

大規模土砂移動の発生検知に関わる 地盤振動の到達範囲と地盤構造の関係

THE RELATION BETWEEN THE RANGE OF THE GROUND MOTION AND
GEOLOGICAL STRUCTURE FOR DETECTION OF LARGE-SCALE SEDIMENT
MOVEMENT

海原 荘一¹・木下 篤彦²・只熊 典子¹・高田 隆行¹・浅原 裕³
長谷川 真英⁴・梅田 ハルミ⁴

Soichi KAIHARA, Atsuhiko KINOSHITA, Noriko TADAKUMA, Takayuki TAKATA,
Hiroshi ASAHARA, Masahide HASEGAWA and Harumi UMETA

¹株式会社エイト日本技術開発 (〒700-8617 岡山市北区津島京町3丁目1-21)

²国立研究開発法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

³一般財団法人砂防・地すべり技術センター (〒102-0074 東京都千代田区九段南4-8-21)

⁴国土交通省北陸地方整備局 (〒950-8801 新潟県新潟市中央区美咲町1-1-1)

Key Words: Large-scale sediment movement, Ground Motion, Geological Structure

1. はじめに

深層崩壊などの大規模な土砂移動が生じた場合、天然ダム等を形成し、越流侵食によって湛水が下流に流出して、下流域では急激な流量の増大により、著しい浸水被害等が生じる可能性がある。

平成23年台風12号のように深層崩壊が集中して発生した場合¹⁾には、交通網の寸断や気象条件により空中からの調査が早期に実施不可能なため、天然ダム形成の発見までに長時間を要することもあり、豪雨災害における深層崩壊などの大規模な土砂災害の早期発見が重要な課題となっている。

一方で、国立研究開発法人防災科学研究所の高感度地震観測網 Hi-net(以下、「Hi-net」という)や広帯域地震観測網 F-net 等の地震観測網では、発生位置から数十 km 離れた観測局でも深層崩壊等の大規模な土砂移動発生時の地盤振動を捉えることができることが明らかとなっており^{2),3)}、大規模な土砂災害の発生位置、発生時刻等を知るための有効な手段として

大規模土砂災害発生時の振動センサーによる地盤振動データの活用が期待されている。また、災害発生時に目撃証言等のデータが得にくい土砂災害時の土砂移動状況を知るための有効な手段にもなっている。

広域の地震観測網等によって、深層崩壊の規模ごとにどの程度の振幅の地盤振動が生じるかについては、深層崩壊の多発した平成23年台風12号時の地盤振動データを用いた研究事例⁴⁾があるものの、中には小規模ながら遠方の観測局まで、地盤振動が到達している事例もあり、どのような条件の観測局が地盤振動を捉えやすいのかについては、未だ明らかになっていない。

そこで、本研究では過去の深層崩壊事例において、地盤振動による大規模な土砂移動の検知を考える上で重要となる観測所のノイズレベル及び地盤構造と地盤振動の検知・非検知の関係を検討した。

2. 大規模土砂移動時の地盤振動の検知方法

(1) 地盤振動の検知方法の概要

広域の観測網の地盤振動データによる深層崩壊等の大規模な土砂移動の検知方法としては、各観測局の上下成分を対象とし、数秒間という短期間の振幅の平均値(STA : Short Time Average)が、図-1のように普段の振幅である長期の振幅の平均値(LTA : Long Time Average)の数倍として設定するトリガレベルを一定期間以上超過することで、その観測局は地盤振動などの振動が生じたことを検知したものとした。また、3 箇所以上の観測局がトリガレベルを超過した場合に、地震の震源決定方法²⁾でその推定震源位置(深層崩壊発生箇所)を求めるものとした。

なお、LTA はその観測局のノイズレベルの大小を示す指標であり、自動車通行時の振動等による生活ノイズの大きいところは値が大きくなる。

(2) STA 及び LTA の算定方法

Hi-net の観測所の振動センサーは速度計を用いており、各観測所の地盤振動データとしては 100Hz サンプルング(1 秒間で 100 個のデータを取得)の速度値が得られる。(1)に示した STA や LTA の値は各観測局の振動データから式(1)に示す二乗平均平方根を求めて算定したものである。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (y(n))^2} \quad (1)$$

ここに、 y : i 秒目 j 番目の速度成分データ

N : 1 秒間のサンプル数

また、過去の深層崩壊時の地盤振動解析事例⁵⁾では卓越周波数の範囲は、1~2Hz が卓越している事例が多いものの、中にはそれよりも少し高い周波数が卓越しているケースもあるが、概ね 1~7Hz の範囲である。よって、土砂移動による地盤振動以外のノイズとなる振動の影響を低減するため、STA や LTA などの振幅の算定にあたっては、速度値の生データ

に 1~7Hz のバンドパスフィルタで処理したものを用いた。

(3) トリガ超過の条件及び LTA とトリガ超過の関係

本研究では検知・非検知を判断するトリガレベルについては LTA の 1.75 倍とし、トリガ超過秒数 4 秒として、STA がトリガ条件を満足した場合に深層崩壊による地盤振動を検知したものと定義した。

したがって、LTA が大きい観測局はトリガレベルも大きくなるため、土砂移動による地盤振動の規模が同程度でも、LTA の大きい観測局の方が検知しにくい。

3. 検討に用いた地下構造のデータ

(1) 土砂移動時の地盤振動と距離減衰の関係

深層崩壊時の地盤振動は発生位置から遠くなるほど振幅が小さくなる、いわゆる距離減衰の影響を受ける。一般的に地盤振動の距離減衰は弾性波速度の影響を受け、震源である大規模土砂移動発生箇所や観測局の地盤の弾性波速度が小さい場合は土砂移動発生箇所の周辺観測局で検知しにくいと考えられる。

距離減衰は地盤振動の周波数によって異なり、周波数が大きいほど距離減衰は大きい⁶⁾、過去の深層崩壊を対象とした研究事例では、既存の深層崩壊の卓越周波数は 1~2Hz のものが多くを占めており⁵⁾、どの大規模土砂移動のイベントでも概ね同程度の卓越周波数であると考えられる。

また、奈良県五條市赤谷地区での 2011 年深層崩壊時と 2014 年の再崩壊時の事例では 2 事例とも弾性波速度が V_s =約 3km/s となっており^{2),7)}、深層崩壊時の地盤振動は地中奥深くを伝播する実体波であると考えられる。

本研究では検知・非検知に関する地下構造のデータとして、観測局や震源の硬質な地盤の深さ(V_s =約 3km/s 層の深さ)に着目することとした。

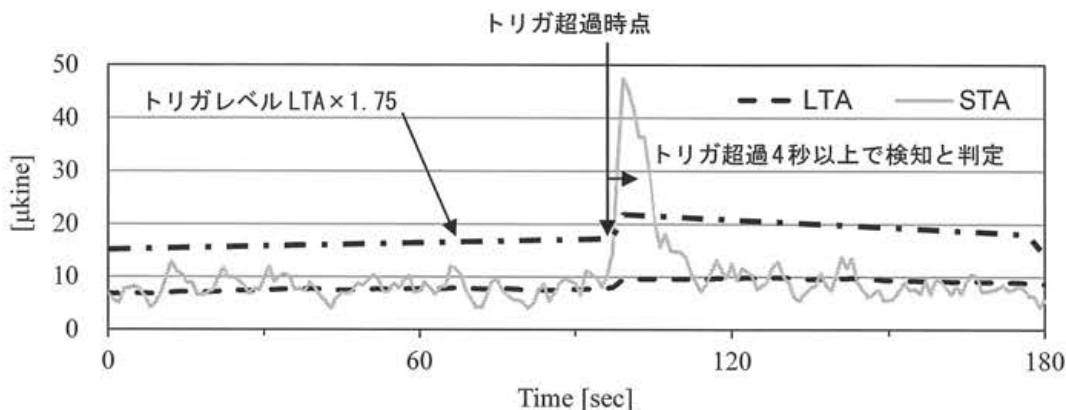


図-1 STA と LTA 及びトリガレベルの概念図

(2) 地盤構造モデルのデータ

弾性波速度が V_s =約 3km/s の地層の深さの分布に関する資料としては、各種物理探査や地震観測記録を組み合わせ構築されている国立研究開発法人防災科学技術研究所の地震ハザードステーション(J-SHIS)で公開されている「深い地盤構造モデル」のデータ⁸⁾を用いるものとした。

本研究ではこの深い地盤構造モデルのうち、過去の大規模土砂移動時の地盤振動の伝播速度 V_s =3km/s に近い J-SHIS の弾性波速度 2.9km/s 層(第28層)の深さと検知状況を比較することとした。

例えば、地表からの 2.9km/s 層が深ければその箇所は地盤の弾性波速度が小さいため、深層崩壊発生時の地盤振動の距離減衰が大きいと考えるというものである。

4. 大規模土砂移動時の地盤振動の検知・非検知と地盤構造の関係

過去の 20 の大規模土砂移動事例について、第 2 章で述べた検知の定義に基づき Hi-net 観測所等の検知・非検知を確認した。なお、この 20 事例は Hi-net データ公開年(2004 年)以降において、崩壊規模が大きく、2.(2)に示す算定方法で崩壊による地盤振動を検知できた事例を選定した。

20 イベントのうち代表として、地域や規模の異なる間ノ岳(2004 年、崩壊土砂量 50 万 m^3)⁹⁾、長殿地区(2011 年、崩壊土砂量 634 万 m^3)¹⁾、大用知地区(崩壊土砂量 55 万 m^3)¹⁰⁾について、第 3 章で述べた深い地盤構造モデルの弾性波速度 2.9km/s 層の深さを示す平面図上に、検知・非検知の区分、トリガレベルの大きさを左右する LTA の値を表示した平面図(図-2, 5, 8)を示す。

また、大規模土砂移動イベント毎に検知・非検知と弾性波速度 2.9km/s 層の深さ及び震央距離(観測局と土砂移動発生箇所の距離)の関係を示した図-3, 6, 9 と、検知・非検知と LTA 及び震央距離の関係を図-4, 7, 10 に示す。

(1) 検知と弾性波速度 2.9km/s 層の深度の関係

図-2, 5, 8 では、いずれも弾性波速度 2.9km/s 層の深い範囲については、発生位置の近くでも検知していない観測局が多く、反対に発生箇所から離れた位置で検知している観測局は弾性波速度 2.9km/s 層が浅い箇所が多い。図-2 を例とすると、図中に示す範囲 A, B, C, D は深層崩壊発生箇所からほぼ同じ距離に位置しているが、弾性波速度 2.9km/s 層が浅い箇所に位置している範囲 A と C は、弾性波速度 2.9km/s 層の深い箇所に位置している範囲 B と D に

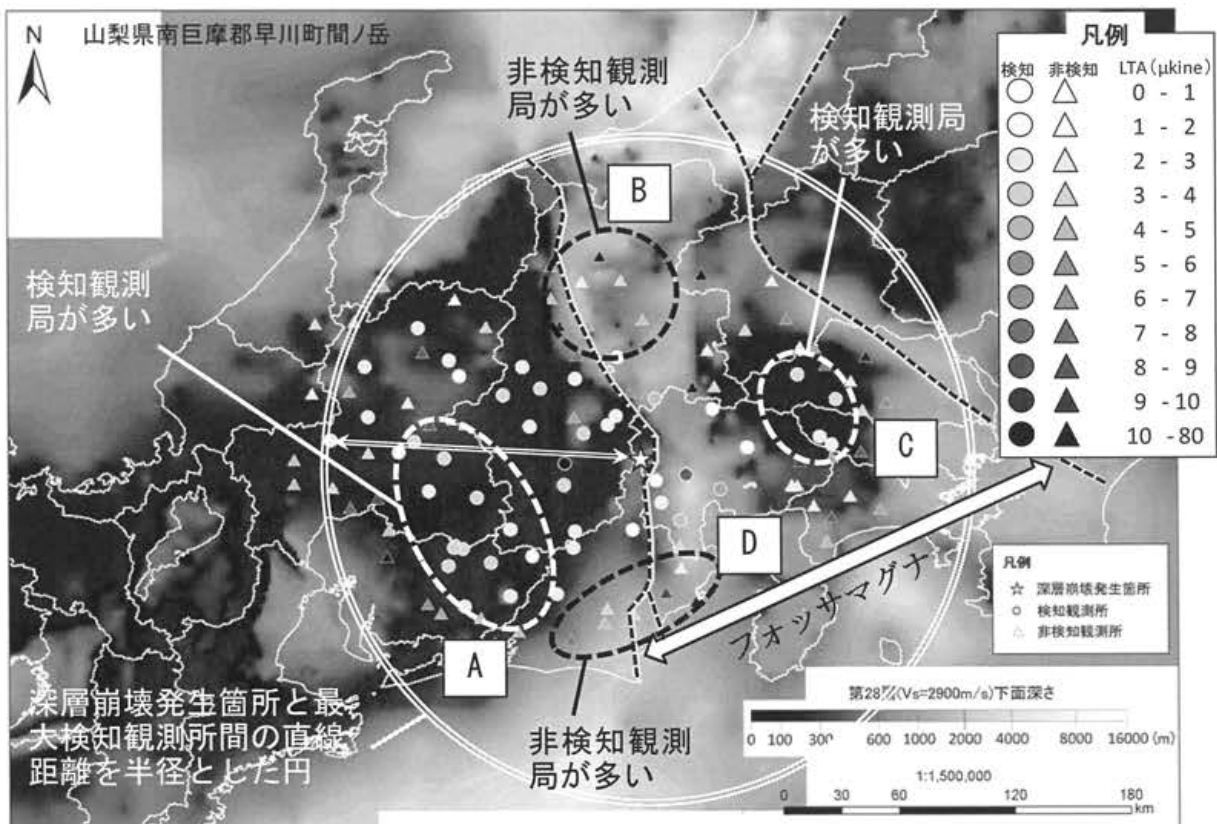


図-2 大規模土砂移動の検知・非検知と地盤構造、LTA の関係 (2004 年山梨県南巨摩郡早川町間ノ岳)

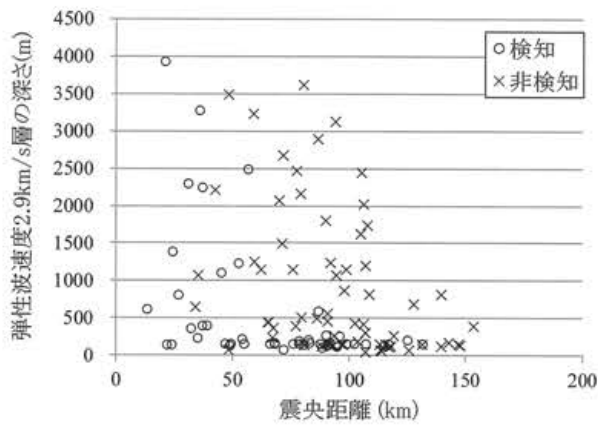


図-3 検知・非検知箇所と 2.9km/s 層の深さ及び震央距離の関係 (2004 年山梨県南巨摩郡早川町間ノ岳)

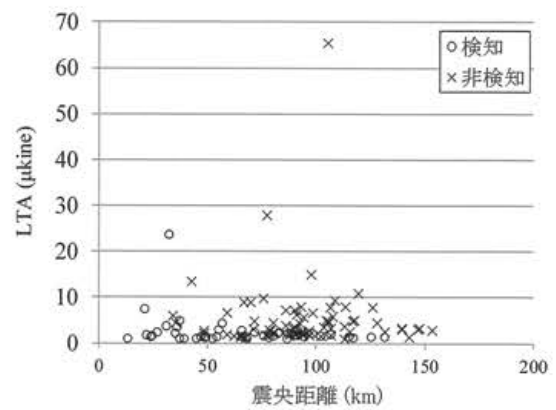


図-4 検知・非検知箇所と LTA 及び震央距離の関係 (2004 年山梨県南巨摩郡早川町間ノ岳)

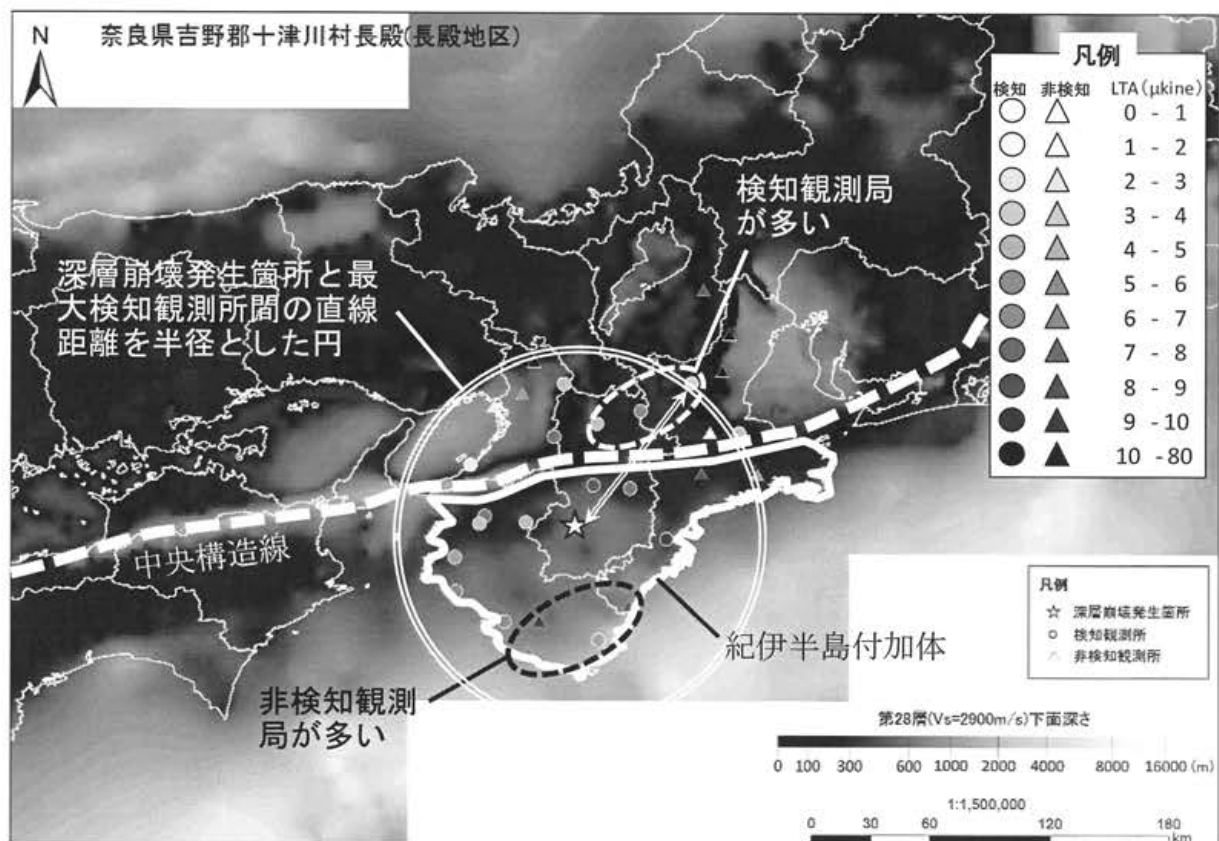


図-5 大規模土砂移動の検知状況と地盤構造, LTA の関係 (2011 年奈良県吉野郡十津川村長殿地区)

比べて検知観測所の割合が多くなっている。

検討対象とした 20 事例のほとんどが上記の傾向を示したが、2.9km/s 層が 5,000m と深い観測局でも検知している事例が 1 イベントだけあった。

また、このことは弾性波速度 2.9km/s 層の深さと震央距離と検知状況を示した図-3, 6, 9 にも表れており、3 つのイベントともに震央距離が大きくなるにつれ弾性波速度 2.9km/s 層の深い観測局の検知が少なくなる傾向となっている。

なお、大規模土砂移動発生位置は図-8 の 2004 年大用知の事例を除いてほとんど弾性波速度 2.9km/s 層が深い位置となっていた。

図-2 のフォッサマグナと図-5 の紀伊半島付加体分布域及び中央構造線周辺の観測局では非検知となっている観測局が多い。これらの結果は、弾性波速度が低いという地質構造が観測局の検知やすさに影響していることを示している。

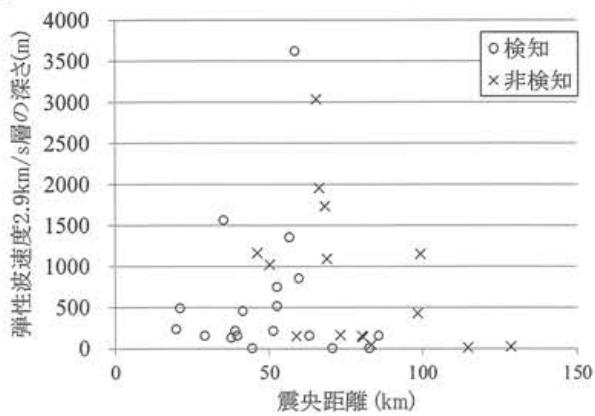


図-6 検知・非検知箇所と 2.9km/s 層の深さ及び震央距離の関係 (2011年奈良県吉野郡十津川村長殿地区)

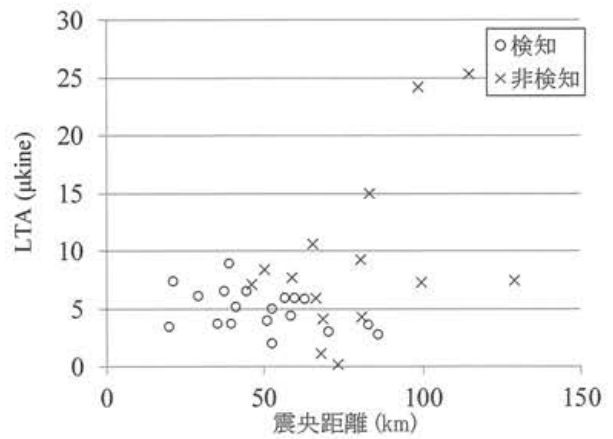


図-7 検知・非検知箇所と LTA 及び震央距離の関係 (2011年奈良県吉野郡十津川村長殿地区)

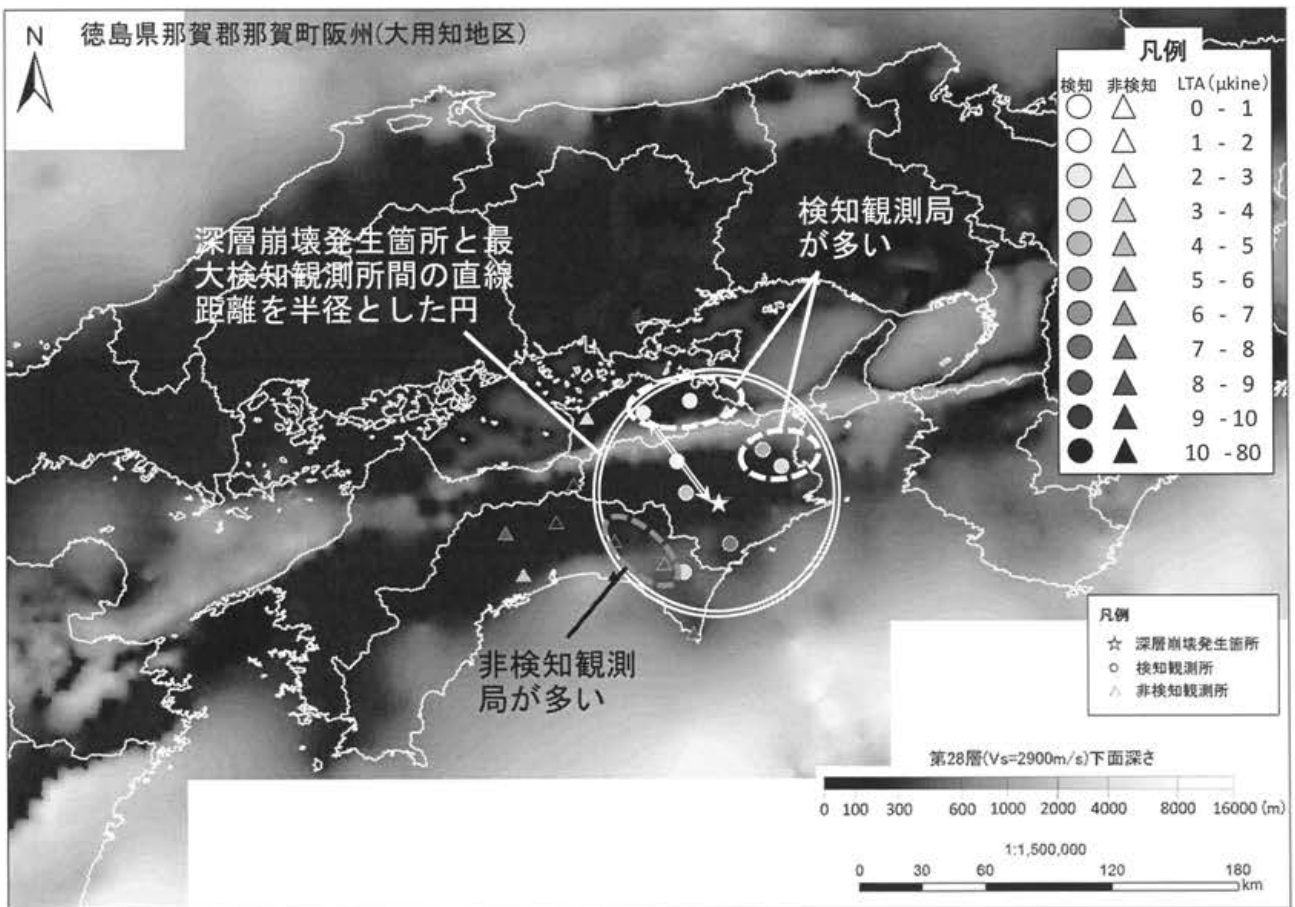


図-8 大規模土砂移動の検知状況と地盤構造, LTA の関係 (2004年徳島県那賀郡那賀町大用知地区)

(2) 検知と LTA の関係

大規模土砂移動時の地盤振動による検知・非検知と LTA の関係では図-4, 7, 10 が示すように、発生位置に近い箇所では LTA が大きくても検知している観測局もあるが、距離が離れるにつれ LTA の小さい観測局のみが検知している傾向にある。

トリガレベルの大小に関する観測局のノイズレベルを示している LTA についても、大規模土砂移動発生時

の地盤振動の検知・非検知に大きな影響を及ぼしていることがわかる。

ただし、2.9km/s 層が深い箇所はノイズレベルの低い観測局も多いため、検知が LTA の影響なのか、弾性波速度の低い地盤が影響しているのか原因の切り分けが難しい。

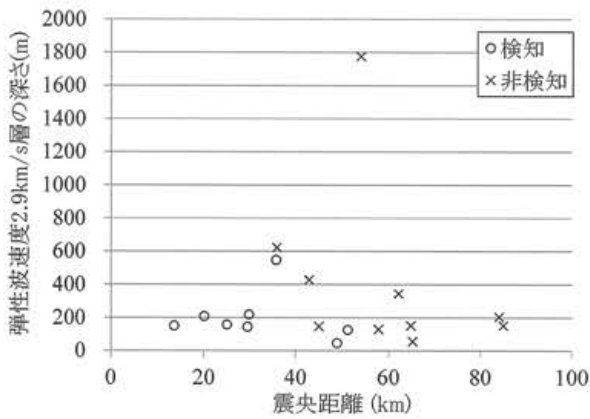


図-9 検知・非検知箇所と 2.9km/s 層の深さ及び震央距離の関係 (2004 年徳島県那賀郡那賀町大用知地区)

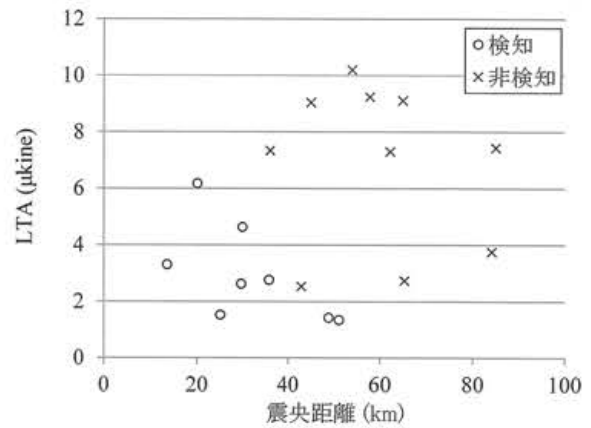


図-10 検知・非検知箇所と LTA 及び震央距離の関係 (2004 年徳島県那賀郡那賀町大用知地区)

5. まとめ

本研究では、大規模土砂移動発生時の地盤振動でその発生検知に関する基礎知識を得るために、弾性波速度 2.9km/s 層の深さを指標とした地質構造やトリガレベルの基になっている各観測局のノイズレベルである LTA と検知状況との関係を把握した。その結果、検討対象とした 20 の深層崩壊事例では弾性波速度 2.9km/s 層の深さが 4,000m 以下、LTA が 25 μkine 以下となっている観測局は概ね深層崩壊の検知が可能であることが示された。

2.9km/s 層が浅く、ノイズレベルの低い観測局であれば、遠方の深層崩壊でも検知できる可能性があることがわかった。このような観測局では発生箇所から近ければ、観測局のノイズに比べて土砂移動に起因する地盤振動の振幅の大きい(S/N の大きい)データが得られる可能性が高く、土砂災害発生位置の検知や性状の把握の精度が高くなる可能性がある。

謝辞: 本研究では、大規模な土砂移動発生時の地盤振動データとして、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、広帯域地震観測網 F-net の地盤振動データを、地盤構造のデータとして地震ハザードステーション J-SHIS MAP のデータを使用した。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 国土交通省国土技術政策総合研究所砂防研究室, 独立行政法人土木研究所 土砂管理研究グループ:平成 23 年(2011 年)紀伊半島台風 12 号土砂災害調査報告, 国土技術政策総合研究所資料・土木研究所資料, No.728・No.4260, pp.1-213,2013.

2) 大角恒雄, 浅原裕, 下川悦郎:2004 年 8 月 10 日奈良県大塔村斜面崩壊時の Hi-net データ解析-斜面崩壊検知への応用-, 自然災害科学, Vol.24, No.3, pp.267-277, 2005.

3) Yamada, M., Matsushi, Y., Chigira, M. and Mori, J.:Seismic recordings of landslides caused by Typhoon Talas (2011),Japan, Geophysical Research Letters, Vol.39, Issue 13, pp.1-5, 2012.

4) 大角恒雄, 海原荘一, 酒井良, 桜井亘:深層崩壊等を検知するための振動センサーの地中化によるノイズ低減と紀伊半島における検知可能な崩壊規模の検討, 砂防学会誌, Vol.68, No.5, pp.32-27,2016.

5) 木下篤彦, 高原晃宙, 林真一郎, 船戸総久, 海原荘一, 嶋 大尚, 浅原裕:高感度地震観測網等で計測する土砂移動現象及び地震時の地盤振動の特徴, 平成 27 年度 砂防学会研究発表会概要集, pp.B138-B139,2015.

6) 国生剛治:地震地盤動力学の基礎—エネルギー的視点を含めて—,鹿島出版会, pp.35,2014.

7) 高原晃宙, 木下篤彦, 水野秀明, 長谷川真英, 梅田ハルミ, 海原荘一, 浅原裕:振動センサーデータによる大規模土砂移動現象発生タイミング及び移動プロセスの解明について, 河川技術論文集 第 22 巻, pp.43-48,2016.

8) 国立研究開発法人防災科学技術研究所:J-SHIS 地震ハザードステーション, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>, 2016.5.31

9) 国土交通省 関東地方整備局:富士川流域の南アルプスにおける砂防事業～甲府盆地と釜無川・早川流域を守る富士川砂防～, http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000062287.pdf, 2016.5.31

10) 櫻井正明, 前川峰志, 内藤洋司, 佐保昇児:2004 年集中豪雨により四国山地に発生した崩壊地の特性, 日本地すべり学会誌, Vol.42, No.6, pp.19-30,2006.

(2016.5.31 受付)