

住宅地・道路の防災のための土石流センサーの開発と溪流における実証試験

土石流 現地観測 IoT

広島大学 国際会員 ○土田 孝 正会員 橋本涼太
計測リサーチコンサルタント(株) 非会員 大町正和 非会員 梅本秀二

1. はじめに

土石流による犠牲者の多くは土砂災害警戒区域に居住する住民である。土石流危険溪流において溪流の状態を常時モニタリングし、その情報を住民に提供するシステムが存在すれば、早期避難を促進する有効な手段であると考えられる。また、土砂災害警戒区域内を通過する道路では、近隣の溪流で発生した土石流により大量の土砂が道路内に流出する可能性があり2018年西日本豪雨災害では流出土砂による道路災害が多発した¹⁾。道路管理者や利用者に土石流危険溪流をモニタリングした情報を提供できれば防災上有効であると考えられる。土石流災害を対象とした溪流のモニタリングは実務における実施例^{2,3)}があるが、土砂災害警戒区域の住民の防災や、道路の防災を対象とした実用化はまだ達成されておらず課題となっている。このような観点から筆者らは土石流危険溪流内の土砂の動きを検知する地盤変位センサーと計測システムを溪流内に設置し観測を約2年間実施した⁴⁾。本文はその結果をまとめたものである。

2. 傾斜計を用いた地盤変位センサーと土砂災害危険溪流に設置したモニタリングシステム

溪流内で継続的に計測し住民の早期避難、緊急避難に使用するためには、観測システムの必要要件として以下が挙げられる。

- 1) 厳しい自然条件において安定して長期間計測でき、特に降雨が多い6月～10月の間にメンテナンスの必要がない。
- 2) 中規模の土石流等の流出までは観測できる頑丈さを有する。
- 3) 住宅地の場合は費用を住民が負担するため（行政の補助は考えられる）、負担しうる範囲に抑える必要がある。道路の場合も低コストであることは実用上重要である。

センサーを検討した結果、傾斜計を用いて地盤変位を計測するセンサーを採用した。傾斜計の寸法は直径2.5cm、長さ6.4cmで最小分解能は0.015°、計測可能範囲は-30°～+30°である。図1に、傾斜計と治具を組み合わせたセンサーの構造と溪流での設置位置（イメージ図）を示した。図のように、長さ110cmの鋼製パイプに傾斜計を固定し、地盤内に80cm埋め込んだ。傾斜計はカバーに収納して地盤から20cmの高さに設置しカバー内は止水と衝撃緩和のため発泡ウレタンを充填した。設置箇所（図2）は、土石流シミュレーション⁵⁾により決定したが、流路中央での土石流の衝突による変位の観測および流路の山側斜面における地下水位の上昇と土石流の侵食による地盤変形の観測を想定した。本センサーの最小変位量は0.26mm、計測範囲は±50cmである。

送信機で送信した各測点における地盤変位量は受信機を経てコンピュータによりクラウド上にアップロードされ、随時データを閲覧できる（図3）。データの通信には、通信速度は低い低消費電力で必要な範囲をカバーできるLPWA（Low Power Wide Area）のLoRa方式を採用した。また、測定間隔は機器によるデータの送信時間とバッテリー消費量を考慮し10分とした。

3. 降雨と地盤変位の計測値との関係

2020年1月から2021年11月までの各計測日の0時のデータを抽出し、前日の0時から24時間の間の変位量を日変位として算出した。5測点の10点のセンサーの日変位を、雨量計による日降雨量とともに、図4に示した。図中の棒グラフは日降雨量（熊野町に設置された広島県の雨量計による）であり、図中の「欠測」は0時のときに計測が不調

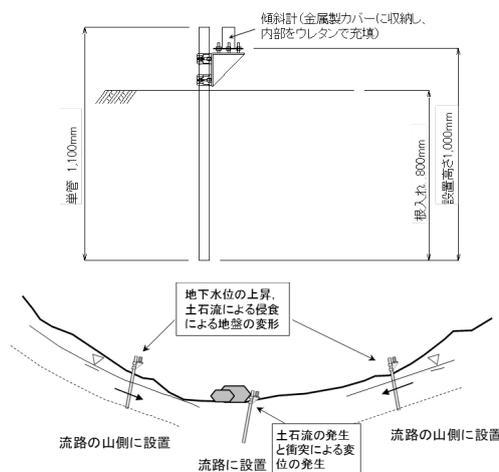


図1 傾斜計を用いた地盤変位センサーと溪流の流路における設置位置



図2 溪流内に設置した10か所の測点



図3 溪流の地盤変位のモニタリング画面

Development of debris flow sensor for disaster prevention of residential areas and roads and verification test in mountain streams
Tsuchida Takashi, Ryota Hashimoto, Resilient Research Center, Hiroshima University
Masakazu Oomachi, Shuji Umemoto, Keisoku Research Consultant, Co. Ltd.

であったことを示す。

図のように、2020年、2021年とも6月から8月に大きな降雨が集中している。2020年は7月3日から7日にかけて256mmの累積降雨があったが、観測された地盤の日変位は±1mm以内で降雨の影響は全く見られなかった。2021年は7月豪雨（7日～13日）の始まりに近い7月8日の233mmが最大で、7月7日から9日にかけて累積雨量322mmの降雨があり県内全体からみても4番目に累積降雨量が多い箇所であったが、地盤の変位には豪雨の影響が全く見られなかった。続いて8月豪雨（11日～25日）では8月8日から14日までの間の累積雨量が572mm（最大は8月14日の189mm）であったが、やはり地盤の変位は全く観測されなかった。

図5はもっとも降雨が多かった2021年7月8日における10分降雨量と地盤変位の関係である。図のように10分降雨量は午前7時頃に最大13mmに達しており、これは時間78mmに相当する猛烈な雨である。しかしながら、いずれの測点でも地盤変位は雨によって全く変化していない。

このように、2020年と2021年の夏季の雨量、特に2021年の7月豪雨と8月豪雨における雨量は、広島県の過去の豪雨災害時の雨量と比較しうる大きな雨量であったが、地盤変位の観測値は日雨量と関係がみられず変位していなかった。降雨期が終わった10月15日に溪流内に立ち入りセンサーの周辺を観察したところ測点付近に変位は見られなかった。また、本溪流の下流にある砂防ダム（2020年1月から供用）内にもほとんど堆砂はなかった。このことから2020年7月、2021年7月豪雨、8月豪雨では本溪流で土砂の流出がほとんどなかったため地盤変位が全く観測されなかったと推定される。

2年間センシングを継続した中で、もっとも大きな課題は図4の図中に示すように間欠的に発生する欠測であった。この原因の多くは送信機と受信機との通信の不調によるものであった。これは樹木などの障害物の存在が原因と考えられ、LoRa方式の通信の課題といえる。地盤変位の異常を正しく判断する上で平常時における計測の安定は不可欠であり、この点を改善するため2月に受信機と送信機をゲートウェイおよび新たに開発されたIoTデバイスに交換し、その効果を確認中である。

以上、2年間の計測結果を示したが、今後計測の安定性を向上させるに、雨量と地盤変位との関係に関するデータをさらに蓄積して計測結果と溪流の状態との関連を明らかにする必要があると考えている。

参考文献

- 1) 土田孝：2018年7月の西日本豪雨による土砂災害の特徴，地盤工学学会誌，Vol.67, No.7, pp.1-3, 2019.
- 2) 山田孝，南哲行，水野秀明：土石流災害防止のためのセンサー開発の現状と今後の課題，砂防学会誌，Vol.50, No.5, pp.60-64, 1998.
- 3) 吉永子規，清水武志，藤村直樹，石塚忠範，武澤永純：可搬型振動センサーを用いた土石流振動の現地計測，砂防学会誌，Vol.68, No.1, pp.52-59, 2015.
- 4) 土田孝，橋本涼太，大町正和，梅本秀二：土石流災害を対象としたワイヤレスセンサーを用いた溪流監視システムの開発，地盤と建設，Vol.38, No.1, pp.77-82, 2020.
- 5) 長谷川祐治，中谷加奈，海堀正博，里深好文：土砂災害警戒区域内の住宅地における土石流の危険度分布の検討，土木学会論文集B1（水工学），pp.I 181-I 186, 2019.
- 6) 林聖也，中谷加奈，小杉賢一郎，長谷川祐治，里深好文：平成30年7月豪雨で発生した土砂移動・土砂流出の数値シミュレーション，砂防学会研究発表会概要集，pp.485-486, 2019.

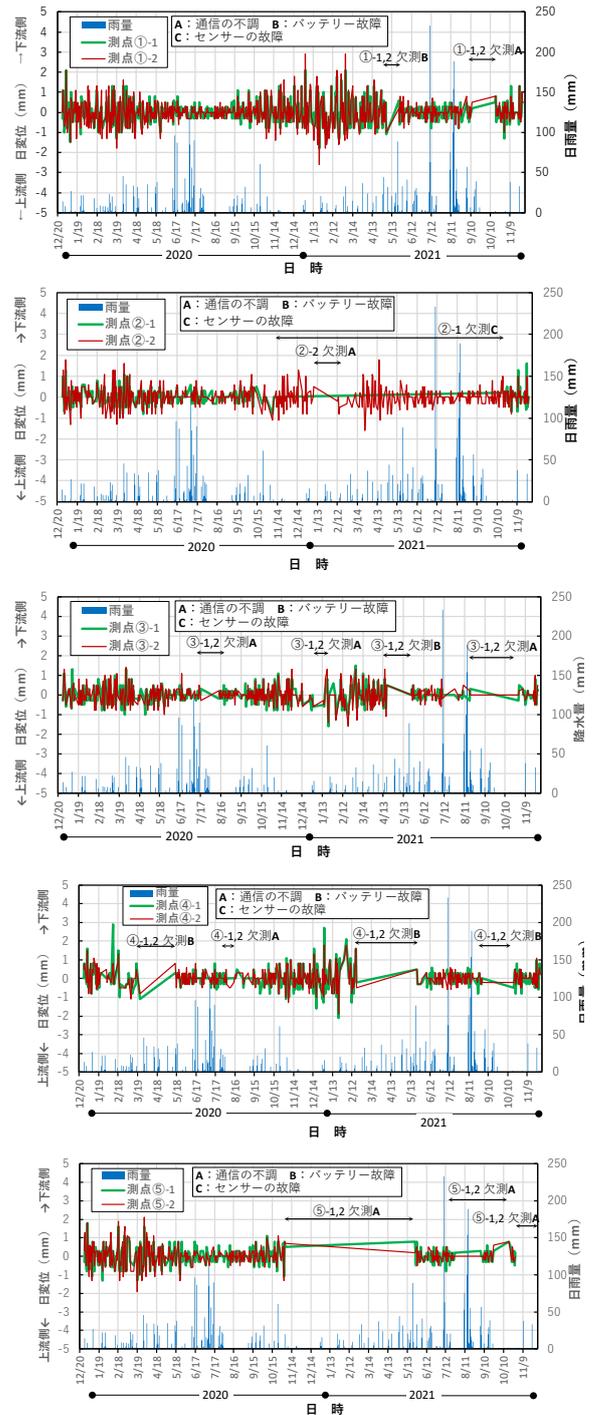


図4 2020年1月から2021年11月までの日変動と日降雨量の関係

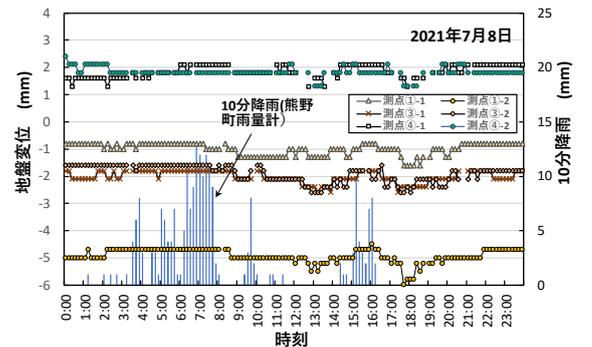


図5 2021年7月8日における10分間雨量と地盤変位の関係