⑴ 加速度センサ及び無線機能付きマイコンによる地盤傾斜角度変化の観測

久米　仁司[1]・天野　直紀[2]

[1]正会員　株式会社　南伸（〒160-0004 沖縄県那覇市首里石嶺町 1-161-4）
E-mail: kume_h@nanshin-design.jp

[2]正会員　東京工科大学　工学部（〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1）
E-mail: amano@stf.teu.ac.jp

近年，地すべり災害による斜面防災の重要性が改めて認識されている．地すべり災害は一旦発生すると大規模な対策が必要となる場合が多い．地すべり災害の予知・予測が可能になれば尊い人命や財産を失うこともなくなると考えられる．地すべりの兆候を検知するためには，伸縮計や地中ひずみ計等を長期間設置して観測する必要があるが，これらの装置は高価で手軽に設置することは難しい．そこで本研究では，地すべりの兆候を容易かつ経済的に捉えるため，加速度センサ及び無線機能付きマイコンをセンサーとして利用し地盤の傾斜角度の変化を継続的に測定するシステムを構築した．また，実現場において地すべり兆候を検知し実用できることを確認した．

Key Words: *LandSliding, Inclination anagle, LowCost Monitoring System, Acceleration sensor*

1. はじめに

国土交通省が集計した土砂災害の発生件数は毎年約1000件が発生し，平成29年においては1514件の土砂災害が発生し過去 10 年間で最大となるなど斜面防災の重要性が改めて認識されている．地すべり災害は一旦発生すると地域の資産や人命に壊滅的な被害をもたらし，復旧は大規模な対策が必要となることが多いため，地すべりの兆候の早期発見が重要である．しかしながら，地すべり現象の予知・予測は難しく，対策は主に地すべりが発生した箇所に対して行われるのが現状である．地すべり災害を未然に防ぐことができれば，尊い人命や財産を失うこともなくなると考えられる．地すべりの兆候は微細であり，伸縮計や地中ひずみ計などを設置して長期間測定する必要があるが，これらの装置は高価であり，いつ発生するかわからない地すべりを対象として装置を設置することは一般には行われない．そこで，これらの装置より廉価な装置があれば地すべりが懸念される箇所への設置が進み，土砂災害を未然に防ぐことに繋がると考えられる．近年，このような考えのもとで観測を行う装置が開発されている[1),2)]．著者らは，地すべり災害を防止するために，継続的に地すべりを監視することを目的とし，近年，技術開発が精力的に行われている IoT 技術を援用しシステムを開発したものである．

2. システム構成

本システムは，現場に設置する親機及び子機とクラウドサーバで構成する．子機は塩ビパイプの中に，加速度センサ付きマイコン(TWELITE2525A)と単一乾電池2本を納め，マイコンは，IEEE802.15.4 による通信機能があり，さらにアナログデバイセズ製加速度計を約2㎝角の基盤上に置いた製品である．親機はボードコンピュータに，携帯電話用の電波を利用するための装置と子機のデータを受信するマイコンで構成する．親機で受信したデータは 3G 通信サービスを使用してインターネットを介してクラウドサーバのデータベースに格納する．サーバ上のデータはWebで確認する．システムの全体構成を**図-1**に子機及び親機の構成を**表-1**及び**表-2**に示す．

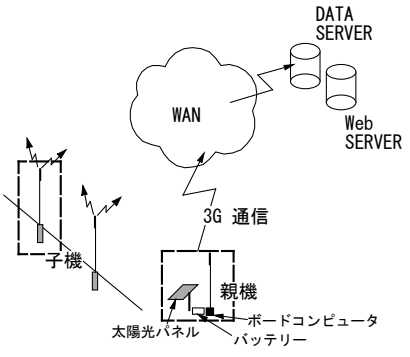

図-1 システムの全体構成

表-1 子機の構成

機能	種別	製品・仕様等
加速度センサ・無線機能一体マイコン	マイコン	TWELITE2525A
電源	単一乾電池	単一×2　直列

表-2 親機の機器構成

機能	種別	製品・仕様等
受送信プログラムの実行	ボード コンピュータ	RaspberryPi B+
インターネット通信	3G 通信モジュール	3GPi
親機子機間通信装置	マイコン	TWELITE-DIP
蓄電池	バッテリー	12V 38Ah バッテリー
電源供給	太陽光パネル	50W×2 並列接続

表-3　センサーの改良点

形式	特長
Ver1	10Hz で 10 個の X,Y,Z 方向のデータを取得し，その平均値を送信する.
Ver2	加速度値の分解能を向上させた.

3.　加速度センサ・無線機能付きマイコンの改良

マイコンは 3 方向の重力加速度を一定の間隔で送信する．加速度センサーから得られた値はわずかなばらつきが含まれるので，10Hz で 10 個のデータを取得してその平均値を送信するように変更した [3]．Ver2 の改良は、加速度値の桁数を 1 桁多くして分解能の向上を行った．Ver1 の分解は 0.6 度であるが，プログラムの改良により 0.06 度以下の分解能を得た.

4.　地すべり兆候の記録

本システムは2017年6月から実現場に設置してデータの取得を行っている．斜面はすべり兆候が見られていて，伸縮計による観測が行われている．降雨により地すべりの兆候が見られたときのデータを紹介する．センサーの種類は Ver 1 である．センサーは**図-2** に示すように斜面に複数設置した．2017年9月にすべり兆候が見られた．**図-3** は2017年9月の那覇気象台での日降雨量とセンサーが示した XYZ の重力加速度値から斜面の傾斜角度を計算で求め，その変化を示したものである.

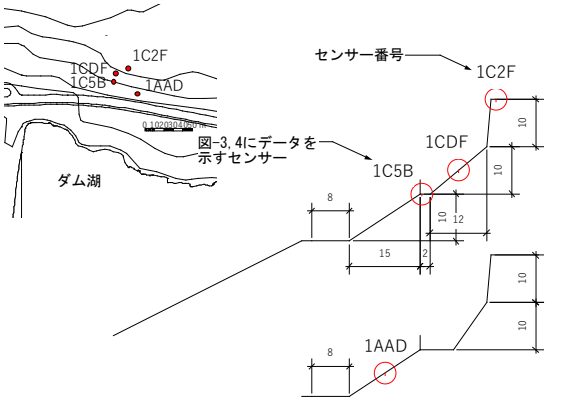

図-2 子機の配置

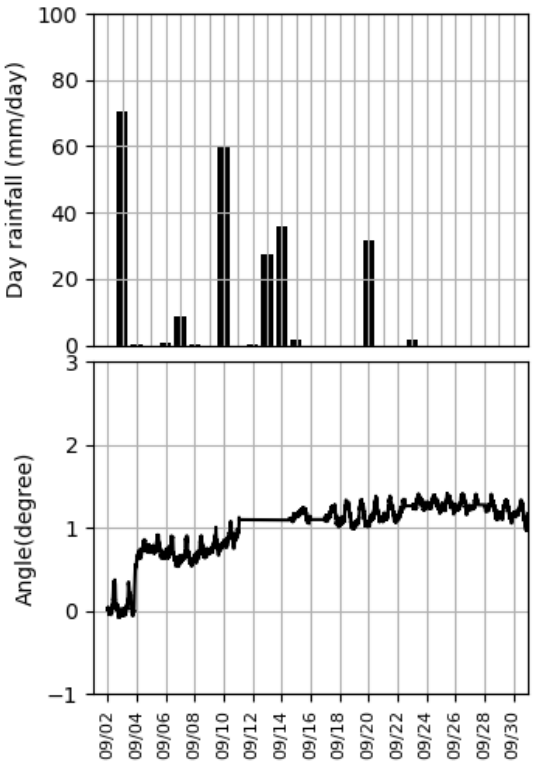

図-3　降雨量と地盤傾斜角度

取得データはばらつきが大きいので移動平均処理を行っている．9 月 3 日の降雨量に反応して角度が大きく変化し約 0.8 度の角度が残留している．これは，地すべり土塊が傾倒し回転したことにより地盤の斜面角度が変化したことによる．斜面が健全な状態であれば斜面の角度は再び復元するが，このデータは斜面の傾斜が永続的に変化したことを示している．この図が示すように，斜面の傾斜の変化と降雨量とは密接な関係にあり，地すべりの主な誘因として降雨が上げられることと一致していることから，本システムは地すべり挙動を的確に捉えることができている.

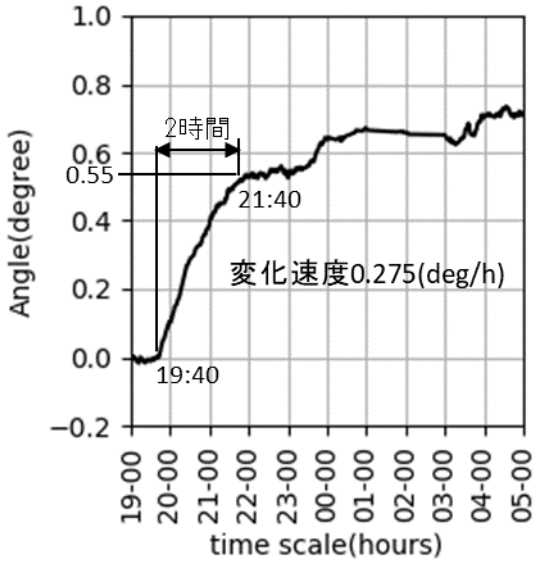

図-4　地盤傾斜角度の変化

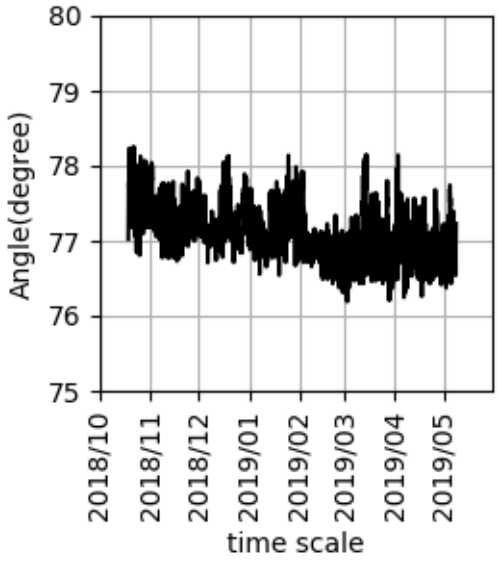

図-5　長期間の地盤角度の観測値

図-4 は傾斜角度が大きく変化した部分を表示したものである．観測は 1 分間隔で行っている．図中に示した範囲での変化は 19:40 時点での角度を 0 度とすると約 2 時間後の 21:40 で角度は 0.55 度となっている．この間の傾斜角度の一時間あたりの変化速度は約 0.275 度/時間となる．

5.　実用性に関する確認

⑴　親機の連続稼働

システムを連続稼働するためには，安定した電源確保，ボードコンピュータの安定性，3G 通信モジュールの安定性が重要である．**図-5** は，表 2 に示した親機の構成で得られた観測値である．データは 1 分間隔で取得しているが，図は 60 分間隔でプロットしている．10 月半ばから約 6 か月以上連続稼働している．観測値は 1 度程度のばらつきが含まれている．

図-6 は 24 時間分の観測値を取り出したものである．午前 8 時から 12 時の間に値が大きく変化している．これは日照の影響であり，**図-5** の 1 度程度のばらつきはこの影響によるものと推測できる．

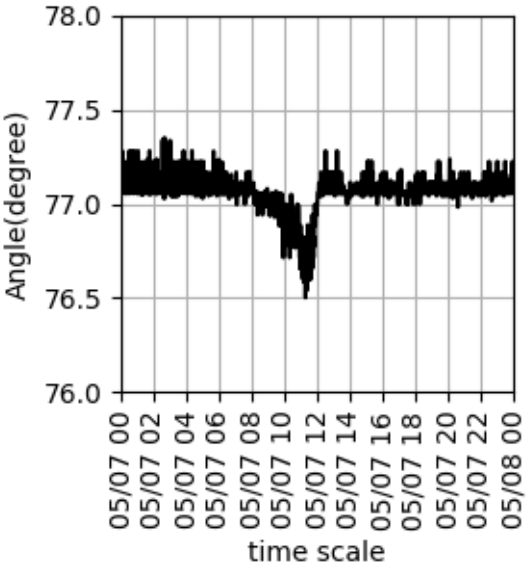

図-6　24 時間の地盤角度変化の観測値

⑵　子機の連続稼働

子機の連続稼働は単一乾電池の寿命が影響する．センサーは 1 分間隔でデータを取得し送信を行うが，それ以外は休止状態になり消費電力を最小限にする．送信するデータは 3 軸方向重力加速度を示す値の他に送信電波強度とセンサーに供給される電源電圧等が送られる．半年間の電源電圧の変化を**図-7** に示す．約半年間で 0.17V の低下があり，マイコンの動作電圧は 2V であるので単純計算で約 3 年間の動作が見込める．

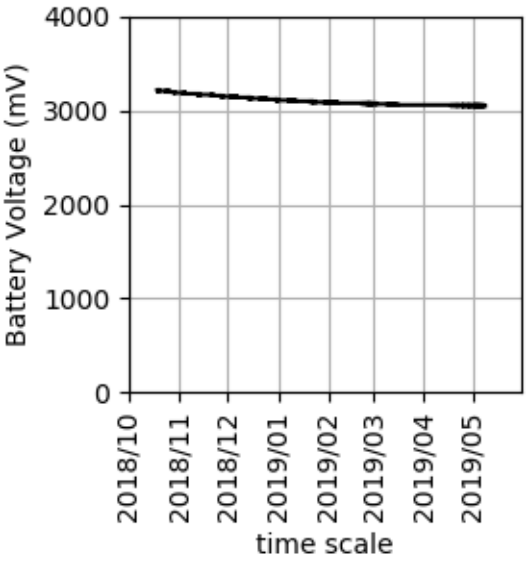

図-7　子機の電源電圧の変化

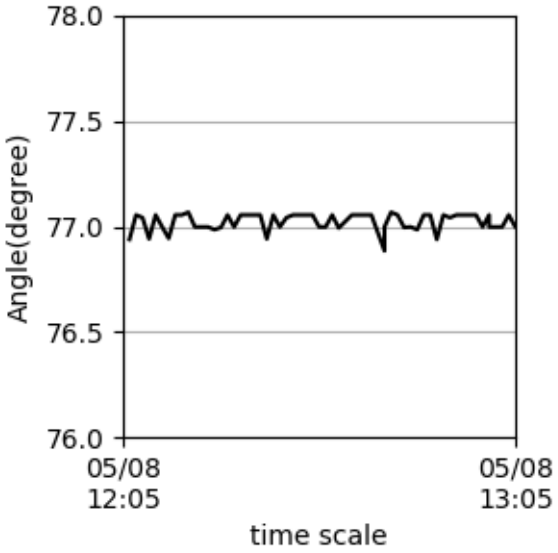

図-8　1時間の地盤角度変化の観測値

6. 地盤傾斜変化の検知に関して

図-5及び図-6に示すように長期観測での変化や日照による変化が観測値に含まれてしまう．しかしながら図-8に示すように1時間の値の変化は約0.1度のばらつきに収まり，角度の変化がないと示すことができている．地すべりを監視する場合には日照による変化が影響しているかを考慮する必要があるが，この程度の変化であれば地すべりの兆候であるか日照の影響であるかを判断するのは容易であると考えられる．

7. おわりに

近年，通信技術の進展及び低コスト化に伴って，通信機能を備えた低価格なマイコンが開発され手軽に購入できる環境が整った．本研究はこのような新技術を土木分野への活用を試みたものである．長期間の観測には変動が伴うものの，降雨などの誘因により発生する地すべりに対し，すべりの兆候を検知することは十分に可能であることが確認できたと考えられる．

参考文献

1) 内村太郎，東畑郁生,王　林等：斜面の傾斜変位の監視による崩壊の早期警報,地盤工学会誌,Vol.62-2, Ser.No.673,pp.4-7，2014.
2) 西谷　哲等：無線センサによる斜面変位監視ネットワークシステムの構築,土木情報利用技術講演集,vol.34 ,2009.
3) 天野直紀,久米仁司：斜面観測のための低コストな機器構成による計測・データ収集システムの試行,土木学会第72回年次学術講演会,CS15-007, pp14-15, 2017.