

地震計データを用いた土砂移動発生時刻及び箇所推定の解析

高原晃宙・木下篤彦・水谷 佑・石塚忠範

1. はじめに

平成25年10月に東京都大島町(以下、伊豆大島とする)に接近した台風26号は、24時間雨量800mm以上の豪雨をもたらした。これに伴い、表層崩壊及び土石流が多発し、甚大な被害が生じた。土石流をはじめとする表層崩壊や深層崩壊などの土砂移動現象により、地盤振動が発生することは知られており、過去に地盤振動特性の解析を試みた事例もある^{1),2)}。また、土石流の早期検知を目的とした振動検知式土石流センサー³⁾や深層崩壊などの大規模な土砂移動を対象として、その発生位置を特定しようとする大規模土砂移動検知システムの整備が進められている⁴⁾。

地盤振動を取得するためのセンサを面的に配置すれば、土砂移動現象を広範囲に監視・観測できる可能性があり、この特徴を利用した土砂移動現象の検知手法は有用な手段と考えられる。そのためには検知精度を向上させる必要があり、より多くの振動データを収集・解析し土砂移動形態による振動データの特徴やノイズとなる現象の特徴を把握する必要がある。

今回、伊豆大島で発生した表層崩壊及び土石流の発生位置推定方法についての検討を行ったので報告する。

2. 検討方法

2.1 検討対象領域概要

検討対象箇所は、伊豆大島である(図-1)。台風26号時の降雨状況を図-2に示す。10月15日9時から雨が降り始め、10月16日の2時から3時頃に時間雨量120mm近い降雨となっており、降り終わりまでに累加雨量824mmもの降雨を記録した。この豪雨により、特に島西側に位置する神達地区や元町地区では、上流の大金沢流域から流下した土石流や流木により、甚大な被害を受けた(図-3)。また、地元住民等への聞き取りにより⁵⁾、2時過

ぎから3時過ぎにかけて土砂災害が集中して発生した可能性が高いと考えられている。



図-1 検討対象箇所(伊豆大島位置図)

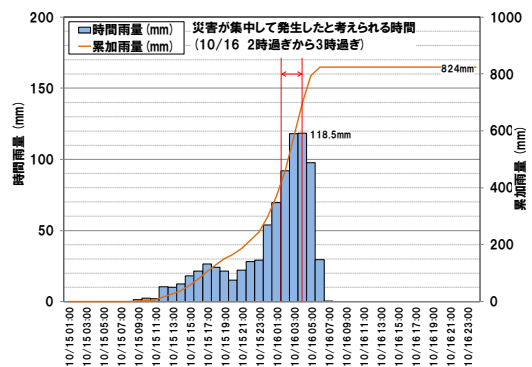


図-2 台風26号時の降雨状況(気象庁・大島観測局)

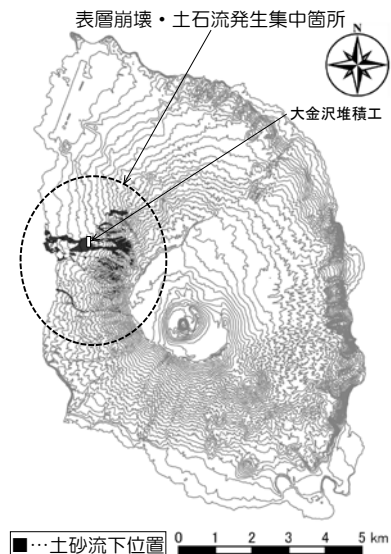


図-3 土砂の流下状況

2.2 検討に用いたデータ

伊豆大島には火山観測のための振動観測局が整備されている(表-1)。災害が発生したと考えられる時間を含めた10月16日1時から4時までのこれら観測局のデータを収集し解析することにした。図-4は、10月16日2時から3時までの全観測局の波形を土石流氾濫範囲のほぼ中心に位置する大金沢堆積工からの距離の順で並べたものである。いくつかの観測局で欠測が認められるものがあったが、2時23分頃、2時32分頃、2時37分頃の振幅が大きく変化を示していることが認められた。これらは、土砂移動による地盤振動を捉えたと考えられる。変化を示した時間帯の周波数解析を実施すると(図-5)、既往研究での深層崩壊発生時の卓越する周波数は0.5~2Hz程度⁶⁾であったが、今回の現象では2~8Hz程度で卓越している事がわかった。

2.3 震源特定方法の概要

大規模土砂移動検知システム⁴⁾は、各観測局が捉えた波形の立ち上がりを検知し、各観測局間の検知時刻の差に基づいて土砂移動の発生箇所を推定するが、今回の災害では各観測所間の検知時刻の差を明確に把握する事が困難であった。そこで、表層崩壊や土石流による地盤振動の振幅は、土砂移動発生位置(以降、震源とする)からの距離に応じて式(1)に示すように減衰すると仮定し震源を推定することにした。

$$y = a \cdot r^{-b} \quad \text{式 (1)}$$

ここに、 y …振幅(mkine)、 a, b …定数、 r …震源から観測局までの距離(km)。

2.4 地盤振動特性を考慮した振幅の計算

各観測局において地盤振動特性(各観測局での揺れやすさ)は異なるため、それを考慮した上で、各観測所の振幅を補正することにした。そのために伊豆大島近隣で過去に発生した中小地震の観測所データ(地盤の揺れがほぼ等しいと考えられる事例)を収集し、それらの振幅が比較的小さく、地震間のばらつきが小さい観測局を基準(N.OOHV観測局)とし、それに対する各観測局の相対地盤増幅率(補正值)を求めた(図-6)。算出した相対地盤増幅率の平均値を考慮し、式(2)により振幅(RMS値)を求めた。算出した振幅の算出結果を図-7に示す。

表-1 振動観測局一覧

No.	観測局名	大金沢堆積工からの距離	所属
1	N.GJKV	1.74 km	(独) 防災科学研究所
2	NMS	1.86 km	東京大学地震研究所
3	YOR	1.93 km	東京大学地震研究所
4	OSM	2.05 km	東京大学地震研究所
5	V.OSMA	2.32 km	気象庁
6	OS2	2.46 km	東京大学地震研究所
7	MW1	2.80 km	東京大学地震研究所
8	MHR	3.12 km	東京大学地震研究所
9	NR3	3.14 km	東京大学地震研究所
10	MN2	3.16 km	東京大学地震研究所
11	V.OSKT	3.41 km	気象庁
12	N.OOHV	3.47 km	(独) 防災科学研究所
13	BKN	3.53 km	東京大学地震研究所
14	BKE	3.76 km	東京大学地震研究所
15	KSK	4.04 km	東京大学地震研究所
16	OKA	4.33 km	東京大学地震研究所
17	SH2	4.33 km	東京大学地震研究所
18	KSG	4.66 km	東京大学地震研究所
19	TTI	4.89 km	東京大学地震研究所
20	SNK	5.02 km	東京大学地震研究所
21	V.OSSN	5.05 km	気象庁
22	V.OSFT	5.56 km	気象庁
23	MBB	6.15 km	東京大学地震研究所
24	OKB	6.26 km	東京大学地震研究所
25	OSK	6.39 km	東京大学地震研究所
26	N.ODKV	6.44 km	(独) 防災科学研究所
27	OKU	6.69 km	東京大学地震研究所

…欠測がある観測局

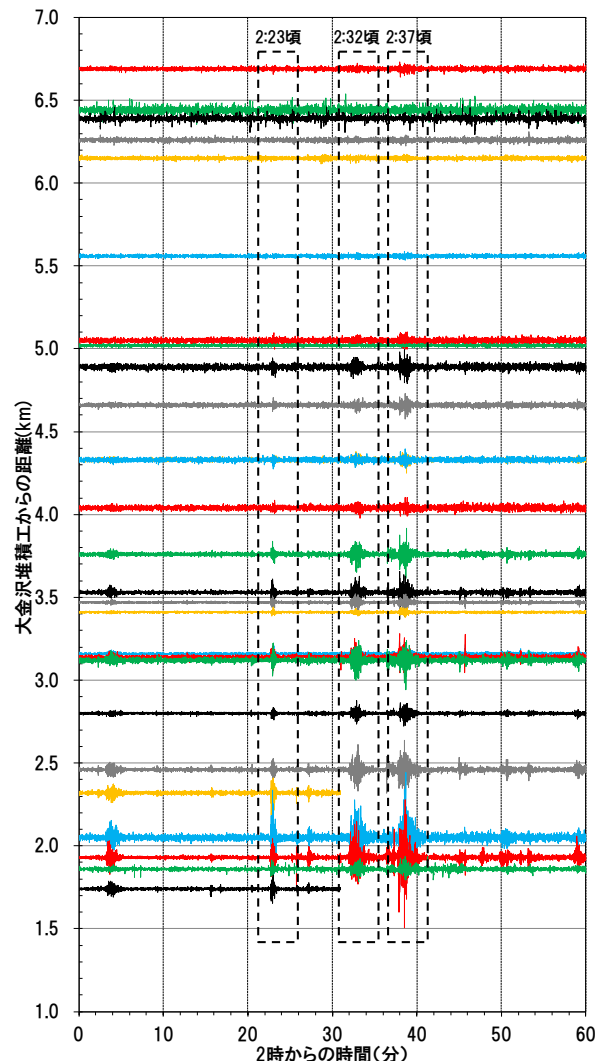


図-4 10月16日2時から3時までの各観測局で観測された振動の時刻歴波形と大金沢堆積工との距離の関係

$$RMS(i) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \{y(i, j)\}^2} \quad \text{式 (2)}$$

ここで、 $RMS(i)$ … i 秒目の振幅、 N …1秒間に観測局で取得する信号強度の数、 $y(i, j)$ … i 秒目 j 番目の信号強度(j は0番目から $N-1$ 番目まで存在)。

2.5 土砂移動発生箇所の推定方法

土砂移動発生箇所の推定にあたり、検討対象箇所を、緯度方向に0.0005度(約55m)刻み、経度方向に0.00075度(約69m)刻んだ格子メッシュで区切り、各メッシュを土砂移動発生箇所と仮定した。検討対象時間を図-7のように5秒間隔で区切り、その間の最大のRMS値(i 秒毎のRMS値は(2)式の通り)と式(1)で推定できる振幅 y との残差が最小となるメッシュを土砂災害発生箇所とした。

3. 土砂災害発生箇所推定結果

図-4で確認した土砂移動イベント毎に、観測所毎に式(1)の b の値を0.1刻みで変化させたときに得られる振幅から求めた残差の平均値を図-8に示す。2時22分頃のイベントでは $b=0.7$ 、2時31分頃と2時37分頃のイベントでは $b=1.4$ 、3時2分頃のイベントでは $b=1.0$ において残差が最小となった。この結果から、各イベントで適切な定数 b が異なることがわかった。これをもとに発生位置の推定を行った結果が図-9である。図-9(a)では、上流から下流へ土砂が移動しているように推定できたが、(b)では概ね土砂移動の実績範囲に推定位置は求まったものの、(a)のように明瞭な結果にならなかった。また、(a)はピークが一つといった単純な波形を示しているが、(b)はピークが複数存在する紡錘形を示している。(b)のような形状を有する振動では、位置推定が困難であることがわかった。(a)のような波形を示す場合は、一箇所での崩壊から流下までの一連の流れを示し、(b)では複数の地点で発生した崩壊及び流下現象を示していると思われるが、今後より詳細な検討が必要である。

4. まとめ

本検討では、地盤振動の振幅と距離減衰に着目し、表層崩壊及び土石流発生時の発生位置推定の検討を実施した。検討結果から、以下の結論を得た。

(1)表層崩壊や土石流に伴う地盤振動は、周波数

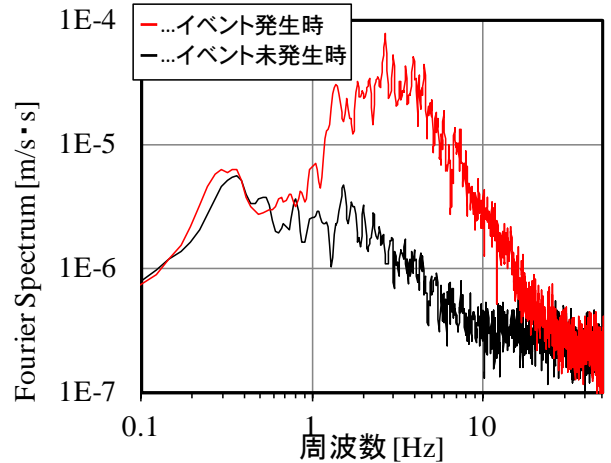


図-5 周波数解析の結果一例

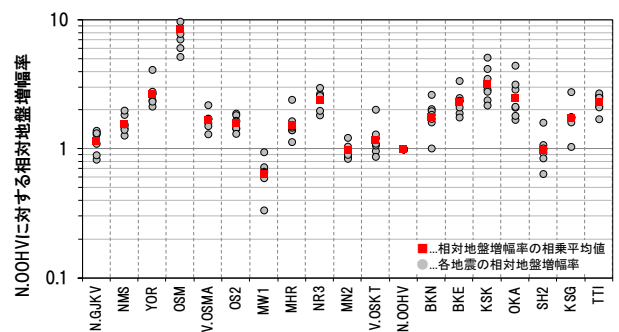


図-6 各観測局の相対地盤増幅率

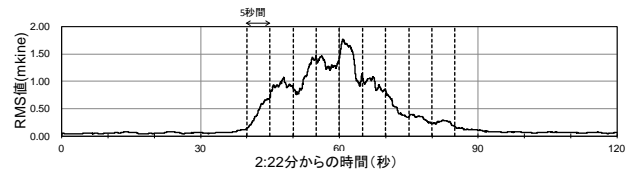


図-7 振幅(RMS値)計算結果(YOR観測局・2時22分の場合)(振幅は、各観測局で算出)

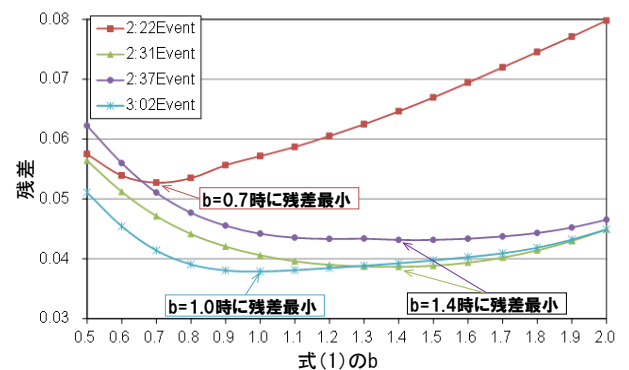


図-8 イベント毎の残差算出結果

解析の結果から、卓越周波数が深層崩壊(0.5～2Hz程度)とは異なる周波数帯(2～8Hz程度)を有していた。

(2)振幅と距離減衰の関係を用いた発生位置の推定は、振動波形が単純な形状のイベントに対

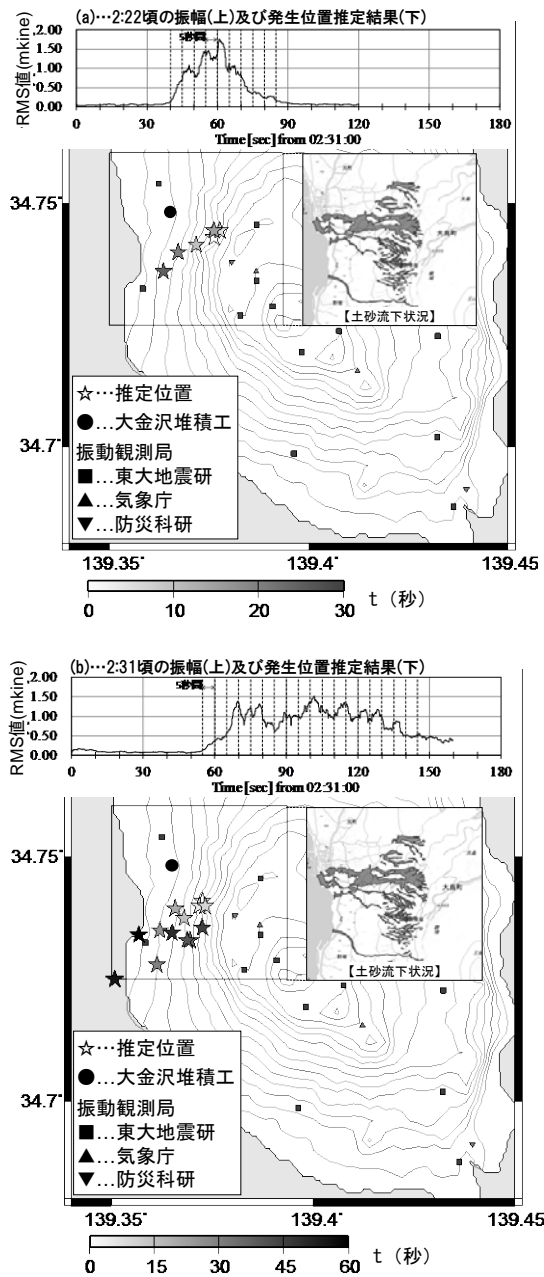


図-9 解析結果(☆印は淡色→濃色で時系列の変化)

しては、概ね良好な結果を時系列で示すことができたが、複雑な形状に対しては位置推定が困難であるという課題点が残った。

今後はさらに計測事例を増やし、位置推定方法等の改良を行いたい。

謝 辞

本検討の実施にあたり、東京大学地震研究所森田裕一教授には振動データの提供を受け研究の方向性について御助言をいただきました。また、防災科学技術研究所の基盤的火山観測網V-net及び気象庁の地震観測網の振動データを利用させていただきました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 諏訪浩、山越隆雄、佐藤一幸：地盤振動計測による土石流の規模推定、砂防学会誌、Vol.52、No.2、pp.5～13、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) 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム：振動検知式土石流センサー設置マニュアル（案）、<http://www.pwri.go.jp/team/volcano/shindo/shindo.pdf>、参照2014-3-31、2005
- 4) 水野正樹、内田太郎、高原晃宙、木下篤彦、江川真史、丹羽諭：大規模土砂災害の危機管理を支える探査技術とその活用、土木技術資料、第56巻、第1号、pp.16～19、2014
- 5) 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム：伊豆大島現地調査報告（第3報）、<http://www.pwri.go.jp/team/volcano/izuooshima/izuoooshima3.pdf>、参照2014-3-31、2014
- 6) 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、pp.163～168、2006

高原晃宙



(独)土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 研究員、博(農)
Dr. Teruyoshi TAKAHARA

木下篤彦



(独)土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 主任研究員、博(農)
Dr. Atsuhiko KINOSHITA

水谷 佑



(独)土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 交流研究員
Tasuku Mizutani

石塚忠範



(独)土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 上席研究員
Tadanori ISHIZUKA