

高密度 DEM データを用いた表層崩壊の発生予測精度の検討

○藤本 将光・小杉 賢一朗・水山 高久 (京大院農)

1. はじめに

山地斜面で発生する崩壊現象を防ぐためには、発生予測の精度を向上させる必要がある。これまで、様々なモデルの開発・改良が行われてきたが、一方でモデルの入力条件である地形条件、パラメータの精度が解析精度にとって重要となる。近年の観測技術の向上によって、空間分解能の高い数値地形情報 (DEM) が整備され始め、地形の再現精度が向上することで、表層崩壊発生の予測精度も向上する可能性があると考えられる。そこで、本研究では、異なる空間分解能を持った DEM データを用いることによって、入力条件である地形条件の空間分解能の違いが表層崩壊の発生予測精度に及ぼす影響を評価した。

2. 研究方法

2.1 調査地

本研究では、滋賀県南部に位置する不動寺水文試験地内の谷壁斜面を対象とした。基岩は風化花崗岩である。斜面末端部において基岩が露出し、多数点から湧水が確認される。これまで、基岩露出部における流量観測、斜面における土壌間隙水圧の観測が行われている (Fujimoto et al., 2008)。

2.2 モデルと計算条件

本研究では、定常状態、非定常状態を仮定した 2 つのモデルを採用した。

定常状態を仮定したモデルは、内田ら (2009) のモデルを使用した。内田ら (2009) のモデルは、無限長斜面安定解析の式、ダルシー則、水の質量保存則より求められる以下の表層崩壊危険度定常降雨強度(γ_c)によって、崩壊発生危険度を評価するものである。 γ_c は安定解析式での安全率が 1 となる降雨強度を示す。

$$r_c = \frac{K_s \tan I \cos I \{c - \gamma_2 h \cos I (\sin I - \cos I \tan \phi)\}}{A \{ \gamma_w \cos I \tan \phi + (\gamma_1 - \gamma_2) (\sin I - \cos I \tan \phi) \}}$$

ここで、 I : 勾配、 A : 単位等高線長さあたりの集水面積、 h : 土層厚、 c : 土層の粘着力、 ϕ : 土層の内部摩擦角、 K_s : 土層の飽和透水係数、 γ_1 : 土層の飽和時単位体積重量、 γ_2 : 土層の不飽和時単位体積重量、 γ_w : 水の単位体積重量を示す。

非定常状態を仮定したモデルでは、有限要素法による 3

次元雨水流動の数値シミュレーションと安定解析を組み合わせた手法 (小杉, 2010) を用いた。浸透計算は Richards を基礎式とする。この方法では、土性 (透水性、保水性) の異なる表層と下層に分割し、さらに、計算要素として、表層を 4 層、下層を 2 層に分割した。

2.3 計算条件

使用する DEM は 1m, 2m, 5m, 10m とする (非定常モデルでは、1m を除く)。土層厚は対象流域および近傍領域を 5m メッシュに分割し、メッシュ内において、簡易貫入試験および検土杖調査によって求めた。1m, 2m, 10m における土層厚は 5m メッシュのデータを基にクリッキング法によって補完した。

集水面積、勾配の算出には、Tau-DEM モデル (D-InfinityFlowDirection 法; Tarboton, 1997) を用いた。既往の研究および、不動寺周辺における過去の計測結果を基に、 C_f : 10kN/m², $\tan \phi = 0.8$, γ_1 : 18.7kN/m², γ_2 : 16.0kN/m², γ_w : 9.8kN/m², 土層の飽和透水係数: 0.0005m/s とした。

小杉 (2010) モデルにおけるパラメータは、観測斜面近傍の土壌サンプルから得られたデータに基づいて、表 1 に示すように設定した。

表-1 表層、下層土壌のパラメータ

	θ_s	θ_r	ψ_m (cm)	σ	Ks(cm/s)
表層土壌	0.66	0.27	-46	1.7	0.03
下層土壌	0.42	0.18	-65	2.3	0.0025

3. 表層崩壊危険度定常降雨強度の計算結果

図 1 に、各メッシュサイズにおける表層崩壊危険度定常降雨強度の計算結果を示した。危険度定常降雨強度 0-20mm/hr の危険箇所はメッシュサイズが小さくなるほど、斜面上方へと拡大することが示された。この危険箇所の斜面上方への拡大傾向は、集水面積の算出結果と対応していると考えられる。メッシュサイズが小さい場合、地形表現性が高いため、微細な地形が集水面積の計算過程に反映されるため、集水面積の算出結果が大きな値を示す。このため、メッシュサイズが小さくなることで、斜面中腹における集水面積の算出結果が大きくなり、危険度定常降雨強度が小さくなったと考えられる。一方、10m メッシュは、対象とした領域ではメッシュの個数が

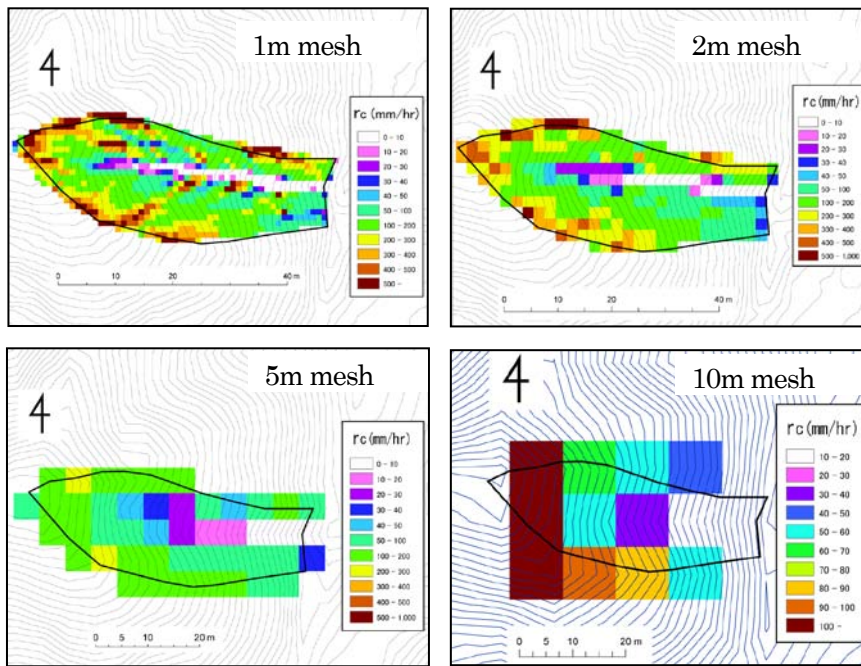


図1 表層崩壊危険度定常降雨強度の計算結果

少なすぎるため、集水面積の結果が妥当ではなく、他のメッシュサイズと大きく異なる結果を示した。

4. 数値シミュレーションによる安全率の算出結果

計算は、2004年10月19日から21日にかけての大規模降雨を対象とした。このイベントの総降水量は156mm、最大降雨強度は17mm/hrであった。土層の水分状態の初期条件として、すべての節点に-75cmの圧力水頭を与え、その後、無降雨状態で24時間浸透計算を行った結果を与えた。

図2に、各メッシュサイズにおける流出ピーク時の基岩面上の安全率を示した。メッシュサイズの違いによって、安全率が1を下回る領域に差異が認められた。また、2m、10mメッシュに比べて、5mメッシュにおいて安全率が低下する領域が大きかった。これらの違いは、5mメッシュは計算点(節点)が少ないため、各計算点(節点)の計算結果が面積的に大きく反映されるからであると考えられる。一方、10mメッシュでは、降雨ピーク前に基岩上の大部分が飽和していた。このため、降雨流出過程の再現が妥当ではないことが、安全率の低下する箇所の違いに現れていると考えられる。

5. まとめ

本研究では、地形条件の空間分解能の違いが表層崩壊の発生予測精度に及ぼす影響を検討した。本研究では、定常降雨、非定常降雨を入力条件とする2つのモデルによって解析を行ったが、いずれのモデルにおいても、メッシュサイズの違いによって表層崩壊の危険予測箇所が異

なることが示された。メッシュサイズが小さい場合、地形の再現性が向上するものの、一方で採用する手法によって地形の影響が過大評価される可能性が示された。また、メッシュサイズが大きくなった場合、対象流域内の計算点が少なくなるため、安全率が面的に過大評価されること、降雨流出過程の再現性の悪化が示され、崩壊危険箇所を的確に予測できない可能性が示された。表層崩壊の発生予測精度を向上するためには、メッシュサイズに合わせて雨水流動過程や集水性を的確に表現できる手法を適応する必要があると考えられる。

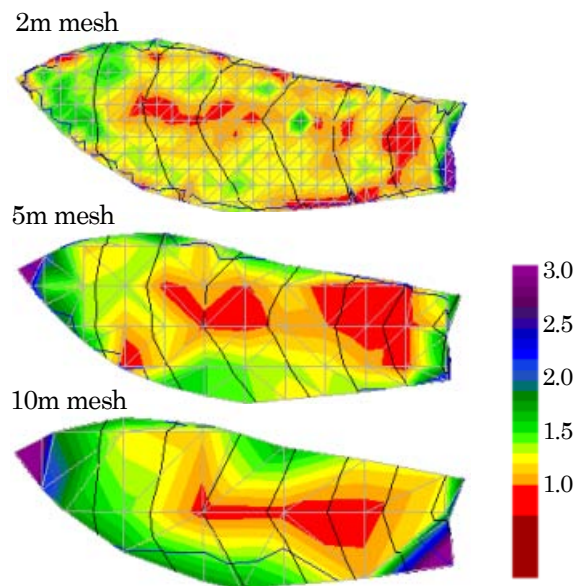


図2 安全率の計算結果

参考文献

- Fujimoto et al (2008), Hydrological Processes, 22, 2581-2594
- 小杉賢一朗ら (2010), 平成22年度砂防学会研究発表会
- 内田太郎ら (2009), 砂防学会誌 Vol.62 No.1 p.23-31
- Tabart et al (1997), Water Resources Research, Vol.33, 309-319

謝辞

本研究で使用したDEMデータは、国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所、アジア航測株式会社船越和也様に提供していただきました。また、本研究は平成21年度砂防学会若手研究助成により行った。ここに付記して、深くお礼申し上げます。