

斜面崩壊による災害観測を可能とする IoT 観測機器の開発

宮本博永・保坂秀彦・布施嘉裕・中込広幸・本多亮*¹・吉本充宏*¹・
藏重龍樹*²・清水悠樹*²・新海一利*²・田中義朗*³・太田敬一*³・小林正和*⁴

Development of Observation Equipment that can be used to Observe Disasters caused by Slope Failure

Hironaga MIYAMOTO, Hidehiko HOSAKA, Yoshihiro FUSE, Hiroyuki NAKAGOMI,
Ryo HONDA*¹, Mitsuhiro YOSHIMOTO*¹, Ryuju KURASHIGE*², Yuki SHIMIZU*², Kazutoshi SHINKAI*²,
Yoshiro TANAKA*³, Keiichi OTA*³ and Masakazu KOBAYASHI*⁴

要 約

豊富な森林環境と密接に関わりを持つ本県においては、雪崩や土砂災害等の斜面崩壊による災害に備えることが重要な課題となっている。しかし、危険を伴い、被災することが予想されるこのような観測分野においては、周囲情報を効果的・効率的に収集できる観測装置はまだ開発されていない。本研究では、被災後も損壊せず回収と再利用が可能で、遠隔地から映像等様々なデータの取得が期待できる IoT 観測装置の開発に取り組むこととしている。研究 1 年目では、初期試作となる IoT 観測装置を開発し、その性能について簡易な評価試験を実施した。

1. 緒 言

豊富な森林環境と密接に関わりを持つ本県においては、斜面崩壊による災害に備えることが重要な課題となっている。現在、国内ではこのような自然災害を未然に防ぐための取り組みや研究が盛んに行われている。最近では、センサの多様化、電子デバイスの小型化・省電力化、エネルギー密度の高い二次電池の普及、通信技術の発展等により IoT 技術の各分野への適用が急速に進んでおり、災害対策分野での活用も大いに期待されている。

例えば、慣性計測として利用される IMU においては、通信端末への適用を中心に MEMS 技術の進展が目覚ましく、最近では小型化・省電力化が比較的容易に実現できるようになったため、加速度や傾きを計測対象とする観測装置が多く現れている。最新の研究では、このような装置と無線通信を組み合わせ、特定エリアの斜面崩壊の予兆を包括的かつリアルタイムに監視するシステムについての報告¹⁾がなされている。その他、新たな通信技術の適用例も見られ、その中には、火山防災に関する研究にドローンとセンサネットワークによる連携システムを

利用した報告²⁾もある。また、国による産業政策の後押しを受け、第四次産業革命の実現に向けた IoT ツールの開発が市場において活発になり、スマート農業や生活基盤分野等、様々な分野に応用可能な製品が増えつつある。

このように、災害対策分野における観測にも新たな技術的アプローチが波及しつつあるが、IoT 技術活用によるブレークスルーが生み出す新たな観測方法（今後はビッグデータ・AI への展開が期待されている。）の実現までの、ごく一部の課題に対する取り組みが始まった段階に過ぎない。例えば、雪崩や土砂災害の観測等、装置自体の被災が考えられる状況下での使用においては、災害発生後の装置の回収については考慮されていないため、損壊し山林に廃棄されてしまうことが大きな課題となっている。また、危険な斜面において簡易に設置でき、しかも設置後には遠隔地から画像等の様々な情報をリアルタイムで収集可能な機能を備えた観測装置の開発も求められている。

本研究では、昨年度までの総研研究「雪崩発生原因の解明と観測装置の開発」³⁾で得られた技術シーズ⁴⁾、投下回収型雪崩検知装置(図1)をもとに、被災しても損壊せずに繰り返しの利用ができ、映像等様々なデータの取得が期待できる IoT 観測装置の開発を目的としている。

*1 山梨県富士山科学研究所

*2 株式会社 COSMOWAY

*3 日本工営株式会社

*4 テクノナレッジ・システム有限会社

本報告では、目標とするIoT観測装置の研究1年目における開発状況について概要を述べる。



図1 投下回収型雪崩観測装置の外観

2. IoT観測装置の概要

2-1 観測対象

主に、雪崩災害及び土砂災害の観測を対象としている。雪崩災害の観測においては、降雪後の周囲環境の変化の把握を目的とし、土砂災害の観測においては、一度崩落が発生した被災現場の二次災害発生について観測することを目的としている。

現在、雪崩観測においては、雪崩発生の危険性が高い場所の発見後に、その周辺に設置するような観測装置及び観測方法はまだ見られない。雪崩の発生とともに観測装置も巻き込まれ損壊してしまうためである。一方、土砂災害では、崩落現場の二次災害発生を監視するため、ワイヤセンサ等の観測システムがその周辺に設置される。このような観測では、装置は二次災害発生後には損壊してしまい回収できないことを前提としているうえ、警戒区域における数日間にわたる危険な設置作業を余儀なくされる。

このような課題に適用していくため、災害発生の可能性が高い場所を発見後、その周辺に回収可能なIoT観測装置を短時間で設置することにより観測を行う。観測期間は、長期観測を目的としたものではなく、1~3ヶ月程度の短期観測が目標である。本IoT観測装置により取得するデータは表1の項目を予定している。

表1 IoT観測装置が取得するデータ一覧

データの種類	利用目的等
加速度	装置設置場所周辺の振動検出
傾き	姿勢から設置位置の変化を検出
位置情報	装置の被災・滑落等の状況確認
画像	周辺状況の変化の把握

2-2 IoT観測装置のハードウェア構成

IoT観測装置の構成は、投下回収型雪崩観測装置（図1）の構造を基礎としたものになっており、空気注入式の保護体により電子機器部が保護される状態となっている。これは、斜面崩壊により装置自体が被災したとき、衝撃に耐え、且つ埋没することなく斜面を漂流し、後に位置情報を発信させることによって、容易に回収できることを目的に設計したものである。なお、図2は、斜面崩壊時（雪崩発生時）の装置の動きを示したものである。

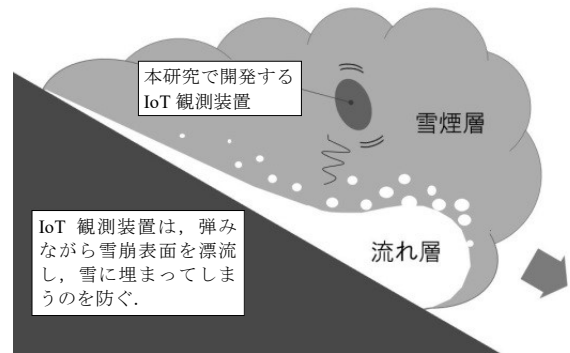


図2 斜面崩壊時（雪崩）の装置状況

現在、開発中の装置の外観及び概要は図3のとおりである。また、表2に主な構成要素をまとめた。

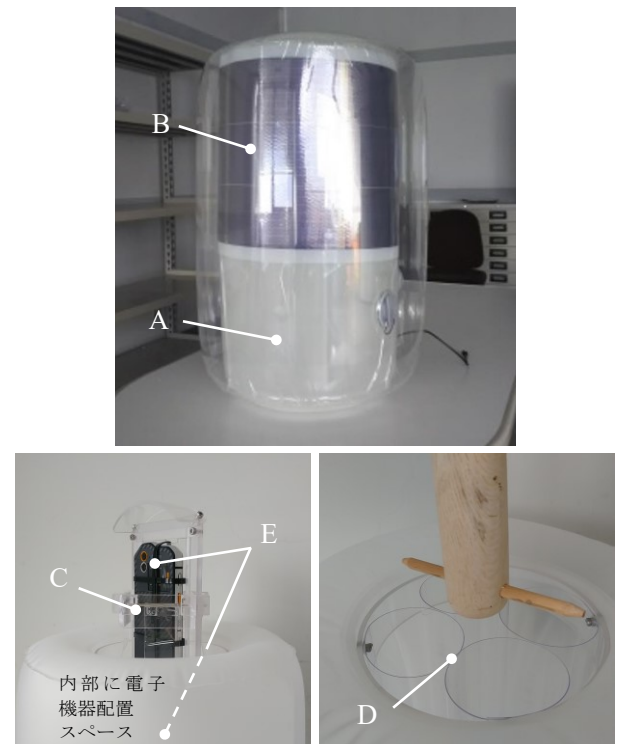


図3 開発中のIoT観測装置

表2 IoT観測装置の主な構成要素等

構成要素	目的・効果	概要
空気注入式保護体 (図3A)	耐衝撃、被災時に浮遊して埋没を回避。	ウレタンフィルム製。
フレキシブル太陽光モジュール (図3B)	長期計測のための電力供給、耐衝撃性。	透明のウレタンフィルム層によって保護。
外設センサ格納機構 (図3C)	カメラ等のセンサの外設、耐衝撃性、排熱経路の確保。	弾性バネのスプリングアクション、ポリカーボネート製。
弾性型ベンチレーションホール (図3D)	排熱経路の確保、災害時離脱式杭の装着機構。	ポリカーボネート製、杭は木製。
IoT観測システム (図3E)	遠隔監視	画像、加速度、傾きデータ等を取得。

外設センサ格納機構 (図3上のC) の詳細を図4に示す。IoT観測装置には、画像により周辺環境の変化を把握するためのカメラを搭載する。そのカメラは、空気注入式保護体の外部に取り付ける必要があるが、斜面崩壊時に損壊しないように設置方法を考慮しなければならない。本機構は、外部から衝撃が加えられたときに、板バネのスプリングアクションによる反転作用を利用して、センサ部を装置内部に格納させる機構となっている。これにより、斜面崩壊に装置自体が巻き込まれた場合に、センサ部を保護することが可能である。なお、ポリカーボネートで作製した本格納機構は、想定される広い温度範囲 (-30℃~60℃) で安定して作動することを確認している (当センター保有の恒温恒湿室による環境試験を実施)。

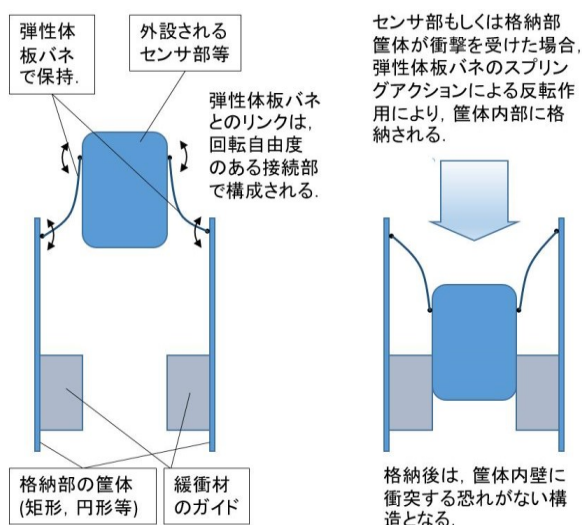


図4 外設センサ格納機構の詳細

弾性型ベンチレーションホール (図3のD) は、装置の下端部分であり、確保される空気の通り道は、外設センサ格納機構の内壁に接続され、装置上端まで通じてい

る。ベンチレーションの役割の他、中心部は設置に用いる杭のアタッチメントとなっている。被災時に装置自体の埋没を防ぐために、杭は装置から離脱するように設計されているが、離脱後の回収が困難なため、環境に配慮した木製のものを利用している。図5は杭による設置例である。



図5 IoT観測装置 (雪崩観測) の設置例

2-3 IoT観測システム

本IoT観測装置には様々な無線通信方法を採用することができる。例えば、Wi-Fi基地局を観測装置の近くに設置できる場合は、Wi-Fi通信により安価に観測機器の運用が可能である。また、映像等の大容量の情報を扱わない場合は、センサネットワークの活用も有効である。その他、広域エリアにおけるメッシュ観測に活用したい場合は、LPWAの利用も期待できる。

なお、本研究においては、スマートフォンを装置の無線通信部及びセンサ部として使用し、携帯電話基地局を介した商用の携帯電話回線を無線通信として採用することとしている。これは、比較的安価に耐衝撃・耐環境性を備えた端末を入手できるためと、基地局の設置を必要とせず、また、災害の観測が求められるような民家隣接の自然災害警戒区域においても携帯電話回線の利用が広く可能なためである。

IoT観測システムには、クラウドを利用している。クラウドサービスの利用により、企業内における業務のIT化が効率的に図れることから、急速な進展を遂げている。主な利点としては、システム利用のためのインフラやソフトウェア資産を所有する必要がなく、コストの削減や管理運営に係る労力の軽減が図れることである。必要な時に必要な機能を追加していく拡張性にも優れている。本研究のように研究に係る観測目的で利用する例はまだ少ないが、インターネットに接続できる環境であれば、そこからデータにアクセスできるだけでなく、システムの変更・拡張等の作業が可能であることから、観測と開発を同時並行で実施していくうえで大きな強みとなっている。クラウドは大きくパブリッククラウドとプラ

イベートクラウドの2つに分類される。前者は、クラウドサービス業者が提供する仮想システム環境をユーザが必要なサービス分だけを契約して利用するものである。後者は、企業等がクラウド技術を利用して主に組織内のユーザを対象として構築するクラウド環境のことである。高コストになり易いが、高度な情報セキュリティが必要となる場合に利用が多い。なお、本研究では大手業者が提供する前者のパブリッククラウドサービスを利用することとしている。

3. IoT 観測装置の開発状況等

3-1 開発状況

前節で述べた IoT 観測装置の試作は、表 2 の全ての構成要素について初期の試作を終えたところである（図 6）。現在、各種評価試験や連続計測に必要な開発・改良を進めているところである。その状況について簡単に紹介する。



図 6 IoT 観測装置の初期試作の外観

3-2 排熱構造評価のための温度計測試験

屋外での連続計測試験で求められる耐環境性については、高温動作、低温動作、防水・防塵性などが求められるが、最も重要な課題の一つである周囲温度の上昇に電子機器部が適応するための排熱構造について評価を行う必要がある。本 IoT 観測装置はその中心部に電子機器を搭載するスペースを確保しているが、その空間の温度の把握を目的に、表 3 の条件による評価試験を実施した。

計測試験の結果、ベンチレーションホール内部を通過する空気の温度は、上端から 100 mm、下端から 100 mm の位置でそれぞれ、34.5℃及び 27.2℃であった。外気温 20.5℃の空気がベンチレーションホールを通過する際に 15℃近く温められたことになる。サーマルカメラによる装置表面のおおまかな温度分布は図 7 のとおりであった。装置の表面は 30℃前後であったが、ベンチレーションホール内部は 40℃近くまで上昇していた。また、装置に外設している情報端末の表面温度は、自己発熱と太陽光照射による温度上昇により、28.3℃まで上昇していた。

なお、投下回収型雪崩観測装置と同じ構造にフレキシブル太陽光モジュールを取り付けたもの（図 5）は、周囲温度 13℃の状況下における僅か 30 分程度の連続使用のみで、内部温度が 60℃近くまで上昇してしまった。ベンチレーションホールが温度上昇を効果的に抑制していることがわかった。

表 3 温度評価試験の条件等

試験場所	産業技術センター2F 屋上
天 候	晴れ
気 温	20.5℃
IoT 観測装置	大きさ：φ430 × L630 mm 重 量：1.8 kg その他：22W 型全面フレキシブル太陽光モジュール搭載（発電状態）． センサ外設・連続観測モード（電源 ON）．
温度計測詳細	[計測対象] 装置内部を通過する空気の温度 [計測方法] 熱電対による計測 高応答性 K 熱電対を使用 （先端厚さ t=0.04 mm, 線径 0.1 mm） 計測位置は次の 2 カ所． (a) 上端から 100 mm (b) 下端から 100 mm
温度分布の確認	赤外線サーマルカメラによる

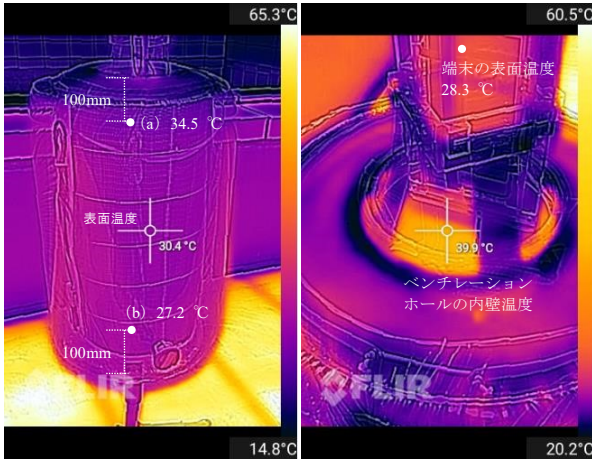


図7 サーマルカメラによるIoT観測装置の温度分布

3-3 落下衝撃による評価試験

本装置の耐衝撃性を評価するために表4の条件による落下衝撃試験を実施した(図8)。

その結果、いずれの場合においても、装置は損壊することなく観測及び通信を継続していることを確認した。また、試験後の装置が引き続き観測に再利用できることを確認した。

落下時及び地面衝突時の3軸加速度及び傾きデータを図9に示す。なお、地面への衝突時刻を0秒として表示している。

表4 落下衝撃試験の条件

項目	条件
落下高さ	約21m(産業技術センター6F)
落下場所	草と砂利が混ざる地表面 (産業技術センター中庭)
IoT観測装置	大きさ: $\phi 430 \times L630$ mm 重量: 1.4 kg その他: 14W型全面フレキシブル太陽光モジュール搭載. 連続計測モード(電源ON)。
試験回数	外設センサ格納機構の状態別に次の回数を実施。 ・センサ外設状態: 2回 ・センサ格納状態: 2回

また、本試験は山梨県産業技術センター敷地内で実施したが、東京から同時観測を行う共同研究者においても観測装置の落下をリアルタイムで把握することに成功した。



図8 落下衝撃試験の様子

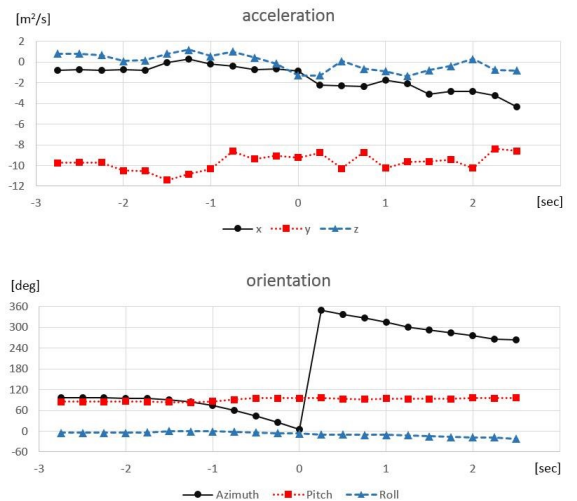


図9 落下衝撃試験時に取得した3軸加速度及び傾きの測定データ

4. 結言

IoT観測装置の初期試作を行った。次年度は、本IoT観測装置の評価試験を行い、課題の把握に努めるとともに研究開発を進めていく。次年度中の土砂災害及び雪崩観測のフィールド試験の実施を目標に取り組み予定である。

簡易な評価ではあるが、耐環境性や耐衝撃性等について、本装置の有用性を確認することができた。しかし、実際の観測に利用するためには、様々な評価試験や信頼性の向上及び継続した開発が必要である。特に、次年度においてはIoTシステムの開発が重要となる。周辺状況を把握するため加速度や位置情報、画像等のデータを短いインターバルで取得することが望ましい。一方で、本研究による装置及びシステムで取り扱うことができるデータ量には限界がある。通信速度やクラウドのストレージ・処理能力、装置自体の消費電力・発電量等が複雑に関係することから、最適なシステム設計を今後の開発及び評価試験により慎重に検討していく必要がある。

なお、初期試作はあくまで開発段階のものである。大きさや構造等が大幅に変更となることも留意されたい。

参考文献

- 1) 田中義朗, 酒井直樹, 木村誇, 九鬼和弘: 熊本地震後の土砂災害監視システム構築と WEB-GIS での情報共有, 地盤工学会誌, Vol.66, No.9, pp.12-15 (2018)
- 2) 吉本充宏, 橋本武志, 渡辺康二: 無人ヘリを活用した火山泥流感知システムの開発, 一般財団法人北海道河川財団研究所紀要, XXV, 115-123 (2014)
- 3) 吉本充宏, 常松佳恵, 宮本博永, 保坂秀彦, 布施嘉裕, 中込広幸, 油井誠志: 雪崩発生条件の解明と観測機器の開発, 山梨県富士山科学研究所研究報告, http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/res/h29_theme.html (2019-5-13 閲覧)
- 4) 宮本博永, 吉本充宏, 油井誠志, 常松佳恵, 布施嘉裕, 中込広幸: 部品内包膨張袋体及びこれを用いた投下回収型自然災害観測装置並びに自然災害観測方法, J-platpat, 特開 2017-214121