

土石流氾濫域における土砂災害危険度評価と まちづくりへの活用法

中本 英利¹・竹林 洋史²・藤田 正治³・米田 光佑⁴

¹正会員 修士（工学） 株式会社東京建設コンサルタント関西本社
（〒530-0042 大阪市北区天満橋 1-8-63 トーケン大阪ビル）

E-mail: nakamoto-h@tokencon.co.jp (Corresponding Author)

²正会員 博士（工学） 京都大学准教授 防災研究所（〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口）

E-mail: takebayashi.hiroshi.6s@kyoto-u.ac.jp

³正会員 工学博士 京都大学名誉教授 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター
（〒102-0093 東京都千代田区平河町 2-7-5）

E-mail: fujita@stc.or.jp

⁴非会員 修士（工学） 株式会社ヴァリューズ（〒107-0052 東京都港区赤坂 2-19-4）

E-mail: yoneta@valuesccg.com

2014 年 7 月に甚大な土砂災害が発生した広島市安佐南区八木三丁目を対象に、土石流の数値シミュレーションを実施し、家屋等の構造物が土石流の流動特性に与える影響を検討するとともに、土石流氾濫域における土砂災害危険度の空間分布を検討し、安全なまちづくりのための土石流の数値シミュレーションの活用法を提案した。八木三丁目の土石流渓流の上流部に宅地開発が進み始めた 1974 年の宅地状態を基本とし、家屋の有無や新設家屋の配置等による土石流の数値シミュレーション結果を用いて危険度評価を行うことで、土石流に対する危険領域を視覚的に捉えることができた。このような評価は、現地調査等と異なり、比較的短時間で行えるものであるため、まちづくりにおける土砂災害の減災対策の計画段階において有用な手段になると考えられる。

Key Words: debris flow, risk assessment, numerical analysis, town planning, sediment disaster

1. はじめに

台風等による豪雨の頻発するわが国では、土砂災害が多発しており、それらの要因となる土石流等の発生自体を防止することは非常に困難な状態にある。「平成 26 年 8 月豪雨」では、全国各地で洪水や土砂災害が多発し、その中でも広島市安佐南区・安佐北区で発生した土砂災害では、犠牲者は災害関連死を含めて 77 名となり家屋被害は全壊 133 棟、半壊 122 棟にのぼる甚大な被害となった^{注1)}。

土砂災害が多発する背景として、山地域が国土の約 3/4 を占め、居住区に適する平野部が少ないわが国では、山裾、時には山地域の斜面を開発し家屋を建てている状況が挙げられる。戦後の高度経済成長期の人口増加に伴い各地域の開発が進んだ結果、山地域に隣接した土砂災害の恐れのある領域も宅地開発され、多くの家屋が建てられた。現在では、「土砂災害防止法」が制定され、土砂災害警戒区域（イエローゾーン）や土砂災害特別警戒

区域（レッドゾーン）が設定されている。土砂災害特別警戒区域に指定された領域では、建築物の構造規制が行われ、既存の建築物に対しては移転等の勧告を行う等の規制が設けられるようになった^{注2)}が、費用等の問題から、家屋の移転や補修が進んでいるとはいえず、土砂災害特別警戒区域に多くの家屋が存在する状態が続いている。また、土砂災害警戒区域（イエローゾーン）や土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）の設定方法等についての課題¹⁾も挙げられており、土砂災害による被害を軽減するためには、避難計画やまちづくりに活用するためのより詳細な情報が必要となっている。

近年、土石流の流動・発達・氾濫過程について数値シミュレーションが多く行われ^{2) 3)}、宅地域における土石流の氾濫過程・氾濫範囲をある程度で予測可能となっており、非常に有効な情報となっている。土石流の数値シミュレーションを用い、避難計画の参考とするための危険度分布を検討した研究^{4) 5)}もみられる。しかし、宅地に流れ込む渓流での土石流を川幅一定の一次元モデ

ルで解析しており、流動幅の変化による土石流ハイドログラフの変化を評価できていない。現地で計測可能な溪流の不安定土砂の厚さの情報から流出土砂量を予測する場合、流動幅の変化が評価可能な平面二次元による解析が有効であると考えられる。また、宅地の家屋や道路の配置の違いが土石流による被災特性に与える影響については、十分な知見が得られていないのが現状である。

そこで、本研究では、平面二次元の土石流数値シミュレーションを用いて、土石流による危険度の空間分布を検討するとともに、まちづくりのための土石流シミュレーションの活用法を検討した。

2. 検討方法

(1) 土石流の数値シミュレーションの概要

本解析では、水と土砂の混合物に対して河床近傍に層流域、その上に乱流域を有する二層流を対象とした平面二次元土石流・泥流モデル⁷⁾を用いる。層流域の構成則には江頭らのモデル⁶⁾を用いる。二層流における流動方向の平衡河床勾配 θ_b は、以下のようになる⁷⁾。

$$\tan \theta_e = \frac{(\sigma/\rho - 1)\bar{c}}{(\sigma/\rho - 1)\bar{c} + 1} \frac{h_s}{h} \tan \phi_s \quad (1)$$

ここに、 ρ は液体の密度、 σ は固体の密度、 h は流動深、 h_s は層流層厚、 ϕ_s は土砂の内部摩擦角(=34°)である。 $\bar{c}$ は流動深平均の土砂濃度であり、以下の質量保存則⁶⁾の関係性を有する。

$$\frac{\partial \bar{c}h}{\partial t} + \frac{\partial \bar{c}hu}{\partial x} + \frac{\partial \bar{c}hv}{\partial y} = E \quad (2)$$

ここに、 t は時間、 u と v は x と y 方向における速度成分、 E は河床の浸食速度であり、 E が正の場合には浸食、負の場合には堆積を示し、以下の式を用いる⁶⁾。

$$\frac{E}{\sqrt{u^2 + v^2}} = c_* \tan(\theta - \theta_e) \quad (3)$$

ここに、 c_* は静止堆積層の砂礫の体積濃度、 θ は流動方向の河床勾配である。

また、河床位方程式は以下のようであり、浸食速度 E により、河床の浸食、堆積を表現する。

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{E}{c_*} \quad (4)$$

ここに、 z_b は河床位である。

本解析モデルは、実現象と同様に斜面崩壊を発端として土石流を発生させているため、仮定した水や土石流の流量を上流端境界条件とする必要が無い。また、全区間を平面二次元モデルで解いているため、全ての解析領域で、土石流の浸食・堆積を評価できる。

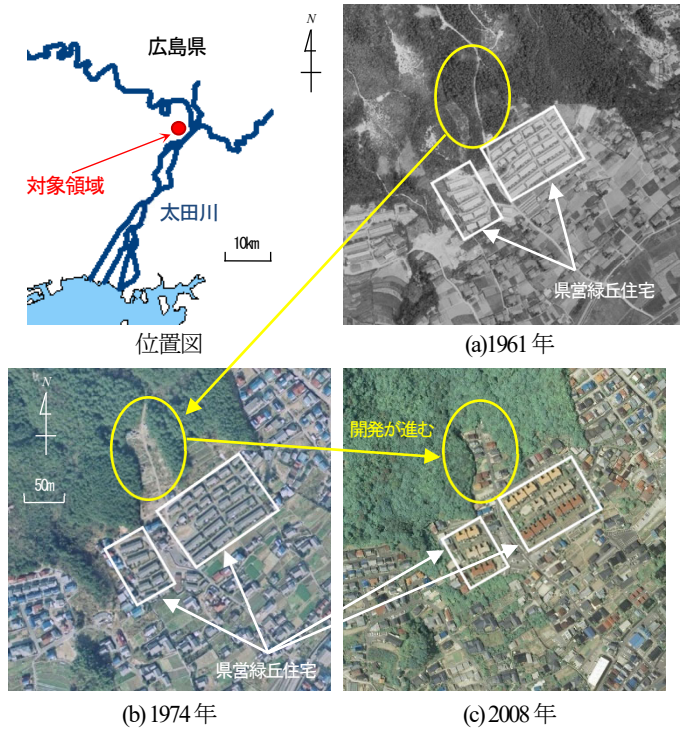


図-1 対象領域（広島市安佐南区八木三丁目）

なお、本モデルによる土石流の流動特性の再現性については、竹林・江頭・藤田⁸⁾や竹林⁹⁾などにより、現地における土石流流動域の平面分布や被災後の浸食・堆積域の概形に対して評価できることが確認されている。

(2) 対象領域

本研究では、「平成26年8月豪雨」による土砂災害において甚大な被害が発生した広島市安佐南区八木三丁目を対象領域とする。図-1に対象領域の位置図、1961年、1974年、2008年における広島市安佐南区の空中写真^{注3)}を示す。各写真の中央部が県営緑丘住宅である。図より、1974年では、黄色の楕円で示した土石流溪流出口部分の開発が進み始めており、県営緑丘住宅は鉄筋コンクリート構造への建て替え前であることが分かる。なお、本研究では八木三丁目の土石流溪流の上流部の宅地開発が進み始めた（実際に家屋が建設され始めた）1974年の宅地の状態（図-1(b)）を基本として検討を行う。

(3) 危険度評価

本研究では、1つの家屋配置条件に対して土石流流量を変化させて3種類の数値解析を行い、それぞれの土石流の最大流動深が0.5m以上となる領域を危険領域とし、それらを重ね合わせることで領域ごとの危険度を段階的に評価するものとした。流動深0.5mであれば床上浸水^{注4)}となる家屋が多く家屋内に土石流が侵入しやすい。重ね合わせた結果から、その領域が何種類の数値解析により最大流動深0.5m以上となったか調べることで、領域

- Level 4 : 紫色 ■
(3種類の危険領域すべてに含まれる領域)
- Level 3 : 赤色 ■
(2種類の危険領域に含まれる領域)
- Level 2 : 黄色 ■
(1種類の危険領域に含まれる領域)
- Level 1 : 色なし □
(いずれの種類の危険領域にも含まれない領域)

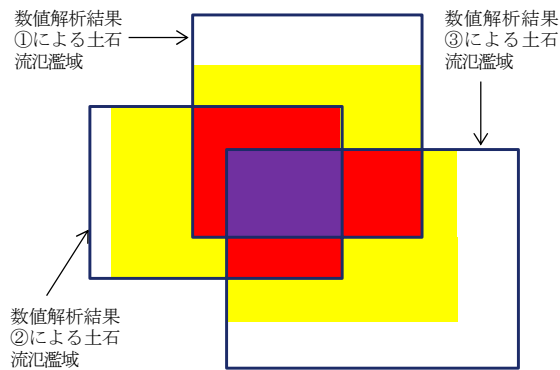


図-2 危険度評価のイメージ

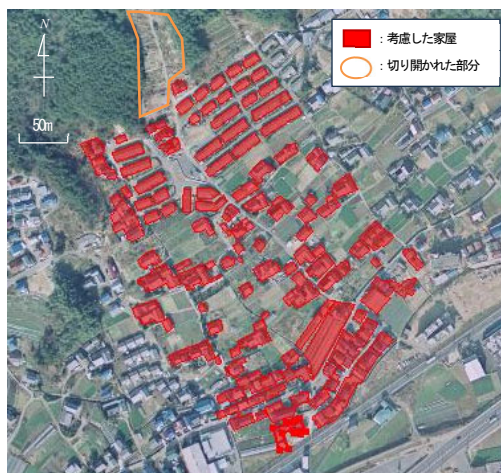


図-3 家屋の配置条件 (Case2)

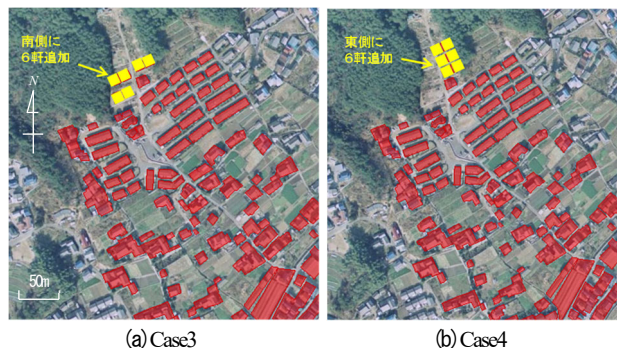


図-4 家屋の配置条件 (Case3, Case4)

ごとの土石流に対する危険度を4段階で評価した。ここでは危険度を図-2のようにLevel1～4で定義し、色分けし

表示するものとした。

(4) 家屋の配置条件

解析を行う家屋配置ケースとして、家屋を考慮しないケース、1974年（昭和49年）時点の家屋の状態でのケース（図-3 参照）、そこから開発が進み6軒の家屋を新設することを仮定した2つのケース（図-4 参照）の計4ケースにおいて、危険度評価手法を用いて考察を行う。解析ケースをまとめると以下のようなものである。

- Case1 家屋の存在を考慮しない
- Case2 1974年（昭和49年）時点で存在する家屋を考慮する
- Case3 Case2に新たな家屋を加える（切り開かれていた部分の南側に家屋が建てられたとする）
- Case4 Case2に新たな家屋を加える（切り開かれていた部分の東側に家屋が建てられたとする）

(4) 解析条件

本解析では、土石流は斜面崩壊を発端として発生するものとしている。竹林ら³⁾は同地区において「平成26年8月豪雨」により、広島市安佐南区八木三丁目で発生した土砂災害を再現した際、斜面崩壊において与える土砂量を数種類検討しているが、土石流の流動距離が長く、溪流に不安定土砂が多く存在する場合は、宅地に流入する土石流の流動特性にほとんど影響を与えないことを確認している。このことから、土砂量は流下中の土石流が地盤を浸食する深さの最大値（最大浸食深）を変更することで表現した。本解析では0.3m、0.5m、1.0mの3種類とした。以上より、斜面崩壊の位置や大きさは変えないものとし、「平成26年8月豪雨」による広島市の土砂災害で実際に発生したと考えられる斜面崩壊のうち、本川の源頭部付近で発生した1つの崩壊を考慮した。家屋については、土石流により破壊されることも考えられるが、本解析では、家屋等の構造物の配置条件が土石流の流動特性に与える影響を検討するため、家屋は不透過で非越流の破壊しない構造物として扱った。Case3、Case4で追加する家屋は、対象地域の木造家屋の平均的な大きさを想定して、10m×10mの正方形の家屋とした。図-3にCase2、図-4にCase3、Case4で考慮する家屋を赤色・黄色で示す。図-3の土石流溪流の上流側で開発が進められている領域に、Case3では南側に、Case4では東側に家屋を6軒追加している。

解析に用いた地形データは、国土交通省により平成21年度に取得されていた1mDEMデータ（被災前の地形データ）をすべてのケースで用いた。解析格子は、2m×2mの正方形格子とした。

3. 解析結果

解析結果を1974年（昭和49年）の空中写真とともに示す。危険度は図-2に従い、色分けして表示している。

図-5にCase1（家屋の存在を考慮しない）の解析結果を示す。なお、Level 4の領域は最大浸食深0.3mの解析結果とほぼ重なり、Level 3とLevel 2の領域もそれぞれ最大浸食深0.5m、1.0mとした解析結果と重なっている。図-5より、最大浸食深を深くすることで土石流の流量が大きくなり、それに従い危険領域も広がっていることが分かる。また、最大浸食深に0.5mの差があるLevel 2とLevel 3の領域の差（約24千 m^2 ）に対して最大浸食深の差が0.2mのLevel 3とLevel 4の領域の差（約28千 m^2 ）がかなり大きい。これは、溪流における土石流の発達にともなう流動幅（浸食領域）の変化によって土石流流量が変化するためである。つまり、最大浸食深0.3mと0.5mでは流動幅が大きく異なり、宅地に流れ込む土石流流量に大きな違いが発生したが、最大浸食深0.5mと1mでは流動幅に大きな差が無く、宅地に流れ込む土石流流量に大きな差が発生しなかったと考えられる。以上より、本解析では、現

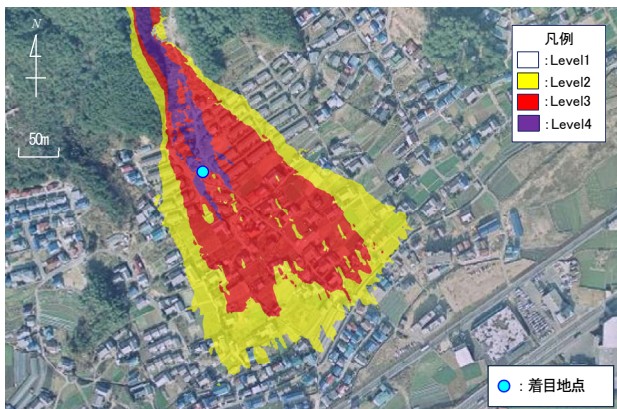


図-5 危険度分布（Case1）

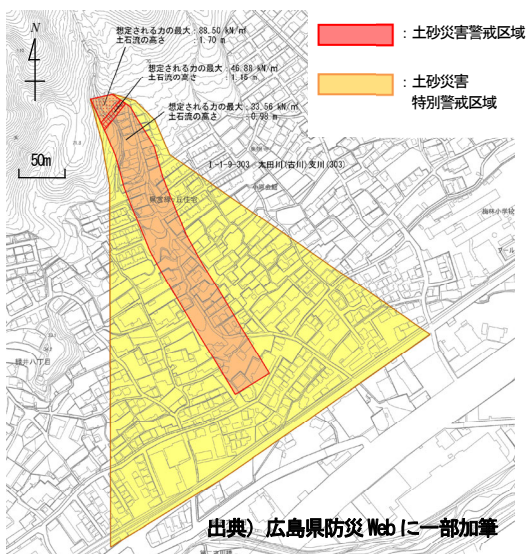


図-6 土砂災害警戒区域等（広島市安佐南区緑井町）

地で計測可能な溪流の不安定土砂の厚さの情報と土砂災害危険度の関係を直接的に導くことが可能であり、実際の現地での危険度評価において非常に有効な方法であることが分かる。

また、家屋を考慮していないことから、Level 2とLevel 3の領域は扇型に広がっていることが分かる。図-6に、「平成26年8月豪雨」の被災後に指定された同一溪流の土砂災害警戒区域（イエローゾーン）、土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）を示す。図-5と比較すると分かるように、土砂災害警戒区域（イエローゾーン）の概形は、Case1の危険領域の概形と比較的近い。一方で、土砂災害警戒区域（イエローゾーン）内においても、土石流の氾濫による危険度に分布がみられることが分かる。

次に、図-7にCase2（1974年（昭和49年）時点で存在する家屋を考慮する）の解析結果を示す。Case1と異なり、県営住宅の西側、及び東側の危険領域が広がっている。これは、土石流が県営住宅に衝突し流れが西側、東側へ分かれて流れたためである。一方、県営住宅の中及び下流では、土石流が家屋の間を縫うように進み、全体としては土石流が広がらず、道路に沿って直線的に流下する結果となった。ここで、図-8に、Case2の最大浸食深0.5mとした解析結果において、最大流動深の空間分布を示す。図-8より、家屋の上流側で土砂が多く堆積してい

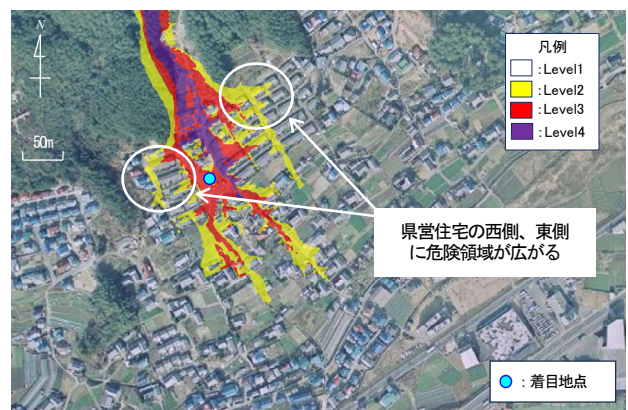


図-7 危険度分布（Case2）

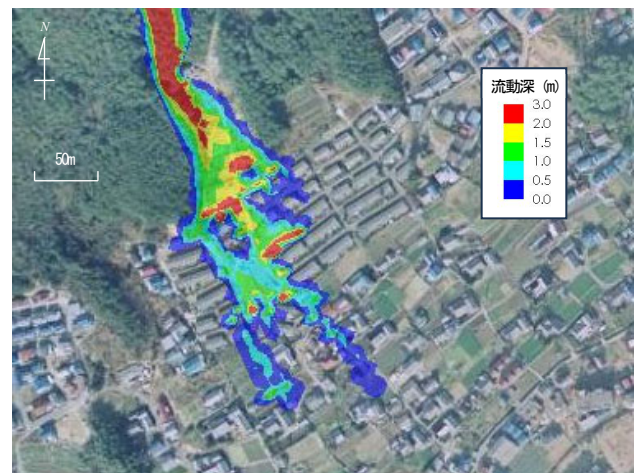


図-8 最大流動深（Case2：最大浸食深0.5m）

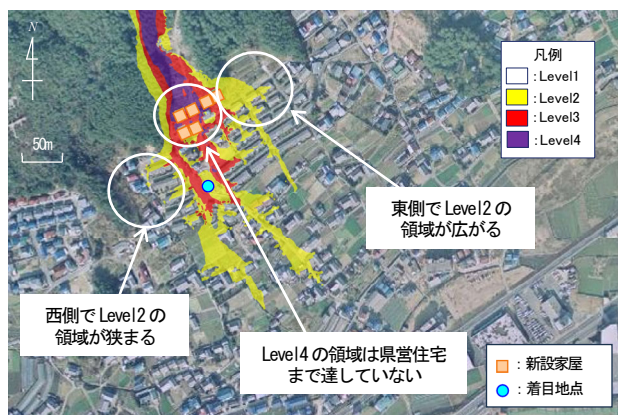


図-9 危険度分布 (Case3)

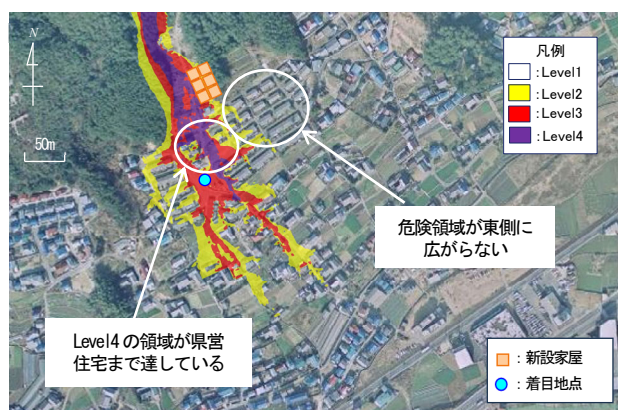


図-10 危険度分布 (Case4)

ることが分かる。そのため、家屋の下流部に流れる土砂量が減少し、下流部の危険領域が狭まる結果となった。なお、0.3m、1.0mの解析結果でも同様の傾向がみられた。

図-9、図-10に、Case2に新たな家屋を追加したCase3（南側に新設）とCase4（東側に新設）の解析結果を示す。図-9より、Case3については、土石流が南側に新設した家屋に衝突し、家屋を避けるように流下したことで、Case2と比較すると新設した家屋の東側領域で、Level2の範囲が広がっている一方で、県営住宅の西側では、Level2の領域が狭まっている。また、Level4の領域は県営住宅付近まで到達していない。これは土石流が新設した家屋に衝突し家屋上流部で堆積したことにより、新設家屋の下流側では、Case2と比較して危険度レベルが低くなったことを示している。図-10より、Case4では家屋を東側に新設したことにより危険領域は東側には広がらない結果となった。これは、土石流が東側に新設した家屋に沿って、流下したからである。図-9と図-10を比較すると、Case4はCase3より上流で堆積する土砂量が少ないことから、県営住宅の間を流れる土砂量はCase3より増加している。特にLevel4の範囲で顕著であり、Case4のLevel4の範囲はCase1やCase2と近いものになった。

また、図-5 (Case1)、図-7 (Case2)、図-9 (Case3)、図-10 (Case4) の図中に表示されている青点は、同一地点を示しており、図-6より、土砂災害特別警戒区域（レ

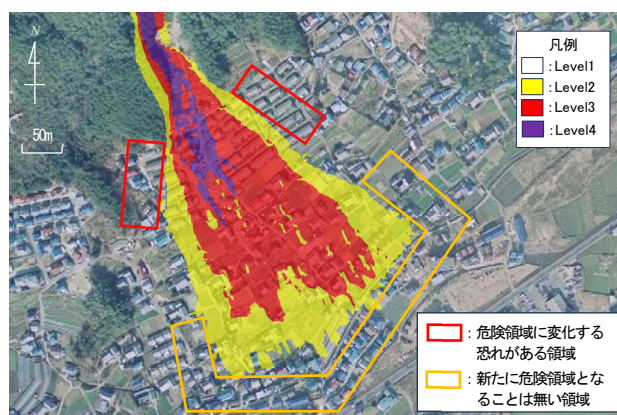


図-11 まちづくりのための危険領域の評価
(背景の危険度評価はCase1を使用)

ッドゾーン）内となる地点である。それぞれの危険度は、Case1がLevel4、Case2がLevel3、Case3がLevel2、Case4がLevel3となっており、家屋の配置により土石流の氾濫による危険度レベルが大きく異なる結果となった。

以上のように、家屋を新設する位置の変更のみでも危険領域に大きな差がみられ、土石流の数値シミュレーションによる危険度分布の評価が、減災対策の計画段階において有効な手段であることが分かる。

4. 土石流の流動特性を考慮したまちづくり

本研究で対象領域とした広島市安佐南区八木三丁目の地形特性を考慮すると、本来、Case1の危険領域に家屋を建てるのは危険であり、この範囲の外側に家屋等は建てるべきである。また、この範囲内に家屋を建てるのであれば、1階をピロティ構造にして主とした生活の場を2階以上にしたり、地盤の高さを上げる等の対策が必要であると考えられる。既に危険領域内に位置する家屋では、土砂を堆積させたり、流向を変えるような鉄筋コンクリート構造の遮蔽壁を家屋の上流側に設けることなどが有効であると考えられる。ただし、Case1で危険領域と判断された領域外であっても上流部溪流出口の脇部分（図-11の赤色枠内）に家屋を建てる際は、より上流部の領域で、家屋が新設される等の変化があった場合に危険領域に変化する恐れがある。下流部の扇型の氾濫域の脇や下流端の先（図-11の黄色枠内）であれば新たに危険領域となることはほぼ無いといえ、家屋などの人が長時間滞在する建物を新設する場合、この領域や、より外側に建設することが望ましいといえる。

本解析結果からも分かるように、土石流は家屋等の構造物がある場合、土砂が構造物上流部に堆積することで下流部の氾濫範囲が小さくなるという特性を持つ。よって、上流部の溪流出口において、危険であるという理由で家屋を移転させた場合でも、下流部がより危険にな

ることで宅地域全体として被害のポテンシャルは大きく変化しないといった可能性が考えられる。

一方で、溪流の出口となる氾濫域の上流部は、土石流に対しより危険であり、上流部に家屋を新設することは望ましいとはいえないが、上流部に構造物があれば下流部の被害を軽減することができる。よって、土石流溪流の出口となる領域に、例えば、鉄筋コンクリート構造の倉庫のような人が長時間滞在しない構造物等を建設することで、下流部の氾濫を軽減することができる。また、キャンプ場のように、豪雨中は人が滞在しないような施設を設置し、土石流溪流の出口に鉄筋コンクリート構造の管理棟を設置しておくといった対策も考えられる。

土石流の流動特性は、構造物の存在によって複雑に変化し、構造物を新設すれば下流部の流動特性に影響を与える。実際には、このような点を考慮したまちづくりが検討されることが望ましいが、現在の制度では、これらのことは十分に考慮されていない状況にある。日本の人口のうち、約6割が市街化区域に居住しており³⁵⁾、広島市安佐南区八木三丁目のように、これから開発をする、又は再開発を行おうとする地域は、多くの場合、都市計画区域であり市街化区域である。市街化区域は、市街化を抑制する市街化調整区域と異なり、計画的に市街化を図る区域である。この区域では建築物を建設する場合でも、用途地域や地区計画等に反していなければ、建築確認申請のみで建築物を建設することができる。これもあくまで申請であるので、一般的な広さの土地での建築物は基本的に規制されずに建設される状態にある。一方で、土砂災害防止法によって土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）に入っている場合は、土石流等が衝突した際でも安全である強度にしなければならないという規制はあるものの、建築そのものは可能となっている。

本研究のような土石流の数値シミュレーションを用いた評価は、現地調査等と異なり、比較的短時間でできるものである。まちづくりにおける土砂災害の減災対策に対しても有用な手段になると考えられる。家屋を新設することによって他の家屋の土砂災害の危険性を高めてしまう可能性もあるので、第三者による冷静な判断が求められる。現実的には、地方自治体の主導により行われるのがよいと考えられるが、土石流の流動特性を考慮した新たなまちづくり制度の実現が求められる。

現在、土砂災害警戒区域（イエローゾーン）、土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）の指定は全国各地で完了しつつある状況である。また、土石流は家屋や道路等の存在によって複雑に流下・氾濫し、より広い範囲で警戒が必要となる。これらのことから、土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）のみでなく、より広い範囲で指定されている土砂災害警戒区域（イエローゾーン）内に構造物を建設する場合でも、建築確認申請と同時に、土

石流の数値シミュレーションを行い、その構造物に対して、土石流氾濫域の危険度を評価し、他の家屋等への影響を調査するといった制度が一例として考えられる。新設する構造物が土石流に対して危険である又は地域全体での被害ポテンシャルが大きくなる可能性が高いと判断された場合には、建築の許可を与えない、又は用途を制限するなどの対応が求められる。

一方で、実際に土砂災害に見舞われる可能性があるということを、そこに居住している住民が知っており、実感しているということが減災において決定的に重要である。そのためには、住宅の購入の際に不動産会社から正しい情報を得ることができ、自治体は土砂災害への注意を定期的に喚起する等、土砂災害に強いまちづくりへ向けた制度改革も非常に重要であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、広島市安佐南区八木地区を対象に、土石流数値シミュレーションを用いたまちづくりの検討を試みた。本研究で得られた成果と知見をまとめると以下のようである。

- ・ 土石流の数値シミュレーションの結果をもとに、土石流危険度の評価を行うことで、土石流に対する危険領域を視覚的に捉えることができた。
- ・ 危険領域は家屋の有無や配置に大きな影響を受け、家屋を新設する際は、本研究の手法を用いることで危険領域の変化を示すことができ、新設する家屋および周辺の危険度を評価できることを示した。
- ・ 家屋等の構造物を考慮する際、その上流部に土砂が堆積することで下流部での危険領域が狭まることを示した。また、上流部にある危険度の高い家屋を移転させたとしても地域全体の減災には繋がらない可能性があることを示した。
- ・ 土石流氾濫域上流部では、鉄筋コンクリート構造の倉庫や、豪雨中は人が滞在しない施設にする等の対策が考えられ、土石流の数値シミュレーションを用いた危険度の評価が実際にまちづくりに役立てられていくような制度の充実を図っていく必要がある。

NOTES

注1) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：平成 26 年 8 月豪雨による広島県で発生した土砂災害への対応状況, https://www.mlit.go.jp/river/sabo/H26_hiroshima/141031_hiroshimadossekiryu.pdf.

注2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：土砂災害防

止法の概要, <http://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/gaiyou.pdf>.

- 注3) 国土地理院：平成 26 年（2014 年）8 月豪雨による広島市における土砂災害に関する情報, <http://www.gsi.go.jp/chugoku/201408disaster.html>.
- 注4) 国土交通省 川の防災情報：浸水深と避難行動について, <http://www.river.go.jp/kawabou/reference/index05.html>.
- 注5) 川上光彦：都市計画第 3 版, 森北出版株式会社, 2017.

REFERENCES

- 1) 中本英利, 竹林洋史, 藤田正治：宅地域における土砂災害警戒区域等の評価と土石流氾濫リスクの空間分布, 土木学会論文集 B1(水工学)Vol.78, No.2, pp.I_997-I_1002, 2022. [Nakamoto, H., Takebayashi, H. and Fujita, M. : Evaluation of sediment disaster hazard areas and spatial distribution of debris flow inundation risk in residential areas, *Journal of Japan Society of Civil Engineers B1(Hydraulic Engineering)* Vol.78, No.2, pp.I_997-I_1002, 2022.]
- 2) 中谷加奈, 小杉恵, 里深好文, 水山高久：家屋や道路が土石流の氾濫・堆積に及ぼす影響—2014 年 8 月に発生した広島土砂災害を対象として—, 砂防学会誌, Vol.69, No.5, pp.3-10, 2017. [Nakatani, K., Kosugi, M., Satofuka, Y. and Mizuyana, T. : Influence of housing and roads on debris flow flooding and deposition in alluvial fan areas: Case study on debris flows in Hiroshima, Japan, in August 2014, *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineers*, Vol.69, No.5, pp.3-10, 2017.]
- 3) 竹林洋史, 藤田正治, 江頭進治：2014 年 8 月に広島で発生した土石流の流動・氾濫特性, 京都大学防災研究所年報, No.58 A, pp.34-39, 2015. [Takebayashi, H., Fujita, M. and Egashira, S. : Flow and inundation characteristics of debris flow occurred in Hiroshima City on August 2014, *Annals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, No.58 A, pp.34-39, 2015.]
- 4) 長谷川祐治, 中谷加奈, 海堀正博, 里深好文：土砂災害警戒区域内の住宅地における土石流の危険度分布の検討, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.75, No.2, pp.I_181-I_186, 2019. [Hasegawa, Y., Nakatani, K., Kaibori, M. and Satofuka, Y. : Study on risk distribution of debris flow in the sediment disaster hazards residential area, *Journal of Japan Society of Civil Engineers B1(Hydraulic Engineering)* Vol.75, No.2, pp.I_181-I_186, 2019.]
- 5) 中谷加奈, 長谷川祐治, 里深好文：異なる Digital Elevation Model を用いたシミュレーションによる土石流の危険度分布の把握と避難計画への活用, 砂防学会誌, Vol.72, No.6, pp.8-17, 2020. [Nakatani, K., Hasegawa, Y. and Satofuka, Y. : Study on debris flows risk distribution with simulations applying different Digital Elevation Model data for evacuation planning, *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineers*, Vol.72, No.6, pp.8-17, 2020.]
- 6) 江頭進治, 伊藤隆郭：土石流の数値シミュレーション, 日本流体力学会数値流体力学部門 Web 会誌, Vol. 12, No. 2, pp. 33-43, 2004. [Egashira, S. and Itoh, T. : Numerical simulation of debris flow, *J. Jap. Soc. Comput. Fluid Dyn.*, Vol.12, No.2, pp.33-43, 2004.]
- 7) Takebayashi, H. and Fujita, M.: Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model, *Geosciences*, 10, 45, 2020.
- 8) 竹林洋史, 江頭進治, 藤田正治：2013 年 10 月に伊豆大島で発生した泥流の平面二次元解析, 河川技術論文集, Vol.20, pp. 391-396, 2014. [Takebayashi, H., Egashira, S. and Fujita, M. : Horizontal two dimensional analysis of mud flow occurred in Izuoshima island on October 2013, *Advances in River Engineering*, Vol.20, pp.391-396, 2014.]
- 9) 竹林洋史：広島市で発生した土石流の数値シミュレーションの事例と対策, 地盤工学会誌, Vol.64, No.4, pp.12-15, 2016. [Takebayashi, H. : Example of numerical simulation of debris flow that occurred in Hiroshima City and countermeasures, *Geotechnical Engineering Magazine*, Vol.64, No.4, pp.12-15, 2016.]

(Received May 31, 2024)

(Accepted September 15, 2024)

SEDIMENT DISASTER RISK ASSESSMENT FOR DEBRIS FLOW INUNDATION AREAS AND ITS APPLICATION TO TOWN PLANNING

Hidetoshi NAKAMOTO, Hiroshi TAKEBAYASHI, Masaharu FUJITA and Kousuke YONETA

We conducted a numerical simulation of debris flow in Yagi 3-chome, Asaminami-ku, Hiroshima City, where a devastating sediment disaster occurred in July 2014, to examine the effect of houses and other structures on the flow characteristics of debris flow, as well as the spatial distribution of sediment disaster risk in debris flow inundation areas, and proposed a method for utilizing the numerical simulation of debris flow for safe town planning. Based on the state of housing land in 1974, when housing development began to progress in the upstream of the debris flow valley in Yagi 3-chome, we performed a risk assessment using the results of the numerical simulation of debris flow based on the presence or absence of houses and the location of newly constructed houses, and were able to visually grasp the risk areas due to debris flow. Unlike field surveys, this type of assessment can be completed in a relatively short time, and is therefore considered to be a useful tool in the planning stage of sediment disaster mitigation measures in town planning.