

助成番号 2024-1

LiDAR を用いた橋梁点検のための点群データ取得・解析方法に関する研究

愛媛大学大学院理工学研究科 教授 河合 慶有

1. はじめに

近年、LiDAR を用いて撮影した点群データを対象とし、RC 橋梁の点検診断を高度化する技術開発が進められている。特に、LiDAR (Light Detection And Ranging) 搭載の機器が安価で入手可能になり、画像を構成するアプリも充実しつつある。LiDAR とは、装置全体からレーザ光を照射し、その反射光を観察することで、対象物までの距離や形状を観測できる装置、技術のことである¹⁾。特に、光学カメラでは撮影できない空間の3次元情報を捉えるため、現在、最も使用されている技術となっている。さらに、AI を用いた健全度診断技術も提案されているが、ひび割れ等の変状の詳細情報に基づく診断には至っていないのが現状である。また、LiDAR 等の点群データは、撮影する焦点距離や撮影時間により情報量が異なることから、ひび割れ検出や画像をもとにした診断結果に影響を与えられられる。例えば、iPhone の LiDAR でスキャンした場合の精度は、計測距離の±2%の誤差が生じる。このような3次元計測の精度・範囲と時間には、相反する関係がある。すなわち、高精度の結果を得たい場合には計測範囲を絞り込むとともに時間をかけて撮影するのが合理的であるといえる。一方、計測時間を短くしたい場合には計測範囲を絞り込むか、精度低下の許容範囲を設定するかどうか重要な視点となる。

今後、地方自治体が管理する RC 橋梁については、職員が LiDAR 搭載の機器を用いて現場で取得した点群データをもとに、点検・診断を自動化し、データベースとして記録する技術の普及が加速すると期待される。特に、小規模橋梁では、iPad や iPhone を用いた計測ツールが充実していることもあり、現場での適用事例が増えてきている。一方、実際の橋梁点検では、近接目視を基本として、コンクリートのひび割れ等をスケッチし、点検調書として報告されているが、このような紙媒体の点検調書は、Society5.0 のインフラメンテナンスにおいてはクラウドにデータベースとして蓄積される 3D モデル等に置き換えられると予想される。さらに、AI 等を用いて健全度診断を自動化することで点検・診断技術の高度化が一層加速すると期待される。そこで本研究では、LiDAR を用いて計測した点群データを対象とし、ひび割れ等の変状の検出精度に影響を与える要因を把握し、実務に活用できる精度の高い撮影条件を把握することを目的とする。

なお、本研究は、一般社団法人四国クリエイト協会「2024 年度建設事業に関する技術開発支援制度」による助成を受けて実施したものである。

2. 実験概要

本研究では、既設橋梁から切り出した鉄筋コンクリートを対象に iPad および iPhone に搭載された LiDAR を用いてひび割れ等の劣化検出の精度について実験的検討を実施した。本

研究で用いたデバイス及び実験方法について記載する．特に，撮影条件として撮影時間と撮影範囲を変化させ，画像処理方法含めてひび割れ検出精度の許容範囲について検討を行った．本研究で用いたデバイス（カメラ）のスペック一覧を表 2.1 に示す．

実験的検討は 3 ステップに分けて実施した．まずステップ①では，自然光の影響を受け難い室内実験にてクラックスケールを対象に，ひび割れ検出精度の検証を行った．特に，撮影距離と撮影時間を変化させ，ひび割れ検出限界を検討した．撮影条件は，カメラと対象物の距離（撮影範囲）と計測時間との関係を把握するため，橋梁点検の実務を考慮して以下のように設定した．

表 2.1 iPhone, iPad, 3D スキャナーのスペック

	iPad Pro（第 4 世代）	iPhone 16 Pro
カメラ	【広角カメラ】 12MP, $f/1.8$ 絞り値 【超広角カメラ】 10MP, $f/2.4$ 絞り値,	【メインカメラ】 48MP, $f/1.78$ 絞り値 【超広角カメラ】 48MP, $f/2.2$ 絞り値,
CPU	A14 Bionic チップ	A18 Pro チップ

【検討項目】

- ・撮影時間：1～3 分程度
- ・撮影距離：30～100cm 程度 近接目視相当
- ・撮影範囲：対象部位
- ・画像解析方法：深度・高密度点群

本検討で用いた PIX4Dmatic では，計測した複数枚の画像と LiDAR で取得した位置情報をもとにメッシュデータを作成した．この際，キャリブレーションと深度／高密度点群情報から作成したメッシュを 2D/3D 表示可能となっており，撮影した画像ごとのカメラ位置の特定も同時に表示することができる．なお，画像処理方法が解析結果に与える影響を考慮するため，本検討では深度点群，高密度点群，及び両者の融合による画像処理の 3 ケースを採用することとした．

3. 点群データの撮影結果とひび割れ検出の精度検証

ステップ①では，白色の背面に設置したクラックスケールを対象に，撮影時間及び撮影距離を変化させて撮影した画像をもとにメッシュデータを作成した．概要版では紙面の都合上，結果を割愛するが，撮影距離を 30～50cm に設定した場合 0.2mm の幅は十分読み取り可能であり，0.2mm 程度以下のひび割れ幅では検出精度が顕著に低下する結果となったことから，撮影距離を 30～50cm 程度に確保することが望ましいと示唆される．

ステップ②（iPad）では，iPhone を用いて屋外環境で撮影した RC 橋梁（結果を割愛）と同様の撮影範囲を対象とし，iPad を用いて撮影した点群・画像をもとにメッシュデータを作

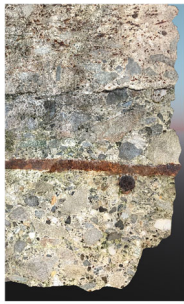
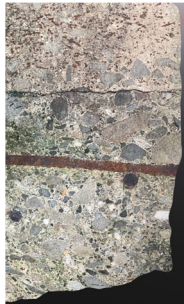
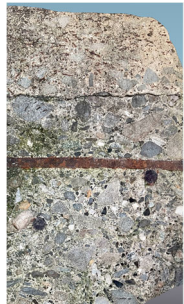
成し，比較検討を行った．それぞれの撮影条件と取得データの結果を表 3.1 に示す．表より，撮影時間及び撮影距離によって撮影枚数及び深度点群の個数が変化することがわかる．これらの取得したデータを用いて作成したメッシュデータを表 3.2 に示す．

本検討においても，ステップ②（iPhone）と同様にいずれのケースにおいても，床版と桁の間に存在している打継目が明確に表示されている．また，露出した骨材の模様や腐食を伴う鉄筋位置や形状を見ると，CASE-3 による撮影結果が最も鮮明な画像となっている．前述のとおり，ひび割れ検出においては 30～50cm 程度の距離が適切であると推察される．加えて，計測時間と深度点群数の関係を踏まえて，計測時間の増加が劣化の検出精度の向上に寄与することがわかる．一方，撮影時間の影響は，撮影距離を 50-100cm とした CASE-5 では CASE-3 と比較して限定的であるといえる．

表 3.1 撮影条件と撮影結果

	撮影時間 (s)	撮影距離 (cm)	撮影枚数 (枚)	深度点群 (個)
CASE-1	60	30 以下	150	1,084,730
CASE-2	60	30-50	33	1,125,274
CASE-3	180	30-50	191	6,042,362
CASE-4	60	50-100	85	1,294,935
CASE-5	180	50-100	192	3,394,289

表 3.2 メッシュデータ（ステップ②（iPad））

CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5
				

ステップ③（iPad）では，乾燥収縮ひび割れを有する屋外環境の RC 部材を対象に iPad を用いて撮影した点群・画像をもとにメッシュデータを作成し，ひび割れ検出精度の検討を行った．それぞれの撮影条件と取得データの結果を表 3.3 に示す．また，これらの取得したデータを用いて作成したメッシュデータを表 3.4 に示す．なお，結果は深度点群・高密度点群データの融合処理のメッシュデータを掲載している．

図より，撮影距離の影響をみると，30cm 以下及び 50-100cm として撮影した 3D 画像はい

ずれも微細なひび割れ部位が不鮮明となっている．特に，30cm 以下とした CASE-1 では，深度点群データの取得数が減少し，ひび割れ検出精度が低下していると推察される．一方，撮影距離が 50cm 以上の CASE-3 では深度点群データ・高密度点群データともに，CASE-2 よりも減少し，0.1 程度のひび割れにおいては検出限界に達していると推察される．なお，CASE-2 については，深度点群の処理のみで十分なひび割れ検出が可能となっている．

表 3.3 撮影条件と撮影結果

	撮影時間 (s)	撮影距離 (cm)	撮影枚数 (枚)	深度点群 (個)	高密度点群 (個)
CASE-1	60	30 以下	162	2,425,735	1,324,741
CASE-2	60	30-50	151	5,565,126	782,920
CASE-3	60	50-100	131	4,113,766	678,744

表 3.4 メッシュデータ（深度・高密度点群の融合処理）

CASE-1	CASE-2	CASE-3
		

4. 研究成果のまとめ

本研究では，LiDAR 搭載の機器を用いて RC 橋梁の損傷やひび割れを検出するための撮影条件について検討し，30cm 以下，30～50cm，50～100cm のそれぞれの撮影距離がひび割れ検出精度に与える影響を示した．以上の検討結果から，撮影距離を 30～50cm とし，撮影時間を 60s 程度に設定した撮影条件により取得できる深度点群データを用いた画像処理方法が，ひび割れ検出精度と撮影・計算コストの観点から望ましいといえる．

参考文献

- 1) 坂本静生，ゼロからわかる 3 次元計測，オーム社，2023
- 2) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2022-，2022