

高感度地震観測網による 土砂移動発生箇所近傍の地盤振動特性

THE SEISMIC CHARACTERISTICS OF HIGH SENSITIVITY SEISMIC NETWORK
NEAR THE SEDIMENT DISASTER OCCURRING POINT

海原 莊一¹・浅原 裕²・木下 篤彦³・田中 健貴⁴

Soichi KAIHARA, Hiroshi ASAHARA, Atsuhiko KINOSHITA, Yasutaka TANAKATA,

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

²株式会社かなめ技術開発 (〒111-0054 東京都台東区鳥越二丁目7-4 エス・アイビル3階)

³国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

⁴国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター
(〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

Key Words: *Large-scale sediment movement, Seismic wave, High-frequency waves, Damping*

1. はじめに

数百万 m^3 規模といった大規模な深層崩壊が発生した場合には、国立研究開発法人防災科学技術研究所のHi-net等、観測局間距離が20km程度の速度計による高感度地震観測網で地盤振動を検知可能であることが知られており¹⁾⁻⁴⁾、大規模な土砂災害の発生位置や発生時刻を知るための有効な手段として活用が期待されている。

高感度の地震観測網は、その計測精度が高いため、有感地震だけでなく微小地震、周辺の自動車等による地盤振動等も記録され、誤検知の防止の観点から、それらの原因による地盤振動と大規模な土砂移動による地盤振動とを判別する必要がある。このため、既存の高感度地震観測網による地盤振動データを基に、大規模土砂移動とその地盤振動との関係について研究が進められてきた⁵⁾⁻⁶⁾。

表層崩壊による土石流については加速度計を使用した溪流近傍での地盤振動計測事例があり、強震計を使った焼岳での観測事例では土石流の周波数特性は必ずしも一定ではないが、主として10~30Hzが卓越しており⁷⁾、また、火山地域の土石流における

可搬式の加速度計でも20~30Hzが卓越する割合が多いという調査結果⁸⁾が報告されている。

これに対し、大規模土砂移動発生時における高感度地震観測網による地盤振動の卓越周波数は1~4Hz程度の低周波域とされている⁶⁾。しかし、大規模土砂移動は凹凸のある自然斜面を数十m/sという速度で移動しているため、土砂移動の発生箇所の周辺では、土石流の観測事例のように、それよりも高周波域の地盤振動が発生している可能性もある。

大規模土砂移動の地盤振動における距離減衰の実態や卓越周波数と土砂移動プロセスの関係については十分な知見が得られているとは言えない。例えば、震源の近くに観測局があり、そこで高周波が卓越する場合は発生の確度が高いという判断ができる可能性がある等、それらの知見が地盤振動による土砂移動の検知技術の向上には必須と考えられる。

本研究では土砂移動の発生場所から概ね3km程度の観測局の近傍で得られた速度計による高感度地震観測網の連続した貴重な地盤振動データからその特徴を把握し、土砂移動検知技術の高度化に着目すべき特性と一考察を示すものである。

2. 高感度地震観測網による土砂移動の直近の地盤振動の特徴

ここでは、高感度地震観測網による発生箇所直近における 2014 年 7 月 9 日の南木曾災害における土石流災害及び 2016 年 11 月 2 日の雲仙の斜面崩壊について、地盤振動の特徴を把握した。

(1) 2014 年南木曾土石流災害発生時の地盤振動特性

a) 土石流の発生状況と観測局の位置関係

2014 年 7 月 9 日に長野県南木曾町の梨子沢で発生した土石流は、集中豪雨により発生したものである⁹⁾。谷の出口付近には Hi-net 南木曾の観測局があり、土石流の発生した梨子沢流路と観測局との距離は約 150m である。

最も観測局から離れたところで大梨子沢側の約 4km 上流の標高約 1,676m 南木曾岳の溪床侵食があり標高約 450m の谷の出口に向かって土石流が流下しており、その標高差は約 1,000m と大きい。

b) 土石流発生時の Hi-net 南木曾における地盤振動の特徴

監視カメラ映像で土石流が確認された 17:41 より（この時刻は正確ではない可能性がある）3 分程早い 17:38 頃から、土石流の発生原因となった崩壊に伴う地盤振動が複数の観測局で観測された。

この地盤振動は崩壊発生地点から 28.5 km 離れた東白川観測局でも観測されており、卓越周波数はい

ずれの観測局においても 5Hz 以下であり、大規模土砂移動現象に伴う地盤振動として観測される卓越周波数帯⁶⁾と一致している。

図-1 は Hi-net 南木曾の UD 成分を示している。図-1(上)がランニングスペクトル、図-1(下)が地盤振動波形である。図-1(上)をみると、南木曾観測局では、17:41 以降地盤振動に徐々に 10 Hz 付近の高い周波数の成分が含まれるようになる。17:43 以降は振幅が急激に大きくなる（図-1(下)参照）とともに 45 Hz までの幅広い周波数帯の地盤振動が観測された（Hi-net では 45 Hz 以上の地盤振動はフィルタでカットされている（図-1(上)参照））。

17:43 以降の急激な地盤振動の増大は、監視カメラの映像でも確認できている南木曾観測局近傍を流下している土石流による地盤振動である。

大規模土砂移動時の地盤振動の走時は地震の S 波と同程度の約 3km/s という調査事例があり⁵⁾、17:38～17:43 までの振幅の小さい振動は、上流域の崩壊箇所から流下している土砂の移動による地盤振動が、土石流の流下速度よりも早い伝播速度で南木曾観測局まで到達したものと考えられる。その時の地盤振動には高周波成分は減衰した状態で観測局に到達し、観測局にかなり近接した状態では高周波成分が減衰していない状態で観測局に伝わっていると推察される。崩壊土砂量等の影響は不明であるが、このように、この地盤振動データからは崩壊発生箇所近傍から下流へ土石流が流下している様子を窺い知ることができる。

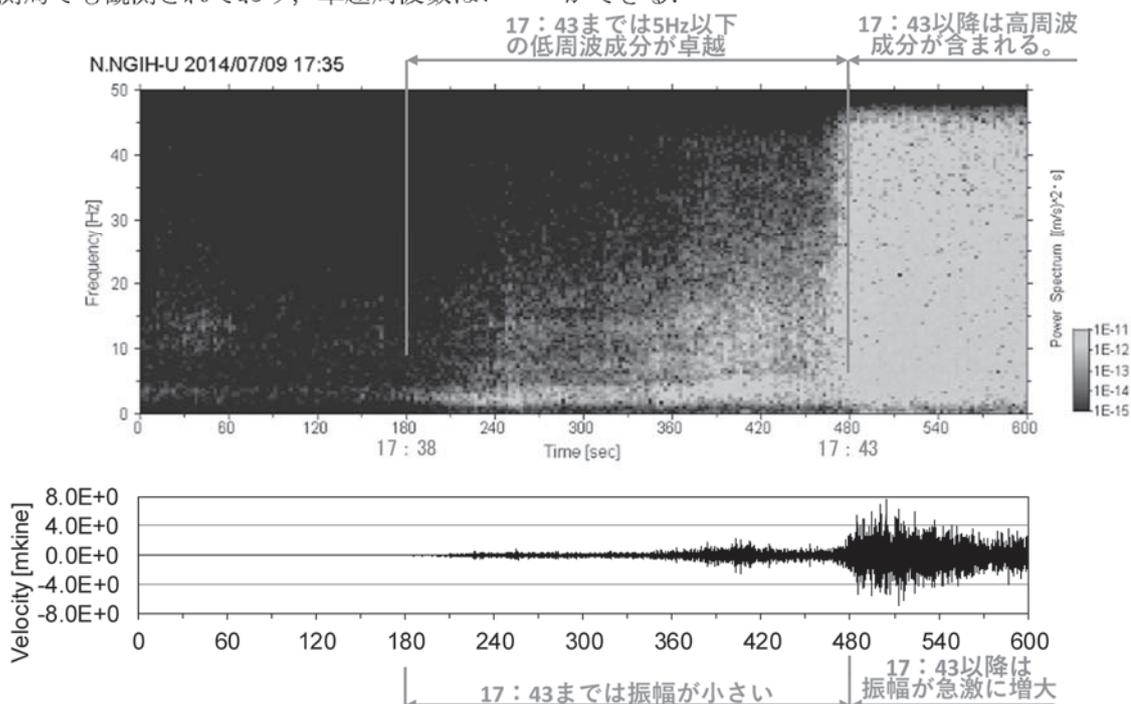


図-1 2014 年南木曾土石流で観測された Hi-net 南木曾における UD 成分
（上）ランニングスペクトルと（下）地盤振動波形

(2) 2016年雲仙の斜面崩壊時の地盤振動の特徴

a) 斜面崩壊の発生状況と観測局の位置関係

2016年11月2日に長崎県雲仙普賢岳の平成新山で発生した斜面崩壊は崩壊土砂量約6,000m³、移動範囲約800m、落差約300mとされている¹⁰⁾。

b) 斜面崩壊発生時に気象庁・国見岳北山腹における地盤振動の特徴

図-2に気象庁国見観測局と平成新山の位置関係、図-3に2016年平成新山斜面崩壊で周辺の観測局で得られたUD成分の地盤振動波形スペクトル比(斜面崩壊時/平常時)、図-4に2016年11月2日雲仙の地盤振動のランニングスペクトルを示す。

平成新山から約1.5km(図-2)の気象庁・国見岳北山腹(V.UNKN)では16:14:45あたりから30秒程度にわたって1~20 Hzの広い周波数帯で比較的大きいスペクトル比の地盤振動が観測された(図-3, 図-4参照)。図-3に示すように周辺の観測局の周波数分布を調べたところ、4.1 km離れた気象庁・矢岳南西山腹(V.UNZA)、9.4 km離れた防災科研・猿葉山(N.UNSV)では数Hzが卓越となっており、10 Hz以上の成分はほとんど観測されていない(図-3)。



図-2 気象庁国見観測局と平成新山の位置関係

3. 観測局から3~4km程度離れた地盤振動の周波数特性

過去の大規模な土砂災害イベントで災害発生箇所直近ではないものの、3~4km程度離れた位置の観測局のデータが得られており、それらの周波数分布を把握することとした。

図-5は2005年の宮崎県美郷町野々尾地区の深層崩壊のものであり、崩壊発生位置から3.9kmの諸塚観測局でも卓越周波数は2~3Hz程度である。図-6は高知県北川村平鍋地区の深層崩壊事例であり、崩壊発生位置から2.9km離れた北川観測局でも卓越周波数は1~2Hz程度となっている。

地盤振動は空間的に拡散することによる幾何学減衰や伝達地盤内の摩擦等によるエネルギー変換によって失われる内部減衰が生じ、一般的に高周波成分ほど減衰しやすい¹¹⁾。発生位置から3km程度以上離れると10Hz以上の高周波成分が減衰すると考えられる。

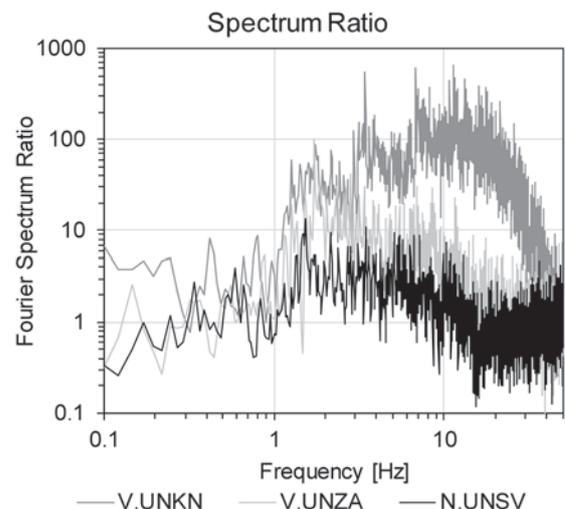


図-3 2016年平成新山斜面崩壊で周辺の観測局で得られたUD成分の地盤振動波形スペクトル比(斜面崩壊時/平常時)

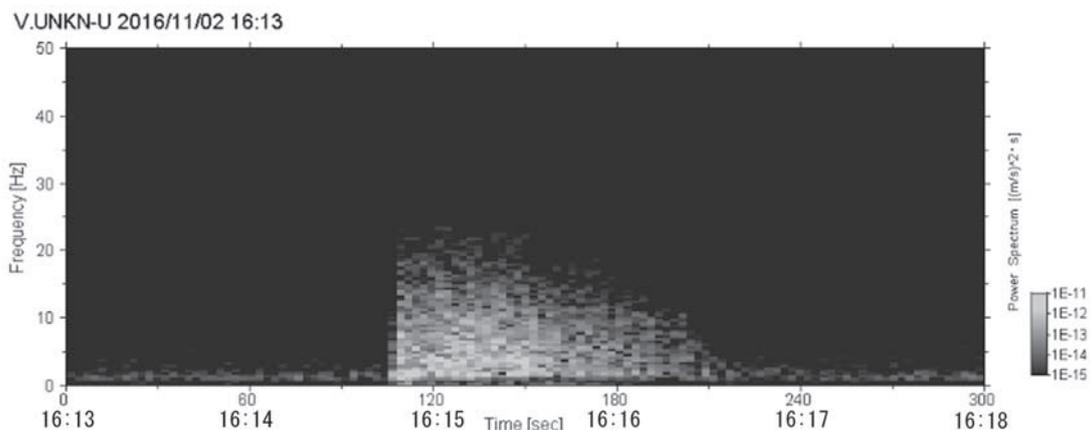


図-4 2016年11月2日雲仙国見岳北山腹の地盤振動のランニングスペクトル

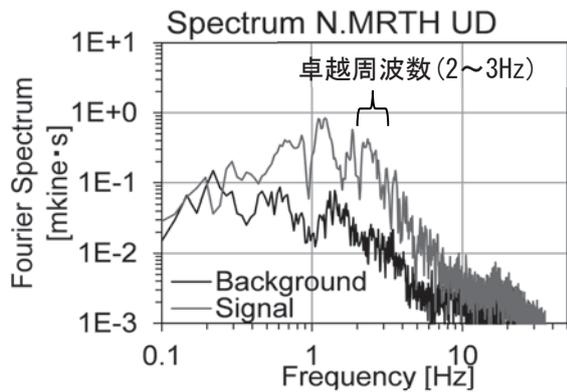


図-5 2005年野々尾地区の崩壊に伴うHi-net 諸塚観測局の周波数スペクトル

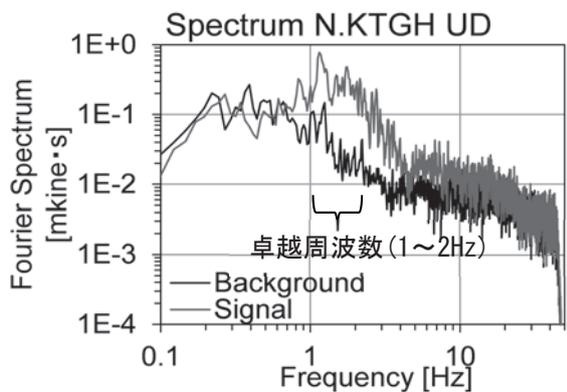


図-6 2011年高知県北川村平鍋地区の崩壊に伴うHi-net 北川観測局の周波数スペクトル

4. 高感度地震観測網直近の地盤振動特性と減衰に対する考察

上記解析から、土砂移動現象と観測される地盤振動データの関係を以下に示す。

- ・直近を通過する土石流による地盤振動は、少なくとも45 Hz程度までの広い周波数帯の成分を持っている。
- ・流下する土石流や斜面崩壊の直近で観測される10 Hz以上の周波数の振動は、3km程度以上離れた地点では観測されておらず、浅部地盤の減衰特性の周波数による違い（高周波成分の地盤振動ほど早く減衰する）によるものと考えられる。

今後、国見岳北山腹や南木曾のような土砂移動発生箇所近傍の地盤振動データが増えれば、高周波成分の減衰距離等について、より信頼性の高い分析・考察ができると思われる。

謝辞：本研究では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 及び基盤的火山観測網 V-net データ及び気象庁火山観測網データを使用しました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 森脇寛：崩壊型土石流の流下に伴う地盤の振動特性—小谷村蒲原沢土石流—，地すべり，第36巻，第3号，pp.99-107，1999。
- 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) Masumi Yamada, Hiroyuki Kumagai, Yuki Matsushi, Takanori Matsuzawa: Dynamic Landslide Processes Revealed by Broadband Seismic Records, Geophysical Research Letters, Vol.40, No.12, pp.2998-3002, 2013.
- 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.32-37，2016。
- 5) 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。
- 6) 木下篤彦，海原荘一，山路広明，廣瀬昌宏，只熊典子，浅原裕：崩壊時の地盤振動特性に着目した大規模土砂移動の検知に関する研究，河川技術論文集，第23巻，pp.441-446，2017。
- 7) 奥田節夫，諏訪浩，奥西一夫，横山康二，小川恒一，浜名秀治：土石流の総合的観測その5。1978年焼岳上々堀沢における観測，京大防災研究所年報，No.22，B-1，pp.157-204，1979。
- 8) 吉永子規，清水武志，藤村直樹，石塚忠範，武澤永純：可搬型振動センサーを用いた土石流振動の現地計測，砂防学会誌，Vol.68，No.1，pp.52-59，2015。
- 9) 平松晋也，福山泰治郎，山田孝，逢坂興宏，中谷加奈，松本直樹，藤村直樹，加藤誠章，島田徹，久保毅，松尾 新二郎，西尾陽介，吉野弘祐：平成26年7月9日長野県南木曾町で発生した土石流災害，砂防学会誌，Vol.67，No.4，pp.38-48，2014。
- 10) 雲仙復興事務所：平成新山 溶岩ドーム 斜面の崩落について，記者発表資料，2016。
- 11) 國生剛治：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，p.384，2014。

(2018.5.18 受付)