

地下鉄トンネルにおける AI を用いたはく落要注意箇所の抽出

メトロレールファシリティーズ
東京地下鉄

正会員
正会員

○土屋善靖
小西真治

正会員
正会員

篠原秀明
伊藤聡

非会員
正会員

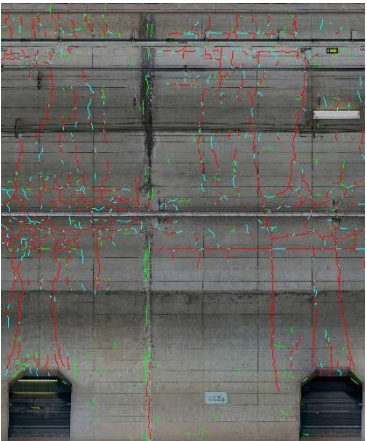
小川力也
榎谷祐輝

1. はじめに

トンネル覆工からはく落防止は、地下鉄の安全運行での重要な課題である。このはく落を防止するため、東京メトロではトンネル検査を行い、変状展開図を作成してきた。変状展開図はこれまで人力でスケッチを行っていたが、可視画像を撮影してその画像をトレースする手法に変更し、さらに効率化を図るため AI を利用した手法を試行している。また、変状展開図から変状の組合せを用いたはく落要注意箇所のヒートマップを作成した。今回、はく落要注意箇所のヒートマップの再現性を確認することを目的に、ヒートマップの有効性を確認するため全面打音検査を実施した結果を報告する。

2. AI を利用した変状展開図作成

可視画像から変状展開図の作成は、人力によって変状の線の一本一本を記入しているのでコストが高く、人によってばらつきが出てしまうという問題点がある。まず、AI を用いるため変状展開図に記録されている各種ひび割れを教師データとして学習した。^{※1)} 人力を AI に置き換えることで、コストが削減といった改善が期待される。AI を利用して作成した変状展開図を図 1 に示す。赤線が人力との適合箇所、青線が未検出箇所、緑線が過検出箇所を示している。



3. AI を利用した変状展開図作成の結果

人力で作成した変状展開図を正とし、AI で作成した変状展開図における変状の再現率を、開削トンネル 1 区間とシールド 3 区間、計 4 区間に分けてひび割れと漏水の比較を行った。ひび割れ 0.3～0.5mm の再現率が 51～67%、0.5mm 以上の再現率が 79%以上となった。また、AI で作成した変状展開図は、多くの過検出を含んでいることが分かった。これは、コンクリート打設時の型枠の跡やケーブルの影などをひび割れとして誤認識してしまっているものであった。この対策としてひび割れの長さ、変状位置の重複など、特徴に応じて自動的に削除を行う処理を加えることでこれら誤検出を減らすことが期待される。また、誤検出箇所のデータを再度学習データとして読込ませる手法で、誤検出を減らすことを今後試行する。表 1 にひび割れと面漏水及び析出物の再現率と適合率を示す。構造形式の違いによるが、ひび割れ幅全体の再現率は 51～78%であり、面漏水及び析出物の再現率は 81～96%であった。なお、再現率と適合率の定義を図 2 に示す。

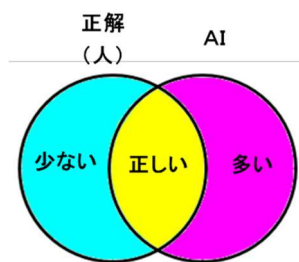
表 1 AI を利用したひび割れ（左表）と面漏水及び析出物（右表）の再現率一覧

構造形式	区間	ひび割れ幅 0.3mm～ 0.5mm	ひび割れ幅 0.5mm～ 1mm	ひび割れ幅 1～2mm	ひび割れ幅 2mm以上	ひび割れ幅 全体	構造形式	区間	面漏水 & 析出物
箱型	500m	60%	86%	92%	94%	70% 85%	箱型	500m	87% 33%
シールド (中子型)	130m	51%	-	-	-	51% 61%	シールド (中子型)	130m	96% 8%
シールド (二次覆工)	190m	67%	91%	94%	93%	78% 87%	シールド (二次覆工)	190m	81% 57%
シールド (平板型)	200m	62%	79%	-	-	62% 70%	シールド (平板型)	200m	91% 54%

赤文字：適合率

キーワード 地下鉄トンネル, 変状展開図, AI, ヒートマップ, 全面打音検査

連絡先 〒103-0014 東京都中央区日本橋蛸殻町 1-36-5 株式会社メトロレールファシリティーズ 土木部 03-5623-5717



なお、図2に示すように、再現率は、正解箇所の中でAIが抽出できている割合を示すものである。また、適合率は、AIで抽出された中で正解を抽出している割合を示すものである。

$$\text{再現率} = \frac{\text{的中数}}{\text{正解数}} = \frac{\text{黄色}}{\text{青色} + \text{黄色}} \quad \text{適合率} = \frac{\text{的中数}}{\text{AI数}} = \frac{\text{黄色}}{\text{黄色} + \text{赤色}}$$

図2 再現率と適合率の概念図

4. はく落要注意箇所のヒートマップ

ヒートマップは、変状展開図の変状を基に、AIが抽出した変状の組合せ（ひび割れ、漏水）からはく離の可能性がある箇所を5段階のリスクに着色されたものである。このヒートマップを打音点検の作業に活用することで点検の範囲を絞り込むことができ、効率化が図られると考えている。^{※2)} AIを利用して作成された変状展開図から作成されたはく落要注意箇所のヒートマップを図3に示す。赤い箇所は最もはく落のリスクが高いことを示しており、青色の箇所はリスクが低いことを示している。

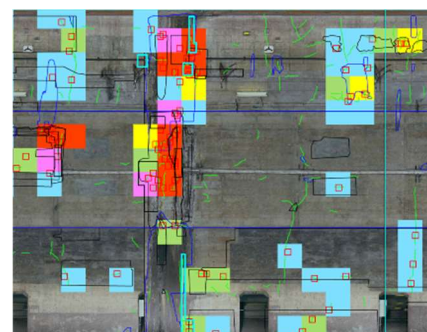


図3 はく落要注意箇所のヒートマップ

5. 全面打音検査との照合結果

人力とAIで作成した変状展開図を用いた2種類のヒートマップについて検出率の検証を行った。全面打音検査のはく離・浮きを正解とし、ヒートマップがその箇所で着色されているか確認を行い、照合を行った。人力での展開図を基に作成されたヒートマップを確認したところ、検出率は全判定で57%であり、変状の健全度判定（A, B, C判定（A判定の方がはく落のリスクが高い））がB判定以上に絞って検出率を集計したところ90%であった。また、AIヒートマップを全面打音検査で確認したところ、検出率は41%であった。

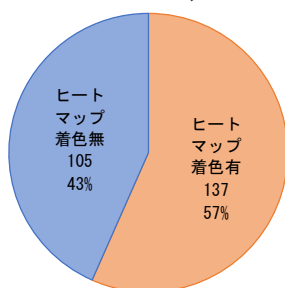


図4 浮きの検出率（全判定）
（人力による変状展開図使用）

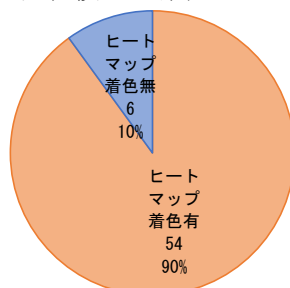


図5 浮きの検出率（A・B判定）
（人力による変状展開図使用）

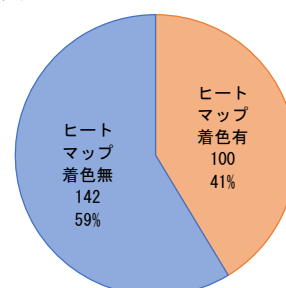


図6 浮きの検出率（全判定）
（AIによる変状展開図使用）

6. まとめ

人力で作成された展開図を基に作成されたヒートマップとAIを利用した展開図を基に作成されたヒートマップを全面打音検査と比較して概ね同程度の検出率であった。今後は効率化の面からもAIを利用した展開図を基に作成されたヒートマップの検出率を向上させ、現場での打音点検をより効率化させる必要がある。

参考文献

- 1) 渡辺貞之、篠原秀明、米丸陸海、安部正道、久保英里奈、今永侑希、小西真治、伊藤聡：Deep Learning 及びAIによる変状自動抽出、土木学会第74回年次学術講演会、VI-779、2019.9
- 2) 篠原秀明、小川力也、塙麻美子、村田利文、小西真治、伊藤聡：はく落要注意箇所の自動抽出システムの機能改良、土木学会第74回年次学術講演会、VI-308、2019.9