

三次元画像を活用した盛土材粒径計測方法の試験適用

竹中土木 正会員 ○東中 邦夫^{※1} 大村 啓介 小西 一生
地球観測 正会員 藤田 行茂 福田 芳雄

1. はじめに

盛土工事において、トンネル掘削ズリを盛土材料として用いる場合、施工前の段階において品質を確認するには時間やコストが相応に必要となる。当社では、盛土材料の運搬時に不良土の早期判定をすることが有効であるとの見解から、粒径判定システムの開発を行っている。本稿では、空間コード化法による三次元画像を活用した粒径判定システムの開発と、盛土施工現場において実施した本システムの試験適用結果を報告する。

2. システムの概要

画像処理による粒体の三次元計測には、空間コード化法を利用した。これは、プロジェクターから計測対象に複数のスリット光パターンを投影し、同時に CCD カメラによる撮影を行うことにより、コンパクトなシステムで高速な三次元計測を可能とする手法である。CCD カメラにより撮影された複数の投影パターン画像は、プロジェクター座標系とカメラ座標系を対応付ける空間コードを計測対象上に構成し、これらの座標系と測定対象間の三角測量により三次元位置を計測する。本手法は一般的に確立された三次元計測手法であるため、本稿においてその原理の詳細は割愛する。図-1 に三次元画像計測システムの構成を示す。



図-1 三次元画像計測システムの構成

粒径計測は、蓄積された既存の二次元画像処理技術を最大限に活用するために、測定距離を 256 階調の輝度情報に変換したグレースケール二次元画像（深さ画像）として処理を行うこととした。これら基礎的な画像処理のソフトウェアへの実装には、十分にその有効性と安定性が確かめられている OpenCV¹⁾ ライブラリを利用して実装を行った。粒径計測・判定アルゴリズムは「ノイズ除去処理」、「粒体検出処理」、「粒体統合・分割処理」と「分類と判定処理」の 4 つに分類される。

- 1) ノイズ除去には、モルフォロジー処理（画像収縮，画像膨張）を利用した。これによりスライス画像（二値画像）に対しての孤立点除去，または穴埋め処理が可能となる。また，検出された粒体境界の細かな凹凸ノイズの除去も同時に適応される。
- 2) 粒体検出には，モルフォロジー処理，境界線抽出処理（キャニー法：深さ画像からエッジの検出を行う画像処理），ラベリング処理を利用した。まず，深さ画像に対して境界線検出を行い，エッジの強調を行う。次にラベリング処理により粒体を検出し，最後に，検出の必要が無いと思われる小径の粒体の除去を行った。
- 3) スライスの前後関係（三次元的なつながり）を考慮した粒体統合・分割処理を行い，最終的な粒体の検出を行う。粒体の分割処理には，Watershed アルゴリズム²⁾を応用する。開発した粒体統合・分割処理のイメージを図-2 に示す。まず，上方向（深さの浅い方向，n-1）のスライス画像から，「2) 粒体検出」処理を用いて粒体の検出を行い，これを下方向（深さの深い方向，n+1）に向かって繰り返す。ここで，処理対象スライス n に対するスライス n-1 と重なり合う領域を検出し，同一粒として ID（図中では青と赤で示す）を振り分ける。スライス終盤で検出される領域が接続される共通粒体領域（図中スライス下端の 2 枚）が出現するが，ここで Watershed アルゴリズムを利用し，領域分割処理を行う。

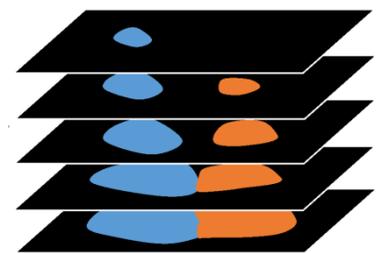


図-2 スライス画像と領域分割イメージ

キーワード 粒径計測システム，空間コード化法，三次元画像

連絡先^{※1} 〒136-8570 東京都江東区新砂 1-1-1 (株)竹中土木技術・生産本部 TEL 03-6810-6215

- 4) 検出されたそれぞれの粒体を同面積の円に近似し($r=\sqrt{A/\pi}$ r :半径 A :面積), 粒体の粒径を予測する. 更に, 予測された粒径をもとにした粒体の分類と判定処理, その他参考パラメーターの算出を行う. 実際のスケール算出は, サイズが既知の基準体を用いて, ソフトウェア上の簡単なキャリブレーションにより行う.

3. 現地適用試験

開発した三次元計測システムと粒径計測・判定ソフトウェアの統合を行い, 運用現場における現地試験を実施した. 試験は足場材(3S)と防音シートで暗室を模擬し, その中に盛土材料を積載したダンプを設置し撮影を行った. 図-3に現地での計測状況を示す. カメラ, プロジェクターは鉛直下向きに, 1.6m~2.1mの計測距離で撮影できるように設置し, 100cm×80cm程度の範囲を計測した. 計測対象はトンネル掘削ズリであり, 不良土の判定基準を粒径100mmとしたため, 直径80mm以上の検出を行う. 検出精度は各撮影に対し, 粒径計測ソフトウェアにより検出された粒径と, 表面

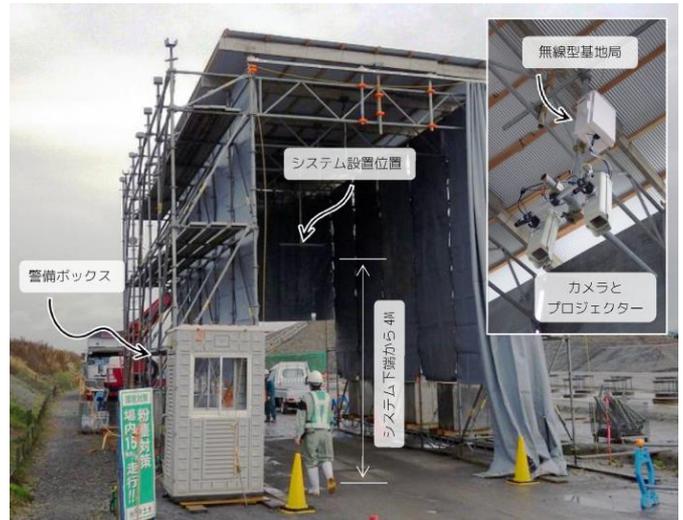


図-3 現地での計測状況

画像から目視で観察される粒径を比較し, 評価することとした. 実験ケースは計測距離(及び計測範囲)を4段階, 遮光環境を3段階に変化させ, 計14ケースを実施した.

4. 試験結果

図-4に検出結果の例を示す. 三次元計測結果(左側画像)に, 測定結果をメッシュ化し, シェーダーにより表示させた画像, 粒径検出結果(右側画像)に, 測定表面のキャプチャー画像に, 粒径測定アルゴリズムにより検出された粒径を円表示により重ねて表示した. 正しく検出された粒径を青線の円で表し, 内部に粒径をmm単位(誤りが予想されるものは赤字)で表記している. 全体的に精度良く径80mm

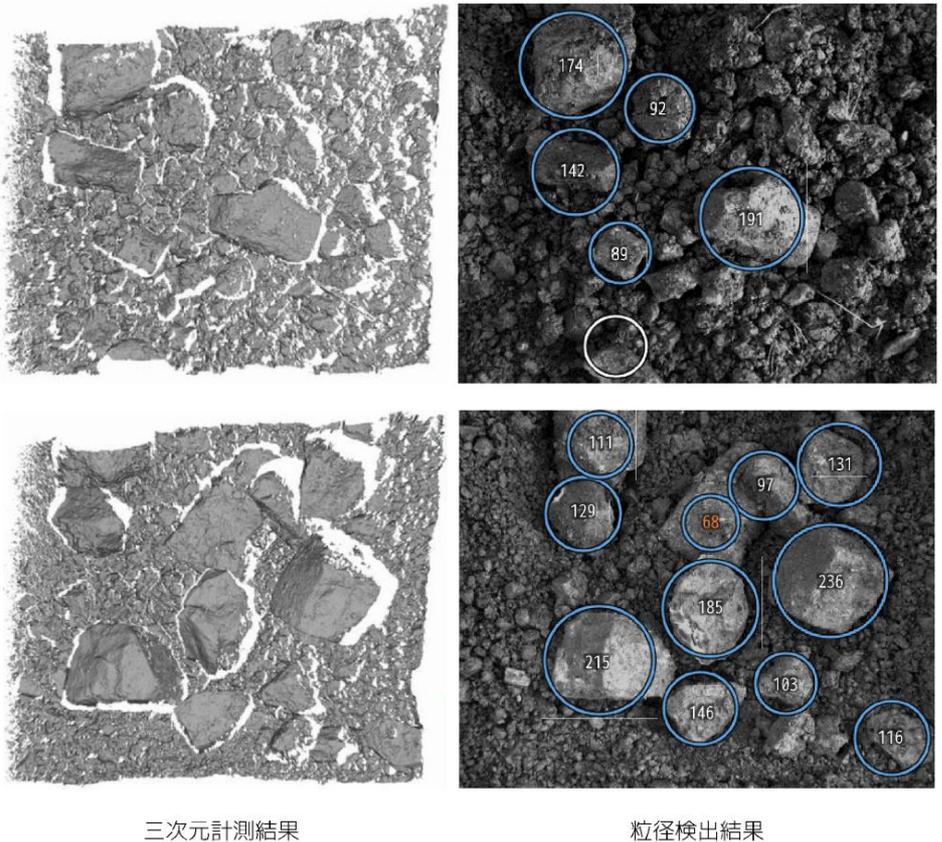


図-4 検出結果

以上の粒体の検出が可能であった. 特に, 屋外においても十分に遮光された状況において, 投影パターン光のコントラストが十分確保され, 三次元計測が一定以上の精度で行われたケースでは誤検出, 検出漏れやサイズ誤りが起こることは少なかった.

5. おわりに

本システムの利用により, 輝度情報を用いた従来の二次元画像処理では困難であった粒体表面の陰影, または模様起因する粒体境界の誤検出のもととなるノイズの除去を効果的に行い, 高精度な粒体の粒径計測・判定を行うことが可能となった.