地下埋設管の 3 次元データの構築およびその管理手法の検討

梅宮 咲恵　窪田 諭　安室 喜弘

Construction and management of 3D data for underground buried pipes.

Sae Umemiya*, Satoshi Kubota**, Yoshihiro Yasumuro***

Abstract: In Japan, there is a growing demand for the 3D modeling of structures. However, research on the 3D modeling of underground structures such as water and sewage pipelines, gas pipes, and the utility tunnels is limited, and their practical application remains underdeveloped. This study aims to enhance the sophistication of maintenance and management by proposing a method for constructing 3D data as a foundation for managing buried pipelines, and by examining a management system for underground infrastructure. The 3D data will be created using point cloud data obtained during installation work and 3D models generated from design drawings. These will be overlaid onto maps to enable visualization.

Keywords: 維持管理（maintenance），地下埋設管（underground buried pipes），点群データ（point cloud data），情報システム（information system），空間 ID（spatial ID）

１．はじめに

道路の地下に埋設される管路には，上下水道，ガス管や通信線などがある．本研究では地下埋設管とこれらを収容する共同溝を合わせて地下埋設物として定義する．上下水道の埋設管の維持管理については，国土交通省が管轄し地方公共団体が管理業務を担う．また，ガス・電気・通信については，民間のユーティリティ企業がそれぞれ維持管理する．これらの埋設管は道路の直下に敷設されることが多く，管路の種類や位置情報は管理主体である地方公共団体によって 2 次元の道路台帳付図で管理される．新たに埋設管を敷設する際には，ユーティリティ企業の事業者が道路占用許可申請を行い，道路管理者がその情報を道路台帳に登録する．上下水道は 2 次元図面として GIS に登録される．しかし，実際の敷設工事の際には，道路の状況や付属物，地形によって図面の位置から敷設箇所がずれる場合がある [1]．また，埋設管は，管路を設置した後に埋め戻すため，施工後は新たに開削工事を行わない限り，管路本体を確認することは困難となる．事故が起こった際や埋設管の管理計画などを策定する際に，敷設工事時の埋設管の状態を記録しておき管理者が参照することが有効であるが，そのような仕組みは存在しない．複数の管理団体が管理する埋設管路の位置関係を詳細に管理するためには埋設物を 2 次元ではなく，3 次元で表現することが有効であると考えられる．しかし，地下埋設物の 3 次元化に関する研究は少なく，実務での利用は少ない．下水道の 3 次元化に関しては中村ら [2]は，下水管の地上部分の点群データと作成した 3 次元モデルを重畳して可視化した．しかし，その対象は下水管にとどまっている．本研究では，地下埋設管の維持管理の高度化を目的に，埋設管の維持管理を行う際に基盤となる 3 次元データの構築手法を提案し，地下埋設物の管理システムを検討する．

２．点群データの計測

２.１　計測目的

ライフライン設備の埋設時の状況を保存し，施工後もそれを確認するために，計測が比較的容易かつ現状を反映することに優れる点群データを利用する．地下埋設管を対象に点群データを計測する事例は少ない．そこで，地下埋設管の 3 次元データ取得方法を検討するために，

*　学生会員　関西大学大学院　理工学研究科環境都市工学専攻（Kansai University Graduate School of Science and Engineering）
〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35　Email: k117452@kansai-u.ac.jp
**　正会員　関西大学　環境都市工学部都市システム工学科（Kansai University, Faculty of Environmental and Urban Engineering）
***　非会員　関西大学　環境都市工学部都市システム工学科（Kansai University, Faculty of Environmental and Urban Engineering）



a) 実現場（昼間）



b) 実現場（夜間）



c) 仮設現場

図 1　計測対象

実際の施工現場における昼間と夜間，および仮設現場の 3 箇所で点群データを計測する．昼間・夜間の実現場では施工中の短時間で計測できること，そのための機器と方法を明らかにすること，および狭所かつ暗所であり，計測時の作業範囲を十分に確保できない施工環境で計測する方法を示すことを目的とする．仮設現場では，管路の点群データの取得状況，計測機器による点群データの特徴，計測方法による点群データの取得状況の違い，計測時間を定量的に評価する．これらを評価するために，点群データを着色してその面的な取得状況を目視で確認すること，点群データの断面を作成し点群データの生成状況を機器や計測方法によって比較すること，土被りの計測による定量評価すること，機器ごとの計測と処理時間を比較する．

２.２　計測概要

2.2.1 実現場（昼間）

昼間の計測では，計測機器としてカメラを用い SfM（Structure from Motion）/MVS（Multi View Stereo）処理により点群データを生成する．対象の環境は，土被り約 2m で，4m の下水管を一本設置した区間である（図 1a)）．手持ちのカメラ（スマートフォン）を地上から掘削部に向けて地面と平行に構えた状態で，掘削部の周囲を一周して動画を撮影した．

2.2.2 実現場（夜間）

夜間の計測では，カメラによる写真測量に加えて，LiDAR 搭載の iPad を用いる．対象の環境は土被り約 2m で，マンホール部分と 4m の下水管を一本設置した区間である（図 1b)）．夜間の計測ではバルーン型の照明があるが一部に影ができる状況であった．また，スケール調整のため掘削部の横に標尺を設置した．

2.2.3 仮設現場

仮設現場では，計測機器としてカメラ，LiDAR 搭載の iPad，TLS(地上型レーザスキャナ)を用いる．TLS には FARO 社製の Focus3D X 330 を使用し，仮設現場のデータの最確値とする．対象の環境は延長約 20m, 深さ約 1.5m の掘削部で，通信管，電力管 5 本設置した．（図 1c)）．スケール調整のため掘削部横に標尺を設置した． TLS は掘削部周囲および内部に合計 11 箇所設置し計測した．カメラについては，昼間・夜間と同様に一周して撮影することに加え，計測方法の検証のために半周撮影および斜めに構えての撮影も行った．iPad も同様に掘削部を一周および半周歩いて計測した．また，マーカの有無による特徴点の有効さを比較した（図 2）．

２.３点群データの構築

昼間の実現場の点群データを図 3a)に，夜間の実現場の iPad の LiDAR 計測による点群のデータを図 3b）に，仮想現場で TLS で取得した 11 箇所のデータを結合した点群データを図 3c)に示す．

３．計測結果と比較・評価

３.１　点群データの着色

点群データを一色に着色し，各データの状態を比較した（図 4）．図 4a)は着色前の点群データであり，図 4b)は，カメラによる計測でマーカなし・計測ルート 1 周・機器

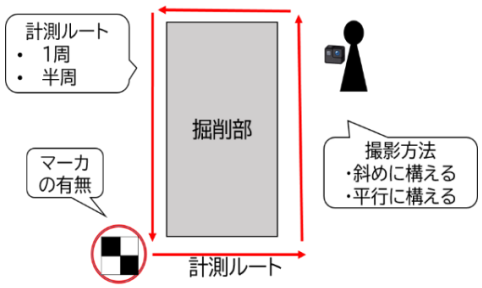
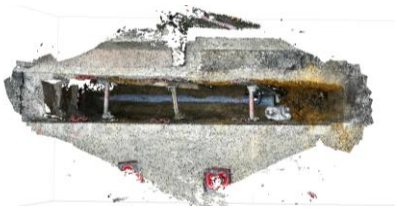


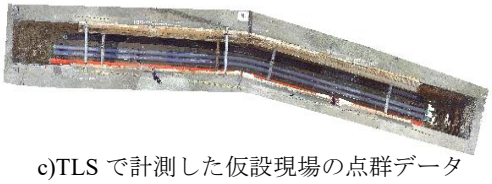
図 2　計測方法の俯瞰図



a)カメラで計測した 実現場（昼間）の点群データ

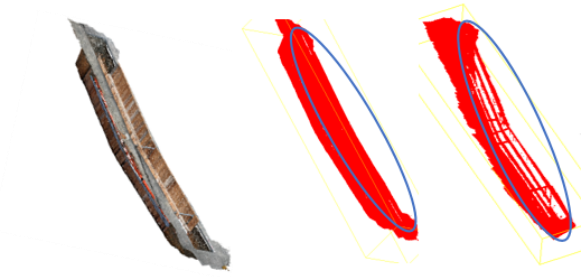


b)iPad で計測した実現場（夜間）の点群データ



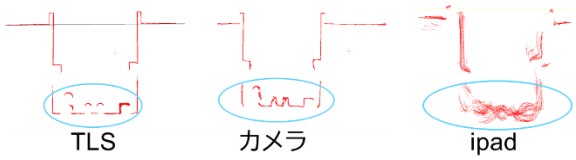
c)TLS で計測した仮設現場の点群データ

図 3　計測した点群データ

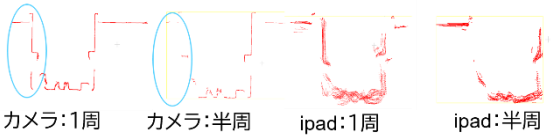


a)着色前の点群データ　b)1 周　c)半周

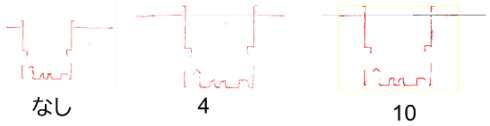
図 4　着色した点群データ



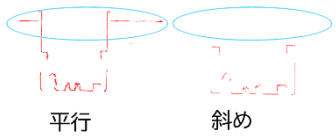
a)　機器ごとに比較した点群データの断面



b)　計測ルートを比較した点群データの断面



c)　マーカの数を比較した点群データの断面



d)　計測機器の角度を比較した点群データの断面

図 5　作成した点群データの断面

角度を平行に設定した際のデータである. 図 4c)は計測ルートを半周にした場合のデータであり, 図 4b)と比べて青丸部分に欠損が見られる. 同様の傾向は iPad での計測でも確認された. また, 計測機器の角度を平行と斜めで比較すると, 斜めに構えた場合に欠損が生じた. 一方, マーカの有無による差は認められなかった.

3.2　断面による比較

点群データの断面を作成し, 生成状況を比較するとともに土被りを計測した. 図 5a)は計測機器ごとの断面図である. TLS では管路 5 本を判別でき, カメラでもおおよその形状の把握が可能であったが, iPad では各管路を識別することは困難であった. 図 5b)は計測ルートの違いを比較したものであり, カメラ・iPad ともに半周計測では片側の点群データが取得できていないことが分かる. 図 5c)はマーカ数の比較であるが, 結果に差は見られなかった. 図 5d)は計測角度の比較であり, 斜めに構えた場合は地表部分が生成されなかった. なお, 管路の土被りは TLS を基準とすると, 誤差は 0.050 m 以下であった.

3.3　計測時間とデータ量

計測時間は TLS で 11 か所の計測に合計約 165 分を要し, カメラおよび iPad では 1 回あたり 2 分以内であった. ただし, カメラで計測したデータでは, SfM/MVS 処理を施す時間を 1 データあたり 20 分程度要する.

3.4　考察

機器ごとの違いとして, カメラは TLS に比べて点群の輪郭がやや不明瞭であり, iPad ではさらに不明瞭となることが確認された. TLS は高精度であるが, 計測時間が長く, 実現場で施工中に短時間で計測することが要求されるため不向きである. カメラは管路判別が可能な精度を有する一方, iPad では誤差が大きく断面から管路を判別できなかった. 断面を確認すると, いずれの機器においても管路部分の点群データは全体ではなく上半分のみ取得され, 活用には工夫が必要であることが分かった. ただし, 掘削部の概形は把握可能であり, 色情報を併用すれば管路位置の推定は可能と考えられる.

マーカの有無は計測精度に影響しないが, SfM/MVS 処理時の特徴点として有効である. 撮影角度については, 掘削部に対し斜めに構えると上部が欠損する. これは, カメラの画角に掘削部内部のみが収まるためと考えられる. そのため, 撮影角度は平行にすることが望ましい.

半周計測では片側の点群データが欠損しやすく, これは真下の計測が困難であるため掘削部側壁が撮影できないためと推測される. したがって, 計測ルートは地下埋設管の周囲を一周することが適切と考える.

4.　埋設管の管理方法の検討

4.1 管理手法の検討

3 章で構築したデータにより, 埋設時の管路の位置と形状を保存して, 活用することを考える. 点群データは色情報や管路の概形が一目でわかるため視認性が高い. ただし, 閲覧には専用のビューアが必要であることや管路のデータは類似のものが多く, 管路同士を判別しにくいことから, 地図上で位置情報や管路の種類などの属性情報と紐づけて管理するシステムを構築することが有効であると考える.

4.2　管理システムの設計方針

管理システムの構築のため, 以下の設計方針を定めた.

- システム利用者が地図と 3 次元データを同時に確認して地下埋設管の位置関係を俯瞰的に把握できる
- 埋設管路の点群データを 3 次元空間上に配置して道路管理者が閲覧できる
- 点群データと紐付けられた属性情報を各管理団体が管理して閲覧できる

システムのイメージを図 6 に示す. システムの利用者には道路管理者と設備管理者を想定する. 点群データは

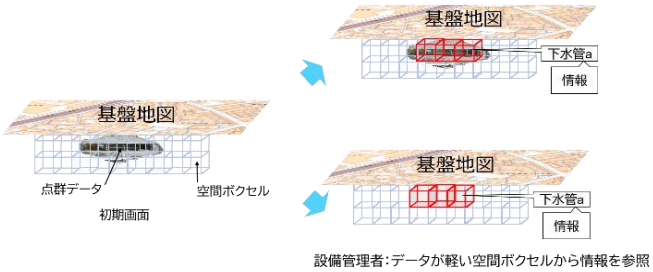


図６　システムイメージ

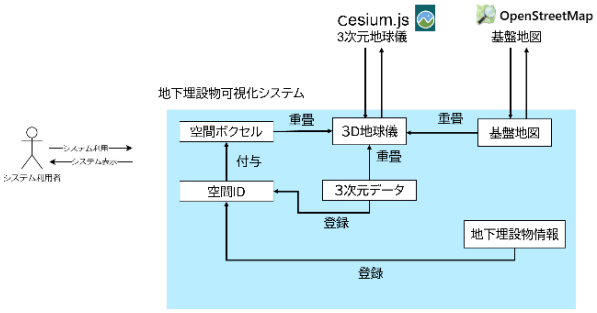


図７　システム構成図

点の集合であるため，情報を紐づける点の範囲を特定しにくいという課題があり，点群データと埋設管の属性情報とを紐づけることが難しい．そこで本システムでは，空間ボクセル，空間 ID と点群データを用いた 3 次元データの管理手法を提案する．空間ボクセルは，3 次元空間を一定間隔で格子状に分割し，各セル単位で情報を管理する手法であり，経済産業省らが 4 次元時空間情報利活用のための空間 ID ガイドラインを発行しており，命名規則や大きさの基準を定めている [3]．各ボクセルには一意の空間 ID を付与して，点群データを空間的に区分しつつ，他の属性情報と容易に連携することが可能となる．また，点群データはデータ量が大きくシステムの描画負荷が高いという欠点があるが，空間ボクセルと属性情報を紐づけておけば，設備管理者が管路の情報のみを参照する際には点群データではなくボクセルから管路の情報を参照でき，点群データとボクセル，属性情報を参照してシステムを利用するシーンとボクセルと属性情報のみを利用できるシーンの使い分けが可能となる．

４.３　管理システムの構成

システム構成図を図 7 に示す．空間ボクセル，管路の点群データである 3 次元データと基盤地図を同時に表示するために，3 次元地球儀に 3 次元データ基盤，空間ボクセル，基盤地図を重畳する．投影する 3 次元地球儀としてオープンソースの java script のライブラリである Cesium.js を用い，基盤地図としてオープンソースの地図である Open Street Map を用いる．また ID をボクセルと紐づけ，管路の情報と基盤地図，点群データ，ボクセルを同時に確認することが可能になる．

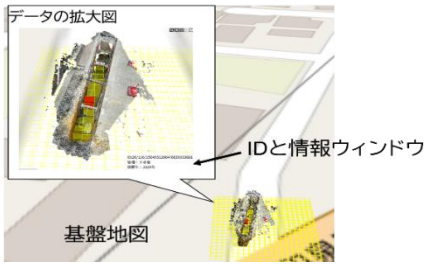


図８　システムの可視化例

４.４　埋設管の可視化

本節では，４.１節で述べた空間ボクセルと空間 ID による管理システムの構築のプロトタイプとして，空間ボクセルと埋設管を 3 次元に可視化する．可視化には Cesium.js を用い，実現場の航空写真を背景に，取得した点群データと空間ボクセルを重ねて表示した．図 8 にその可視化例を示す．点群データに位置情報を付与し，Cesium に用意されている地球儀上に表示して，用意した一定の大きさの空間ボクセルとともに表示した．ボクセルは埋設管の点群データに重なるように縦 20，横 20 の計 400 個を配置した．埋設物と重なっている箇所には視認性が良くなるように薄い黄色で着色して見えやすくするようにした．また，選択した部分のボクセルは赤く着色され，ボクセルの ID と管路の情報が表示される．ボクセルのサイズは 1 辺 0.5m とした．ボクセルにはガイドラインの命名規則に則って緯度，経度，標高，ボクセルの大きさから ID を割り振った．

５．　おわりに

本研究では，埋設物の点群データの計測方法を提案し，計測したデータを管理するためのシステムを検討した．システムに登録する埋設物の情報は空間ボクセルに対応した空間 ID に直接情報を連携し，可視化するのみにとどまっている．今後は連携する情報のデータを定義し，データベースと連携して情報を共有するシステムを目指す．

参考文献

1) 岩渕誠・津田貴生（2010）埋設物による諸問題（損傷事故、手戻り）防止の取組み，東北地方整備局管内業務発表原稿<https://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/k00360/happyoukai/H22/ronbun/1-1.pdf>(2025.7.21 閲覧)
2) 中村栄治・山本義幸（2018）点群による下水管路の可視化システム～維持管理の効率化のために～，「土木学会論文集 F3（土木情報学)」，74，(2)，71-78.
3) 経済産業省・国土交通省・国土地理院・国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 独立行政法人情報処理推進機構(2025)「4 次元時空間情報利活用のための空間 ID ガイドライン 1.0 版)」<https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/Individual-link/nl10bi000000377d-att/4dspatio-temporal-id-guideline.pdf>(2025.8.21 閲覧)