

AI を活用した舗装のひび割れ抽出に関する取り組み

瀧 洋二¹・奥田 知之²・中野 准也³

¹ 法人正会員 株式会社 パスコ 中央事業部 技術センター インフラマネジメント部 技術三課
(〒153-0043 東京都目黒区東山 1-1-2 東山ビル 5 階)

E-mail: yiokja2380@pasco.co.jp

² 法人正会員 株式会社 パスコ 中央事業部 技術センター インフラマネジメント部 技術三課
(〒153-0043 東京都目黒区東山 1-1-2 東山ビル 5 階)

E-mail: taodmk3852@pasco.co.jp

³ 法人正会員 株式会社 パスコ 中央事業部 技術センター インフラマネジメント部 技術三課
(〒153-0043 東京都目黒区東山 1-1-2 東山ビル 5 階)

E-mail: jounna7042@pasco.co.jp

本報告は、当社が行う路面性状調査のひび割れ解析作業において、AI を活用した取り組み事例を報告するものである。

当社は、長年舗装の維持管理のための路面性状調査を行い、舗装のメンテナンスを支援してきた。路面性状調査は、交通加重や気象などの外力によって劣化する舗装面の性状を調査するもので、一般的にひび割れ、わだち掘れ、平坦性の3項目を測定する。これらの測定機器はデジタル化が進み、わだち掘れと平坦性の解析は効率化が図られている。

一方、ひび割れは、カメラの高精細化や記録媒体の高密度化が進み路面画像の高品質化は図られたものの、解析は目視に依る手法が現在も行われ業務のボトルネックとなっている。

近年、AI（人工知能）の分野では、深層学習による画像認識技術は飛躍的に進歩しており、諸分野での活用が進んでいる。このような状況を踏まえ、路面画像に写っている舗装のひび割れ抽出を AI を用いて取り組んだ事例を紹介するものである。

Key Words: AI（人工知能）、路面性状、ひび割れ、舗装調査・試験法便覧

1. はじめに

私たちが日々利用している道路は、多くの技術者により構築・整備され、我々の生活の安全性や利便性を大きく向上させてきた。

しかし、多くのインフラ施設は老朽化が進み、適切な維持管理が求められている。舗装も例外ではない。舗装の劣化の1の要因であるひび割れを、正確に素早く解析する手法の開発は、膨大にある舗装ストックの長寿命化やライフサイクルコストの低減に寄与する基礎技術であると考えている。

弊社は、舗装の路上点検に代わる手法として、1970年に舗装のひび割れ自動測定車（RoadRecon-70）を開発した。そして、路面性状調査データを活用して、補修工法を選定するエキスパートシステムの構築に取り組んだ事例がある。近年、深層学習による画像認識技術は飛躍的に進歩し、医療や車の自動運転などの諸分野で AI の利用・活用が進んでいるが、このような新技術を用いて舗装面を写した路面画像から、舗装面のひび割れ抽出を

AI を用いて行った取り組み事例を事例を紹介する。

2. AI の歴史

(1) 人工知能の歴史

1956年のダートマス会議で AI（Artificial Intelligence：人工知能）という言葉が生まれてから現在に至るまでに2度のブームが訪れたが、様々な問題があり広く実用化はされなかった。



図-1 人工知能の簡単な歴史

現在は第三次ブームと言われ、ハード・ソフトの両面で問題の解決が図られたことから、一気に実用化されることとなった。ブームの火付け役となったのはディープラーニング（深層学習）と言われる AI 技術である。

(2) 深層学習の技術水準

AI 技術のうち、機械（コンピュータ）に学習能力を持たせる技術を機械学習と言い、機械学習に深層化したニューラルネットワークを利用したものをディープラーニングと言う。

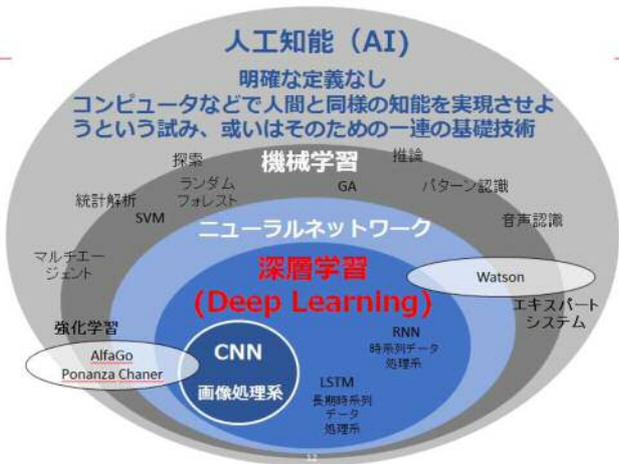


図-2 人工知能(AI)の概念

また、ニューラルネットワークとは、脳（神経細胞）の働きを模した数学モデルである。深層学習の技術水準は画像認識分野で飛躍的に向上し、人間同等かそれ以上と言われている。

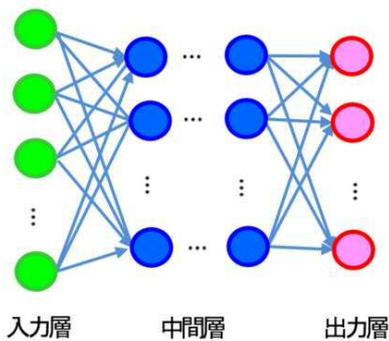


図-3 深層学習の概念

(3) 深層学習のメリット・課題

ニューラルネットワークを利用した機械学習は以前から存在しており、深層化することで表現力が向上し、精度向上、特徴抽出を含めた学習の実現などのメリットがあることが分かっていた。

しかし、学習のためのデータ不足やコンピュータの能力不足などの理由により実用化されなかった。現在、インターネットの普及による大規模データの収集、GPU等ハードウェアの高性能化による計算能力の向上、ソフ

トウェアによる学習手法が改善され、簡単に利用できるようになっているが、一方、以下のような課題も抱えている。

- ・ 命題によっては大規模データの収集が困難
- ・ 学習のための真値作成に手間がかかる
- ・ 学習時のパラメータ設定は手探りで行う必要がある
- ・ 学習結果がブラックボックスである

このようにいくつかの課題があるものの、目視に代わり舗装のひび割れを見つける AI 技術は魅力的である。当社が今まで蓄積してきた膨大な路面画像と舗装のひび割れに対する知見を基に、AI による舗装のひび割れ抽出に取り組んだ。

3. AI を活用した舗装のひび割れ抽出

舗装は、高度経済成長期に建設された多くの道路と共に膨大なストックが蓄積されている。

交通荷重や気象状況により絶えず過酷な状況に置かれ、適切な維持管理を怠れば、国民生活や社会経済活動に悪影響を与えかねない。

特に、ひび割れから舗装内部へ雨水が浸透するケースは、路盤や路床を劣化させ舗装の寿命を縮めることに繋がることから適切な点検と対策が求められる。

(1) 舗装のひび割れ点検

高度成長期以降、舗装点検は路上での目視点検が実施されてきた。しかし、点検時の車線規制による渋滞の発生や点検者の危険性、ひび割れ判定の客観性の確保、などが課題となっていた。

弊社は、1970年にひび割れの自動測定装置（RoadRecon-70）を開発し、路上での舗装点検作業の効率化を図った。その後、路面性状測定装置は、ひび割れ、わだち掘れ、平坦性の3項目を同時に測定する仕様に改良され、路面性状調査の現場作業の効率化に寄与してきた。また、測定された3つの測定項目は、¹⁾舗装調査・試験法便覧に基づき数値化するが（便覧法）、その精度は路面性状自動測定装置の性能確認試験に合格する精度を有している。測定項目を数値化する解析作業は、測定装置のデジタル化によりわだち掘れと平坦性の解析作業の効率化は進んでいるものの、ひび割れ解析だけは現在も目視による解析を続けている。

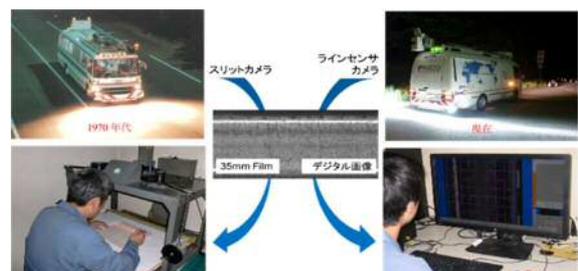


図-4 ひび割れ解析

ひび割れの解析は、路面性状の解析作業の中で60%以上のウェイトを占めており、工程のボトルネックになっている。また、長く解析に携わってきたベテラン技術者が定年退職し解析技術・技能を引き継ぐ技術者も不足する中で、ひび割れ解析の生産能力の確保は業務の遂行にとって重要な課題である。

表-1 解析作業に占める平均的な割合

路面性状解析	解析作業の平均的な割合
ひび割れ	60 ~ 70%
わだち掘れ	30 ~ 20%
平坦性	10%

(2) AI構築のフレームワーク

AI構築のフレームワークは、画像認識に強いディープラーニング（深層学習/CNN）を使用した。また、ディープラーニングフレームワークは、画像認識分野で広く用いられGPUによる高速処理が可能なCaffeを採用した。

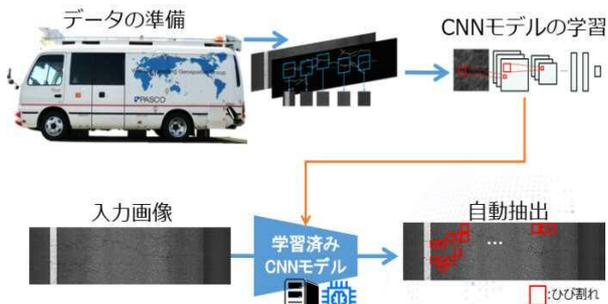


図-5 AI構築の全体像

(3) 路面画像の学習

路面画像の学習は、当社の所有する路面性状自動測定装置(Real3)で撮影した路面画像と路面画像から作成したひび割れスケッチ図を学習データとし、舗装のひび割れ「あり」と「なし」をコンピュータに学習させ学習モデルを構築した。路面画像サイズは、PC画面上でひび割れを確認しやすく、教師データを作成し易いサイズとして、幅員4m×道路延長1mとした。スケッチ図は、路面画像上にラインを引き作成した。

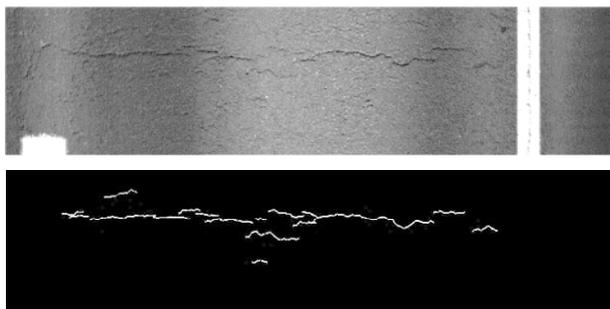


図-6 学習データ（上段：路面画像、下段：スケッチ図）

学習データは、20m評価のひび割れ率がおおよそ1%~40%に相当する密粒舗装の路面画像の中から、約2,000枚の路面画像の選定とひび割れスケッチ図を作成した。

さらに、路面画像はひび割れパッチに細分化（64pixel×64pixel）し、ひび割れ「あり」と「なし」のCNNモデルの学習パッチ約22万画像を作成・学習させAIを構築した。

教師データ(真値画像)を利用した、64×64ピクセルの学習用パッチを作成

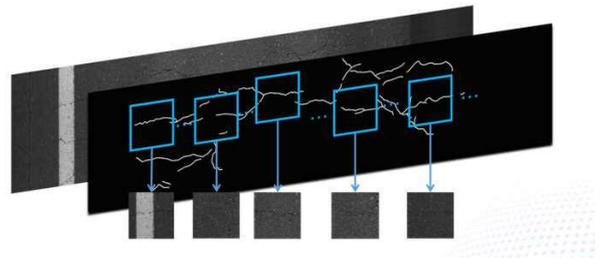


図-7 Caffeを利用したCNNモデルの学習

本AIでのひび割れ抽出は、ひび割れ抽出パラメータを調整し実行する。ひび割れ抽出パラメータは、ひび割れパッチ内がひび割れである確率（ひび割れ閾値）とひび割れパッチの大きさを変更する機能を持たせ試行を易くした。

試行に際し、ひび割れ抽出調整パラメータは、最適な抽出結果が得られるようにあらかじめ調整した値を用いた。

(4) AIでの舗装のひび割れ抽出

試行に使用した路面画像は、一般国道の密粒舗装である。AIによるひび割れ抽出は、ひび割れパッチが赤色で示された箇所である。

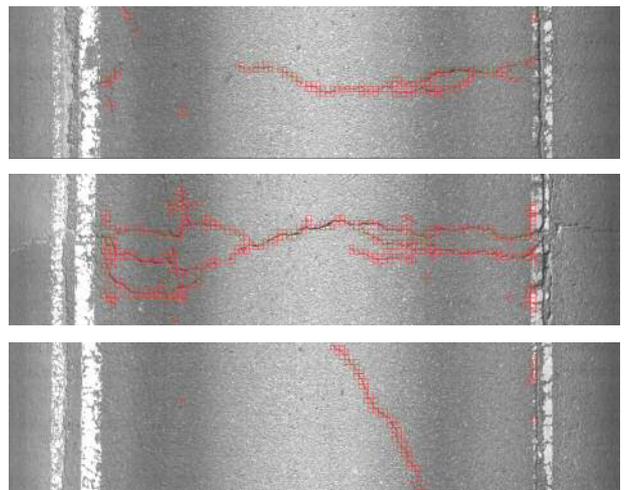


図-8 AIによるひび割れ抽出画像

密粒舗装の2kmを20m評価し、AIと便覧法によるひび割れ率との差の分布を調べた。

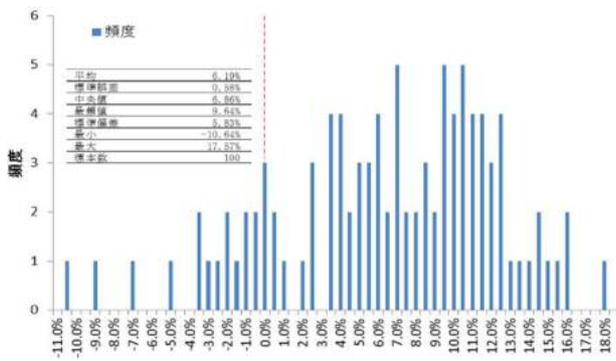


図-9 ひび割れ率の差 (AI-便覧法)

今回の試行のひび割れ率の差は、AI のひび割れ率の方が高い傾向があった。

AI によるひび割れ抽出画像を見ると、ひび割れを正しく抽出できていない（過大または過小の抽出）箇所があるものの、ひび割れの幅と長さがあるひび割れは概ね抽出していた。

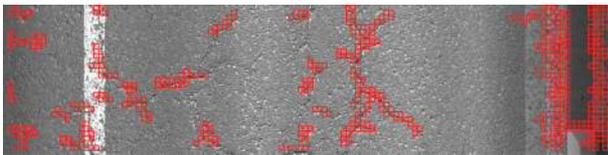


図-10 ひび割れを正しく抽出できていない例

過大または過小の抽出は、ひび割れパッチの閾値を再調整することで、目視解析の補助的なツールとして利用できる可能性があるかと判断し、新たな舗装種別を追加し更に試行を進めた。

4. 試行結果

新たな試行に用いた路面画像は、舗装面の状況変化が少ない自動車専用道路の夜間の路面画像とした。また、密粒舗装の他に、近年施工実績が増えている排水性舗装とひび割れの補修に用いられるシール材注入工法が施工されている舗装を追加した。

表-2 試行舗装の延長と舗装区分

路線	舗装区分	区間
A道路 下り 走行車線	密粒舗装	2 km
B道路 下り 走行車線	密粒舗装 (シールあり)	2 km
C道路 下り 走行車線	排水性舗装	2 km

(1) A路線 下り走行車線 密粒舗装

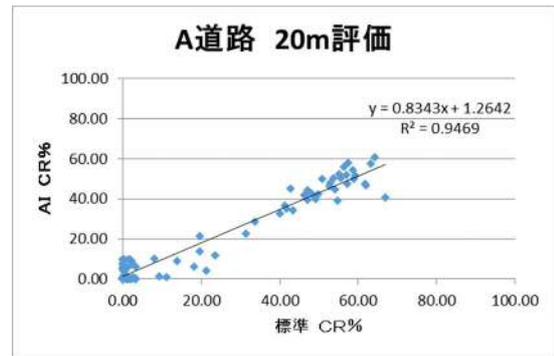


図-11 密粒舗装の散布図

密粒舗装は、 R^2 値（決定係数）が0.9469、相関係数は0.9731で強い相関がある。特徴の1つとして、ひび割れ率が低い場合の誤認識が多い傾向がある。

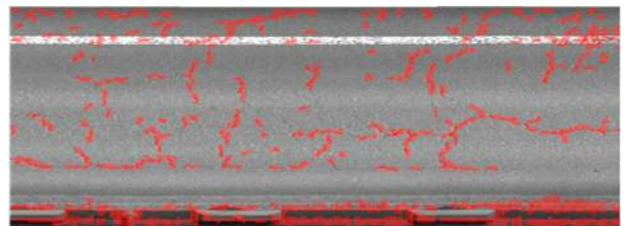


図-12 密粒舗装（ひび割れの抽出例）

(2) B路線 下り走行車線 密粒舗装（シールあり）

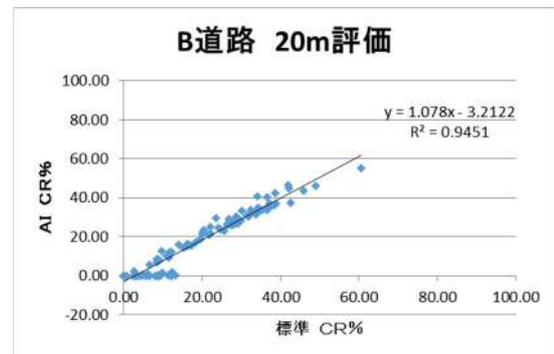


図-13 密粒舗装（シールあり）の散布図

密粒舗装・シール材注入ありは、 R^2 値（決定係数）が0.9451、相関係数は0.9722で強い相関がある。特徴として、シールされたひび割れが抽出できていない傾向がある。

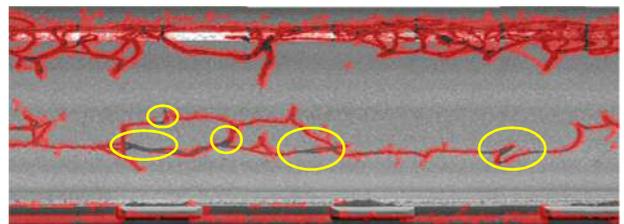


図-14 密粒舗装・シールあり（抽出できていない例）

(3) C 路線 下り走行 排水性舗装

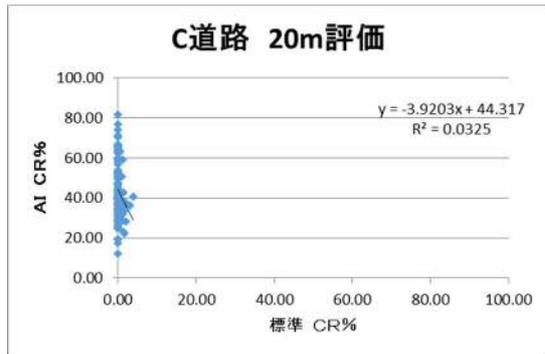


図-15 排水性舗装の散布図

排水性舗装は、 R^2 値（決定係数）が 0.0325、相関係数は 0.1803 で相関はなかった。特徴として、ひび割れでない箇所をひび割れと判定している傾向がある。

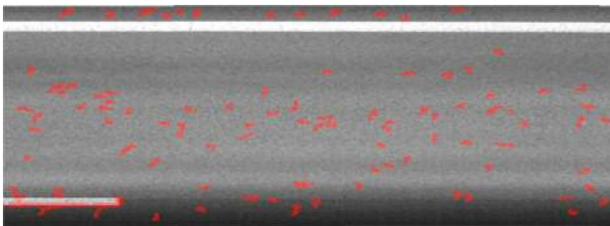


図-16 排水性舗装（誤抽出の例）

(4) 結論

本取り組みにおける結論を示す。

- AI 技術者の指導のもと、解析担当者が自ら自動車専用道路（密粒舗装・2km）の路面画像から学習データを作成することができた。
- 舗装のひび割れ抽出 AI によって、自動車専用道路の密粒舗装および排水性舗装の合わせて 6km のひび割れを抽出することができた。
- 舗装のひび割れ抽出 AI は、日常業務で使用する PC 上で稼働する AI として構築することができた。
- 舗装区分によって、ひび割れの抽出結果に違いが生じることが分かった。
- 舗装面の状況変化が少ない自動車専用道路の密粒度舗装に対しては、目視の補助的な活用は可能である。

新たな課題は、次の通りである。

- ひび割れパッチのひび割れ閾値をより適切に再調整する必要がある。
- 舗装区分別に学習データを追加する必要がある。（排水性舗装、コンクリート舗装）
- 白線や橋梁ジョイント部は、誤認識が多い。

5. おわりに

ひび割れ解析の全てを AI に任せることは難しいが、ひび割れ閾値の調整や新たな学習を追加するなど、さらなる改良を加えることで、目視解析を補助するツールとして活用できる可能性が高まった。

現在、排水性舗装のひび割れ学習の追加と AI のフレームワークを Python ベースの tensorflow に変更し、ひび割れ抽出の精度と処理スピードの向上を図るための改良を加えている。

今後は、新技術と従来技術の長所を組み合わせ、新しい点検スタイルを模索し、舗装のメンテナンスに貢献できるよう取り組みを継続させたい。

参考文献

- 1) 舗装調査・試験法便覧(平成 31 年 3 月)
- 2) 国土交通白書(令和元年度版)
- 3) Shinohara, T., Li, Y., Sakamoto, M., and Satoh, T., : DEVELOPMENT OF AUTOMATED CRACK DETECTION METHOD BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), 2017.