

建設機械の自動化による自動化施工システムの開発

ーダンプトラック運搬・荷下ろし作業の自動化とロックフィルダム工事への適用ー

鹿島建設(株) 正会員 ○田島 大輔 正会員 大塩 真
正会員 黒沼 出 正会員 小熊 正
正会員 浜本 研一 正会員 三浦 悟

1. はじめに

熟練技能者不足と高齢化のみならず建設作業従事者全体の減少が予想されている状況下では、現場生産性の向上、すなわち少ない人員で品質を確保しつつ施工することが必須となる。また、長年にわたり建設業の重要課題となっている労働災害抑制の抜本的対策も強く望まれている。それらを実現する一つの方法として、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[®](クワッドアクセル))の研究開発を進めている。図-1にそのコンセプトを示す。この施工システムの特徴は、いわゆる建設ロボットのような専用機械ではなく汎用機械をベースとした自動化建設機械を開発するとともに、熟練者の運転操作をデータ化してそれを基に自動運転させることと、状況に応じて決定しなければならない作業計画は人間が担当し、定型化された作業は自動化建設機械が自動で行うことによって、少ない人員で多くの機械を動作させることで安全で効率の良い施工を実現することにある。

これまでに本コンセプトを段階的に実現すべく、振動ローラとブルドーザの自動化の開発を行い、これらの自動化建設機械を用いて、コンクリートダムでのRCDコンクリートの自動転圧や自動まき出しを試験的に実施し、自動化建設機械の有用性を検証したり。さらに、土砂を運搬するためのダンプトラックを自動化することで「土砂をダンプし、まき出して転圧する」という土工事における一連の作業を自動化することができる。そこで、新たにダンプトラックの自動化システムを開発し、開発した3種(振動ローラ・ブルドーザ・ダンプトラック)の自動化建設機械を用いて、ロックフィルダムにおける堤体盛立工事の一連作業の自動化を試験的に実施した。本報告では、開発した3機種それぞれの自動化を実現する装置やアルゴリズムについての概要と、ロックフィルダム建設工事の堤体盛立部において提案する自動化施工システムの有効性を述べる。



図-1 次世代建設生産システムのコンセプト

2. 自動振動ローラによるロックフィルダム堤体材料の転圧作業

(1) 自動振動ローラの概要

自動化した振動ローラの外観を写真-1に示す。汎用振動ローラにGPS、GPS方位計、慣性装置をはじめとする計測機器と、ハンドル駆動装置及び前後進・エンジンスロットルをコントロールする電子回路に制御信号を送るインターフェース、及び計測データを基に操舵、前後進・走行速度を制御する制御

キーワード 自動化, 振動ローラ, ブルドーザ, ダンプトラック, ロックフィルダム, 効率化

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL042-489-6279

用コンピュータ(制御 PC)を設置して、制御 PC の信号で動作する自動振動ローラに改造し、タブレットコンピュータから作業データを制御 PC に送れば自動で作業を行うシステムを開発した。本自動化装置の設置により、制御 PC から前後進、ステアリング操作、起振などの転圧作業に必要な操作を可能とした。ステアリング操作については操舵ロボットを使用し、それ以外の操作は全て電子制御である。また、ロックフィルダムでの施工に合わせて、RCD コンクリートで製作したシステム²⁾を基に修正し、制御 PC による車両操作項目の増加、安全機能の強化、機器操作の簡略化、適切な状態表示、機器集約による設置性の向上についても改良を行った。



写真-1 自動振動ローラの外観

(2) 自動振動ローラによる転圧作業試験

これまでに、コンクリートダムでの RCD コンクリートの転圧作業に対して運用性を確認している¹⁾²⁾。ロックフィルダムでは、フィルダムの各種材料（コア材、フィルタ材およびロック材）に対して自動転圧を行い、現場運用時の問題点の洗い出しや転圧性能の検証を行った。特に、コア材転圧時には、埋設計器などがあるため、転圧範囲が単純でない場合があるなどの、形状変化にも柔軟に対応できる機能を追加した。これらの修正により、ロックフィルダムでの転圧作業においても、複数台の振動ローラを同時に自動で転圧作業させることができた（写真-2）。



写真-2 ロックフィルダムでの振動ローラの運用状況

3. 自動ブルドーザによるロックフィルダム堤体材料のまき出し作業

(1) 自動ブルドーザの概要

自動化したブルドーザの外観を写真-3 に示す。開発した自動ブルドーザは、コマツ製 ICT ブルドーザをベ

ースに、自動化システムとして GPS、GPS 方位計およびジャイロセンサや自律制御のためのコンピュータを搭載する。計画および指示された走行・作業計画に沿って動作するように、車体位置や方位、姿勢角のデータを基に操舵量や速度指令値を演算し、自動化システムからブルドーザへ指令を与えることで車体動作の制御を行う³⁾。ブレード制御については自動化システムからの指令による“上げ/下げ”の他、ICTブルドーザが備える設計情報に合わせてブレード高さを自動で調整する機能を利用することができる。ロックフィルダムでの導入試験では 19t ブルドーザに加えて 22t, 41t の自動化ブルドーザを新たに開発し、それぞれフィルター材、コア材、ロック材のまき出しを行う。



写真-3 自動ブルドーザの外観

(2) 自動ブルドーザによるまき出し導入試験

自動ブルドーザによる材料のまき出し作業は、熟練オペレータのまき出し作業時の操作データ、及び機体データを取得、分析し、得られた結果を基にブルドーザの制御法を作成して行われる。まき出しの基準となるダンピング位置は実作業時には計画位置とのズレが生じるが、ズレに応じて走行経路を調整している。これまでにコア材まき出し幅 10~20m、フィルター材では幅 9~10m、ロック材では幅 9m 以上に対して走行経路を計画し、ダンプトラックと連携しながら連続して自動まき出しが行えることを確認している。まき出し結果の一例としてフィルター材 10m 幅まき出し時の出来形状を図-2 と写真-4 に、その際の目標経路と走行軌跡を図-3 に示す。図-2 において、ピンク色の実線はダンプトラックよりダンピングされた土砂位置、青色の破線は目標まき出し範囲で、緑色の実線は自動まき出しによるまき出し出来形を、それぞれ示している。緑色の実線の自動まき出しの出来形を見ると、目標まき出し範囲の青色の破線とほぼ同じ形状で、開発した自動まき出しシステムの実工事における性能、有効性を確認することができる。また、図-3 より、目標経路の赤破線と走行軌跡の青実線を比較すると、青実線の走行軌跡と目標経路はほぼ同じで、自動ブルドーザは、材を抱えた押土状態でも誤差なく目標経路に追従できていることがわかる。各ブルドーザの自動まき出し状況を写真-5 に示す。

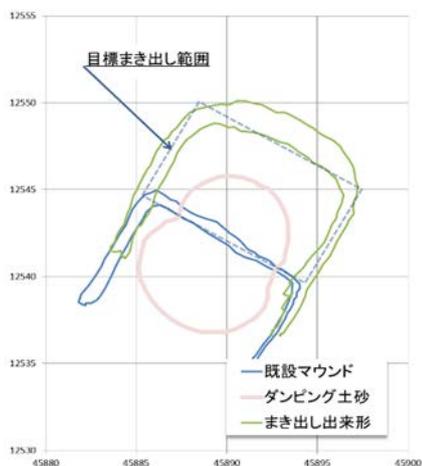


図-2 自動まき出しの結果
(フィルター材、幅 10m)



写真-4 自動まき出しの結果
(フィルター材、幅 10m)

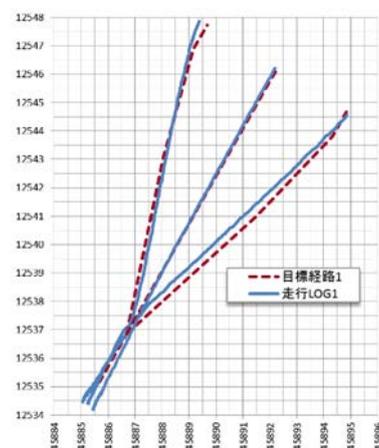


図-3 目標経路への追従状況
(フィルター材の押土時)



コア材



フィルター材



ロック材

写真-5 自動まき出し施工状況

4. ダンプトラックの自動運搬システムの開発概要

(1) 計測・制御装置

自動化したダンプトラックの外観を写真-6 に示す. 車体位置, 車体方位角および姿勢角については, これまでに開発した振動ローラやブルドーザと同じく, それぞれ GPS, GPS 方位計およびジャイロセンサを用いて計測している. ダンプトラックの車体情報 (車速や操舵角等) は, 車体に設置されているセンサを用いて計測している. ダンプトラックへの制御指令値は, スロットル量, リターダ (ブレーキ) 量, ステアリング速度やベッセル昇降速度であり, これらは制御コンピュータ上で計算され, 各装置に送られる.



写真-6 自動ダンプトラック (55t) の外観

(2) 自動経路生成と制御手法

図-4 にダム工事におけるダンプトラックの作業を示す. 図に示すように, ダンプトラックは, ①材料ヤードで材料を積み込み, ②ダム堤体まで運搬を行い, ③堤体上のまき出し領域で荷下ろしする. これらの作業手順を自動化するために必要となる共通の機能は, 次の2つである.

(ア) 走行可能領域, 指定された場所での積み込み・荷下ろしや, 他の建設機械との衝突回避など, 与えられた制約を満たす走行経路の自動生成

(イ) 自動生成された走行経路に対して, 走行路の勾配や不陸があっても精度よく追従できる走行制御

まず, ダンプトラックの「走行」, 「停止」, 「操舵」, 「作業」の自動化を実現したうえで, 堤体でのコア材荷下ろし作業をターゲットに上記2つの機能を実現した. (ア) に対しては参考文献4) の経路生成手法を実際の運用広さに対応できるように改良して, 自動荷下ろし走行経路を作成した (図-5 の破線). (イ) については参考文献5) で報告している振動ローラの経路追従法をダンプトラックにも適用できるように修正し, 走行制御プログラムに実装した. 本走行制御では, ダンプトラックの後輪車軸中央が, 与えられた目標経路に追従するよう走行している.

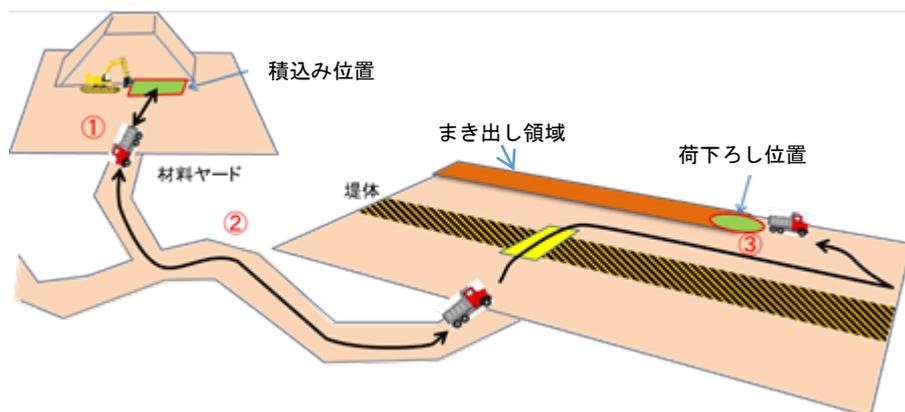


図-4 ダンプトラック作業 (材料運搬の場合)

(3) 自動ダンプトラックによるロックフィルダムでの材料の運搬・荷下ろし導入試験

ロックフィルダムの堤体コア材盛立部において、自動ダンプトラックと自動ブルドーザを連動させ、運搬／荷下ろし／まき出し／整形という一連の作業の自動化の導入試験を行った。

ダム堤体のコア材まき出し作業において、予め指定した荷下ろし場所にコア材をダンピングするよう自動走行した場合の走行精度を検証した。走行経路は図-5の破線のように走行経路を事前に求めておき、走路上には他の建設機械や障害物がない状態で自動走行を行った。このときの走行軌跡は図-5の実線でほぼ目標とする走行経路との誤差がなく追従できていることがわかる。また今回の荷下ろし精度でも自動ブルドーザと連携した施工が可能であることも確認した（写真-7）。

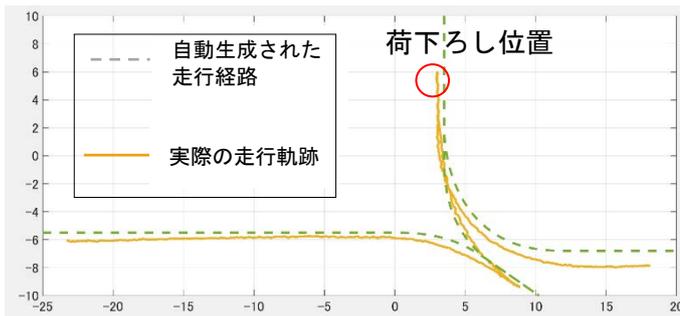


図-5 荷下ろし自動走行経路と走行結果



写真-7 自動ダンプトラックと
自動ブルドーザによる連携作業

5. おわりに

ダム工事における一連の作業の自動化を目指し、これまで行ってきた振動ローラの転圧作業とブルドーザのまき出し作業に加え、新たに盛立部におけるダンプトラックの運搬／荷下ろし作業の自動化開発を行った。自動振動ローラでは、埋設計器などを考慮した変形形状にも柔軟に対応した機能等を、自動ブルドーザでは、目標まき出し範囲に対して、自動的にまき出しと整形作業ができる機能等を、さらに、自動ダンプトラックでは、予め指定された位置までの運搬や指定位置での荷下ろし作業を自動化できる機能等をそれぞれ開発し、ダム堤体盛立工事に試験導入したことにより、提案する自動化施工システムの有効性を確認することができた。

今後も、土木工事全般の生産性並びに安全性の向上に大きく貢献できる技術として、本システムの更なる改良を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 三浦，黒沼，浜本：「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, 2015, pp. 21-25.
- 2) 浜本，黒沼，大塩，小熊，三浦：「振動ローラ自動転圧システムの開発とダム工事への適用」，pp.198-203, 建設技術発表会 2015
- 3) 黒沼，小熊，加納，菅原，櫻井：「ブルドーザの自動まき出しシステムの開発」，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，VI-051, 2015
- 4) B. Nagy and A. Kelly: “Trajectory Generation for Car-like Robot Using Cubic Curvature Polynomials”, Field and Service Robot, 2001.
- 5) 浜本，黒沼，大塩，小熊，三浦：「建設機械の走行制御と目標経路生成について」，第 16 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会，2G2-2, 2015.