

自動検査システムおよび建設ロボットの現場試行

A Field Trial of Using Automatic Inspection Systems and a Construction Robot

相羽均修*¹ 井関将人*² 正垣遥一*³

概 要

建設分野の生産性向上を図る方策として、自動検査システムの活用や二次的な作業である清掃や運搬の省力化を優先的に進めるべきであると考えられている。現在、建設分野では高齢化が進み、新しい担い手が不足している。また、施工検査においても従来は検査によって不具合を指摘された箇所とその是正結果の記録が中心であったが、近年はトレーサビリティの重要性の高まりから、検査で適正であった箇所も含め、全箇所の検査記録が求められている。この全箇所検査記録の管理は、記録業務の工数を増加させる要因となる。

そこで、自動検査システム（AI ガス圧接継手検査システム、3眼カメラ配筋検査システム）と清掃ロボットを現場試行し、検査精度や生産性向上の効果を確認した。

key words : DX、デジタルデータ、建設ロボット、配筋検査、自動清掃

1. はじめに

高齢化が進み、新しい担い手確保が求められている建設分野では、生産性向上の取り組みが重視されている。国土交通省では、i-Constructionを推進し、2025年度までに建設現場の生産性を2割向上させることを目指している。現在、国土交通省の「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」においてA（試行は十分な成果があり、技術の導入効果や社会実装の実現性について高く評価できる）と評価された技術が一般に利用可能となっている。これにより、施工検査の自動化や建設ロボットの導入がしやすくなってきた。

従来、施工検査の実施記録は、検査によって不具合を指摘された箇所とその是正結果の記録が中心であったが、近年は、トレーサビリティの重要性の高まりから、検査で適正であった箇所も含め、全箇所の検査記録が求められている。この全箇所検査記録の管理は、記録業務の工数を増加させる要因となる。また、建設現場の生産性向上のために、二次的な作業である清掃や運搬の省力化が課題となっている。

そこで、上記のA評価の技術である自動検査システムおよび建設ロボットを実現場で試行し、実現場での検査精度や生産性向上の効果を確認した。なお、生産性向上の効果の判定は、従来方法との比較による。

2. 工事概要

工 事 名 : 那覇第2合同3号館 (R3) 建築工事
施工場所 : 沖縄県那覇市おもろまち2丁目1番1号
発 注 者 : 沖縄総合事務局
設 計 者 : 株式会社梓設計
監 理 者 : 有限会社 造家設計研究室
建物用途 : 庁舎、分棟車庫
構 造 : RC造
規 模 : 地下1階、地上9階
建築面積 : 1845.81m²
延床面積 : 14768.31m²
軒 高 : 40.79m
最高高さ : 41.59m



図-1 完成予想パース

*1 Masanobu AIBA

技術本部技術研究所 研究員

*2 Masato ISEKI

九州支店建築部 作業所長

*3 Yoichi SHOGAKI

九州支店建築部 工事係

3. 自動検査システムの試行

3.1 AI ガス圧接継手検査システム

(1) 試行概要

AI ガス圧接継手検査システムの試行概要を表-1 に示す。試行には鉄筋ガス圧接継手 AI 検査サービス (NTT コムウェア社製) を使用した。現在、ガス圧接継手の検査は、検査員がノギスや SY ゲージなどを使って計測・判定している。これをスマホやタブレットなどで圧接部を撮影するだけで AI が鉄筋と圧玉を認識し、検査基準に従って判定するシステムが鉄筋ガス圧接継手 AI 検査サービスである。

試行では、技能資格者による実測検査に対する AI 検査の検査精度と検査時間を比較した。実測検査は検査者と記録者の 2 名で、AI 検査はタブレット操作者 1 名で実施した (写真-1)。

(2) 判定項目

ガス圧接継手検査の判定項目を表-3 に示す。使用システムの判定項目は、鉄筋継手部外観検査マニュアル¹⁾および公共建築工事標準仕様書 (建築工事編)²⁾に示されている①鉄筋幅、②ふくらみ直径、③ふくらみ長さ、④偏心量、⑤折れ曲がり、⑥片ふくらみの 6 項目のうち、①鉄筋幅を除く 5 項目である。使用システムは鉄筋幅を事前に入力する必要がある。

(3) 生産性 (検査時間) の確認

実測検査と AI 検査に要した検査時間を表-2 に示す。検査対象は、7 階柱主筋 30 本 (X9-Y2:20 本、X9-Y1:10 本) である。ここで、実測検査は 2 人 1 組で実施するため、検査時間を 2 倍とした。試行の結果、AI 検査は実測検査に対し 90% 程度の工数を削減できることが分かった。

表-1 ガス圧接継手検査システムの試行概要

使用システム	鉄筋ガス圧接継手 AI 検査サービス
開発メーカー	NTT コムウェア
実施日	2023 年 6 月 12 日, 13 日
実施場所	那覇第 2 合同庁舎 3 号館 (R3) 建築工事
検査部位	7 階柱 (継手 30 箇所)
実施時気象	くもり時々雨
撮影距離	50~80cm



写真-1 ガス圧接継手の検査状況

表-2 生産性 (検査者の拘束時間) の比較

検査箇所		実測検査	AI 検査
柱 X9-Y2	20 本	56 分	9 分
柱 X9-Y1	10 本	24 分	7 分
小計		80 分	16 分
合計		160 分*	16 分

*実測は 2 人 1 組で実施するため合計は小計を 2 倍した。

表-3 ガス圧接継手検査の判定項目

項目	継手写真	従来方法検査	AI 判定ロジック
鉄筋幅 (d)		・呼び名を d (mm) とする	・呼び名 (d) と実測値をアプリに入力する ・AI 認識の鉄筋幅を比較しピクセル換算する
ふくらみ直径 (D) $D \geq 1.4d$		・直交する 2 方向から検査 ・直交する 2 方向とも基準を満たす場合を合格、満たさない場合は 2 方向の平均値が基準を満たせば合格	・2 方向から撮影し、画像から左記と同じ判定を行う
ふくらみ長さ (L) $L \geq 1.1d$		・直交する 2 方向から検査 ・直交する 2 方向とも基準を満たす場合を合格、満たさない場合は 2 方向の平均値が基準を満たせば合格	・2 方向から撮影し、画像から左記と同じ判定を行う
偏心量 e $e \leq (1/5)d$		・鉄筋の上部/下部表面で検査 ・1 回で判定 (回数の記載なし)	・鉄筋の中央線を画像から検出する ・2 方向から撮影し、どちらも基準を満たす場合を合格
折れ曲がり (θ) $\theta \leq 2$ 度		・鉄筋の上部/下部表面で検査 ・1 回で判定 (回数の記載なし)	・鉄筋の中央線を画像から検出する ・2 方向から撮影し、どちらも基準を満たす場合を合格
片ふくらみ (Δh) $\Delta h \leq (1/5)d$		・鉄筋の上部/下部表面で検査 ・1 回で判定 (回数の記載なし)	・鉄筋の表面を画像から検出する ・2 方向から撮影し、どちらも基準を満たす場合を合格

(4) 検査精度の確認

実測検査による実測値と AI 検査による検査値、両者の差を図-2 に示す。②ふくらみ直径(D)、③ふくらみ長さ(L)、⑥片ふくらみ(Δh)の3項目は実測値をノギスで計測し、④偏心量(e)、⑤折れ曲がり(θ)については、SY ゲージで計測した。実測値および AI 検査値とも、②～⑥すべての項目で合格判定であった。また、AI 検査値は従来の実測値に対し、より厳しい判定となる(合格値に近い)傾向であった。したがって、AI 検査精度は実用上問題ない精度で判定できると考えられる。

(実測値-AI 検査値)は、ノギスで計測した②ふくらみ直径(D)、③ふくらみ長さ(L)、④片ふくらみ(Δh)については、90%以上で AI の方が厳しい判定を示した。④偏心量(e)は60%、⑤折れ曲がり(θ)については87%で AI の方が厳しい判定を示す結果となった(図-2)。これは、SY ゲージで計測した④偏心量(e)は0.5mm 刻みでの記録、⑤折れ曲がり(θ)は0.2° 刻みの記録であり、それに対し AI 検査値は小数点第2位までを画像から計測しているため、両者に明確な差が見られなかったと考えられる。

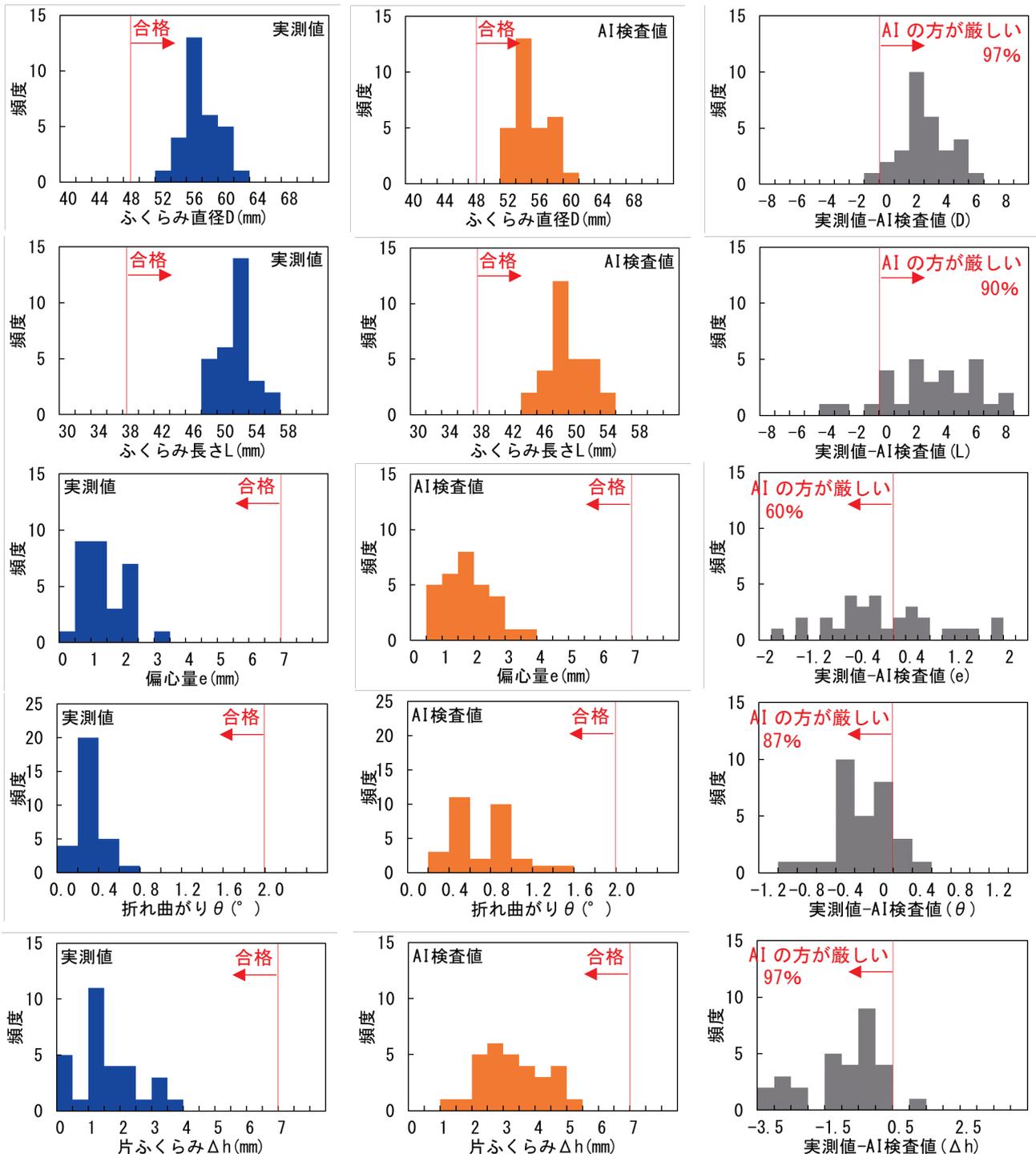


図-2 実測値と AI 検査値およびその差

3.2 配筋検査システム

(1) 試行概要

配筋検査システム(以下、AI 検査)の試行概要を表-4に示す。試行には3眼カメラ配筋検査システム:写らく(清水建設、カナモト、シャープ社製)を使用した。現在、配筋検査は撮影箇所ごとに、検尺ロッドによる鉄筋間隔の検測や鉄筋目印の設置によって鉄筋径の確認を行っている(写真-2)。これを写らくでは、機体本体に搭載された3つのカメラで同時に撮影した画像を画像解析アルゴリズムによって解析し、約5秒で検査結果(鉄筋径および配筋間隔)を表示し、同時に現場で検査帳票を作成できる。一般にレンタルされている配筋検査システムの比較を表-6に示す。本試行では、公表されている規格を比較し3眼カメラ配筋検査システムを選定した³⁾。

今回の試行では、配筋検査者による実測検査とAI検査の検査精度と検査時間を比較した。検査者は実測検査、AI検査とも1名である。

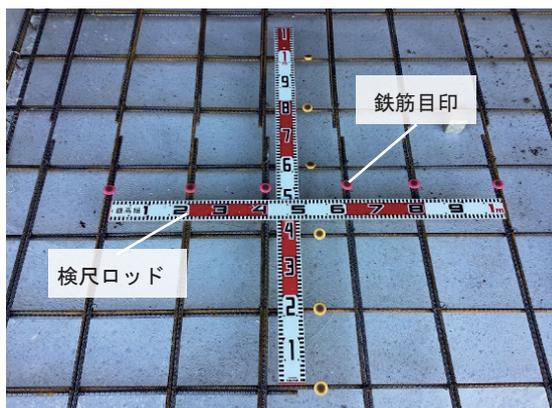


写真-2 従来方法による配筋検査

(2) 生産性(検査時間)の確認

実測検査とAI検査に要した検査時間を表-5に示す。ここで、AI検査の撮影準備時間(カメラの校正(写真-3)、配筋データ入力等)と両者の帳票作成時間は除いた。試行の結果、AI配筋検査は実測検査に対し25%程度の工数を削減できた。

表-4 配筋検査システムの試行概要

使用システム	写らく(3眼カメラ配筋検査システム)
開発メーカー	清水建設, カナモト, シャープ
実施日	2023年6月12日, 13日
実施場所	那覇第2合同庁舎3号館(R3)建築工事
検査部位	7階柱・壁・床
実施時気象	くもり時々雨
撮影距離	100~200cm

表-5 生産性(検査者の拘束時間)の比較

検査箇所	従来検査	3眼カメラ検査
床 X8-10, Y1-5	16箇所 16分	10分
柱 X10, Y2-3	2箇所 5分	6分*
合計	21分	16分

*逆光や手ぶれによる再撮影で時間を要した。



写真-3 カメラの校正状況

表-6 一般にレンタルされている配筋検査システムの比較

技術	3眼カメラ配筋検査システム	AI配筋検査システム	鉄筋出来形自動検測システム
写真	LED 3眼カメラタブレットPC 	タブレットPC ステレオカメラ 	タブレット(android) 光源 RGBカメラ デブスカメラ
公表規格	<ul style="list-style-type: none"> 機能:間隔計測、規格判定 対象鉄筋:D10~D51 【精度】 鉄筋検出率:99.99% 平均間隔誤差:±10mm 規格判定正解率:70%以上 【その他】 2段配筋計測可能 かぶり計測可能 帳票作成可能 	<ul style="list-style-type: none"> 機能:間隔計測、規格判定 対象鉄筋:D10~D51 【精度】 鉄筋検出率:96.4% 平均間隔誤差:±5mm 規格判定正解率:なし 【その他】 2段配筋計測不可 かぶり計測可能 帳票作成可能 	<ul style="list-style-type: none"> 機能:間隔計測、規格判定 対象鉄筋:D13~D51 【精度】 鉄筋検出率:なし 平均間隔誤差:±5mm 規格判定正解率:なし 【その他】 2段配筋計測可能 かぶり計測可能 帳票作成可能

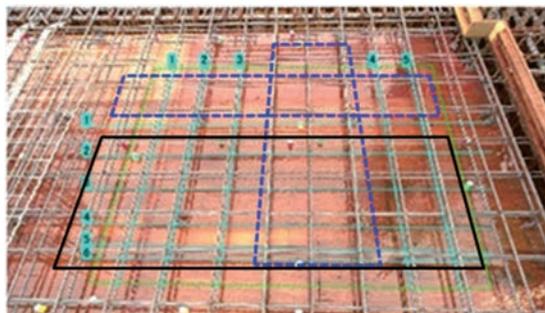
(3) 検査精度の確認

AI 検査による鉄筋径の検査精度を表-7に、配筋間隔の検査精度を図-3に示す。検査対象は7階床・柱とした。ここで、AI 検査による2段筋の検出は困難であったため表層鉄筋のみを計測の対象とした(図-4)。

鉄筋径の検査精度(判定)は、正確な径の判定の可否である⁴⁾。試行では240本中140本の鉄筋径を正確に判定でき、同時に技術的課題を残していることもわかった。表-7に示すように、柱主筋(D35)の正解率は100%であったが、床上端縦筋の正解率は88.5%、床上端縦筋の下側となる床上端横筋の正解率は7.3%となり部位により判定精度が異なることが分かった。

配筋間隔の検査精度は、所定の間隔の20%以内を許容値⁵⁾としている。そこで、今回の試行では検査精度をAI 検査による鉄筋間隔と実測検査による鉄筋間隔(設計値)との差が10%以内を許容値として評価した。AI 検査による鉄筋間隔は95%以上が許容値以内に納まっていた。ここで、計測対象とした配筋は上端筋のみである。

かぶり計測値を実測値で除した結果を図-4に示す。かぶりの計測は、スラブ底面、柱側面、壁側面(図-5)、梁側面に対して行った。今回試行を実施した条件下では、かぶり計測は、誤差が非常に大きいことが分かった。



- : 下端(2段)筋を認識していない
- : 影を鉄筋と認識している

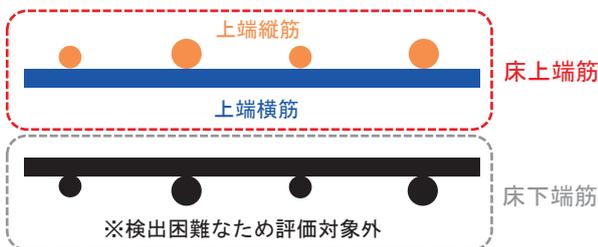


図-4 床配筋の2段筋検出

表-7 鉄筋径の判定精度

部位	柱	床(上端縦)	床(上端横)	合計
径(設計値)	D35	D10, D13	D10, D13	
計測数	48	96	96	240
正解数	48	85	7	140
正解率	100%	88.5%	7.3%	58.3%

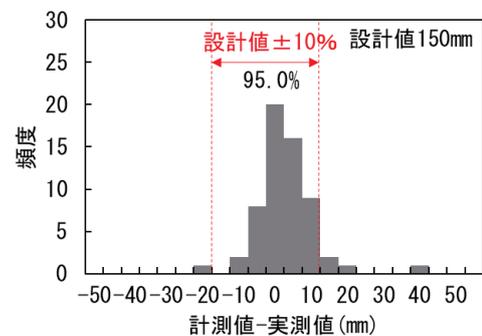
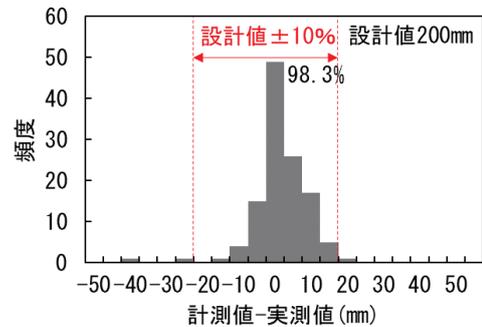
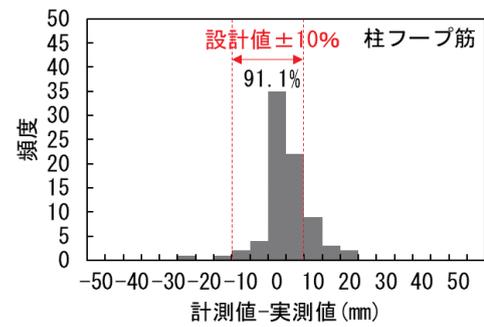


図-3 配筋間隔の精度

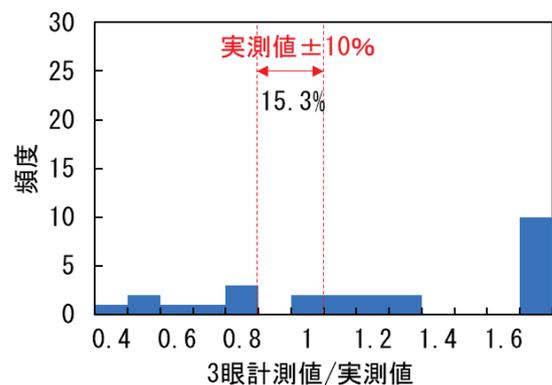


図-5 かぶり計測の精度



図-6 壁筋かぶり計測の例

3. 建設ロボットの試行

3.1 清掃ロボット

建設ロボットの試行では、清掃ロボット「T0 ギャザー」を用いた(写真-4)。このロボットは、床上にある清掃対象物をかき集めるロボットであり、あらかじめカラーコーンにて指定された四角形の清掃領域内の一辺に清掃対象物を集めるため、比較的大きなものも集めることが可能で、吸引に伴うトラブルが生じないことが特長である。また、満充電で5時間の駆動が可能である(充電時間は8時間)。

試行では、T型ほうきを使用した清掃方法と比較した⁶⁾。清掃方法別の作業効率と清掃後の状況を表-8に、清掃状況を写真-5に示す。清掃面積は60m²(8.0m×7.5m)とし、そこにおがくずを撒き、1か所にまとめるまでの時間と清掃精度を比較した。清掃ロボットは清掃状態がT型ほうきより悪く、掃き漏れもあった。

しかし、清掃ロボットの稼働中は、清掃に充てる作業員が別の作業をすることができるため、運用方法次第では生産性を向上させることができると考える。例えば、日中の作業時間において、1回の清掃範囲を200m²程度とし、満充電状態から午前中に800m²(セット4回)、その後3時間充電して、夕方2時間で400m²、1日で1,200m²の清掃サイクルで運用することで清掃効率が向上すると考える。



写真-4 自立型清掃ロボット T0 ギャザー

表-8 清掃方法別の作業効率と清掃精度

清掃方法	作業効率	清掃後の状態	作業員の必要性
T型ほうき	0.1分/m ²	○	清掃中
ロボット	0.3分/m ²	△	開始前後のみ



a) T型ほうき b) ロボット(T0 ギャザー)

写真-5 清掃状況

4. おわりに

自動検査システムおよび建設ロボットを試行した結果、現時点では、現行の業務をそのままシステムやロボットに置き換えるには課題が残ることが分かった。しかし、運用方法や業務の分担を工夫することで、現場業務の生産性を向上させる可能性が十分あることが示唆された。

今後とも現場の生産性向上するために、新技術の試行を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 日本鉄筋継手協会：鉄筋継手部外観検査マニュアル、2013年
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部：公共建築工事標準仕様書(建築工事編)令和4年版、2023年3月
- 3) 吉武謙二、藤井彰、有田真一：リアルタイム自動配筋検査システム現場で簡単撮影(瞬時に帳票作成が可能な配筋検査技術)、pp104-110、建設マネジメント技術、2022年2月
- 4) 市村靖光、鈴木宏幸、関健太郎：建設マネジメントにおけるDXに関する取組み(画像による配筋間隔計測技術の現場実装の試み)、pp32-35、土木技術資料63-6、2021年
- 5) 国土交通省大臣官房官庁営繕部整備課建築技術調整室：官庁営繕事業の建設現場におけるデジタルデータを活用した配筋検査試行要領、2023年5月
- 6) 加藤崇：建設現場向け清掃ロボットの開発(その2実験的検証)、pp1295-1296、日本建築学会大会学術梗概集(中国)、2017年8月