狭小な坑道内のアーチ部における
ベントナイト混合土吹付け量管理への３次元計測技術の適用性について

安藤ハザマ　正会員○黒台昌弘　正会員　千々松正和
正会員　石濱裕幸
（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター　正会員　秋山吉弘
正会員　山田淳夫

１．はじめに

CG（コンピュータグラフィックス）やVR（仮想現実感）など景観デザインやコンピュータゲームなどの分野で利用されてきた３次元計測や３次元モデリングに関わる技術が、データ処理技術の高度化とパソコンの高性能化により様々な工事・工種で活用されている。筆者らは、汎用デジタルカメラによる写真測量とレーザースキャナといった２種類の３次元計測技術に注目し、３次元出来形計測の工程を吹付け工事の施工サイクルに組み込むことを前提にした実験を実施し、特に狭小な空間内におけるこれらの計測技術の計測性能を確認した。

２．実験概要と採用した３次元計測技術の特徴

本実験は日本原燃㈱が保有している試験空洞内上部の狭隘なアーチ状空間の一部において実施した。その断面図を図１（実験位置は上部右側ハッチング部）に示す。実験空間は坑道横断方向 7m×縦断方向 6m×高さ 0～4m の広さとなっている。この狭隘なアーチ部へのベントナイト混合土の吹付け量の管理に際して、２種類の計測技術により、吹付けごとの３次元形状を適切な精度で計測できるかを確認することが実験の目的である。

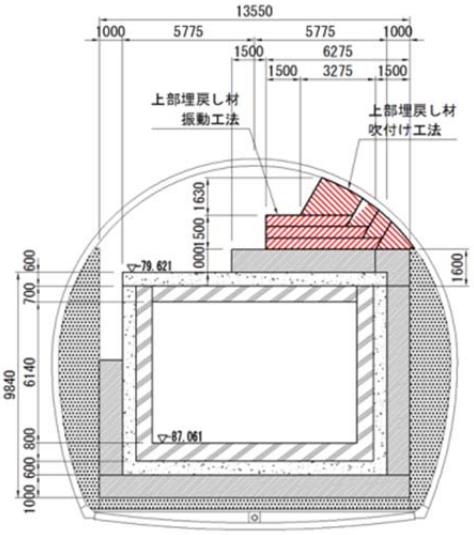

図１　試験空洞断面図

表１　計測技術の仕様

機種	デジタルカメラ RICOH GXR A16	レーザースキャナ FARO Focus3D
サイズ	11×7×4 cm	24×20×10 cm
重量	230g	5kg
計測可能距離	制限は無い	0.6m～20m
実験時の計測距離	max.6m	max.6m
計測性能	記録画素数：4352×3264 焦点距離 f=15.6mm オーバーラップ：60%	位置精度：2mm ｽｷｬﾝ時間：5分/360° 測定速度：12万point/秒
	使用温度：0℃～40℃	使用温度：5℃～40℃

選定した３次元計測技術を表１に示す。市販のデジタル一眼レフカメラによる３次元写真測量と近距離型のレーザースキャナを選定した。前者の写真測量技術は古くから利用されているものであるが、カメラ性能とデータ処理速度の向上から、昨今 3D モデル作成のツールとしての活用が増えてきている。後者のレーザースキャナはリバースエンジニアリングの一環としての利用も見られ、施工サイクルに組み込むための条件として機動性や可搬性を重視して、近距離・軽量型の装置を採用した。計測状況を写真１と写真２に示す。

３．３次元計測技術の比較

1)計測サイクルタイム

吹付け工事では、４回のベントナイト混合土の吹付けを実施した。３次元計測は吹付け前の初期状態でまず実施し、その後吹付け完了ごとに合計５回計測した。写真１と２は、２次吹付け後のものである。

写真１　計測風景（写真測量）

写真２　計測風景（ﾚｰｻﾞｰｽｷｬﾅ）

キーワード　３次元計測　写真測量　デジタルカメラ　レーザースキャナ
連絡先　〒305-0822　茨城県つくば市苅間 515-1　Tel.029-858-8815　e-mail:　kurodai.masahiro@ad-hzm.co.jp

表２に計測作業の内容と所要時間を示した。所要時間は初期状態以外の計測回の平均である。写真撮影は計測回によって異なるが平均して３回の撮影となっている。スキャナは機器を移動させず１箇所からのスキャニングで対応可能であった。

表２のように両者の差は 15 分であり、「①事前準備（標定用ターゲット設置）」と「③実測（撮影・計測）」の工程で差が見られる。狭小部であるため写真撮影枚数が少なかったことが、写真測量に要する時間が少なくなったことの理由と考えられる。

表２　サイクルタイム整理表

写真測量			３Ｄスキャナ		
作業手順		所要時間	作業手順		所要時間
①	標定用ターゲット設置	5	①	事前に設置したチェッカーズボードの移動点検	10
②	TSにてターゲットに座標付与	15	②	必要に応じて、チェッカーズボード追加。（TSにて座標付	15
③	写真撮影（対称面全体を数枚で）	5	③	３Ｄスキャナー計測	15
④	専用ソフトウエアにて、画像間標定（現場にて）	20	④	解析処理を経て点群データ作成（現場にて）	20
⑤	専用ソフトウエアにて画像処理求積対象のモデリングを行い体積計算	120	⑤	点群データのクリーニング処理	30
			⑥	求積対象のモデリングを行い体積計算	90
１計測あたりの所要時間（分）		165	１計測あたりの所要時間（分）		180

表３　計測精度比較

回数	上段：体積(m^3)／下段：写真測量との差(%)		
	CAD図＋現地採寸	写真測量	3Dスキャナ
1次	5.01 (参考値)	5.32	5.35 1
2次	5.96 (参考値)	5.72	5.86 2
3次	4.97 (参考値)	3.91	3.92 0
4次	11.61 (参考値)	12.6	12.51 -1
合計	26.95 (参考値)	27.55	27.64 0

2)データ処理と計測精度

レーザースキャナデータのクリーニング処理は専用のソフトウェアで実施し、TIN データ作成や体積計算にはトプコン製ソフトウェア ImageMaster Pro を用いた。写真測量も同じソフトウェアを用い、撮影した複数枚のステレオ画像よりアーチ部を３次元化し求積を行っている。また、レンズキャリブレーションを実施し、レンズ歪を補正した画像として高精度に解析した。表３に計測精度の比較を示す。ここでは、各回の吹付け量（体積）での比較とした。なお、参考値として、CAD 図による寸法と現地採寸値から求めた体積も合わせて示している。

２種類の３次元計測の結果はどの回も体積差にして１～２％程度であり、狭小空間内での計測性能としては大差無いと言える。３次吹付け後の値を除けば、参考値として示した現地採寸の結果とは数%の差であり、狭隘なアーチ部へのベントナイト混合土の吹付け量の管理に対して、これらの２種類の３次元計測技術の適用は十分可能であると考えられる。

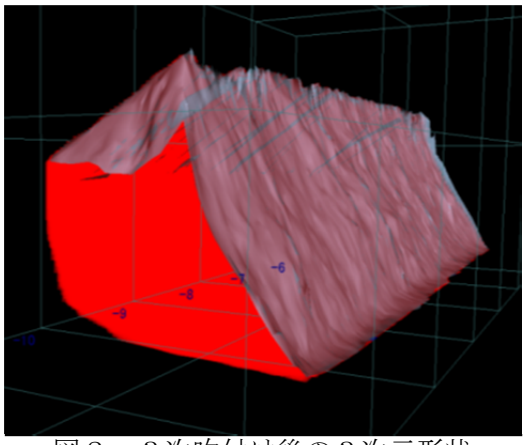

図２　３次吹付け後の３次元形状（レーザースキャナ計測結果）

3)狭小空間における３次元計測の留意点

写真測量の場合は、狭小な空間であるが故に、標定点の適切な配置、撮影距離に対しての画角範囲や立体視が可能な撮影ラップ率の決定などに試行錯誤するための時間を要した。レーザースキャナ計測の場合は、スキャンする壁面とは異なる場所からのレーザー反射と思われる異常データの除去に手間取ることがあった。

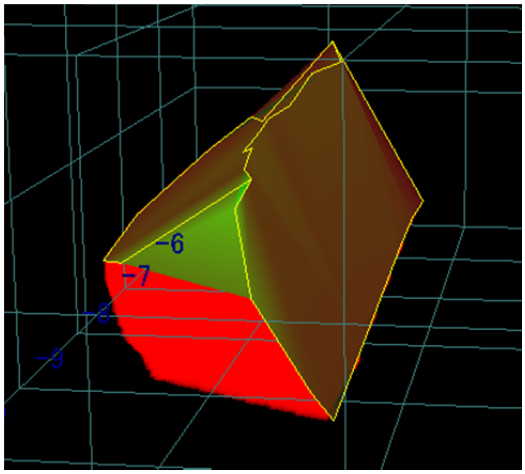

図３　３次吹付け後の３次元形状（３次元写真測量結果）

４．まとめ

近年多くの適用事例が報告されている３次元計測技術を狭隘な空間に持ち込み、施工管理技術としての適用性を確認した。今後は、技術として成熟期を迎えた３次元写真測量やレーザースキャナ計測をより多くの工種における施工管理技術として導入できるようノウハウを蓄積していきたい。

なお、本実験は、平成 25 年度管理型処分技術調査等事業地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験業務の成果の一部である。また、坑道内の計測に際しては、㈱小林コンサルタントからの多大な協力を得た。記して感謝申し上げる。