

トンネル切羽における落石を瞬時に検知・警報する装置の開発

大成建設技術センター 正会員 ○古賀 快尚, 谷 卓也
 大成建設土木部 正会員 須藤 敏明
 日興電気通信 早坂 翼, 本間 直樹

1. はじめに

山岳トンネルの施工においては、多くの作業で機械化が進められているものの、掘削作業における爆薬の装薬作業では、依然切羽に立ちつての作業を行う必要がある。切羽作業では、作業員の安全が確保できるよう、切羽への吹付けコンクリート（鏡吹付け）による防護や、図-1に示すようなや専業の切羽監視人の配置、防護マットの設置等、切羽災害を無くするための数多くの方策がとられている。しかしながら、これらの対策を行ったとしても、地山の状況によっては、切羽直近での落石や安全のために実施する鏡吹き剥落・落下を完全に抑制することできないのが現状である。

そこで、筆者らは、切羽監視人の役割を補助する機械の目により、落石・剥落の兆候を瞬時に捉えて作業員の注意および待避を迅速に促す落石検知・警報装置の開発を行った。この装置は、1秒間に30フレーム以上連続画像撮影と画像処理により、切羽の監視範囲内における落石等の移動を0.1秒以下で判定し直ちに警報するものである。この装置からの警報（フラッシュ光とサイレン音）で、落石発生時にいち早く切羽から遠ざかることにより、被災そのものから免れられるようになっている。

本論文では、この落石検知・警報装置に関するハードの詳細と、落石以外の現象を誤検知しないための画像処理・認識技術について述べ、道路トンネル現場で試験運用した結果を報告する。

2. 技術の特徴

(1) システムの構成

落石検知システムは、エラー！参照元が見つかりません。-2に示すように、画像を取得する高速カメラ、画像を処理して落石を検出する高性能PCと警報装置で構成される。図-3は装置の画像取得部であり、カメラを囲むように6台のLED照明が配置され、装置の作動状況を示す警告灯を兼ねた3色筒型のLED表示装置を備えている。落石検出には全て近赤外線を使用しており、作業員が照明により眩惑されることなく、また、重機や車両の照明の影響を受けないように工夫されている。高性能PCによる制御部は、撮影された画像を解析し、落石が発生した場合に警報を発する制御を行う。制御部は撮影した画

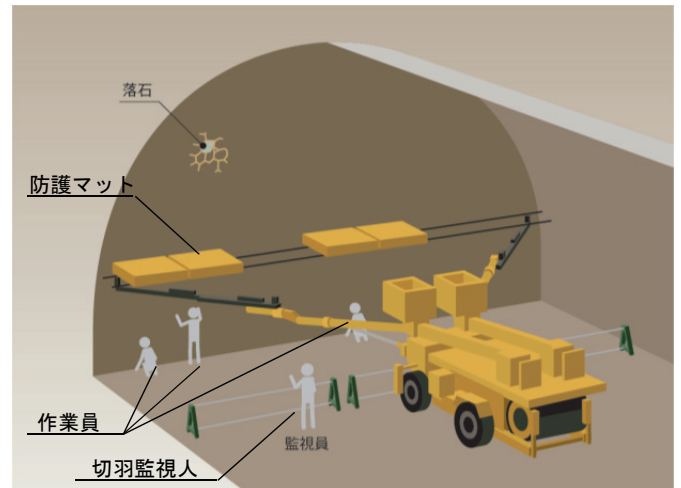


図-1 切羽における作業状況イメージ

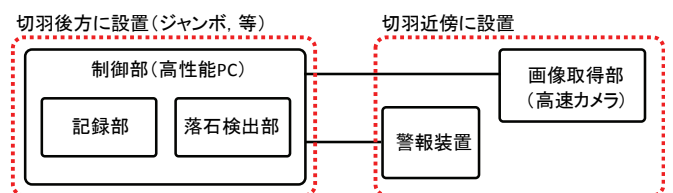


図-2 落石検知・警報装置の構成

図-3 落石検知・警報装置
(照明付きカメラ)

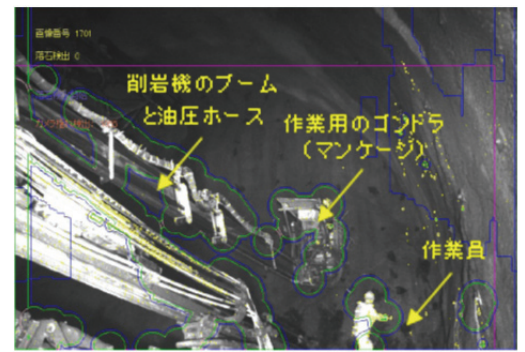
キーワード 山岳トンネル, 切羽, 落石検知, 安全

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 TEL:045-814-7217

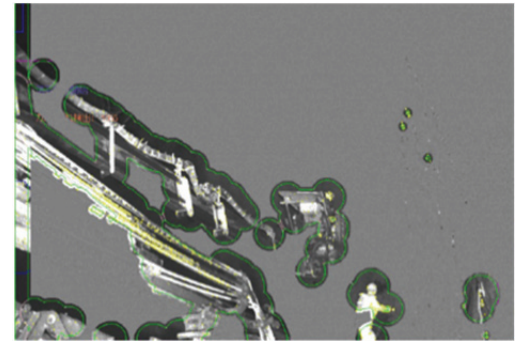
像を保存する機能も有している。警報装置については、写真-1 に示したカメラ部に付属する動作確認用の3色LED表示装置(警告音も発生機能も装備)の他、フラッシュ光とサイレン音を発する装置を別途備えることができる。なお、各装置間は補強を施した通信ケーブル等で接続される。

(2) 画像処理・認識技術

落石の判定には、主にフレーム差分法を用いる。フレーム差分法では、連続する2つの画像のフレーム間での差分画像を生成し、閾値処理を行うことで移動体の領域を取り出す。ただし、落石以外の現象を誤って落石と判断し警報を発すると、警報への信頼性が低下して適切な待避がなされなくなることから、画像をリアルタイムに処理して、落石とそれ以外の現象を分離できるようになっている。実際には、落石と思われる画像上の対象点(範囲)を数フレームに亘って追跡して、それが真の落石であるか否かを判定するプログラムとなっている。実際には、図-4(a)に示すように、作業員や作業で使われる機械類の動き、配線ケーブルの揺れや流水等を、常に解析し続けて、図-4(b)の灰色のハッチング無いで生じている鉛直方向の移動物のみを落石と判定し、誤認知しないようになっている。



(a) 分析画像



(b) 分析後の落石認知範囲(灰色ハッチ部)

図-1 画像認識例

3. 現場実証

図-5 に当社が施工する道路トンネル現場で試験運用を行っている状況を示す。図-5 では右下方に近赤外線照明付カメラが設置されている。このカメラは三脚上に設置されており、作業の妨げにならない位置に自由に移動することができる。監視範囲は、カメラに付属されたレーザーポインターにより容易に確認できる。この実証実験では、ドリルジャンボのマンケージ上から人工的に模擬の落石を発生させ、色や落石の大小、切羽面(吹付け面)の色合いにかかわらず、システムが確実に作動することを実証した。特に、親指大(約1cm)の石の落下も検知できること、落下物を検知してから0.1秒以内に、フラッシュ光とサイレン音で作業員に警告できることを確認した。



図-5 現場実証試験における運用例

4. 今後の展望

現場における試験運用では、山岳トンネルに関わる技術者、作業員から多くの意見および要望が寄せられた。特に装置の小型化・軽量化については喫緊の課題であり、現在、検知性能を落とさずに照明付きカメラ部の照明を6個から3個に低減した設計が完了し、小型化した機器を製作中である。また、本装置により検出した落石が、継続的に発生し続けるものなのか1回の落石で終了するものなのか、また、大きな崩落につながるかについて、保存された多量の画像の分析を行っている。今後は、十分な画像データおよび落石・崩落現象の確認が取れた時点でAIによる分析の実施も予定している。

さらに、現在、切羽近傍の3次元地質構造の迅速に把握できるシステムの開発も進めており、切羽監視装置と連携させて、切羽作業の安全確保に寄与できる技術の開発、展開を図っていく所存である。