

大規模崩壊に起因した地盤振動の活用方法について

独立行政法人土木研究所 ○武澤永純・山越隆雄・石塚忠範

1. はじめに

2011年9月に日本に上陸した台風12号は、紀伊半島において多くの崩壊、土石流が発生させた。特に、同地域で多発した大規模崩壊は、天然ダムの形成等被害を甚大化させたことから、大規模な土砂移動現象の発生を迅速に把握することが求められている。一方、このような現象の発生箇所・時刻を迅速に把握する技術¹⁾はすでに開発され、現在、国土交通省で試験的な運用²⁾がなされている。当該技術の精度は、土砂移動現象が発する地盤振動が観測地点へ到達した時間の評価方法に影響を受けることが指摘されており、個別事例ごとに検証されているが^{例えば3)}、振動の減衰やその他ノイズの影響でエンベロープ最大時刻振幅の決定は容易ではないことも報告されている¹⁾。

また、当該技術を運用する上で、地震計が3点の場合、あらかじめ地盤のせん断波速度を設定する必要がある。計算結果はその地域のせん断波速度と調和的であることが報告されているが、その詳細は明らかになっていない。そこで、本研究は、観測地点へ到達した時間の評価方法について、感度分析を行うとともに、崩壊位置を同定した時のせん断波速度と観測地点のせん断波速度の関係を評価するものである。

2. データセット作成

対象とする事例を表1に示す。本研究では、①土砂移動現象の発生箇所と概ねの発生時間が判明していること②(独)防災科学技術研究所の4箇所以上の高感度地震観測網(Hi-net)の観測地点において、地震以外の振動が観測されていること、の2つの条件を満たす4事例を選定した。

表1の事例において、土砂移動現象の振動の到達時刻は、各観測地点のUD成分の波形において、A) RMSエンベロープ⁶⁾、B) 1-10Hzのバンドパスフィルタを施した波形記録の絶対値(1-10Hz Band)、C) 観測波形が卓越する振動数帯域を抽出し、その帯域でバンドパスフィルタを施した波形記録の絶対値(Any Band)、の3パターンの処理を行ったデータで評価した。特定結果を表2に示す。

表1の事例について、発生源位置推定計算³⁾を行った。震源の深さは0kmとし、各観測地点の重みはすべて1とした。せん断波速度は0.1~3.0km/secの範囲で0.1km/sec刻みで計算し、せん断波速度ごとの推定震源位置と走時残差の平方和を算出した。観測地点のせん断波速度は物理探査結果を参考にした⁷⁾。

3. 検討結果

図1に検討結果の一例を示す。図より、解析結果はどのパターンもせん断波速度が速くなるほど推定震源位置が西から東に移動しており、推定精度が高くなる傾向を示す。しかし、せん断波速度が速くなりすぎると、推定震源位置が震源より東側に位置することになり、推定精度が悪くなる傾向を示す。そこで、図1の結果において、せん断波速度に対する震源からの距離と残差平方和の関係を図2に示す。これより、残差平方和が最小値を示すせん断波速度と震源からの距離が最小値を示すせん断波速度は一致しないことがわ

表 1 対象事例

年月日	時間	発地域	Hi-net観測地点				
			木屋平	貞光	海南	徳島	
2004/8/1	20:00-21:00	徳島県那珂町 ⁴⁾					
2004/8/10	00:00-01:00	奈良県大塔村 ¹⁾	花園	十津川西	十津川東	川上	
2005/9/6	21:00-22:00	宮崎県西郷村 ³⁾	諸塚	南郷	東郷	矢部	
2011/9/4	16:00-17:00	奈良県五條市 ⁵⁾	花園	川上	黒滝	東吉野	尾鷲

表 2 到達時間推定方法毎の振動波形到達時間の特定結果

事例	観測地点	エンベロープ	1-10Hz band	AnyBand
徳島県那珂町	木屋平	20時24分12.85	24分11.57	24分09.84
	貞光	24分19.6	24分19.55	24分19.55
	海南	24分19.97	24分17.38	24分26.79
	徳島	24分26.93	24分19.51	24分19.96
奈良県大塔村	花園	0時17分08.90	17分08.36	17分08.84
	十津川西	17分12.13	17分09.22	17分12.02
	十津川東	17分11.07	17分16.70	17分11.10
	川上	17分13.38	17分13.33	17分13.35
宮崎県西郷村	諸塚	21時49分43.14	49分43.91	49分43.09
	南郷	49分48.81	49分48.49	49分48.78
	東郷	49分51.82	49分50.09	49分51.28
	矢部	49分55.45	49分53.4	49分55.44
奈良県五條市	花園	16時22分19.97	22分20.66	22分19.89
	川上	22分25.20	22分24.87	22分25.19
	黒滝	22分28.91	22分20.13	22分20.75
	東吉野	22分29.55	22分28.44	22分29.52
	尾鷲	22分22.30	22分28.03	22分30.56

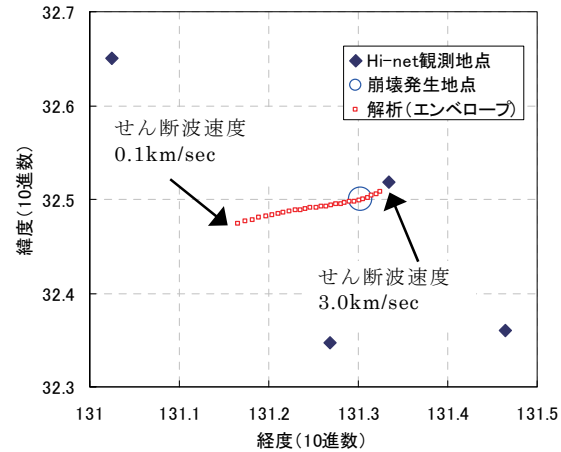


図 1 解析結果の例(宮崎県西郷村:エンベロープ)

しかし、せん断波速度が速くなりすぎると、推定震源位置が震源より東側に位置することになり、推定精度が悪くなる傾向を示す。そこで、図1の結果において、せん断波速度に対する震源からの距離と残差平方和の関係を図2に示す。これより、残差平方和が最小値を示すせん断波速度と震源からの距離が最小値を示すせん断波速度は一致しないことがわ

かる。また、図1の結果において、残差平方和はせん断波速度が2.0km/secのときに0.05秒と最も小さくなり、そのときの震源からの距離は1.67kmであった。つまり、エンベロープを用いた場合、崩壊発生位置の特定に1.67 kmの誤差を伴うことがわかる。

図3に各到達時間特定方法において推定した震源位置と実際の崩壊位置との距離を示した。五條市におけるエンベロープの結果は、震源距離が132kmと算出されたため、欄外となっている。また、最も震源距離を良好に示しているのは西郷村の1-10Hz_Bandで、0.2kmであったが、特定方法の精度の優劣は事例ごとに異なることがわかる。

図4は各事例で観測したHi-net観測地点のせん断波速度・平均せん断波速度の範囲（横バーで図示）と、各到達時間特定方法において残差平方和が最小を示したときのせん断波速度（同定せん断波速度、マーカーで図示）を示す。ここでいう平均せん断波速度とは、鉛直方向に分布しているせん断波速度を平均化した値を指す。これより、那賀町以外は、同定したせん断波速度とHi-net観測地点の平均せん断波速度の範囲は一致せず、Hi-net観測地点のせん断波速度の範囲とは一致した事例は見られるものの、その傾向は見出せなかった。

4. まとめ

本研究は地震計を用いた土砂移動現象の発生箇所・時刻を特定する技術について、振動の到達時間の評価方法を検証するとともに、地盤のせん断波速度と解析結果から同定されたせん断波速度を比較した。その結果、到達時刻の評価方法によって、特定精度が異なることを明らかにした。また、地盤の平均せん断波速度と解析によって同定されたせん断波速度の関係を確認することは出来なかった。

謝辞：本研究の実施に当たっては、徳島大学工学部の大角恒雄氏、先端力学シミュレーション研究所の浅原裕氏には貴重なご意見を頂きました。また、本研究には（独）防災科学技術研究所の高感度地震観測網（Hi-net）の観測地点の波形データ・基盤強震観測網（KiK-net）のボーリング柱状図を利用させて頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献：1) 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、267-277、2005。 2) 中谷洋明、大角恒雄、井上公夫：大規模土砂移動早期検知システムの開発、第55回平成18年度砂防学会研究発表会概要集、344-345、2006、3) 大角恒雄、浅原裕、下川悦郎：河道閉塞近傍の振動センサー記録による振動特性の検討、第3回土砂災害に関するシンポジウム論文集、163-168、2006。 4) 末峯 章、海堀 正博、王 功輝、古谷 元：平成16年台風10号による徳島県那賀川上流域で発生した土砂災害の緊急調査報告、地すべり学会誌、Vol.41、No.3、87-89、2004。 5) （独）防災科学技術研究所 HP:http://www.bosai.go.jp/press/2011/pdf/20110912_02.pdf 6) 小原一成：S波エンベロープ拡大現象、地震、第2輯、第54巻、159-170、2001。 7) Kik-net基盤強震観測網 土質図 <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>。

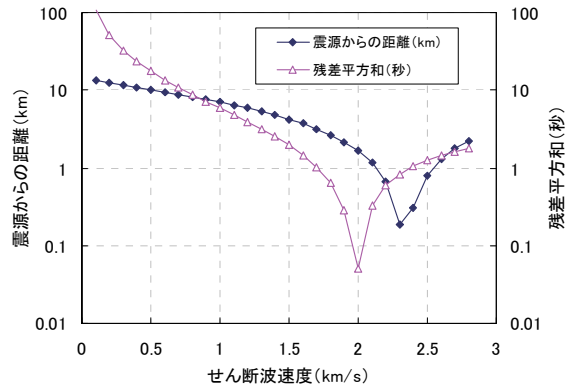


図2 せん断波速度が解析精度に与える影響

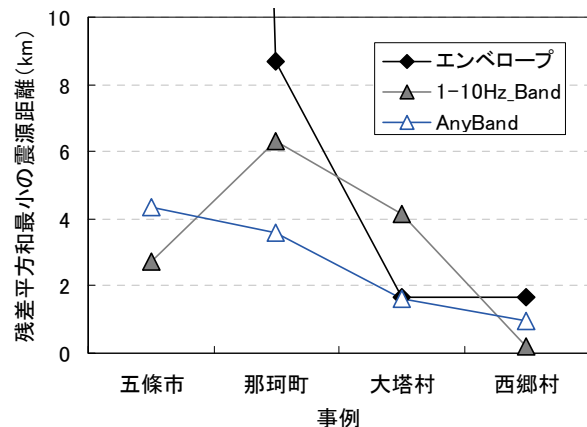


図3 波形到達時間特定方法が解析精度に与える影響

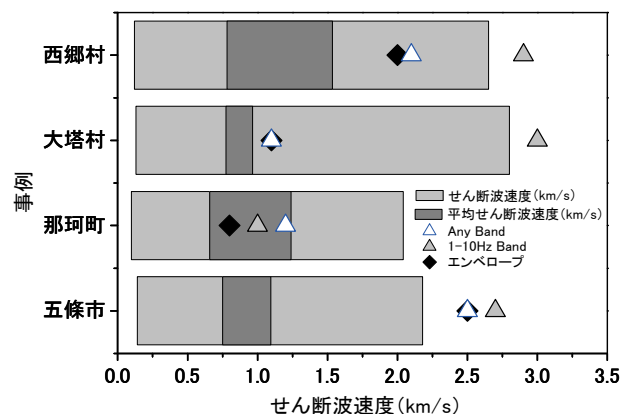


図4 観測地点のせん断波速度の範囲と同定せん断波速度の関係