

3Dスラム式ハンディーレーザースキャナを用いた 微地形を考慮した浸水対策の事例

(株)アスコ大東 向本 敏美

論文要旨

3Dスラム式ハンディーレーザースキャナ(以下、レーザースキャナと呼ぶ)とは、小型の三次元計測器のことで、レーザを照射して自己位置と対象物の距離を測定するとともに、同時に基図作成等に必要となる点群データの処理を同時に行うことができるものである。一般的にLPデータや国土地理院の基盤地図情報の数値標高モデル(5.0mメッシュ)を用いて氾濫解析モデルを構築すると、5.0mメッシュでは段差や縁石などによる凹凸の変化などが現れにくい。しかし、このレーザースキャナを用いることにより、広範囲に微地形標高データを面的に瞬時に取得することができる。さらに、このデータで浸水解析をすることで微地形による浸水原因の特定、浸水対策の評価が可能であることが分かった。

キーワード: レーザースキャナ, 点群データ, 氾濫解析モデル, 浸水対策

まえがき

国土地理院の数値標高モデル¹⁾には、航空レーザ測量と写真測量の2種類の作成方法がある。そのうちの写真測量の範囲に該当すると標準精度は、70cm以内ということもあり同5.0mメッシュの航空レーザ測量と比較すると40cm程度の誤差があり精度が荒くなる。狭い範囲において精度の高い浸水対策を検討する上では、精度向上に繋がるレーザースキャナが有効であると考えた。本論文は、このレーザースキャナを用いて広範囲の地形データを漏れなく取得し、浸水解析を実施することで浸水原因を特定した結果を述べたものである。

1. 微地形データの取得

(1) 機器の概要

レーザースキャナは、表-1に示すとおりUAV(Unmanned aerial vehicle、無人航空機、ドローン)のレーザ計測、MMS(Mobile Mapping System、移動計測車両による測量システム)、固定式のものやハンディータイプのものがある。UAVは、遠隔操縦により上空から測量を行うため、公園内であれば短時間で測量することができるが、航空法や条例により規制されることがあることに加え、樹木などがあると地盤までレーザが届きにくくなる傾向がある。MMSは、車体の上にレーザを積んでいるため、道路に面しているところは測量できるが、車両が中に入り込めないところはレーザが届きにくく精度が著しく低下する。固定式は、安定した精度の測量が可能であるが、障害物がある場合は死角ができるため、数箇所から測量が必要であり時間がかかる。ハンディータイプは、GPSデータを必要とせず、連続してスキャンできることが特徴である。片手で持って歩きながらリアルタイムで点群データ(ポイントクラウド)を取得し、3Dモデルを作成することができるため、樹木の下や地下歩道なども測量が

可能である。本論文では、簡単にめれなく精度の良い地形データが取れるため、ハンディースキャナの機器を採用した。

表-1 レーザースキャナの種類

項目	内容	採用
UAV (レーザ計測)	上空から測量を行う。市街地での飛行に制限を受け、地盤高データ取得の際は樹木などの影響を受ける。	×
MMS	車体の上に積載し、移動しながら測量を行う。道路近傍は取れるが、車両が入り込めないところは取得が難しい。	×
固定式	固定設置して測量を行う。障害物がある場合、死角ができるため切り替えが多く時間がかかる。	△
ハンディータイプ	手で持って移動しながら計測することができるため、死角が出来にくい。	○

本論文は、ハンディータイプのレーザースキャナとしてKAARTA社製のStencil(写真-1)²⁾を使用した。写真-1の上段の円柱部分にあたるのがレーザースキャナになっており、青色箇所から水平方向に対し360°全方位、垂直方向に対し30°(上下±15°)のレーザを放出することで対象物との距離を計測する。下段のボックス部分はIMU(Inertial Measurement Unit、慣性計測装置)になっており、6軸センサーで自己位置の情報を処理する。本体横に付属しているカメラは、対象物の特徴点を見つけるために使用される。これによって本体がレーザだけでは分かりにくい平らな構造物であっても特徴点を見つけ出し、データ合成の処理を行うことができる。レーザースキャナ製品の概要は、表-2、表-3に示すとおりである。



写真-1 レーザースキャナ外観

表-2 レーザースキャナ本体(Stencil)

項目	仕様
OS	Ubuntu Linux OS
CPU	Intel NUC i7 Dual Core
IMU	MEMS ベースの IMU を内蔵 200Hz 6 軸センサー (DOF: X, Y, Z, Roll, Pitch, Yaw)
ストレージ容量	250 GB SSD
出力フォーマット	ply
質量	700g

表-3 レーザー(Velodyne VLP-16)

項目	仕様
センサータイプ	16 個のレーザー+検出器
測定範囲・測定視野	水平 360° 全方位、垂直 30° (±15°)
測定距離	約 100m (1m~100m)
測定スピード	5~20Hz
測定ポイント数	約 30 万ポイント/秒
測定精度	±3cm
角度分解能	水平 0.1° ~0.4° 垂直 2.0°
測定距離方式	LIDAR TOF 方式
レーザークラス	Class 1 Eye Safe
質量	830g

(2) 現地の概要

本論文に適用した現地は、公園の間に南北の道路が走り、西公園と東公園に分かれている。大雨が降った際に東公園にある既設水路から溢れた水(図-1の溢水発生地点)が北側へ流れ、さらに南北道路を横断して道路の縁石を越流すると言われている(図-1の越流実績箇所)。越流した雨水は、西公園へ流れて最終的には地下歩道まで水が到達し、地下歩道内の浸水原因となっていた(図-1の地下歩道浸水発生)。

(3) 微地形データの計測

公園内(約2.0ha)の地表面データを取得するため、レーザースキャナを使用して公園内を図-2のルート(写真-2)を2回計測した。計測方法は、写真-2に示すようにレーザースキャナ本体を片手で持ち、高さを維持しながら歩くものである。



写真-2 測量状況写真

1回目は、Loop Closure (ループ処理) というグローバル補正が可能なマッピングを行うために、公園内の外周を回り開始点と終了点が同位置になるように計測した。このループ処理によって、開始点と終了点の位置と高さ関係が合うよう補正され、全体のバランスが調整される。その後、1回目と2回目の開始点との座標の紐付けを行った。

2回目は、同位置から公園の内側を計測することで、公園内にある樹木や構造物等で1回目のレーザー計測で死角がでるところを補うように計測した。

計測時間は、1回目と2回目の演算処理も含めて全体で40分程度であった。

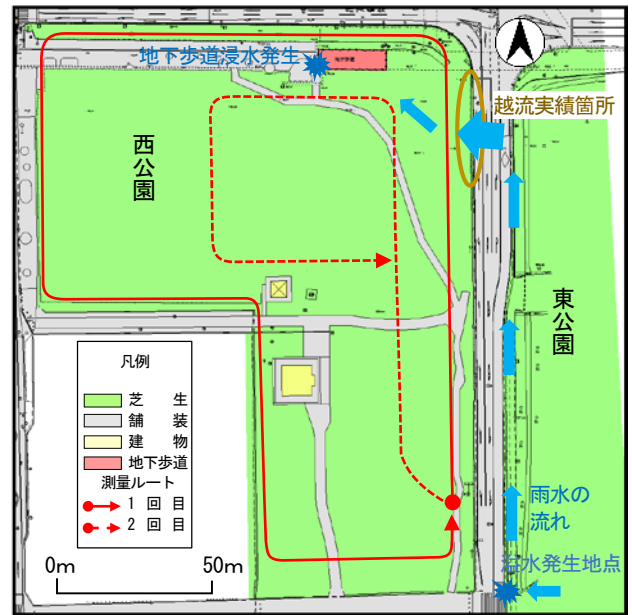


図-1 検討箇所図

(4) 氾濫解析モデルに用いるデータの作成

計測した微地形データの点群(ポイントデータ)は、図-2、図-3に示すとおり、図-1の平面図と一致していることが分かる。この点群データは、公園内の樹木や道路を走る通行車両などが含まれているため、浸水解析用にそれらを除いたグラウンドデータ(地盤高データ)を作成し、XYZ データを生成した。さらに、Stencilのレーザースキャナ自体は、GPSのような位置座標をもたないため、1/2500都市計画図の標高点(X座標、Y座標および標高値)を基準として用い、出力されるPLYデータを世界測地系に変換した。

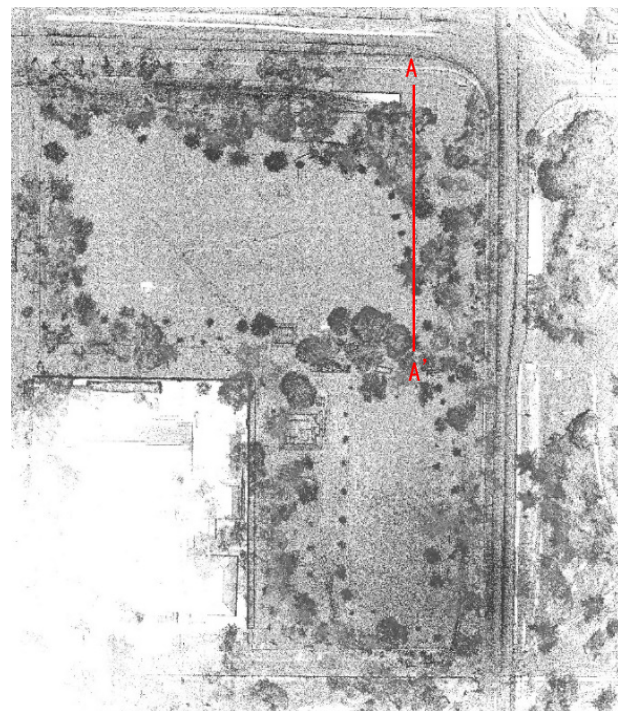


図-2 計測した微地形データ(点群、平面図)

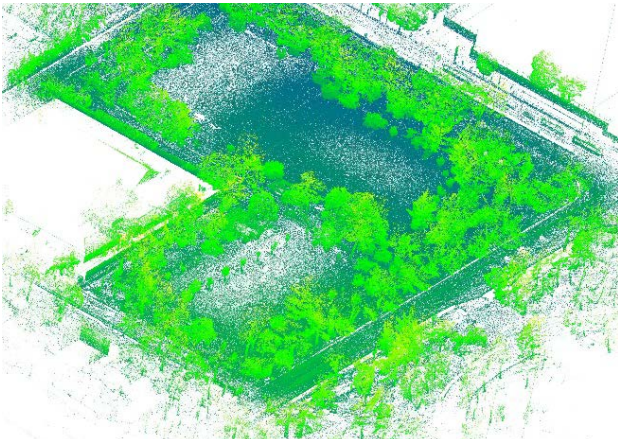


図-3 計測した微地形データ(点群、鳥瞰図)

(5) 数値標高モデルとの比較

図-4の国土地理院の数値標高モデル(5.0mメッシュ)と計測した微地形データを比較すると、微地形データの方が微細な地形的特徴を精度良くとらえていることが分かる。数値標高モデルが写真測量の範囲に該当しているため、標準精度が70cm以内あることから標高分布に違いが生じた。

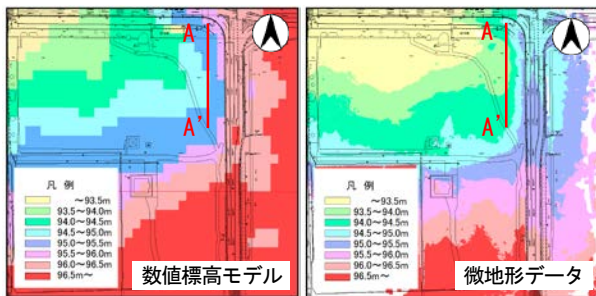


図-4 数値標高モデルと微地形データ 標高データ

次に、図-2のA-A'断面の位置で国土地理院の数値標高モデル(5.0mメッシュ)の標高点、計測した微地形データの標高点および実測横断測量データを比較した結果を図-5に示す。なお、図-5は、縦横比を5倍にして高低差が明瞭になるように表している。

数値標高モデルは、実測横断測量データと比較すると大きく異なる。計測した微地形データは、実測横断測量データの起伏に近く、標準偏差は16cmであった。国土地理院の数値標高モデル(5.0mメッシュ)の航空レーザー測量の標準偏差30cmであるため、微地形データの方が現地の状況に近いことが分かる。

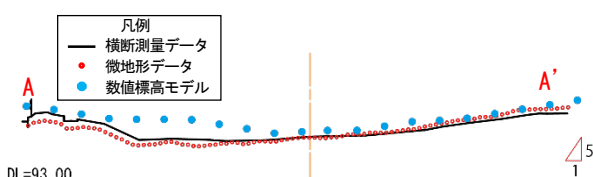


図-5 横断面図(図-2のA-A'断面)

2. 微地形データを用いた浸水解析の実施

(1) 浸水解析手法

本論文では、流出解析モデルで一般的に用いられるソフトウェアのうちのInfoWorks ICM(旧名:InfoWorks CS(インフォワークス・シーエス))を用いて検証を行った³⁾。先ほどの点群データを用いて地表面をメッシュ分割することで、隣接するメッシュ間の水の移動により溢れた雨水の平面二次元(XY方向)への移動・拡散現象を解析できるものである。図-6の氾濫解析イメージ図にあるように溢水した水が地表面上を流れていくが、InfoWorks ICMでは、地表面のメッシュが三角メッシュとなるため、使用するグラウンドデータを5.0m~10.0mのメッシュサイズで変換した。

解析に用いた降雨条件は、表-4に示すとおり10分最大雨量が9.5mm、総雨量70.5mmの実績降雨を使用した。図-7に使用する実績降雨のハイトグラフを示す。

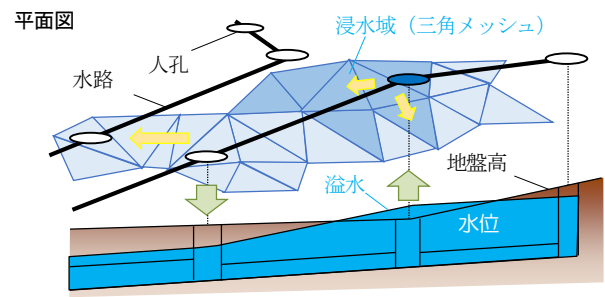


図-6 氾濫解析イメージ図

表-4 解析使用降雨

使用降雨	10分最大雨量 (mm)	時間最大雨量 (mm)	総雨量 (mm)
実績降雨	9.5	33.5	70.5

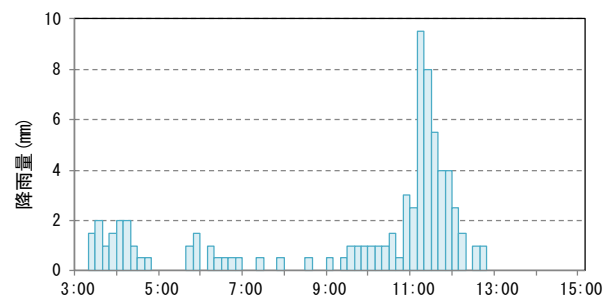


図-7 実績降雨 ハイトグラフ

(2) 浸水解析ケースの設定

浸水解析は、2ケースを行い、Case1は地表面に国土地理院の数値標高モデル(5.0mメッシュ)を使用し、Case2は地表面に微地形データ(レーザースキャナの測量データ)を使用したものである。

3. 浸水解析による微地形データの精度検証

Case1 と Case2 の解析結果を比較する。Case1 では、地下歩道への浸水が確認できてはいるものの、越流実績箇所よりも上流から西公園へ水が移動し、越流実績箇所からの浸水が再現できなかった(図-8)。Case2 は、測量時点では越流実績箇所に簡易な浸水対策として現地で土嚢を積んでいたため、その分越流量が少なくなっているが、越流が起こると地下歩道まで水が流れていることを確認することができた(図-9)。次に、図-10 に両ケースの時系列における溢水状況を示す。Case1 の数値標高モデルは、東公園の途中に窪地が形成されており、下流まで水が流れずに滞水していることが分かる。Case2 の微地形データは、溢水開始から 20 分後間には下流まで水が流れて 40 分後に道路を横断している。現地状況を確認しても滞水が起こるような窪地はなく、Case2 のように緩やかに北側へ流れる勾配であった。

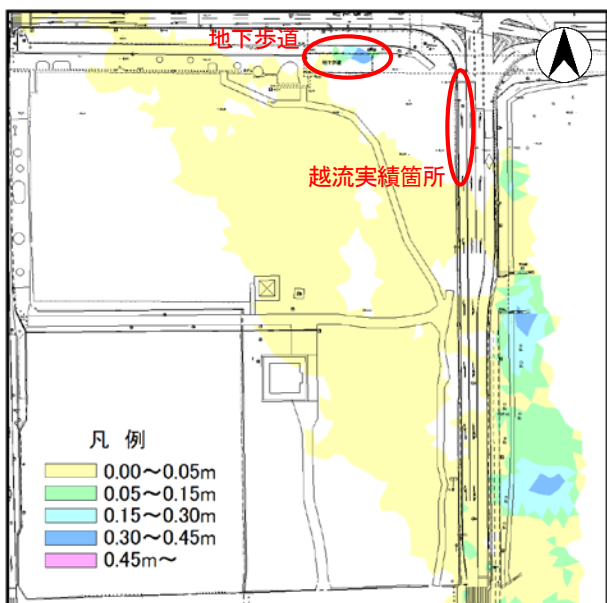


図-8 Case1 解析結果 (最大浸水深)

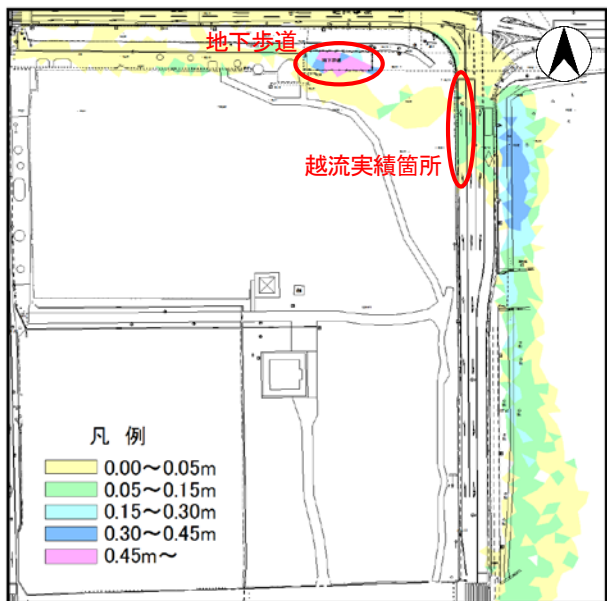


図-9 Case2 解析結果 (最大浸水深)

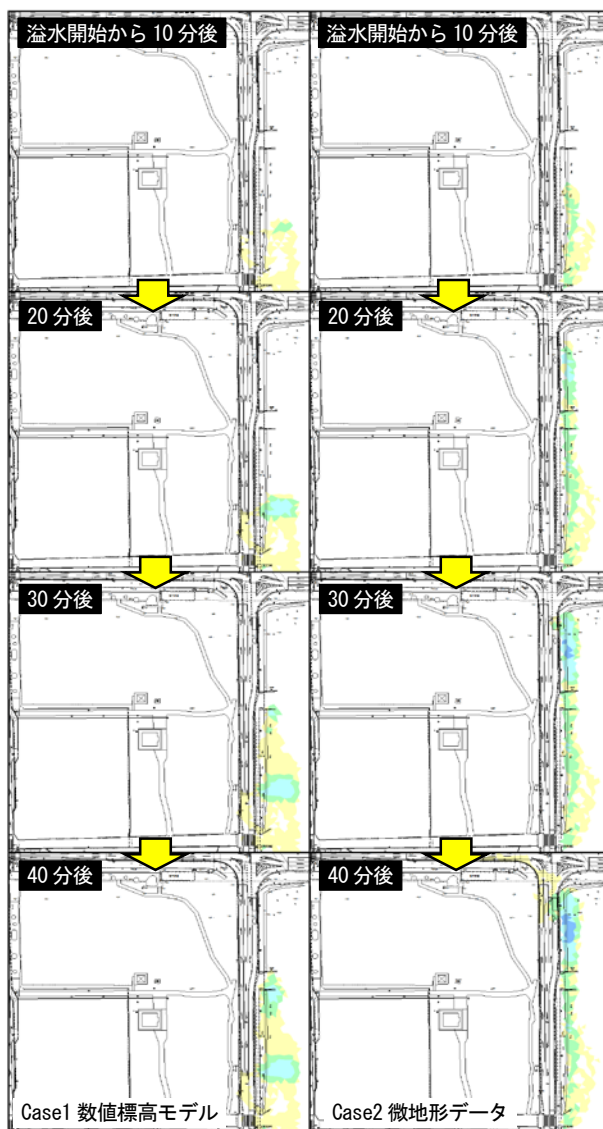


図-10 溢水状況図 (時系列浸水深)

4. 結論と考察

今回の検討によりレーザースキャナを用いて微地形を考慮した浸水を精度良く再現することができ、短時間で対策案の検討が可能であることが分かった。レーザースキャナは、比較的安価で簡単に精度の良い地形データが取れるため、浸水解析の検討では十分に活用できる。

あ と が き

今後の展望としては、レーザースキャナを使用することで地下歩道の内部空間もモデル化することが可能であるため、地下歩道内の浸水影響について検討していきたい。

参考文献 (または引用文献)

- 1) <http://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 2) <http://www.kaart.com/>
- 3) 流出解析モデル利活用マニュアル(雨水対策における流出解析モデルの運用手引き), 公益財団法人 日本下水道新技術機構, H29. 4. P7-9