帯状の遊離石灰）である。画像 C は不明な白点が存在している。画像 D は、画像 B と比較して、漏水跡（帯状の遊離石灰）と通常のコンクリート面の境界が明瞭に撮影された画像である。これらが「チョークあり」と誤検出した主要原因になったと考えられる。

続いて、図-9 は、「チョークあり」と誤検出した例である。画像 E は、チョークに近い範囲に遊離石灰が発生している。画像 F は、色が薄くなったチョーク跡である。画像 G は、左下に部分的なチョークが撮影されているが、チョークの領域が小さい。これらが「チョークなし」と誤検出した主要原因と考えられる。

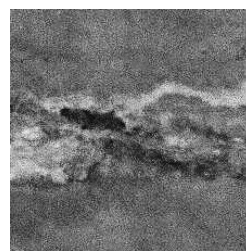
図-8 と図-9 に示すように、人間の目においても検出が困難であるチョーク跡や、チョークと類似した遊離石灰に対して誤検出が発生した。以上の結果から、正解率向上には、学習用データセットの中に、誤検出となった画像と類似した画像の追加が必要である。

8. おわりに

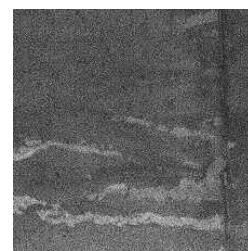
本研究では、トンネル壁面画像からのチョーク跡検出を目的とし、VGG16 を用いて識別器を作成した。さらに、学習済み識別器のチョーク跡の自動検出性能の検証を行った。検証結果では、正解率は 96.7% となった。このことから、実験で作成した識別器による自動検出は、おおむね良好に行われていることが考えられる。しかし、いくつかのケースで誤検出が発生した。この原因としては、データセットにおいて、誤検出が発生しやすいパターンの画像が不足していることが考えられる。以上より、今後、データセットに多様な画像を追加することで改善を試みる。

参考文献

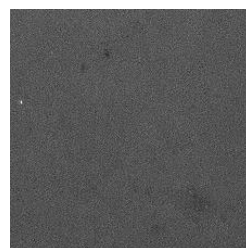
- 1) 国土交通省：道路トンネル定期点検要領，
<www.mlit.go.jp/common/001044575.pdf>，（入手
2019.3.10）。
- 2) 河村 圭，児玉聖治，村上慧季，塩崎正人，中村秀
明：コンクリート壁面画像からのひび割れ抽出処理



画像 A



画像 B



画像 C

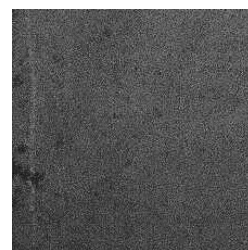


画像 D

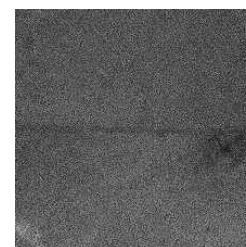
図-8 「チョークあり」と誤検出した例



画像 E



画像 F



画像 G

図-9 「チョークなし」と誤検出した例

における抽出点指示手法，土木学会論文集
F3, Vol. 72, No. 2, pp. I_93-I_102, 2017.3

- 3) Karen Simonyan, Andrew Zisserman : Very Deep
Convolutional Networks for Large-Scale Image
Recognition, 2015.
- 4) Russakovsky O., Deng, J., Su, H. : ImageNet Large
Scale Visual Recognition Challenge. International
Journal of Computer Vision (IJCV). Vol 115, Issue 3, pp.
211-252, 2015.