

土石流対策による土砂災害リスク軽減効果に関する検討

独立行政法人土木研究所つくば中央研究所（前 国土交通省国土技術政策総合研究所） 水野秀明
 国土交通省国土技術政策総合研究所 鈴木拓郎、小山内信智
 中電技術コンサルタント株式会社 ○倉本和正、金本満、小山正之、大森嘉郎

1 はじめに

国土交通省では、平成 16 年 2 月に「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針」を通知し、砂防事業をはじめとした防災事業のリスク軽減効果の視点から、投資効率性を評価することとしている。

砂防事業においても、土砂災害リスクの軽減効果を定量的に評価する必要があるが、現状では、ハード対策・ソフト対策を組み合わせ、その軽減効果を評価する方法が確立されていない。それらを踏まえて、筆者らは、これまで当該軽減効果の定量評価に対する数値計算モデル（2 次元土石流氾濫計算とマルチエージェントシステム（以下、MAS）を組み合わせたモデル）の適用可能性を検討している¹⁾²⁾。

本検討では、その一環として、上記数値計算モデルを用いて、ソフト対策の実施による被害軽減額の算出手法を検討し、当該手法を用いてモデル地区に対する被害軽減額の算出を試みた。なお、本検討で対象とするソフト対策は、土砂災害警戒情報の発表に限定した。

2 被害軽減額の算出の流れ

被害軽減額の算出フローを図-1 に示す。以下、図に示す項目ごとに説明する。

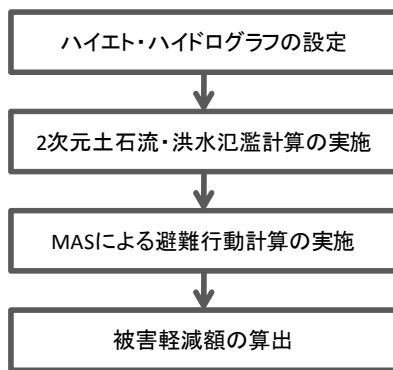


図-1 被害軽減額の算出フロー

3 ハイエト・ハイドログラフの設定

ハイエトグラフは、以下に示すシャーマン型の降雨強度式を用いて設定する。

$$I_B(T_B) = \frac{R_{24}}{24} \left\{ \frac{24}{T_B / r} \right\}^n (1-n)$$

$$I_A(T_A) = \frac{R_{24}}{24} \left\{ \frac{24}{(T_A / (1-r))} \right\}^n (1-n)$$

ここで、 R_{24} ：100 年超過確率規模の 24 時間雨量（mm）、 r ：係数（ $0 \leq r \leq 1$ ）、 T_B ：降雨強度が最大となる時刻より以前の時刻（h）（ $0 \leq T_B \leq rT$ ：降雨継続時間（h））、 T_A ：降

雨強度が最大となる時刻より以前の時刻（h）（ $0 \leq T_A \leq (1-r)T$ ：降雨継続時間（h））、 n ：係数（ $0 < n < 1$ ）である。

ソフト対策による被害軽減額の算定をより現実的に行うためには、雨量と土砂災害警戒情報の関係が現実的でなければならない。そこで、本検討では、設定したハイエトグラフに基づくスネークラインが土砂災害発生危険基準線（以下、CL）を超過する状況を検討した上で設定する。

設定したハイエトグラフに基づくスネークラインと CL の関係を図-2 に示す。ここで、ハイエトグラフは、降雨強度が最大となる時刻が、降雨開始 1 時間後（以下、前方集中）、降雨開始 12 時間後（以下、中央集中）、降雨開始 23 時間後（以下、後方集中）の 3 種類について設定した。

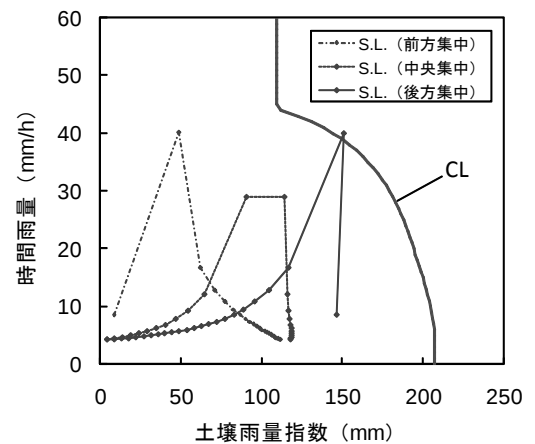


図-2 スネークラインと CL の関係

図より、後方集中のハイエトグラフでは、降雨のピークで CL の超過が確認できるが、前方集中、中央集中のハイエトグラフでは、CL を超過していない。つまり、同一の 24 時間雨量であっても、降雨強度が最大となる時刻によって CL の超過状況が異なるため、ソフト対策の被害軽減額を評価する場合のハイエトグラフは、CL の超過状況に留意する必要がある。

上記の結果を踏まえて、本検討では、後方集中のハイエトグラフを採用することとした。また、2 次元土石流・洪水氾濫計算で用いるハイドログラフは、採用したハイエトグラフより、単位図法により設定した。

4 2 次元土石流・洪水氾濫計算の実施

本検討では、豪雨時の状況をより現実的に表現するため、土石流と洪水の氾濫を同時に算出することとした。氾濫計算には、2 次元浅水流モデルを採用し、基礎式は、差分法を用いて離散化した。ここで、計算は、降雨開始から終了までの 24 時間までとし、各時刻における計算結果が次節で実

施する避難行動計算でのハザードとなる。氾濫計算結果の一例を図-3に示す。

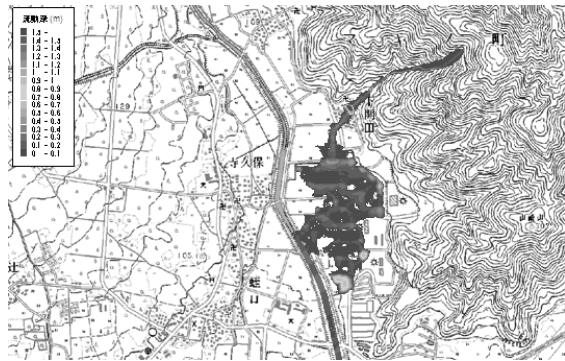


図-3 氾濫計算結果の一例

5 MASによる避難行動計算の実施

本検討で構築した避難行動計算モデルにおける住民エージェントの行動ルールは、表-1に示すとおりである。

表-1 住民エージェントの行動ルール

避難開始の タイミング	1. 土砂災害警戒情報の発表が「あり」の場合 CL超過2時間前～CL超過1時間後まで（合計3時間）の間にランダムで避難を開始 2. 土砂災害警戒情報の発表が「なし」の場合 降雨のピーク（降雨開始23時間後）から降雨終了（降雨開始24時間後）まで（合計1時間）の間にランダムで避難を開始
避難中の 行動	(1) 自宅から避難所までの最短距離を探索し、それにしたがって移動 (2) 避難途中で10m以内にハザードを確認した場合、ハザードから離れられるように標高が高い方へ移動（緊急避難） (3) 緊急避難により、ハザードが回避されれば、避難所まで移動可能なルートを再度探索し、探索結果にしたがって移動を再開 (4) 緊急避難後のルート探索で、避難所までのルートを発見することができない場合は、自宅に戻る (5) 緊急避難後のルート探索で、避難所、自宅ともにルートが存在しない場合は、ランダムに移動（一定時間経過後に再度ルート探索）
被災条件	1. 避難開始前（自宅待機）に被災する場合 土石流による床上浸水（流動深45cm）が発生 2. 避難中に被災する場合 以下のハザードに接触した場合 ・流動深20cm以上かつ流速1.0m/s以上 ・流動深40cm以上かつ流速0.5m/s以上

上記の計算モデルを用いて、避難行動計算を実施した。計算結果は、表-2に示す方法で整理した。計算結果を表-3に示す。ここで、表中の数値は、避難行動計算を100回実施した結果の平均値である。

表-3より、対象となる住民エージェント41人のうち、土砂災害警戒情報を発表した場合の避難成功者は13.4人であった。それに対して、当該情報を発表しない場合は、わずか2.1人ととどまっている。一方、被災者数は、発表ありの場合に避難中の被災者が若干多くなっているものの、避難前の被災者とあわせた全被災者数は、発表ありの方が2人程度少なくなっている。また、全体的に避難継続となる住民エージェントが多くなっているが、これは、住民エージェントが避難を開始すると同時にハザードを認識し、すぐに高台に緊急避難するが、それ以降、ハザードが消えるま

で避難路に近づくことができないためである。これらについては、実際の避難行動の状況を整理し、今後、行動ルールとして取り入れていく必要がある。

表-2 計算結果の整理方法

名 称	住民エージェントの状態	
避難成功	生存	避難所まで移動できた住民エージェント
自宅待機		避難開始後、避難所までのルートがないため自宅に戻った住民エージェント
避難継続		計算終了時点で避難所、または自宅に到着していない住民エージェント
避難前被災	死亡	自宅に45cm以上の流動深の土石流が流入した時点で自宅待機していた住民エージェント
避難中被災		避難中にハザードに接触した住民エージェント

表-3 避難行動計算結果

土砂災害 警戒情報	生存				死亡			合計
	避難 成功	自宅 待機	避難 継続	小計	避難前 被災	避難中 被災	小計	
発表なし	2.10	1.28	28.61	31.99	9.00	0.01	9.01	41
発表あり	13.40	1.59	18.83	33.82	6.63	0.55	7.18	41

単位：人

6 被害軽減額の算出結果

被害軽減額は、避難行動計算で算出した被災者数（避難中被災者数、避難前被災者数の合計）にホフマン係数の人的生産原単位を乗じて算出した。算出結果は、表-4に示すとおりである。

表-4 被害軽減額の算出結果

被害額		被害軽減額
発表なし	発表あり	
576,601	459,489	117,112

単位：千円

以上の検討結果より、本検討では、上記手法にしたがうことでソフト対策による被害軽減額が算出可能であることを確認した。

7 おわりに

本検討では、数値計算を用いたソフト対策による被害軽減額の算出手法を提案し、モデル地区において被害軽減額を算出した。これにより、土砂災害リスクの軽減効果の定量評価に対する数値計算モデルの適用可能性を示すことができた。しかしながら、避難行動計算における避難行動ルールには、避難の方法（徒歩、車など）、年齢に応じた移動速度など、いまだ多くの課題が残されているため、今後さらに災害時における住民の行動等に関する情報を蓄積し、計算の精度向上を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 水野秀明ら：土石流による土砂災害リスク評価手法に関する考察、第57回 平成20年度砂防学会研究発表会概要集、pp.28-29、2008。
- 2) 水野秀明ら：土石流発生時の住民の避難行動に関する考察、第59回 平成22年度砂防学会研究発表会概要集、pp.508-509、2010。