

観測地震波のスペクトル解析による崩壊が多発する地震動に関する考察

日本工営株式会社 ○小原大輔 中島祐一
国土技術政策総合研究所 坂井佑介 山越隆雄

1. はじめに

地震直後に土砂災害の規模が推定できると、地震による土砂災害への緊急対応の迅速化・効率化に資するものと考えられる。そのためには、地震直後に多数の土砂災害を引き起こすような地震であるかどうか判断できることが望ましい。筆者らは、土砂災害が多発した地震と多発しなかった地震における観測地震波のスペクトル解析を行い、長周期側の加速度応答スペクトルにおいて、相違があり、判定できる可能性があることを報告したり。

前報告の継続研究として、本研究では地震直後に土砂災害の発生・非発生を推定する技術を検討することを目的として、土砂災害が多発した地震と多発しなかった地震の観測地震波において、加速度・速度・変位応答スペクトルを比較・分析した。その結果に基づき、土砂災害の発生・非発生の判定するための指標とその閾値の考察を行った。

2. 調査方法

2.1 対象地震

土砂災害が多発した地震（以下、「多発地震」という）として、平成16年新潟県中越地震、平成20年岩手・宮城内陸地震、平成23年東北地方太平洋沖地震、平成28年熊本地震を選定した。また、土砂災害が多発しなかった地震（以下、「非多発地震」という）として、平成21年駿河湾南部地震、平成27年の茨城県北部の地震、平成30年の大阪府北部地震、令和元年の山形県沖地震を選定した。選定した地震の諸元と土砂災害発生件数を表-1に示す。土砂災害発生件数は、国土交通省砂防部で集計されたものである。概ね50件程度以上の発生件数の地震を多発地震として選定した。

2.2 強震観測点の選定

観測地震波を取得する強震観測点の選定を行うにあたり、軟弱地盤ではその地盤の固有の周期帯の地震波が卓越する可能性があることから、地盤条件を統一するため、比較的硬質な地盤であることが判明している観測点、具体的には、道路橋示方書において最も硬い地盤とされるI種地盤上の観測点を選定した。また、一定程度以上の地震の規模を有していることを条件とするため、震度5弱以上を記録した観測点を選定した（表-2）。

2.3 解析手法

表-2の強震観測点より取得した観測地震波データから、大崎(1994)²⁾に示されたプログラムに基づき、減衰定数は5%として、加速度・速度・変位応答スペクトルを算出した。各固有周期の最大応答値をNS(南北)、EW(東西)、UD(上下)の3方向で算出した。その上で、強震観測点毎の加速度・速度・変位応答スペクトルを比較・分析した。

表-1 地震の諸元と土砂災害発生件数

分類	地震名	発生日	最大計測震度	気象庁マグニチュード	地震タイプ	断層型	震源経度(度)	震源緯度(度)	震源深さ(km)	土砂災害発生件数
多発地震	新潟県中越地震	2004年10月23日	7	6.8	内陸型	逆断層	138.867	37.293	13.1	242
	岩手・宮城内陸地震	2008年6月14日	6強	7.2	内陸型	逆断層	140.881	39.030	7.8	54
	東北地方太平洋沖地震	2011年3月11日	7	9	海溝型(プレート境界)	逆断層	142.861	38.104	23.7	114
	熊本地震	2016年4月16日	7	7.3	内陸型	横ずれ断層	130.762	32.753	12.0	190
非多発地震	駿河湾南部地震	2009年8月11日	6弱	6.5	海溝型(スラブ内)	逆断層	138.499	34.786	23.3	32
	大阪府北部地震	2018年6月18日	6弱	6.1	内陸型	逆断層、右横ずれ断層	135.622	34.843	13.0	2
	山形県沖地震	2019年6月18日	6強	6.7	内陸型	逆断層	139.478	38.607	14.0	2
	茨城県北部の地震	2016年12月28日	6弱	6.3	内陸型	正断層	140.573	36.720	11.0	0

表-2 選定した強震観測点の諸元

分類	地震名	選定した観測点	観測点コード	最大加速度(水平2成分合成)	計測震度相当値	計測震度	地盤種別	観測地盤	震源もしくは震源からの最短距離(km)
多発地震	新潟県中越地震	小千谷	NIG019	1,500.7	6.73	震度7	I種	K-NET	6.3
		小出	NIG020	639.3	5.55	震度6弱	I種	K-NET	10.1
		津之谷	NIGH12	438.1	5.28	震度5強	I種	KIK-net	12.1
		川口野川口	65042	1,669.2	6.51	震度7	I種	地方自治体	28.8
		小千谷城内	532	974.9	6.33	震度6強	I種	気象庁	7.7
		下田	NIGH09	433.4	5.16	震度5強	I種	KIK-net	21.6
	安塚	NIG024	274.1	4.95	震度5弱	I種	K-NET	24.5	
	一関東	IWTH25	1,171.4	6.07	震度6強	I種	KIK-net	9.7	
	岩手・宮城内陸地震	鳴子	MYGH02	266.6	5.02	震度5強	I種	KIK-net	8.3
		橋台	AKT023	420.9	5.26	震度5強	I種	K-NET	14.1
		鳴子	MYG005	528.2	5.52	震度6弱	I種	K-NET	6.7
		金ヶ崎	IWTH24	529.8	5.50	震度6弱	I種	KIK-net	17.9
		一関	IWT010	296.9	5.07	震度5強	I種	K-NET	20.4
		川尻	IWT015	241.4	4.65	震度5弱	I種	K-NET	26.0
東北地方太平洋沖地震	一関西2	IWTH28	303.5	5.06	震度5強	I種	KIK-net	120.3	
	一関東	IWTH25	578.3	5.61	震度6強	I種	KIK-net	108.6	
	鳴子	MYG005	274.3	5.14	震度5強	I種	K-NET	128.7	
熊本地震	大津	KMM005	575.4	5.7	震度6弱	I種	K-NET	6.2	
	白水	KMMH06	167.2	4.84	震度5弱	I種	KIK-net	13.1	
	一の宮	KMM004	379.1	5.54	震度6弱	I種	K-NET	13.7	
	矢部	KMM009	829.7	5.7	震度6弱	I種	K-NET	17.8	
	寄池	KMMH03	789.1	6.14	震度6強	I種	KIK-net	18.1	
	小国	KMMH02	684.6	5.55	震度6弱	I種	K-NET	26.9	
	小国	KMM001	237.4	5.16	震度5強	I種	K-NET	27.0	
	静岡南	SZOH33	538.7	5.57	震度6弱	I種	KIK-net	28.6	
駿河湾南部地震	静岡	SZ0018	423.9	5.4	震度5強	I種	K-NET	22.6	
	静岡	SZ0014	364.3	5.06	震度5強	I種	K-NET	25.2	
	清水北	SZOH34	309.5	5.05	震度5強	I種	KIK-net	38.6	
	高城	OSK002	802.6	5.64	震度6弱	I種	K-NET	13.3	
	亀岡	KYT011	473.6	5.04	震度5強	I種	K-NET	23.9	
	西條町	OSK004	354.3	5.04	震度5強	I種	K-NET	17.3	
	生駒	NAR001	294.4	4.9	震度5弱	I種	K-NET	21.5	
	鴨岡	YMT003	269.7	5.33	震度5強	I種	K-NET	24.0	
	湯海	YMT004	652.6	5.25	震度5強	I種	K-NET	15.9	
	奥成瀬	AKTH04	373.1	5.01	震度5強	I種	KIK-net	110.4	
山形県沖地震	朝日	NIGH02	188.0	4.56	震度5弱	I種	KIK-net	28.2	
	高萩	IBR002	283.8	4.79	震度5弱	I種	K-NET	1.9	
	十王	IBRH14	469.5	4.69	震度5弱	I種	KIK-net	9.4	
茨城県北部の地震	高萩	IBR002	283.8	4.79	震度5弱	I種	K-NET	1.9	
十王	IBRH14	469.5	4.69	震度5弱	I種	KIK-net	9.4		

3. 調査結果

3.1 各種応答スペクトルの解析結果

スペクトルの解析事例として、各応答スペクトルのUD方向を図-1に示した。当図では、調査対象とした全8地震において、多発地震と非多発地震で概ね同一の断層最短距離で比較できる範囲(約10~30km)に分布する観測点で多発地

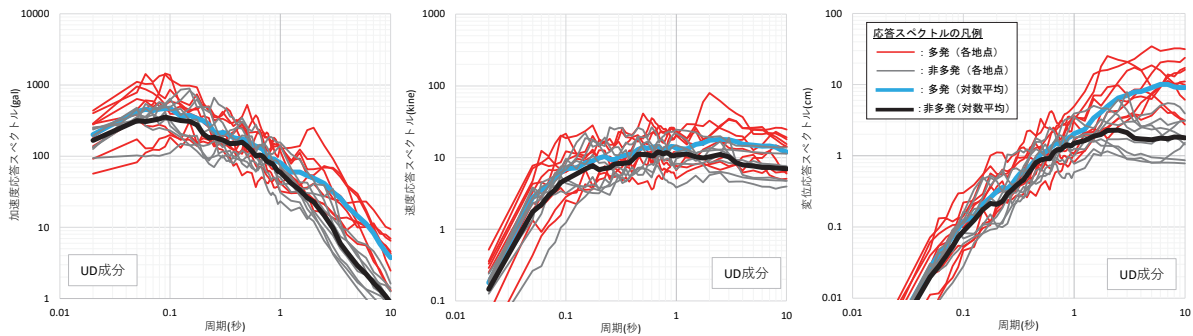


図-1 多発地震と非多発地震の各応答スペクトルの比較（鉛直（UD）成分）

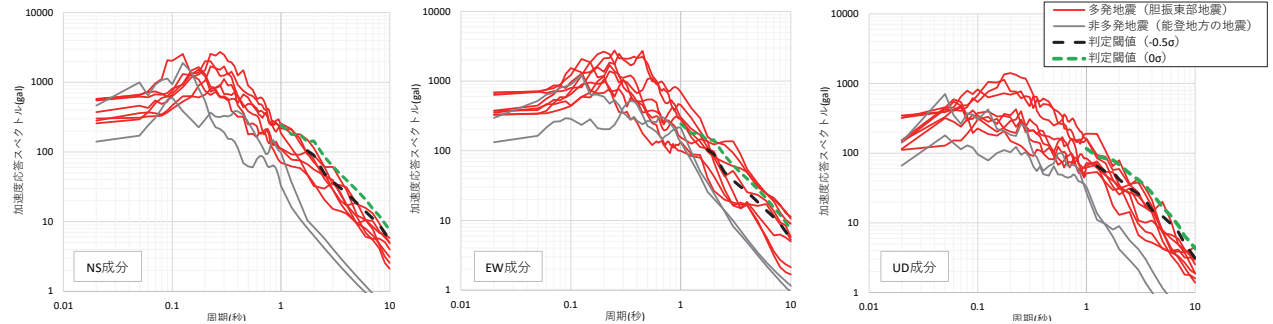


図-2 多発地震と非多発地震における判定指標と閾値の検証例（加速度応答スペクトル）

表-3 土砂災害の判定のための閾値案

周期(秒)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
加速度	水平	243.9	143.4	62.0	39.6	28.1	20.7	15.3	12.1	9.4	7.6	
	成分	-	89.6	37.4	25.8	18.4	13.9	11.1	9.0	6.9	5.5	
応答スペクトル	鉛直	0σ	116.4	68.9	41.3	26.8	16.8	12.5	9.2	6.5	5.3	4.3
	成分	-	42.2	26.1	15.2	12.5	9.6	7.4	5.1	3.9	3.1	

震と非多発地震のスペクトルを比較した。結果、短周期側では同程度のスペクトルを示すが、周期1秒以上の中～長周期側のスペクトルで両者に違いが認められ、多発地震のほうが非多発地震に比べスペクトルが大きい傾向を有していることが分かった。水平・鉛直成分ともにこの傾向と整合的であった。特に多発地震では、長周期側の変位応答スペクトルの増加傾向が顕著であった。次項では、周期1秒程度より長周期側の各応答スペクトルを判定指標として選定した。

3. 2 土砂災害の発生・非発生の判定に関する分析

土砂災害の発生・非発生を判定するための閾値を検討するため、各地震の応答スペクトルの対数平均値 μ および対数標準偏差 σ を計算した。また、同周期の応答スペクトルは地震の規模に応じて正規分布（ガウス分布）に従うと仮定し、多発地震の平均値より $-\sigma$ 側、非多発地震の平均値より $+\sigma$ 側で判定閾値として設定することで、両者のガウス分布のラップエリアを最小化できると考えて判定閾値を設定した。その結果、多発地震の 0σ （すなわち平均）および、多発地震の平均値 -0.5σ を採用した場合、多発地震のスペクトルは、非多発地震のスペクトルを上回ることから、それらを判定閾値案として採用した。加速度応答スペクトルの判定閾値例を表-3に示す。スペクトルの閾値は水平成分（NS成分とEW成分の対数平均）と鉛直成分で設定した。紙面の都合上割愛するが、速度応答、変位応答スペクトルでも同様に判定閾値を算出した。

4. 土砂災害の発生・非発生の判定に関する考察

平成30年北海道胆振東部地震(2018年9月6日発生、 $M=6.7$)を多発地震、令和2年3月の石川県能登地方の地震(2020年3月13日発生、 $M=5.5$)を非多発地震の事例として、提案する判定指標とその閾値の検証や考察を行った。観測点

は、2.2章の方法に基づき、胆振東部地震では8地点、能登地方の地震では2地点を選定した。図-2に、両地震の加速度応答スペクトルの比較を示した。図には、前述した判定閾値案も併記した。当図によれば、非多発地震である能登地方の地震では、明確に判定閾値を下回った。また、胆振東部地震のスペクトルは、多発地震の平均 -0.5σ の判定閾値に達するか、超過することが認められた。これにより、提案する閾値に達するかもしくは超過することで、土砂災害が多発する可能性の判断に資することができると考えられる。一方、胆振東部地震は、多発地震の平均の閾値より、若干小さいスペクトルであった。この原因は地域差（テフラの影響や地震活発度等）や震源の要因（他の地震に比べ震源深さが37kmと深い）に起因する可能性があり、今後の検討課題と考えられる。

5. おわりに

今後発生する中規模～大規模地震において、この判定閾値の検証を継続的に進めていきたいと考えている。

参考文献

- 坂井佑介ら：観測地震波のスペクトル解析による土砂災害の発生・非発生要因の分析，2020年度砂防学会研究発表会概要集，pp.379-380，2020
- 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，p.251-254，1994
謝辞：本研究では、(国研)防災科学技術研究所，気象庁，地方公共団体の強震観測データを使用させていただきました。ここに謝意を表します。