

観測雨量による簡易湧水量推定モデルの構築とそれを用いた土砂災害発生危険度の検討

京都大学大学院工学研究科 ○嶋崎諒子, 京都大学 宮田秀介, 香川大学 竹之内健介
三重大学 堤大三, 京都大学 藤田正治

1. はじめに

飛騨地域は急峻な山地が多くを占め、居住地や公共施設は急峻な斜面に隣接した立地とならざるを得ず土砂災害の危険性が高い地域である。奥飛騨温泉郷に位置する高山市立栢尾小学校は、急傾斜の斜面（以下、「裏山斜面」とする）に隣接した立地にあり、斜面崩壊と土石流双方の警戒区域（イエローゾーン）に含まれ、一部は特別警戒区域（レッドゾーン）に指定されている。児童や教職員が安全に避難するために、裏山の斜面崩壊の発生危険度を知ることが重要である。

現在、1 km メッシュでの土砂災害の危険度が気象庁や自治体の HP で公表されている。これらは非常に有用な情報ではあるものの、特定の地域や斜面の危険度を表すものではない。そのため、特に学校では生徒の安全確保のために土砂災害の切迫性に関するきめ細かな情報の需要が非常に高い。そこで本研究では山体地下水位の指標となる斜面での湧水量を予測する簡易モデルを構築し、特定斜面の土砂災害危険度を示す方法の提案を目的とした。

2. 方法

2.1 観測方法

雨量は栢尾小学校の屋上に設置したヒーター付き雨量計で観測し、湧水量は裏山斜面で行った。

湧水地点のすぐ下に作成した堰で湧水を集めて三角堰に導水した。三角堰内の水深を圧力計によって計測し、あらかじめ求めた水深と流量の関係式を用いて湧水量を算出した。

2.2 関数モデルの概要

本研究では、小杉ら (2013) が提案した降雨量から基岩地下水を推定する手法を斜面の湧水量推定に援用した。

$$H = A \times (b_0 + b_1 X_1^{p_1} + b_2 X_2^{p_2}) \quad (1)$$

H は湧水量推定値である。 b_0, b_1, b_2, p_1, p_2 はそれぞれ任意の正の値をとり、 X_1, X_2 は実効雨量を指す。 A は補正係数である

また、ここで用いられる実効雨量は、鈴木・小橋 (1981)より

$$X(t) = X(t-1)e^\alpha + R(t)e^{\frac{\alpha}{2}} \quad (2)$$

$$(\alpha = \ln(0.5)/M)$$

X は実効雨量(mm/h)、 R は時間雨量(mm/h)、 M は半減期(時間)を指す。

2.3 パラメータの同定方法

式(1)で表されるモデルは6つの未知のパラメータ($b_0, b_1, b_2, p_1, p_2, M_1, M_2$)を有する。ここで M_1, M_2 はそれぞれ実効雨量 X_1, X_2 を求めるための半減期を表し、 M_1, M_2 をそれぞれ長期半減期、短期半減期と呼ぶこととする。未知数が多いため、全てのパラメータの値を同時に決めることは困難である。まず長期半減期に関するパラメータ(M_1, b_1, p_1)の値を決定し、次に短期半減期 M_2 とパラメータ b_2, p_2 の値を決定するという手法をとった。

長期半減期のパラメータは2016~2020年に観測された湧水量 H_{obs} の変動を最もよく再現できるように値を決定した。モデルの妥当性はNSEF値で判断した。NSEF値は次式で表され、この値が1に近いほど、推定値と観測値の差が小さいことを示す。

$$NSEF = 1 - \frac{\sum_i (H_{obs,i} - H_{cal,i})^2}{\sum_i (H_{obs,i} - \bar{H}_{obs})^2} \quad (3)$$

ここで $H_{obs,i}$ は観測値、 $H_{cal,i}$ は推定値、 \bar{H}_{obs} は観測値の平均値である。NSEF値が最大になるように長期半減期とパラメータ b_1, p_1 を設定した。

先に決定した長期半減期に関するパラメータの値を用い、短期半減期に関するパラメータ M_2, b_2, p_2 の値を決定した。2016~2020年では災害が発生するような降雨中の湧水量を正確に観測することができなかった。つまり災害が起きるような降雨について斜面の危険度を良好に表せているかの妥当性が判断できない。そこで、栢尾小学校の直近のアメダス栢尾の過去の雨量観測結果(1979~2020年)を用い、さらに近隣での土砂災害履歴を参照することで、災害が発生したような降雨について湧水量推定値 H_{cal} が特異に大きな値をとるよう、短期半減期に関するパラメータ A, b_2, p_2 の値を決定した。ここでは、過去の土砂災害発生時に湧水量推定値が上位何%に入るかという基準でモデルを評価した。

3. 関数モデルのパラメータ同定結果

3.1 長期降雨指標

半減期 M_1 を増加させると NSEF 値は徐々に上昇し、半減期 598 時間のときに最大値をとった (NSEF = 0.894)。半減期 598 時間を用いた湧水量推定値は、全体的な挙動は再現できた一方、豪雨中の湧水量についての再現性はあまり良くなかった。

3.2 短期降雨指標

雨量、湧水量はともに 1 時間単位で計測していることから、ここでは短期半減期 $M_2=1$ とした。NSEF 値は短期降雨指標に関するパラメータ群を導入すると低下したが、一方で災害発生時の湧水量上位百分率が小さくなり災害を予測するモデルとしては有効と考えられた (表-1)。そこで、ここでは過去の災害発生時の湧水量推定値が上位 0.1% にふくまれるモデルを採用した。このとき、NSEF=0.820 であり、平常時の湧水量推定においても十分に良好な精度を有すると判断できる (図-1)。

4. 関数モデルを用いた土砂災害危険度の評価

過去の災害事例を分析した結果、1997 年 7 月の災害発生事例を除いて湧水量推定値は災害発生のおそらく 2 時間前には 60.0 mm/h 以上に急激に上昇した。したがって、湧水量推定値が 60 mm/h を上回った時には数時間以内に土砂災害が発生しうる状態であるとの注意喚起を行うことができる。リアルタイムで本モデルを運用すれば、最低でも 2 時間のリードタイムをとって避難への準備を行うことができる。また、ほとんどの事例で災害発生時刻に湧水量推定値が 100 mm/h を超えた。1979 年に発生した洞谷災害時には 200 mm/h を超える非常に大きな値を示していた。これらの結果をもとに裏山斜面の土砂災害発生危険度として 3 段階の基準を設定した。湧水量

推定値が 60, 100, 200 mm/h を超えたときにそれぞれ「注意 (今後、災害が起きるかもしれない)」、「警報 (災害が発生するかもしれない)」、「特別警報 (既に災害が発生していてもおかしくない状態)」と評価することができる。

5. 結論

本研究では、岐阜県高山市立柘尾小学校の観測雨量のみから裏山斜面における湧水量を算出する簡易的なモデルを構築し、過去のデータと比較検討することで小学校に危険を及ぼすおそれのある裏山斜面の土砂災害発生危険度を求めた。その結果、長期半減期を 598 時間、短期半減期を 1 時間としたパラメータ群を用いることで湧水量を表現し、土砂災害が発生するときに特異的に高い推定値をとるモデルを構築することができた。本モデルをリアルタイムで運用し、危険度評価と組み合わせることで、教職員および児童が学校の災害危険度を判断する助けになると考えられる。

引用文献

- 小杉ら (2013), 砂防学会誌 66(4), 21-32
 鈴木・小橋 (1981), 砂防学会誌 34(2), 16-26

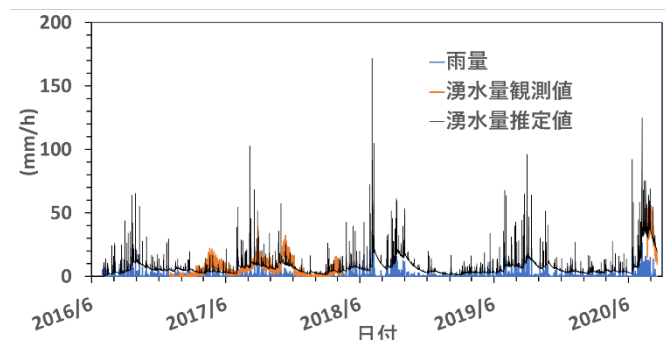


図-1 2016年6月～2020年8月の雨量・湧水量観測結果および湧水量推定結果

表-1 各パラメータを変化させたときの NSEF および過去の災害発生時の湧水量推定値の順位

b_2	p_2	NSEF	上位%に災害時の推定値が含まれるか
0.00336(= b_1)	1.41(= p_1)	0.894	1%に2020年のみ
	2	0.894	1%に2020年のみ
0.00336(= b_1)	3	0.890	1%に1997年以外
0.01		0.894	1%に1979年, 1997年以外
0.1		0.892	1%に1997年以外
0.5		0.875	0.28%にすべて
0.9		0.847	0.11%にすべて
1.0	1.41(= p_1)	0.839	0.11%にすべて
1.1		0.830	0.10%にすべて
1.2		0.820	0.099%にすべて
1.3		0.811	0.097%にすべて