実効雨量と地域情報を用いた 土砂災害の危険性評価

武田 拓也¹・徳田 晴香²・大上 俊之³・小山 茂⁴

¹ 非会員 東海鉄道株式会社 鉄道事業本部 (〒509-3205 岐阜県高山市久々野町久々野 1523)
E-mail:t.takeda.1116@gmail.com

² 非会員 信州大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒380-8553 長野市若里4-17-1)
E-mail:13tm306a@shinshu-u.ac.jp

³ 正会員 信州大学教授 工学部土木工学科 (〒380-8553 長野市若里4-17-1)
E-mail:tohkami@shinshu-u.ac.jp

⁴ 正会員 信州大学准教授 工学部土木工学科 (〒380-8553 長野市若里4-17-1)
E-mail:koyama@shinshu-u.ac.jp

本研究は、長野県を対象に、土砂崩壊の危険性のある地域の推定と避難が必要となる降水基準の設定を検討したものである。地形、地質、土地利用といった地域情報と降水情報データを用いて過去の災害事例を分析し、長野県において土砂災害が発生する危険箇所を抽出した。さらに、1時間累積雨量と72時間半減期実効雨量を用いて危険基準線 (CL) の設定を行い、降水情報に対して安全領域、崩壊注意領域、崩壊危険領域の3領域に区分し、避難が必要となる降水目安を設定した。

Key Words : *sediment disasters, precipitation, regional characteristics, critical line*

1. はじめに

近年、地理情報システム (GIS) を利用し、土砂災害の発生予測を行う取り組みがなされている。その一つとして数値標高モデル (DEM) があり、地形を標高値メッシュデータとして表現することで、コンピュータ上に地形を視覚的に表現できる。この数値標高モデルを用いることにより、土砂災害の発生予測は、従来の目視を主体とした調査と比較し、広範囲に、より客観的に評価することが可能となってきた。

日本列島は急峻な山岳地形と脆弱な地質といった地理的特徴を有しており、そこにさらに降雨等の誘因が重なることによって、土砂災害発生危険性を有する斜面が広く分布している。このことから、降雨を誘因とする土砂災害の危険性を求めるためのモデル開発が進められている。土砂災害に関して、これまでも実況の雨量に対する災害発生危険度の表現方法に関する研究¹⁾、集水度に関する研究²⁾、微地形に関する研究³⁾、急傾斜地を抽出する研究⁴⁾、降雨と地形を組み合わせた研究⁵⁾等、様々な研究が行われており、これらの研究手法は、土砂災害発生予測のための重要な手法として活用されている。しかしながら、過去の土砂災害に関する研究は、単一流域、

同一の豪雨に対する事例への適用が多いようである。都道府県といった広範領域を対象とした研究として、秋田県を事例対象とした研究⁶⁾、DEMと数値表層モデル (DSM) を用いて斜面崩壊の発生危険箇所を抽出する試み⁷⁾などがあり、土木研究所では土石流の発生危険度評価マニュアルを発表している⁸⁾。また、川越ら⁹⁾は東京都を対象に土砂災害、実効雨量、地域特性に対する関係性の解明を試みている。一方、牛山ら¹⁰⁾は短時間雨量・先行雨量と土砂災害発生との関係から土石流発生の危険基準線 (CL) を求めている。

本研究では、川越らと牛山らの研究を基本として、長野県全域を対象とした土砂災害の危険性評価を試みた。具体的には、過去に発生した土砂災害事例から、累積性を含む降水と地形・地質・土地利用の地域特性のデータを用いて、土砂崩壊の誘因と素因の関連性をGISにより分析し、崩壊の危険性のある地域の抽出と、避難が必要となる降水基準の設定について検討した。現在の長野県の土砂災害危険度情報では、土壤雨量指数にタンクモデルを用いているが¹¹⁾、手法の簡便性および住民へのわかりやすさから、本研究では1時間雨量と72時間半減期実効雨量を用いてCLを設定した。

2. 評価方法

本研究で対象とする土砂災害は、表層崩壊である土石流、がけ崩れとし、地下水の影響が強い地すべりは対象外とする。

GISを用いて、過去の土砂災害発生地点における実効雨量情報と地質情報、地形情報、土地利用情報から、土砂災害の発生し得る可能性がある条件を設定し、崩壊の危険性がある地域を抽出する。また、崩壊地点における72時間実効雨量と1時間累積雨量から崩壊時のスネークラインを求め、崩壊非発生降水量のスネークラインと組み合わせてCLを設定し、抽出した地域に対して避難が必要となる降水基準を設定する。評価方法のフローチャートを図-1に示す。

図-1 評価方法のフローチャート

3. 土砂災害に関する情報とその分析結果

解析に際して、土砂災害情報、地形情報、地質情報、土地利用情報、降水情報のデータを用いた。以下に各データについて述べる。

(1) 土砂災害事例

長野県における2004年から2011年までの7年間の土砂災害データを土砂災害情報として利用した。このデータは、土石流、がけ崩れ等の災害現象の種別、場所、規模、推定発生時刻を記載したものである。この7年間に長野県で発生した土砂災害は350箇所であり、その中で上記全てが記録されていた154箇所の災害事例を対象に検討を行った。

(2) 地形情報

国土地理院発行の数値地図標高 50mメッシュ¹²⁾のDEMデータを用いて、長野県全域について起伏、曲率、傾斜度を算出し、これらを地形情報とした。

a) 起伏

起伏量は、単位面積内の最高点と最低点の高低差と定義され、一定範囲内の高低差を表す指標である。DEMの各セルについて陰影起伏を図-2のように算出した。土石流事例（37箇所）では起伏量は90~229mの間であり、がけ崩れ（117箇所）については起伏量126~220mであった。一般的に危険とされる起伏量は50m以上とされるが、今回の事例では、土石流で最小が90m、がけ崩れで最小が126mと比較的高い数値がみられた。また、長野県では小起伏山地が多くを占めていた。

図-2 起伏の算出結果

b) 曲率

曲率に関しては、斜面の垂直断面形状（断面曲率）と水平断面形状（水平曲率）を算出し、表-1のように斜面形状を区分した⁷⁾。断面曲率は傾斜の方向に平行な縦断面で地表面を切った場合の曲率を表し、凹形斜面か凸形斜面かの判別に用いられる。平面曲率は地表面と水平面と交差する方向（等高線）の曲率で、谷型か尾根型かを判別する場合に用いられる。

表-1 縦断曲率・平面曲率の組み合わせと斜面形状⁷⁾

		平面曲率の値		
		正	0	負
縦断曲率 の値	負	凸型尾根型	凸型直線	凸型谷型
	0	等斉尾根型	等斉直線	等斉谷型
	正	凹型尾根型	凹型直線	凹型谷型

土石流による崩壊の37箇所中、最も多かったのは凹形谷型（15箇所）であり、続いて凹形尾根型（11箇所）、凸形尾根型（8箇所）凸形尾根型（2箇所）、凹形直線（2箇所）であった。凹形谷型は「おわん型」の集水地形で雨水をためやすいために崩壊が起りやすく、また、凹形地形での崩壊が37箇所中27箇所と多くみられた。

がけ崩れ(全117箇所)では、凹形谷型(54箇所)が最も多く半数を占め、続いて凸形尾根型(25箇所)、凹形尾根型(23箇所)、凹形直線(8箇所)、凸形谷型(6箇所)、等斉直線(1箇所)であった。凹形地形での崩壊が117箇所中85箇所であった。結果を図-3に示す。

図-3 曲率の算出結果

c) 傾斜度

DEMデータから3セル×3セルの9セルを取り出し、中央セルについて、近傍セルの標高値を用いた平均最大法により傾斜角を求め、中央セルの傾斜度とした。全セルについて算出した傾斜度と過去の崩壊地点と重ね合わせた結果、崩壊は0°~26°の間で起こっており、特に3°~10°の間で多く崩壊が起こっていた。降雨による崩壊は比較的緩やかな斜面で起きやすいとされているが、長野県下での災害事例でも緩やかな斜面で崩壊が発生しており、降雨の影響による崩壊だと考えられる。算出した結果を図-4に示す。

図-4 傾斜度の算出結果

(3) 土地利用情報

平成21年の土地被覆を衛星画像で解析した国土数値情報の土地細分メッシュデータ¹³⁾を利用し、長野県内の土地利用種別を、田、農用地、森林、荒地、建物用地、道路、鉄道、その他の用地、河川地及び湖沼、ゴルフ用地の全10種類に分類した。算出の結果、崩壊が発生した地域での主な土地利用種は主に森林、建物用地、農用地であり、土石流崩壊地域でそれぞれ75%、5%、5%、崖崩れ崩壊で40%、21%、14%で、大半の崩壊が森林で起きていた。森林においては、土壌の保水力の高さから降雨が引き金となり土砂崩壊を起こすことが多いこと、また、建物用地、農用地では、人為的地形改変による斜面の不安定化が要因が考えられる。

(4) 地質

数値地質図幅集¹⁴⁾を利用し地質分類を行った。地質年代別では、第四紀層と新第三紀層が全崩壊箇所の大半を占めており、土石流崩壊地域で65%、43%、崖崩れ崩壊で48%、36%であった。また、地質構造では、花こう岩、流紋岩、凝灰岩、火山灰などの火山岩を含む地質での崩壊が多くみられ、全体の60%であった。

(5) 降水情報と実効雨量解析

長野県内の降水データを基に内挿補間を行って実効雨量を算出し、降水情報とした。解析に用いたのは、2004年から2011年のデータである。長野県全域をティーセン法¹⁵⁾を用いて長野、松本、諏訪、軽井沢、飯田の5地区に区分し、それぞれの地区において、各雨量観測所の雨量データをIDW法¹⁶⁾によって内挿補間して、土砂災害地点における降水量を算出した。各地区内の雨量観測所の数は長野12、松本7、諏訪8、軽井沢3、飯田12である。

土砂災害発生危険雨量の検討に用いられる実効雨量は、先行する累積雨量の影響を効率的に示すため、先行雨量に低減係数 α をかけることで求められる⁹⁾。

$$R_w = r_t + \sum_{i=1}^x \alpha_i \cdot r_{w-i}, \quad \alpha_i = 0.5^{\frac{i}{T}} \quad (1)$$

ここに、 R_w は実効雨量(mm)、 r_t は時刻 t の時間雨量、 α_i は i 時間前の低減係数、 r_i は i 時間前の時間雨量、 T は半減期である。本研究では、半減期 T を72時間として土砂災害発生との関連性の検討を行った。

4. 相関関係

154箇所の土砂崩壊地点において、算出した降水情報と地形情報の相関係数を求め、降水と地形の関連性を調

べた。その結果、表-2に示すように、第4紀層の土石流崩壊において、崩壊時の実効雨量と傾斜度に正の強い相関、曲率、起伏に負の強い相関が見られた。一方、その他の事例については相関係数は最大でも0.46で、弱い相関、もしくはほとんど相関が見られなかった。

このことから、次で述べる崩壊条件の算出と崩壊危険箇所への推定、CLの設定については、降水情報と地形情報の相関が強い「地層が第四紀層で崩壊要因が土石流のもの」に絞って検討を行うこととする。

表-2 第4紀層・土石流における相関係数

	実効雨量
実効雨量	1.00
傾斜度	0.87
曲率	-0.86
平面曲率	-0.55
断面曲率	-0.15
起伏	0.77

図-5 崩壊危険箇所およびその特徴

5. 崩壊条件の算出と崩壊危険箇所の推定

第四紀層で発生した土石流による崩壊箇所の地形情報の最小値と最大値により崩壊条件を表-3に示すように設定した。

表-3 地形情報の最大値、最小値

	最小値箇所	最小値	最大値箇所	最大値
傾斜角	栗林防砂ダム	2.90	熊の入り	10.24
曲率	熊の入り	-0.06	栗林防砂ダム	-0.01
起伏	豊里	170.00	豊里	201.00

表-3の値をもとに、長野県内の崩壊危険箇所の推定を行う。各地形情報ごとに崩壊条件を満たす地域のみを取り出し、取り出した条件を重ね合わせることで危険地域を抽出する。

次に、地層が第四紀層で、かつ土地利用が森林、建物用地、農用地にある崩壊条件を満たす箇所を求めた

(図-5)。第四紀層(図中ピンク色)で、森林・建物用地・農用地(薄緑、白色)上にある崩壊条件(青色)を満たす箇所(図中では影のあるピンク色上にある青色の箇所)が本研究で抽出した崩壊危険箇所である。

この図より、中央構造線付近である伊那盆地の東側に崩壊危険箇所が集中していること、また、長野盆地の北部や北東部、八ヶ岳付近に崩壊危険箇所が多く存在することが分かる。過去の崩壊箇所を見ると、第四紀層と他の地層の境目で崩壊が発生しており、崩壊危険箇所もこの境目に多く見られる。

6. CLの設定

CLを設定する際に用いる土砂災害危険度指標図は、縦軸が短期降水指標、横軸が長期降水指標となり、それぞれ短時間降水の強さ、地下水位の変動を表す¹⁰⁾。本研究では、短期降水指標に1時間累積雨量、長期降水指標に72時間半減期実効雨量を用いて、土砂災害危険度指標図に、現在降っている雨を時系列で結んだスネーク曲線を描くことでCLの設定を行う。

第四紀層で土石流崩壊した箇所における1時間累積雨量と72時間半減期実効雨量のスネークラインを土砂災害危険度指標図に記したものを図-6に示す。

図-6 第4紀層土石流崩壊地の土砂災害危険度指標図

図-6から、降水量が最大であった箇所は熊の入、滝ノ沢、洪田見であり、それぞれ短期降水量が20mm以上、長期降水量が150mm以上となっている。また、降水量が最少であった箇所は栗林砂防ダムであり、長期降水量が50mm以下となっている。このことから、栗林砂防ダムは降水よりも他の要因が関与している可能性が高いと考えられる。

崩壊箇所の崩壊時刻における1時間累積雨量と72時間半減期実効雨量を表した散布図、および崩壊非発生降水における降り終わり時刻の1時間累積雨量と72時間半減期実効雨量の散布図を図-7に示す。この崩壊非発生降水は、5地区における代表的な雨量観測所で、土砂災害が発生していない一連の降水をそれぞれ3つずつ選出し、それぞれの降水について1時間累積雨量と72時間半減期実効雨量を算出したものである。この図-7より、1時間累積雨量が0mmであっても72時間半減期実効雨量の値が大きいと崩壊が発生することがわかる。

図-7の崩壊箇所の崩壊時刻における降水データと、崩壊非発生の一連の降水のスネークラインを合わせた土砂災害危険度指標図を図-8に示す。この図-8の算出結果からCLを設定する。

まず、土砂災害に対する地下水の影響を考慮して、72時間半減期実効雨量が少なく、1時間累積雨量が多い時にスネークラインがCLを超えないようにCLを設定する。

図-8より1時間累積雨量の最大値は20mmで、上位4つが15mm以上であることが分かる。一時的な強い降水である1時間累積雨量が15mmを超えているものの中で、72時間半減期実効雨量の最大値が60mmであることより、この線より左側では崩壊は発生しないとして図-9に示すようにA線を引く。

次に、72時間半減期実効雨量がどの程度まで崩壊に耐えられるかを検討する。崩壊非発生降水の中で72時間半減期実効雨量の値が大きい①、②、③を結んでB線を設定する。また、C線は崩壊発生時刻の降水データから、崩壊箇所の中で1時間累積雨量が0で72時間半減期実効雨量が最小値の点と、72時間半減期実効雨量が2番目に少ない崩壊箇所を結んで設定した線である。

このA線～C線からCLを具体的に求めるには崩壊箇所数が少なく困難であるため、A線、B線の実線部分を危険基準の最低ラインとし、C線を危険基準の最高ラインとする。すなわち、A線、B線の実線より左側を安全領域、C線より右側を崩壊危険領域とし、A線およびB線より右側でC線より左側の領域では崩壊事例箇所が存在しないため、この領域を崩壊注意領域として降雨量に対する判断基準とした(図-9)。

設定した安全領域内に2カ所の崩壊事例が存在している。これは、雨量だけでなく、それ以外の要因、地盤表

層の風化等による影響が加わった崩壊ではないかと考えられる。今後詳細に検討を進める予定である。

図-7 降水データ散布図

図-8 崩壊地の降水データと崩壊非発生降水スネークライン

図-9 CLの設定

7. おわりに

本研究では、長野県を対象に地域特性と降水情報データを用いて、土砂崩壊の危険性のある地域の抽出と避難が必要となる降水基準の設定を行った。

長野県下で2004年～2011年間に発生した154箇所の土砂災害は、79%が第四紀層と新第三紀層の地質で、土地利用では78%が森林、建物用地、農用地で発生していた。第四紀層の土石流崩壊において地形と崩壊時の実効雨量との間に強い相関が見られ、これらの結果をもとに崩壊条件を算定した結果、長野市北部、八ヶ岳周辺、中央構造線近傍に崩壊危険箇所が多く存在することが判明した。また、1時間累積雨量と72時間半減期実効雨量を用いてCLの設定を行い、降水情報に対して安全領域、崩壊注意領域、崩壊危険領域の3領域に区分し、崩壊危険箇所において避難が必要となる降水目安を設定した。

本研究のCLの結果において、安全とした領域内に2箇所の崩壊事例が存在する結果となった。今回土砂災害発生の要因と考えた以外の表層地盤の風化によるゆるみや植生条件等の影響が加わった崩壊ではないかと考えられる。これらについては今後検討していく予定である。

参考文献

- 1) 篠崎嗣浩, 福田賢司, 大石博之, 杉原成満, 古川浩平: ロジスティック回帰分析を用いた土砂災害発生基準線の確率的評価, 土木学会論文集 F, Vol.66, No.1, pp.122-131, 2010.
- 2) 福本昌人, 島崎昌彦, 吉村亜希子: 数値モデルを用いた傾斜地カンキツ園の斜面崩壊危険度の評価, 近中四農研報 7, pp.119-129, 2009.
- 3) 北園 芳人, 井上 敦裕: 斜面崩壊の素因に注目した斜面の危険度評価, 第4回土砂災害に関するシンポジウム論文集, No.19, 2008.
- 4) 川崎昭如, 佐土原聡: 急傾斜地とその被災危険区域の抽出手法についての考察—レーザープロファイラ・データとDEMの空間解析と崩壊履歴の活用可能性—, 地域安全学会論文集, No.8, pp.15-22, 2006.
- 5) 川崎昭如, 服部一樹, 浦川豪, 中島徹也, 佐土原聡: 崖災害対策へのGISの活用—崖およびその被災危険区域の抽出と雨量による崩壊危険区域の公開—, GIS—理論と応用—, Vol.9, No.2, pp.25-32, 2001.
- 6) 水田敏彦, 菅原達哉: 数値標高モデルに基づく豪雨によるリアルタイム斜面崩壊危険度予測システムの開発—秋田県を事例対象として—, 地域安全学会論文集, No.8, pp.1-8, 2006.
- 7) 長谷川敦, 太田岳洋: 空間数値情報を用いた斜面崩壊の発生危険箇所抽出法, 鉄道総研報告, Vol.26, No.9, pp.23-28, 2012.
- 8) 独立行政法人土木研究所, 土砂管理研究グループ, 火山・土石流チーム: 表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価マニュアル(案), 土木研究所資料, 第4129号, pp.1-34, 2009.
- 9) 川越清樹, 江坂悠里, 脇岡靖明: 実効雨量と地域情報を用いた東京都の土砂災害解析, 水工学論文集, 第55巻 pp.955-959, 2011.
- 10) 牛山素行, 大井戸志朗, 宝馨: 1999年広島豪雨災害資料による土砂災害発生危険雨量の設定とその実用性, 河川技術論文集, No.7, pp.167-170, 2001.
- 11) 長野県河川砂防情報ステーション, <http://www.sabo-nagano.jp/>
- 12) 国土地理院: 数値地図 50m メッシュ(標高), CD-ROM 版, 2001.
- 13) 国土交通省国土計画局, 土地細分メッシュデータ <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/cgi-bin/download.php>
- 14) 産業技術総合研究所 地質調査総合センター, 20万分の1数値地質図幅集「関東甲信越及び伊豆小笠原諸島」2004, 「北陸, 中部及び近畿」2005.
- 15) 室田明: 河川工学, 技報堂出版, 1986.
- 16) 佐土原聡, 吉田聡, 川崎昭如, 古屋貴司: 図解 ArcGIS—身近な事例で学ぼう—, 古今書院, 2005.

(2013.7.12 受付)

SEDIMENT DISASTER HAZARD ASSESSMENT USING PRECIPITATION DATA AND REGIONAL CHARACTERISTICS DATA

Takuya TAKEDA, Haruka TOKUDA, Toshiyuki OHKAMI and Shigeru KOYAMA

This paper examines the extraction of sediment disaster hazard area and the precipitation criteria for which evacuation is required. The past sediment disaster cases in Nagano prefecture are analyzed by using precipitation information and regional characteristics data such as topographic features, geology and land use data, and the debris flow hazard areas are extracted. The relationship between the precipitation and the disaster occurrence in the past debris flow disasters is investigated, and then the rainfall criterion for judging the risk of sediment disaster is derived.