

21. 次世代建設生産システムの現場適用と生産性向上への展望

ロックフィルダムへの適用検討

鹿島建設㈱ ○ 太田 裕士
田中 秀昭

1. はじめに

熟練作業員の高齢化による減少、低い生産性、高い労働災害発生率という建設業の重要問題を解決するため、省人化及び生産性向上と同時に安全性向上を図ることを目的として、筆者らは建設機械の自動化技術を核とした次世代建設生産システム

A⁴CSEL[®] (Automated Autonomous Advanced Accelerated Construction system for Safety and Efficiency and Liability : クワッドアクセル) の開発を進めている。¹⁾その開発コンセプトは、定型的な作業や繰り返し作業は自動化した建設機械で行い、機械が不得意な作業の計画及び手順は人が指示することで、一人で複数の建設機械を同時に稼働させることである (図-1)。

これまでに振動ローラとブルドーザの自動化技術を開発し、RCDダムの工事現場においてコンクリートの自動転圧や自動まき出し・整形に関しての有用性を明らかにしてきた。今般、「土砂を運搬・荷下ろしして、まき出し後、転圧する」という一連作業の自動化を実現するため、新たにダンプトラックの自動化を進めた。本報告ではこれら3機種 of 建設機械と、新たな情報通信システムを中心に、ロックフィルダム堤体盛立て工事に導入し試行した実績について概要を報告する。

2. 各システムの概要

2.1 自動化振動ローラ²⁾

自動化した振動ローラを写真-1、2に示す。汎用の振動ローラに計測・制御機器を搭載して自動化機能を付加した。写真-2の操舵ロボットを考案して、これを後付けする方法を採用したことで低コ

ストで簡単に自動化することを可能とした。

RCDダムでの試行後、安全機能の強化、操作の簡略化、振動対策等を付加し、ロック材の転圧作業においても安定稼働できる性能を実現した。

ロックフィルダムの施工においては1つの転圧エリアに対して2台の振動ローラが分担施工することから、1台のタブレットによって複数の自動化振動ローラへの自動転圧指示を可能とし、実施工に適用した (図-2、写真-3)。



写真-1 自動化機器の配置 (振動ローラ外観)

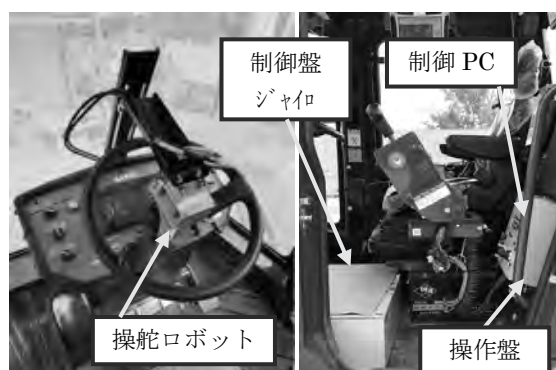


写真-2 自動化機器の配置 (振動ローラ車内)



図-1 次世代建設生産システム (A⁴CSEL) コンセプト

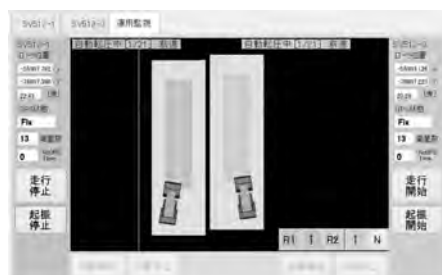


図-2 振動ローラ操作用タブレット画面



写真-3 2台の振動ローラによるコア材自動転圧

2.2 自動化ブルドーザ³⁾

ブルドーザの自動化は(株)小松製作所との共同研究開発により、同社製 ICT ブルドーザに自動化装置を追加することで実現した(写真-4)。自動化ブルドーザは、荷下ろしされた材料を指定した厚み(高さ)に自動まき出しを行う。ブルドーザの作業は荷下ろしされた材料の種類や位置、山の形状によってまき出し時の材料の挙動や最適なまき出し経路は異なり、これを現場実験において確認することは不可能である。このため次に述べる作業シミュレータを開発し、経路のモデル化と併せて走行経路、ブレード高さなどの制御法を計画した。なお、今回ロックフィルダムでの試行にあたり、19tブルドーザに加え22t、41tの自動化ブルドーザを新たに開発した。

(1) 作業シミュレータ

作業シミュレータではブルドーザの移動に伴う材料とブレードの接触シミュレーションにより、材料の形状がどのように変化するかを予測する。一例として55tダンプ1台分の材料(ロック材約25m³)をまき出すシミュレーション結果と実際のまき出した状況の比較を図-3に示す。

(2) 経路のモデル化

ロックフィルダムでは、コア、フィルター、ロックそれぞれにまき出しの形状や範囲、厚みの仕様などが異なる。このため実作業における熟練オペレータの作業解析を行い、施工条件ごとに経路のモデル化を実施した。

作業シミュレータと経路のモデル化により基準となる作業計画を作成、これを現場状況に応じて修正する方法で自動策定を行なう。事例としてフィルター材での自動まき出し結果を図-4と写真-5に示す。図-4に点線で示す目標まき出し範囲に対し、自動まき出し出来形がほぼ同じ形状であることから自動化ブルドーザの性能を確認できる。

これまでコア材、フィルター材、ロック材それぞれについて作業計画を作成、ダンプトラックと連携した自動まき出しを連続して行えることをロックフィルダムの試行において確認した。

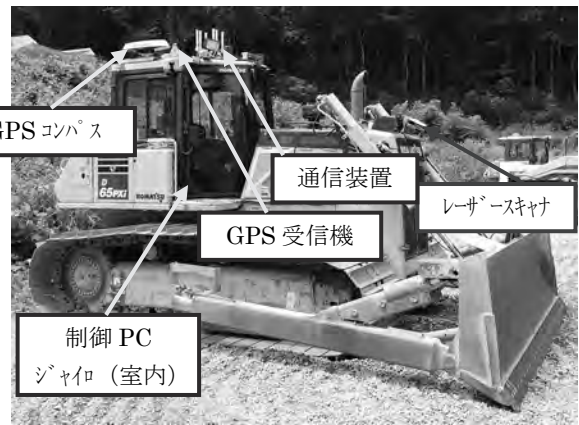


写真-4 自動化機器の配置 (ブルドーザ外観)

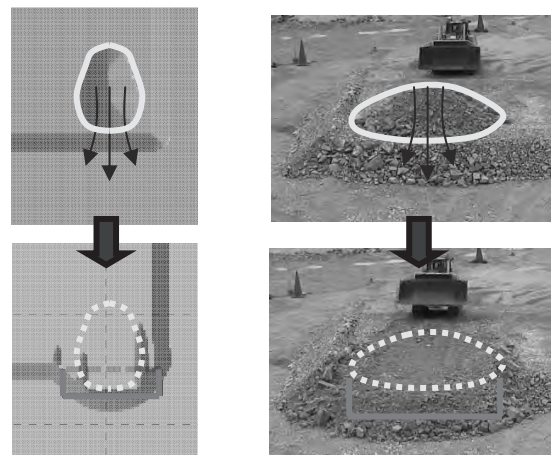


図-3 作業シミュレーションと実際の撒き出し

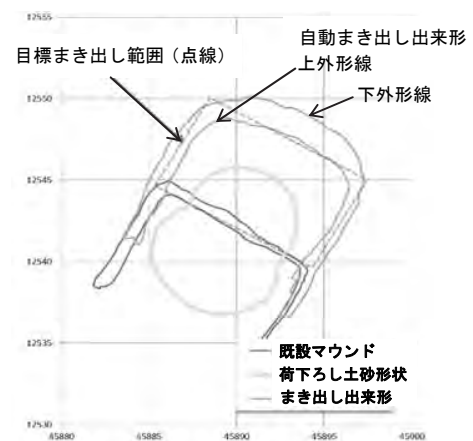


図-4 フィルター材自動まき出し結果 (幅 10m)



写真-5 フィルター材自動まき出し結果 (幅 10m)

2.3 自動化ダンプトラック⁴⁾

ダンプトラックの自動化はブルドーザ同様、(株)小松製作所との共同研究開発により、同社製55tダンプトラックに自動化装置を追加することで実現した(写真-6)。ダンプトラックの走行速度、操舵角などの情報は車体搭載のセンサを用いて計測している。ダンプトラックへの各種制御指令値はスロットル(アクセル)量、リターダ(ブレーキ)量、操舵速度、ベッセル昇降速度等である。これらは制御PCで演算し各装置へ指令される。

(1) ダンプトラックの自動化に必要な機能

ロックフィルダム工事におけるダンプトラックの基本作業として次の①～③が挙げられる(図-5)。

- ① 材料ヤードで材料を積み込み
- ② ダム堤体まで材料を運搬
- ③ 堤体のまき出し領域で材料を荷下ろし

この作業を自動化するためにダンプトラックの基本機能として「走行」、「停止」、「操舵」、「作業(ベッセル昇降)」の自動化を実現した。その上でロックフィルダム工事においてダンプトラックの自動化に求められる機能と次の2点である。

(a) 走行経路の自動生成機能

工事用道路など走行可能な領域、積み込み位置と荷下ろし位置、他の車両や重機との衝突回避など各種制約を満たす走行経路を自動で生成する機能を有する。



写真-6 自動化機器の配置(ダンプ外観)

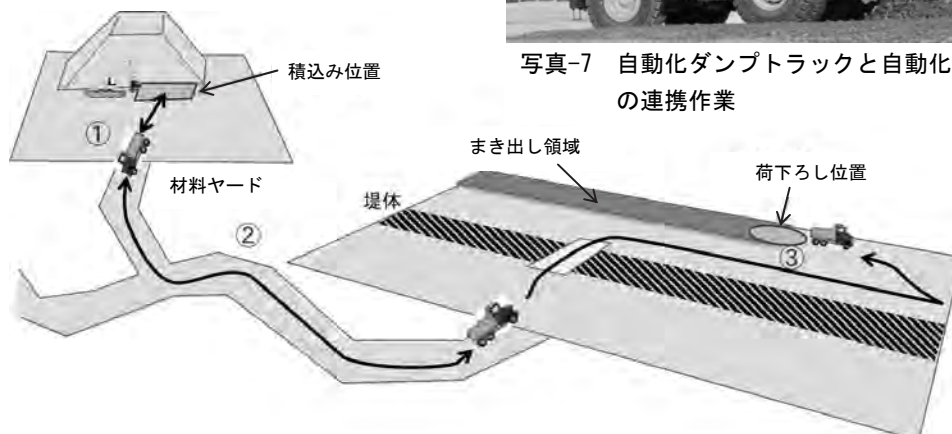


図-5 ロックフィルダムにおけるダンプトラックの作業

(b) 指定経路への精度良い追従走行機能

自動生成した走行経路に対して、走行路面の勾配や不陸等の路面状況の変化があっても精度良く指定経路に追従できる走行機能を有する。

この2つの機能を堤体付近でのコア材の運搬および荷下ろし作業に対応できるように走行制御プログラムに実装、現場での実証を行った。

(2) ロックフィルダムでの実証試験

堤体コア材盛立部において、自動化ダンプトラックを自動化ブルドーザと連携させ、ダム堤体内でのコア材運搬、荷下ろし、まき出し、整形の自動運転機能について検証した。

走行経路は事前に図-6の破線のように定めておき、走路上は障害物がない状態で自動運転を行った。その際の走行軌跡は図-6の実線となり、荷下ろし位置での誤差は約50cm以下であった。この精度であれば、自動化ブルドーザ側で経路の自動修正は可能であり、自動化ダンプトラックと連携した自動まき出しが行えることを確認した(写真-7)。

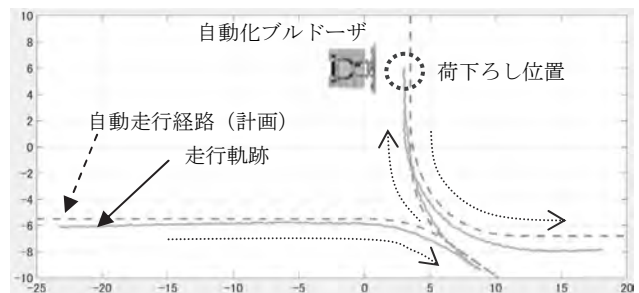


図-6 コア材運搬での自動走行経路と走行軌跡



写真-7 自動化ダンプトラックと自動化ブルドーザの連携作業

2.4 インフラ無線通信システム

次世代建設生産システムでは多数の自動化重機等を高速かつ確実な無線通信によって必要がある。またダム工事の地形に対応できる性能も必要であるため以下の試験を行った。

(1) 広域・走行中の通信性能試験

ダム工事の堤体部では最大で左右岸 600m, 上下流 200m 程度の範囲内に重機は稼働する。また、ダンプトラックは最大 30km/h 程度にて走行する。これらを 1 台の無線アクセスポイント (以下、AP) によってカバーすることは困難なため、接続先 AP を順次切替える機能を持った無線装置を複数準備し、1 周 500m の試験走行区間を 30km/h にて走行させて評価した (図-7)。その結果、ローミング方式では AP 切替時に大きな遅延 (約+250msec) をこれが約 4 秒間継続発生する現象を確認した。一方メッシュ方式では遅延および AP 切替は 1~2 桁程度高速であった。これはメッシュ方式は常時複数回線の接続を保持し、瞬時に回線を切替えるのに対し、ローミング方式では通信状態の悪化後に切替えるためと考えられる。

(2) 現場地形での信頼性評価

前記の結果よりメッシュ方式を用いて現場の材

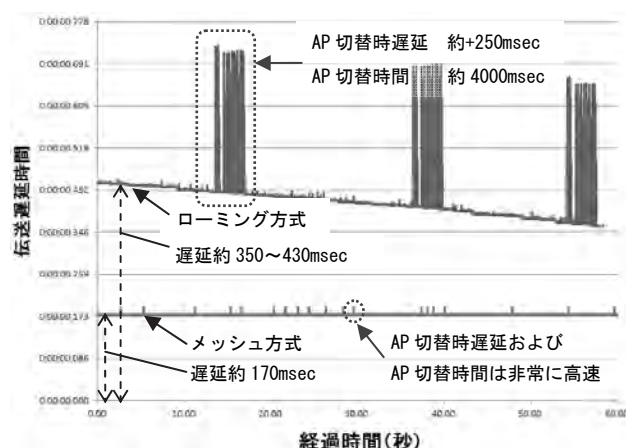


図-7 AP 切替方式による通信性能の比較

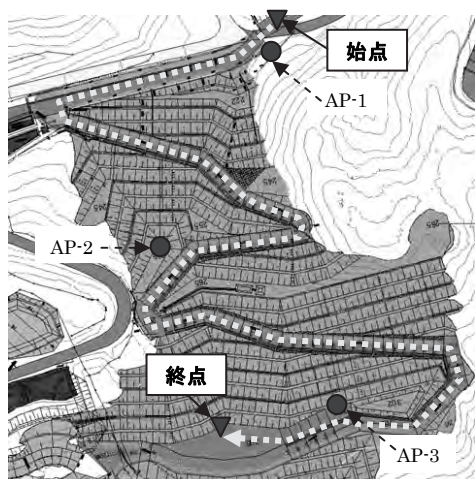


図-8 現場材料運搬路での実走試験

料運搬路を用いて実走試験を行った (図-8)。始点から終点までの走行距離約 1000m, 高低差 93m, 斜距離 320m の登り走路にメッシュ方式の AP を 3 台配置し、試験車両にはフル HD のカメラを搭載、最大 40km/h で走行中の画像 (約 2Mbps) 及びデータ伝送を行い遅延や中断の無い良好な結果を得た。この結果からメッシュ方式は実際の現場地形において有効であると判明した。一方、各自動化重機への指示を行うタブレットにはメッシュ機能はない。このため幹線部分にはメッシュ機能、支線部分には WiFi の AP 機能を持たせたハイブリッド構成のインフラ無線通信システムを構築した。これにより、自動化振動ローラ、ブルドーザ、ダンプトラックおよびタブレット等の通信を一元化するとともに、現場内走行中のダンプトラックにおいても安定した画像と信号の伝送を実現した。

3. おわりに

本報文中で紹介した各自動化システムは、単独の自動運転から複数台の同時運転、さらにブルドーザとダンプトラックの連携運転を実現するに至った。今後、次世代建設生産システムを次の段階へ進めるため、さらに多台数・多機種 of 総合的な自動化を進めていく所存である。その中では従来の施工方法の自動化だけでなく「自動化に適した施工方法」も求められる。そこで、これら多くの課題に取り組む、建設業における画期的な生産性向上を実現するためには、発注者を含めた建設業全体に加え、コンサルタント、大学、メーカーや異業種まで産官学一体となった幅広い研究開発活動を進めることが重要と考える。

謝辞: 本開発の現場実証試験において国土交通省九州地方整備局大分川ダム工事事務所より多大なご協力を頂き、ここに謹んで謝意を表します。

参考文献

- 1) 三浦ら:「建設機械の自動化を核とした次世代施工システム」, 建設機械施工, Vol. 67, No. 12, pp. 21-25, 2015
- 2) 大塩ら:「振動ローラ自動転圧システムにおける自動化装置の開発」, 土木学会第 71 回年次学術講演会, VI-076, 2016.
- 3) 黒沼ら:「ロックフィルダム堤体材料のまき出しにおける自動化ブルドーザの試適用」, 土木学会第 72 回年次学術講演会, VI-703, 2017
- 4) 田島ら:「ダム工事におけるダンプトラックによる土砂運搬・荷卸し作業の自動化」, 土木学会第 72 回年次学術講演会, VI-702, 2017