

## V. 地震動による斜面の亀裂および土質強度の変化が斜面安定に与える影響

九州大学 久保田哲也

### 5. 1 地震時に生じた土砂災害の特徴

東北地方太平洋沖地震では盛土や宅地造成地、人工斜面に発生した崩壊・地すべりなども目に付くが、自然斜面に発生したものが多く（阿部ほか 2011）、それらの特徴は過去の大地震時に発生したもの（久保田ほか 2005、内田ほか 2002、Kubota et. al. 2002、久保田ほか 2002、水山ほか 2001、地頭菌ほか 1998、谷口ほか 1986）と地形・地質・植生など発生条件（素因）に異なっただけではないと思われる（蔡ほか 2011、若井ほか 2011 など）。また、深層崩壊も多い一方、表層崩壊については森林の地上荷重が影響する場合も考えられる（久保田ほか 2011、T.Kubota et.al. 2006、久保田ほか 2004）。

現地調査によれば、東北地方太平洋沖地震では、山腹に 1m 規模の亀裂や滑落崖を伴う変動斜面が見られており（例えば、中嶋ほか 2011）これらの亀裂からは雨水が浸透しやすく、今後の降水により容易に地下水の上昇や間隙水圧の上昇に繋がると考えられる。また、変動や地すべりを生じているため、土質強度もピーク強度からは低下しているものと考えられ、このような斜面では、地震後の土砂災害発生雨量が小さくなると考えなければならない。気候変動に伴う降雨の増加が見出される今日の状況（久保田 2011、Kubota 2011）では、今後の強雨による災害が懸念される。

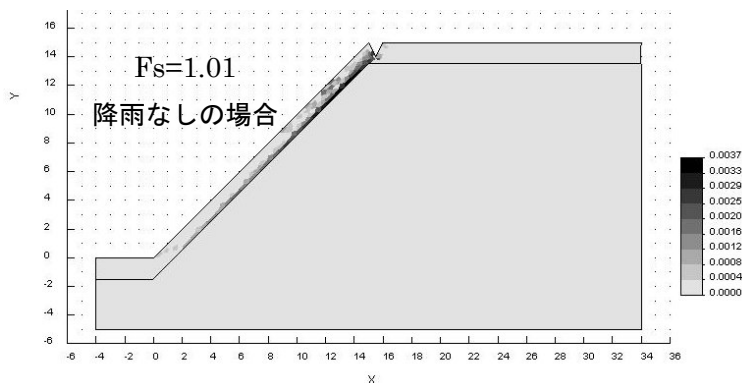


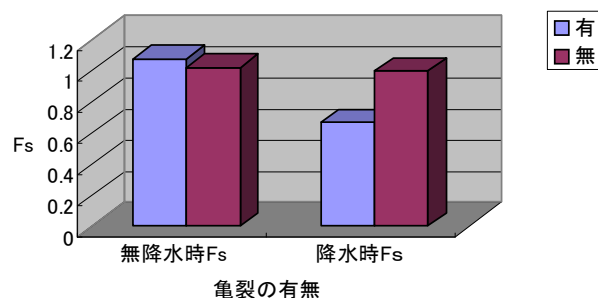
図-5. 1 FEM 解析による地震後発生雨量の検討事例（最大せん断ひずみ増分；亀裂による浸透増加や土質強度低下の影響を解析）

### 5. 2 方法と結果

#### 5. 2. 1 地震により発生した亀裂が震後降雨に伴う斜面安定に及ぼす影響

東北地方太平洋沖地震は地震規模が M=9 と非常に大きく、地振動による亀裂の発生など斜面不安定化に対する影響も大きなものがあると思われる。そこで、東日本各地における種々の現地調査で報告されている斜面災害の実態に鑑み、既往地震時の崩壊斜面を用いて、地震により亀裂が生じた森林斜面における崩壊危険雨量を検討した。

ここでは、地震後の崩壊発生基準雨量を検討するために、類似の災害事例を使った FEM による雨水浸透・安定解析連成数値解析による研究を実行した。



表層崩壊に関する地震後の斜面安全率Fs

図-5. 2 表層崩壊に関する地震による亀裂の影響（亀裂による斜面安全率Fsの低下）

この場合、①斜面頭部に亀裂が生じ（見かけ上は表層の透水係数が増加して）、降水の浸透が増加し、崩壊が発生し易くなる場合と、②地震動のため斜面が変形または小滑動してすべり面が形成されるまたは土質強度が減少する場合は観測されており、このような条件を勘案した解析を行っている。森林の根系による斜面補強効果や、地震時の地上部荷重による斜面不安定化効果なども考慮しなければならないが（久保田ほか 2011、T. Kubota et.al. 2006、久保田ほか 2004）、これら森林の影響は地震で亀裂が生じても大きく変わらないと考える。亀裂は既往の調査研究に基づき深さ 1m 幅 1m とし、亀裂の代わりに表層

の透水係数が5倍になる（平松ほか 1999）場合も検討した。また、土質強度の低下についても既往の研究例（長嶺ほか 2009）を参考に、内部摩擦角の減少を検討した。

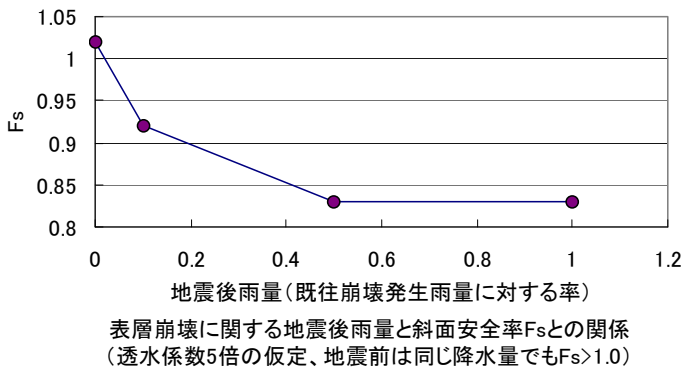


図-5. 3 表層崩壊に関する地震による亀裂の影響（透水係数増加に伴う斜面安全率Fsの低下）

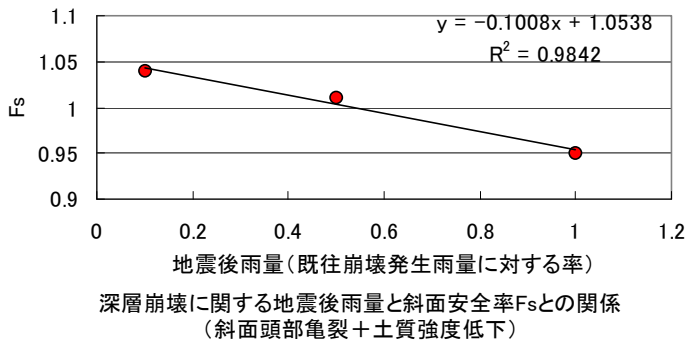


図-5. 4 深層崩壊における地震に伴う土質強度低下の影響（亀裂や土質強度低下に伴う斜面安全率Fsの低下）

FEM解析（図-5.1）に用いる透水係数や土質強度などは現地採取サンプルの土質試験により求め、それ以外のヤング率やポアソン比などは、降雨を与えない場合の安全率Fsが1より大きくなることを念頭に一般的な値を使用した。降雨は過去の災害雨量または地震直後の最大強雨とそれを0.1～0.5倍したものをを用いた。

①表層崩壊の場合：花崗岩地帯の表層崩壊事例を対象に解析を行い、崩壊が発生した地震後の当該地域の強雨データを入力した。この斜面は亀裂無しでは、地震直後の強雨でもFs>1であったが、前述の1m程度の亀裂が斜面頭部にあると、降雨時の安全率Fsは、亀裂無しの時のFs=1.0から0.670とかなり下がる結果となる（図-5.2）。地震による亀裂のために表層の透水係数が5倍（平松 2009）になった場合には、図

-5.3のように10%以下の雨でも斜面が不安定となる可能性がある。前述のように森林の影響は地震前後で大きくは変わらないと思われる。

②深層崩壊の場合：片岩地帯の深層崩壊事例を対象に解析を行い、崩壊発生時に発生した強雨データを入力した。この斜面では亀裂の有無ではFsに変化はなく、1m程度の亀裂は、深さが10m近くに及ぶ規模の大きな崩壊には効果が小さいものと思われた。ただし、滑動に伴い土質強度が軟岩状態から風化岩状態に落ちると思われ、その際は内部摩擦角φが約4%低下する（長嶺ほか 2009）。この土質強度が低下した状態では、図-5.4のように地震前の50～60%以下の雨量でも斜面が不安定となり得る。

## 5. 2. 2 地震動の土質強度に及ぼす影響

斜面崩壊が多く発生している地区の片岩の風化土を用いて根系を有するものとそうでないサンプルを調製し、水平振動を与えた場合と与えない場合の一面せん断試験から粘着力と内部摩擦角を算出した。

加えた垂直応力は、0.1, 0.2, 0.3, 0.4kg/cm<sup>2</sup>で、試験ケースは、前述のように根系あり及びなし、地震動あり及びなしを組み合わせ、4種類とした。

前述の風化土は九州大学福岡演習林内から採取した。なお、土は他の研究同様2mm以上の粒径のものと有機物を除いた（執院他 2009）。根には同じく演習林内から採取した林齢50年のヒノキの根を用いた。せん断試験用サンプルに根を入れる際は、せん断面に根が存在するように混入した。サンプルには既往の研究（伊藤他 2013）に準じた機材と方法で水平地震動を一定の加速度で加え、加速度を地震計及びVoltage Recorderにて計測した。加速度の範囲は100～1500galであった。

図-5.5は地振動の粘着力に対する影響の比較である。地震動を加えたサンプルは1500galと未満で分けている。棒グラフが平均値、エラーバーが標準偏差を表している。

粘着力は根系があるサンプルが根系のない場合よりも、わずかに大きな値を取ることがわかる。また、1500gal未満の地震動では、地震動なしのサンプルと比べて、大きな差はない。しかし、1500galの地震動

を加えた場合、粘着力は減少する傾向にある。

図-5.6 は内部摩擦角の比較である。内部摩擦角は根系の有無では、差が見られない。また地震動を加えると内部摩擦角は増加する傾向にある。

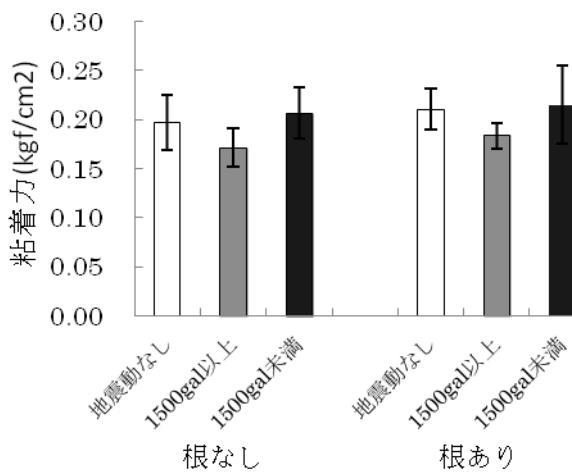


図-5.5 粘着力 C に対する地振動の影響

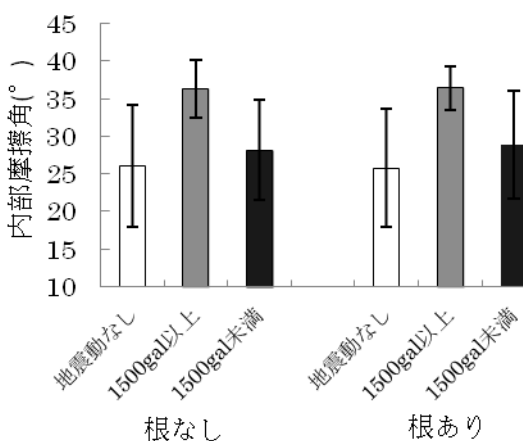


図-5.6 内部摩擦角φに対する地振動の影響

先述のように、図-5.5 より粘着力は地震動があるなしに関わらず根系のあるサンプルが高い値を取っている。他の研究では根系の土質強度補強効果は主として土の粘着力の増分として表れる(執印他 2009)とあるので、本実験結果もそれと合致している。

ここでは、1500gal以上の地震動を加えると、粘着力は減少している。根系を含まないサンプルに地震動を加えた既往の研究(平松 2012)では、粘着力は1500galの振動で約15%の減少を提示しており、これも本実験結果と合致する。根がある場合でも、1500galの地震動を加えた際の粘着力は減少する傾向にある。これは、根系があるなしに関わらず地震動により土層が緩み、粘着力が低下してしまうこと

を示唆している。

図-5.6より、内部摩擦角はいずれも根系の有無では差が見られない。これは、既存の結果と一致する。また、内部摩擦角は地震動により増加の傾向を見せている。既存の研究では、1500galの地震動を加えると、約10%の減少を提示しており、本研究とは異なる。理由としては、土質及び飽和度の違いが考えられる。既存の研究が、花崗岩風化土の飽和実験であるのに対し、本研究は片岩風化土の不飽和実験であるため、このような違いが生じたと考えられる。

### 5.2.3 地震後基準雨量の検討

ここでは、2005年の福岡県西方沖地震後に発生した崩壊などに対する基準雨量を対象として検討を進めているが、解析途中で完了していない。地震後の梅雨期における崩壊場所周辺住民への聞き取りでは、過去に発生しなかった斜面崩壊が通常量の降雨で発生するようになったとの報告があった。今後は、雨量観測データから、判別解析など統計的手段を用いてその実態を明らかとする。

### 5.3 まとめ

- 1) 表層崩壊に関しては、地震後は斜面頭部の亀裂などにより降雨が透水し易くなり、最悪では地震前発生基準雨量の10%程度の降雨量でも発生する可能性がある。
- 2) 深層崩壊に関しては、地震に伴う地盤変形により土質強度の低下した斜面では、地震前発生雨量の50%~60%で発生する可能性がある。
- 3) 1500galの地震動を加えた場合、粘着力は減少し、内部摩擦角は増加する傾向にあった。今回の片岩風化土試料においては、これらの傾向は根系の有無に関係はなく、根系により地震動の影響が増減することはなかった。また、今回の研究では、既存の研究(平松晋也 2012)と違った結果になっているが、土質の相違あるいは飽和度の相違が原因と思われる。

### 引用文献(著者 50音順)

- 1) 阿部真郎他(2011)第50回地すべり学会概要集、3-4.

- 2) 伊藤佑紀他 (2013) 平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集、A56-57.
- 3) 内田勉他 (2002) 地すべり、39(1)、128-136.
- 4) 蔡飛 他 (2011) 第 50 回地すべり学会概要集、11-12.
- 5) T. Kubota (2011), Advances in geosciences, Vol. 23, World Scientific Publishing, 63-73.
- 6) 久保田哲也 (2011) 水利科学 No. 320、85-99.
- 7) 久保田哲也他 (2011) 第 50 回地すべり学会概要集、119-120.
- 8) 久保田哲也他 (2006) 第 3 回土砂災害に関するシンポジウム論文、1-6.
- 9) T. Kubota et. al. (2006) Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 01893, EGU.
- 10) T. KUBOTA et. al. (2006) Proc. of the Int. Conf. on Geotechnical Engineering Singapore, 111-118.
- 11) 久保田哲也他 (2005) 砂防学会誌、58(2)、32-37.
- 12) 久保田哲也他 (2004) 地すべり学会誌、41(3)、57-65.
- 13) Kubota, T. et. al. (2002) European Geophysical Society Geophysical Research Abstracts, vol. 4, EGS02-A-005.
- 14) 久保田哲也 (2002) 地すべり、38(4)、52-57.
- 15) 執印康裕他 (2009) 日縁工誌 35(1):9-14p
- 16) 谷口栄一他 (1986) 土木技術資料、28(1)、59-65.
- 17) 地頭蘭隆(1998)、砂防学会誌 51(1)、38-45.
- 18) 中嶋登志男他 (2011) 第 50 回地すべり学会概要集 7-8.
- 19) 長嶺元二他 (2009) 地すべり学会誌、46(3)、43-48.
- 20) 平松晋也他 (1999) 地すべり学会誌、36(2)、3-12.
- 21) 平松晋也 (2012) 第 2 回砂防学会「東北地方太平洋沖地震災害調査委員会(第 4 班)」資料.
- 22) 水山高久他 (2001) 砂防学会誌、54(1)、98-99.
- 23) 若井明彦他 (2011) 第 50 回地すべり学会概要集、5-6.