

37. 熟練オペレータに代わる「自動運転ローラ」の開発，現場適用

鹿島道路株式会社
鹿島建設株式会社

○伊藤 圭祐，中渡瀬 圭吾，西川 匠哉，平藤 雅也，阪田 正弘
松本 俊彦，藤本 大輝，浜本 研一，出石 陽一，三浦 悟

1. はじめに

建設業では1997年をピークに建設業就業者の減少傾向が続いている。それに加えて高齢化も進んでおり、55歳以上が就業者数の約36%を占めているため、10年後の大量離職が見込まれる。また、それを補うべき若手入職者の数は不十分であり、29歳以下の就業者数は約12%となっている¹⁾。このような背景の中、技能者の確保と技術の伝承が喫緊の課題となっている。

当社では、早くから情報化施工の導入など現場作業の効率化や施工品質確保に努めてきたが、この度労働者不足への対応として建設機械の自動化にも着手した。

自動運転ローラは、鹿島建設(株)が開発した「A⁴CSEL[®](クワッドアクセル)」²⁾を活用し、鹿島建設(株)機械部自動化施工推進室と共同で舗装用建設機械自動化の一環として開発に取り組んだ。

本稿では車体改造から現場試験導入に至るまでの過程を紹介する。

2. 対象機種と開発目標

本開発では、路盤工事からアスファルト舗装工事まで幅広く使用されているタンデム振動ローラを対象とした。

本ローラは設計経路を自動的に走行するものとし、周囲に走行目標物がない場合や曲線部においても適正パターン(往復距離，ラップ幅)での転圧が可能となり、工種ごとの特徴にも対応することを目指した。

路盤工事においては、振動の「ON/OFF」を遠隔、自動と任意で変更出来るものとし、振動の有無に関わらず操舵精度の安定化や、アスファルト舗装工事における平坦性確保のための急激なステアリング操作の抑制、急発進や急停止に起因する材料の押し出しや引きずりをなくすために加減速を考慮した速度制御機能と構造物際の転圧作業が出来る機能を備えることを目標とした。

3. 車体改造

ベース車両には酒井重工業製タンデム振動ローラ SW654 (写真-1)を採用した。

実際の現場を想定し、操作者は作業前点検を実

施した後は、遠隔もしくは自動にてエンジンの始動から施工(自動走行)までを行い、施工終了後にはエンジン停止までを車体に近づかずに行えるように車体の油圧、電気回路に改造を施した。



写真-1 タンデム振動ローラ SW654

3.1 前後進制御

SW654の走行は運転席の横に備え付けられている前後進レバーを前後に倒すことによって前後進を行う。この構造を活かしたまま前後進の自動制御を行うためには、前後進レバーに電動シリンダを取り付け、それを電気制御することによって遠隔での前後進制御を行う事もある。しかしながら、本開発では、路面を傷めない速度調整への対応や電動シリンダの防水対策、耐久性を考慮し、走行ポンプを電子制御式のものに交換した。電子制御式ポンプに交換後も自動走行だけでなく、従来と同様の有人運転に対応させるため、前後進レバーにポテンショメータを取り付け、レバーの動き量を電氣的に検知することによりマニュアル操作に対応できる構造としてある。

3.2 ステアリング制御

ステアリングに関してSW654は油圧式ステアリング機構が採用されている。この機構のため、ステアリングハンドルにサーボモータを組合せる方法も検討したが、サーボモータの防水性能と耐久性を考慮し、本開発では電磁弁及び、電磁比例弁を組み合わせることで自動化に対応する油圧回路を増設した。当該油圧回路を元の油圧回路と並列に接

続し、自動運転回路とマニュアル操作回路を任意に切り替えることで、従来と同様の操作でのマニュアル運転を可能とした。

3.3 その他の改造項目

遠隔、もしくは自動で「エンジン始動/停止」や「エンジンスロットルの Low/Hi 切り替え」、「振動や散水の ON/OFF」などを行えるよう改造を施した。これにより、操作者が作業前点検を実施したあとは不用意に車体に近づく必要がなくなり、安全性と作業性を確保した。

4. 自動走行システム

自動走行システムは、鹿島建設(株)が既に現場導入し実績を重ねている前述のA⁴CSEL を活用した。車体改造を実施した SW654 に GNSS 及びジャイロセンサなどの位置姿勢計測装置や制御用 PC などを搭載して、自動運転を可能とした(図-1)。

自動運転により、舗装作業に必要な直線・曲線走行を事前に設定した経路に対して±10cm 以下の高精度で実施できることを確認した。また、構造物の敷設された現場を想定し、位置姿勢計測とは別に、既存構造物などとローラの接近をカメラセンサやレーザレンジファインダ(以下、LRF)により計測し、接触による構造物の破損を防止しつつ作業を継続する機能を実装した。

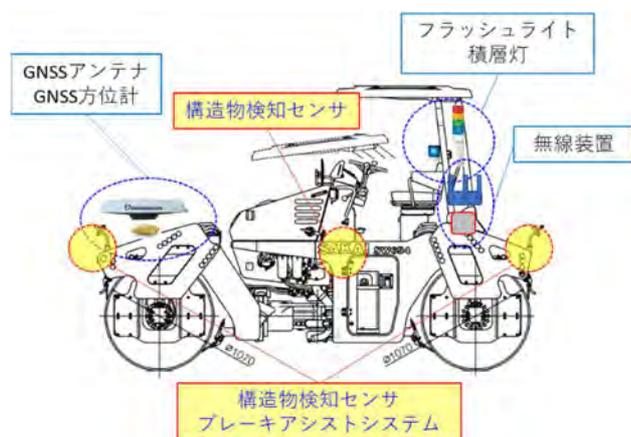


図-1 自動化機材を設置した SW654

5. 安全装置

当社で開発した自動ブレーキシステムを含む複数の安全装置を組み合わせで搭載した。

5.1 自動ブレーキシステム

ローラ本体の前後にステレオカメラを設け、事前設定したエリア内で対象物を検知すると、対象物の種類、距離と車体速度に応じて、走行ポンプの HST 制御によるブレーキとネガティブブレーキの組合せにより制動するシステムである(図-2)。

5.2 遠隔リモコン

遠隔リモコンスイッチを用いて、操作者、もしくは監視者が危険や異常を察知した場合に遠隔操作で自動走行を停止させることが出来る(図-2)。

5.3 自己位置自動判定による走行停止

事前に設定した走行経路、走行範囲から逸脱した場合は自動停止するシステムである。

5.4 死活監視システム

無線通信や各種センサとの通信不良、システムエラーなどが発生した場合には、自動走行を自動停止する。また、車体上部に取り付けたフラッシュライトや積層灯にて自動運転ローラのシステムエラーについて確認することが出来る。

5.5 構造物検知システム

鹿島建設(株)機械部自動化施工推進室と共同で構造物検知システムを開発し実装した。車体前方に設けた LRF にて地面からの高さと比較して構造物を検知し、車体側面に設置したカメラセンサにて構造物にマーキングした赤色養生テープを検知する(写真-2)。車体側方の構造物を検知した場合には、事前に作成した走行経路を検知状況に応じてオフセットし、そのオフセットした経路に合わせステアリング制御を行うことにより自律的に構造物を回避しながら走行ができる。また車体前後の構造物を検知した場合には自動停止する(図-2)。



図-2 安全装置一覧



写真-2 カメラセンサ検知状況

6. 現場への試験導入

試験ヤードでの動作調整・検証を繰り返して機能の信頼性を確認し、2022年7月に「大規模駐車場舗装工事」への試験導入を実施した。

6.1 施工範囲

自動運転ローラは図-3ハッチング内の路盤の仕上げ転圧作業にて使用した。

図面ハッチング内（構造物除く）：約8,650㎡

自動転圧実績：約8,300㎡

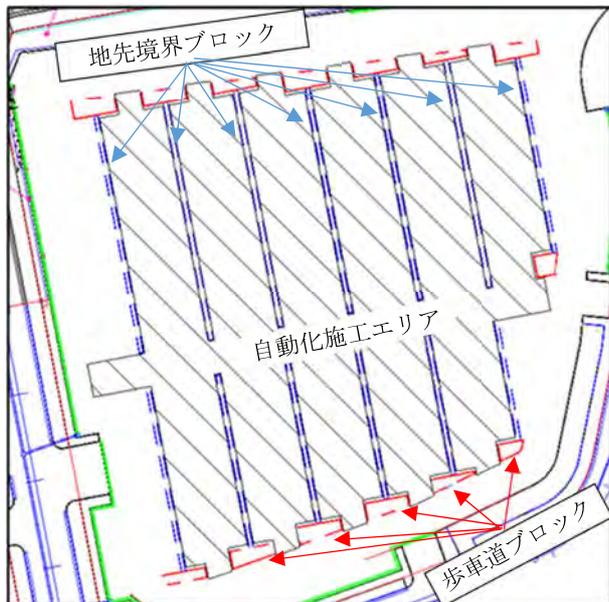


図-3 自動化施工エリア



写真-4 歩車道ブロック天端高20cm



写真-5 横断方向離れ20cm

6.2 現場構造物

現場内には地先境界ブロックと歩車道ブロックが敷設済みであり、地先境界ブロックは路盤天端から高さ5cm（写真-3）、歩車道ブロックは路盤天端から高さ20cm（写真-4）の突出があった。これら構造物との接触を確実に防ぐため、自動化施工範囲は、鉄輪端部と構造物までの横断方向距離が20cm（写真-5）、鉄輪中心から構造物までの延長方向距離が75cm（写真-6）となるように施工計画を行った。



写真-3 地先境界ブロック天端高5cm

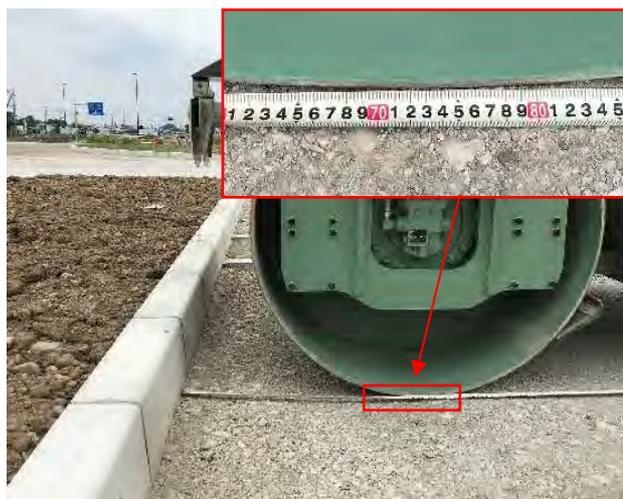


写真-6 縦断方向離れ75cm

6.3 施工体制

図-3の自動化施工エリア外を他作業車の通行帯とし、自動運転ローラとその他作業の施工箇所の分離措置を講じ、自動化施工エリア内の当日作業を実施する箇所にはA型バリケードを用いて作業エリアの明示を行った。また、自動運転ローラの操作者と監視者を施工箇所の前後に配置し、他の作業者が誤って自動化施工エリアに侵入しないように目視での監視も実施した。万が一、侵入した場合には、図-2の遠隔リモコンを使用し、自動運転ローラの走行を停止出来る様に日々の作業前点検において安全項目を重点的に確認した。また、施工エリア外でも自動運転ローラの進行方向約6m以内に人や作業車が近づいた場合にも安全のために走行を停止する設定とした。

6.4 走行結果

図-2の自動施工エリアを全て施工したが、構造物と接触することなく、事前に設計した経路に合わせ走行できることを確認した(写真-7)。万が一、ローラと構造物が設定距離を超えて接近する場合でも、構造物検知システムが作動し、走行経路をオフセットすることで構造物に接触することなく継続して転圧作業を行えることを確認した。図-4に一部施工エリアの転圧回数データを示す。この図からもわかるように、構造物間近まで寄って施工することができた(写真-7)。

なお構造物際の転圧に関しては、従来どおりプレートコンパクターにより転圧を行っている。

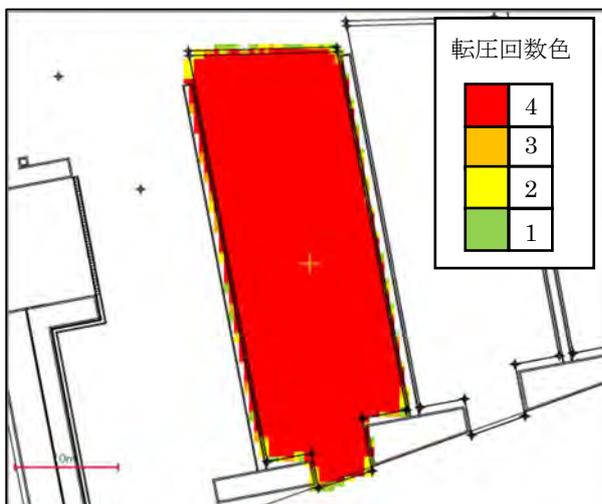


図-4 転圧管理状況



写真-7 自動転圧状況

7. おわりに

現場への試験導入を行い、自動運転ローラが備えている機能が期待通り発揮され、現場運用が可能であることが立証された。

本現場での試験導入とは別に社内で実施されたアスファルト舗装工事での仕上げ転圧においても、今回紹介した路盤工事と同様に、設計経路に沿って安定した転圧作業を行えることを確認している。

今後は本ローラの自動化技術を他の建設機械へも展開し、1人で複数台の建設機械を管理することで舗装業界の人手不足対策に対応すべく努力する所存である。また、現場の省人化を目指し安全性の向上に繋げていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省：最近の建設業を巡る状況について【報告】，令和3年
- 2) A⁴CSEL[®] (Automated / Autonomous / Advanced / Accelerated Construction system for Safety, Efficiency and Liability) は鹿島建設(株)の登録商標
URL: https://www.kajima.co.jp/tech/c_a4csel/index.html