

## 土砂移動現象に伴い発生する地盤振動の特徴

国立研究開発法人土木研究所 木下篤彦, 高原晃宙  
 国土交通省北陸地方整備局 長谷川真英, 梅田ハルミ  
 一般財団法人砂防・地すべり技術センター ○浅原 裕, 嶋 大尚  
 株式会社エイト日本技術開発 海原荘一

### 1. はじめに

深層崩壊をはじめとする大規模な土砂移動現象の発生時には、高感度の振動センサを使えばその地盤振動を観測できることが知られている。この地盤振動を使って土砂移動現象の発生を検知することや、その発生位置を推定する研究は国内外で行われている。一方で、土砂移動現象によって発生する地盤振動を検知しようとする場合には、振動の大きさは非常に微弱なもの（常時微動レベルの数倍程度）であることから、高感度の振動センサで観測されるごくわずかな振動までも拾い上げなければ、目的の振動を見逃すこととなる。ごく微弱な振動を拾い上げると、土砂移動現象に伴う地盤振動のみでなく、遠地の大規模地震、近隣で発生する微小地震、鉱山・碎石場における発破、工場・交通等によるごくローカルな人工振動など、様々な振動を検知することとなる。観測される地盤振動の中から深層崩壊などで発生する地盤振動を抽出しようとした場合、深層崩壊の発生頻度を考慮すれば、通常観測される振動のほぼ全てが目的外の振動であり、その中から目的の地盤振動を見極めることが大変困難な問題であるのは、容易に想像できよう。

既往の研究では、国内・国外ともに、規模の大きい深層崩壊などの個々の事例で観測された振動の周波数特性や震源決定結果などの報告が多いが、多くの深層崩壊事例を扱ってその地盤振動の特徴を系統的に調査した例は少ない。しかし、土砂移動の発生を地盤振動により検知しようとした場合、その特性がどのようなものであるかを把握することは不可欠である。そこで本研究では、過去に国内で発生した深層崩壊事例、土石流事例について、その現象に伴い発生する地盤振動の特徴について調査を行った。また、同程度の振幅となる遠地地震、近傍の微小地震などによる地盤振動との比較を行った。

### 2. 深層崩壊・土石流に伴う地盤振動記録の収集

国内で高感度な地震観測網が整備され、観測された連続記録が公開されている 2000 年頃以降に発生した深層崩壊・土石流について、土砂移動現象に伴う地盤振動が観測されているかの調査を行った。対象事例は、土木研究所がまとめた「過去の深層崩壊事例について（～平成 22 年度）」<sup>1)</sup>を中心とした。ここで、地震に伴い発生した深層崩壊については、地震による振動のほうに圧倒的に大きいため、除外した。対象とする振動記録は、土石流が流下する溪流直近に設置した振動センサによるデータではなく、現象発生地点から数十 km 離れた場所で観測される地盤振動である。国立研究開発法人防災科学技術研究所の高感度地震観測網（Hi-net）と広帯域地震観測網（F-net）を振動記録収集の対象とした。Hi-net は全国約 20 km 間隔で設置されており、全国に約 800 点ある。F-net は全国に約 70 点ある。

調査を行うには、その発生時刻がある程度ははっきりしている（最大でも 2, 3 時間程度の幅）ことが必要であるが、まずそういった事例に限られていることが分かった。発生推定時刻は、様々な調査・解析によっても半日から数日程度の幅を持つ事例が多い。発生時刻が分からなければ、近隣の地震観測点でそれらしき地盤振動が得られていたとしても、その現象に伴うものであるかどうか確証を持ってない。深層崩壊については 32 事例、土石流については 14 事例を対象に調査した結果、深層崩壊については 18 事例 244 波形、土石流については 2 事例 8 波形の地盤振動が得られた。地盤振動が得られた事例を表-1 に示す。約半数は、平成 23 年台風 12 号時の紀伊半島の事例とその再崩壊事例である。深層崩壊 No. 11 の事例は調査した中で最大の崩壊土量の事例であるが、深層崩壊による地盤振動と遠地地震による地盤振動が時間的に重なっており、分離ができないために以下の解析対象からは除外した。土石流事例については、崩壊土量が多くて数万 m<sup>3</sup> 程度と深層崩壊事例と比べて小さいためか、ほとんどの事例で土砂移動に伴う地盤振動は観測されていなかった。

表-1：地盤振動が観測された深層崩壊・土石流事例

| No. | 深層崩壊・土石流発生場所       | 発生日時             | 崩壊土量(万m <sup>3</sup> ) | 波形取得数 | 備考          |
|-----|--------------------|------------------|------------------------|-------|-------------|
| 1   | 山梨県南巨摩郡早川町間ノ岳      | 2004/05/11 11:47 | 50                     | 47    |             |
| 2   | 石川県白山市(別当谷)        | 2004/05/17 16:31 | 8                      | 2     |             |
| 3   | 徳島県那賀郡那賀町(大用知)     | 2004/08/01 20:23 | 65                     | 8     |             |
| 4   | 徳島県那賀郡那賀町(阿津江)     | 2004/08/01 22:54 | 24                     | 3     |             |
| 5   | 奈良県五條市大塔町宇井        | 2004/08/10 00:17 | 20                     | 2     |             |
| 6   | 宮崎県東臼杵郡美郷町(野々尾)    | 2005/09/06 21:49 | 330                    | 9     |             |
| 7   | 奈良県五條市大塔町(川原樋川)    | 2011/09/03 18:46 | 606                    | 3     |             |
| 8   | 奈良県五條市大塔町(川原樋川)    | 2011/09/03 20:12 | —                      | 6     | No.7で複数回崩壊  |
| 9   | 奈良県吉野郡十津川村宇宮原(濁谷川) | 2011/09/04 02:13 | 277                    | 2     |             |
| 10  | 和歌山県田辺市熊野(熊野)      | 2011/09/04 06:54 | 410                    | 6     |             |
| 11  | 奈良県吉野郡十津川村(栗平)     | 2011/09/04 08:06 | 2500                   | 34    | 遠地地震波形と重なる  |
| 12  | 奈良県吉野郡十津川村(栗平)     | 2011/09/04 08:11 | —                      | 5     | No.11で複数回崩壊 |
| 13  | 奈良県吉野郡十津川村(長殿)     | 2011/09/04 10:45 | 634                    | 19    |             |
| 14  | 奈良県五條市大塔町清水(赤谷)    | 2011/09/04 16:22 | 936                    | 23    |             |
| 15  | 三重県多気郡大台町桧原(東又谷)   | 2011/09/04 14:56 | 不明                     | 7     |             |
| 16  | 静岡県浜松市天竜区水窪町       | 2011/09/04 18:07 | 150                    | 41    |             |
| 17  | 奈良県五條市大塔町清水(赤谷)    | 2013/09/21 02:35 | 42                     | 12    | No.14の再崩壊   |
| 18  | 奈良県五條市大塔町清水(赤谷)    | 2014/08/10 07:27 | 76                     | 15    | No.14の再崩壊   |
| 19  | 愛媛県西条市東之川丙         | 2012/09/04 10:00 | 不明                     | 3     |             |
| 20  | 長野県木曾郡南木曾町読書(梨子沢)  | 2014/07/09 17:41 | 2.6                    | 5     |             |

### 3. 地盤振動の特徴解析

得られた地盤振動について継続時間と卓越振動数を調査した。あらかじめトリガレベルを常時微動の何倍かで設定しておき、継続時間は、トリガレベルを超えてから下回るまでの時間(秒単位)として定義した。卓越振動数は、トリガ前後のフーリエスペクトル比について1 Hzごとの相乗平均値を求め、最大になる区分と定義した。このようにして求めた継続時間・卓越振動数について、同程度の振幅の波形の遠地地震、微小地震と比較したものが図-1である。

継続時間の分布(図-1(a))では、深層崩壊の振動は微小地震より長く、遠地地震よりも短い。ただし、30秒前後では各現象の分布が重なるため、継続時間のみで深層崩壊の振動であると判断することは難しいが、継続時間が長すぎる、あるいは短すぎるものは深層崩壊の振動ではないと判断できる可能性がある。一方、卓越振動数(図-1(b))については、深層崩壊と遠地地震の分布が類似している。微小地震の分布は、これらとは大きく異なる。このことから、卓越振動数の特徴の違いは深層崩壊と微小地震を区別するのに有効であることが分かる。

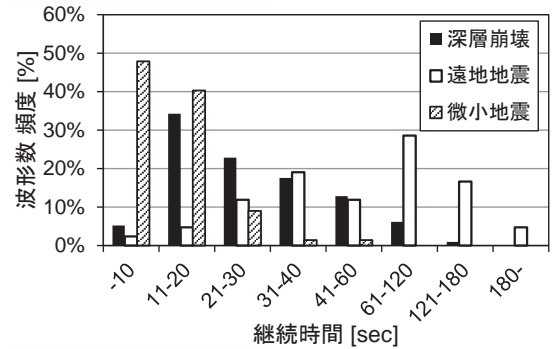
### 4. まとめ

大規模土砂移動現象に伴う地盤振動の特徴を把握するため、これまでに国内で発生した深層崩壊・土石流時の振動記録を収集・整理した。さらに、その継続時間および卓越振動数について、同程度の振幅である遠地地震、微小地震との比較を行った。継続時間・卓越振動数およびこれらの組み合わせにより、深層崩壊・遠地地震・微小地震をある程度区別することは可能であるが、完全に区別できるわけではないことが分かった。ここで検討した以外の特徴で事象の分離に使えるものがあるかを検討するのが今後の課題である。

### 参考文献

- 1) 国立研究開発法人土砂研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム：過去の深層崩壊事例について(～平成22年度), [https://www.pwri.go.jp/team/volcano/tech\\_info/study/h23\\_fy2011/past\\_dscl-list20120117.pdf](https://www.pwri.go.jp/team/volcano/tech_info/study/h23_fy2011/past_dscl-list20120117.pdf), 参照 2016-04-01.

(a) 継続時間



(b) 卓越振動数

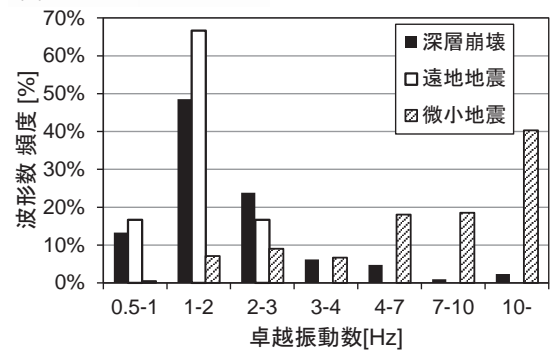


図-1：深層崩壊・遠地地震・微小地震の現象種別ごとの波形特性：(a) 継続時間, (b) 卓越振動数。