

大規模地震発生後の時間経過が斜面安定性に及ぼす影響

信州大学大学院(現 国土交通省) ○稲垣 翔

信州大学学術研究院 平松晋也

1. はじめに

近年、熊本地震(2016年)や北海道胆振東部地震(2018年)をはじめとして、最大震度7を記録する大規模地震が頻発するようになった。地震を誘因とする斜面崩壊は、地震そのものの発生頻度が少ないため、地震発生時の土質強度の変化特性の把握や崩壊そのものの観測が困難であるというのが現状である。このため、地震と土砂生産現象との関係を取り扱った研究の大部分は、崩壊発生メカニズムやその立地条件を議論したものであり、地震発生後の時間経過にともなう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。本研究は、火山地域で発生する大規模地震時に山腹斜面に作用する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。

2. 研究対象地域と土質強度試験の概要

北海道胆振東部地震時に崩壊が集中した厚真町幌内地区に研究対象地を設定した。土質強度試験用の不攪乱供試体は、研究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地点の粘土層内で採取した。

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種々の加速度(0.85, 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, 9.0ヶ月)屋外に埋設した供試体とに対して、「一面せん断試験」を実施することにより土質強度(粘着力: C 、内部摩擦角: ϕ)の変化(回復状況)を把握した。

3. 地震時に作用した加速度とその後の時間経過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-1より、加速度が増加しても内部摩擦角: ϕ には大きな変化は認められなかったのに対し、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)と比較して、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。

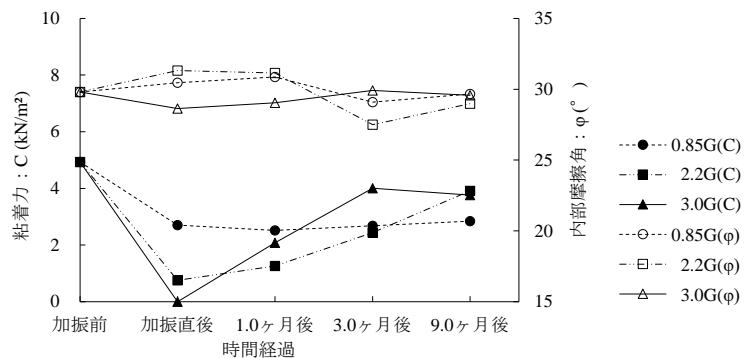


図-1 地震発生後の時間経過にともなう土質強度の変化

加速度を与えた直後(0M)に大きく低下した粘着力: C は、加振後1.0ヶ月(1M)~9.0ヶ月(9M)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/m²(加振前)→0.84kN/m²(0M)→1.26kN/m²(1M)→2.43kN/m²(3M)→3.91kN/m²(9M)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/m²(加振前)→0kN/m²(0M)→2.08kN/m²(1M)→4.00kN/m²(3M)→3.77kN/m²(9M)へと加振後3.0ヶ月経過した時点で、粘着力が加振前の80%程度にまで回復するものの、9.0ヶ月が経過してもその後の回復は認められないといった興味深い結果が得られた。

4. 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、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図-3に示す降雨波形(総降雨量: 252.5mm, 最大時間雨量: 18.5mm/hr)を入力条件とし、既往研究(平松・尾藤, 2001)で提示された「雨水浸透モデル」を用いて地下水深を求め、この結果を用いて無限長斜面を想定した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: $D=2.0\text{m}$ とし、斜面勾配: 4パターン(20~35°)と、供試体に与える加速度と加振後の経過期間を変化させた場合の土質強度: 13パターンを組み合わせた合計52ケース実施した(図-2)。

研究対象地の斜面勾配($\beta=28^\circ$)と同程度の斜面勾配 $\beta=25^\circ$ とした場合を例として、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、地震発生直後(0M)には崩壊に至る結果となった。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 $F_s=1.0$ を上回るまで回復することはなかったのに対し、3.0G の加速度が作用した場合には加振後 3.0 ヶ月経過すると加振前の 92%程度まで回復し、崩壊が発生しなくなった。さらに、加振後 9.0 ヶ月が経過すると 2.2G の加速度が作用した場合においても崩壊が発生しなくなった。

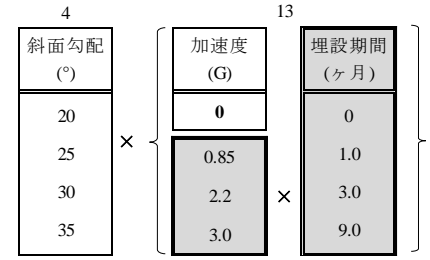


図-2 斜面安定解析ケース

5. 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 を下回った時点までの累加雨量を崩壊発生限界雨量と定義し、10mm/hr の定常降雨を与え続けた場合の斜面安定解析を実施した。解析の結果得られた崩壊発生限界雨量を基に、加振前(0G)を基準とした崩壊発生限界雨量の低下率を(1)式を用いて算出した。

崩壊発生限界雨量の低下率(%)

$$= \frac{RC(\alpha G, \beta - \gamma) - RC(0G, \beta)}{RC(0G, \beta)} \times 100 \quad \dots (1)$$

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 γ 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。

加振後の時間経過と崩壊発生限界雨量の低下率との関係を、斜面勾配 $\beta=25^\circ$ と 30° についてとりまとめたものを図-4 に示す。同図より、加振直後の限界雨量は、加速度の増加とともに大幅に低下することがわかる。また、斜面勾配 $\beta=25^\circ$ に着目すると、0.85G の加速度が作用した場合には、加振後 1.0 ヶ月~9.0 ヶ月経過しても明瞭な回復傾向がみられないのに対し、2.2G の加速度が作用した場合には、時間経過とともに崩壊発生限界雨量の回復がみられるようになり、加振後 9.0 ヶ月が経過すると加振前(0G)の 80%程度(低下率: -20.0%)にまで回復する結果となった。一方、3.0G の加速度が作用した場合の崩壊発生限界雨量は、加振後 3.0 ヶ月が経過した時点で加振前(0G)の 80%程度(低下率: -20.0%)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。

6. おわりに

火山地域の斜面(勾配 $\beta=28^\circ$)を構成する土壌に北海道胆振東部地震(最大震度 7, 1.83G)と同規模の加速度(2.2G)が作用した場合、地震直後の崩壊発生限界雨量は地震前と比較して-50%以上も低下するものの、地震発生後 9.0 ヶ月経過することで低下率が-20%程度にまで回復する。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地震発生直後から 3 ヶ月の期間においては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、今後は震度のみを基準とするのではなく地形条件等を加味した判断基準の設定が必要となろう。

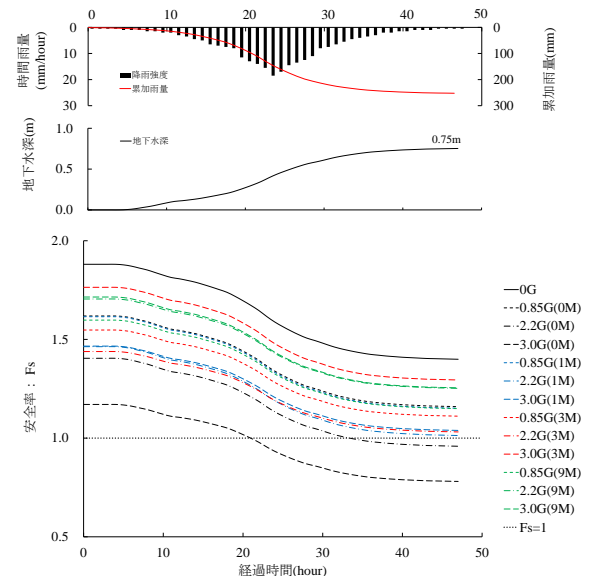


図-3 土質強度の回復にともなう安全率の変化状況($\beta=25^\circ$)

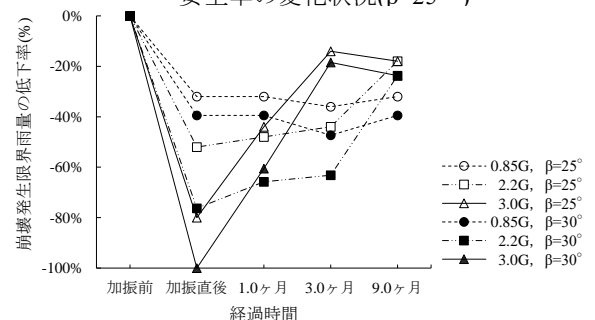


図-4 加振後の時間経過にともなう崩壊発生限界雨量の低下率の変化