

地震動が斜面の安定性に与えた影響に関する検討～兵庫県南部地震を例に～

国土技術政策総合研究所 岡本 敦（現国土交通省砂防部）・野村康裕・奥山悠木  
アジア航測株式会社 ○松田昌之・高山 陶子・湯川典子・望月 純

1 はじめに

国土交通省では、大規模地震時に斜面崩壊の発生状況を把握するために、緊急的な調査・施設点検を行うとともに、平時より地震による斜面崩壊の被害を防止するための砂防事業を実施している。また、大規模地震により強い地震動を受けた場所では、その後の降雨で多数の土砂災害が発生した事例が多数ある。そのため、震度5強以上を観測した市町村では、土砂災害警戒情報の雨量基準を暫定的に引き下げて運用している。

しかしながら、地震動が斜面の安定性に与える影響については、基礎的なデータ不足等により、未解明の部分も多い。土砂災害警戒情報の的確な運用のためには、地震動が土砂災害の発生機構に与える影響の把握が特に重要であることから、兵庫県南部地震を例に地震動が斜面に与える影響を土質強度（粘着力）の観点から分析した。

2 崩壊地判読データと降雨データの整理

地震動が斜面に与える影響を検討するにあたり、兵庫県南部地震後の7時期の崩壊地判読データ（近畿地方整備局六甲砂防事務所提供）を収集した。各判読に使用されている空中写真の撮影時期を踏まえ、崩壊の誘因となる降雨の整理期間を決定した（表1）。

2.1 崩壊地判読データ

使用したデータは新規崩壊地および拡大崩壊部のポリゴンデータである（平成7年の崩壊地データは地震による崩壊を除く、降雨による崩壊）。地震直後（平成7年）から平成9年にかけて、最大降雨に大きな変化は見られないが、新規崩壊地数は急激に減少している傾向がみられる。なお、平成11年で崩壊地数が増加しているが、これは豪雨災害によるものである（図1）。

2.2 崩壊と関係性のある降雨データの選定

設定した降雨整理期間において、年度ごとに6つの最大雨量（1時間雨量・2時間雨量・3時間雨量・6時間雨量・12時間雨量・24時間雨量）と新規崩壊地箇所数との関係を整理した。最大6時間雨量で、降雨の増加に比例して新規崩壊箇所数が増加する比較的良好な正の相関が得られた。

表1：崩壊地判読データと降雨整理対応表

| 整理時期      | 空中写真撮影時期                     | 降雨整理期間                      |
|-----------|------------------------------|-----------------------------|
| 平成7年（地震時） | 平成7年1月<br>平成7年5月             | —                           |
| 平成7年      | 平成7年8～10月<br>平成7年12月～平成8年1月  | 平成7年6月1日～<br>平成8年1月31日      |
| 平成8年      | 平成8年7月26日～27日<br>平成8年10月～11月 | 平成8年2月1日～<br>平成8年7月25日      |
| 平成9年      | 平成9年12月                      | 平成8年7月26日～<br>平成9年11月30日    |
| 平成10年     | 平成10年11月～12月                 | 平成9年12月1日～<br>平成10年10月31日   |
| 平成11年     | 平成11年1月～平成12年1月              | 平成10年11月1日～<br>平成11年12月31日  |
| 平成16年     | 平成16年10月28日                  | 平成12年1月1日～<br>平成16年10月27日   |
| 平成19年     | 平成19年10月22日～<br>平成19年11月7日   | 平成16年10月28日～<br>平成19年10月21日 |

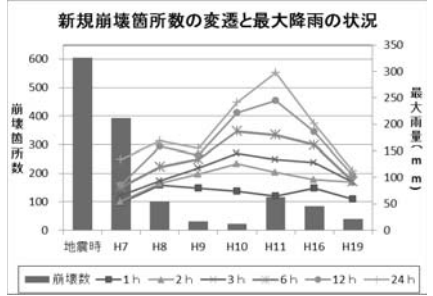


図1：新規崩壊地数の変遷

3 地形条件・降雨条件によるケース分類

六甲山地の地震後のレーザ計測データより調整した10mメッシュDEMデータから「斜面勾配」・「集水面積」・「平均曲率」を算出した。これらの地形条件と降雨条件（最大6時間降雨）から、ケース分類を行った。ケース分類により条件を統一化し、素因・誘因条件の違いによる影響をできるだけ排除したうえで、地震動による影響の分析を試みた（表2）。

表2：ケース分類表

| 種類            | 記号  | 区分              | 区分の設定根拠等                               |
|---------------|-----|-----------------|----------------------------------------|
| 地質区分          | —   | 深成岩・火山岩・堆積岩など   | 六甲山地では1つ                               |
| 斜面勾配          | 1   | 20°未満           | 内部摩擦角35°から上下15°の地点を閾値として設定             |
|               | 2   | 20°以上～35°未満     |                                        |
|               | 3   | 35°以上～50°未満     |                                        |
|               | 4   | 50°以上           |                                        |
| 集水面積          | A   | 0以上～50m²未満      | 崩壊地分布が概ね等分（3等分）になる地点                   |
|               | B   | 50m²以上～100m²未満  |                                        |
|               | C   | 100m²以上         |                                        |
| 平均曲率          | α   | 平均曲率<0（尾根地形）    | 地形形状による土層厚の変化を想定                       |
|               | β   | 平均曲率≥0（谷地形）     |                                        |
| 降雨強度（最大6時間雨量） | I   | 50mm未満          | 10年確率降雨（約100mm）と100年確率降雨（約150mm）を参考に設定 |
|               | II  | 50mm以上～100mm未満  |                                        |
|               | III | 100mm以上～150mm未満 |                                        |
|               | IV  | 150mm以上         |                                        |

4 崩壊面積率の推移

整理したケース分類別に崩壊面積率（崩壊メッシュ数/総メッシュ数）を算出した。多くのケースで、平成7年～平成9年の間に、崩壊面積率が減少している傾向がみられる（図2）。また、六甲山地全体の崩壊面積率も同様に平成7年～平成9年で崩壊面積率が減少する傾向がみられた（図3）。

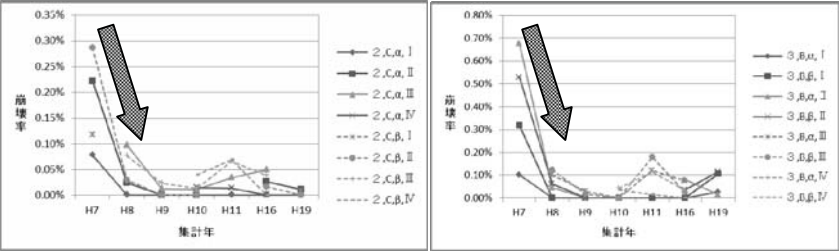


図2：ケース分類別の崩壊面積率の変化事例  
（左図：勾配20～35° 集水面積100m²以上 右図：勾配35～50° 集水面積50～100m²）

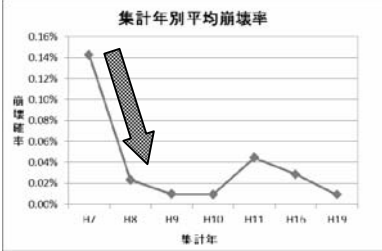


図3：六甲山地全体の崩壊面積率の推移

## 5 数値計算による土質強度の推定方法

本検討では、多数実施した無限長斜面を想定した安定解析の結果から、実際の崩壊面積率を説明できる粘着力を推定した。

### 5.1 数値計算による土質強度の算出方法

土質強度の算出には、土層厚を確率分布として与えた場合の崩壊発生率を求める手法である C-SLIDER 法（表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価マニュアル（案）：土木研究所資料第 4129 号）を用いた。粘着力を変化させたトライアル計算を行い、実際の崩壊面積率と最も近い崩壊確率となる粘着力条件を選定し、崩壊面積率に対応した土質強度とした（図 4）。

### 5.2 計算に用いる諸条件の設定

表層土層厚の分布は、六甲山地において六甲砂防事務所が実施した表層土層厚の調査結果から、地形区分別（急傾斜部・尾根部・谷部）に推定した。また、計算に使用した土質定数は、六甲山地における土質試験結果を用いた（表 3）。

表 3：数値計算に用いた土質定数等

| 区分       | 項目           | 記号 | 単位                | 設定値                   | 備考                    |
|----------|--------------|----|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| 主として地形量  | メッシュサイズ      | —  | m                 | 10                    |                       |
|          | 勾配           | I  | ラジアン              | —                     | 地形データにより決定            |
|          | 集水面積         | A  | m <sup>2</sup>    | —                     | 地形データにより決定            |
|          | メッシュ幅        | b  | m                 | 10                    |                       |
| 主として土質定数 | 土層厚          | h  | m                 | —                     | 3 つの地形区分別に想定される分布形による |
|          | 土の粘着力        | c  | kN/m <sup>2</sup> | 算出対象項目                |                       |
|          | 土の内部摩擦角      | φ  | 度                 | 35°                   | 土質試験結果より              |
|          | 土の飽和透水係数     | Ks | cm/sec            | 6.66×10 <sup>-2</sup> |                       |
|          | 土の飽和時単位体積重量  | γs | kN/m <sup>3</sup> | 18.1                  |                       |
|          | 土の不飽和時単位体積重量 | γt | kN/m <sup>3</sup> | 15.4                  |                       |
|          | 水の単位体積重量     | γw | kN/m <sup>3</sup> | 10.0                  |                       |



図 4：数値計算による土質強度の算出フロー

## 6 土質強度からみた地震動による斜面の安定性の影響

土質強度からみた地震動による斜面の安定性の影響を把握するため、5 で算出した土質強度の推移を整理した。

### 6.1 地震後の推定土質強度の推移

ケース分類別の粘着力の推移は、平成 7 年から平成 9 年の間に粘着力が増加し、その後は横ばいに近い推移を示す傾向が多数の事例でみられた（図 5）。また、六甲山地全体の崩壊面積率から求めた粘着力は、ケース分類別の推移と同じように、平成 7 年～平成 9 年にかけて増加し、その後は横ばいに近い推移を示す（図 6）。

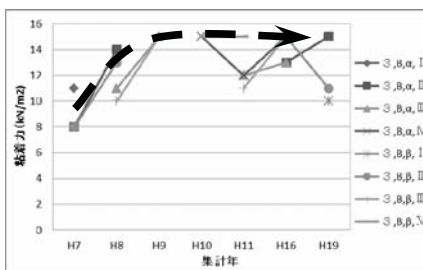
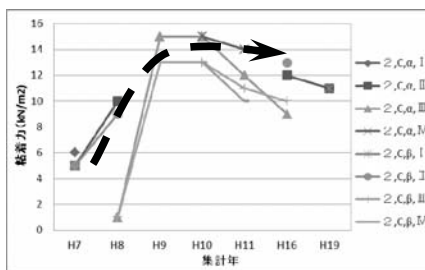


図 5：ケース分類別の粘着力の変化事例

（左図：勾配 20～35° 集水面積 100m<sup>2</sup> 以上 右図：勾配 35～50° 集水面積 50～100m<sup>2</sup>）

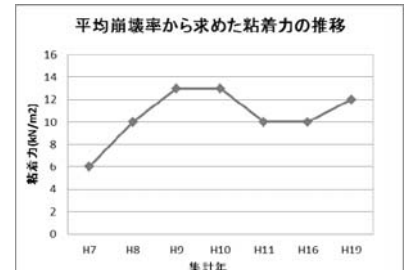


図 6：六甲山地全体の平均的な粘着力の推移

### 6.2 考察

本検討により得られた数値計算による粘着力では、地形条件や降雨条件を統一することで（ケース分類による条件の統一）、平成 7 年～平成 9 年にかけて増加し、その後、横ばいに近い推移を示す傾向がみられた。この傾向は六甲山地全体の平均的な粘着力の推移傾向にも共通する。つまり、大規模地震直後に低い値であった粘着力が、その後、徐々に高い値に回復している可能性が考えられる。また、平成 9 年以降は粘着力に大きな変化はないことから、大規模地震後の 1～2 年ほどは粘着力が低下している可能性も考えられる。

## 7 まとめ

本検討では、地震動が斜面に与える影響把握を目的とし、兵庫県南部地震を例にとり、無限長斜面を想定した数値計算（C-SLIDER 法）を用いて見かけの粘着力を推定することで、地震後の土質強度の経年変化を把握した。

本検討の手法は、粘着力の条件を変えたトライアル計算による崩壊確率と実際の崩壊面積率を比較し、実際の崩壊面積率をもっともよく説明できる粘着力を推定するものである。ケース分類による条件の統一化により素因・誘因の影響をできるだけ排除した結果、地震直後（平成 7 年）に小さい値であった粘着力が、その後、徐々に増加する傾向が得られた。また、この粘着力の回復には、1～2 年程度かかる可能性が示された。今後、その他の地震においても同様の検討を行い、土砂災害警戒情報の暫定基準の運用解除等の根拠データとして活用されることが望まれる。