

熱海市で発生した泥流の流動特性を考慮した土砂災害対策

竹林 洋史*

* 京都大学防災研究所

要 旨

2021年7月3日に複数回の泥流が発生した熱海市逢初川流域の泥流の流動特性について現地調査を実施するとともに、土砂災害危険度の高い谷地形の宅地における土砂災害対策について検討した。対象流域は明確な谷地形が形成されており、泥流は横断的にはあまり広がらず、幅80m以下の範囲で流れている。これは、溪流・河川の流れ方向に対して直角方向（横断方向）に数十メートル移動するだけで避難できることを示している。また、上流域で最初に泥流が確認されてから約50分後と約100分後に下流域で人的被害が発生している。これは、下流域の住民が上流域で発生している現象を正確にイメージできていなかったことが一つの原因である。そのため、上流域の様子をスマホやテレビなどを使って自宅などで確認できるカメラの設置など、容易に上流域で発生している現象をイメージできるシステムが必要と思われる。

1. はじめに

熱海市の逢初川流域で2021年7月1日午前1時ごろから降り始めた雨は、2021年7月3日午後2時ごろまで降り続き、雨が降り止む約3時間半前の7月3日午前10時27分の少し前に最初の泥流が逢初川流域の宅地上流部の家屋を流出させた。その約100分後の12時10分までの間に少なくとも8回の泥流が発生し、多くの家屋が被災するとともに、死

者26名、行方不明者1名の人的被害も発生した。

本研究では、2021年7月3日に複数回の泥流が発生した逢初川流域の泥流の流動特性について現地調査を実施するとともに、土砂災害危険度の高い谷地形の宅地における土砂災害対策について検討した。

2. 対象地域の概要

図-1に示すように、熱海市の逢初川流域は静岡県

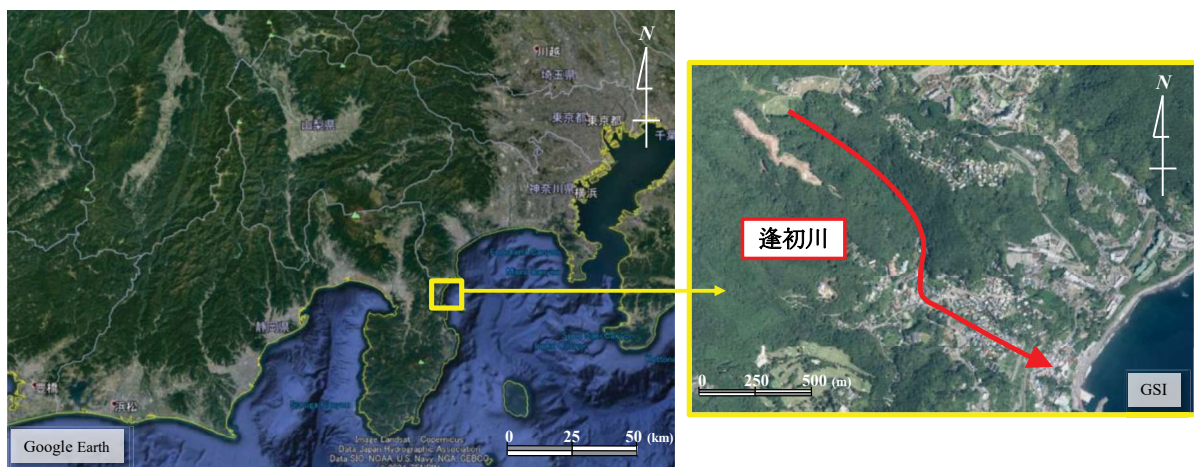


図-1 熱海市の逢初川流域の位置



図-2 逢初川流域周辺の土砂災害警戒区域

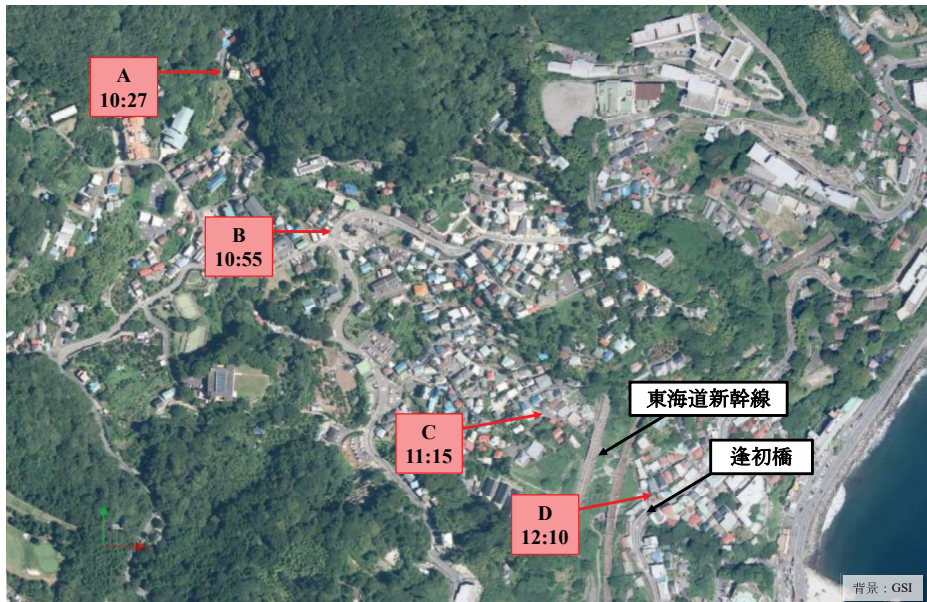


図-3 泥流の通過時間と場所

東部の神奈川県との県境に位置しており、JR熱海駅から北に約1kmの場所である。図-2は逢初川流域を含む周辺地域の土砂災害警戒区域を示している。泥流が発生した逢初川流域も土砂災害警戒区域が設定されており、図の中で濃い黄色で示されている領域である。つまり、対象地域周辺は多くの土砂災害警戒区域があるとともに、それらの土砂災害警戒区域の内の3つが逢初川流域の土砂災害警戒区域の下流域で重複しており、被災領域の下流部は特に土砂災害の危険度が高いことがわかる。逢初川流域は明確な谷地形であるため、土砂災害警戒区域も逢初川に沿って細長い平面形状となっている。また、土砂災害警戒区域は海岸まで続いている。これは、海岸まで地盤勾配が急であることを示しており、泥流が海岸域まで到達する可能性があることを示している。濃い黄色で示された領域の上流端にわずかであるが

赤で示された土砂災害特別警戒区域がある。

3. 泥流の流動特性と土砂災害対策

図-3 に現地の住民や消防団などによって泥流が確認された場所と時間を示す。宅地に最初に流れ込んだ泥流が確認されたのは、図-3 に「A」として示している場所において7月3日午前10時27分少し前である。図-3 に「B」として示している場所で10時55分に撮影された泥流の動画をキャプチャーしたものを図-4 (a) に示す。図-4 (a) の中央に示すえんじ色のビルの奥側(南側)を黒色の泥流が流れている。動画から得られた泥流の流速は約8m/sであった。2013年に伊豆大島で発生した泥流の数値シミュレーションで得られた泥流の流速は平均14m/sで場所によっては20m/sを超えており、「B」



(a) B地点, 10:55 am

(b) C地点, 11:15 am



(c) D地点, 12:10 am

図-4 住民によって撮影された泥流

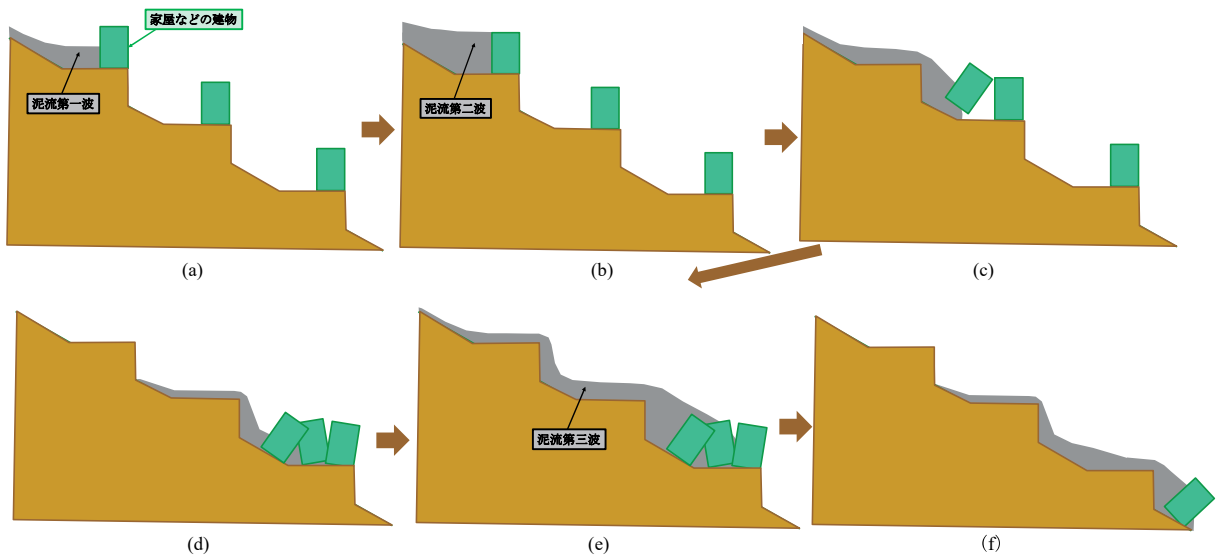


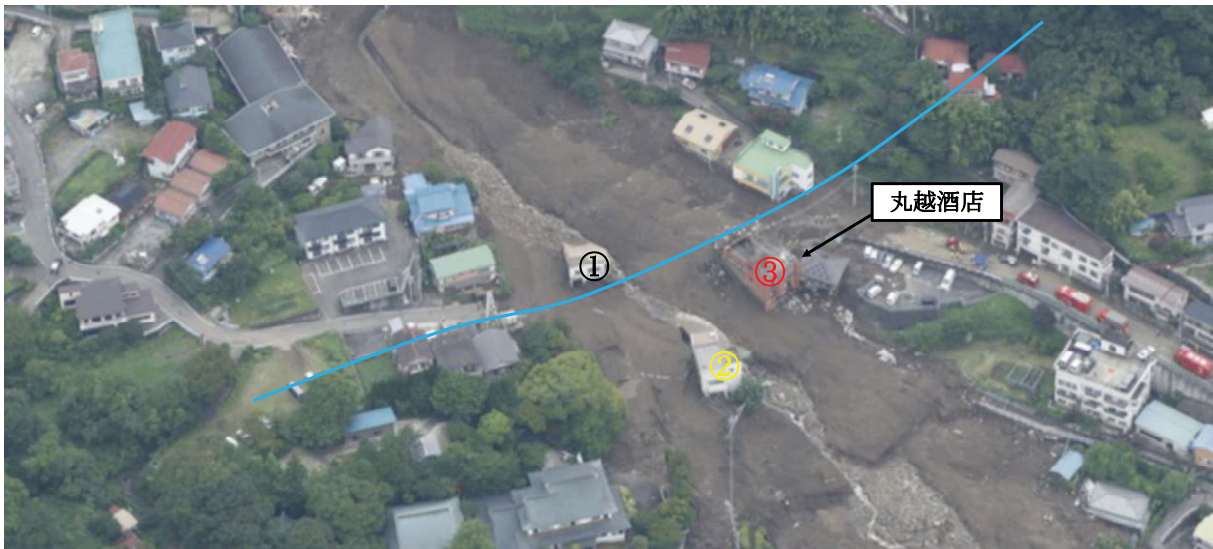
図-5 建物が泥流の下流への伝播に与える影響

地点で観測された泥流の流速は、泥流としては比較的遅い。これは、上流で多くの家屋を破壊しながら

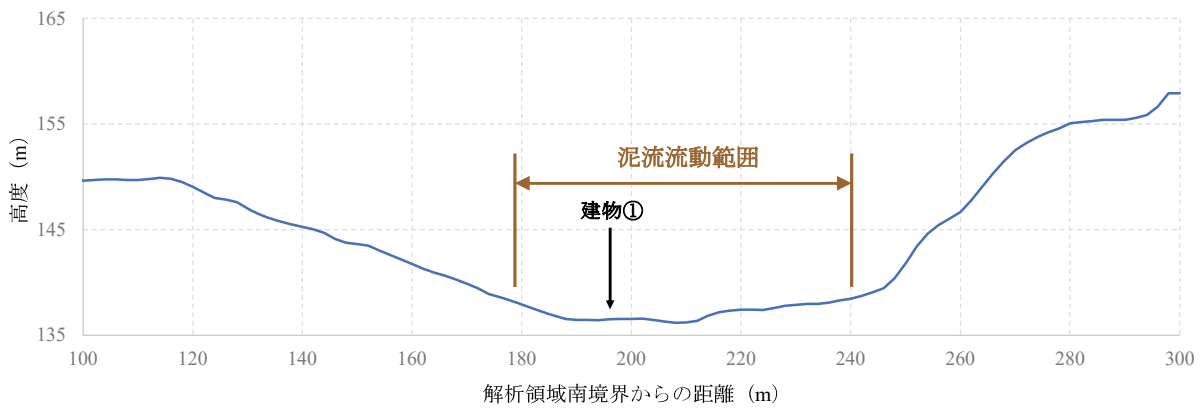
流れてきたためと考えられる。なお、図-4 (a) に示す泥流は、宅地に最初に泥流が流れ込んだ時刻か



(a) 被災前 (Google Earth)



(b) 被災後 (アジア航測撮影)



(c) 泥流流動域に残存した建物と (b) で示した青線に沿った地盤高

図-6 泥流流動範囲と建物の破壊、宅地内の地形との関係

ら約 30 分経過しており、図-3 の「A」で確認された泥流とは異なる。図-3 に「C」として示している

場所で 11 時 15 分に撮影された泥流の動画をキャプチャーしたものを図-4 (b) に示す。図-4 (b) に示



図-7 泥流流動域に残存した建物

す泥流は、図-4 (a) に示す泥流が確認されてから約 20 分経過しており、両泥流は異なるものである。図-4 (b) の泥流の下流部は 11 時 15 分よりも前に既に流れてきていた泥流でちょうど図-4 (b) に示す地点で停止していた。一方、図-4 (b) の泥流の上流部は撮影時に流れてきた泥流である。つまり、図-4 (b) は停止していた泥流の上を別の泥流が覆い被さるように流れてきている状況を示している。図-3 に「D」として示している場所で 12 時 10 分に撮影された泥流の動画をキャプチャーしたものを図-4 (c) に示す。泥流は家屋を破壊するとともに、逢初橋の高欄を乗り越えて逢初川に流れ込んでいる。

以上のように、泥流は大きなものが 1 回発生して海岸まで流れたのではなく、比較的小規模なものが間欠的に複数回発生したと考えられる。また、泥流は図-5 に示すように、家屋などの建物に衝突する過程で減速しながら停止し、次の泥流が先に流れて停止した泥流上を流れ、停止した泥流を取り込んで規模を拡大させながらさらに下流に流れて家屋などの建物に衝突する過程で減速して停止するプロセスを繰り返しながら海岸まで到達したと考えられる。また、図-3 に「C」や「D」として示している場所に泥流が到達したのは、宅地に最初に流れ込んだ泥流が確認されてから約 50 分後と約 100 分後である。これらの場所においても人的な被害が発生している。これより、リードタイムが十分に確保できたとしても人的被害をゼロにすることは難しいことがわかる。避難せずに自宅に留まった理由は様々あると考えられるが、下流域の男性住民によると、上流域で発生している状況がイメージできていればより速やかに避難していたとのことである。つまり、上流域で土石流や泥流が発生したという状況を言葉のみで聞いても現在の自分が被災リスクが高い状態なのかどうか実感できないことが自宅に留まっていた理由の一

つと考えられる。そのため、上流域で発生している現象を住民がより速やかに認識・理解するために、土砂災害警戒区域が設定されている溪流では上流に複数のカメラを設置し、下流域の住民がスマートフォンやテレビなどで上流の様子を視覚的に確認できるようなシステムの導入が有効と考えられる。

図-6 に泥流流動範囲と建物の破壊、宅地内の地形との関係を示す。図-6 (c) に示すように、対象地点は明確な谷地形を形成しており、溪流横断方向の地盤高の変化が大きい。その結果、泥流の流動幅は 50m~80m と地盤の低い範囲に限定されている。これは、溪流・河川の流れ方向に対して直角方向（横断方向）に数十メートル移動すれば泥流が流れてこない地盤の高い場所に避難できることを示している。これらのことから、谷地形が発達している土砂災害危険地域については、溪流・河川横断方向に容易に移動できる道路を整備するとともに、溪流の流れに対して直角方向に数十メートル移動するだけで避難できることを住民が認識することにより、泥流による人的被害を大きく減少できる可能性があると考えられる。また、図-6 (a) と (b) を比較すると、多くの家屋や樹木が泥流によって流出しているが、①~③の番号を付けた建物は、泥流流動域内にあるにもかかわらず残存していることが分かる。図-7 に建物①~③の被災直後の様子を示す。これらの建物は鉄筋コンクリート構造の建物であることがわかる。流動痕跡や泥流を撮影した動画などから、対象地点の泥流は深さ約 3m、速度約 8m/s で流れていたようである。しかし、対象地点を流れた泥流は、木造家屋は破壊する流体力を有していたが、鉄筋コンクリート構造の建物を破壊するほど大きな流体力ではなかったことがわかる。土石流・泥流によって木造家屋のみが破壊され、鉄筋コンクリート構造の建物は残存する現象は、2014 年の広島市安佐南区八木三丁

目の土石流など、多くの土石流・泥流被災地で確認されている (Takebayashi & Fujita, 2020)。

また、図-7 の建物①をよく見ると、下流側の壁面が白く、泥流による土砂がほとんど付着していないことがわかる。また、建物の一階は泥流が通過しているが、二階は下流側の窓ガラスは割れておらず、二階に流れ込んだ泥流は少量であったことが分かる。つまり、鉄筋コンクリート構造の建物の上階の下流側への避難は、生存率を高めることがわかる。

4. おわりに

2021 年 7 月 3 日に複数回の泥流が発生した熱海市伊豆山逢初川流域の泥流の流動特性について調査研究を実施するとともに、土砂災害危険度の高い谷地形の宅地における泥流からの避難方法について検討した。得られた成果をまとめると以下のようである。

(1) 対象流域は明確な谷地形が形成されており、泥流は横断的にはあまり広がらず、幅 80m 以下の範囲で流れている。これは、溪流・河川の流れ方向に対して直角方向（横断方向）に数十メートル移動するだけで避難できることを示している。これらのことから、谷地形が発達している土砂災害危険地域については、溪流・河川横断方向に容易に移動できる道路を整備するとともに、溪流の流れに対して直角方向に数十メートル移動するだけで避難できることを住民が認識することにより、泥流による人的被害を大きく減少できる可能性があると考えられる。

(2) 下流の新幹線や JR 周辺で泥流による人的被害が発生したのは、上流域で最初に泥流が確認されてから約 50 分後と約 100 分後である。これは、下流域の住民が上流域で発生している現象を正確にイメ

ージできておらず、被災リスクが高い状況であることを理解していなかった可能性がある。そのため、上流域の様子をスマホやテレビなどを使って自宅などで確認できるカメラの設置など、容易に上流域で発生している現象をイメージできるシステムが必要と思われる。

(3) 泥流流動域内では、多くの木造家屋は流出していたが、鉄筋コンクリート構造の建物は破壊されていなかった。また、ある鉄筋コンクリート構造の建物の一階は泥流が通過していたが、二階に流れ込んだ泥流は少量であった。これは、鉄筋コンクリート構造の建物の上階の下流側への避難は、生存率を高めることを示している。

謝辞

熱海市の住民の皆様から発災時の多くの情報をご提供頂いた。また、静岡県、熱海市（危機管理室、消防第四分団など）、アジア航測、パシフィックコンサルタンツ、NHK、朝日新聞、読売新聞、山口大学・山本教授から、各種データ・被災の状況など、詳しい情報をご提供頂いた。ここに記して感謝致します。

参考文献

Takebayashi H., Fujita, M. (2020) : Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model. *Geosciences*, 10, 45.