

浅間山噴火時における遠隔操作での調査・観測と無人化施工を可能にする通信環境の整備検討

国土交通省 関東地方整備局 利根川水系砂防事務所 儘田勉、松尾剛人、西真佐人
アジア航測株式会社 ○岸本博志、佐野寿聰、荒井健一

1. はじめに

利根川水系砂防事務所では、浅間山噴火時における緊急的な調査や対策について定めた「浅間山火山噴火緊急減災対策砂防計画」の実効性が高まるよう、平常時から実施しておくべき準備事項について検討を進めている。また、噴火後の地形変化や山腹・溪流の荒廃状況を把握するなどの緊急調査を安全かつ適時に実施するための技術の開発・向上についても併せて検討している。

2011 年 1 月からの霧島山新燃岳噴火や 3 月の東日本大震災では、緊急時に立入禁止区域内における調査や対策を安全かつ迅速に実施することの必要性があらためて確認された。さらに、2011 年 5 月に施行された土砂災害防止法の改正により、火山噴火に起因する土石流について国が緊急調査を行うこととなった。また、調査・観測のみならず、緊急的ハード対策を安全に実施する無人化施工の実効性向上についても、併せて通信手段の確保や技術開発を進める必要がある。

そこで当事務所は、研究会を設置して専門家の意見を取り入れながら、浅間山噴火時の「立入り禁止区域内における調査・観測」と「無人化施工による緊急的な対策」を可能にする通信手法と通信設備整備計画を検討した。本報告では、新燃岳噴火時対応を踏まえた立入り禁止区域内で必要な調査・観測方法、噴火時に必要な通信要件と最新の無線通信技術の整理、遠隔操作による調査・観測と無人化施工のための通信手法検討結果について紹介する。

2. 浅間山の噴火警戒レベルと立入り規制

浅間山は群馬県と長野県に跨る標高 2,568m の火山であり、最近では 2004 年、2009 年に噴火している。浅間山には噴火警戒レベルが導入されており、レベル 2 では火口周辺 2 km、レベル 3 では火口周辺 4 km が立入り禁止となる(図 1)。浅間山火山噴火緊急減災対策砂防計画では、融雪型火山泥流と降灰後の土石流を対象として緊急ハード対策が検討されているが、特に浅間山の北側では火口と保全対象との距離が短く、火口から 4 km 付近での対策が計画されているため、火山活動が活発化すれば無人化施工が必要となる場面が想定される。

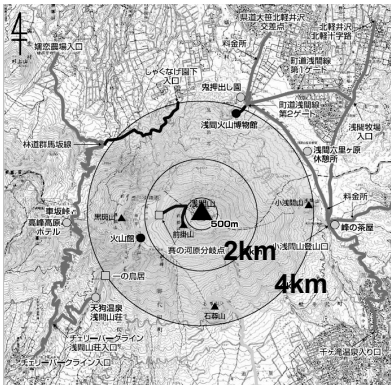


図 1 噴火警戒レベルに対応した規制範囲 (「浅間山の噴火警戒レベル」気象庁)

3. 立入り禁止区域内で必要な調査・観測

3.1. 霧島山新燃岳 2011 年噴火対応時の教訓

2011 年 1 月に発生した霧島山新燃岳噴火では、国土交通省のほか各関係機関によって緊急的な調査が実施され、おもに以下の教訓が得られた。

- ・立入り規制により源頭部の降灰状況が迅速に把握できず定量的なデータを得られなかった。また、土石流発生の危険性を判断するためには降灰厚だけでなく、物性、粒径等を把握することの重要性が認識された。
- ・火口近傍では噴火の影響により既設観測機器の故障や障害が発生したため、立入り禁止区域内に機器を追加設置する必要があった。

3.2. 遠隔操作による調査・観測で把握したい内容

立入り禁止区域内での調査を安全かつ迅速に実施し、遠方からでは確認できない火口周辺や源頭部の詳細情報を取得するためには、無人調査機器を遠隔操作して調査・観測する必要がある。災害時における無人調査技術として、地上を走行する火山探査ロボット(例えば永谷ら、2010)や無人化施工機械、無人航空機(UAV)が挙げられる。これらは新燃岳や原発災害対応などでの実績を有する。このような無人調査機器で調査することを想定して必要な調査・観測項目を整理し、調査機器の機能を「映像を取得する」「灰を採取する等の作業をする」「監視・観測機器を設置する」の 3 つに分類して(表 1)、仕様を検討した。

表 1 浅間山噴火時の無人調査機器による機能別の調査内容

把握したい内容	撮影	作業	設置
火口周辺の状況	カメラを搭載 (画像・映像)	×	監視カメラを設置 (基本は平常時設置)
降灰深	平常時に標識を設置し、降灰深を読み取る(画像・映像)	×	標識を設置 自動降灰量計を設置
火山灰の粒径物性	×	削って降灰深と断面を映像で送る 火山灰を採取する	×
積雪深	平常時に標識を設置し、積雪深を読み取る(画像・映像)	×	標識を設置 積雪深計を設置 (基本は平常時設置)
積雪密度	×	雪を採取する	×
土砂移動検知	映像で一定期間の監視(映像)	×	振動センサを設置
雨量	×	×	雨量計を設置(自動降灰量計)
評価・難易度	映像は情報量が多い。 カメラを搭載し、目標地点まで到達できれば達成できる。 難易度 低	土石流発生の検討において、火山灰採取は重要度が高い。 建機で掘削・採取することで達成可能。 難易度 中	無人機器が計測機器を搭載して観測点で待機することもある。 計器を設置して帰還するには高度な作業と電源の確保が必要。 難易度 高

4. 遠隔操作による調査・観測と無人化施工のための通信手法検討

4.1. 噴火時に必要な通信要件

浅間山周辺では草津白根山と一体とした情報通信網の整備が進められており、光ケーブル回線の基本幹線は整備完了している。これまでの検討では緊急時の調査、ソフト対策の観点からのみ通信設備の必要性が整理されているが、実際には緊急ハード対策においても無人化施工等の通信設備を必要とする場面が想定される。このため、改めて浅間山周辺における通信設備の整備方針を検討する際の必要要件を整理した（表2）。

浅間山において火口周辺4kmの範囲が立入り禁止になった場面を想定し、必要なデータ伝送内容を検討した（表3）。遠隔操作による調査・観測・施工をするためには映像データを伝送できる通信であることが条件となる。

4.2. 最新の無線通信技術をふまえた通信手法検討

無人化施工では機械制御用として特定小電力無線、映像用として簡易無線が多く用いられているが、1対1の通信であるためチャンネル数に限りがあり、稼働できる建機の数に制限される。一方、近年の無線技術の進展により2.4GHz帯や5GHz帯の無線LANの活用も進められている。5GHz帯の無線LANはアクセスポイントを複数箇所に設置しておくことで面的に網状通信が可能である。さらに、光ファイバー網を利用した長距離（数km）通信も実証実験が行われている。

これらの通信技術の最新動向と調査/施工の実施箇所の地形条件、必要な通信距離や伝送容量をふまえ、現時点で実用可能な浅間山の立入禁止区域における通信体制として、①施工には制御用5GHz帯の無線LANと映像用50GHz帯（図2）、②調査には制御用424MHz帯と映像用2.45GHz帯（業務用無線局）を選定した（図3）。

永谷ら（2010）は浅間山での無人ロボットの遠隔操作試験を行っているが、調査では数km離れた地点から遠隔操作するため、高出力の無線通信の免許申請が必要となる。また、業務用無線局（424MHz帯、2.45GHz帯）は特殊な免許であるため認可が下りにくい。これらを踏まえ、無人調査では既設の作業道等に光ケーブルと無線LANアクセスポイントを事前に整備する方法も立案した。

地上テレビ放送の終了に伴い活用が検討されている公共ブロードバンド（170MHz帯）は、現状では実用化されていないが、バックアップ用の通信手段としての利用価値が高く今後の利用が強く望まれる（表4）。

5. おわりに

今後、より具体的な緊急減災対策の施工計画等をもとに現地での電波伝搬試験を実施し、通信手法の妥当性や中継局の設置箇所を確認しておく必要がある。また、噴火時の調査や通信設備整備にあたっては、環境省への許可申請や土地使用の調整が必要なため、これらについても引き続き検討・準備を進める予定である。

表2 通信手法を検討するうえで考慮すべき条件

項目	必要な条件
具体的用途はなにか？	●立入りできない火口～源頭部の無人調査（火口や既設の観測点等へ移動して、①撮影、②火山灰採取などの作業、③機器の設置） ●無人化施工（機械の制御、カメラ映像）
必要な伝送距離はどの程度か？	●立入り規制範囲（火口から半径4km） ●規制範囲の拡大も考慮し、4km以上離れた基地からも操作できるほうがよい ●事前のアクセスポイント設置が不要であるほうが望ましい
動画像伝送はどのような使い方で、どのような品質が必要か？	●①撮影：通常の映像②作業：簡単な作業ができるレベル、③設置：無人化施工と同等のレベル ●無人化施工はリアルタイム伝送が必要 ●移動にかかる伝送容量は別途必要（調査・施工）
無線局の免許、無線従事者の配置は可能か？利用の実現性は？	●無人化施工であれば建設業者に有資格者 ●免許・従事者が不要であることが望ましい ●免許・従事者の事前対応

表3 無人調査と無人化施工に必要な伝送データ

項目	目的	場所 (火口からの距離)	伝送するデータの内容
無人調査	撮影、作業	火口や降灰状況の把握	・機器の制御データ ・遠隔操作に必要な映像データ ・地上の状況がわかる
	積雪深計	融雪型火山泥流被害想定のための積雪量把握	積雪深データ
	雨量計	降灰後の土石流被害想定のための降雨量把握	雨量データ
	降灰量計	降灰後の土石流被害想定のための降灰量把握	降灰量データ
	土砂移動検知機器	作業員の安全確保 避難支援情報の提供	震動/ ワイヤー切断
無人化施工 (緊急ハード対策)	監視カメラ (渓流監視)	作業員の安全確保 避難支援情報の提供	映像（動画・画像）
	埋土工（ブロック・盛土） 掘削工 導流土工（ブロック・大型土のう）	融雪型火山泥流・降灰後の土石流による被害軽減	・建機の制御データ ・遠隔操作に必要な映像データ
	移動	上記の調査・施工	機械の移動に必要な制御データと映像データ

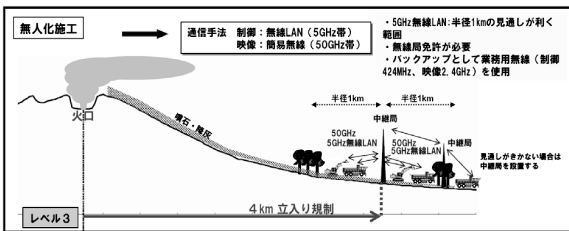


図2 無人化施工時の通信手法（イメージ）

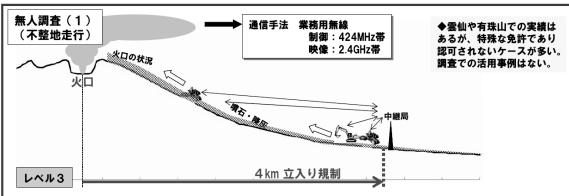


図3 無人調査時の通信手法（イメージ）

表4 場面ごとに選定した通信手法

通信が必要な場面	現状通信技術での通信手法	今後活用が期待される通信手法
無人化施工	制御：5GHz無線LAN (429MHz、2.4GHz無線LAN) 映像：50GHz簡易無線	バックアップとして 公共BB（見通し外伝送）
無人調査 (不登地走行)	業務用無線局 制御：424MHz 映像：2.45GHz	制御・映像：公共BB
無人調査 (作業道/登山道を走行)	制御・映像：5GHz無線LAN (光ケーブル敷設が前提)	公共BB（見通し外伝送）
基地局～中継局	手法①大容量デジタル通信（50GHz、25GHz、5GHz等） 手法②光ケーブルを施工/調査箇所まで敷設	

【引用文献】 永谷圭司、木下宏晃、西村健志、小柳栄次、油田信一、久武経夫、森山裕二「小型クローラ移動ロボットの遠隔操作による火山活動区域の観察 - 浅間山での走行試験 -」第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集、pp.555-558 (2010)