

自律走行式床面ひび割れ検査ロボットの開発

—ロボットによる自動検査の導入効果—

羽 根 田 健

建設業界においても、技能労働者の減少による労務不足を補うためロボットやAI（人工知能）の開発が積極的に進められ、建設現場で使われる機会も増えている。今回開発した「自律走行式床面ひび割れ検査ロボット」（以下「本ロボット」という）は、大空間構造物のコンクリート床面におけるひび割れ検査において、走行台車型の検査ロボットが自律走行、自動撮影を行い、同時にAIにより撮影画像からひび割れを検出し、その結果を自動で図面に表示することができる。本稿では、本ロボットの概要や実証実験による導入効果について紹介する。

キーワード：ロボット、コンクリート、床面、ひび割れ、検査、自動化

1. はじめに

近年、建設業において作業員の高齢化と新規就業者の減少による労務不足が課題になっている。建設業に従事する労働者は、2017年時点で約498万人であるが、そのうち55歳以上が約169万人と34%を占めており、一方で、29歳以下の労働者は約55万人で11%である。また、働き方改革による労働時間の削減にも務めていかなければならない中で、生産性の向上と、工事の省力化は喫緊の課題になっている。これらの課題に対する方策のひとつとして、検査業務の自動化が求められる。そこで、コンクリート床面のひび割れ検査に着目し、自律走行式床面ひび割れ検査ロボットを開発した。

コンクリート床面のひび割れ検査は、竣工時や引き渡し後一定期間が経過したのちに実施している。従来の検査方法では、専門の知識を有する検査員が、スケールやクラックスケールを用いて、近接目視で実測を行い、その結果を写真やスケッチで記録する。そのため、人による精度のバラツキが発生するとともに、一連の検査業務に多くの時間と労力が必要になる。近年では様々なひび割れ検出技術が開発されているが、その多くは人手を伴う画像取得作業が必要であり、撮影から図面化までに相当の時間を要している。

本ロボットでは、走行台車型の検査ロボットが、自律走行しながら床面を漏れなく自動撮影し、撮影画像からAIによるひび割れ検出を直ちに行い、その結果を自動で図面に表示する。そのため、短時間で、人の手間がかからず、高品質な検査を行うことが可能になる。

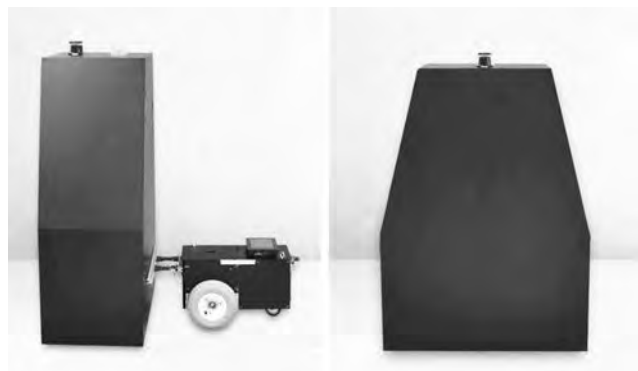
2. 本ロボットの概要

(1) 本ロボットの特徴

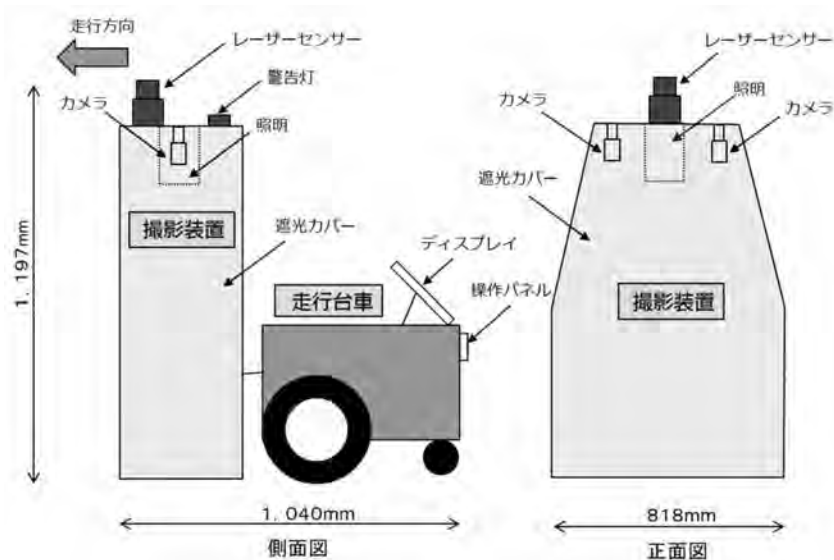
本ロボットは、走行台車と撮影装置から構成され、ひび割れ検出用のPCを付属する（写真—1、図—1、表—1）。

走行台車と撮影装置は分離して運ぶことができ、軽量（走行台車19kg、撮影装置16kg、計35kg）である。また、組立は連結部分にピンを差し込むだけで、特殊な工具は必要ない。広い現場でも容易に移動でき、短時間で検査を開始することができる。

走行台車は、3輪タイプの移動台車で左右独立駆動が2輪とキャスター1輪の方式である。内部にPCを搭載し、自律走行と、自動撮影および撮影時のフラッシュライトの照射を制御する。自律走行は、自己位置をSLAM（Simultaneous Localization and Mapping）で推定しながら、柱やその他の障害物を自動で回避す



写真—1 本ロボットの外観



図ー1 本ロボットの構成

表ー1 本ロボットの主な仕様

項目	仕様
外形寸法	W818 × D1040 × H1197 mm
重量	35 kg
カメラ	Baumer 4096 × 3000 ピクセル
レンズ	MORITEX 35 mm レンズ
光源	ガイドナンバー 38 (ISO100) 相当
理論分解能	0.1 mm/px (10 pixel/nm)
距離計測	床面距離：固定 走行距離：オドメトリ + SLAM
バッテリー	LiFePO4 (リン酸鉄リチウム)
動力	30 W DC ブラシレスモータ × 2
駆動制御	速度制御
自動走行速度	0.15 m/s
移動 コントロール	PC : Intel NUC OS : Ubuntu 14.04 LTS MW : ROS Indigo
撮影 コントロール	PC : Intel NUC OS : Windows 10
自己位置推定	ハード : 2D LiDAR HOKUYO UTM-30LX

る。走行速度は、0.15 m/s で、1,500 m² を約 6 時間で一度に走行できる。自動撮影は、約 2 秒に 1 回のペースで連続して行い、フラッシュライトはその都度照射される。また、背面にある操作パネルでは、ロボットの運転開始、停止の操作を行い、ディスプレイでは、検査範囲の指定や走行状況などを確認することができる。その他に、リン酸鉄リチウムバッテリーと、動力として 30 W DC ブラシレスモーターを 2 基搭載している。

撮影装置には、カメラと照明を搭載し、遮光カバーで覆われている。カメラは産業用カメラを 2 基搭載し、並列に 2 枚を同時に撮影する。撮影した画像は、

SLAM により位置情報を 1 枚ごと取得し、この情報を基に画像が合成される仕組みになっている。照明には、ストロボを 1 基使用している。連続撮影時の発熱でストロボの照度低下が発生しないよう温度上昇を防ぐ措置を講じ、耐久テストも実施済みである。遮光カバーはプラスチック製の簡易で軽量なものであり、内側には反射素材を用いて照度が均一になる工夫をしている。この専用の撮影装置により、カメラと床面の距離やフラッシュライトによる照明の光量・角度が一定に保たれるため、外的要因に左右されず常に同条件での画像取得が可能となり、画像認識によるひび割れ検出が高精度で行える。また、撮影装置の上部に、レーザーセンサーと警告灯を装備する。レーザーセンサーでは、位置情報の取得と、走行中は障害物検知を行い、警告灯は、走行検査中に何らかのエラーが生じた場合、点滅と警告音を発生する。

付属の PC には、ひび割れ検出 AI と検出したひび割れを自動で図面化するソフトウェアを搭載した。ロボットで撮影した画像データは、無線 LAN により PC に随時転送され、AI にてひび割れを検出する。理論分解能は、0.1 mm/px で、幅 0.1 mm のひび割れまで検出できる。検出速度は、PC に画像受信後、画像 1 枚につき約 1 秒である。検出したひび割れは、CAD データの平面図上に幅 0.1 mm ごと色分けして表示する。また、画面上で必要な個所の詳細画像を確認することや、紙媒体で出力することもできる。

(2) 本ロボットの操作手順

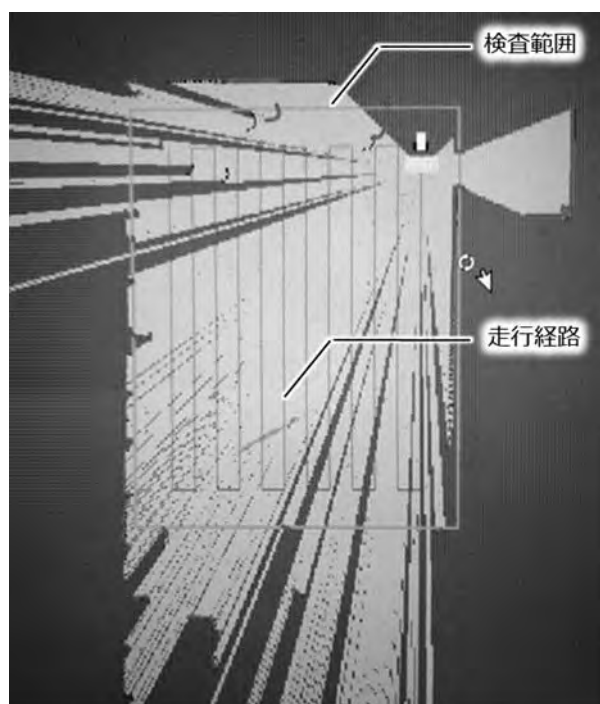
本ロボットは、検査範囲を指定するだけで自律走行、自動撮影、AI による床のひび割れ検出、検査結

果の図面へのプロットを自動で行うことができる。ロボットの操作手順を以下に示す。

- ①ロボットをコントローラー（写真—2）で操作しながら、必要な範囲の周辺環境をレーザーセンサーで読み取り、環境地図を作成する。作成した環境地図は、走行台車のディスプレイに表示される。
- ②ロボットを検査開始位置にセットし、作成した環境地図上に検査範囲を指定する。検査範囲の指定はコントローラーの十字スティックで行う。
- ③検査範囲を確定すると、ロボットが自動で走行経路を作成し、環境地図内に表示する（図—2）。
- ④検査開始ボタンを実行し、自律走行を開始する。ロボットは走行経路に従い自律走行を始め、検査範囲の床面を自動撮影する。走行途中にある柱などの障害物は、レーザーセンサーで検出し自動で迂回を行う。
- ⑤自動撮影した床面の画像は、撮影毎に随時、無線LANで付属のPCに転送される。



写真—2 操作用コントローラー



図—2 環境地図および走行経路の作成

- ⑥PCで受信した画像は、AIにより自動でひび割れを検出する（図—3）。
- ⑦ひび割れ検出後、画像にある位置情報をもとに環境地図上にひび割れが合成され、1枚のひび割れ検出マップが完成する。
- ⑧このマップとCAD図面を貼り合わせ、平面図上にひび割れを表示させ、最終図面が完成する。

3. 実証実験

本ロボットの有意性を確認するため、実証実験を行った。

実証実験は、竣工後数十年が経ち解体が決まっている複合施設で行い、ひび割れが比較的多く発生している平坦なコンクリート床（約200m²）で実施した。同一の場所で従来の目視による検査（以下、目視検査）とロボットによる自動検査（以下、自動検査）を行い、ひび割れの検査速度と検出精度を比較した。

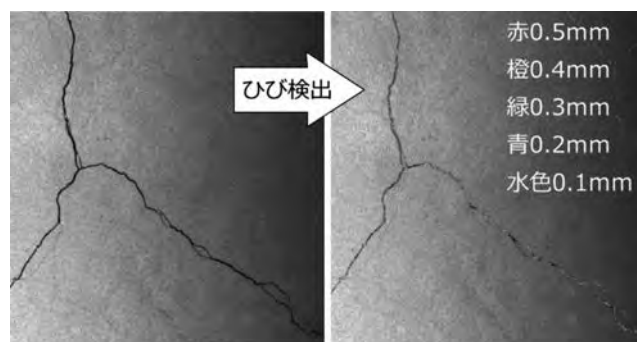
目視検査では、専門の知識のある検査員が、平面図にひび割れをスケッチし、クラックスケールを用いてひび割れ幅を実測して記録した。自動検査では、建築の知識のない操作者が、ロボットを所定の位置にセットし、検査、図面化を行った。

(1) 検査速度

目視検査ではスケッチから実測による記録までに約65分を要した。自動検査では、ロボットのセットから図面化までを約40分で完了した。また、目視検査は記録と実測を2人1組で行ったが、自動検査ではロボットの操作者1名ですべてを実施することができた。自動検査により、検査時間の短縮だけでなく、検査員の削減ができることを確認した。

(2) 検出精度

目視検査では、注意深く床面を調査しているにもかかわらず、ひび割れを見落とす部分があった。また、ひ



図—3 AIによるひび割れ検出

び割れ位置は目測であるため、おおよその位置での記録となり、ひび割れ幅は、ひび割れの始点と終点、その中間や分岐点を実測した（図—4）。一方、自動検査では、目視検査で見落とししたひび割れも確実に検出し、検出漏れは皆無であった。ひび割れ位置も、SLAM による位置情報を取得しているため正確である。ひび割れ幅もピクセル単位で検出しているため、全長にわたり幅がわかり、画像によりひび割れの詳細を把握することができた（図—5）。しかしながら、床の傷や汚れをノイズとして検出してしまう箇所が散見された。このように自動検査では、改善の余地はあるものの、ひび割れの位置、幅を正確に検出し、高精度かつ詳細に記録ができることを確認した。

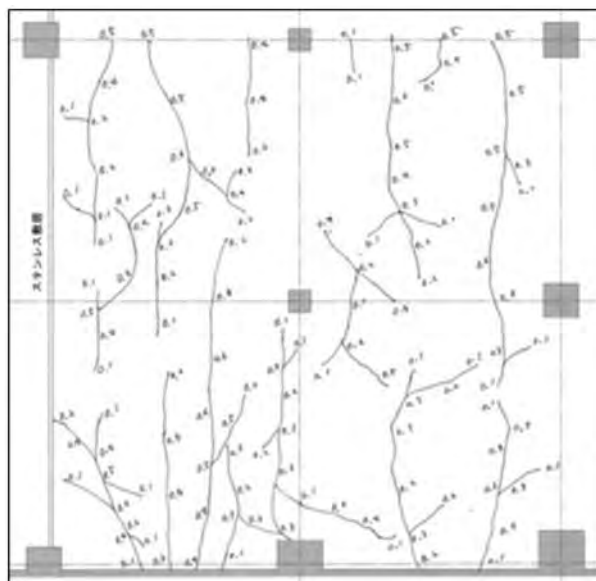
4. ロボットによる自動検査の導入効果

今回の実証実験で得られた結果を踏まえ、導入効果を以下にまとめる。

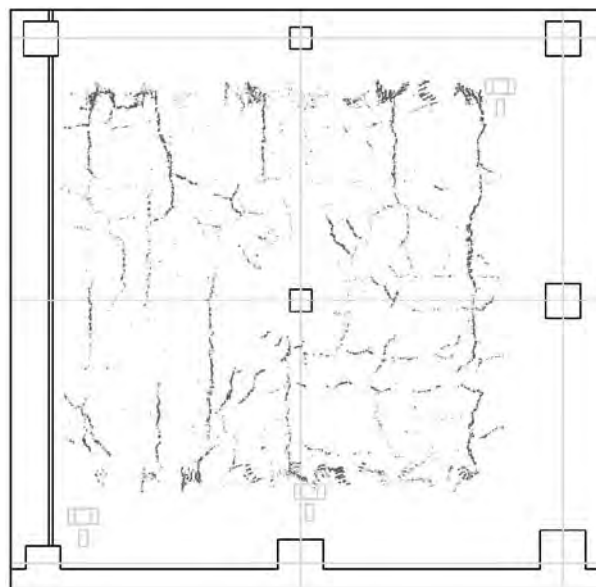
- ①自動検査は目視検査に比べ、検査時間を約 40% 短縮し、検査に必要な人員も半減することができた。そのため、大幅な業務効率化と、労務不足の改善が図れる。また、複数台のロボットを同時使用することにより、更なる検査の効率化が見込める。
- ②ロボットではひび割れ検査の専門の知識がない者でも常に安定した精度で検査することができ、信頼性の高い記録を得ることができる。また、点検漏れや見落としも防止できる。
- ③ひび割れ検査の記録を、紙媒体ではなく電子データとして管理することで、より多くの情報を手軽に確認できる。そのため、設計・施工との因果関係や発生原因を的確に評価することも可能になる。
- ④自動検査では、操作者がロボットの管理のみを行っていれば良く、目視検査での長時間にわたる作業や、その検査姿勢から成る苦渋作業を削減できる。

5. おわりに

本ロボットにより、多くの労力を必要とすることなく現場の詳細なデータを自動で取得できるようになり、検査業務の大幅な効率化が図れる。また、AI によるひび割れ検出で、精度の高い検査結果を安定して得ることも可能になった。一方で、検出時のノイズの除去など解決しなければならない課題もある。今後は、本格的な実用化に向け、様々な実現場での試行を繰り返し行い、本ロボットの改良改善を行っていく。



図—4 目視検査での記録



図—5 ロボットによる自動検査での記録

謝 辞

最後になりますが本ロボットの開発にあたり、共同開発先である株式会社イクシス様には絶大な協力を頂いている。ここに誌面を借りて心より感謝の意を表する。

J C M A

【筆者紹介】

羽根田 健（はねだ けん）

（株）安藤・間

建設本部 先端技術開発部 建築技術開発グループ
担当課長

