

花崗岩地域における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 ○伊藤佑紀，平松晋也，福山泰治郎，宮前崇

キーワード：地震，加速度，土質強度，斜面安定解析

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。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特性を定量的に把握するとともに，衝撃力の大きさと斜面の安定性との関係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. 対象流域と供試体の採取

実験試料(攪乱)は，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，表層崩壊のすべり面となる 110～120cm 深度(斜面調査用簡易貫入試験で  $N_c$  値 5～10 を示す深度)より採取し，実験室内で試料調整後，せん断箱に現地密度で充填した。

3. 実験概要

本研究では，地震の規模すなわち衝撃(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，「衝撃試験」と「一面せん断試験」を実施した。衝撃力は，図-1 に示す試薬攪拌用振とう機を使用して，0.5G・1.0G・1.5G の 3 種類の加速度を 10 秒間与えた。振とう機には，供試体に与える加速度を計測するための加速度計を設置した。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変化に及ぼす影響を把握するため，供試体の水分状態を飽和状態と土壤水分吸引圧-20cmH<sub>2</sub>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表-1 に示す 14 ケースである。

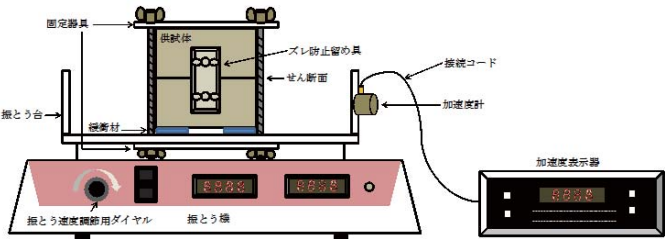


図-1 衝撃試験装置

表-1 実験ケースと土質強度

| 供試体 | 試験No.     | せん断面に対する<br>衝撃の方向 | 衝撃力 | 土壌水分<br>吸引圧           | 粘着力<br>C               | 内部摩擦角<br>$\phi$ |
|-----|-----------|-------------------|-----|-----------------------|------------------------|-----------------|
|     |           |                   | (G) | (-cmH <sub>2</sub> O) | (kgf/cm <sup>2</sup> ) | (°)             |
| 攪乱  | D-0G-0    | -                 | 0   | Q(飽和状態)               | 0.1829                 | 40.97           |
|     | D-0.5G-0  | 水平(L)             | 0.5 | Q(飽和状態)               | 0.1631                 | 38.88           |
|     | D-1.0G-0  | 水平(L)             | 1.0 | Q(飽和状態)               | 0.1117                 | 41.23           |
|     | D-1.5G-0  | 水平(L)             | 1.5 | Q(飽和状態)               | 0.1447                 | 37.43           |
|     | D-0.5G-0  | 鉛直(V)             | 0.5 | Q(飽和状態)               | 0.1320                 | 41.16           |
|     | D-1.0G-0  | 鉛直(V)             | 1.0 | Q(飽和状態)               | 0.1217                 | 42.44           |
|     | D-1.5G-0  | 鉛直(V)             | 1.5 | Q(飽和状態)               | 0.1121                 | 41.95           |
|     | D-0G-20   | -                 | 0   | 20                    | 0.1251                 | 47.37           |
|     | D-0.5G-20 | 水平(L)             | 0.5 | 20                    | 0.1194                 | 44.51           |
|     | D-1.0G-20 | 水平(L)             | 1.0 | 20                    | 0.1100                 | 44.42           |
|     | D-1.5G-20 | 水平(L)             | 1.5 | 20                    | 0.1121                 | 41.94           |
|     | D-0.5G-20 | 鉛直(V)             | 0.5 | 20                    | 0.1074                 | 46.02           |
|     | D-1.0G-20 | 鉛直(V)             | 1.0 | 20                    | 0.1229                 | 44.30           |
|     | D-1.5G-20 | 鉛直(V)             | 1.5 | 20                    | 0.1194                 | 43.13           |

4. 地震時の衝撃が土質強度に及ぼす影響

攪乱供試体に対して得られた衝撃力と土質強度との関係を図-2 に示す。飽和状態の土壤に水平方向の衝撃を与えた場合，粘着力は減少傾向を示し，特に 1.0G の衝撃を与えると，粘着力は 38.9%も低下した。鉛直方向の衝撃を与えた場合も，粘着力と衝撃力との間には負の相関性が認められた。これに対して，内部摩擦角は，鉛直方向の衝撃を与えた場合には衝撃力の

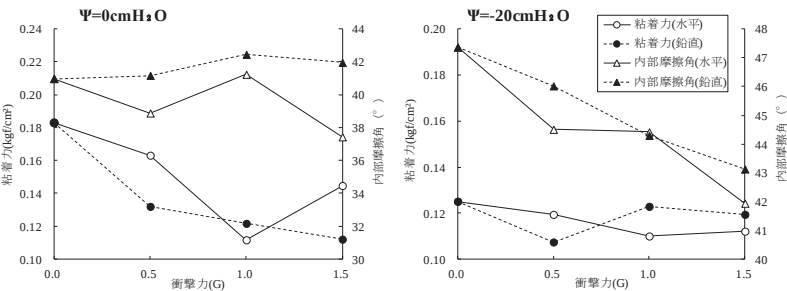


図-2 衝撃力と土質強度(C,  $\phi$ )との関係(攪乱)

増加とともに若干の増加傾向を示し，水平方向の衝撃を与えた場合には，1.0G の衝撃を与えた場合を除き，衝撃力の増加とともに低下傾向を示した。土壤水分吸引圧-20cmH<sub>2</sub>O の土壤に衝撃を与えた場合では，粘着力は衝撃の大きさや衝撃の作用する方向如何に関わらず概ね一定値を示した。これに対して，内部摩擦角は衝撃の作用する方向に関わらず，衝撃力の増加とともに減少傾向を示した。特に，1.5G の衝撃が作用した場合，内部摩擦角は，水平方向の衝撃を与えた場合には 11.5%，鉛直方向の衝撃を与えた場合には 9.0%低下する結果となった。

## 5. 地震時の衝撃が斜面の安定性に及ぼす影響

無限長斜面を仮定した(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。

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

ここに、C：土の粘着力(tf/m<sup>2</sup>)，σ<sub>0</sub>：鉛直応力(tf/m<sup>2</sup>)，H：地下水深(m)，γ<sub>w</sub>：水の単位体積重量(tf/m<sup>3</sup>)，β：斜面勾配(°)，φ：土の内部摩擦角(°)である。地下水深は、「簡易雨水浸透モデル(尾藤，1999)」を用いて算出した。「簡易雨水浸透モデル」への入力条件となる地震発生後の降雨としては、「平成 18 年 7 月豪雨」の際に長野県諏訪市で観測された降雨波形を用いた。

解析ケースは、斜面勾配 β=30°，35°，40°，45°の 4 パターンと、土層厚 D=1m，2m，3m の 3 パターンを組み合わせた計 12 ケースである。解析結果の一例として、土層厚が 3m の斜面に鉛直方向の衝撃が作用した場合の最小安全率を図-3 に示す。斜面勾配や衝撃力の増加とともに最小安全率は低下し、斜面勾配が 45°で飽和状態の場合、0.5G 以上の衝撃が作用すると斜面の最小安全率:F<sub>s</sub>は 1.0 を下回り斜面崩壊が発生する結果となった。3m 以外の土層厚の場合においても、衝撃力により最小安全率が大きく低下する傾向が確認され、土層厚を 1m に設定した場合、最小安全率は最大で 33.2%も低下した。

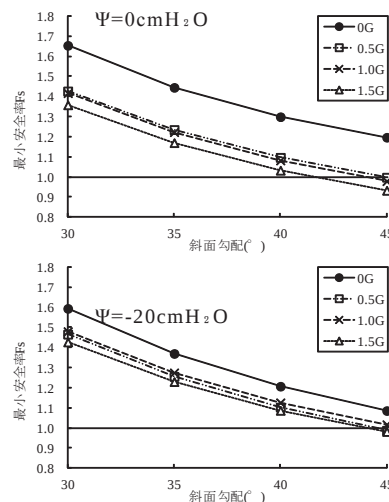


図-3 斜面安定解析結果

さらに、「平成 18 年 7 月豪雨」の降雨量を 1.2 倍し、降雨波形を「前方集中型降雨波形」，「中央集中型降雨波形」，「後方集中型降雨波形」にそれぞれ並びかえた波形を入力降雨とし、地震時の衝撃が表層崩壊発生限界雨量に及ぼす影響度を求めた。解析結果の一例として、土層厚を 3m，斜面勾配を 40°，すべり面の水分状態を飽和に設定した場合の崩壊発生限界雨量を図-4 に示す。なお、最小安全率 F<sub>s</sub>が 1.0 を下回らず、崩壊発生限界雨量の決定が不可能となった場合は、最小安全率を記録した計算開始からの経過時間の累加雨量を崩壊発生限界雨量として便宜的に取り扱った。

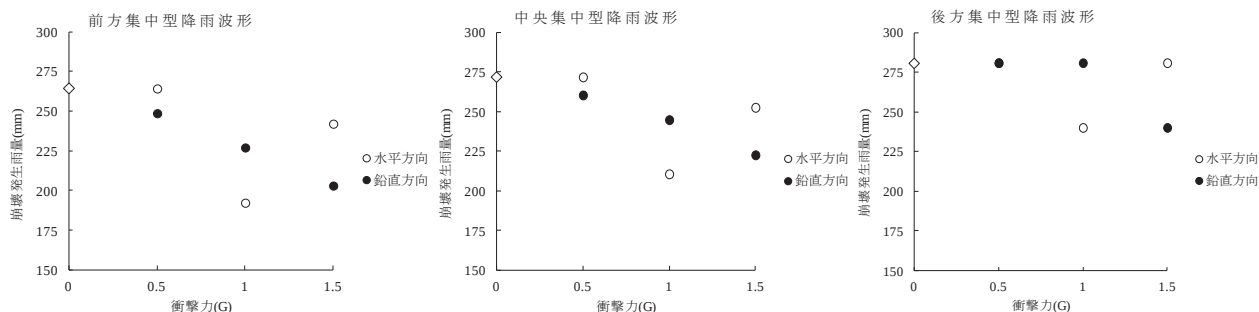


図-4 各降雨波形での崩壊発生限界雨量

前方集中型降雨波形では、斜面に対し 1.0G の衝撃が水平方向に作用した際に崩壊発生限界雨量は 72mm(27.2%)も低下し、中央集中型降雨波形でも、1.0G の衝撃が水平方向に作用した際に崩壊発生限界雨量が 61.2mm(22.5%)低下し、また、後方集中型降雨波形では、1.0G の衝撃が水平方向に作用した場合と、1.5G の衝撃が鉛直方向に作用した場合に崩壊発生限界雨量が 40.8mm(14.5%)低下する結果となった。

## 6. おわりに

花崗岩斜面に衝撃力が作用すると、土質強度が著しく低下し、その後の降雨などにより地下水深が形成されると、斜面安定性が最大で 33.2%程度も低下する事実が明らかになった。同様に、崩壊発生限界雨量も、最大で 27.2%程度も低下することがわかった。今後は、不攪乱試料を用いた衝撃及び一面せん断試験を実施し、地震の衝撃による影響度をより現地斜面に近い値で把握したい。