モバイル端末を活用したまち歩き点検を想定したバリア等計測の精度に関する検証

中村　祐太[1]・江守　央[2]・佐田　達典[3]

[1]学生会員　日本大学大学院理工学研究科（〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1）
E-mail: csyu22009@g.nihon-u.ac.jp

[2]正会員　日本大学理工学部（〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1）
E-mail: emori.hisashi@nihon-u.ac.jp (Corresponding Author)

[3]正会員　日本大学理工学部（〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1）
E-mail: sada.tatsunori@nihon-u.ac.jp (Corresponding Author)

現在，歩行空間を中心にバリアを発見，共有するまち歩き WS が各地で行われている．従来手法ではバリアは画像と地図により共有がされる．一方で，近年になり自由視点かつ寸法等情報の付与が可能な点群モデルの活用が行われるようになっている．中でも安価かつ計測が容易なモバイル端末 LiDAR による点群計測が検討されている．しかし，モバイル端末 LiDAR を用いたまち歩き WS の事例は少なく，バリアの寸法等の必要な情報の計測精度の検証が十分に行われていない．そこで，本研究ではバリアの寸法に着目し，実寸値と計測された点群の寸法値を比較し，精度を検証した．結果として，鉛直方向を除いて，水平方向と勾配は概ね寸法の活用が可能であることが明らかとなった．

Key Words: *LiDAR,Point Cloud,Barrier-free,Walkable Space*

1. はじめに

「高齢者，障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律」をもとに，現在まで我が国では，「どこでも，だれでも，自由に，使いやすく」のユニバーサルデザインの概念のもとに施設境界部を含む歩行空間の面的な整備が求められている．令和 3 年には「移動等円滑化促進方針」が策定され，バリアフリー基本構想への住民の参加，提案がより容易となった．これに伴い各自治体による基本構想の作成，また，その過程におけるまち歩き点検の実施が増加傾向にある．このようななか，まち歩き点検では従来，バリアの画像と地図を組み合 わせる方法が一般的に用いられる．事前に計画されたルートを現場で当事者とともに確認し，バリアの位置や寸法等の状況の把握を行い，バリア箇所の画像の撮影と寸法の計測を行う．その後，まち歩き点検ワークショップ（以後，WS）参加者はバリア箇所の画像と現地の地図を照ら合わせ，バリア箇所の全体把握と意見の共有を行う．まち歩き点検 WS の成果物としては，バリアの位置のマーキングとバリアの状況や改善への要望が記入された現地の地図が作成，公開される．しかし，従来手法では寸法等の計測が別途行われるなど主催者と参加者ともに時間と労力面で大きな負担がかかる． また，現地の交通状況や天候による影響が大きいほか，移動制約者が参加することが難しい点が課題として挙げられる．そこで，ICT 技術の 1 つである 3 次元点群データ（以下，点群）の活用が検討されている．

2. 既往研究の整理と研究目的

田中ら[1)]は iPhone 搭載型の LiDAR を用いて，粉砕された木材のチップ置き場を地形と模し，点群の取得を行った．取得点群より DSM（数値表層モデル）を作成し，UAV による空撮画像から作成した DSM との比較を行った．結果として，LiDAR と UAV の DSM の差分は平均，標準偏差ともに数センチと同等の精度を有することが示された．また，DSM の作成時間が UAV が約 3 時間であ

るのに対して LiDAR は約 10 分と短いこと，LiDAR による計測においては iPhone のみで行うことができることから，iPhone 搭載型の LiDAR が新たな計測ツールとして有効であることを明らかとした，

山田ら [2]は交通バリアフリー法基本構想の策定段階における点検ワークショップ等の市民参加による反映までの過程の実態と効果をアンケート調査を用いて検証した，結果として，ワークショップは多くの自治体で開催されていることが明らかとなったが，開催頻度が十分でない他，現地に即した課題把握が十分に行われていないことが示された，また，経路のバリアすべてのチェックを行うことは多大な時間を要することが多く，基本構想の過程では取り入れられない場合が多いとしている，そのため，初期段階の目標としては事業者側に典型的な課題に対する十分な理解を得ることを目標にすることが望ましいことが示された，

奈良部ら [3]は歩行空間ネットワークの構築へ向けて，MMS による 3 次元点群データのバリア情報の検出手法の提案を行った，結果として，高性能 MMS による取得データは 100/m^{2}以上の点群密度で地物や地形形状の把握が可能であることが示された，また，歩行ネットワークのデータの評価項目を満たす点群データを用いることで提案手法からバリア情報を自動での整備が可能であることが明らかとなった，

このように，歩行空間の移動円滑化を目的に，モバイル端末 LiDAR の計測による点群の活用が検討されているが，まち歩き点検を想定した実際の歩行空間でのバリアの計測が行われている事例は少ない．そこで，本研究では，モバイル端末 LiDAR のバリアチェックへの活用を目的とし，実際の歩行空間上に位置するバリアを対象に，モバイル端末 LiDAR を用いたバリアの寸法の計測の精度を検証する．なお，本研究では勾配の検証として傾斜の縦断方向，水平方向の検証として視覚障害者誘導ブロック，鉛直方向の検証として段差を対象として選定した．

3. 使用機器と設定条件

点群とは座標情報（X,Y,Z）と色情報（R,G,B）をもつ点の集合体である．点群で可視化したデータは自由視点かつ寸法等情報の付与が可能である．この点群の取得方法としては，各種あるなかで，本研究では安価かつ手軽に使用することができるモバイル端末に搭載された LiDAR 技術を用いる．LiDAR とは対象物へレーザー光を照射し，反射までの時間から距離と方向を導く技術であり，本研究では iPad Pro（第 3 世代）に搭載された LiDAR を使用した．iPad Pro は第 3 世代の 11 インチを使用，オペレーティングシステムは iOS16.51 を使用した．LiDAR による計測はモバイル端末内のアプリ「3d Scanner App」を用いた．アプリの選定においては，モバイルスキャン協会の「iPhone3D スキャンアプリまとめ（R5/01/18 更新）」より，スキャンアプリの中で最も多彩な機能を有し，iPhone で行える 3D スキャン技術を全て網羅しているとされることから「3d Scanner App」を使用した，計測した点群の処理である「Process Scan」は HD を使用し，点群の出力を行う際の点群の質は「High Density」とした．

点群の処理ソフトは「Cloud Compare」を使用した．前述の点群計測アプリである「3d Scanner App」内でも 3 次元点群モデルの作成，寸法等の確認は可能である．しかし，本研究では座標計算等複雑な処理が必要なために，計測後に PC にて点群の処理を行った．

4. 傾斜を対象とした勾配の検証

(1)実験概要

2023 年 7 月 22 日に日本大学理工学部船橋キャンパス内 13 号館前の傾斜を実験場所として，モバイル端末 LiDAR による計測を行った．本実験ではトータルステーション（以後，TS）の座標値を実測値とし，モバイル端末 LiDAR による計測値との比較を精度検証として扱う．傾斜部に検証点を設け，TS による各座標値の算出を行う．その後モバイル端末 LiDAR にて各点の座標値の計測を行い，TS の実測値をもとに検証点にてモバイル端末 LiDAR の座標値と TS の実測値との比較を行った．計測はモバイルスキャン協会のモバイル端末スキャンマニュアル [4]をもとに，傾斜の短辺方向を進行方向とし，歩行空間端部到着後は 90 度計測方向を回転し，歩幅 1 歩分（約 0.70m）長辺方向に進行し計測を行う．その後再度短辺方向へ 90 度回転し，短辺方向の計測を行う手順を繰り返し，約 17×5m の傾斜部を 8 往復，約 2 分の計測を行った．計測方法もモバイル端末スキャンマニュアルをもとに，路面に対して内角 30 度以下を極力維持しながら計測を行った．計測の様子を図-1 に示す．

本実験では勾配の値の算出のために傾斜に座標マーカーを設置した．座標の計測点はモバイルスキャン協会が推奨する座標マーカーの中心点とし，実測値とする座標値の計測は TS を使用した．座標マーカーは縦断方向に 7 点（a1-a7）設置をし，検証点とした．a1 と a7 は平坦部と傾斜部の境界部であり，本実験での傾斜の寸法は a1 と a7 の水平方向の座標の変化量から算出した．計測対象箇所と計測ルート，検証点の位置と配置した座標マーカーを図-2 に示す．

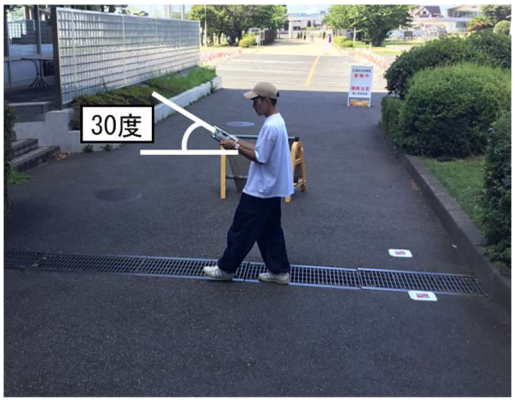


図-1　計測の様子

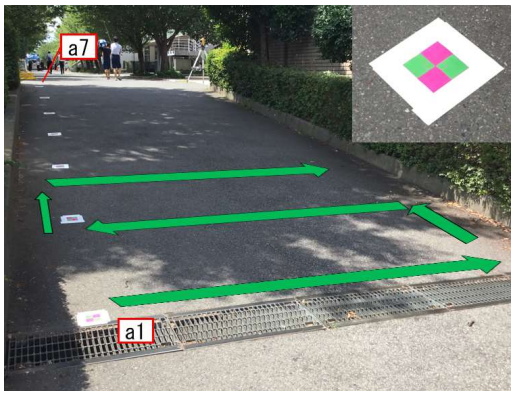


図-2　計測ルートと検証点の位置

(2)実験結果

計測された傾斜部の作成した 3 次元点群モデルを図-3 に示す．縁石や周辺の樹木，ノイズ等を除いた路面のみの点群は5回の計測は107万点以上109万点以下であり，3 次元点群モデルから傾斜部の形状が十分に確認できた．しかし，5 回の計測の中で 1 回の計測から最大値で約 0.47×0.38m の 3 次元点群モデルの欠損が発生をした．前述の大きさを超える点群の欠損は発生していないものの，他の 3 次元点群モデルにも同様に一部小さな欠損が発見できた．欠損の理由は複数想定されるが，欠損の形状が幾何学的であったことから，モバイル端末 LiDAR の自己位置推定の際に用いられるといわれる画像情報による点群への影響が主な理由だと考える，本実験においては検証点付近に大きな欠損が発生しなかったため勾配の算出が可能であったが，計測によっては欠損の発生により検証が十分に行われない可能性があるといえる．

傾斜の始点 a1 から終点 a7 より算出した TS による実測値とモバイル端末 LiDAR による計測値を表−1 に示す．TS の実測値は約 10%に対してモバイル端末 LiDAR による 5 回の計測も概ね 10%を示した．

本実験の較差は，TS による実測値からモバイル端末 LiDAR による計測値を引いている，各計測の較差の値が全て負の値であることからモバイル端末 LiDAR による計測は実際よりも大きく勾配を再現することが示された，較差の最大値は 0.53%であり，モバイル端末 LiDAR による勾配の計測誤差は 1%以下であることが示された，このことから，1%以下の値が求められる横断勾配の計測には適さないものの，縦断勾配においては傾斜の形状の把握の他，勾配の計測へモバイル端末 LiDAR を活用することが可能であると考える，

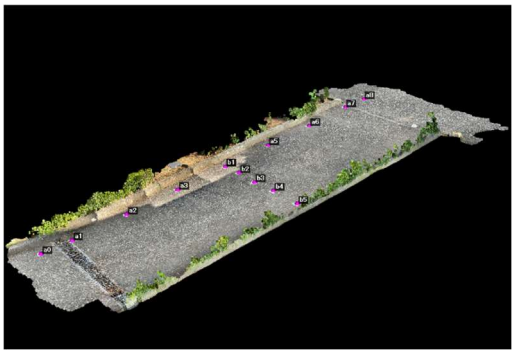


図-3　作成した 3 次元点群モデル

表−1　各計測における勾配の値

各計測	勾配（%）	勾配較差（%）
TS（実測値）	9.82	
LiDAR1 回目計測	9.88	-0.06
LiDAR2 回目計測	9.93	-0.11
LiDAR3 回目計測	10.06	-0.24
LiDAR4 回目計測	10.18	-0.36
LiDAR5 回目計測	10.35	-0.53

5.　誘導ブロック，路面を対象とした寸法の検証

(1)実験概要

2023 年 7 月 22 日に日本大学理工学部船橋キャンパス 14 号館前の視覚障害者誘導ブロックと段差を対象に実験を行った．計測対象箇所は視覚障害者誘導ブロックと段差の両対象物が同時に計測できる他，欠損やノイズ等の発生を極力抑えるために十分な大きさを計測した．また，計測対象箇所を明らかにすることを目的に座標マーカーを四隅に配置し，内部の約 7×5m を計測対象箇所とした．進行方向は段差の点群を十分に計測するために，LiDAR センサー等が位置するとされるカメラレンズ部分が段差の鉛直方向の面と向き合うように計測をした．そのため，計測方向は対象箇所に対して長手方向を進行方向とし，歩行空間端部到着後は 90 度計測方向を回転し，歩幅 1 歩分（約 0.70m）短辺方向に進行した．その後再度短辺方向へ 90 度回転し，短辺方向の計測を行う手順を繰り返し，4 往復，約 2 分の計測を行った．計測対象箇所と計測ルートを図-4 に示す．

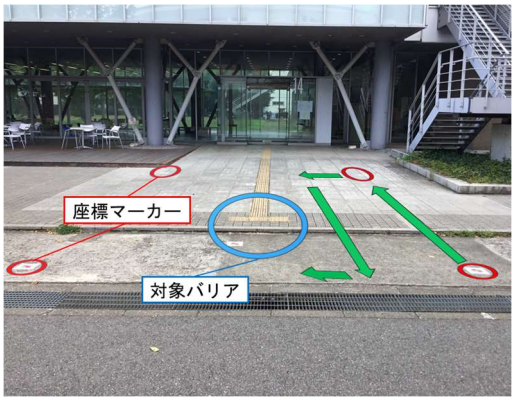


図-4　対象箇所と計測ルート

(2)計測対象箇所の選定

本実験では視覚障害者誘導ブロックにて水平方向の寸法，段差にて鉛直方向の寸法を対象とする．視覚障害者誘導ブロックは水平方向の 2 軸である XY 軸の寸法を検証対象とした．精度検証において 1 ブロックの寸法の精度と連続したブロックでの精度の 2 つを比較するために点状ブロック 3 つが連続する箇所を計測対象とした．視覚障害者誘導ブロックの角を基準点 b0 とし，基準点からの寸法を 3 次元点群モデルから算出し，金尺による実測値と比較を行った．計測対象を図-5 に示す．

段差は鉛直方向の寸法を検証対象とした．計測箇所は視覚障害者誘導ブロック上基準点 b0 と同じ軸上であり，b0 より Y 軸方向へ 0.438m の位置の段差境界部 b1 とした．精度検証においては鉛直方向 0.065m の段差を金尺に実測値を計測し，3 次元点群モデルの計測値と比較した．計測箇所は計測対象を図-5 に示す．

モバイル端末 LiDAR の座標系は独自座標系であり，相対的に地物の寸法を算出する，そのため，本実験における計測した 1 点ごとの座標値は独自の座標系であるが，点間の寸法は相対的に導かれ，地物の実寸値と同様の寸法値を示す，

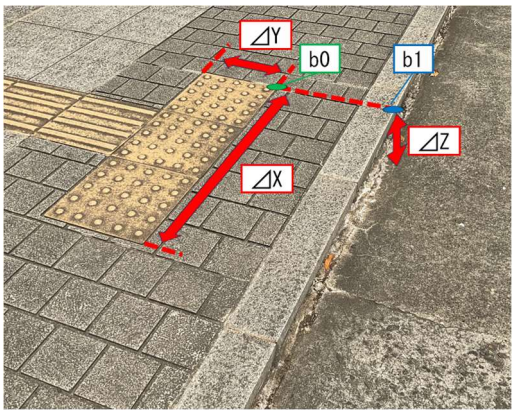


図-5　水平方向の寸法検証箇所

(3)水平方向の寸法精度検証の結果

計測した対象箇所の作成した 3 次元点群モデルを図-6 に示す．計測時の基準とした四隅の座標マーカー内の点群は，5 回の計測で 46 万点以上 50 万点以下であった．しかし，各計測の 3 次元点群モデルに共通して同一の範囲で大きな点群の欠損が発生した．大きな欠損が発生している箇所においても，同一の形状が連続する視覚障害者誘導ブロックとその周辺は点群の欠損が概ねないことが確認された，LiDAR はレーザーの反射から地物を導き出すこと，また，本研究で用いたモバイル端末 LiDAR は画像情報も点群へ影響するとされていることから，特定の素材の対象物が連続する場合に，本実験のように，その対象物の範囲が大きく欠損が発生するのではないかと推測する．

水平方向の寸法の精度を TS による実測値と比較をした．TS による実測値とモバイル端末 LiDAR の計測値を表-2 に示す．X 軸方向の最大較差は 0.017m，Y 軸方向の最大較差は 0.010m と誤差は生ずるものの大きな較差は発生しなかった．また，1 ブロックの寸法である ΔY と 3 ブロックの寸法である ΔX の実測値との較差に大きな差はなかった．このことから，バリア等の局所的な対象物の寸法の計測においては，水平方向では対象物の寸法の大きさにかかわらず寸法の計測精度は誤差を含むものの概ね一定であることが示された．

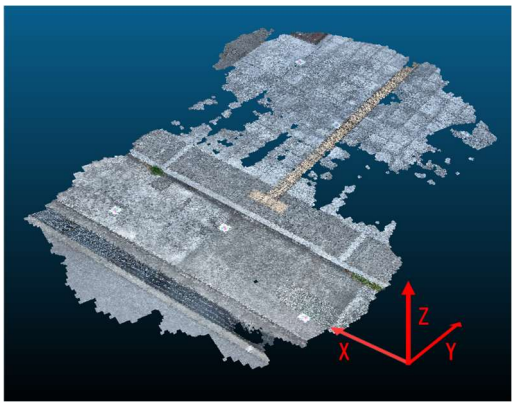


図-6　作成した 3 次元点群モデル

表-2　水平方向の実測値と計測値

各計測	ΔX（m）	ΔY（m）
金尺（実測値）	0.298	0.898
LiDAR1 回目計測	0.295	0.895
LiDAR2 回目計測	0.295	0.888
LiDAR3 回目計測	0.289	0.905
LiDAR4 回目計測	0.289	0.886
LiDAR5 回目計測	0.315	0.908

(4)鉛直方向の寸法精度検証の結果

鉛直方向の寸法の精度は段差において検証した．鉛直方向の較差は 3 次元点群モデルが十分に段差の形状を再現できないことから，寸法計測が不可能であった．そこで，図-7 のように段差境界部 b1 を中心に 0.01m の幅で段差部の点群を抽出した，その後，各計測回の b1 点を 1 回目計測を基準に重ね合わせることで，独自座標系であるモバイル端末 LiDAR の段差部の重ね合わせを簡易的に行った，抽出した 5 回の段差部の計測の点群のプロットによる断面図を図-8 に示す，段差の実測値である 0.065m を水平方向約 0.15m かけて緩やかに上昇した 3 次元点群モデルとなった．そのため，段差の鉛直方向のバリアは寸法の計測と形状等の把握の両場合において活用は難しいことが示された．また，本実験の抽出した段差部の寸法にはわずかに誤差が含まれる，理由としては，モバイル端末 LiDAR は独自座標系であるため，作成した 3 次元点群モデルの座標軸の方向は各計測で異なる，実験中は端末またはアプリの起動を各計測回で同地点，同方向で行ったため，座標軸が大きく異なることはなかったが，わずかに各点群の位置に誤差を含む要因となった，

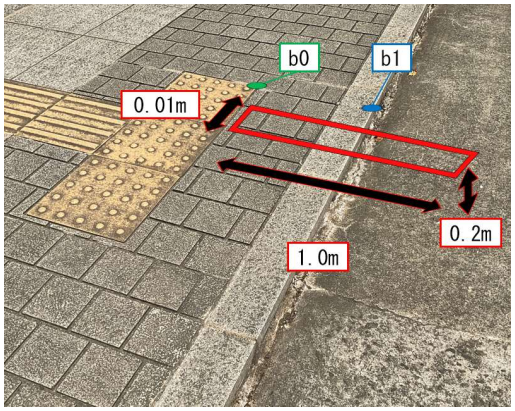


図-7　作成した 3 次元点群モデル

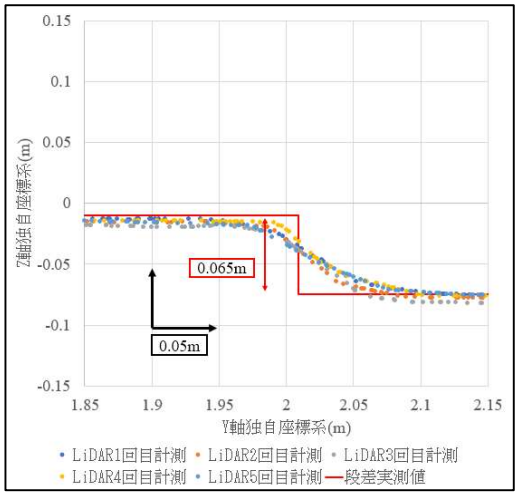


図-8　抽出した点群による段差の断面図

6.　まとめ

本研究では勾配，水平鉛直方向のモバイル端末 LiDAR による寸法の計測精度を検証した．結果として勾配の較差は最大 0.53%，水平方向 0.017m であり，勾配については縦断勾配においてはモバイル端末 LiDAR による点群の寸法の活用が可能であると考える．また，水平方向については，十分に大きさがある対象物であり，ミリメートル等詳細の寸法の把握を必要としない場合は点群の活用が可能と考える，しかし，鉛直方向の寸法はモデルが大きく歪み，計測することができなかったため，計測した寸法の活用は難しいことが明らかとなった．また，モデルが大きく歪むことから，鉛直方向は形状の把握は局所的な観察以外で可能であることが示された，この原因としては，計測機器のカメラ等センサに対して鉛直方向のバリアが正対していないため，レーザーの反射が適切に行われなかったことに加え，対象物に対して斜め方向からの撮影された画像により，点群の識別が歪み，処理が適切に行われなかったと考える．

各実験の 3 次元点群モデルを比較すると，計測面積が大きい傾斜に対して，視覚障害者誘導ブロックと段差における計測は欠損が大きく発生した，この理由は複数考えられるが，点群の欠損が大きく発生した路面は大きく素材が異なった，また，路面の模様も他と比べて大きく連続した，そのため，路面の素材と形状の影響が大きいと推測する，今後は本実験の結果を踏まえて，鉛直方向のバリアを適切に計測する方法を検証するほか，対象物の素材や形状等との関連性についても検証を進めていきたいと考える．

参考文献

1) 田中絵里子，田中圭：iPhone 搭載の LiDAR 機能を用いたバリア情報の取得とその精度検証，2021 年度日本地理学会発表要旨集 2021s(0)，p.193，2021.
2) 山田稔，澤村理志：交通バリアフリー法基本構想策定における市民参加の実態と行政担当者への理解促進効果，土木計画学研究・論文集，No.23，pp.1057-1064，2006.
3) 奈良部昌紀，佐田達典，江守央：歩行空間ネットワークデータの整備に向けた 3 次元点群データによるバリア検出手法の提案，土木学会論文集 F3（土木情報学），75 (2)，pp.123-131，2019.
4) モバイルスキャン協会：モバイル端末スキャンマニュアル，（入手日：2023 年 1 月 24 日）