

技術名	アスベスト除去ロボット
番号	No. 6.1-7
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	大成建設(株)
キーワード	多関節形ロボット、有害危険箇所、アスベスト回収システム

(1) 概要

吹き付けアスベストは、耐火性や断熱性、吸音性などに優れていることから、過去において、建物の天井や壁、柱、梁などに吹き付け施工がなされてきた。アスベスト除去作業は、密閉空間のため、作業環境が極めて劣悪であり、人的作業では、膨大な時間を要していた。

図-1 は、東京都中央区晴海倉庫における、遠隔操作によってアスベスト除去が行われた施工事例である。(除去対象部：天井・梁部)

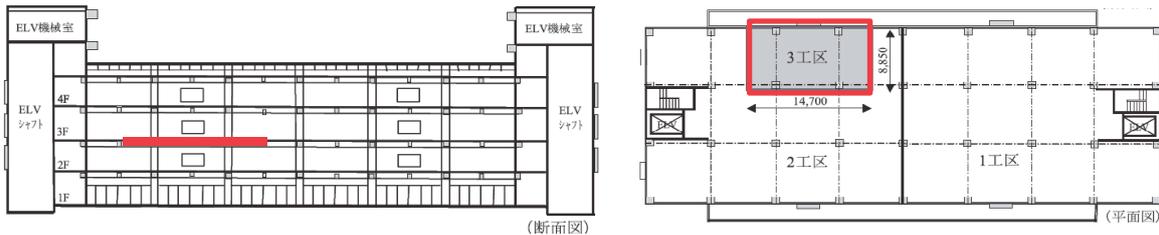


図-1 施工範囲

既存建物に使用された吹き付けアスベストは、乾式工法により施工された比較的軟らかい吹き付けアスベストと、湿式工法により施工された強固な吹き付けアスベストがある。始めに除去の容易な乾湿系吹き付けアスベスト除去ロボットの開発を行い、その後湿式系吹き付けアスベスト除去ロボットの開発に至った。アスベストはエレベータシャフト内の耐火材として、エレベータの上昇下降の風圧に耐えるよう湿式吹き付けアスベストが使用されており、限られた空間内で効率良く除去できる技術を開発するに至った。

(2) 技術詳細

1) 乾式フロア用ロボット

- ① ベースマシンは遠隔操作標準装備の解体装置を使用 (写真-1)。3 アーム構造で自由度が高く、電動モータを採用していることから、排気ガス等の配慮も必要としない。
- ② 混気物 (高圧水+圧縮空気+研削材+高分子吸収剤) を同時噴射することのできるノズルアタッチメントをロボットアームの先端部に装着している (写真-1)。また、噴射ノズルは、アスベスト吹き付け面に対して鉛直方向に一定の斜行角度を持たせ往復運動が

できる。さらにノズル噴射角度の向きを変えられるような可変機構を搭載している。

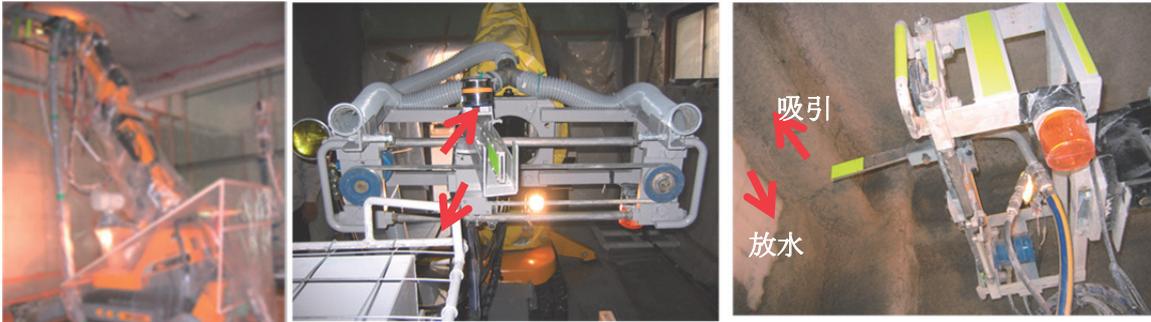


写真-1 乾式アスベスト除去用ロボットと乾式用アタッチメント(高圧水除去)

2) 湿式フロア用ロボット



写真-2 乾式用アタッチメント(高圧水除去)と湿式用アタッチメント(回転式剥離機)

- ① 胴体部には2台のカメラを搭載し、ロボットアーム先端部には、強固に付着しているアスベストを機械的に除去するアタッチメントを装着。
- ② 除去用アタッチメントの構成
 - a) 粗とり用：円筒状回転体に鉄筋棒（先端斜めカット）を溶接した
 - b) 仕上げ用：円筒状の回転体に複数の樹脂製ブラシを取り付けた

3) エレベータシャフト用ロボット

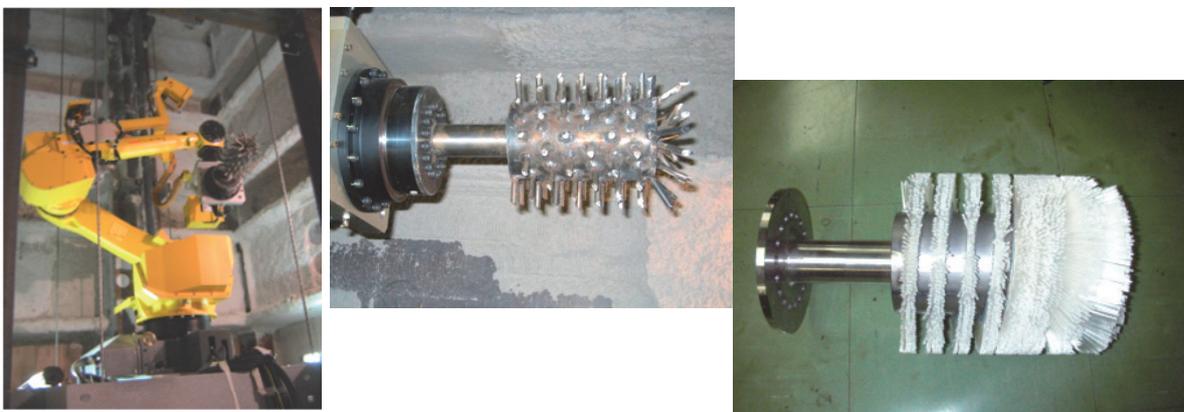


写真-3 エレベータシャフト用ロボットとアタッチメント

エレベータシャフト内アスベスト除去を行うものであり、あらかじめエレベータシャフト内の除去部位を覚え込ませ、作業中は完全無人化作業が可能である。ベースマシンは、汎用性の高い6軸垂直多関節形の知能ロボットを採用。ロボットを智能化する機構は

- ① 力センサ・カメラパッケージセンサ・立体センサの搭載
- ② アスベスト除去部位における動作データをプログラミングにより記憶させ、ロボットの自己認識制御により、自動運転でアスベストを除去する。

4) アスベスト回収システム概要

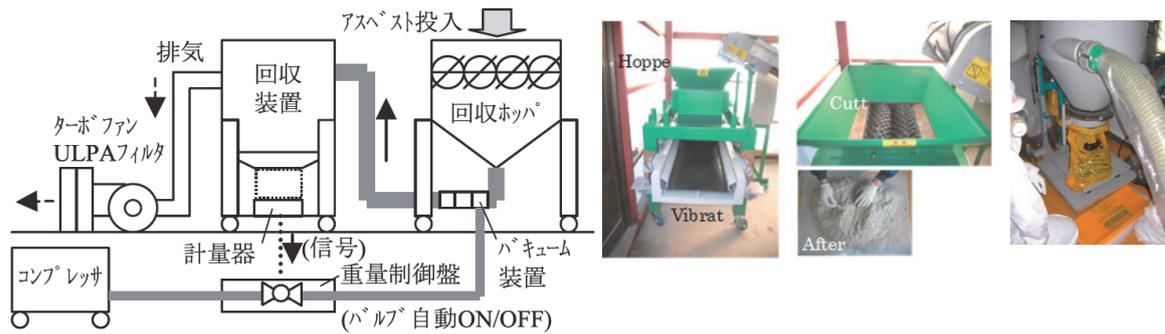


図-2 アスベスト回収システム

アスベストだけでなく、ラス網をも同時に裁断できるような、2軸式のローリングカッターを搭載した粉砕装置を設置した。粉砕しきれなかった塊状の破砕物を選別するための振り機構を組み込んでおり、アスベストを圧送するためのバキュームを取り付けている。

(3) 性能評価

総じて人間の作業による除去速度の3～5倍程度の作業効率を確認した。

ブラッシングにより粗取り後の残留物も効率良く除去できた。アスベストやラス網等をベルトコンベア等で破碎した後、バキューム装置及び回収装置により、自動的に廃棄袋に袋詰めすることができ、廃棄アスベスト容量は、従来の塊状アスベストの詰込み状態よりも約1/3に減容化されていることを確認した。

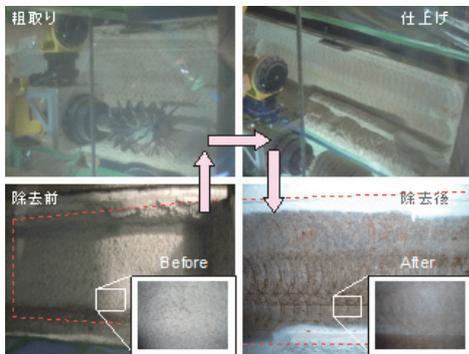


写真-4 エレベータシャフト内除去作業状況



写真-5 回収システムの減容効果(ラス網廃材の例)

<p>参考文献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・「乾式系吹き付けアスベスト除去ロボットの開発・実証」 大成建設(株) 森、長瀬、久保木、建設施工と建設機械シンポジウム、P87、2008.9 ・「ロボット技術を利用したアスベスト除去技術」 大成建設(株) 森、建築の研究 No.215、2013.2 ・「湿式吹付けアスベストの無人化除去・回収システムの開発その5」 大成建設(株) 森、 ・日本建築学会大会学術講演会梗概集、P947～P948、2011.8
<p>備考</p>	<p>特許出願番号： 2009-183975</p>

技術名	ダムテレコンシステム
番号	No. 6. 1-8
発注者	建設省九州地方建設局
施設名	水無川1号砂防ダム
所在地	長崎県島原市
工事名称	水無川1号砂防ダム越流部建設工事（1～3期）
施工期間	1995年9月～1998年3月
施工者	大成建設(株)
キーワード	無人化施工基礎技術 掘削管理システム 締固め管理システム

(1) 概要

雲仙普賢岳は、1990年11月198年ぶりに噴火を開始した。噴火活動が5年目に入った1995年火山噴火予知連会が『噴火活動は、ほぼ停止状態』の発表がなされた。山頂部には約1億 m^3 の溶岩ドームと山麓に約1.7億 m^3 の火砕流堆積物が不安定な状態で存在し、土石流の発生が懸念された。水無川1号砂防ダムは約40基の砂防ダム群が建設省により計画された。

現在でも雲仙では砂防ダム工事が継続している。工事着手時の遠隔操作が、今日では自律制御に発展した。当事例は、今も使われている重機等の遠隔操作や、無人化施工の基礎技術として事例を紹介するものである。



図-1 現在の雲仙（1995年火砕流）



図-2 砂防ダム完成状況

1) 設計概要

1号砂防ダムはダム群の最下流に位置し、危険地域におけるダムの安全施工を行うため省人化や急速施工を考慮して、堤体中央の越流部はRCC (Roller Compacted Concrete) 工法による施工、左右岸の非越流部は、火山噴出物を骨材に用いたCSG (Cemented Sand and Gravel) 工法とした。

溶岩ドーム崩落による危険に対し、越流部を無人化施工によるRCC工法とした。

2) 施工概要

堤体打設に土砂型枠(図-5)を採用し、モルタル敷均し、目地切、グリーンカット、従来型枠の4工程を省略した。土砂を型枠とするため、堤体表面が凹凸形状となる。

火砕流・土石流などの危険性が高いため、工事の安全性を図るため無人施工区間とされる区間を、GNSSを活用した施工支援システムを構築し、遠隔操作による無人化施工を実施。

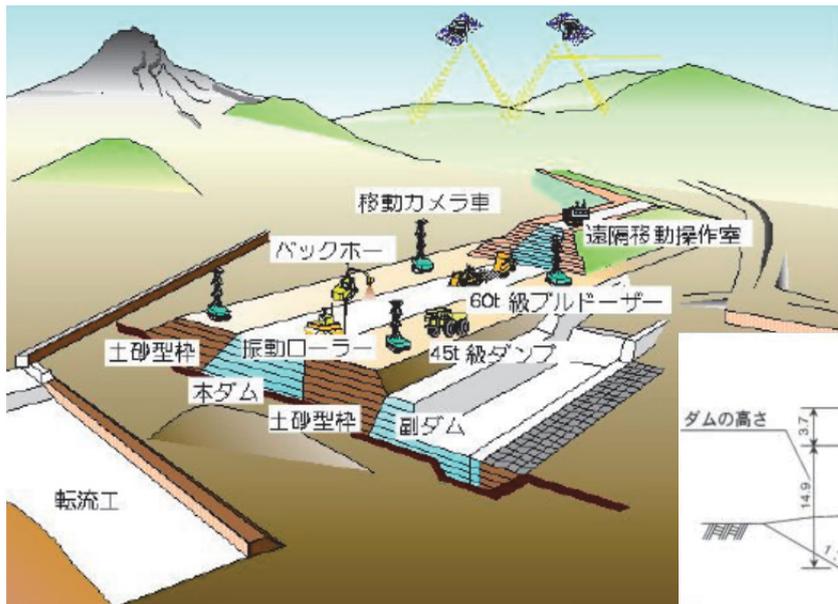


図-3 無人化施工状況図

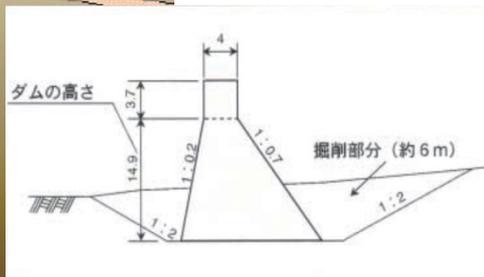


図-4 越流部の標準断面図

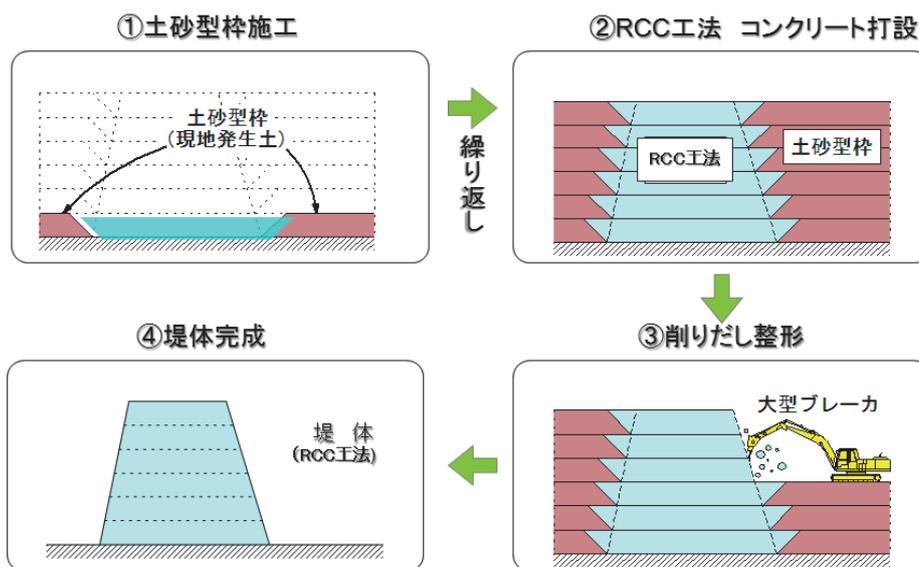


図-5 土砂型枠

(2) 技術の詳細

1) 本システムによる施工手順

- ① 無人 45t ダンプトラックでRCC コンクリートを運搬。
- ② コンクリートを無人ブルドーザーで25cmの厚さに敷き均す。
厚さや転圧回数を、映像とGNSSデータによる管理モニターを使い、遠隔操作で施工する。
- ③ コンクリートを厚さ25cmで2回敷き均し、50cmの厚さの状態でも無人振動ローラーによって転圧する。

表-1 重機の構成

重機名	規格	台数	操作方法
ダンプトラック	CAT-773 (45 t 級)	3	CCDカメラ搭載・遠隔操作
振動ローラー	SD-451 (10 t 級)	1	GNSS搭載・遠隔操作
バックホー	CAT-330 (1.3m ³ 級)	1	GNSS・CCDカメラ搭載・遠隔操作
バックホー	CAT-375 (2.8m ³ 級)	1	CCDカメラ搭載・遠隔操作
ブルドーザー	CAT-D6D (16 t 級)	1	GNSS・CCDカメラ搭載・遠隔操作
ブルドーザー	CAT-D10N (60 t 級)	1	CCDカメラ搭載・遠隔操作
移動カメラ車	クローラー走行	4	CCDカメラ搭載・遠隔操作

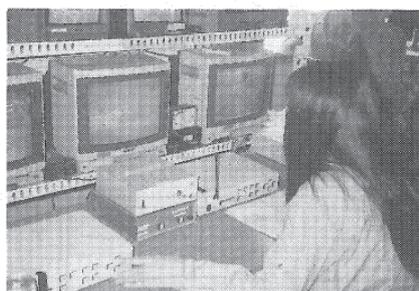


図-6 移動式カメラ車(ラジコン車)とカメラコントロール



図-7 重機の遠隔操作状況

2) GNSS・ダムテレコンシステム

RCC ダムの無人化施工では重機を遠隔操作するため、3つの構成技術からなる「GNSS・ダムテレコンシステム」を開発した。

- ① 重機を無線操作するリモートコントロール技術
- ② CCDカメラによる重機前方やヤード全体の映像監視技術
- ③ GNSSによる重機位置の3次元計測や出来形の管理支援技術

3次元データの数値解析とその可視化技術を活用して、工事の管理を実施した。

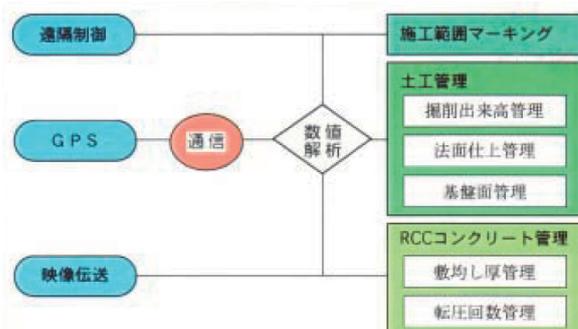


図-8 GNSS・ダムテレコンシステム

3) 掘削管理システム

GNSS 搭載ブルドーザーの走行軌跡を地盤の 3 次元座標として計測。前日とその日の出来高を求め土工数量の管理を行う。

粗掘削された法面の整形には画面上(図-10)の計画断面と現況の出来形断面を比較して行う。リアルタイムで重機の位置と設計高の差を表示し、最終仕上げを行う。



図-9 法面掘削状況

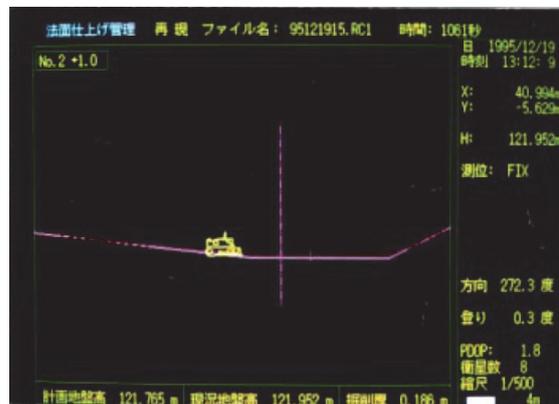


図-10 仕上げ管理モニター

4) RCC 締固め管理システム

敷均し厚については敷き均し範囲を 1m メッシュに分割し、高さ 10cm 刻みに色分け表示し、目標高さの±5cm の範囲に仕上げる。

転圧回数については、ラップ範囲を設定し、1.6m 間隔に色付けし、画面上の帯が既定の色になれば既定の転圧回数 (10 回) に達したことが確認できる。

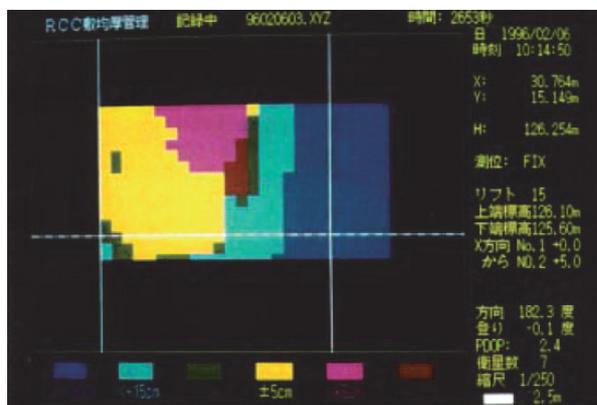


図-11 敷均し厚管理モニター画面

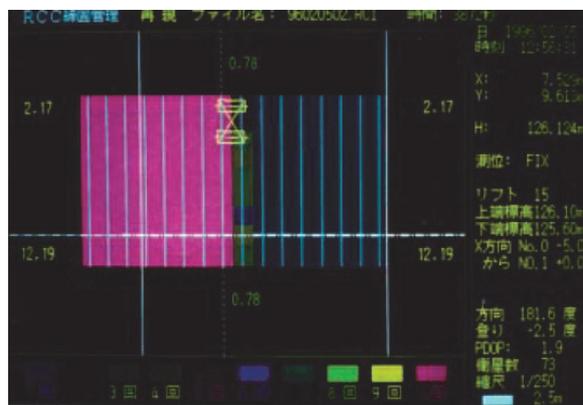


図-12 転圧回数管理モニター画面

(3) 結果と課題

無人化施工の施工能力は表-2 に示す通り、概ね良好な結果を得た。一方カメラ車の配置や精密機器のメンテナンスなどが追加的な作業が必要となった。また映像による遠隔操作ではその覚えのよし悪しなどの個人差が生じた。

このような背景から、機械が自律的に制御するシステムが開発され、操作はスイッチの ON・OFF だけとなった。ダム現場での事例もあり、今後は安全の冗長化やその運用の検討が必要である。

表-2 施工能力の比較

(単位 : m³/h)

工 種		施工条件	有人	無人	対有人比
土工事	土砂運搬	約180m運搬	102	88	0.96
	掘削・積込		288	247	0.86
RCC	敷均	25 c m × 2層	62	56	0.90
	締固	10回	69	61	0.88

参考文献	「GPS・ダムテレコンシステム～雲仙普賢岳砂防ダム無人化施工～」 大成建設(株) 神崎 正、大浦幹男、西沢修一 (URL : http://www.taisei.co.jp/MungoBlobs/209/139/K00X33.pdf)
備考	特許出願 : 平 5-133747, 164833, 164835, 312934, 平 6-66920, 146334, 平 7-43447

【災害復旧・危険箇所／無人化施工】

技術名	無人化施工鋼製スリット建造システム
番号	No. 6.1-9
発注者	国土交通省九州地方整備局
施設名	水無川3号砂防堰堤
所在地	長崎県島原市北上木場町地先
工事名称	水無川3号砂防堰堤スリット工事
施工期間	2002年10月～2003年3月
施工者	(株)フジタ
キーワード	無人化施工、災害復旧、鋼製スリット、高流動コンクリート、無人測量

(1) 概要

国土交通省雲仙復興事務所は、平成6年1月より遠隔操作重機による無人化施工試験工事を開始した。平成7年9月に水無川1号砂防堰堤の工事を開始し、平成10年3月末には水無川2号砂防堰堤が完成した。これら2つの砂防堰堤は、GPS 施工管理システムを用いた無人化 RCC 工法により築堤され、完成後約 170 万 m³の土砂を補足することが可能となった。さらに、上流部における砂防施設として、平成14年10月より水無川砂防堰堤スリット工事をこれまでの遠隔操作技術、映像通信技術、遠隔測量技術を駆使した無人化施工技術で施工した。1基当たり 15 トンの鋼製スリットを精度よく設置し、鋼製スリットの固定方法としてマスコンクリート規模の高流動コンクリートを採用し、その全工程を遠隔操作にて施工した。



図-1 水無川3号砂防堰堤完成位置図

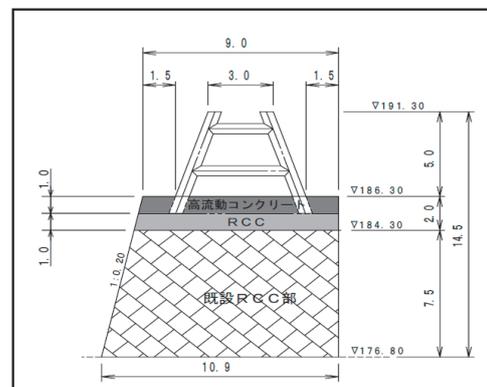


図-2 鋼製スリット堰堤標準断面図

【工事概要】	工事名称 : 水無川3号砂防堰堤スリット工事
	発注者 : 国土交通省九州地方整備局
	工事場所 : 長崎県島原市北上木場町
	工期 : 平成14年9月～平成15年3月
	用途 : 砂防ダム
	主要数量 : 鋼製スリット(16基×15t/基)、コンクリート(4,000m ³)

(2) 技術の詳細

1) 水無川3号鋼製スリット砂防堰堤の概要

水無川3号鋼製スリット砂防堰堤は、堤体の一部を格子状（スリット）にすることにより、小規模な洪水の際に流下する土砂はスリットの間を通過させ、常に大規模な土石流の発生に備え、堰堤上流に土砂を捕捉する容量を確保できる砂防施設である。

堤高 14.5m、堤長 232.40mのうち、越流部を含み左岸側 150mが今回対象となった工事である。図-2が鋼製スリット標準断面図であり、重量 15.077 t/基、スリット部材は直径 600mmで、機能上から上流側の鋼管厚さは下流側より厚くなっている。

越流部 100mの区間に 16基の鋼製スリットを設置し、8つのブロックに分割して高流動コンクリートを打設した。図-3に鋼製スリット堰堤の正面図を示す。

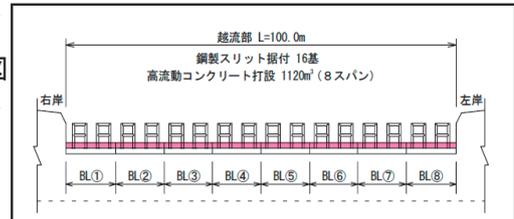


図-3 鋼製スリット堰堤正面図

2) 鋼製スリット砂防堰堤の無人化施工

図-4に全体施工平面図を示す。水無川2号砂防堰堤の右岸袖部に、遠隔操作室を設け 500m程度離れた場所から遠隔操作を行った。

図-5に鋼製スリット砂防堰堤工の無人化施工フローを示す。

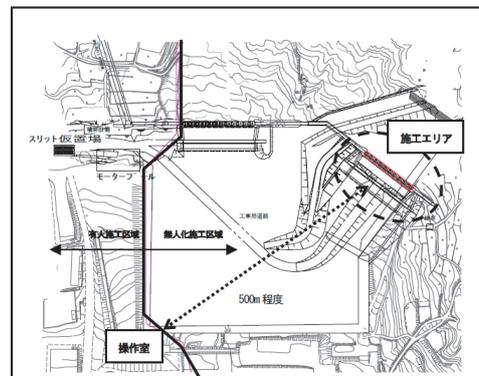


図-4 遠隔操作位置図

① 鋼製スリットの運搬

図-6に示すように無人鋼製スリットの運搬車は、遠隔操作用の 45 t 重ダンプトラックを改造し、ベッセルを取り外して専用の運搬台を取り付けた運搬車にて行った。運搬時に鋼製スリットがずれ落ちないように、遠隔操作で開閉ができる転倒防止装置を取り付けた。バックホウにて鋼製スリットを把持後、地切りがスムーズに行くよう、後方の荷台にスライド機構を取り付けた。写真-1に無人鋼製スリット運搬状況を示す。

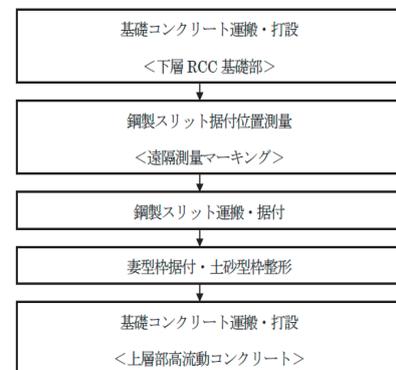


図-5 鋼製スリットの施工フロー

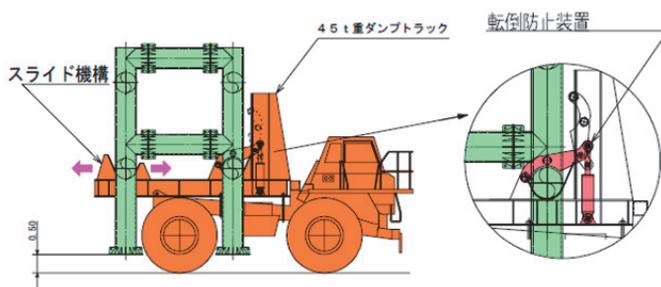


図-6 無人スリット運搬車



写真-1 スリット運搬状況

② 鋼製スリットの据付け

把持装置を取り付けた 3.5 m³バックホウが、無人測量機(写真-2)によりマーキングした所定の位置に、鋼製スリットを据付ける(写真-3)。把持装置は油圧機構により、フックの開閉による鋼製スリット鋼管の掴み、及び微小位置決めを行うために 90° 回転可能な構造とした。把持装置にバランスウエイトを新たに追加して、据え付け時の鋼製スリットのバランス調整を図った。

据付け作業は、まずスリット運搬車上の鋼製スリットを据付け位置に待機しているバックホウで把持し、地切りを行う。完全に吊り上げた後、スリット運搬車を移動する。移動後、旋回して所定の位置への据付を行う。据付けはモニター映像で無人測量によるマーキングを確認しながら、据付け目標値内(±50mm)に収まるまで繰り返し実施した。



写真-2 無人測量機



写真-3 鋼製スリット据付け状況

③ 高流動コンクリートの運搬

図-7 に示すように高流動コンクリートの運搬には、45t 重ダンプのベッセルを取り外し、材料分離防止のアジテータ機能付きタンク 20m³を取り付けたコンクリート運搬車を使用した。タンクは 18m³積載可能で、内部には攪拌用の 12本の羽根と引き出し用のスクリューを配置した。粘性の高い高流動コンクリートが内部壁面に残るのを防止するために、特殊な樹脂系のシートを張り付け、清掃時における人的事故防止のために、安全装置としてキーロック装置およびコンクリート残量検知ランプを取り付けた。さらに、タンクを支持する4箇所の支柱にひずみゲージを取り付け、内容量の変化に伴うひずみ値を検出することで、残量 1/4 でランプが点灯するように設定した。写真-4 に無人高流動コンクリート運搬状況を示す。

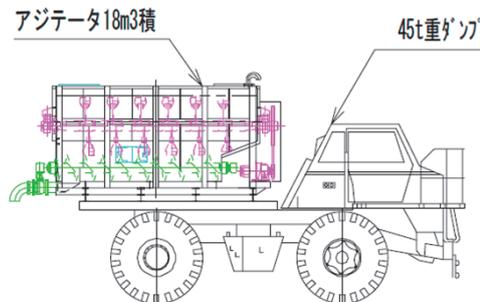


図-7 高流動コンクリート運搬車



写真-4 高流動コンクリート運搬状況

④ 高流動コンクリートの打設

ポンプ車はブルドーザ(16t)で牽引(図-8)し、高流動コンクリートを打設した。写真-5に無人高流動コンクリート打設状況、写真-6に遠隔操作状況を示す。鋼製スリット2基の範囲を1ブロックとして、全体を8ブロックに分け、左右岸端部から順次打設することとし、1回の平均打設量は160m³程度であった。施工性を考慮して、上下流の型枠は土砂型枠、棲側型枠は鋼製型枠を使用した。また、側圧対策として1.5m³バックホウ(自重40t)にて鋼製型枠を押さえ、鋼製型枠の脱型は2日養生後に実施した。

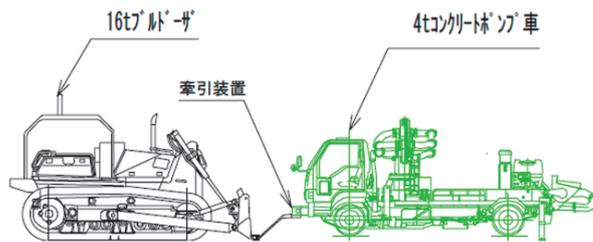


図-8 無人ポンプ車と牽引ブルドーザ



写真-5 無人ポンプ車による打設状況



写真-6 高流動コンクリート打設遠隔操作状況



写真-7 鋼製スリット配置完了状況

(2) 結果

鋼製スリット砂防堰堤のように精度が必要な構造物の構築においても重機の改造と無人測量技術の開発により無人化施工が可能になった。

これら開発した技術は2004年の赤松谷川1号砂防堰堤スリット工事と2009年の赤松谷川2号砂防堰堤一期工事においても、重さ15tのプレキャストアーチカルバートボックスの設置工事に発展した。



写真-8 竣工状況

<p>参考文献</p>	<p>無人化施工による雲仙普賢岳鋼製砂防堰堤工事の実績：(株)フジタ 茶山 他、第10回建設ロボットシンポジウム, 論文集、123-132 ページ、2004年8月</p>
<p>備考</p>	<p>特許登録番号 4230161 マーキング方法</p>