

地上型 3D レーザスキャナによる地震発生時の工場施設の計測及び解析

大成建設株式会社 正会員 ◦加藤 三郎
株式会社計測リサーチコンサルタント 正会員 木本 啓介
株式会社計測リサーチコンサルタント 安井 伸顕

1. はじめに

地上型 3D レーザスキャナ (TLS : Terrestrial Laser Scanner) やモバイルスキャナの小型化・高性能化といったハードウェアの革新と 3D データ解析技術や画像解析技術, PC 性能の向上などソフトウェアの革新の相乗効果により 3 次元計測技術が広く普及し, 建設分野では建設生産システム (設計・施工・維持管理など) の効率化・高度化を図るため, BIM/CIM や i-Construction が導入され, 3 次元計測の重要度が増している。

2021 年 2 月 13 日に発生した福島県沖地震 (最大震度 6 強) の影響で工場施設内の煙突に傾斜が生じていないかを確認するため, その傾斜の有無を TLS による 3 次元計測により算出した。翌年, 2022 年 3 月 16 日にも同地域で震度 5 強程度の地震が発生したため, 2021 年と同様の計測を行い, 傾斜の有無を算出するとともに, 2 時期のデータ比較により, その有効性を検証した。

2011 年の東北地方太平洋沖地震後には, 作業員が煙突上部の測定対象点まで上り, 測量により傾斜の計測を行っていたが, TLS を活用することで地上から安全かつ効率的に作業を行うことが期待される。

2. 使用機器および実施概要

使用した TLS は, 図-1 および表-1 に示す Trimble 社製 SX10 である。TLS は, 計測対象物とセンサの間をレーザー光が往復する時間を計測することで距離を計測し, 同時にレーザービームを照射した方向により器械に対する計測対象点の 3 次元座標を取得するものである。機

械位置を中心として全周囲の 3 次元座標を抽出し点群を得ることができる。遠隔からの非接触測定が可能なことから安全に計測作業を実施できる。スキャナを三脚に設置して 1 か所あたり 10~30 分程度計測を行い, 煙突の全体形状を取得するために複数個所から機器を盛替えながら計測した。このとき, 各位置で計測したデータを合成処理するため, 煙突以外の構造物も同時にデータを取得した。

対象とした煙突は, 高さ 120m の三脚集合型煙突であり, 2011 年 6 月には測量により傾斜度が測定され, 2021 年 3 月, 2022 年 3 月は TLS により傾斜度を測定した。

3. データ解析

(1) 取得した点群

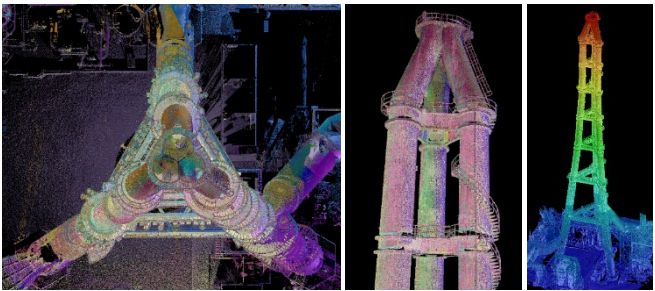
各位置で計測したデータをそれぞれ特徴的な形状を基準に合成処理を行い, 対象煙突の 3D 点群を作成した。合成した点群から対象煙突部のみを抜粋した状況を図-2 に示す。また, 2021 年と 2022 年に計測したデータを重畳した状況を図-3 に示す。煙突下部の周辺施設において, 2 時期のデータがほぼ一致していたため, 煙突下部では変位はなく, 精度の高いデータが取得できていると言える。



図-1 使用した TLS

表-1 主な仕様

機種名	Trimble SX10
レーザークラス	クラス 1M
計測方式	タイムオブフライト方式
測定距離	0.9~600m (反射率 90%)
計測範囲	V300°×H360°
計測精度	±2.5mm



真上から表示 煙突頂部 高度により色分

図-2 合成処理した点群データ

キーワード 地上型 3D レーザスキャナ (TLS), 工場, 地震, 煙突, 傾斜度

連絡先 住所 : 〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町 3-1-1 仙台ファーストタワー12 階 TEL : 022-225-7617

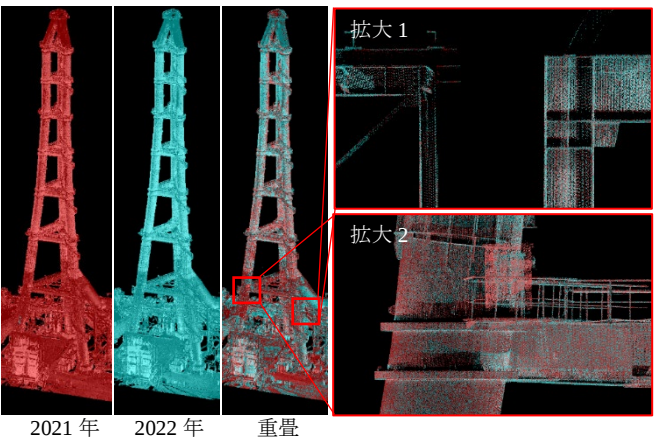


図-3 2 時期の点群データの比較

(2) 筒身の傾斜角算出

取得した点群から煙突上部の約 20m 区間（5G～7G）において、図-4 に示すように 5G 直上および 7G 直下の筒身断面データを抽出し、そこから近似円を作成し、それぞれの近似円の中心位置から変位量 a, b を算出することで、煙突上部の傾斜角を算出した。

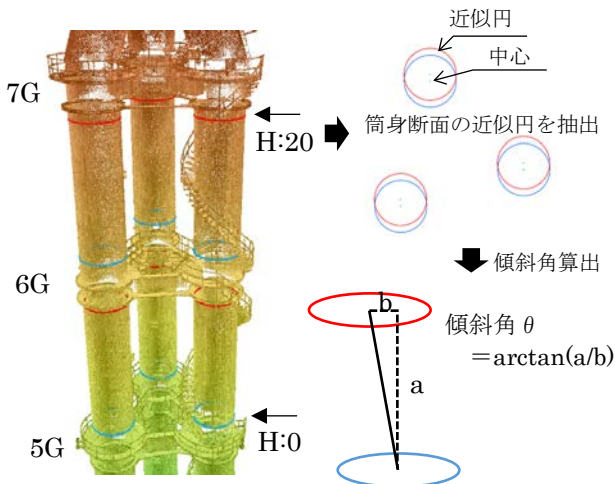


図-4 筒身の傾斜角算出の手順

(3) 繋ぎ梁の傾斜角算出

繋ぎ梁の下フランジ下面と補強リングの接点 2 点の座標値から図-5 に示す手順で梁の長さや水平に対する傾斜量を抽出し、傾斜角を算出した。

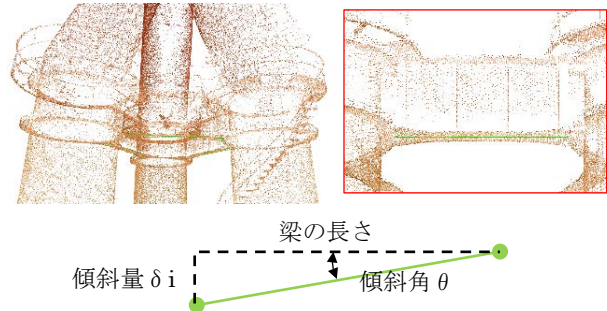


図-5 繋ぎ梁の傾斜角の手順

(4) 2 時期の傾斜角の比較

2 時期（2021 年，2022 年）に算出した筒身の傾斜角（5G-6G 間，5G-7G 間）と繋ぎ梁の傾斜角（各プラットフォーム）の差分を表-2 に示す．2 時期の傾斜角の差分は 0.01 ～0.02 度程度であり，変位量に換算すると数 mm 程度であった．測定誤差を含むことを加味すると，ほぼ変位はないことが確認された。

表-2 2021 年と 2022 年の傾斜角の差分

プラットフォーム	筒身の傾斜角差分 θ [deg]		繋ぎ梁の傾斜角差分 θ [deg]
	プラットフォーム間	5G～7G 間	
7G	0.007	$\blacktriangle 0.026$	$\blacktriangle 0.068$
6G			$\blacktriangle 0.015$
5G	$\blacktriangle 0.006$		0.017
4G			$\blacktriangle 0.012$
3G			$\blacktriangle 0.025$
2G			$\blacktriangle 0.006$
1G			0.009

4. まとめ

高さ 120m の三脚集合型煙突の地震後の影響を確認するため，2 時期にわたり TLS で 3 次元計測を行い，筒身および繋ぎ梁の傾斜角を算出した．得られた 2 時期の結果を比較すると，差分は 0.01～0.02 度程度であり，変位量に換算すると数 mm 程度でほぼ変位はないことが確認されたことに加え，再現性の高い計測が可能であることも確認できた。

従来手法では作業員が煙突上部の測定対象点まで上る必要があったが，TLS の場合，地上で安全かつ短時間に高精度なデータを取得が可能となる．また，測量では測点のみの情報取得となるが，TLS では面的にデータを取得できるため，傾斜方向の算出や任意点の変位など，測量では把握しづらい事象をデータ処理により抽出することも可能である．これらのデータを定期的に取得し，蓄積していくことで構造物の経時的な変位を効率的に評価することもできる。

TLS を用いて安全に高精度な情報を取得することは，工場施設の維持管理において非常に有効な手段であり，BIM/CIM 等と連携を図っていくことで，より高度で効率的な維持管理手法となる．今後も煙突だけでなく，他工場施設の維持管理へ展開を図っていく．