

雲仙における無人化施工技術の発展と今後の課題 — 第1世代から第4世代への展開 —

国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所 田村圭司・大内田聖和・堀ノ内義博
砂防エンジニアリング株式会社 ○井野伸彦・松井宗廣・山本卓郎

1 はじめに

雲仙における無人化施工の導入は、1993（平成5）年7月に建設省が、「試験フィールド制度」を活用し、一定条件を満たす技術¹⁾を民間から公募して実施した「雲仙普賢岳水無除石工無人化施工試験工事」が最初である。雲仙以前の無人化施工では作業状況等が肉眼で確認できる程度の距離からの遠隔操作にすぎなかったが、雲仙では火砕流が到達する危険性がある警戒区域内において建設機械群による除石工事が必要とされた事から、作業地点から相当距離離れた地点からでも作業可能な無人化施工技術が開発された。無人化施工導入当初は、建設機械、無線、通信、映像等の様々なトラブルや課題が発生したが、雲仙復興事務所、民間ゼネコン、建設機械メーカー、専門工事業者等の努力によって課題は解決されていった。その後も、情報通信分野等のインフラ整備が進んでいった事から、これらを利用して周辺機器、システムの高度化、関係者の技術の熟度も増し、技術がさらに高度化するなど発展してきた。こうして、「モニターや高度な情報化施工を駆使し、設計～施工計画、施工管理、材料、無線マネジメントなどを含めた総合的な施工技術としての無人化施工技術（雲仙方式）²⁾」が確立されるに至った。これらの無人化施工技術の発展においては、雲仙という”フィールド“での継続的な災害対策工事の果たした役割が極めて大きい。本稿では、雲仙における無人化施工技術の発展過程を振り返るとともに、今後の課題について報告する。

2 無人化施工技術の時系列的整理・分析

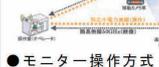
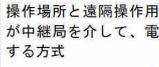
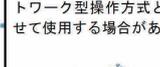
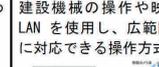
2.1 無人化施工技術の時系列的整理

無人化施工技術は単一の技術ではなく、土木技術、機械技術、通信技術、情報処理技術等が融合した「総合的な施工システム」である。本稿では、無人化施工技術を構成する技術分野に着目するとともに、その発展過程に着目した技術レベル区分を行い、技術変遷の分析検討を行った。なお、分析検討にあたり無人化施工技術の発展過程を第1世代～第4世代に区分し²⁾（表-1）、無人化施工技術の変遷を時系列的に整理した（表-2）。

表-2 無人化施工システムの世代区分

1) 第2世代（モニター操作方式）：土工（除石工 1994～

除石工では、警戒区域や過酷な作業環境下での掘削、小割、押土、運搬の一連の施工全般を100m以上離れた地点から遠隔操作で実施する必要があった。そのため、土木技術、機械技術、通信技術、情報処理技術の他、施工方法を加えた総合的な施工システムの構築が要求された。施工各社は総力を結集して、より安全かつ迅速な施工を行うため、施工能力の高い大型の建設機械（基本的な建設機械の組み合わせとなる、バックホウ、ブルドーザ、ダンプトラック、ブレイカ等）を、遠隔操作仕様に改造するとともに、安全な場所に遠隔操作室を設置し、立体映像や機械全体配置を監視しながら建設機械群を遠隔操作（モニター操作方式）し、一連の除石作業を安全に行う事ができる施工システムを構築した。

大別 施工 方式	映像伝送システムを用いた無人化施工			
	第1世代：直接操作方式	第2世代：モニター操作方式	第3世代：情報化施工方式	第4世代：ネットワーク型操作方式
概要	オペレータが遠隔操作式建設機械を直接目視しながら遠隔操作する	オペレータがカメラの捉えた遠隔操作式建設機械の映像をモニターで見ながら遠隔操作する無人化施工。		情報化施工に対応した通信方式を導入する事で、通信範囲や伝送情報が拡張した次世代の主流となる無人化施工
無人化施工システムの概要	<p>●直接操作方式 オペレータが遠隔操作式建設機械を直接目視しながら遠隔操作する方式である。</p> 	<p>●モニター操作方式（直接方式） 操作場所と遠隔操作用建設機械が直接、電波で通信する方式</p>  <p>●モニター操作方式（中継方式） 操作場所と遠隔操作用建設機械が中継局を介して、電波で通信する方式</p> 	<p>●情報化施工方式 GPS等による測位技術と設計値を合わせて出来型管理をしながら遠隔操作する。現場条件等に応じてモニター操作方式やネットワーク型操作方式と組み合わせて使用する場合がある。</p> 	<p>●ネットワーク型操作方式 モニター操作方式と同様にオペレータがカメラの捉えた遠隔操作式建設機械の映像をモニターで見ながら遠隔操作する施工方式。建設機械の操作や映像の伝送に無線LANを使用し、広範囲での無人化施工に対応できる操作方式である。</p> 

2) 第3世代（情報化施工方式）：初期（水無川1,2号砂防堰堤工事 1995～）

構造物の構築では、除石工事とは違った工種（敷き均し・締め固め作業等）に対応する無人化施工機械、品質確保の要求が必然的に高まり、より精度の高い施工管理、品質管理面での技術開発が求められた。水無川1号砂防堰堤工事では、既存の振動ローラや小型ブルドーザを遠隔操作仕様に改造するとともに、施工会社が独自に、施工・品質管理技術の開発に取り組んだ結果、品質管理技術としては、RTK-GPS（Real Time Kinematic-GPS）を利用した敷き均し管理、転圧管理が開発されるなど、情報化施工方式がいち早く導入される結果となった。

3) 第3世代（情報化施工方式）：発展期（水無川3号砂防堰堤、赤松谷川1号砂防堰堤建設工事他 2000～）

無人化施工の対象となる工種の多様化、複雑化により、施工管理・品質管理技術の要求レベルが格段に高度化し

た。加えて、この頃から工事の発注方式として“総合評価型方式”が導入された事もあり、施工会社の無人化施工技術の開発が促進され、様々な施工管理・品質管理技術の技術提案がなされた結果、新たな建設機械の遠隔操作仕様への改造や施工管理技術等、土木技術分野・建設機械分野の技術が急速に発展していった。

4) 第4世代(ネットワーク型遠隔操作方式)(赤松谷川・水無川・おしが谷床固工群工事等 2006～)

さらにその後、雲仙の現場では施工範囲が広がる事及び情報化施工に対応した通信技術が要求されるようになった。このような技術的課題の解決策として、無線LANによる遠隔操作方式が検討された。無線LANは2004年の“赤松谷川1号砂防堰堤スリット工事”において最初の実証実験が行われ、実用化が検証された。その後、無線LANの環境(インフラ)も整ったこともあり、2007年の“赤松谷川10号床固工工事”以降は、無線LANによる遠隔操作方式が主流となっている。このように第4世代は高度化した情報通信技術の活用により特徴づけられる。

表-2 雲仙における無人化施工の技術変遷³⁾

区分	第2世代		第3世代:情報化施工方式										第4世代:ネットワーク型操作方式						
	モニター操作方式		情報化施工の初期【土から施設構築工への無人化施工技術の確立】					情報化施工の発展期【情報化施工技術の発展・展開】					【ネットワーク型操作方式の導入】						
項目	1994 平成6年	1995 平成7年	1996 平成8年	1997 平成9年	1998 平成10年	1999 平成11年	2000 平成12年	2001 平成13年	2002 平成14年	2003 平成15年	2004 平成16年	2005 平成17年	2006 平成18年	2007 平成19年	2008 平成20年	2009 平成21年	2010 平成22年	2011 平成23年	2012 平成24年
土木技術分野	○除石工事に無人化施工を採用		○Pcaブロック(型枠)設置の無人化					○簡易支持力測定器を無人で使用											
	○GPSを用いた土工管理システムを採用		○護床ブロック設置の無人化					○着工前測量の無人化					○有人ヘリ着工前測量(航空レーザースキャン)						
建設機械分野	○無人機械による転石破砕		○土砂型枠の施工線表示					○無人スワイバ導入					○施工管理に伴う測量の無人化						
	○無人バックホウによるGPS現況測量実施		○無人散水車の導入					○丁張およびライン引きの無人化					○アーチカルバート設置工事						
	○砂防堰堤工事にRCC工法を採用		○砂防堰堤工事にCSG工法を採用					○MG・MCの採用(ブル・バックホウ)					○はつり作業の無人化						
情報通信技術分野	○GPSを使用した敷均し・転圧管理システムの導入		○鋼製スリット堰堤を無人で施工					○鋼製スリット堰堤を無人で施工					○はつり作業の無人化						
	○GPSを使用した敷均し・転圧管理システムの導入		○緑化工に無人化施工を採用(生育基盤材の散布)					○緑化工に無人化施工を採用(生育基盤材の散布)					○無人植栽工事						
建設機械分野	○世界初の遠隔操作重機群による無人化施工実施		○無人測量車開発					○無人測量車採用					○GPSによる無人測量実施						
	○移動操作室・カメラ車の導入		○アジテータ付無人コンクリート運搬車採用					○ブルドーザ排土板自動制御					○無線LAN通信システム導入						
情報通信技術分野	○重ダンプの無人機械開発		○無線中継専用車を採用					○無線LAN実証実験					○携帯電話通信網による遠隔操作実験						
	○クローラダンプの無人機械開発		○無人ポンプ車を使用					○無線LAN実証実験					○携帯電話通信網による遠隔操作実験						
情報通信技術分野	○バックホウ・ブレーカの無人機械開発		○ホイールローダの無人スワイバの実用化					○ホイールローダの無人スワイバの実用化					○ホイールローダの無人スワイバの実用化						
	○振動ローラの無人機械開発		○1.2GHz帯映像無線を使用					○無線LANシステム実験					○無線LANシステム実験						
情報通信技術分野	○重機制御・データ伝送にSS無線を使用(伝送距離150m)		○多数の特定小電力無線を同時に使用(伝送距離150m)					○無線LANシステム実験					○無線LANシステム実験						
	○多数の特定小電力無線を同時に使用(伝送距離150m)		○中継局を使用した長距離遠隔施工を採用(伝送距離1,500m)					○無線LANシステム実験					○無線LANシステム実験						
情報通信技術分野	○中継局を実験的に使用		○建設無線を使用(伝送距離800m)					○無線LANシステム実験					○無線LANシステム実験						
	○50GHz簡易無線を使用		○建設無線を使用(伝送距離800m)					○無線LANシステム実験					○無線LANシステム実験						

参考文献3)に掲載されている「表-無人化施工の技術変遷」を加筆修正

2.2 雲仙における無人化施工技術の発展の総括

雲仙というフィールドで、「無人化施工」という総合的な建設技術が確立され、より高度な無人化施工システムへと発展した要因を総括すると、①雲仙での継続的な無人化施工フィールドの提供、②民間ゼネコンの総合的な技術力、③総合評価型の発注方式導入による民間技術開発の促進、④無線・情報通信分野の既存インフラの高度化とその活用などが最も大きな要因であったと考えられる。

3 無人化施工の課題と対応

3.1 無人化施工技術の課題

雲仙復興事務所が保有する無人化施工関係資料、各種技術資料及び行政・施工担当者からのヒアリング調査結果等をもとに、現状における無人化施工の課題を整理した。主な課題は、①無人化施工技術を総合的にマネジメントできる技術者の不足、②無人化機械の老朽化や部品調達が困難こと、及び民間による更新のための投資の困難性、③技術の汎用性拡大のための重機の小型化への投資余力不足、④現場技術者(オペレーター等)の後継者不足などがあげられる。

3.2 無人化施工の伝承・発展に資する提案

今回の整理で明らかになった課題をふまえ、無人化施工技術の伝承・発展に繋がる提案としては、①継続的な無人化施工の確保(将来的な市場の安定性と継続性の確保)、②①をとおしての技能継承と人材育成の機会確保、③官民連携によるネットワーク型無人化施工技術の普及推進(既存インフラの利活用方法の整備、建設機械側インターフェースの標準化など)、④災害現場に応じた無人化施工システムの適切な選択と判断(無人化施工導入時の判断、施工条件に応じた無人化施工方式の使い分け等に関する手引き等の作成)、⑤無人化施工技術のDB化・標準化、などが求められる。

4 おわりに

今回の無人化施工技術の時系列的整理・分析及び課題と提案等のとりまとめにあたっては、雲仙復興事務所、砂防行政担当者、施工担当者から貴重な助言及び資料の提供頂いた。関係各位に対し、感謝の意を表します。

参考文献:

- 1)「雲仙普賢岳における無人化施工について」 松井宗廣, 砂防学会誌 vol.47 No.1 1994
- 2)「事務所長が語る砂防のはなし 81」 田村圭司, メディア砂防 No.326号 2011.07
- 3)「建設工事における無人化施工」 独立行政法人土木研究所 山元弘, 建設マネジメント技術 2007.6