

## 火山地域における大規模地震後の時間経過に伴う崩壊発生限界雨量の変化

信州大学大学院 ○稲垣 翔  
信州大学学術研究院 平松晋也

## 1. はじめに

近年、2016年に発生した熊本地震や2018年に発生した北海道胆振東部地震など、大規模地震が相次いで発生し甚大な土砂災害を引き起こしている。地震を対象とした研究は、崩壊発生メカニズムやその立地条件を議論したものが大部分であり、地震発生後の経過時間と斜面の安定性の変化(回復)を議論した研究事例はほとんどみられないというのが現状である。本研究は、火山地域で発生する大規模地震時の加速度が土質強度や斜面の安定性に及ぼす影響とその影響期間を明らかにすることを目的として実施したものである(図-1)。

## 2. 研究対象地域と土質実験用供試体の採取

研究対象地域は、M6.7、最大震度7(最大加速度1.83G)を記録し94件(厚真町89件)の土砂災害が発生した北海道胆振東部地震発生時に崩壊の集中した厚真町幌内地区である。土質実験用の不攪乱供試体は、調査対象地の崩壊地源頭部周辺のすべり面と判断された深度200cm地点の粘土層(Ta-d風化層)内で採取した。

## 3. 土質実験の概要

地震時に作用した加速度が土質強度に及ぼす影響を把握するため、加速度試験と一面せん断試験を実施した。北海道胆振東部地震時には300gal以上の加速度が10.71秒間継続した事実を勘案し、試薬攪拌用振とう機を使用して供試体のせん断面に対して水平方向に加速度(0.85G, 2.2G, 3.0G)を9秒間与えた。その後、加振前後の供試体と加振後に所定の期間(1.0ヶ月, 3.0ヶ月)屋外に埋設した供試体とに対して、「一面せん断試験」を実施し土質強度(粘着力:  $C$ , 内部摩擦角:  $\phi$ )の変化を把握した。

## 4. 地震時に作用した加速度とその後の経過時間が土質強度に及ぼす影響

地震発生後の時間経過にともなう土質強度の変化を示す図-2より、加速度が増加しても内部摩擦角:  $\phi$ には大きな変化は認められなかったものの、粘着力:  $C$ は加速度の増加とともに大幅に減少する結果となった。とくに、北海道胆振東部地震で観測された最大加速度と同等の加速度(2.2G)を与えた場合には、加速度を与えない場合(0G)と比較し、加振直後には粘着力が80%以上も低下するといった注目に値する事実が明らかになった。

加速度を与えた直後(0M)に大幅に低下した粘着力:  $C$ は、1.0ヶ月(1M)~3.0ヶ月(3M)経過すると、0.85Gの加速度を与えた場合にはほとんど変化がみられなかったのに対し、2.2Gの加速度を与えた場合には4.98kN/m<sup>2</sup>(加振前)→0.84kN/m<sup>2</sup>(0M)→1.26kN/m<sup>2</sup>(1M)→2.43kN/m<sup>2</sup>(3M)へと回復傾向を示していることがわかる。さらに、3.0Gの加速度を与えた場合には4.98kN/m<sup>2</sup>(加振前)→0kN/m<sup>2</sup>(0M)→0.07kN/m<sup>2</sup>(1M)→4.05kN/m<sup>2</sup>(3M)と加速度を与えてから3.0ヶ月経過すると、粘着力が加振前の80%程度にまで回復するといった興味深い結果が得られた。

## 5. 地震発生後の斜面安定性の変化

地震時に作用する加速度が斜面の安定性に及ぼす影響を定量的に把握するため、既往研究(尾藤ら, 2001)で示された「雨水浸透過程を加味した斜面安定モデル」を用いて地下水深を求め、無限長斜面に対する斜面安定解析を実施した。斜面安定解析は、崩壊地源頭部の土層断面調査結果を勘案して土層厚:  $D=2.1\text{m}$ とし、2016年8月15~23日に厚真町で観測された実績降雨波形を基に作成した中央集中型降雨波形を入力降雨として設定し、

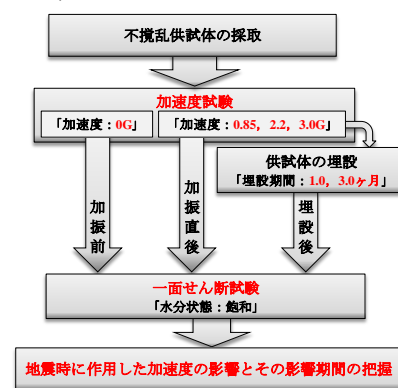


図-1 研究フロー

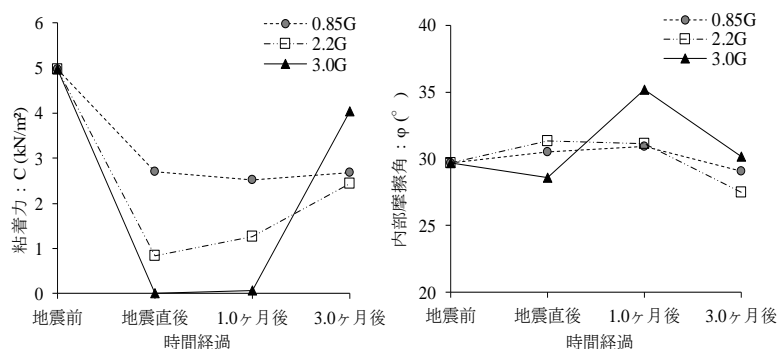


図-2 地震発生後の時間経過にともなう土質強度の変化

表-1 に示す加速度：3 パターン，斜面勾配：6 パターンと，供試体に与える加速度と埋設期間を変化させた場合の土質強度：10 パターンをそれぞれ組み合わせ合わせた合計 60 ケース実施した。

解析結果の一例として，調査対象地の斜面勾配( $\beta=28^\circ$ )と同様の斜面勾配  $\beta=25^\circ$  とした場合の地下水深と安全率の経時変化を図-3 に示す。加振前(0G)には安全率が 1.0 を下回ることがなかったのに対し，加振直後には全ケースで崩壊に至る結果となった。また，0.85G と 2.2G の加速度が作用した場合，加振後 1.0 ヶ月～3.0 ヶ月経過しても顕著な回復傾向がみられないのに対し，3.0G の加速度が作用した場合には加振後 3.0 ヶ月経過すると斜面勾配  $\beta=25^\circ$  の場合には最小安全率が  $F_s=1.08$  を示し(図-4)，斜面の安定性が急激に回復する事実が明らかになった。

## 6. 大規模地震発生後の崩壊発生限界雨量の変化

斜面安定解析において安全率が 1.0 を下回った時点での累加雨量を崩壊発生限界雨量と定義し，解析の結果得られた崩壊発生限界雨量を基に，地震発生前(0G)を基準とした崩壊発生限界雨量の低下率を(1)式を用いて求めた。

$$\text{崩壊発生限界雨量の低下率}(\%) = \frac{Rc(\alpha G, \beta - \gamma) - Rc(0G, \beta)}{Rc(0G, \beta)} \times 100 \quad (1)$$

ここに， $Rc(\alpha G, \beta - \gamma)$ ：勾配が  $\beta(^\circ)$  の斜面に加速度  $\alpha(G)$  が作用した後  $\gamma$  ヶ月が経過した場合の崩壊発生限界雨量(mm)， $Rc(0G, \beta)$ ：勾配が  $\beta(^\circ)$  の斜面に加速度が作用しない場合の崩壊発生限界雨量(mm)である。

加振後の時間経過にともなう崩壊発生限界雨量の低下率の変化を示す図-5 より，勾配が  $\beta=25^\circ$  の斜面では加振直後の崩壊発生限界雨量の低下率は，加速度の増加とともに  $8.9\%(0.85G) \rightarrow -30.8\%(2.2G) \rightarrow -72.8\%(3.0G)$  へと大幅に低下することがわかる。また，0.85G と 2.2G の加速度が作用した場合には，加振後 1.0 ヶ月～3.0 ヶ月経過しても明瞭な回復傾向がみられないのに対し，3.0G の加速度が作用した場合の崩壊発生限界雨量の低下率は加振後 3.0 ヶ月が経過すると加振前(0G)と同程度(低下率：0%)にまで大幅に回復する結果となった。この時間経過にともなう回復傾向(度合い)は，斜面勾配の増加とともに顕著に認められた。

## 7. おわりに

火山地域の斜面を構成する土壌に北海道胆振東部地震(最大加速度 1.83G，震度 7)と同規模の加速度(2.2G)が勾配  $\beta=25^\circ$  の斜面に作用した場合の加振直後の崩壊発生限界雨量は，地震発生前と比較して 30%以上も低下し，加振後 3.0 ヶ月経過しても低下率が 25.8%にとどまりわずかに回復する程度であった。国土交通省は，降雨による土砂災害への警戒を高めることを目的として警戒避難基準雨量の暫定的な引き下げ基準を示し，「震度 5 強を観測した地域では 2 割，震度 6 弱以上を観測した地域では 3 割減ずる(国土交通省 HP)」とする運用方針を示した。この運用方針と本研究で得られた  $\beta=25^\circ$  の場合の結果を比較すると，概ね妥当と判断されるものの(ただし，運用期間は 3 ヶ月以上必要)，斜面勾配の増加とともに限界雨量の低下率が増加することになるため，震度のみならず地形条件等を加味した基準の設定が必要となる。

表-1 斜面安定解析入力条件

| 降雨条件                 | 斜面勾配<br>( $^\circ$ ) | 埋設期間<br>(ヶ月) | 加速度<br>(G) |
|----------------------|----------------------|--------------|------------|
| 中央集中型                |                      | 0            | 0          |
| ①降雨時間<br>48hr        | 15                   | 0            | 0.85       |
|                      | 20                   |              | 2.2        |
|                      | 25                   |              | 3.0        |
| ②総降雨量<br>378.8mm     | 25                   | 1.0          | 0.85       |
|                      | 30                   |              | 2.2        |
|                      | 35                   |              | 3.0        |
|                      | 40                   |              | 0.85       |
| ③最大時間雨量<br>27.8mm/hr |                      | 3.0          | 2.2        |
|                      |                      |              | 3.0        |

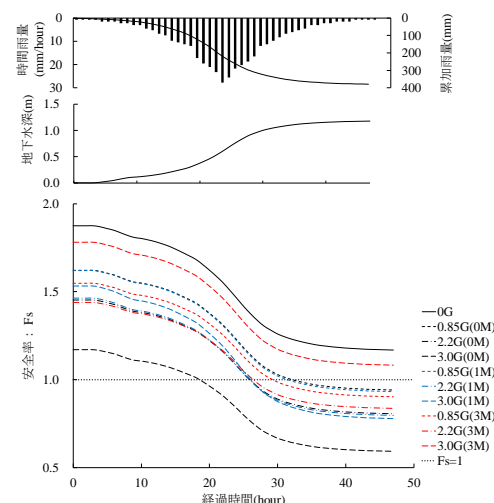


図-3 土質強度の回復にともなう安全率の変化状況( $\beta=25^\circ$ )

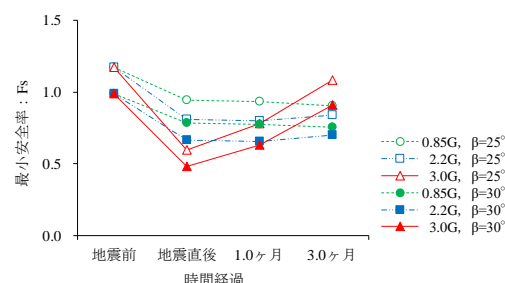


図-4 加振後の時間経過にともなう最小安全率の変化( $\beta=25^\circ, 30^\circ$ )

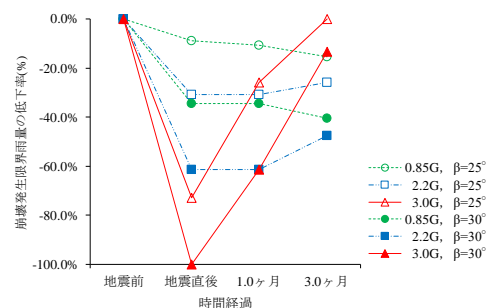


図-5 加振後の時間経過にともなう崩壊発生限界雨量の低下率の変化( $\beta=25^\circ, 30^\circ$ )