

28. 無人化施工によるリサイクル 緑化工法の実施

長崎県 島原振興局：古藤 秀明、

(株)熊谷組：*北原 成郎、岡田 喬

1. はじめに

雲仙普賢岳周辺では、約1億7千万 m^3 の火山堆積物が体積しており、平成新山の溶岩ドームはいまだに崩落の危険性がある。警戒区域内では無人化施工による治山ダムの建設が進んでいる。その周囲は火山堆積物の裸地が広がっており植生が急がれている。しかし警戒区域であるためにこれまで植生基盤を造成する本格的な緑化工法が施工できなかった。土壌は火山周辺であるため肥料分が少なく早期の緑化を行う場合、厚層の植生基盤の造成が必須である。これまでの厚層基材吹付工法などでは、人力主体の施工方法であり、遠隔操作での施工は吹付機の機構上困難であった。また警戒区域であるため、施工後の補修の少ない降雨による浸食の影響が少ない緑化工法が不可欠であった。今回採用した無人緑化工法は、チップを混入した現地発生土をミキサーで攪拌し団粒化させた基盤材を、バックホウのアームに取付けた高速ベルコンによる播きだし装置で法面へ施工するものである。有人での重機を利用したリサイクル緑化工法は、これまで全国各地で実績を積み、安定した成果を残している。そこで無人化施工に適した機械化施工のできるこの緑化工法システムを遠隔操縦可能に改良し、現地への材料の運搬から積替え、法面への施工を行い、その性能を検証した。また伐採材などのチップを混入し、補強効果をあげた緑化工法であるため、無人地域での侵食防止にも効果が期待できる。今回、日本ではじめて本格的な無人緑化施工を実施し、実現したのでここに報告する。

2. リサイクル緑化工法の概要

リサイクル緑化工法は現地周辺で発生した伐採材を長い針状に粉砕した生チップと、団粒土壌に改良した畑土を混合した材料に、種子・肥料・添加剤・水などを加えて、植物が良好に発芽・生育できる生育基盤材料を製造し、専用の高速ベルトコンベア式専用撒きだし機を使って現地法面に生育基盤を造成する工法である。撒きだし機から高速で放出された土壌内のチップは強固にからみあう。この網目状に配したチップ材が基盤を保護するため、降雨や流水に浸食されにくく、乾燥しにくい。またコンベアを組み合わせた機構から施工能力が高く必要な厚吹きに対しても施工性に問題なく、

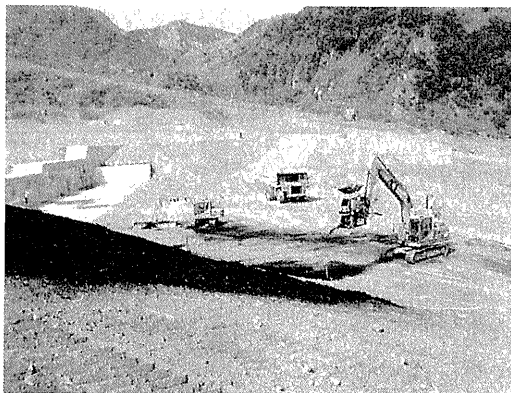


写真1 施工状況

詰りなどの故障が発生しにくい。この他、この工法は無人重機（バックホウ）により容易に施工できるなどの特徴を持つ。

3. 無人化施工システム

無人区域内のリサイクル緑化工法施工には、無人化施工機械を組み合わせ施工する。

今回の施工では、有人区域で材料を製造し、有人区域に近接した区域で無人化施工機械へ材料を受け渡す。その材料を遠隔操縦で施工区域へ吹付ける施工を行う。無人化施工機械の操作は約100m程度離れた操作室より遠隔操縦で施工した。

(1) 使用機械

無人化施工に使用する機械を以下の表1に示す。

表1 遠隔操作関連使用重機一覧表

機械名	規格	台数	使用工種	適用
遠隔操作式バックホウ	0.8 m ³	1	緑化工 撒き出し作業	車載カメラ搭載 撒き出し装置
〃 バックホウ	0.45 m ³	1	緑化工 積替え作業	車載カメラ搭載
〃 ダンプトラック	45 t 積み	1	緑化工 運搬作業	有人・無人切替運転
移動カメラ車		2	緑化工 作業補助	バックホウ利用
バックホウ	3.5 m ³	1	緑化工 プラント積込作業	有人運転
移動操作室	10 t 車	1	作業全般	

(2) 無線設備

前述のとおり、本工事では、無人区域内の施工を前提として、無人区域内で使用する重機はすべて遠隔操作する。このため、操作用信号、画像用信号はそれぞれ専用の周波数により無線で送信する。

① 操作用信号

操作としては、重機本体のコントロールの他にアンテナの方向コントロールにも無線が使用される。重機本体は429MHz帯特定小電力無線局の電波を使い、映像制御は422MHz帯特定小電力無線局および2.4GHz帯小電力データ通信無線局の周波数を用いた。

② 画像用信号

画像の転送には、業務用無線1.2GHz、建設無線2.4GHz、50GHz帯簡易無線を使用する。将来傾斜地等の施工に対応

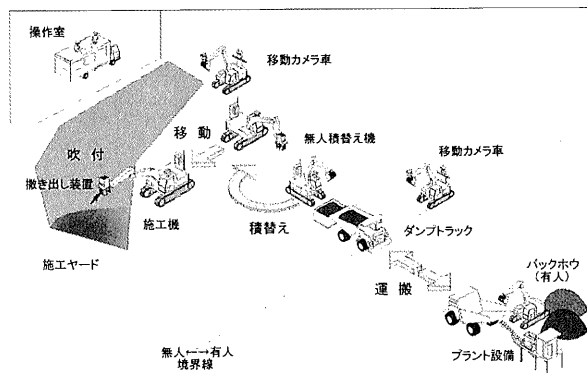


図1 施工概要図

するため、無指向性アンテナを使った 1.2GHz と 2.4GHz 無線局を作業を行うバックホウに搭載した。50GHz の電波は指向性が強いので、移動カメラ車に採用している。

4. 施工報告

4. 1 施工概要

今回の施工場所は、火山灰を主体とした法面であり、保水性（保肥性）が極めて低く、有機物が全く含まれていないなど植物の生育環境としては劣悪な状況にある。一方、当地では工事区域への立入りが制限されており、緑化の工事を行うに際しても、無人化での施工を行った。

工事件名：水無川（赤松谷 1 工区）地区 火山地域総合治山工事

施工地：長崎県 赤松谷治山ダム群 1号えん堤右岸副堤 右岸

法面状況：勾配 1：2.0m 地山 火山灰・火山礫堆積法面

施工日：平成14年3月6日～3月7日

施工面積：300 m² 生育基盤造成厚 t = 10cm

表 2 施工実績表

施工日	施工日数(日)	施工面積(m ²)	実稼働時間(h)	作業量(m ² /h)	備考
3月6日	1	158	6	26.3	
3月7日	2	142	5	28.4	
合計		300	11	27.3	

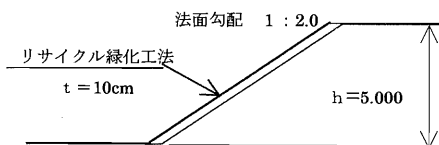


図 2 標準断面図

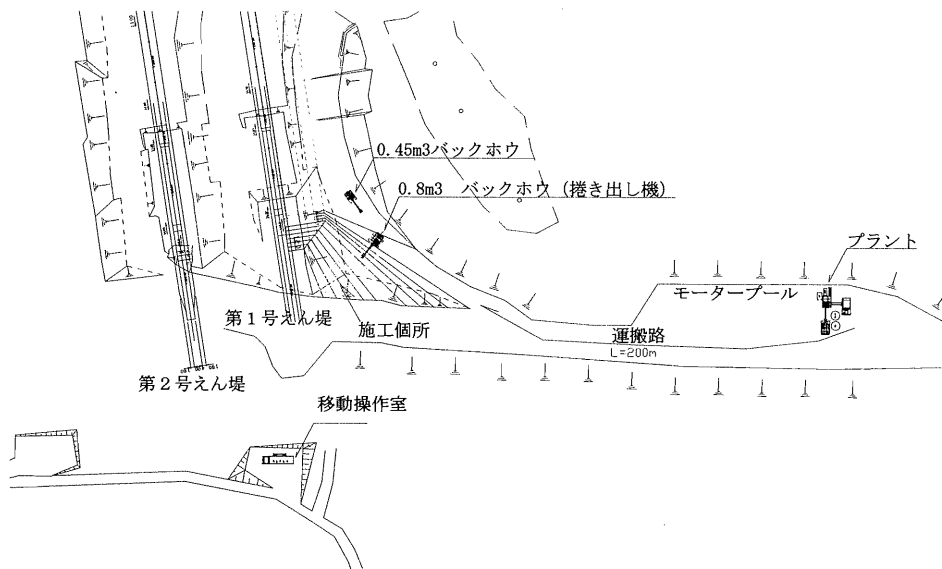


図 3 施工位置図

4. 2 主要機械・使用材料

表3に主要機械、表4に標準配合を示す。

表3 主要機械一覧

	使用機械	仕様・形式	台数	備 考
生育基盤 材製造	バックホ	0.8m ³	1	表土・チップ材投入 有人
	生育基盤製造 プラント		1	有人
	バックホ	3.5m ³	1	有人
	発動発電機	125kVA	1	
	水 槽	5m ³	1	
	ベッセル		1	生育基盤材ストック
生育基盤 造成	ダンプトラック	4.5 t	1	生育基盤材の運搬 無人
	バックホ	0.45m ³	1	撒きだし機への材料投入 無人
	バックホ	0.8m ³	1	撒きだし機ベースマシン 無人
	撒きだし機		1	生育基盤の造成 無人
	カメラ車		2	作業補助 無人

表4 標準配合 (1 m³当たり配合)

材料	品名	単位	1 m ³ 当たり数量
チップ材		m ³	0.5
表土		//	0.5
団 粒 剤	NC ボンド A	kg	3.0
接 合 剤	NC ボンド B	//	4.0
化成肥料 (8:8:8)		//	3.0
緩効性肥料	ハイコントロール	//	2.0
水		m ³	0.35
種 子	センヒートグラス	g	3.3
	ハ° ミューダ° グラス	g	0.6
	ハ° ヒア° グラス	g	16.6
	ヤマハキ°	g	228.6

4. 3 施工方法

無人区域内のリサイクル緑化工法施工には、無人化施工機械を組み合わせ施工する。

今回の施工では、有人区域で材料を製造し、有人区域に近接した区域で無人化施工機械へ材料を受け渡す。その材料を遠隔操縦で施工区域へ吹付ける施工を行う。無人化施工機械の操作は約100m程度離れた操作室より遠隔操縦で施工した。

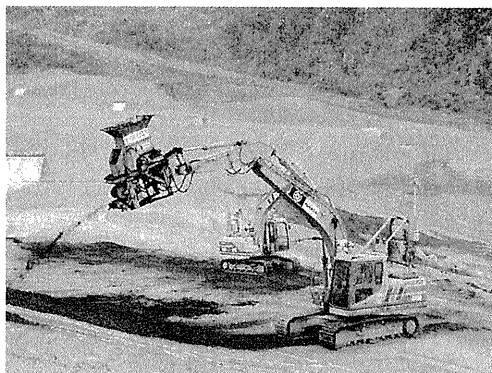


写真2 吹付状況

(1) 施工手順

施工手順をフロー図に沿って説明する。

また図4 無人化施工フロー図を以下に示す。

- ① 施工はリサイクル緑化材料をプラントで製造し、バックホウ（有人）にて重ダンプに搭載する。
- ② 無人重ダンプは約200m程度運搬し、仮置ベッセルに荷降ろしする。
- ③ カメラ車の支援を受けながら、無人バックホウで材料を撒き出し装置に積替える。
- ④ 撒き出し装置を搭載した無人バックホウは施工ヤードまで移動する。
- ⑤ 作業位置を確認し、吹付作業を行う。

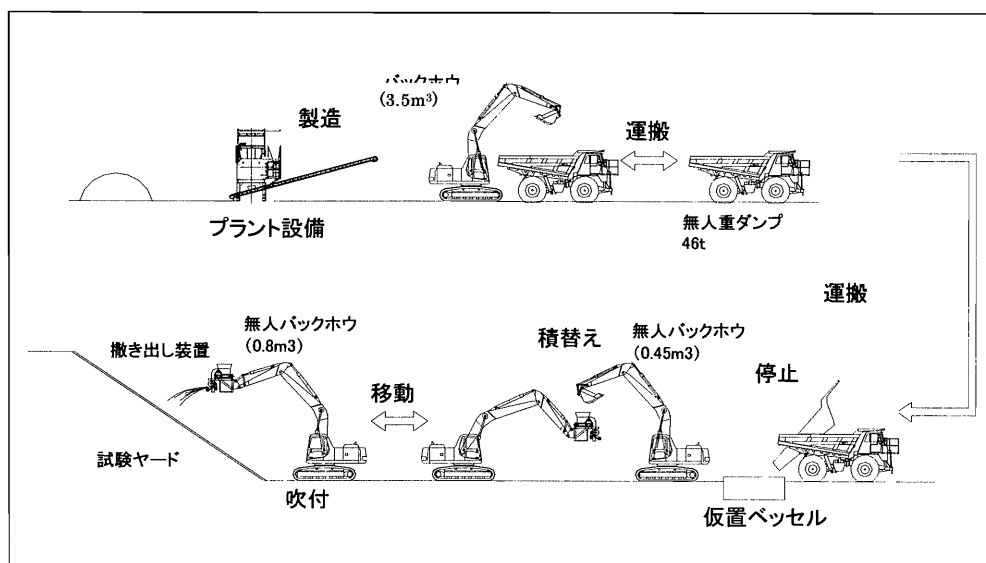


図4 施工フロー図

4. 4 施工管理

施工管理方法は、吹き付け作業を行う前に、検測治具と施工範囲を区画（ 9 m^2 ）切りし、そこに吹き付ける量で厚さの管理を行った。今回の工事では検測治具と施工範囲の区画切りは、有人作業で行った。また、施工後に 100 m^2 に1箇所吹き付け厚の検測を行った。

4. 5 追跡調査

追跡調査は、施工法面の3箇所（上部、中部、下部）の位置に $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ （ 1 m^2 ）のコドラートを1箇所ずつ設置し、それぞれを調査した。調査の日程は施工後から1週間おきに実施し、以後12ヶ月後まで実施している。

4. 6 火山噴出物の団粒化試験

現地の表層土を形成する火山噴出物を法面緑化（リサイクル緑化工法）の生育基盤材として再利用する方法について実験を行い検証した。使用材料は表層土（火山噴出物を採取）と表土（周辺地より採取）、チップ材（普賢岳周辺伐採木利用）である。表5参照。

（1）使用材料の配合

・配合①および配合②

チップ材と火山噴出物を1：1の比率で混合、団粒剤の混入量を 1.5 kg （配合①）と 2.0 kg （配合②）として試験実施した。

・配合③

チップ材を 0.5 m^3 、現地発生土を火山噴出物（ 0.25 m^3 ）および周辺表土（ 0.25 m^3 ）とした。団粒剤の混合量は 2.0 kg とした。

(2) 試験結果

いずれの配合においても、団粒化が確認された。しかしながら、火山噴出物だけでは微粒分量が不足していると考えられるため、団粒による結合が若干弱く保水量が少ない。これに対し、微粒分を多く含む現地周辺から採取した表土を混合した場合には、さらに良好な団粒構造をした生育基盤が得られる。

配合①と配合②では、団粒剤 1.0kg の混入で団粒反応が起こり火山噴出物は団粒するが、基盤材の結合力が弱い。

団粒剤の量を増やしても（団粒剤 2.0kg）この傾向に変化はなく、基盤材が粘性をおびていわゆる団粒剤が過剰の状態を呈する。このため、この火山噴出物に微粒分を含む現地周辺の表土を加えることにより、良好の生育基盤が製造できると判断される。

表5 1 m³ 当たりの配合

	単位	配合①	配合②	配合③	実施工配合
チップ材	m ³	0.50	0.50	0.50	0.50
現地発生土 (火山噴出物)	"	0.50	0.50	0.25	—
現地発生土 (表土)	"	—	—	0.25	0.5
水	"	0.25	0.25	0.25	0.35
団粒剤	kg	1.5	2.0	2.0	3.0
団粒状況		○	○	◎	

5. まとめ

今回の工事では、国内初めて緑化工事を無人化施工で行ったが、警戒区域内でも厚層の緑化基盤を無人化施工で構築することが実証できた。結果として警戒区域で作業に人間が入れない制約条件下では、無人化施工を前提とした緑化システムの構築が重要であった。また吹付作業自体は能率低下は少なく、安定して施工が実施できた。

課題としては、今回の工事では施工は無人化作業で行えたが、施工管理を全て無人で行えるよう新システムの開発を行っていきたい。

また、今後施工数量の増大が図られる場合、無人化施工システムの大型化により施工効率と経済性の向上を図ることが必要である。具体的には撒き出し装置の大容量化、無人化による材料の投入効率向上などがある。

さらに無人化施工上流部の急峻な地形に対応するためにはブルドーザや専用大型運搬機械の導入、対応可能な無線の導入、撒き出し機構改良などの重要な検討課題が予想されており、これらの技術開発にも力を入れていきたい。

最後に、本工事を実施するにあたりご協力いただいた関係者の皆さんに心より感謝いたします。



写真3 施工3ヶ月後