

自動走行による 床面コンクリートひび割れ検出ロボットの開発

近藤 祐輔

人手不足問題は現代社会共通の課題ではあるが、建設業は全産業と比較しても人手不足のみならず高齢化の傾向が表れており、省人化・省力化技術の開発は急務である。従来、コンクリート床面のひび割れ調査はクラックスケールを判断基準として目視によって行われてきたが、作業姿勢が中腰になり負担が大きくなり、調査結果の定量性が低いなどの課題があった。本稿では、画像解析技術を活用したひび割れ検出に着目し、自動走行でコンクリート床面の撮影からひび割れ検出を少人数で行えるシステムの報告をする。

キーワード：建築, コンクリート, ひび割れ, 床, ロボット, 自動走行, 省人化, 省力化

1. はじめに

わが国の将来的な全産業の生産年齢人口は、減少の一途を続け、2060年には生産年齢人口の割合が約50%になるとの報告がある¹⁾。建設業も同様に就業者が減少し続けている。また、全産業と比較して高齢者(55歳以上)の割合が高く、若年層(29歳以下)の割合が低いのが特徴であり、高齢化が著しい。そのため2015年に331万人いた建設技能者のうち100万人以上が、今後10年間で高齢化などを理由に離職すると考えられている。さらに、建設技能者だけでなく、工事監理(管理)や技術開発を担う建設技術者の確保も大きな課題となっている。人材の獲得競争が建設業内ではなく他の業種との奪い合いとなり、激化すれば、労働環境の整備に遅れが目立つ建設業は厳しい立場になる可能性がある。加えて、建設業の年間総労働時間は他の業種と比較しても長く、生産性の低さも課題である²⁾。現場だけではなく、設計などの建設生産の効率化や労働環境改善を進めることは、建設業全体に突きつけられた至上命題である。これらの課題から、省人化・省力化技術および生産性向上技術の開発ニーズが非常に高く、また、開発も急務である。このような状況の下、我々はコンクリート床面のひび割れ検出に着眼した。

本報告ではこれらの課題を解決するための自動走行可能なシステムの開発の報告をする。

2. 開発概要

(1) 従来 of 調査方法と課題

従来、コンクリート床面のひび割れ調査は目視にて行われてきた。ひび割れ幅の測定はクラックスケールを実際のひび割れに重ね合わせることで測定してきた。ひび割れ図は作業する者がひび割れをスケッチして作成していた。この測定方法による課題点は以下のようなことがあげられる。

- ①調査時の中腰姿勢による身体的負荷の増大
- ②広範囲調査時は作業時間の長大化
- ③調査結果の定量性が低いこと(個人差がある)
- ④調査結果の図面化作業時間の長大化

(2) 既存のひび割れ撮影・検出技術

ひび割れ撮影技術の一例として、ドローンによる空撮^{3), 4)}や、壁面に密着して撮影する装置^{5), 6)}の報告がある。また、画像からのひび割れ検出例としては、深層学習・機械学習を利用した報告^{7)~9)}や、数学的フィルタを利用した報告^{10), 11)}、統計的特徴と幾何学的特徴に着目した報告¹²⁾等がある。

(3) 要求項目

建設分野ではコンクリートのひび割れ幅は0.10mm以上の測定ができることが必要である。そのため、高解像度画像が要求される。そして、その画像を正確に合成する必要がある。画像合成技術の多くは、各々の画像の特徴点を抽出し、その点を基準として合成することが多い。しかし、新築構造物のきれいなコンクリー

ト床面には特徴点になるようなポイントがなく画像合成が難しい。そのため本開発では自動追尾型光波測距儀（以下、TS）の座標位置データを撮影画像データに組み込む方法を採用した。また、従来の課題解決のための要求性能をまとめると以下となる。

- ①測定作業員の身体的負担の軽減
- ②ひび割れ幅（0.10 mm 以上）の自動測定
- ③自動走行による装置の稼働
- ④ひび割れ図の作成および分析時間の短縮化

3. 装置概要

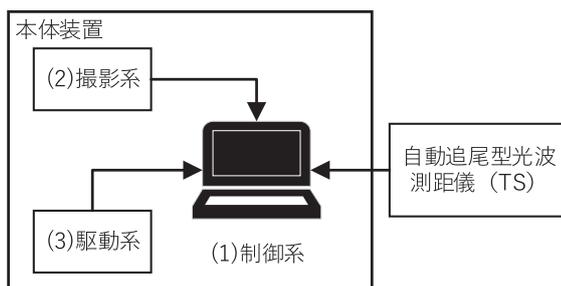
本装置（写真—1）は、コンクリート床面を撮影する撮影系、自動走行する駆動系、撮影および自動走行をコントロールする制御系で構成され（図—1）、電力は全て内蔵のポータブルバッテリーでまかなわれている（表—1）。

(1) 制御系

本装置の制御は本体装置上のノートパソコン（以下、PC）より行う。PCはラインカメラ（撮影系）とTSおよび自動走行（駆動系）の3つの制御を同時に行っている。TSはPCとワイヤレス通信で接続され、リアルタイムでデータのやり取りが可能である。本体



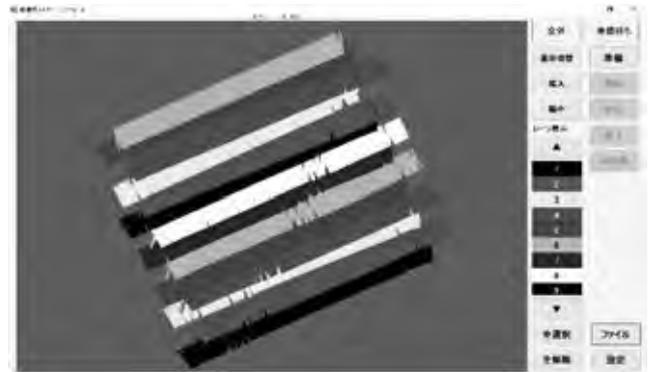
写真—1 本体装置の外観



図—1 本体装置の構成

表—1 主な装置の仕様

	仕様
外径寸法	1,400 mm(W) × 1,400 mm(D) × 2,200 mm(H)
重量	約 100 kg (本体)
カメラ	モノクロラインカメラ (4,096 画素 /Line)
光源	LED 照明
撮影幅	1,400 mm (有効撮影幅 : 1,000 mm)
理論分解能	水平方向 : 約 0.06 mm
距離計測	エンコーダ A
動力	DC モータ
駆動制御	エンコーダ B
自動走行速度	1.0 ~ 1.2 km/h (直進)
コントロール	ノートパソコン
位置座標取得	自動追尾型光波測距儀 (TS)
バッテリー	ポータブルバッテリー (174,000 mAh)
稼働時間	約 3 時間半

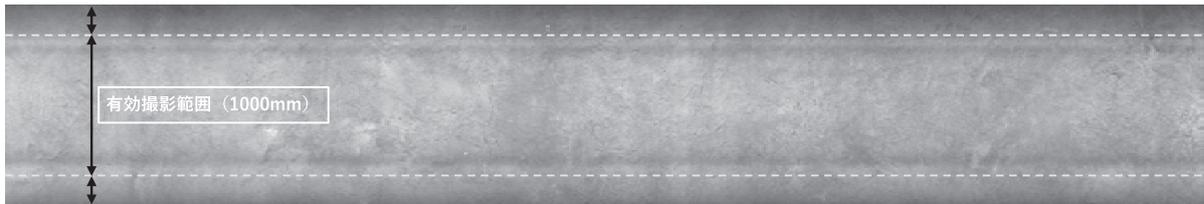


図—2 リアルタイムの走行軌跡

装置の位置情報（座標データ）は、本体装置に設置したプリズムの座標データである。TSからレーザー光がプリズムに照射されるとレーザー光が往復する時間と位置および角度からプリズムの座標を測定することが可能である。この座標データを画像合成の座標データと自動走行の座標データに利用している。また、撮影時にはリアルタイムに走行軌跡を確認することが可能である（図—2）。

(2) 撮影系

撮影系はモノクロラインカメラとLED照明で構成されている。モノクロラインカメラはコンクリート床面の撮影に使用した。このラインカメラの素子は地面から1,000 mm離れた高さに設置されており、撮影幅は1,400 mmである。ソフトウェアを介して理論上、約0.06 mmのひび割れを検出でき、実用性能として0.10 mmのひび割れ幅の検出を満足できる。このカメラのシャッターは装置の車輪に設置したエンコーダと同期しており、1ピクセル前進する度にシャッターが切ら



図一3 撮影画像

れる仕組みとなっている。また、撮影に必要な照度を確保するためのLED照明が撮影範囲を照らすように前面に設置されている。撮影幅は1,400mmであるが撮影端部はLED照度が十分ではないこと、レンズのゆがみの影響を考慮して画像分析時には使用しない。そのため、本装置の有効撮影幅は1,000mmと設定した。撮影画像はラインカメラで連続撮影できるため带状の画像となる(図一3)。

(3) 駆動系

駆動系はDCモータと方向転換用直動アクチュエータで構成されている。後輪それぞれに独立したDCモータとエンコーダで走行を制御する。本装置は床面撮影時に弧蛇走行すると撮影画像がゆがみ、ひび割れ分析に支障が生じる。そこで本装置は直進性を最優先として、4輪全てを固定輪としている。本装置の方向転換は装置前部に設置した直動アクチュエータで前輪を浮き上げた状態で後輪を左右対称に回転制御させることで方向転換を可能にしている(写真一2)。



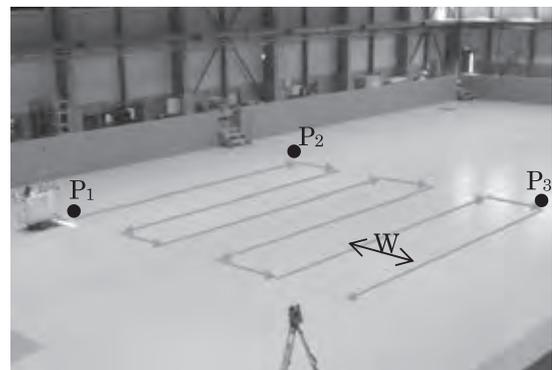
写真一2 回転制御方法

4. 自動走行技術

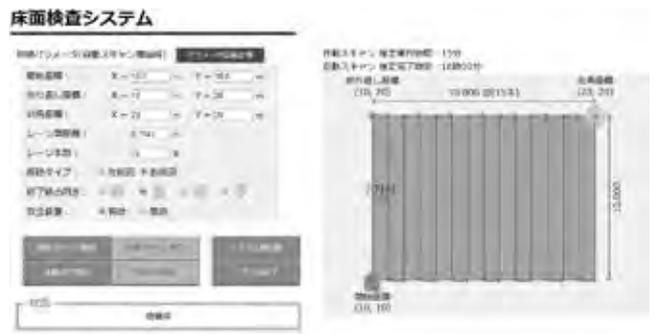
本装置が自動走行する場合、矩形波状に走行する。よって検査対象床面は矩形であることが望まれる。以下、検査対象床面を検査エリア、検査エリア内を縦断する線を走行レーンと称する。走行レーン毎に画像を撮影し、合成することで測定対象エリアのひび割れ状況を網羅した画像とする。

本装置には写真一3に示すようにスタート地点の座標 P_1 、スタート地点から見て進行方向上にある折り返し地点の座標 P_2 、スタート地点から見て対角の座標 P_3 、合計3点の座標及び各走行レーン間の距離 W を既知の情報として床面検査システム(図一4)を介して本装置に与える。その他の各折り返し地点の座標は自動で計算される。

本装置はTSから送信される座標データとエンコーダから得られる移動距離データを基にして直進、停



写真一3 撮影走行エリアの設定



図一4 床面検査システム

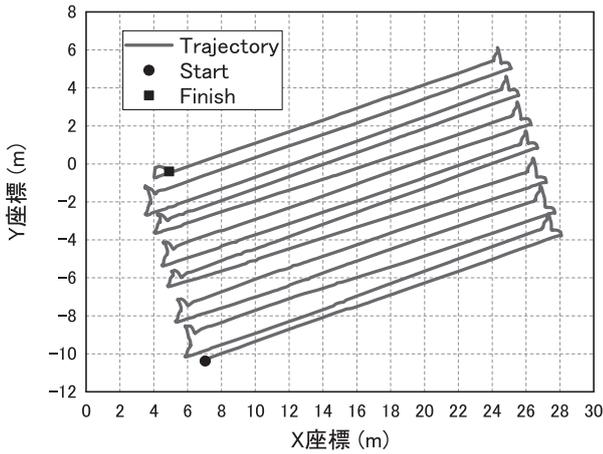


図-5 走行軌跡

止、旋回の制御を行う。走行レーンと実際の走行軌跡とのずれが生じた場合は折り返し時に補正する。

走行エリアを横 10 m, 縦 20 m, 走行レーン間距離 0.8 m と設定した際の走行軌跡 (座標データの軌跡) を図-5 に示す。矩形波状に走行できていることが見て取れる。

5. ひび割れ検出システム

撮影画像からひび割れを検出する手順は以下となる (図-6)。

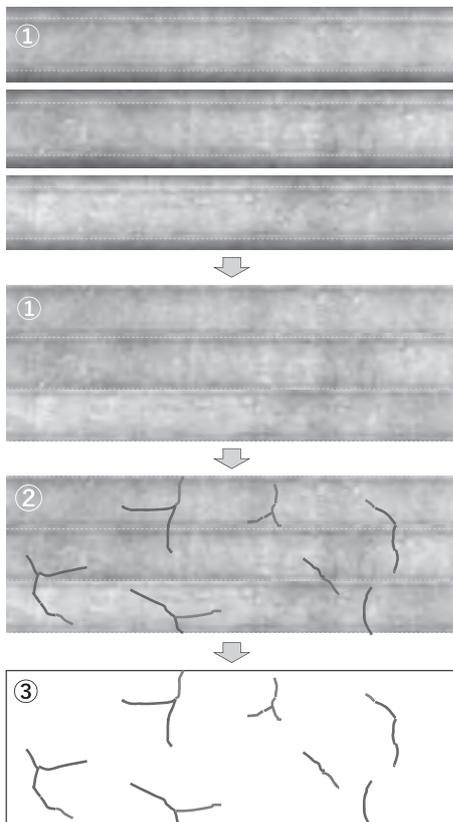


図-6 ひび割れ検出システム

- ①本システム用ソフトウェアに撮影した画像を入力する。このとき埋め込まれた位置情報を基に測定エリアの撮影画像が自動的に配置される。
- ②ひび割れを自動検出させる。本システムは各ピクセルの濃度を基にひび割れ幅, 長さ, 位置を計算する。
- ③ひび割れ幅の情報を含めた形で CAD データを出力させる。

本システムから出力された CAD データを対象建造物の CAD データと重ね合わせることで、建造物のどの位置に、どのようなひび割れが生じているかが判別できる。

6. 今後の課題と展望

コンクリート床面のひび割れ検出の手順は事前準備と現場作業および分析作業に分類できる (図-7)。本装置を利用することで課題であった現場調査時の作業者の身体的負担は自動走行により大幅に軽減された。そして、現場作業の効率化につながった。また、画像データを利用するため調査結果が客観的なデータとなった。しかし、分析作業時に多量で大容量の画像データを扱うために時間を要した。

本装置に限らず、画像データを用いた検査・点検手法は今後も発展し続けていく。撮影機材の性能は日々進化しており、高精度の画像データの取得が可能となっている。ただし、その大容量のデータの扱い方や扱うのに見合う性能のワークステーションなどが必要なことも多く、そのバランスの検討が今後の課題である。

しかし、新たな発見もあった。主目的はコンクリート床面のひび割れ検出であったが、副産物としてコンクリート床面の撮影時の状況を記録することが可能であることである。このことはコンクリート床面の状況



図-7 ひび割れ検出の手順

の経時変化を客観的に記録できることである。このデータの利用の可能性も大きく、今後の検討課題とする。

7. おわりに

自動走行可能なコンクリート床面のひび割れ撮影装置並びにひび割れ自動検出システムの開発経緯と概要について報告した。建設業での省人化・省力化に対する技術的開発は急務である。特に従来、目視で確認していたことは画像解析技術を活用して、早く、正確にそして客観的なデータ作成が必要である。今後は実地検証等を重ねて、改良開発につなげていく予定である。

謝 辞

本開発には、倉敷紡績(株)のご協力をいただきました。関係者の方々に感謝の意を表明し謝辞とさせていただきます。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 総務省：平成 24 年版情報通信白書，2012
- 2) 一般社団法人日本建設業連合会：建設業ハンドブック 2018，2018
- 3) 大石哲，白谷栄作，桐博英，高橋順二，水上幸司，木村広和：UAV を使った低空画像解析による海岸堤防の劣化状態の把握，土木学会論文集 B2，Vol.71，No. 2，pp.I_1717-I_1722，2015
- 4) 西村正三：マルチコプタを活用したインフラ・文化財構造物点検調査における適応事例，計測と制御，第 56 巻，第 1 号，pp.36-39，2017
- 5) 遠藤健：外壁タイル診断ロボットの開発と導入事例，建設の施工企画，第 694 号，pp.27-31，2007
- 6) 上野隆雄，井上大輔，中村聡：コンクリートひび割れ自動検出装置の試作と性能検証実験，東急建設技術研究所報，No. 42，pp.67-70，2016
- 7) 全邦釘，井後敦史：Random Forest によるコンクリート表面ひび割れ検出，土木学会論文集 F3，Vol. 71，No. 2，pp. I_1-I_8，2015
- 8) 野村泰稔，村尾彩希，坂口幸広，古田均：深層畳み込みニューラルネットワークに基づくコンクリート表面ひび割れ検出システム，土木学会論文集 F6，Vol.73，No. 2，pp.I_189-I_198，2017
- 9) 全邦釘，嶋本ゆり，大窪和明，三輪知寛，大賀水田生：ディープラーニング及び Random Forest によるコンクリートのひび割れ自動検出手法，土木学会論文集 F3，Vol.73，No.2，pp.I_297-I_307，2017
- 10) 小山哲，丸屋剛，堀口賢一，澤 健男：ガボールウェーブレット変換を用いたコンクリートのひび割れ画像解析技術の開発，土木学会論文集 E2，Vol.68，No.3，pp.178-194，2012
- 11) 藤田悠介，中村秀明，浜本義彦：画像処理によるコンクリート構造物の高度なひび割れ自動検出，日本土木学会論文集 F，Vol. 66，No.3，pp.459-470，2010
- 12) 全邦釘，片岡望，三輪知寛，橋本和明，大賀生田水：統計的特徴及び幾何学的特徴に着目したコンクリート表面ひび割れの画像解析による検出，土木学会論文集 F3，Vol.70，No.2，pp.I_1-I_8，2014

【筆者紹介】

近藤 祐輔（こんどう ゆうすけ）

(株)熊谷組

建築事業本部 建築技術統括部 建築生産技術部

生産開発グループ

課長

