

## 3次元リアルタイム計測を適用した施工管理・検査システムの開発

清水建設（株） 正会員 ○矢萩 良二 沖原 光信 戸栗 智仁  
 （株）エリジオン 非会員 平岡 卓爾 池垣 憲之介  
 （株）地層科学研究所 非会員 林 邦彦

### 1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分事業では、廃棄体を定置する作業段階以降、様々な装置に遠隔操作が求められている。具体的には、処分坑道内で廃棄体の搬送・定置、埋め戻しをおこなう装置は、放射線量が高いため放射線防護の観点から遠隔操作が必要となる。

国土交通省は「地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）（案）」や「地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（舗装工事編）（案）」を、国土地理院は「地上レーザースキャナーを用いた公共測量マニュアル（案）」を公表しており、3次元定時計測器は出来形管理や地形測量、工事測量といった分野において活用が見込まれている。また、坑道内の埋め戻しにおいて施工中の密度管理に利用した例もあり、計測精度が重要視される場面において実用化が進んでいる。3次元リアルタイム計測器は、障害物の感知、物体までのおおよその距離の把握などが利用目的であり、自動車の自動ブレーキといった安全運転技術や自動運転技術における周辺情報把握のための“眼”としての役割で活用が進んでいる。精度は±30mm程度であるが点群データを即時に取得・分析できるリアルタイム性が特長となる。

本開発では、こうした放射性廃棄物地層処分における遠隔操作への適用をはじめ、広く一般土木への展開も考慮して、遠隔施工管理・検査システムを開発した。

本稿では、土木工事における盛土技術（または、坑道埋め戻し技術）のうち、専用機械により盛土材料を斜めに撒き出し、斜めに締め固める方法を対象に実施した、本システムの実証試験結果について報告する。

### 2. 3次元リアルタイム計測を適用した施工管理・検査システムの概要

本開発では、i-Constructionの一環として広くICTに適用されはじめている高精度の3Dスキャナと、自動車の自動運転技術のうち周辺情報把握に適用されているリアルタイム計測が可能な3Dスキャナの両者の点群データをシステム上で重ね合わせてリアルタイム表示することにより、遠隔での装置の操作、施工管理や検査を可能とした。

土木工事において施工管理や検査を実施する場合、工種にもよるが数mm～数十mmオーダーの精度が求められる。また、遠隔操

表-1 使用した3Dスキャナ

要求性能	製品名	本稿での呼称
精度・視認性(点群密度・色)	Focus3D S120 (FARO)	3次元定時計測器
リアルタイム性	VLP-16 (Velodyne Lidar)	3次元リアルタイム計測器

作を実施する場合、オペレーターが対象物を認識するためにはある程度の点群密度と色情報に加えてリアルタイム性が求められる。一方、施工品質のトレーサビリティを確保する観点から、3Dスキャナの進化とともに今後リアルタイム計測が重要視されるものと考えられる。これらの要求性能を満たすべく選定した3Dスキャナの1例を表-1に示す。

### 3. 実証試験の内容

実証試験における、施工と計測のフロー図を図-1に示す。3次元定時計測器（Focus3D S120）は、本体回転とミラー回転により1つのレーザー光を全方向へ飛ばしている。現状では、全方向の計測が終了した後にSDカードでのデータ転送となるため、計測のタイミングは実証試験の開始前および開始後の2回とした。

キーワード 放射性廃棄物、遠隔操作、遠隔施工管理、遠隔検査、3次元リアルタイム計測、3Dスキャナ

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1 清水建設（株）土木技術本部バックエンド技術部 Tel : (03)3561-3919

3次元リアルタイム計測器（VLP-16）は、レーザー+検出器が同一断面上を360°回転するまでを1走査とし、連続回転して計測を繰り返す。回転速度は1走査につき最速で50msである。VLP-16はレーザー+検出器が垂直方向30°の間に16個備わっており、1走査で16測線の同時計測を実行している。これにより、断面方向に360°、垂直方向に30°の3次元計測が可能となる（図-2）。

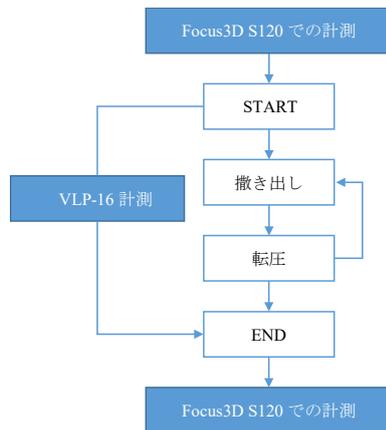


図-1 実証試験フロー



図-2 3次元リアルタイム計測器（VLP-16）の計測範囲

#### 4. 実証試験の結果

図-3 に実証試験状況を示す。また、図-4 は事前に計測した3次元定時計測器による点群データに、3次元リアルタイム計測器による点群データを重ね合わせてリアルタイム表示している状況である。撒き出しに使用した装置の動作と、盛土（埋め戻し）の出来形がリアルタイムに点群データとして取得できていることが分かる。



図-3 盛土工（埋め戻し）を対象とした実証試験状況（左：撒き出し状況、右：締固め状況）

図-5 は施工管理・検査用に、盛土（埋め戻し）の変化量（差分）が確認できるように表示切替した画面である。3次元定時計測器による点群データと3次元リアルタイム計測器による点群データはともに3次元の座標情報を有しているため、寸法情報（厚さ）や体積情報として演算することが可能である。さらに、事前に盛土材（埋め戻し材）の重量や含水比を取得しておくことで、品質管理に重要な湿潤密度や乾燥密度をリアルタイムに演算することができるため、締固め不足などの施工中の品質不具合を防止することが可能であるとともに、施工後に品質不具合が発覚した場合のトレーサビリティが確保できる。

#### 5. 課題と今後の展開

本開発は、遠隔操作や遠隔施工管理・検査という目的を達成するため、各3Dスキャナが有する特長を利用した（重ね合わせた）ものであり、試験によってシステムの有効性が実証された。一方で、実証試験を通して明確になった課題もある。今回、1走査16測線の3次元リアルタイム計測器を選定したが、遠隔操作において十分な安全性と品質を確保するためには点群の密度、すなわち測線の増加が望まれた。また、寸法情報や体積情報を自動で演算するプログラムをシステムに組み込むことで、より利便性が向上すると考えられた。これら課題解決に向けた開発はすでに着手しているところであり、システムの更なる高度化と実用化を目指している。

#### 6. 参考文献

- 1) JAEA,RWMC：平成30年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する研究開発事業地層処分施設閉鎖技術確証試験報告書, 2019.



図-4 システム上で重ね合わせた点群データのリアルタイム表示



図-5 施工管理・検査用の表示画面