

土石流検知アルゴリズムを実装した無線型振動センサーの開発

独立行政法人 土木研究所 石塚忠範、山越隆雄、武澤永純
日本工営株式会社 ○小原大輔、高橋秀、長山孝彦

1 はじめに

振動センサーは土石流を連続的に検知することのできる有効なツールであるが、検知には予め閾値を設定するほか、単純な加速度振幅のみの閾値では、誤検知する恐れもあることから、得られた加速度波形に何らかの演算処理を加える必要があることが運用上の課題の一つとなっている。

本稿では、得られた加速度波形に対し、センサー内部に実装した土石流検知アルゴリズムでリアルタイム演算処理することにより、土石流を検知する無線型振動センサーの研究開発成果について報告する。

2 開発した振動センサーの概要

2. 1 機能概要

本振動センサーは、土石流発生溪流近傍に設置し、土石流流下に伴う地盤振動を加速度波形として保存する。さらに、センサー内部の演算処理装置により、リアルタイムに加速度波形の演算処理を行い、土石流発生の有無を判定する。判定した結果を、無線を通して遠隔地へ伝達することができる。

センサーのシステム構成としては、図-1 および図-2 に示すとおりである。センサー緒元を以下に示す。

センサーには、採用実績や信頼性の面から、サーボ型加速度計を採用し、鉛直 1 成分計測とした。測定分解能を高めるため、最大加速度を 200gal とした。センサーへの供給電力については、太陽電池パネル・バッテリーの他、商用電源も可能である。センサーには、Zigbee と呼ばれる無線通信規格による無線送信機が接続され、およそ見通しで 300m 程度の伝送が可能である。また、Zigbee の特徴としては、無線中継器を用いた伝送距離延伸、いわゆるマルチホップ（多段のリレー）が可能であり、中継器が一つ故障したりして通信経路が途切れても、自律的かつ自動的に別の経路を設定する機能があり、センサーネットワークを構築できる点が挙げられる。

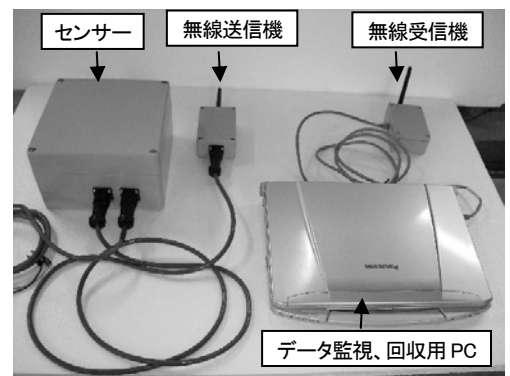


図-1 開発した振動センサーの外形

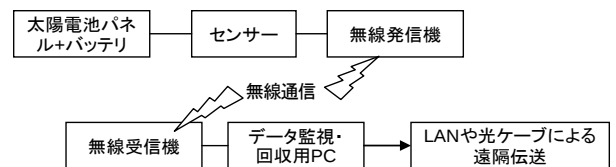


図-2 概略システム構成

センサー内部には、加速度波形を演算処理し、土石流発生を判定するアルゴリズムが組みこまれており、センサー単独での土石流検知が可能である。その仕組みとしては、土石流に伴う振動を検知すると、その波形をリアルタイム演算し、その結果が設定したある閾値を上回ると、無線を介して発生情報が PC に伝送するものである。また、無線を介して、加速度波形等データ回収可能であり、センサーから直接データ回収する手間が省ける。

2. 2 土石流検知の演算アルゴリズムについて

振動センサーの検知精度を向上させるためには、土石流と認定する振動の閾値（トリガーレベル）を、土石流の振動の特徴を踏まえたものにすることが有効であり、既往研究¹⁾では、土石流の振動は土石流の到達前から徐々に増大することが確認されている。これは振動源となる土石流がセンサーに接近することに起因しているため、本研究では、振動波形の立ち上がり形状を指標としたトリガーレベルを開発した。これは、振動波形の立ち上がり形状を指数関数で描かれる曲線にフィッティングさせ、その適合性（相関係数）を評価することで土石流の発生を判定しようとするものである。その概念図を図-3 に示す。具体には、土石流に伴う地盤振動波形をセンサーで記録し、その 1 秒間の最大値を求める。次に、その最大値の波形を指数関数で近似し、その相関係数を求める。相関

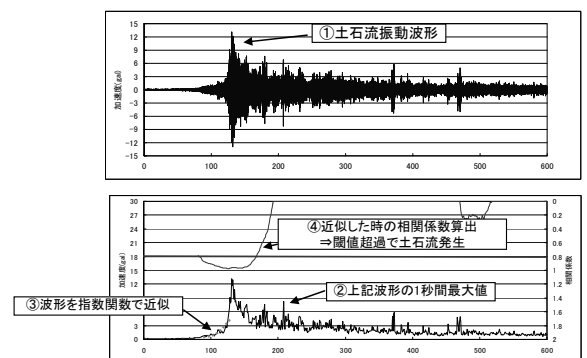


図-3 土石流検知アルゴリズムの概念図

係数が予め設定した閾値を超過した場合に土石流発生と判定するものである。判定は計測時点から前 80 秒間までのデータを利用して逐次演算する。近似する式を以下に示す。

$$Y = b \cdot \exp(at)$$

ここに、 Y : 振動の立ち上がり形状、 a 、 b : フィッティングによって得られる係数、 t : 時間(秒)

3 動作確認試験

3. 1 室内試験概要

開発したセンサーのアルゴリズムおよびデータ伝送等の動作確認を目的として、振動台にセンサーを据付け、土石流の観測振動波形や土石流検知の上でノイズとなり得る振動波形を入力波形として、センサーの室内試験を行った。使用した振動台は以下の仕様を有する。

水平用加振機 最大加速度；50G まで、加振周波数範囲 0.1～50Hz

試験においては、振動台周辺(2m 程度の離隔)に無線受信モジュールと PC を置き、検知情報伝送も確認することとした。

3. 2 試験結果

(1) 土石流に伴う振動波形の試験ケース

土石流に伴う振動波形の試験ケースとして、桜島野尻川で 2007 年 6 月 22 日発生した土石流に伴う振動の立ち上がり部分を振動台に入力した。動作確認試験結果を図-5 に示す。図-5 上が入力した土石流振動波形であり、下が振動台に波形入力した結果、センサーで得られた振動波形である。下図には、振動波形の他、演算処理結果として、立ち上がり波形を関数でフィッティングしたときの相関係数も示した。

センサー取得波形を見ると、時間 370 秒程度以降より、振幅が大きくなり、波形が立ち上がってくるのが分かった。ここで、波形取得と同時に演算した相関係数波形を見ると、波形の立ち上がりに伴い、相関係数の立ち上がりが認められ、係数が 0.8 を超過した(最大値は 0.81)。係数が 0.8 を超過した情報は、無線を介して PC に伝送され、受信でき、システム動作は問題なかった。この結果より、振動波形の相関係数を 0.8 と設定することで、土石流検知可能と考えられる。さらに今後実現象を通じ、閾値の妥当性を検討する必要があると考えられる。

(2) ノイズとなる振動波形の試験ケース

野外での振動センサーの運用にあたっては、ノイズ波形の棄却が課題となると考えられる。運用上のノイズとしては、センサー近傍での人(もしくは動物)の歩行や工事重機に伴う振動、また、落石や地震等による振動が考えられる。ここでは、紙面の都合上割愛するが、事例として、バックホウ走行時の振動波形とセンサー近傍を人が歩行した場合の振動波形を入力とした場合のケースを図-6 に示した。いずれも、相関係数は 0.4 を下回っており、閾値を 0.8 と設定すれば、ノイズとして棄却できることが分かった。

4 おわりに

得られた加速度波形に対し、内部に実装した土石流検知アルゴリズムでリアルタイム演算処理することにより、土石流を検知する無線型振動センサーを開発し、室内試験結果より、アルゴリズムや動作の妥当性を検討した。今後は、実現場に設置し、センサーの適用性を検討していく必要がある。

参考文献 1)例えば、諏訪ら：地盤振動計測に伴う土石流の規模推定，砂防学会誌，Vol.52，No.2，pp.5-13,1999。

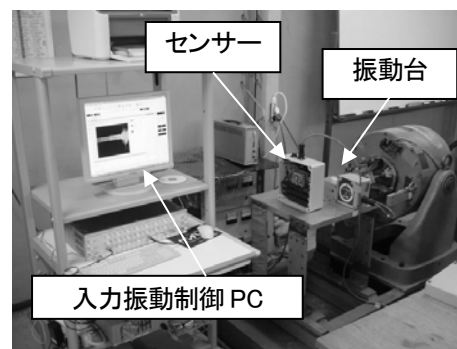


図-4 振動台実験の様子

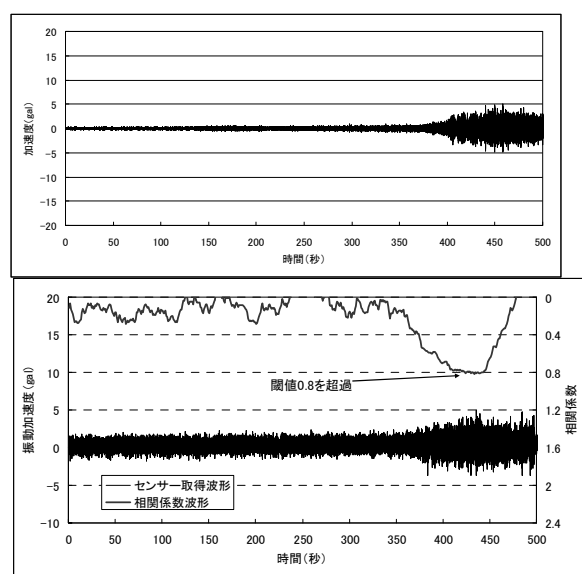


図-5 振動台実験結果

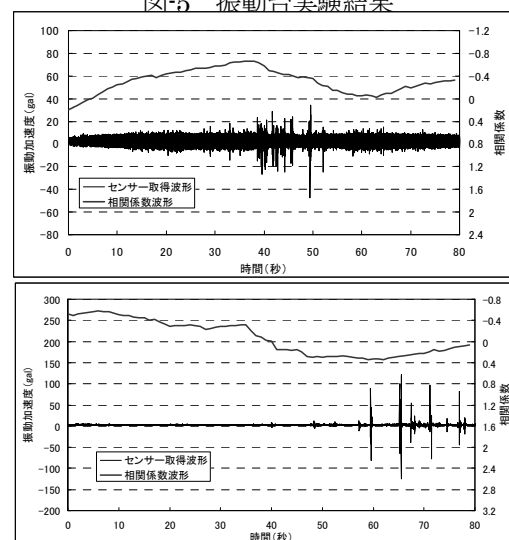


図-6 振動台実験結果

(上 バックホウ走行、下 人歩行)