

地震動による斜面安定性低下に及ぼす土壌水分状態の影響

京都大学防災研究所 ○堤大三, 藤田正治

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日 14:46 に、東北太平洋沖地震が発生し、地震とそれに伴って発生した津波によって、福島、宮城、岩手を中心とした東北太平洋側地域に甚大な被害をもたらした。筆者らは、福島県を中心に、人的な被害の発生した白河市葉ノ木平地区等の土砂災害の発生状況を調査した。ひとつひとつの現場を見ると、被害は決して小さなものばかりではなかったが、全体的に見ると、地震の規模や記録された地震動の加速度の大きさにもかかわらず、山地部における斜面崩壊等の土砂災害は少数であり、規模も小さかった。また、人的被害を伴うような土砂災害は、東北南部の福島県を中心とした地域に限定されていた(図-1 参照)。この原因について検討するために、地震発生時の土壌水分状態と地震の加速度を考慮した静的な斜面安定解析を行い、土壌水分状態の違いによって斜面の安定性がどのように影響を受けるかを検討した。

2. 解析の方法

解析の対象としては、特定の実斜面ではなく、白河市で発生した斜面崩壊の代表的なものを仮想的に作成した(図-2)。この斜面に対し、白河市で実測された地震発生前 40 日間の降雨(図-3)を与えて x - z 二次元の降雨浸透解析を行い、地震時の土壌水分状態を計算した。その状態と比較するために、その後の降雨も継続して与え(図-3)、梅雨最中の 7 月 1 日と、2011 年新潟・福島豪雨災害直後の 8 月 1 日の土壌水分状態を計算した。これら 3 つの異なる土壌水分条件の斜面に対し、白河市で観測された地震動の加速度(図-4)を水平方向と鉛直方向の 2 成分に分割して与える静的な斜面安定解析(簡易 Jambu 法)を行い、最小となる安全率 F_s を算出した。加速度の入力においては、8 方位に面した斜面を仮定し、それに対応する水平方向の加速度を与えている。斜面安定解析においては、DP 法を用いて、最小安全率となる場合の滑り面形状を算出し、崩壊形状の比較も行った。解析手法の詳細については、既報の文献¹⁾を参照願う。

3. 解析結果と考察

地震発生時の 3 月 11 日の土壌水分状態での解析の結果、北向きおよび南から南西向きの斜面の最小安全率が他の方向斜面よりも低い値を示し、地震動によって影響が大きい斜面向きの特性が現れた。この解析結果は、白河市近傍で実際に崩壊した斜面に、南向き斜面が多かった事と整合する結果となった。

次に、7 月 1 日と 8 月 1 日の土壌水分状態での安定解析を行い、それぞれの最小安全率を求め、3 月 11 日の値で除して求めた相対的な安全率を図-5 に示す。図より、全ての方向の斜面において、7 月 1 日と 8 月 1 日の安全率は、それぞれおよそ 80%と 50% に低下し、降雨後に斜面土層が湿潤状態になる事で、斜面の安定性が低下する傾向を示している。また、それぞれ最小安全率となる時間に計算されたすべり面形状を比較する

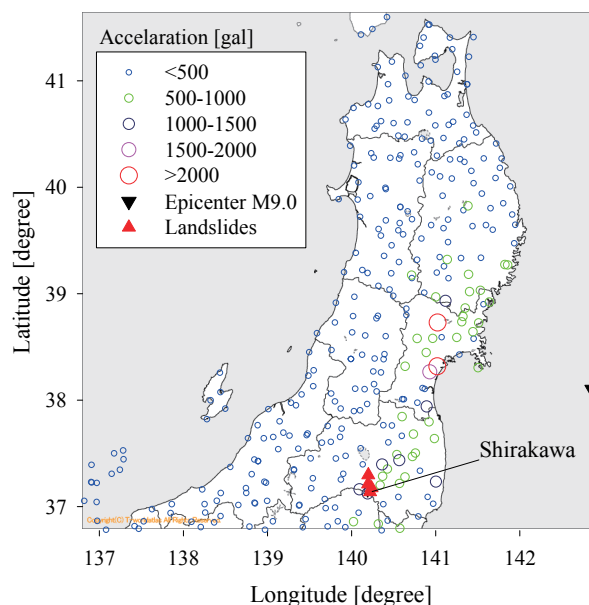


図-1 東北太平洋沖地震による地震動加速度の分布と福島県南部の斜面崩壊発生位置図

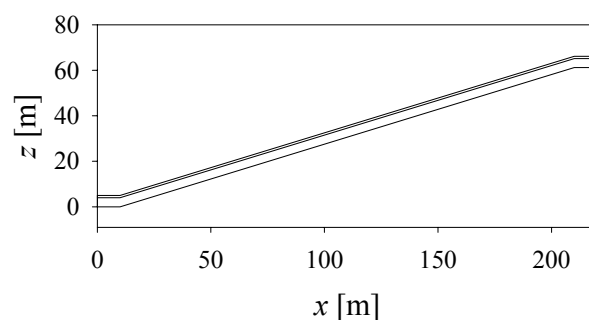


図-2 解析対象とした仮想的な斜面土層: 斜面長 100 m, 土層深 5 m (表土層 1 m), 傾斜角 17°

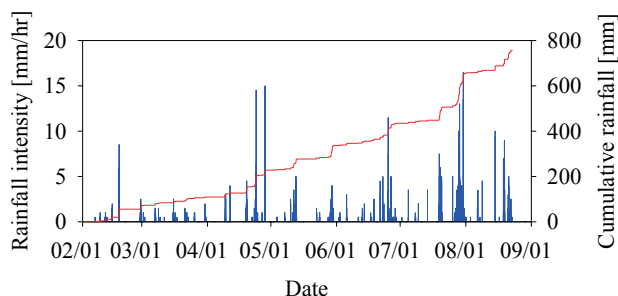


図-3 福島県白河市における 2011 年 2 - 9 月の降雨記録

と(図-6)、3 月 11 日の崩壊では、深さ 1 m に設定した表面土層が広範囲ではあるが非常に薄く崩壊するのに対し、7 月 1 日、8 月 1 日の崩壊形状は、基盤面まで達する深い形状を呈し、豪雨イベント後の 8 月 1 日の

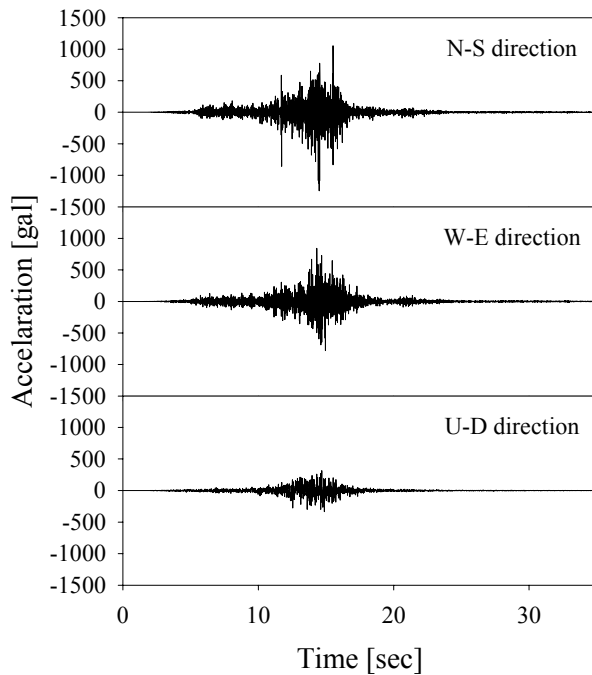


図-4 東北太平洋沖地震時に白河市で観測された加速度記録

崩壊形状は更に大規模となっている事が示されている。

以上の解析結果から、3月11日の東北太平洋沖地震時に、多くの地点で1000 galを越す加速度の地震動が計測されたにもかかわらず、斜面崩壊等の土砂災害の発生が少なく、発生したとしても比較的小規模であった理由のひとつは、地震発生時に先行降雨が少なく、斜面の土層が比較的乾燥状態であったことが挙げられる。この反例としては、2004年の中越地震発生前に台風23号による多量の先行降雨があったために、地震に起因する斜面崩壊等が甚大な土砂災害を引き起こした事例がある。それ以外の地震についても、千木良らが地震発生時の土砂災害と先行降雨の関係について検討し、本研究と同様な考察を示している²⁾。

人的被害を伴うような数少ない斜面崩壊の発生が、東北南部の福島県白河市、須賀川市、北関東の栃木県那須烏山市の狭い範囲に限定された原因は、ひとつにはその範囲での地震動の加速度が実際に大きかった事が挙げられる。一方で、最大化速度を記録した築館は、平野部に位置していたことで土砂災害の難を免れたと考えられる。また、3月11日時点で、東北北部では南部に比べて融雪の進行が遅く、斜面土層が比較的乾燥状態であったため、白河市等と同等の加速度を記録した地点であっても土砂災害がほとんど発生しなかったのではないかと推察できる。

4. おわりに

東日本大震災では、地震に起因した土砂災害による被害が比較的小さかったため、内陸部の幹線道路から津波による甚大な被害を受けた太平洋沿岸地域に向かって、櫛の歯状に輸送ルートを確認し、効率的な救助活動や救援物資の輸送が可能であった。しかしながら、地震発生が春先の比較的乾燥した時期ではなく、梅雨や台風の時期に重なっていれば、内陸部においても甚

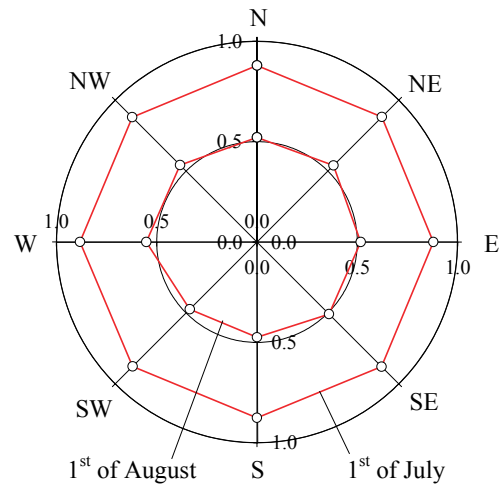


図-5 各方位に面した斜面の最小安全率の比較：3月11日の地震時を1.0とした場合の相対値

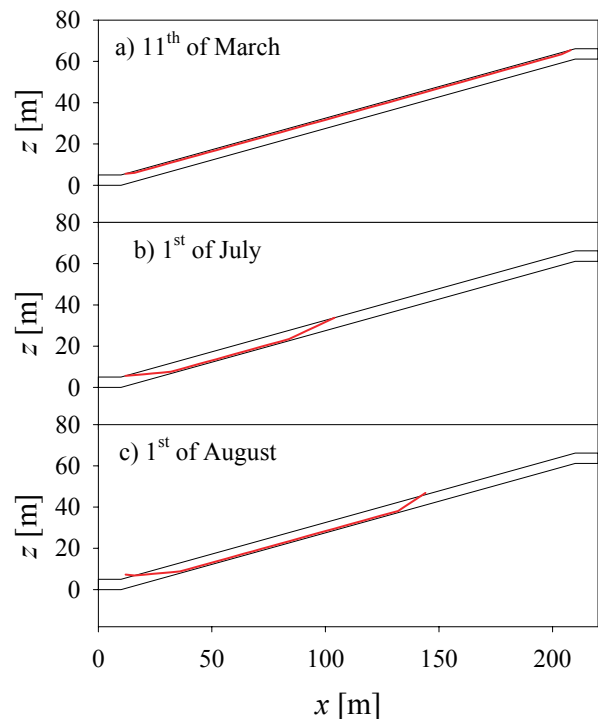


図-6 最小安全率となる時間において計算されたすべり面形状の比較

大な土砂災害が発生し、輸送ルートが確保できずに沿岸部での津波災害の2次被害が拡大した可能性がある。その様な事態を念頭に、近い将来、発生が懸念される東海・東南海・南海地震に向けて最悪のシナリオを想定した対策を立てる事が肝要である。

参考文献

- 1) Daizo Tsutsumi and Masaharu Fujita (2008): Relative importance of slope material properties and timing of rainfall for the occurrence of landslides, International Journal of Erosion Control Engineering, 1(2), p. 79-89
- 2) 千木良雅弘ら (2012) : 2011年東北太平洋沖地震による降下火砕物の崩壊性地すべり, 応用地質, 52(6), p.222-230