

## 複数の地震動の指標を用いた地震時斜面崩壊の評価

元国土技術政策総合研究所（九州地方整備局阿蘇砂防事務所）○坂井佑介

国土技術政策総合研究所 山越隆雄

日本工営株式会社 小原大輔 岡崎丈 黒川雅裕

村岡純奈 宮川大輝 古谷貴史

### 1. はじめに

近年、大規模な地震による土砂災害が頻発している。地震による土砂災害の被害を防止・軽減するためには、地震による土砂移動の発生要因について明らかにする必要がある。特に直接的な誘因である地震動について数多くの研究が実施されてきた。そして、坂井ら（2023）は、これまで土砂移動発生との関係が指摘されてきた計測震度や最大加速度に加えて、1秒以上の長い周期帯を考慮することで、地震が発生した際の土砂移動の多寡の判定精度が向上する可能性について報告している。しかし、上記の研究は、個別の土砂移動発生場の地形や地質の違いが考慮されていないなどの課題が残されている。

本研究は、個別の土砂移動発生場の地形や地質の違いを考慮した上で、観測地震波から得られる短周期帯から長周期帯を含む様々な地震動の指標と土砂移動との関係を分析した結果を報告するものである。

### 2. 調査対象地震

調査対象地震は、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2009年駿河湾南部地震、2016年熊本地震、2018年北海道胆振東部地震、2016年山形県沖地震、2021年福島県沖地震である。このうち、2009年駿河湾南部地震、2016年山形県沖地震、2021年福島県沖地震は地震の規模が大きかったにも関わらず、土砂移動が少なかった事例として選定している。

### 3. 研究手法

調査対象地震において震度5弱以上を記録した強震観測点を抽出した。そして、抽出した強震観測点のうち、I種地盤もしくはI種地盤に相当する地盤に設置されている強震観測点を絞り込んだ。また、強震観測点で観測された地震動が代表できるエリアとして、観測点から半径5kmをカバーエリアと設定し、カバーエリア内の地質構成が地震間で大きく異なるような強震観測点を抽出した。抽出した強震観測点は計46地点（中越：5地点、中越沖：4地点、岩手・宮城：2地点、駿河湾：4地点、熊本：14地点、北海道胆振：2地点、2016年山形県沖：4地点、福島県沖：11地点）である。

次に、カバーエリア内の崩壊密度と地すべり密度を把握した。崩壊・地すべり発生個所のデータは国土地理院より貸与されたデータ（国土地理院、2022）に加え、国土地理院データで判読されていない範囲は空中写真判読を実施して崩壊・地すべり発生箇所を抽出した。ここで、地形

分類図を基に崩壊や地すべりが発生しえない地形（例えば、水部）の面積を控除して密度を算出した。また、強震観測点の観測地震波データから計測震度相当値、水平2成分合成値として最大加速度、最大速度、最大変位、周期2秒の加および周期5秒の加速度応答スペクトルを算出した。

その上で、崩壊密度、地すべり密度、崩壊・地すべり密度を目的変数、算出した地震動の指標を説明変数として相関を確認するとともに、機械学習により崩壊の発生・非発生の閾値を分析した。分析に用いた機械学習はSVM（サポートベクターマシン）である。SVMは複数の説明変数によって2種類のデータ群の分離精度の評価と分離境界の可視化をする手法である。本研究では、崩壊・地すべりの発生・非発生の分離境界を設定する。ここでは、発生データと非発生データをほぼ同数にするために、崩壊密度0.05個/km<sup>2</sup>もしくは地すべり密度0.001個/km<sup>2</sup>以上を発生、それ未満を非発生と定義することとした。

### 4. 結果と考察

目的変数（崩壊密度、地すべり密度、崩壊・地すべり密度）と説明変数（計測震度相当値、最大加速度、最大速度、最大変位、周期2秒および周期5秒の加速度応答スペクトル）の単相関を分析した結果を表-1に示す。この結果から、いずれの説明変数も一定の相関があるが、他の説明変数に比べて、長周期帯の特徴が含まれる最大速度と最大変位で相関が高くなる傾向が見られた。

次に、縦軸と横軸に異なる説明変数、バブルの大きさを崩壊・地すべり密度の大きさとした図のうちの2例を示す（図-1）。図-1(a)の場合、バブルは左上と右下に広がらず、対角線上に並んで分布している。これは、説明変数である計測震度相当値と最大加速度が強震観測点によって似たような値となっていることを示しており、複数の地震動指標を使用する効果が小さい組み合わせであることがわかる。一方で、説明変数を最大加速度と最大変位とした図-1(b)の場合、バブルは左上と右下に散らばって分布している。また、左上や右下、対角線上で原点から遠ざかるほどバブルが大きくなる傾向にある。さらに、赤点は崩壊・地すべり密度が0の強震観測点を示しているが、最大加速度の値によらず、最大変位が小さい領域に分布している。これらの結果から、最大加速度だけでなく、最大変位を考慮することにより、より崩壊・地すべりが起きやすい地震動を抽出することが可能になると考えられる。

最後にSVMで訓練データ（27地点）によって構築した

モデルをテストデータ（19 地点）に適用して分離精度や分離境界を可視化した結果を示す。図-3 は、地すべり密度を目的変数とした場合に最も分離精度が良好だった地震動指標の組み合わせ（最大加速度、加速度応答スペクトル周期 5 秒）の結果である。この組み合わせでは、正解率（（赤○+緑○）／（赤○+緑○+赤×+緑×）：発生・非発生の推定結果が正解した割合）が 94.7%、見逃率（赤×／（赤○+赤×）：実際は発生であるが、誤って非発生と推定した割合）が 16.7%となっている。また、誤って推定した結果（赤×：実際は発生であるが、誤って非発生と推定、緑×：実際は非発生であるが、誤って発生と推定）は発生と非発生の境界を付近に分布しており、発生と非発生を精度良く分離できていることがわかる。このことから、計測震度相当値や最大加速度に加えて、1 秒以上の長い周期帯の特徴を示す地震動の指標を用いることによって、崩壊や地すべりの発生・非発生の判定精度が向上するものと考えられる。

### 謝辞

本研究では、(国研)防災科学技術研究所、気象庁と地方自治体、東京電力㈱の観測地震波データを使用しました。また、崩壊密度および地すべり密度の算出に利用した崩壊・地すべり発生箇所データを国土地理院に貸与いただきました。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 坂井ら (2023) : 観測地震波スペクトルを用いた地震動の周期特性が土砂移動に及ぼす影響に関する事例研究、砂防学会誌 (印刷中)
- 岩橋ら (2022) : 過去の地震時地盤災害発生箇所 の 4 分の 1 地域メッシュデータ化、国土地理院時報、No. 135、p. 69-74

表-1 目的変数と説明変数の相関係数

変数1	変数2	相関係数
崩壊密度(個/km2)	最大変位(cm)水平2成分合成	0.54
崩壊密度(個/km2)	加速度応答スペクトル(gal)周期5秒水平2成分合成	0.51
崩壊密度(個/km2)	最大速度(kine)水平2成分合成	0.49
崩壊密度(個/km2)	最大加速度(gal)水平2成分合成	0.44
崩壊密度(個/km2)	計測震度相当値	0.41
崩壊密度(個/km2)	加速度応答スペクトル(gal)周期2秒水平2成分合成	0.39
変数1	変数2	相関係数
地すべり密度(個/km2)	最大速度(kine)水平2成分合成	0.66
地すべり密度(個/km2)	最大加速度(gal)水平2成分合成	0.62
地すべり密度(個/km2)	加速度応答スペクトル(gal)周期2秒水平2成分合成	0.53
地すべり密度(個/km2)	計測震度相当値	0.50
地すべり密度(個/km2)	最大変位(cm)水平2成分合成	0.46
地すべり密度(個/km2)	加速度応答スペクトル(gal)周期5秒水平2成分合成	0.31
変数1	変数2	相関係数
(崩壊+地すべり) 密度(個/km2)	最大変位(cm)水平2成分合成	0.56
(崩壊+地すべり) 密度(個/km2)	最大速度(kine)水平2成分合成	0.56
(崩壊+地すべり) 密度(個/km2)	最大加速度(gal)水平2成分合成	0.51
(崩壊+地すべり) 密度(個/km2)	加速度応答スペクトル(gal)周期5秒水平2成分合成	0.50
(崩壊+地すべり) 密度(個/km2)	計測震度相当値	0.46
(崩壊+地すべり) 密度(個/km2)	加速度応答スペクトル(gal)周期2秒水平2成分合成	0.44

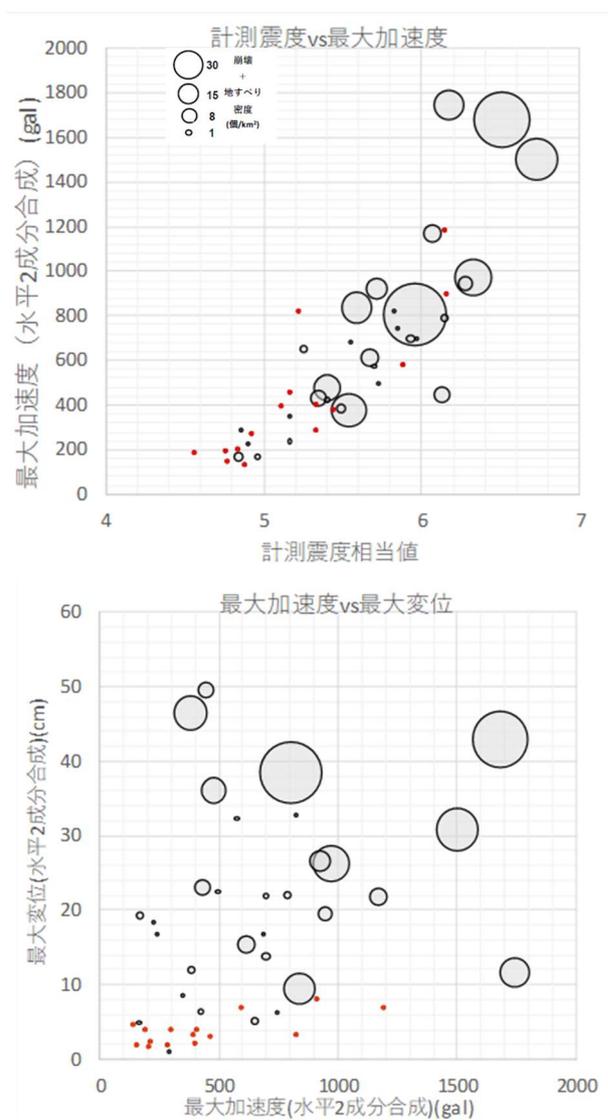


図-1 バブルチャートによる整理結果の例

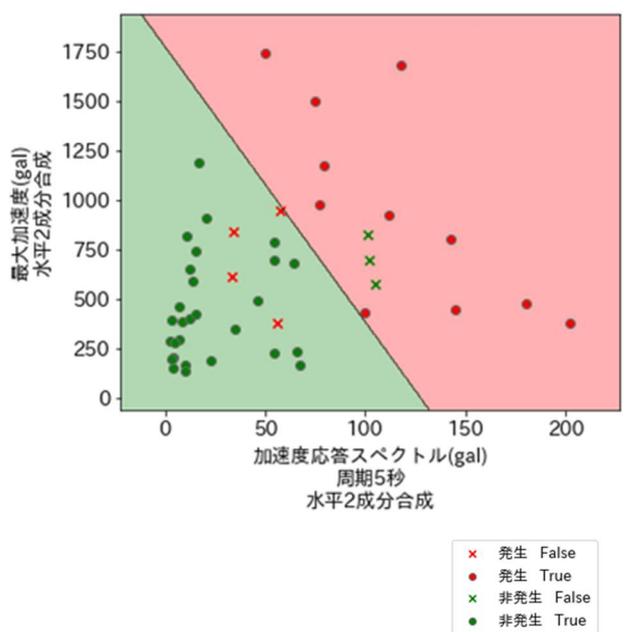


図-2 SVMによる分離境界の可視化結果の例