

力学モデルと XG ブーストを用いた広域斜面崩壊危険度評価手法の精度検証

九州大学大学院 学○坂本達彦 正 笠間清伸 古川全太郎

1. はじめに

九州地方は、地理的な条件から台風の上陸率が高く、地球温暖化などの気象条件の変化も加わって、局所的な集中豪雨が発生し土砂災害が頻発している状況にある。平成 29 年 7 月九州北部豪雨では福岡県朝倉市、東峰村および大分県日田市を中心とする広域的な土砂災害が発生した。今後このような災害を軽減するためには、災害関係情報を効率的に活用することが極めて重要である。本文では、広域かつ高精度で、リアルタイムに斜面崩壊の発生時間と位置を推定できるシステムを開発することを目的として、気象レーダー情報や地盤情報データベースなどの地形・地質・降雨の空間情報を GIS 上で統合し、力学モデルと機械学習を利用して斜面崩壊予測モデルを平成 29 年 7 月九州北部豪雨に適用し、それぞれのモデルの精度評価を行った。

2. 広域斜面崩壊危険度予測システム

対象地域は、平成 29 年 7 月九州北部豪雨で被災した福岡県朝倉市の北緯 33°25'7" 東経 130°44'27" から北緯 33°20'59" 東経 130°52'29" で囲まれる東西 12.3km、南北 7.3km の領域である。この地域の地形を 10m×10m のメッシュ状に分割し、降雨量から表面流と斜面浸透量を計算し、以下の式(1)に示す無限斜面における安全率計算式を用いて斜面崩壊危険度予測を行った。

$$F_s(z,t) = \frac{\tan\phi}{\tan\delta} + \frac{c-u(z,t)\gamma_w \tan\phi}{\gamma_{sat} z \sin\delta \cos\delta} \quad (1)$$

ここに、 ϕ は土の内部摩擦角(°)、 c は粘着力(kPa)、 δ は傾斜角(°)、 u は崩壊深度における水圧(kPa)、 γ_w は水の単位体積重量(kN/m³)、 γ_{sat} は土の飽和単位体積重量(kN/m³)を表す。降雨浸透中の水圧の計算方法として、鉛直下方向に降雨浸透が発生するモデルを用いた。各メッシュの傾斜角と集水面積は、国土地理院から入手した 10m ごとの標高データから計算した。表層地質に関する情報は、産総研地質図 NAVI より入手した。斜面の物理定数は、朝倉市に主に堆積する花崗閃緑岩を対象にした現地調査結果¹⁾を用いた。斜面の不飽和浸透特性を考慮するために、朝倉市の花崗閃緑岩風化土を対象に得られた水分特性曲線²⁾を用いた。降雨量は、2017 年 7 月 5 日～6 日の 10 分ごとのデータを用いた。

崩壊深度は、以下に示す二つの方法により決定した。1 つ目の方法では、平成 29 年 7 月九州北部豪雨における崩壊前後の LP データの差の平均値である 0.857m を一様な崩壊深度として設定した。2 つ目の方法では、飯田らの研究³⁾から崩壊深度 d (m) を傾斜 α (°) と比集水面積 S (m) で表した式(2)により求めた値を 15 倍した。15 倍と

いう倍率は、後述する F 値が最大となる d の倍率をパラメトリックスタディにより求めた値である。

$$d = 0.01 \times \exp\{2.10 + (-0.009)\delta + (-0.059)\log(S)\} \quad (2)$$

危険度評価手法の精度を評価するために適中率、適合率、再現率、F 値およびスレットスコアという指標を用いた。ここで、解析と実際の崩壊が合致した斜面面積を TP、解析で未崩壊と判定されたが実際には崩壊した斜面面積を FN、解析で崩壊と判定され実際には崩壊しなかった斜面面積を FP、解析と実際の崩壊が合致しなかった斜面面積を TN とした。力学モデルを用いた解析では、F 値が最大となる強度定数の組み合わせをパラメトリックスタディにより、地質と傾斜範囲ごとに逆推定して使用した。

$$\text{適中率} = (TP+TN)/(TP+FP+FN+TN) \quad (3)$$

$$\text{適合率} = TP/(TP+FP) \quad (4)$$

$$\text{再現率} = TP/(TP+FN) \quad (5)$$

$$F \text{ 値} = 2 \times (\text{適合率} \times \text{再現率}) / (\text{適合率} + \text{再現率}) \quad (6)$$

機械学習では、メッシュごとの標高、傾斜、表層地質、集水面積、土壌雨量指数、平成 29 年 7 月 5 日の 0:00~7 月 6 日 0:00 の間の最大 10 分間雨量、最大 30 分間雨量、最大 1 時間雨量、最大 1.5 時間雨量、最大 3 時間雨量、最大 6 時間雨量、最大 12 時間雨量、総雨量に加え、力学モデルで決定した粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ 、および $\tan\phi$ を入力データとした。70% のデータをランダムに抽出し、平成 29 年 7 月 6 日 0:00 時点の崩壊地域と比較することで、メッシュごとの崩壊の有無を予測する機械学習モデルを作成し、残り 30% のデータで精度評価を行った。機械学習の手法は XG ブースト⁴⁾を用いた。入力デ

一タのメッシュサイズは、10m、20m、40m、80m、160m および 320m とした。

3. 結果と考察

斜面崩壊危険度予測手法ごとの精度を表-1 に示す。力学モデルを用いた場合、崩壊深度を一様としたときには、適中率、適合率および F 値が式(2)を用いた時に比べ大きくなった。これは、崩壊深度を式(2)によって求めるとき、傾斜の大きい地域の崩壊深度が 0.857m より小さくなり、崩壊すると予測した面積が増え、FP が多くなったためである。

XG ブーストは、力学モデルに比べ、適中率、適合率および F 値が大きくなった。これは、XG ブーストは降雨量の影響を力学モデルよりも適切に考慮でき、FP が少なく、NP が多くなるためだと考えられる。

XG ブーストにおいて、メッシュの大きさとそれぞれの精度の関係を図-1 に示す。メッシュが大きくなるほど、適合率、再現率および F 値が大きくなり、適中率は小さくなった。一方で、メッシュの面積に対する崩壊した面積の割合が小さくなるため、実際に崩壊が発生したメッシュ内で、必ずしも被害を受けるとは言えない。

メッシュの大きさごとの重要度の大きい 5 つの入力データは表-2 のようになった。ここで、r(3h)は最大 3 時間雨量、r(6h)は最大 6 時間雨量、r(12h)は最大 12 時間雨量、SRI は土壤雨量指数を表す。入力データの右の (n,m)は、メッシュ内の n 行 m 列に位置するデータであることを表す。XG ブーストによる斜面崩壊危険度評価には、メッシュが大きくなっても降雨に関する情報、特に土壤雨量指数の重要度が大きくなった。このことから、メッシュが大きくなるとより広範囲の降雨データを学習できるため、予測精度が高まると考えられる。

4. まとめ

平成 29 年 7 月九州北部豪雨を対象に、力学モデルと機械学習による解析をおこなった。XG ブーストを用いた解析の適中率、適合率および F 値の値が力学モデルよりも大きくなった。メッシュの大きさを大きくするにつれ、予測精度が大きくなる一方で、メッシュ内の実際に斜面崩壊が起こる面積は小さくなるため、斜面崩壊危険度予測を行う際は、要求される予測精度とメッシュ内の崩壊面積の

割合を考慮し、メッシュサイズを決定する必要がある。謝辞:本研究は JSPS 科研費 JP19H00812 と JP20H00266 の助成を受けたものです。

参考文献:

- 1) 高橋亮丞、笠間清伸、古川全太郎、山本秀平、中西隆之介: 平成 29 年 7 月九州北部豪雨で発生斜面崩壊の形状と土量の分析、自然災害研究協議会西部地区会報第 42 号研究論文集 pp 75-78, 2018. 2) Adel Alowaisy, Noriyuki Yasufuku, Ryohei Ishikura, Masanori Hatakeyama, Shuu Kyono: Continuous pressurization method for a rapid determination of the soil water characteristics curve for remolded and undisturbed cohesionless soils, ScienceDirect, 2019. 3) 飯田智之、田中耕平: 簡易貫入試験からみた土層深と地形の関係、地形第 18 巻第 1 号 67-78 頁, 1997. 4) Tianqi Chen Carlos Guestrin: XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, arXiv.org Cornell University, 2016.

表-1 力学モデル機械学習を併用した際の精度

危険度予測手法	適中率	適合率	再現率	F 値
力学モデル 崩壊深度一様	0.5481	0.0584	0.6084	0.1065
力学モデル 崩壊深度 式(2)	0.4351	0.0542	0.7140	0.1007
XG ブースト	0.9626	0.4121	0.2539	0.3142

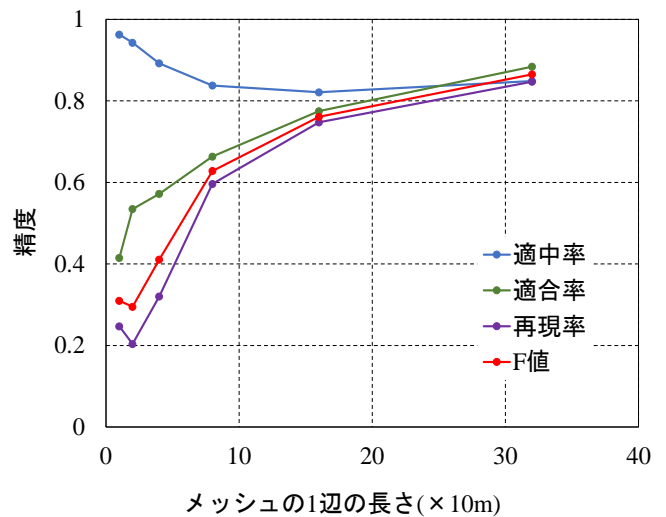


図-2 メッシュの大きさと精度の関係

表-2 メッシュの大きさごとの重要度上位 5 個

		メッシュの大きさ					
		1	2	4	8	16	32
重要度	1	r(6h)	SRI(1,1)	r(6h)(3,1)	SRI(4,7)	SRI(4,5)	SRI(14,21)
	2	SRI	SRI(1,2)	SRI(3,3)	SRI(2,1)	SRI(4,2)	r(12h)(7,12)
	3	r(3h)	r(6h)(2,1)	SRI(3,1)	SRI(4,2)	SRI(5,13)	SRI(5,8)
	4	ϕ	SRI(2,1)	SRI(4,4)	r(6h)(8,2)	SRI(4,13)	SRI(5,32)
	5	c	表層地質(1,1)	r(6h)(4,2)	SRI(5,5)	SRI(2,2)	SRI(13,5)