

無人化施工技術の開発 Phase11

野末 晃 ^{*1} 藤岡 晃 ^{*1}
浅沼 廉樹 ^{*1} 池内 俊裕 ^{*2}
三鬼 尚臣 ^{*1} 岡野 幹雄
山本 新吾

概 要

平成 2 年 11 月に始まった雲仙普賢岳の火山災害は、日本における大規模な自然災害であり、人的災害や道路・鉄道など周辺への壊滅的な影響を及ぼした。水無川流域を中心とした砂防堰堤や導流堤の建設及び都市基盤の整備などの復興計画が策定されたが、地域の安全を早期に確保するためには、警戒区域内での施工技術が求められた。そこで、警戒区域に指定された水無川上流において、平成 6 年より試験フィールド制度を利用した無人化施工が導入され、工事用道路、遊砂池の除石、工場の解体撤去、ブロックの設置、砂防堰堤・導流堤・背割り堰堤等の構築が無人化施工技術の研究開発に伴って実施されてきた。本論文では、平成 23 年度の発注予定の無人化施工工事における技術提案対応のための新技術開発、「無人化施工技術開発プロジェクト Phase11」で開発した新技術について報告するものである。

Development Phase11 of unmanned construction technology

Abstract

In November 1990, a large volcanic eruption at Unzen-Fugen-Dake in Japan caused significant damage to the surrounding area, and to local infrastructure including roads and railways. Plans were drawn up to construct sand-trap dams and guide walls at the Mizunashi river, and to restore urban infrastructure. However, the construction technologies used needed to ensure the maximum possible levels of worker safety in an environment where further eruptions and secondary landslides remained a real danger. As a result, in 1994, unmanned construction methods were used for restoration works in upstream areas of the Mizunashi river. Works undertaken remotely included preparation of roads for construction, removal of soil and rock from earth accumulation basins, demolition of damaged factories, installation of blocks, construction of sand-trap dams, guide walls and flow control banks. During these works, many advances were made in unmanned technologies. This paper reports on new technology developed for the technical proposal correspondence in unmanned construction, which is an order schedule in 2011, and “unmanned construction technical development project Phase11”.

*1 建設本部

*2 九州支店

§1. はじめに

当社における無人化施工の取り組みは、1980 年代から技術研究所、イチケン等において異分野におけるIT(Information Technology)やマルチメディア等の先端技術を建設に応用することから始まり、無人コンパクタや無人ブルドーザ等の技術開発を行い、要素技術を蓄積していた。

1993(平成 5)年度に「雲仙普賢岳水無除石無人化試験(その1)工事」の試験フィールド制度の応募、採用により無人化施工の取り組みが本格的にスタートした。

雲仙普賢岳で無人化施工が採用されたのを契機に、社内における無人化施工の技術開発をより強力・効率的に実施するため、「無人化プロジェクト」が組織され、本社および支店から、土木施工、無線、機械等の専門家が選抜された。現在(2012(平成 24)年)でも、無人化プロジェクトは継続しており、無人化施工技術の更なる改良・改善から総合評価落札方式の技術提案、無人化技術の普及・定着まで広範囲に取り組んでいる。現時点での当社における無人化施工の主な工事実績は 15 件であり、関連工事や受託研究を含めると受注金額の合計は 100 億円を超え、当社の代表的な土木技術のひとつに成長している。

1993 年度から始まった無人化プロジェクトは、「無人化施工技術開発プロジェクト」に改名され 2001 年度まで継続プロジェクトとして続いてきた。2002 年度からは Phase2 として、さらに継続され 2011 年度には Phase11 に至っている。本稿は、これまで開発された技術の一覧を整理して無人化施工技術年表を示し、Phase11 で開発された技術の報告を行うものである。

§2. 無人化施工技術開発プロジェクト

無人化施工技術開発プロジェクト(以降:無人化プロジェクト)のメンバーは、支店、および本社の土木、機械部、技術研究所、イチケン、サンケンから土木施工、機械、無線等の選抜された専門家である。

無人化プロジェクトは、無人化施工の具体的な推進計画を作成し、技術開発を推進するとともに、開発した

技術の普及・定着計画を立案する。さらには、総合評価落札方式における技術提案に組織的、効率的に取り組んでいる。無人化プロジェクトが現場と連携しながら開発した新技術を受注した工事の中で使用することにより、新技術の課題や問題点を抽出して改良・改善を加え、更に次の技術提案に改良・改善した技術を活用して継続的に受注するプラスのスパイラルが確立されている。

2.1 プロジェクトが開発した無人化施工技術

以下に無人化プロジェクトが開発した主要な無人化施工技術を記す。

- 1) テレアースワークシステム
- 2) テレ・エレクションシステム
- 3) 自立式型枠ブロック(無人化施工対応型)(略称:PCaブロック)
- 4) 遠隔操縦ロボット(ロボQ):(国土交通省九州技術事務所との共同開発)
- 5) 無人測量システム
- 6) インターネット自律分散制御システム(MARS)
- 7) 施工線表示システム:(明電舎との共同開発)
- 8) 空気圧ゴム人工筋ロボット:(東京工業大学との共同開発)
- 9) 無人平板載荷試験装置
- 10) 鋼製スリット施工システム
- 11) 無線LAN通信システム
- 12) 土砂型枠成形機(フォーミング・ブレード工法)
- 13) ガイド線表示システム:(フウズラボとの共同開発)
- 14) 携帯電話回線(HSDPA)による無線システム
- 15) 赤外線カメラによる落石検知システム:(フウズラボとの共同開発)
- 16) 遠隔測量ステーション
- 17) 無人測量システム 3 号機

2.2 無人化施工技術年表

図 1 にフジタの無人化施工に関する関連工事と技術開発の歴史を年表形式で示す。



図1 無人化施工技術年表

§3. 無人化施工技術開発 Phase11 の報告

Phase11 においては以下の 3 サブテーマについて報告を記す。

- 1) 高精度赤外線カメラによる落石検知システム
- 2) 無人測量、遠隔測量STの開発
- 3) 超長距離無線システム実証実験

3.1 高精度赤外線カメラによる落石検知システム

遠隔操作室内に監視室を設け、定点赤外線カメラとして、500 万画素固定カメラとパン・チルト・ズーム・フォーカス・アイリス機構付きの 130 万画素カメラの 2 台で土石流・落石の可能性の高いエリアを監視した。500 万画素のカメラは約 1 回/秒、130 万画素のカメラは約 3 回/秒の自動撮影を行い、直前の画面との差分やフローを算出して警報を出力するシステムとなっている。図-2 に警報出力までの画像処理フローを示す。

雲仙普賢岳は、有明海に面しているためほぼ年中霞が発生する。この霞が画像処理の妨げとなるので赤外線対応のカメラを採用した。

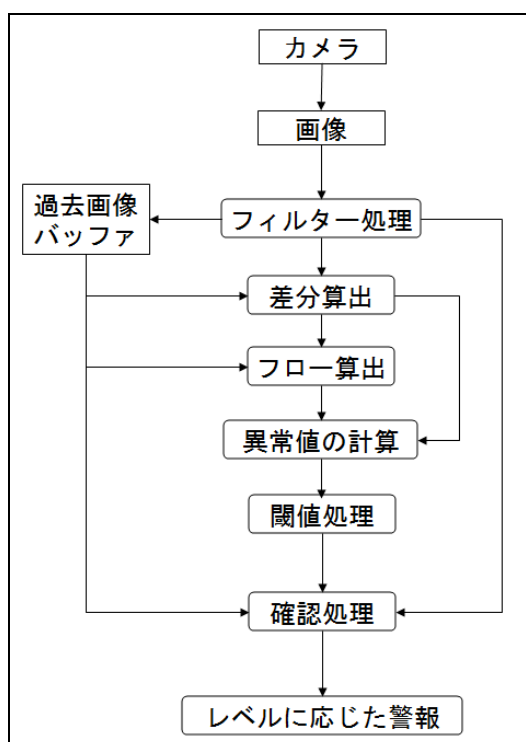


図 2 画像処理フロー

このシステムは 2009 年に開発され、赤松谷川2号床固工事に初めて導入された。その後、赤松谷川5号

床固工工事とおしが谷上流床固工工事に続けて利用され、技術提案として採用し受注に貢献している。但し、以下の課題がありデータ収集し改良する予定である。

監視エリアを飛行する大型の鳥や横に流れる雲の影に対して反応して誤検知することが課題である。この誤検知を防止する対策として水平方向の動きの検知を低くする必要がある。

図 3 に落石検知システムの機器構成を示し、図 4 におしが谷上流床固工工事での監視状況を示す。



図 3 赤外線画像監視システム構成



図 4 おしが谷上流監視状況

3.2 無人測量システムの開発

サブテーマ 2 は、無人測量システムと遠隔測量ステーションの開発であるが今回は無人測量システムのみ報告する。

3.2.1 無人測量システム開発経緯

平成10年に施工された水無川2号砂防ダム工事では、CSG 工法、RCC 工法を用い無人化施工にて実施された。水無川2号砂防ダム工事での測量作業では、①盛土・切土管理用丁張り出しと測点位置出し、②土

砂型枠施工位置管理、③出来形管理などがある。これらの測量作業を無人化施工で行う必要があり、安全な位置に設置されたコントロールルームにより遠隔にて測量を行うため、無人測量システムは開発された。

現在までに、3台の無人測量システムが開発され現場に導入されてきた。水無川2号砂防堰堤工事において1号機による実証実験を実施し、その後、測量精度の向上や測量時間の短縮を図るため、微小位置決め操作が容易に出来るXYテーブル機構を搭載した2号機を、赤松谷川2号砂防ダム工事に導入・運用を行った。そしてマーキング機構を新たにした3号機が赤松谷川5号床固工事に導入された。



図5 無人測量1号機、無人測量2号機

3.2.2 無人測量3号機の開発目標と改良内容

無人測量システム2号機は、トータルステーションとGPSのハイブリット化や、無線機器の変更などのマイナーチェンジが行われながら長年にわたり運用された。しかし、経年劣化に伴い動作が不安定になった事から、新設計となる3号機の開発を行った。

2号機までの問題点としては、

- ・0.45m³級バックホウを施工期間中占有する事。
 - ・構造物際や法尻の測量を行う場合にXYテーブルフレームが構造物・法面に当たる事。
 - ・缶スプレーの液ダレによって噴出口に塗料が付着し、長時間放置するとスプレーが出来なくなる。
- といった課題が挙げられる。そこで3号機では、

- ① ベースマシンの占有回避
- ② マーキング機構(誘導及びスプレー方式)の改善
- ③ マーキングサイクルタイムの短縮
- ④ 測量精度の向上

を目標とし新システムの開発を行った。

図-6に無人測量3号機の概要を示す。

①の対策として、制御ユニットをアタッチメント部に集約し、システム単体で自立する形状とした。また、ベース

マシンは無人化施工で一般的に使用される0.8m³級バックホウとし、油圧駆動のクイックチェンジシステムを搭載することでバケットと無人測量システムの迅速な交換を可能とした。これにより測量時以外には、施工機械としての汎用性を高めた。



図6 無人測量3号機概要

図7に3号機仕様と測量システムの拡大写真を示す。

3号機仕様

ベースマシン	0.8m ³ バックホウ
無人測量システム	rθ方式
寸法	800×800×1100
アームストローク長	400mm
旋回角度	90°
供給電源	100V
マーキング方式	自動スプレーガン
マーキング径	φ100mm
搭載コンプレッサ	最大0.7MPa
塗料容量	600cc
計測方法	GPS GR2100



3号機拡大写真

図7 測量システム部の仕様と拡大写真

②に関しては、誘導方式を旋回するアーム上にZ軸がスライドして目標点まで移動するrθ方式とし、Z軸を囲っていたフレームを排除した。誘導方式の違いを図8に示す。これにより、rθ方式ではZ軸の稼働範囲(約2.5倍)を広く取ることができた。

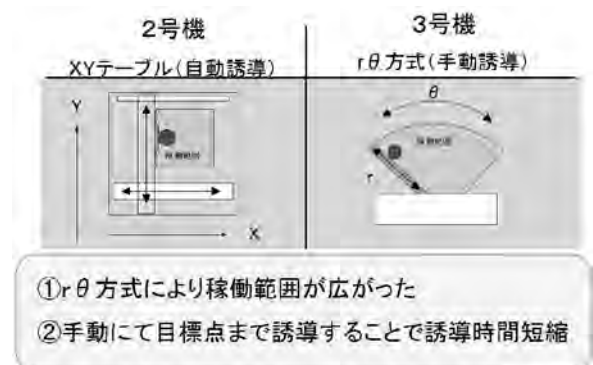


図8 誘導方式の相違

③④に関しては、マーキング機構を缶スプレーから自動スプレーガン(噴射ノズル)に変更。新Z軸内に自動スプレーガン、塗料容器、昇降モータ、ユニバーサ

ル機構を組み込む構造とした。また、本体にはコンプレッサを搭載し、エアによって塗料をノズルへ導き噴射を行う。ノズルは広角丸型で $\phi 0.5\text{mm}$ のノズル径でありながら、 $\phi 100\text{mm}$ のマーキングを可能としている。Z 軸頂部には、GPS アンテナもしくは全周プリズムが搭載され、GPS と追尾式トータルステーションのどちらでも計測を可能とした。これにより、Z 軸の鉛直性と運用性が向上し、計測精度も可能となった。

3.2.3 無人測量 3 号機の開発成果

以上の改良後、赤松谷川 5 号床固工工事に導入し検証したところ、表 1 の成果が得られた。また、コンプレッサを搭載することでノズルの目詰まりを回避することが可能となり、塗料の噴射時間も短縮された。

表 1 無人測量 3 号機の検証結果

検証内容	1 号機	2 号機	3 号機
測量精度	$\pm 50\text{mm}$	$\pm 20\text{mm}$	$\pm 20\text{mm}$
サイクルタイム	7 分 43 秒	7 分 43 秒	1 分 23 秒

3.3 超長距離無線システム実証実験

東日本大震災を受けて、技術センターの震災対応提案テーマの一つとして、超長距離遠隔操作の実験を行った。

3.3.1 実験概要

図 9 に超長距離遠隔操作実験の概要図を示す。

1) 実験の目的

次世代移動体通信 H S P A (High Speed Packet Access) により、映像情報・制御情報を伝送して、建設機械の超長距離遠隔操作の実用性を検証する。

2) 検証内容

- ①操作距離約 1,000km における遠隔操作の実用性
- ②映像符号化プロトコル、画像解像度、フレーム数、圧縮率等の検討
- ③映像情報、制御情報の遅延確認、施工効率調査

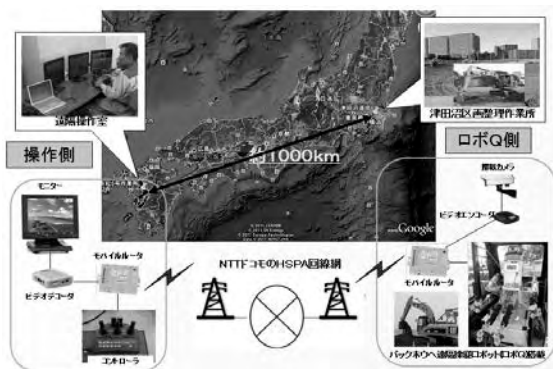


図 9 超長距離遠隔操作実験概要

3) 検証結果

- ①操作距離約 1,000km における基本動作を実証
- ②映像符号化プロトコル: H.264、画像解像度: CIF、フレーム数: 15fps、圧縮率: 50%
- ③制御+映像情報の遅延: +500ms 以下（無人化施工の遅延 1,110ms に対して）

4) 実験の成果

- ①HSPA による操作信号+映像信号の伝送が可能
- ②適正な画像解像度とフレーム数を設定することで映像遅延が操作に支障とならないことを検証
- ③通信距離は 1,000km 以上でも可能
- ④モバイルルータと DDNS+VPN の採用で回線の接続と再接続を自動化



図 10 超長距離遠隔操作状況



図 11 建機側実験状況

§4. おわりに

平成 23 年は普賢岳噴火より 20 年経ち記念事業が行われ、国交省も「雲仙普賢岳無人化施工技術検討業務」において無人化施工技術の技術変遷を纏めた。今後は無人化施工技術が作業員の高齢化、苦渋作業や過酷な作業環境の対策として一般工事にも適用されることを願っている。

ひとこと



野末 晃

雲仙普賢岳の無人化施工も平成 24 年度第 3 四半期に発注される工事が最後となる可能性がある。有終の美を飾るためにも受注必達の協力をお願いします。