

マルチスケール流域土砂動態モデルの開発と適用

京都大学大学院工学研究科 ○西尾潤太
 京都大学防災研究所 藤田正治, 竹林洋史, 山野井一輝

1. はじめに

土砂災害に関するハザードには、斜面崩壊や土石流、土砂・洪水氾濫等が挙げられる。斜面崩壊は斜面スケール、土石流は溪流スケール、土砂・洪水氾濫は流域スケールと、これらの現象は異なる空間スケールで発生する。このような異なる空間スケールの土砂移動現象を統合的に解析することで得られる情報は土砂災害対策に活用されることが期待できる。

斜面崩壊による土砂生産を含む流域土砂動態を解析するモデル SiMHIS¹⁾では、流域を単位河道・単位斜面・斜面要素に分割し、斜面崩壊予測から崩土の河道への供給、河道における水・土砂の移動を統合的に解析すること可能である。また、斜面における土砂の流動化形態を得ることができる。しかし、土石流の流動を表現することはできない。そこで、土石流・泥流モデルである Morpho2DH²⁾を SiMHIS に統合して土石流による地形変動を考慮した流域土砂動態を解析可能なマルチスケール流域土砂動態モデルの開発を行い、2011年台風23号により被害が発生した那智川流域に適用する。

2. マルチスケール流域土砂動態モデル

マルチスケール流域土砂動態モデルでは、SiMHISにより斜面要素における土砂の流動化形態を求める。流動化形態の分類は表1のように最小安全率 F_s と表面流水深 h_{sf} により決定する。ここに d_m は土層の平均粒径である。安全率 F_s は限界土中水分量と土中水分量の比に補正係数を乗じたもので、これが1を下回った時に崩壊したと判定される。パターン1は斜面が安定状態であるため流動化しない。パターン2-a,bは安全率が1近傍の臨界状態であり表面流が発生することから侵食による流動化が発生するものとする。パターン3は安全率が低下するものの土層が不飽和状態であるため流動化しにくい。パターン4-a,bは安全率が1を大きく下回る加速状態で表面流が発生するため、崩土の流動化が発生すると考えられる。以上より、斜面における土砂の流動化の発生しやすさは、 $4-a > 4-b > 2-a > 2-b > 3$ となり、1では発生しない。

次に、Morpho2DHに流動化形態に基づいたSiMHISからの条件を与え、土石流の解析を行う。SiMHISからの条件としてパターン2では表面流による侵食を再現するため高さ0.1mの水塊を斜面上に与え、パターン3, 4では崩土の流動化を表現するため高さ0.5mの水

と土砂の混合物を斜面上に与える。この時の土砂濃度はSiMHISによって得られる加速状態に遷移する時刻の濃度を用いる。また、土石流発生時刻は、パターン2-a,bでは表面流水深が最大となる時刻、パターン3,4-a,bでは加速状態に遷移する時刻とする。

土石流解析によって得られる地形変動量より、それぞれの単位河道周辺の侵食量と堆積量を求める。侵食量と堆積量の差に相当する河床変動量を各単位河道に一樣に与えることで、土石流による地形変動を考慮した流域土砂動態の解析を行う。

表1 流動化形態の分類

| パターン | 最小安全率 F_{smin} | 表面流水深 h_{sf} |
|------|-----------------------------|----------------------|
| 1 | $F_{smin} \geq 1.05$ | - |
| 2-a | $0.95 \leq F_{smin} < 1.05$ | $h_{sf} > 1.4d_m$ |
| 2-b | $0.95 \leq F_{smin} < 1.05$ | $h_{sf} \leq 1.4d_m$ |
| 3 | $F_{smin} < 1.05$ | $h_{sf} = 0$ |
| 4-a | $F_{smin} < 0.95$ | $h_{sf} > 1.4d_m$ |
| 4-b | $F_{smin} < 0.95$ | $h_{sf} \leq 1.4d_m$ |

3. 適用結果・考察

本研究では2011年9月1日から5日を対象期間として解析を行う。降雨データは気象庁による解析雨量を用いる。また、Morpho2DHによる土石流解析は尻剣谷川流域を対象とした場合について述べる。

(1) 流動化形態の分類

SiMHISにより得られた流動化形態の空間分布を図1に示す。この時、斜面勾配が35度以上の斜面要素では土層が存在しないものとし、流動化形態の判定から除外した。流域全体でパターン1は258箇所、2-aは171箇所、2-bは1箇所、3は7箇所、4-aは59箇所、4-bは20箇所となった。また、尻剣谷川流域では流動化が発生する斜面要素は3箇所であった。いずれもパターン2-aと判定され、土石流発生時刻は9月4日午前4時である。

(2) 土石流解析

尻剣谷川流域における、SiMHISによって得られた情報を用いた土石流解析による堆積量の空間分布を図2に示す。ここに、図中に示す赤線より上流を支川領域、下流を本川合流部付近の領域とする。土石流による各領域の堆積量と侵食量をそれぞれ表2に示す。ここに、堆積量と侵食量の差は、正のときに堆積量、負

のときに侵食量が多いことを表す。合流部領域ではほとんど侵食が発生せず、堆積が卓越している。一方、支川領域では堆積と侵食がどちらも大きいため、その差は小さい値となった。

(3) 土石流による地形変動を考慮した流域土砂動態

表 2 の差に基づいた河床変動を SiMHiS の単位河道に与えることで、土石流による地形変動を考慮した流域土砂動態の解析を行う。ここに、合流部付近の地形変動は合流部下流の単位河道に、支川における地形変動は尻剣谷川の単位河道に与えるものとした。また、流域土砂動態を解析する時間スケールに比べて土石流の流下時間は非常に短いと考えられることから、河床変動は土石流発生時刻に瞬間的に発生するものとした。

土石流を考慮した場合と考慮しない場合の合流部下流の単位河道における初期河床位を基準とする河床位を図 3 に示す。土石流による地形変動を考慮することで、約 0.4m の河床上昇が発生した。また、同じ単位河道における土石流流入時刻前後の河床位と水位を図 4 に示す。土石流の流入を考慮することで土石流発生時刻に河床位と水位が上昇している。これより、土石流流入に伴う氾濫の発生を再現できる可能性が示唆された。

以上のように、マルチスケール流域土砂動態モデルの開発により、土石流の発生から流動、土石流を考慮した流域内の土砂動態を統合的に解析することが可能となった。

4. まとめ

本研究では、流域土砂動態の解析が可能なモデル SiMHiS と土石流の流動解析が可能なモデル Morpho2DH を統合することで、土石流の発生から流動、土石流に伴う河床変動を考慮した流域土砂動態を統合的に解析可能なモデルを開発した。また、これを那智川流域に適用することで、土石流が河川に流入することによる氾濫の発生を再現できる可能性が示された。

参考文献

- 1) 山野井一輝, 藤田正治: 複合土砂災害シミュレータ SiMHiS を用いた山間地域における土砂災害の警戒避難情報の提供に関する一考察, 砂防学会誌, Vol.69, No.6, pp.15-23, 2017.
- 2) Hiroshi Takebayashi and Masaharu Fujita: Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model, Geoscience 2020, 10, 45, 2020

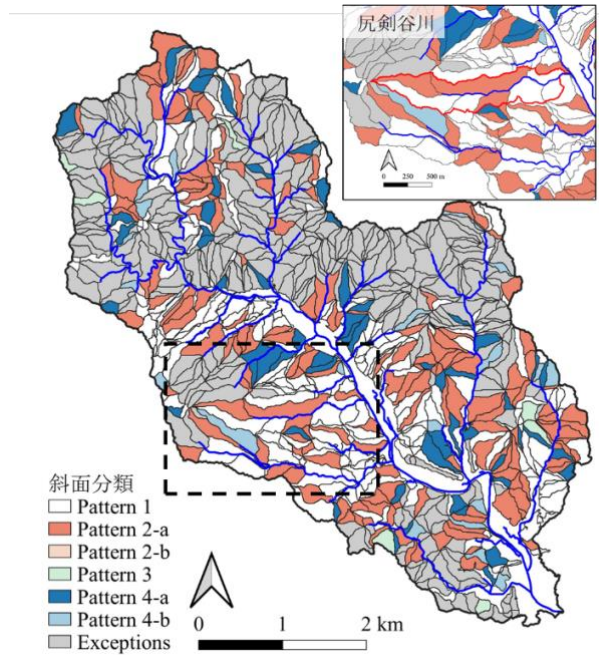


図 1 流動化形態の空間分布

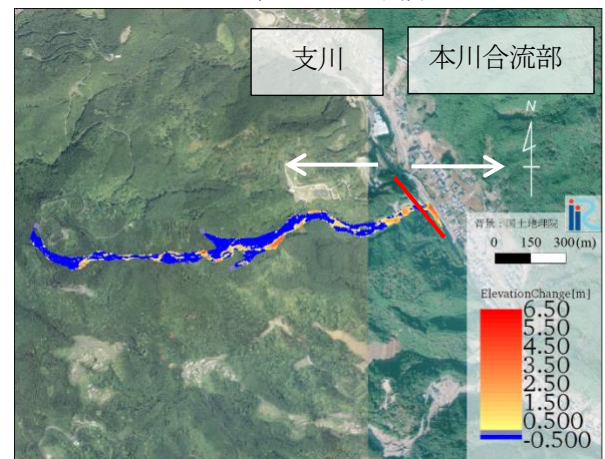


図 2 尻剣谷川の堆積量空間分布

表 2 尻剣谷川周辺の堆積量と侵食量

| | 堆積量[m ³] | 侵食量[m ³] | 差[m ³] |
|-----|----------------------|----------------------|--------------------|
| 合流部 | 5254.5 | 2.2 | 5252.3 |
| 支川 | 19406.2 | 19697.1 | -290.9 |

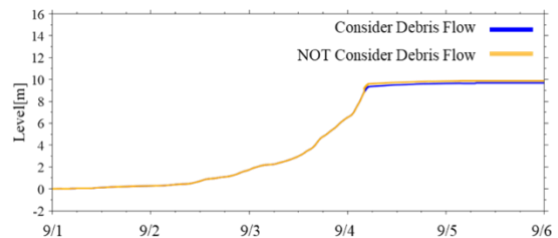


図 3 合流部下流河道における河床位の時間変化

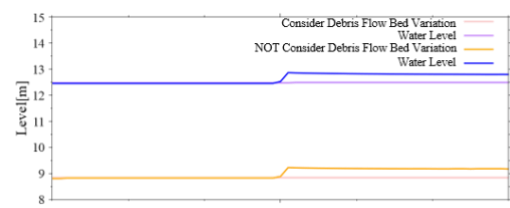


図 4 土石流流入時刻前後の河床位と水位