

令和元年6月20日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06450

研究課題名(和文) 下水管路の可視化によるストックマネジメンター住民と効率化のためにー

研究課題名(英文) Visualization of sewer systems for reducing stock management costs and improving public understanding

研究代表者

中村 栄治 (NAKAMURA, Eiji)

愛知工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：50298460

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：下水管の埋設状況と過去の検査結果を、現場の地上にしながら容易に確認できるシステムを開発した。

地上の風景と地中に埋設されている下水管のCADモデルを統合して両者を点群として表し、ビューワ上で点群を地上から地中へと視点を移動させながら表示し、スクリーンキャプチャによりビデオクリップを作成し、クラウド上のデータベースに保存する。ビデオクリップを携帯端末で閲覧することにより、地中での下水管路の埋設状況を、地上の建物との関係や、人孔と下水管の連結関係を3次的に容易に把握できるようになる。さらに、過去の下水管内の検査結果(異状箇所や管内を撮影した動画)を携帯端末で参照できるシステムである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

下水施設の健全な運用は現代社会の至上命題の一つである。自治体の財政が縮小する昨今、一般市民に支持される下水施設の管理(ストックマネジメント)が強く求められている。具体的には、下水施設の維持管理業務の効率化と、一般市民による下水施設の理解の増進である。本研究では、下水管の埋設状況と健康状態を容易に視覚的に把握できるデータベースシステムを構築した。下水施設管理者においては、このシステムを利用することで維持管理業務の効率化を図ることができる。一般市民においては、地中に埋もれていて目に見ることができない下水施設を視覚的に理解できることにより、下水施設への理解が進むものと期待できる。

研究成果の概要(英文)：A point cloud based visualization system of sewer pipe networks was developed based on point cloud data in order to reduce their maintenance and operation costs and improve public understanding. Two types of point cloud data were generated. The first type is a point cloud data set obtained via images taken mainly by a UAV mounted camera flying over a college campus. The second type is a data set generated from 3D CAD models of sewer pipe networks found in the campus. These two types of data sets were merged into one hybrid data set by which the sewer networks can thus be visualized in relation to buildings, roads, and other objects above the ground.

The data base also stores the results of sewer integrity studies such as inspection video clips and damage lists. The developed system can present automatically proper section of sewer pipe networks based on current locations calculated from GPS signals received by a smart phone.

研究分野：土木情報学

キーワード：点群 CAD 下水管路 スtockマネジメント

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

24時間365日、日本を休むことなく支えている社会基盤でありながら、日常では直接「目にすることがない」ためか、一般市民には存在価値を正しく理解されていない、それが下水道インフラである。わが国における下水道管の総延長は45万Kmに及び、稚内鹿児島間の87往復にも相当する長さである。下水道管に起因する道路陥没事故が年に3500件も起きており、下水道施設の維持管理や更新は現代社会での喫緊の課題である。最大の問題は、昨今の国や地方自治体の厳しい財政状況や、水道関係職員や民間を含めた水道関連技術者の減少も重なり、十分な資源を下水道施設の維持管理や更新に充てることができないことである(国土審議会、H25年)。この現状を踏まえると、下水道施設(ストック)の管理(マネジメント)、つまりストックマネジメントを効率的かつ計画的に行うことが、持続可能な社会に向けた重要な課題になっている。

### 2. 研究の目的

下水施設の健全な運用は現代社会の至上命題の一つである。自治体の財政が縮小する昨今、住民に支持される効率的かつ計画的な下水施設の管理(ストックマネジメント)が強く求められている。この課題を解決するために、本研究では、地上にしながら透視するように下水管路の現況を効率的に把握でき、計画的な下水管路の修繕や更新のために最新の診断結果を活用でき、住民には下水管路の管理状況をわかりやすく説明できる技術を開発することが目的である。

### 3. 研究の方法

本研究では、地物も含めて下水管路を3次元的に一体化して表現することにより、地上からでも「透視」するように下水管路の現況を効率よく把握でき、修繕や更新を計画的に行うために最新の診断結果を活用でき、住民にも下水管路の現況をわかりやすく説明できる技術を開発する。申請者の勤務する大学のキャンパス(34万㎡)の下水管路を題材にして研究する。その理由は、(1)閉じた法人所有地であるため、制約されることなく地物の計測や下水管路を調査できるなど、障害なく研究を進めることができる、(2)キャンパスには一般的な都市に見られる下水道施設をすべて備わっており、現実社会を反映した研究ができるためである。研究期間内に以下のことを行う。

#### (1) 3次元点群の生成とCADデータの作成

建物や道路の3次元点群は、レーザ計測に比べ計測効率に優れる写真計測により生成する。写真計測では、被写体を複数の異なる位置から撮影することで、被写体を実空間の3次元座標を持つ点群として復元できる。下水管路は3次元CADにより、下水管とマンホールに分けて立体的に作成する。

#### (2) 3次元点群とCADデータの統合による可視化

下水管路のCADデータを3次元点群に変換し、地物の3次元点群と統合する。これにより、図1に示すように、建物や道路と下水管路を3次元点群として一体的に表示できる。地上から下水管路が「透視」状態となり、下水管路が可視化される。

#### (3) 調査結果のデータベース化

一般的に下水管路の調査結果は、文章・表・グラフ・写真は印刷物として、管内を撮影したビデオはDVDに保存される。結果を現場で参照しながらの作業は容易ではなく、まして新たに判明した調査内容を追加することはできない。この問題を解決するために、調査結果のデータベース化を行う。

#### (4) 3次元点群とデータベースの連携

計画的に下水管路を管理するためには、必要なデータを調査結果から効率よく閲覧できる必要がある。3次元点群で表された下水管路を手掛かり(ユーザインタフェース)にすることで、計画的に下水管路を管理できるよう、3次元点群と調査結果のデータベースを連携する。

### 4. 研究成果

#### (1) 3次元点群の生成とCADデータの作成

地上点群の生成手順の流れと下水管路CADモデルの作成および点群化の流れを図1に示す。

##### UAVによる写真撮影

カメラを搭載した機動性の高いUAVを高度30~35mまで上昇させて上空から写真撮影を行った。1回のフライトでの撮影時間は、バッテリー容量と機体の総重量の兼ね合いから、せいぜい10分が限度であるため、キャンパス全体を撮影するために200回以上UAVを飛行させる必要が

あった．写真撮影にはリコーのコンパクトデジタルカメラ GR ( 固定焦点 ) を使い，秒間 2 コマで連続撮影した．

### 死角への対応

UAV からの空撮では，場所により樹木や建物にさえぎられて死角が発生することが多い．このような場合には，死角となった場所をカメラを手に持って歩きながら秒間 2 コマで連続撮影した．最終的には 56 か所において歩行での撮影が必要であった．

### 点群の生成

UAV の飛行区域が隣接する領域においては，数回のフライトで撮影した写真を一つのグループとし，グループごとに SfM ベースのソフトウェアにより使い点群を生成した．地上を歩きながら撮影した写真についても，連続した領域ごとにひとまとめにして点群を生成した．最終的に生成された点群の総容量は約 68 億点であった．各点は 3 次元座標値 ( x, y, z ) と 3 原色の輝度値 ( r, g, b ) から構成される 6 次元ベクトルである．輝度値はいずれも 0 ~ 255 の間の整数値である．

### 点群の座標変換

道路上の白線や地上の特徴のある場所を標定点とし，それらのグローバル座標 ( 日本平面直角座標第 VII 系 ) を RTK-GPS 機器 で測量した．点群上で複数 ( 同一平面上にない点で 4 点以上 ) の標定点を選び，それらのローカル座標と地上でのグローバル座標の対応関係について，最小二乗法により座標変換行列として求め，この行列を使って点群全体のグローバル座標値を算出した．得られた点群によるキャンパスの全景を図 2 に示す．

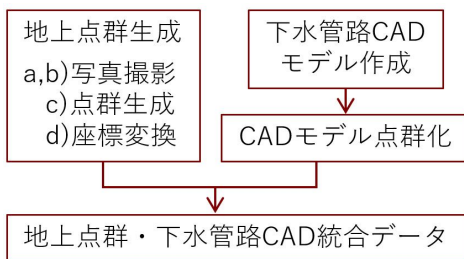


図 1 点群データ生成の流れ



図 2 点群データによるキャンパス全景

### 下水管路 CAD モデルの作成

下水管路の CAD モデルを 3 次元 CAD ソフト ( AutoCAD ) で作成した ( 図 3 ) . CAD モデルを作る上で必要となるパラメータは次のようにして決めた．人孔蓋の中心のグローバル座標を RTK-GPS 機器で測量することにより，人孔の位置を決定した．人孔の形状やサイズ等は，大学事務局に保管されている下水管の検査記録を参考にして設定した．この記録には，下水管路の検査のために現物を実測した結果が記されている．人孔間を繋ぐ下水管の管頂深と管径についても，上記検査記録を参考にして設定した．

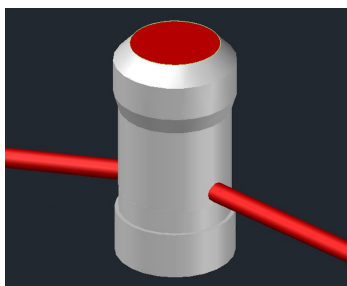


図 3 CAD モデル

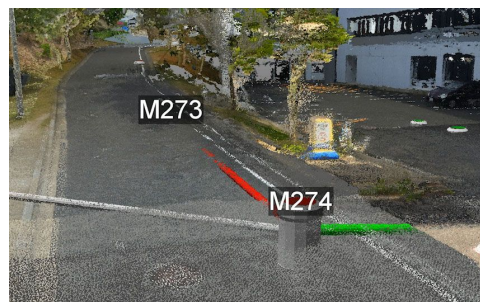


図 4 統合データの一例

### ( 2 ) 3 次元点群と CAD データの統合による可視化

図 1 のデータ生成の流れに示すように，最終的には地上の点群と下水管路 CAD を統合する必要がある．そのためには，OBJ 形式の下水管路 CAD モデルを点群ビューワが扱うことのできるよう UDS と呼ばれる形式の点群に変換する必要がある．Euclidean の Geoverse Convert を使い OBJ 形式から UDS 形式へ CAD モデルを変換した．この処理により，地上の点群と下水施設の CAD モデルが統合されたことになる．地上から車道を見下ろす視点で下水管路を透視した例を図 4 に示す．M273 と M274 は人孔の ID である．M274 の人孔には合計 3 本の下水管が接続されており，M273 と M274 の人孔が一つの下水管で接続されていることを示している．

点群ビューワであれば任意の視点で点群を見ることができる。しかし、大容量の点群を携帯端末で表示できるアプリは今だ発表されておらず、技術の進歩を待たざるを得ない状況である。仮に携帯端末で点群を表示できたとしても、その容量の大きさから通信路に負荷がかかることになり、実用的な速さで目的とする視点で点群を表示させることが困難と予想される。このような理由により、PCで動作する点群ビューワ（詳細は後述）で点群を視点を変えながら表示させ、景観動画を生成することにした。

### (3) 調査結果のデータベース化

下水管内部の状態をロボットにより検査した調査記録（図5）には、隣接する人孔をつなぐ下水管ごとに、管内部のビデオ映像がDVDに保存されているとともに、木の根の侵入や管のひび割れなどの異状箇所が一覧表にまとめられ、DVDと合わせてバインダに綴じられている。異状は9種に分類され、その程度はA～Cのランクで評価されている（図6）。検査結果のビデオ映像はDVDフォーマット（チャプタ構成）で保存されているため、上流人孔と下流人孔のペアごとにビデオ映像を切り出し、配管動画を作成した。異状についてはエクセルに記録しCSV形式で保存した。

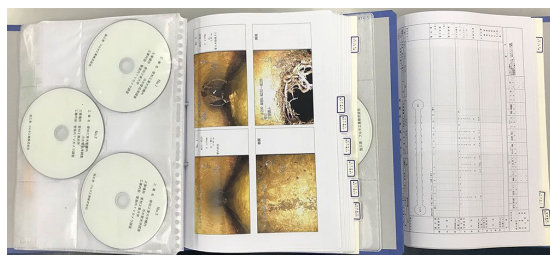


図 5 下水管の調査結果

異状種別				
侵入水 侵入水跡	隙間 ズレ	破損 クラック	木根 侵入	モルタル 油脂
取付管 突出し	たるみ	腐食 鉄筋露出	その他	
異状ランク				
A (程度が重い) ～C (程度が軽い)				

図 6 異状種別とランク

データは2つのデータベーステーブルで管理するように設計した。1つ目のテーブルは人孔に関するデータを管理しており、8つのカラム（列）を持つ。具体的には、人孔のID（第1カラム）、グローバル座標（x, y, z）（第2～4カラム）、緯度・経度・標高（第5～7カラム）、人孔蓋の写真のファイル名（第8カラム）が人孔ごとに各行に保存される。2つ目のテーブルは人孔間を繋ぐ下水管路に関するデータを管理しており、34のカラムを持つ。具体的には、第1カラムには上流の人孔ID、第2カラムには下流の人孔IDが記録される。第3カラムには下水管内を撮影したビデオクリップ（後述、以降配管動画と呼ぶ）のID、第4カラムには地上と下水管路の点群についての配管動画のファイル名が記録される。第5カラム以降には下水管内の亀裂などの異状の種別と度合（図6）が保存される。

### (4) 3次元点群とデータベースの連携

#### 公衆回線を経由したデータの流れ

ネットワークから見たシステム内でのデータの流れを図7に示す。維持管理に携わる技術者（ユーザと呼ぶ）は機能1と機能2の両方を使うことができるよう、携帯端末にインストールされたアプリを使い、公衆回線を通してデータベースサーバにアクセスする。新規データの登録やデータの変更を行うサーバ管理者は、PCのWebブラウザを使ってデータベースにアクセスする。データはHTTPS13)プロトコルを使って送受信される。

#### サーバソフトウェアとデータの受け渡し

サーバソフトウェアはLinux（CentOS 7）のOS上で動作し、携帯端末とサーバ間での要求と応答はWebサーバソフトウェアであるApacheで行う（図8）。データベースサーバソフトウェアはPostgresを採用した。携帯端末からの要求はPHP言語により記述されているため、Apacheでその内容を処理し、Postgresへクエリ（SQL文）を渡す。Postgresではクエリに応じて必要なデータをデータテーブルから取得して、Apacheに応答としてデータを渡す。Apacheではクエリ応答の内容に応じたデータ型で記述されたデータを携帯端末に返信する。具体的には、画像であればJPEG形式、動画（ビデオクリップ）であればMP4形式、その他のデータ（文章、表など）であればJSON形式となる。

#### データベース管理

新規にデータを追加、あるいはデータを修正するには、Webブラウザを使ってデータベースサーバにログインし、表示されるユーザインタフェースの指示にしたがって必要な操作を行う。図9にユーザインタフェースの一部を示す。図9は、IDがM932である人孔に関するデータをアップロードする例である。アップロードするデータに応じてボタンをクリックする。

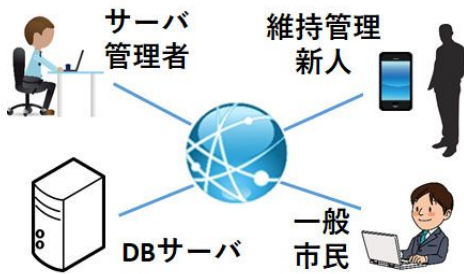


図 7 公衆回線目を通した流れ

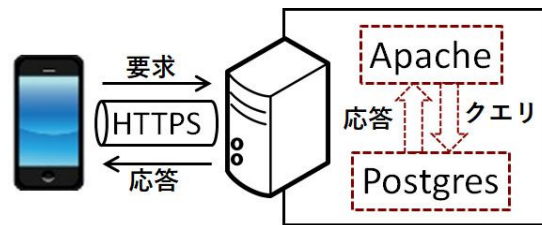


図 8 データの受け渡し

(5) ストレスフリーでスピーディーな下水管路情報の確認機能の実現

現場周辺の下水施設の自動選択

ユーザはデータベースに公衆回線を通してアクセスでき、本研究で開発したアプリがインストールされている携帯端末を現場に持参する。素早く容易に目的とする下水施設の情報を得られるよう、自動的に現場周辺の下水施設がアプリに表示されるようにした。携帯端末での位置計測には10m単位での誤差が生じる場合もあるが、多く現在地からずれている場合には、表示されている建物のフットプリントを手掛かりにして、画面をタップして指で表示領域を移動させることができる。図10に示すように、ピンをタップすることで、その人孔の蓋の写が表示される。蓋の特徴(種類や模様など)を最終的な手掛かりとして、目的とする人孔を特定することができる。

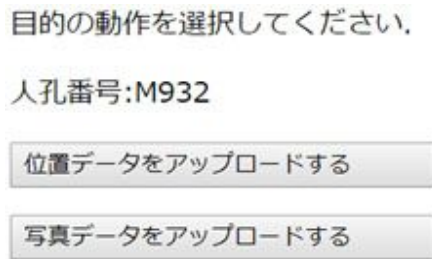


図 9 アップロード選択画面



図 10 選択した人孔蓋の表示

目的とする管内状況の確認と埋設状況の確認

画面に表示された人孔蓋(図10)を選択すると、この人孔に接続された下水管の一覧が画面に表示される。その中から目的とする下水管を選択すると、当該の下水管の調査により得られた管内のビデオ映像を確認することができる(図11)。つまり、地上にいながら管内の状況を容易に知ることができる。さらに、図12に示すように、地上点群と下水管CADモデルからなる統合データをビデオ映像として確認することもできるため、下水管の埋設状況を地上環境との関係で容易に把握することができる。



図 11 管内動画の一例



図 12 下水管の埋設状況を示す動画の一例

## <引用文献>

- Hartley, R. and Zisserman, A. : Multiple View Geom-etry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2002  
小白井亮一：わかりやすいGPS測量，オーム社，2010  
小白井亮一：わかりやすい測定の数学 行列と最小二乗法 ，オーム社，2016.  
株式会社きもと：Geoverse, <<https://www.kimoto.co.jp/business/datakitchen/3ddata-2-2>> , (2018.10.26 アクセス)  
小林恭平：Web 技術の基本，SB クリエイティブ，2017  
14) ミック：SQL 第2版ゼロからはじめるデータベース操作，翔泳社，2016

## 5 . 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計1件)

中村栄治，山本義幸，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)，土木学会，査読有，74巻，2018，pp. 11\_71-11\_78

### 〔学会発表〕(計2件)

中村栄治，山本義幸，点群とCADのハイブリッドデータを利用した下水施設可視化システム，2018年度土木情報学シンポジウム講演集，土木学会，43巻，2018，pp.305-308

中村栄治，山本義幸，成澤守，大森高樹，地下街のレーザ計測と点群データの利活用について，第22回地下空間シンポジウム講演集，土木学会，22巻，2017

### 〔図書〕(計0件)

### 〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

### 〔その他〕

ホームページ等

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。