

切羽の鏡吹付けコンクリートに発生する亀裂認識実験による AIクラック検知システムの適用性評価

清水建設(株) 正会員 ○長谷 陵平・淡路 動太・三原 泰司
独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生研究所 非会員 清水 尚憲
長岡技術科学大学 非会員 北條 理恵子

1. はじめに

肌落による災害を回避するためには、肌落ち発生の前に警報を発信し、作業員を切羽から退避させる時間を確保する必要がある。しかし、切羽周辺は狭隘な作業空間内に複数の人と機械が混在し、切羽監視員による目視のみでは監視が十分とはいえない。本研究プロジェクトでは、画像解析の一手法である Semantic Segmentation によるディープラーニングを用いて、監視・判断を補佐する技術として、鏡吹付けコンクリート面に発生する亀裂を識別することで、常時監視を実現するシステム(AIクラック検知システム)^{1), 2)}を開発している。本システムを適用する山岳トンネル施工現場は、作業環境あるいは亀裂監視等の周辺状況の変化に伴い、作業行動も影響を受ける可能性がある。そこで、本稿では、令和3年度経済産業省委託事業予算で実施した実証事例検証のうち、鏡吹付けの亀裂監視を標的作業とし、環境変化が亀裂認識時間に及ぼす影響を検証し、本システムと監視員の監視能力を比較した検証結果について報告する。

2. 実験方法

切羽写真上に様々な環境条件下で、疑似的に描画した亀裂が発生する動画を作成し、亀裂発見時間を計測した。環境条件として、亀裂発生の時間及び、場所・明るさを変化させた動画を用いた。変化させた環境条件を表1に示す。これらの条件を組み合わせ合わせて合計27種類の動画(1動画5分)を作成し、明るさ20Lxの部屋に設置のモニター画面(80インチ)にランダムに連続して提示した。動画中の亀裂は画素数・透過性を時間経過に伴い増加させ(画素数:1~4pixel, 透過度10~100%), 亀裂の成長を模擬している。実験協力者は、25-48歳(勤務歴2-26年)、全員山岳トンネル現場経験者5人を対象とした。実験は一人ずつ画面に向かい、動画中の鏡吹付けに発生する亀裂を認識した時点で動画を停止し、画面中に表示している時間を亀裂認識時間として全27種類を記録した。

表1 切羽監視能力を把握する実験条件

亀裂発生時間(分)	1	2.5	3.5
亀裂発生場所	左	天端	右
切羽動画の明るさ	±0	-25	-50

3. 監視員とAIクラック検知システムの亀裂認識能力

(1) 亀裂発生場所と亀裂発見時間

図1に環境条件毎の実験協力者5人(1~5)の亀裂認識時間の結果を示す。明るさの変化に伴い、AIクラック検知システム・実験協力者共に亀裂認識時間が大きく異なることが明らかとなった。特に明るさによる感受性の変化が顕著に認められ、明るさを減じるに従って、亀裂発生場所に依らず、亀裂認識時間の延長が確認された。この傾向は、実験協力者・AIクラック検知システムで同程度であり、AIクラック検知システムが実験協力者と同等の視覚・弁別能力を保持していることを示している。一方、亀裂発生時間と亀裂認識時間には顕著な関係性は認められなかった。本実験で用いた動画は5分と短く、実験協力者が切羽監視に集中していたため、亀裂認識時間には顕著な影響がなかったことを示唆している。

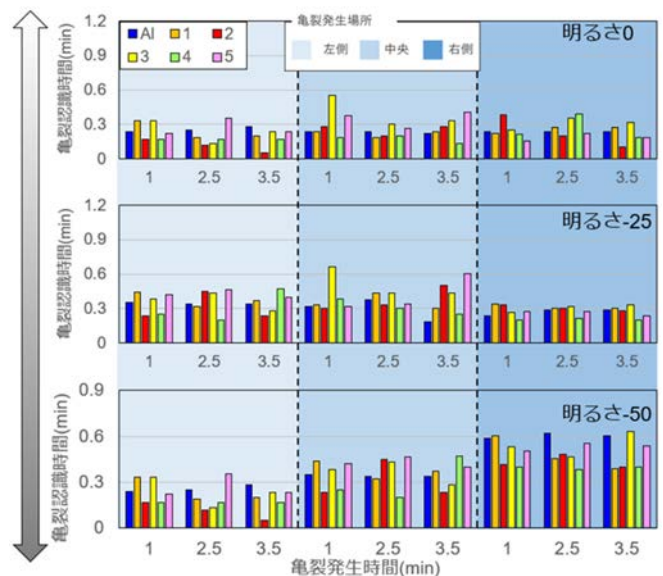


図1 環境条件毎の実験協力者の亀裂認識時間

キーワード 山岳トンネル, 鏡吹付け, AI, 亀裂検知,
連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1 清水建設(株) 土木技術本部 地下空間統括部 TEL:03-3561-3887

(2) 実験回数の影響

図2に明るさ毎の実験回数に応じた亀裂認識時間の変化を示す。AIクラック検知システムは、亀裂認識時間のばらつきが小さく、実験回数を重ねてもほぼ一定の認識時間であったのに対し、実験協力者は、概ね10回までは亀裂認識まで時間を要し、ほぼ一定の認識時間になるまで10回程度要した。この結果から、AIクラック検知システムについては、ほぼ一定の時間で亀裂を認識でき、実験回数の影響は認められないが、実験協力者については、切羽監視作業に慣れるまでにある程度の時間や経験を要するものの、慣れればほぼ一定の時間で亀裂を認識できる可能性が示唆された。

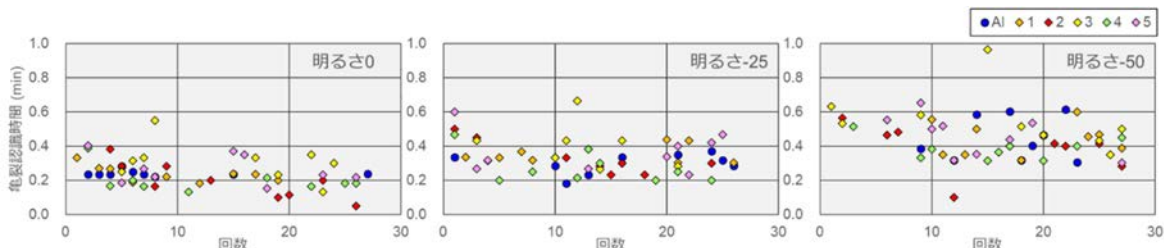


図2 実験協力者の実験回数(慣れ)の影響評価

(3) 監視員とAIクラック検知システムにおける亀裂認識能力の比較

実験協力者とAIクラック検知システムの亀裂認識時間を比較するため、実験協力者の亀裂認識時間をAIクラック検知システムの亀裂認識時間で除した値で表される、「AIクラック検知システムの亀裂認識時間を基準とした変化率」を算出した。この変化率と明るさの関係を図3に示す。明るさの違いによるAIクラック検知システムを基準とした変化率に差異は認められなかった。亀裂発生場所に着目すると、左側に発生した亀裂では、AIクラック検知システムを基準とした変化率の平均値は0.8程度となり、実験協力者の方がAIクラック検知システムより早く亀裂を認識していた。右側・中央の亀裂については、変化率が平均1.0以上となり、実験協力者より早く亀裂を認識していたことが明らかとなった。特に、中央に発生する亀裂に対しては、AIクラック検知システムは実験協力者より平均約1.3倍程度早く亀裂を認識していた。本実験で疑似的に描画されたすべての亀裂は、時間に伴ってほぼ同程度の幅・長さで成長した。そのため、鏡クラック検知AIは切羽を一様に監視していたと考えられる。一方、実験協力者は切羽撮影を行った場所から遠い位置(本実験では左側)に発生する亀裂に対し、経験が十分にあるとは言えない背景があり、動画はモニターに映しているため、実験協力者は視線をほとんど動かさなくても切羽全面を監視であった。以上のことから、より遠方の亀裂に無意識に集中し、迅速に亀裂を認識したことが推定される。

4. まとめ

実験の結果、AIクラック検知システムは、監視員と同じ大きさの範囲を監視する条件において、亀裂発生場所により亀裂認識時間に多少の差異はあるものの、継続的な監視が可能であり、集中して切羽監視を行っている監視者と同等の監視能力を有していることが明らかとなった。今後、本システムを現場導入した際の効果を把握する統合的な実験を行い、本システムの妥当性評価を詳細に行う予定である。

参考文献

- 1) 淡路動太, 有家舜祐, 邊見涼, 三原泰司, 伊原広明: AI鏡吹付けコンクリートクラック検知システム土木建設技術発表会 2020, 2020
- 2) 有家舜祐, 邊見涼, 淡路動太: トンネル切羽におけるAIを用いた鏡吹付けコンクリート面のクラック検知システムの開発, 土木学会第75回年次学術講演会, 2020

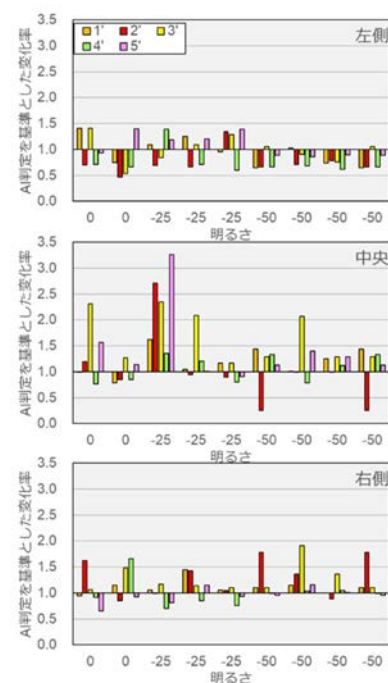


図3 明るさ毎のAI判定を基準とした変化率