

地震発生後の斜面安定性の変化に関する実験的研究

信州大学農学部(現 静岡県浜松土木事務所) ○平田 和也  
 信州大学農学部 平松晋也・福山泰治郎

1. はじめに

近年、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震をはじめとして、全国各地で大規模地震が相次いで発生し、地震に伴う土砂災害が多発するようになってきた。しかしながら、地震発生後の土砂災害に対する警戒・避難基準雨量については、経験的にその値の引き下げが行われているというのが現状であり、地域固有の土質強度特性を考慮した(物理的根拠に基づいた)設定手法の確立までには至っていない。

上記事項を踏まえ、本研究は、地震時に山腹斜面に作用した衝撃に伴う土質強度の変化を定量的に把握するとともに、大規模地震発生後の警戒・避難基準雨量を設定する上で必要となる基礎情報を得ることを目的として実施したものである。

2. 対象流域と実験概要

本研究では、地震の規模すなわち衝撃力(加速度)の大きさと土質強度(粘着力 C, 内部摩擦角  $\phi$ )との関係を明らかにするため、花崗岩地域である長野県飯島町に位置する与田切川中流部の小斜面で採取した試料を用いて「衝撃試験」と「一面せん断試験」を実施した。実験試料は、表層崩壊のすべり面

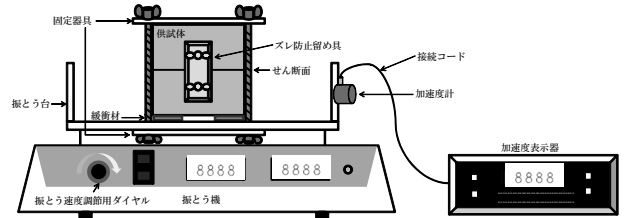


図-1 衝撃試験に使用した試薬攪拌用振とう機

となる深度 100cm 付近より採取した。衝撃力としては、図-1 に示す加速度計を取り付けた試薬攪拌用振とう機を使用して、

0.5G・1.0G・1.5G・2.0G・2.5G の 5 種類の加速度を供試体に対して 9 秒間与えた。衝撃方向としては、せん断面に対し「水平方向」と「鉛直方向」の 2 パターン設定した。さらに、地震発生時の斜面の水分状態の相違が土質強度に及ぼす影響を定量的に把握するため、供試体の水分状態として飽和状態と自然含水状態( $\psi = -20\text{cmH}_2\text{O}$ )の 2 パターン設定した。実験ケースは、これらの条件を組み合わせた計 21 パターンである。

3. 地震時の衝撃が土質強度に及ぼす影響

加速度と土質強度の関係を示す図-2 より、土壌水分状態如何にかかわらず土質強度(C,  $\phi$ )は加速度の増加とともに減少することがわかる。飽和状態の供試体に 2.0G 以上の加速度が加わると、0G の場合と比較して粘着力が 20%以上も低下し、水分状態如何にかかわらず 0.5G 以上の加速度が水平方向に作用すると内部摩擦角は 20%以上も低下する結果となった。

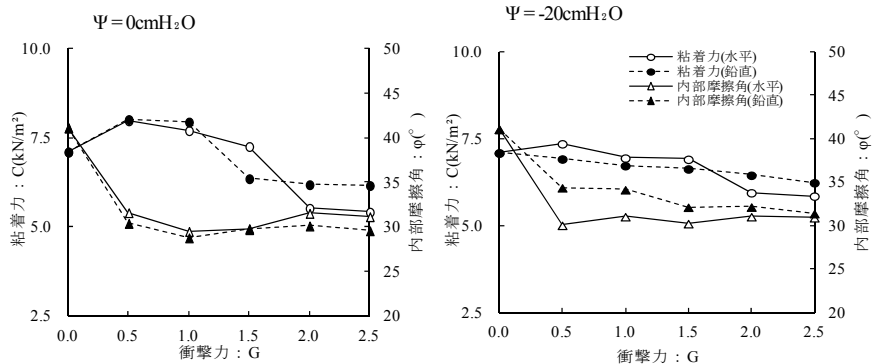


図-2 衝撃力(G ; 加速度)と土質強度(C,  $\phi$ )の関係

4. 地震時の衝撃が斜面の安定性に及ぼす影響

無限長斜面を想定した(1)式に示す斜面安定解析式を用いて、地震時に斜面に作用した衝撃(加速度)が地震後の斜面の安定性に及ぼす影響について考察を加えた。

$$F_s = \frac{C + (\sigma_0 - H \cdot \gamma_w) \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi}{\sigma_0 \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $C$  : 土の粘着力( $\text{tf/m}^2$ ),  $\sigma_0$  : 鉛直応力( $\text{tf/m}^2$ ),  $H$  : 地下水深(m),  $\gamma_w$  : 水の単位体積重量( $\text{tf/m}^3$ ),  $\beta$  : 斜面勾配( $^\circ$ ),  $\phi$  : 土の内部摩擦角( $^\circ$ )である。(1)式中の地下水深 :  $H$  は、「簡易雨水浸透モデル(尾藤, 1999)」を用いて求めた。「簡易雨水浸透モデル」への入力条件となる降雨としては、伊那地域に激甚な土砂災害をもたらした「36 災害」時に長野県飯田市で観測された降雨波形(図-3)を使用した。

土層厚  $D=2\text{m}$ , 斜面勾配  $\beta=40^\circ$ の斜面条件で、飽和状態で衝撃(加速度)が加わらない場合(D-0G-0)と、自然含水状態( $\psi=-20\text{cmH}_2\text{O}$ )で水平方向に 2.5G の衝撃が作用した場合(D-2.5G-L-20)を例として、安全率 :  $F_s$  と地下水深 :  $H$  の経時変化を図-3 に示す。衝撃が加わらない場合には最小安全率が 1.0 を下回ることがなかった ( $F_s=1.172$ ) のに対し、衝撃が加わると計算開始後 14 時間で安全率が 0.964 と 1.0 を下回り崩壊が発生する結果となった。

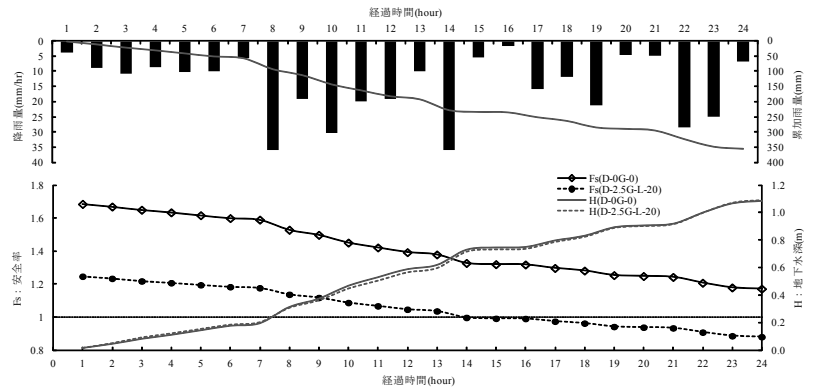


図-3 安全率と地下水深の経時変化

地形形状(斜面勾配, 土層厚)や土壤水分状態を種々変化させ、地震時の加速度が作用した場合の斜面安定性の変化についてとりまとめた図-4 より、地震時に作用する衝撃(加速度), 斜面勾配, 土層厚の増加とともに、斜面の安全率は大きく低下傾向を示すようになり、安全率は最大30%以上も低下していることがわかる。また、崩壊発生

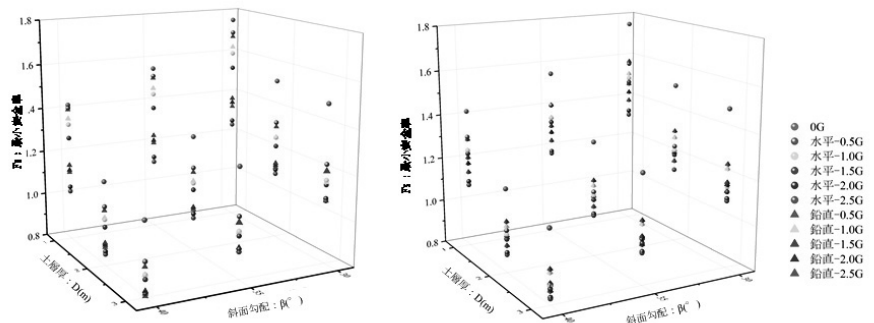


図-4 斜地震時の加速度が作用した場合の斜面安定性の変化

限界雨量に関しては、勾配 :  $40^\circ$ , 土層厚 :  $2\text{m}$ , 自然含水状態( $\psi=-20\text{cmH}_2\text{O}$ )の斜面に対して水平方向に 2.0G 以上の加速度が作用すると、0G と比較して「30%以上も崩壊発生限界雨量が低下する」といった特筆すべき事実が明らかになった。これに加え、斜面勾配や土層厚といった地形形状と地震時に斜面に作用する加速度を用いて、(2)~(5)式により土壤水分状態や衝撃が作用する方向別に最小安全率の低減率を予測することが可能となる。

a) 飽和状態

$$R_{Fs}=10^{1.93} \cdot D^{0.72} \cdot \beta^{-0.65} \cdot G^{0.87} \quad (\text{水平方向}) \dots (2) \quad R_{Fs}=10^{1.93} \cdot D^{0.73} \cdot \beta^{-0.63} \cdot G^{0.75} \quad (\text{鉛直方向}) \dots (3)$$

b) 自然含水状態( $\psi=-20\text{cmH}_2\text{O}$ )

$$R_{Fs}=10^{1.64} \cdot D^{0.36} \cdot \beta^{-0.31} \cdot G^{0.34} \quad (\text{水平方向}) \dots (4) \quad R_{Fs}=10^{1.53} \cdot D^{0.25} \cdot \beta^{-0.26} \cdot G^{0.35} \quad (\text{鉛直方向}) \dots (5)$$

ここに、 $G$  : 斜面に作用する加速度,  $R_{Fs}$  : 加速度( $G$ )が作用した場合の最小安全率の低減率(%),  $D$  : 土層厚(m),  $\beta$  : 斜面勾配( $^\circ$ )である。

5. おわりに

地震の規模に対応した警戒・避難基準雨量の設定手法(引き下げ基準)が概ね確立されたことになる。しかしながら、地震の影響(警戒・避難基準雨量の引き下げ)がいつまで継続し続けるのかは不明である。今後は、地震発生後の基準雨量引き下げの解除時期に関する研究へと展開を図る予定である。

本研究の一部は、平成 25 年度木村基金助成を使用して実施されたものである。(一財)砂防フロンティア整備推進機構の関係各位に対して感謝の意を表します。