

自動運転ブルドーザーによる、敷均し運転の最適化

建設機械の自動施工を実施し、安全な施工環境構築を目指して

花木直樹

昨今、建設業界では建設機械に関連した労働災害を撲滅することは難しく、作業員が巻き込まれる重大災害も絶えず発生している。建設機械の稼働する範囲に作業員が共存する限り、建設機械との接触災害を無くすことは非常に難しい。建設機械の運転を人が行わず、触れることすら無くすことができれば接触や激突といった労働災害は発生せず、その手段の一つが建設機械の自動・自律化施工である。

建設機械の自動・自律化の開発を進めることにより、安全性向上だけでなく、生産性向上や省人化といった建設業界が抱える他の問題解決にも寄与すると考える。本稿では建設機械の自動・自律化開発の一環として実施した、自動運転ブルドーザーでの敷均し運転最適化実証施工の内容と結果について報告する。

キーワード：自動運転ブルドーザー、安全性向上、生産性向上、省人化、建機自動化、新丸山ダム、
コンストラクションマネジメントシステム (CMS)、建機フリートマネジメントシステム (建機 FMS)

1. はじめに

国土交通省は自動・自律・遠隔施工の安全運転防護の議論を本格的に開始しており、また、革新的な技術開発を推進することで生産性向上を掲げている。そのような背景の中、大林組ではロボティクスコンストラクション構想を提唱し、建設現場の安全性及び生産性向上を目的とした技術開発を日々行っている。実施工での展開に向けて、建設中の国土交通省発注、新丸山ダム建設工事においては、全面的に自動・自律化施工技術の適用を実施していく予定であり、計画内の一つで複数建機による積込から品質管理までの一連自動施工を実施する計画を進めている。

自動施工の施工計画は、コンストラクションマネジメントシステム（※以下、CMS）で実施する。CMSとは設計図書データと施工計画の概要を入力することで、単位施工あたりの施工エリア分割や、施工機器の選定、施工結果の可視化などを行うシステムである。CMSで作成された施工計画は、建機フリートマネジメントシステム（※以下、建機 FMS）を使用して各建機へ指令を送り、自動施工を実施する。建機 FMSとは、自動自律化された建設機械を高度に連携・操作・管理を可能としたシステムで、有人操作の建設機械・車両と協調して自動施工を実施するシステムである。2023年度下期に予定している実証施工では、自動・

自律化したバックホウ、ダンプトラック、ブルドーザー、振動ローラーを用いる計画で、後に実施予定の RCD 打設自動化に向け、自動・自律化施工技術の向上に取り組む予定である。

2. 概要

これまで自動運転ブルドーザーを使って盛土施工を行う場合は、施工順序やブルドーザーの移動などをシステム管理者が考えて実施していた。盛土自動施工を実施するにあたりそのような作業をシステム管理者が判断して行うのではなく、CMS・建機 FMS といったシステムを用いて、決められた施工順序・方法で盛土工事を進めることになる。システム管理者の選択・判断を減少させることで、施工時間短縮や精度向上に繋がり、安全性の確保や省人化、生産性向上に寄与すると考える。

本実証実験はダンプトラックで運搬した材料をどのような間隔・量で降ろし、また、ダンプトラック一台が荷降ろしする範囲（メッシュ割り）をどのような大きさに設定すれば、自動運転ブルドーザーの最適な施工順序や、効率の良い敷均し動作を行えるのか検証を実施するものであり、実証できれば盛土自動施工が実現可能となる。

バックホウによる積み込み、ダンプトラックによる

運搬・荷降ろしは搭乗操作で実施し、ブルドーザーによる敷均しは実証内容により自動または搭乗操作で実施した（図一1）。

3. 実証実験の内容

(1) 使用する機器の概要説明（写真一1，表一1）

自動運転動作は一方向敷均し・三方向敷均し・退避が主な動作である。それらの動作を組み合わせることで自動敷均しを実施する。自動運転の基本動作イメージを図一2に示す。

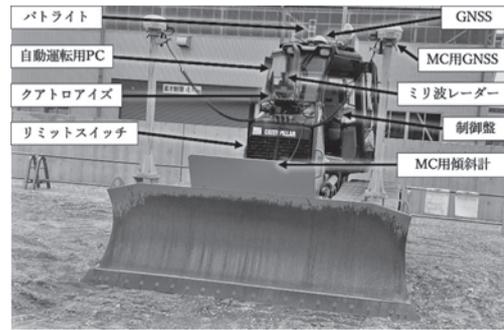
(2) 検証内容

実施場所は新丸山ダム現場敷地内に設けた実験ヤード（約800m²）で実施した（図一3）。使用材料は礫混じり砂質土（粒形は大きいもので0.3m程度）を使用した。項目ごとに分けた検証内容を以下とする。

①敷均し動作，メッシュ寸法の検証

メッシュ寸法（縦寸法×横寸法×高さ寸法）と材料荷降ろし位置のパターンを選出し，搭乗操作にて敷均しを行い検証した（図一4）。10tダンプトラックの積載量である5m³を基準としてメッシュ寸法や荷降ろし位置を検討した。

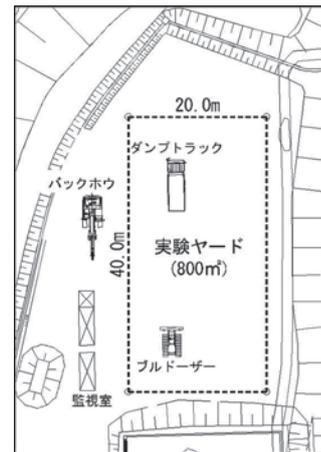
メッシュ寸法を4m×4m×高さ0.3m，荷降ろし位置1mで設定し，1山の一方方向敷均しを実施した。メッシュを正方形にすることで施工計画が立てやすいと想定したためだ。降ろされた山の頂点に向かって敷き均すと，荷降ろしした山の両端部に材料が残る結果となった。メッシュ幅4mに対して使用しているブルドーザーのブレード幅は約3mなので，両端部に0.5mずつブレードが当たらない箇所ができる（図一5）。



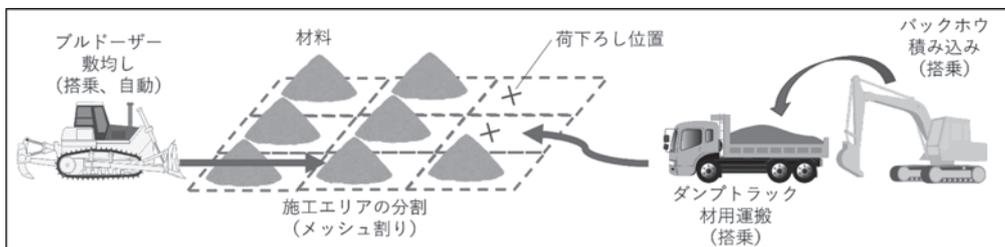
写真一1 自動ブルドーザー機器構成

表一1 自動ブルドーザー機器詳細

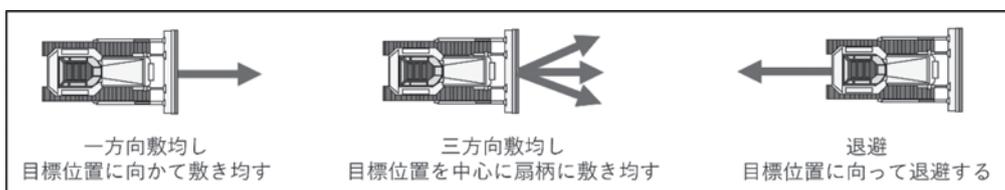
名称	役割
パトライト	運転モード表示
自動運転用PC	自動運転プログラム
クアトロアイズ	人検知
リミットスイッチ	ブレード位置検出
GNSS	位置情報取得
MC用GNSS/MC用傾斜計	ブレードコントロール
ミリ波レーダー	障害物検知
制御盤	各センサー類の集約



図一3 実験ヤード平面図



図一1 施工概要イメージ



図一2 自動運転ブルドーザーの基本動作イメージ

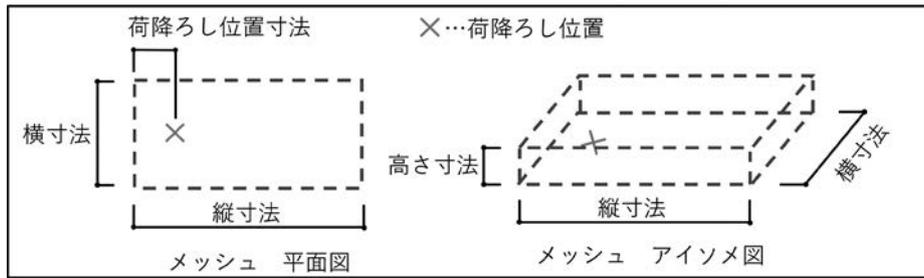


図-4 メッシュ形状のイメージ

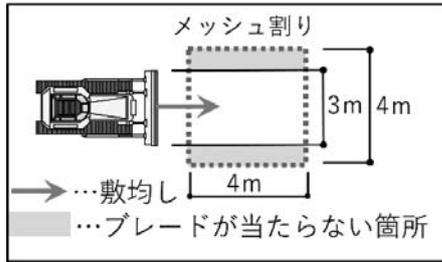


図-5 敷均し動作の検証イメージ1

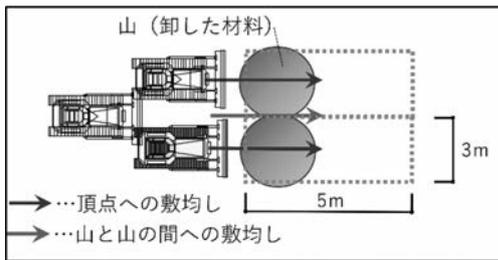


図-6 敷均し動作の検証イメージ2

動作に関してはブルドーザーが押し負けることなく実施できたが、メッシュ横寸法は1度で敷均せるよう、ブルドーザーのブレード幅である3m、一方向敷均しで検証を続けることとした。

メッシュ寸法を3m×5m×高さ0.3m、荷降ろし位置1mで山の配置を横2山にして搭乗操作で敷均しを実施した(図-6)。各山の頂点に向かって敷均すと、敷均しが不十分な箇所が発生することが見取れたので、その箇所を敷均すために山と山の間へ向かう敷均しを追加した。材料が残ることなく均一に敷均せていることが見取れたため、敷均しは山の頂点に向かった一方向敷均しと、山と山の間を敷均す組み合わせとした。

次に、メッシュの横寸法3mは決定として、最適な縦寸法を決定するため、山の配置を横3山×縦2山の合計6山にして敷均しを実施した(図-7)。まず縦寸法を4.5mに設定して敷均しを実施したところ、ブルドーザーが押し負けて敷均すことができなかつた。設定したメッシュ縦寸法が小さかったため、1山目の余剰土を抱えながら2山目の敷均しに突入し、土

量がブルドーザーの出力を超えてしまったからだ。結果を踏まえ、メッシュ縦寸法を6mに変更し横3山×縦2山の敷均しを実施したが、今度はメッシュ縦寸法を大きくしすぎたため、メッシュ間で材料が不足している部分が見取れた。その後、メッシュ縦寸法・高さ寸法の検討・実証を数パターン行った。想定したメッシュ内を過不足なく敷均せていることが見取れた設定が、3m×5m×高さ0.35m、荷降ろし位置をメッシュ端部から1mだったため、この形状を最適なメッシュ寸法と判断した。

②自動運転敷均し動作の検証

自動運転敷均し動作は一方向敷均しと退避動作の個々の運転プログラムを組み合わせ、1度の指令で複数の山を敷均せるプログラムを作成した(図-8)。敷均し方向・回数や材料を降ろす位置は、①で得た結果を反映した。

配置した山の頂点と、メッシュ割りラインと平行の方向で敷均しを行わないと、均一に均すことができ

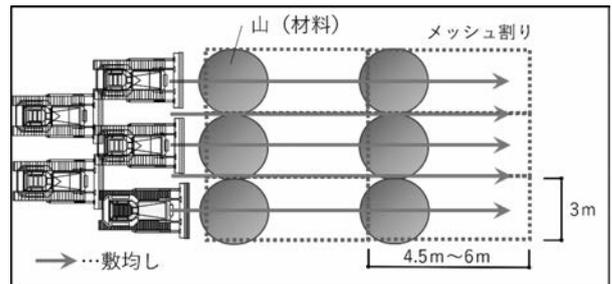


図-7 敷均し動作の検証イメージ3

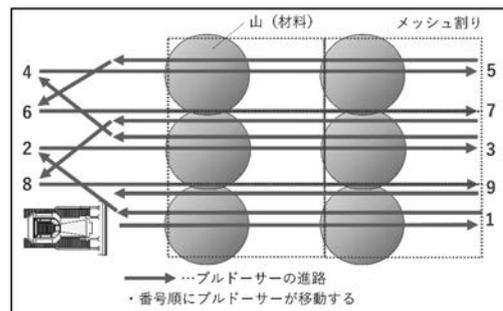


図-8 自動運転敷均しの動作イメージ(6山)

ず、材料が敷均し面上に残った部分が発生してしまう。狙った位置に向かって敷均せるよう、プログラムを調整しながら検証を実施した。

最初は材料を使用せず自動運転プログラムの動作確認を実施した。個々の自動運転プログラムを組み合わせるため、意図した動作をしなかったり、予期せぬ動作を行ったりとバグが発生した。自動運転プログラムの改修を終えると、次は材料を使用しての敷均しを実施した。敷均す山の数を徐々に増やしていき、最終的には、3山×3山（合計9山）を、均一に敷均せることを確認した（写真—2）。

③敷均し精度の確保

一般的な土工事の敷均し作業において、運転手は粗造成の形で一旦整形を実施した後に、次工程である振動ローラーが適切に施工できる状態まで土質の状態に応じたブレードコントロールを行い、仕上げの敷均しを実施している。今回、自動敷均しを実施するに当たり、前述した敷均しを実施したあとに、ブレード高さを0.05 m 下げて再度自動敷均しを実施するプログラムを実行した。結果として、振動ローラーのトラフィカビリティを十分確保した仕上がり精度を確保することができた（写真—3）。

4. 実証実験の成果

本実証実験で得られた成果を以下に整理する。



写真—2 材料9山の配置状況



写真—3 仕上げ敷均し後の状況

(1) 盛土敷均し作業において、品質確保の上、施工速度を満足させた自動運転技術を確立

10 t ダンプトラック (5 m³) × 9 台 = 45 m³ を自動運転にて 18 分で敷均しが完了できた。60 分に換算した場合、時間当たり 150 m³ を敷均すことが可能である。これは一般的な道路工事・造成工事の敷均し能力を上回っており、盛土工事では適用が可能と考える（参考データ：土木工事積算基準 日当りの敷均し量 441 m³, 時間当り 63 m³）。また一旦敷き均した後、0.05 m 程度漉き取り均しを行うことで、次工程の振動ローラーが転圧可能な仕上がりとなることが確認できた。

(2) 複数建機での積込から品質管理までを一連で自動施工を踏まえて、CMS モデルの基本メッシュ寸法を確認

CMS のメッシュとして 3 m × 5 m（巻き出し厚 0.35 m）が最適であると判断できた。

(3) 荷下ろし位置に規則性を持たせることで、ブルドーザー自動運転による敷均しが可能であることを確認

CMS で作成されたメッシュ内の決まった位置に材料を降ろし、決まった方向から敷均しを行うことで自動運転ブルドーザーにて盛土施工が可能であることが確認できた。建機 FMS による自動連携施工が実現可能になる。

5. おわりに

実証実験では自動盛土施工における CMS で作成する最適なメッシュ寸法と、自動運転ブルドーザーの最適な敷均し動作を把握することができ、荷降ろし位置に規則性を持たせることで、効率の良いブルドーザー自動運転敷均しが可能であることが確認できた。また、施工条件や使用材料が異なる施工にも、今回得た成果を展開していこうと考えている。自動自律化施工を一步ずつ進めていくことにより、安全な施工環境の構築を目指していく。

最後に、実証実験に際し、実証フィールドをご提供頂いた発注者の国土交通省中部地方整備局様に感謝する。

JCMA



[筆者紹介]

花木 直樹 (はなき なおき)

㈱大林組

西日本ロボティクスセンター 施工技術部技術開発課

