

深層崩壊に備えた 大規模土砂移動検知センサーの設置

四宮 隆司

四国地方整備局 四国山地砂防事務所 調査課 (〒779-4806 徳島県三好市井川町西井川 68-1)

近年、地震や豪雨等に伴う深層崩壊の発生による大規模土砂災害が多発している。山間部では早期の被災箇所特定が困難であり、天然ダム形成や集落孤立化等の発見が遅れる可能性もある。土砂災害防止法に基づく緊急調査の迅速化や避難勧告への活用を図るため、悪天候時や夜間でも監視が可能な大規模土砂移動検知センサーの配置計画検討・設置を行った。

キーワード 深層崩壊、大規模土砂災害、緊急調査、地盤振動

1. 背景・目的

近年、地震や豪雨等に伴って深層崩壊・地すべり等の大規模土砂移動現象の発生による土砂災害が多発している。平成 23 年の台風 12 号に伴う豪雨災害では、広域かつ同時多発的に土砂災害が発生し、発生状況の把握に時間を要したため、市町村が適切に住民の避難指示の判断等を行うことが困難であった。

大規模土砂移動検知センサー・システムは、悪天候時や夜間でも広域に斜面を監視し、早期の情報提供を可能にすることで、土砂災害防止法に基づく緊急調査の迅速化や避難勧告への活用を図ることを目的としている。

平成 24 年度四国山地砂防事務所においては、大規模土砂移動検知センサーの配置計画（全体計画：27 基）を検討するとともに、センサー設置（平成 24 年度分：7 基）および自動検知システムを構築した。

＜平成 24 年度対象箇所＞

センサー配置計画 … 四国全域

センサー設置 … 徳島県 2 基、高知県 5 基

なお、センサー設置にあたっては、土木研究所資料第 4229 号「大規模土砂移動検知システムにおけるセンサー設置マニュアル（案）、平成 24 年 6 月、（独）土木研究所 土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム」に基づいて行った。

2. 検知手法の概要

(1) 検知システム概要

大規模土砂移動検知システムは、大規模崩壊が

発生する際の地盤振動を観測・解析し、発生位置と時刻を推測するシステムである。

図 2-1 のように、3 点以上のセンサーで地盤振動を検知して発生位置を推測する。

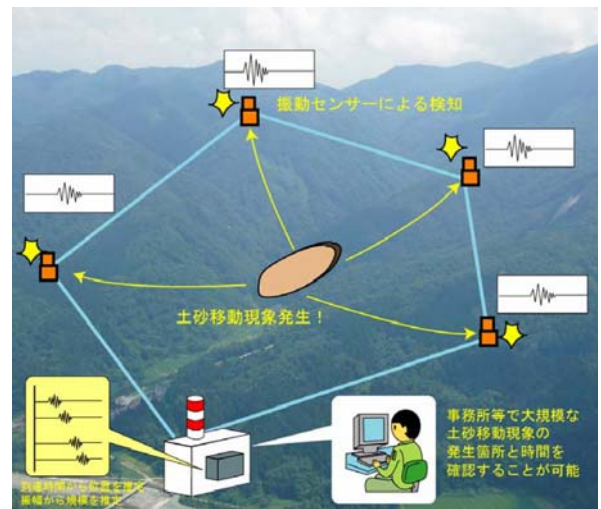


図 2-1 大規模土砂移動検知システムのイメージ
（「大規模土砂移動検知システムにおけるセンサー設置マニュアル（案）、平成 24 年 6 月」より引用）

(2) 検知センサー概要

検知センサーは、直径 80mm×長さ約 80cm の円柱形であり、微小な振動を精度良く計測できる。

- ・計測方式：サーボ式速度計
- ・計測成分：3 成分（水平 2、鉛直 1）
- ・測定範囲：±200kine（=2m/s）
- ・測定周波数：0.018～100Hz

検知センサーは、崩壊以外の要因による振動ノイズを低減させるため、ボーリング等により地中深くの安定した地盤に埋設する。

また、センサー付近にデータ伝送装置等の機器類を収納する観測局を設置し、電源および通信回線を接続する。

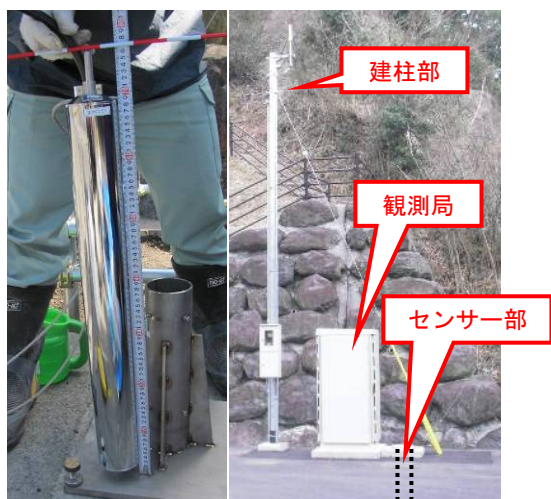


写真 2-1 検知センサー

3. センサー配置計画

(1) 配置検討・検知対象規模

センサー配置対象範囲は四国地方全域であり、深層崩壊推定頻度の特に高い地域・高い地域および既往崩壊実績の近辺をカバーする配置を検討した。

また、既往文献等によれば四国地方では全 26 箇所 で深層崩壊発生の記録がある。深層崩壊の規模は約 1 万 m³～約 430 万 m³で、平均値は 102 万 m³となる。また、四国地方で確認されている天然ダム規模は 100 万 m³前後である。

大規模土砂移動検知センサーによる検知対象規模は、四国地方における深層崩壊規模の平均値および天然ダム規模の事例を参考に **100 万 m³**と設定した。

(2) センサー設置箇所の現地条件

センサー設置箇所の現地条件を以下に示す。

- ① 地盤が安定している場所
- ② 電源・通信回線が利用できる場所
- ③ ボーリングや観測局設置が可能な場所

センサー設置候補地は、上記条件を机上・現地にて確認し鉄道・交通量の多い道路付近を避けて検討するとともに、常時微動計測を行って振動ノイズによる影響が小さい箇所を選定した。

(3) 配置間隔

崩壊発生に伴う振動は距離が離れると減衰して振幅が小さくなるため、検知センサー設置箇所の振動ノイズが常時大きいと紛れて区別できなくなる可能性がある。したがって、検知センサーの配置間隔は、検知対象とする崩壊規模 100 万 m³による振動が検知

センサー設置箇所の常時微動よりも大きくなるように距離設定する必要がある。

既存の研究成果によれば崩壊規模に対する振動振幅・検知距離の関係式が提案されており、この関係式と各候補地の現地調査結果を踏まえて、大規模土砂移動検知センサーの詳細配置計画を行った。

常時微動計測結果によれば、ほぼ全箇所 で常時微動が 0.1mkine 以下と小さいことから、検知可能振幅閾値を 0.2mkine、検知可能距離を 39km と設定した。ただし、No. 4、6 の 2 箇所については常時微動が 0.2～0.3mkine とやや大きいため、検知可能振幅閾値を 0.4mkine、検知可能距離を 26km と設定して詳細配置を検討した。

その結果を踏まえ、既往崩壊実績の分布エリアを全てカバーし、深層崩壊推定頻度の特に高いエリア・高いエリアのほぼ全域をカバーできる配置とした。

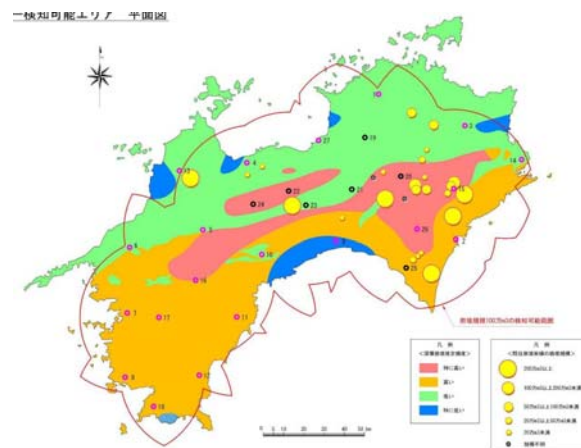


図 3-1 検知センサー配置計画平面図

4. センサー設置方法

土砂移動現象の振動の大きさは微小であるため、土砂移動現象の振動を検知するためには常時の振動ノイズをできる限り低減させる必要がある。

本検討による検知センサー対象箇所は、現地調査結果から表土層が分布しており地表に露岩が認められないため、ボーリングにより岩盤層まで掘削して孔壁保護工を実施した後に検知センサーを設置した。

(1) 掘止判断基準

ボーリングの掘止めは、既往文献を参考に、軟岩・中硬岩を 5m 以上かつ N 値 50 以上を 3 回、もしくは硬岩を 3m 以上かつ N 値 50 以上を 1 回確認し、検知センサーの設置分 1m を掘削した時点とした。

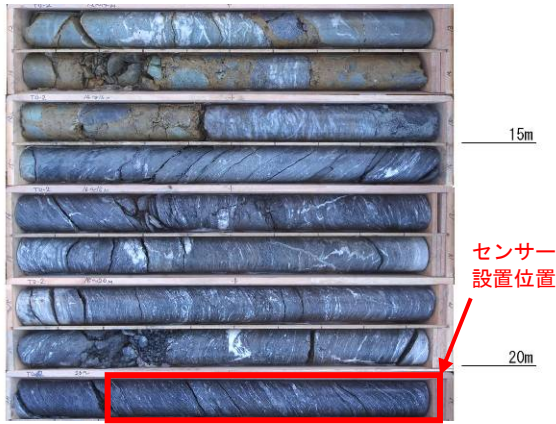


写真 4-1 ボーリングコアの例 (名頃地区)

(2) センサー設置の最低掘削深度

四国地方は付加体地質や断層・破碎帯の影響を受けた脆弱な地質が分布し、表層部に厚い土砂層～強風化層が分布し基盤岩が深い可能性がある。また、センサー設置箇所における既往調査ボーリングによれば、基盤岩深度は 10m 前後が多い。

以上より、検知センサーの設置に適した安定した基盤岩は、平均的に地表面下 10m 以深に分布すると考えられ、確実に振動を検知するために**センサー上端を地表面下 15m 以深に設置**することとした。

(3) センサー設置時の留意点

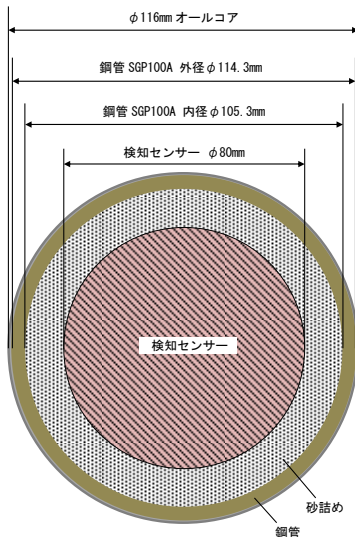
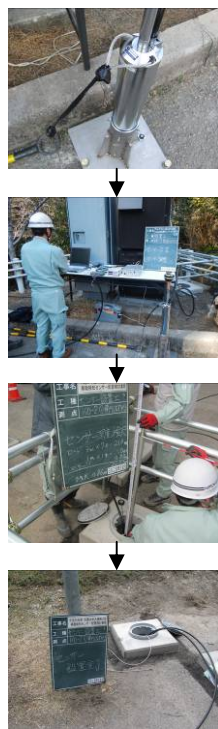


図 4-1 センサー孔断面図

写真 4-2 センサー設置状況



センサーを設置する際の主な留意点を以下に示す。

- ① センサーに衝撃を与えないよう、単管、ワイヤー、テーブル等により作業性を確保する。
- ② 常時微動を計測しながらセンサーを設置し、センサー設置前、設置中、設置後、砂詰め後の各段階において異常のないことを確認する。
- ③ センサー設置後にコンパスで方位を磁北に合わせる際、磁力による誤差が生じないように周囲の単管を撤去する。
- ④ 設置後のズレや振動を防ぐため、センサーケーブルを固定する。

5. システムパラメータ設定

過去の大規模土砂崩壊（大用知、平鍋地区）を対象に、地域周辺の Hi-net データを収集、解析し、地域特性（振動振幅や継続時間など）を反映したシステムパラメータを検討した。なお、今後のデータ蓄積と合わせて設定値を更新する予定である。

(1) 卓越周波数(観測閾値の設定)

大用知の崩壊では、大きく卓越する周波数帯は、1～5Hz 程度であった。

平鍋の崩壊では、大きく卓越する周波数は 1～3Hz 程度だったが、北川地区以外の観測点については、スペクトル変化は不明瞭であった。以上より、1～5Hz が卓越する可能性があるため、少なくともその周波数帯は遮断しないこととした。

また、大規模土砂移動を検知する振動センサー設置後のデータを対象に分析を行い、フィルタ処理の閾値（遮断振動周波数）を検討した。

その結果、各観測局におけるセンサー設置後の常時微動は、1～10Hz のフィルタ処理を用いた場合でも暗振動で鉛直成分 0.1mkine を下回っていた。したがって、現時点においては**フィルタ処理の閾値として 1～10Hz** が適当と考えられる。

(2) 継続時間(観測閾値の設定)

2004 年大用知の崩壊、2011 年平鍋の崩壊事例より、深層崩壊の継続時間としては、その長さは観測地点と崩壊地点の距離に依存するが、おおよそ 10～60 秒程度と考えられる。

ノイズ除去の継続時間については、センサー設置後間もないため、今後データを蓄積する必要があるが、上記の深層崩壊の事例より、継続時間が 10 秒程度以上であったことから、10 秒程度で閾値を設けることも可能と考えられる。

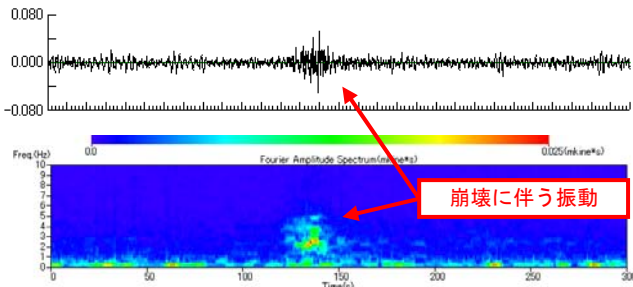


図 5-1 大用知地区の崩壊発生時の地盤振動の例
(Hi-net 貞光観測点、上下成分)
(上グラフ：速度 mkine、下グラフ：振動数 Hz)

(3) 地盤伝搬速度(崩壊発生位置の推定)

3 地点で明瞭に深層崩壊に伴う振動が観測された大用知の崩壊で、崩壊震源推定シミュレーションを行った。観測地点での最大振幅が見られた時刻を読み取り、それを入力データとして震源決定を実施した。実施に当たっては、地盤を伝達する振動の伝搬速度(弾性波速度)を仮定する必要があるが、これは、1~2.5km/sec の間で変化させ、実際の崩壊位置と比較した。

その結果、下図のとおり、**弾性波速度 1.4km/sec** の場合が、推定位置が最も発生位置に近づいた。差異は 5.7km であった。

震源決定の際に必要な地盤の伝搬速度としては、大用知の崩壊事例より、速度 1.4km/sec が望ましいと考えられる。

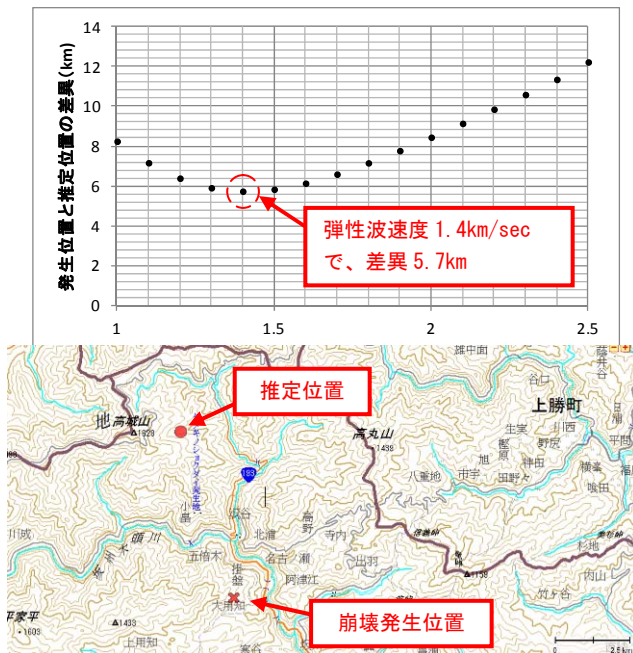


図 5-2 地盤振動シミュレーション結果

6. 今後の課題

(1) センサー設置後の振動データの考察

常時微動計測結果と検知センサー設置後の振動データは、両者ともに 0.1mkine を下回っており概ね安定した結果が得られている。

今後の振動データを収集整理し、設置深度や地形・地質の特徴と振動レベル等との関係を解析し、効率的かつ精度の高い振動データを得るための検知センサー設置深度等を計画することが望ましい。

(2) パラメータのチューニングによる検知精度向上

当該システムでは、土砂移動現象に伴う振動を複数の観測点で検知し、その振動記録から当該現象の発生位置や規模を推定するものである。その他複数の観測点で振動が記録される現象としては地震があり、地震と土砂移動現象の識別は重要である。

当該システムを運用することにより、四国地域周辺で発生する地震を観測することになるため、当該記録を収集して、土砂移動現象との識別指標(卓越周波数、継続時間、波形エンベロープなど)を検討することが必要である。

(3) 総合的な流域監視

広範囲にわたり発生する災害の監視を行うにあたって、多種の技術手段を駆使し、複数の監視システムを連動させ、総合的な大規模崩壊の監視を行うことが重要である。

これまで、土石流振動センサやワイヤセンサによる降雨時の土石流発生検知、水位計による土砂ダム下流の流量変化監視、ハイドロフォンによる土砂管理に資する溪流の流量、流砂量把握などが行われてきた。

今後、本システムとこれらのシステムを連動させ、各技術手段の利点・特徴を活用し、総合的な監視システムを構築することによって、崩壊発生を検知がさらなる精度よく行えることが期待される。

(4) 大規模崩壊発生時の危機管理体制

本システムによる大規模土砂移動を検知されることに備え、「緊急調査実施」の判断を含めた各関係機関が取るべき行動を時系列的に整理し、各関係機関の役割や伝達・共有が必要となる情報の内容を抽出し、適切な情報の表示内容、表示形式、伝達手段の検討が必要である。また、既往災害のデータを用いて、実際の発災を想定したシナリオを作成し、机上演習を行うことが望ましい。