

排水機場の構造物モニタリング技術

～「高精度3次元レーザスキャナを用いた床版変状計測技術」について～

株式会社八州 営業推進室 きたはら としお 北原 敏夫

1. はじめに

当社は、1947年（昭和22年）に創立し、本年度で72年を迎えます。戦後、民間測量会社のさきがけとして誕生し、先進的なまちづくりと地域貢献、安全・安心のまちづくりを目指し、さまざまな測量新技術への対応を進めています。

本稿は、i-Construction 推進コンソーシアム技術開発・導入WGの建設現場のニーズと技術シーズのマッチングの結果、当社から提案した「排水機場の構造物モニタリング技術」が決定を受け、国土交通省関東地方整備局関東技術事務所のご協力を得て、三郷排水機場（埼玉県三郷市）で現地検証作業を行いました。その概要と結果、そして今後の展開をご紹介します。

2. i-Construction の取り組み

(1) i-Construction への対応

平成29年1月30日開催された「i-Construction 推進コンソーシアム設立総会」に参加し、4月20日の「技術開発・導入WG ニーズ説明会」で29件の行政ニーズおよび現場ニーズの発表を受け、5月29日の「ピッチイベント」で、「排水機場・

水門の構造物モニタリング技術がほしい」との技術ニーズに対応するシーズとして、「高精度の地上レーザスキャナを利用した土木構造物の変化把握」の発表を行いました。その後、個別相談会を通して現場試行条件について確認を行い、技術の活用可能性について検証を進めることで関東技術事務所と調整が終わり、10月25日の「新技術のニーズ・シーズマッチング決定会議」においてマッチング技術の決定をいただきました。

〈レーザスキャナとは〉

レーザ光を発して、物体に反射して戻ってくる光線の往復時間により距離と反射率を計測するパルス方式、もしくは数種類のレーザ波長の位相差による干渉により距離と反射率を計測する位相差方式の2種類の計測機器があり、高精度に位置情報を計測します。

(2) ニーズ側の内容

関東技術事務所からのニーズは、老朽化が進む排水機場の土木構造物の変状を高精度でモニタリングしたいというものであり、これに期待されていたシーズは、3Dレーザスキャナを利用した排水機場エンジン部分床版の歪み検出をmm単位で把握できる計測技術でした。

(3) シーズの概要

従来水準測量で実施してきた固定点を1点ずつ計測する方法に比べ、3次元レーザスキャナを利用した床版の高さの変化を高精度・高密度に把握

できる技術を提案しました。3次元計測の利点として、次の項目が上げられます。

① 対象物を面的に計測が可能

→測定対象物に1秒間に数万から数十万発のレーザーを発射することで、短時間に面的な点群データの取得ができます。

〈点群データとは〉

レーザー光線を、ある範囲を対象に少しずつ角度をずらしながら面的に照射することで、その範囲の中にある物体の表面からのデータが得られ、それらを点群データと言います。得られた点群データは、雲のように見えることから「ポイント・クラウド」とも呼ばれます。

3次元点群データは、高密度のためデータ量が多く整理に時間を要するため、作業進捗の把握に遅れや品質評価の確認に時間を要したりします。

また、3次元点群データは、構造物の角の正確な取得が困難であるため、点群を面で考えた方が良い場合もあります。

② 高精細の点群データの取得が可能（今回使用した GLS-2000 の場合）

→概ね 10 m 間隔に設置した標定点から、仰角 270°、水平 360°の範囲を 3.1 mm の点間隔で計測ができます。1 cm² の点群は約 9 点になります。

③ 可視範囲内にある対象物の 3次元座標データ (X, Y, Z) が取得できます。

→データの加工性の向上が可能となります。

3. 現場試行作業

(1) 場 所

「排水機場の構造物モニタリング技術」の現場試行は、「三郷排水機場」で実施することになりました。三郷排水機場は、埼玉県東部に位置する「中川・綾瀬川流域」における治水の中核を担う、国内最大規模（毎秒 200 m³）の排水能力を有し、高度成長期に建設された排水機場になります（写真-1）。



写真-1 三郷排水機場

(2) 試行作業と結果

試行作業は、平成 29 年 10 月 11～12 日の 2 日間、三郷排水機場の 1 階のエンジン室（2,300 m²）を計測範囲とし、次の内容で実施しました。

① 現場試行の条件

- ・排水機場の床版の変位量、変形量を計測する 3次元計測技術であること。
- ・トータルステーション（以下、「TS」という）による検証点の計測値に対して、本手法による計測値との高さの較差が標準偏差 ± 5 mm 以内となること。
- ・計測したデータから縦横断面図、床版変状マップを作成し、変状箇所の抽出が可能なこと。

〈標準偏差 ± 5 mm の対応〉

今回の試行業務は、高さの精度の標準偏差 ± 5 mm 以内が条件とされたことから、使用予定の地上レーザスキャナの精度から、観測方法、器械高の高さ計測、精度検証の方法に工夫が必要となり、何回かの社内検証作業等を経て現在の方法となりました。

② 計測作業

1) 標定点測量

排水機場内にある金属標等に、TS、レベル（水準儀）を使用して座標の取り付けを行いました。金属標は、後続の作業の基準点となるもので、公共測量作業規程に準じて観測を行いました（写真-2）。また、高さの基準を金属標 C-5 として、標高値を 10.000 m としました。なお、器械高の測定については、自動測定の機



写真-2 標定点測量

能等は利用せず、精度保持のため独自の計測方法としました。

2) 地上レーザ観測

床版の高さの変状の較差を標準偏差±5mm以内の高精度で計測するにあたり、3次元レーザスキャナの配点密度、器械高を精密に測定する方法を確立しました。また、TSを使用した精度検証の手順も確立しました。

なお、本業務では仕様の異なる2種類(FARO Laser Scanner Focus 3D/位相差方式、TOPCON GLS-2000/パルス方式)の地上レーザスキャナを使用して、高さの精度、作業効率の検証を併せて行いました(写真-3, 4)。



写真-3 地上レーザスキャナ



写真-4 地上レーザ観測

3) 検証作業と結果

地上レーザスキャナで計測した点群データの高さの精度を評価するため、標定点測量で観測

を行った金属標からTSを使用して較差の検証を行いました(表-1)。

検証項目	FARO	GLS
点数	89点	63点
最大	0.0064 m	0.0052 m
最小	-0.0054 m	-0.0032 m
標準偏差	0.0024 m	0.0017 m

距離観測方式が異なる2種類の地上レーザスキャナとも条件内の精度となりましたが、以下のことから以降の作業は作業効率および精度管理が容易なパルス方式のGLSを主とした観測としています。

- ・位相差方式のFAROは、自位置を高精度に求めるためには、観測点周辺(数m以内)に座標を取り付けたターゲットを複数設置する必要がありますが、パルス方式のGLSは標定点から直接観測ができます。

- ・定期的に床版の変状をモニタリングする場合、既存の金属標を利用することができることから、統一的な作業と精度管理が容易にできます。

③ データ解析(合成・ノイズ除去・メッシュ作成)
点群編集ソフトウェア等を利用して取得したデータの合成、ノイズ除去を行い、出力原図データを作成し、さらに50cmごとのメッシュ処理を行いました。

④ 変状管理の成果作成

変状管理をわかりやすく行えるよう、縦横断面図と床版変状マップを成果として作成することとしました。

縦横断面図は、メッシュデータから作成し、切出しの間隔を100cmとしました(図-1)。

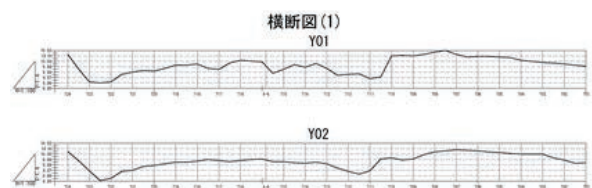


図-1 横断面図

メッシュデータは、床版変状マップでも利用するメッシュごとの平均標高になります。

主な機能は次のとおりです。

- ・ 間隔 (0.5 m, 1 m など) を指定することで縦横断面図を自動作成できます。
- ・ 縦横断面図の縦横の縮尺は任意に設定ができます。
- ・ 複数の時期の縦横断面図を重ねて表示ができます。
- ・ 任意の断面の抽出ができます。
- ・ CAD データでのエクスポートが可能です。

床版変状マップは、床版の上下変動を色で表現することとしました。基準は、中央寄りに位置し、変状が少ない標定点 A-6 (標高値 : 9.991 m) として、メッシュサイズ 50 cm ごとに比高差を求めました。また、変状の間隔を 10 mm とし、プラスは赤系、マイナスは青系の色表現としました (図-2)。

床版変状マップの作成手順・機能は以下のとおりです。

- ・ 基準となる地点 (主に標高点を使用します) とメッシュ間隔を指定し、各メッシュの高さと基準となる地点との比高差を自動計算します。
- ・ その結果を任意の間隔 (例 : 5 mm, 10 mm 単位) でプラス側は暖色系、マイナス側は寒色系で表示します。また、プラスのみ、マイナスのみの表示も可能です。
- ・ 複数の時期の差分を取ることで、時系列な床版の変化を同様な手法で表示ができます。
- ・ 変化量の数値 (例 : 50 mm を超える) を指定することで、障害物による変化とされる箇所を自動除去することができます。

・ テキストデータでのエクスポートが可能です。

今回の試行を通じて、任意の間隔で縦横断面図の作成、任意の大きさ、変状の大きさに応じて効率的に床版変状マップを作成できるアプリケーションを開発しました。

このソフトウェアは、市販の 3D CAD ソフトウェアを利用して、取得した点群データから縦横断面図、床版変状マップを効率的に作成できるアプリケーションになります。また、時系列的な変状を mm 単位で表現できる手法の開発も行いました。

4. NETIS 登録

本技術は、国土交通省の「新技術活用システム」(NETIS) へ平成 31 年 1 月 23 日に登録され、その情報は 2 月 14 日から公開されています。

- ・ NETIS 番号 : KT-180114-A
- ・ 新技術名称 : 「高精度 3 次元レーザスキャナを用いた床版変状計測技術」

5. 点群データ利用

3 次元レーザスキャナによる現地の計測で得られた高精度の点群データから縦横断面図と床版変状マップの作成までを試行することができました (写真-5)。

ここで得られた点群データをさらに有効活用できれば、3 次元計測の価値も高まると考えます。

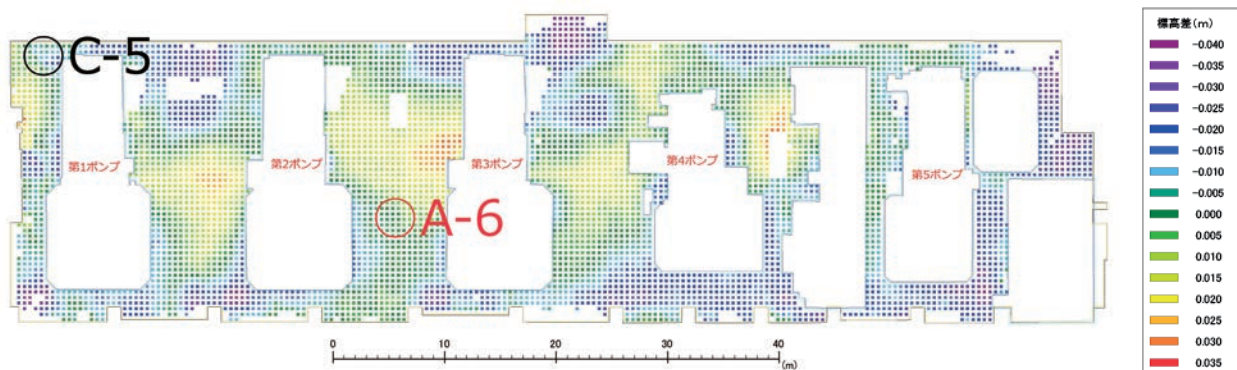


図-2 床版変状マップ

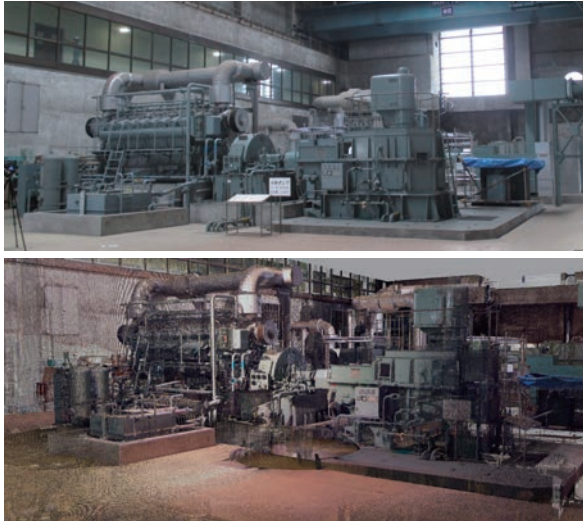


写真-5 写真と点群データ

排水機場など河川構造物の多くは既に完成し、管理に移行している施設が多数存在します。

現時点では、2次元図面を基本として管理されているのが現状と思われます。当社では、試行作業の中でポンプ施設の3次元化による有効性について検討を始めています。

3次元モデリングは、点群データと同様にさまざまな視点から構造物の確認は可能でありながら、データ量は点群データに比べ大幅に軽減します。

さらに、該当するデータを3D PDFなどに変換すれば、無料配布のPDF閲覧用アプリケーションがインストールされている一般的なPCで簡易的な閲覧も可能です。

一般的なPCでは点群データを取り扱うことは困難ですが、3次元モデリングにより利用しやすくなることも確認できました。

図-3は、三郷排水機場の4号ポンプをモデリングした例になります。

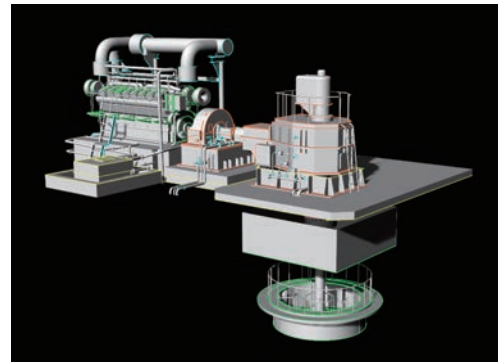


図-3 排水ポンプの3次元モデリング例

その結果、ニーズとしての「3Dレーザスキャナを利用した排水機場エンジン床版の変状検出」については、床版変状マップでその状況をメッシュ単位で表現することができました。また、縦横断面図からは輪切りにした床版、エンジン部分の凹凸の状況を把握することができたことから、変状の抽出方法として一定の成果を取めることができたと考えています。

しかし、高さの較差の標準偏差 ± 5 mmについて、排水機場における土木構造物の変状を時系列で検出する上ではさらなる精度の向上が課題として残ります。

今後は、この課題解決と併せて高い精度で得られた点群データを3次元モデルの作成他、機械設備の据付状態の監視、水門・樋門などの河川構造物のモニタリングなどへ利用の検討も進めていきたいと考えています。

一方、3次元モデルの詳細度(LOD)と3次元レーザスキャナの点群密度は相関の関係があり、求められる要求精度に対する計測機器の選定、採用する点群密度の関連性など検討すべき課題は多々あります。今回の試行作業の結果を踏まえ、BIM・CIMの対応を進めるため、効率的な3次元モデリングの手法の開発を進める予定です。

最後になりますが、現場試行作業にあたり、三郷排水機場を管理されている江戸川河川事務所の多大なるご協力をいただきました。ここに謝辞を申し上げます。

6. おわりに

当社では、本業務に対応するため床版変状を高精度に求める計測手法を確立し、広く応用が可能なアプリケーションの開発を進めてきました。