

雲仙普賢岳における砂防工事の無人化施工

古賀 康正*

Yasumasa KOGA

1. はじめに

雲仙普賢岳は、長崎県南東部の島原半島中央部に位置し、秋の紅葉と冬の霧水に代表される日本で最初の国立公園に指定された風光明媚な観光地帯であった。この雲仙普賢岳が平成2年11月17日に、198年ぶりに火山噴火活動を再開し、翌年の6月3日には水無川流域において死者・行方不明43名という痛ましい大火災流が発生した。その後も、度重なる火砕流や降雨に伴う土石流の発生により、2,500棟にもぼる家屋被害と、島原半島の動脈である国道57号・251号や島原鉄道等の交通網を寸断し、社会経済に大きな被害を与えた。

2. 土石流災害対策等

平成5年度から雲仙復興工事事務所で工事を行うこと

となったが、以前の長崎県による工事の施工は、作業員の安全性の面から警戒区域外で河川災害復旧工事・除石事業等の砂防工事等が行われてきた。また、緊急を要する警戒区域内での工事については、自衛隊の警戒監視の基に、自衛隊等が市・町の要請を受け2件の工事が行われている。

3. 無人化除石技術の開発

平成5年度から直轄により工事を行うこととなったが、土石流対策としての除石工事が急がれた。しかし、火砕流・土石流が頻発する水無川での工事施工に当たっては、作業員の安全の確保が第一であった。このため、建設省では平成5年度に「試験フィールド制度」を導入し、無人化除石技術について幅広く民間に技術開発を求め、技術提案の公募を行った。公募の施工条件については、雲仙普賢岳の現地の条件を考慮して表-1の通りとした。

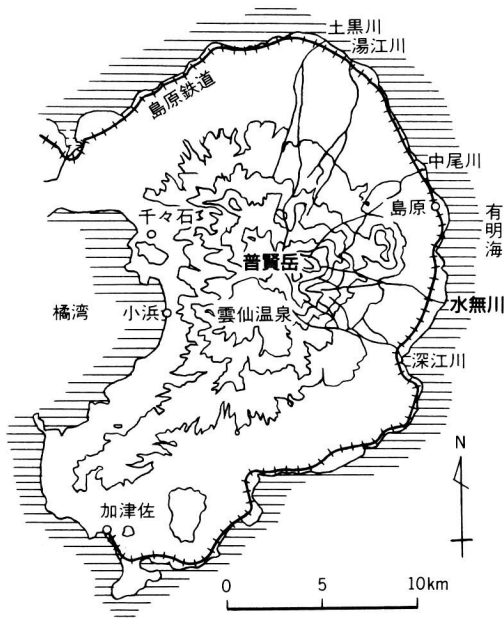


図-1 普賢岳の位置



写真-1 被災状況写真 (H5.12.8)

表-1 公募のための施工条件

技術の内容	技術水準
1. 不均一な土砂の状態でかつ、岩の粉碎を伴う掘削と運搬	直径2~3m程度の礫破碎が可能であること
2. 現地の温度、湿度条件に対応可能	外周条件として一時的には温度100℃、湿度100%でも運行可能
3. 施工機械を遠隔操作することが可能	100m以上の遠隔操作が可能なこと

* 建設省九州地方建設局 雲仙復興工事事務所

この公募に対し34社45件の応募があり、学識経験者からなる委員会が検討した結果、公募内容を満たしたものは13技術で、この内、平成5年度内に施工可能な技術は6技術であった。

3.1 無人化除石の試験施工

雲仙復興工事事務所では、前記で選定された6技術について、平成6年2月から工期を約1ヶ月とし水無川の現地で試験施工を行った。

3.1.1 試験施工に用いられた施工機械

施工機械は、6社ともにブルドーザー、バックホー、ダンプトラック、ブレイカーを基本として組み合わせ、掘削・積み込み・運搬・岩破碎作業を行うものであった。

3.1.2 使用された無線の種類

施工機械の遠隔操作には無線が用いられた。無線の種類としては画像情報を得るため指向性が強いが遠くまでとばせる簡易無線(50GHz帯・通称：パソリンク)と遠くまでとはばせないが指向性がないため機械操作のため特定小電力無線(400MHz帯)が使用され、一部に小電力データ通信(SS無線)も使用された。

3.1.3 試験施工による結果

試験施工の結果を踏まえ、委員会は公募のテーマである無人化による「不均一な土砂の状態で、かつ、岩の破碎を伴う掘削と運搬」について6社6技術ともに、実用化の域に達していると評価した。評価の内容は、次の通りであった。

- ① 温度・湿度条件について、火砕流が施工地点まで達しなかったため、その対策についての評価はできなかった。
- ② 施工効率について、有人施工に比べ、施工効率は約50%程度と評価される。
- ③ 転石破壊について、破碎は可能であるが、掘削・運搬に比べ効率が著しく低い。

④ 画面モニターについて、100m以上の遠隔操作において有効に機能した。固定カメラ・車載カメラ・移動カメラの組み合わせにより、操作人へ十分に必要情報が提供できる。

⑤ 機械運行の支援システムについて、GPSや自動追尾トータルステーションなどの活用により、測量や機械運行管理がある程度可能である。

⑥ 遠隔操作の電波について、電波の到達範囲は最長2km程度まで確認された。なお、現場内での混線や違法無線対策も必要である。

4. 無人化除石工事の実施

雲仙復興工事事務所では、試験施工の結果及び評価の内容を踏まえ、無人化除石技術が実施可能であることから、平成6年6月に次期出水対応として2技術を採用し、警戒区域を含む4工区において234千³mの無人化除石を行った。この工事において施工機械の最適組み合わせ及び監視カメラの適切な種類・台数について検討を行っている。



写真-2 無人化除石工事実施状況

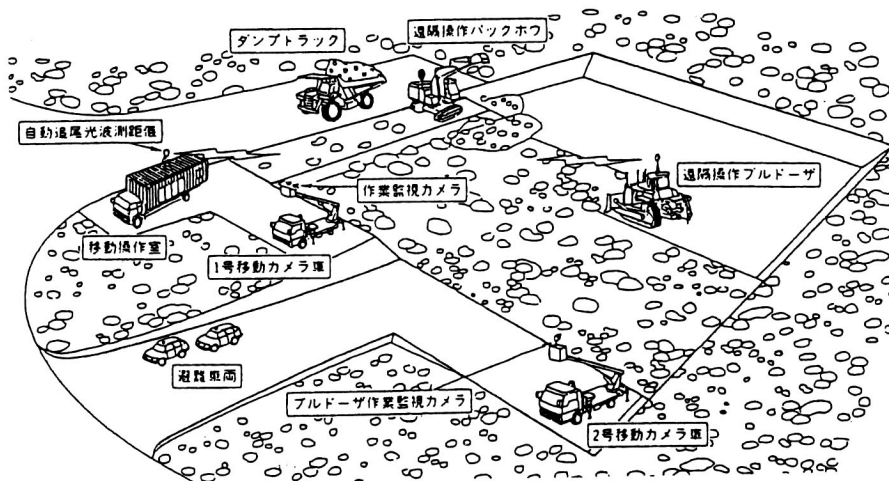


図-2 無人化除石工事イメージ図

試験施工以後、雲仙復興工事事務所では、現在までに16件の無人化除石工事を実施し、本年度も2件300千 m^3 の無人化除石工事を実施予定である。

5. 無人化除石技術の砂防ダム建設への応用

雲仙復興工事事務所では、土石流対策として警戒区域外において導流堤工事及び遊砂地工事を行い、警戒区域においては無人化除石工事により対処してきたところであるが、平成7年に雲仙普賢岳の火山活動の沈静化により、警戒区域が国道57号地点より水無川1号砂防ダム地点に変更された。このことにより、砂防ダムの着工が可能となり、従前より望まれていた抜本的な土石流対策としての砂防ダム建設に着手することとなった。

6. 水無川1号砂防ダムの無人化施工

水無川1号砂防ダムのダムサイトは、雲仙普賢岳の噴火活動は鎮静化したと言われているが、山頂には第11溶岩ドームが不安定な状態で存在し、溶岩ドームの内部温度は450℃あり、地震等により崩落した場合、火砕流になることが予想されている。もし、火砕流が発生した場合、過去の火砕流の実績から4分程度で到達し、作業員の安全が確保ができない地点である。

このダムの工法等については、「水無川砂防ダム群施工検討委員会」(委員長：塚本良則東京農工大学教授)において検討し、

- ① 土石流に対して安全であること
- ② 火砕流に対する安全確保の観点から、省人化が図れること(無人化施工技術の活用も含める)
- ③ 短期間で施工可能で、土石流に対し早期効果が発現できること
- ④ 経済性を考慮し、流域内に堆積する土石流堆積物を有効利用すること

の4項目を基本方針として構造及び施工方法を検討し、越流部のうち、周辺地形より低い河道内の200mの間については、火砕流からの作業員の安全の面から無人化施工技術を活用し、その他の部分については省人化が可能なCSG工法を採用した。

6.1 無人化・省人化施工計画とダム構造

6.1.1 無人化施工計画

無人化施工計画は、基本的には無人化除石技術を活用するものであり、遠隔操作によりブルドーザ、バックホー、ダンプトラック等の機械の組み合わせにより施工するものである。

砂防ダム等の建造物の施工に当たって、無人による型枠設置作業が技術的に困難であり、作業機械の検討も含めた検討の結果、RCC工法と土砂型枠による施工方法が決定された。また、有人施工区域にあっては、省人化と現地の火砕流堆積物の有効利用の面からCSG工法が採用された。

6.1.2 ダム構造設計

ダムの構造設計に当たっては、無人重機による施工が可能で現地に豊富に存在する火砕流堆積物を利用する土砂型枠とノンスランプコンクリート(RCC)を採用し、振動ローラーにより同時に締め固め、本体は築造することとし、堤体の設計に当たっては次のように配慮した。

- ① 土砂型枠とコンクリートの接触部については、品質の確保の面から0.5mの余裕代を取る。

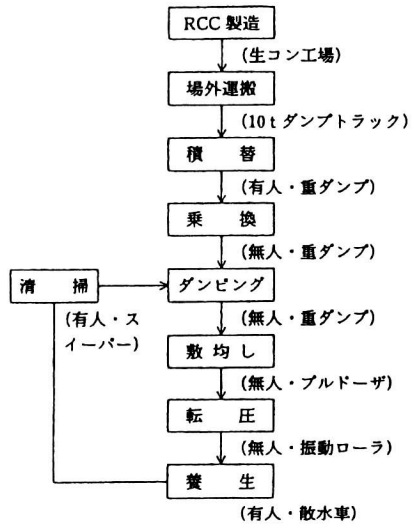


図-4 無人化施工フロー図

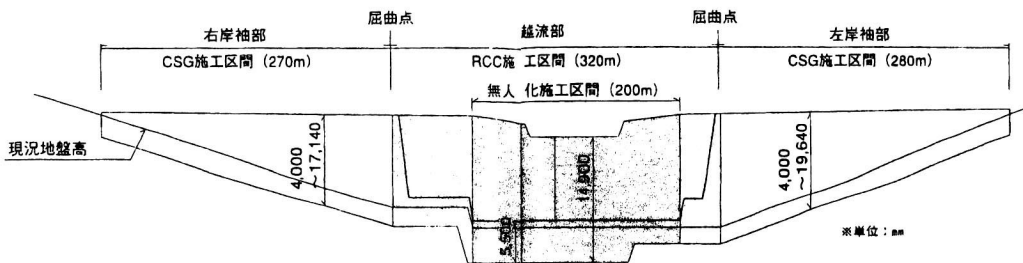


図-3 水無川1号砂防ダム施工計画図

- ② 施工目地については施工性を考慮して、高炉セメントおよび使用水量を押さえることにより、発熱を減少させ設けない。
- ③ コンクリートの強度は、無筋コンクリートのため、目標強度 $\delta 28=160 \text{ kgf/cm}^2$ とする。
- ④ 無人化施工が難しいコンクリート養生及びうち継ぎ目の清掃作業にあつては作業時間も短いため、非常時を考慮して避難用車両を常時配置することにより、やむを得ず有人施工としている。

6.2 無人化施工のための支援システムの開発

無人化除石技術の開発は、施工量が確認できれば良かったため、出来高管理で良かったが、構造物を作るためには、正確な位置と出来型確認が必要であり、無人化除石技術への支援システムの開発が必要となった。

このため、水無川1号砂防ダムの施工に当たっては、次の2つの支援システムを開発し施工した。

① GPS 精密リアルタイム測位システム

公共座標値を持った固定局のGPSアンテナと、移動局(重機)のGPSアンテナで各々衛星5個以上から位置データを得て、移動局の位置をコンピュー

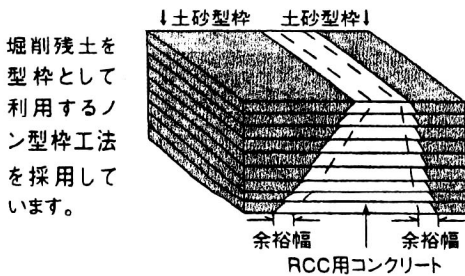


図-5 土砂型枠イメージ図

表-2 RCCコンクリート示方配合

最大寸法の粗骨材の半期V C値のGmax (mm)	空気量の範囲(%)	水比 W/C (%)	細骨材率 S a (%)	単位量 (kg/m ³)							
				水 W	セメント W	粗骨材 S			混和剤 0.30		
						80	40	20			
80	20±10	1.5±1	72.5	33	87	120	736	543	621	388	0.30

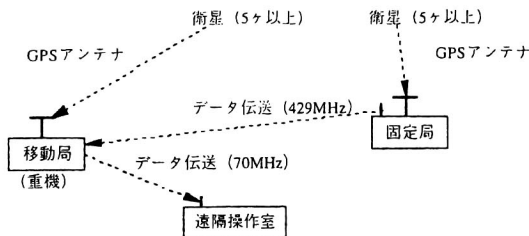


図-6 GPS 精密リアルタイム測位システム

タ処理操作室へ伝送する。操作室では、移動局の位置データを「GPS・ダム・テレコンシステム」のソフトで処理し、モニターに表示し施工管理を行う。

② 施工管理システム

「GPS・ダム・テレコンシステム」による施工管理システムは表-3の通りである。

7. 施工結果について

7.1 施工能力の比較

無人施工は有人施工の約85~90%の施工実績となった。なお、この施工実績は実稼働の比較であり、カメラ等の精密機械のメンテナンス費用は入っていない。

7.2 品質の比較

RI密度管理及び採取したコアの試験結果から、有人施工部に比べ無人施工のデータはバラツキは大きかったものの、全て規格値を満足していた。

表-3 施工管理システム

作業工程	施工管理システムの内容
基礎掘削	・掘削時に原地形をGPS搭載重機により測量し、掘削範囲、掘削量、各断面等をリアルタイムに表示
仕上げ掘削	・ディスプレイ画面にGPS搭載重機の位置、計画線、掘削現況線、残掘削厚をリアルタイムに表示
RCC敷均し	・RCC敷均しレーンの計画線の表示および、この計画線の位置を無人バックホウのアタッチメントに装着されたマーカーと、GPSにより堤体コンクリート面および埋戻し面上にマークし、リアルタイムに表示
RCC敷均し厚	・敷均し重機位置およびRCC打設レーン内の計画リフト高さに対する高低をリアルタイムに表示 ・敷均しコンクリート高さが設定された精度範囲(±5cm)になるとモニター画面に1mメッシュに区切られた範囲が設定された色となる
RCC締固め	・振動ローラ位置、RCC締固め範囲、隣接レーンとの締固め重複長さを含めたローラ中心線、1.6mメッシュに区切って転圧回数をリアルタイムに表示 ・ローラの転圧面からの転落防止として、締固めレーン範囲に近づいた場合にモニター画面上でオペレーターに警報表示

表-4 施工能力比較表

(単位: m³ h)

工種	施工条件	有人	無人	対有人比	
土木工事	土砂運搬	約180m運搬	102	88	0.86
	掘削・積込		288	247	0.86
RCC	敷均し	25cm×2層	62	56	0.90
	締固め	10回	69	61	0.88

表-6 施工精度比較表

項目	単位	有人	無人
目標管理値	mm	±50	±50
度数	点	105	72
最大値	mm	60	125
最小値	mm	-37	-64
規格値外率	%	2.7	11.4
標準偏差		30	35

表-5 品質比較表

項目	単位	規格値	有 人 部				無 人 部			
			点数	最大値	最小値	平均値	点数	最大値	最小値	平均値
R I 密度	t m ³	2.100	82	2.502	2.285	2.398	134	2.629	2.318	2.453
採取コア	圧縮強度σ ₉₁	N mm ²	22	29.8	18.2	23.8	33	28.2	16.6	20.7
	単位体積重量	t m ³	22	2.505	2.397	2.452	33	2.518	2.364	2.444
	コア評価	点	—	22	4.00	2.90	3.84	33	4.00	3.34



写真-3・4 水無川1号砂防ダム無人化施工状況



写真-5 操作室での遠隔操作状況

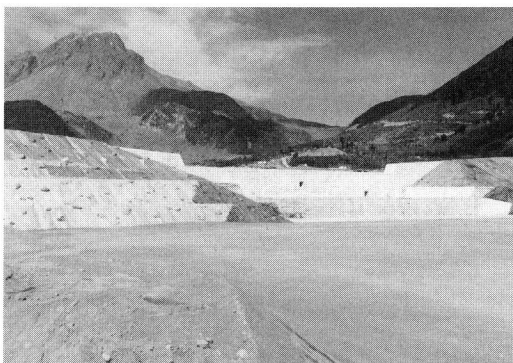


写真-6 水無川1号砂防ダム完成写真

7.3 施工精度

有人施工に比べ、若干バラツキはあるものの全て基準値を満足していた。

8. 無人化施工技術の今後の展開

雲仙復興工事事務所では、雲仙普賢岳の災害現場において開発された無人化除石技術について、平成6年より水無川上流除石工事を採用してきた。この無人化除石工事を改良して水無川1号砂防ダムを完成させ、現在、水無川2号砂防ダムの建設を行っているところである。

近年、大規模な土砂災害等の人の立ち入れない現場において、広く活用されるようになってきた。水無川1号砂防ダムの無人化施工による完成は危険個所で、早急な構造物の施工が必要な現場において活用が期待されてい

る。水無川2号砂防ダムの現場では、土砂型枠の土砂の確保が難しい現場での工事にも対応できるように、ブロックを利用した型枠による施工も試験的に実施し、技術の向上に努力しているところである。

参考文献

- 1) 建設省雲仙復興工事事務所・大成建設株式会社：無人化施工によるRCCコンクリートダムの施工-水無川1号砂防ダム越流部建設工事-1998.1
- 2) 松井宗広：雲仙・普賢岳噴火災害と新技術による取り組み-火山噴火と土砂災害-河川 No.586, pp.27-46, 1995.5
- 3) 松井宗広：無人化施工による砂防ダム建設-雲仙普賢岳噴火災害対策-土木技術 51 巻 11 号, pp.31-39, 1996.11

(原稿受理 1999年10月4日)

雲仙普賢岳における砂防工事の無人化施工

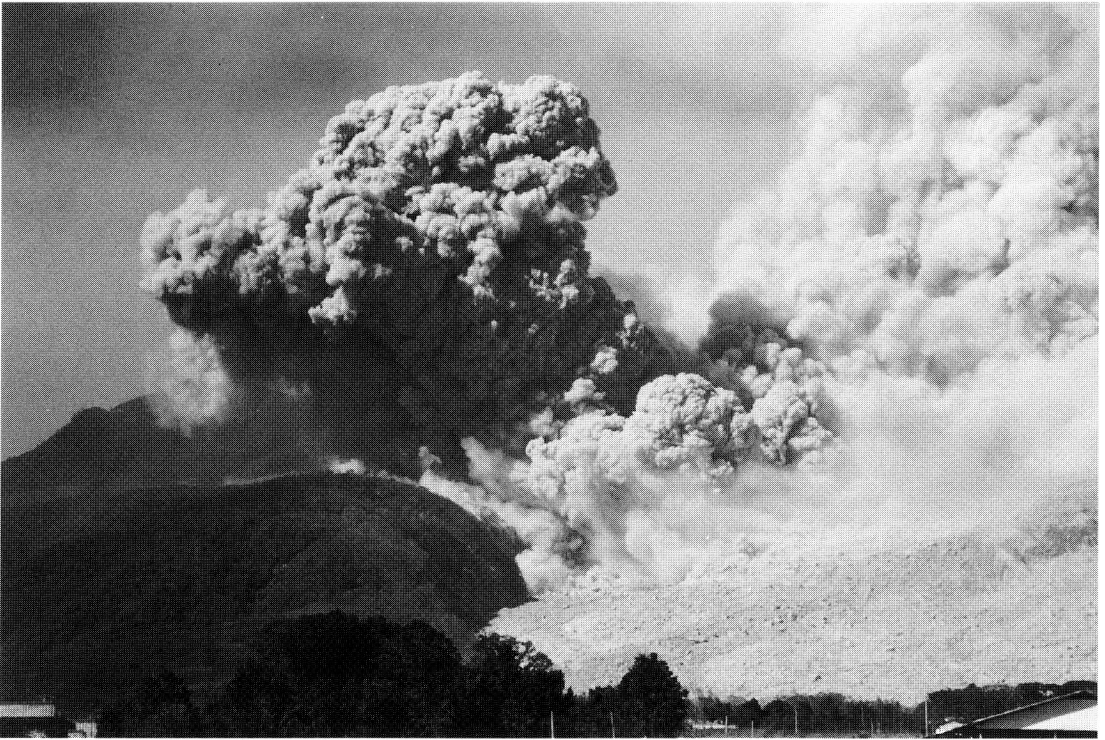
(本文 64 - 68 頁参照)



水無川 2 号ダム上流の除石工事



水無川 1 号砂防ダムの施工状況



火砕流の発生状況（水無川上流，1992. 10. 27）



土石流による水無川下流域の被災状況（1993. 8. 23）