

クラック検知 AI システムの現場試行による亀裂検知情報の適切な伝達手法の確立

清水建設（株） 正会員 ○長谷 陵平・淡路 動太・三原 泰司
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。これまでの実証実験の結果から、本システムを導入することで、亀裂発見時間を短縮でき、亀裂発見後直ちに退避指示を出すことで、肌落ち等のリスクから回避できる可能性が高くなることが実証された^{3)・4)}が、亀裂検知情報を坑内作業員にいち早く伝達する手法については、十分に確認できていない。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で実施された退避実験結果と、その後実施した現場試行実験に基づき視覚刺激に着目して選定した亀裂検知情報を伝達する手法について報告する。

2. 退避実験

(1) 実験方法

山岳トンネル施工現場において、「鋼製支保工建込み時、切羽に亀裂が入ったことを切羽管理責任者が発見し、退避指示を発令」したと想定し、退避実験を実施した。坑内作業員は、切羽中央にエレクターを配置し、支保工建込み作業をする作業員(図-1 中①～⑤)と切羽監視責任者1名(図-1 中



図-1 退避実験実施時における作業員配置

⑥)を対象とした。支保工建込み時の作業員のそれぞれの作業場所は、切羽に設置のエレクターのマンケージに乗車し、天端付近①、天端より30度ほど下方に傾斜したマンケージ上②、エレクター内それぞれ左右の操縦席③、④、切羽に向かって右側踏まえ部の位置⑤とした。

退避の実験条件は、1) ルートや退避方法を定めず自由に退避(自由)、2) エレクターのマンケージを旋回して降車する(旋回)、3) エレクターのマンケージを収縮して降車する(収縮)とし、マンケージの操作についてはマンケージに乗車の作業員がブームを使用して行った。上記の3条件に加え、4) エレクターの操縦席の作業員が操作し、エレクター本体を20m後退させながらマンケージも収縮させる条件(エレクタ後退)を加え実験を行った。切羽監視責任者は、退避の警報音が鳴ると同時に抗夫に対し、退避の指示を知らせ、作業員全員が後方にある退避場所まで退避するまでに要した時間と環境条件(照度)の計測を実施した。

(2) 適切な退避条件

退避実験で得られた作業員の退避時間の平均値を表-1に示す。実験条件1の時、坑内作業員は実験条件2と同様の退避方法で退避を行ったが、最初の実験で戸惑いがあり、退避時間を要していたが、それ以降の実験条件では、戸惑いなくなり、スムーズに退避を行っていた。退避実験の結果、マンケージ上で作業する作業員が最速で切羽から退避するためには、マンケージを旋回させて退避する方法(実験パターン1、2)が有効であることが確認された。

表-1 実験条件毎の退避時間の平均値

	実験パターン			
	1	2	3	4
退避時間の平均時間(秒)	52	39	45	76

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

(3) 視覚刺激の影響

退避実験を実施した現場では、警報発信時、切羽面が赤色に点滅する。各実験条件で計測された照度の測定結果を図-2に示す。実験条件 1～3 では、支保工建込み作業時、エレクターに設置された照明器具により、200Lx 程度が確保されるが、実験条件 4(エレクター後退)の際には、エレクター後退後(約 50 秒後)、切羽元の照度は 100Lx 程度まで低下した。いずれの実験条件においても、警報発信前後の照度に大きな変化は見られないため、作業員は、点滅による明暗の切替りや切羽監視責任者の声(聴覚刺激)等に反応して退避したと考えられる。この結果から、視覚刺激による退避指示の伝達には、切羽で使用される照明よりも明るく、点滅により、警告を伝達できる照明が必要であることが確認された。

3. 現場試行による亀裂検知情報の伝達手法の確認

近年、照明器具の LED 化に伴い、切羽近傍に設置される照明設備はもとより、それら照明設備より前方に配置される重機の照明器具により、作業時には、切羽近傍の照度は非常に高くなっている。そのため、掘削作業時に使用される照明を全て点灯させた上で、複数の警告灯を点灯させた際の照度の増加程度により、警告灯の選定を行った。実験に用いた警告灯は、車載用フォグランブ、散光式警光灯、回転灯とし、数種類の発光色(黄色、青色、緑色)の比較を行った。なお、今回実験に用いた警告灯はいずれも点滅機能を有している。これら警告灯の比較を行った結果、警告灯の種類では、車載用フォグランブのみ掘削作業時の照度を上回る値が確認でき、色については、青色が最も高い照度の増加が確認された(表-2)。この結果から、青色の車載用フォグランブの重機前面への設置が亀裂検知情報の伝達に最も優れていると考えられ、本システムの警告灯として採用した。

4. まとめ

退避実験の結果、マンケージ上で作業する作業員が最速で切羽から退避するためには、マンケージを旋回させて退避する方法が有効であることが確認された。また、視覚刺激による退避指示の伝達には、切羽で使用される照明よりも明るく、点滅により、警告を伝達できる照明が必要であることが確認され、実際の作業環境下の実験により警告の伝達に最適な警告灯(青色の車載用フォグランブ)を選定した。今後、更なる亀裂検知性能の向上を行うと共に、本システムを現場導入し、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

3) 長谷陵平, 淡路動太, 三原泰司, 清水尚憲, 北條理恵子 : 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, 土木学会第 77 回年次学術講演会, 2022

4) 長谷陵平, 淡路動太, 三原泰司, 清水尚憲, 北條理恵子 : VR 内の仮想環境を用いた切羽監視支援システムの有効性, トンネル工学報告集, 2022

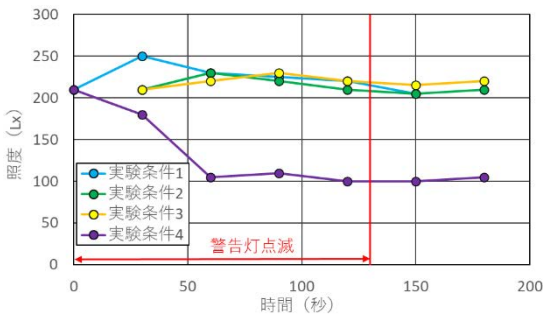


図-2 各実験条件での照度測定結果

表-2 警告灯の種類ごとの照度の増加値

	フォグランブ	散光式警告灯	回転灯
			
黄色	最大+20Lx	照度の増加なし	-
青色	最大+70Lx	-	照度の増加なし
緑色	最大+40Lx	照度の増加なし	照度の増加なし

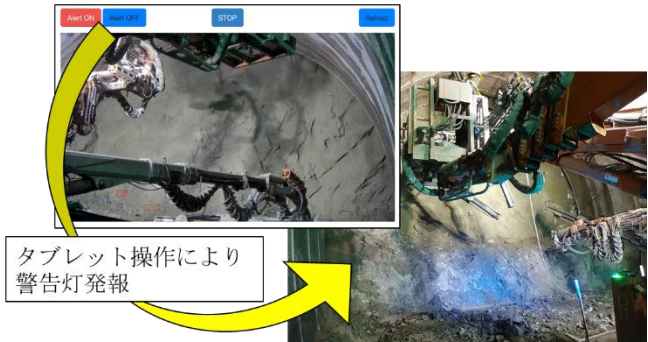


図-3 警告灯の発報状況