

飽和・不飽和浸透流解析を適用した非構造分布型モデルによる リアルタイム斜面崩壊予測手法の研究

国土交通省六甲砂防事務所 木下篤彦、岡本敦
日本工営株式会社 ○一言正之、小野寺勝、桜庭雅明、杉山実、邱騁、千葉明子

1. はじめに

豪雨による土砂災害による被害を軽減するには斜面崩壊・河床上昇による氾濫エリアのリアルタイム予測を行い、警戒避難体制を整備することが求められている。著者らは分布型モデルを用いたリアルタイム予測システムを構築してきた^{1,3)}が、山腹斜面中の水分挙動をより精度良くモデル化することが課題の一つとなっていた。本研究では、リチャーズ式による飽和・不飽和浸透解析を用いた準3次元分布型モデルによる斜面崩壊予測モデルを構築し、著者らがこれまでに構築した氾濫モデル^{1,3)}と合わせて六甲山系住吉川を対象としたリアルタイム予測への検討を行った。

2. 崩壊予測モデルの概要

崩壊予測モデルは、(1)分布型流出解析モデル、(2)無限長斜面安定解析モデルから構成される。各モデルの概要を以下に示す。

2.1. 流出解析モデル

本研究で用いた流出解析モデルは、①鉛直浸透流、②斜面表面流、③飽和側方流、④河道流、の4つから構成される。モデルの概念を図1に示す。地形モデルには流域形状をより正確に表現可能な三角形の非構造格子を用いた。鉛直浸透に対しては、既存システム^{1,2,3)}の飽和浸透流モデルを改良し、新たにリチャーズ式による1次元飽和・不飽和浸透モデル⁴⁾を組み込んだ。斜面表面流には2次元 Diffusion Wave モデル、飽和側方流には2次元 Darcy モデル、河道流には1次元 Dynamic Wave モデルを適用した。モデル精緻化に伴う計算負荷の増大に対応するため、領域分割型の並列計算を適用し計算高速化を図った。

2.2. 無限長斜面安定解析モデル

図2に示すような崩壊断面を想定し、無限長斜面安定解析による崩壊危険度予測モデルを構築した。計算に必要な間隙水圧や土柱重量は、流出解析によって得られた地下水位・土壤水分飽和率から算出するものとした。

3. 六甲山系住吉川流域へのモデル適用

3.1. 地形モデル

開発した斜面崩壊予測モデルを、六甲山系の住吉川流域に適用し精度検証を行った。計算格子には三角形非構造格子を用い、流域形状を忠実に表現した。格子分割には修正デローニ分割法を用い、河道形状は格子辺で構成されるような格子配置とした。格子サイズは一辺約20mとし、要素数が51487、節点数が26172となった。鉛直分割数は4とした。標高データは2m間隔のLPデータから設定した。

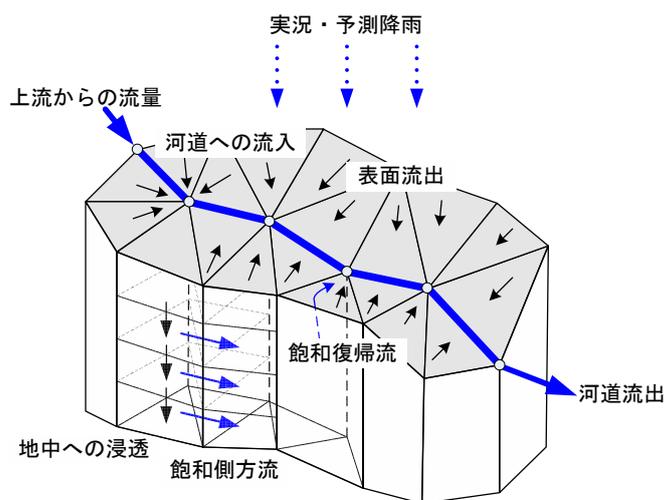


図1 流出解析モデルの概念図

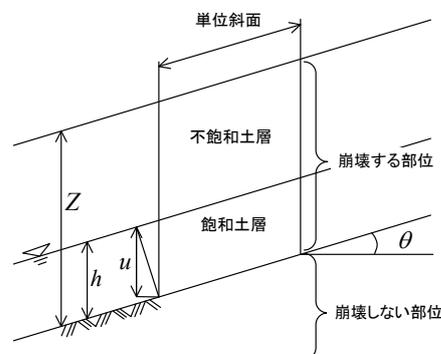


図2 モデル崩壊断面の模式図

表1 モデルの物性パラメータ
パラメータ 値

パラメータ	値	
透水係数 (cm/s)	鉛直	3×10^{-3}
	水平	3×10^{-2}
間隙率	0.50	
残留飽和率	0.10	
不飽和特性パラメータ (vanGenuchtenモデル)	α	0.10
	n	2.00
基岩の透水係数 (cm)	1×10^{-6}	
粘着力 (kN/m ²)	4.6	
内部摩擦角 (deg)	34.3	
土粒子の単位体積重量 (kg/m ³)	2650.0	
湿潤土の単位体積重量 (kg/m ³)	水分飽和率に応じて格子ごとに設定	

3.2. 流出解析の精度検証

流出解析モデルの精度検証を行うため、降雨－出水データの揃う近年の中から対象事例を選定した。流量データには流域下流の水位観測所から得られた値を用い、降雨データには地上観測雨量を用いた。検証対象は2004年9月30日および10月20日の出水事例とした。なお計算初期条件の影響を避けるため、出水2週間前の2004年9月18日から10月24日まで連続して計算を行った。計算に用いた流出パラメータを表1に示す。計算結果は図3に示す通りであり、十分な精度が得られた。また不飽和過程を考慮しない既存モデルよりも格段に精度が向上した。

3.3. 斜面崩壊危険度予測の精度検証

斜面崩壊危険度予測の精度検証を行うため、1967年7月の崩壊事例を対象として再現計算を行った。近隣の降雨観測所データを図4に示す。土層厚の設定は、既往の調査データを元に勾配－土層厚の回帰直線を求め、格子毎に与えた。また地盤物性データは表1に示す通りとした。崩壊の実績と予測を図5に示す。予測結果は、崩壊実績箇所を精度良く再現している。

4. おわりに

本研究にて、飽和・不飽和浸透流解析を適用した分布型モデルによるリアルタイム斜面崩壊予測モデルを構築した。構築したモデルにより、高い精度で流出・崩壊の再現計算結果が得られた。今後は本研究で構築したモデルを、現在運用中の六甲砂防事務所のリアルタイムハザードマップシステムに適用し、モデルの検証を行う予定である。

参考文献：

- 1) 杉山実, 他：リアルタイム土砂災害予測システム構築の試み, 砂防学会研究発表会概要集, pp.12-13, 2007.
- 2) 杉山実, 他：リアルタイム土砂災害予測システム構築の試み(その2), 砂防学会研究発表会概要集, pp.238-239, 2008.
- 3) 杉山実, 他：リアルタイム土砂災害予測システム構築の試み(その3), 砂防学会研究発表会概要集, pp.160-161, 2009.
- 4) 田方智, 他：新規細粒火山灰が堆積した流域における分布型流出解析モデルの検討, 砂防学会誌, 第60巻, 第4号, pp.15-24, 2007.

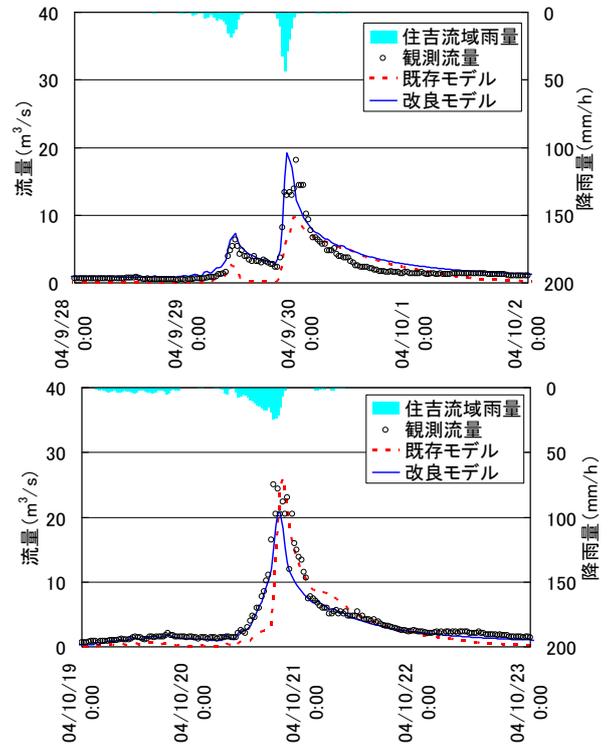


図3 住吉川における河道流量の再現計算結果

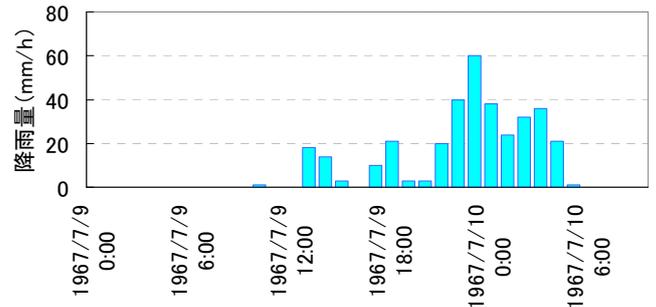


図4 1967年の実績降雨(芦屋CC観測所)

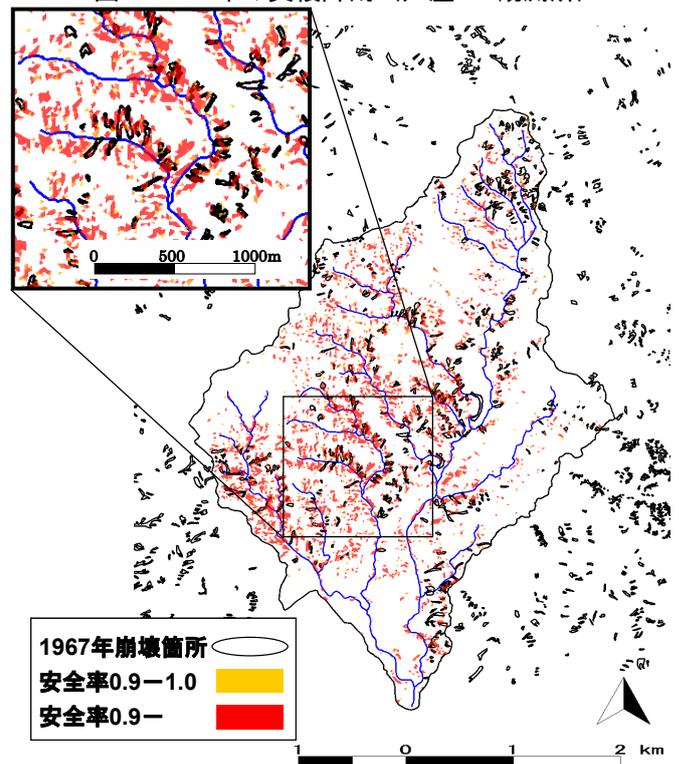


図5 1967年崩壊の実績と予測の比較