

無線センサーネットワークによる 土砂災害監視システムの開発

Development of the Landslide Detection System based on Wireless Sensor Networks

柿内 徳 人 岩 瀨 透 池 田 雄 貴 渡 邊 雄 彦
Norito Kakiuchi Toru Iwabuchi Yuki Ikeda Takehiko Watanabe

要 旨

近年、台風や集中豪雨により、多大な人的被害を伴う土砂災害が発生しており、土砂災害対策の革新は急務と言える。従来、土砂災害の危険性は雨量によって把握する方法が主流であったが、間接的、かつ統計的な情報を用いた方法であるため、確度高く危険性を把握することが難しかった。このため、土砂災害危険域の状態変化を直接的に監視し、把握精度を向上するための新たなシステムが求められている。また、このような新たなシステム整備は、作業員の安全性の観点から、施工や保守に要する時間を最小限に留めなければならない。そこで、当社は、設置が容易、かつ高性能な土砂災害の監視を実現するために、「無線センサーネットワークによる土砂災害監視システム」を開発し、製品化した。

Abstract

In recent years, by typhoons or localized torrential rains, landslide disasters accompanied by great human damage have occurred, therefore an innovation in the countermeasures against disasters is urgently needed. It has been difficult to grasp the danger of landslides with a high degree of accuracy because it used to be estimated by rainfall amount which is calculated using indirect and statistical data. For this reason, new monitoring system with improved accuracy is required to monitor changes in conditions of landslide risk areas directly. Here, JRC has commercially developed and produced "the Landslide Disaster Monitoring System based on Wireless Sensor Networks" which can be easily installed and realize a high-efficient landslide monitoring. Our new system can minimize the time required for the construction and the maintenance to secure the safety of workers.

1. まえがき

2012年の九州北部豪雨、2013年の伊豆大島土砂災害⁽¹⁾が記憶に新しいように、近年、我が国において、多大な人的被害を伴う土砂災害が発生している。また、IPCCの第5次評価報告書⁽²⁾では、大雨の頻度、強度及び降水量増加の可能性を指摘しており、土砂災害対策の技術革新は急務と言える。

国や自治体では、土砂災害危険箇所（急傾斜地崩壊危険箇所、地すべり危険箇所、土石流危険渓流、土石流危険箇

所）の砂防対策工事による安全確保を図るとともに、危険性を把握する目的で、崩落や土石流などの土砂移動現象の特性を監視する各種システムの実験や整備を進めている。土砂災害発生特性把握を充実させるには、より上流域（発生源近傍）への計測器設置及び中流域・下流域における観測密度の向上が求められているが、施工上の理由による設置場所の確保、電源の確保及びセンサー情報の伝送手段の整備が課題となっている。

センサーネットワーク端末は、土砂災害危険箇所内の土砂移動などに対する検知・通報機能を持った「無線センサーネッ

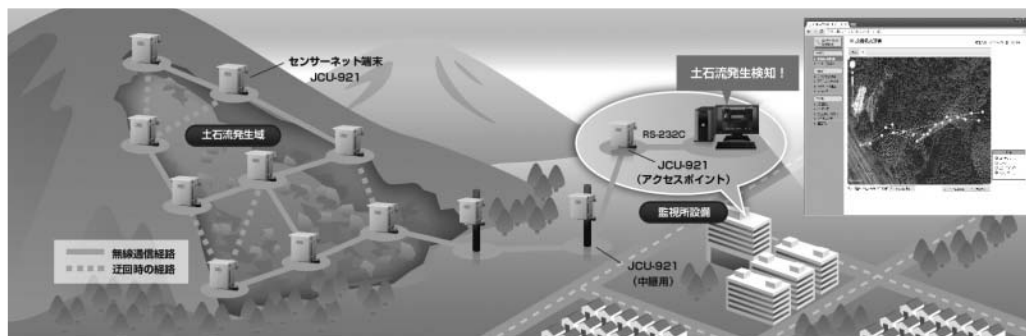


図1 土砂災害発生監視システム構成例

Fig.1 Configuration Example of Landslide Detection System

ト」を活用することによって、上記課題を解決した。本稿では、土砂移動などの監視の実用化に向けた、システム検討の概要について紹介する。図1にシステム構成例を示す。

2. 土砂災害監視方法の改善

河川氾濫と土砂災害とは、台風や集中豪雨などをきっかけに発生する共通性があるが、危険性の把握の難しさに大きな違いがある。

河川氾濫は、堤防高の測量と水位観測により、明確な危険性判断水位基準を設けることが可能であり、高い確度でリスク管理がなされている。一方、土砂災害は、地形や地質など関連する発生メカニズムがより複雑であるために、特徴的な前兆現象についていくつかの報告があるものの、過去の降雨量とそのエリアでの災害発生時期の統計から、土砂災害発生の危険性を把握しているに過ぎない。すなわち、土砂災害については、危険性を高い精度で把握したりリスク管理ができていたとは言い難く改善が必要である。

土砂災害が発生する恐れのあるエリアでは、地面、岩盤、構造物などの傾斜変化や振動を計測し、雨量情報などとともに、各種データを総合的に蓄積し、多角的に土砂災害を分析できる環境を構築することが、土砂災害の危険性の把握精度向上に繋がる。

また、土砂災害が想定される危険域での施工・保守を行う作業の安全性と容易性を考えると、可搬性や施工の簡易性（小型化、無線伝送化など）、保守頻度が少なく済むこと、又は装置電源の供給が不要（電池駆動）なことなどが課題となる。

3. 装置、システムの概要

センサーネット端末は、「無線センサーネット」技術を応用したアドホック・マルチホップ無線通信機能を持つ傾斜・振動センサーであり、上述の課題を解決し、多点観測によるきめ細かな土砂移動の監視を実現する装置である。図2にセンサーネット端末の例（JCU-921）、表1にJCU-921の主な仕様を示す。

3.1 通信

920MHz帯/20mWの特定小電力無線（ARIB STD T-108）を用いたアドホック・マルチホップ無線通信を行う。自動ルーティング機能により、隣接する端末も無線中継機能を持っている。1つの端末に障害が起こっても、通信可能範囲内に別の端末が存在する限り、隣接する端末同士が相互に連絡を取り合っており、周囲環境に応じて、最適な無線ネットワークを形成し、計測データや警報データをアクセスポイント（データ集約局）に通知する。

また、アクセスポイントは、変換機器を接続することにより、ネットワーク網を利用して、監視装置（サーバ）に接続することができる。



図2 センサーネット端末 JCU-921
Fig.2 Sensor Network Terminal JCU-921

表1 JCU-921主な仕様
Table 1 JCU-921 Principal Specifications

筐体構造	耐候性プラスチック筐体 (IP65相当)
外形寸法	125(W) × 175(H) × 75(D) mm
質量	1.5kg以下 (取付金具, 内蔵電池含む)
温度範囲	-20~+60℃
電源	内蔵リチウム電池 (DC+3.0V: 専用リチウム)
無線種別	920MHz帯20mW特定小電力無線 (ARIB STD T-108)
無線通信	アドホック・マルチホップ無線通信
接続段数	最大15階層
通信距離	約800m (見通し) ※電波環境や設置方法により前後
有線通信	RS-232C (アクセスポイント用)
アンテナ	内蔵アンテナ, または外部アンテナ
加速度計	MEMS式3軸デジタル加速度センサー内蔵 -2~+2G/10bit
主機能	<ul style="list-style-type: none"> ・低消費電力の待機動作 ・加速度変化 (振動) 検知による起動 ・監視局からの計測要求による起動 ・内蔵タイマによる定期起動 ・他端末無線データ受信による起動 (中継動作時) ・アドホック通信 (自律的に端末相互にネットワーク接続し, 自動的に経路確立) ・マルチホップ通信 (端末相互でのデータ中継) ・警報発生時の警報データの送信 ・加速度計測値演算処理 (実効値計算, 平滑処理) ・警報判定機能 (加速度計測値しきい値判定)

端末間の無線通信距離は「見通し800m」(仕様値)としている。しかし、山間部などの斜面は地面の起伏が多く、端末間の見通しの確保が困難であるケースが多い。このため、設置プランを検討時 (主に見通しが確認できない場合には、仕様値の半分 (400m) 以下に端末間の距離を短めに設

定するような考慮が必要である。

アドホック通信では通信先の端末と相互に通信品質の確認を行い、回線状態により最適な通信相手に切り替えることが可能なため、常に最適な通信回線環境を構築できる。

また、端末は変更可能な独自アドレスを用いて自動的にルーティング管理をするため、通信範囲内にノードがあれば回線構築が可能となる。センサーネット端末を設置する場所と、監視装置を設置する場所の間を有線回線で接続できない場合、FOMAなどの公衆回線網を利用した接続も可能である。図3 FOMA回線による接続例を示す。

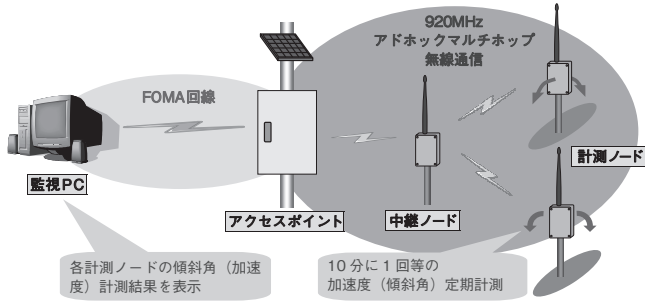


図3 FOMA回線による接続例

Fig.3 Connection Example with FOMA Service

3.2 電源

商用電源設備及び日照を確保出来ない山間部などにおいて、内蔵専用リチウム一次電池 (DC3.0V/9600mAh) により動作する。

電池の寿命は、通信可能範囲内の端末数などによる周囲環境条件により変化するが、低消費動作に特化した通信プロトコル・ファームウェアを独自に開発したため、1日数回の計測では3年前後が期待でき、長期間電池交換不要とすることができた。

3.3 センサー

従来の土石流発生検知では、ワイヤセンサーを用いていたが、1回の検知でワイヤが切断してしまい、ワイヤセンサーを復旧させないと後続流を検知できない問題があった。この問題を解決するために、本装置では、3軸加速度MEMSセンサーを内蔵し、「傾き」や「振動の大きさ」を計測することで土石流発生検知を行うことができるようにした。ワイヤセンサーと違い繰り返し土石流で生じる岩盤や構造物などの振動を検知する土石流発生検知システムを構築することができ、維持費削減や危険地帯への往來を削減することが可能となった。

センサーの計測方法は、端末起動 (自動立ち上がり方式) で計測する「自動計測」、設定したしきい値条件に達した場合に通報する「しきい値判定警報」、監視装置から手動で計測を行う「手動計測」の3種類の計測動作方法を備えている。「しきい値判定警報」は、省電力の計測を行うためのモードで、しきい値条件を満たした場合のみデータ送信する。これにより、定期的な自動計測に比べ計測や通信頻度を抑えることができ、電池の交換頻度を低減できる。このモードは、試行期間として定期的に自動計測したデータを収集・

分析し、収集データからしきい値条件を決め、警報動作モードで本運用を行うといった手順が実現できる特長がある。

3.4 監視装置

土砂災害監視システムの監視装置は、計測値や警報状態を確認できる表示装置である。また、監視装置のオプションとして、警報メール送信機能、サイレン付き回転灯による警報表示装置を追加できる。図4に監視装置画面例を示す。



図4 監視装置画面例

Fig.4 Screen Example of Supervision System

4. 施工例

4.1 のり面への施工例

のり面への施工例を図5に示す。

地面に数10cm程度打ち込んだ杭に、端末を装着し、表層的な崩落による傾斜角の変化を計測している。

道路面への装置の落下を防止するため、鋼製ワイヤーを用いて、のり面保護コンクリートに固定している。



図5 のり面への施工例 (JCU-920)

Fig.5 Installation Example for Slope Area (JCU-920)

4.2 落石現場への施工例

落石現場への施工例を図6に示す。

落石の危険性が高い岩塊に、センサーネット端末を直接取り付けられている。これにより、岩塊の傾斜変化の計測、崩落時に発生する加速度発生による通報、さらに上方からの落石がこの岩塊に衝突する際の振動発生による通報を行うことができる。

通常の施工では、施工前に設置場所の周囲環境測定し、端末の設置場所を確定した上で施工を行うが、このような危険性の高い現場では、繰り返し立ち入ることが難しいため、事前の周囲環境測定は実施せず、通信可能範囲内の端末を確認しながら、現場判断で設置場所を確定し施工する場合がある。

このように、現場条件に応じて、最適な施工方法を選択することができることも、センサーネットのアドホック・マルチホップ通信の特長と言える。

5. あとがき

無線センサーネットワークによる土砂災害監視システムの開発により、土石検知・落石検知、のり面傾斜検知の多面観測、土砂災害が発生する恐れのあるエリアにおける動きのあるデータの観測が可能となった。また、低消費動作に特化した通信プロトコル・ファームウェアをJRC独自に開

発することで、長時間の電池駆動が可能となった。今後、雨量計や風速計のような天候データなどの取り込みを行うことで、土砂災害の危険性のさらなる把握精度向上を図り、総合的な土砂災害監視システムの実現に結び付けたい。

参考文献

- (1) 国土交通省ホームページ“平成24年の土砂災害”，“平成25年の土砂災害” (<http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/jirei.html>)
- (2) 気象庁 気候庁 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書 第1作業部会報告書 政策決定者向け要約, 2014-7

用語一覧

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
(気候変動に関する政府間パネル)

ARIB: Association of Radio Industries and Businesses
(一般社団法人 電波産業会)

アドホック・マルチホップ通信:
自律的・相互的に接続し、ネットワークを構築する通信 (Multihop and Adhoc Networking)

MEMS: Micro Electro Mechanical Systems
(微小電気機械システム)

のり面: 人工的に造作した斜面

- ・ 落石発生源の岩塊に設置した振動検知ノードにより、岩の崩落(加速度発生)を検出し、落石警報を発報する。
- ・ 落石発生から数秒程度内に、監視装置およびサイレン付き回転灯で警報通知する。

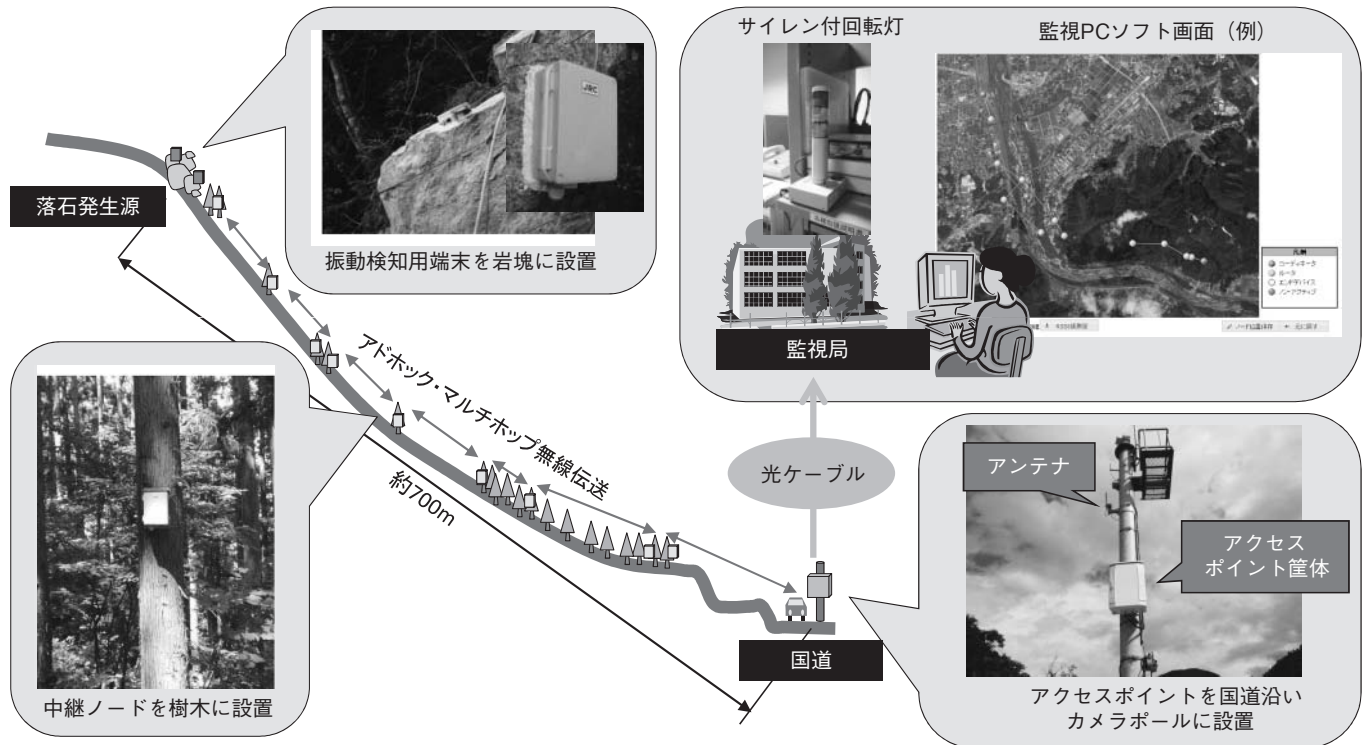


図6 落石現場への施工例 (JCU-921)

Fig.6 Installation Example for Rockfall Area (JCU-921)