

桜島における除石工事について

藤崎 大樹¹・山下 裕²

¹大隅河川国道事務所 桜島砂防出張所 技術係長 (〒891-1541 鹿児島県鹿児島市野尻町 203-1)

²大隅河川国道事務所 桜島砂防出張所 出張所長 (〒891-1541 鹿児島県鹿児島市野尻町 203-1)

桜島は、その活発な火山活動に伴い、例年多くの噴火や爆発を起こしている。近 10 カ年で、最も噴火回数が多い年では、昭和火口による噴火で平成 23 年に 1,355 回、南岳による噴火で平成 30 年に 479 回を記録している。噴火に伴う大量の火山灰が桜島山体に堆積することで、少量の降雨でも土石流が発生してしまうことが桜島水系の特徴である。

本稿では、土石流の発生に伴い、桜島砂防事業として整備している流路内に堆積した土石の除石工事について紹介する。

Key Words: 桜島砂防事業, 除石工事, ICT 土工, 生産性向上

1. はじめに

桜島は、鹿児島県鹿児島市に位置する面積 77km²、東西約 12km、南北約 9km、周囲 52km の火山島で、島内には全部で 19 河川があり、内 11 河川で国による砂防事業を実施している。

気象庁が定める桜島の噴火警戒レベルは平成 28 年 2 月 5 日以降レベル 3 (入山規制) の状態が継続しており、現在も活発な火山活動を続けている。

噴火に伴い山腹には火山灰が堆積し、ひとたび雨が降ると僅かな降雨でも土石流が発生する。近年の土石流の発生回数は(図-1)のとおりであり、令和 2 年は 5 月末時点で 10 回となっている。

頻発する土石流に伴い、流路内には大量の土砂が堆積するため(写真-1)、桜島では継続的な除石工事が必要となっており、全国でも数少ない砂防管理費による事業を行っている。



写真-1 野尻川における土石流発生前後の状況

2. 桜島における除石工事

桜島で砂防事業を実施している 11 河川の土石流発生回数は(図-2)のとおりである。野尻川は他河川と比較して頻繁に土石流が発生し、下流の流路には大量の土石が堆積する。また、黒神川においても同様に降雨時は土石流が頻繁に発生している現状にある。(図-2)を見ると黒神川の土石流発生回数は少ないように感じるが、これは

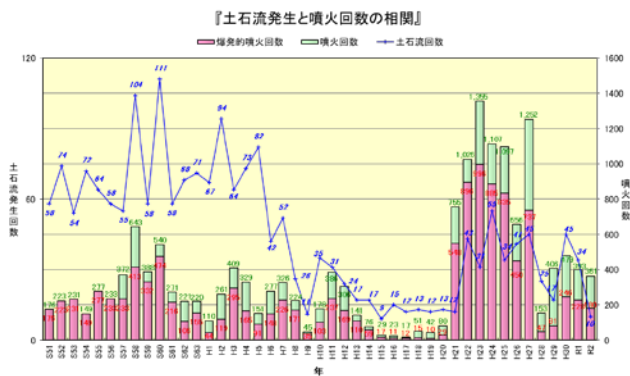


図-1 噴火と土石流の発生回数

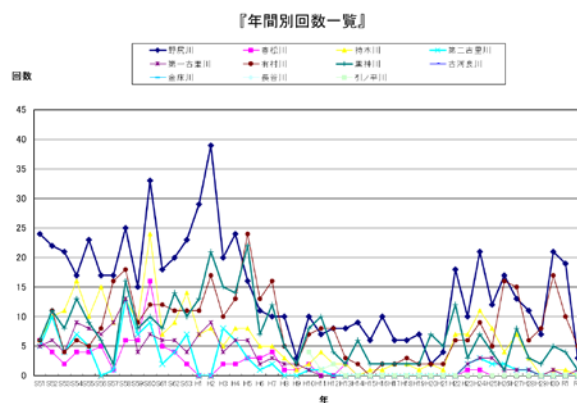


図-2 各河川における土石流の発生回数



写真-2 黒神川の全景

地獄河原という天然の遊砂地が土石流検知装置を設置している箇所よりも上流にある(写真-2)ため、地獄河原の中である程度の土石が堆積しているためである。なお、黒神川は3つの河川から成っており、第一黒神川は他の2河川と比較して土石流の発生が頻繁であり、粒径の大きい転石を含む土石流が発生する。一方、第二・第三黒神川はボラ(軽石)を多く含む土石流が発生することが特徴である。

上記のとおり、土石流が頻繁に発生する野尻川と黒神川においては、流路に大量の土石が堆積するため、下流域の民家やライフラインである生活基盤道路等を保全することを目的とし、継続的に除石工事を実施する必要がある。

3. 除石工事における ICT 土工の適用

(1) 容易な出来形・出来高管理

桜島は上記でも述べているように僅かな降雨でも土石流が発生することが特徴であり、それは除石工事施工中も同様である。土石流が発生してしまえば、除石工事施工箇所へ土石流が流入し、土砂の堆積や流水による洗掘で全く異なる地形となってしまうため、降雨が予想される前日には、その日まで施工が完了している部分の出来形および出来高を計測・把握しておく必要がある。

そこで、桜島における除石工事については、ドローンを用いた空中写真測量を実施している。従来は、トータルステーション等を用いて、横断測量を行い土量を算出していたが、ドローンを用いた空中写真測量を行うことで、短時間かつ少ない人員で測量及び土量を算出することが可能である。(表-1)

表-1 従来測量とドローン測量の比較

野尻川	従来測量		ドローン測量	
	測量に要する時間	測量に要する人員	測量に要する時間	測量に要する人員
A社	2日	3人	1日	1.5人
B社	6日	12人	4日	8人
D社	2日	6人	1日	1人
D社	5日	20人	3日	9人
黒神川	従来測量		ドローン測量	
	測量に要する時間	測量に要する人員	測量に要する時間	測量に要する人員
B社	10日	20人	6日	12人
C社	18日	38人	12日	16人

一見すると、野尻川については測量作業に要する人員が軽減された数はそのままで多くない印象を受けるが、僅かな降雨でも土石流が発生する桜島の特性から、降雨が予想される前日および降雨後についてはその都度測量を実施する必要があるため、多くの作業員数や作業時間が軽減され、生産性の向上に寄与していることが見受けられる。これらのことから、従来の測量と比較して出来形および出来高の管理が容易になった。

(2) ICT 土工の実施における出来形管理の工夫

除石する土砂は土石流により運ばれてきたもののため、大きな転石や火山灰が多く含まれている。

法面の仕上げ面に転石が混入しており、それを取り除いた場合、設計断面に対して過掘した状態となる。(写真-3)

また、火山灰は乾燥すると表面が風化し、強風や重機の振動等で法尻部分へ堆積してしまう。(写真-4)

ICT 土工では掘削後の出来形を面的に管理するため、これらの事象が異常値として検出される。そのため、出来形の確認にあたっては異常値検出箇所の確認を行い、これらの事象が確認された場合は、監督職員と協議を行い値を棄却するようにした。(図-3)



写真-3 転石の混入



写真-4 掘削後の法尻への堆積

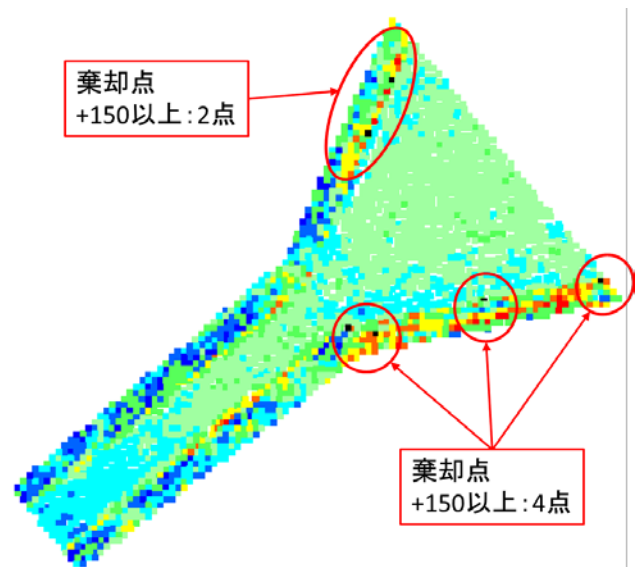


図-3 異常値検出箇所の確認

(3) 安全性の向上

除石工事中は出来形・出来高の管理を徹底するため、土石流が発生する度に測量を行う必要がある。従来測量の場合、作業員が土石流発生後の不安定となっている法肩からの転落も考えられるが、ドローン測量を行うことによりその危険性も大幅に減少し安全性が向上した。

また、従来は土石流が発生するたびに再設置が必要となっていた丁張が不要となることで施工上の手戻りも解消された。

4. 工事中における安全対策

桜島は噴火警戒レベル 3（入山規制）の状態が現在も継続しており、火口から2km以内は立入禁止区域となっているが、砂防施設や工事実施箇所は2km圏外の直下に設置されているものも多い。

第一黒神川の除石箇所は、最上流部で火口から約2.1kmの位置、野尻川の除石箇所は火口から約3.5kmの位置にあり、工事中は作業員の安全確保を目的とした噴石、土石流および火山ガスに対する安全対策を実施している。

土石流対策としては、時間雨量を用いた工事中の警戒基準ならびに中止基準を設定、土石流見張人の配置、河川の下流域で工事を行う場合は、ワイヤーセンサーの切断による土石流発生のメール配信を実施している。

噴石対策としては、工事施工箇所に仮設の避難壕を設置、山体や噴火の状態を確認する噴石監視員の配置(写真-5)、避難時に使用する防護板やバックプロテクター等を現場内に常備するといったものを実施している。

火山ガス対策としては、ガス検知器やガスマスクを現場に常備し、火山ガス濃度による工事中の警戒基準ならびに中止基準を設定、噴石監視員が作業開始前や作業中にガス検知器を用いてガス濃度の観測を行う。

また、工事期間中においては工事施工者独自による定期的な避難訓練の実施や、各施工者で実施している安全対策の共有を図ることを目的とした工事安全施工管理技術研究発表会(写真-6)を実施し、安全意識の向上にも努めている。



写真-5 噴石監視員による山体監視状況



写真-6 工事安全施工管理技術研究発表会の実施状況

5. 無人化施工の試行

活発な火山活動が続く桜島では、現在、噴火警戒レベル 3（入山規制）の状態が続いている。今後、噴火の激化や大規模噴火の可能性が確認された場合、噴火警戒レベルの引き上げが予想される。もし、噴火警戒レベルが引き上げられた場合、現在火口から2km以内は立入禁止区域となっているが、更なる立入禁止区域の拡大も考えられる。

そこで、噴火警戒レベルが引き上げられた場合を想定し、立入禁止区域となってしまう箇所での無人化施工の有用性を確認するため、九州地方整備局で保持している無人化施工機械のロボQを用いた試験施工を実施した。

(1) 試験概要

第一黒神川の除石工事施工箇所にて、無人化施工を実施した。施工内容は、ロボQを搭載した0.8m³バックホウにカメラを前後左右の4方向に装着し、施工箇所より標高が高く安全である導流堤上にて目視とカメラ映像を駆使して行った。(写真-7)

試験の中で確認する項目は、①一定期間の連続使用に対するロボQの耐久性、②日あたり施工量・出来形精度・遠隔操作可能距離、③突発土石流に対する安全性確認の3項目とした。

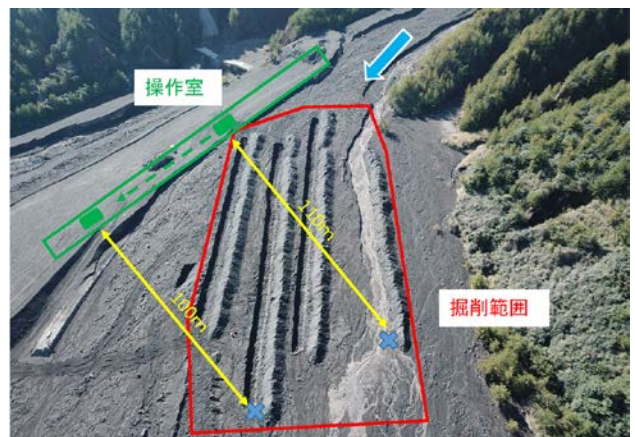


写真-7 試験施工実施状況

(2) 試験結果

16日間で試験を行い、①～③の項目については下記の結果が得られた。

①については、16日間の試験期間内でロボQの故障による作業中断が3回あった。故障の内容としては、施工時の振動によるコンプレッサーボルトの緩み、コンプレッサーの故障、エアフィルターの目詰まりであった。

②については、施工能力はロボQ操作経験者で390～400m³/日、未経験者で250m³/日であり、16日間の単純平均値は350m³/日であった。出来形精度については、掘削幅3m、掘削高2mの掘削計画に対し、掘削幅は4～5m、掘削高は2～2.5mであった。遠隔操作可能距離については、100m～110mで操作不能になることが確認されたため、100m以上での操作は困難である結論に至った。

③については、施工箇所からの退避時間は10分要することが確認でき、当該試験施工箇所では約50秒で土石流が到達する見込みであるため、ロボQの使用は、土石流発生のおそれがない晴天時あるいは退避時間の確保が出来る下流域での工事に限定されると考える。

(3) 今後のロボQ活用に向けて

短期間で3回ほど故障による作業中断があったことから、点検マニュアルや交換部品のストックが必要である。また、操作経験の有無による施工能力の変動が大きいこと(約1.6倍)、施工精度が低いことから、定期的な操作訓練や明確な出来形を求める施工ではなく、概略的な

施工に留める必要がある。加えて、カメラ画像による操作(写真-8)は、操作者の負担(眼精疲労)が大きいため、目視による操作を基本とし、カメラ画像は施工箇所細部確認の使用に留める必要がある。そして、第一黒神川上流端部は、操作位置と流路内の比高が、1～2mしかなく(写真-9)、かつ土石流発生時に十分な退避時間を確保出来ないため、ロボQの使用は晴天時あるいは下流域での工事で使用していく必要がある。

6. まとめ

火山活動が活発な桜島では日々、土石流、噴石および火山ガス等に対する安全対策を行いながら工事を実施している。また、建設業界全体の問題でもある建設現場における労働者の高齢化や若手技術者の不足も日々感じる場所であり、今後更なる生産性の向上が求められると感じている。

その1つの手段として、ICT土工の活用は出来形管理を頻繁に行う必要のある除石工事ではとても有効であり、施工中の安全性も向上した。

また、今後の桜島における噴火活動が激化した時に備えて、無人化施工の更なる検討を行っていく必要がある。

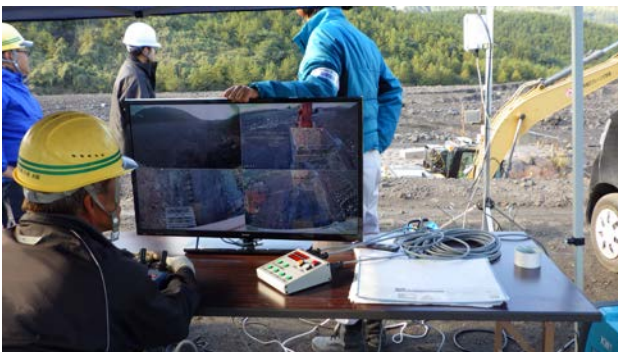


写真-8 カメラ映像を用いた施工実施状況



写真-9 操作位置と流路内の比高