

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（第 2 報）

宮本博永・永田靖貴・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 (2nd Report)

Hironaga MIYAMOTO, Yasuki NAGATA, 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、観測に危険を伴い、観測装置自体の被災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 2 年目では、開発した IoT 観測装置のフィールド試験を実施し、IoT による画像等観測の災害現場への適用の有用性について評価を行った。

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、災害観測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、様々な分野に適用可能な製品が増えつつある。

災害観測分野においても、IoT 技術を活用することで従来の観測技術における課題を解決することが期待されている。例えば、雪崩や土砂災害の観測等、装置自体の被災が予想されるこのような観測分野においては、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をもとに、被災しても損壊せずに繰り返し利用ができ、画像等様々な観測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。

第二報となる本報では、これまでに開発した IoT 観測装置を利用した実証試験の結果について述べていく。

*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

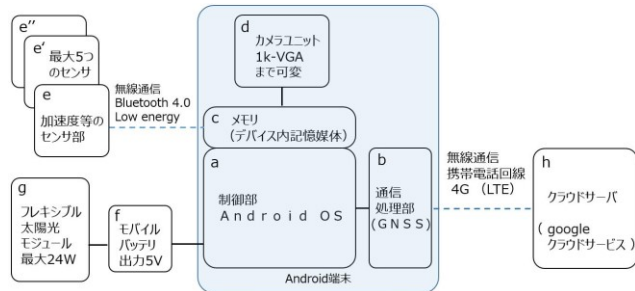
*4 テクノナレッジ・システム有限公司

2. IoT 観測装置

実証試験には第一報⁵⁾で報告したIoT観測装置を使用した。その概要を図1,2及び表1にまとめた。なお、装置の詳細については第一報を参照されたい。



図1 IoT観測装置の外観



IoTの処理の流れ

- ① d,b,a部で画像,GNSS,バッテリー容量値の取得
- ② 無線センサeから加速度、温度等のデータ取得
- ③ cに①②で取得したデータを記録
- ④送信時刻の判定 (a部)
- ⑤ bの通信処理をオープン (有効化)
- ⑥ 4G基地局の探索と接続 (圏外時はc部で送信待状態)
- ⑦ hクラウドへのアクセス、認証
- ⑧ 新規データのアップロード (圏外時のデータを含む)
- ⑨ クラウドからのログアウト
- ⑩ 通信切断→④へ

図2 システム構成と観測におけるIoTの処理

表1 IoT観測装置の概要

項目	内容
大きさ	φ430 × L630 mm
材質	ウレタンフィルム製の空気注入式構造体
重量	1.6 kg (設置時の杭を含まず)
制御部 (カメラ部)	Android 端末 CAT S60 (Android OS 8.0) 外接センサ格納機構に搭載 ⁵⁾
センサ	エレクトクス工業 EDAMP-2BA101
通信	商用携帯電話回線 4G (LTE)
太陽光 モジュール	フレキシブル太陽光モジュール 公称最大出力 23.6 W 表面保護層に ETFE フィルムを使用

3. 実証試験

開発したIoT観測装置の災害観測への適用について、その有用性の評価や課題等の把握のため、斜面崩壊の発生が見込まれるフィールド及び期間において実証試験を実施した。選定した試験フィールド及び期間は次のとおりである。

(i) 七面山東側斜面の春木川沿い斜面

期間：秋期、台風17号の通過時

(ii) 伊豆市湯ヶ島猫越川沿い斜面

期間：秋期、台風19号の通過時

観測したデータは、画像、加速度、傾き、位置情報、温度及び湿度である。サンプリングレートは、画像が5分毎(クラウドへのアップロードも5分毎)で、その他のデータは全て毎秒取得(クラウドへのアップロードは1分毎)とした。なお、撮影画像の画素数は10万画素とした。

(i) 七面山東側斜面の春木川沿い斜面

七面山(山梨県南巨摩郡早川町)は江戸時代から現在に至るまで「大崩れ」と呼ばれる崩壊が断続的に発生している場所で知られる。雨天が続き水量が増加すると、崩れ落ちた土砂を巻き込んだ流れが川幅一面に溢れ、周辺の地表の砂利層が7~8m以上動くことがある。本フィールドでは、雨天時の土砂の移動状況及び水位変化の把握を主な観測対象とし実証試験を行った。図3は本実証試験エリアの場所を地図上に示したものである。



図3 七面山東側斜面の春木川沿い斜面の場所

春木川の流れ沿いにIoT観測装置を設置し、そこから30mほど離れた位置に画像観測ユニット(IoT観測装置の空気注入式保護体の内部にある電子機器部のみ)を設置した。後者の画像観測ユニットにより、IoT観測装置と春木川の流れの様子を撮影した(図4及び図5)。2台の観測装置の設置に要した時間は、足場の悪い環境ながら30分ほどであった。



図4 IoT 観測装置等の設置場所詳細（七面山）



図5 画像観測ユニット（右）とIoT 観測装置（左）

表2は観測期間中の気象、通信環境等に関するデータである。画像観測ユニットから自動送信された画像例を図6及び図7に示す。

観測装置を設置した周辺のエリアは、公式にはDocomoの通信サービスのエリア外（通信サービスエリアの縁から直線で約900m離れている）にあたる。一般に信号強度が-130 dBm以下が通信圏外とされるが、このような通信環境の悪い状況下にもかかわらず、観測期間の全期間にわたり5分毎の画像データの取得・送信（クラウドへのアップロード）を続けることが可能であった。図7は、目視確認可能な最大増水時における画像である。画像から春木川の増水の様子ははっきりと確認できる。この期間中の南部町（試験エリアから最寄りの観測地点）におけるアメダス雨量データを参照したところ（図8）⁶⁾、図7撮影時には夕方から明け方にかけての降雨により、累積雨量が約50mmに達していた。

表2 七面山東側斜面での実証試験における気象、通信環境等のデータ一覧

観測期間	温度 [°C]	天候	降り始めからの総雨量 [mm]
2019年 9月20日～9月24日	15～30	曇 / 雨	不明(小雨程度)
信号強度 [dBm]	標高 [m]	Docomo LTEエリア	小型基地局装置 までの距離 [m]
-110	655	エリア外	1500



図6 画像観測ユニットから自動送信された画像1
（降雨前のIoT 観測装置と春木川の流れの様子）



図7 画像観測ユニットから自動送信された画像2
（降雨時のIoT 観測装置と春木川の流れの様子）

観測期間中の降雨量では、川沿いに設置したIoT 観測装置は土砂流に浸水することもなく、設置位置から動くこともなかった。なお、IoT 観測装置が下流に押し流された場合においても、装置から配信される位置情報により後から回収が可能である。

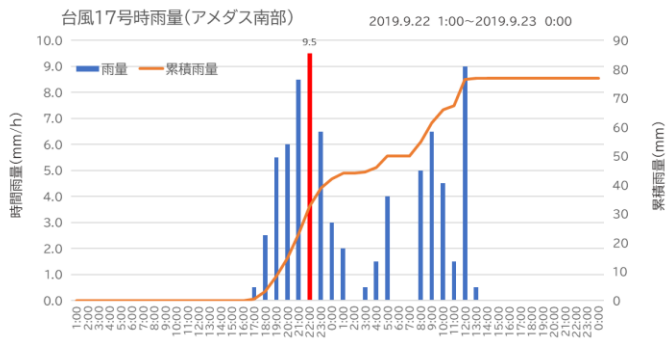


図 8 アメダス雨量データ (南部町)

(ii) 伊豆市湯ヶ島猫越川沿い斜面

伊豆市猫越川付近に所在する二次崩落の危険性の高い山中に、台風 19 号の通過に備えて観測装置を設置し、周囲状況の変化等の観測を目的に試験を実施した。

図 9 は本実証試験エリアを地図上に示したものである。2 台の IoT 観測装置を図 10 に示すとおり設置した。一つは、崩落発生の可能性が高い急斜面上に、その斜面の様子を観察できるように設置 (IoT 観測装置 A) し、もう一方を、その斜面を駆け上がった位置にある平地上に、他方の装置が見渡せるよう配置した。その様子は図 11 のとおりである。



図 9 伊豆市湯ヶ島猫越川沿い斜面の場所

この他、観測期間中の気象、通信環境等に関するデータを表 3 に示した。木が生い茂る山中であるが、IoT 観測装置の設置付近から Docomo の LTE 小型基地局装置が目視できる距離にあり (直線で 180 m, 高低差 40 m)、通信環境は極めて良好であった。

装置設置から 3 日目となる 10 月 12 日の 18:30 頃に、台風 19 号が伊豆市湯ヶ島上空を通過した。各地で甚大な被害をもたらした本台風の勢力はすさまじく、この地域における降りはじめからの総雨量は 750 mm 以上にも

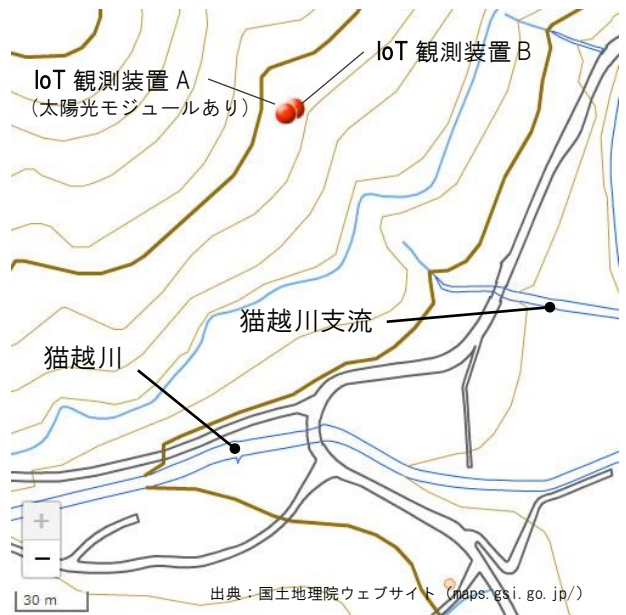


図 10 IoT 観測装置の設置場所詳細 (猫越川)



図 11 IoT 観測装置 A (太陽光モジュールあり) と IoT 観測装置 B

達し、通過時の瞬間最大風速は伊豆半島の松崎で 34m/s、三島で 23 m/s を記録した⁶⁾。

表 3 猫越川での実証試験における気象、通信環境等のデータ一覧

観測期間	温度 [°C]	天 候	降り始めからの総雨量 [mm]
2019年 10月10日～10月16日	18～29	曇 / 雨	722
信号強度 [dBm]	標高 [m]	Docomo LTEエリア	小型基地局装置 までの距離 [m]
-70	340	800MHzエリア内	180

台風通過前の10月10日と台風通過時の10月12日にIoT観測装置Bから配信された画像は図12のとおりであった。画像からIoT観測装置Bが風に煽られて傾いている様子が分かる。日没前で周囲は暗くなっているが、大雨により正面の山が見えない状況が映し出されている。木の葉や枝が強風で舞っている様子もわかる。図13は、この期間中の伊豆市湯ヶ島におけるアメダス雨量データ⁶⁾である。この時点までの累積雨量は700mmに達した。急傾斜地に設置したIoT観測装置Aが同画像上に映っており、この時点で崩落が発生していないことが確認できる。

この後、台風がちょうど伊豆市湯ヶ島の頭上を通過する18:30頃に、IoT観測装置Bが強風により飛ばされることとなった。日没後であったため送信された画像からは、その前後の様子を確認することはできなかった。



図12 IoT観測装置Bから送信された画像
(左：台風通過前，右：台風通過時(暴風雨))

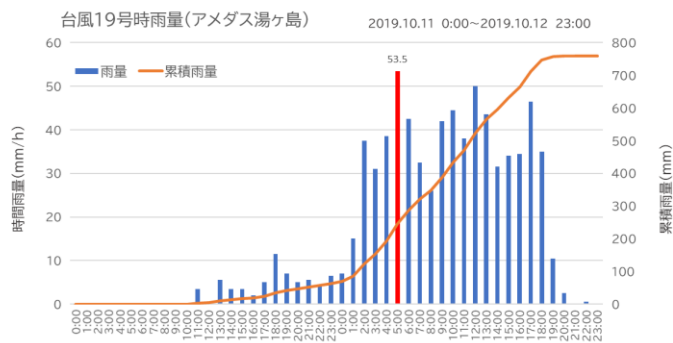


図13 アメダス雨量データ(伊豆市湯ヶ島)

一方で、画像とともにリアルタイム送信される傾きデータ(図14)から、その様子を把握することができた。IoT観測装置Bが、静止状態から姿勢が定まらない状態になり、再び静止状態に戻るまでの時間が数秒観測された。このことから、滑落時間は数秒以内と考えられる。また、IoT観測装置Bから配信される位置情報にはほとんど変化はなかった。以上のことから、装置の滑落距離は数m以内と推測された。後日、推測のとおり設置位置から4～5m離れた位置でIoT観測装置Bを発見した。外接センサ格納機構⁵⁾が作動しており、カメラ搭載部は空気注入式保護体内部に格納されていた。そのため、IoT観測装置に損傷はなく、損壊等で周囲に残した破片等も全くない状況であった。

急傾斜地に設置していた他方のIoT観測装置Aは、台風通過後も最初の設置位置に止まり、画像の送信を継続していた。得られた画像の情報から、周囲状況に変化はなく、崩落が発生していないことを遠隔地(甲府市)より確認することができた。

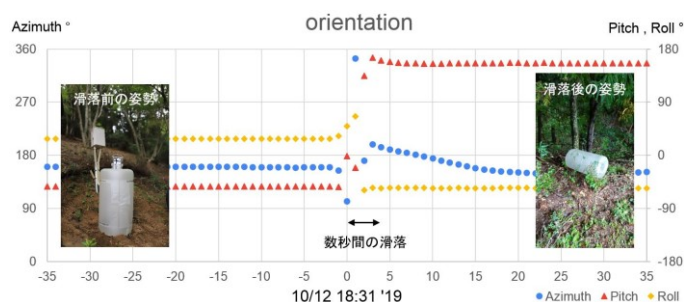


図14 IoT観測装置Bが滑落時に計測した傾きデータ

4. 結 言

第一報で開発したIoT観測装置の試作機について実証試験を実施した。本装置は、災害発生が見込まれる場所の発見後、その周辺に簡易設置できることを目的とし、また、斜面崩壊後の回収についても想定したものである。このため、評価は、災害観測への適用の可能性・有用性

についてだけでなく、装置被災後の回収可能性についても対象とした。

実証試験の結果、それぞれの試験フィールドにおける実証試験において、危険度の高い現場での装置の簡易設置を行うとともに、所定の期間中、画像・傾き等データのリアルタイム観測を継続することができた。特に、時間の経過とともに変化する斜面周辺の状況を、その場に設置したカメラによる映像で把握できたことの意義は大きい。また、伊豆で実施した試験において、IoT 観測装置の1台が、台風通過時の強風により吹き飛ばされることとなった。被災後の装置は、破損することなく数メートル滑落し、崖直前の木に止まった。その後、装置が発信する位置情報から所在を特定し、容易に回収することができた。これらのことから、開発したIoT 観測装置の災害観測利用について高い有用性を示すことができた。

なお、実施予定であった雪崩観測のためのフィールド試験（2020年2月下旬～3月末）は、新型コロナウイルス流行による影響のため直前で中止となった。次年度の実施を予定している。



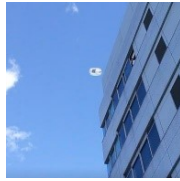
謝辞

実証試験を行うにあたり、国土交通省 関東地方整備局 富士川砂防事務所並びに中部地方整備局 沼津河川国道事務所 関係部門の皆様には、事業区域における試験フィールド利用のご協力とともに、様々なご助言を戴きました。感謝の意を表します。

参考資料

第3節で述べた実フィールドにおける実証試験に先立ち、山梨県産業技術センターの保有設備等を活用した各種環境試験を実施した。次の付録表はそれらの結果を簡単にまとめたものである。

付録表 信頼性評価試験一覧

実施試験	条 件	評 価 項 目	結 果
耐水試験	水圧 0.2 MPa, 24 hr, T.T.off の耐水試験 JIS D0203 準拠	空気注入型構造体及びコネクタ部に 水の浸入があるかどうか。	空気注入型構造体 及びコネクタ部に 水の浸入はみられず。 
恒温恒湿試験	-30°C～60°C, 48 hr のサイクル試験 JIS C60068-2-38 準拠	・ 外接センサ格納機構の作動 ・ Li-Po バッテリーの放電。 ・ センサデータの取得。	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 格納機構が作動 ・ バッテリーの放電を確認 ・ センサデータを取得
屋外環境試験	屋外において装置を動作させることにより行う	・ 1週間の安定動作が可能かどうか。 ・ 夏季における内部温度の把握。 ・ 雨天時の動作に問題はないか。	・ 1週間の動作を確認 ・ 内部温度は許容値内 ・ 雨天時も安定動作 
システムの長期安定動作試験	加速度, 傾き, GPS データの取得と通信状態	3週間の安定動作	3週間の連続動作を確認
落下衝撃試験 ⁵⁾	建物 6F (約 21 m) から落下させることにより行う	・ 落下後における装置状況の確認 ・ 周囲への影響 (損壊部品散乱)	・ 落下後の破損なし 再利用率可能状態 ・ 部品損壊の散乱なし 

耐水試験は、空気注入式保護体の内部への水の浸入が起り得るかの評価が目的である。IoT 観測装置は空気注入式保護体の内部に電子機器を内包している。電子機器部は防水仕様となっており、水没状態となっても別段の影響はないと思われるが、外気温の低下により浸入した水が凍結したとき、保護体や電子機器部への影響を憂慮したものである。恒温恒湿試験では、屋外での使用を想定し、幅広い温湿度環境下において要求される機能が発揮できるかどうかの評価を行った。屋外環境試験については、真夏の高温環境下（直射日光）や雨天での安定動作の確認を行った。落下衝撃試験は、IoT 観測装置が斜面崩壊等により被災した場合を想定し、耐久性の評価を行ったものである。いずれの項目の試験においても、想定されるフィールドへの適用について一定の利用が見込める結果となった。

この節に述べた信頼性評価試験で使用した山梨県産業技術センターの保有設備については、県内中小企業の方々が利用可能な開放設備となっている。その他、汎用的な恒温恒湿槽や冷熱衝撃試験装置、通信状況時のダイナミック試験等 IoT 機器の信頼性評価に利用が活発な恒温恒湿室や屋外での過酷環境での使用が評価できる耐水試験機や塵埃試験装置を整備している。今後も、IoT 製品の開発・評価試験の支援を拡充し、AI/IoT 産業の振興とテストベッド県山梨に向けた取り組みを展開していく予定である。多くの県内企業の皆様の積極的な利用を期待している。

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, 山梨県富士山科学研究所研究報告, 国土交通省研究開発補助事業実績報告書 (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
- 5) 宮本博永, 保坂秀彦, 布施嘉裕, 中込広幸, 本多亮, 吉本充宏, 藏重龍樹, 清水悠樹, 新海一利, 田中義朗, 太田敬一, 小林正和: 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, 山梨県産業技術センター研究報告, No3 (2020)
- 6) アメダス データダウンロードサイト (気象庁) <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2020-3-31 閲覧)