

深層崩壊に備えた大規模土砂移動検知センサーの設置

四国山地砂防事務所
調査課 四宮 隆司

1. はじめに

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号による豪雨災害では、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構築を実施した。平成25年度は昨年度に引き続いて、14基のセンサーの設置を進めている。（センサー配置計画 … 四国全域 図3-2）

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。

(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）
- ・計測成分：3成分（水平2、鉛直1）
- ・測定範囲： $\pm 200\text{kin/s}$ ($= 2\text{m/s}$)
- ・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。

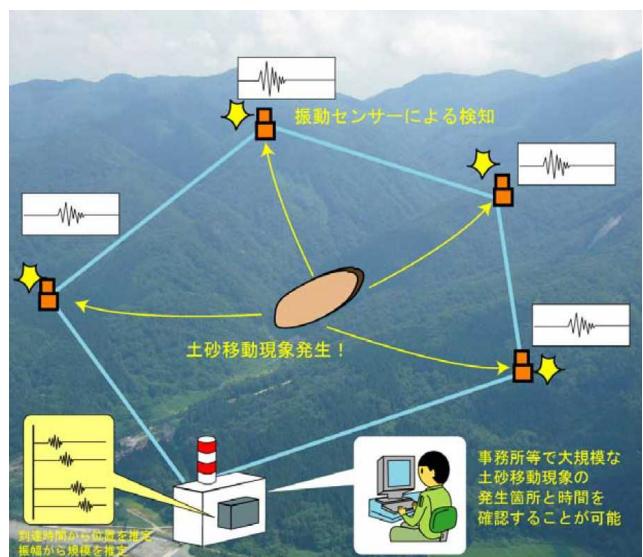


図2-1 大規模土砂移動検知システム

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り、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。

以上より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としては、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が挙げられる。

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等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長くな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すべてカバーし、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。

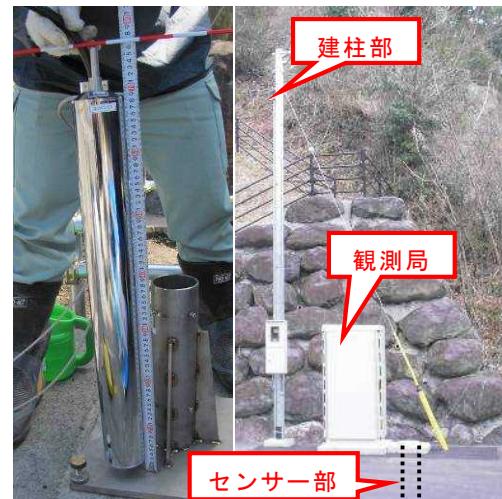


図3-1 センサーの設置例

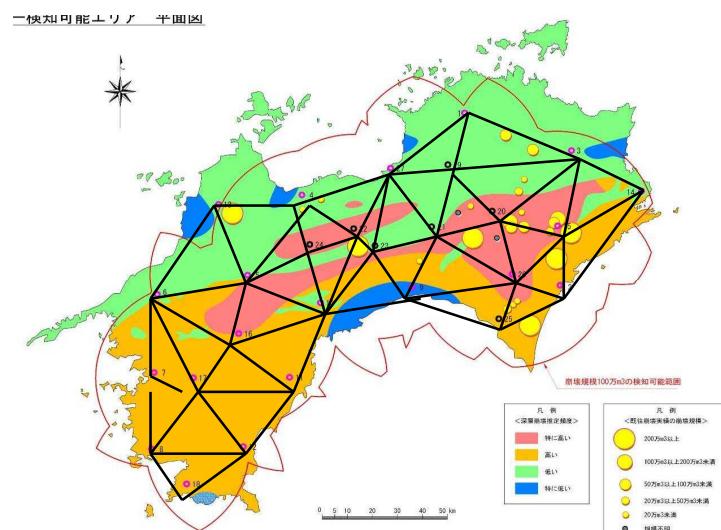


図3-2 検知センサー配置計画平面図

4. センサー設置方法

(1) 常時微振動

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。

(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まで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では、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。



図4-1 ボーリングコアの例（名頃地区）

5. パラメータの設定

過去の大規模土砂崩壊（2004年徳島県那賀郡那賀町大用知、2011年高知県安芸郡北川村平鍋）を対象に、地域周辺のHi-netデータを収集・解析し、地域特性を反映したシステムパラメータを検討した。

(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（図5-1）。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では、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)

大用知・平鍋の崩壊事例より、深層崩壊の継続時間は観測地点と崩壊地点の距離に依存するが、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。

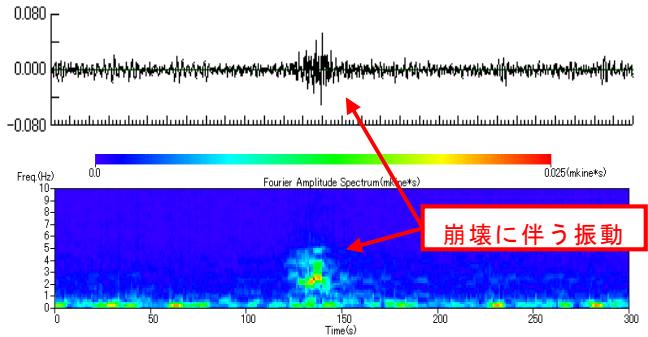


図5-1 大用知地区の崩壊発生時の地盤振動の例

（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。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、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、弾性波速度1.4km/secの場合に推定位置が最も発生位置に近づき、差異は5.7kmであった（図5-2）。震源決定の際に必要な地盤の伝搬速度としては、大用知の例より、速度1.4km/secが望ましいと考えられる。

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・地質的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に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。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は、多種の技術手段を駆使しながら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、土石流振動センサーやワイヤセンサーによる降雨時の土石流発生検知、水位計による天然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渓流の流量・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で、崩壊発生検知の精度向上が期待される。

(4) 大規模崩壊発生時の危機管理体制

本システムにより大規模土砂移動が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情報伝達・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。

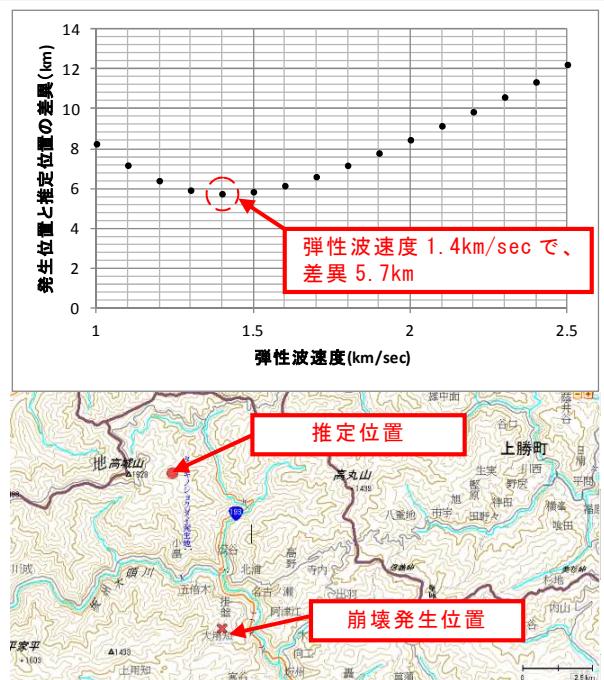


図5-2 地盤振動シミュレーション結果