デプスカメラを用いたトンネル切羽監視システムの開発における基礎研究

三井住友建設(株)　正会員　○中村　隆史
山口大学　請関　大海
三井住友建設(株)　正会員　塩崎　正人
山口大学大学院　正会員　河村　圭

1．背景

山岳トンネルの建設工事では，掘削面である切羽の“崩壊”や，岩塊が落石する“肌落ち”による労働災害が問題となっている．切羽の崩壊や肌落ちによる労働災害は，切羽の安定性に関する予測が困難なことと，発破掘削の場合，火薬の装薬などの工程で作業員が切羽に近づく必要があることが起因している．また，切羽の崩壊や肌落ちの発生前には，切羽の膨らみや，岩塊の揺れなどといった“変状”が生じる場合がある．したがって，これらの対策としては，継続的に切羽の変状を監視し，未然に作業員の避難を促す必要があるとされている．切羽の監視に関する既存の研究としては，ToF（Time-of-Flight）カメラを用いた切羽監視システムの導入が報告されている [1]．ToF カメラは，レーザー光を照射し，その往来時間から対象物との距離を面的に計測することが可能である．このような距離情報（以後，デプスデータと記す）を計測可能な機器を総じてデプスカメラと呼ぶこととする．しかし，上述の報告では計測範囲が限られていることと，装薬時には，“ジャンボ”と呼ばれる昇降台車付きの重機が切羽手前中央に配置されることから，切羽を正確に計測するためには，切羽から 30m 程度離れた位置から監視する必要がある．そこで，筆者らは，切羽から 30m 離れた位置であっても計測可能なデプスカメラを用いて切羽を常時監視し，切羽の変状を検知した場合，作業員にアラートを発報する切羽監視システムの開発を検討している．本研究では，切羽監視システムについて概説し，切羽監視システムの開発に向けた基礎研究として，1 台の ToF カメラを用いて，デプスデータから変状を検知する基礎実験，および今後の検討について報告する．

2．切羽監視システム

本システムの概要を図-1 に示す．まず，本システムでは，切羽から 30m 離れた位置に複数台のデプスカメラを設置し，そのデプスデータを解析用 PC に送信する．一般的なデプスカメラは，30fps 程度で計測可能であり，動画のような時系列的にデプスデータを取得できる．解析用 PC では，デプスデータから変状を検知する解析を行い，変状を検知した場合，パトランプで現場の作業員にアラートを発報する．データ取得から変状を検知する解析を連続的に行うことで，切羽を常時監視する．複数台のデプスカメラを使用する理由としては，解像度を向上させることと，ジャンボや作業員が往来する場面であっても，複数方向から計測することで確実に切羽を監視するためである．また，本システムでは，装薬の位置出しに使用されるトータルステーションの設置方法と同様に，デプスカメラをトンネル側壁に固定し，作業員の死角となるトンネルの天端を監視する．

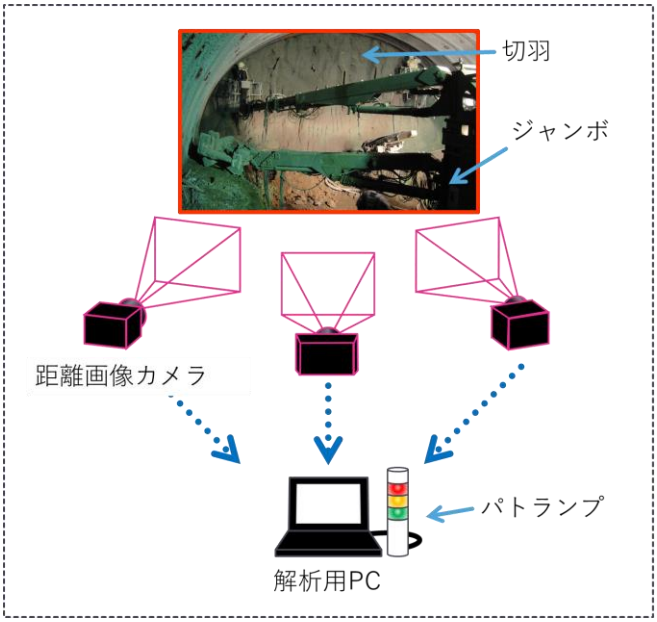
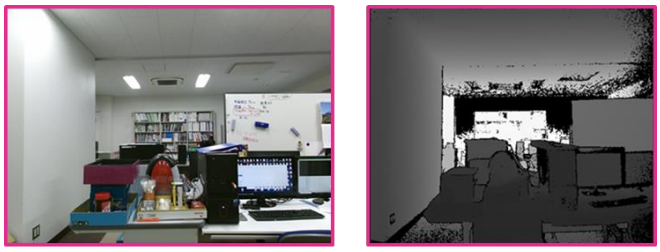


図-1　切羽監視システムの概要

キーワード　山岳トンネル，切羽監視，デプスカメラ，ToF カメラ
連絡先　〒104-0051　東京都中央区佃 2 丁目 1 番 6 号　三井住友建設(株) 技術本部　ＴＥＬ03-4582-3121

© Japan Society of Civil Engineers

図-2　Kinect_v2



(a)　(b)

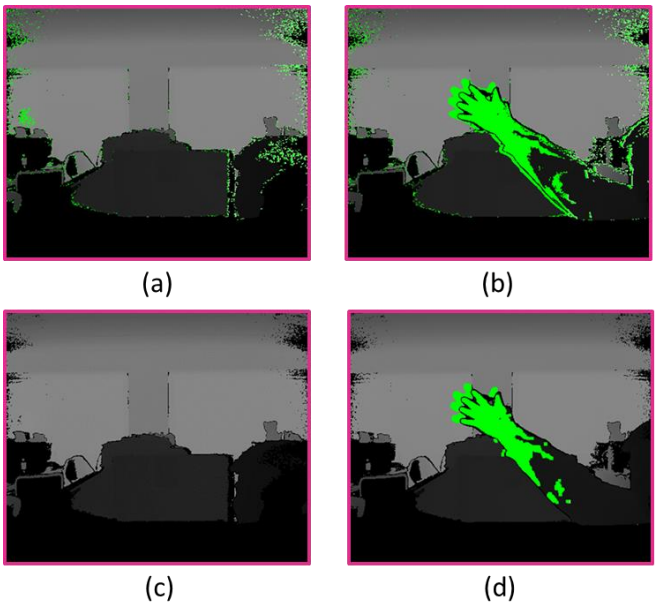
図-3　撮影対象とデプス画像

3．ToF カメラ

本研究では，図-2 に示す ToF カメラ”Kinect_v2”を用いた．ToF カメラは，面的な距離イメージセンサで受光するため，デプスデータを画像で表したデプス画像として取り扱うことが可能である．Kinect_v2 の計測範囲は 500～8000mm であり，デプス画像の解像度は，512×424pixel である．図-3 の(a)に計測対象の RGB 画像を示し，(b)にデプス画像の例を示す．本研究では，デプス画像はグレースケール画像として表示し，その画素値は計測範囲を 256 階調で正規化した値とした．また，計測範囲外となる画素に対しては，画素値を 0 とした．1 階調は，奥行き 29.3mm に相当する．

4．デプス画像の差分表示

解析においては，変状を切羽の形状が変化するものとし，デプス画像の時系列的な変化を確認した．本研究では，取得したデプス画像と直前に取得したデプス画像の同一画素において，画素値の差である差分値を求めることによって変状を検知した．図-4 にデプス画像に差分値を表示させた差分画像を示す．図-4 では，1 階調以上の差分値が生じた画素を緑色で表示した．図-4 の(a)は，移動体が含まれていない場面で，(b)では，手を前後に動かした場面の差分画像である．(a)と(b)の結果では，手の動作を明確に検知することができたが，移動や変化がない画像の端などでも差分値のある画素が点在している．これらは，複数の反射光の干渉によって，対象物のエッジや窪みに生じたノイズによるものと考えた [2]．このノイズは，計測対象によって異なるため，ノイズと変状を適切に区別する必要がある．そこで，図-4 の(a)と(b)の差分画像に対して，オープニングによるノイズ除去処理を適用したノイズ除去画像を(c)と(d)に示す．(c)と(d)の結果より，ノイズを除去し，移動体である手のみを検知することができた．



(a)　(b)

(c)　(d)

図-4　差分画像とノイズ除去画像

5．まとめ

本研究では，切羽監視システム開発のための基礎研究として，Kinect_v2 を用いて変状検出への可能性を示した．フレーム間の差分値から求めた差分画像から移動体が検出でき，ノイズと変状を適切に区別することができれば，変状を検知することが可能であると考えられる．今後は，距離 30m まで計測可能なデプスカメラを開発し，複数台のデプスデータを結合することで，重機や作業員の往来がある場面であっても常時切羽を監視するシステムの構築を検討する．また，ノイズと区別可能な変状を明確化し，変状を検知する解析システムの構築が必要である．

参考文献

1) 菊田遥子，京免継彦ら：TOF カメラによるトンネル切羽変状監視システム開発の試み，土木学会第 73 回年次学術講演会，pp. 717-718，2018.

2) Sergi Foi, et al : Lock-in Time-of-Flight (ToF) Cameras: A Survey, IEEE SENSORS JOURNAL, VOL.11, NO.3, 2011

© Japan Society of Civil Engineers