

ケーソン掘残し幅計測システムの開発

鹿島建設(株) 正会員 ○坂梨利男 緑川達也 杜若善彦 仲野勝博 森本直樹 加藤勝則

1. 開発の目的

これまでニューマチックケーソン工法の沈下管理は、簡易な計算から求まる掘残し幅を目安とするものの、沈下に応じて現場で掘削を調整しており、経験則に応じた対応をしているのが現状である。そこで、潜函作業員の安全性・作業効率の向上や、掘残し幅と実際の掘削・沈下を定量的に評価することを目的として、掘残し幅計測システムを開発した。本システムは潜函内に設置したレーザースキャナーとネットワークカメラから、刃口と土砂の境界および掘削状況を検出・表示し、潜函作業員の掘削作業を支援するシステムである。

2. 技術調査

開発にあたり、潜函内の刃口と土砂の境界および掘削状況を計測するための要素技術の評価を行った(表1)。すなわち、温度・面圧センサーを使用した方法では、センサーの計測値から当該機器が土中か否かの判定が可能だが、地盤条件により閾値の設定変更が頻繁に生じるため、継続的な運用は困難を極める。ネットワークカメラを使用した画像認識技術は、十分な機械学習の実施により目視に近い精度を実現できるが、周辺土砂の形状把握はできない。また、レーザースキャナーによる計測では、刃口と土砂の境界を検出でき、かつ土砂形状や測点までの相対距離が得られるが、障害物により影となる箇所が生じると当該部の情報が得られない。

以上の評価結果より、本開発では主たる計測をレーザースキャナーとし、影となる箇所は刃口近傍に設置したネットワークカメラによる画像認識技術で補完する方法を採用した。

表-1 要素技術の概要と評価

使用機器	概要	評価
センサー	刃口に設置した面圧センサーと、周辺地盤に貫入した温度センサーの計測値から、当該機器が土中か否かを直接・間接的に判定する。	地盤条件により判定に用いる閾値が動的に変化するため、継続的な運用が困難である。
ネットワークカメラ	刃口近傍に設置したネットワークカメラの撮影画像に、画像認識技術を適用し刃口と土砂の境界を推定する。	十分な機械学習の実施により、目視に近い精度で刃口と土砂の境界の推定が可能だが、土砂形状の把握ができない。
レーザースキャナー	潜函内中央付近に設置したレーザースキャナーにより得た点群情報により、刃口と土砂の境界を解析する。	刃口と土砂の境界だけでなく、潜函内の土砂形状や相対距離が取得可能だが、障害物により影となる箇所が生じる。

3. ケーソン掘残し幅計測システムの概要

3.1 ハードウェア

本システムは潜函内に設置したレーザースキャナー、刃口全周を画角に納める複数のネットワークカメラ、地上部に設置した Windows PC の3点から構成される(図-1)。レーザースキャナーは天井レールを走行する掘削機械の干渉を考慮し、高さ 20cm の小型の機器を選定した。また、ネットワークカメラは設置機器数の低減を目的に、広角カメラを選定した。

3.2 ソフトウェア

本システムはレーザースキャナーにより取得した点群情報を解析する 3D 境界検出処理部と、ネットワーク

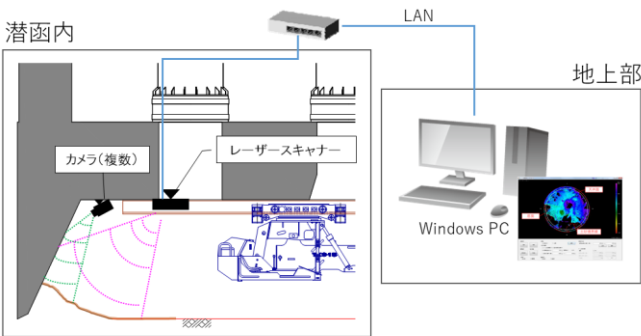


図-1 機器構成

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設(株)土木管理本部生産性推進部 TEL03-5544-0621

カメラにより取得した画像から境界を検出する画像認識処理部を有する。各処理の概要を以下に示す。

(1) 3D 境界検出処理

潜函内で取得した点群情報において、刃口と土砂の境界となる点列は最も外周に位置する。3D 境界検出処理ではこの最外周部の点列の検出を行うが、ノイズ点の影響により本来検出すべき境界と異なる点を検出するケースが散見された。そこで検出した最外周部の点列に対し、平滑化処理を施しノイズによる誤検出を補正する処理を行うこととした(図-2)。

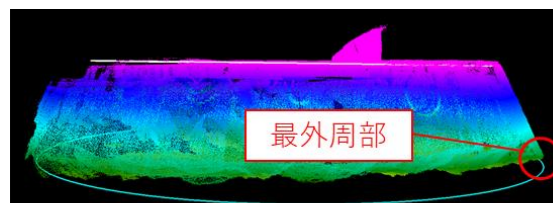


図-2 3D 境界検出フロー

(2) 画像認識処理

画像認識処理部では、機械学習により得た学習済みモデルを利用し、境界線の推定を行った。一般的な機械学習では日照条件などの影響で学習に要する画像が増大する傾向にあるが、本開発においては昼夜問わず一定の照明環境が幸いし、約1か月間で十分な量の画像が得られた。収集した画像は短冊状にトリミングし、刃口と土砂の境界を目視で指定することで機械学習に用いる教師データとした(図-3)。十分な学習の結果、圧気を維持するために設置されたビニールなどにより精度が低下する課題を残しているが、刃口と土砂の境界推定は目視に近い精度を実現した。



図-3 教師データのイメージ

3.3 システム画面

本システムの表示例を図-4に示す。障害物により点群情報が得られない箇所は、画像認識処理によって生成された境界線で補完し、点群情報に重ねて表示される。地上部にいる遠隔操作のオペレーターや管理者は、表示された点群情報を操作し、可視化された境界線と土砂の形状から堀残し幅を明確に把握することができる。

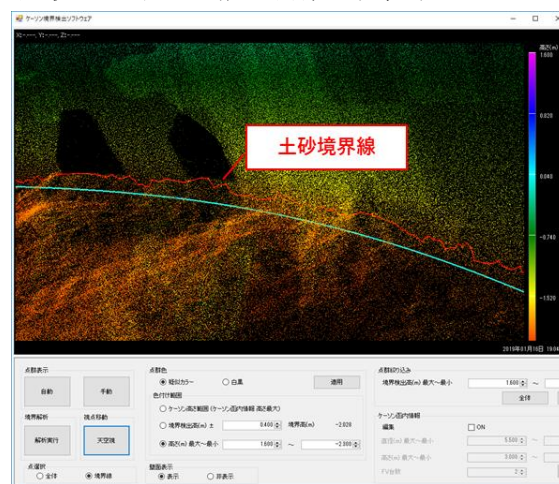
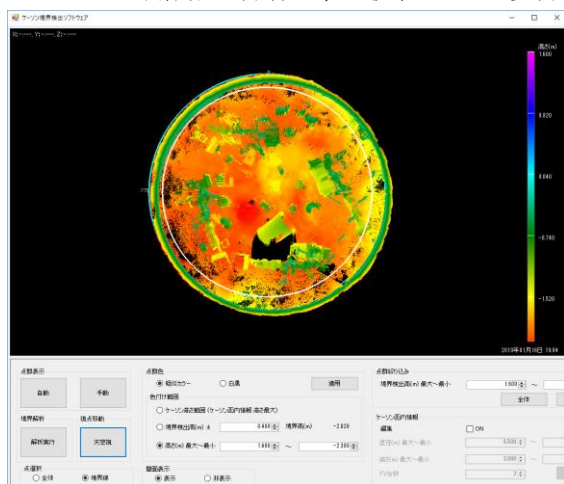


図-4 システム画面

4. まとめ

今回の開発により、掘削中の潜函内の刃口と土砂の境界を可視化し、潜函作業員の掘削作業を支援することが可能になった。また、計測した点群情報と沈下計のデータと組み合わせて分析することで、潜函の沈下メカニズムを明らかにし、将来的に沈下挙動を適切に制御可能とすることが期待できる。

謝辞

本システムの開発にあたり、レーザースキャナーの小型化と画像認識技術をご提供いただいた三菱電機エンジニアリング(株)の関係者の方々に、深く謝意を表します。