

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：92503

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510243

研究課題名(和文)ステレオ距離画像センサを用いた変状可視化によるトンネル掘削時の安全管理手法の開発

研究課題名(英文)Development of safety management methods at the time of tunnel excavation by visualization of deformation using a stereo distance image sensor

研究代表者

松元 和伸 (MATSUMOTO, KAZUNOBU)

飛鳥建設株式会社技術研究所・・・室長

研究者番号：30443641

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、単独距離画像センサの精度検証実験を行い、計測精度に影響を及ぼすと考えられる要因を抽出し、統計処理技術、画像処理技術により計測精度向上方法を検討した。データ分析と解析評価に基づく管理基準値により、危険度ゾーニング表示機能の現場検証を行った。そして、これらをまとめて現場計測時の安全・品質管理ガイドラインを作成・提言した。

以上により、「TOF距離画像センサによる面的・リアルタイム・高精度の計測に基づき危険ゾーンの可視化を実現する安全・品質管理手法」を確立した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted alone distance accuracy verification experiment of the image sensor, extracting the factors that are believed to affect the measurement accuracy, the statistical processing technique, the image processing technique has been investigated measuring accuracy method. By the management reference value based on the data analysis and the analysis and evaluation, it was carried out field verification of risk zoning display function. And, it was created and recommendations the safety and quality control guidelines at the time of field measurements are collectively these.

Thus, we have established the "safety and quality management techniques to realize the visualization of the danger zone based on the measurement of surface specific, real-time and high accuracy by the TOF range image sensor".

研究分野：地盤工学

キーワード：計測

1. 研究開始当初の背景

トンネル現場では、切羽崩落による災害が後を絶たないが、切羽全面の変位挙動を瞬時・的確に把握することができないことが主要因である。また、近年では、IT 技術の著しい発展により、トンネル現場でも機械化等が進められているが、トンネル切羽近傍でのコソク等の作業は機械化が極めて難しく、手作業で行われている部分も多い。切羽面の状況を面的・リアルタイム・高精度に測定できれば、切羽近傍の機械化が難しい作業においても被災事故を防ぎ、高品質の施工が可能になると考える。

2. 研究の目的

本研究は、面的にリアルタイムな計測ができるという特徴を持つ TOF 距離画像センサを用いて、切羽性状を瞬時に分析し、掘削量の多い領域や吹付け不足などを表示するシステムを高度化することで、現場安全・品質管理に供するシステムを構築するものである。

3. 研究の方法

本研究では、まず、単独距離画像センサの精度検証実験を行い、計測精度に影響を及ぼすと考えられる要因を抽出し、誤差低減方法を検討する。次に、統計処理技術により単独距離画像センサによる計測精度向上方法を検討する。これらの結果を踏まえて、複数距離画像センサによる計測技術の開発を進める。得られたデータに対する計測精度向上方法として画像処理技術、新たな着想による計測精度の向上、の検討をする。データ分析と解析評価に基づく管理基準値による危険度ゾーニング表示を併せて現地実証実験による検証を行い、これらをまとめて現場計測時の安全・品質管理ガイドラインを作成・提言する。以上により、「TOF 距離画像センサによる面的・リアルタイム・高精度の計測に基づき危険ゾーンの可視化を実現する安全・品質管理手法を確立」する。

4. 研究成果

単独距離画像センサ(写真 1)の計測精度検証実験を実施した。測定原理となる TOF 方式では、測定距離や方向、照明によって反射強度が異なるため、実験により、これらの条

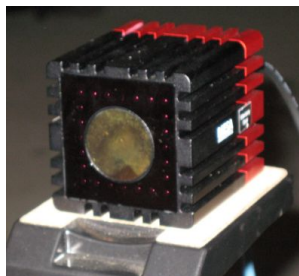


写真 1 距離画像センサ



写真 2 実験状況写真

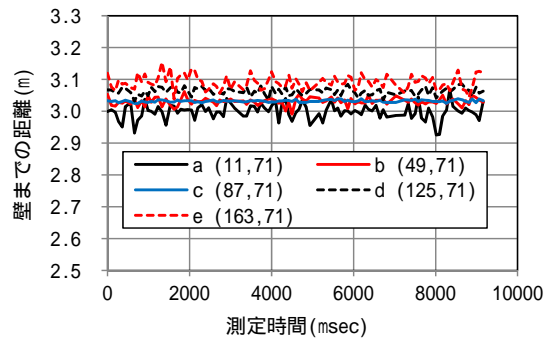


図 1 計測距離の時系列データのばらつき

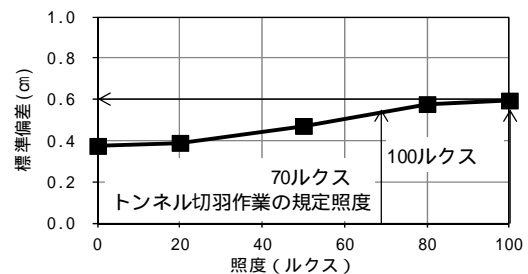


図 2 照度の違いによる計測距離の標準偏差
条件下で距離画像センサの計測精度への影響を明らかにした(写真 2)。

単独距離画像センサによるリアルタイム性と計測精度向上方法の検討を実施した。距離画像センサは、最高 50 フレーム/秒でリアルタイムの画像取得が可能であることに着目し、短い画像取得時間間隔で連続的に得られた画像に含まれる時系列変位計測データを、統計解析をすることによって、誤差分布を検証した結果(図 1)に基づき、平滑化処理によって計測精度を向上させ、リアルタイム性を確保できる適用限界(1秒未満の応答目標)を明確化させた。また、距離画像センサを制御し、異なる照度(図 2)の基でも距離画像データを得られるプロトタイプ制御ソフトを開発し、検証実験に活用する土台を作った。

画像処理技術による計測精度向上のためには、距離画像の標準となるセンサー位置の同定精度がカギとなる。トンネル内にセット

する距離画像センサの位置の特定方法として、まず検討したのが画像上にあるロックボルトのプレート基準点としてカメラ位置を逆算する方法であった。この方法では、ロックボルトを画像上で特定するため、閾値処理、エッジ画像処理やノイズ処理等の画像処理により重心特定処理を行っても、特定精度が5cm程度の誤差を有し、さらに、プレートがセンサ反射強度画像に明確に映らないため、カメラ位置の特定精度が悪くなることが判明した。この方法で得られたカメラ位置を基準として側壁の距離を決定すると、大きな誤差が混入すると判断し、他の方法でセンサ位置を特定することとした。検討の結果、センサ位置をトータルステーションにより測定して、トンネル絶対座標で与える方法を採用した。さらに、画像解析による計測精度向上方法の検討のために、単独距離画像センサによる精度検証実験を踏まえて、複数の距離画像センサ画像による精度検証実験を行った。

更なる精度向上のため、発光型レーザ距離計を距離画像センサと一体化し、その照射点を映し込んだ画像上の点と、既知座標を一致させることで、回転方向の座標を同定して、座標精度の向上を図った(写真3)。

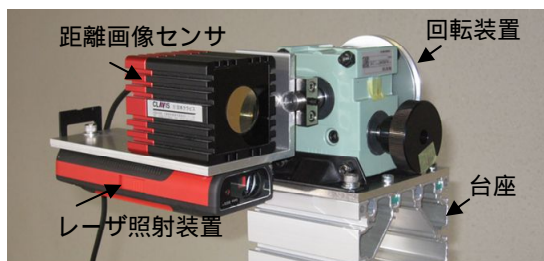


写真3 測定システムの構成

吹付け厚さの管理基準は、発注者毎のデータを分析し、適切な値を設定することとした。地質(岩盤分類、支保パターン)との関係を明らかにすることで、管理基準値を決定した。

危険領域ゾーニングの可視化は、の検討結果を踏まえて、切羽掘削不足領域や吹付け不足領域をリアルタイムに表示し、可視化(図3)によって管理者、作業員に伝達・表示を行い、安全性および品質を保證するシステムに高度化した。

これまで構築したシステムを用いて、トンネル切羽で実証実験を行い、有効性を確認し、必要に応じてソフトの修正を加えた。コンクリートの吹付け厚さは、測定方法が相対変位計測による差分計測であることから、cm単位の精度を確保できた(図4)。

現場安全・品質管理マニュアル作成を作成し、トンネル掘削時の安全・品質管理手法を確立した。

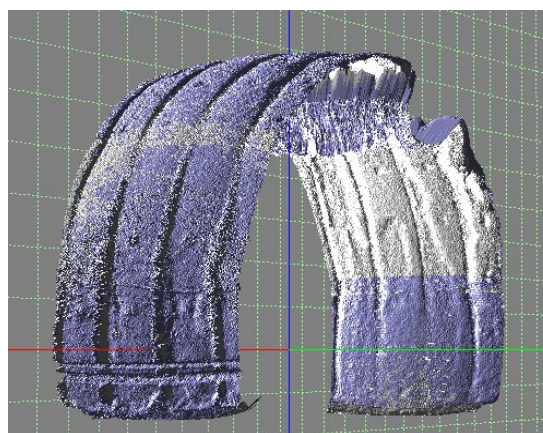


図3 測定した距離画像結果の例

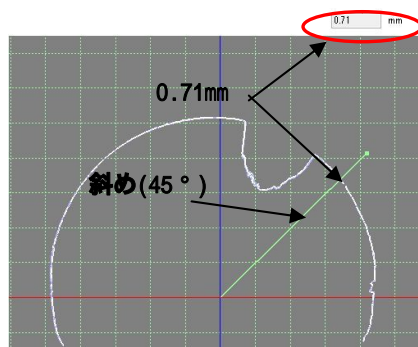


図4 断面測定図

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 2件)

松元 和伸、松田 浩朗、築地 功、熊谷 幸樹、TOF方式距離画像センサの建設現場適用のための計測精度検証，土木学会第68回年次学術講演会，2013.09.06，日本大学津田沼キャンパス

松元 和伸、松田 浩朗、宇都宮 基宏、武市 直人、距離画像センサを用いたトンネル断面測定方法の現場適用，土木学会第70回年次学術講演会，2015.09.16，岡山大学津島キャンパス

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

松元 和伸 (MATSUMOTO Kazunobu)

飛島建設株式会社・技術研究所・室長

研究者番号：30443641

(2)研究分担者

松田 浩朗 (MATSUDA Hiroaki)

飛島建設株式会社・技術研究所・主任研究

員

研究者番号：80443646