

転圧プロセスの自動化により一貫した締固め作業を実現する半自動振動ローラ締固めシステムの開発

田 中 誠

建設機械を使用した施工現場における熟練オペレータ不足の課題を解決し、生産性、安全性を向上させる施工技術として ICT を利用した情報化施工が広く普及してきた。そして建設機械のコントロールについては更なる自動化や自律運転といった技術へのニーズが高まり、既にそれらは一部実現され建設施工現場で運用され始めている。

そこで、高い締固め品質を確保し、生産性、安全性を向上する半自動振動ローラ締固めシステム（以下「本システム」という）を開発した。本稿では、その概要について紹介する。

キーワード：Cat[®] Command for Compaction, 半自動振動ローラ締固めシステム

1. はじめに

国土交通省は測量から検査まで ICT を活用する i-Construction を推進しており、建設機械を使用した施工では、マシンガイダンスやマシンコントロールを利用した情報化施工が広く実施されている。経験の浅いオペレータによる作業においても熟練オペレータによる精度の高い作業を期待することが出来るこれらの技術は急速に普及し、精度の高い施工の実現に加えて、高効率な作業により生産性を高め、かつ、現場内への人の出入りを削減できることによる事故発生リスクの低減など安全性も高めている。更に建設機械のコントロールは自律運転への関心が高まっており、既にそれらの技術は実現され活用され始めている。

本システムは自律運転を実現したものではないが、自律運転の実現を見据えた第一段階の技術として開発し国内導入したので本稿ではその概要について紹介する（写真-1）。



写真-1 本システムを装備した振動ローラ

2. システム概要

(1) 転圧プロセスの自動化

本システムは振動ローラの転圧作業の操作をアシストするシステムで、オペレータが入力する転圧パラメータに基づいて転圧作業のプロセスを自動化する。オペレータはキャブ内に着座している必要があり、無人化、自律運転を実現する技術ではない。また、本システムは RTK-GNSS 測位方式を利用している、正確な車両の位置情報を基に車両のコントロールを行っているほか、転圧作業エリアの設定にも利用している。

本システムは転圧回数、速度、方向、ステアリングを自動化する。オペレータは事前にいくつかの転圧パラメータを設定する必要があるが、それらは転圧回数、速度、転圧レーンのオーバーラップ幅でオペレータは本システムのディスプレイから容易に入力し設定することが出来る。また、振幅、振動数は振動ローラ本体に設定されている条件で制御される。本システムはこれらあらかじめ設定された転圧条件に基づき転圧プロセスを自動化し一貫した転圧作業を実現するシステムである（図-1）。



図-1 転圧プロセスを自動化した一貫した転圧作業

(2) 転圧作業エリアの設定

国内で広く普及している GNSS を利用した締固め回数管理システムでは転圧作業現場の 3 次元設計データを必要とするが、本システムは設計データを必要としない。

転圧作業エリアの設定は振動ローラと GNSS の位置情報を利用して行われる。オペレータは振動ローラを移動させて転圧作業エリアのポイントとなる位置を本システムに記憶させることにより転圧作業エリアを設定するが、オペレータが行うのは振動ローラの移動と、ディスプレイ上に表示されている Record-Pause-Stop ボタンを押してポイントとなる位置を記憶させるだけであり、容易な操作で転圧作業エリアの設定を行うことができる。

(3) 搭載機種

本システムは土工用振動ローラ用のシステムである。現在、CS56B（運転質量 11.5 t）と CS78B（運転質量 18.7 t）の 2 機種に搭載し使用することができる。

3. 本システム構成 (図—2)

(1) GNSS 固定局

本システムは RTK-GNSS 測位方式を利用している。作業現場では GNSS 固定局を設置するか、または既に設置されている GNSS 固定局を利用する。

(2) ポジショニング関連装備

GNSS アンテナを 2 個装備している。リアルタイムに車体の方向を把握し、正確な車両位置の検出を可能としており、転圧作業エリアの設定と作業エリア内での一貫した正確な締固め作業を実現させている。そのほか、GNSS 固定局から補正情報を受け取るための無

線機を装備している。

(3) ポジショニング以外の装備

Command for Compaction ディスプレイ (写真—2)、オペレータ着座感知システム、電気制御油圧ステアリングシステム、IMU センサを装備している。ディスプレイは 10 インチのタッチスクリーンカラーディスプレイで視認性に優れ、直観的な操作が可能である。転圧パラメータの入力や転圧作業エリアを設定する操作は容易にディスプレイから行うことができる。

オペレータ着座感知システムによりオペレータの着座を確認できない場合、本システムによる転圧作業は開始出来ない。また、自動転圧作業中に未着座を検出した場合も本システムの自動は解除され車両は停止する。

ステアリングシステムはエレクトリックコントロールユニット、ステアリングホイールセンサ、ステアリングシリンダ、電気制御油圧ステアリングバルブで構成されており、ステアリングを自動制御する。

IMU センサは車両の勾配を検出している。本システムは縦断・横断勾配が規定値に達するとオペレータに注意喚起し、更に範囲を超えた場合には本システムによる自動は解除され車両は停止する。



写真—2 Command for Compaction ディスプレイ



図—2 システム構成

- 転圧作業現場
- GNSS固定局
- 車両装備
- ポジショニング
- 2x GNSS アンテナ/レシーバ
- 2x RTK ソフトウェアキ
- 無線機
- ポジショニング以外
- コマンドコンパクションディスプレイ
- オペレータ感知スイッチ
- 電気制御油圧ステアリングシステム
- IMU センサ
- 障害物検出レーダ
- 障害物検出レーダ

(4) 障害物検出装置

車両の前後にレーダによる障害物検出装置を装備している。障害物を検出し車両の速度と距離に応じてディスプレイ上の障害物検知アイコンの点灯と音により段階的にオペレータに注意、警告を促す装置である。

当装置はあくまでも警告を促すのみで障害物検出時に車両を停車させるといった制御機能はない。

4. システムの操作

(1) システム操作手順

システム操作手順は転圧作業エリアの設定、転圧パラメータの入力、自動スイッチオンの三つの流れとなる。容易な設定とシンプルな操作で転圧プロセスを自動化し一貫した高い品質を実現する締固め作業を行うことができる。

(a) 転圧作業エリアの設定

転圧作業エリアは車両を移動させながらディスプレイ上の Record ボタン、Pause ボタン、STOP ボタンを押しポイントを本システムに記憶させるポイント方式の他、転圧エリアの両サイドを記憶させる方法、車両を移動させながら連続的に転圧エリア全体を記録させる方法がある。

ポイント方式では転圧エリアの四つ角それぞれのポイントを本システムに記憶させる。設定の手順は、スタート位置で Record ボタンを押し、続いて Pause ボタンを押した後に車両を移動させる。同様の操作を最初の転圧レーンの先端位置と最終レーンの開始位置にて行い、最後に最終レーンの先端で STOP ボタンを押す流れとなる。このシンプルな操作により転圧作業エリアが設定され、ディスプレイ上に転圧作業エリアが生成される (図-3)。

(b) 転圧パラメータの入力

三つのパラメータの入力を行い事前の設定は完了する。パラメータは転圧回数、速度、転圧レーンのオーバーラップ幅で、オペレータは本システムのタッチス

クリーンディスプレイから容易にこれらのパラメータを入力することが出来る (図-4)。

(c) 自動スイッチオンで作業開始

転圧作業エリアが設定され、転圧パラメータの入力が完了した後、本システムが作動するにあたり支障がない状態になるとディスプレイ上に AUTO ボタンが出現する。AUTO ボタンを押すことにより設定された転圧条件に基づいて本システムによる自動転圧作業が開始される (図-5)。

(2) システム作動と停止

(a) インターロック機構

本システムはインターロック機構を備えており、一貫した転圧作業と安全性を確保している。

インターロック機構の項目は走行レバーニュートラル位置、GNSS 精度、オペレータ着座、障害物検知装



図-4 転圧パラメータ入力画面

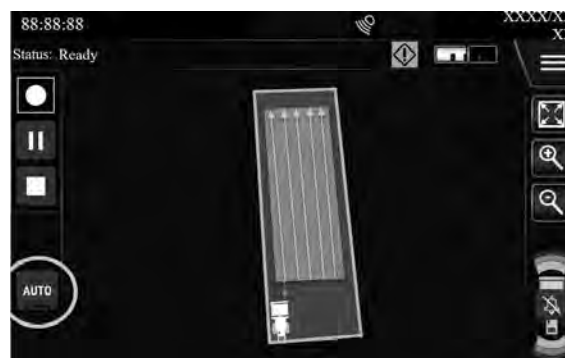


図-5 生成された転圧作業エリアとディスプレイ上の AUTO ボタン



図-3 Record-Pause-STOP ボタンとポイント方式での設定：ディスプレイ (左)、転圧作業現場 (右)

置の稼働、転圧エリア領域、車両自体の障害、縦断・横断勾配、駐車ブレーキ、エンジン作動があり、それらすべてが規定の条件を満たすことにより本システムによる自動転圧作業は可能となる。

尚、自動転圧作業中に条件を満たさないイベントが検出された時点で自動転圧作業は解除される。

(b) 稼働中の自動転圧作業停止

オペレータはいつでも本システムによる自動転圧作業を停止させ手動で車両をコントロールすることが出来る。本システムによる自動転圧作業が解除される項目は、自動ボタン、緊急停止スイッチ、駐車ブレーキ、前後進レバー操作、ステアリング操作、GNSS精度、縦断・横断勾配、車両自体の障害、過度なスリップ検出、速度変更、ギア変更、スロットルコントロールである。

また、本システムは自動転圧作業を停止した場所を記憶しており、停止場所から自動転圧作業を再開することが出来る。

5. システム使用の効果

(1) スキルギャップの解消

オペレータの技量に関係なく、設定された転圧回数、速度、オーバーラップ幅、振幅、振動数で転圧作業は実行される。複数のオペレータが1台の機械を操作する必要のある作業現場であっても均一な転圧プロセスが維持される。

(2) 締固め精度の向上

一定の速度と正しい転圧回数、そして一貫した正確なオーバーラップは締固めの精度を向上させることが出来る。



写真-3 初心者による転圧 (左) とシステムを利用した転圧 (右)

本システムの使用により重複した転圧や転圧不足の箇所は大幅に削減されるが、初心者オペレータによる転圧作業と比較した場合、転圧エリアのカバレッジは最大60%向上することが期待できる(写真-3)。

6. おわりに

本システムの導入によって、複数のオペレータによる転圧作業や、経験の浅いオペレータによる作業において一貫した転圧プロセスを実現することが出来る。転圧作業のサポートシステムとして活用いただき、締固めの品質確保に役立てていただければと考えている。国内では他にも自律運転、無人化技術への取り組みが盛んに行われているので、本システムの導入を足掛かりに更なる研究開発により国内ニーズに対応する新技術の開発と導入につなげていきたい。

JCMA

[筆者紹介]

田中 誠 (たなか まこと)
キャタピラー・ジャパン合同会社
舗装機械担当

