

地震時の斜面崩壊に対する震動特性の考察

一般財団法人砂防・地すべり技術センター ○高橋 和樹, 井上隆太  
野呂 智之\*, 小山内 信智

\*現国総研土砂災害研究部深層崩壊対策研究官

1.はじめに

1995年兵庫県南部地震の発生以降、防災科学研究所による強震観測が全国で進められており、その後の各地で発生した地震によって広範囲の詳細な地震動データが取得・公開されている。このことから建築工学・地盤工学分野では、構造物等の被害に対する地震動の性質が活発に議論されるとともに、今後発生が予想される南海トラフ巨大地震を見据えた地震動のリスク分析が行われている。

一方で砂防分野では、地震動に起因する斜面崩壊について降雨起因のものに比べ調査研究が十分に進んでおらず、斜面崩壊の形態(表層崩壊、深層崩壊、地すべりなど)に影響を与える地震動特性(震度、加速度、卓越周期、継続時間など)についても知見が不十分である。よって本研究では将来発生しうる大規模地震に対して適切なリスク分析を行うことを目的として蓄積されてきた地震動データについて整理・分析を行った。ここではその一部に関して、現段階で判明していることを報告する。

2.研究対象地震と強震波形の収集

過去に発生した大規模地震動の振動特性について定量的に評価を行うため、以下の条件から表-1に示す地震動を選定した。

- ① 1995年以降に発生した地震である
- ② 震度6強以上を観測した観測所が1箇所以上
- ③ 震度6強以下であっても地震時に顕著な土砂移動現象が認められる

また地震による崩壊発生箇所と震度分布の関係を取り扱った伊藤ら(2009)から、地震後の土砂災害発生頻度は震度5強から顕著に増加するとともに、変位の発生密度や危険度に関して震度5強と震度6弱との間に明瞭な差異があることが報告されている。このことから本研究では選定した各地震について、地震動マップ即時推定システム(QuiQuake)(2023年3月31日公開終了)を用い計

測震度の空間分布の把握を行い、計測震度5.0以上(震度5強以上)と計測される防災科学研究所k-net, kik-net, 気象庁強震波形観測所から強震波形の収集を行った。

表-1 対象とした各地震の諸元一覧

| No | 発生日月        | 地震名                  | 種類   | 震源の深さ<br>マグニチュード(M) | 最大震度         | 最大加速度(g)<br>(観測地点名) | 崩壊面積<br>(km <sup>2</sup> ) | 人的被害                | 物的被害   | 備考                                      |
|----|-------------|----------------------|------|---------------------|--------------|---------------------|----------------------------|---------------------|--|---|
| ①  | 1995年1月17日  | 兵庫県南部地震              | 断層型  | 7.3                 | 7<br>(兵庫県神戸) | 846<br>(兵庫県淡路市)     | 0.3                        | 死 6,422<br>傷 43,792 | 全壊 104,206棟<br>全壊 6,148棟<br>半壊 144,272棟<br>半壊 3,101棟 | 建築物への被害が顕著                              |
| ②  | 2000年10月6日  | 鳥取県西部地震              | 断層型  | 7.3                 | 6強           | 1,142<br>(鳥取県日野町)   | 不明                         | 不明                  | 不明   | 地すべり 3箇所<br>けずれ 13箇所                    |
| ③  | 2003年7月26日  | 宮城県北部地震<br>(宮城県通称地震) | 断層型  | 6.4                 | 6強           | 1,000以上<br>(宮城県宮古市) | 不明                         | 不明                  | 全壊 1,276棟<br>半壊 3,809棟                               | 新築(M5.5)-本震(M6.2)-余震(M5.3)が連続して発生し被害が拡大 |
| ④  | 2004年10月23日 | 新潟県中越地震              | 断層型  | 6.8                 | 7            | 1,750<br>(新潟県上越市)   | 11.2                       | 死 68<br>傷 4,820     | 全壊 3,715棟<br>半壊 13,810棟                              | 震動の天候が原因で発生                             |
| ⑤  | 2007年3月25日  | 新潟中越地震               | 断層型  | 6.9                 | 6強           | 945<br>(新潟県佐和田町)    | 0.1                        | 死 1<br>傷 356        | 全壊 606棟<br>半壊 1,740棟                                 |   |
| ⑥  | 2007年7月16日  | 新潟中越後地震              | 断層型  | 6.8                 | 6強           | 832.7<br>(新潟県長岡市)   | 0.2                        | 死 15<br>傷 2,346     | 全壊 1,313棟<br>半壊 5,710棟                               |   |
| ⑦  | 2008年6月14日  | 長野・宮城内陸地震            | 断層型  | 7.2                 | 6強           | 4,022<br>(宮城県栗原市)   | 10.2                       | 死 47<br>傷 426       | 全壊 30棟<br>半壊 146棟                                    | 観測史上最大の揺れを観測                            |
| ⑧  | 2011年3月11日  | 東北地方太平洋沖地震(本震)       | 海溝型  | 9.0                 | 7            | 2,993<br>(宮城県栗原市)   | 4.4                        | 死 19,729<br>傷 2,559 | 全壊 121,996棟<br>半壊 263,814棟<br>一部倒壊 748,461棟          | 観測史上最大のマグニチュードを記録                       |
| ⑨  | 2011年3月12日  | 東北地方太平洋沖地震(余震)       | 断層型  | 6.7                 | 6強           | 1,251<br>(宮城県栗原市)   | 不明                         | 死 3<br>傷 57         | 全壊 73棟<br>半壊 427棟                                    | 観測によって崩壊が記録されたことが不明                     |
| ⑩  | 2011年3月15日  | 静岡県東部地震<br>(宮城沖地震)   | 断層型  | 6.4                 | 6強           | 1,076<br>(静岡県掛川市)   | 不明                         | 死 80                | 全壊 73棟<br>半壊 427棟                                    |   |
| ⑪  | 2011年4月7日   | 東北地方太平洋沖地震(余震)       | 断層型  | 7.1                 | 6強           | 1,480<br>(宮城県栗原市)   | 不明                         | 死 4<br>傷 296        | 全壊 1,667棟<br>半壊 3,715棟<br>一部倒壊 162,500棟              | 東北地方太平洋沖地震の余震                           |
| ⑫  | 2016年4月14日  | 熊本地震                 | 断層型  | 7.3                 | 7            | 1,791<br>(熊本県大津町)   | 2.9                        | 死 273<br>傷 2,809    | 全壊 169棟<br>半壊 1,660棟<br>一部倒壊 13,849棟                 | 本震の2日後に震度(M6.5)が発生                      |
| ⑬  | 2018年9月5日   | 北海道胆振東部地震(余震)        | 断層型  | 6.7                 | 7            | 1,796<br>(北海道中川町)   | 44                         | 死 43<br>傷 782       | 全壊 169棟<br>半壊 1,660棟<br>一部倒壊 13,849棟                 | 最大の崩壊面積                                 |
| ⑭  | 2019年6月18日  | 2019年山形県沖地震          | 断層型  | 6.7                 | 6強           | 1,191<br>(新潟県上戸)    | 不明                         | 死 43<br>傷 43        | 一部倒壊 1,580棟  |   |
| ⑮  | 2021年2月13日  | 2021年福島沖沖地震(余震)      | スラブ内 | 7.3                 | 6強           | 1,432<br>(宮城県山元町)   | 不明                         | 死 1<br>傷 187        | 全壊 69棟<br>半壊 1,299棟<br>一部倒壊 19,758棟                  |   |
| ⑯  | 2022年3月16日  | 2022年福島沖沖地震(余震)      | スラブ内 | 7.4                 | 6強           | 1,233<br>(宮城県山元町)   | 不明                         | 死 3<br>傷 247        | 全壊 204棟<br>半壊 1,419棟<br>一部倒壊 45,335棟                 |   |

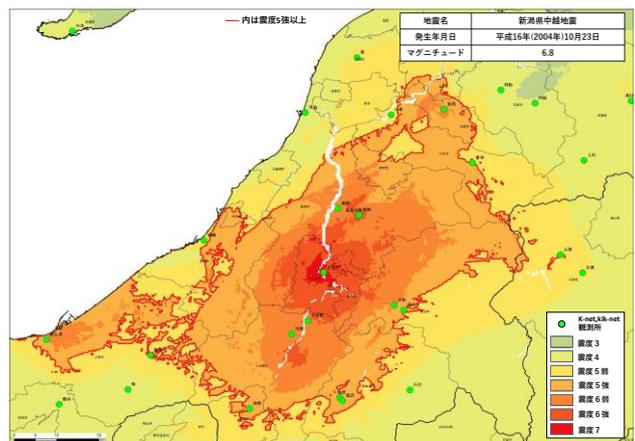


図-1 地震時の震度分布と観測所位置(新潟中越地震)

3.強震波形の震動特性の分析

収集した各地震の強震波形に対して減衰定数:  $h=0.05$  として応答スペクトル解析を行った。地震の種類(海溝型・内陸直下型)ごとに集計したNS・EW・UD方向における加速度応答スペクトルの卓越周期の出現頻度を図-2に示す。全ての地震動を対象とした場合に注目すると、NS・EW方向ともに周期0.2秒付近が最も出現頻度が多く、周期が長くなるにつれて出現頻度も少なくなる傾向にある。また、収集した

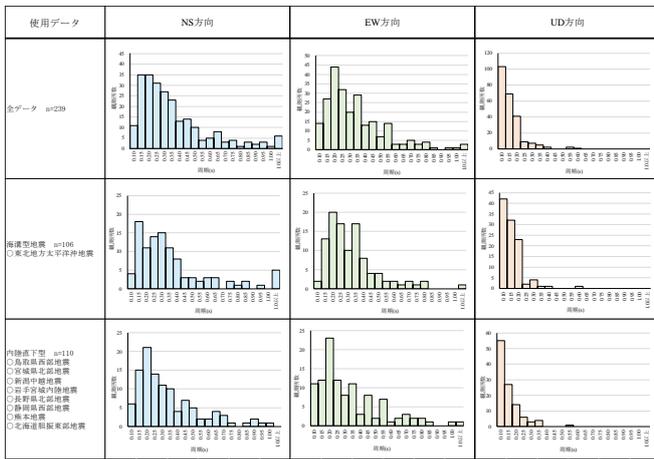


図-2 加速度応答スペクトルの卓越周期出現頻度

地震動のうち6つの強震データで卓越周期が1秒を超えたものの、ほとんどの強震データの卓越周期は1秒以内に収まる結果となった。地震の種類(海溝型・内陸直下型)による周期の出現頻度を比較すると、内陸直下型地震ではNS・EW方向の周期において0.2秒付近が最も出現頻度が多いのに対して、海溝型では0.2~0.35秒付近で横ばいとなっており、海溝型地震の方が直下型地震に比べ周期の長い地震動が卓越しやすいという特徴を表している。UD方向に関しては地震の種類などに関係なく0.1秒以下の周期が最も出現頻度が多くなった。

図-3に各強震データの計測震度と水平方向(NS・EW)の卓越周期との関係を示す。地震の種類ごとや計測震度と卓越周期との間に明瞭な関係は見いだせないものの、内陸型に関しては計測震度の大きい強震データほど卓越周期の長くなることが示唆される。

#### 4.観測所における震動特性

顕著な土砂災害が認められた地震に対して、地震時の崩壊地分布を整理し、崩壊地の密集するエリアに近い観測所を抽出した。さらに、抽出した観測所において過去に同程度の計測震度を観測した観測所

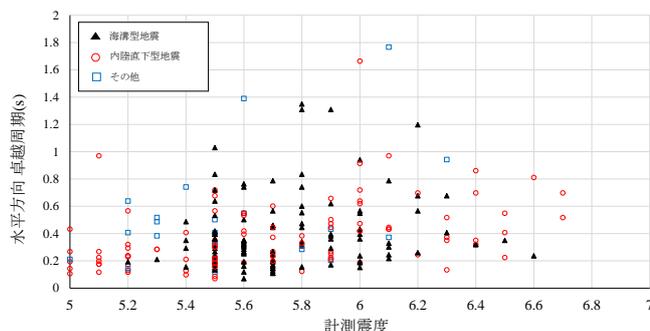


図-3 計測震度と水平方向卓越周期の関係

(時期の近い余震は除く)を抽出し、その時の強震データの震動特性について整理した。

表-2内の赤の塗りつぶしがそれぞれの観測所周辺で顕著な土砂災害を引き起こした地震を示している。追分・小千谷観測の加速度の水平方向(NS・EW)卓越周期に着目すると土砂災害の生じた地震において生じていない地震と比べて卓越周期が長くなっていることが確認される。また、その卓越周期も追分:0.5秒程度、小千谷:0.7秒程度と前述した卓越周期の出現頻度のうち、あまり頻度の多くない値となっている。しかしながら、岩手宮城内陸地震における一関西での加速度の卓越周期は0.1秒程度と短くなっており、その後の東北地方太平洋沖地震でもその傾向は変化していない。岩手宮城内陸地震においては川邊によって、激しい上下方向の加速度の増幅が崩壊現象に寄与したことが指摘されている。

表-2 各観測所における地震動の震動特性

| 観測点名                | 地震         | 発生日         | 計測震度 | 震央距離 (km) | 方向     | 最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> ) | 加速度卓越周期 (s) | 300ms(三成分)以上の時間 (s) | 最大速度 (line) | 速度卓越周期 (s) |
|---------------------|------------|-------------|------|-----------|--------|----------------------------|-------------|---------------------|-------------|------------|
| 追分 (IBFH01)         | 十勝沖地震      | 2003年9月26日  | 4.8  | 221.6     | NS     | 124.7                      | 0.34        | 0.00                | 15.62       | 2.3        |
|                     |            |             |      |           | EW     | 139.9                      | 0.34        |                     | 16.83       | 5.3        |
|                     |            |             |      |           | UD     | 48.73                      | 0.103       |                     | 7.90        | 8.1        |
|                     | 北海道胆振東部地震  | 2018年9月6日   | 6.7  | 25.6      | NS     | 1316.1                     | 0.473       | 5.81                | 95.89       | 0.549      |
|                     |            |             |      |           | EW     | 928.6                      | 0.517       |                     | 95.91       | 0.549      |
|                     |            |             |      |           | UD     | 1060.1                     | 0.26        |                     | 36.62       | 0.26       |
| 北海道胆振東部地震(余震)       | 2019年2月21日 | 5.6         | 19.3 | NS        | 460.09 | 0.34                       | 0.36        | 33.33               | 0.407       |            |
|                     |            |             |      | EW        | 405.67 | 0.293                      |             | 22.15               | 0.395       |            |
|                     |            |             |      | UD        | 221.34 | 0.171                      |             | 4.62                | 0.171       |            |
| 一関西 (IWH25 (IWH26)) | 岩手・宮城内陸地震  | 2008年6月14日  | 6.4  | 2.5       | NS     | 1143.2                     | 0.106       | 10.13               | 70.26       | 0.5~1.0    |
|                     |            |             |      |           | EW     | 1432.6                     | 0.134       |                     | 62.37       | 0.5~1.0    |
|                     |            |             |      |           | UD     | 3866.0                     | 0.06        |                     | 83.57       | 0.2        |
|                     | 東北地方太平洋沖地震 | 2018年9月6日   | 5.0  | 200.7     | NS     | 265.6                      | 0.13        | 0.00                | 13.6        | 0.5        |
|                     |            |             |      |           | EW     | 289.3                      | 0.109       |                     | 17.62       | 0.78       |
|                     |            |             |      |           | UD     | 156.1                      | 0.094       |                     | 8.99        | 不明瞭        |
| 福船 (MVG004)         | 岩手・宮城内陸地震  | 2008年6月14日  | 5.7  | 35.4      | NS     | 739.94                     | 0.181       | 2.87                | 45.69       | 3.73       |
|                     |            |             |      |           | EW     | 678.28                     | 0.187       |                     | 39.64       | 3.62       |
|                     |            |             |      |           | UD     | 224.28                     | 0.1         |                     | 14.97       | 1.93       |
|                     | 東北地方太平洋沖地震 | 2018年9月6日   | 6.7  | 174.6     | NS     | 2699.89                    | 0.237       | 25.69               | 108.6       | 0.245      |
|                     |            |             |      |           | EW     | 1288.49                    | 0.224       |                     | 49.87       | 0.23       |
|                     |            |             |      |           | UD     | 1879.93                    | 0.119       |                     | 37.00       | 0.119      |
| 小千谷 (NGI05)         | 新潟中越地震     | 2004年10月23日 | 6.7  | 7.0       | NS     | 1147.42                    | 0.698       | 6.15                | 98.36       | 0.698      |
|                     |            |             |      |           | EW     | 1307.91                    | 0.677       |                     | 127.1       | 0.698      |
|                     |            |             |      |           | UD     | 830.17                     | 0.076       |                     | 29.09       | 0.861      |
|                     | 新潟中越沖地震    | 2007年7月16日  | 5.6  | 32.2      | NS     | 390.5                      | 0.361       | 0.39                | 21.1        | 0.361      |
|                     |            |             |      |           | EW     | 454.7                      | 0.407       |                     | 45.15       | 0.432      |
|                     |            |             |      |           | UD     | 116.5                      | 0.067       |                     | 8.9         | 1.61       |

#### 5.今後の課題

本研究においては震度6強以上を観測した地震動を対象にその震動特性の分析と観測所における土砂災害を生じさせた震動特性について考察を行った。今後は各地震の特徴や崩壊形態について整理するとともに、季節特性などについても検討を行いたいと考えている。

#### <参考文献>

- 1)伊藤ら:地震による崩壊発生箇所と震度分布との関係, 砂防学会誌, Vol.61, No.5, p.46-51, 2009
- 2)川邊 洋:近年の地震による斜面変動にみられるいくつかの特徴, 地すべり学会誌, Vol.52, No.2, p.67-73, 2015